



Türkiye Fotogrametri Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tufod>

e-ISSN 2687-6590



RTK ve PPK Sistemlerinin İnsansız Hava Araçları İçin Harita Üretiminde Önemi

Murat Yakar ¹ & Hacı Murat Yılmaz ^{*2}

^{1*} Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye, (myakar@mersin.edu.tr)

² Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye; (hmyilmaz@aksaray.edu.tr)



*Sorumlu Yazar:
hmyilmaz@aksaray.edu.tr

Araştırma Makalesi

Alıntı: Yılmaz H. M. & Yakar, M. (2025). RTK ve PPK Sistemlerinin İnsansız Hava Araçları İçin Harita Üretiminde Önemi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 7(2), 37-46.

Geliş : 14.10.2025
Revize : 21.10.2025
Kabul : 31.10.2025
Yayınlama : 26.12.2025

Özet

GNSS tabanlı konumlama teknolojileri, jeodezik ölçümlerden insansız hava aracı (İHA) haritalamalarına kadar geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Bu teknolojiler arasında Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) ve Sonradan İşlenen Kinematik (PPK) yöntemleri, santimetre düzeyinde doğruluk sağlamaları nedeniyle öne çıkmaktadır. RTK, İHA uçuşu sırasında konum hatalarını düzeltir. PPK ise uçuştan sonraki düzeltmeleri uygular. PPK, RTK'ya benzer şekilde giderek önem kazanan bir başka GPS düzeltme tekniğidir. Hem RTK hem de PPK, yer hedeflerini ölçmeye gerek kalmadan bir İHA'nın konumunun doğru bir şekilde belirlenmesini sağlar. Ancak, bu iki teknoloji arasında önemli farklılıklar vardır. Bu çalışmada, RTK ve PPK sistemlerinin temel çalışma prensipleri, işleyiş mekanizmaları ve avantaj-dezavantajları detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca iki yöntem arasındaki temel farklar ortaya konularak, hangi uygulama koşullarında hangi yöntemin tercih edilmesi gerektiği tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: RTK, PPK, Konumlama, İHA, Uydu Verisi.

The Importance of RTK and PPK Systems in Map Production for Unmanned Aerial Vehicles

*Corresponding Author:
hmyilmaz@aksaray.edu.tr

Research Article

Citation: Yılmaz H. M. & Yakar, M. (2025). The Importance of RTK and PPK Systems in Map Production for Unmanned Aerial Vehicles. *Turkish Journal of Photogrammetry*, 7(2), 37-46 (in Turkish).

Received : 14.10.2025
Revised : 21.10.2026
Accepted : 31.10.2025
Published : 26.12.2025

Abstract

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) have become essential tools for obtaining high-precision spatial data in disciplines such as geodesy, surveying, and photogrammetry. Among GNSS-based positioning methods, Real Time Kinematic (RTK) and Post Processed Kinematic (PPK) techniques are widely used for achieving centimeter-level accuracy. RTK corrects position errors during UAV flight. PPK applies the corrections after the flight. PPK is another GPS correction technique that is gaining popularity, similar to RTK. Both RTK and PPK allow a UAV to accurately determine its location without needing to measure ground targets. However, there are significant differences between these two technologies. This paper presents a detailed analysis of the working principles of RTK and PPK systems, their operational mechanisms, and their comparative advantages and disadvantages. In addition, examples from photogrammetric, geodetic, and UAV-based applications are discussed to illustrate the suitability of each technique for specific conditions.

Keywords: RTK, PPK, Positioning, UAV, Satellite Data.

1. Giriş

İnsansız Hava Araçları (İHA) ile ölçüm söz konusu olduğunda, hem RTK (Real Time Kinematik) hem de (Post Processed Kinematic) PPK, kullanıcıların yer kontrol noktalarını ölçmeye ihtiyaç duymadan İHA'nın konumunu doğru bir şekilde belirlemelerine olanak tanır. Yer kontrol noktaları (YKN) hâlâ kullanılmaktadır, ancak yer kontrol noktaları yalnızca sonuçların fotogrametrik değerlendirmenin yapılması ve kalibrasyon işlemini tamamlamak ve verileri ülke koordinat sistemine dönüştürmünü yapmak için kullanılır. Bu nedenle, çok daha az YKN'na ihtiyaç duyulur ve verilerin genel doğruluğu, kullanılan kontrol noktası sayısına değil, İHA konumlarının doğruluğuna bağlıdır. Sonuç olarak yer kontrol noktalarının konumundan bağımsız olarak, herhangi bir konumdaki verilerin doğruluğuna çok daha fazla güvenebilirler [1-3].

RTK söz konusu olduğunda, İHA'nın baz istasyonuna yakın bir mesafede çalıştırılabilirdiği ve pilot/operatörün sinyal bağlantısını sürdürmek için üsse yakın kalabildiği açık alanlarda en iyi şekilde kullanılır. Alansal olarak daha büyük ve engellerin bulunduğu sahalarda, Post Processed Kinematic (PPK) yöntemi baz istasyonunun tek bir konuma yerleştirilmesine olanak tanır. Ayrıca pilot, düzeltme sinyalinin bağlantısını sürdürmek için baz istasyonuna bağlı kalmadan gerektiği gibi hareket edebilir [4,5-7].

Faydaları açısından, hem RTK hem de PPK yöntemleri çıktı verilerinin doğruluğunu sağlamak için güvenilir bir yol sağlar. Aynı doğruluk düzeyine tamamen YKN'a dayanan yöntemlerle de ulaşılabilirse de, deneyimler bu yöntemi uygulayan herkesin ideal Yer Kontrol Noktası yapılandırmasının ve sayısının genellikle mümkün olmadığını gösterecektir. RTK/PPK yöntemlerinin kullanılması, saha çalışanlarının Yer Kontrol Noktaları kurmak için artık yüksek riskli alanlara erişmelerine gerek kalmadığı için güvenliğini daha da artırır. Ayrıca, YKN sayısının azalması zamandan tasarruf sağladığı için drone ile yapılan ölçümlerin hızını da önemli ölçüde artırmıştır [1,8].

Son yıllarda küresel konumlama sistemlerinin (GNSS) gelişimi, jeodezi, fotogrametri [10-12], kültürel miras belgelenmesi [13-16] ve arazi yönetimi [17] gibi birçok disiplinde devrim niteliğinde ilerlemelere yol açmıştır. Uydu tabanlı konum belirleme teknolojilerinde meydana gelen bu gelişmeler, özellikle jeodezik ölçmelerin doğruluk, süreklilik, zamansal çözünürlük ve erişilebilirlik açısından önemli kazanımlar elde etmesini sağlamıştır. GNSS'in çok frekanslı ve çok takımyıldızlı (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou vb.) yapıya evrilmesi, konum belirlemede küresel çapta homojen doğruluk elde edilmesine katkı sağlamıştır [11, 18].

