

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ROBOT İŞLETİM SİSTEMİ İLE İNSANSIZ HAVA  
ARAÇLARI İÇİN GNSS VERİ BENZETİMİ

**Muhammed OKUR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aviyonik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Aviyonik Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Ufuk SAKARYA

Ocak, 2025

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

**ROBOT İŞLETİM SİSTEMİ İLE İNSANSIZ HAVA**  
**ARAÇLARI İÇİN GNSS VERİ BENZETİMİ**

Muhammed OKUR tarafından hazırlanan tez çalışması 24.01.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Aviyonik Mühendisliği Anabilim Dalı, Aviyonik Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ufuk SAKARYA  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
Danışman

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Ufuk SAKARYA, Danışman  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Muhammet Ali KARABULUT, Üye  
Milli Savunma Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mumin Tolga EMİRLER, Üye  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Danışmanım Prof. Dr. Ufuk SAKARYA sorumluluğunda tarafımda hazırlanan “Robot İşlerim Sistemi ile İnsansız Hava Araçları için GNSS Veri Benzetimi” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Muhammed OKUR

İmza



*Aileme  
ve  
eşime*

## TEŐEKKÜR

---

Tez çalıőmam sűresince bilgi birikimi ve tecrűbesiyle her konuda bana destek olan çok deęerli danıőmanım sayın Prof. Dr. Ufuk SAKARYA' ya,

Yoęun geçen bu sűrete her zaman yanımda olan, sabır ve anlayıőla beni manevi olarak destekleyen sevgili eőime ve hayatım boyunca aldığım kararların arkasında duran, bana motivasyon kaynağı olan biricik aileme sonsuz teőekkűrlerimi sunarım.

Ayrıca teknik bilgi ve tecrűbeleri ile bana destek olan çalıőma arkadaőlarıma ve dostlarıma çok teőekkűr ederim.

Muhammed OKUR

# İÇİNDEKİLER

<b>SİMGE LİSTESİ</b>	<b>vii</b>
<b>KISALTMA LİSTESİ</b>	<b>viii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>x</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>xi</b>
<b>ÖZET</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xiv</b>
<b>1 GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1 Literatür Özeti .....	1
1.2 Tezin Amacı .....	3
<b>2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b>	<b>4</b>
2.1 Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems - GNSS) .....	4
2.2 Gerçek Zamanlı Kinematik (Real Time Kinematics - RTK) .....	5
2.3 GNSS Sistemlerinde Kullanılan Veri Protokolleri .....	5
2.3.1 RTCM	5
2.3.2 NTRIP	8
2.3.3 NMEA	10
2.4 Gerçek Zamanlı Ulusal Sabit GNSS Ağları (CORS).....	13
2.4.1 VRS (Virtual Reference Station) Sistemi	13
2.4.2 TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı)	14
2.4.3 RINEX	15
2.5 ROS (Robot Operating System).....	16
2.5.1 ROS Haberleşme Yapısı	18
2.5.2 ROS Benzetim Araçları	20
<b>3 ROS ORTAMINDA GNSS VERİ BENZETİM TASARIMI</b>	<b>21</b>
3.1 Sistem Mimarisi .....	21
3.2 Rota Planlaması.....	22
3.2.1 Doğrusal İnterpolasyon Yöntemi	24
3.2.2 Alternatif Algoritmalar	25

3.2.3	Gauss Dağılımı ile Rastgele Gürültü Eklenmesi	25
3.3	RViz ile Harita Modelleme .....	27
3.3.1	Tile Map Service (TMS)	27
3.3.2	Konum Bilgilerinin Görselleştirilmesi	27
3.4	Seyrüsefer Mesajlarının Oluşturulması.....	28
3.4.1	NMEA-0183 Protokol Yapısı	28
3.4.2	NMEA-0183 Protokolü ile Seyrüsefer Mesajlarının Oluşturulması 29	
3.5	NTRIP Protokolü ile CORS Ağlarının Kullanılması.....	31
3.5.1	TUSAGA-Aktif Sisteminin Kullanımı	31
3.5.2	NTRIP Client Yazılım Tasarımı	31
3.6	RINEX Dosyalarının İşlenmesi .....	34
3.6.1	Rinex Verileri ile NMEA GSV Seyrüsefer Mesajlarının Oluşturulması	35
<b>4</b>	<b>DENEYSEL SONUÇLAR</b>	<b>37</b>
4.1	Uygulama Sonuçları.....	37
4.1.1	NMEA Mesajlarının Doğrulanması	37
4.1.2	NTRIP ile RTCM Mesajlarının Alınması	38
<b>5</b>	<b>SONUÇ</b>	<b>40</b>
	<b>KAYNAKÇA</b>	<b>41</b>
	<b>TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR</b>	<b>44</b>

## SİMGE LİSTESİ

---

$x_1$	Rota başlangıç noktası x koordinatı
$y_1$	Rota başlangıç noktası y koordinatı
$x_2$	Rota bitiş noktası x koordinatı
$y_2$	Rota bitiş noktası y koordinatı
$x$	İnterpolasyon ile elde edilen x koordinatı
$y$	İnterpolasyon ile elde edilen y koordinatı
P1	Rota başlangıç enlem ve boylam koordinatları
P2	Rota bitiş enlem ve boylam koordinatları
P	İnterpolasyon ile elde edilen enlem ve boylam koordinatları
$\sigma^2$	Varyans
$\sigma$	Standart sapma
$\mu$	Ortalama
N	Gauss dağılımından türetilmiş gürültü değeri
$\alpha$	İnterpolasyon oranı

# KISALTMA LİSTESİ

---

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CDDIS	Crustal Dynamics Data Information System
CMR	Compact Measurement Record
CORS	Continuously Operating Reference Station
DDS	Data Distribution Service
DGNSS	Differential Global Navigation Satellite Systems
DGPS	Differential Global Positioning System
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
HDOP	Horizontal Dilution of Precision
HIL	Hardware in the Loop
HTTP	Hyper-Text Transfer Protocol
ID	Identity
IMEI	International Mobile Equipment Identity
İHA	İnsansız Hava Aracı
KKTC	Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti
MSM	Multiple Signal Messages
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NMEA	National Marine Electronics Association
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
PDOP	Position Dilution of Precision
PPP	Precise Point Positioning
PRN	Pseudorandom Noise
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System
ROS	Robot Operating Systems
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
RMS	Root Mean Square
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services
RTK	Real Time Kinematics
SAPOS	Satellite Positioning Service
SIL	Software in the Loop
SNR	Signal to Noise Ratio

TCP	Transmission Control Protocol
TCPROS	TCP based Robot Operating System protocol
TUSAGA	Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı
UDP	User Datagram Protocol
UDPROS	UDP based Robot Operating System protocol
UML	Unified Modeling Language
VDOP	Vertical Dilution of Precision
VRS	Virtual Reference Station



## ŞEKİL LİSTESİ

---

Şekil 2.1 NTRIP sistem mimarisi.....	9
Şekil 2.2 VRS sistem mimarisi.....	14
Şekil 2.3 Rinex 2.11 sürümü dosya yapısı.....	16
Şekil 2.4 ROS 2 düğümler arası servis mimarisi.....	19
Şekil 2.5 ROS 2 düğümler arası haberleşme mimarisi.....	20
Şekil 3.6 Sistem mimarisi .....	21
Şekil 3.7 RViz Publish Point aracı.....	23
Şekil 3.8 Rota planlaması yazılımına ait UML diyagramı .....	23
Şekil 3.9 Doğrusal interpolasyon ile konum verilerinin üretilmesi .....	25
Şekil 3.10 Gauss dağılımı uygulanan konum verisi .....	26
Şekil 3.11 RViz ortamında benzetim modeli tasarımı UML diyagramı .....	28
Şekil 3.12 RViz benzetim ortamında konum bilgilerinin görselleştirilmesi ...	28
Şekil 3.13 GPS için örnek bir NMEA GGA mesajı .....	29
Şekil 3.14 Oluşturulan NMEA mesajlarına ait linux terminal çıktısı.....	30
Şekil 3.15 NTRIP client yazılımı UML diyagramı.....	32
Şekil 3.16 NTRIP Client yazılımı linux terminal ekranı .....	32
Şekil 3.17 Rinex dosya işleme yazılım tasarımına ait UML diyagramı .....	34
Şekil 3.18 Galileo NMEA GSV mesaj örneği .....	35
Şekil 3.19 Rinex ile NMEA GSV mesajı oluşturma adımları akış şeması.....	36
Şekil 4.20 NMEA mesaj çıktıları .....	37
Şekil 4.21 NMEA dosya seçim ekranı .....	37
Şekil 4.22 NMEA GGA mesajlarının harita üzerinde görselleştirilmesi.....	38
Şekil 4.23 NTRIP Client yazılımı kullanıcı giriş ekranı .....	39
Şekil 4.24 NTRIP Client yazılımı ile RTCM mesajları çıktı görüntüsü .....	39

## TABLO LİSTESİ

---

<b>Tablo 2.1 GNSS sistemleri operasyonel uydu sayıları.....</b>	<b>4</b>
<b>Tablo 2.2 RTCM sürümleri ve uydu konstellasyon bilgileri .....</b>	<b>6</b>
<b>Tablo 2.3 RTCM mesaj türleri açıklaması.....</b>	<b>7</b>
<b>Tablo 2.4 Çoklu sinyal mesaj tipleri açıklaması .....</b>	<b>8</b>
<b>Tablo 2.5 Uydu sistemleri NMEA mesaj ön ekleri .....</b>	<b>11</b>
<b>Tablo 2.6 Yaygın olarak kullanılan NMEA mesaj türleri .....</b>	<b>12</b>
<b>Tablo 2.7 Rinex içerik karşılaştırılması.....</b>	<b>15</b>
<b>Tablo 2.8 ROS sürümleri karşılaştırması.....</b>	<b>17</b>
<b>Tablo 3.9 NMEA-0183 mesaj yapısı.....</b>	<b>29</b>
<b>Tablo 3.10 NMEA mesajları veri içerikleri .....</b>	<b>30</b>

## **Robot İşletim Sistemi ile İnsansız Hava Araçları için GNSS Veri Benzetimi**

Muhammed OKUR

Aviyonik Mühendisliği Anabilim Dalı

Aviyonik Mühendisliği Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ufuk SAKARYA

Bu tez çalışması, İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemlerinin kapalı ortamlarda test edilmesi amacıyla Robot İşletim Sistemi (ROS) kullanarak Küresel Konum Belirleme Sistemi (GNSS) veri benzetimi üzerine odaklanmaktadır. İHA sistemlerinin kapalı ortamlarda test edilmesi, uydu sinyallerinin bulunmadığı bu ortamlarda önemli zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışma, GNSS veri benzetiminin donanım çevrim döngüsü (HIL) sistemlerinde kullanımının, bu tür ortamlarda alternatif bir çözüm sunduğunu göstermektedir. ROS ortamında tasarlanan benzetim ortamında, İHA sistemlerine ait seyrüsefer verilerinin oluşturulması için NMEA-0183 protokolü kullanılmaktadır. ROS içerisinde yer alan RViz görselleştirme aracı kullanılarak uçuş rotası planlaması yapılmakta ve konum verileri gerçek zamanlı olarak görselleştirilmektedir. Araştırmada ayrıca, benzetim ortamında Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) düzeltme verilerinin oluşturulabilmesi için NTRIP protokolünün kullanımı detaylı bir şekilde ele alınmaktadır. Bu sayede, İHA'nın kapalı ortamlarda gerçekleştireceği uçuşların benzetimi yapılırken, GNSS verilerinin hassas düzeltmelerle zenginleştirilmesi sağlanmakta ve bu da benzetimin daha gerçekçi ve güvenilir hale gelmesine olanak tanımaktadır.

Önerilen benzetim yaklaşımı, GNSS verilerinin hassas düzeltmelerle zenginleştirilmesi, İHA'nın seyrinin harita üzerinde görselleştirilmesi ve test edilmesi gibi özellikleriyle İHA sistemlerinin performansını artırma potansiyeline sahiptir. Bu tez, ROS ve GNSS entegrasyonunun, benzetim ortamında test edilmesi sürecinde etkili bir araç olabileceğini ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** GNSS, ROS, Veri Benzetimi, NTRIP, RTCM, NMEA, RTK, İnsansız Hava Aracı



## **GNSS Data Simulation for Unmanned Aerial Vehicles with Robot Operating System**

Muhammed OKUR

Department of Avionics Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Ufuk SAKARYA

This thesis focuses on Global Navigation Satellite System (GNSS) data simulation using a Robot Operating System (ROS) for testing Unmanned Aerial Vehicle (UAV) systems in indoor environments. Testing UAV systems in indoor environments poses significant challenges in the absence of satellite signals. This paper demonstrates that the use of GNSS data simulation in hardware-in-the-loop (HIL) systems offers an alternative solution in such environments. In the simulation environment designed in ROS, the NMEA-0183 protocol is used to generate navigation data for UAV systems. Using the RViz visualization tool in ROS, flight route planning is performed and position data is visualized in real time. The research also examines in detail the use of the NTRIP protocol to generate Real-Time Kinematic (RTK) correction data in the simulation environment. In this way, the GNSS data is enriched with precise corrections while simulating the flights of the UAV in indoor environments, which makes the simulation more realistic and reliable.

The proposed simulation approach has the potential to improve the performance of UAV systems by enhancing GNSS data with precise corrections, visualizing and testing the UAV's path on the map. This thesis demonstrates that the integration of ROS and GNSS can be an effective tool for testing in a simulation environment.

**Keywords:** GNSS, ROS, Data Simulation, NTRIP, RTCM, NMEA, RTK,  
Unmanned Aerial Vehicle



---

**YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY**  
**GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND ENGINEERING**

## 1.1 Literatür Özeti

Dünya genelinde konum belirleme amacıyla kullanılan Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems - GNSS), ABD'nin GPS, Rusya'nın GLONASS, Avrupa Birliği'nin Galileo ve Çin'in BeiDou dahil olmak üzere farklı seyrüsefer uydu sistemlerinden oluşmaktadır. Her bir sistem temelde aynı şekilde çalışır ve GNSS alıcısının Dünya'nın yüzeyinde dört veya daha fazla GNSS uydusuna engelsiz bir görüş hattı olduğu her yerde coğrafi konum ve zaman bilgisi sağlamaktadır. Mutlak konum bilgisi mevcut olmadığında veya hatalı olduğunda, çeşitli İnsansız Hava Araçları (İHA) iş birliği görevlerinin etkinliğini ve güvenliğini garanti etmenin ön koşulu, doğru ve güvenilir göreceli navigasyondur. İHA navigasyon teknikleri arasında Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemi (GNSS), dünya çapında kapsama alanı ve göreceli navigasyonun basitliği nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır[1].

GNSS sistemleri, insansız hava araçlarının (İHA) operasyonlarında kritik bir rol oynamakta ve dış ortamlarda doğru konumlandırma bilgisi sağlamaktadır[2].

Çoğu ticari uygulama için GNSS, herhangi bir ek güçlendirme sistemi olmadan açık gökyüzü koşullarında yaklaşık 10 metrelik bir konumsal doğruluk elde edebilir. Diferansiyel GPS (DGPS) ve Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) konumlandırma gibi sistemler kullanılarak doğruluk, bazı durumlarda metrenin altına hatta santimetre seviyesine kadar önemli ölçüde geliştirilebilir. Örneğin, belirli kurulumlarda çift frekanslı taşıyıcı faz ölçümleri ile yaklaşık 0,5 metre (3D RMS) gerçek zamanlı konum doğruluğu mümkündür[3].

Gelişen teknoloji sayesinde otonom araçlar oldukça yaygınlaşmaktadır. Otonom kara araçları ve insansız hava araçlarında pozisyon konumlandırması da güvenlik öncelikli bir konu haline gelmektedir. Bunun için GNSS sistemlerinde konum hassasiyeti çok önemli ve kritik bir rol oynamaktadır. GNSS sistemlerinde konum hassasiyetini arttırmak amacıyla kullanılan yaygın çözümlerden birisi de RTK

(Real Time Kinematics) yöntemidir. RTK, GNSS sinyallerinin taşıyıcı faz ölçümlerini kullanır ve santimetre düzeyinde konum doğruluğu sağlar.

GNSS sistemlerinde RTK çözümü, tarım ve otonom navigasyon gibi yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda kullanışlıdır. Sabit bir baz istasyonunun bilinen konumuna göre konum tahminlerini düzelteren bu yöntem, standart GNSS yöntemlerine kıyasla doğruluğu önemli ölçüde artırır[4].

