

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA (İHA)
DÜŞÜK MALİYETLİ GNSS ALICILARININ
KONUM BELİRLEME PERFORMANSI**

**NEDRET BOZKURT
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI**

**GEBZE
2020**

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA (İHA)
DÜŞÜK MALİYETLİ GNSS ALICILARININ
KONUM BELİRLEME PERFORMANSI**

NEDRET BOZKURT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI**

DANIŞMANI

PROF. DR. MEHMET HALİS SAKA

GEBZE

2020

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**POSITIONING PERFORMANCE OF LOW
COST GNSS RECEIVERS IN UNMANNED
AERIAL VEHICLES (UAV)**

NEDRET BOZKURT

**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF GEOMATIC ENGINEERING
GEODESY AND GEOGRAPHICAL INFORMATION
TECHNOLOGIES PROGRAMME**

**THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. MEHMET HALIS SAKA**

**GEBZE
2020**



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 29/01/2020 tarih ve 2020/07 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 26/02/2020 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Nedret BOZKURT'un tez çalışması Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Mehmet Halis SAKA

ÜYE

: Prof. Dr. Reha Metin ALKAN

ÜYE

: Prof Dr. Taşkın KAVZOĞLU

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Günümüzde jeodezik standartlarda düşük maliyetli GNSS cihazları üretilmekte ve bunlar otonom araçlar, insansız hava araçları (İHA), demiryolları, denizcilik, tarım, haritacılık, haberleşme, enerji, doğa olayları, spor ve meteorolojik çalışmalar gibi birçok alanda kullanılmaktadır. İHA ile harita üretiminde yüksek konum doğruluğunun elde edilebilmesi, zemin tesislerinin konumlarının hassas bir şekilde hesaplanması ile gerçekleşmektedir. Ancak bu tesislerin kurulması ve değerlendirilmesi süreci uzun sürmekte, konumlama hızını geciktirmektedir. Ayrıca ticari İHA'lar üzerinde tesis edilen yüksek maliyetli sistemler, harita üretim maliyetlerini de arttırmaktadır. Üretilmeye başladıklarında kod ölçümleri ile konumlama yapan düşük maliyetli alıcıların, tek ve çift frekanslı ölçümlerle yapılmaya başlanması ile birlikte İHA'larda tercih edilmeye başlanmıştır. Artık GNSS alıcısı üreticileri, jeodezik konum belirleme hassasiyeti seviyesinde ($\pm 2-5$ cm) düşük maliyetli ve gerçek zamanlı çözümlenmeye sahip ürünler sunmaktadır. Bu çalışmada, tek frekanslı düşük maliyetli GNSS alıcısı, konum doğruluğu performansı açısından incelenmiştir. Test çalışmasında DJI Phantom 4 Pro İHA platformuna ilave edilen Ublox C94M8P tek frekanslı GNSS alıcısının performansı, gerçek zamanlı kinematik (RTK), ağ üzerinden kinematik (N-RTK) ve ölçme sonrası (PPK) veri değerlendirme teknikleri kullanılarak, Ublox ZEDF9P ve Leica Viva GS14 çift frekanslı referans alıcılarının PPK sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Veriler U-Center, RTKLIB gibi açık kaynaklı yazılımlar ve Leica Geo Office 8.4 ticari yazılımı ile değerlendirilmiştir. Tek frekanslı GNSS alıcısının kinematik ölçme tekniğiyle elde edilen sonuçlarının cm mertebesinde olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Düşük Maliyetli GNSS alıcıları, GPS, RTK-GPS, GNSS, İnsansız Hava Araçları (İHA), Tek frekanslı GPS

SUMMARY

Today, low-cost GNSS devices are produced in geodetic standards and they are used in many fields such as autonomous vehicles, unmanned aerial vehicles (UAV), railways, maritime, agriculture, cartography, communication, energy, natural events, sports, and meteorological studies. Achieving high position accuracy in map production with UAV is realized by precisely calculating the locations of the ground facilities. However, the process of establishing and evaluating these facilities takes a long time and delays the positioning speed. In addition, high-cost systems installed on commercial UAVs increase map production costs. When they started to be produced, low-cost receivers making positioning with code measurements started to be preferred with single and dual-frequency measurements and started to be preferred in UAVs. GNSS receiver manufacturers now offer products with low cost and real-time resolution at the geodetic positioning accuracy level ($\pm 2\text{-}5\text{ cm}$). In this study, a single-frequency low-cost GNSS receiver has been examined in terms of location accuracy performance. In the test study, the performance of Ublox C94M8P single-frequency GNSS receiver added to the DJI Phantom 4 Pro UAV platform, real-time kinematics (RTK), network kinematics (N-RTK) and post-processing (PPK) data evaluation techniques were used. These measurement results were then compared with the PPK results of Ublox ZEDF9P and Leica Viva GS14 dual-frequency reference receivers. The data were evaluated with open source software such as U-Center, RTKLIB, and Leica Geo Office 8.4 commercial software. It has been seen that the results of the single-frequency GNSS receiver with the kinematic measurement technique are in cm range.

Key Words: Low-Cost GNSS Receiver, RTK-GPS, GNSS, Unmanned Aerial Vehicles (UAV), Single Frequency GPS

TEŞEKKÜR

Bu alıőmada bana yol gsteren değerli tez danıőman hocam Prof. Dr. M. Halis SAKA'ya, anlayıő ve destekleri için AS-YOL İnaaat Genel Koordinatr Ulvi TÜRKEK'e, yardımları için harita teknikeri İbrahim OBANOğLU'na, sevgisi ve desteğiyle her zaman yanımda olan kızlarım ve değerli eőim Arzu BOZKURT'a, teőekkrlerimi borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix-x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. DÜŞÜK MALİYETLİ GNSS ALICILARI	2
2.1. Düşük Maliyetli RTK Değerleme ve Uçuş Planlayıcı Yazılım	4
Örnekleri	
2.2. İHA'nın Tarihsel Gelişimi ve Haritacılıkta Kullanımı	7
2.3. Haritacılıkta RTK-İHA Sistemleri	9
3. METODOLOJİ	13
4. UYGULAMA	16
4.1. Çalışma Alanı	16
4.2. Verilerin Değerlendirilmesi	17
4.3. Değerlendirme Sonuçları	19
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	25
KAYNAKLAR	26
ÖZGEÇMİŞ	29
EKLER	30
Diğer Ekler (CD)	

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
AR	: Belirsizlik çözümüleme
BDS	: Çin Uydu Navigasyon Sistemi
DD	: Çift farklar
EKF	: Genişletilmiş kalman filtresi
ESC	: Elektronik hız kontrolü
EuroSDR	: Avrupa Mekansal Veri Araştırmaları Organizasyonu
GALILEO	: Avrupa Küresel Navigasyon Uydu Sistemi
GLONASS	: Küresel Uydu Konumlandırma Sistemi
GNSS	: Küresel Navigasyon Uydu Sistemi
GPS	: Küresel Konumlama Sistemi
GSA	: Avrupa GNSS Acentası
GSM	: Mobil İletişim İçin Küresel Sistem
HDOP	: Yatay konum hassasiyeti
IGS	: Uluslararası GNSS servisi
IMU	: Ataletsel ölçme sistemi
IRNSS	: Hint Bölgesel Uydu Konumlandırma Sistemi
İHA/UAV	: İnsansız hava aracı
LIDAR	: Lazer Görüntüleme Algılama ve Değişme
MEMS	: Mikro elektro mekanik sistemi
NMA	: Ulusal haritalama ajansı
NMEA	: Ulusal Deniz Elektroniği Derneği
N-RTK	: Ağ tabanlı gerçek zamanlı konumlama
NTRIP	: İnternet Protokolü ile RTCM'nin Ağ Üzerinden Taşınması
PDOP	: Konum hassasiyeti ölçütü
PPP	: Hassas nokta konumlama
QZSS	: Quasi-Zenith (Japonya) Uydu Sistemi
RINEX	: Alıcı bağımsız değişim biçimi
RPAS	: Uzaktan pilotlu hava sistemleri

Simgeler ve Açıklamalar

Kısaltmalar

RTCM	:	Deniz Hizmetleri Radyo Teknik Komisyonu
SBAS	:	Uydu tabanlı güçlendirme sistemi
UART	:	Seri haberleşme protokolü (Evrensel Asenkron Alıcı/Verici)
UAS	:	İnsansız hava sistemi
USB	:	Evrensel veri seri yolu
VDOP	:	Düşey konum hassasiyeti
WLAN	:	Kablosuz Yerel Alan Ağı



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: a)Active GPS patch anten (15-25\$), b) NAV RTK AN-301 helical anten (105\$).	3
2.2: Ublox U-Center ücretsiz RTK yazılımı.	5
2.3: RTKLIB ücretsiz RTK yazılımı.	5
2.4: Ardupilot (Mission Planner) ücretsiz İHA navigasyon yazılımı.	6
2.5: a) DJI Phantom 4-RTK döner kanat b) SATLAB SLA-1 sabit kanat RTK/PPK-İHA.	8
2.6: Düzeltme verilerinin radyo ve internet üzerinden aktarılması.	11
3.1: a) İHA platformuna yerleştirilmiş test düzeneği, b) Anten ayırıcı ile oluşturulan test düzeneği.	13
3.2: RTK ve Ağ-RTK test düzeneği.	14
3.3: a) Ublox C94M8P tek frekanslı RTK uygulama kartı, b)Ardusimple RTK2B çift frekanslı RTK uygulama kartı, c) Leica Viva GS14 çift frekanslı GNSS alıcısı.	14
4.1: Çalışma alanı.	16
4.2: a) BAZ1 istasyonunda C94M8P tek frekanslı alıcısı. b) BAZ2 istasyonunda Leica GS14 çift frekanslı GNSS alıcısı.	17
4.3: Test1 Klasik RTK sonuçları.	19
4.4: Test1 PPK sonuçları.	20
4.5: RTK ölçme sonuçlarına ait hata dağılım grafikleri.	21
4.6: Test2 Ağ-RTK sonuçları.	22
4.7: Test2 PPK sonuçları.	22
4.8: Ağ-RTK ölçme sonuçlarına ait hata dağılım grafikleri.	23

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Ticari RTK-İHA örnekleri ve özellikleri.	9-10
3.1: Klasik RTK test yöntemi.	15
3.2: Ağ-RTK test yöntemi.	15
4.1: Klasik RTK ölçme testi.	18
4.2: Ağ-RTK ölçme testi.	18
4.3: Test ölçümlerinin ortalama hataları ve standart sapmalar.	24

1. GİRİŞ

GNSS konum belirleme beklenen doğruluk bakımından kullanılacak donanım ve ölçme yöntemiyle birincil derecede alakalıdır. Yüksek doğrulukta konum belirleme jeodezik tip aletler ve rölatif konum belirleme yöntemleri tercih edilerek gerçekleştirilir. Bununla beraber alıcı teknolojisindeki gelişmeler ve alıcı üretiminin yaygınlaşması jeodezik tip alıcıların dışında, genellikle faz ölçülerini de kayıt edebilen ve düşük maliyetli (Low Cost) olarak adlandırılan alıcılara da rölatif konum belirlemenin yapılabildiği bir çok çalışmada sunulmuştur.

Bugün hem kod, hem de faz ölçümleri yapabilen alıcılar 100\$'dan başlayan fiyatlarla satın alınabilmektedir [1]. Temin edilmesinin kolay hale gelebilmesi kullanım alanlarının yaygınlaşmasına, hassas ölçümler için araştırmalarda kullanılmasına yol açmıştır. Bazı araştırmacılar yer hareketleri [2], hidrografik ölçmeler [3], su yüzeyi araştırmaları [4], atmosferik olaylar [5], [6] gibi konularda düşük maliyetli alıcıların kullanılmasında olumlu sonuçlar elde etmişlerdir. Maliyetleri yanında ebatlarının küçük ve ağırlıklarının hafif olması, İnsansız Hava Araçları (İHA)'na entegre edilerek, hava görüntüleri ile üç boyutlu haritalama olanağı sağlamıştır. Farklı kamera ve sensörler yardımıyla tarımsal, kadastral ve mimari çalışmalarda da etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada İHA (DJI Phantom 4 pro) platformu üzerinde tesis edilen düşük maliyetli tek frekanslı Ublox C94M8P GNSS alıcısına, yine tek frekanslı bir GNSS alıcısından oluşan baz istasyonundan RTCM mesajları gönderilerek, gerçek zamanlı konumlama (RTK) ve internet ağı üzerinden gerçek zamanlı konumlama (N-RTK) performansı bir test düzeneği oluşturulmuştur. Platform üzerinde anlık kaydedilen konum bilgileri, aynı platform üzerinde çift frekanslı GNSS alıcısına ait ölçüm sonrası çözümleme (PPK) ile karşılaştırılmıştır. Çözüm sonuçlarının cm mertebesinde olduğu gözlemlenmiştir.

2. DÜŞÜK MALİYETLİ GNSS ALICILARI

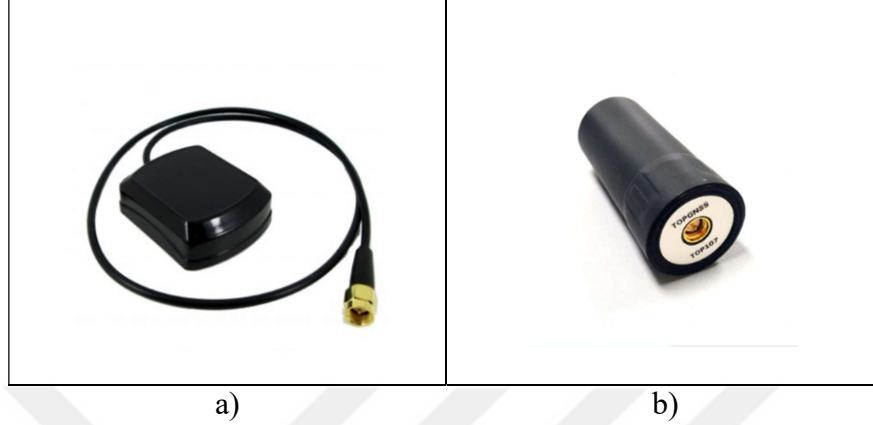
Düşük maliyetli ve tek frekanslı GNSS alıcılarının farklı alanlarda kullanılması yaygınlaşmakta ve kullanıcılar konumlama hassasiyetlerini test etmeye yoğunlaşmaktadır. Yeni jeodezik teknolojilerin test edilmesi, mm hassasiyetinde ölçüm yapan çift frekanslı jeodezik GNSS alıcıları ile aynı ölçme koşullarında test edilmektedir. Bununla ilgili örnek araştırmalardan bahsetmek gerekmektedir.