Bu teknolojik evrim, yalnızca konum doğruluğunu artırmakla kalmamış, aynı zamanda zaman senkronizasyonu, atmosferik modelleme ve veri bütünlüğü gibi alanlarda da önemli ilerlemeleri beraberinde getirmiştir. GNSS sinyallerinin çok frekanslı yapısı sayesinde, iyonosferik ve troposferik gecikmelerin modellenmesi ve düzeltilmesi daha etkin hale gelmiştir. Böylece, hem statik jeodezik ölçülerde hem de kinematik uygulamalarda milimetre düzeyinde doğruluklara ulaşmak mümkün olmuştur [19, 20].

Ayrıca, GNSS'in diğer uzaktan algılama teknolojileriyle (örneğin fotogrametri, LiDAR, InSAR vb.) entegrasyonu, üç boyutlu (3B) konumlama, deformasyon izleme, arazi hareketlerinin modellenmesi ve kültürel miras alanlarının hassas dokümantasyonu gibi uygulamalarda önemli avantajlar sağlamaktadır [14-15]. Özellikle insansız hava araçları (İHA) ile GNSS tabanlı fotogrametrik ölçümler, gerçek zamanlı konum düzeltmeleri (RTK) veya post-proses tabanlı doğruluk artırma yöntemleri (PPK) sayesinde, hem operasyonel esneklik hem de yüksek doğruluk düzeyleri sunmaktadır [4-7, 21,22].

GNSS sistemlerinin çoklu takımyıldız yapısı, uydu görünürlüğünü ve geometrik dağılımı (Dilution of Precision - DOP) önemli ölçüde iyileştirmiştir. Bu durum, özellikle dağlık, ormanlık veya kentsel kanyon olarak adlandırılan uydu sinyallerinin zayıf alındığı ortamlarda bile daha kararlı çözümler elde edilmesine olanak tanımaktadır [23, 24]. Günümüzde, sürekli çalışan referans istasyonları (CORS) ağlarının kurulmasıyla birlikte, gerçek zamanlı kinematik (RTK) ve ağ RTK çözümleri, mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ağlar, hem yatay hem de düşey doğruluk açısından birkaç santimetreye kadar inen yüksek hassasiyet sunmaktadır [11,17, 18,27].

Sonuç olarak, GNSS teknolojilerindeki hızlı gelişim, klasik ölçme yöntemlerinin yerini alan, yüksek doğruluklu, hızlı ve maliyet etkin konum belirleme yaklaşımlarının önünü açmıştır. Günümüzde jeodezik ölçmelerden mühendislik projelerine, tarımsal izleme sistemlerinden kültürel mirasın korunmasına kadar çok geniş bir yelpazede, GNSS teknolojisi modern ölçme biliminin temel bileşenlerinden biri haline gelmiştir [13-16].

Özellikle İnsansız Hava Araçları (İHA) ile yürütülen çalışmalarda, yüksek doğruluklu veri elde edilmesi, RTK (Real-Time Kinematik) ve PPK (Post-Processed Kinematik) sistemlerinin etkin kullanımıyla mümkün olmuştur [20,23,24,26,28]. Bu sistemler, GNSS (Global Navigation Satellite System) tabanlı konumlama teknolojilerinin sağladığı hassasiyeti artırarak, İHA tabanlı ölçümlerde santimetre düzeyinde doğruluk sağlamaktadır. Fotogrametrik üretim süreçlerinde, özellikle yüksek çözünürlüklü

hava fotoğraflarının veya multispektral görüntülerin kullanıldığı uygulamalarda, görüntülerin konum ve yönelim bilgilerinin doğru biçimde belirlenmesi, 3B model oluşturma aşamalarında toplam hata miktarını doğrudan etkilemektedir. Hatalı konum veya yönelim verileri, nokta bulutu oluşturulurken geometrik deformasyonlara, modelde ölçüsel bozulmalara ve sonuç olarak mekânsal analizlerde hatalara yol açabilmektedir.

Bu bağlamda, RTK ve PPK yöntemleri yalnızca doğruluk açısından değil, aynı zamanda iş akışının verimliliği ve üretim süresinin optimize edilmesi açısından da kritik öneme sahiptir. RTK yöntemi, ölçümlerin anlık olarak düzeltme sinyalleri almasını sağlayarak, arazide gerçek zamanlı yüksek doğruluklu konum verisi elde edilmesine imkân tanır; böylece yer kontrol noktası (YKN) sayısının azaltılması ve arazide çalışma süresinin kısaltılması mümkün olmaktadır. Öte yandan, PPK yöntemi, arazide bağımsız ölçüm yapabilme ve elde edilen verilerin daha sonra post-proses aşamasında işlenmesi ile yüksek doğruluklu konum bilgisi üretir. Bu yaklaşım, özellikle sinyal kaybı, çoklu yol etkisi (multipath) veya GPS kesintileri gibi sahaya özgü kısıtlayıcı koşullarda önemli avantajlar sağlar [21,29].

Ayrıca, RTK ve PPK sistemlerinin entegrasyonu, fotogrametrik iş akışlarda hata kaynaklarını minimize ederek, veri kalitesini ve güvenilirliğini artırır [30,31]. Yüksek doğruluklu konum ve yönelim bilgileri, İHA tabanlı fotogrametri ile üretilen sayısal yüzey modelleri (DSM), dijital arazi modelleri (DTM) ve üç boyutlu nokta bulutlarının mekânsal doğruluğunu optimize eder; bu da mühendislik uygulamaları, kentsel planlama, arazi yönetimi ve kültürel miras dokümantasyonu gibi çeşitli disiplinlerde elde edilen sonuçların güvenilirliğini artırmaktadır. Dolayısıyla, RTK ve PPK sistemlerinin doğru ve etkin kullanımı, sadece teknik doğruluk değil, aynı zamanda operasyonel verimlilik ve ekonomik açıdan da önemli bir stratejik avantaj sunmaktadır.

Fotogrametri alanında yapılan çalışmalar, dijital yöntemlerle 3B model üretiminin [10, 32-35] mühendislik projelerinde güvenilir konumlama teknikleri gerektirdiğini ortaya koymaktadır. Dijital fotogrametri, özellikle yapı deformasyonu analizi, topografik haritalama, hacim hesaplamaları ve çevresel değişimlerin izlenmesi gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [10, 33]. Bu uygulamalarda santimetre düzeyinde doğruluk, genellikle geleneksel GPS çözümleriyle elde edilememekte, ancak diferansiyel GNSS tekniklerinin, özellikle RTK ve PPK yöntemlerinin devreye girmesiyle mümkün olmaktadır.