Teknoloji, RTK ve Hassas Nokta Konumlandırma (PPP) gibi teknikler kullanılarak birkaç santimetre ile birkaç metre arasında yüksek performanslı navigasyon başarabilir. Bu, araçlar veya dronlar gibi hassas hareket izleme uygulamaları için RTK kullanımını uygun kılar[5].

NTRIP, Hassas konumlandırma ve navigasyon için Diferansiyel GPS düzeltmelerinin yayınlanmasına odaklanır. GNSS verilerinin İnternet üzerinden gerçek zamanlı toplanması ve yayınlanması için Federal Haritacılık ve Jeodezi Ajansı tarafından geliştirilen Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP) adı verilen bir format oluşturulmuştur[6].

ROS, Robotik sistemlerin tasarımını, uygulanmasını ve kontrolünü kolaylaştıran açık kaynaklı bir yazılım çerçevesidir. ROS, robot sistemlerinin modüler bir şekilde yapılandırılmasına olanak tanıyan bir dizi benzetim ortamı, kütüphane ve yazılım paketini içermektedir[7]

İHA sistemleri veya yer tabanlı robotlar (insansız kara araçları) gibi sistemlerde Robot İşletim Sistemi (ROS) kolayca kullanılabilir. Bu açık kaynaklı proje, neredeyse tüm robotik uygulamalar için veri toplama, değerlendirme, depolama ve görselleştirme sağlayan bir yazılım çerçevesidir[8].

ROS ve oyun motoru tabanlı geliştirilen 3 boyutlu simülatör, gerçek uçuş testlerinden önce algoritmaları doğrulayabilir ve olası sorunları tespit edebilir. Simülatör, büyük miktarda sensör verisinin işlenmesi de dahil olmak üzere, gerçek zamanlı çoklu İHA navigasyonu ve kontrol algoritmalarını yönetebilir. ROS ve oyun motoru entegrasyonu, karmaşık ve zorlu ortamlarda algılama teknolojilerinin sorunsuz bir benzetimine olanak tanır[9].

Yapılan bir çalışmada [10], araçlarda konum ve hareketlilik farkındalığını sağlamak için GNSS'e yönelik bir benzetim çerçevesi olan GNSSim tanıtılmaktadır ve

insansız hava araçlarının maliyet ve güvenlik endişeleri nedeniyle test edilmesinde benzetimin önemi vurgulanmaktadır[10].

## 1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışması, Linux işletim sisteminde çalışan ROS tabanlı GNSS veri benzetimi içeren bir sistem geliştirmeyi amaçlamaktadır. İnsansız hava araçları (İHA'lar) için güvenli ve doğru konumlandırma sistemlerinin gerekliliği, günümüzde giderek artmaktadır. GNSS sistemleri, İHA'larda yaygın olarak kullanılan konumlandırma sistemlerinden biridir. Ancak, GNSS sistemlerinin uydu sinyallerinin bulunmadığı kapalı ortamlarda test edilmesi zorlu bir süreçtir. Bu zorluğu aşmak ve HIL sistemlerinde doğru bir şekilde test edilebilmeleri için GNSS alıcılarının, veri benzetimi ile test edilebilmesi önemlidir. Bu tez çalışması, ROS yazılım kütüphanesinin sunduğu RViz benzetim ortamını kullanarak ve açık kaynak bir harita servisi ile entegre edilerek gerçekleştirilmektedir. İHA sisteminin uçuş rotası belirlenip, bu rota boyunca GNSS seyrüsefer mesajları oluşturulmaktadır. Seyrüsefer mesajlarının gerçeğe yakın olması için, GNSS uydularının 24 saatlik Rinex verileri de işlenmekte ve yazılım algoritmasına dahil edilmektedir. Rota boyunca oluşturulan navigasyon mesajları için NMEA-0183 protokolü kullanılmıştır. Harita üzerinde belirlenen baz istasyonları ile NTRIP protokolü kullanarak hassas konum düzeltmeleri için RTCM mesajları benzetime dahil edilebilmektedir. Bu yaklaşım, İHA'nın seyrini harita üzerinde görselleştirmek ve test etmek için etkili bir çözüm sunacaktır. GNSS sistemlerinde kullanılan yaygın ve standart mesaj protokolleri kullanılması sayesinde platform bağımsız bir sistem tasarımı yapılacaktır. Geliştirilecek GNSS veri benzetimi, İHA sistemlerinin kapalı ortamlarda ve HIL sistemlerinde gerçekçi bir şekilde test edilmesine olanak sağlayacaktır. Tasarlanan veri benzetimi, gerçek zamanlı seyrüsefer mesajları üreterek, İHA sistemlerinin gerçek dünyadaki performansını doğru bir şekilde yansıtacaktır. Benzetim yazılımının NMEA-0183 ve RTCM protokolünü desteklemesi, farklı platformlarda kullanılabilmesini sağlamaktadır. ROS benzetim ortamında bir harita servisi ile entegre edilebilir olması, İHA'nın seyrini gerçekleştirdiği harita üzerinde görselleştirmeyi ve test etmeyi kolaylaştıracaktır.

## 2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 2.1 Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems - GNSS)

Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemleri, Dünya genelinde konum belirleme amacıyla kullanılan uydu tabanlı konumlandırma sistemlerine verilen genel bir isimlendirmedir. GNSS, ABD'nin GPS, Rusya'nın GLONASS, Avrupa Birliği'nin Galileo, Çin'in BeiDou, Japonya'nın QZSS ve Hindistan'ın IRNSS dahil olmak üzere farklı navigasyon uydu sistemlerinden oluşmaktadır. Her bir sistem temelde aynı şekilde çalışır ve GNSS alıcısının Dünya'nın yüzeyinde dört veya daha fazla GNSS uydusuna engelsiz bir görüş hattı olduğu her yerde coğrafi konum ve zaman bilgisi sağlamaktadır. Mutlak konum bilgisi mevcut olmadığında veya hatalı olduğunda, çeşitli İnsansız Hava Araçları (İHA) iş birliği görevlerinin etkinliğini ve güvenliğini garanti etmenin ön koşulu, doğru ve güvenilir göreceli navigasyondur. İHA navigasyon teknikleri arasında Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemi (GNSS), dünya çapında kapsama alanı ve göreceli navigasyonun basitliği nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Tablo 2.1 ile GNSS uydu sistemlerine ait operasyonel uydu sayıları[11] gösterilmektedir.

**Tablo 2.1** GNSS sistemleri operasyonel uydu sayıları

Uydu Sistemi	Operasyonel Uydu Sayısı
GPS	31
BEIDOU	35
GALILEO	24 ve üzeri
GLONASS	24 ve üzeri
QZSS	7
IRNSS	7

## **2.2 Gerçek Zamanlı Kinematik (Real Time Kinematics - RTK)**

Gelişen teknoloji sayesinde otonom araçlar oldukça yaygınlaşmaktadır. Otonom kara araçları ve insansız hava araçlarında pozisyon konumlandırması da güvenlik öncelikli bir konu haline gelmektedir. Bunun için GNSS sistemlerinde konum hassasiyeti çok önemli ve kritik bir rol oynamaktadır. GNSS sistemlerinde konum hassasiyetini arttırmak amacıyla kullanılan yaygın çözümlerden birisi de RTK yöntemidir. RTK, GNSS sinyallerinin taşıyıcı faz ölçümlerini kullanır ve santimetre düzeyinde konum doğruluğu sağlar.

GNSS sistemlerinde RTK çözümü, tarım ve otonom navigasyon gibi yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda kullanışlıdır. Sabit bir baz istasyonunun bilinen konumuna göre konum tahminlerini düzelteren bu yöntem, standart GNSS yöntemlerine kıyasla doğruluğu önemli ölçüde artırır[4].

Günümüzde teknoloji, RTK ve Hassas Nokta Konumlandırma (PPP) gibi teknikler kullanılarak birkaç santimetre ile birkaç metre arasında yüksek performanslı seyrüsefere olanak sağlar. Bu, otonom araçlar veya dronlar gibi hassas hareket izleme uygulamaları için RTK kullanımını uygun kılar[5].

## **2.3 GNSS Sistemlerinde Kullanılan Veri Protokolleri**

### **2.3.1 RTCM**

RTCM, Radio Technical Commission for Maritime Services'in kısaltmasıdır. Denizcilik hizmetleri için teknik standartlar geliştiren bir organizasyon tarafından gerçek zamanlı GNSS düzeltme verilerini depolamak ve iletmek için oluşturulmuş bir veri formatıdır [12]. RTCM mesajları, GNSS uygulamalarında yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağlamak için kritik öneme sahiptir. RTCM standartları, özellikle gerçek zamanlı kinematik (RTK) pozisyonlama ve diğer yüksek hassasiyetli konumlandırma teknolojilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. RTCM standartlarının, GNSS alıcılarının performansını artırmada ve doğru konum bilgisi sağlamada kritik rol oynadığı belirtilmiş ve RTCM versiyonlarının, özellikle DGPS ve RTK uygulamaları için nasıl geliştirilip kullanıldığı detaylandırılmıştır[13].

RTCM, GNSS verilerinin standardize edilmiş formatlarda iletilmesini sağlayarak farklı sistemler arasında uyumlu veri paylaşımını mümkün kılmaktadır[14].

**Tablo 2.2** RTCM sürümleri ve uydu konstellasyon bilgileri

<b>Mesaj Tipi</b>	<b>Desteklenen Uydu Konstellasyonu</b>
RTCM 2.3	GPS
RTCM 3.1	GPS ve Glonass
RTCM 3.2	GPS (L5 dahil), Glonass, Galileo, Beidou

Tablo 2.2 ile RTCM versiyonlarının destekledikleri uydu konstellasyonları verilmiştir. Yaygın olarak tüm GNSS uydularına ait konstellasyonları desteklediği için ve en güncel sürüm olmasından dolayı RTCM 3 standart mesaj protokolü tercih edilmektedir.

#### **2.3.1.1 RTCM 3 Mesaj Türleri**

RTCM mesaj türleri ve versiyonları, GNSS verilerinin doğruluğunu artırmak ve çeşitli uygulamalar için kullanılabilir hale getirmek amacıyla geliştirilmiştir. Her yeni versiyon, belirli iyileştirmeler ve yeni özellikler sunar.

RTCM v3.2 sürümü, özellikle RTCM v3.1 sürümündeki çeşitli revizyonları gerçekleştirmek amacıyla 1 Şubat 2013 tarihinde yayınlanmıştır. Bu kapsamda ilk olarak MSM yapısına geçiş, SSR mesajlarının eklenmesi ve ağ-RTK düzeltme modelleri olan MAC ve FKP mesajlarında çeşitli güncelleştirmelerin yapılması sağlanmıştır[13].

RTK çözümü için sıklıkla kullanılan ve bu çalışmada kullanılacak olan bazı RTCM mesaj tipleri ve açıklamaları[15] Tablo 2.3 ile verilmiştir.

**Tablo 2.3** RTCM mesaj türleri açıklaması

<b>Mesaj Tipi</b>	<b>Açıklama</b>	<b>Sistem</b>
1005	Anten referans noktası için istasyon X, Y, Z koordinatları	GNSS Alıcı
1006	İstasyon koordinatları ve anten yüksekliği	GNSS Alıcı
1013	Sistem Parametreleri (Modified Julian Date, leap second)	GNSS Alıcı
1033	Alıcı ve Anten Açıklaması	GNSS Alıcı
1230	GLONASS L1 ve L2 Kod-Faz Sapmaları	GLONASS
1071-1077	Çoklu Sinyal Mesajları 1-7	GPS
1081-1087	Çoklu Sinyal Mesajları 1-7	GLONASS
1091-1097	Çoklu Sinyal Mesajları 1-7	Galileo
1101-1107	Çoklu Sinyal Mesajları 1-7	SBAS
1111-1117	Çoklu Sinyal Mesajları 1-7	QZSS
1121-1127	Çoklu Sinyal Mesajları 1-7	Beidou
1131-1137	Çoklu Sinyal Mesajları 1-7	IRNSS

RTK uygulamaları için temel Çoklu Sinyal Mesajları (MSM) gereklidir. Bu mesajlar uydu sinyallerindeki hataları düzeltmek ve pozisyon hesaplamalarını daha kesin hale getirmek için kullanılır. Çoklu Sinyal Mesaj tiplerinin içeriklerine ait bilgiler Tablo 2.4 ile açıklanmıştır.

**Tablo 2.4** Çoklu sinyal mesaj tipleri açıklaması

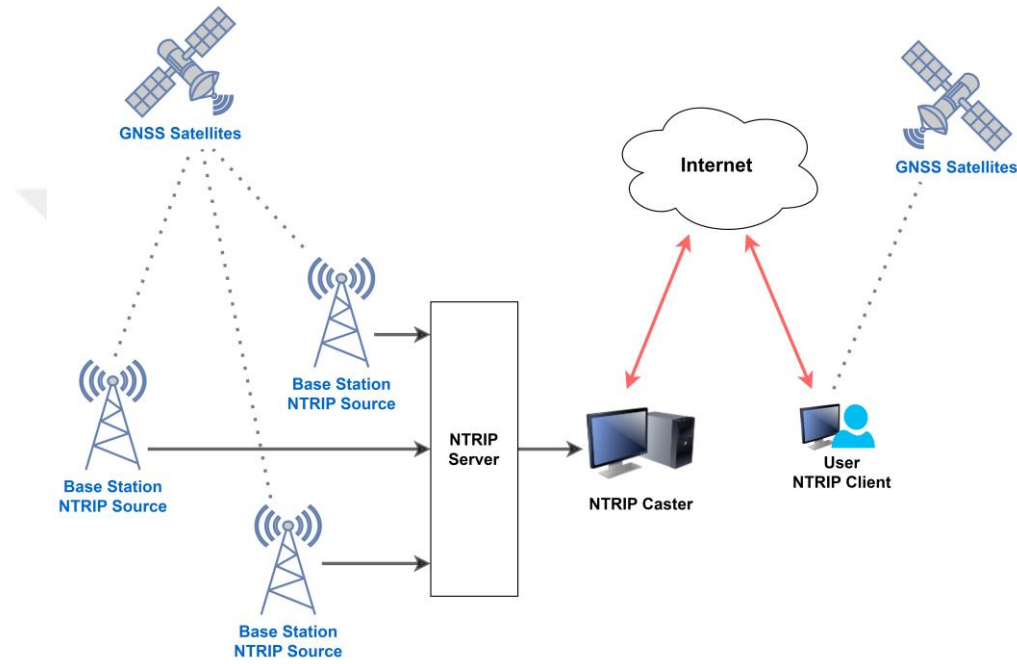
Mesaj Tipi	İçerik
MSM-1	Pseudo-range (kod ölçümleri), CNR değerleri
MSM-2	Pseudo-range (kod ölçümleri), Faz ölçümleri (taşıyıcı faz), CNR değerleri
MSM-3	Pseudo-range (kod ölçümleri), Doppler verileri, CNR değerleri
MSM-4	Pseudo-range (kod ölçümleri), Faz ölçümleri (taşıyıcı faz), Doppler verileri, CNR değerleri
MSM-5	Pseudo-range (kod ölçümleri), Faz ölçümleri (taşıyıcı faz), Doppler verileri, CNR değerleri
MSM-6	Pseudo-range (kod ölçümleri), Faz ölçümleri (taşıyıcı faz), Doppler verileri, CNR değerleri, Yüksek hassasiyetli sinyal bilgisi
MSM-7	Pseudo-range (kod ölçümleri), Faz ölçümleri (taşıyıcı faz), Doppler verileri, CNR değerleri, Tam sinyal kalitesi bilgileri, Ek sinyal detayları ve hassasiyet bilgileri

MSM4 mesajları, faz ve kod ölçümleri gibi kritik verileri içerir ve RTK düzeltmeleri için gereken temel gözlem verilerini sağlar. MSM4 mesajları, yeterli doğruluğu sağlarken bant genişliğini daha verimli kullanır. Bu da çoklu konstellasyon içeren RTK uygulamalarında, MSM4 mesajının bant genişliği konusunda verimli ve yeterli olduğunu göstermektedir.

### 2.3.2 NTRIP

NTRIP, Hassas konumlandırma ve seyrüsefer için Diferansiyel GPS düzeltmelerinin yayınlanmasına odaklanır ve HTTP protokolü kullanılarak RTCM mesajlarının internet üzerinden yayınlanmasını sağlamaktadır. GNSS verilerinin İnternet üzerinden gerçek zamanlı toplanması ve yayınlanması için Federal Haritacılık ve Jeodezi Ajansı tarafından geliştirilen Networked Transport of RTCM via Internet Protocol adı verilen bir format oluşturulmuştur[6].

