

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRÜ İHALAR İÇİN HAVERSİNE MESAFESİ
TRİLATERASYONU İLE KONUMLANDIRMA SİSTEMİNİN
GERÇEKLENMESİ

HÜSEYİN ALKAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2018

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRÜ İHALAR İÇİN HAVERSİNE
MESAFESİ TRİLATERASYONU İLE
KONUMLANDIRMA SİSTEMİNİN
GERÇEKLENMESİ

HÜSEYİN ALKAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. HASARİ ÇELEBİ

GEBZE
2018

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

**THE IMPLEMENTATION OF
POSITIONING SYSTEM WITH
TRILATERATION OF HAVERSINE
DISTANCE FOR SWARM UAVS**

HÜSEYİN ALKAN
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
DEPARTMENT OF ELECTRONIC ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
ASSOC. PROF. HASARİ ÇELEBİ

GEBZE
2018



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 17/01/2018 tarih ve 2018/04 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 07/02/2018 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Hüseyin ALKAN'ın tez çalışması Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : DOÇ. DR. HASARİ ÇELEBİ

ÜYE

: DOÇ. DR. M. KEMAL ÖZDEMİR

ÜYE

: YRD. DOÇ. DR. KÖKSAL HOCAOĞLU

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

Doç. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU
Gebze Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada konumlandırma sistemi alanında yeni bir yaklaşım tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, önerdiğimiz yöntem küresel eşitlikler üzerinde bearing bilgisi olmadan alıcı konum ve mesafe bilgilerinin trilaterasyonu ile hedef konumunu hesaplamaktadır. Alıcı radyolar ile verici radyo arasında, alıcıda ölçülen RSSI değerinden elde edilen mesafe bilgisi, Haversin mesafesi eşitliği kullanılarak trilaterasyon matrisine aktarılmıştır. Dış ortam konumlandırmasında, verici ve alıcıların konumlarının GNSS verisi ile tanımlandığı durumda, iki noktanın enlem ve boylam bilgileri kullanılarak hesaplanan Haversin mesafesi, bilinmeyen noktanın hesabı için kullanılmıştır. Dünyanın eliptik yapısında uzun mesafelerde, mesafe bilgisinin düzlemsel formüller ile hesaplanması durumunda oluşacak hata önerilen yaklaşım sayesinde ortadan kaldırılmış olacaktır. Referans Radyo Modülleri elde ettikleri RSSI ve GNSS bilgilerini telemetri linki üzerinden Ana Kontrol Birimine göndermektedir. Ana Kontrol Birimi, Haversin mesafesi eşitliğini kullanarak oluşturduğu trilaterasyon matrisini, Cramer matris kuralı ile çözerek hedef konumunu hesaplamaktadır. Gebze Teknik Üniversitesi yerleşkesi içerisinde altı noktada alınan ölçümler hem Euclidian mesafesi eşitliği üzerinden hem de Haversin mesafesi eşitliği üzerinden trilaterasyon matrisine aktarılmıştır. Matris üzerinden hesaplanan verici konumlarının, gerçek verici konumu ile sapması hesaplandığında her iki yaklaşımda da en iyi durum alındığında altı ölçümün ortalaması olarak Haversin mesafesi ile 55m, Euclidian mesafesi ile 80m sapma hesaplanmıştır. Alınan ölçümler ve hesaplamalar üzerinden, Haversin mesafesi ile elde edilen sonuçların, Euclidian mesafesine nazaran daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Konumlandırma, RSSI, Kosinüsün Küresel Yasası, Haversin Mesafesi, Trilaterasyon, Cramer Matris Kuralı.

SUMMARY

In this work, a new approach has been developed and implemented in the field of positioning system. Unlike the studies in the literature, our proposed method calculates the target position with the trilateration of the receiver location and distance information without bearing knowledge on spherical equations. The distance between the receiver radios and the transmitter radio, which is obtained from RSSI value of receiver modules, is transferred to the trilateration matrix using the Haversine distance equation. In the case of outdoor positioning, where the locations of the transmitter and receiver are defined by GNSS data, the Haversine distance formula, which is used to calculate distance from the latitude and longitude information of two points, is used to calculate the position of unknown point. In the elliptical form of the earth, the error that would occur if the distances were calculated with planar formulas would have been eliminated by the proposed approach. The Reference Radio Modules sends their GNSS and RSSI data to the Main Control Unit over a telemetry link. The Main Control Unit generates trilateration matrix using Haversine distance equations and solve that matrix with Cramer's matrices rule to calculate the position of the target. In the Gebze Technical University campus, the measurements are taken at six locations and then the measurements are transferred to the trilateration matrix via Euclidean distance equation and Haversine distance equation to compare the results. When calculating the amount of deviation between the calculated and the actual transmitter position, the deviation of the Haversine distance is calculated to be 55m and the Euclidean distance is calculated to be 80m for the average of the six measurements under the best case. It has been observed through the measurements and calculations that the results obtained with Haversin distance are better than the Euclidian distance.

Key Words: Localization, RSSI, Spherical Law of Cosine, Haversine Distance, Trilateration, Cramer Matrices Rule.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışmanım Doç. Dr. Hasari ÇELEBİ'ye,

Tez çalışmalarım boyunca yanımda olan, değerli vakitlerini benimle paylaşan değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Furkan TEKTAŞ ve Arş. Gör. Ahmet SOYYİĞİT'e,

Yüksek lisans ve tez çalışmalarım süresince hep yanımda olan ve beni destekleyen sevgili eşim Burcu ALKAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
2. FRIİS İLETİM DENKLEMİ	3
2.1. Alınan Sinyal Gücü Seviyesinin Bulunması	3
2.2. Yol Kaybı Değerinin Bulunması	6
2.3. Yol Kaybı Katsayısının Bulunması	8
2.4. Alıcı-Verici Arası Mesafenin Bulunması	8
3. KÜRESEL KOSİNÜS YASASI	9
3.1. Genel Kosinüs Yasası	9
3.2. Küresel Kosinüs Yasasının Türetilmesi	10
4. TRİLATERASYON MODELİ	14
4.1. Alıcı ve Vericilerin Konumlandırılması	14
4.2. Cramer Matris Kuralı	15
4.3. HME Trilaterasyonunun Doğrulanması	18
5. KONUM KESTİRİMİ	20
5.1. Ölçümde Kullanılan Donanımlar	20
5.1.1. BiM1H-145.825 Radyo Modül	20
5.1.2. ADS1115 ADC Modül	22
5.1.3. Raspberry Pi 3 Modülü	22
5.1.4. XBIB-U-SS Telemetry Modülü	23
5.2. Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi	24
5.3. ADC Örnek Sayısının Değerlendirilmesi	34

6. SONUÇLAR VE YORUMLAR	37
KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	42
EKLER	43

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
A_e	: Alıcı anten etkin anten açıklığı
c	: Işığın boşluktaki hızı
d	: Küre yüzeyinde alıcı verici arası en kısa mesafe
d'	: Doğru üzerinde alıcı verici arası en kısa mesafe
dBm	: Desibel
D	: Anten uzunluğu
f	: Frekans
G_{rx}	: Alıcı anten kazancı
G_{tx}	: Verici anten kazancı
Hz	: Hertz
n	: Yol kaybı katsayısı
PL_d	: d mesafesi için yol kaybı
P_{rx}	: Alınan işaret gücü
P_{tx}	: Verici çıkış gücü
λ	: (lambda) İşaretin dalga boyu
ρ	: (ro) Verici anten birim yüzey güç yoğunluğu
AKB	: Ana Kontrol Bilgisayarı
AOA	: Angle of Arrival (Varış Açısı)
EME	: Euclidian mesafesi eşitliği
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
HME	: Haversin mesafesi eşitliği
İHA	: İnsansız hava aracı
RRM	: Referans Radyo Modül
RSSI	: Received Signal Strength Indicator
TOA	: Time of Arrival (Varış Zamanı)
TDOA	: Time Difference of Arrival (Varış Zamanı Farkı)
VHF	: Very High Frequency (Çok Yüksek Frekans)

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Friis iletim denklemi bileşenleri.	3
2.2: a) İzotropik anten Matlab kodları, b) Monopol anten Matlab kodları.	5
2.3: İzotropik ve Monopol anten modelleri.	5
3.1: a) Genel kosinüs yasası üçgeni, b) 90 derece için Pisagor teoremi.	9
3.2: Düzlemsel kosinüs mesafesi trilaterasyon hesabı.	10
3.3: Küre üzerinde en kısa mesafenin hesaplanması.	11
4.1: Hedef ile RRM'lerin izdüşüm konumları.	14
4.2: Hedef ve RRM'lerin konumlandırılması ve link tanımları.	15
4.3: Test noktalarının yerleşimi ve mesafe bilgileri.	19
5.1: BiM1H-145.825 alıcı-verici modülü.	20
5.2: BiM1H modülünün verici olarak kullanılması.	21
5.3: ADS1115 analog dijital dönüştürücü.	22
5.4: Raspberry Pi 3 geliştirme kartı ve G/Ç portları.	23
5.5: Digi XBIB-U-SS 868MHz telemetri modülü.	24
5.6: AKB ve RRM3 ölçüm yerleşimi.	25
5.7: BiM1H ADC voltaj değeri ile RSSI (dBm) değeri oranı.	25
5.8: Mesafeye bağlı ADC voltajı değişim grafiği.	26
5.9: Alıcı verici arası d mesafesine bağlı yol kaybı – RSSI ilişkisi.	28
5.10: A noktası için ölçülen sinyal seviyeleri.	30
5.11: B noktası için ölçülen sinyal seviyeleri.	30
5.12: C noktası için ölçülen sinyal seviyeleri.	31
5.13: D noktası için ölçülen sinyal seviyeleri.	31
5.14: E noktası için ölçülen sinyal seviyeleri.	32
5.15: F noktası için ölçülen sinyal seviyeleri.	32
5.16: Beş örnek ortalamalı konum hesabı dağılımı	35
5.17: HME ve EME hesabı noktalarının harita üzerinde gösterimi.	36
6.1: Her bir noktaya ait konum sapma miktarı.	37
6.2: HME ile hesaplanan altı noktanın ortalama hata grafiği.	38
6.3: EME ile hesaplanan altı noktanın ortalama hata grafiği.	38

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Ortama bağlı yol kaybı katsayısı değeri.	8
4.1: Test için kullanılan nokta konumları.	19
5.1: BiM1H-145.825 teknik özellikleri.	21
5.2: Ölçümde kullanılan parametreler.	27
5.3: RRM ve ölçüm alınan hedef konum bilgileri.	29
5.4: RRM'lerde elde edilen ölçüm bilgileri.	33
5.5: HME ile hesaplanan hedef konumları ve sapma miktarı.	34
5.6: EME ile hesaplanan hedef konumları ve sapma miktarı.	34

1. GİRİŞ

Konumlandırma, dijital çağa geçtiğimiz bu dönemde sadece bir mühendislik çalışma konusu olmayıp günlük hayatın bir parçası haline gelmiştir ve kablosuz sistemlerde konumlandırma gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Verici konumunun tespiti, askeri alanda tehdit pozisyonunun tespiti için, acil durumlarda müdahale hızını arttırmak için ve sivil kullanımda servis kalitesini arttırmak için uygulanabilir niteliktedir.

Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System, GNSS) veya daha çok bilinen ismiyle Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System, GPS), hemen hemen bütün telefonlarda, kara, hava ve deniz araçlarında ve IoT cihazlarda konum bilgisinin alınması için kullanılmaktadır[1]. Benzer şekilde GSM ağı üzerinde, baz istasyonları servis verdikleri mobil aygıtların konumlarını hesaplayabilmektedir[2].

Dış ortamdan farklı olarak bina içerisinde, kapalı alan kablosuz konumlandırma uygulamalarında Wi-Fi, RFID veya Bluetooth sinyalleri üzerinden konum hesabı yapılmaktadır[3], [4]. Başta hastane, okul ve otoparklar olmak üzere kapalı ortam konumlandırmasında, düşük güç tüketen sistemler kullanılmaktadır.

Konum kestiriminde kullanılan argümanlar, alıcı ve verici arasındaki sinyalin; zaman, frekans, açı veya seviye değerleridir. Varış Süresi (Time of Arrival, TOA), işaretin vericiden alıcıya gelme süresini temsil etmektedir. Varış Süresi Farkı (Time Difference of Arrival, TDOA), TOA'ya benzer şekilde alıcı verici arasındaki senkron sinyalin süre farkı üzerinden tanımlanmıştır[5]. Varış Açısı (Angle of Arrival, AOA), vericiden yayılan sinyalin alıcılara geliş açısının konum kestirimi için kullanıldığı modeldir[6]. Varış Frekansı (Frequency of Arrival, FOA), uydu sistemlerinde, hareketli vericiden kaynaklanan Doppler kaymasının işaret frekansına etkisi üzerinden konumlandırma yapılması için tanımlanmıştır[7]. Alınan İşaret Seviyesi (Received Signal Strength Indicator, RSSI), alıcıda elde edilen işaret gücü üzerinden konumlandırma yapılan modeldir.

Alıcıda zamana bağlı konumlandırma için referans saat senkronizasyonu, açığa bağlı konumlandırma için ise yönlü dizi antenlere ihtiyaç vardır. Alıcı işaret seviyesi için alıcıda alınan işaret seviyesini ölçecek birime ihtiyaç vardır ve genellikle bütün alıcılarda analog veya sayısal olarak işaret gücü ölçülmektedir.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İeriği

Günümüzde dış ortamda konumlandırma çoğunlukla GNSS üzerinden yapılmaktadır. GNSS, orta uydu yörüngesindeki GPS, GLONASS veya Galileo gibi farklı ülkelere ait uydu sistemleri üzerinden servis vermektedir. Sivil kullanımda GNSS üzerinden birkaç metreye kadar sapma ile konum bilgisi elde edilmektedir.

GSM sistemlerinde baz istasyonları konumu sabit olduğundan, çekim alanı içerisindeki bazı mobil cihazların konumu hesaplanırken, istasyonların hedef cihaz etrafındaki konumları ölçüm için gerekli dağılımda olmadığı durum için hata oranı artmaktadır.

Bu tez kapsamında dış ortamda bulunan, hedef alan etrafında konumlandırılmış alıcı modüllerde elde edilen sinyal bilgisi üzerinden verici modül konum hesabı yapılması hedeflenmektedir. Dış ortamda, 25km^2 'lik alan içerisinde ve alıcı-verici modüller arasında LOS (Line of Sight) haberleşme kanalında RSSI değerine bağlı olarak konum kestirimi yapılacaktır. Alıcı modüllerde elde edilecek RSSI değerleri, Referans Radyo Modülü (RRM) ile Ana Kontrol Birimi (AKB) arasına kurulmuş telemetri kanalı üzerinden AKB'ye aktarılacaktır.

AKB, RRM'den elde edilen bilgileri ikinci bölümde belirtilen Friis Denklemi ile mesafe bilgisine dönüştürdükten sonra üçüncü bölümde tanımlanan küresel kosinüs yasasından türetilen Haversin mesafesi eşitliği (HME) kullanarak, dördüncü bölümde çözüm metodu tanımlanan trilaterasyon modeli ile hedef konumunu hesaplamaktadır[8].

Konum kestiriminin doğruluğu, RSSI değerinden elde edilen mesafe bilgisinin doğruluğuna ve mesafe bilgisi ile gerçekleştirilecek trilaterasyon modelinin hassasiyetine bağlı olacaktır. Mevcut çalışmalarda mesafe bilgisi düzlemsel trigonometrik denklemler üzerinden trilaterasyon modelinde kullanılır iken bu çalışmada dünyanın eliptik yüzeyi için kullanılan ve küresel kosinüs denkleminde elde edilen HME kullanılmıştır. Çalışma, Sürü İHA'lar üzerinden hedef konum tespitinin uzun mesafelerde daha az hata ile ve daha hızlı hesaplanması için gerçekleştirilmiş ve test edilmiştir.

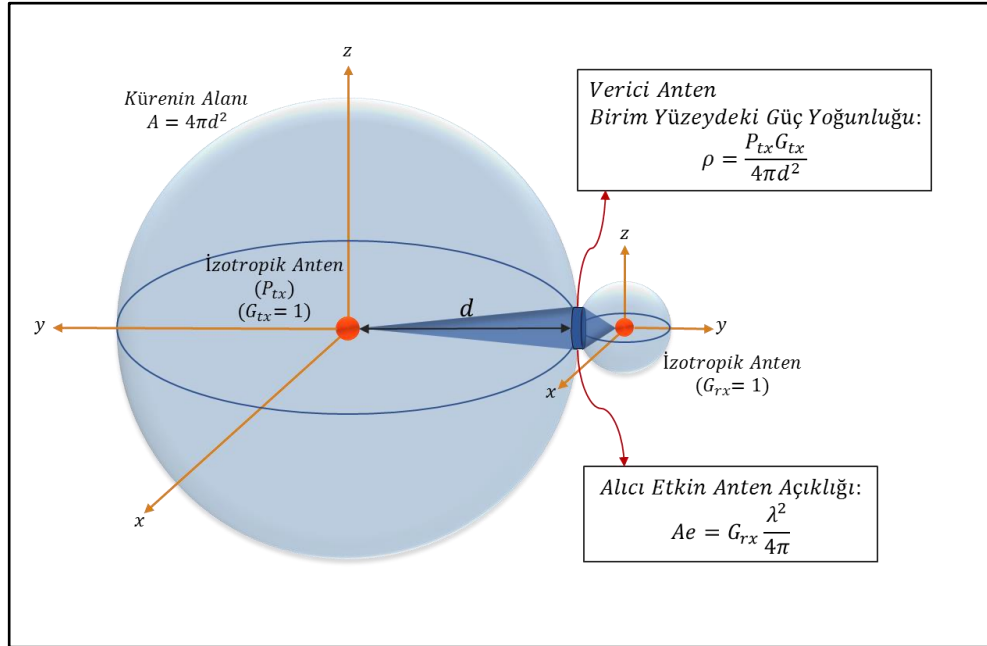
Beşinci başlık altında yapılan ölçümlerin çıktıları hesaplanmış ve altıncı bölümde konum kestirim işleminin sonuçları incelenmiştir.

2. FRIİS İLETİM DENKLEMİ

Hedef ile RRM arasındaki mesafe bilgisini elde etmek için, kablosuz haberleşmede alıcı verici arasındaki sinyal seviyesinin mesafeye bağımlığını gösteren Friis Denklemi elde edilmelidir[9]. Friis denkleminin ilk adımı, izotropik verici antenin her yöne eşit yoğunlukta ışıma yaptığı durum için, verici antenden d mesafesi kadar uzaktaki güç yoğunluğunun P_{tx} toplam verici gücüne, G_{tx} verici anten kazancına ve mesafeye bağlı olarak bulunmasıdır.

2.1. Alınan Sinyal Gücü Seviyesinin Bulunması

İzotropik verici antenden d mesafesi kadar uzaklıkta birim yüzey alanı için oluşan ρ güç yoğunluğu Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Friis iletim denklemi bileşenleri.

Denklem (2.1)’de verici anten güç yoğunluğu gösterilmiştir.

$$\rho = G_{tx} \frac{P_{tx}}{4\pi d^2} \quad (2.1)$$

Alıcı antende alınan güç, Etkin Anten Açıklığı değerine bağlıdır. Etkin Anten Açıklığı, alınan işaretin dalga boyuna ve alıcı anten kazancına bağlıdır.

Şekil 2.1 üzerinde alıcı antene ait A_e , etkin anten açıklığı Denklem (2.2)'deki gibi tanımlanmıştır.

$$A_e = G_{rx} \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (2.2)$$

Bu durumda, d mesafesindeki alıcı antende alınan güç, verici anten güç yoğunluğu ile alıcı anten etkin anten açıklığının çarpımı ile bulunur.

$$P_{rx} = \rho * A_e \quad (2.3)$$

İzotropik anten üzerinde $G_{tx} = 1, G_{rx} = 1$ olduğundan, alıcı antende elde edilen güç Denklem (2.4)'deki gibi tanımlanır.

$$P_{rx} = P_{tx} \frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (2.4)$$

İzotropik anten teorik olarak tanımlanmış antenlerdir ve bütün yönlerde 0dBm kazanç ile ışıma yaptıkları varsayılır. Pratikte kullanılan antenler belirli yönlerde hüzmeleri yönlendirilmiş olarak tasarlanır ve kazançları anten türüne ve hüzmeye yapısına bağlı olarak değişir.