Stuttgart Üniversitesinde yapılan bir araştırmada, çift frekanslı jeodezik GNSS alıcısı ile 1~8 km arasında değişen bazlar mm hassasiyetinde ölçülmüş, daha sonra tek frekanslı GNSS alıcıları ile yapılan gözlemlerle farklar gözlemlenmiştir. Hesaplamalar ölçüm sonrası (Post-Processing) rölatif olarak, IGS hızlı yörünge bilgilerine göre yapılmıştır. Binalara yakın olan noktada dm, diğer bütün bazlarda cm seviyesi doğruluk elde edilmiştir [7].

Farklı zaman aralıklarında yapılan çift frekanslı ve tek frekanslı ölçümler, uydu gökyüzü geometrisindeki değişikliklerden kaynaklı hassasiyet testlerini etkilemektedir. Bu nedenle çift ve tek frekanslı alıcıları tek bir anten bağlantısı sağlanarak aynı noktada RINEX verileri toplanmıştır. Örnek bir uygulama düşük maliyetli ve L1 frekanslı GNSS alıcısını test etmek amacıyla Endonezya Jeodezik Araştırma Grubu tarafından yapılmıştır. 1 km'den az baz hatları ve çift farklar alınarak (Double-Difference) alınmıştır. Yapılan deneyde, açık gökyüzü, ağaçlık alanlar ve şehir ortamında gözlemler yapılmış, ölçü sonrası (Post-Processing) değerlendirme sonuçlarında 15°'lik gökyüzü maskesi ile konum hassasiyet ölçütü (PDOP), yatay konum hassasiyeti (HDOP) ve düşey konum hassasiyeti (VDOP) değerleri sırasıyla 1.4, 0.8 ve 1.2 olarak bulunmuştur. Düşük maliyetli GNSS alıcısının açık bir gökyüzü ortamında cm altı değerler, kapalı bir gökyüzü (ağaç, bina vs.) ortamında ise dm seviyesinde sonuçlar elde edilmiştir [8].

Yine başka bir çalışmada cep telefonlarında kullanılan çok düşük maliyetli GNSS anteni, düşük maliyetli anten ve jeodezik anten aynı gökyüzü koşullarında test edilmiş, maliyetle doğru orantılı olarak kazanç paterni, polarizasyon verimliliğinin azaldığı, ancak çoklu GNSS uydularının gözlemlenmesi durumunda farkların azalacağı öngörülmüştür [9]. Tek frekanslı düşük maliyetli RTK-GNSS alıcısı satıcıları, alıcı antenlerini genellikle alıcı ile birlikte satmaya ve bunlar genellikle yama (patch) anten olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.1.a). Bu anten özelliklerini çift

frekanslı alıcı antenleri ile kıyaslayan araştırmacılar, yine açık gökyüzü durumunda cm hassasiyeti verdiğini, ancak kapalı gökyüzü durumunda sabit olmayan (flot) bir çözümleme sunduğunu görmüşlerdir [10].



Şekil 2.1:a)Active GPS patch anten (15-25\$), b) NAV RTK AN301 helical anten (105\$).

Bir sarmal anteni (Şekil 2.1.b), doğrudan bir yama anteniyle karşılaştırıldığında zor sinyal ortamlarında “ekranda daha fazla uydu” durumuna neden olabilmektedir. Bunun nedeni sarmalın çok yönlü radyasyon düzeniyle yansıyan sinyalleri daha kolay toplayabilmektedir. Bununla birlikte, bu sinyallerin pratik kullanımı, yansıyan sinyallerin belirsiz yolundan dolayı çok sınırlıdır. Bu nedenle, alıcılar daha fazla uydu görebilmekte, ancak çok yollu bir ortamda çarpık aralık ölçümleri nedeniyle navigasyon çözümü bozulmaktadır [11].

Tek frekanslı GNSS cihazlarının şehir ortamında sergilemiş olduğu düşük performans üzerine araştırmacılar ataletsel ölçme sistem (IMU) entegrasyonları üzerinde çalışmaktadır. Kentsel ortamlarda, sinyal blokajının neden olduğu aralıklı sinyal alımı da sorun yaratmakta, çünkü alıcı uydu sinyalini her aldığında, taşıyıcı faz ölçümündeki tam sayı farklı olmaktadır. Bu nedenle pratikte, tek bir frekans alıcısının, tamsayıyı çözmesi ve yüksek uçtaki çift frekans alıcılarına kıyasla santimetre seviye doğruluğunu elde etmesi zorlaşmakta veya çok daha uzun sürmektedir [12].

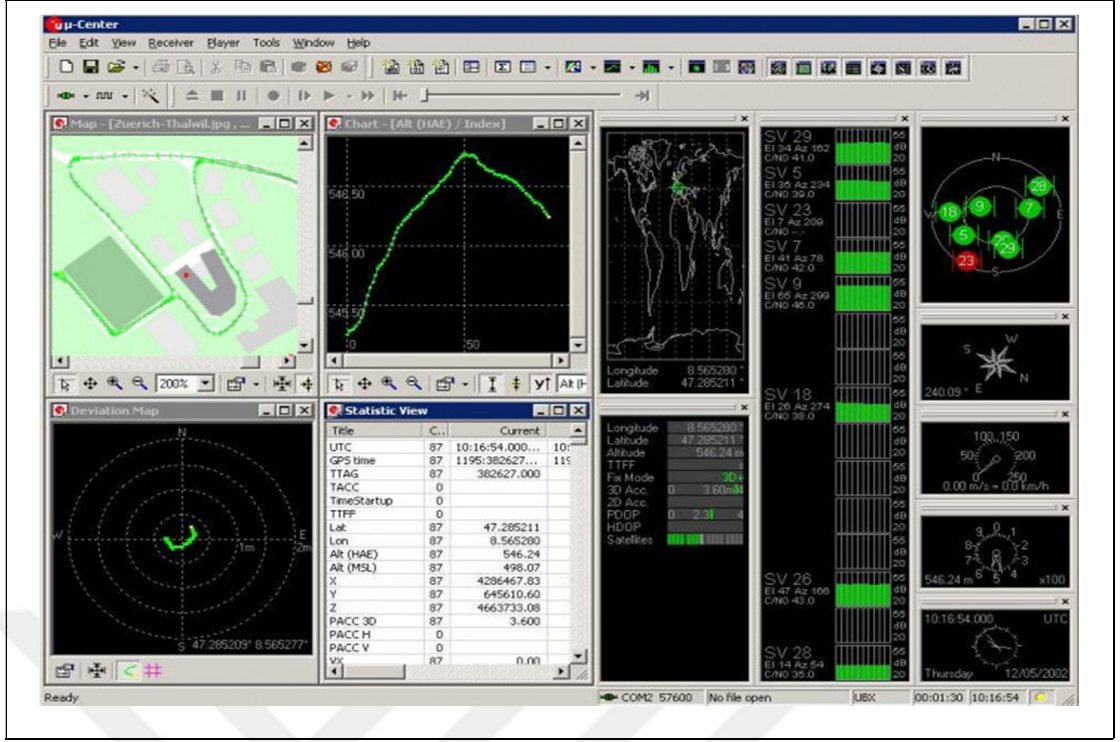
Tek frekanslı RTK performansını güvenilirlik, süreklilik ve doğruluk açısından daha da arttırmak için düşük maliyetli bir Mikro Elektro Mekanik Sistem (MEMS) ve atalet ölçüm birimi (IMU) bu katkıya uyarlanmaktadır. Belirsizlik çözümlemede (AR) çift farklı (DD) taşıyıcı faz gözlemlenebilirlerini ve IMU verilerini doğrudan

birleştiren genişletilmiş Kalman filtresi (EKF) ile entegrasyonu sağlanması durumunda, AR başarı oranının 40°'lik bir yükseklik kesme açısında ve buna karşılık gelen pozisyon zaman serilerinde bile % 99'un üzerinde olduğunu göstermektedir [13].

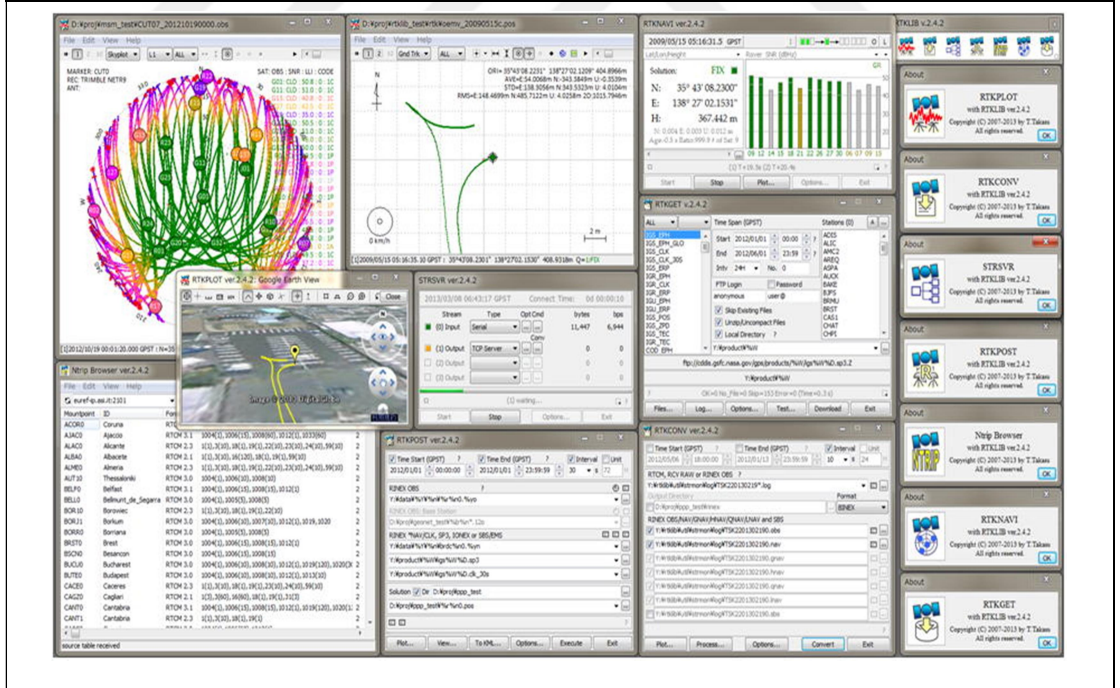
GNSS sinyalleri, küresel sistemler (GPS, GNSS, GALILEO, BDS), bölgesel sistemler (QZSS, IRNSS) ve Uydu Tabanlı Destek Sistemleri (SBAS) dahil olmak üzere çeşitli uydu konumlandırma sistemleri tarafından sağlanmaktadır [14]. Araştırmacılar tarafından farklı kombinasyonlarda oluşturduğu uydu sistemleri ile ölçümler gerçekleştirildi. Sonuçlar ise, tek frekanslı GNSS alıcılarındaki tamsayı belirsizlik çözümü başarı oranı 10°'lik sinyal kesme açısı ve B1 BDS, L1 GPS, E1+L1 Galileo+GPS, B1+L1 BDS+GPS, B1+L1+E1+L1, BDS+Galileo+QZSS+GPS kombinasyonlarında bile %90 üzerinde olmuştur. Sinyal kesme açısının 10, 20, 25, 30, 35 ve 40° olarak artması durumunda ise bu başarı oranlarının tek GNSS sistemlerinde oldukça düştüğü, ancak kombinasyon oluşturan sistemlerde başarının oldukça yüksek olduğu görülmüştür [15].

2.1. Düşük Maliyetli RTK Değerleme ve Uçuş Planlayıcı Yazılım Örnekleri

GNSS alıcıları tarafından kaydedilen verilerin anlık ya sonradan değerlendirilmesini sağlamak için çeşitli konumlama yazılımları üretmiştir. Bunlardan bazıları ticari, bazıları ise ücretsiz yazılımlardır. Örneğin Polaris firması tarafından üretilen tek frekanslı ALPHA RTK modeli RTK-Viewer yazılımını [16], Ublox alıcı üretici firması U-CenterRTK yazılımlarını ücretsiz olarak kullanıcılara sunmuştur [17], (Şekil 2.2). Ve yine RTKLIB olarak kullanılan RTK-GNSS yazılımını açık kaynak olarak farklı GNSS alıcısı üreten firmaların dosya formatlarını da desteklemektedir [18], (Şekil 2.3).