RTK (Real-Time Kinematic) sistemi, baz istasyonu ile gezici arasında gerçek zamanlı düzeltme verisi aktarımı gerçekleştirerek konum hatalarını anında

minimize eder. Bu sayede, saha ölçümlerinde yüksek doğruluk ve hassasiyet sağlanmakta, özellikle arazi üzerinde eşzamanlı ölçüm gerektiren uygulamalarda önemli avantajlar elde edilmektedir [11, 19, 36, 37]. RTK yöntemi, ölçüm süresince sürekli veri akışı ve baz istasyonu ile gezici arasındaki kesintisiz iletişim gerektirdiğinden, arazideki sinyal kalitesi, uydu görünürlüğü ve iletişim altyapısının performansı doğruluk üzerinde doğrudan etki yapmaktadır. Bu özellik, RTK'nın saha koşullarına bağımlı bir sistem olduğunu göstermekte, ancak sağladığı anlık veri avantajı, hızlı karar alınması gereken uygulamalarda vazgeçilmez bir avantaj sunmaktadır [27,38].

Buna karşın, PPK yöntemi, ölçüm sonrası düzeltmeye dayalı bir yaklaşım benimsemektedir. Bu sayede, veri kaybı, bağlantı kesintisi veya sinyal bozulması gibi saha koşullarından bağımsız olarak yüksek doğruluklu sonuçlar üretme kapasitesine sahiptir. PPK yöntemi, ölçüm verilerini arazide bağımsız olarak kaydetmeye imkân tanıyarak, veri bütünlüğünü garanti altına almakta ve post-proses aşamasında detaylı düzeltme işlemleriyle doğruluk seviyesini artırmaktadır. Bu özellik, özellikle zorlu coğrafi koşullarda, dağlık bölgelerde veya iletişim altyapısının yetersiz olduğu alanlarda yürütülen İHA tabanlı fotogrametri ve haritalama çalışmalarında PPK'nın tercih edilmesini sağlamaktadır [24, 30,39].

Ayrıca, PPK yöntemi ile elde edilen yüksek doğruluklu konum verisi, arazide ölçüm esnasında oluşabilecek ani sapmaların veya geçici GPS kesintilerinin etkilerini minimize ederek, veri güvenilirliğini artırmaktadır. Bu durum, hem detaylı topografik modelleme hem de hassas mühendislik uygulamaları için kritik bir avantaj sunmaktadır. Özellikle kültürel miras dokümantasyonu, altyapı planlaması ve hassas mühendislik projelerinde, PPK yönteminin sunduğu post-proses esnekliği ve doğruluk garantisi, saha çalışmalarının planlanabilirliğini ve veri kalitesini doğrudan artırmaktadır.

RTK ve PPK teknolojileri, yalnızca hava platformlarında değil, yer tabanlı fotogrametri ve jeodezik ölçüm uygulamalarında da etkin biçimde kullanılmaktadır [5,29, 39]. Bu sistemler, ölçümlerde yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağladıkları için, saha çalışmaları sırasında veri kalitesinin artırılmasında kritik öneme sahiptir. Örneğin, kıyı çizgisi belirleme çalışmalarında hassas konumlama, yalnızca deniz ve kara arasındaki sınırların doğru bir şekilde tespit edilmesini sağlamakla kalmaz; aynı zamanda mülkiyet analizleri, kıyı erozyonunun izlenmesi, taşkın risk değerlendirmeleri ve çevresel planlama gibi disiplinler için de temel veri altyapısını oluşturur [17]. Bu bağlamda, RTK ve PPK teknolojilerinin sağladığı santimetre düzeyindeki doğruluk, kıyı yönetimi ve

doğal kaynak planlaması gibi hassas uygulamalarda veri güvenilirliğini artırmaktadır.

Benzer şekilde, tarihi yapıların rölöve ve deformasyon analizlerinde yüksek doğruluklu koordinat verisi üretimi, bu iki sistemin etkin kullanımına doğrudan bağlıdır [8,14-16]. Hassas konum verisi, yapının mevcut geometrik durumunun doğru bir şekilde modellenmesini sağlar. Böylece restorasyon, koruma ve bakım faaliyetleri bilimsel ve ölçülebilir verilere dayandırılabilir. RTK ve PPK destekli ölçümler, özellikle karmaşık mimari yapılar ve tarihi yapılar gibi hassas geometriye sahip objelerde, deformasyonların milimetrik düzeyde tespitine olanak tanır.

Kültürel miras belgelenmesi kapsamında gerçekleştirilen fotogrametrik modellemelerde ise, RTK/PPK destekli İHA uçuşları, üç boyutlu veri kalitesini artırmakta ve yapısal deformasyonların zaman içinde izlenmesini mümkün kılmaktadır [9,13,15,40]. Bu yaklaşım, sadece mevcut durumun doğru şekilde dijital olarak arşivlenmesini sağlamakla kalmaz; aynı zamanda zaman serisi analizleri sayesinde uzun vadeli izleme ve değişim tespiti yapılmasına imkân verir. Özellikle restorasyon projelerinde, bu yüksek doğruluklu veriler, müdahale önceliklerinin belirlenmesi, yapısal risk analizlerinin yapılması ve gelecekteki bozulmaların öngörülmesi açısından kritik bir bilimsel kaynak oluşturur. Ayrıca, RTK ve PPK tabanlı ölçümler, fotogrametrik süreçlerde ortaya çıkabilecek geometrik hataları ve koordinat sapmalarını minimize ederek, modelleme doğruluğunu ve analiz güvenilirliğini artırmaktadır. Böylece, hem hava hem de yer tabanlı platformlarda yürütülen fotogrametri ve jeodezik uygulamalarda, bu teknolojilerin kullanımı, yüksek doğruluk, tekrarlanabilirlik ve veri güvenilirliği açısından vazgeçilmez bir rol üstlenmektedir.

Bu çalışma, GNSS tabanlı bu iki yöntemin (RTK ve PPK) teknik temellerini, işleme süreçlerini ve uygulama alanlarını karşılaştırmalı biçimde ortaya koymayı amaçlamaktadır. Ayrıca, sistemlerin doğruluk analizleri, veri işleme aşamaları ve uygulama örnekleri üzerinden performanslarının değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Böylece, mühendislik ve coğrafi bilgi sistemleri bağlamında optimum yöntem seçiminin yapılabilmesi için teorik ve uygulamalı bir çerçeve sunulmaktadır.

