



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**GNSS UYDU DAĞILIMININ STATİK GNSS  
ÖLÇÜLERİNDE VE GERÇEK ZAMANLI  
KONUM BELİRLEMEDEKİ ÖNEMİ**

**İlknur MUTLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Mayıs-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

İlknur Mutlu tarafından hazırlanan “GNSS Uydu Dağılımının Gerçek Zamanlı Kinematik GNSS ve Ağ-RTK Ölçülerindeki Önemi” adlı tez çalışması 23/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

**Başkan - Danışman**  
Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ

**Üye**  
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT

**Üye**  
Doç. Dr. Salih ALÇAY

### İmza

.....  
.....  
.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

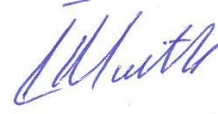
Prof. Dr. Yakup KARA  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



İlknur MUTLU

12.06.2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## GNSS UYDU DAĞILIMININ STATİK GNSS ÖLÇÜLERİNDE VE GERÇEK ZAMANLI KONUM BELİRLEMEDEKİ ÖNEMİ

İlknur MUTLU

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ**

**2019, 44 Sayfa**

**Jüri**

**Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ  
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT  
Doç. Dr. Salih ALÇAY**

Uydularla Konum Belirleme Sistemleri (GNSS) Amerika, Rusya başta olmak üzere birçok ülkenin kendi uydu sistemini geliştirmesiyle günümüzdeki seviyeye ulaşılmıştır. Bunun sonucunda da GNSS ile ölçüm ve navigasyon uygulamaları günümüzün vazgeçilmez en pratik ve en ekonomik yolu haline gelmiştir. Kullanıcılara hızlı, maliyeti düşük ve güvenilir konum belirleme hizmeti sunan GNSS, özellikle Ağ-RTK yöntemiyle en çok tercih edilen ve kullanılan konum belirleme yöntemidir. Mühendislik hizmetleri, bilimsel çalışmalar, havacılık sektörü, navigasyon, araç takip sistemleri, askeri gibi alanlar ile çok geniş kullanım alanına dolayısıyla çok fazla kullanıcıya sahiptir. Tüm bunlara karşın, GNSS ile elde edilen konum, zaman ve hız bilgilerini de olumsuz etkileyen hata kaynakları söz konusudur. Bu hata kaynakları uygun ölçü ve/veya hesaplama yöntemleri ile giderilmediği takdirde elde edilecek sonuçlar hatalı olacaktır. Bu hata kaynaklarından birisi de uydu geometrisi etkisi olup, bu tez çalışmasının ana konusunu oluşturmaktadır.

Tez çalışması kapsamında yapılmış olan sayısal uygulamadan elde edilen sonuca göre; uzun süreli statik GNSS ölçülerinde uydu geometri etkisinin sonuç koordinatlarda birkaç cm'yi geçmediği (diğer hataların tamamen giderildiği kabul edilerek) ve dolayısıyla sonuçlarda önemli bir hataya neden olmadığı, ancak Ağ-RTK ölçülerinde bu etkinin önemli hatalara neden olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ağ-RTK, CORS, DOP, GNSS, GPS, Statik, Uydu Geometrisi

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **THE IMPORTANCE OF GNSS SATELLITE DISTRIBUTION IN STATIC GNSS MEASUREMENTS AND REAL TIME KINEMATIC POSITIONING**

**İlknur MUTLU**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Geomatic Engineering**

**Advisor: Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ**

**2019, 44 Pages**

**Jury**

**Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ  
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT  
Doç. Dr. Salih ALÇAY**

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) has reached their today's level via many countries with the development of their own satellite systems, including U.S.A. and Russia. As a result, GNSS measurement and navigation applications have become the most practical and economical way of today. Providing users with fast, cost-effective and reliable positioning, GNSS is the most preferred and used positioning method, especially with the Network-RTK (CORS) method. GNSS has wide range of uses such as engineering services, scientific studies, aviation industry, navigation, vehicle tracking systems, military areas and therefore has a lot of users. Nevertheless, there are sources of error that negatively affect the position, velocity and time obtained by GNSS. If these error sources are not corrected by appropriate measurement and / or calculation methods, the results will be inaccurate. One of the sources of this error is the satellite geometry effect and this is the main subject of this thesis.

According to the results obtained from the numerical application made within the scope of this thesis study; It was determined that the effect of satellite geometry in long-term static GNSS measurements did not exceed a few cm in the result coordinates (assuming other errors were completely eliminated) and thus did not cause important errors in the coordinate computations, but this effect caused significant errors in the Network-RTK measurements.

**Keywords:** CORS, DOP, GNSS, GPS, Network-RTK, Satellite Geometry, Static,

## ÖNSÖZ

Benim için çok değerli olan bu tez çalışması kapsamında öncelikli olarak tez danışman hocam Prof. Dr. Muzaffer Kahveci'ye; Jeodezi alanında bana verdiği eğitim, paylaştığı akademik tecrübe, tez yazım süresindeki hoşgörüsü ve son olarak bu tez için bulunduğu katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışması kapsamında Konya'da gerçekleştirdiğim sayısal uygulama için, GNSS cihazlarını benimle paylaşan Harita Teknikeri Ali Karaca'ya, arazi çalışmasında teknik destek sağlayan arkadaşlarım Firuzan Çicek ve Fahrettin Doğdu' ya ve tüm süreç boyunca varlığını yanımda hissettiğim sevgili arkadaşım Güray Çetin'e teşekkür ederim.

Arazide elde edilen verilerin işlenmesi sürecinde tercih ettiğimiz Leica Infinity yazılımında her sorumu içtenlikle yanıtlayan destek ekibine teşekkür ederim.

Son olarak maddi ve manevi olarak destekçim olan sevgili ailem Muammer Mutlu, Gülşen Mutlu ve Uğur Mutlu'ya teşekkür ederim.

İlknur MUTLU  
KONYA-2019

# İÇİNDEKİLER

|  |             |
|--|-------------|
| <b>ÖZET</b> .....  | <b>iv</b>   |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | <b>v</b>    |
| <b>ÖNSÖZ</b> .....   | <b>vi</b>   |
| <b>İÇİNDEKİLER</b> .....   | <b>vii</b>  |
| <b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....   | <b>viii</b> |
| <b>1. GİRİŞ</b> .....  | <b>1</b>    |
| <b>2. GNSS İLE KONUM BELİRLEME</b> .....   | <b>3</b>    |
| 2.1. GNSS İle Konum Belirleme Yöntemleri .....   | 3           |
| 2.2. GNSS İle Konum Belirlemede Hata Kaynakları .....  | 7           |
| 2.2.1. İyonosferik Ve Troposferik Etki .....   | 7           |
| 2.2.2. Sinyal Yansıma (Multipath) Etkisi .....   | 9           |
| 2.2.3. Uydu Efemeris Hataları .....  | 10          |
| 2.2.4. Uydu ve Alıcı Saati Hataları .....  | 11          |
| 2.2.5. Uydu Geometrisi .....   | 11          |
| 2.2.6. Anten Faz Merkezi Hatası .....  | 11          |
| 2.2.7. Taşıyıcı Dalga Faz Belirsizliği Ve Faz Kesiklikleri .....   | 12          |
| <b>3. GÖZLEM NOKTASINDA GNSS UYDULARININ İZLENEBİLİRLİĞİ</b> .....   | <b>13</b>   |
| 3.1. Duyarlık Kaybı (DOP:Dilution of Precision) .....  | 14          |
| 3.2. DOP Faktörleri.....   | 17          |
| 3.3. Uydu Görünürlük (Skyplot) Eşitlikleri .....   | 19          |
| 3.4. Uydu Engel Grafikleri ve Konum Belirlemedeki Önemi .....  | 21          |
| <b>4. SAYISAL UYGULAMA</b> .....   | <b>23</b>   |
| 4.1. Statik Oturumda Yükseklik Açısına Göre Sonuç Koordinatların<br>Değerlendirilmesi.....   | 26          |
| 4.2. Alıcı Etrafında Doğu, Batı, Kuzey ve Güney Yönlenlerinde Engel Oluşturulması<br>.....   | 30          |
| 4.3. Ağ-RTK Uygulamalarında Alıcı Etrafında Doğu, Batı, Kuzey ve Güney<br>Yönlerinde Oluşturulan Engeller Çerçevesinde Yüksek DOP Değeleri ..... | 35          |
| 4.4. RTK-Ağ (CORS) ile Verilerin Elde Edilmesi .....   | 38          |
| <b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....  | <b>41</b>   |
| <b>KAYNAKLAR</b> .....   | <b>42</b>   |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....  | <b>44</b>   |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

|            |   |  |
|------------|---|--|
| $\sigma$   | : | Doğruluğu aranan büyüklüğün standart sapması |
| $\sigma_0$ | : | Pseudo uzaklık ölçümlerinin standart sapması |
| $Q$        | : | Varyans-Kovaryans Matrisi                    |
| $A$        | : | Katsayılar Matrisi                           |

### Kısaltmalar

|        |   |   |
|--------|---|---|
| Ağ-RTK | : | Ağ-Real Time Kinematic                          |
| DGNSS  | : | Diferansiyel Global Navigation Satellite System |
| DGPS   | : | Diferansiyel Global Positioning System          |
| DOP    | : | Dilution Of Precision                           |
| EDOP   | : | East Dilution Of Precision                      |
| EKK    | : | En Küçük Kareler                                |
| GBAS   | : | Ground Based Augmentation System                |
| GDOP   | : | Geometric Dilution Of Precision                 |
| GNSS   | : | Global Navigation Satellite System              |
| GPS    | : | Global Positioning System                       |
| GRAS   | : | Ground based Regional Augmentation System       |
| HDOP   | : | Horizontal Dilution Of Precision                |
| IGS    | : | International GNSS Service                      |
| NATO   | : | North Atlantic Treaty Organization              |
| NDOP   | : | North Dilution Of Precision                     |
| PDOP   | : | Position Dilution Of Precision                  |
| SBAS   | : | Satellite Based Augmentation System             |
| TDOP   | : | Time Dilution Of Precision                      |
| UERE   | : | User Equivalent Range Error                     |
| VDOP   | : | Vertical Dilution Of Precision                  |



## 1. GİRİŞ

İnsanların konum belirleme çalışmaları büyük bir geçmişe sahiptir. İlkel yöntemlerle başlayan navigasyon serüveni, sonrasında gök cisimlerinden yararlanılmaya başlanmasıyla farklı bir çalışma alanı oluşturmuştur. Günümüzde ise yapay gök cisimleri olan uydular yardımıyla konum belirleme çalışmaları gelişimini devam ettirmektedir.

GNSS (Global Navigation Satellite System) olarak adlandırdığımız konum belirleme sistemleri Amerika, Rusya başta olmak üzere birçok ülkenin uydu sistemini geliştirmesiyle günümüzde yaklaşık 100 uyduya ulaşmıştır. Atmosferik ve arazi koşullarından bağımsız olarak gökyüzünün görüldüğü her noktada bir GNSS alıcısıyla anlık ve sürekli konum, zaman ve hız ölçümü en pratik ve en ekonomik konum bilgisi elde etme yolu haline gelmiştir. Kullanıcılara hızlı, maliyeti düşük ve güvenilir konum belirleme hizmeti sunan GNSS, özellikle Ağ-RTK (Real-Time Kinematic) yöntemindeki gelişmeler ile birlikte en çok tercih edilen ve kullanılan konum belirleme yöntemidir. Mühendislik hizmetleri, bilimsel çalışmalar, havacılık sektörü, navigasyon, araç takip sistemleri, askeri gibi alanlar ile çok geniş kullanım alanına dolayısıyla çok fazla kullanıcıya sahiptir.

Güvenilir konum hizmeti sunulan GNSS sistemlerinin maruz kaldığı birçok hata kaynağı da mevcuttur. Bunlar uydu saat hatası, uydu yörünge hatası gibi uydudan kaynaklı; alıcı saat hatası, anten faz merkezi hatası gibi alıcıdan kaynaklı veya troposferik etki, iyonosferik etki, sinyal yansıma etkisi gibi atmosferden kaynaklı hatalar olabilir. Bu hata kaynaklarının söz konusu sonuçlara etkisi, yapılmakta olan işin hassasiyetine göre görmezlikten gelinebilmektedir. Ancak jeodezi, deprem uygulamaları, kıta deformasyonları gibi hassas olunması gereken uygulamalarda bu hataların matematik modelinin oluşturulması ve hatanın elimine edilebilmesi önemlidir. Bilindiği gibi bu hatalar gözlemci ile uydu arasındaki doğrultunun bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Diğer bir ifadeyle, söz konusu hatalar gözlem yapılan uydunun azimut ve yükseklik açısının bir fonksiyonudur. Dolayısıyla, konum belirleme açısından önemli olan EKK (En Küçük Karelerle) dengeleme işlemi yapılırken bu hataların ana amaç olan nokta koordinatlarını nasıl etkilediğinin hesaplanmasıdır (Kahveci ve Mutlu 2019; Santerre 1989).

Konum belirleme çalışmalarını etkileyen diğer bir faktör uydu geometrisidir. Uydu geometrisi uyduların birbirlerine ve alıcıya göre konumları ve alıcının gördüğü uydu sayısı ile ilişkilidir ve birimsiz bir büyüklük olan DOP (Dilution of Precision) değeri

ile ifade edilir. Uyduların birbirine yakın olduğu bir geometride DOP değeri büyük, uyduların gökyüzüne uygun dağıldığı bir geometride ise DOP değeri küçük olacaktır. DOP değeri büyüdükçe konum doğruluğunda bozucu etki artar. Başka bir tanım olan Geometrik DOP'da ise alıcıdan uydulara çizilen doğruların oluşturduğu çokgenin alanı büyüdükçe DOP değeri düşmektedir. Oluşan hacmin büyümesi, ölçüm için doğru zamanı ifade eder.

Uydu geometrisinin hesaplanan nokta koordinatlarına ve saat bilinmeyenine toplam etkisi GDOP (Geometric Dilution Of Precision), yatay ve düşey koordinatlara etkisi PDOP (Position Dilution Of Precision), enlem ve boylama (yatay koordinatlara) etkisi HDOP (Horizontal Dilution Of Precision), nokta yüksekliğine etkisi VDOP (Vertical Dilution Of Precision), zaman bilgisine etkisi TDOP (Time Dilution Of Precision) olarak ifade edilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2018).

Bu tez çalışması kapsamında uydu geometrisinin statik ve gerçek zamanlı kinematik uygulamalarda etkisini görmek için sayısal bir uygulama yapılmıştır. Bu sayısal uygulama için seçilen 3 noktada 7 saat süren statik oturumlar yapılmıştır. Bu noktalar Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğünden temin edilen 3 TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı) noktasına ait 30 saniyelik RINEX verileriyle birlikte Leica Infinity programında değerlendirilmiştir.

Sonuçların değerlendirilmesi kapsamında farklı senaryolar oluşturulmuştur. Öncelikle noktalar 5°, 10° ve 20° yükseklik açılarında ayrı ayrı dengelenmiştir. Referans kabul ettiğimiz 10° yükseklik açısında dengelenen koordinatlar ile 5° ve 20° yükseklik açısında dengelenen koordinatlar kıyaslanmıştır. Söz konusu senaryoların birisinde sırasıyla Kuzey-Güney-Doğu-Batı yönlerinde engel olduğu varsayılarak manuel olarak uydu çıkarımı yapılmıştır. Bu haliyle hazırlanan veri 10° yükseklik açısında dengelenerek, referans koordinatlar ile karşılaştırılmıştır. Bu verilerin hesaplama raporlarından yararlanılarak DOP değerlerinin maksimuma ulaştığı 10 dakikalık veri grupları oluşturularak adımlar tekrarlanmıştır.

Son olarak aynı noktada farklı günlerde TUSAGA-Aktif ile gerçek zamanlı ölçü yöntemi olarak elde edilen koordinat değerleri, dengelenerek elde edilen koordinatlar ile karşılaştırılarak yorumlar yapılmıştır. Sonuç olarak; sayısal uygulama ile farklı yükseklik açısında DOP değerlerinin gösterdiği değişim, engel durumunda koordinatların değişimi ve gerçek zamanlı Ağ-RTK (TUSAGA-Aktif) uygulaması ile elde edilen sonuçların farkları değerlendirilmiştir.

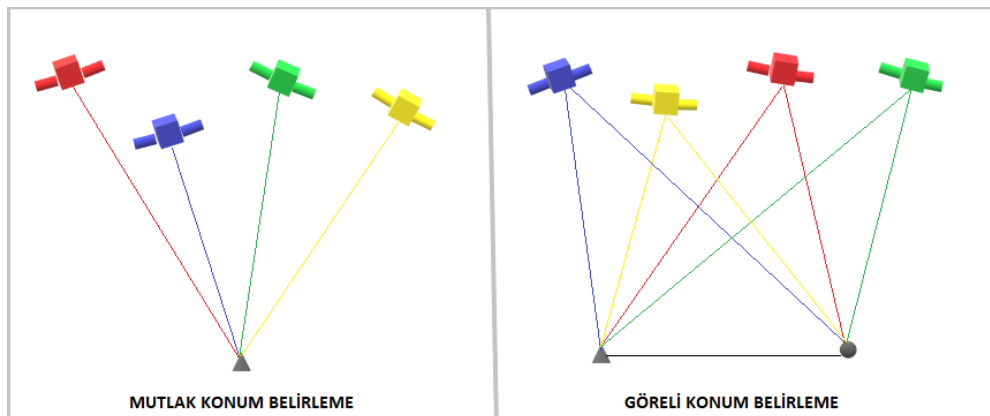
## 2. GNSS İLE KONUM BELİRLEME

Amerika'nın GPS (Global Positioning System)'i ile başlayan uydular ile konum belirleme sistemi diğer ülkelere ait uydularla konum belirleme sistemlerinin hizmet vermeye başlamasıyla GNSS adını almıştır. GNSS teknolojisi ile konum belirleme çalışmaları hızlı, güvenilir ve ekonomik olmasıyla günümüzde en çok tercih edilen konum belirleme yöntemidir. Yeryüzünde yer alan bir alıcının uydular yardımıyla konumunun belirlenmesi aslında uzayda geriden kestirme probleminin çözümüdür. Alıcı, her bir uydudan gelen sinyal yardımıyla alıcı-uydu uzaklığını hesaplayarak konumunu belirlemektedir. Alıcı-uydu uzaklığı (pseudorange) uydudan alıcıya gelen sinyalin geliş hızının ışık hızı ile çarpılmasıyla elde edilen değerdir (Kahveci ve Yıldız, 2018).