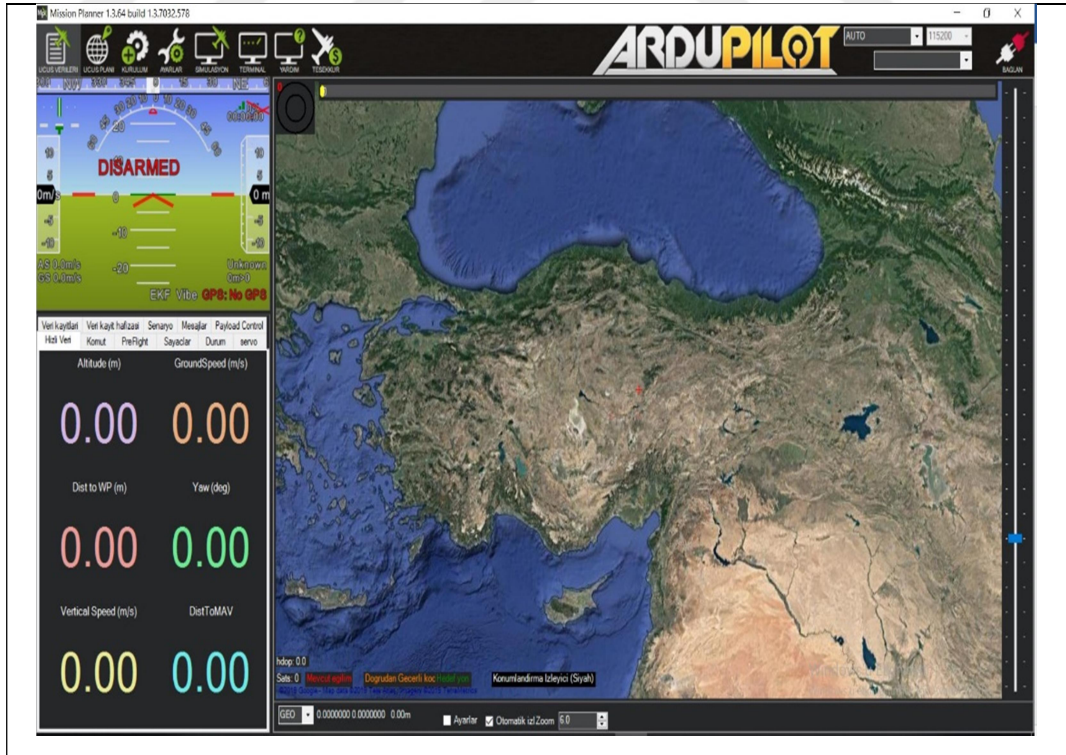


Şekil 2.2: Ublox U-Center ücretsiz RTK yazılımı.



sistemi araştırmasında tek frekanslı ublox Lea6T GNSS alıcısının PPP performansı RTKLIB yazılımı ile değerlendirilmiş ve çift frekanslı GNSS alıcısı ile yapılan eř zamanlı gözlemlerde mm mertebesinde farklılıklar gözlemlenmiştir ve sistemin UAV'ler için oldukça kullanışlı olacağı düşünölmüştür [19]. Başka bir çalışmada Ublox LEA-4T tek frekanslı alıcısının RTK performansı RTKLIB programı ile değerlendirilmiş, sonuçlar cm seviyesinde başarılı sonuçlanmıştır [20]. Diğer bir çalışmada ise İnsansız Deniz Aracı (USV) ile tek frekanslı ve düşük maliyetli NV08C-CSM RTK alıcısı RTKLIB yazılımı kullanılarak test edilmiş sonuçlar cm mertebesinde olmuştur [8].

İnsansız araçlarda yapılan çalışmalar, onların sadece konumlama hassasiyetleri değil, navigasyon kabiliyetleri üzerine yoğunlaşmıştır. Bu navigasyonlar, insansız araçların kullanıcı kontrollü ya da kontrolsüz olarak önceden programlanmış komutları, görüş alanı dışında da gerçekeştirebilecek yeteneklerle donatmıştır. İletişim olması durumunda ise elektro-optik veya termal görüntüleri gibi büyük veriler ile konum, hız, yön, irtifa gibi durum bilgilerini, elektronik donanım hakkında bilgileri iletebilirler [21].



şekil 2.4: Ardupilot (Mission Planner) ücretsiz İHA navigasyon yazılımı.

Şuan ticari olarak satılan birçok radyo kontrollü insansız araç kiti bulunmaktadır ve bunlar yüksek maliyetli yazılım ve donanımdan oluşmaktadır. Düşük maliyetli bir insansız araç navigasyon sistemi inşa edilmesi durumunda, navigasyon yazılımı olarak tercih edilen yazılım mutlaka ücretsiz yazılımlar olurdu. Bunlardan en yaygın kullanılan Ardupilot yazılımı uçaklardan, helikopterlere, teknelere ve hatta denizaltılara kadar hayal edilebilecek herhangi bir araç sistemini kontrol edebilir. Görev planlayıcısı ile (Mission Planer), insansız araçlar için rota planlaması yapılabilmektedir [22], (Şekil 2.4).

2.2. İHA'nın Tarihsel Gelişimi ve Haritacılıkta Kullanımı

1936 yılında ABD'nin insansız hedef uçak sisteminde kullanılan araçlara Drone ifadesi kullanılmaya başlasa da, sonrasında tüm hedef uçaklar ve İHA sistemlerinin genel adı olarak kullanılmaya başlamıştır. 1990'lı yıllarda askeri sektörün gelişmesine paralel olarak, Drone ifadesi yerine İnsansız Hava Aracı (İHA) (Unmanned Aerial Vehicle-UAV) ifadesi kullanılmaktadır. 2010 yılına yaklaşırken, İHA'nın sadece uçan platformu ifade etmesi ve uçuş için platforma ilave olarak en azından bir kontrol istasyonuna ve bir veri linkine ihtiyaç duyması nedeniyle, İHA Sistemi (Unmanned Aircraft System-UAS) ifadesi yaygınlaşmıştır [23].

İnsansız hava araçlarına (İHA) monte edilen kameralar yardımıyla yeryüzünün görüntülenmesi yersel ölçüm tekniklerine göre bazı avantajları beraberinde getirmektedir. İnsansız hava araçlarının kullanılması ile az maliyetle kısa sürede çok yüksek konumsal ve zamansal çözünürlüklü görüntüler elde edilebilmektedir. Elde edilen bu yüksek konumsal çözünürlüklü görüntüler çok farklı amaçlar için kullanılabilir. Haritacılık ile ilgili uygulamalarda kullanılan ortofoto haritalardaki geometrik doğruluk oldukça büyük önem taşımaktadır [24].

Araştırmacıların farklı alanlardaki haritalama çalışmalarında İHA'ların kullanılması ve sonuçları çok yakından takip edilmektedir. Bunlara değişik araştırma örnekleri verilebilir. Yoğun bitki ile kaplı alanların haritalanmasında RTK-GNSS alıcısı ile İHA kullanılması olumlu bir çözüm olarak değerlendirilmiştir [25]. Peru'da bu hidrolojik sistem artan sıcaklıkların ve dolayısıyla hızlı buzulların geri çekilmesinin bir sonucu yüzey ve yeraltı hidrolojik yollarını araştırmak için İHA kullanılmıştır ve önceki bulguları desteklediği görülmüştür [26]. Tarımsal alanlardaki

hasarların tespit edilmesinde yer kontrol noktaları kullanılarak İHA ile ortofoto sonuçları kullanılmıştı [27]. Sismik yer hareketleri ve çevresel etki karşılaştırmalarında karar vermede büyük etkisi olacağı üzerine araştırmalar mevcuttur [28], [29]. Kıyı şeritlerinin haritalanmasında [30], yol projelerinin yapımında maliyetleri etkileyebilecek ön analizlerin yapılmasında etkili sonuçlar vermiştir [31].

Harita üretiminde kullanılan İHA'lar sabit veya döner kanat olarak, ya da her ikisi birden aynı platformda kullanılarak üretilirler (Şekil 2.5.a ve 2.5.b).



Şekil 2.5: a) DJI Phantom 4-RTK döner kanat, b) SATLAB SLA-1 sabit kanat RTK/PPK-İHA.

17 Avrupa ülkesinin Avrupa Ulusal Haritalama Ajansları (NMA) ve araştırma organizasyonlarını temsil eden Avrupa Mekansal Veri Araştırmaları organizasyonu (EuroSDR), 2004 yılının sonundan beri İHA'lardaki teknolojik gelişmeleri takip etmektedir. Uzaktan Pilotlu Hava Sistemleri (RPAS)'nin geleneksel hava verilerinin toplamada yüksek maliyetli görüntüleme ve LİDAR sensörlerinin kullanamayacağı varsayıldığında, yerel alanların ilgilendiği uygulamalar için avantajlı olacağı görüşü kabul edilmiştir. Tüm Avrupa çapında kadastro uygulamaları, arazi yönetimi/arazi toplulaştırması veya afet izleme gibi yerel uygulamalar için gerekli uçuş standartlarının sağlanması durumunda normal bir uygulama haline getirilebileceği ortak görüşüne varılmıştır [32].

Avrupa GNSS Acentası (GSA)'nın 2017 yılında yayınlanan GNSS Pazar raporuna göre cihaz fiyatlarının düşmesi ve alım taleplerinin artması ile birlikte, 2025 yılında 9 milyar cihaz olacağı ve bu sayının yaklaşık 100 milyonunun profesyonel segmentler (Toyota, GM, Garmin, Ford, China First, Volkswagen,


Samsung, Apple, Nissan, Honda vd.) tarafından kullanılacağı tahmin edilmektedir. 2025 yılında profesyonel segmentler tarafından kullanılan bu pazarın %70'inden fazlasını drone tabanının oluşturması beklenmektedir [14].

2.3. Haritacılıkta RTK-İHA Sistemleri

İHA konum ve durum bilgilerini elde edebilmek için, sensör ve ölçme donanımına, uçuş süresini uzatabilmek için motor gücüne (yakıt/batarya), verilerin anlık aktarılmasını sağlamada çevre donanımlarına ihtiyaç duyulur. Bütün bunlar göz önünde bulundurulduğunda taşıma güçleri ve ağırlıkları, donanım ağırlıkları ile orantılı olarak artmaktadır. Bu da maliyeti etkileyen faktör demektir. Bir İHA temel olarak;

- Görev düzenleyiciler (Uçuş kontrol yazılımı, diferansiyel konumlama yazılımı, görüntüleme yazılımı vs.)
- İletişim Bağlantısı (Radyo Telemetry, GSM)
- Dengeleme ve kontrol ekipmanları (ESC kontrol ünitesi, sensörler, motorlar, GNSS vs.)
- Güç ünitesi (Elektrik bataryası, sıvı yakıtlar)
- Temel uçak gövde ve mekanizmalarından oluşur.

Tablo 2.1: Ticari RTK-İHA örnekleri ve özellikleri¹.

TİCARİ RTK-İHA MODELİ	ÖZELLİKLER	YAZILIM/FİYAT
HELICEO/ FoxyPRO	 <ul style="list-style-type: none">-Tam otomatik-RTK/PPK-0.03m yatay,0.05m düşey hassasiyet-60 dk havada kalma-Çift frekanslı GNSS-250 ha alan kapama-24 MP kamera	<ul style="list-style-type: none">-Görev planlama: HASK Planner-GNSS işleme: HASK Geoprocessor-Görüntü işleme: Opsiyonel-Kamera: SONY QX-1-Fiyat:40000€

Tablo 2.1: Devamı.

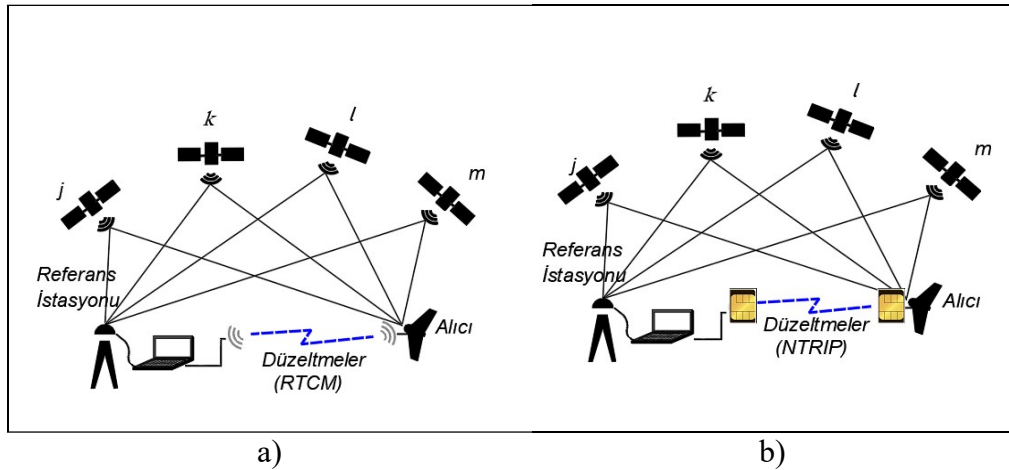
Yuneec / H520		<ul style="list-style-type: none"> -Tam otomatik ya da manuel -RTK/PPK -0.01yatay,0.015m düşey hassasiyet -30 dk havada kalma -Çift frekanslı GNSS -110 ha alan kapatma -20 MP kamera 	<ul style="list-style-type: none"> -Görev planlama: DataPilot -GNSS işleme: DataPilot -Görüntü işleme: Opsiyonel -Kamera: CMOS sensör -Fiyat:3600€
senseFly/ eBee X		<ul style="list-style-type: none"> -Tam otomatik ya da manuel -RTK/PPK -0.03yatay,0.05 düşey hassasiyet -60 dk havada kalma -Çift frekanslı GNSS -220 ha alan kapatma -20 MP kamera 	<ul style="list-style-type: none"> -Görev Planlama: eMotion -GNSS işleme: eMotion -Görüntü işleme: Opsiyonel - Kamera:senseFlyS.O.D.A. -Fiyat: 30000€
DJI/ Phantom4 Pro- RTK		<ul style="list-style-type: none"> -Tam otomatik ya da manuel -RTK/PPK -0.01yatay,0.015m düşey hassasiyet -30 dk havada kalma -Çift frekanslı GNSS -100 ha alan kapama -20 MP kamera 	<ul style="list-style-type: none"> -Görev Planlama: DJI Assistant 2 For Phantom -GNSS işleme: DJI GS RTK App -Görüntü işleme: Opsiyonel -Kamera: DJI 1'' CMOS sensor -Fiyat:7800€
SATLAB SLA-1		<ul style="list-style-type: none"> -Tam otomatik ya da manuel -RTK/PPK -0.01m yatay,0.01 m düşey hassasiyet -60 dk havada kalma -Çift frekanslı GNSS -100-300 ha alan kapama -20 MP kamera 	<ul style="list-style-type: none"> -Görev Planlama: Mission Planner -GNSS işleme: Mission Planner -Görüntü işleme: Opsiyonel -Kamera: SONY QX-1 -Fiyat: \$35000

¹ Fiyatlar 2019 yılı yurtdışı satış fiyatıdır.