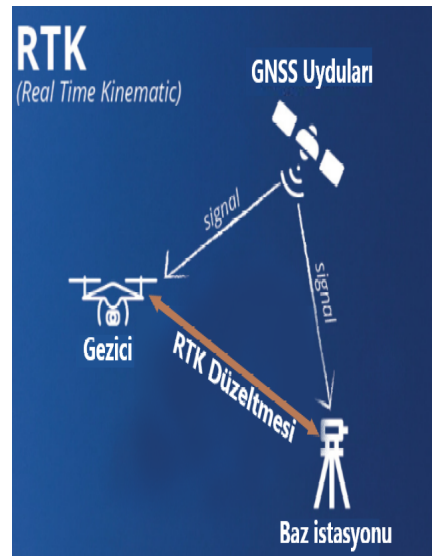
2. Yöntem

2.1. RTK Sisteminin Çalışma Prensibi

RTK yöntemi, gerçek zamanlı konum düzeltmeleri üretmeyi hedefleyen, yüksek doğruluklu GNSS (Global Navigation Satellite System) tabanlı bir konumlama tekniğidir [6,20,26, 36,38]. Sistem temel

olarak, koordinatları önceden bilinen bir referans (base) istasyonu ile arazide ölçüm yapan gezici (rover) alıcıdan oluşur. Sabit ve gezici alıcılar, eş zamanlı olarak aynı uydulardan kod ve taşıyıcı faz sinyallerini toplar. Bu eşzamanlı veri toplama işlemi, taşıyıcı faz ambigüitesinin çözülmesinde kritik bir rol oynar ve santimetre düzeyinde doğrulukta konum çözümünün temelini oluşturur. Taşıyıcı faz verisinin kullanımı, kod ölçümlerine kıyasla çok daha yüksek doğruluk sağlar. Bu nedenle RTK yöntemi, özellikle mühendislik uygulamaları ve hassas fotogrametri projelerinde tercih edilmektedir.

Base istasyonu, bilinen koordinatları ile uydu ölçümleri arasındaki farkı hesaplayarak düzeltme verisi üretir. Bu düzeltme verileri genellikle RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) formatında kodlanır ve gezici alıcısına iletilir. İletim, radyo modemler, GSM tabanlı veri iletimi veya internet protokolü üzerinden çalışan NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) gibi çeşitli protokoller aracılığıyla sağlanır. Gezici alıcısı, kendi ölçümlerine base'den gelen düzeltmeleri uygulayarak taşıyıcı faz ambigüitesini gerçek zamanlı çözdüğünden konum çözümü anlık olarak santimetre düzeyinde doğrulukla elde edilir (Şekil 1) [23, 24].



Şekil 1. RTK çalışma prensibi (URL-1).

RTK sistemlerinde baz uzunluğu genellikle 10–20 km ile sınırlıdır; bu mesafeyi aşan ölçümlerde atmosferik ve iyonosferik farklılıklar nedeniyle doğruluk azalabilir [5,11,18,30,31]. Bu durum, özellikle geniş alan ölçümlerinde ek hata kaynaklarının ortaya çıkmasına yol açar ve hassas mühendislik, fotogrametri veya jeodezik uygulamalarda dikkatle yönetilmesi gerekir. RTK performansı, uydu geometrisi, çevresel koşullar, alıcı kalitesi, sinyal çoklu yol etkisi (multipath) ve veri iletim güvenilirliği gibi faktörlerden doğrudan etkilenir. Örneğin, sinyal kayıpları veya engelleyici çevresel koşullar (binalar,

ağaçlar, vadiler) konum çözümünde ani sapmalara yol açabilir; bu nedenle arazide RTK kullanımında çevresel analiz ve ölçüm planlaması kritik öneme sahiptir.

Ek olarak, RTK yöntemi yalnızca gerçek zamanlı konumlama sağlamakla kalmaz; aynı zamanda saha operasyonlarının etkinliğini ve verimliliğini artırır. Anlık düzeltmeler sayesinde arazide hassas konum elde edilebilmekte, veri toplama süresi kısaltılmakta ve ölçüm tekrarlamaları azaltılmaktadır. Bu avantaj, özellikle İHA tabanlı fotogrametri, topografik haritalama, altyapı izleme, jeodezik kontrol çalışmaları ve mühendislik projelerinde önemli bir zaman ve maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Bununla birlikte, baz ve gezici arasındaki bağlantı kesintileri durumunda sistemin doğruluğu azalabileceğinden, saha planlaması, iletişim altyapısının yeterliliği ve sinyal kalitesi RTK uygulamalarında performansı doğrudan etkileyen kritik faktörler olarak ön plana çıkmaktadır [2-4,20,36].

Ayrıca literatürde RTK'nın hassasiyeti, özellikle kısa bazlı sistemlerde santimetre altı seviyelere ulaşabilmekte, ancak baz uzunluğu arttıkça atmosferik hatalar ve sinyal gecikmeleri doğrulukta belirgin bir azalmaya neden olabilmektedir. Bu nedenle geniş alan çalışmalarında RTK, baz istasyonu ağı veya hibrit RTK/PPK yaklaşımları ile desteklenerek doğruluk ve güvenilirlik optimize edilmektedir. Bu durum, RTK'nın saha uygulamalarında sadece ölçüm doğruluğu sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda operasyonel strateji ve veri yönetimi açısından da planlama gerektirdiğini göstermektedir.

2.2. PPK Sisteminin Çalışma Prensibi

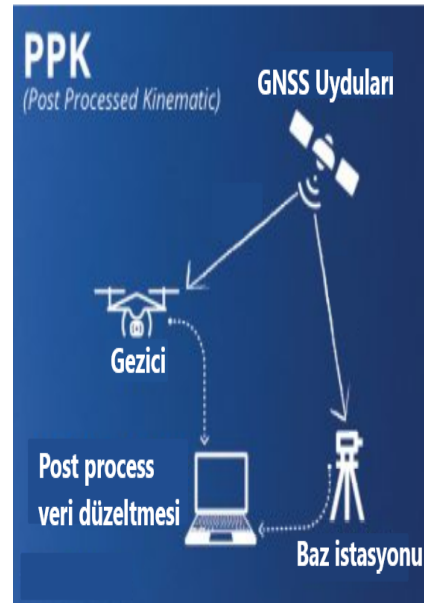
PPK (Post-Processed Kinematic) yöntemi, RTK ile benzer temel prensiplere dayanmakla birlikte, düzeltme işlemlerinin sonradan işleme (post-processing) aşamasında gerçekleştirilmesi bakımından önemli farklılıklar gösterir [4,5,15,28,40]. Ölçüm sırasında hem base istasyonu hem de gezici GNSS alıcısı, ham sinyalleri genellikle RINEX (Receiver Independent Exchange) formatında kaydeder. Bu ham veriler, uydu kod ve taşıyıcı faz bilgilerini içerir ve post-proses aşamasında yüksek doğruluklu konum çözümü için temel veri kaynağını oluşturur (Şekil 2).

Ölçüm tamamlandıktan sonra, Sabit ve gezici alıcılarından elde edilen veriler, ofis ortamında özel yazılımlar aracılığıyla işlenir. İşlem sürecinde, base istasyonunun bilinen koordinatları ile gezici verileri arasında çift fark (double differencing) yöntemi uygulanır. Bu yöntem, atmosferik etkiler, uydu yörüngesi hataları ve alıcı saat farklılıkları gibi sistematik hataları minimize ederek, konum doğruluğunu önemli ölçüde artırır [12, 34]. Ambigüite çözümü, RTK'nın gerçek zamanlı kısıtlarından

bağımsız olarak gerçekleştirildiği için, PPK yöntemi daha istikrarlı ve güvenilir sonuçlar elde eder. Bu nedenle PPK, özellikle hassasiyetin kritik olduğu mühendislik ve fotogrametri uygulamalarında tercih edilmektedir.