Şekil 2.3 üzerinde, Matlab yazılımı üzerinde izotropik ve monopol anten'e ait 3 boyut ve elevasyon açısı için ışıma ve kazanç grafikleri verilmiştir.

İzotropik anten 3 boyut ve elevasyon açısı grafikleri Şekil 2.2.a)'daki bilgiler ile, Monopol anten 3 boyut ve elevasyon açısı grafikleri Şekil 2.2.b)'deki bilgiler ile üretilmiştir.

```

fc = 145.825e6; %MHz
iso = phased.IsotropicAntennaElement('FrequencyRange',[50e6 250e6],'BackBaffled',false);
pattern(iso,fc,[-180:180],[-90:90],'CoordinateSystem','polar','Type','power');
patternElevation(iso,fc,[-45 0 45]);

```

a)

```

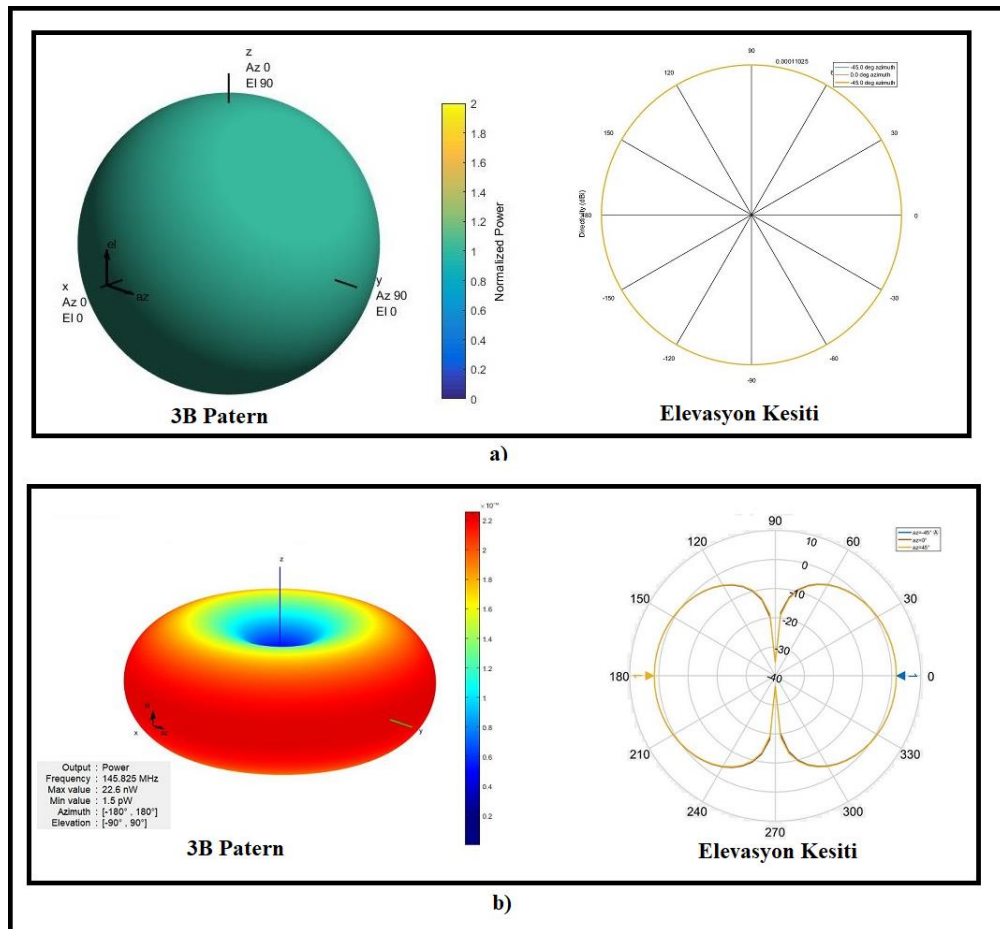
fc = 145.825e6; %MHz
mono = monopole('Height',0.182,'Width',0.016,'GroundPlaneLength',0.5,'GroundPlaneWidth',0.5);
pattern(mono,fc,[-180:180],[-90:90],'CoordinateSystem','polar','Type','power');
patternElevation(mono,fc,[-45 0 45],'Elevation',-180:5:180);

```

b)

Şekil 2.2: a) İzotropik anten Matlab kodları, b) Monopol anten Matlab kodları.

Şekil 2.3.a) üzerinde izotropik antenin 360 derece eşit yoğunlukta ışıma yaptığı buna karşılık Şekil 2.3.b)'de monopol antenin 0 derece elevasyon açısında azami yoğunlukta ışıma yaparken 90 ve -90 derece ışıma yapmadığı görülmektedir.



Şekil 2.3: a) İzotropik anten modelleri, b) Monopol anten modelleri.

Pratikte kullanılan antenler belirli yönlerde hüzmeleri yönlendirilmiş olarak tasarlanır ve kazançları $G_{tx} \geq 1$, $G_{rx} \geq 1$ olarak alınır. Bu şekilde alıcı antendeki alınan işaret gücü Denklem (2.5) şeklinde olur.

$$P_{rx} = P_{tx} G_{tx} G_{rx} \frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (2.5)$$

Bu ifade logaritmik düzlemde dBm cinsinden;

$$P_{rx}(dBm) = P_{tx}(dBm) + G_{tx}(dBi) + G_{rx}(dBi) - 20\log\left(\frac{4\pi f d}{c}\right) \quad (2.6)$$

şeklinde gösterilebilir. Burada $20\log\left(\frac{4\pi f d}{c}\right)$ ifadesi yol kaybı olarak değerlendirilir.

RSSI bir Radyo Frekans (RF) terimidir ve alıcıda alınan sinyal seviyesi göstergesi olarak tanımlanır. 1mW referans alınarak dBm cinsinden gösterilir. Friis denkleminde faydalanılarak RSSI değeri, d mesafesine ve yol kaybı (path loss) faktörüne bağlı olarak Denklem (2.7)'deki gibi hesaplanır.

$$RSSI = 10\log\left(\frac{P_{rx}}{P_{ref}}\right), \quad P_{ref} = 1mW \quad (2.7)$$

$$RSSI = P_{rx}(dBm) = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} - PL_d(dBm)$$

2.2. Yol Kaybı Değerinin Bulunması

Kablosuz sistemlerde yol kaybı, işaret frekansına, alıcı verici arasındaki mesafeye ve iletim ortamını tanımlayan yol kaybı katsayısına bağlıdır. $d \geq d_0$ olmak üzere d mesafesinde hesaplanan logaritmik yol kaybı;

$$\begin{aligned}
PL_d(dBm) &= 10\log\left(\frac{(4\pi f)^2}{c^2} * d^2\right) \\
&= 10\log\left(\left(\frac{4\pi f d_0}{c}\right)^2 * \left(\frac{d}{d_0}\right)^2\right) \\
&= PL_{d_0} + 10n\log\left(\frac{d}{d_0}\right)
\end{aligned} \tag{2.8}$$

Burada PL_{d_0} , d_0 mesafesinde ölçülen yol kaybı değeridir. d_0 mesafesinden alınan referans yol kaybı ölçümü Fraunhofer bölgesi içinde olmak kaydı ile verici antene yakın bir mesafeden alınır[10].

Fraunhofer Bölgesi, D verici anten uzunluğu olmak üzere, Denklem (2.9)'daki gibi tanımlanır. R mesafesi, anten uzunluğunun karesi ile iletilen işaretin dalga boyuna bağlıdır. Referans ölçümün geçerli olabilmesi için $d_0 > R$ şartının sağlanması gerekir.

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \tag{2.9}$$

d_0 referans noktası bina içi ölçümlerde 1m seçilir iken dış ortam ölçümlerinde 100m veya 1km olarak seçilir.

PL_d eşitliğini yerine koyduğumuzda, RSSI değeri Denklem (2.10)'daki gibi gösterilir.

$$RSSI = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} - PL_{d_0} - 10n\log\left(\frac{d}{d_0}\right) \tag{2.10}$$

Denklem (2.10) üzerinde değerleri sabit olan parametreleri tek bir A sabiti olarak tanımlarsak, RSSI eşitliği Denklem (2.11)'deki gibi olur.

$$RSSI = A - 10n\log\left(\frac{d}{d_0}\right) \tag{2.11}$$

Denklem (2.11) üzerinden iki eşitlik türetebiliriz, birincisi iletim ortamı için kullanılacak n yol kaybı katsayısı eşitliği ve diğeri alıcıda ölçülen RSSI değerine bağlı olarak d alıcı verici arası mesafe eşitliği.

2.3. Yol Kaybı Katsayısının Bulunması

n yol kaybı katsayısı, ölçüm alınacak ortamda, referans mesafede alınan ölçüme bağlı A sabiti ve $d \neq d_0$ olmak üzere d mesafesinden alınacak RSSI ölçümü farkı üzerinden hesaplanabilir. Ölçüm alınan ortama göre değişen yol kaybı katsayısı değerleri Tablo 2.1’de gösterilmiştir[11].

Tablo 2.1: Ortama bağlı yol kaybı katsayısı değeri.

Ortam	Yol Kaybı Katsayısı (n)
Boş Uzay	2.0
Kentsel Alan	2.7 ile 3.5 arası
Kasaba Alanı	3 ile 5 arası
Bina İçi (LOS)	1.6 ile 1.8 arası

Denklem (2.12) kullanılarak, ölçüm alınacak ortam değişikliklerinde n yol kaybı katsayısı tekrar ölçülerek, d mesafesinin hesaplanmasında yol kaybı katsayısına bağlı oluşacak hata payı azaltılabilir.

$$n = \frac{A - RSSI}{10 \log \left(\frac{d}{d_0} \right)} \quad (2.12)$$

2.4. Alıcı-Verici Arası Mesafenin Bulunması

d mesafesinin hesabı, A sabiti, n yol kaybı katsayısı ve ölçülen RSSI değerine göre Denklem (2.13)’teki hesaplanır. Mesafe bilgisi daha sonra trilaterasyon modelinde kullanılarak hedef konumu hesabı yapılacaktır. RSSI hesabında kullanılan A sabiti, verici gücü ve kazancı, alıcı kazancı ve referans mesafeden ölçülmüş yol kaybı değerinin toplamı ile bulunur.