Ticari amaçlı üretilen İHA'lar, konumlama, haberleşme, dengeleme ekipmanları, gövde mekanizmaları ve yazılım ile paket olarak üreticilerin kullanımına sunulmaktadır. Kullanılan yazılım ve donanım ekipmanlarının maliyetleri, İHA toplam maliyetlerini etkilemektedir. Ticari amaçlı kullanılan RTK-İHA'lar genellikle çift frekanslı GNSS alıcıları ile donatılmıştır. Bu da maliyeti etkileyen önemli bir unsurdur (Tablo 2.1).

Düşük maliyetli İHA üretimini hedefleyen bir çok araştırmacı, konumlama tekniğine uygun donanım ve yazılım kullanılmasını hedeflemiştir. RTK konumlama teknikleri klasik RTK, Ağ-RTK ve PPP-RTK olarak incelendiğinde farklı donanım ihtiyaçları doğmaktadır. Örneğin klasik RTK yönteminde düzeltme verileri radyo bağlantısı ile RTCM formatında iletimi radyo telemetri ile yapılırken, internet üzerinden NTRIP protolü kullanarak iletilmesinde GSM kartları kullanılması gerekmektedir.

Düşük maliyetli sistem mimarisinde, açık kaynaklı yazılımın gerçek zamanlı algoritması, genellikle referans istasyonundaki küçük bir bilgisayarda çalışmaktadır. Bu durumda, L1 alıcısından PC'ye veri aktarımı seri bir kablo üzerinden gerçekleştirilebilir. Gezici istasyon, ham verileri bir WLAN ağı üzerinden veya bir veri radyosu vasıtasıyla bilgisayar algoritmasına aktarmaktadır (Şekil 2.6). Bu hesaplama algoritması ayrıca L1 taşıyıcı faz çözünürlükleri için GNSS alıcısı ile entegre bir hesaplama modülüne uyarlanabilmektedir [19].



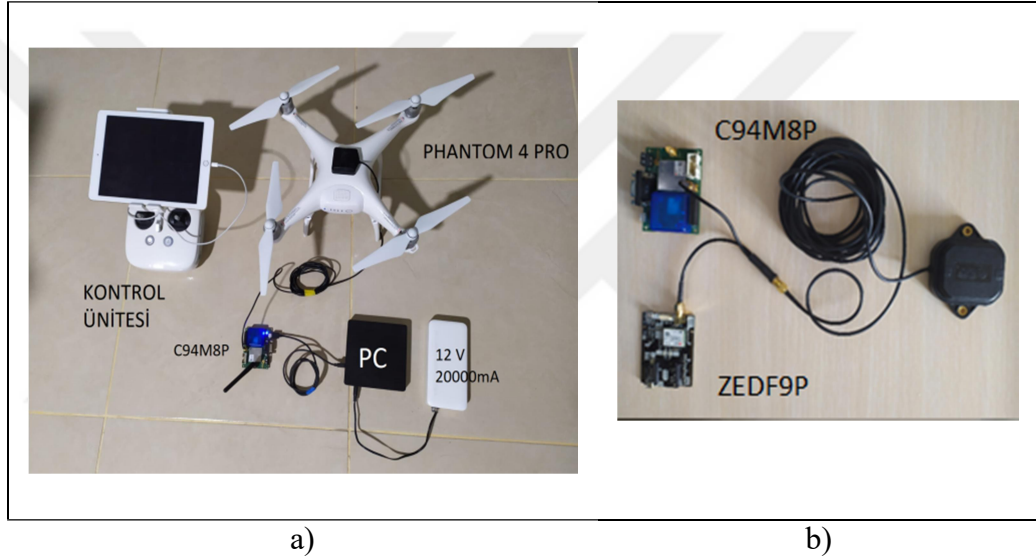
Şekil 2.6: Düzeltme verilerinin radyo ve internet üzerinden aktarılması.

Ölçme sonrası değerlendirme tekniği (Post Processing Kinematic-PPK) ile çalışma yapıldığında alıcı üzerinde RINEX verilerin kaydedilmesi için harici bir kayıt ünitesi ilave etmek gerekmektedir. Harici veri kayıt ayarları için, masaüstü veya dizüstü bilgisayarlar, yaklaşık 500\$ veya daha yüksek bir maliyetle kullanılır. Veri kaydedici, GNSS alıcısından yaklaşık 5 kat veya daha fazla maliyetlidir. Bu nedenle, düşük maliyetli, kompakt ve sınırlı bir güç gereksinimi olan bir çözüm, yukarıda belirtilen sorunlara dikkat edilmesine yardımcı olacaktır [33].



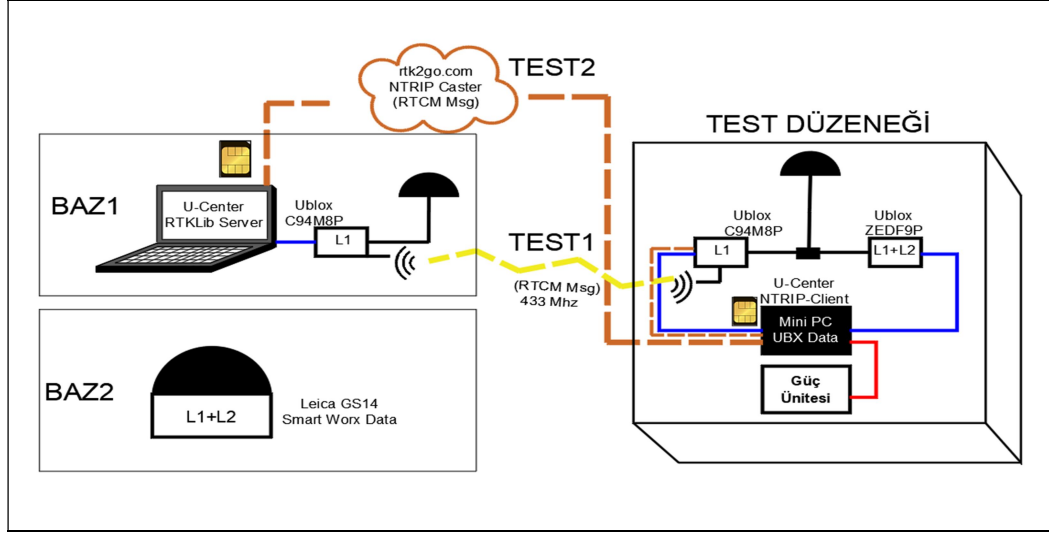
3. METODOLOJİ

Düşük maliyetli tek frekanslı UBLOX C94M8P GNSS alıcısının performansının test edebilmek için RINEX ve sonuç coğrafi konum bilgilerinin eşzamalı kaydedilebildiği bir düzenek oluşturulmuştur. Bu da çözüm ortamını örnekleyebilmek amacıyla İHA platform (Phantom 4 Pro) üzerine yerleştirilmiş bir bilgisayar, ona bağlı tek ve çift frekanslı GNSS alıcısından (U-Blox ZEDF9P) oluşmaktadır (Şekil 3.1.a). Aynı uydu dağılımını görmek amacıyla, anten ayırıcı (Splitter) kullanılmıştır (Şekil 3.1.b).



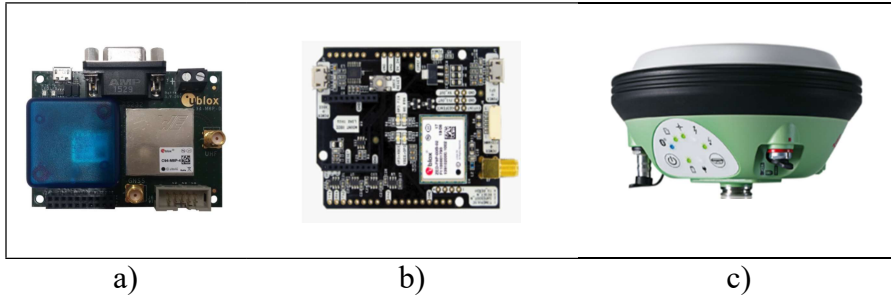
Şekil 3.1: a) İHA platformuna yerleştirilmiş test düzeneği, b) Anten ayırıcı ile oluşturulan test düzeneği.

Bu çalışmada gezici kısmında RTK özelliği olmayan bir İHA olan phantom 4 pro üzerine Windows 10 işletim sistemli bir bilgisayar ve onu besleyecek 12 V çıkışlı bir güç ünitesi yerleştirildi. Bilgisayar tek frekanslı C94M8P cihazına ait sonuç ve ham dataları kaydedebilmesi için içerisinde U-Center yazılımı kullanıldı (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: RTK ve Ağ-RTK test düzeneği.

Baz istasyonu kısmında sabit bir bilgisayara bağlı tek frekanslı bir C94M8P cihazı (Şekil 3.3.a) ile RTK ve Ağ-RTK ölçme yöntemleri için radyo verici ve internet üzerinden RTCM mesajları gönderildi. Radyo iletişimi GNSS üzerindeki 433 Mhz bir kart üzerinden gerçekleştirilirken, internet bağlantısı GSM kart üzerinden gerçekleştirildi.



Şekil 3.3: a) Ublox C94M8P tek frekanslı RTK uygulama kartı, b) ArduSimple RTK2B çift frekanslı RTK uygulama kartı, c) Leica Viva GS14 çift frekanslı GNSS alıcısı.

U-Center ile kaydedilen sonuç verilerini test edebilmek amacıyla, başka bir referans noktasına yerleştirilmiş yüksek performanslı GNSS olan Leica Viva GS14 (Şekil 3.3.c) ile PPK verilerini derleyebilmek için RINEX verileri toplandı. Alıcı kısmında ise düşük maliyetli çift frekanslı Ublox ZEDF9P alıcısı (Şekil 3.3.b) ile RINEX verileri toplandı. Verilerin PPK değerlendirme işlemleri RTKLIB-PPK programı ile gerçekleştirildi. İki yöneme ilişkin uygulanacak testler Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmiştir.

Gerçek zamanlı ölçme tekniğine göre yapılacak testler;

Tablo 3.1: RTK test yöntemi.

Konum	Metod	GNSS Alıcısı	Anten-Frekans
Baz1	(Klasik RTK)	Ublox C94M8P (Düşük m.)	Ublox- Tek f. (L1)
Baz2	(PPK için RINEX)	Leica GS14 (Yüksek m.)	Leica –Çift f. (L1-L2)
Gezici	(Klasik RTK)	Ublox C94M8P (Düşük m.)	Ublox–Çift f. (L1-L2)
	(PPK için RINEX)	Ublox ZEDF9P (Düşük m.)	

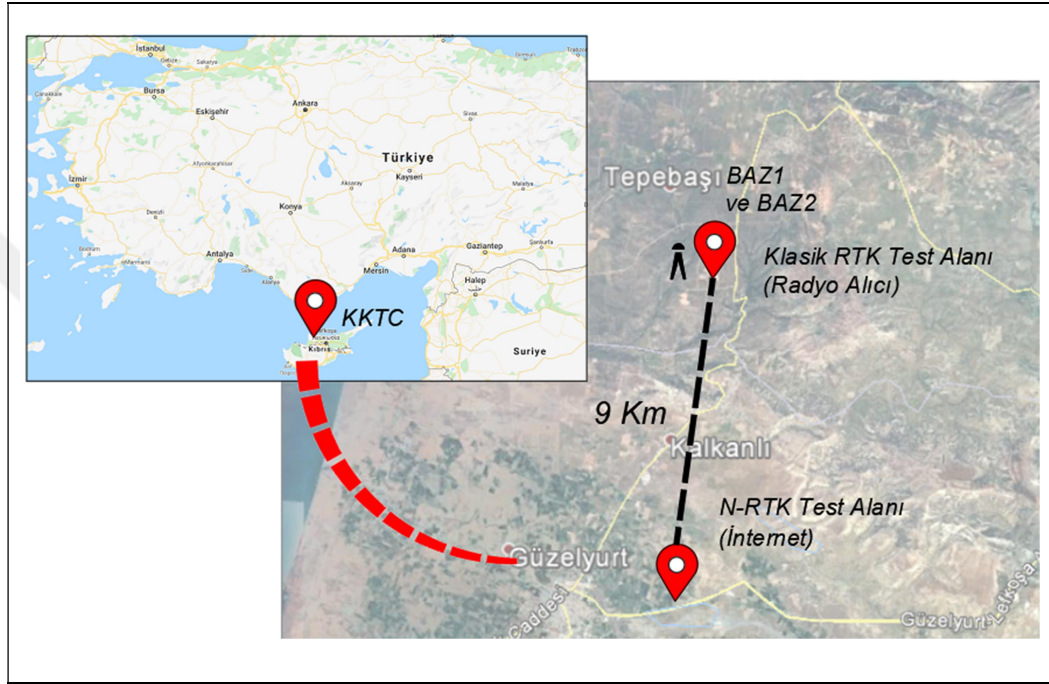
Tablo 3.2: Ağ-RTK test yöntemi.

Konum	Metod	GNSS Alıcısı	Anten-Frekans
Baz1	(NTRIP Caster)	Ublox C94M8p (Düşük m.)	Ublox- Tek f. (L1)
Baz2	(PPK için RINEX)	Leica GS14 (Yüksek m.)	Leica –Çift f. (L1-L2)
Gezici	(NTRIP-Client)	Ublox C94M8P (Düşük m.)	Ublox–Çift f. (L1-L2)
	(PPK için RINEX)	Ublox ZEDF9P (Düşük m.)	