Düşük bant genişliği gereksinimi, HTTP tabanlı yapısı ve esnek kullanımı sayesinde geniş bir kullanıcı kitlesine hitap eden bu teknoloji, modern GNSS uygulamalarının vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. NTRIP sistemi, dört temel bileşenden oluşmaktadır: NTRIP kaynağı, NTRIP sunucusu, NTRIP yayıncısı ve NTRIP kullanıcıları olarak isimlendirilir. NTRIP temel bileşenleri Şekil 2.1 ile gösterilmektedir.



Şekil 2.1 NTRIP sistem mimarisi

- 1- NTRIP Kaynağı (NTRIP Source):** GNSS referans istasyonlarından elde edilen ham GNSS verilerini sağlar. Bu veriler, RTK uygulamaları için hayati öneme sahip olup genellikle RTCM formatında üretilir. NTRIP Kaynağı, GNSS düzeltme verilerini NTRIP Sunucusuna ileterek sistemin ilk adımını oluşturur.
- 2- NTRIP Sunucusu (NTRIP Server):** NTRIP Kaynağından gelen verileri alır, sıkıştırır ve NTRIP formatına dönüştürerek NTRIP Yayıncısına iletir. Bu işlem, verilerin internet üzerinden verimli ve güvenilir bir şekilde iletilmesini sağlar.
- 3- NTRIP Yayıncısı (NTRIP Caster):** GNSS verilerinin kullanıcılar tarafından erişilebilir hale getirilmesini sağlar. HTTP tabanlı bir protokol olan Ntrip Caster, hem veri sağlayıcıları hem de veri tüketicileri için

merkezi bir noktadır. Kullanıcılar, belirli bir kullanıcı adı ve şifre ile sisteme giriş yaparak düzeltme verilerini alabilirler.

- 4- NTRIP Kullanıcıları (NTRIP Clients):** GNSS düzeltme verilerini alan cihazlardır. Bu cihazlar, tarım makinelerinden arazi ölçüm cihazlarına kadar geniş bir yelpazede yer alır. Kullanıcılar, NTRIP Caster'a bağlanarak gerçek zamanlı düzeltme verilerini alır ve pozisyonlarını yüksek doğrulukla belirlerler.

### 2.3.3 NMEA

NMEA (National Marine Electronics Association), denizcilik elektroniği cihazları arasında veri iletimini standartlaştırmak amacıyla kurulmuş bir organizasyondur. Bu organizasyon, denizcilik elektroniği cihazları arasında ortak bir dil oluşturmak ve uyumluluğu sağlamak için çeşitli protokoller geliştirmiştir. NMEA protokolleri, özellikle GNSS verilerinin iletiminde önemli bir rol oynar ve zamanla gelişerek farklı versiyonlar ve uygulamalar için standartlar oluşturmuştur. NMEA 0183 standardı, 1983 yılında yayınlanmış ve o tarihten itibaren GNSS verilerinin iletimi için yaygın olarak kabul edilmiştir. NMEA 0183, ASCII karakter setini kullanarak seri veri iletimini sağlar ve düşük veri hızlarında bile güvenilir bir iletişim kurar. Daha sonra, daha karmaşık veri iletimi ihtiyaçlarını karşılamak için NMEA 2000 standardı geliştirilmiştir.

- **NMEA 0183:** Seri iletişim protokolü olarak düşük bant genişliğinde çalışır ve ASCII karakter setini kullanır. Bu protokol, tek yönlü veri iletimi sağlar ve düşük maliyetli, basit uygulamalar için idealdir.
- **NMEA 2000:** Daha yüksek veri hızlarını destekleyen ve daha karmaşık veri yapıları ile çalışan bir protokoldür. CAN (Controller Area Network) tabanlıdır ve çift yönlü veri iletimi sağlar. Bu protokol, yüksek bant genişliği gerektiren uygulamalar için daha uygundur ve daha fazla cihazın aynı ağ üzerinde iletişim kurmasına olanak tanır.

NMEA formatı ağ bazlı RTK yönteminde alıcılar ile merkezi sunucular arasındaki iletişimde de kullanılmaktadır[16]. NMEA mesajında, uydulara ilişkin gözlem verileri bulunmamaktadır. Mesaj içeriği seyrüsefer bilgisi de sınırlıdır[13].

NMEA-0183 standardı, farklı uydu sistemlerinden gelen verilerin işlenmesini ve iletilmesini kolaylaştırmak için uydu konstellasyonlarına özel mesaj ön ekleri kullanır. Her bir ön ek, verinin kaynağını açıkça belirtmektedir. Uydu konstellasyonlarına ait NMEA mesaj ön ekleri Tablo 2.5 ile gösterilmiştir.

**Tablo 2.5** Uydu sistemleri NMEA mesaj ön ekleri

Uydu Konstellasyonu	NMEA Mesaj Ön Eki	Açıklama
GPS	\$GP	GPS uydu sistemine ait navigasyon mesajlarını içerir.
Glonass	\$GL	Glonass uydu sistemine ait navigasyon mesajlarını içerir.
Beidou	\$BD	Beidou uydu sistemine ait navigasyon mesajlarını içerir.
QZSS	\$QZ	QZSS uydu sistemine ait navigasyon mesajlarını içerir.
Galileo	\$GA	Galileo uydu sistemine ait navigasyon mesajlarını içerir.
Çoklu Konstelasyon	\$GN	GPS, Glonass, Beidou, Galileo ve QZSS gibi birden fazla uydu sisteminden alınan birleşik navigasyon mesajlarını içerir.

Farklı uydu konstelasyonlarından gelen verilerin birlikte çalışabilirliğini sağlamak GNSS sistemlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle modern seyrüsefer sistemleri, hassasiyetin artırılması ve sinyal kaybı durumlarının azaltılması için birden fazla uydu sisteminden alınan veriyi birleştirerek (multi-GNSS) işlemektedir. Her uydu sistemine özel ön ekler, bu verilerin kaynağını kolaylıkla tanımlamaya ve hata ayıklama süreçlerini kolaylaştırmaya yardımcı olur. Bu

bağlamda, NMEA-0183 standardında tanımlanan mesaj türleri, uydu navigasyon sistemlerinden elde edilen bilgilerin standart bir formatta iletilmesini sağlar. Bu standardın en yaygın kullanılan mesaj türleri ve içerdikleri bilgiler[17] Tablo 2.6 ile gösterilmektedir.

**Tablo 2.6** Yaygın olarak kullanılan NMEA mesaj türleri

<b>Mesaj Türü</b>	<b>Açıklama</b>	<b>Detay</b>
GGA	Global Positioning System Fix Data	Konum bilgisi, sinyal kalitesi ve yükseklik bilgilerini içerir.
RMC	Recommended Minimum Navigasyon Information	Asgari navigasyon bilgilerini içerir.
GSV	Satellite in View	Görünür uydular hakkında bilgi sağlar.
VTG	Course Over Ground Speed	Yeryüzüne göre izlenen yön ve hız bilgilerini içerir.
GLL	Geographic Position Latitude/Longitude	Saat, tarih ve zaman dilimi bilgilerini içerir.
ZDA	Time and Date	Tarih ve zaman dilimi bilgilerini içerir.
HDT	Heading – True North	Gerçek kuzeye göre yön bilgisini içerir.
GST	GNSS Pseudorange Error Statistics	GNSS sinyallerine bağlı olarak konumlama hata istatistiklerini sağlar.

Bu mesajlar, navigasyon sistemlerinin temelini oluşturmakta ve GNSS verilerinin etkin bir şekilde kullanılmasını mümkün kılmaktadır. NMEA mesajlarına ait protokol yapısı Başlık 3.4.1 ile detaylı anlatılacaktır.

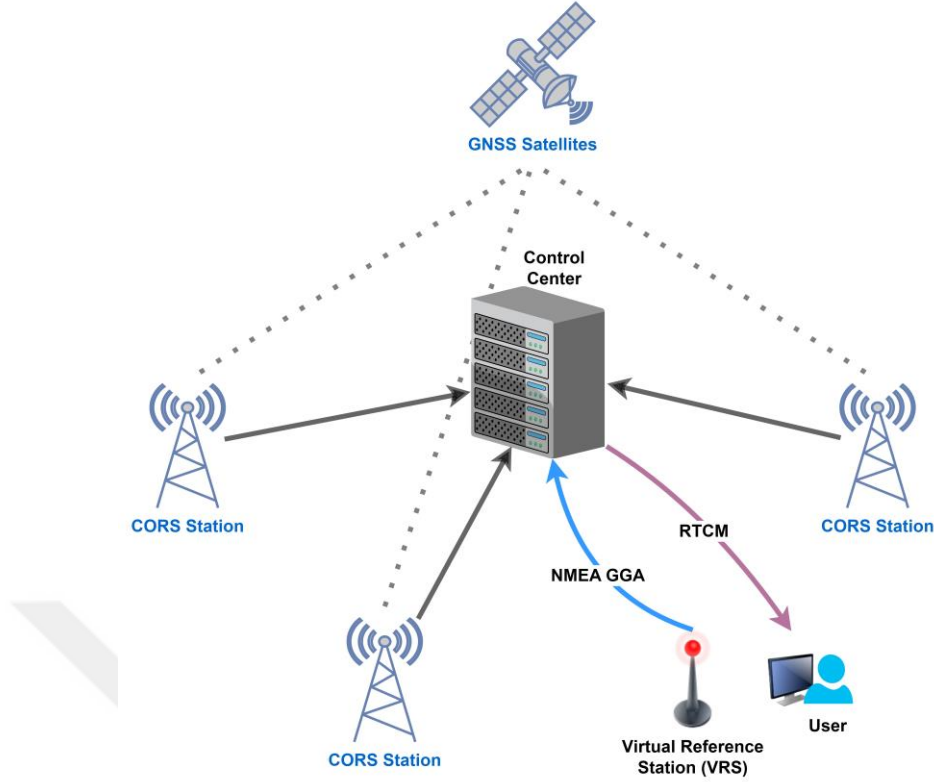
## 2.4 Gerçek Zamanlı Ulusal Sabit GNSS Ağları (CORS)

GNSS/CORS ağları, genel anlamda farklı sayıda, sabit GNSS referans istasyonlarının yerel ya da ulusal ölçekte kurulmasıyla oluşturulan, aktif yapıdaki sistemlerdir. Sistemin kontrol merkezi, özellikle atmosferik etkilerden kaynaklanan hataları modelleyerek, düzeltme bilgilerini kullanıcılara gönderir. Bu sayede santimetre gibi yüksek bir mertebede konum doğruluğu elde edilir. Kullanıcıya ait GNSS alıcısının metre mertebesindeki yaklaşık konumu, NMEA veri formatı ile kontrol merkezine gönderilir. Kontrol merkezi kullanıcının seçtiği tekniğe göre düzeltme verisini hesaplayarak, kullanılan iletişim tekniği ile kullanıcıya RTCM veri formatı ile gönderir. Böylece santimetre gibi yüksek bir doğrulukta gerçek zamanlı konum bilgisi elde edilir. GNSS alıcısı olan kullanıcılara düzeltme verileri yayınladığı bu sistemler, Dünya üzerindeki sabit ya da hareketli cisimlerin konumlarının gerçek zamanda hassas olarak belirlenmesi ve seyrüsefer hizmetlerinin sağlanması amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır[18].

### 2.4.1 VRS (Virtual Reference Station) Sistemi

CORS ağı, geniş bir coğrafi alanda yayılmış olan sabit GNSS referans istasyonlarından oluşur. VRS tekniğinin uygulanabilmesi için hareketli platformun çalışma sahasında en az 3 adet (Tusaga-Aktif için en az 5 adet) referans istasyonunun merkezi işlemci birimine bağlanması gerekir. Bu istasyonlar, sürekli olarak GNSS uydularından gelen sinyalleri toplar ve bu verileri bir kontrol merkezine iletir[18].

Kullanıcı, NTRIP protokolü kullanılarak NMEA mesajı ile konum bilgisini paylaşır. Kontrol merkezi, kullanıcının yaklaşık konumuna en yakın referans istasyonlarından alınan verileri toplar ve bu verileri kullanarak bir sanal referans istasyonu (VRS) oluşturur[16]. VRS sistemini anlatan bir görsel Şekil 2.2 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.2 VRS sistem mimarisi

#### 2.4.2 TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı)

Türkiye'de genel olarak istasyon hizmetini sağlayan TUSAGA-AKTİF projesi, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü ile Harita Genel Müdürlüğü ortak çalışma yürütmektedir.

TUSAGA-Aktif Sistemi; ülkemiz ve Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti (KKTC) genelinde tesis edilmiş 168 adet Sabit GNSS İstasyonu ile hizmet sunmaktadır [19].

Bu sistem kullanıcılara Gerçek zamanlı Ağ-RTK düzeltme verisi (RTK ve DGPS) ile sabit GNSS istasyonlarına ilişkin 1 saniye ve 30 saniye aralıklı RINEX veriler sunulmaktadır. TUSAGA-Aktif sistemi ile ülkemiz ve KKTC genelinde, herhangi bir yer ve zamanda, yeterli sayıda GNSS uydusu görülebildiği ve iletişim imkânlarının mümkün olduğu yerlerde, birkaç saniye içerisinde, santimetre doğruluğunda, gerçek zamanlı harita ve konum bilgisi elde edilebilmektedir [19].

### 2.4.3 RINEX

RINEX (Receiver Independent Exchange Format) dosyaları, çeşitli uydu seyrüsefer sistemlerinden gelen verileri standart bir formatta kaydetmek için kullanılan bir dosya formatıdır. Bu format, farklı uydu alıcılarının ürettiği verilerin uyumlu bir şekilde işlenmesini ve analiz edilmesini sağlar. Rinex dosyaları, gözlemsel veriler (observation data), seyrüsefer verileri (navigation data), meteorolojik veriler (meteorological data) ve saat verileri (clock data) gibi çeşitli bilgileri içermektedir. Ayrıca bu veriler farklı dosya uzantıları ile sınıflandırılmaktadır. Rinex gözlemsel ve seyrüsefer dosyalarına ait veri içeriği ve açıklamaları Tablo 2.7 ile gösterilmiştir.

**Tablo 2.7** Rinex içerik karşılaştırılması

<b>Özellik</b>	<b>RINEX Observation</b>	<b>RINEX Navigation</b>
Veri Türü	Uydu gözlem verileri	Uydu yörüngesi ve saat düzeltmeleri verileri
Veri İçeriği	Uydu numarası, Gözlem frekansı, Sinyal kalitesi, Elevasyon açısı	Uydu numarası, Uydu yörünge ve operasyon parametreleri, Uydu anlık konum bilgileri
Gözlem Türleri	Pseudorange (yaklaşık mesafe)	Yörünge parametreleri (konum, hız, ivme)
Dosya uzantısı	RINEX.obs	RINEX.nav

Rinex 2.11 sürümüne ait örnek bir dosya Şekil 2.3 ile gösterilmiştir.

```

2.11      OBSERVATION DATA      M (MIXED)      RINEX VERSION / TYPE
teqc 2020Oct7      UNAVCO Archive Ops 20240824 06:55:19UTC PGM / RUN BY / DATE
Linux 2.4.21-27.ELsmp|Opteron|gcc|Linux 64|=+      COMMENT
BIT 2 OF LLI FLAGS DATA COLLECTED UNDER A/S CONDITION      COMMENT
CIT1      MARKER NAME
40400S201      MARKER NUMBER
SCGN Operators      U.S. Geological Survey      OBSERVER / AGENCY
5301K55938      TRIMBLE NETR9      5.37      REC # / TYPE / VERS
50001153448      TRM57971.00      NONE      ANT # / TYPE
-2491490.2616 -4660803.2317 3559129.0005      APPROX POSITION XYZ
0.0000      0.0000      0.0000      ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1      WAVELENGTH FACT L1/2
14 L1 L2 C1 P2 P1 S1 S2 C2 L5# / TYPES OF OBSERV
C5 S5 L7 C7 S7      # / TYPES OF OBSERV
15.0000      INTERVAL
18      LEAP SECONDS
RINEX file created by UNAVCO GPS Archive.      COMMENT
For more information contact archive-gps@unavco.org      COMMENT
Monument ID: 19477      COMMENT
UNAVCO 4-char name: CIT1      COMMENT
4-char name from Log or data file: CIT1      COMMENT
Monument location: 34.13670875 -118.12728543 215.352      COMMENT
Visit ID: 126149      COMMENT
doi:10.7283/T5C53J4H      COMMENT
End of DB comments      COMMENT
input file: cit1240823.tgd      COMMENT
SNR is mapped to RINEX snr flag value [0-9]      COMMENT
L1 & L2: min(max(int(snr_dBHz/6), 0), 9)      COMMENT
2024 8 23 0 0 0.0000000 GPS      TIME OF FIRST OBS
END OF HEADER
24 8 23 0 0 0.0000000 0 22R12R11G31G07G26R13G04G02G06G16G28R18
G21G03G09R17R03R01R02S33S31S35
104836222.638 7 81539345.644 7 19625536.250 19625542.508 19625536.352
46.300 43.300 19625543.477
124903476.646 5 97147181.120 5 23373942.461 23373946.801 23373941.480
35.700 31.700 23373946.305
113335631.411 7 88313421.187 6 21566990.266 21566997.785
43.800 41.500 21566997.691
132010290.488 5 102865149.710 5 25120716.711 25120738.836
35.000 31.700 25120738.625

```

Şekil 2.3 Rinex 2.11 sürümü dosya yapısı

## 2.5 ROS (Robot Operating System)

ROS, işletim sistemlerinde bulunan temel özellikleri (donanım soyutlama, düşük seviyeli cihaz kontrolü, paket yönetimi gibi) bir araya getiren modüler bir yapı sunar. Bu modüler yapı, çeşitli programlama dilleri arasındaki entegrasyonu kolaylaştırır ve böylece farklı yazılım modüllerinin etkili bir şekilde bir arada çalışmasını sağlar. ROS' un temel bileşenleri arasında, yayıncı/tüketici modeline dayalı mesajlaşma sistemleri, araçlar ve kütüphaneler bulunmaktadır. Bu sistemi kullanarak, sensör verileri, kontrol sinyalleri ve diğer robotik bilgiler, çeşitli düğümler arasında etkili bir şekilde iletilir. ROS, bu özellikleriyle, karmaşık robotik sistemlerin geliştirilmesi ve yönetilmesi süreçlerini basitleştirir.