Alıcı, konumunu 3 boyutlu elde etmek için gökyüzünde yer alan en az 3 uyduya eş zamanlı gözlem yapmak zorundadır. Ancak GPS alıcısındaki saat, her bir uydudaki en hassas ve pahalı atomik saat kadar kesin değildir. 3 uydu, konum koordinatlarının doğru bir şekilde belirlenmesine izin vermez (Meneghini ve Parente, 2017). Bu nedenle 4ncü uydu, alıcı saati hatasının giderilmesi için gereklidir. Sonuç itibarıyla GNSS ile konum belirlemek isteyen bir alıcı en az 4 uyduya eş zamanlı gözlem yapmak zorundadır.

### 2.1. GNSS İle Konum Belirleme Yöntemleri

Uydularla konum belirleme uygulamalarında farklı yöntemler mevcuttur. Bunlar iki ana başlık altında düşünüldüğünde 'Mutlak Konum Belirleme' ve 'Görelî Konum Belirleme' yöntemleridir (Şekil-2.1).



Şekil 2.1. Mutlak ve Görelî konum belirleme yöntemleri

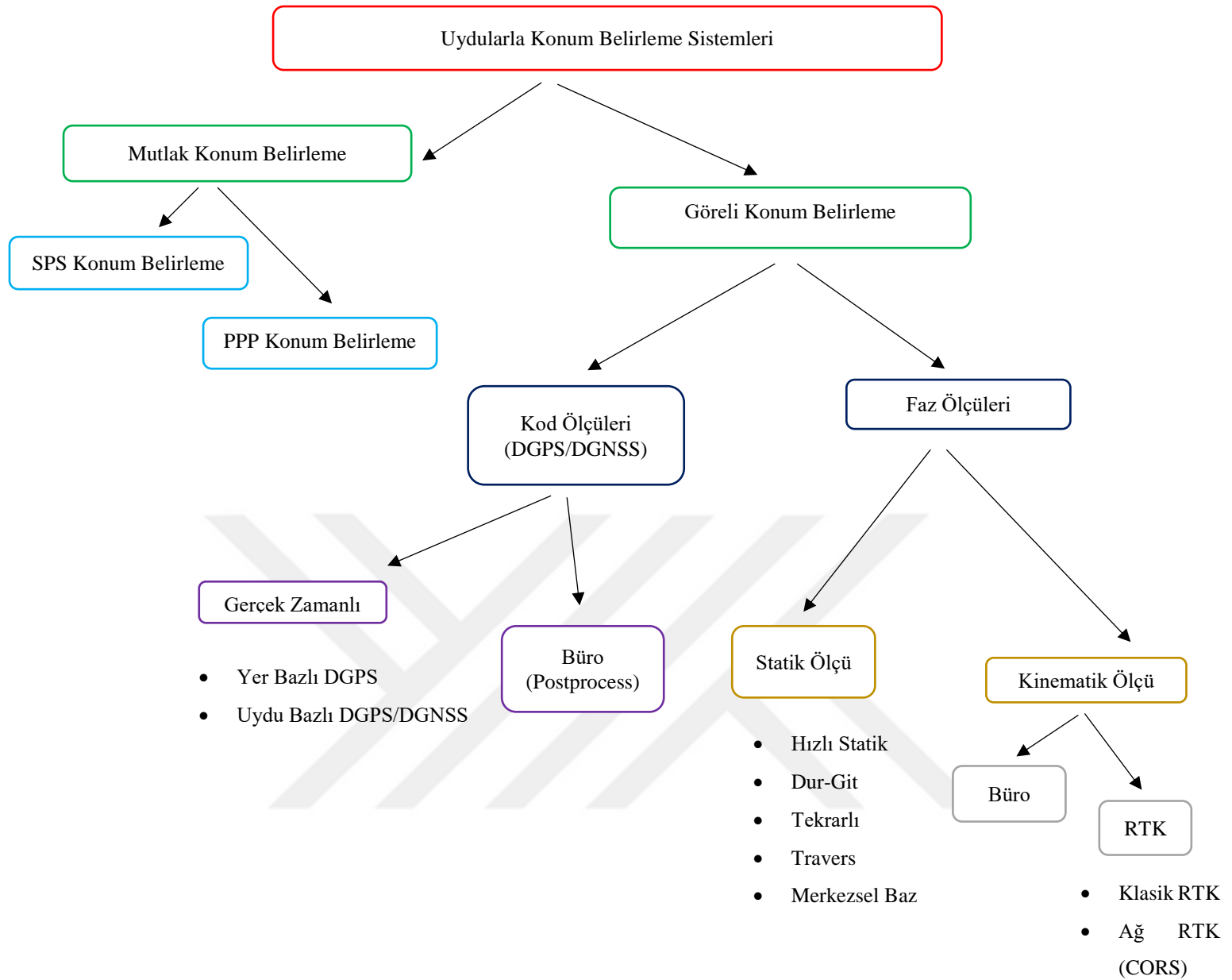
Mutlak konum belirleme sistemlerinde, doğrudan uydulardan gelen kod gözlemleri kullanılarak koordinat belirlendiği yöntemler mevcuttur. Bu yöntemde uyduların bilinen koordinatları ve kod gözlemleri ile hesaplanan alıcı-uydu uzaklığı yardımıyla alıcı konumu hesaplanır. Doğruluğu uydu geometrisi ve kullanılan kod bilgisi ile ilişkili olarak anlık konum belirlenebilir.

Görelî konum belirleme sistemlerinde ise alıcının uydulardan aldığı veriler ve koordinatları bilinen referans istasyonlarından aldığı düzeltmeler ile elde ettiği sonuç koordinatlar vardır. Görelî konum belirlemede iki alıcı eş zamanlı gözlem yapmaktadır. Bundan dolayı mutlak konum belirlemeye göre doğruluğu daha yüksektir.

Görelî konum belirleme sistemlerinde kod ve faz gözlemleri kullanılabilir. Görelî konum belirleme sistemlerinde gezen alıcının kod ölçüleri yardımıyla m hassasiyetinde koordinat elde edilmesi yöntemi DGNS (Diferansiyel GNSS) olarak adlandırılmaktadır. Bu hassasiyet klasik haritacılık uygulamalarında yeterli olsa da daha hassas uygulamalar için yeterli olmamış ve alternatif aranmıştır. Bu kapsamda kod ölçümleri yerine faz ölçümleri kullanılmaya başlanmıştır ancak faz ölçümleri kullanılmasının zayıf tarafı faz belirsizliği sorunun çözülmesi gerekliliği olmuştur.

Sonuç itibarıyla GNSS ile konum belirleme yöntemleri günümüzde en çok tercih edilen yöntemdir. Bunun birincil nedeni hızlı ve en doğru sonuçları kullanıcıya sunuyor olmasıdır. Ancak istenen doğruluğun arttığı uygulamalarda GNSS ile elde edilen ham verilerin doğruluğu görelî konum belirleme sistemlerinde dahi yeterli olmayacaktır.

GNSS ile konum belirleme yöntemleri özet olarak Şekil 2.2' de görülmektedir. Bunlardan Statik Ölçü Yöntemi ve Kinematik Ölçü Yöntemi dışında kalan yöntemler günümüzde tercih edilmemektedir.

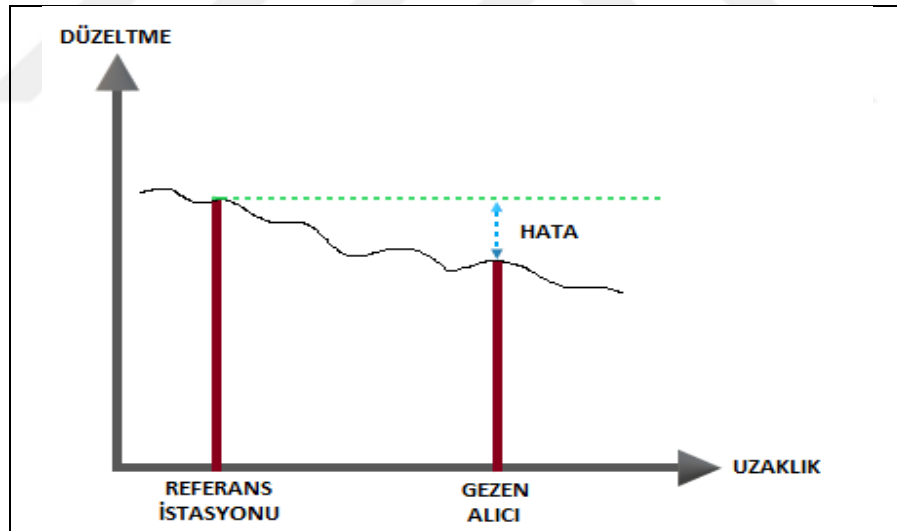


Şekil 2.2. Uydularla konum belirleme sistemleri (Kahveci, 2017)

Faz ölçüleri kullanılarak yapılan ölçüm yöntemlerinden; hassasiyetin cm, mm mertebesine kadar inmesi sebebiyle en tercih edilen ölçü yöntemi eş zamanlı olarak birden fazla alıcının aynı anda ölçüme başladığı statik yöntem olmuştur. Ancak bu yöntemde hassasiyet noktasında istenilen hedefe ulaşılmış olsa da bir diğer sorun zaman olmuştur. Statik uygulamalarında elde edilen veriler ölçü sonrası ofiste (post process) değerlendirilmek zorundadır ve bu zaman alan bir uygulamadır. Çalışmanın hassas olması maliyeti arttıracığı için esas olan yeterli doğruluk ve hassasiyet olacaktır (İnal ve arkd., 2008).

Günümüzde en çok tercih edilen yöntemlerden olan RTK yöntemi ile zaman sorunu büyük oranda çözülmüştür. Görelî konum belirleme yöntemi olan RTK

yönteminde DGNSS' den farklı olarak kod yerine faz kullanılmış ve DGNSS yönteminde tek frekans kullanılıyor iken RTK yönteminde çift (veya çoklu) frekans kullanılmaya başlamıştır. Diğer taraftan RTK, klasik ve Ağ-RTK (CORS) olarak ikiye ayrılabilir. Klasik RTK yönteminde tek bir referans istasyonundan alıcılara gönderilen düzeltme için 15-20 km mesafede olunması gerekliliği, bu mesafenin aşılması durumunda elde edilen sonuç koordinatların doğruluğunu düşürecektir. Bu sorun aktif bir GPS ağı ihtiyacını doğurmuştur. Böylelikle Ağ-RTK yöntemi ortaya çıkmıştır ve alıcının birden fazla referans istasyonu kullanmasına olanak veren TUSAGA-Aktif ağı kurulmuştur. Pasif olup üzerine alet kurularak faydalanılan TUTGA'dan (Türkiye Ulusal GPS Ağı) farklı olarak TUSAGA-Aktif noktalarında 24 saat gözlem yapılabilmekte ve bu veriler arşivlenmektedir. Bu gözlem noktalarının verileri ile hesaplanan düzeltmeleri, kontrol merkezi alıcılara bir iletişim vasıtasıyla ileterek ve alıcıların anlık ve hassas konumlandırma yapabilmelerini sağlamıştır. DGPS ve RTK' da karşılaşılan referans istasyonu uzaklığı sorunu Ağ-RTK (50-100 km) ile aşılmıştır (Kahveci ve arkd., 2011). Uzaklığın hata üzerinde olan etkisi Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Uzaklığa bağlı hata (Kahveci, 2017)

Teknoloji ile Ağ-RTK günümüzde en pratik yöntemdir. Ancak yapılan bilimsel çalışmalarda ve aynı derece hassasiyet isteyen depremlerin önceden tahmini, meteorolojik hava tahmini, jeodezik deformasyon ölçü ve analizi gibi uygulamalarda hala “büro hesaplamaları” yapılan statik yöntem tercih edilmektedir. Arazide elde edilen verilerin işlendiği büro hesaplamaları yönteminin üstünlüğü, verinin istenildiği zaman istenilen hata modeli ile tekrar tekrar işlenebilmesi ve ölçü öncesi ve sonrası dış

parametreler (hassas efemeris vb.) ile de desteklenebilmesidir. RTK uygulamalarında anlık elde edilen koordinatların güvenilirliğini DOP faktörleri gibi genel fikir veren ölçütler dışında görebileceğimiz bir seçenek yoktur. Kullanıcı hatası, sinyal yansıma etkisi, anlık uydu geometrisi gibi doğruluğu bozucu etkilere maruz kalma ihtimali vardır. Sonuç olarak büro hesaplamaları ile elde edilen koordinatlar gerçek zamanlı uygulamalar ile elde edilen koordinatlara göre daha hassastır (Kahveci ve arkd., 2011; Brown, 2006).

## 2.2. GNSS İle Konum Belirlemede Hata Kaynakları

GNSS uygulamaları doğası gereği rastlantısal ve sistematik hatalar ile yüküldür. Bu hataların ortadan kaldırılması veya minimize edilmesi için hatanın davranışının ve büyüklüğünün tespiti önemlidir. Bilindiği gibi bu hatalar gözlemci ile uydu arasındaki doğrultunun bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Diğer bir ifadeyle, söz konusu hatalar gözlem yapılan uydunun azimut ve yükseklik açısının bir fonksiyonudur. Dolayısıyla, konum belirleme açısından önemli olan En Küçük Karelerle dengeleme işlemi yapılırken bu hataların ana amaç olan nokta koordinatlarını nasıl etkilediğinin hesaplanmasıdır (Santerre 1989).

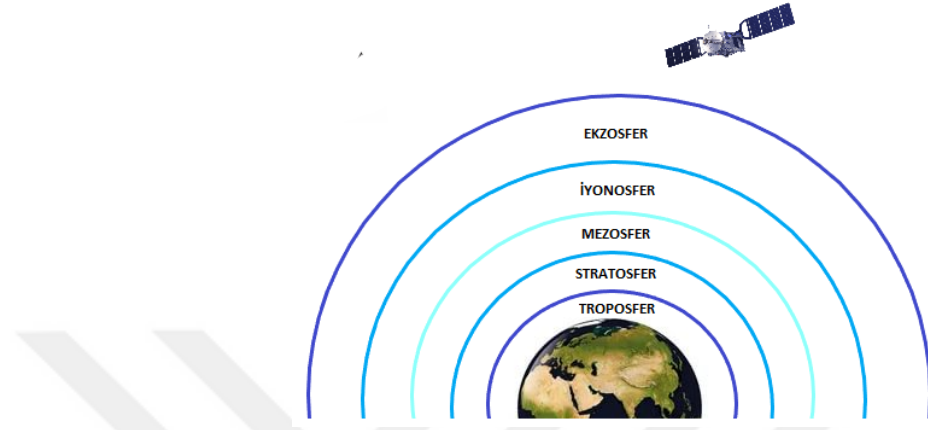
GNSS ölçü ve hesaplarını etkileyen hata kaynaklarını genel olarak alıcıya bağlı hatalar, uydulara bağlı hatalar ve ortam kaynaklı hatalar olarak sınıflandırabiliriz. Bu hatalar aşağıdaki gibidir:

- İyonosferik etki
- Troposferik etki
- Sinyal Yansıma (Multipath) etkisi
- Uydu efemeris hataları
- Uydu ve alıcı saati hataları
- Uydu Geometrisi (DOP)
- Anten faz merkezi hataları
- Taşıyıcı dalga faz belirsizliği ve faz kesiklikleri

### 2.2.1. İyonosferik Ve Troposferik Etki

İyonosfer ve troposfer, atmosferin katmanlarından iki tanesidir. GNSS uyduları Şekil 2.4'de gösterildiği gibi bu katmanların dışında yer alır ve uydudan alıcıya iletilen

sinyal sırasıyla iyonosfer ve troposfer katmanlarından geçerken farklı etkilere maruz kalır. Bu etkiler sinyalin yayılma hızında değişikliğe neden olarak sonuç koordinatlara hata olarak yansır. Hatanın elimine edilmesi için büyüklüğünün ve davranışının modellenmesi esastır. Bunun için iyonosfer ve troposfer katmanlarının yapısı incelenir.



Şekil 2.4. Atmosferin katmanları

İyonosfer katmanı elektromanyetik dalgaların yayılmasına etki edebilecek kadar serbest elektron yoğunluğuna sahip üst atmosfer tabakasıdır. İyonosfer atomlardan kopmuş elektronlar ile yüklüdür. Elektron yoğunluğu başka bir ifadeyle iyonlaşma şiddeti güneş ışımaya bağlı olan ve uydulardan gelen elektromanyetik dalgaların yayılmasını etkileyen bir parametredir. İyonosferi etkileyen diğer iki parametre ise mevsim ve günün saatidir. Bu parametreler iyonosferin katmanlarının kırılma endekslerini değiştirmekte ve uydudan alıcıya ulaşan sinyalin hızında değişikliklere yol açmaktadır (Noureldin ve arkd., 2018).

GNSS gözlemlerinden kod ve faz için iyonosferik etki aynı değildir. İyonosferik etki, kod ölçüleri iyonosferik grup gecikme etkisi (group delay), faz için ise faz hızlanmasına (faz advance) neden olur. Anlaşılacağı üzere GNSS ile konum belirleme çalışmalarında hesaplamalarda kullanılan değer olan uydu-alıcı uzaklığı iyonosferik etki ile kısalmakta veya uzamaktadır. İyonosferik etkiyi değiştiren diğer bir parametre ise gözlenen uydunun yükseklik açısıdır. Uydu yükseklik açısı arttıkça iyonosferik etki azalacaktır ancak bu çözüm uydu yükseklik açısı ile ilişkili olan troposferik etki için olumsuz sonuç verecektir.

İyonosferik etkiyi azaltmak için farklı seçenekler mevcuttur (Angrisano ve arkd., 2013).



- Çift frekanslı alıcı tekniğinin kullanımı,
- ‘‘Augmentation’’ sisteminin kullanılması (DGPS, SBAS, GBAS, GRAS gibi),
- İyonosferik model kullanımı (tek frekanslı alıcı için Klobuchar modeli gibi)

Çift frekanslı alıcı kullanmak iyonosferik hatanın önemli ölçüde giderilmesini sağlarken iyonosferik model kullanımında en sık tercih edilen GPS Klobuchar ve Galileo NeQuick modellerde bu oran yaklaşık %50 olmaktadır (Noureldin ve ark., 2018).

İyonesfer’den geçen GNSS sinyallerinde bozucu etkiye neden olan diğer bir atmosfer tabakası ise troposferdir. Şekil 2.3’de görüldüğü üzere atmosferin yeryüzü ile teması olan en alt tabakasıdır. Deniz yüzeyinden yaklaşık 20 km uzaklıkta olan bu tabaka kuru hava ve su buharından oluşmaktadır. Elektron yüklü olmayan bu tabakada iyonosferde olduğu gibi GNSS sinyallerinin etkilenmesi frekansa bağlı değildir. Bu nedenle L1 ve L2 frekanslarının birlikte kullanımı bir anlam ifade etmeyecektir. Troposferik etkinin faz ve kod gözlemlerine etki ettiği büyüklük de iyonosferden farklı olarak eşittir.