4. UYGULAMA

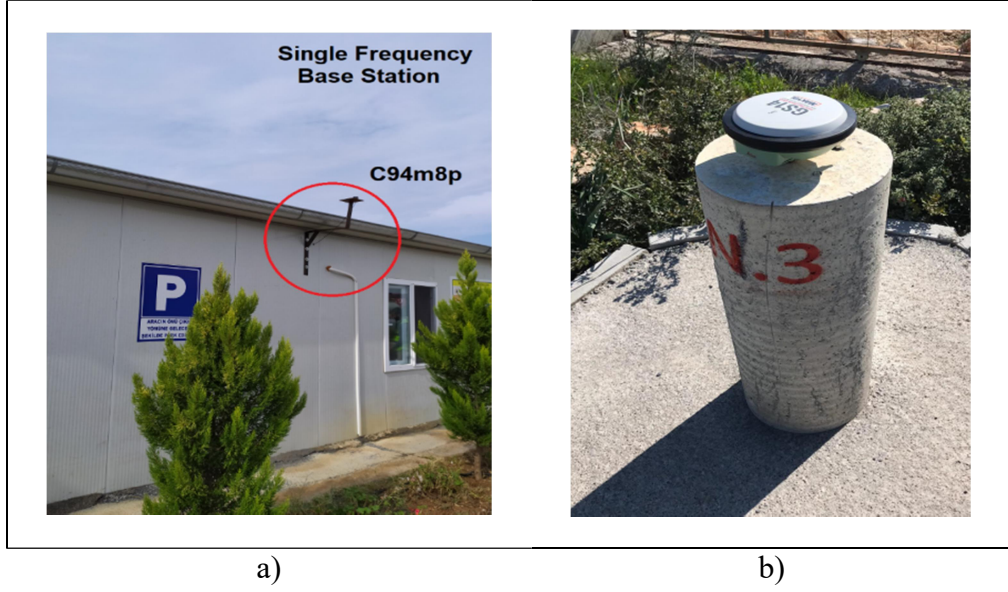
4.1. Çalışma Alanı

Testler Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti (KKTC)'de Girne ve Güzelyurt bölgesi arasında kalan kısımda gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Çalışma alanı.

Girne Tepebaşı bölgesinde BAZ1 (C94M8P) ve BAZ2 (Leica GS14) konumlandırılmıştır (Şekil 4.2.a, 4.2.b). RTK ölçmeleri radyo çekim mesafesine yakın olan Tepebaşı'nda, Ağ-RTK ölçmeleri ise baz istasyonundan yaklaşık 9 km mesafede gerçekleştirildi.



Şekil 4.2: a) BAZ1 istasyonunda C94M8P tek frekanslı alıcısı, b) BAZ2 istasyonunda Leica GS14 çift frekanslı GNSS alıcısı.

BAZ1 istasyonuna ait konum verileri, GPS ve GLONASS uydularına ait gözlem verileri RTCM mesajları (1005,1077,1087,1230) gezici alıcıya radyo ve internet üzerinden gönderildi. Gezici üzerinde bulunan mini bilgisayar ile ölçümlere ilişkin ham veriler ve sonuç verileri kaydedildi. Ağ-RTK ölçme yönteminde verilerin internet protokolü üzerinden alıcıya aktarılması gerekmektedir. Gezici, referans istasyonlarını veya RTK ağlarını kullanarak RTK konumlandırması için NTRIP diskinden GNSS verilerine erişmektedir. Kullanılan C94M8P tek frekanslı alıcısına ait gerekli konfigrasyonların tanımlanması U-Center yazılımı ile gerçekleştirilir. Radyo veri iletimi iptal edilerek mesaj verileri NTRIP-Server'a aktarılır. Kullanılan bilgisayar bir Server olarak kullanılacaksa U-Center yazılımı yeterlidir. Bu durumda veri çıkışı USB üzerinden aktarılır.

4.2. Verilerin Değerlendirilmesi

BAZ1 referans istasyonuna yaklaşık 280 m mesafede radyo çekim alanı içerisinde RTK ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Aynı anda İHA platformu üzerindeki bilgisayarda U-Center yazılımı yardımıyla tek ve çift frekanslı GNSS alıcılarına ait "UBX" formatında ham veriler ve anlık sonuç verileri toplanmıştır. Ölçü anında yine aynı mesafede BAZ2 istasyonunda Leica GS14 çift frekanslı GNSS cihazı ile "Smart

Worx RAW Data” formatında kaydedildi ve bu veriler RINEX formatına Leica Geo Office 8.4 yazılımı ile dönüştürüldü. PPK sonuçları RTKLIB yazılımı ile elde edildi.

Tablo 4.1’de görüldüğü gibi iki alıcı GPS+GLONAS uydu gözlemlerine göre sabit sonuçlar üzerinden karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.1: Klasik RTK ölçme testi.

1 NOLU TEST ÖLÇÜMLERİ (280m)	Bağlı olduğu istasyon	GPS zamanı	Ölçü süresi ve hızı (Sn-Hz)	Gözlemlenen uydular ve frekanslar	Gözlemlenen uydu sayısı
RTK C94M8P	BAZ1 C94M8P	Week2093	432-1	GPS+GLONASS (L1)	15
PPK ZEDF9P	BAZ2 LeicaGS14	Week2093	432-1	GPS+GLONASS (L1+L2)	15

BAZ1 referans istasyonuna yaklaşık 9 km mesafede Ağ-RTK ölçümleri gerçekleştirildi. Geziciye ait Ağ-RTK sonuç verileri ile UBX formatında ham veriler, gezici üzerindeki bilgisayarda toplandı. BAZ1 istasyonundaki bilgisayarda U-Center yazılımına ait NTRIP-Caster sunucusuna USB portu kullanılarak RTCM verileri aktarılmıştır. Bu yazılımın sabit data hattı ihtiyacını ortadan kaldırmak için RTKLIB-Server yazılımından ücretsiz bir “Caster” sunucusu olan “rtk2go.com” sitesinde veriler yayınlanmıştır. Alıcı kısmında ise sadece U-Center yazılımına ait NTRIP-Caster yazılımından RTCM verilerinin alıcıya aktarılması yeterlidir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2’de görüldüğü gibi iki alıcıda da GPS+GLONAS uydu gözlemleri gerçekleştirilmiş, 1 Hz kayıt hızına göre sabit değerlendirme sonuçları karşılaştırılmıştır.

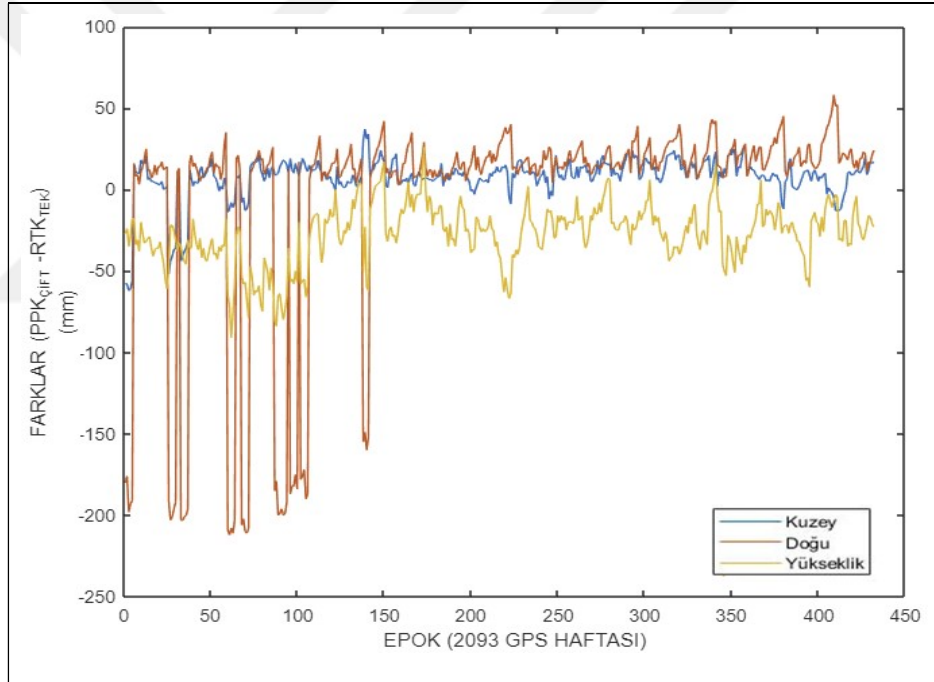
Tablo 4.2: Ağ-RTK ölçme testi.

2 NOLU TEST ÖLÇÜMLERİ (9000m)	Bağlı olduğu istasyon	GPS zamanı	Ölçü süresi ve hızı (Sn-Hz)	Gözlemlenen uydular ve frekanslar	Gözlemlenen uydu sayısı
Ağ-RTK C94M8P	BAZ1 C94M8P	Week2076	788-1	GPS+GLONASS (L1)	11
PPK ZEDF9P	BAZ2 LeicaGS14	Week2076	788-1	GPS+GLONASS (L1+L2)	11

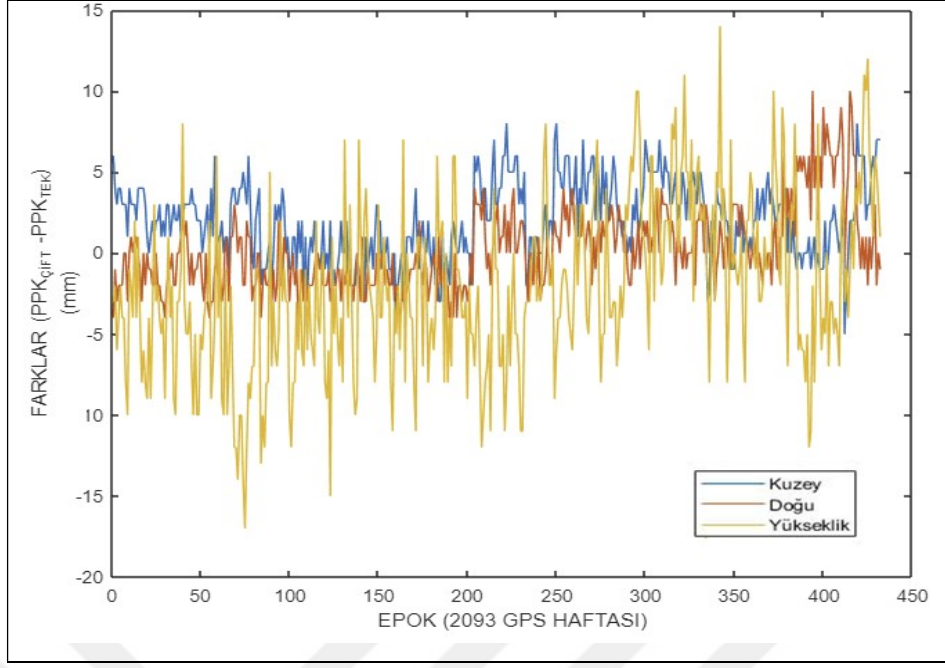
4.3. Değerlendirme Sonuçları

Tek ve çift frekanslı alıcılardan farklı formatlarda toplanan tüm veriler RINEX formatına dönüştürülmüş, bu RINEX verileri RTKlib-PPK yazılımı ile yer merkezli koordinat sistemi koordinatları hesaplanmıştır. Projeksiyon düzlemindeki koordinatları hesaplanarak, gerçek zamanlı ölçme sonuçları ile farkları incelenmiştir.

1. testte toplanan U-Center yazılımı RTK değerlendirme sonuçlarına göre standart sapma yatayda 6.7 cm ve düşeyde ise 1.8 cm olarak bulunmuştur (Şekil 4.3). Çift frekanslı alıcılardan elde edilen RTKlib PPK sonuçlarından, tek frekanslı alıcının PPK performansı incelendiğinde standart sapmanın yatayda 4 mm ve düşeyde 5 mm olduğu görülmektedir (Şekil 4.4).

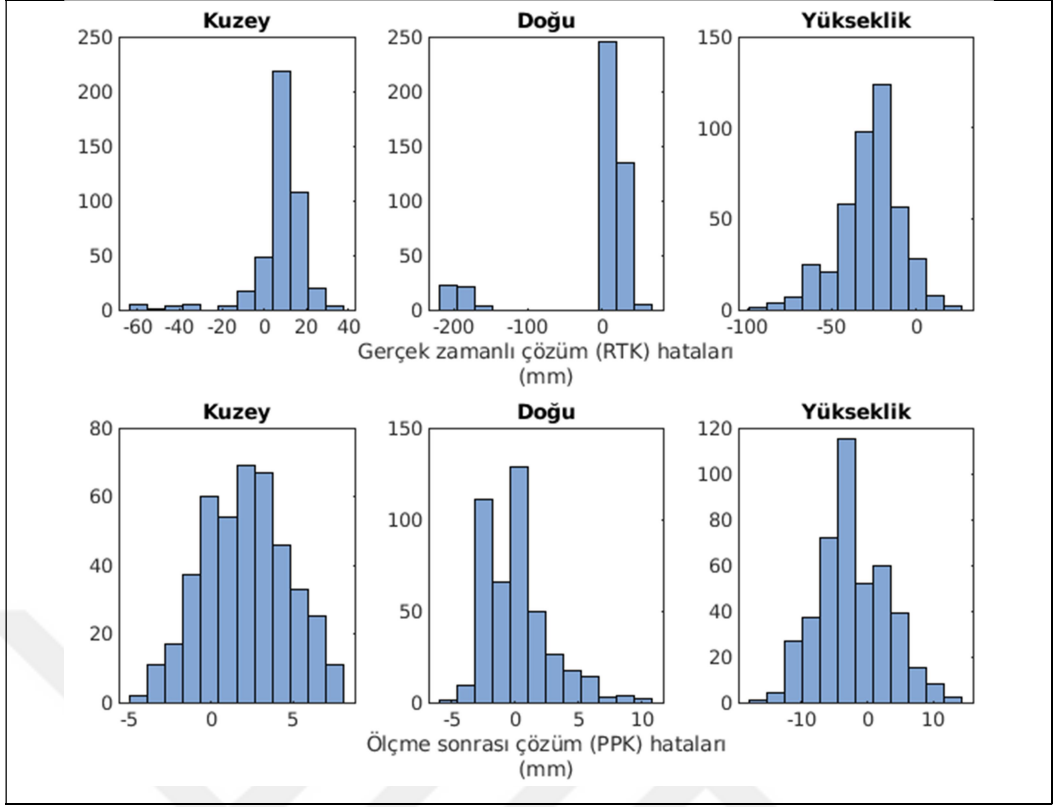


Şekil 4.3: Test1 Klasik RTK sonuçları.