ROS, Robotik sistemlerin tasarımını, uygulanmasını ve kontrolünü kolaylaştıran açık kaynaklı bir yazılım çerçevesidir. ROS, robot sistemlerinin modüler bir şekilde yapılandırılmasına olanak tanıyan bir dizi benzetim ortamı, kütüphane ve yazılım paketini içermektedir[7].

İHA sistemleri veya yer tabanlı robotlar (insansız kara araçları) gibi sistemlerde robot işletim sistemi (ROS) kolayca kullanılabilir. Bu açık kaynaklı proje, neredeyse tüm robotik uygulamalar için veri toplama, değerlendirme, depolama ve görselleştirme sağlayan bir yazılım çerçevesidir[8].

ROS ve Unity3D tabanlı geliştirilen 3 boyutlu simülasyon, gerçek uçuş testlerinden önce algoritmaları doğrulayabilir ve olası sorunları tespit edebilir. Simülasyon, büyük miktarda sensör verisinin işlenmesi de dahil olmak üzere, gerçek zamanlı çoklu İHA seyrüsefer ve kontrol algoritmalarını yönetebilir. ROS ve Unity'nin entegrasyonu, karmaşık ve zorlu ortamlarda algılama teknolojilerinin sorunsuz bir benzetimine olanak tanır[9].

Makalede[10], araçlarda konum ve hareketlilik farkındalığını sağlamak için GNSS'e yönelik ROS ortamında geliştirilmiş bir benzetim çerçevesi olan GNSSim tanıtılmakta ve insansız hava araçlarının maliyet ve güvenlik endişeleri nedeniyle test edilmesinde veri benzetiminin önemi vurgulanmaktadır[10].

ROS ekosistemine ait iki ayrı sürüm bulunmaktadır. Bu sürümler arasındaki farklar Tablo 2.8 ile detaylı bir şekilde gösterilmektedir.

**Tablo 2.8** ROS sürümleri karşılaştırması

Özellik	ROS-1	ROS-2
İletişim Altyapısı	TCPROS ve UDPROS protokolleri kullanılır, tek merkezli düğüm iletişimine odaklanır.	Data Distribution Service (DDS) protokolü üzerine kurulu olup, dağıtık sistemlerde üstün performans sergiler.
Gerçek Zamanlı İşlem	Gerçek zamanlı işlem desteği sınırlı olup, yüksek zaman hassasiyeti gerektiren uygulamalar için uygun değildir.	Gelişmiş gerçek zamanlı işlem desteği sağlar, bu da zaman kritik sistemlerde esaslı bir avantaj sunar.

Güvenlik Özellikleri	Güvenlik özellikleri minimal düzeydedir; iletişim kanallarında şifreleme veya güvenlik protokolleri barındırmaz.	İletişim kanallarında şifreleme ve kapsamlı güvenlik protokolleri ile donatılmıştır, hassas verilerin korunmasını sağlar.
Platform ve Sistem Desteği	Linux işletim sistemi için asıl destek sağlanırken, Mac OS X ve Windows için sınırlı destek sunar.	Çoklu platform desteği ile Linux, Windows ve MacOS dahil olmak üzere geniş bir işletim sistemi yelpazesinde çalışabilir.
Araç ve Ekosistem	Kapsamlı bir paket ekosistemi ve geniş bir kullanıcı tabanına sahiptir, zengin kütüphaneler ve araçlar sunar.	Paket ve kütüphane envanteri ROS1'e kıyasla daha azdır; ancak, gelişmekte olan bir yapıya sahip olup sürekli olarak genişlemektedir.
Sürüm Güncellemeleri	Yeni özelliklerin eklenmesi durdurulmuştur; sadece kritik hatalar düzeltilmektedir.	Aktif olarak geliştirilmekte olup, düzenli olarak yeni özellikler eklenmekte ve mevcut özellikler güncellenmektedir.

### 2.5.1 ROS Haberleşme Yapısı

ROS 2, dağıtık sistemlerde haberleşmeyi kolaylaştıran bir yapı sunar. Bu sistem, düğümler (nodes), konular (topics), servisler (services) ve mesajlar (messages) gibi temel bileşenler üzerinden haberleşme sağlar. ROS 2'nin temel haberleşme modeli, Data Distribution Service (DDS) standardına dayanır. Bu model, yayınla-abone ol (publish-subscribe) paradigması ile düğümler arasında güvenilir ve gerçek zamanlı veri aktarımını mümkün kılar[20]. ROS 2'nin DDS tabanlı altyapısı hem yüksek performanslı iletişim hem de esnek bir konfigürasyon olanağı sunmaktadır.

#### 2.5.1.1 Düğümler (Nodes)

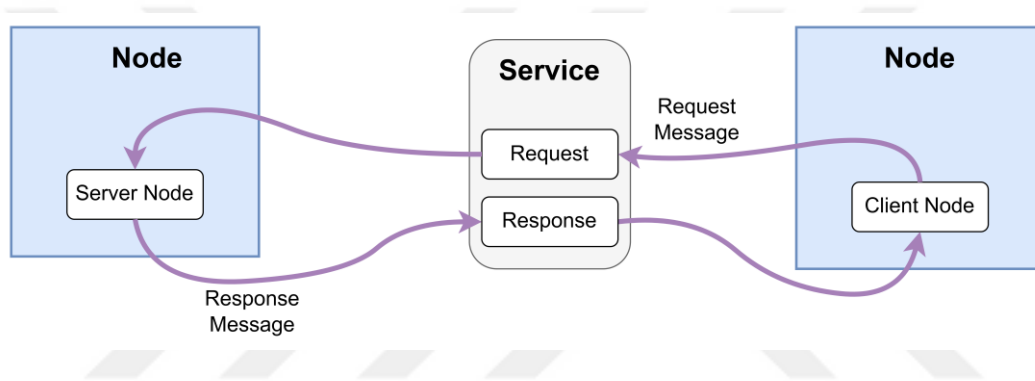
Düğümler, ROS 2 uygulamalarında çalışan temel yürütme birimleridir. Her bir düğüm, belirli bir görevi yerine getirmek için tasarlanmıştır ve birden fazla düğüm aynı anda çalışabilir. Düğümler birbirlerinden bağımsız çalışmaktadır, bu sayede bir düğüm başarısız olduğunda diğer düğümler çalışmaya devam edebilir.

### 2.5.1.2 Konular (Topics)

Konular, düğümler arasındaki asenkron veri alışverişini sağlar. Bir düğüm, bir konuya veri yayımlayabilir (publish) veya bir konudan veri alabilir (subscribe). Konular, genellikle tek bir veri türü veya mesaj tipi için özelleştirilmiştir.

### 2.5.1.3 Servisler (Services)

Servisler, ROS 2'nin istemci-sunucu (client-server) modeline dayalı haberleşme mekanizmasını sağlar. Servisler, iki yönlü iletişim gerektiren işlemler için kullanılır. İki düğüm arasında mesaj iletimini sağlayan servis mimarisi Şekil 2.4 ile gösterilmiştir.



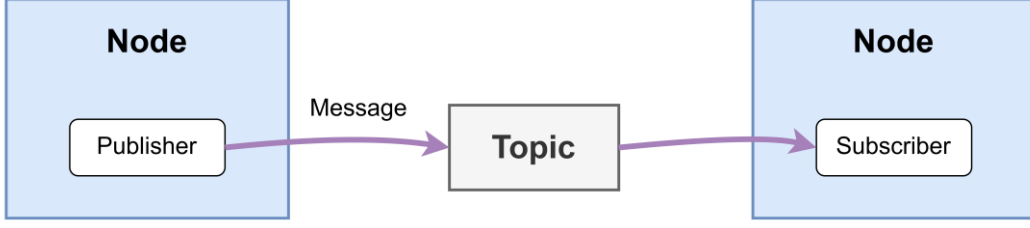
Şekil 2.4 ROS 2 düğümler arası servis mimarisi

Servisler genellikle bir işlem veya karar mekanizmasını tetiklemek için kullanılır. Bir istemci (client) düğüm, bir sunucu (server) düğüme bir istek mesajı (request) gönderir ve istemci düğüm sunucudan yanıt alana kadar beklemektedir. İşlem tamamlandıktan sonra bir yanıt mesajı (response) istemciye iletilir.

### 2.5.1.4 Mesajlar (Messages)

Mesajlar, ROS 2'de düğümler arasında taşınan veri birimleridir. Mesajlar, konular veya servisler aracılığıyla iletilir. Her mesaj bir veri yapısıdır ve önceden tanımlı bir formata sahiptir.

Bu çalışma kapsamında, ROS 2'de GNSS verilerini temsil etmek için kullanılan ve standart mesaj türü olan “sensor\_msgs/NavSatFix” mesajı[21] kullanılmıştır. Bu mesaj yapısı, coğrafi koordinat sistemi kullanarak bir konumun enlem, boylam ve irtifa bilgilerini taşır ve konum verilerinin doğruluğu hakkında da bilgiler içerir. Düğümler arası mesaj yapısı Şekil 2.5 ile gösterilmiştir.



**Şekil 2.5** ROS 2 düğümler arası haberleşme mimarisi

## 2.5.2 ROS Benzetim Araçları

ROS içerisinde gerçek dünya senaryolarını, sensörleri, eyleyicileri modelleyebilmek ve algoritmalarını test edebilmek amacıyla Gazebo ve RViz benzetim ortamları bulunmaktadır.

### 2.5.2.1 Gazebo

Üç boyutlu benzetimler için popüler bir araçtır. Gerçekçi fizik motorları ve çeşitli robot bileşenlerinin benzetimini destekleyerek, gerçek dünya koşullarının yakından taklit edilmesine olanak tanır.

### 2.5.2.2 RViz

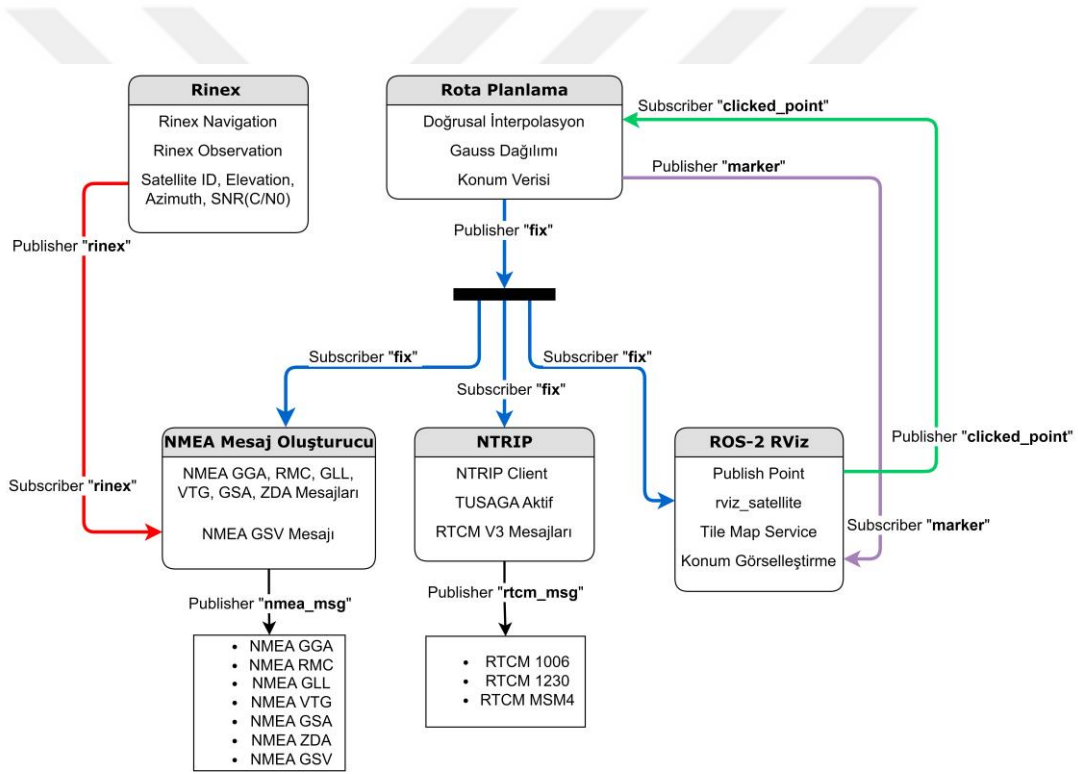
Sensörlerden alınan verilerin ve durum bilgilerinin görselleştirilmesi için kullanılır. 3D görselleştirmeler sunarak, robotun çevresel algılamalarını ve hareketlerini gerçek zamanlı olarak izlemeyi sağlar. RViz, benzetimin yanı sıra, gerçek zamanlı sistem izleme ve hata ayıklama için de kullanılmaktadır.

# 3

## ROS ORTAMINDA GNSS VERİ BENZETİM TASARIMI

### 3.1 Sistem Mimarisi

Tasarlanan sistemin temel özelliği, kullanıcı tarafından belirlenen noktaları kullanarak bir rota planlaması yapmak ve gerçek zamanlı olarak bu verileri RViz benzetim ortamında görselleştirerek, seyrüsefer mesajlarının çıktısını sağlamaktır. Sistem mimarisi Şekil 3.6 ile verilmiştir.



Şekil 3.6 Sistem mimarisi

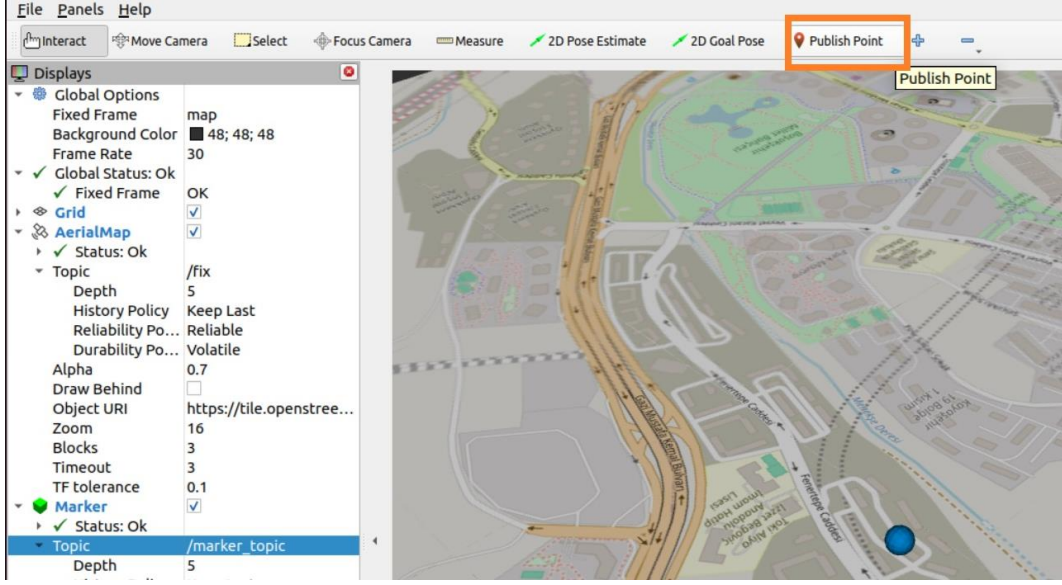
- Mimaride kullanıcı tarafından belirlenen noktalar referans alınarak bir rota planlaması yapılır.
- Rota Planlama düğümünün çıktısı olarak konum verileri ROS NavSatFix.msg mesaj tipi kullanılarak “fix” ismi ile paylaşılır. Ayrıca Rota Planlama düğümünden anlık konum verisinin görselleştirilebilmesi için

Marker.msg mesaj tipi kullanılarak “marker” ismi ile topic olarak bu mesaj yayınlanır.