Troposfer katmanında uydu sinyali yükseklik açısı önemli bir parametredir. Yükseklik açısı zenitten, gözlemci ufku doğrultusunda azaldıkça GNSS sinyalinin atmosferde izleyeceği yol artacak ve troposferik gecikme etkisini arttıracaktır. Günümüzde troposferik etkinin GNSS gözlemlerinden ayıklanmasının en çok tercih edilen yolu troposferik modellerin kullanımınıdır. Bu modeller deniz yüzeyinde referans sıcaklık, basınç ve nem faktörlerini baz alır. GNSS alıcısının bulunduğu yüksekliğe göre parametre değerleri yeniden hesaplanılarak troposferik model kullanılmaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2018).

### 2.2.2. Sinyal Yansıma (Multipath) Etkisi

GNSS alıcıları ve alıcılarda kullanılan antenler tüm yönden gelen sinyalleri eş zamanlı olarak alabilmektedirler. Çoklu yol anlamına gelen multipath hatasında uydulardan gelen sinyaller bir yansıtıcı yüzey ile yansıtılarak esas sinyale karışır ve sinyal yansıma hatasını meydana getirir. Göreli konum belirlemede kısa bazlar için iki alıcı içinde aynı hata söz konusu olduğu için, bu konum belirleme yönteminde sinyal yansıma hatası giderilmiştir (Kahveci ve Yıldız, 2018).

Sinyal yansıma hatası, alının çevresel koşullarına ve ilgili uydu alıcı hareketine bağlıdır. Sinyal, birincil olarak alıcı etrafında yer alan yansıtıcı yüzeylerden etkilenir. Sinyalleri etkileyen ikincil kaynak ise uyduların yansıtıcı yüzeyleridir. Sinyal yansıma

hatası, diğer hata kaynakları kaldırılmış olsa bile konumlandırma doğruluğunu sınırlayabilir. En ağır koşullarda, sinyal yansıma hatası, 100 m'ye kadar sahte bir hataya neden olabilir (Noureldin ve arkd., 2018; Borre ve arkd., 2007).

Zamana ve yere bağlı geometrik durumunun değişkenliğinden dolayı sinyal yansıma hatası için genel bir modelleme yoktur. Uzun zamanlı statik oturumlarda anlık sinyal yansıma hataları sonuç değerleri büyük ölçüde etkilemeyecektir (Lichtenegger ve arkd., 2008). Bu duruma ek olarak birkaç gün boyunca devam eden oturumlarda uydu-yansıtıcı yüzey-anten geometrisinin tekrarıyla ana multipath etkisi hesaplanarak ölçülere düzeltme getirilebilir (Kahveci ve Yıldız, 2018).

Sinyal yansıma hatasını azaltılmasının bir yolu alıcı veya anten tasarımıdır. Sinyal polarizasyonundan faydalanan bir anten seçilmesi bunlardan biridir. Ayrıca birden fazla antenin yer aldığı teknikleri kullanan alıcılar, yalnızca esas sinyali izleyerek ve sinyalin diğer tüm kopyalarını bloke etmesi için kendisini ayarlayabilir (Noureldin ve arkd., 2018; Daneshmand ve arkd., 2013). Sinyal yansıma hatası için bir başka önlem ise düşük yükseklik açılarında ölçüm yapmamak olacaktır.

Bütün bu önlemler dışında sinyal yansıma hatasının en etkili önlemi ise sorunun olabileceği yerlerden kaçınmak veya yansımaya sebebiyet veren yansıtıcı yüzeylerin (mümkünse) uzaklaştırılmasıdır.

### 2.2.3. Uydu Efemeris Hataları

Efemeris; zamanın bir fonksiyonu olarak uyduların koordinatlarının hesaplanmasını sağlayan, Kepler elemanlarını içeren uydu yörüngesi parametreleridir. Alıcıya navigasyon mesajı dosyasında iletilen bu bilgi yayın (broadcast) efemerisi ve hassas (precise) efemeris olarak ikiye ayrılır. Yayın efemerisi uydudan alıcıya anlık iletilerek gerçek zamanlı uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Hassas efemeris ise uluslararası servisler ve kurumlarca oldukça hassas olarak hesaplanarak hizmete sunulur ve yüksek doğruluk isteyen uygulamalar için ölçü sonrası değerlendirmede (post-process) kullanılır. Uydu efemeris hatası birkaç kilometreyi bulan kısa bazlar için oldukça küçük olsa da baz uzunluğunun 100 km ve daha fazla olduğu şartlarda önemli bir bozucu etki yaratacaktır (Kahveci ve Yıldız, 2018).

#### 2.2.4. Uydu ve Alıcı Saati Hataları

GNSS ile konum belirlemenin temelini zaman farkı ölçümü olduğu düşünüldüğünde, bu etkinin önemi daha iyi anlaşılmaktadır.

Uydu saati hatasının birincil kaynağı, uydu ve alıcı saatinin GPS zamanına göre hassas senkronizasyonun sağlanamamasıdır. GNSS uyduları çok kesin ve dolayısıyla çok pahalı saatlerle donatılmıştır. Buna rağmen GNSS zamanına göre küçük kaymalar yaşanmaktadır. Ancak alıcı saatleri uygunluk ve boyut olarak daha küçük ve daha ucuzdur. Dolayısıyla yaşanan kayma miktarı uydulara göre kıyasla daha fazla olmaktadır (Noureldin ve arkd., 2018). Bu hata Kontrol Bölümü tarafından izlenmekte ve yayın efemerisi saat düzeltmeleri alıcıya Navigasyon Mesajı dahilinde iletilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2018).

#### 2.2.5. Uydu Geometrisi

Uydu geometrisinin GNSS ile elde edilen doğruluklar üzerindeki etkisi duyarlık kaybı (DOP) faktörleri ile ifade edilmektedir. Dolayısıyla DOP, gözlem noktasındaki alıcı ile gözlem yapılan uyduların birbirlerine göre olan göreceli konumlarına bağlı olarak tanımlanmaktadır. Bu hata kaynağı tez çalışmasının esasını oluşturmakta olup, 3 numaralı başlık altında ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

#### 2.2.6. Anten Faz Merkezi Hatası

Anten faz merkezi hatası, anten tipine göre değişmekte olup hatanın büyüklüğü birkaç mm ile 1-2 cm arasında değişmektedir. Bundan dolayı yüksek doğruluk isteyen uygulamalarda göz önüne alınması gereken bir hata türüdür.

GNSS uydularından gelen her sinyalin kendi elektrik anten fazı merkezi vardır. Bu merkez ile alıcının geometrik faz merkezi başka bir ifadeyle ortalama elektrik anten fazı merkezi aynı nokta olmayabilir (Lichtenegger ve arkd., 2008). Oluşan bu sapma alıcı anteni faz merkezi hatasını meydana getirir. Teoride faz merkezinde yaşanmaması gereken bu fark, pratikte antenlerin uydu sinyallerinin geliş doğrultusuna (azimut ve yükseklik) bağımlı olmasından kaynaklanır ve her bir frekans (L1, L2 gibi) için değişkenlik gösterir.

Bu hatanın her anten için göreceli olması nedeniyle modellenmesi zordur. Anten faz merkezi yatay ve düşey bileşen için farklılık göstermektedir. Sapmalar yatay olarak 1-2 cm, dikey olarak ise 10 cm'ye kadar çıkabilir (Lichtenegger ve arkd., 2008; Mader 1999). Anten faz merkezi yatay eksen için genellikle antenin fiziksel referans merkezi ile aynı olmaktadır. Düşey eksen için aynı durum söz konusu olmadığından arazide yapılacak olan anten yüksekliği ölçümü titizlikle yapılmalıdır.

Ofiste ölçü sonrası hesaplamalarda (post process) kullanılmak üzere IGS (International GNSS Service) tarafından hazırlanan ve ücretsiz olarak kullanıcıya sunulan, her anten tipi için anten faz merkezi değişim miktarları mevcuttur.

### 2.2.7. Taşıyıcı Dalga Faz Belirsizliği Ve Faz Kesiklikleri

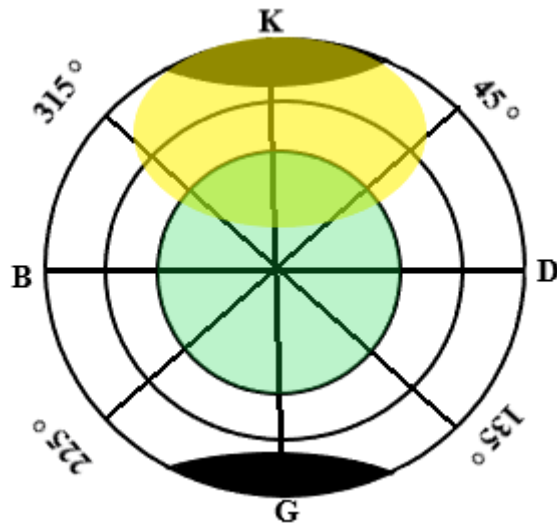
GNSS uygulamaları bilindiği üzere alıcı uydu uzaklığını hesaplamak için faz veya kod ölçüleri kullanmaktadır. Faz ölçümlerinde uydudan alıcıya ulaşan sinyalin dalga boyları sayılmakta ve ilgili frekansta kabul edilen dalga boyu ile çarpılarak uydu alıcı mesafesi hesaplanmaktadır. Kod ölçülerine göre daha hassas sonuçlar elde edilen bu teknik, oldukça basit olsa da karşılaşılan bazı problemler vardır.

Alıcı açıldığında devreye giren bir sayaç, uydu alıcı fazı 0 ile  $2\pi$  arasında değiştikçe +1 veya -1 olarak artar veya azalır. Böylelikle fazdaki tam sayı dalga boyu belirlense de alıcı ilk açıldığındaki uydu alıcı arasındaki taşıyıcı dalga fazı ile ilgili bilgiye ulaşamaz. Bu problem taşıyıcı dalga faz başlangıç belirsizliği (Initial Phase Ambiguity) yada kısaca faz belirsizliği (Ambiguity) olarak adlandırılmaktadır. N ile sembolize edilen bu hatanın sabit bir değer olması için alıcı hiçbir ölçü kesikliği olmadan her uyduya gözlem yapmalıdır.

Ölçü kesikliği sebebiyle meydana gelen sinyal kesikliği (faz kesiklikleri yada faz kayıklıkları / cycle slip or loss of lock) faz gözlemlerinde karşılaşılan problemlerden bir diğeridir. Faz kesikliği olduğu epok ve sonrasını etkilemektedir. Bunun istisnası olarak üçlü farklarda yaşanan faz kesikliği sadece ilgili epogu etkilemektedir. Oluşan bu hatanın giderilmesi için faz kesikliği yaşanan epok ve sonrasındaki epoklara gerekli düzeltmelerin yapılmasıdır. Faz kesikliğinin nedenleri ise; uydu sinyalini engelleyebilecek olan alıcı çevresinde yer alan doğal ve yapay nesnelere, kötü iyonosferik ortam, sinyal yansıma hatası, alıcı yazılımında meydana gelen hatalardır.

### 3. GÖZLEM NOKTASINDA GNSS UYDULARININ İZLENEBİLİRLİĞİ

Teknolojisi yeterli gelişmiş ülkelerin kendi navigasyon sistemlerini kurmaları konusundaki çalışmaları devam etmektedir (örneğin, AB, Çin, Hindistan, Japonya vb.). Bu bağlamda, söz konusu ülkeler tarafından 2020 yılına kadar yörüngelerine yerleştirilecek yeni GNSS uyduları ile gökyüzünde yer alan uydu sayısının 100'ü geçmesi beklenmektedir. Diğer taraftan, temel jeodezi ve ölçme teorisi gereği, konu belirleme uydularının gökyüzündeki dağılımının konum belirleme sonuçlarına etkileri olacağı açıktır. GNSS uydularının gökyüzü dağılımı (uydu geometrisi) söz konusu uyduların Ekvatorla yaptıkları yörünge eğimi ve gözlemcinin enlemine bağlı olarak şekillenmektedir (Mutlu, 2018; Santerre, 1991). 1990'lı yılların başında GPS konum belirleme amaçlı kullanılan tek uydu sistemiydi ve uydu dağılımı özellikle kuzey bölgelerinde sorun oluşturmaktaydı. GPS uydu dağılımı ile ilgili olarak o yıllara ait bir örnek verilecek olursa; Bilindiği gibi, uydu kapsama alanı enlemin bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır. Dolayısıyla uydu gökyüzü görünürlüğü, gözlemcinin bulunduğu enlemin bir fonksiyonudur. Buna göre, GPS uyduları için, düşük enlemlerde gökyüzündeki uydu dağılımı neredeyse homojen, orta enlemlerde ve yaklaşık olarak  $315^\circ$  ve  $45^\circ$  arasındaki azimutlarda pratik olarak kuzey yönünde hiçbir gözlem mümkün olmayacak, yüksek enlemlerde ise, sadece  $0^\circ$  ve  $45^\circ$  'lik yükseklik açıları arasındaki gözlemler yapılabilir, Şekil 3.1, (Santerre, 1991).



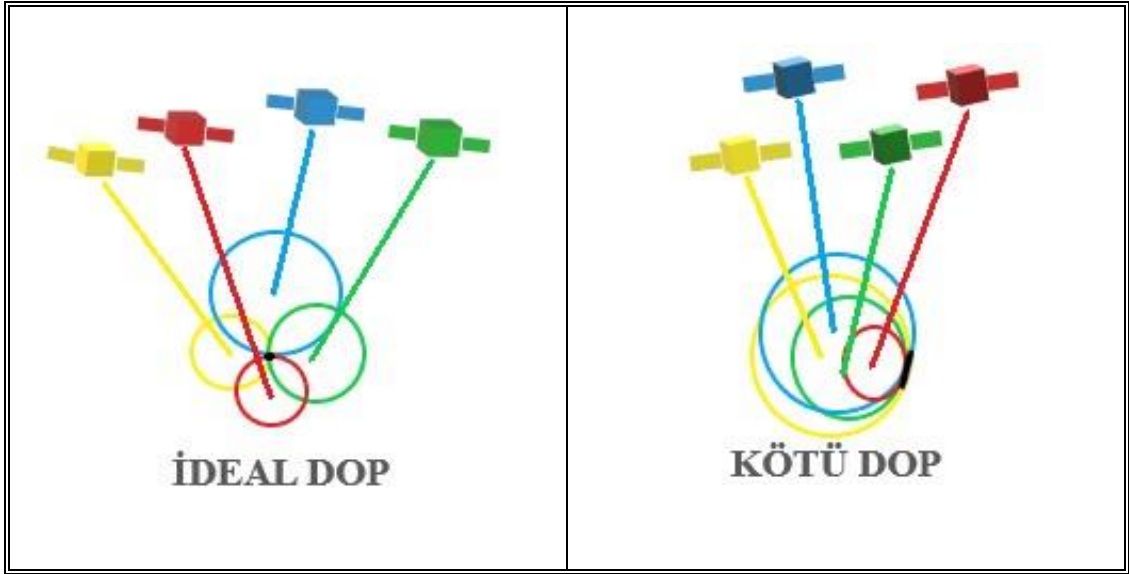
Şekil 3.1.  $55^\circ$  yörünge eğimi ve  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  enlemlerinde gölge alanlar

Şekil 3.1’de GPS uyduları için  $55^\circ$  yörünge eğiminde kuzey yarım küre için  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  ve  $90^\circ$  enlemlerinde yaşanan gölge alanlar gösterilmiştir. Gölge alan bulunulan enlemde gözlemcinin GPS uydularını göremediği alan anlamına gelmektedir.  $0^\circ$  derece için gölge alan siyah ile  $45^\circ$  için gölge alan sarı ile ve  $90^\circ$  için gölge alan yeşil renk ile temsil edilmiştir. Bir enlem için geçerli gölge alanı aynı boylam üzerinde geçerlidir ve güney enlemlerinde de gölge alanları bu görselle paralel olacaktır. Gölge alanlarının genel eğilimi; enlem  $0^\circ$ ’dan  $90^\circ$ ’a çıktıkça ufuktan zenit’e doğru olacaktır. Şekil 3.1’den görüleceği üzere en uygun dağılımın ekvator bölgesinde olduğu söylenebilir. Alıcı gözlemlerindeki sapmalar gözlenen uydunun yönünün (azimut ve zenit) bir fonksiyonudur. Önemli olan ise bunların en küçük kareler yöntemine göre istasyon koordinatlarına nasıl yayıldığıdır (Santerre, 1991).

### 3.1. Duyarlık Kaybı (DOP:Dilution of Precision)

Uyduların birbirlerine ve alıcıya göre olan konumları ve alıcının gördüğü uydu sayısı genel bir ifadeyle uydu geometrisi olarak adlandırılmaktadır ve DOP değeri ile ifade edilmektedir. Uydu geometrisi, ölçme öncesi ölçme planı hazırlanırken dikkat edilmesi gereken ve gerçek zamanlı hesaplamalar sonucu elde edilecek doğrulukta katkısı yüksek olan faktörlerden biridir.

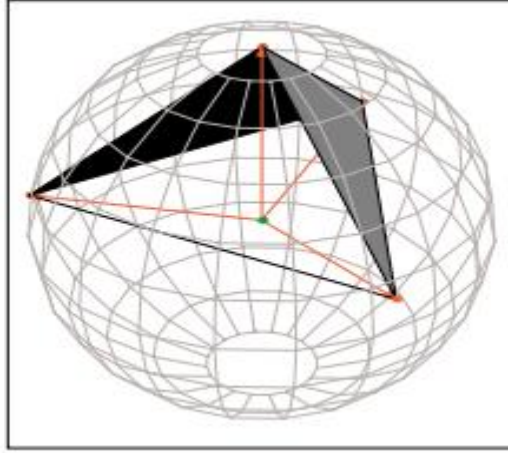
DOP uyduların birbirlerine ve alıcıya göre konumlarına bağlı olarak tanımlanan ve konum bilgisinin düzeltme getirilmemiş uydu-alıcı uzaklığı (Pseudorange) hataları ile ilişkisini kuran, doğruluk sınırlayıcı birimsiz bir büyüklüktür (Uludağ, 2012; Baysal 2008). Başka bir ifadeyle DOP, GNSS alıcıları ile toplanan verilerin doğruluğu üzerine bir uydu konfigürasyonunun gücünü tanımlamak için kullanılan bir terimdir (Babayo ve arkd.,2017; Rita, 2003). DOP sayısal değerinin küçük olması uyduların gökyüzüne uygun dağıldığını gösterir (Şekil 3.2). Bu değer büyüdükçe görülen uyduların uygun dağılımda olmaması durumu yani uyduların birbirine yakınlığı söz konusudur.