PPK sistemlerinde baz uzunluğu RTK'ya kıyasla önemli ölçüde artırılabilir ve genellikle 50 km'ye kadar çıkabilir. Bu durum, geniş alan ölçümleri, zorlu arazi koşulları ve iletişim altyapısının sınırlı olduğu bölgelerde İHA tabanlı fotogrametri ve jeodezik ölçüm uygulamaları için PPK'yı ideal bir çözüm hâline getirir [5,6,22-24, 35]. Ayrıca, PPK yöntemi ile elde edilen yüksek doğruluklu konum verisi, arazideki ani sinyal kayıplarından veya veri sapmalarını minimize eder. Böylece hassas haritalama, 3B modelleme, altyapı izleme ve kültürel miras belgelenmesi gibi uygulamalarda güvenilir veri üretimini sağlar.

PPK'nın bir diğer önemli avantajı, ölçüm sırasında zaman kısıtı bulunmaması ve post-proses aşamasında farklı algoritmaların uygulanabilmesidir. Bu esneklik, özellikle detaylı fotogrametrik modelleme, hassas topografik ölçümler ve mühendislik projelerinde RTK'ya kıyasla daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlar. Literatürde, PPK yöntemi ile elde edilen verilerin, uzun baz uzunluklarında bile santimetre düzeyinde doğruluk sağladığı ve veri güvenilirliğinin yüksek olduğu gösterilmiştir.



Şekil 2. PPK çalışma prensibi (URL-1).

Sonuç olarak, PPK yöntemi, yüksek doğruluk, geniş baz uzunluğu ve esnek işlem imkânı gibi avantajları sayesinde saha koşullarına bağımlılığı minimize etmekte ve İHA tabanlı fotogrametri ile jeodezik ölçüm uygulamalarında verimli ve güvenilir veri elde edilmesini sağlamaktadır. Bu yönleriyle PPK, hassas ölçüm ve modelleme gerektiren uygulamalarda RTK'ya kıyasla stratejik bir alternatif olarak öne çıkmaktadır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Doğruluk ve Güvenilirlik

Gerçek zamanlı kinematik (RTK, Real-Time Kinematic) sistemleri, GNSS (Global Navigation Satellite System) ölçümlerine dayalı olarak anlık düzeltmeler üreterek yüksek doğrulukta koordinat bilgisi sağlar. Bu özellik, özellikle insansız hava araçları (İHA), hassas tarım, inşaat ve topografik haritalama gibi uygulamalarda kritik öneme sahiptir [20,36]. RTK sistemlerinde, sabit istasyonu ile gezici arasındaki sürekli veri akışı, diferansiyel düzeltmelerin anlık olarak iletilmesini sağlar ve santimetre seviyesinde konum doğruluğu elde edilir. Ancak bu sistemlerin performansı, iletişim altyapısına bağlıdır; veri bağlantısındaki kısa süreli kesintiler veya sinyal kayıpları, koordinat çözümünün kaybolmasına veya doğruluğunun düşmesine neden olabilir. Özellikle uzun mesafeli baz istasyonları veya karmaşık topografik yapılar altında, RTK doğruluğu atmosferik etkiler ve sinyal çoklu yansımaları (multipath) nedeniyle belirgin biçimde azalabilir.

PPK yöntemi ise, düzeltmelerin ölçüm sonrasında uygulanmasına yani sonradan işleme dayanır [4,5,9,15,23]. Bu yaklaşım, ölçüm sırasında veri iletişimi gerektirmediği için bağlantı kesintilerinden etkilenmez ve ölçüm sürecinin herhangi bir aşamasında veri

kaybına neden olmaz. PPK algoritmaları, GNSS gözlemlerini hem sabit baz istasyonundan hem de geziciden alınan ham kod ve faz verileriyle işleyerek, daha karmaşık atmosferik ve uydu yörünge düzeltmeleri uygular. Bu sayede özellikle uzun baz mesafelerinde (20–50 km) RTK'ya kıyasla daha yüksek kararlılık ve istikrar sağlanır [4-6,16,35].

Hassas çalışmalarda, PPK yönteminin RTK'ya kıyasla çeşitli avantajları olduğu vurgulanmaktadır. Örneğin, PPK ile yapılan analizler, iyonosferik ve troposferik modelleme doğruluğunun artırılması sayesinde sistematik hataların azaltılabildiğini göstermektedir [5,12,17, 27]. Ayrıca, PPK, yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda (örneğin, hassas topografya, kültürel miras belgeleme veya jeodezik ölçümler) RTK'ya göre daha güvenilir bir yöntem olarak öne çıkar; çünkü post-processing (sonradan işleme) aşamasında yapılan hassasiyet kontrolleri ve veri filtreleme teknikleri, ölçüm sonuçlarının istatistiksel tutarlılığını artırır.

Sonuç olarak, RTK ve PPK yöntemleri her ikisi de santimetre seviyesinde konum doğruluğu sağlayabilse de, PPK yöntemi uzun baz mesafeleri, iletişim sınırlamaları ve atmosferik etkiler açısından daha güvenilir ve tutarlı sonuçlar üretmektedir. Bu nedenle yüksek hassasiyet gerektiren saha uygulamalarında PPK, tercih edilen yöntem olarak literatürde sıkça önerilmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. RTK ve PPK yöntemlerinin avantaj, dezavantaj ve özelliklerini karşılaştırma.

Özellik / Kriter	RTK (Real-Time Kinematic)	PPK (Post-Processed Kinematic)
Düzeltilme Zamanı	Gerçek zamanlı (ölçüm sırasında)	Sonradan işleme (post-processing)
İletişim Gereksinimi	Sürekli veri bağlantısı gerekir	Ölçüm sırasında iletişim gerekmez
Doğruluk	Santimetre seviyesinde, ancak iletişim ve atmosferik koşullara bağımlı	Santimetre seviyesinde, uzun baz mesafelerinde daha kararlı
Bağlantı Kesintilerinin Etkisi	Koordinat çözümü kaybolabilir veya doğruluk düşer	Ölçümleri etkilemez
Atmosferik Modelleme	Kısa baz mesafelerinde yeterli, uzun mesafelerde doğruluk azalabilir	Uzun baz mesafelerinde atmosferik düzeltmeler daha hassas ve güvenilir
Uygulama Alanları	İHA navigasyonu, hassas tarım, inşaat, anlık haritalama	Hassas topografya, kültürel miras belgeleme, jeodezik ölçümler, uzun bazlı projeler
Veri Kalite Kontrolü	Sınırlı, ölçüm sırasında kontrol mümkün	Post-processing (sonradan işleme) ile detaylı kalite kontrol ve filtreleme uygulanabilir
Avantaj	Anlık koordinatlama, hızlı veri elde etme	Daha kararlı ve güvenilir sonuç, uzun baz mesafelerinde üstün doğruluk
Dezavantaj	Bağlantıya bağımlı, uzun mesafelerde doğruluk düşebilir	Gerçek zamanlı kullanım mümkün değil, post-processing (sonradan işleme) süresi gerekir