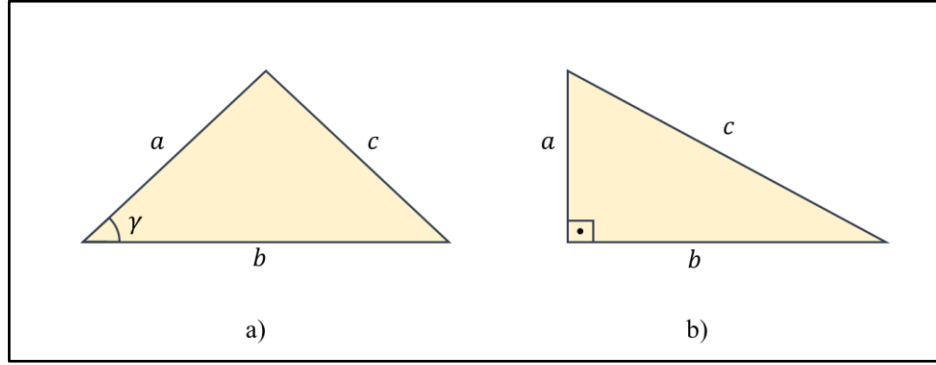
$$d = d_0 * 10^{\left(\frac{A - RSSI}{10n} \right)} \quad (2.13)$$

3. KÜRESEL KOSİNÜS YASASI

Konum kestiriminde kullanılan trilaterasyon metodunda genellikle düzlemsel kosinüs yasasının özelleştirilmiş hali olan Pisagor Teoremi eşitliği kullanılmaktadır.

3.1. Genel Kosinüs Yasası

Genel Kosinüs yasası, Şekil 3.1.a)'da gösterilen üçgen üzerinden tanımlanabilir. Bir kenarın uzunluğunu, o kenarın karşısındaki açı ve diğer iki kenar üzerinden hesaplanmasını tanımlar. Şekil 3.1.b)'de karşı açının 90 derece olduğu durum için oluşan özel durum gösterilmiştir.

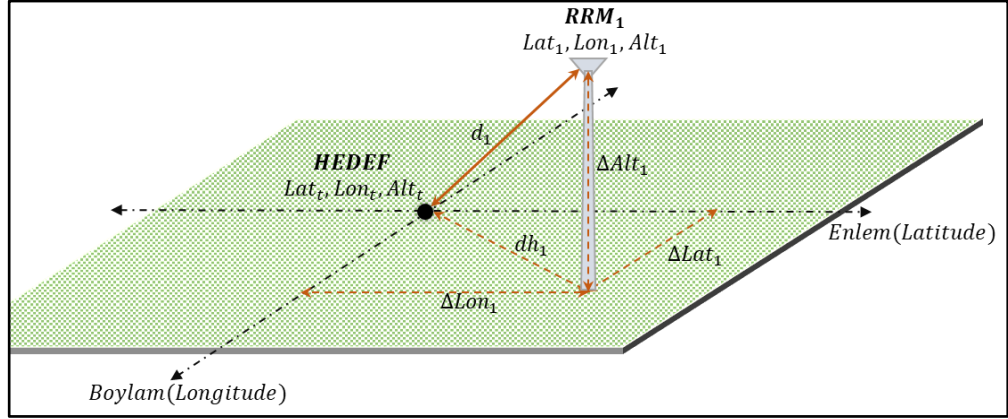


Şekil 3.1: a) Genel kosinüs yasası üçgeni, b) 90 derece için Pisagor teoremi.

Genel Kosinüs yasasında kullanılan eşitlik; $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma$ iken, aralarında 90 derece açı olan iki kenar için $c^2 = a^2 + b^2$ eşitliği yazılır. Pisagor teoreminin üç düzlem için yazılmış hali $c^2 = a^2 + b^2 + d^2$ şeklindedir.

Pisagor teoremi üzerinden elde edilen mesafeler Euclidian mesafesi olarak tanımlanır. Euclidian Mesafesi Eşitliğinden (EME) faydalanılarak gerçekleştirilen trilaterasyon modelinde, Şekil 3.2'de görüldüğü üzere Alıcı ile Verici arasındaki mesafelerinin x, y ve z bileşenlerinin karelerinin toplamı, hipotenüs'ün karesine eşit olacak şekilde her üç RRM için eşitlik yazılır ve bu eşitliğin çözümü ile hedef konum bilgileri elde edilir. Denklem (3.1)'de RRM1 için, RRM ile hedef arasındaki d_1 mesafesinin, RRM ve hedef'e ait Enlem, Boylam ve Yükseklik bileşenlerinin farklarının kareleri toplamına eşit olduğu gösterilmiştir.

$$d_1^2 = \Delta Lon_1^2 + \Delta Lat_1^2 + \Delta Alt_1^2 \quad (3.1)$$



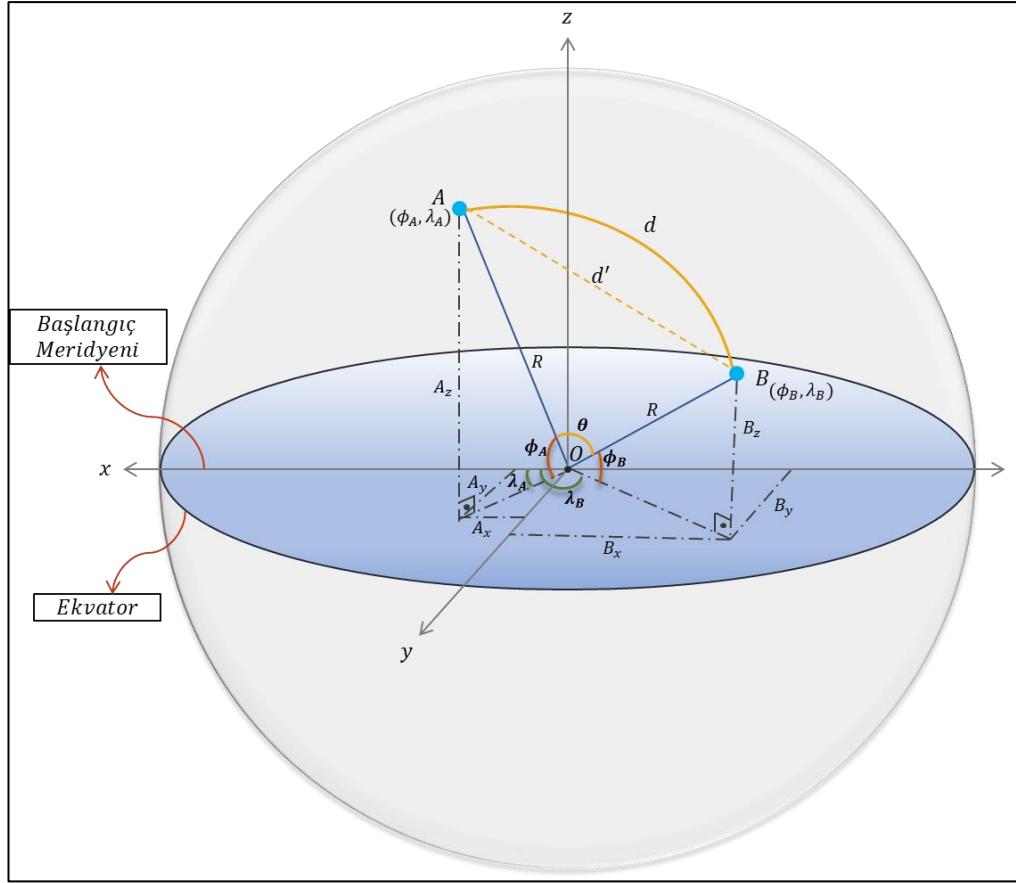
Şekil 3.2: Düzlemsel kosinüs mesafesi trilaterasyon hesabı.

Dış ortamda kısa mesafeler için düz zeminde yapılan ölçümler üzerinde trilaterasyon modelinde EME kullanılması hataya sebep vermezken, dünyanın eliptik yüzeyinde uzak mesafeler için aynı eşitliğin kullanılması hata üretecektir.

3.2. Küresel Kosinüs Yasasının Türetilmesi

GNSS sistemi kullanılarak elde edilen enlem, boylam ve yükseklik bilgileri WGS 84 (The World Geodetic System 1984) geoidi referans alınarak verilmiştir. WGS 84, dünya için tanımlanmış belirli ebat, şekil, yerçekimi ve jeomanyetik sabit parametreler ve modellerden oluşmaktadır[12].

Küresel düzlem üzerinde iki nokta arasındaki en yakın mesafeyi bulabilmek için Şekil 3.3 üzerinde d , d' ve θ arasındaki eşitlik çözülmelidir.



Şekil 3.3: Küre üzerinde en kısa mesafenin hesaplanması.

Şekil 3.3'te gösterilen yer küresi üzerinde A ve B noktasından geçen O merkezli d yayını içeren çember üzerinde, d yay uzunluğunu θ açısına bağlı olarak gösterimi;

$$d = \theta R, \quad \theta = \frac{d}{R} \quad (3.2)$$

şeklindedir. AOB üçgeni içerisinde, O noktasından AB kenarına çizilen dik kenardan faydalanılarak, d' kenarını θ açısına bağlı olarak veren eşitlik Denklem (3.3)'te verilmiştir.

$$d' = 2R \sin\left(\frac{\theta}{2}\right), \quad d' = 2R \sin\left(\frac{d}{2R}\right) \quad (3.3)$$

Benzer şekilde AOB üçgeni için, kenarlar arası eşitlik üzerinden d' mesafesi A ve B noktalarının enlem ve boylam değerlerine bağlı olarak gösterilebilir. Şekil 3.3

üzerinde, A ve B noktalarını x, y ve z düzlemine, enlem ve boylam değerleri kullanarak geçildiğinde, AOB üçgeni için Denklem (3.4)'te olduğu gibi Pisagor eşitliği uygulanır.

$$(d')^2 = (B_x - A_x)^2 + (B_y - A_y)^2 + (B_z - A_z)^2 \quad (3.4)$$

Denklem (3.4) üzerinde A ve B değişkenleri için Denklem (3.5)'te verilen eşitlikler yerine yazıldığında Denklem (3.6)'de görülen eşitlikler elde edilir.