Şekil 3.2. Uydu geometrisi

Yüksek DOP değeri, zayıf uydu geometrisini ve daha düşük bir uydu konfigürasyonunu gösterir (Opaluwa ve arkd., 2015; Corvallis, 2000). Yüksek DOP ölçüm için uygun bir zaman olmadığını ifade etmektedir. Ölçüm için uygun DOP sınır değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Konum hatası beklendiği gibi PDOP artınca artar ancak bu hatanın artışı PDOP ile orantılı değildir. Değişimin doğası rastgeledir (Bose, 1997).

DOP için diğer bir tanım ise; görülen uydular ile alıcı arasında çizdiğimiz doğruların oluşturduğu çokgenin alanı ne kadar büyük ise DOP değeri o kadar düşüktür ve konum doğruluğuna etkisi en az seviyededir. DOP kavramının bu yapı ile ifade edilmesi Geometrik DOP olarak adlandırılmaktadır. En uygun uydu geometrisi için ise uydunun birinin alıcının zenit doğrultusunda olduğu ve diğer üçünün bir eşkenar üçgen oluşturduğu dört yüzlü üçgen (tetrahedron) yapısı kabul edilmektedir (Şekil 3.3). Bu geometrik şeklin hacmi ne kadar büyükse uydu geometrisinde ölçüm için en uygun zamandır. Mümkün olan en büyük tetrahedron, bir uydunun zenit doğrultusunda olduğu ve üç uydunun yeryüzünün ufkunun altında, -19.47 derecelik bir yükseklik açısında olduğu ve azimutta eşit aralıklarla bulunduğu geometridir (Şekil 3.4). Bu durumda GDOP 1.581 olmaktadır ancak bu dünyanın yüzeyindeki veya yakınındaki bir GPS alıcısı, ufuk altındaki üç uyduyu görmesi pratik olarak mümkün olmadığından gerçekçi değildir Bu durumda, mümkün olan en düşük GDOP (1.732), alıcının başucu doğrultusunda bir uydu ve ufukta eşit miktarda yayılmış 3 uydu olarak kabul edilir (Langley R.B., 1999).



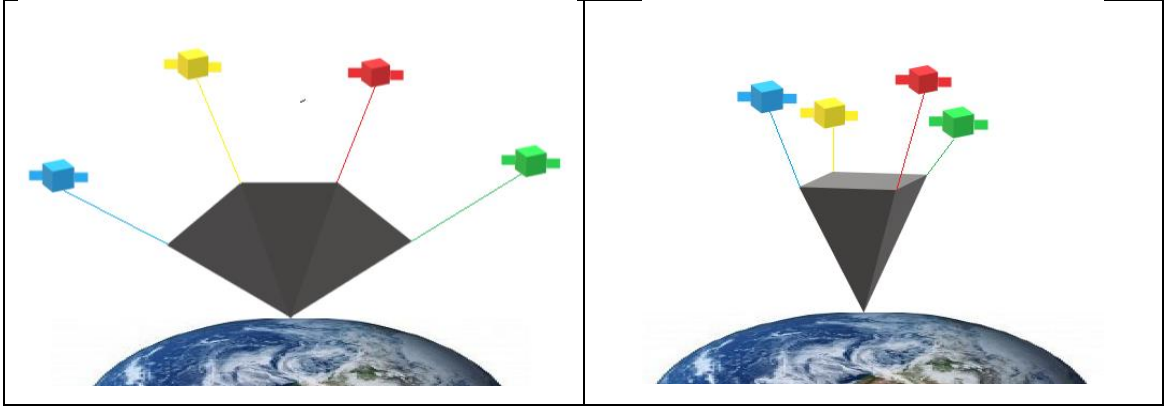
Şekil 3.3. Tetrahedron (Langley R.B., 1999)

DOP faktörleri matematiksel ve geometrik olmak üzere farklı şekillerde ele alınabilir. Matematiksel DOP kovaryans matrisinin kareköküdür, geometrik DOP ise dört yüzlü üçgen şeklinin hacminin karşılığıdır. Daha yaygın olmasının nedeni; hesaplanmasının kolay olması, matematiksel DOP gibi değişmemesi ve dört uydu gözlemine dayanıyor olmasıdır.

Geometrik DOP tanımının bazı sakıncaları söz konusu olup buna göre;

- Dört yüzlü üçgen (tetrahedron) yapısı ile ifade edilen Geometrik DOP için dörtten daha fazla uydu kullanılamaz.
- Bileşenleri (HDOP ve VDOP) geometrik olarak yorumlanamaz.
- Zenit simetrik uydu takımı için dört yüzlü üçgen şeklinin en yüksek olduğu zaman matematiksel DOP değeri en düşük değer değildir.
- Dört uydu aynı düzlemde olduğunda, dört yüzlü üçgen şeklinin hacmi sıfır (ve 'geometrik' PDOP en yüksek değere ulaşır) olur. Matematiksel DOP, yalnızca gözlem noktası da bu düzlemde olduğunda en yüksek değere sahip olur (Krauter, 1998).





Şekil 3.4. Geometrik DOP (Dört yüzlü üçgen)

Gerçek zamanlı konum belirleme uygulamalarında bazı GPS alıcı markaları, almanak bilgisine bağlı olarak mevcut uyduların konumlarını analiz etmekte ve DOP değerinin olabildiğince küçük olmasını sağlamak için bu uyduları en iyi geometriye göre seçmektedirler. Ancak (Rani ve ark. 2009)'da yapılmış olan çalışmada görünümdeki tüm uydularla hesaplanan GDOP değerinin, en iyi dört uydunun kullanılarak hesaplanandan daha iyi olduğuna sonucuna varmışlardır. Başka bazı GPS alıcı markaları, kullanıcı tanımlı sınırları aşan DOP değerleri ile elde edilen GPS okumalarını yok saymakta ve kullanmamaktadır. Bazı GPS alıcı markaları ise, tüm uyduları gözlem yapabilme yeteneğine sahip olduğu için DOP ifadesini optimum değere indirecek uydu geometrilerini seçerek konumlarını belirlemektedir (Mutlu, 2018; Opaluwa ve arkd. 2015).

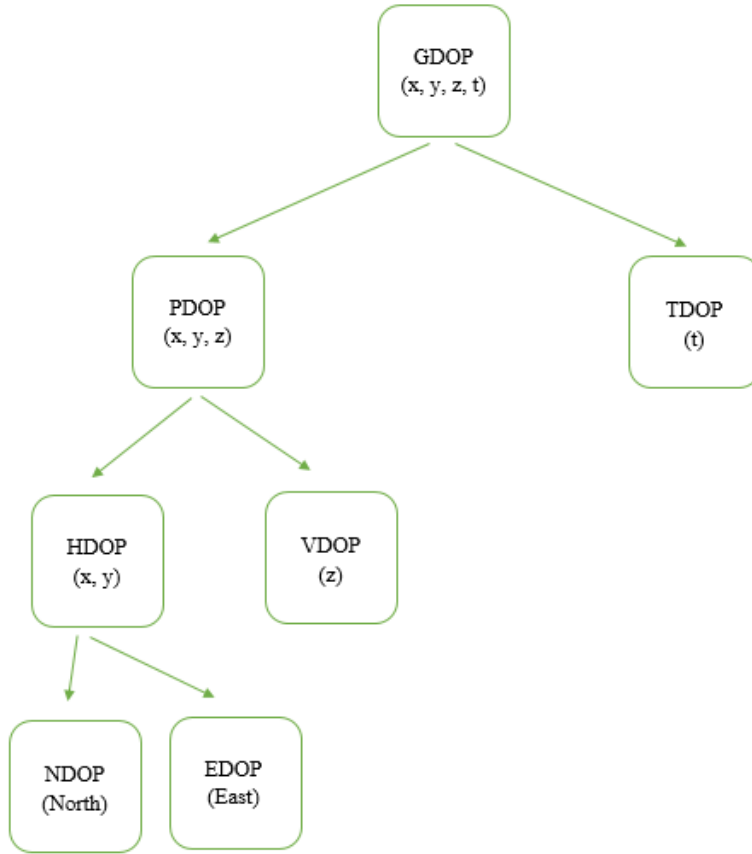
### 3.2. DOP Faktörleri

Ölçüm esnasında 3 boyutlu konum doğruluğunun hesaplanabilmesi için tek başına UERE (User Equivalent Range Error) yeterli değildir. Bunun için DOP değerinin bilinmesi gerekir. DOP değerleri, alıcının uydulardaki geometrik düzeninin kalite değerlendirmeleri olarak kullanılır (Heslton, 1998). DOP değeri DOP faktörleri adını verdiğimiz bileşenlere ayrılır. Dengeleme sonrasında ki kofaktör veya varyans-kovaryans matrisinin köşegen elemanlarının fonksiyonu olarak ortaya çıkan faktörler yatay ve düşey koordinatlara ve zamana etkileri bakımından ayrı ayrı ve toplam etki olarak değerlendirilmiştir (Şekil 3.5). Bu faktörler şunlardır:

- GDOP (Geometric Dilution Of Precision)
- PDOP (Position Dilution Of Precision)

- HDOP (Horizontal Dilution Of Precision)
- VDOP (Vertical Dilution Of Precision)
- TDOP (Time Dilution Of Precision)

Uydu geometrisinin hesaplanan nokta koordinatlarına ve saat bilinmeyenine toplam etkisini GDOP, yatay ve düşey koordinatlara etkisini PDOP, enlem ve boylama (yatay koordinatlara) etkisini HDOP, nokta yüksekliğine etkisini VDOP, zaman bilgisine etkisini TDOP temsil eder (Kahveci ve Yıldız, 2018). Bunların dışında, HDOP iki farklı bileşenle de ifade edilebilmektedir. Buna göre; NDOP (North Dilution Of Precision), bir pseudorange ölçümünün Y yönündeki yatay (enlem) konumunu nasıl etkilediğini açıklar EDOP (East Dilution Of Precision), bir pseudorange ölçümünün X yönündeki yatay (boylam) konumunu nasıl etkilediğini açıklar (Babayo ve arkd., 2017).



Şekil 3.5. DOP faktörleri

Uydu geometrisinin yatay konum ve yükseklik belirlemedeki etkisi farklı olabilmektedir. Bu nedenle, yatay konum belirlemenin hassasiyetini temsil eden PDOP değeri yatay (HDOP) ve düşey (VDOP) bileşenler olarak ayrı ayrı ifade edilebilmektedir.

Konum belirlemede hassasiyet, konum belirlemenin doğası gereği TDOP tarafından temsil edilen zamanın doğruluğuna bağlıdır. Dolayısıyla, PDOP ve TDOP faktörleri birlikte GPS ile konum belirlemenin tam hassasiyeti olan geometrik duyarlık kaybını göstermektedir (Krauter, 1998). Bu faktörlerin gerçek zamanlı uygulamalardan olan navigasyon bağlamında konum doğruluğuna etkisi baz alındığında GDOP ve PDOP değerleri aranılan değerler olacaktır. GDOP konum belirleme çalışmasındaki hataların nihai koordinatları nasıl etkileyeceği hakkında fikir vermektedir. PDOP ise 3 boyutlu konum belirleme doğruluğunun bir ölçütüdür (Babayo ve arkd.,2017). Diğer faktörlerden HDOP, denizcilikte; VDOP daha çok havacılıkta ve TDOP zaman transfer uygulamalarında tercih edilmektedir. Bu hesaplanan değerlerin uygulamalarda kabul gören sınır değerleri NATO (North Atlantic Treaty Organization) standartlarına göre belirlenmiştir (Çizelge 3.1). Bunlar:

**Çizelge 3.1.** NATO standartlarına göre DOP faktörleri sınır değerleri (Kahveci ve Yıldız, 2018)

|      |  |                                      |
|------|--|--------------------------------------|
| PDOP | Kullanılabilir<br>Sınırdadır<br>Kullanılamaz | PDOP < 6<br>PDOP = 6-10<br>PDOP > 10 |
| HDOP | Kullanılabilir                               | HDOP ≤ 4                             |
| VDOP | Kullanılabilir                               | VDOP ≤ 4.5                           |
| TDOP | Kullanılabilir                               | TDOP ≤ 2                             |

DOP faktörleri yalnızca alıcı ve uydu koordinatlarına bağlı olduklarından, uydu almanak veya navigasyon mesajı verileri kullanılarak belirtilen herhangi bir konumdaki herhangi bir uydu için önceden hesaplanabilirler (Langley R.B., 1999).

### 3.3. Uydu Görünürlük (Skyplot) Eşitlikleri

GNSS gözlemleri ile elde edilen temel büyüklük, uydudan alıcıya gönderilen sinyalin hızına bağlı olarak hesaplanan zaman farkıdır. Bu farkın ışık hızı ile çarpılmasıyla uydu alıcı arasındaki uzaklık bulunur. Bu uzaklığa düzeltme getirilmemiş uydu-alıcı uzaklığı (pseudorange) adı verilmektedir. Diğer taraftan, UERE, tek bir alıcı için geçerli olan uydu alıcı arasındaki mesafede (pseudorange) mevcut olan hataların toplamı olarak ifade edilmektedir. Başka bir ifadeyle, "UERE", uydu ve alıcı saat hataları, atmosferik etkiler, uydu yörüngeleri ve sinyal yansıma (multipath) hatalarına yol açan çevresel koşullar ile ilişkili tüm hata kaynaklarını içermektedir (Babayo, 2017).

UERE uydu-alıcı uzaklığında bulunan bu hataların kareleri toplamının karekökü alınarak bulunur ve sinyal kalitesine bağlı olarak değişkendir.

UERE bilgisi ve DOP faktörü konum doğruluğunu anlayabilmemiz için gereken iki değerdir (Kahveci ve Yıldız, 2018). Dolayısıyla, DOP ve UERE ilişkisi aşağıdaki şekilde (3.1) verilebilir:

$$\sqrt{q_x^2 + q_y^2 + q_z^2} = PDOP \cdot UERE \quad (3.1)$$

Kısaca DOP faktörleri (3.3) eşitliğindeki dengeleme sonrası varyans-kovaryans matrisinin köşegen elemanlarından elde edilir.

$$DOP: \sigma / \sigma_0 \quad (3.2)$$

Burada (3.2),

$\sigma$ : doğruluğu aranan büyüklüğün (koordinatın düşey ve yatay değerlerinin) standart sapması,

$\sigma_0$ : pseudo uzaklık ölçümlerinin standart sapmasıdır.

$$Q = (A^T * A)^{-1} = \begin{vmatrix} Q_{xx} & Q_{xy} & Q_{xz} & Q_{xt} \\ Q_{yx} & Q_{yy} & Q_{yz} & Q_{yt} \\ Q_{zx} & Q_{zy} & Q_{zz} & Q_{zt} \\ Q_{xx} & Q_{xy} & Q_{xz} & Q_{tt} \end{vmatrix} \quad (3.3)$$

$$GDOP = (Q_{xx} + Q_{yy} + Q_{zz} + Q_{tt})^{1/2} \quad (3.4)$$

$$PDOP = (Q_{xx} + Q_{yy} + Q_{zz})^{1/2} \quad (3.5)$$

$$HDOP = (Q_{xx} + Q_{yy})^{1/2} \quad (3.6)$$

$$VDOP = (Q_{zz})^{1/2} \quad (3.7)$$

$$TDOP = (Q_{tt})^{1/2} \quad (3.8)$$

(3.4), (3.5), (3.6), (3.7) ve (3.8) eşitliklerindeki DOP faktörleri arasında bir takım ilişkiler kurulabilir.

$$PDOP^2 = HDOP^2 + VDOP^2$$

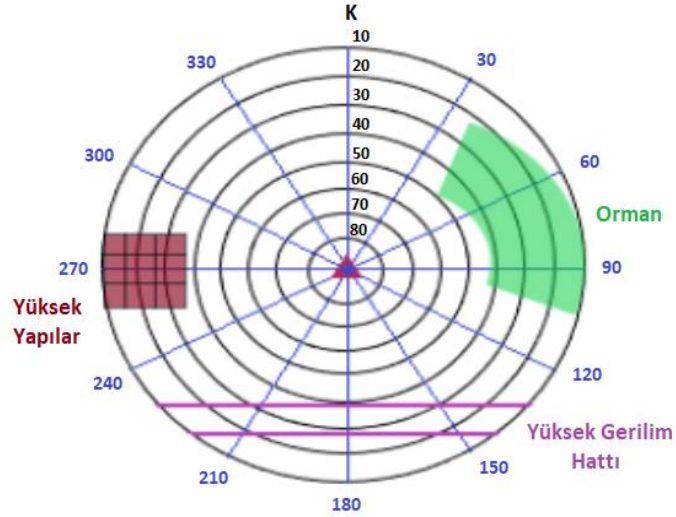
$$GDOP^2 = PDOP^2 + TDOP^2$$

### 3.4. Uydu Engel Grafikleri ve Konum Belirlemedeki Önemi

GNSS navigasyon sistemleri ile konum belirleme çalışmaları günümüzde en çok tercih edilen konum belirleme yöntemidir. Kullanıcıya hızlı ve güvenilir konum hizmeti veren bu sistemlerin etkilendiği birçok faktör vardır. Deprem çalışmaları, bilimsel uygulamalar gibi yüksek doğruluk isteyen çalışmalarda, bu faktörler göz önünde bulundurularak arazi öncesi planlama yapılmalıdır.

Arazi öncesi planlama çalışmaları ağ tasarımı, gözlem planlarının hazırlanması, organizasyon, nokta keşfi ve inşaatı gibi uygulamaları kapsamaktadır. Bu uygulamalardan nokta keşfi çalışmasında dikkat edilmesi gereken birkaç konu vardır. Nokta çevresinde uydu geometrisi, sinyal yansıma (multipath) etkisi gibi doğruluk bozucu etkenlere sebebiyet verebilecek unsurların ve alıcı-uydu arasında sinyal bozukluğuna neden olabilecek engellerin olmaması gereklidir. Arazi öncesi yapılan bu çalışma sayesinde yüksek doğruluklu büro hesaplamaları (post-process) ile elde edilen sonuç koordinatların doğruluğu ve kalitesi iyileştirilmiş olur.