3.2. Uygulama Alanları

Gerçek zamanlı kinematik (RTK) sistemleri, GNSS tabanlı anlık düzeltme mekanizmaları sayesinde, konum bilgilerinin gerçek zamanlı olarak elde edilmesini gerektiren uygulamalarda öncelikli olarak tercih edilmektedir. Tarımsal otomasyon ve hassas tarım uygulamalarında RTK sistemleri, traktörlerin

veya tarım makinelerinin hassas yönlendirilmesini sağlayarak verimliliği artırır ve kaynak kullanımını optimize eder [20, 26,36,38]. Benzer şekilde, otonom araç ve insansız hava araçları (İHA) navigasyonu gibi uygulamalarda, anlık koordinat ve yönelim bilgisi kritik öneme sahiptir; RTK sistemleri, bu tür senaryolarda santimetre seviyesinde doğruluk sağlayarak güvenli ve hassas ölçümlerin yapılmasına

imkân tanır. Ayrıca ölçümler anında değerlendirilebilir ve gerekli düzeltmeler arazide uygulanabilir olduğundan mühendislik ölçümleri, inşaat ve saha uygulamalarında RTK, hızlı veri elde etme ve proje süresini kısaltma avantajı sunar.

PPK yöntemi ise, ölçüm sonrası veri işleme yaklaşımına dayandığı için anlık konum bilgisinin gerekli olmadığı, ancak yüksek doğruluk ve veri güvenilirliğinin kritik olduğu uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [4,19, 23, 24, 28, 41]. İHA fotogrametrisi ve LiDAR uçuş planlaması gibi uzaktan algılama uygulamalarında, PPK sayesinde elde edilen konum verileri, görüntü ve nokta bulutu verileriyle yüksek hassasiyetli entegrasyon sağlar. Bu, özellikle topografik haritalama, 3B model üretimi ve hassas ölçümlerin gerektiği kültürel miras belgelenmesi

çalışmalarında önemlidir. Ayrıca, jeodinamik ve jeodezik ölçümlerde, PPK yöntemi uzun baz mesafelerinde atmosferik ve uydu yörünge hatalarını daha etkin düzeltir; bu sayede ölçüm sonuçları daha kararlı ve istikrarlı bir veri seti oluşturur. Ölçüm sürecinde veri iletişimine bağımlı olmaması, PPK'yı zorlu saha koşullarında, sinyal kesintilerinin olabileceği alanlarda da güvenilir bir seçenek haline getirir (Tablo 2).

Sonuç olarak, RTK ve PPK yöntemleri farklı operasyonel gereksinimler doğrultusunda tamamlayıcı nitelikte kullanılmaktadır: RTK, anlık ve arazide hızlı uygulama gerektiren senaryolarda, PPK ise yüksek doğruluk, veri güvenilirliği ve uzun baz mesafelerinde istikrar gerektiren projelerde öncelikli tercih olarak öne çıkmaktadır.

Tablo 2. RTK ve PPK yöntemlerinin uygulama alanları.

Uygulama Alanı	RTK (Real-Time Kinematic)	PPK (Post-Processed Kinematic)
Tarımsal Uygulamalar	Tarımsal otomasyon, hassas tarım makinelerinin yönlendirilmesi, anlık saha kontrolü [10], [18]	Veri sonrası analiz gereken durumlarda sınırlı kullanım
Otonom Araç ve İHA Navigasyonu	Anlık koordinat ve yönelim bilgisi gerektiren senaryolarda tercih edilir [10], [18]	Anlık yönlendirme gerekmeyen İHA uçuş planlamalarında kullanılabilir [3], [7]
Mühendislik ve Saha Ölçümleri	Saha uygulamaları, inşaat ve altyapı projelerinde hızlı veri elde etme avantajı	Yüksek doğruluk gerektiren mühendislik ve jeodezik ölçümlerde post-processing (sonradan işleme) ile analiz [12], [22]
Fotogrametri ve Uzaktan Algılama	Gerçek zamanlı konum gerektiren durumlarda sınırlı kullanım	İHA fotogrametrisi, LiDAR uçuş planlaması, 3B modelleme ve hassas haritalama [3], [7], [12], [22]
Jeodezi ve Jeodinamik Ölçümler	Kısa baz mesafelerinde hızlı ölçüm	Uzun baz mesafelerinde ve yüksek veri güvenilirliği gereken jeodinamik çalışmalar [3], [12]
Avantaj / Öne Çıkan Özellik	Anlık koordinatlama, hızlı veri elde etme, arazide uygulama kolaylığı	Yüksek doğruluk, veri güvenilirliği, uzun baz mesafelerinde istikrar ve sistematik hata düzeltme

3.3. Sistemlerin Karşılaştırılması

RTK (Real Time Kinematic) ve PPK (Post-Processed Kinematic) sistemleri, İHA tabanlı konumlandırma ve fotogrametri uygulamalarında santimetre düzeyinde konum doğruluğu sağlayan iki temel GNSS tabanlı yöntemdir. Her iki sistem de taşıyıcı faz ölçümlerine dayalı hassas konum belirleme yapmasına rağmen, veri işleme zamanlaması, iletişim gereksinimi ve operasyonel uygulama açısından belirgin farklılıklar gösterir. Tablo 3, bu iki sistemin temel teknik ve operasyonel özelliklerini özetlemektedir.

RTK ve PPK sistemleri, aynı temel GNSS prensiplerine dayansa da uygulama alanları bakımından farklı avantajlara sahiptir. RTK sistemi, gerçek zamanlı düzeltmeler sayesinde saharide anında konum doğrulaması sağlar. Bu, özellikle anlık konum

doğruluğu gerektiren görevlerde (örneğin hassas tarımsal ilaçlama, inşaat sahası konum kontrolü veya navigasyon destekli ölçümler) büyük bir avantaj sunar. Ancak RTK, sabit bir iletişim bağlantısına (radyo, GSM veya NTRIP) ihtiyaç duyar. Bu durum, sinyalin zayıf olduğu veya ağ erişiminin kısıtlı olduğu alanlarda sistemin performansını düşürebilir.

PPK ise uçuş sırasında elde edilen ham GNSS verilerini kaydeder ve bu verileri referans istasyonu ölçümleriyle uçuş sonrası (post-processing) olarak işler. Bu yöntem, sahada iletişim altyapısına bağımlılığı ortadan kaldırır ve veri kalitesini uçuş sonrası daha kontrollü bir şekilde optimize etme imkânı sağlar. Bu nedenle PPK sistemi, kültürel miras dokümantasyonu, topoğrafik haritalama, mühendislik projeleri ve zorlu topoğrafik koşullarda yapılan ölçümler gibi yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda tercih edilmektedir.