$$\begin{aligned} A_x &= R \cos(\phi_A) \cos(\lambda_A), & B_x &= R \cos(\phi_B) \cos(\lambda_B) \\ A_y &= R \cos(\phi_A) \sin(\lambda_A), & B_y &= R \cos(\phi_B) \sin(\lambda_B) \\ A_z &= R \sin(\phi_A), & B_z &= R \sin(\phi_B) \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} (d')^2 &= (R \cos(\phi_B) \cos(\lambda_B) - R \cos(\phi_A) \cos(\lambda_A))^2 \\ &+ (R \cos(\phi_B) \sin(\lambda_B) - R \cos(\phi_A) \sin(\lambda_A))^2 \\ &+ (R \sin(\phi_B) - R \sin(\phi_A))^2 \end{aligned} \quad (3.6)$$

Denklem (3.6)'da d' değişkeni yerinde Denklem (3.3)'teki karşılığı yazıldığında Denklem (3.7) elde edilir.

$$\begin{aligned} 4R^2 \sin^2\left(\frac{d}{2R}\right) &= R^2 \cos^2(\phi_B) \cos^2(\lambda_B) + R^2 \cos^2(\phi_A) \cos^2(\lambda_A) \\ &- 2R^2 \cos(\phi_B) \cos(\lambda_B) \cos(\phi_A) \cos(\lambda_A) \\ &+ R^2 \cos^2(\phi_B) \sin^2(\lambda_B) + R^2 \cos^2(\phi_A) \sin^2(\lambda_A) \\ &- 2R^2 \cos(\phi_B) \sin(\lambda_B) \cos(\phi_A) \sin(\lambda_A) \\ &+ R^2 \sin^2(\phi_B) + R^2 \sin^2(\phi_A) - 2R^2 \sin(\phi_B) \sin(\phi_A) \end{aligned} \quad (3.7)$$

Denklem (3.7)'de, $\cos^2(\phi_B) + \sin^2(\phi_B) = 1$ ve $\cos^2(\phi_A) + \sin^2(\phi_A) = 1$ eşitlikleri ile $\cos^2(\phi_B) (\cos^2(\lambda_B) + \sin^2(\lambda_B)) = \cos^2(\phi_B)$ ve $\cos^2(\phi_A) (\cos^2(\lambda_A) + \sin^2(\lambda_A)) = \cos^2(\phi_A)$ eşitlikleri kullanıldığında Denklem (3.8) elde edilir.

$$\begin{aligned}
4 \sin^2 \left(\frac{d}{2R} \right) &= 2 - 2 \cos(\phi_B) \cos(\lambda_B) \cos(\phi_A) \cos(\lambda_A) \\
&\quad - 2 \cos(\phi_B) \sin(\lambda_B) \cos(\phi_A) \sin(\lambda_A) \\
&\quad - 2 \sin(\phi_B) \sin(\phi_A)
\end{aligned} \tag{3.8}$$

Denklem (3.8) üzerinde eşitliğin her iki taraf iki ile sadeleştirilip düzenlendiğinde Denklem (3.9)'da görülen eşitlik elde edilir.

$$\begin{aligned}
1 - 2 \sin^2 \left(\frac{d}{2R} \right) &= \cos(\phi_B) \cos(\lambda_B) \cos(\phi_A) \cos(\lambda_A) \\
&\quad + \cos(\phi_B) \sin(\lambda_B) \cos(\phi_A) \sin(\lambda_A) \\
&\quad + \sin(\phi_B) \sin(\phi_A)
\end{aligned} \tag{3.9}$$

Denklem (3.9) üzerinde $1 - 2 \sin^2 \left(\frac{d}{2R} \right) = \cos \left(\frac{d}{R} \right)$ eşitliği denklemin sol tarafı için yazıldığında Denklem (3.10)'da görülen Küresel Kosinüs Yasası elde edilir[13].

$$\begin{aligned}
\cos \left(\frac{d}{R} \right) &= \sin(\phi_B) \sin(\phi_A) + \cos(\phi_B) \cos(\lambda_B) \cos(\phi_A) \cos(\lambda_A) \\
&\quad + \cos(\phi_B) \sin(\lambda_B) \cos(\phi_A) \sin(\lambda_A)
\end{aligned} \tag{3.10}$$

Denklem (3.10)'da küresel koordinat düzlemindeki iki nokta arasındaki mesafe, noktaların koordinatlarına bağımlı olarak gösterilmiştir. Bu denklem üzerinde çeşitli dönüşümler yapıldığında “Haversine Distance” denklemi de elde edilebilir. Haversine Mesafesi denklemini elde etmek için, Denklem (3.11)'de verilen eşitlikler kullanıldığında Denklem (3.12) eşitliği elde edilir.

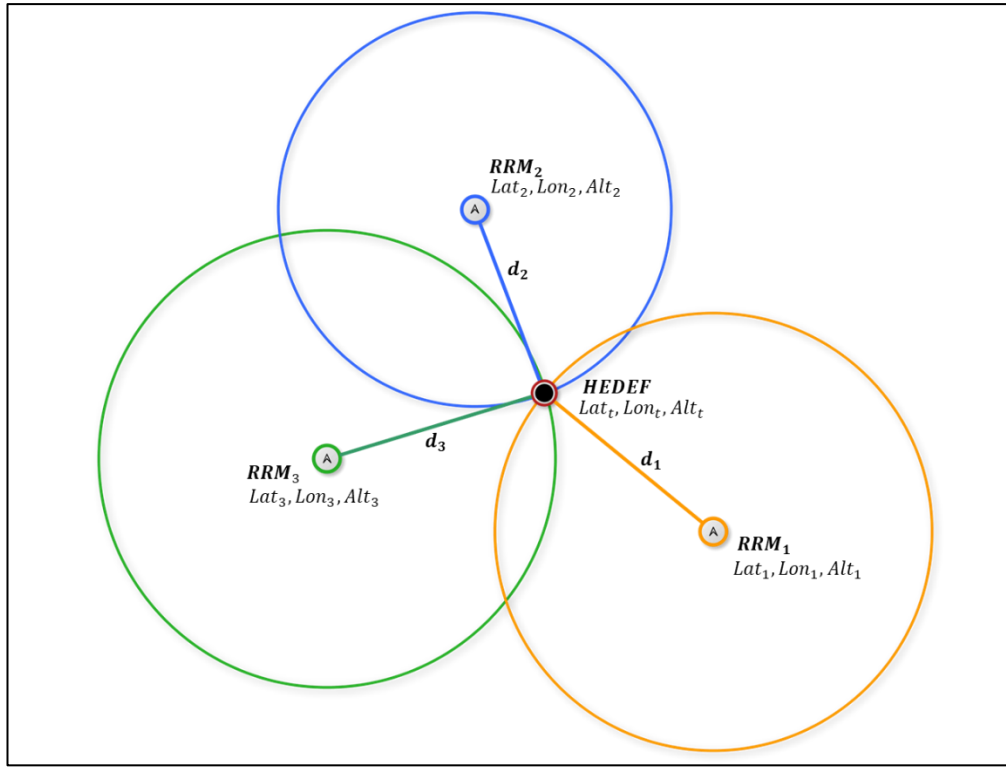
$$\text{haversine} \left(\frac{d}{R} \right) = \sin^2 \left(\frac{d}{2R} \right) = \left(\frac{1 - \cos \left(\frac{d}{R} \right)}{2} \right) \tag{3.11}$$

$$\begin{aligned}
\text{haversine} \left(\frac{d}{R} \right) &= \text{haversine}(\phi_B - \phi_A) \\
&\quad + \cos(\phi_B) \cos(\phi_A) \text{haversine}(\lambda_B - \lambda_A)
\end{aligned} \tag{3.12}$$

4. TRİLATERASYON MODELİ

4.1. Alıcı ve Vericilerin Konumlandırılması

Hedef etrafında dağılmış alıcılarda hesaplanan mesafe bilgisine bağlı olarak yapılan trilaterasyon işlemi, her bir alıcıya ait mesafe bilgisinin kesişim noktası hedef konumunun kestirimi için kullanılmaktadır. Şekil 4.1’de hedef etrafında dağılmış RRM’ler görülmektedir.



Şekil 4.1: Hedef ile RRM’lerin izdüşüm konumları.

Konumlandırma çalışması esnasında, alan etrafında yerleştirilen RRM’ler aynı yükseklikte konumlandırılarak irtifa farkından dolayı ortaya çıkacak mesafe farkı önlenir.

Hedef verici ile alıcı RRM’ler arasındaki haberleşme kanalı doğrudan görüş olan LOS (Line-of-Sight) kanalı olduğu varsayılmış ve yapılan ölçümler alıcı ile verici arasında fiziksel bir engel olmayan ortamda gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.2 üzerinde, RRM’lerin hedef üzerindeki dağılımını, Hedef ve RRM’lerin pozisyon bileşenleri ve konumlandırma için kullanılan hedef sinyali ve

işlenmesi basit aritmetik işlemlerden oluştuğundan, C dili ile kodlamaya olanak vermektedir. Dolayısıyla matris çözüm metodu olarak Cramer Matris Kuralı metodu seçilmiştir.