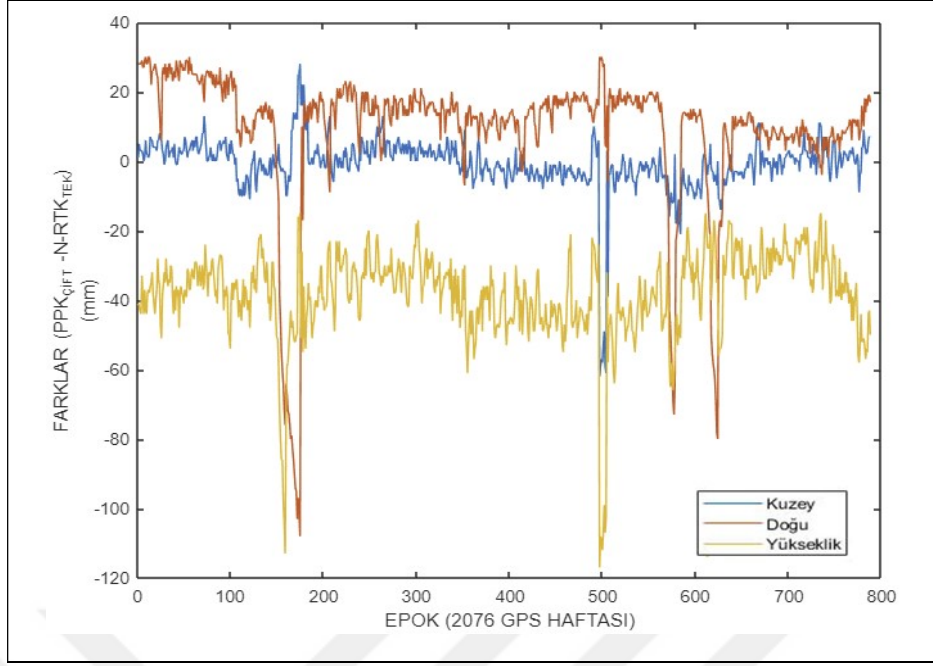
Şekil 4.4: Test1 PPK sonuçları.

Birinci teste ilişkin hata dağılım grafikleri incelendiğinde PPK sonuçlarının normal dağılımda olduğu, RTK ölçümü başlangıcında doğu yönündeki ölçümlerde hataların arttığı görülmektedir(Şekil 4.5). Yazılım ayarlarında tam sayı belirsizliğini hızlı çözebilmek için, düzeltme verilerinin gönderim hızının arttırılarak ilk sabitleme süresi (TFF) kısaltılabilir. Ayrıca hareket eden aracın maksimum hızına göre zaman senkronizasyon ayarlarından yararlanılabilir. Düşük maliyetli yazılımlarda bu gibi konfigrasyonu yapmak mümkündür.

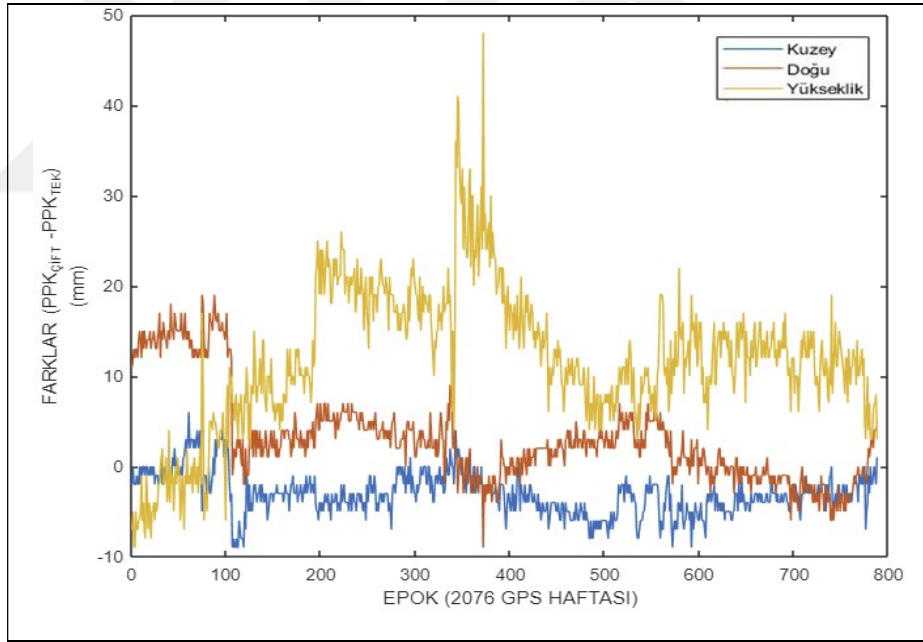


Şekil 4.5: RTK ölçme sonuçlarına ait hata dağılım grafikleri.

2. testte RTCM verileri internet protokolü ile iletilmiş, standart sapma yatayda 2.2 cm ve düşeyde ise 1.3 cm olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.6). Çift frekanslı alıcılardan elde edilen RTKLib PPK sonuçlarından, tek frekanslı alıcının PPK performansı incelendiğinde standart sapmanın yatayda 6 mm ve düşeyde 8 mm olduğu görülmektedir. Ölçme sonrası ve gerçek zamanlı ölçmelerde cm mertebesinde hatalar elde edilmiştir (Şekil 4.7).

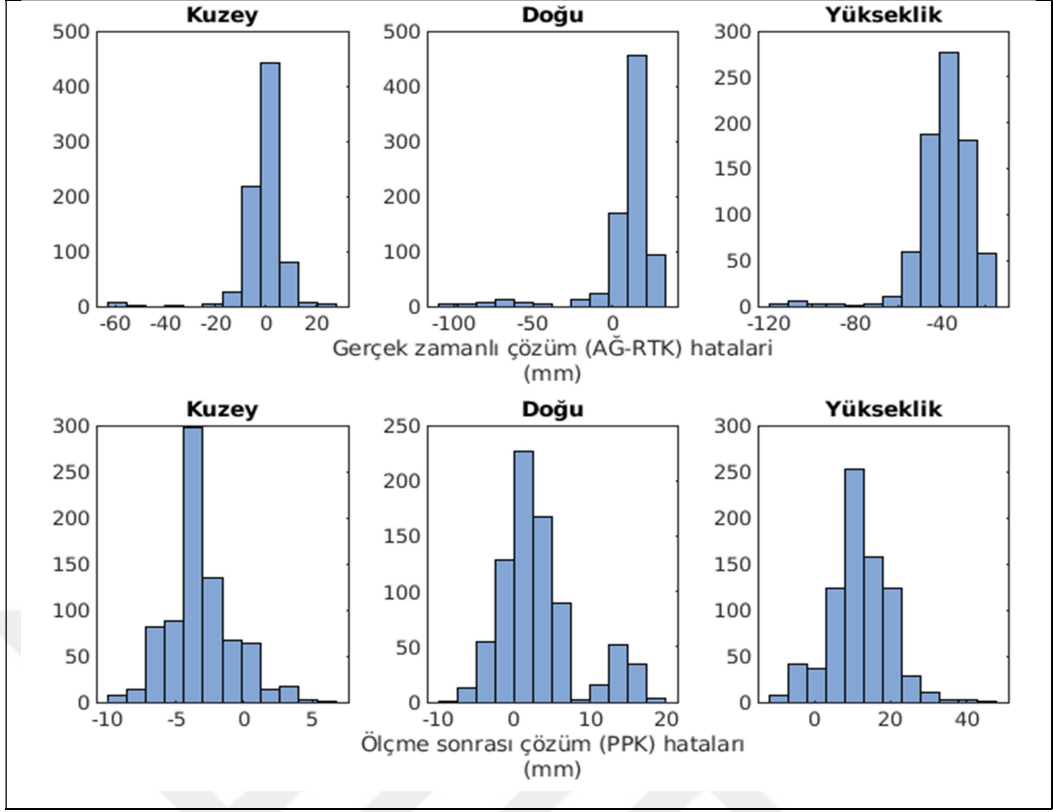


Şekil 4.6: Test2 Ağ-RTK sonuçları.



Şekil 4.7: Test2 PPK sonuçları.

İkinci teste ilişkin hata dağılım grafikleri incelendiğinde PPK sonuçlarının normal dağılımda olduğu görülmektedir. Ancak Ağ-RTK ölçme sürecinde bazı epoklarda hatanın arttığı görülebilir. Bu hataların birkaç epok sonra tekrar düzeldiği görülmektedir.



Şekil 4.8: Ağ-RTK ölçme sonuçlarına ait hata dağılım grafikleri.

Tablo 4.3 incelendiğinde, tek frekanslı GNSS alıcısına ait kinematik ölçme sonuçlarının cm mertebesinde iken, işlem sonrası ölçüm sonuçlarının mm mertebesinde olduğu görülmektedir. Gerçek zamanlı ve açık kaynaklı değerlendirme yazılımı sonuçlarına göre cm metre mertebesinde elde edilmektedir. Yazılım ayarları (zaman senkronizasyonu, filtreleme ve uydu seçenekleri, kesme açısı, veri kayıt hızı vs.) için testler artırılarak minimize edilebilmektedir. Ortalama hatalar incelendiğinde ise, her üç değerlendirme yönteminde de yatayda cm altı duyarlılığa ulaşılabilir. RTK hesaplamalarında, bağıl noktaya mesafe arttıkça, hata miktarlarının artması da beklenmektedir.

Tablo 4.3: Test ölçümlerinin ortalama hataları ve standart sapmalar.

Test No	Yöntem/ Yazılım	Ortalama Hata (cm)				Standart Sapma (cm)			
		K	D	KD	Y	K	D	KD	Y
1	RTK/U-center	0.8	-0.4	0.9	-2.7	1.2	6.6	6.7	1.8
1	PPK/RTKLib	0.2	0.0	0.2	-0.2	0.2	0.3	0.4	0.5
2	N-RTK/U-center	-0.1	0.9	0.9	-3.8	0.8	2.0	2.2	1.3
2	PPK/RTKLib	-0.3	0.3	0.4	1.2	0.2	0.5	0.6	0.8



5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Haritacılık alanında kullanılan İHA platformalarında yaygın olarak çift frekanslı GNSS alıcıları kullanılmaktadır. Piyasada RTK-İHA olarak adlandırılan hava araçlarında mm mertebesindeki PPK, cm mertebesinde RTK sonuçları elde edildiği satıcı kataloglarında görülmektedir. Ancak bu RTK/PPK özelliklerine ait bir İHA'ya sahip olmak, İHA maliyetlerini de oldukça arttırmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan tek frekanslı ve düşük maliyetli alıcıların RTK ve Ağ-RTK sonuçları açık kaynaklı yazılımlar ile incelenmiş, sonuçların cm mertebesinde, ölçme sonrası değerlendirme sonuçlarının ise mm mertebesinde olduğu görülmüştür. Tek frekanslı GNSS alıcısına ait açık kaynaklı yazılımlar ile elde edilen klasik RTK sonuçlarında, başlangıçta dm mertebesine varan hataların görüldüğü, daha sonra bu hataların ölçüm süresinin artmasıyla giderildiği görülmektedir. Kullanıcıların, bu gibi veri kayıplarına uğramamak için gezici ve baz istasyonu arasındaki RTCM veri akışının doğru olduğundan emin olmalıdır. Radyo ve internet bağlantısının kesildiği noktalarda sabit bir sonuç elde etmek zorlaşacaktır. Bu kullanım bir hava aracı değil de kara aracı olsaydı, gerek veri iletişim sorunu, gerekse uydu geometri sorunları sabit bir çözüm elde edilmesi mümkün olmayacaktır. Bu da GNSS alıcısı ile IMU entegrasyonu ile giderilebilmektedir.