- Rinex düğümünde, 24 saatlik GNSS verileri bulunan rinex dosyası çözümlenir ve uydulara ait detay bilgiler NavSatFix.msg mesaj tipi kullanılarak “rinex” ismi ile topic olarak yayınlanır.
- NMEA Mesaj Oluşturucu düğümü “fix” ve “rinex” mesajlarına abone olur. Bu konum verileri üzerinden NMEA-0183 protokolü kullanılarak seyrüsefer mesajlarını üretmektedir. NMEA mesajları “nmea\_msg” ismi ile NavSatFix.msg mesaj tipinde yayınlanmaktadır.
- NTRIP düğümü, “fix” mesajına abone olur. NTRIP Client yazılımı ile TUSAGA-Aktif sistemi üzerinden RTCM mesajları elde edilmektedir. Bu mesajlar “rtcm\_msg” ismi ile yayınlanmaktadır.
- ROS Rviz düğümü “Publish Point” aracı ile harita üzerinden seçilen noktaları Point.msg mesaj tipi ve “clicked\_point” ismi ile topic olarak yayınlanır. Ayrıca NavSatFix.msg mesaj türü ile paylaşılan “fix” mesajına abone olarak, anlık konum bilgileri ile harita servisini beslemektedir.
- RViz ortamında konum bilgilerini görselleştirmek için Rota Planlama düğümünden Marker.msg mesaj tipi ile paylaşılan “marker” mesajı kullanılarak gerçek zamanlı konum bilgisinin harita üzerinde gösterilmesini sağlanır.

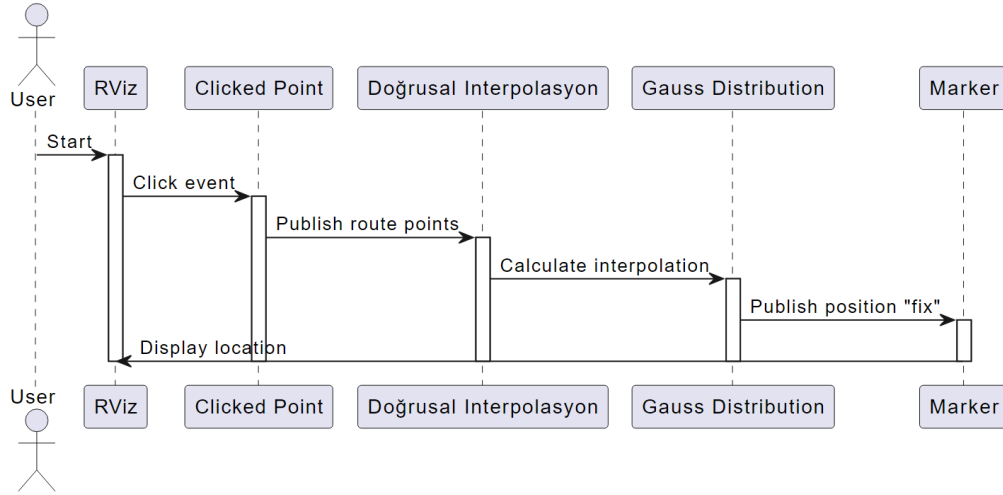
### **3.2 Rota Planlaması**

Rviz benzetim ortamında harita üzerinden çoklu noktalar belirlemek için “Publish Point” aracı kullanılmaktadır. Bu aracı kullanarak istenilen rota üzerinde belirli noktalara tıklanarak bir nokta dizisi elde edilir. Şekil 3.7 ile RViz uygulama penceresi üzerinde bulunan “Publish Point” aracı gösterilmektedir. Bu nokta dizileri RViz’de çalıştırılan harita üzerinde gösterilmektedir. Rota boyunca belirlenen nokta dizisi RViz tarafından “clicked\_point” adı ile topic olarak paylaşılır.



Şekil 3.7 RViz Publish Point aracı

Rota planlaması için tasarlanan yazılım ile “clicked\_point” düğümünden gelen mesajlar yakalanmaktadır. Sonrasında noktalar arası boşluklara ait koordinatlar, doğrusal interpolasyon ile belirlenmektedir. Daha gerçekçi bir veri seti oluşturmak için konum verilerine gürültü eklenir. Gürültü eklemek için en yaygın yöntemlerden biri olan Gauss dağılımı (normal dağılım) kullanılmaktadır. Şekil 3.8 ile rota planlaması için oluşturulan yazılıma ait ardışım (sequence) UML diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 3.8 Rota planlaması yazılımına ait UML diyagramı

### 3.2.1 Doğrusal İnterpolasyon Yöntemi

Doğrusal interpolasyon, iki bilinen veri noktası arasında ara değerleri tahmin etmek için kullanılan temel bir yöntemdir. Bu yöntem, özellikle eksik veri noktalarını tahmin etme, veri analizi, grafik ve animasyon gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğrusal interpolasyon, veri noktalarının doğrusal bir ilişki içerisinde olduğunu varsayarak iki nokta arasındaki doğrusal geçişi hesaplar. X ekseninde  $x$  noktasındaki  $y$  değerini bulmak için doğrusal interpolasyon formülü[22] kullanılmıştır. Doğrusal interpolasyon formülü (3.1) eşitliği ile gösterilmiştir.

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)}(y_2 - y_1) \quad (3.1)$$

Bu formül,  $x$  değeri için ara  $y$  değerini tahmin ederken kullanılır. Ancak, daha genel ve iki boyutlu koordinat sisteminde kullanılan formülasyon,  $\alpha$  parametresi ile yapılan interpolasyon olarak ifade edilebilir. Bu formül (3.2) eşitliği ile gösterilmiştir.

$$P = P_1 + \alpha(P_2 - P_1) \quad (3.2)$$

Burada:

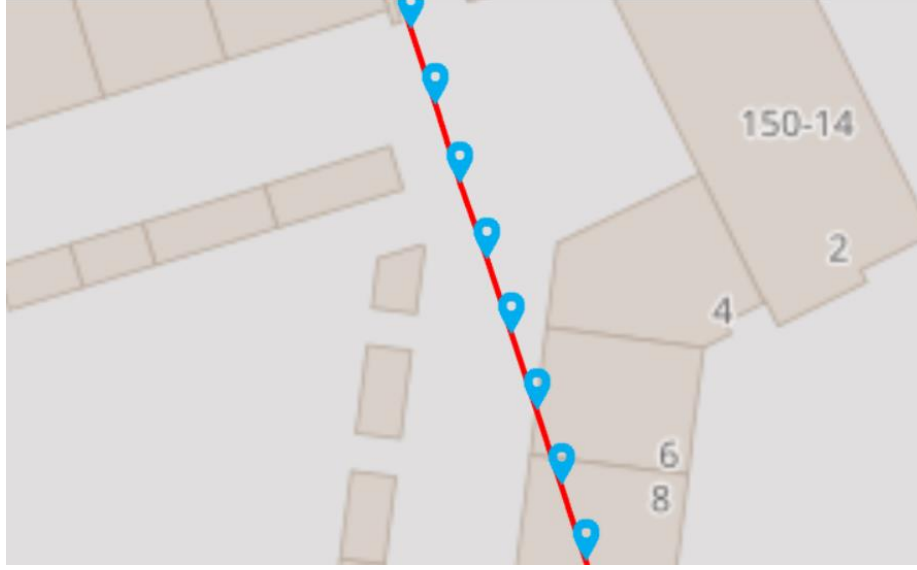
**P:** Ara noktayı temsil eder.

**P1:** Başlangıç noktasıdır.

**P2:** Bitiş noktasıdır.

**$\alpha$ :** 0 ile 1 arasında bir parametredir ve iki nokta arasındaki interpolasyon oranını belirler.

Bu formül, enlem ve boylam koordinatları için uygulanarak başlangıç ve bitiş noktası arasında bulunan koordinat dizisi çıkarılır. Tasarlanan yazılımda interpolasyon parametresi olarak tanımlanan  $\alpha$  değeri 0.001 olarak belirlenmiştir. Tasarlanan yazılımda doğrusal interpolasyon yöntemi ile üretilen örnek bir rotaya ait görsel Şekil 3.9 ile gösterilmektedir.



**Şekil 3.9** Doğrusal interpolasyon ile konum verilerinin üretilmesi

### 3.2.2 Alternatif Algoritmalar

Literatürde en sık kullanılan rota planlama algoritmaları arasında A\* (A-Star) [23] ve Dijkstra [24] algoritmaları yer almaktadır. Bu algoritmalar, karmaşık ve dinamik ortamlarda daha verimli rota planlaması sağlar. Örneğin, A\* algoritması hem düğümler arası mesafeyi hem de hedefe uzaklığı dikkate alarak optimal bir rota sunar. Bu tür algoritmalar, özellikle engellerin olduğu ortamlarda daha esnek ve verimli sonuçlar elde edilmesini sağlar.

### 3.2.3 Gauss Dağılımı ile Rastgele Gürültü Eklenmesi

Gauss dağılımı, birçok doğal olayın modellenmesinde yaygın olarak kullanılan bir olasılık dağılımıdır. Konum ve hız verilerinde gerçekliği yansıtabilmek için verilere gürültü eklemek, özellikle sinyal işleme, veri analizi ve makine öğrenimi gibi alanlarda önemlidir. Bu çalışmada, verilere rastgele gürültü eklemek için Gauss dağılımı (normal dağılım) kullanılmıştır. Matematiksel olarak, Gauss dağılım formülü[25] (3.3) eşitliği ile gösterilmiştir.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.3)$$

Gauss dağılımı kullanarak gürültü eklemek için ortalama ( $\mu$ ) ve standart sapma ( $\sigma$ ) değerleri belirlenir. Ortalama genellikle sıfır olarak alınır ( $\mu=0$ ), çünkü gürültünün

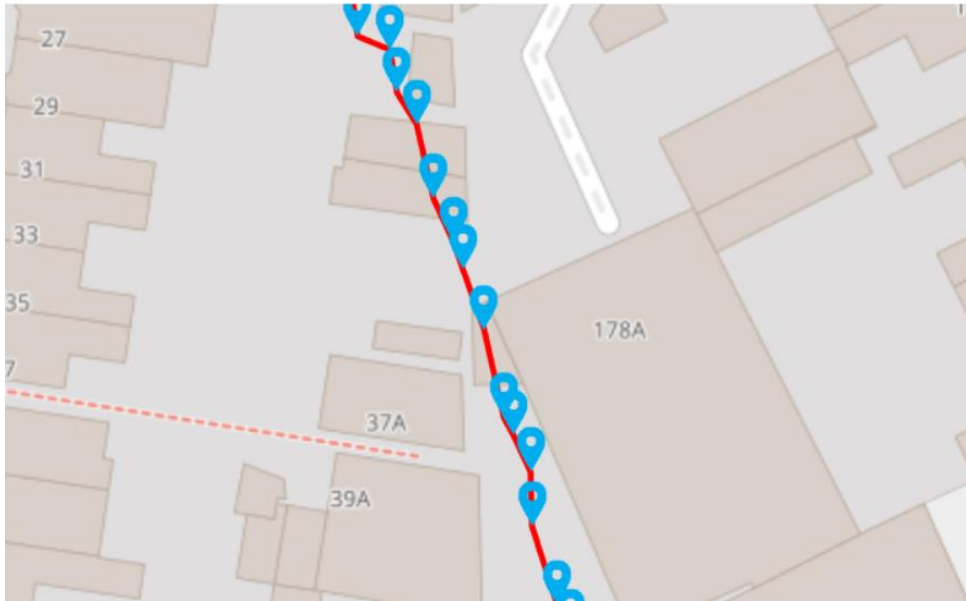
ortalamada dengelenmesi istenir. Standart sapma ( $\sigma$ ) değeri ise eklenen gürültünün büyüklüğünü belirler.

Üretilen gürültü değerleri, orijinal veri setindeki her bir veri noktasına eklenir. Bu işlem, verilerin rastgele varyasyonlar içeren yeni bir veri seti oluşturmasını sağlar. Matematiksel olarak, gürültü eklenmiş veri formülü (3.4) eşitliği ile gösterilmiştir.

$$y' = y + N(\mu, \sigma^2) \quad (3.4)$$

Burada  $y$ , orijinal veri setini ve  $N(\mu, \sigma^2)$  ifadesi, ortalama ve varyans olan normal dağılımdan üretilen rastgele gürültü değerini temsil eder.

Gauss dağılımı kullanarak ekleyeceğimiz gürültü için ortalama ( $\mu$ ) ve standart sapma ( $\sigma$ ) değerleri belirlenir. Belirlenen parametrelerle Gauss dağılımından rastgele gürültü değerleri üretilir. Üretilen gürültü değerleri, bağımlı değişken ( $y$ ) üzerine eklenir ve gürültü eklenmiş veri seti oluşturulur. Tasarlanan yazılımda Gauss dağılımı kullanılarak üretilen gürültü verisinin enlem ve boylam değerlerine eklenmesi ile üretilen örnek bir rotaya ait görsel Şekil 3.10 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.10 Gauss dağılımı uygulanan konum verisi

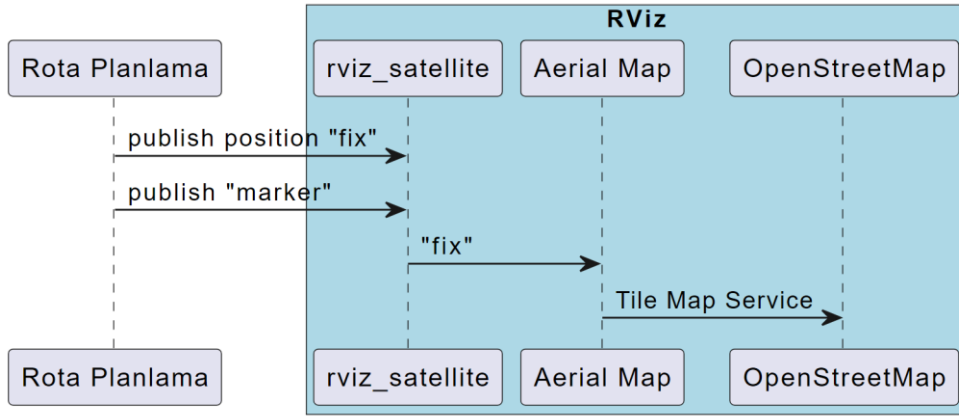
### 3.3 RViz ile Harita Modelleme

#### 3.3.1 Tile Map Service (TMS)

Web haritaları sunmak için kullanılan standart bir protokoldür. Harita verilerini önceden oluşturulmuş kare karo tabanlı bir formata dönüştürerek, kullanıcıların haritaları hızlı ve verimli bir şekilde görüntülemesine ve etkileşimde bulunmasına olanak tanır. TMS, Mercator projeksiyonu ile çalışır ve çeşitli yakınlaştırma seviyelerinde harita döşemeleri sağlayarak ölçeklenebilirlik sunar. Açık kaynaklı web harita servisi sunan OpenStreetMap (OSM) Tile Map servislerini yaygın olarak kullanmaktadır. RViz ortamında İHA'nın rotasını görselleştirmek amacıyla OpenStreetMap harita servisleri kullanılmıştır.