Denklem (3.10) üzerinde A ve B noktalarına ait eşitlikler, Şekil 4.2’de gösterilen hedef ile her bir RRM arasında ikili olarak tanımlandığında ve $1 \leq i \leq 3$ olmak üzere Denklem (4.1) elde edilir.

$$\cos\left(\frac{d_i}{R}\right) = \sin(lat_i) \sin(lat_t) + \cos(lat_i) \cos(lon_i) \cos(lat_t) \cos(lon_t) + \cos(lat_i) \sin(lon_i) \cos(lat_t) \sin(lon_t) \quad (4.1)$$

Denklem (4.1) üzerinde $\cos\left(\frac{d_i}{R}\right)$ ’yi R_i sabiti olarak, $\sin(lat_i)$ ifadesini A_i katsayısı olarak, $\sin(lat_t)$ ifadesini x olarak, $\cos(lat_i) \cos(lon_i)$ çarpımını B_i katsayısı olarak, $\cos(lat_t) \cos(lon_t)$ çarpımını y olarak, $\cos(lat_i) \sin(lon_i)$ çarpımını C_i katsayısı olarak ve $\cos(lat_t) \sin(lon_t)$ çarpımını z olarak tanımlandığı durumda, Denklem (4.2) elde edilir.

$$A_i x + B_i y + C_i z = R_i \quad (4.2)$$

Denklem (4.2)’nin her üç RRM için ayrı ayrı yazıldığı durumda Denklem (4.3)’de görülen üç eşitlik elde edilir.

$$\begin{aligned} A_1 x + B_1 y + C_1 z &= R_1 \\ A_2 x + B_2 y + C_2 z &= R_2 \\ A_3 x + B_3 y + C_3 z &= R_3 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Üç eşitliğin matris formunda gösterimi Denklem (4.4)’teki gibidir. x, y ve z değerlerini bulmak için Denklem (4.5)’teki matris ve determinant işlemleri uygulanır.

$$\begin{bmatrix} A_1 & B_1 & C_1 \\ A_2 & B_2 & C_2 \\ A_3 & B_3 & C_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

$$x = \frac{Det_x}{Det}, \quad y = \frac{Det_y}{Det}, \quad z = \frac{Det_z}{Det} \quad (4.5)$$

- $Det_A = A_1 * (B_2 * C_3 - B_3 * C_2)$
- $Det_B = B_1 * (A_2 * C_3 - A_3 * C_2)$
- $Det_C = C_1 * (A_2 * B_3 - A_3 * B_2)$

olmak üzere 3x3 matrise ait determinant Denklem (4.6) ile hesaplanır.

$$Det = Det_A - Det_B + Det_C \quad (4.6)$$

Matris üzerinde A sütunu ile R sütununu yer değiştirerek elde edilen yeni 3x3 matris üzerinde;

- $Det_{Ax} = R_1 * (B_2 * C_3 - B_3 * C_2)$
- $Det_{Bx} = B_1 * (R_2 * C_3 - R_3 * C_2)$
- $Det_{Cx} = C_1 * (R_2 * B_3 - R_3 * B_2)$

eşitlikleri kullanılarak Denklem (4.7) yazılır.

$$Det_x = Det_{Ax} - Det_{Bx} + Det_{Cx} \quad (4.7)$$

Matris üzerinde B sütunu ile R sütununu yer değiştirerek elde edilen yeni 3x3 matris üzerinde;

- $Det_{Ay} = A_1 * (R_2 * C_3 - R_3 * C_2)$
- $Det_{By} = R_1 * (A_2 * C_3 - A_3 * C_2)$
- $Det_{Cy} = C_1 * (A_2 * R_3 - A_3 * R_2)$

eşitlikleri kullanılarak Denklem (4.8) yazılır.

$$Det_y = Det_{Ay} - Det_{By} + Det_{Cy} \quad (4.8)$$

Benzer şekilde matris üzerinde C sütunu ile R sütununu yer değiştirerek elde edilen yeni 3x3 matris üzerinde;

- $Det_{AZ} = A_1 * (B_2 * R_3 - B_3 * R_2)$
- $Det_{BZ} = B_1 * (A_2 * R_3 - A_3 * R_2)$
- $Det_{CZ} = R_1 * (A_2 * B_3 - A_3 * B_2)$

eşitlikleri kullanılarak Denklem (4.9) yazılır.

$$Det_z = Det_{AZ} - Det_{BZ} + Det_{CZ} \quad (4.9)$$

Denklem (4.6), (4.7), (4.8) ve (4.9)'da elde edilen değerler ile Denklem (4.5)'te gösterilen determinant işlemi gerçekleştirildiğinde x, y ve z değişkenleri bulunmuş olur. hedef vericiye ait enlem ve boylam bilgisi x, y ve z üzerinden aşağıdaki gibi hesaplanır.

$x = \sin(lat_t)$ eşitliğinde lat_t 'yi bulmak için her iki tarafa arcsin işlemin uygulandığında, $y = \cos(lat_t) * \cos(lon_t)$ eşitliğinde üzerinde lon_t 'yi bulmak için eldeki lat_t yerine koyulup eşitliğe arccos işlemi uygulandığında;

- $lat_t = \arcsin(x)$
- $lon_t = \arccos(y/\cos(lat_t))$

elde edilir.

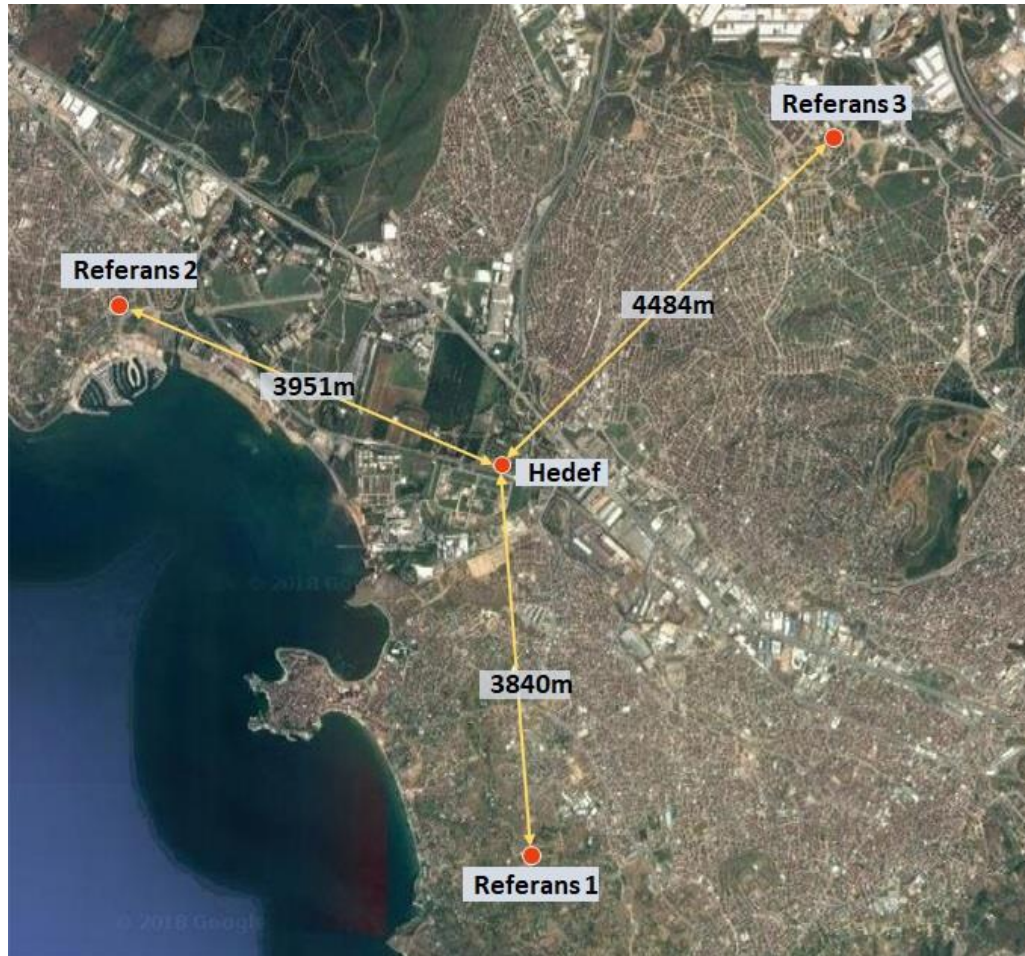
4.3. HME Trilaterasyonunun Doğrulanması

Ortaya konulan metodu doğrulamak için, harita üzerinde bir hedef ve üç referans nokta seçtikten sonra, noktalar arası mesafeler hesaplanıp, referans nokta konumları ve mesafe bilgileri ile hedef konumunun hesabı yapılmıştır. Tablo 4.1'de test için alınan konumlar verilmiştir.

Tablo 4.1: Test için kullanılan nokta konumları.

	Enlem	Boylam
REF1	40, 77504	29,36532
REF2	40, 82220	29, 31859
REF3	40, 83706	29, 39966
HEDEF	40, 80858	29, 36195

Noktaların yerleşimi ve noktalar arası mesafeler Şekil 4.3 üzerinde verilmiştir. Trilaterasyon modeli çalıştırıldığında hedef konumunu; 40.8086N ve 29.3620E olarak hesaplamıştır. Elde edilen konum verisi bilinen hedef nokta ile karşılaştırıldığında 24cm sapma olduğu görülmüştür. HME'ye dayalı trilaterasyon modeli, konum hesaplamasında hesap hatası üretmemektedir.



Şekil 4.3: Test noktalarının yerleşimi ve mesafe bilgileri.

5. KONUM KESTİRİMİ

Öncelikle ölçümde kullanılan donanım bileşenleri ve daha sonra önceki bölümlerde anlatılan eşitlikler üzerinden, aldığımız ölçümlerde elde ettiğimiz değerler ile farklı hedef'lere ait konum hesabı yapılacaktır.

5.1. Ölçümde Kullanılan Donanımlar

AKB ve RRM üzerinde konum kestirimi için kullanılan donanım bileşenleri aşağıda tanımlanmıştır.

5.1.1. BiM1H-145.825 Radyo Modül

Hedef ile RRM'ler arasında RSSI ölçümü için kullanılan alıcı-verici radyo modülü donanımı Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1: BiM1H-145.825 alıcı-verici modülü.

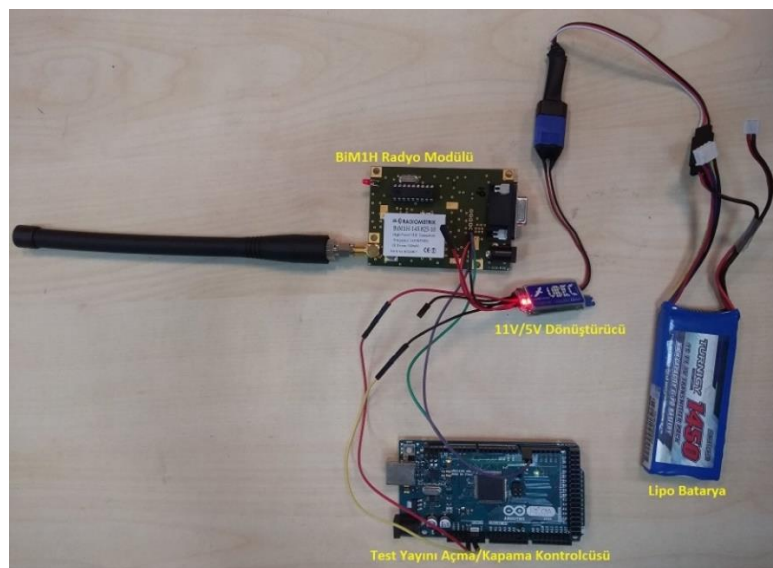
Radiometrix firmasına ait BiM1H-145.825 radyo modülüne ait teknik veriler Tablo 5.1'de verilmiştir. BiM1H-145.825 modülü, RS232 arayüzü üzerinden aldığı kullanıcı verisini VHF bandından iletmektedir. Benzer şekilde alıcı olarak

tanımlandığı durumda, VHF bandında (145.825MHz frekansında) aldığı verileri RS232 arayüzü üzerinden alıcıya iletir.