Uydu sinyalini engelleyen veya bozan doğal ve yapay nesne varlığı ölçümün doğruluğunu etkileyecektir. Örneğin; 10 derece ve üstündeki yükseklik açılarında yer alan engeller uydu-alıcı sinyal alışverişinde kesintiye; alıcı etrafında yer alan doğal ve yapay yansıtıcı yüzeyler ise sinyal yansıma etkisine neden olabilmektedir. Bu sorunlar ile karşılaşmamak adına arazi öncesi planlama kapsamında Şekil 3.6'da görüldüğü gibi alıcı noktasına ait uydu engel krokisi hazırlanmalıdır.



Şekil 3.6. Uydu engel krokisi

Alıcı noktası yakınında yer alan yüksek gerilim hatları, sinyal kalitesini etkileyen bir diğer faktördür. Nokta seçiminde tüm bu hususlar dikkate alınarak arazi planlaması yapılması, uygulamanın doğruluğunu ve hassasiyetini arttıracaktır. Arazi öncesi planlama her bir uygulama için özeldir. Bir plan başka bir uygulama için kullanılabilir değildir. Zamana ve arazi şartlarına bağlı değerler değişkendir (Kahveci ve Yıldız, 2018). Sonuç olarak özellikle sabit GNSS (TUSAGA-Aktif vb.) nokta yerleri seçilirken ve/veya gerek statik gerekse RTK ölçüleri planlanırken ölçü yapılacak noktalara ait engel grafiklerinin hazırlanarak ölçü noktası yerlerinin buna göre seçilmesi ve nokta yerinin değiştirilememesi gibi zorunlu hallerde ise ölçü sürelerinin buna göre planlanması özellikle jeodezik ve harita yapımı amaçlı ölçmelerde önemli bir konudur.

#### 4. SAYISAL UYGULAMA

Hızla gelişen GNSS teknolojisi ile uzaydaki uydu sayısı artmış olup, özellikle uzun süreli statik ölçülerin yapılması durumunda günün herhangi bir ölçü aralığında DOP değerlerinin kabul edilebilir üst sınır değerlerinin çok altında kaldığı görülmektedir. Ancak yeryüzünde alıcının sinyal almasını engelleyecek bir engel olması durumunda teorik olarak bu sonucun değişebileceği öngörülmektedir. Tez çalışmasında bu teorik öngörünün ne oranda gerçeğe uyduğu araştırılmıştır.

Tez çalışması kapsamında Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği bünyesinde olan ve birbirlerine 2-3 km uzaklıkta bulunan noktalar üzerinde 2 gün, 7 saat süren statik GPS oturumları ve 2 farklı günde ise 1'er epokluk Ağ-RTK (TUSAGA-Aktif) ölçüleri yapılmıştır. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, noktalardan bir tanesi Konya Teknik Üniversitesi (Selçuk Üniversitesi) Kampüsünde, diğer ikisi Bosna Hersek mahallesinde yer almaktadır. Noktalara ait yaklaşık koordinat değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tez çalışmasında kullanılan ölçüm noktaları

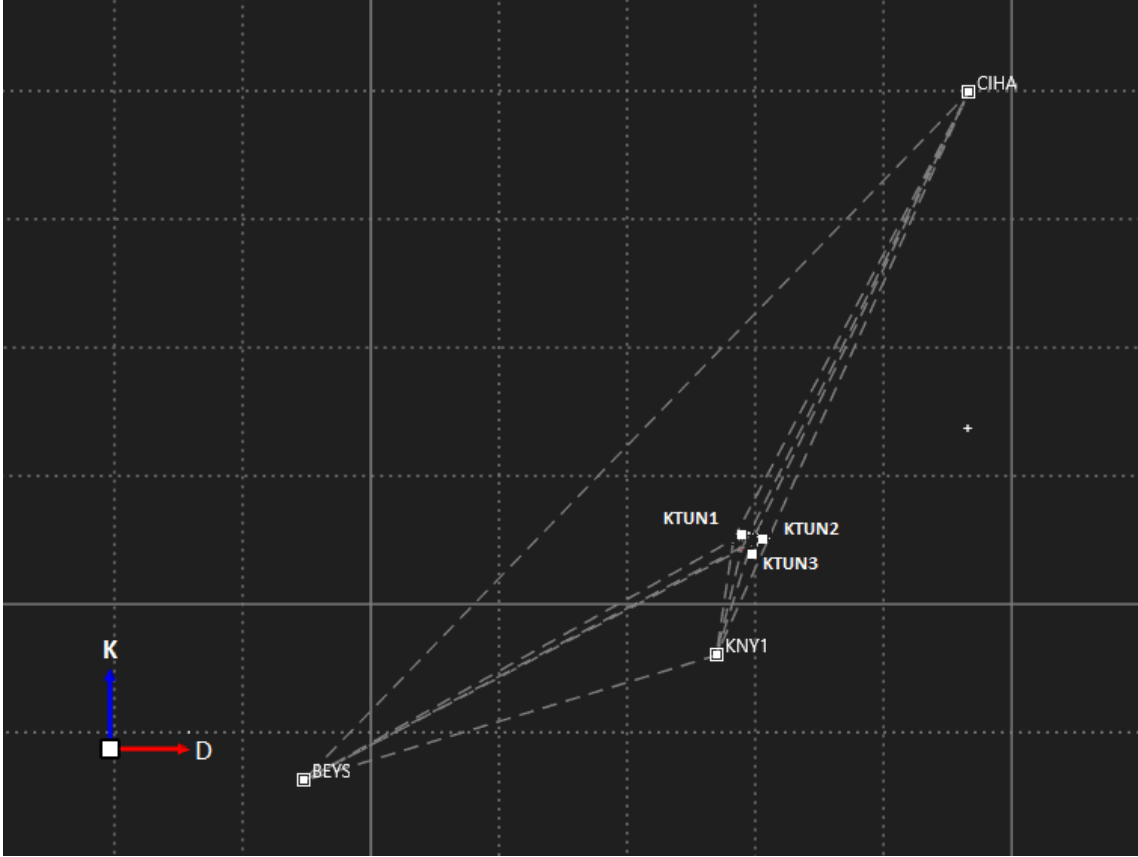
| Noktalar               | Enlem      | Boylam     | Elipsoit Yüksekliği (m) |
|------------------------|------------|------------|-------------------------|
| Konya L29-G002 (TUTGA) | 38,0221962 | 32,5055405 | 1204,24                 |
| M2920010 (C2)          | 38,0193398 | 32,5383456 | 1138,56                 |
| J21 (Poligon)          | 38,0082804 | 32,5197352 | 1120,75                 |



Şekil 4.1. Ölçü noktalarının yaklaşık konumu (Google Earth ekran görüntüsü)

TUTGA, C2 ve POL olarak geçen noktalar, sayısal uygulama içerisinde sırasıyla KTUN1, KTUN2 ve KTUN3 ifadeleriyle adlandırılmıştır.

Bu noktaların dengeleme yazılımında değerlendirilmesi adına TUSAGA-Aktif noktalarından CIHA (Cihanbeyli), BEYS (Beyşehir) ve KNY1 (Konya) noktaları ilgili kurumdan temin edilerek sabit (referans) nokta olarak alınmıştır. Hesaplamaya dahil olan tüm noktaların birbiri ile ilişkisi Şekil 4.2’ de gösterilmiştir.

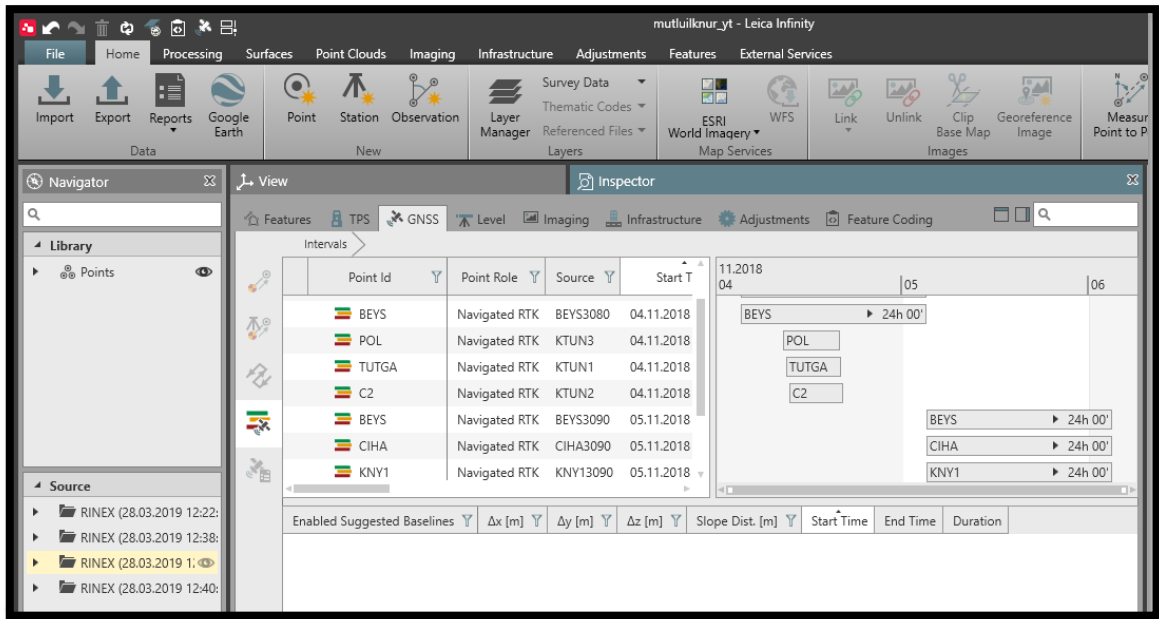


Şekil 4.2. Hesaplamada kullanılan noktaların grafik gösterimi

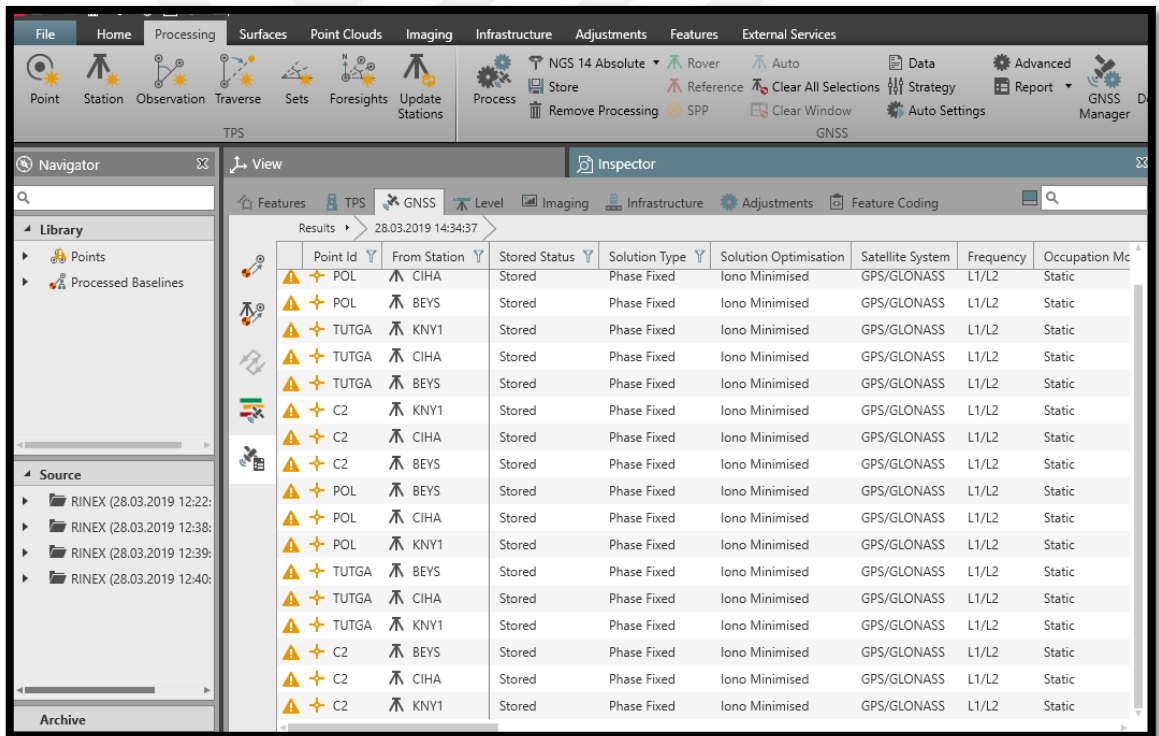
4 ve 5 Kasım 2018 günlerinde 09:00-16:00 saatleri arasında statik ölçüler, 6 ve 10 Kasım 2018 günlerinde sırasıyla 10:00-10:30 ve 11:30-12:30 saat aralıklarında Ağ-RTK ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Statik ölçümlerde TOPCON GR-5 alıcısı, Ağ-RTK ölçüleri için ise TOPCON HiPer SR alıcıları kullanılmıştır.

Arazide elde edilen statik GNSS verilerinin değerlendirilmesi işlemi için Leica İfinity 3.0 programı kullanılmıştır. Hesaplamalar, 30 saniye veri aralığında ve IGS sonuç yörünge bilgileri kullanılarak yapılmıştır. Leica İfinity programının arayüzü ile ilgili ekran görüntüleri Şekil 4.3, ve Şekil 4.4’de sunulmuştur.





Şekil 4.3. Noktaların projeye yüklenmesi



Şekil 4.4. Hesaplama işlemi sonrası

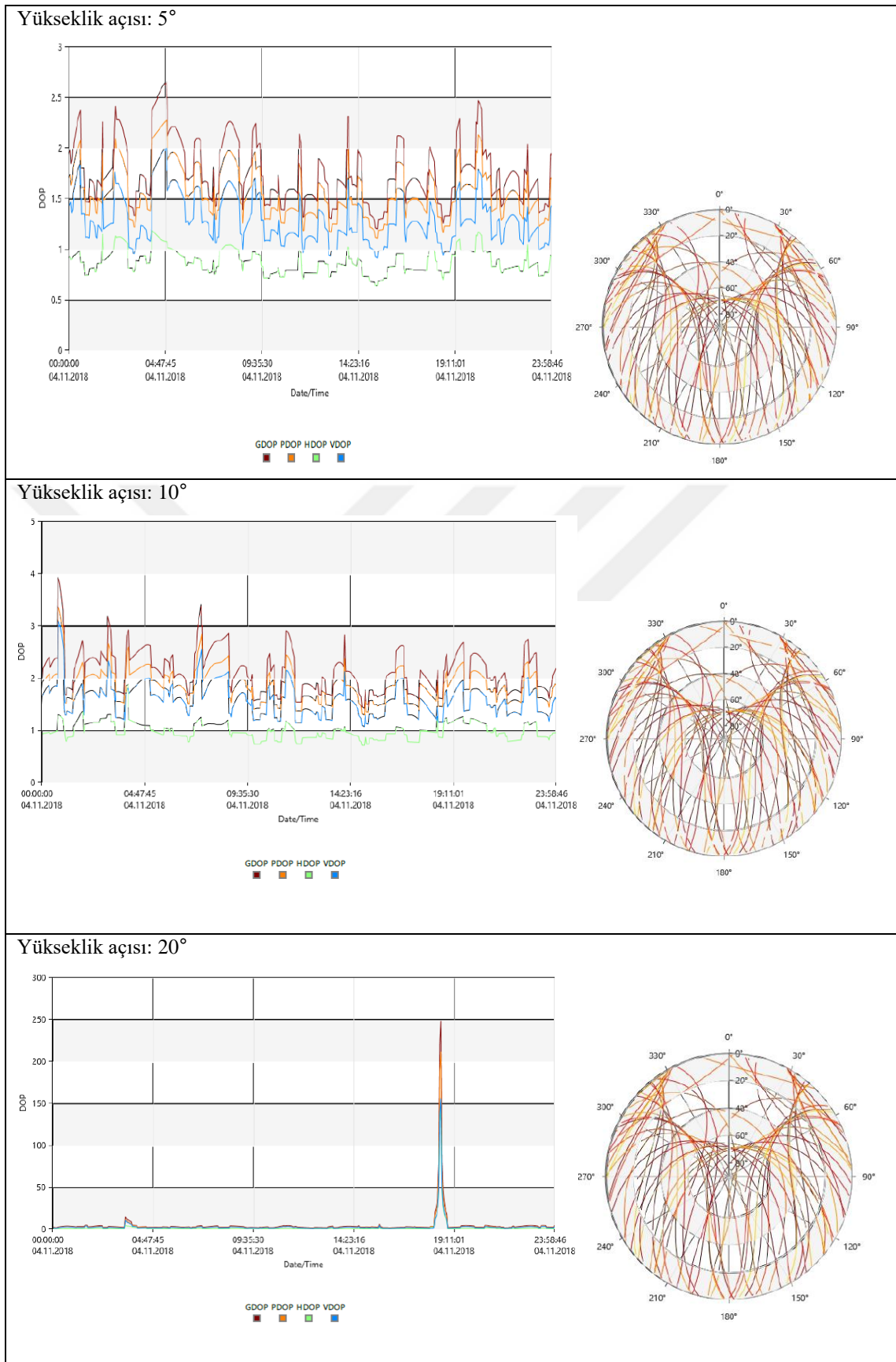
Uydu geometrisinin farklı senaryolar için değerlendirilmesi için birden fazla seçenek üretilmiştir. Tüm seçenekler için ortak parametreler kullanılarak uygulamanın diğer faktörlerden etkilenmesinin önüne geçilmek istenmiştir. Değerlendirme kapsamında hesabı yapılan senaryolar şu şekildedir.

- KTUN1, KTUN2 ve KTUN3 noktası 5°, 10° ve 20° yükseklik açılarında BEYS, KNY1 ve CIHA noktaları sabit alınarak dengelenmiştir. 10° yükseklik açısı kullanılarak elde edilen sonuç koordinatlar, diğer senaryolar değerlendirilirken referans değer olarak kullanılmıştır. Burada 0° yükseklik açısı, sinyal yansıma (multipath) hatası ve atmosferik etkilerden kaçınmak için tercih edilmemiştir.
- KTUN1, KTUN2 ve KTUN3 noktası için sırasıyla Doğu, Batı, Kuzey ve Güney yönlerinde engel olduğu varsayılarak manuel olarak uydu çıkarımı yapılmıştır. Bu çalışmada standartların dışına çıkan DOP, uydu sayıları ve uydu görünürlüğü (Skyplot) grafikleri hazırlanmıştır ve TUSAGA-Aktif noktaları referans alınarak dengeleme işlemi yapılmıştır. Grafik gösteriminde noktalar birbirine yakın mesafede oldukları ve aynı uyduları göreceklelerinden, bu grafikler sadece 4 Kasım 2018 ve KTUN1 noktası için verilmiştir.
- Doğu, Batı, Kuzey ve Güney yönlerinde engel olduğu varsayılan uygulamada DOP değerinin, maksimuma ulaştığı veri aralığı tekrar değerlendirilerek, CORS çalışmalarında arazide bulunan engelin dolayısıyla uydu geometrisinin olası etkisi incelenmiştir.
- KTUN1, KTUN2 ve KTUN3 noktalarında herhangi iki günde yapılan CORS çalışması, CORS – statik kıyaslaması sağlamakla birlikte CORS uygulaması DOP değerleri ile yorumlanmıştır.