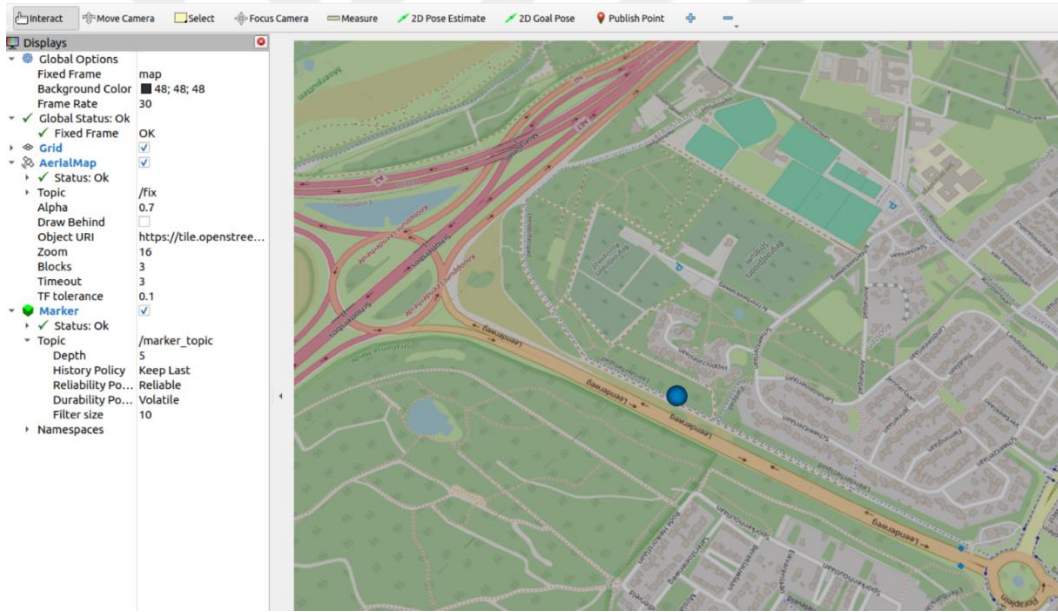
#### 3.3.2 Konum Bilgilerinin Görselleştirilmesi

ROS üzerinde RViz simülasyon aracını kullanarak, İHA'nın gerçek zamanlı konum bilgilerinin doğru ve etkin bir şekilde görselleştirilmesi için “rviz\_satellite” paketi entegre edilmiştir. Bu paket, OpenStreetMap (OSM) hizmetinden elde edilen harita üzerinde, İHA'nın mevcut konumunu dinamik bir şekilde göstermektedir. Kullanıcı tarafından tanımlanmış rota boyunca üretilen konum ve kovaryans bilgileri ROS içerisinde bulunan NavSatFix mesaj türünde “fix” ismi ile yayınlanmaktadır. Bu veriler, RViz'e eklenen açık kaynaklı rviz\_satellite paketi tarafından işlenerek, OpenStreetMap haritası üzerinde görselleştirilmektedir. Konum bilgilerine göre TMS ile harita sürekli güncellenmektedir. Konum bilgisinin anlık bir şekilde görselleştirilmesi için Rota Planlama düğümünden “marker” mesajı yayınlanmaktadır. RViz içerisinde bulunan Marker aracı ile “marker” düğümü aktif edilerek İHA'nın gerçek zamanlı konumu görselleştirilmiştir. Şekil 3.11 ile harita üzerinde görselleştirme adımları ardışım (sequence) UML diyagramı şeklinde gösterilmiştir.



Şekil 3.11 RViz ortamında benzetim modeli tasarımı UML diyagramı

Şekil 3.12 ile RViz ortamında tasarlanan harita modeli gösterilmektedir. İHA'nın konumu, marker aracı kullanılarak gerçek zamanlı bir şekilde mavi küre ile gösterilmektedir.



Şekil 3.12 RViz benzetim ortamında konum bilgilerinin görselleştirilmesi

## 3.4 Seyrüsefer Mesajlarının Oluşturulması

### 3.4.1 NMEA-0183 Protokol Yapısı

NMEA 0183 protokolü, GPS alıcıları, sonar cihazları, rüzgâr ölçüm cihazları, otopilot sistemleri ve diğer denizcilik elektronik cihazları arasında veri paylaşımını sağlar. ASCII karakter seti kullanılarak oluşturulan düz metin tabanlı bir

protokoldür. NMEA protokolünün içerdiği veri yapısı aşağıdaki Tablo 3.9 ile gösterilmektedir.

**Tablo 3.9** NMEA-0183 mesaj yapısı

Bölüm	Açıklama
Başlangıç Karakteri	Her cümle "\$" veya "!" karakteri ile başlar.
Mesaj Türü	Mesajın türünü belirten 5 karakterli bir koddur.
Veri Alanı	Virgülle ayrılmış veri alanları, mesaj türüne bağlı olarak farklı bilgileri içerir.
Sonlandırma Karakteri	Her cümle "*" karakteri ile sona erer ve bu karakter veri alanının sonlandığını gösterir.
Checksum	Veri alanını doğrulamak için kullanılan bir mekanizmadır. "\$" ve "*" karakterleri arasındaki her ASCII karakterinin XOR (exclusive OR) işlemi kullanılarak hesaplanır.

GPS uydusuna ait seyrüsefer bilgilerini içeren örnek bir NMEA GPGGA mesajı ve bu verilerin nasıl anlamlandırıldığı Şekil 3.13 ile gösterilmektedir.

**\$GPGGA,082554,3946.49,N,03029.925,E,6,4,1.5,186.3,M,30.2,M,0000\*75**

\$GPGGA,	082554,	3946.49,N,	03029.925,E,	6,	4,	1.5,	186.3,M	30.2,M	0000	*75
Message Type	UTC Time	Latitude N/S	Longitude E/W	Number of Satellite	GPS Fix Indicator	Horizontal Dilution of Precision	Altitude(m), Mean-Sea-Level(geoid)	Geoidal Separation(m)	Reference Station ID	Checksum

**Şekil 3.13** GPS için örnek bir NMEA GGA mesajı

### 3.4.2 NMEA-0183 Protokolü ile Seyrüsefer Mesajlarının Oluşturulması

Kullanıcı tarafından harita modeli üzerinde tanımlanan uçuş rotasına göre konum, hız, yönelim bilgileri tasarlanan yazılım ile belirlenmektedir. Şekil 3.14 ile ROS ortamında yayınlanmakta olan NMEA mesajlarının Linux Terminal ekranında çıktısı gösterilmiştir. Bu benzetim sisteminde kullanılan NMEA mesajlarının içerikleri ise Tablo 3.10 ile detaylandırılmıştır.

```

muhammed@muhammed-KLVD-WXX9: ~ 140x30
GPVTG Message: $GPVTG,0.0,T,,M,0.0,N,0.0,K,A*0D
ZDA Message: $GPZDA,204531,24,08,2024,00,00*43
GGA Message: $GPGGA,204531,4106.6131,N,02850.4015,E,1,8,0.9,0.0,M,0.0,M,,*4B
GPRMC Message: $GPRMC,204531,A,4106.6131,N,02850.4015,E,0.0,0.0,240824,,,*31
GPGSV Message: $GPGSV,3,1,06,28,45,120,30,05,55,140,32,29,65,160,34,24,75,180,36*76
GPGSV Message: $GPGSV,3,2,06,06,85,200,38,25,95,220,40*7B
GLGSV Message: $GLGSV,3,1,06,10,45,120,30,04,55,140,32,11,65,160,34,20,75,180,36*7B
GLGSV Message: $GLGSV,3,2,06,21,85,200,38,05,95,220,40*78
GPGSA Message: $GPGSA,A,3,01,02,03,04,05,06,07,08,09,10,11,12,1.0,1.0,1.0*30
GPVTG Message: $GPVTG,0.0,T,,M,0.0,N,0.0,K,A*0D
ZDA Message: $GPZDA,204531,24,08,2024,00,00*43
GGA Message: $GPGGA,204531,4106.6150,N,02850.3963,E,1,8,0.9,0.0,M,0.0,M,,*43
GPRMC Message: $GPRMC,204531,A,4106.6150,N,02850.3963,E,0.0,0.0,240824,,,*39
GPGSV Message: $GPGSV,3,1,06,28,45,120,30,05,55,140,32,29,65,160,34,24,75,180,36*76
GPGSV Message: $GPGSV,3,2,06,06,85,200,38,25,95,220,40*7B
GLGSV Message: $GLGSV,3,1,06,10,45,120,30,04,55,140,32,11,65,160,34,20,75,180,36*7B
GLGSV Message: $GLGSV,3,2,06,21,85,200,38,05,95,220,40*78
GPGSA Message: $GPGSA,A,3,01,02,03,04,05,06,07,08,09,10,11,12,1.0,1.0,1.0*30
GPVTG Message: $GPVTG,0.0,T,,M,0.0,N,0.0,K,A*0D
ZDA Message: $GPZDA,204531,24,08,2024,00,00*43
GGA Message: $GPGGA,204532,4106.6187,N,02850.3891,E,1,8,0.9,0.0,M,0.0,M,,*46
GPRMC Message: $GPRMC,204532,A,4106.6187,N,02850.3891,E,0.0,0.0,240824,,,*3C
GPGSV Message: $GPGSV,3,1,06,28,45,120,30,05,55,140,32,29,65,160,34,24,75,180,36*76
GPGSV Message: $GPGSV,3,2,06,06,85,200,38,25,95,220,40*7B
GLGSV Message: $GLGSV,3,1,06,10,45,120,30,04,55,140,32,11,65,160,34,20,75,180,36*7B
GLGSV Message: $GLGSV,3,2,06,21,85,200,38,05,95,220,40*78
GPGSA Message: $GPGSA,A,3,01,02,03,04,05,06,07,08,09,10,11,12,1.0,1.0,1.0*30
GPVTG Message: $GPVTG,0.0,T,,M,0.0,N,0.0,K,A*0D
ZDA Message: $GPZDA,204532,24,08,2024,00,00*40

```

Şekil 3.14 Oluşturulan NMEA mesajlarına ait linux terminal çıktısı

Tablo 3.10 NMEA mesajları veri içerikleri

Mesaj Türü	Veri Alanı
GGA	Saat, Enlem, Boylam, Sabit Türü, Uyduların Sayısı, HDOP, Yükseklik, Geoid, DGPS Veri Yaşı, DGPS İstasyon Kimliği
RMC	Saat, Geçerlilik, Enlem, Boylam, Hız, Kurs, Tarih, Manyetik Varyasyon, Geçerlilik Durumu
GLL	Enlem, Boylam, Saat, Geçerlilik, Mod, Geçerlilik Durumu
VTG	Kurs, Referans, Hız (Knots), Hız (Km/h), Mod
GSA	Mod, Sabit Türü, Kullanılan Uydular, PDOP, HDOP, VDOP
GSV	Mesaj Sayısı, Mesaj No, Görüş Alanındaki Uydu Sayısı, Uydu Bilgileri (Uydu No, Yükselme Açısı, Azimut, SNR)
ZDA	Saat, Gün, Ay, Yıl, Yerel Saat Dilimi, Yerel Dakika Dilimi

### **3.5 NTRIP Protokolü ile CORS Ağlarının Kullanılması**

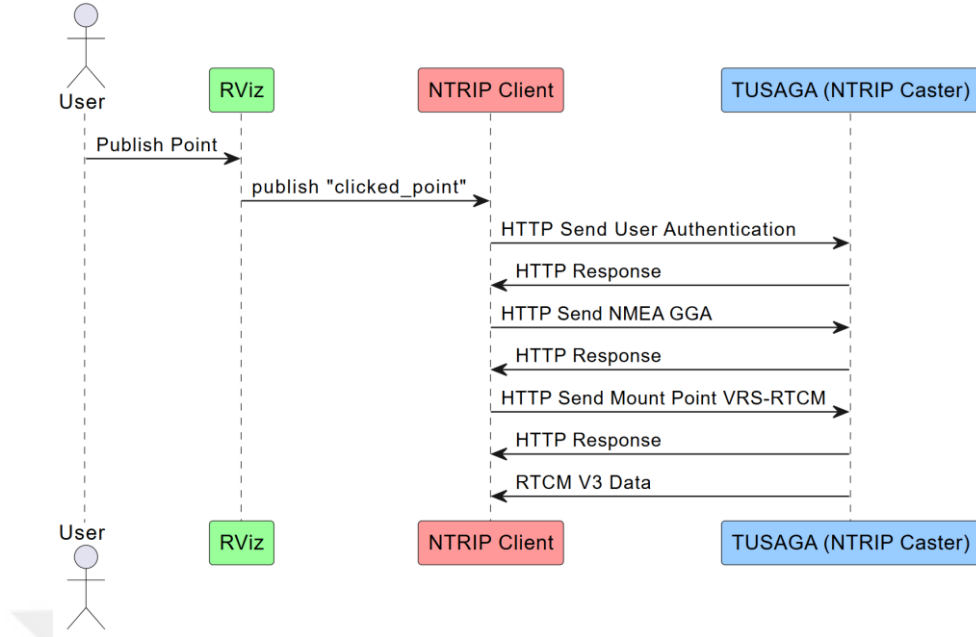
Hassas konumlandırma çözümleri, otonom hava ve kara araçları için büyük bir önem taşımaktadır. Bu çözümler arasında RTK yöntemi, yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağlaması nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir. RTK çözümü için kullanılan RTCM mesajları, TUSAGA CORS sistemi üzerinden NTRIP protokolü ile alınmaktadır.

#### **3.5.1 TUSAGA-Aktif Sisteminin Kullanımı**

TUSAGA-Aktif Sistemi kapsamında; kullanıcılara Gerçek zamanlı Ağ-RTK düzeltme verisi (Real Time Kinematics - RTK) ve Diferential GPS - DGPS)) ile TUSAGA-Aktif Sistemi Sabit GNSS İstasyonlarına ilişkin 1 saniye ve 30 saniye aralıklı RINEX veriler sunulmaktadır. TUSAGA internet sitesi üzerinden Gerçek zamanlı Ağ-RTK düzeltme verisi hizmeti satın alınmıştır. Ağ-RTK düzeltme verilerine erişebilmek için APN (Access Point Name) Tüneli kullanılmaktadır. APN, GPRS, Edge ve 3G gibi mobil iletişim altyapısı üzerinde, kurumlara sanal özel ağ kurulmasını sağlayan teknolojidir. Bu teknoloji sayesinde izin verilen kullanıcıların girebildiği kurumlara özel ağlar tesis etmek mümkün olmaktadır. APN Tüneli kullanılabilmesi için TUSAGA üzerinden IMEI kaydı yapılması gerekmektedir. Bu işlemlerin sonucunda kullanıcı adı ve şifre bilgilerine erişilmektedir.

#### **3.5.2 NTRIP Client Yazılım Tasarımı**

NTRIP protokolü ile TUSAGA sistemine ile haberleşmek ve sanal bir referans istasyon konumu oluşturmak için NTRIP Client yazılımı tasarlanmıştır. Şekil 3.15 ile tasarlanan yazılıma ait ardışım (sequence) UML diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 3.15 NTRIP client yazılımı UML diyagramı

RViz ortamında tasarlanan harita modeli üzerinden “Publish Point” aracı ile referans istasyona ait koordinatlar belirlenir ve “clicked\_point” ismi ile topic olarak paylaşılır. NTRIP Client olarak tasarlanan yazılım, bu topic mesajını yakalayıp seçilen konum bilgisini ile NMEA GPGGA mesajı oluşturur ve NTRIP protokolü üzerinden TUSAGA ile paylaşır. TUSAGA tarafından oluşturulan Sanal referans istasyonu (VRS) üzerinden RTCM mesajları alınmaya başlanır.

```

muhammed@muhammed-KLVD-WXX9: ~$ ros2 run ntrip_pkg ntrip_node 1
Enter username: K07
Enter password: dnf
[INFO] [1724532484.954532050] [ntrip_client]: NTRIP sunucusuna bağlantı isteği gönderildi.
HTTP/1.1 200 OK
Ntrip-Version: Ntrip/2.0
Connection: close
Transfer-Encoding: chunked
Server: NTRIP Trimble Ntrip Caster 5.1
Ntrip-Flags: st_match,st_strict,rtsp,plain_rtp
Content-Type: gnss/data
Date: Sat, 24 Aug 2024 20:48:05 UTC
Cache-Control: no-store
Pragma: no-cache
  
```

Şekil 3.16 NTRIP Client yazılımı linux terminal ekranı

Şekil 3.16 ile gösterildiği gibi linux terminal ekranı üzerinden “ros2 run ntrip\_pkg ntrip\_node” komutu ile NTRIP Client yazılımı çalıştırılır. Sonrasında terminal ekranı üzerinden kullanıcı adı ve şifre bilgileri girilmesi gerekmektedir. TUSAGA internet sitesi üzerinden sahip olunan üyelik bilgileri girilir. Üyelik bilgilerinin doğrulanması sonrasında TUSAGA NTRIP sunucusuna bağlantı isteği gönderilir. Bağlantının başarılı olması halinde sunucu tarafından “200 OK” mesajı ve NTRIP sunucusuna ait detaylı bilgiler terminal ekranında listelenmektedir. NTRIP sunucusu ile bağlantı doğru bir şekilde sağlanması işleminden sonra Mount Point noktasını belirlenmesi gerekmektedir.