Tablo 5.1: BiM1H-145.825 teknik özellikleri.

RF Çıkış Gücü	+27dBm(500mW)
Alıcı Hassasiyeti	-120dBm
Çalışma Frekansı	145.825MHz
Band Genişliği	25KHz
Besleme Voltajı	5V
Güç Tüketimi	İletim: 290mA, Alım: 8mA
Veri İletim Miktarı	Azami 5kbps
RSSI Alan Genişliği	>60dBm
Ebat	33x23x12mm

Modülün verici olarak kullanılması için oluşturulacak devre Şekil 5.2’te gösterilmiştir. 3S batarya(11-12.6V) ile beslenen devrede, batarya gerilimi 5V’a düşürülür. BiM1H modülünü test moduna almak için arduino kartı kullanılmıştır. Arduino kartı seri port üzerinden Radyo Modülüne bağlanmıştır ve yayın yapmak istendiğinde Radyo Modülüne “Test” komutunu gönderir ve modülün 145.825Mhz frekansında sürekli yayın yapması sağlar.

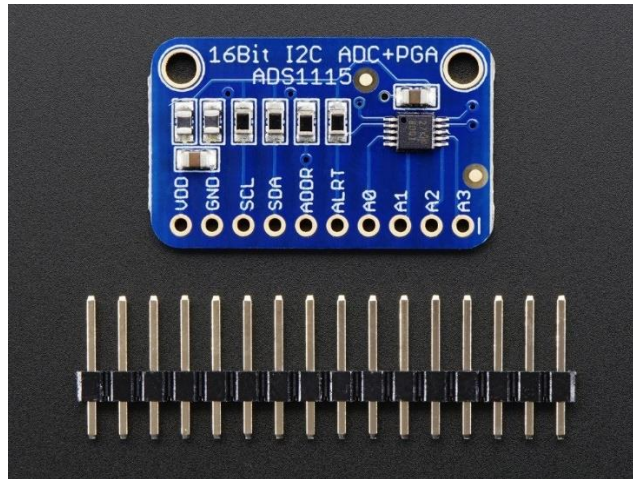


Şekil 5.2: BiM1H modülünün verici olarak kullanılması.

BiM1H-145.825 modülü alıcı durumunda iken, çalıştığı frekansta aldığı işaret seviyesini kullanıcıya aktarmak için RSSI değerini analog bir pin üzerinden dışarı verir. Bu gerilim seviyesi; radyo işareti olmadığı durum için 0.5V ve azami radyo işareti seviyesi için 2.4V aralığındadır.

5.1.2. ADS1115 ADC Modül

BiM1H çıkışındaki analog RSSI değerini telemetri modülü üzerinden iletebilmek için analog dijital dönüştürücüye ihtiyaç vardır. Şekil 5.4’de gösterilen ADS1115 modülü 16 bit çözünürlüğe sahiptir[15]. ADS1115, Raspberry Pi modülü ile I2C protokolü üzerinden haberleşmektedir. Dört adet analog ölçüm kanalına sahiptir. 2.0V ile 5.5V aralığındaki gerilim ile çalışabilmektedir. Saniyede 8 ile 860 örnek alabilecek şekilde programlanabilmektedir.

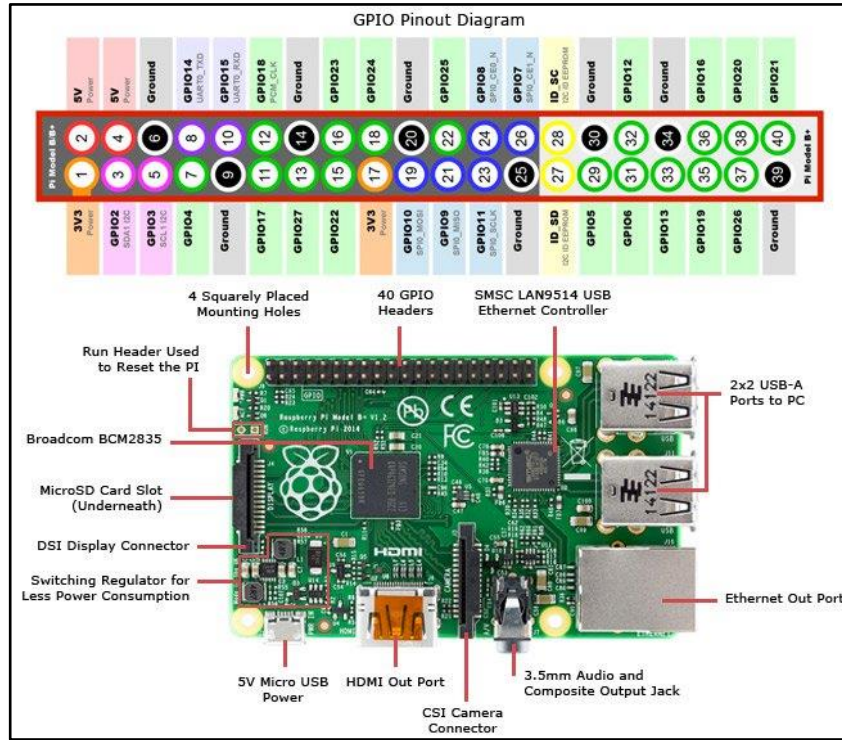


Şekil 5.3: ADS1115 analog dijital dönüştürücü.

5.1.3. Raspberry Pi 3 Modülü

Raspberry Pi 3 geliştirme kartı RRM üzerinde modüller arası haberleşmeyi sağlamaktadır. Şekil 5.4’te gösterilen geliştirme kartı üzerinde Broadcom firmasına ait 1.2Ghz hızında, 64 bit ve 4 çekirdekli ARM Cortex-A53 BCM2837 işlemcisi bulunmaktadır[16]. 5V’luk besleme kaynağı ile çalışmaktadır. Linux işletim sistemi üzerinde ADS1115 modülünden I2C arayüzünden RSSI voltaj değerini ve GNSS modülünden konum bilgisini okuyup, UART arayüzünden bağlandığı telemetri

modülünü kullanarak AKB'ye bu bilgileri göndermektedir. Aynı zamanda ADC verisi üzerinde veri azaltma ve ortalama alma işlemi de uygulamaktadır.



Şekil 5.4: Raspberry Pi 3 geliştirme kartı ve G/Ç portları.

5.1.4. XBIB-U-SS Telemetri Modülü

Şekil 5.5'te gösterilen telemetri modülü üç parçadan oluşmaktadır. Birincisi, geliştirme kartı olarak, kullanıcıya esnek kullanım ve farklı test imkanını sunan XBIB-U-SS kartı. Bu kart 6-20V aralığındaki besleme ile çalışabilmektedir. Üzerindeki USB/RS232 ve SPI çıkışı ile kullanıcı arayüzü sağlamaktadır.



Şekil 5.5: Digi XBIB-U-SS 868MHz telemetri modülü.

İkincisi XBee SX 868 modülüdür. Bu modül 863MHz ile 870MHz arasında çalışmaktadır. 25mW çıkış gücüne sahip olan XBee SX modülü -113dBm alıcı hassasiyetine sahiptir. UART ve SPI arayüzüne sahiptir. XBee SX modülü sahip olduğu farklı haberleşme protokolleri sayesinde, noktadan-noktaya veya noktadan-çok noktaya haberleşme yapabilmektedir.

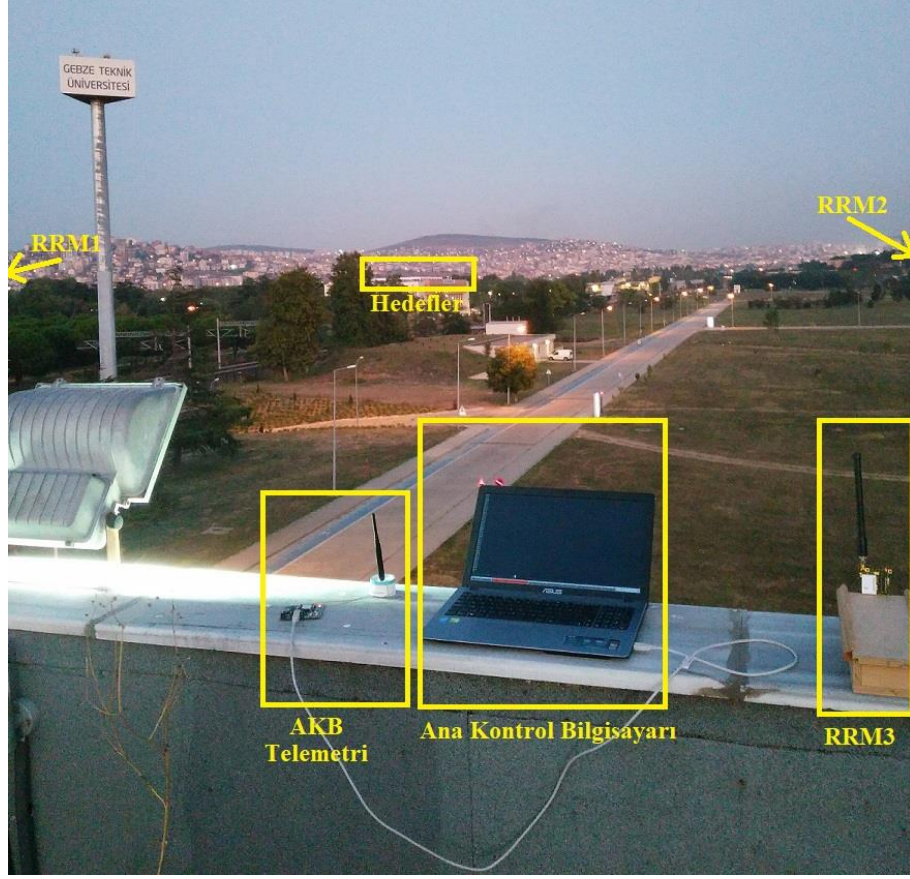
Üçüncüsü U.FL konektörü ile modüle bağlanan monopol antendir. 868MHz merkez frekansında çalışmaktadır.