İnternet kullanılarak RINEX verilerin gönderilmesi NTRIP protokolü ile sağlanmaktadır. Düşük maliyetli GNSS alıcıların kullanımının yaygınlaşması, NTRIP-Caster sunucuları üzerinden, kullanıcıların kendi baz istasyonuna ait kod ve faz ölçümlerini yayınlamaya, internet üzerinden gerçek zamanlı bir hesaplamaya olanak sağlamaktadır. Kullanıcılar bölgesel alanda düşük maliyetli GNSS alıcıları ile oluşturacağı baz istasyonları sayesinde, daha uzun mesafeli uçuşlarda cm hassasiyetinde koordinat verileri elde edebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan Caster sunucusu ücretsiz olduğundan, kurulumda bir adet baz istasyonuna izin vermektedir. Ücretli olan Caster sunucularına ile birden fazla baz istasyonu tanımlanabilmekte, İHA uçuşu sırasında, bulunduğu konuma göre en yakın baz verilerine geçiş yapabilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Odolinski R., Teunissen P. J. G., (2017), “GPS+BDS RTK: A low-cost single-frequency positioning approach”, *GPS World*, 28 (9), 50-56.
- [2] Wilkinson M. W., McCaffrey K. J. W. , Jones R. R. , Roberts G.P. , Holdsworth R. E. , Gregory L. C. , Walters R. J. , Wedmore L., Goodall H., Iezzi F., (2017), “Near-field fault slip of the 2016 Vettore Mw 6.6 earthquake (Central Italy) measured using low-cost GNSS”, *Nature Scientific Reports*, 7, 1-7.
- [3] Alkan R. M., Kalkan Y., (2011), “Precise Point Positioning-PPP (Hassas Nokta konumlama) Tekniğinin Hidrografik Ölçmelerde Kullanılabilirliği”, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara/Türkiye, 18-22 Nisan.
- [4] Huang Y. L., Kuo C. Y., Shih C. H. , Lin L. C., Chiang K. W., Cheng K. C., (2016), “Monitoring High-frequency Ocean signals using low-cost GNSS/IMU buoys”, 2016 XXIII ISPRS Congress, Prague/Czech Republic, 12–19 July.
- [5] Bramanto B., Gumilar I., Sidiq T. P., Kuntjoro W., Tampubolon D. A., (2018), “Sensing of the atmospheric variation using Low Cost GNSS Receiver”, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 149, May.
- [6] Rocken C., Braun J., Meertens C., Ware R., Sokolovskiy S., VanHove T., (1998), “Water vapor tomography with low cost GPS receivers”, 8th Atmospheric Radiation Measurement (ARM) Science Team Meeting, U.S. Department of Energy, Tucson, AZ/USA, 23 March.
- [7] Schwieger V., Gläser A., (2005), “Possibilities of Low Cost GPS Technology for Precise Geodetic Applications”, *FIG Working Week 2005 and 8th International Conference on Global Spatial Data Infrastructure*, Cairo/Egypt, 16-21 April.
- [8] Skoglund M., Petig T., Vedder B., Eriksson H., Schiller E. M., (2016), “Static and dynamic performance evaluation of low-cost RTK GPS receivers”, *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, Gothenburg/Sweden, 19-22 June.
- [9] Gill M., Bisnath S., Aggrey J., Seepersad G., (2017), “Precise Point Positioning (PPP) using Low-Cost and Ultra-Low-Cost GNSS Receivers”, *30th International Technical Meeting of Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2017)*, Portland/Oregon/USA, 25-29 September.
- [10] Atunggal D., Ma’ruf B., Sunantyo T. A., Rokhmana C. A., (2018), “Evaluation on the Performance of Single and Dual quency Low Cost GPS Module Observation using Geodetic Antenna”, *Communication in Science and Technology*, 3 (1), 9-14.
- [11] Hofmann B., Lichtenegger H., Wasle E., (2008), “GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo and more”, 1, Springer-Verlag Wien

- [12] Zhao S., Chen Y., Farrell J., (2016), “High Precision Vehicle Navigation in Urban Environments using a Low-cost Single-frequency RTK GPS Receiver”, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 17(10), 2854-2867.
- [13] Li T., Zhang H., Niu X., Gao Z., (2017), “Tightly-Coupled Integration of Multi-GNSS Single-Frequency RTK and MEMS-IMU for Enhanced Positioning Performance”, MDPI “Sensors”, 17(11), 2462-2484.
- [14] European GNSS Agency, (2017), “GNSS Market Report”, 5, Publication Office of the European.
- [15] Odolinski R., Odijk D., Teunissen R. J. G., (2015), “Combined BDS, Galileo, QZSS and GPS single-frequency RTK”, GPS Solutions, 19(1), 151-163.
- [16] Web 1, (2018), https://www.polarisgnss.com/Alpha_RTK_Receiver_User_Guide.pdf, (Erişim Tarihi: 22/06/2019).
- [17] Web 2, (2019), https://www.u-blox.com/sites/default/files/ucenter_UserGuide_%28UBX-13005250%29.pdf, (Erişim Tarihi: 22/06/2019).
- [18] Web 3, (2013), http://www.rtklib.com/prog/manual_2.4.2.pdf, (Erişim Tarihi: 22/06/2019).
- [19] Stempfhuber W., (2013), “3D-RTK Capability of Single GNSS Receivers”, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XL-1/W2, 379-384.
- [20] Takasu T., Yasuda A., (2009), “Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB”, International Symposium on GPS/GNSS, Jeju/Korea, 4-6 November.
- [21] Austin R., (2010), “Unmanned aircraft systems : UAVS design, development and deployment”, 1, John Wiley& Sons Ltd.
- [22] Web 4, (2019), <http://www.ardupilot.org> , (Erişim Tarihi: 22/06/2019).
- [23] Karaağaç C., (2016), “İHA Sistemleri Yol Haritası, Geleceğin Hava Kuvvetleri 2016-2050”, STM Mühendislik Teknoloji Danışmanlık.
- [24] Yılmaz V., Akar Ö., Akar A., Güngör O., (2013), “İHA ile Üretilen Ortofoto Haritalarda Doğruluk Analizi”, TUFUAB 2013 Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu, Trabzon/Türkiye, 23-25 Mayıs.
- [25] Meng X., Zhao K., Li C., Qiu X., (2017), “Photogrammetric UAV Mapping of Terrain under Dense Coastal Vegetation: An Object-Oriented Classification Ensemble Algorithm for Classification and Terrain Correction”, MDPI “Remote Sensing”, 9(11), 1187.

- [26] Wigmore O., Mark B., McKenzie J., Baraer M., Gordon R., Lautz L., (2016), “High Resolution Thermal UAV Mapping of Proglacial Streams and Wetlands in the Cordillera Blanca, Peru”, Association of American Geographers Annual Meeting, San Francisco/CA/USA, 29 March-2 April.
- [27] Stojcsics D., Domozi Z., Molnár A., (2018), “Automated evaluation of agricultural damage using UAV survey”, *Agriculture and Environment*, 10(1), 20-30.
- [28] Gao M., Xu X., Klinger Y., van der Woerd J., Tapponnier P., (2017), “High-resolution mapping based on an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to capture paleoseismic offsets along the Altyn-Tagh fault, China”, *Nature Scientific Reports*, 7, 8281.
- [29] Caprioli M., Trizzino R., Mazzone F., Scarano M., (2016), “Experiences of UAV Surveys Applied to Environmental Risk Management”, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLI-B1, 797–801.
- [30] Pérez-Alberti A., Pires A., (2013), “Photogrammetric evaluation of rocky coasts using UAV mapping system”, 8th IAG International Conference on Geomorphology Paris/France, 27-31 August.
- [31] Zulkipli M. A., Tahar N., (2018), “Multicopter UAV-Based Photogrammetric Mapping for Road Design”, *Hindawi International Journal of Optics*, 2018, Article ID 1871058.
- [32] Cramer M., Bovet S., Gültlinger M., Honkavaara E., McGill A., Rijdsdijk M., Tabor M., Tournadre V., (2013), “On The Use of Rpas In National Mapping-The EuroSDR Point of View”, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-1/W2, 379-384.
- [33] Santra A., Bose A., Roy A., (2018), “Cost-effective, Compact GNSS Data Logger using Raspberry Pi”, *Materials, Devices and Circuits in Communication Technology (MDCCT 2018)*, The University of Burdwan, Burdwan/West Bengal/India, 22-23 June.

ÖZGEÇMİŞ

Nedret BOZKURT 1981 yılında Gelibolu’da doğdu. İlk ve ortaokul eğitimini Evreşe’de tamamladı. Önce 1995 yılında Kayseri Mimarsinan Harita Teknik Lisesini, ardından Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotoğrametri Mühendisliği Bölümünden 2002 yılında mezun oldu. Askerlik görevini yerine getirdikten sonra kadastro ve kamulaştırma işleri ile başlayan özel sektör çalışmaları, son 15 yıldır mühendislik yapıları ve güzergah inşaatları üzerine yoğunlaşmıştır. İHA ve GPS alanındaki teknolojik gelişmeleri yakından takip edebilmek, meslek hayatında uygulayabilmek amacıyla 2017 yılında yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalında başladı. Halen özel bir şirketin Türkiye ve yurtdışı şantiyelerinde Harita Şefliği görevi yapmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Bozkurt N., Saka M.H., (2019), “A performance Analysis of Low-Cost GNSS Receiver Using N-RTK”, XXIX International Symposium on Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields, Istanbul/Turkey, 05-06 November.

Diğer Ekler (CD)



A Performance Analysis of Low-Cost GNSS receivers Using N-RTK

Nedret BOZKURT¹, M. Halis SAKA²

^{1,2}Gebze Technical University, Geomatic Engineering 41400 Kocaeli, TURKEY
Phone: +90 533 820 0317, E-mail: nbozkurt@gtu.edu.tr
Phone: +90 532 494 0227, E-mail: saka@gtu.edu.tr

ABSTRACT

Today, low-cost and high-performance GNSS devices can be successfully used in many fields including, autonomous vehicles, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), railways, maritime, agriculture, GIS, communication, energy, natural events, sports and meteorological studies. In real time positioning, the Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM) data structure including base station correction information can be transmitted to the receiver by The Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP) data transmission protocols. Thus, it can provide more flexible solutions for precise measurements compared with the standard Real-Time Kinematic (RTK) positioning technique can be achieved.

GNSS receiver manufacturers offer low cost products with acceptable accuracy for real-time analysis. In this study, a base station (NTRIP-Caster) was established using open-source software of U-Center and RTKLib to test the Ublox C94-m8p single-frequency GNSS receiver. RTCM correction data transmitted from this single frequency base station was transmitted over the internet to single-frequency C94m8p receiver (NTRIP-Client) and real-time network solutions, at the same time RINEX data were recorded at 1-second intervals. In order to compare the accuracy of low-cost devices with Post-Processing (PPK) data, RINEX data were collected and then the estimated solutions were analyzed using the dual-frequency receiver with RTKLIB software.

The results showed that the N-RTK results obtained with the U-Center software and the PPK solutions obtained with the RTKLib software were in the fix solution for single frequency receivers.

KEYWORDS: Low cost; Single Frequency; GNSS; N-RTK; PPK

1. INTRODUCTION

In the 1980s, the first commercially available GPS receiver could only perform C / A and P code measurements, and the initial sales prices were around \$ 50,000- \$ 250,000. Today, GNSS receivers capable of both code and phase measurements are available for up to \$ 100[1].

GPS modules generally have a variety of positioning features, including standard positioning service (SPS), static positioning, precision point positioning (PPP), post-processing kinematics (PPK), and real-time kinematics (RTK) GPS [2]. Single-receiver, single-position solution accuracy may not be sufficient in many applications where low-cost high-accuracy location solutions are needed, such as automatic transport service, unmanned aerial vehicle, geodesy, agriculture and the GNSS mass market [3].

In this study, the positioning performance of single frequency receivers will be discussed by transmitting the correction data in a base station created with a single frequency GNSS receiver using the internet protocol (NTRIP) using open source U-Center and RTKLib software[4, 5].

2. METHODS AND DEVICES USED

In order to obtain real-time location data using the low-cost GNSS receiver, the base station correction data must be sent to the receiving part. In this study, single frequency Ublox C94m8p receiver was used as base station (Figure 1).



Figure 2. *GTU Base Station (RTK2go NTRIP-Caster user monitoring screen)*

U-Center software, which uses Ublox products and allows the configuration of the receiver, provides an NTRIP-Caster service to which correction data can be sent. However, RTK2go[6] base station operator, which is an NTRIP-Caster that does not require static IP, was preferred. Open source RTKLib server software was used to send RTCM correction messages to this base station operator.

Table 1: Devices used simultaneously

Location	Method	GNSS Receiver	Antenna-Frequency
Base1	(NTRIP Caster)	Ublox C94m8p (Low cost)	Ublox- Single f. (L1)
Base2	(RINEX data for PPK)	Leica GS14 (High-Grade)	Leica –Double f. (L1-L2)
Rover	(NTRIP-Client)	Ublox C94m8p (Low cost)	Ublox -Double f. (L1-L2)
	(RINEX data for PPK)	Ublox ZED-F9P (Low cost)	

The Ublox C94-m8n receiver card is connected to the computer via a USB port. However, the transfer of the data on the radio on the UART-1 port is done. It is necessary to determine in advance which message data is transmitted via the RTCM. RTCM messages are defined as GPS+GLONASS configuration on the device. These messages are 1005 (Reference station coordinates), 1077 (GPS observations), 1087 (GLONASS observations) and 1230 (GLONASS code measurements). In order to eliminate the GLONASS integer ambiguity, the message 1230 must be forwarded. However, this is sent every 10 seconds to take advantage of the radio capacity. If BeiDou satellite data will be used, the message 1127 (BeiDou observations) will also have to be selected in the message settings. (Figure 2).

In the rover part, a single frequency Ublox C94m8p receiver was used and RINEX data was recorded with U-Center open source software to a computer in UBX format at 1 second intervals. The U-Center software also acts as the NTRIP client, and the position data after the received correction messages have been recorded. In order to compare the post-processing data, RINEX data were collected with Leica GS14, a dual frequency geodesic GNSS receiver located near the base station.