### **3.5.2.1 Mount Point Seçimi**

Mount point, NTRIP sisteminde belirli bir veri akışını tanımlayan bir bağlantı noktasıdır. Kullanıcıların NTRIP caster (yayınlayıcı) üzerinden erişebileceği çeşitli veri akışlarını ayırt etmeyi sağlar. Her mount point, belirli bir GNSS referans istasyonuna veya veri kaynağına ait düzeltme verilerini temsil eder ve kullanıcının ihtiyaç duyduğu özellikli verileri almasını sağlar.

NTRIP caster tarafından, GNSS düzeltme verilerinin sağlandığı her kaynak için bir mount point tanımlanır. TUSAGA-Aktif için yaygın mount point seçenekleri şu şekildedir:

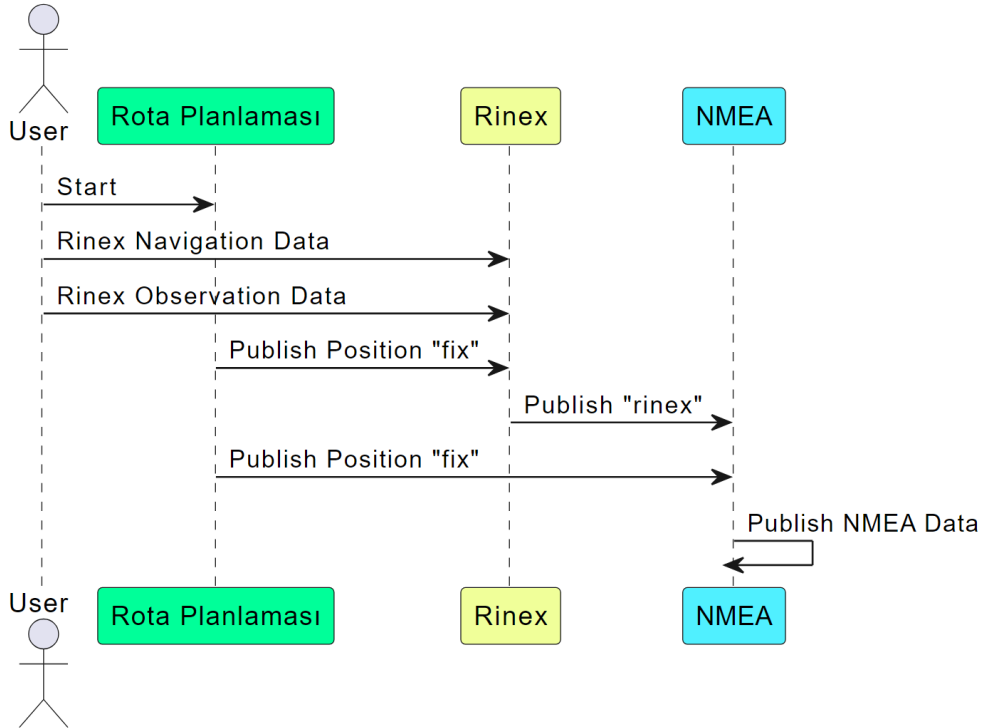
1. VRS-CMR,
2. SAPOS,
3. RTCM3-NET,
4. DGPS-NET,
5. VRS-RTCM3

Sanal Referans İstasyon üzerinden RTCM verileri alınacağı için VRS-RTCM mount point seçimi yapılmaktadır.

### 3.6 RINEX Dosyalarının İşlenmesi

RINEX (Receiver Independent Exchange Format) dosyaları, GNSS alıcılarından toplanan ham verileri saklamak ve paylaşmak için kullanılan bir veri formatıdır. Bu dosyalar, geçmişe dönük gözlemler ve ölçümler içerir.

GPS, Glonass, Galileo, Beidou uydu sistemleri için NASA CDDIS internet sitesinde[26] veya TUSAGA Aktif sistemi üzerinden düzenli olarak yayınlanmaktadır. Bu çalışmada NASA'nın yayınlamış olduğu Rinex dosyaları kullanılmıştır. Bu Rinex verileri 24 saatlik GNSS uydu verilerini barındırmakta ve ücretsiz olarak yayınlanmaktadır. "Rinex navigation and observation" dosyalarını çözümlmek ve verileri işlemek amacıyla bir yazılım tasarımı yapılmıştır. Bu yazılıma ait ardışım (sequence) UML diyagramı Şekil 3.17 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.17 Rinex dosya işleme yazılım tasarımına ait UML diyagramı

### 3.6.1 Rinex Verileri ile NMEA GSV Seyrüsefer Mesajlarının Oluşturulması

NMEA GSV seyrüsefer mesajının oluşturulması için aktif olarak görülen GNSS uyduları ve bu uydulara ait Satellite ID (PRN Number), Elevation, Azimuth ve SNR (C/N0) bilgileri gerekmektedir. Bu bilgiler aşağıda detaylı açıklanmıştır;

- **Satellite ID:** Her bir uyduya atanmış benzersiz bir kimlik numarasıdır. PRN (Pseudo-Random Number) olarak isimlendirilir.
- **Elevation:** Elevation açısı, 0 derece (ufuk) ile 90 derece (zenit) arasında bir değerdir. Yüksek bir yükselme açısı, sinyalin daha az atmosferik müdahaleye maruz kaldığını ve dolayısıyla daha güvenilir olduğunu gösterir. Düşük yükselme açısı, sinyalin atmosferde daha uzun bir yol kat ettiğini ve daha fazla gecikmeye ve bozulmaya maruz kalabileceğini gösterir.
- **Azimuth:** 0 derece (kuzey) ile 360 derece arasında bir değerdir. Bu bilgi, uyduyu gökyüzünde tam olarak nerede bulabileceğinizi belirtir.
- **SNR (C/N0):** SNR, decibel-Hertz (dB-Hz) cinsinden ölçülür ve sinyal kalitesini belirtir. Yüksek bir SNR değeri, sinyalin güçlü ve gürültünün düşük olduğunu gösterir, bu da daha güvenilir ve doğru pozisyon hesaplamalarına olanak tanır. Düşük bir SNR değeri, sinyalin zayıf olduğunu ve gürültünün sinyali bozabileceğini gösterir.

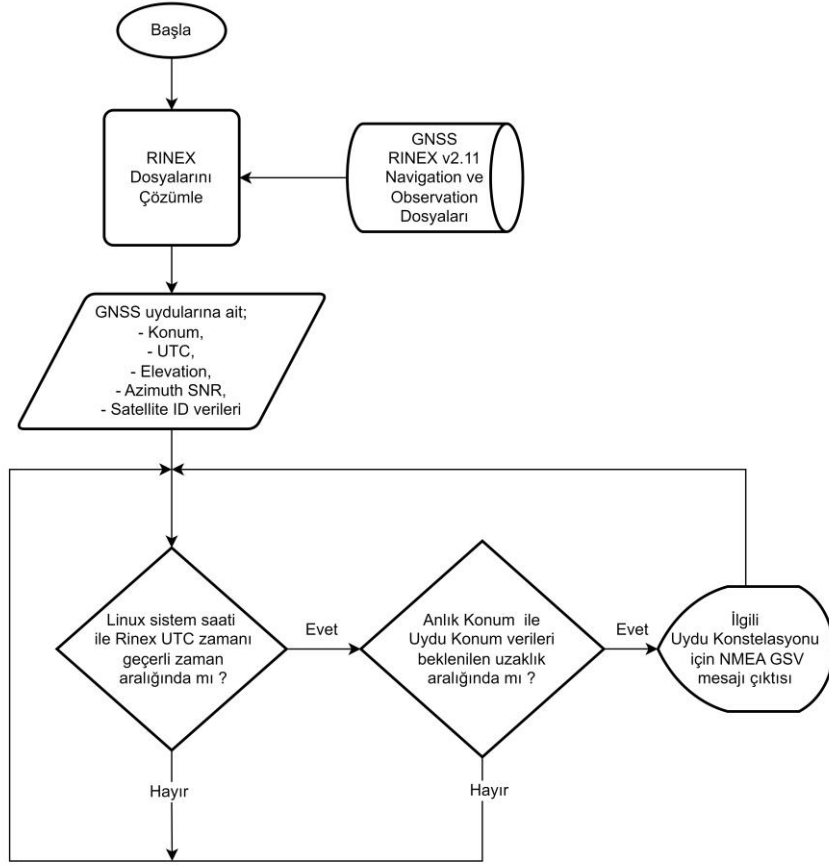
Şekil 3.18 ile Galileo uydusuna ait örnek bir NMEA GSV mesajı gösterilmektedir.

**\$GAGSV,1,1,01,02,08,309,37\*4D**

\$GAGSV	1,	1,	01,	02,	08,	309,	37	*4D
Message Type	Number of Messages	Message Number	Satellites in View	Satellite ID	Elevation (degrees)	Azimuth (degrees)	SNR(C/No)	Checksum

**Şekil 3.18** Galileo NMEA GSV mesaj örneği

Anlık Görülen uydulara ait NMEA GSV mesajı oluşturabilmek tasarlanan yazılım tasarımı ait akış şeması Şekil 3.19 ile gösterilmiştir.



**Şekil 3.19** Rinex ile NMEA GSV mesajı oluşturma adımları akış şeması

Rinex dosyası ile NMEA GSV mesajı oluşturma adımları sırasıyla aşağıdaki gibidir;

1. 24 saatlik Rinex navigation dosyasından okunan veriler ile görülen uydulara ait konum, zaman bilgisi verileri elde edilmektedir.
2. 24 saatlik Rinex observation dosyasından okunan veriler ile GNSS uydularına ait Elevation, Azimuth SNR, Satellite ID gibi verilerine erişim sağlanmaktadır.
3. Rinex dosyasından okunan saat bilgisi ile işletim sistemine ait saat bilgisi sürekli kontrol edilmekte ve sadece geçerli zaman aralığındaki uydu bilgileri değerlendirilmektedir.
4. Benzetim sistemine ait anlık konum bilgisi ile Rinex dosyasından okunan uydu konumlarının birbirine yakınlıkları karşılaştırılır. Belirli bir uzaklık değeri altındaki uydu ID'leri belirlenir.
5. Belirlenen uydular için NMEA GSV mesajı oluşturulur.

## 4.1 Uygulama Sonuçları

### 4.1.1 NMEA Mesajlarının Doğrulanması

ROS platformunda tasarlanan rota planlama yazılımında NMEA-0183 formatında seyrüsefer mesajları oluşturulmaktadır. Linux terminal ekranındaki NMEA mesaj çıktıları Şekil 4.20 ile gösterilmektedir.

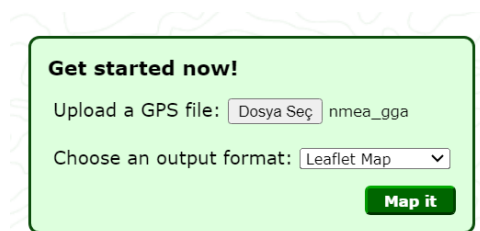
```

muhammed@muhammed-KLVD-WXX9:~$ cat /dev/ttyUSB0
[navsatfix_subscriber]: GPVTG Message: $GPVTG,0.0,T,,M,0.0,N,0.0,K,A*0D
[navsatfix_subscriber]: ZDA Message: $GPZDA,204531,24,08,2024,00,00*43
[navsatfix_subscriber]: GGA Message: $GPGGA,204531,4106.6131,N,02850.4015,E,1,8,0.9,0.0,M,0.0,M,,*4B
[navsatfix_subscriber]: GPRMC Message: $GPRMC,204531,A,4106.6131,N,02850.4015,E,0.0,0.0,240824,.,,*31
[navsatfix_subscriber]: GPGSV Message: $GPGSV,3,1,06,28,45,120,30,05,55,140,32,29,65,160,34,24,75,180,36*76
[navsatfix_subscriber]: GPGSV Message: $GPGSV,3,2,06,06,85,200,38,25,95,220,40*7B
[navsatfix_subscriber]: GLGSV Message: $GLGSV,3,1,06,10,45,120,30,04,55,140,32,11,65,160,34,20,75,180,36*7B
[navsatfix_subscriber]: GLGSV Message: $GLGSV,3,2,06,21,85,200,38,05,95,220,40*78
[navsatfix_subscriber]: GPGSA Message: $GPGSA,A,3,01,02,03,04,05,06,07,08,09,10,11,12,1.0,1.0,1.0*30
[navsatfix_subscriber]: GPVTG Message: $GPVTG,0.0,T,,M,0.0,N,0.0,K,A*0D
[navsatfix_subscriber]: ZDA Message: $GPZDA,204531,24,08,2024,00,00*43
[navsatfix_subscriber]: GGA Message: $GPGGA,204531,4106.6150,N,02850.3963,E,1,8,0.9,0.0,M,0.0,M,,*43
[navsatfix_subscriber]: GPRMC Message: $GPRMC,204531,A,4106.6150,N,02850.3963,E,0.0,0.0,240824,.,,*39
[navsatfix_subscriber]: GPGSV Message: $GPGSV,3,1,06,28,45,120,30,05,55,140,32,29,65,160,34,24,75,180,36*76
[navsatfix_subscriber]: GPGSV Message: $GPGSV,3,2,06,06,85,200,38,25,95,220,40*7B
[navsatfix_subscriber]: GLGSV Message: $GLGSV,3,1,06,10,45,120,30,04,55,140,32,11,65,160,34,20,75,180,36*7B
[navsatfix_subscriber]: GLGSV Message: $GLGSV,3,2,06,21,85,200,38,05,95,220,40*78
[navsatfix_subscriber]: GPGSA Message: $GPGSA,A,3,01,02,03,04,05,06,07,08,09,10,11,12,1.0,1.0,1.0*30
[navsatfix_subscriber]: GPVTG Message: $GPVTG,0.0,T,,M,0.0,N,0.0,K,A*0D
[navsatfix_subscriber]: ZDA Message: $GPZDA,204531,24,08,2024,00,00*43
[navsatfix_subscriber]: GGA Message: $GPGGA,204532,4106.6187,N,02850.3891,E,1,8,0.9,0.0,M,0.0,M,,*46
[navsatfix_subscriber]: GPRMC Message: $GPRMC,204532,A,4106.6187,N,02850.3891,E,0.0,0.0,240824,.,,*3C
[navsatfix_subscriber]: GPGSV Message: $GPGSV,3,1,06,28,45,120,30,05,55,140,32,29,65,160,34,24,75,180,36*76
[navsatfix_subscriber]: GPGSV Message: $GPGSV,3,2,06,06,85,200,38,25,95,220,40*7B
[navsatfix_subscriber]: GLGSV Message: $GLGSV,3,1,06,10,45,120,30,04,55,140,32,11,65,160,34,20,75,180,36*7B
[navsatfix_subscriber]: GLGSV Message: $GLGSV,3,2,06,21,85,200,38,05,95,220,40*78
[navsatfix_subscriber]: GPGSA Message: $GPGSA,A,3,01,02,03,04,05,06,07,08,09,10,11,12,1.0,1.0,1.0*30
[navsatfix_subscriber]: GPVTG Message: $GPVTG,0.0,T,,M,0.0,N,0.0,K,A*0D
[navsatfix_subscriber]: ZDA Message: $GPZDA,204532,24,08,2024,00,00*40

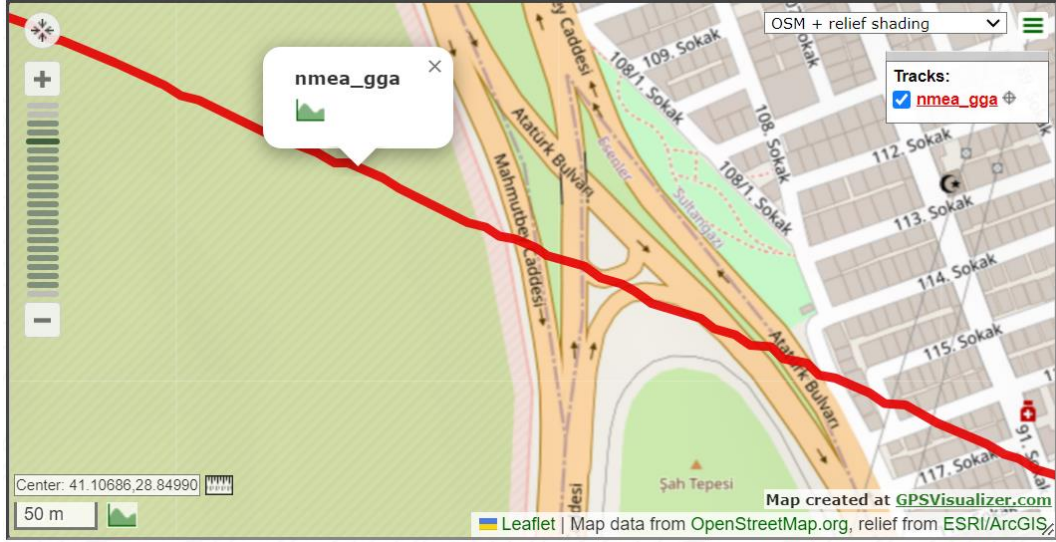
```

Şekil 4.20 NMEA mesaj çıktıları

Pozisyon bilgilerini içeren NMEA GGA mesajı çıktıları “nmea” dosyası olarak kaydedilmektedir. Bu mesajların doğruluğunu kontrol etmek için <https://www.gpsvisualizer.com/> internet sitesi üzerinden NMEA GGA mesajları analiz edilmiş ve harita üzerinde görselleştirilmiştir. Şekil 4.21 ve Şekil 4.22 ile NMEA GGA mesajlarını harita üzerinde analiz etme adımları gösterilmektedir.