İlk senaryo kapsamında Galileo uydu sistemlerinin tam kapasiteye ulaşamama durumu Glonass'ın ise referans elipsoidinin farklı olması nedeniyle yalnızca GPS uyduları ile değerlendirme yapılmıştır. İkinci senaryoda ise yönler doğrultusunda manuel uydu çıkarımı yapılırken GPS uydularının zaman zaman 4 uydu altına düşmesi nedeniyle Glonass'da uydularıda kullanılmıştır.

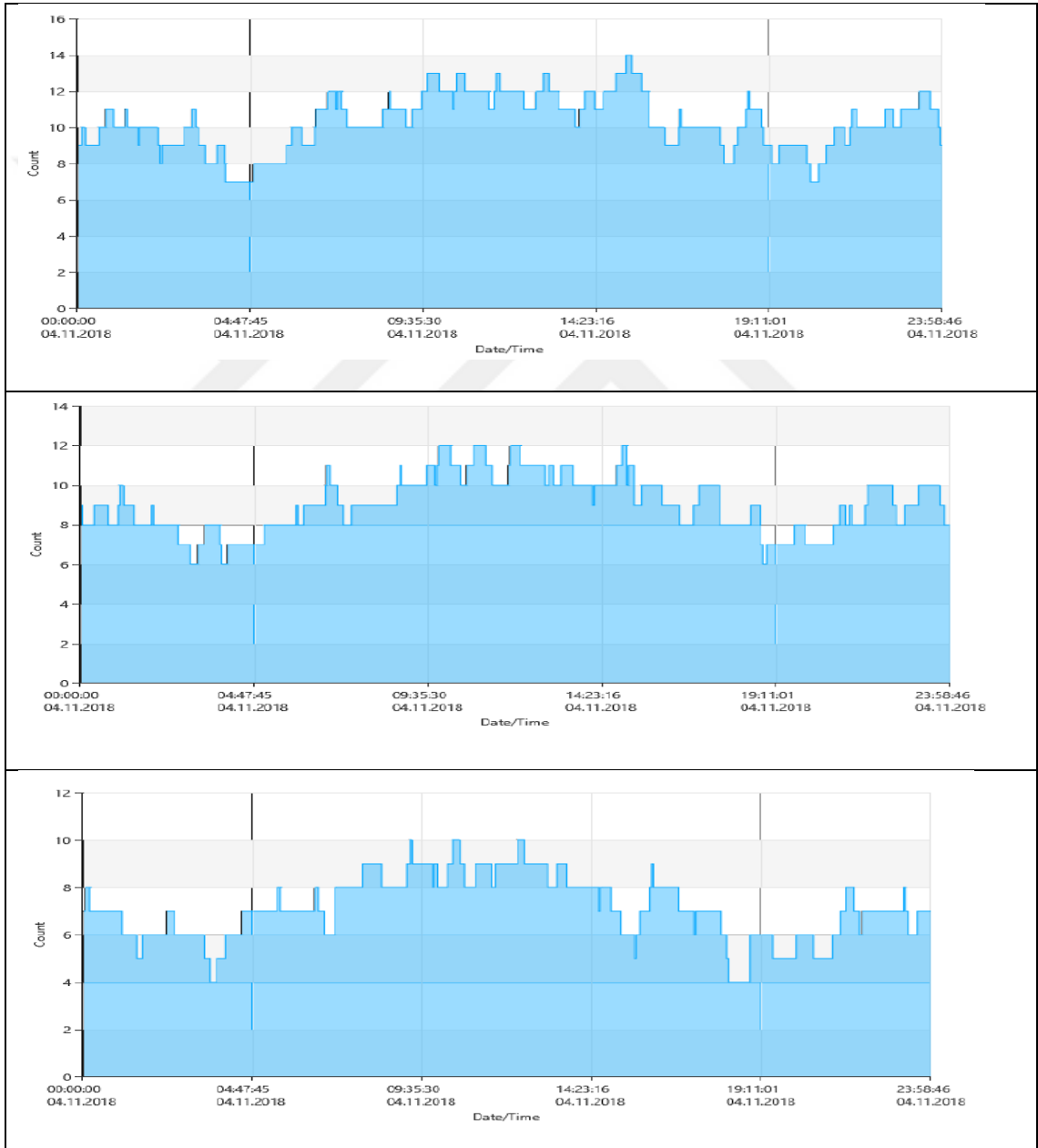
#### **4.1. Statik Oturumda Yükseklik Açısına Göre Sonuç Koordinatların Değerlendirilmesi**

İlk senaryoya göre 5°, 10° ve 20° yükseklik açılarında yapılan dengeleme sonuçları için DOP, uydu görünürlüğü (Skyplot) ve uydu sayıları grafikleri Şekil 4.5' de verilmiştir. Noktalar arası mesafenin kısa olması nedeniyle tek bir noktadan ve birbirini izleyen 2 gün için grafikler benzer olduğundan yalnızca 4 Kasım günü için KTUN1 noktasına ait grafikler sunulmuştur.



**Şekil 4.5.** KTUN1 noktası DOP ve Skyplot grafikleri

Şekil 4.5’de yer alan grafikler incelendiğinde yükseklik açısı  $5^\circ$  olduğunda DOP değeri maksimum 2.5 olmuştur. Bu değer, sadece GPS sistemleri kullanıldığı göz önüne alındığında uygun bir değerdir. Ancak  $10^\circ$  yükseklik açısında DOP değeri, sınır değer olan 4’e yaklaşmakta ve  $20^\circ$  yükseklik açısında ise toplamdaki uydu sayısı azaldığı için çok büyük bir sayıya ulaşmaktadır. Bunun nedenlerinin daha net anlaşılması için Şekil 4.6’da yer alan ve sırasıyla  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  ve  $20^\circ$  yükseklik açıları için uydu sayılarını gösteren grafik incelenmiştir.



Şekil 4.6.  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  ve  $20^\circ$  yükseklik açıları için uydu sayısı grafikleri

Şekil 4.6 incelendiğinde DOP değerinde olan değişimin teoride de anlatıldığı üzere uydu sayısı ile orantılı olduğu görülecektir. Uydu sayısı ise yükseklik açısına bağlı olarak değişmiş, yükseklik açısı arttıkça alıcının görebileceği uydu sayısı azalmıştır.

Leica İfinity programı ile yapılan dengeleme işlemi neticesinde elde edilen sonuç koordinatlar ve standart sapmaları Çizelge 4.2, 4.3 ve 4.4’de sunulmuştur. Aynı zamanda referans olarak aldığımız 10° yükseklik açısında elde edilen sonuçlar ile 5° ve 20° yükseklik açıları ile elde edilen sonuçları Tablo 4.5’ de verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** 5° yükseklik açısı ile dengelenmiş sonuç koordinatlar

| <b>5 ° YÜKSEKLİK AÇISI İLE DENGELENMİŞ SONUÇ KOORDİNATLAR</b> |                       |                       |                       |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>NOKTA</b>  | <b>X±σ (m)</b>        | <b>Y±σ (m)</b>        | <b>Z±σ (m)</b>        |
| <b>KTUN1</b>  | 4243566.5509 ± 0.0382 | 2704027.0677 ± 0.0447 | 3908126.8189 ± 0.0941 |
| <b>KTUN2</b>  | 4242138.6557 ± 0.0387 | 2706533.5589 ± 0.0448 | 3907836.6065 ± 0.0961 |
| <b>KTUN3</b>  | 4243641.4076 ± 0.0465 | 2705586.2570 ± 0.0535 | 3906889.8509 ± 0.1184 |

**Çizelge 4.3.**10° yükseklik açısı ile dengelenmiş sonuç koordinatlar

| <b>10 ° YÜKSEKLİK AÇISI İLE DENGELENMİŞ SONUÇ KOORDİNATLAR</b> |                       |                       |                       |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>NOKTA</b>   | <b>X±σ (m)</b>        | <b>Y±σ (m)</b>        | <b>Z±σ (m)</b>        |
| <b>KTUN1</b>   | 4243566.5925 ± 0.0381 | 2704027.1027 ± 0.0439 | 3908126.8456 ± 0.0947 |
| <b>KTUN2</b>   | 4242138.6294 ± 0.0361 | 2706533.5370 ± 0.0419 | 3907836.5891 ± 0.0915 |
| <b>KTUN3</b>   | 4243641.4334 ± 0.0471 | 2705586.2782 ± 0.0544 | 3906889.8701 ± 0.1217 |

**Çizelge 4.4.** 20° yükseklik açısı ile dengelenmiş sonuç koordinatlar

| <b>20 ° YÜKSEKLİK AÇISI İLE DENGELENMİŞ SONUÇ KOORDİNATLAR</b> |                       |                       |                       |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>NOKTA</b>   | <b>X±σ (m)</b>        | <b>Y±σ (m)</b>        | <b>Z±σ (m)</b>        |
| <b>KTUN1</b>   | 4243566.5988 ± 0.0349 | 2704027.1067 ± 0.0403 | 3908126.8504 ± 0.0959 |
| <b>KTUN2</b>   | 4242138.6661 ± 0.0316 | 2706533.5665 ± 0.0366 | 3907836.6142 ± 0.0885 |
| <b>KTUN3</b>   | 4243641.4570 ± 0.0450 | 2705586.2979 ± 0.0519 | 3906889.8850 ± 0.1265 |

Çizelge 4.5.Yükseklik açılarına göre fark tablosu

| 5° - 10°  |        |        |        |
|-----------|--------|--------|--------|
| NOKTA     | X (m)  | Y (m)  | Z (m)  |
| KTUN1     | 0.0416 | 0.0350 | 0.0267 |
| KTUN2     | 0.0263 | 0.0219 | 0.0174 |
| KTUN3     | 0.0258 | 0.0212 | 0.0192 |
| 20° - 10° |        |        |        |
| NOKTA     | X (m)  | Y (m)  | Z (m)  |
| KTUN1     | 0.0063 | 0.0040 | 0.0048 |
| KTUN2     | 0.0367 | 0.0295 | 0.0251 |
| KTUN3     | 0.0236 | 0.0197 | 0.0149 |

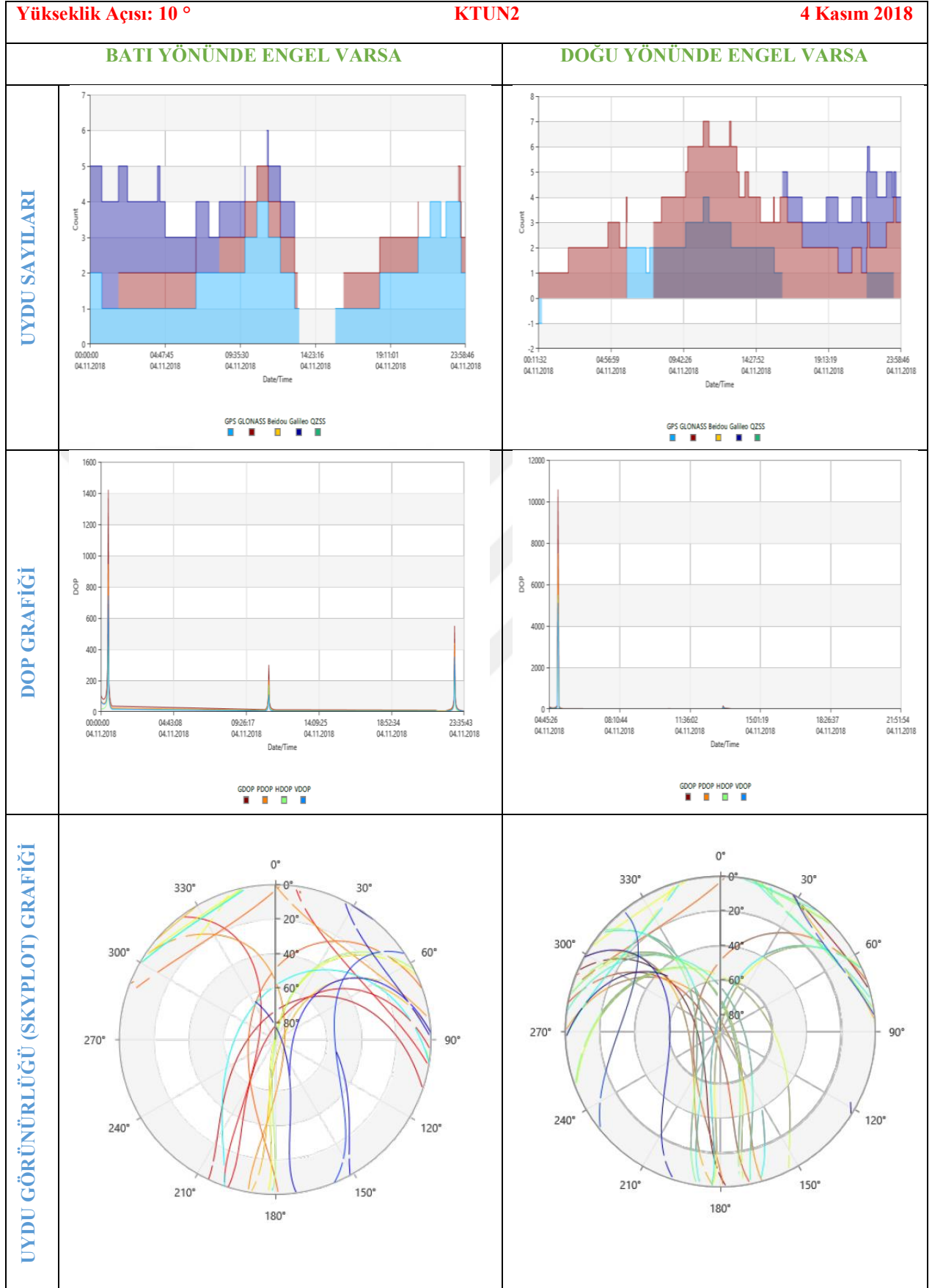
Çizelge 4.5’de dengelenmiş koordinatlara ait farklar incelendiğinde pratik jeodezik hesaplamalar (örn. BÖHNBÜY (Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği) kapsamındaki çalışmalar) bağlamında büyük farklılıklar görülmemiştir. Özellikle 5 derece ile 10 derece yükseklik açılarında yapılmış olan hesaplamalar arasındaki farklılıkların ise, önemli oranda ölçü noktalarındaki sinyal yansıma etkisi ve troposferik etkilerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü, 5 derecelik yükseklik açısında sinyal yere daha yakın geldiği ve alıcı tarafından bu şekilde kaydedildiği için, ölçü noktası etrafındaki yansıtıcı yüzeylerden ve topraktan yansıyan sinyallerin sonuç hesaplamalarda hatallara neden olduğu düşünülmektedir. Diğer taraftan, yükseklik açısı arttıkça, uydu sayısı azaldığı için, kötüleşen DOP değerlerinin statik GPS ölçüsü hesaplamalarında sonuç koordinatları önemli ölçüde etkilemediği belirlenmiştir. Bunun ana nedeni; konum belirleme çalışmasının uzun süreli statik oturum olarak yapılması ve dolayısıyla uydu sayısının çok olması olarak düşünülmektedir.

#### 4.2. Alıcı Etrafında Doğu, Batı, Kuzey ve Güney Yönlenlerinde Engel Oluşturulması

Günümüzde GNSS uydu sayısının artması ve dolayısıyla uydu geometrisinin çok iyi durumda olması sonucu DOP değerleri çok küçük olduğu için konum doğruluğundaki bozucu etkisi de özellikle statik GNSS ölçü ve hesaplamalarında azalmıştır. Başka bir ifadeyle, çok yüksek doğruluk istenmeyen pratik ölçme amaçlı olarak uydu geometrisi etkisi göz ardı edilebilmektedir. Tüm bunlara karşın, yüksek doğruluk isteyen uygulamalarda (depremlerin tahmini, temel jeodezik ağ kurulması, yağışa dönüşebilir su

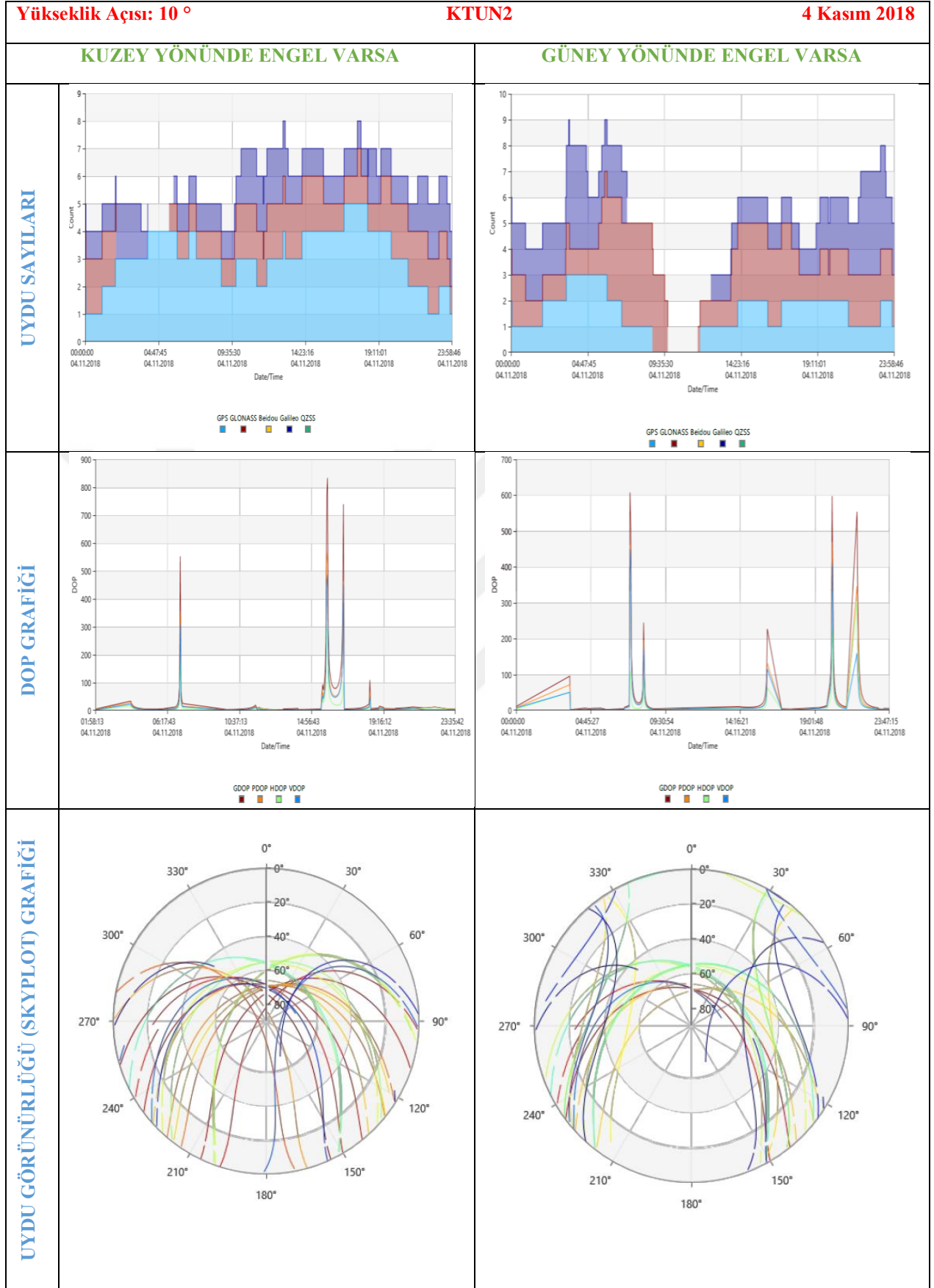
buharı tahmini, vb.) arazi öncesi planlama yapılarak en uygun uydu geometrisinin olduğu zaman dilimlerinin (6 saatten daha uzun süreli statik ölçüler hariç) seçilmesi şarttır. Bir saat ve daha uzun süren statik oturumlarda DOP etkisi azaltılsa da gerçek zamanlı konum belirlememizi sağlayan Ağ-RTK gibi uygulamalarda DOP etkisi sonuç koordinatları doğrudan etkileyecektir. Bu çalışma kapsamında Şekil 3.6'da olduğu gibi uydu engel krokisi hazırlanmasının önemi ve ölçüm anında gözden kaçabilecek olası hatalar gösterilecektir.