Tablo 3. RTK ve PPK karşılaştırması.

Özellik	RTK (Real Time Kinematic)	PPK (Post-Processed Kinematic)
Düzeltilme Zamanı	Gerçek zamanlı (uçuş esnasında düzeltme uygulanır)	Ölçüm sonrası (post-processing ile düzeltme yapılır)
İletişim Gereksinimi	Gerekli (radyo modem, GSM, NTRIP bağlantısı)	Gerekli değil (uçuş sonrası referans verisiyle işlenir)
Ambigüite Çözümü	Online, gerçek zamanlı olarak çözülür	Offline, uçuş sonrası yazılımsal olarak çözülür
Ortalama Konum Doğruluğu	1–3 cm (sinyal koşullarına bağlı)	1–2 cm (ideal referans verisiyle daha kararlı)
Maksimum Baz Uzunluğu	10–20 km arası (sinyal kalitesiyle sınırlı)	50 km'ye kadar (uzun bazlarda bile yüksek doğruluk)
Veri Güvenilirliği	Sinyal kaybı veya iletişim kesintilerinden etkilenebilir	Uçuş sonrası işleme düzeltme yapıldığı için daha stabil
Kullanım Alanı	Gerçek zamanlı konum gerektiren operasyonlar (ör. tarımsal uygulamalar, saha ölçümleri)	Ofis tabanlı yüksek doğruluk gerektiren projeler (ör. fotogrametri, kültürel miras, mühendislik analizleri)

Ayrıca, baz uzunluğu (referans istasyonu ile İHA arasındaki mesafe) açısından da PPK sistemleri daha avantajlıdır. RTK sistemleri genellikle 10–20 km aralığında optimum doğruluk sunarken, PPK sistemleri uygun referans verisi ile 50 km'ye kadar mesafelerde dahi santimetre düzeyinde doğruluk elde edebilir. Bu özellik, geniş alanlı haritalama projelerinde PPK'yı daha istikrarlı bir seçenek haline getirir.

Sonuç olarak, RTK ve PPK teknolojileri birbirini tamamlayıcı niteliktedir. RTK, hız ve operasyonel pratiklik açısından avantajlı iken, PPK, veri istikrarı, sinyal bağımsızlığı ve yüksek doğruluk açısından üstünlük göstermektedir. Uygulama senaryosuna göre uygun sistemin seçilmesi, İHA tabanlı fotogrametri ve konumlama projelerinde ölçüm kalitesini ve verimliliği doğrudan etkiler [6,13,14, 39].

4. Sonuçlar

RTK ve PPK yöntemleri, GNSS tabanlı yüksek doğruluklu konumlama teknolojilerinin en gelişmiş örneklerindendir. RTK, gerçek zamanlı sonuç üretme kabiliyeti sayesinde dinamik saha çalışmaları için ideal bir çözümdür. Ancak veri iletimine bağımlı olması ve menzil kısıtlamaları yöntemin sınırlayıcı yönleridir.

PPK yöntemi ise iletişim bağlantısı gerektirmemesi, uzun baz mesafelerinde yüksek doğruluk sağlaması ve veri istikrarı nedeniyle özellikle hava fotogrametrisi, LiDAR ölçümleri ve jeodezik analizlerde tercih edilmektedir. Her iki teknik de birbirine çok benzemektedir ancak PPK, sağlamlığı ve yüksek doğruluğu nedeniyle belirgin bir avantaja sahiptir.

Sonuç olarak, hangi yöntemin kullanılacağı, projenin amacına, çalışma koşullarına ve doğruluk gereksinimlerine bağlı olarak belirlenmelidir. RTK, anlık operasyonel doğruluk gerektiren uygulamalarda; PPK ise veri bütünlüğü ve yüksek doğruluk öncelikli çalışmalarda öne çıkmaktadır.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Yılmaz, H. M., Yakar, M., & Yıldız, F. (2008). Digital photogrammetry in obtaining of 3D model data of irregular small objects. *ISPRS Archives*, 37, 125–130.
- [2] Yılmaz, H. M., Karabörk, H., & Yakar, M. (2000). Yersel fotogrametrinin kullanım alanları. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(1), 1–6.
- [3] Mohammed, O., & Yakar, M. (2016). Yersel fotogrametrik yöntem ile ibadethanelerin modellenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(2), 85–95.
- [4] Alyılmaz, C., Alyılmaz, S., & Yakar, M. (2010). Measurement of petroglyphs (rock of arts) of Qobustan with close range photogrammetry. *ISPRS Archives*, 38(5), 29–32.
- [5] Yakar, M., Orhan, O., Ulvi, A., Yiğit, A. Y., & Yüzer, M. M. (2015). *Sahip Ata Külliyesi rölöve örneği*. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası.
- [6] Yakar, M., & Doğan, Y. (2017). Mersin Silifke Mezgit Kale Anıt Mezarı fotogrametrik rölöve alımı ve üç boyutlu modelleme çalışması. *Geomatik*, 2(1), 11–17.