Şekil 4.21 NMEA dosya seçim ekranı



**Şekil 4.22** NMEA GGA mesajlarının harita üzerinde görselleştirilmesi

ROS ortamında geliştirilen rota planlama yazılımının çıktısı olan NMEA mesajları, web sitesine yüklenmiş ve bu mesajların harita üzerinde tekrar görselleştirilmesi sağlanmıştır. Bu adım, NMEA mesajlarının doğru bir şekilde üretildiğini ve İHA'nın rota boyunca konum bilgilerinin hatasız bir şekilde iletildiğini doğrulamak için yapılmıştır. Gauss dağılımıyla eklenen gürültünün rota üzerinde yarattığı etkiler, gerçek dünyadaki GNSS sinyallerinin değişkenliğini başarılı bir şekilde taklit etmekle birlikte benzetimin gerçekçi olmasına katkı sağlamıştır. Bu sayede, benzetim sistemi hem GNSS sinyallerindeki olası sapmaları hem de bu sapmaların seyrüsefer üzerindeki etkilerini başarıyla benzetim edebilmiştir. Ayrıca, NMEA mesajlarının ROS ortamında başarılı bir şekilde oluşturulmasının yanı sıra, bu mesajların başka bir platformda da sorunsuz bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Bu durum, benzetimin sadece ROS ortamında değil, harici platformlarda da güvenilir ve tutarlı sonuçlar üretebildiğini ortaya koymaktadır.

#### **4.1.2 NTRIP ile RTCM Mesajlarının Alınması**

ROS platformunda tasarlanan NTRIP Client yazılımı ile Kullanıcı Adı ve Şifre bilgileri girilerek TUSAGA NTRIP Caster sistemine başarılı bir şekilde erişilebildiği Şekil 4.23 ile gösterilmektedir. RViz üzerinden belirlenen VRS istasyonuna ait konum bilgisi NMEA GGA mesajı şeklinde gönderilmiş ve RTCM mesajlarının doğru bir şekilde geldiği Şekil 4.24 ile gösterilmiştir.

```
muhammed@muhammed-KLVD-WXX9:~$ ros2 run ntrip_pkg ntrip_node
Enter username: K0742
Enter password: dnf
[INFO] [1724532484.954532050] [ntrip_client]: NTRIP sunucusuna bağlantı isteği gönderildi.
HTTP/1.1 200 OK
Ntrip-Version: Ntrip/2.0
Connection: close
Transfer-Encoding: chunked
Server: NTRIP Trimble Ntrip Caster 5.1
Ntrip-Flags: st_match,st_strict,rtsp,plain_rtp
Content-Type: gnss/data
Date: Sat, 24 Aug 2024 20:48:05 UTC
Cache-Control: no-store
Pragma: no-cache

[INFO] [1724532485.046201546] [ntrip_client]: NTRIP sunucusundan cevap alındı: HTTP/1.1 200 OK
Ntrip-Version: Ntrip/2.0
Connection: close
Transfer-Encoding: chunked
Server: NTRIP Trimble Ntrip Caster 5.1
Ntrip-Flags: st_match,st_strict,rtsp,plain_rtp
Content-Type: gnss/data
Date: Sat, 24 Aug 2024 20:48:05 UTC
Cache-Control: no-store
Pragma: no-cache
```

Şekil 4.23 NTRIP Client yazılımı kullanıcı giriş ekranı

```
Server: NTRIP Trimble Ntrip Caster 5.1
Ntrip-Flags: st_match,st_strict,rtsp,plain_rtp
Content-Type: gnss/data
Date: Sat, 24 Aug 2024 20:48:05 UTC
Cache-Control: no-store
Pragma: no-cache

[INFO] [1724532485.046432652] [ntrip_client]: NMEA GGA cümlesi gönderildi: $GPGGA,143812,4105.314,N,02839.306,E,2,4,1.5,0,M,0,M,,*4F

[INFO] [1724532486.165282815] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 1
[INFO] [1724532486.932856825] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 2
[INFO] [1724532487.932908433] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 3
[INFO] [1724532488.932934982] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 4
[INFO] [1724532489.932995809] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 5
[INFO] [1724532490.932853470] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 6
[INFO] [1724532491.933417938] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 7
[INFO] [1724532492.933030491] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 8
[INFO] [1724532493.932898848] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 9
[INFO] [1724532494.932934048] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 10
[INFO] [1724532495.933100488] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 11
[INFO] [1724532496.933062127] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 12
[INFO] [1724532497.933082310] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 13
[INFO] [1724532498.933115354] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 14
[INFO] [1724532499.933150063] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 15
[INFO] [1724532500.933096972] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 16
[INFO] [1724532501.933187609] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 17
[INFO] [1724532502.933074787] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 18
[INFO] [1724532503.933202102] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 19
[INFO] [1724532504.933193709] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 20
[INFO] [1724532505.933262211] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 21
[INFO] [1724532506.933150872] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 22
[INFO] [1724532507.933274726] [ntrip_client]: RTCM yakalandı. Mesaj sayısı: 23
```

Şekil 4.24 NTRIP Client yazılımı ile RTCM mesajları çıktı görüntüsü

Bu tez çalışmasında, GNSS verilerinin ROS ortamında benzetimi ve İHA sistemleri için uygulama alanları kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı, İHA sistemlerinin GNSS verilerini doğru ve güvenilir bir biçimde kullanabilmesi için gerekli benzetim altyapısını geliştirmektir. Bu bağlamda, ROS2 platformunda NavSatFix.msg mesajları aracılığıyla NMEA-0183 protokolü ile seyrüsefer verileri üretilmiş ve rviz\_satellite paketi kullanılarak bu verilerin görselleştirilmesi sağlanmıştır. Çalışma boyunca, NTRIP teknolojisi kullanılarak RTCM verileri elde edilmiş ve GNSS veri benzetimine başarılı bir şekilde entegre edilmiştir. Bu sayede, İHA sistemlerinin daha hassas ve güvenilir konum bilgisi elde etmesi mümkün kılınmıştır. Gerçekleştirilen benzetimler neticesinde, İHA sistemlerinin belirlenen rota üzerindeki hareketlerinin GNSS ve RTCM verileri kullanılarak yüksek hassasiyetle izlenebileceği ve ROS ortamında gerçek dünya koşullarına benzer bir benzetim ortamının oluşturulabileceği ortaya konmuştur. Ayrıca, rota planlama sürecinde benzetime gürültü eklenmesi ile İHA sistemlerinin farklı GNSS koşullarındaki performanslarının test edilebileceği ve optimize edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Bu tez kapsamında geliştirilen benzetim sistemi, HIL sistemlerinde kullanıma uygun bir altyapı sunmaktadır. Bu çalışmada, ROS platformunun HIL sistemlerinde başarıyla uygulanabileceği test edilmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. GNSS verilerinin benzetiminin HIL sistemlerine entegrasyonu, İHA sistemlerinin gerçek dünya koşullarında güvenli ve etkili bir şekilde test edilmesini sağlamaktadır. ROS ile geliştirilen benzetim sistemine ait yazılımlar[27] açık kaynak olarak paylaşılmıştır.

- [1] Y. S.-R. Sensing and undefined 2021, “Autonomous integrity monitoring for relative navigation of multiple unmanned aerial vehicles,” *mdpi.com Y SunRemote Sensing, 2021•mdpi.com*, Accessed: Apr. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/8/1483>
- [2] J. Diep, D. Gómez-Casco, X. Otero Villamide, R. D. Swinden, and P. Crosta, “Performance Analysis of Mass-Market GNSS Receivers in UAV Applications,” *ieeexplore.ieee.org J Diep, D Gómez-Casco, XO Villamide, RD Swinden, P Crosta 2022 10th Workshop on Satellite Navigation Technology (NAVITEC), 2022•ieeexplore.ieee.org*, Accessed: Apr. 28, 2024. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9847551/>
- [3] O. Montenbruck and P. Ramos-Bosch, “Precision real-time navigation of LEO satellites using global positioning system measurements,” *GPS Solutions*, vol. 12, no. 3, pp. 187–198, Jul. 2008, doi: 10.1007/S10291-007-0080-X.
- [4] M. Heinrich, A. Sperl, ... U. M.-2018 I., and undefined 2018, “Reliable Multi-GNSS Real-Time Kinematic Positioning,” *ieeexplore.ieee.org M Heinrich, A Sperl, U Mittmann, P Henkel 2018 International Symposium ELMAR, 2018•ieeexplore.ieee.org*, Accessed: Apr. 28, 2024. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8534600/>
- [5] M. Branzanti, G. Colosimo, A. M.-A. in S. Research, and undefined 2017, “Variometric approach for real-time GNSS navigation: First demonstration of Kin-VADASE capabilities,” *Elsevier*, 2016, doi: 10.1016/j.asr.2016.09.026.
- [6] G. Weber, D. Dettmering, and H. Gebhard, “Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP),” *International Association of Geodesy Symposia*, vol. 128, pp. 60–64, 2005, doi: 10.1007/3-540-27432-4\_11.
- [7] “ROS/Introduction - ROS Wiki.” Accessed: Apr. 28, 2024. [Online]. Available: <http://wiki.ros.org/ROS/Introduction>
- [8] D. Rejchrt, T. Thalmann, A. Ettliger, H. N.-A. Ausgabe, and undefined 2019, “Robot Operating System—A Modular and Flexible Framework for Geodetic Multi-Sensor Systems,” *rejchrt.net D Rejchrt, T Thalmann, A Ettliger, H Neuner AVN Ausgabe, 2019•rejchrt.net*, Accessed: Apr. 28, 2024. [Online]. Available: [https://rejchrt.net/pdf/ros\\_geodetic\\_networks\\_avn.pdf](https://rejchrt.net/pdf/ros_geodetic_networks_avn.pdf)
- [9] W. Meng, Y. Hu, J. Lin, F. Lin, R. T.-I. 2015-41st Annual, and undefined 2015, “ROS+ unity: An efficient high-fidelity 3D multi-UAV navigation and control simulator in GPS-denied environments,” *ieeexplore.ieee.org W*

- Meng, Y Hu, J Lin, F Lin, R Teo* IECON 2015-41st Annual Conference of the IEEE Industrial, 2015•ieeexplore.ieee.org, Accessed: Apr. 28, 2024. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7392488/>
- [10] F. Jahan, A. Javaid, ... W. S.-E. E. T., and undefined 2015, “Gnssim: An open source gnss/gps framework for unmanned aerial vehicular network simulation,” *publications.eai.eu* F Jahan, AY Javaid, W Sun, M AlamEAI Endorsed Transactions on Mobile Communications and Applications, 2015•publications.eai.eu, 2015, doi: 10.4108/eai.11-8-2015.150091.
- [11] “GPS.gov: Other Global Navigation Satellite Systems (GNSS).” Accessed: May 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.gps.gov/systems/gnss/>
- [12] “RTCM standard 10403.1 for differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) services. Version 3.” Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.rtcn.org/publications>
- [13] T. Ö.-D. tez, Y. F. B. 1 mler E. tüsü, undefined İstanbul, and undefined 2015, “GNSS ağlarında GPS hassas nokta konumlama (GPS-PPP) tekniği yaklaşımli çözümler,” *platform.almanhal.com*, Accessed: Jun. 29, 2024. [Online]. Available: <https://platform.almanhal.com/Details/Thesis/2000244493?ID=4-2000244493>
- [14] R. Capilla, A. Martín, A. Anquela, J. B.-S. Review, and undefined 2012, “Frame transformation and geoid undulation transfer to GNSS real time positions through the new RTCM 3· 1 transformation messages,” *Taylor & Francis* R Capilla, A Martín, AB Anquela, JL BernéSurvey Review, 2012•Taylor & Francis, vol. 44, no. 324, pp. 30–36, Jan. 2012, doi: 10.1179/1752270611Y.0000000010.
- [15] “Real-Time GNSS.” Accessed: Jun. 29, 2024. [Online]. Available: <https://igs.bkg.bund.de/ntrip/>
- [16] S. Ögütücü, “Gerçek zamanli kinematik (RTK) uygulamalarında ağ bazli tekniklerin doğruluk analizleri,” 2014, Accessed: Jun. 29, 2024. [Online]. Available: <https://search.proquest.com/openview/ff4455ceebc25e1947f20f4b0c082016/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- [17] “National Marine Electronics Association NMEA 0183 Standard For Interfacing Marine Electronic Devices COPYRIGHT© NMEA 2002 NMEA 0183-Standard For Interfacing Marine Electronic Devices NMEA 0183 Version,” 2002.
- [18] “Yapay Uydularla Konum Belirleme ve Navigasyon Sistemleri”.
- [19] “TUSAGA-Aktif.” Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.tusaga-aktif.gov.tr/>

- [20] “Tutorials — ROS 2 Documentation: Humble documentation.” Accessed: Dec. 26, 2024. [Online]. Available: <https://docs.ros.org/en/humble/Tutorials.html>
- [21] “ROS NavSatFix Message Documentation.” Accessed: Dec. 28, 2024. [Online]. Available: [https://docs.ros2.org/foxy/api/sensor\\_msgs/msg/NavSatFix.html](https://docs.ros2.org/foxy/api/sensor_msgs/msg/NavSatFix.html)
- [22] “Linear interpolation - Encyclopedia of Mathematics.” Accessed: Sep. 01, 2024. [Online]. Available: [https://encyclopediaofmath.org/index.php?title=Linear\\_interpolation](https://encyclopediaofmath.org/index.php?title=Linear_interpolation)
- [23] P. E. Hart, N. J. Nilsson, and B. Raphael, “A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths,” *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, vol. 4, no. 2, pp. 100–107, 1968, doi: 10.1109/TSSC.1968.300136.
- [24] E. W. Dijkstra, “A Note on Two Problems in Connexion with Graphs,” *Numer Math (Heidelb)*, vol. 1, pp. 269–271, 1959.
- [25] “Normal distribution - Encyclopedia of Mathematics.” Accessed: Sep. 01, 2024. [Online]. Available: [https://encyclopediaofmath.org/wiki/Normal\\_distribution](https://encyclopediaofmath.org/wiki/Normal_distribution)
- [26] “CDDIS | | Data and Derived Products | GNSS | broadcast ephemeris data.” Accessed: Dec. 08, 2024. [Online]. Available: [https://cddis.nasa.gov/Data\\_and\\_Derived\\_Products/GNSS/broadcast\\_ephemeris\\_data.html](https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/broadcast_ephemeris_data.html)
- [27] M. Okur, “ROS2\_gnss\_sim GitHub.” Accessed: Dec. 01, 2024. [Online]. Available: [https://github.com/mhmmmdokur/ROS2\\_gnss\\_sim](https://github.com/mhmmmdokur/ROS2_gnss_sim)

# TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

---

## Konferans Bildirileri

1. M. Okur, U. Sakarya, “İnsansız Hava Aracı Sistemleri için Robot İşletim Sistemi (ROS) Kullanan GNSS Veri Benzetimi”, ICAA 2024 International Conference of Aeronautics and Astronautics, 2024