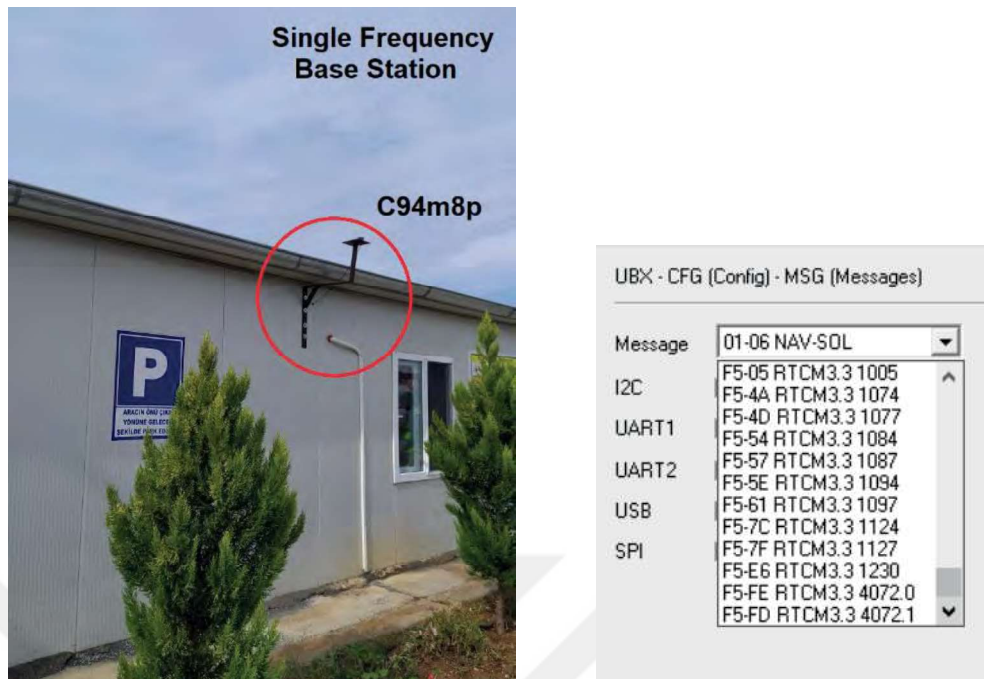


Figure 2. Ublox C94-M8P base station on the left, messages sent to the rover on the right

2.1 Single frequency C94m8p receiver

The Ublox C94M8P single frequency GNSS receiver card is sold as a single receiver if used via NTRIP-Caster (Figure 3). However, thanks to an internal radio transmitter on the card, it can be used as stationary and rover. In this application, the radio transmitter was disabled because correction data will be sent over the network. The 72-channel u-blox M8 engine supports GPS (L1C / A), GLONASS (L1OF), BeiDou (B1I) frequencies. RTK has a update rate of 5Hz in positioning. In static measurements, this is 10 Hz. However, in this application, 1 Hz data range was configured on the rover [7].



Figure 3. Ublox C94-M8P single frequency RTK application card on the left (\$ 180), GPS patch antenna on the right (\$ 15-25)

2.2 Dual frequency ZED-F9P receiver

The ZED-F9P receiver is a dual-frequency, low-cost GNSS receiver recently launched by Ublox. The 184 channel u-blox F9 engine supports GPS (L1C / A, L2C), GLONASS (L1OF, L2OF), GALILEO (E1-B / C, E5b), BeiDou (B1I, B2I) satellites. RTK has a update rate of 5Hz, while static measurement is 20Hz. The convergence time is less than 10s and it is 6 times faster than the C94M8P receiver (Figure 4) [8].



Figure 4. ArduSimple SimpleRTK2B dual frequency RTK application card based on ZED-F9P (\$ 200) on the left, multi-band GPS patch antenna on the right (\$ 53)

2.3 Dual-frequency Leica GS14 receiver

The Leica Viva GS14 is a professional dual-frequency GNSS receiver that supports 120 channels of GPS (L1, L2, L2C), GLONASS (L1, L2), BeiDou (B1, B2) and GALILEO (E1, E5b). It has 5 Hz position update and 20 Hz data record for RTK. The convergence time is 4 s (Figure 5) [9].



Figure 5. Leica Viva GS14 dual frequency professional GNSS receiver

3. RESULTS AND DISCUSSION

To test single and dual frequency Ublox GNSS receivers in a dynamic environment, the location data of a test site at a distance of 8.5 km and 3.6 km from the base station were collected with U-Center open source software. Both rovers were recorded in the same sky (Figure 5).

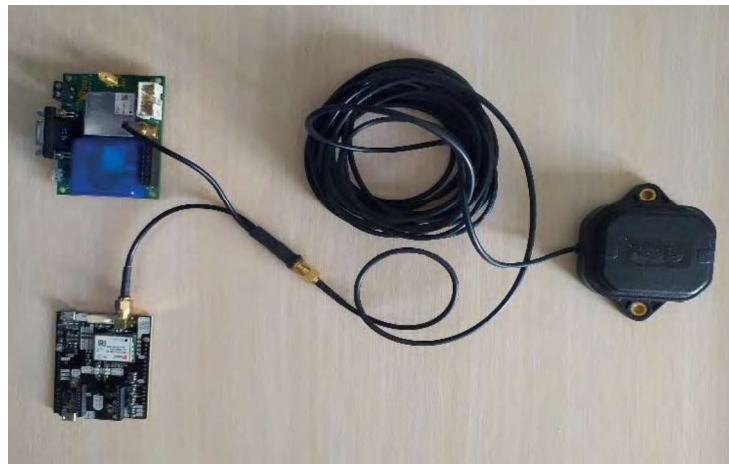


Figure 6. Rover test platform (Ublox C94m8p and ZED-F9P)

At the same time, RINEX data was recorded at 1 second intervals to obtain PPK data from the base station. PPK and N-RTK data of single frequency receiver were compared with PPK data of dual frequency ZED-F9P receiver.

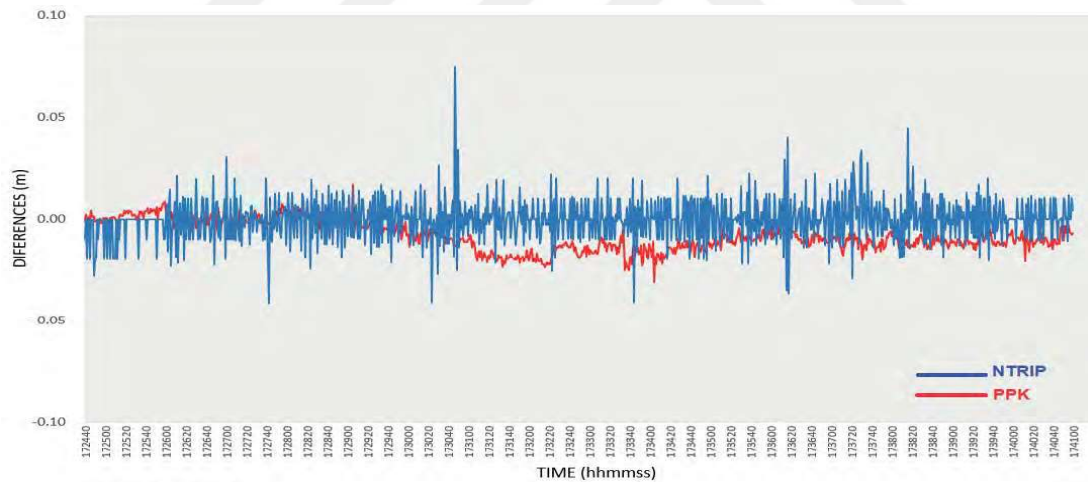


Figure 7. Distance differences over time interval t_1-t_2

The distance vector between time t_1 and t_2 was calculated as PPK with the dual frequency GNSS receiver. The distance vector of the single frequency receiver obtained by the N-RTK method was compared and a maximum error of 8 cm was observed. It was also compared with the PPK distance solution between the time t_1 and t_2 of the single frequency receiver. Here it is seen that the max 3 cm (Figure 7).

When the results obtained from the two-frequency PPK coordinates were considered fix and the coordinate data calculated for each t moment were examined, the differences in the north and east coordinates of PPK and N-RTK were found to be around a few cm, but the N-RTK up value reached dm level (Figure 8, Figure 9).

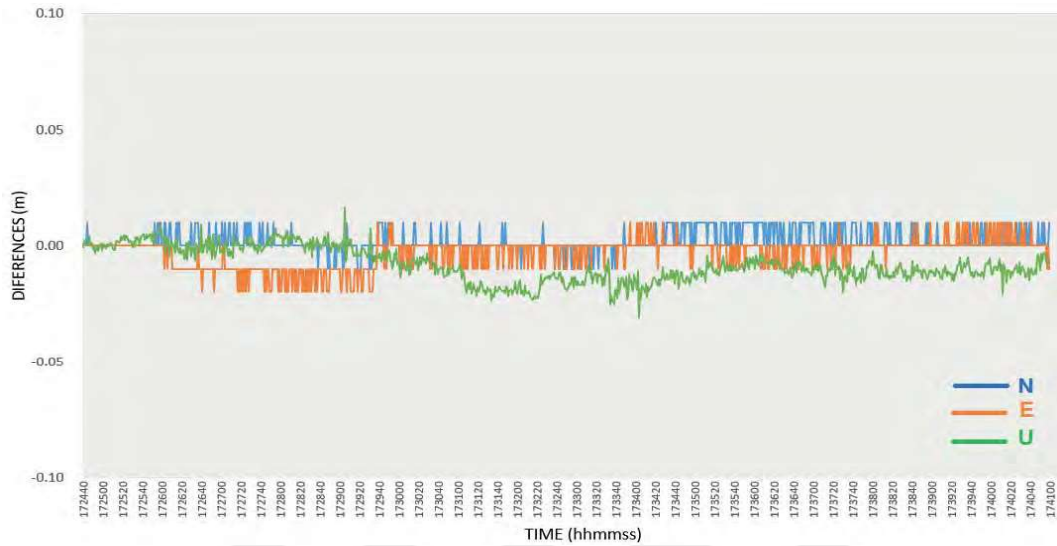


Figure 8. PPK coordinate differences of single frequency GNSS receiver at time t

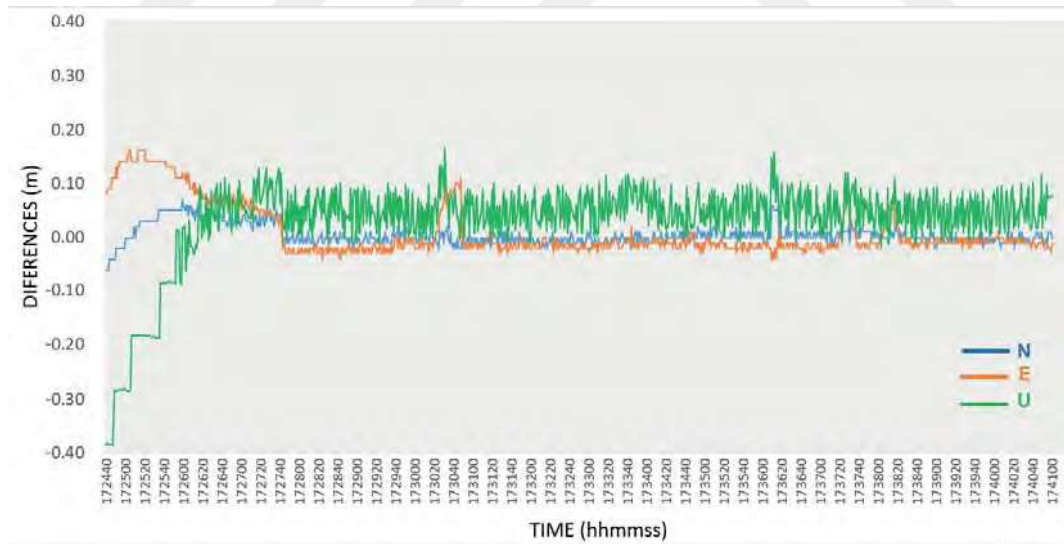


Figure 9. N-RTK coordinate differences of single frequency GNSS receiver at time t

4. CONCLUSION

The N-RTK and PPK performance of the low-cost single-frequency GNSS receiver is compared with the PPK performance of dual-frequency geodesic and high-performance GNSS receivers. The small size of the modules of single frequency devices and the good performance of open source software such as U-Center and RTKLib provide advantages in real-time positioning that require low-cost and centimeter accuracy. However, a good internet connection and clear sky conditions should be provided.

In this study, the PPK vertical positioning performance of the single frequency GNSS receiver appears to be more effective than the N-RTK positioning performance. However, both methods give precision of a few cm in the horizontal position. This location solution is slightly lower than that provided by geodesic receivers. However, the solution quality can be applied in systems that are cost-effective and reasonably require medium / high precision. On the other hand, low-cost GNSS modules have very small form factors and consume very low power compared to survey-grade GNSS receivers; All these features make these modules cost-effective for GNSS-based mass market applications and solution development.

ACKNOWLEDGEMENT

This study, published by the authors, is part of a dissertation on "Positioning Performance of Low Cost GNSS Receivers in Unmanned Aerial Vehicles (UAV)".

REFERENCES

1. Odolinski R.; Teunissen P. J. G. "GPS+BDS RTK: A low-cost single-frequency positioning approach" (2017), GPS World.
2. Atunggal D.; Ma'ruf B.; Sunantyo T.A.; Rokhmana C.A. "Evaluation on the Performance of Single and Dual Frequency Low Cost GPS Module Observation using Geodetic Antenna" (2018), Communications in Science and Technology.
3. Mahato S.; Santra A.; Dan S., Rakshit P., Banerjee P. ;Bose A. "Preliminary Results on the Performance of Cost-effective GNSS Receivers for RTK" (2019), URSI AP-RASC.

4. Ublox U-Center Open Source Software. <https://www.u-blox.com/en/product/u-center> (02.11.2019)
5. RTKLib Open Source Software. <http://www.rtklib.com/> (02.11.2019)
6. RTK2go NTRIP Server. <http://www.rtk2go.com/> (02.11.2019)
7. Ublox C94m8p RTK Application Board. https://www.u-blox.com/sites/default/files/C94-M8P-AppBoard_UserGuide_%28UBX-15031066%29.pdf (02.11.2019)
8. Ublox F9 high precision GNSS module. https://www.u-blox.com/sites/default/files/ZED-F9P_ProductSummary_%28UBX-17005151%29.pdf (02.11.2019)
9. Leica GS14. <https://leica-geosystems.com/products/gnss-systems/smart-antennas/leica-viva-gs14> (02.11.2019)