- [7] Yakar, M., Murat Yılmaz, H., Yıldız, F., Zeybek, M., Şentürk, H., & Çelik, H. (2010). Silifke-Mersin bölgesinde Roma dönemi eserlerinin 3 boyutlu modelleme çalışması ve animasyonu. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (101).
- [8] Yakar, M., Uysal, M., Toprak, A. S., & Polat, N. (2013). 3D modeling of historical Doger caravansaries by digital photogrammetry. *ISPRS Archives*, 40, 695–698.
- [9] Pulat, F., Yakar, M., & Ulvi, A. (2022). Three-dimensional modeling of the Kubbe-i Hasiye Shrine with terrestrial photogrammetric method. *Cultural Heritage and Science*, 3(1), 6–11.
- [10] Ünel, F. B., Kuşak, L., Çelik, M., Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Kıyı çizgisinin belirlenerek mülkiyet durumunun incelenmesi. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 2(1), 33–40.
- [11] Unal, M., Yakar, M., & Yıldız, F. (2004). Discontinuity surface roughness measurement techniques and the evaluation of digital photogrammetric method. In *Proceedings of the ISPRS 20th International Congress* (pp. 1103–1108).
- [12] Karataş, L., Alptekin, A., Karabacak, A., & Yakar, M. (2022). Detection and documentation of stone material deterioration in historical masonry buildings using UAV photogrammetry: A case study of Mersin Sarisih Inn. *Mersin Photogrammetry Journal*, 4(2), 53–61.
- [13] Villi, O., & Yakar, M. (2022). İnsansız hava araçlarının kullanım alanları ve sensör tipleri. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(2), 73–100.
- [14] Yılmaz, H. M., Mutluoğlu, Ö., Ulvi, A., Yaman, A., & Bilgilioglu, S. S. (2018). İnsansız hava aracı ile ortofoto üretimi ve Aksaray Üniversitesi kampüsü örneği. *Geomatik*, 3(2), 129–136.
- [15] Karataş, L., Alptekin, A., Karabacak, A., & Yakar, M. (2022). Detection and documentation of stone material deterioration in historical masonry buildings using UAV photogrammetry: A case study of Mersin Sarisih Inn. *Mersin Photogrammetry Journal*, 4(2), 53–61.
- [16] Kanun, E., Alptekin, A., Karataş, L., & Yakar, M. (2022). The use of UAV photogrammetry in modeling ancient structures: A case study of “Kanytellis”. *Advanced UAV*, 2(2), 41–50.
- [17] Yakar, M., & Yılmaz, H. M. (2011). Determination of erosion on a small fairy chimney. *Experimental Techniques*, 35(5), 76–81.
- [18] Yakar, M., Yılmaz, H. M., Güleç, S. A., & Korumaz, M. (2009). Advantage of digital close-range photogrammetry in drawing of muqarnas in architecture. *Information Technology Journal*, 8(2), 202–207.
- [19] Kanun, E., Kanun, G. M., & Yakar, M. (2022). 3D modeling of car parts by photogrammetric methods: Example of brake discs. *Mersin Photogrammetry Journal*, 4(1), 7–13.
- [20] Yakar, M., & Kocaman, E. (2018). Kayseri-Sahabiye Medresesi 3-boyutlu modelleme çalışması ve animasyonu. *International Journal of Engineering Research and Development*, 10(1), 133–138.
- [21] Yıldız, F., Karabörk, H., Yakar, M., & Yılmaz, H. M. (2005). Yersel fotogrametride kullanılan metrik olmayan dijital kameraların kalibrasyonunda kullanılan yazılımların incelenmesi üzerine bir çalışma. *Harita Dergisi*, 134, 61–70.
- [22] Yakar, M., Yıldız, F., Alyılmaz, C., & Yılmaz, H. M. (2009). Photogrammetric study for Sircali Medrese Door. In *Proceedings of the 9th International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM 2009)* (pp. 879–884).
- [23] Villi, O., & Yakar, M. (2023). İnsansız hava araçları ve coğrafi bilgi sistemleri uygulamaları. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 5(1), 20–33.
- [24] Yakar, M., Yıldız, F., Uray, F., & Metin, A. (2010). Photogrammetric measurement of the Meke Lake and its environment with kite photographs to monitoring of water level to climate change. In *ISPRS Commission V Mid-Term Symposium* (pp. 613–616).
- [25] Mesas-Carrascosa, F. J., García-María, D. N., de Larriva, J. E. M., & García-Ferrer, A. (2016). An analysis of the influence of flight parameters in the generation of unmanned aerial vehicle (UAV) orthomosaicks to survey archaeological areas. *Sensors*, 16, 1838.
- [26] Gonzalez, E. F., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramirez, F., & Martinez-Carricondo, P. (2020). UAV photogrammetry accuracy assessment for corridor mapping based on the number and distribution of ground control points. *Remote Sensing*, 12(15), 2447.
- [27] Oniga, V. E., Breaban, A. I., Pfeifer, N., & Chirila, C. (2020). Determining the suitable number of ground control points for UAS images georeferencing by varying number and spatial distribution. *Remote Sensing*, 12, 876, 1–23.
- [28] Yakar, M., & Yılmaz, H. M. (2008). Using in volume computing of digital close range photogrammetry. *The International Archives of*

the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 37(B3b).

- [29] Ceylan, A., Mutluoğlu, Ö., & Yigit, C. Ö. (2006). Cost and accuracy analysis of detail measurements by real-time kinematic GPS (RTK-GPS). In *Proceedings of the XXIII FIG Congress*. Munich, Germany.
- [30] Gil, M. L., Peña-Villasenín, S., Ana, M. S. B., Ortiz-Sanz, J., & Peraleda-Vázquez, S. (2025). 3D geometric survey of cultural heritage by UAV in inaccessible coastal or shallow aquatic environments. *Archaeological Prospection*, 32, 19–34.
- [31] Pirtti, A. (2021). Evaluating the accuracy of post-processed kinematic (PPK) positioning technique. *Geodesy and Cartography*, 47(2), 66–70.
- [32] Teppati, L. L., Chiabrando, F., & Maschio, P. (2023). Direct georeferencing approaches for close-range and UAV photogrammetry in the built heritage domain. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-M-2, 1557–1564.
- [33] Shouny, A. E., Yakoub, N., & Hosny, M. (2017). Evaluating the performance of using PPK-GPS technique in producing topographic contour map. *Marine Geodesy*, 40(4), 224–238.
- [34] Tomastik, J., Mokros, M., Surovy, P., Grznarova, A., & Mergani, J. (2019). UAV RTK/PPK method—An optimal solution for mapping inaccessible forested areas? *Remote Sensing*, 11(6), 721.
- [35] Glavacevic, K., Maric, I., & Siljeg, A. (2023). Accuracy assessment of direct georeferencing using UAV Matrice 210 RTK V2 on Gully Santiš, Island of Pag (Croatia) (p. 191).
- [36] Famiglietti, N. A., Cecere, G., Grasso, C., Memmolo, A., & Vicari, A. (2021). A test on the potential of a low cost unmanned aerial vehicle RTK/PPK solution for precision positioning. *Sensors*, 21(11), 3882.
- [37] Eker, R., Alkan, E., & Aydın, A. (2021). A comparative analysis of UAV-RTK and UAV-PPK methods in mapping different surface types. *European Journal of Forest Engineering*, 7(1), 12–25.
- [38] Czyza, S., Szuniewicz, K., Kowalczyk, K., Dumalski, A., Ogrodniczak, M., & Zieleniewicz, L. (2023). Assessment of accuracy in unmanned aerial vehicle (UAV) pose estimation with the real-time kinematic (RTK) method on the example of DJI Matrice 300 RTK. *Sensors*, 23(4), 2092.
- [39] Turner, D., Lucieer, A., & Wallace, L. (2014). Direct georeferencing of ultra high-resolution UAV imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52, 2738–2745.
- [40] Rabah, M., Basiouny, M., Ghanem, E., & Elhadary, A. (2018). Using RTK and VRS in direct geo-referencing of the UAV imagery. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 7, 220–226.
- [41] Forlani, G., Diotri, F., Di Cella, U. M., & Roncella, R. (2019). Indirect UAV strip georeferencing by on-board GNSS data under poor satellite coverage. *Remote Sensing*, 11, 1765.
- [42] Scout Aerial. (n.d.). *RTK and PPK drone surveys*. <https://www.scoutaerial.com.au/rtk-and-ppk-drone-surveys/>



© Author(s) 2025.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>