Bu çalışmada uydu sayısının ve geometrisinin özellikle gerçek zamanlı kinematik ve Ağ-RTK konum belirlemeye etkisinin incelenmesi için bazı varsayımlarda bulunularak farklı senaryolar oluşturulmuştur. Noktalar arası mesafenin kısa olması ve her bir noktanın aynı uyduları göreceği olması nedeniyle bir noktanın grafiklerinin gösterimi yeterli olacaktır. Noktalardan KTUN2 noktası ele alınarak bu noktada 4 Kasım 2018 tarihinde 10 derece uydu yükseklik açısında doğu, batı, kuzey ve güney yönlerinde engeller olduğu varsayılmıştır. Bu engeller için Skyplot grafiğinden faydalanılarak sırasıyla Doğu, Batı, Kuzey ve Güney yönlerinde manuel olarak uydu çıkarımı yapılmıştır. Çalışma sonucu oluşan uydu sayısı, DOP ve uydu görünürlüğü (skyplot) grafikleri Doğu-Batı yönleri için Şekil 4.7'de, Kuzey-Güney yönleri için Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Bu şekillerde ölçü noktaları merkez olarak kabul edildiğinde söz konusu yükseklik açılarında gökyüzünde görülebilen tüm uydular yer almaktadır.



Şekil 4.7. Batı ve Doğu yönlerinde engel olması durumu





Şekil 4.8. Kuzey ve Güney yönlerinde engel olması durumu

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 incelendiğinde uydu sayısının maksimum 9'a kadar çıktığı ve bununla paralel olarak DOP değerlerinin 1400'e kadar ulaştığı görülmüştür. Uydu sayısının manuel olarak atılması sonrası, DOP değerlerinde olan artış beklenen bir durumdur.

Bu durumun uzun süren statik oturumlarda sonuç koordinatlara etkisi ise Çizelgeler 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9 'de incelenmiştir.

**Çizelge 4.6.** Kuzey yönünde engel olması durumunda elde edilmiş koordinatlar ve standart sapmaları

| <b>KUZAY YÖNÜNDE ENGEL OLMA DURUMUNDA DENGELENMİŞ SONUÇ KOORDİNATLAR</b> |                       |                       |                       |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>NOKTA</b>   | <b>X±σ (m)</b>        | <b>Y±σ (m)</b>        | <b>Z±σ (m)</b>        |
| <b>KTUN1</b>   | 4243566.5897 ± 0.0383 | 2704027.0998 ± 0.0401 | 3908126.8440 ± 0.0955 |
| <b>KTUN2</b>   | 4242138.6354 ± 0.0368 | 2706533.5414 ± 0.0393 | 3907836.5908 ± 0.0943 |
| <b>KTUN3</b>   | 4243641.4300 ± 0.0518 | 2705586.2722 ± 0.0541 | 3906889.8671 ± 0.1338 |

**Çizelge 4.7.** Güney yönünde engel olması durumunda elde edilmiş koordinatlar ve standart sapmaları

| <b>GÜNEY YÖNÜNDE ENGEL OLMA DURUMUNDA DENGELENMİŞ SONUÇ KOORDİNATLAR</b> |                       |                       |                       |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>NOKTA</b>   | <b>X±σ (m)</b>        | <b>Y±σ (m)</b>        | <b>Z±σ (m)</b>        |
| <b>KTUN1</b>   | 4243566.5879 ± 0.0404 | 2704027.0989 ± 0.0413 | 3908126.8425 ± 0.0956 |
| <b>KTUN2</b>   | 4242138.6310 ± 0.0393 | 2706533.5375 ± 0.0402 | 3907836.5898 ± 0.0940 |
| <b>KTUN3</b>   | 4243641.4152 ± 0.0545 | 2705586.2609 ± 0.0546 | 3906889.8556 ± 0.1322 |

**Çizelge 4.8.** Batı yönünde engel olması durumunda elde edilmiş koordinatlar ve standart sapmaları

| <b>BATI YÖNÜNDE ENGEL OLMA DURUMUNDA DENGELENMİŞ SONUÇ KOORDİNATLAR</b> |                       |                       |                       |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>NOKTA</b>  | <b>X±σ (m)</b>        | <b>Y±σ (m)</b>        | <b>Z±σ (m)</b>        |
| <b>KTUN1</b>  | 4243566.5832 ± 0.0377 | 2704027.0973 ± 0.0436 | 3908126.8400 ± 0.0977 |
| <b>KTUN2</b>  | 4242138.6217 ± 0.0354 | 2706533.5324 ± 0.0412 | 3907836.5842 ± 0.0912 |
| <b>KTUN3</b>  | 4243641.4094 ± 0.0503 | 2705586.2579 ± 0.0579 | 3906889.8520 ± 0.1353 |

**Çizelge 4.9.** Doğu yönünde engel olması durumunda elde edilmiş koordinatlar ve standart sapmaları

| <b>DOĞU YÖNÜNDE ENGEL OLMA DURUMUNDA DENGELENMİŞ SONUÇ KOORDİNATLAR</b> |                       |                       |                       |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>NOKTA</b>  | <b>X±σ (m)</b>        | <b>Y±σ (m)</b>        | <b>Z±σ (m)</b>        |
| <b>KTUN1</b>  | 4243566.5840 ± 0.0342 | 2704027.0966 ± 0.0451 | 3908126.8414 ± 0.0932 |
| <b>KTUN2</b>  | 4242138.6157 ± 0.0321 | 2706533.5273 ± 0.0430 | 3907836.5798 ± 0.0928 |
| <b>KTUN3</b>  | 4243641.4000 ± 0.0453 | 2705586.2511 ± 0.0605 | 3906889.8484 ± 0.1295 |

4 farklı seçenek için koordinatlar ve standart sapmalardan oluşan tablolar oluşturulmuştur. Bu sonuçların yorumlanması için, 10° yükseklik açısında dengeleme

yapılarak elde edilen sonuç koordinatlar referans alınacaktır. İki farklı koordinatın farklarından oluşan tablolar Çizelge 4.10’da verilmiştir.

**Çizelge 4.10.** Engel olması durumunda elde edilen koordinatların referans koordinatlar (10°) ile karşılaştırılması

| 10° - Kuzey engeli |         |         |         | 10° - Batı engeli |        |        |
|--------------------|---------|---------|---------|-------------------|--------|--------|
| NOKTA              | X (m)   | Y (m)   | Z (m)   | X (m)             | Y (m)  | Z (m)  |
| KTUN1              | 0.0028  | 0.0029  | 0.0016  | 0.0093            | 0.0054 | 0.0056 |
| KTUN2              | -0.0060 | -0.0044 | -0.0017 | 0.0077            | 0.0046 | 0.0049 |
| KTUN3              | 0.0034  | 0.0060  | 0.0030  | 0.0240            | 0.0203 | 0.0181 |
| 10° - Güney engeli |         |         |         | 10° - Doğu engeli |        |        |
| NOKTA              | X (m)   | Y (m)   | Z (m)   | X (m)             | Y (m)  | Z (m)  |
| KTUN1              | 0.0046  | 0.0038  | 0.0031  | 0.0085            | 0.0061 | 0.0042 |
| KTUN2              | -0.0016 | -0.0005 | -0.0007 | 0.0137            | 0.0097 | 0.0093 |
| KTUN3              | 0.0182  | 0.0173  | 0.0145  | 0.0334            | 0.0271 | 0.0217 |

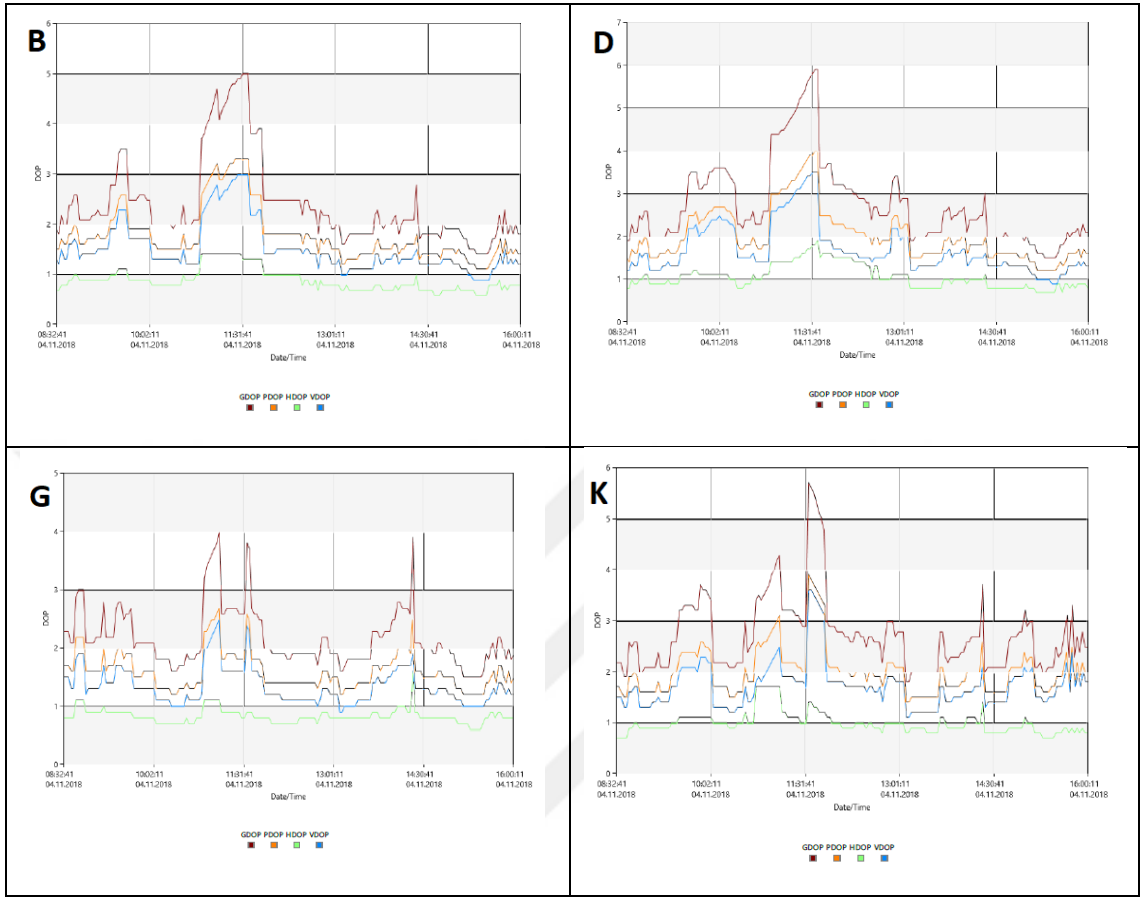
Oluşturulan fark tablosu Çizelge 4.10 incelendiğinde, çok büyük değerlere ulaşan DOP değerlerinin sonuç koordinatları etkilemediği görülmüştür. Oluşan fark ortalama olarak mm hassasiyetinde kalmış, maksimum olarak Doğu engeline X yönü için 3 cm değerine ulaşmıştır. 7 saat süren statik oturumda, 10° yükseklik açısında dengelemesi yapılan bu veriler oluşan hataları minimize ederek, koordinatlarda oluşması muhtemel büyük hataları engellemiştir.

Bu senaryo sonucunda, uzun süre devam eden statik oturumlar değerlendirilirken ölçü noktasında belirli bir doğrultuda uydu sinyali olmamasının sonuç koordinatları etkilemediği görülmüştür. Ancak, eğer tüm doğrultularda belirli sayıda uydu olmasaydı, bu durumda elde edilecek sonuçların biraz farklı olabileceği düşünülmektedir.

#### 4.3. Ağ-RTK Uygulamalarında Alıcı Etrafında Doğu, Batı, Kuzey ve Güney Yönlerinde Oluşturulan Engeller Çerçevesinde Yüksek DOP Değerleri

Alıcının etrafında Kuzey-Güney-Doğu-Batı yönünde engel olduğu varsayılan çalışma sonucunda, bu durumun uzun süren statik oturumlarda sonucu etkilemediği görülmüştür. Ancak günümüzde yaygın olan ölçüm yöntemi Ağ-RTK için bu çalışma tekrar değerlendirilmiştir. Bu amaç için DOP değerlerinin en üst noktaya ulaştığı 10 dakika zaman aralıkları seçilmiştir. Bu zaman aralıkları ise, K-G-D-B yönlerinde uydu çıkarımı cısonrası yapılan hesaplama raporları dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu

raporlarda her bir baz için ayrı ayrı oluşturulan ve noktaların yakın olması sebebiyle benzer olan grafiklerden bir baz için olan örnekleri Şekil 4.9’da sunulmuştur.



Şekil 4.9 K-G-D-B yönlerinde engel ile hesap sonrası oluşan bazlardan birine ait DOP grafikleri

Şekil 4.9 baz alınarak DOP değerlerinin maksimum değerlere ulaştığı aralıklar referans olarak seçilmiştir. Bu aralıklar Kuzey yönü için 11:30 – 11:40, Güney yönü için 11:10 – 11:20, Doğu yönü için 11:30 – 11:40 ve Batı yönü için 11:25 – 11:35 olmuştur.

Process için aynı uydular manuel olarak işlemde atılmıştır ve yukarıda belirlenen zaman aralıkları doğrultusunda arazide elde edilen 7 saatlik veriler bu referans aralıklar ile paralel olarak 10 dakikalık veri grupları oluşturulmuştur. Dengeleme sonrası Çizelgeler 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14 oluşturulmuştur.

**Çizelge 4.11.** Kuzey yönünde engel olması durumunda elde edilmiş koordinatlar ve standart sapmaları  
(10 dakika)

| <b>KUZEY YÖNÜNDE ENGEL OLMA DURUMUNDA DENGELENMİŞ SONUÇ KOORDİNATLAR</b> |                       |                       |                       |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>NOKTA</b>   | <b>X±σ (m)</b>        | <b>Y±σ (m)</b>        | <b>Z±σ (m)</b>        |
| <b>KTUN1</b>   | 4243566.5573 ± 0.0665 | 2704027.0881 ± 0.0541 | 3908126.8269 ± 0.2114 |
| <b>KTUN2</b>   | 4242138.6765 ± 0.0527 | 2706533.5938 ± 0.0424 | 3907836.6303 ± 0.1679 |
| <b>KTUN3</b>   | 4243641.3678 ± 0.1067 | 2705586.2276 ± 0.0871 | 3906889.8216 ± 0.3358 |

**Çizelge 4.12.** Güney yönünde engel olması durumunda elde edilmiş koordinatlar ve standart sapmaları  
(10 dakika)

| <b>GÜNEY YÖNÜNDE ENGEL OLMA DURUMUNDA DENGELENMİŞ SONUÇ KOORDİNATLAR</b> |                       |                       |                       |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>NOKTA</b>   | <b>X±σ (m)</b>        | <b>Y±σ (m)</b>        | <b>Z±σ (m)</b>        |
| <b>KTUN1</b>   | 4243566.5621 ± 0.0433 | 2704027.0817 ± 0.0538 | 3908126.8040 ± 0.1506 |
| <b>KTUN2</b>   | 4242138.6536 ± 0.0427 | 2706533.5575 ± 0.0529 | 3907836.5851 ± 0.1485 |
| <b>KTUN3</b>   | 4243641.4047 ± 0.0549 | 2705586.2619 ± 0.0681 | 3906889.8448 ± 0.1990 |

**Çizelge 4.13.** Batı yönünde engel olması durumunda elde edilmiş koordinatlar ve standart sapmaları  
(10 dakika)

| <b>BATI YÖNÜNDE ENGEL OLMA DURUMUNDA DENGELENMİŞ SONUÇ KOORDİNATLAR</b> |                       |                       |                       |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>NOKTA</b>  | <b>X±σ (m)</b>        | <b>Y±σ (m)</b>        | <b>Z±σ (m)</b>        |
| <b>KTUN1</b>  | 4243566.5039 ± 0.0642 | 2704027.0327 ± 0.0563 | 3908126.7908 ± 0.1933 |
| <b>KTUN2</b>  | 4242138.6197 ± 0.0434 | 2706533.5469 ± 0.0384 | 3907836.5969 ± 0.1345 |
| <b>KTUN3</b>  | 4243641.3767 ± 0.0901 | 2705586.2339 ± 0.0758 | 3906889.8326 ± 0.2840 |

**Çizelge 4.14.** Doğu yönünde engel olması durumunda elde edilmiş koordinatlar ve standart sapmaları  
(10 dakika)

| <b>DOĞU YÖNÜNDE ENGEL OLMA DURUMUNDA DENGELENMİŞ SONUÇ KOORDİNATLAR</b> |                       |                       |                       |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>NOKTA</b>  | <b>X±σ (m)</b>        | <b>Y±σ (m)</b>        | <b>Z±σ (m)</b>        |
| <b>KTUN1</b>  | 4243566.5213 ± 0.0403 | 2704027.0389 ± 0.0822 | 3908126.7873 ± 0.1863 |
| <b>KTUN2</b>  | 4242138.6785 ± 0.0378 | 2706533.5770 ± 0.0775 | 3907836.6210 ± 0.1764 |
| <b>KTUN3</b>  | 4243641.4419 ± 0.0523 | 2705586.2871 ± 0.1066 | 3906889.8657 ± 0.2389 |

Elde edilen sonuç koordinatlar, referans kabul ettiğimiz ve 10° yükseklik açısında oluşturulmuş koordinatlar (Çizelge 4.3) ile değerlendirilmiştir. Oluşturulan fark tablosu Çizelge 4.15’de sunulmuştur.

**Çizelge 4.15.** K-G-B-D yönünde oluşturulan koordinatların referans koordinatlar ile değerlendirilmesi (10 dakika)

| 10° - Kuzey engeli |         |         |         | 10° - Batı engeli |         |         |
|--------------------|---------|---------|---------|-------------------|---------|---------|
| NOKTA              | X (m)   | Y (m)   | Z (m)   | X (m)             | Y (m)   | Z (m)   |
| KTUN1              | 0.0352  | 0.0146  | 0.0187  | 0.0886            | 0.0700  | 0.0548  |
| KTUN2              | -0.0471 | -0.0568 | -0.0412 | 0.0097            | -0.0099 | -0.0078 |
| KTUN3              | 0.0656  | 0.0506  | 0.0485  | 0.0567            | 0.0443  | 0.0375  |
| 10° - Güney engeli |         |         |         | 10° - Doğu engeli |         |         |
| NOKTA              | X (m)   | Y (m)   | Z (m)   | X (m)             | Y (m)   | Z (m)   |
| KTUN1              | 0.0304  | 0.0210  | 0.0416  | 0.0712            | 0.0638  | 0.0583  |
| KTUN2              | -0.0242 | -0.0205 | 0.0040  | -0.0491           | -0.0400 | -0.0319 |
| KTUN3              | 0.0287  | 0.0163  | 0.0253  | -0.0085           | -0.0089 | 0.0044  |

Çizelge 4.15'e göre fark değerleri ortalama cm hassasiyetinde oluşmuş ve maksimum değer Batı engeli için X yönünde 8 cm olmuştur.

Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi kullanılan verinin süresi DOP değeri ile ilişkili olarak kısaltıldığı zaman sonuç koordinatlarda cm düzeyinde farklılıklar oluşmuştur. 10 dakikalık verilerin 3 TUSAGA Aktif noktasına dayalı olarak dengelenmiş olması, sonuçları iyileştirmiştir ve farklar küçük bir düzeyde kalmıştır. Sonuç olarak, ölçü süresi kısaltıkça uydu geometrisinin etkisinin artacağı ve böylece söz konusu farkların daha da büyüyeceği açıktır.

#### 4.4. RTK-Ağ (CORS) ile Verilerin Elde Edilmesi

Çalışması yapılan tez kapsamında asıl konu olan, GNSS uydu dağılımının statik GNSS ölçülerinde ve gerçek zamanlı konum belirlemedeki önemi için 2 farklı günde 3 noktada Ağ-RTK ölçüsü yapılmıştır. GNSS alıcısı ile elde edilen koordinatlar 6 Kasım günü için Çizelge 4.16'da ve 10 Kasım günü için Çizelge 4.17'de verilmiştir. Ayrıca noktalara ait PDOP değerleri de rapor dosyasından elde edilmiştir.

**Çizelge 4.16.** 6 Kasım günü için CORS verileri

| 6 KASIM CORS VERİLERİ |              |              |              |       |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|-------|
| NOKTA                 | X (m)        | Y (m)        | Z (m)        | PDOP  |
| KTUN1                 | 4243567.0473 | 2704027.2908 | 3908126.9537 | 1.381 |
| KTUN2                 | 4242139.1356 | 2706533.7945 | 3907836.7217 | 1.700 |
| KTUN3                 | 4243642.0354 | 2705586.5618 | 3906890.0955 | 1.424 |

Çizelge 4.17. 10 Kasım günü için CORS verileri

| 10 KASIM CORS VERİLERİ |              |              |              |       |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|-------|
| NOKTA                  | X (m)        | Y (m)        | Z (m)        | PDOP  |
| KTUN1                  | 4243565.7557 | 2704026.5115 | 3908125.7815 | 1.354 |
| KTUN2                  | 4242137.8265 | 2706532.9717 | 3907835.5481 | 1.353 |
| KTUN3                  | 4243642.0031 | 2705586.6016 | 3906890.1079 | 1.558 |

İlgili günler için gözlemlenen PDOP değerleri, belirlenen sınır değerler çerçevesinde uygun değerlerdir. Bu değerlerin referans değerler ile karşılaştırıldığı tablolar 6 Kasım ve 10 Kasım için sırasıyla Çizelge 4.18 ve Çizelge 4.19'de verilmiştir.

Çizelge 4.18 6 Kasım verilerinin referans koordinatlar ile değerlendirilmesi

| 6 Kasım verileri ve referans koordinatların farkı |         |         |         |
|---|---------|---------|---------|
| NOKTA   | X       | Y       | Z       |
| KTUN1   | -0.4548 | -0.1881 | -0.1081 |
| KTUN2   | -0.5062 | -0.2575 | -0.1326 |
| KTUN3   | -0.6020 | -0.2836 | -0.2254 |

Çizelge 4.19 10 Kasım verilerinin referans koordinatlar ile değerlendirilmesi

| 10 Kasım verileri ve referans koordinatların farkı |         |         |         |
|--|---------|---------|---------|
| NOKTA  | X       | Y       | Z       |
| KTUN1  | 0.8368  | 0.5912  | 1.0641  |
| KTUN2  | 0.8029  | 0.5653  | 1.0410  |
| KTUN3  | -0.5697 | -0.3234 | -0.2378 |

6 Kasım ve 10 Kasım gününe ait koordinatlar ile 10° yükseklik açısında dengelenmiş statik verileri gösteren Çizelge 4.18 ve Çizelge 4.19'a bakıldığında aradaki farkın ortalama 50-60 cm olduğu ve hatta Z yönünde 1 metre değerine kadar ulaştığı görülmüştür.

Cors verilerinin, K-G-D-B yönlerinde engel olduğu varsayımı ile elde edilmiş koordinatların değerlendirilmesi için oluşturulan fark tablosu Çizelge 4.20'de ve K-G-D-B yönlerinde engel olduğu varsayımı ile elde edilmiş verilerin 10 dakika veri aralığında elde edilmiş koordinatları ile oluşturulan fark tablosu Çizelge 4.21'de verilmiştir.

**Çizelge 4.20** 6 Kasım verilerinin K-G-D-B yönünde engel olduğu varsayılan sonuç koordinatlar ile fark tablosu

| CORS - Kuzey engeli |        |        |        | CORS - Batı engeli |        |        |
|---------------------|--------|--------|--------|--------------------|--------|--------|
| NOKTA               | X (m)  | Y (m)  | Z (m)  | X (m)              | Y (m)  | Z (m)  |
| KTUN1               | 0.4576 | 0.1910 | 0.1097 | 0.4641             | 0.1935 | 0.1137 |
| KTUN2               | 0.5002 | 0.2531 | 0.1309 | 0.5139             | 0.2621 | 0.1375 |
| KTUN3               | 0.6054 | 0.2896 | 0.2284 | 0.6260             | 0.3039 | 0.2435 |
| CORS - Güney engeli |        |        |        | CORS - Doğu engeli |        |        |
| NOKTA               | X (m)  | Y (m)  | Z (m)  | X (m)              | Y (m)  | Z (m)  |
| KTUN1               | 0.4594 | 0.1919 | 0.1112 | 0.4633             | 0.1942 | 0.1123 |
| KTUN2               | 0.5046 | 0.2570 | 0.1319 | 0.5199             | 0.2672 | 0.1419 |
| KTUN3               | 0.6202 | 0.3009 | 0.2399 | 0.6354             | 0.3107 | 0.2471 |

**Çizelge 4.21.** 6 Kasım verilerinin 10 dakika aralığında K-G-D-B yönünde engel olduğu varsayılan sonuç koordinatlar ile değerlendirilmesi

| CORS - Kuzey engeli |        |        |        | CORS - Batı engeli |        |        |
|---------------------|--------|--------|--------|--------------------|--------|--------|
| NOKTA               | X (m)  | Y (m)  | Z (m)  | X (m)              | Y (m)  | Z (m)  |
| KTUN1               | 0.4900 | 0.2027 | 0.1268 | 0.5434             | 0.2581 | 0.1629 |
| KTUN2               | 0.4591 | 0.2007 | 0.0914 | 0.5159             | 0.2476 | 0.1248 |
| KTUN3               | 0.6676 | 0.3342 | 0.2739 | 0.6587             | 0.3279 | 0.2629 |
| CORS - Güney engeli |        |        |        | CORS - Doğu engeli |        |        |
| NOKTA               | X (m)  | Y (m)  | Z (m)  | X (m)              | Y (m)  | Z (m)  |
| KTUN1               | 0.4852 | 0.2091 | 0.1497 | 0.5260             | 0.2519 | 0.1664 |
| KTUN2               | 0.4820 | 0.2370 | 0.1366 | 0.4571             | 0.2175 | 0.1007 |
| KTUN3               | 0.6307 | 0.2999 | 0.2507 | 0.5935             | 0.2747 | 0.2298 |

Bu tablolardan da görüleceği gibi, Ağ-RTK ölçülerinin birkaç epok yapıldığı dikkate alınır, bu farkların teoriye uygun olarak beklendiği gibi elde edildiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle, Ağ-RTK ölçüleri yapılırken mutlaka uydu geometrisi dikkate alınarak uygun zaman aralıklarında yapılması esas olmalıdır.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

GNSS uydu dağılımının statik GNSS ölçülerinde ve gerçek zamanlı konum belirlemedeki önemini ifade eden bu tez çalışması kapsamında yapılan sayısal uygulama ile elde edilen koordinatlar farklı senaryolar çerçevesinde değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır. Bu çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşmak olanaklıdır:

Çok yüksek doğruluk isteyen jeodezik ve jeofizik amaçlı GNSS ölçü ve hesaplamalarında eğer birkaç saatlik statik ölçü yapılacaksa, uydu geometrisinin en iyi olduğu zaman dilimleri seçilmelidir. Ancak, deprem tahmini çalışmaları, temel jeodezik ağ kurulması ve datum belirleme gibi çalışmalarda statik ölçüler 12 saat ve üzeri sürelerle (genelde 24 saat) yapıldığından sadece tek yönde (sadece Kuzey, sadece Güney vb.) bozulmuş olan uydu geometrisinin (başka bir ifadeyle, belirli doğrultuda engel bulunması durumu) sonuçlara etkisi göz ardı edilecek kadar azdır.

Statik GNSS ölçüleri, kısa süreler için (1 saatte az hızlı statik vb.) yapılacaksa, uydu geometrisinin uygun olduğu zaman dilimlerinde ölçülerin yapılması önemlidir. Tez çalışmasındaki örnek hesaplamalardan da görüleceği gibi, olması gereken değerlerden olan farklar 10 cm'ye kadar artabilmektedir.

Günümüzde, ülkemiz dahil bir çok ülkede artık pratik haritacılık ölçmelerinde Ağ-RTK yöntemi kullanılmaktadır. Ağ-RTK yönteminde birkaç epokluk ölçülerle yetinilmektedir. Dolayısıyla, uydu geometrisi veya daha açık bir ifadeyle ölçü noktası etrafında belirli doğrultuda uydu sinyallerini kesen engellerin olması durumunda, çok kötü sonuçların elde edilebileceği bu tez çalışması ile gösterilmiştir. Bu nedenle, Ağ-RTK ölçüleri yapılırken mutlaka arazi öncesi ölçü planlaması yapılarak, en uygun uydu geometrisinin olduğu (dolayısıyla en küçük DOP değerlerinin olduğu) zaman dilimlerinin seçilmesi önemlidir. Bunu yaparken de ölçü yapılacak ve/veya arazide yeni tesis edilecek noktalar için mutlaka uydu engel grafiklerinin hazırlanarak sonraki kullanımlar için de arşivlenmesinde ve sürekli güncellenmesinde yarar vardır.

**KAYNAKLAR**

- Angrisano A., Gaglione S., Gioia C., Massaro M., Robustelli U., 2013, Assessment of NeQuick Ionospheric Model for Galileo Single-Frequency Users, *Acta Geophysica*, vol. 61, no. 6, pp. 1457-1476, DOI: 10.2478/s11600-013-0116-2
- Babayyo A., Abubakar T., Umar S. (2017). Time Optimization for GPS Observation using GNSS Planning, Department of Surveying and Geoinformatics Federal Polytechnic Bauchi, Nigeria.
- Baysal E., 2008, Jeodezik Uygulamalarda Tek Frekanslı GPS Alıcılarının Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Borre K, Akos DM, Bertelsen N, Rinder P, Jensen SH. A Software-Deined GPS and Galileo Receiver a Single-Frequency Approach. Boston: Birkha"user Boston; 2007
- Bose A., 1997, A Study On GPS PDOP And Its Impact On Position Error, *Indian Journal of Radio and Space Physics*, vol. 26, pp.107-111
- Brown, N., Troyer, L., Zelzer, O., van Cranenbroek, J.: Advances in RTK and Post Processed Monitoring with Single Frequency GPS. *Journal of Global Positioning Systems*, Vol. 5, No. 1-2: pp.145-151, USA, 2006.
- Cai, C., 2009. Precise point positioning using Dual-Frequency GPS and GLONASS measurements, Master thesis, University of Calgary, Calgary
- Corvallis. 2000. Introduction to Global Positioning System for GIS and Traverse. Corvallis, USA: Corvallis Microtechnology, Inc. 413 S.W Jefferson Avenue.
- Daneshmand S, Broumandan A, Sokhandan N, Lachapelle G. GNSS multipath mitigation with a moving antenna array. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*. 2013;49(1):693-698
- Dutt V.B.S.I., Rao G.S.B., Rani, S.S., Babu S.R., Goswami R., Kumari C. U., 2009, Investigation of GDOP for Precise user Position Computation with all Satellites in view and Optimum four Satellite Configurations, *J. Ind. Geophys. Union*, Vol 13, No.3, pp.139-148
- Guochang Xu, *GPS Theory, Algorithms and Applications*, Second Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007
- Heselton R.R., (1998), Elevation Effects on GPS Positional Accuracy, Master thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia
- Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E., *GNSS – Global Navigation Satellite Systems (GPS, GLONASS, Galileo, and more)*, SpringerWienNewYork, 2008, Austria

- Kahveci M., Gerçek Zamanlı Ulusal Sabit GNSS (CORS) Ağları ve Düşündürdükleri, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2009, Sayı 100
- Kahveci M., Karagöz H., Selbesoğlu M. O., 2011, Statik ve RTK GNSS Ölçüm ve Hesaplamalarının Karşılaştırılması, HKMO Jeodezi ve Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2011/1, Sayı 104
- Kahveci M., (2017). Kinematik GNSS ve RTK Cors Ağları, 2. Basım, Nobel Yayıncılık, Ankara.
- Kahveci M., Yıldız F., Uydularla Konum Belirleme Sistemleri (GNSS): Teori-Uygulama, 10.basım, Nobel Yayıncılık, 2018, Ankara
- Krauter A., Role Of The Geometry In Gps Positioning, Department of Surveying Technical University of Budapest, 1998, Budapest, Hungary
- Langey R.B., (1999). Dilution of Precision, GPSWORLD, may1999, University of New Brunswick
- Leica Infinity version 3.0 Switzerland
- Mader GL (1999): GPS antenna calibration at the National Geodetic Survey. GPS Solutions, 3(1): 50–58.
- Meneghini C., Parente C., 2017, Advantages of Multi GNSS Constellation: GDOP Analysis for GPS, GLONASS and Galileo Combinations, International Journal of Engineering and Technology Innovation, vol.7, no. 1, pp. 01-10
- Opaluwa Y., Abazu C. I., Okorochoa C. V., Odumosu J., 2015, The Effect Of Gps Satellite Geometry On The Precision Of Dgps Positioning In Minna, Nigeria, Jurnal , Teknologi, Department of Surveying & Geoinformatics, Federal University of Technology Minna, Nigeria
- Rita, D., (2003). Civil Gps service interference, United State: Us Department Of Homeland Security, Coastland Navigation Center.
- Santerre R., 1991, Impact Of GPS Satellite Sky Distribution, Manuscripta Geodaetica, (1991) 16: 28-53, Springer Verlag, Canada
- Teng Y., Wang J., 2014, New Characteristics of Geometric Dilution of Precision (GDOP) for Multi-GNSS Constellations, The Journal Of Navigation, 67, 1018-1028
- Uludağ M., 2012, Mevsimsel Değişimlerde Gps Konum Doğruluğunun Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Yalçın B., İnal C., Kalaycı İ., Gps Ölçü Süresinin Nokta Konum Doğruluğu İle İlişkisi, S.Ü. Müh.- Mim. Fak. Dergisi., c.23, s.1, 2008

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : İlknur MUTLU  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : 15.08.1992  
**Telefon** : 0542 276 95 91  
**Faks** :  
**E-Posta** : [mutluilknur@hotmail.com](mailto:mutluilknur@hotmail.com) / [ilknur.mutlu42@gmail.com](mailto:ilknur.mutlu42@gmail.com)

### EĞİTİM

| Derece        | Adı                    | İlçe      | İl      | Bitirme Yılı |
|---------------|------------------------|-----------|---------|--------------|
| Lise          | : İsmet İnönü E.M.L    | Seyhan    | Adana   | 2011         |
| Üniversite    | : Erciyes Üniversitesi | Melikgazi | Kayseri | 2017         |
| Yüksek Lisans | :                      |           |         |              |
| Doktora       | :                      |           |         |              |

### İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl | Kurum | Görevi |
|-----|-------|--------|
|     |       |        |

### UZMANLIK ALANI

**YABANCI DİLLER** İngilizce (Intermediate)

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

### YAYINLAR

Mutlu İ., Kahveci M., 2019, GNSS Uydu Dağılımının Gerçek Zamanlı Kinematik GNSS ve Ağ-RTK Ölçülerindeki Önemi, Geomatik Dergisi