Telemetri modülleri, RRM ve AKB arasında yarı çift yönlü (half-duplex) olarak haberleşecek şekilde yerleştirilmiştir. Telemetri modülü, AKB’de noktadan-çok noktaya protokolü ile, RRM üzerinde noktadan-noktaya protokolü ile çalıştırılmaktadır.

5.2. Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

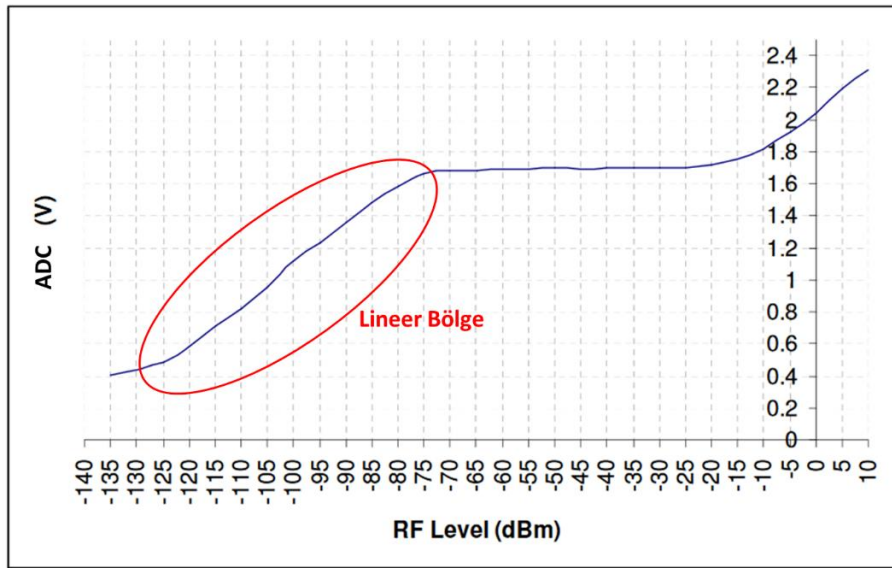
Gebze Teknik Üniversitesi yerleşkesi içerisinde ölçüm alınırken, yer zemininde bulunan engebeler ve bitki örtüsünün LOS’u engellememesi için RRM’ler yüksek binaların çatısına konumlandırılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Şekil 5.6 üzerinde GTÜ Bilgisayar Müh. Çatısına yerleştirilmiş AKB ve RRM3 donanımı görülmektedir. RRM1 ve RRM2 yerleşke içerisinde, yaklaşık olarak aynı yükseklikteki binaların çatısına konumlandırılmıştır.



Şekil 5.6: AKB ve RRM3 ölçüm yerleşimi.

Alıcı olarak konfigüre edilen BiM1H VHF radyo modül çıkışında elde edilen gerilimin, dBm karşılığını veren grafik Şekil 5.7’te gösterilmiştir[17].



Şekil 5.7: BiM1H ADC voltaj değeri ile RSSI (dBm) değeri oranı.

Ürüne ait bilgi dokümanında verilen, Şekil 5.7’de gösterilen eğriyi doğrulamak için, sabit alıcı noktasından uzaklaşan verici modülden gelen sinyal seviyesi alıcı modül üzerinde kaydedilmiştir. Kaydedilen değerin grafiği çizildiğinde, mesafeye bağlı voltaj değişimi Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Ölçümlerde elde edilen eğri oranı ile ürüne ait dokümanda verilen grafiğin örtüştüğü görülmüştür.



Şekil 5.8: Mesafeye bağlı ADC voltajı değişim grafiği.

Grafik üzerinde kırmızı daire içerisinde gösterilen, ADC değeri ile RSSI değeri arasındaki lineer bölge için eğri denklemi Denklem (5.10)’da verilmiştir. AKB yazılımı üzerinde Ek-A’da verilen fonksiyon ile ADC’den RSSI dönüşümü yapılmıştır.

$$RSSI(dBm) = 42.68 * ADC(v) - 145.0 \quad (5.10)$$

Şekil 5.7’te görüldüğü üzere, elde edilen gerilim değerinin anlamlı ve ayırt edici bilgi verebilmesi için gerilim seviyesinin 0.6V ile 1.7V arasında olması gerekmektedir. 1.7V civarında gerilim değeri ölçüldüğünde, grafikte görüldüğü üzere -20dBm ile -75dBm arasında bir sinyal seviyesine karşılık gelmektedir. Bu geniş aralık konum kestiriminde referans olarak kabul edilemeyeceğinden, herhangi bir RRM bu gerilim seviyesini ölçtüğünde, AKB ilgili RRM’nin alınan sinyal seviyesi geçerli aralığa gelene kadar, RRM’nin konumunun değiştirilmesi uyarısını verir.

Benzer şekilde -120dBm'den daha küçük değerler de RRM ile hedef arasındaki mesafe hakkında hatalı bilgi üreteceğinden, bu durumun oluşması halinde AKB, RSSI değeri -120dBm üzerine çıkana kadar ilgili RRM'yi ölçüm alanı içerisinde farklı bir pozisyona kaydırılması için uyarır.

Alıcı-Verici radyo modülleri arasında kurulan linkte kullanılan kablo ve konektör kayıpları laboratuvar ortamında ölçülerek, alıcı işaret gücü hesabında kullanılmalıdır. Bu şekilde ölçüm esnasında donanıma bağlı hatalar asgari seviyeye indirilir.

Friis denkleminde mesafe bilgisinin elde edilmesi için gerekli parametreler Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2: Ölçümde kullanılan parametreler.

Sinyal Frekansı	145.825MHz
Verici Anten Gücü	500mW
Verici Anten Kazancı	0dBi
Verici Anten Uzunluğu	18.2cm
Alıcı Anten Kazancı	0dBi
Alıcı Anten Uzunluğu	18.2cm
Referans Ölçüm Mesafesi	200m
Işığın Boşluktaki Hızı (c)	299792458m/sn
Yol Kaybı Katsayısı (n)	3,40
Fraunhofer Mesafesi (D)	50cm

Denklem (2.13)'de verilen d mesafesini hesaplamak için öncelikle A sabitini hesaplamak gerekir.

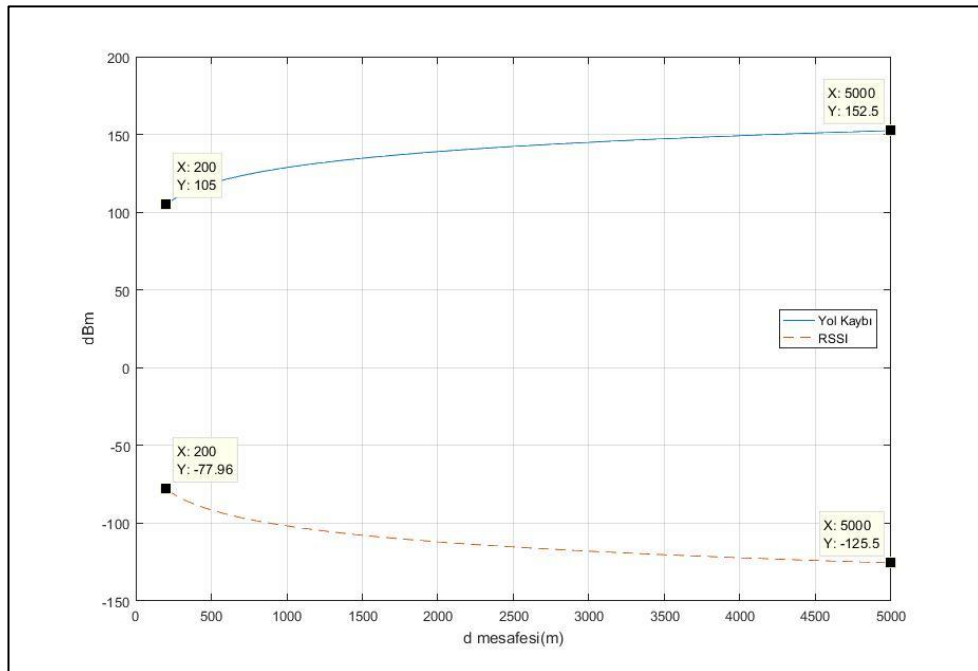
$A = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} - PL_{d_0}$ denkleminde, Tablo 5.2'deki değerler kullanılarak önce PL_{d_0} elde edilir.

$$\begin{aligned}
PL_{d_0} &= 3.4 * 10 \log_{10}(d_0) + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi}{c}\right) \\
&= 34 \log_{10}(200) + 20 \log_{10}(145 * 10^6) \\
&\quad + 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi}{299792458}\right) \\
&= 104.95 \text{ dBm}
\end{aligned} \tag{5.11}$$

Daha sonra A sabiti, PL_{d_0} değerini kullanarak Denklem (5.12)'deki gibi hesaplanır. Denklem üzerinde elde edilen A değeri -77.9563dBm, 200m'de ölçülen A değeri -79dBm'dir. 1dBm'lik kablo/konektör kaybı farkı olduğu görülmüştür. AKB yazılımı üzerinde Ek-B'da verilen fonksiyon ile RSSI değerinden mesafe bilgisi hesaplar.

$$\begin{aligned}
A &= P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} - PL_{d_0} = 27 + 0 + 0 - 104.95 \\
&= -77.9563 \text{ dBm}
\end{aligned} \tag{5.12}$$

Tablo 5.2'de verilen değerler üzerinden Denklem (2.7) çizdirildiğinde, RSSI değerinin yol kaybına bağlı olarak mesafe ekseninde değişimi gözlemlenir. Şekil 5.9'de Denklem (2.7)'nin grafiği görülmektedir.



Şekil 5.9: Alıcı verici arası d mesafesine bağlı yol kaybı – RSSI ilişkisi.

Denklem (2.13) üzerinde A sabiti ve test parametreleri yerine koyulduğunda $d = 200 * 10^{\left(\frac{-78-RSSI}{34}\right)}$ ifadesi, ölçülen RSSI değeri ile d mesafesi arasındaki eğriyi veren eşitlik olarak yazılır.

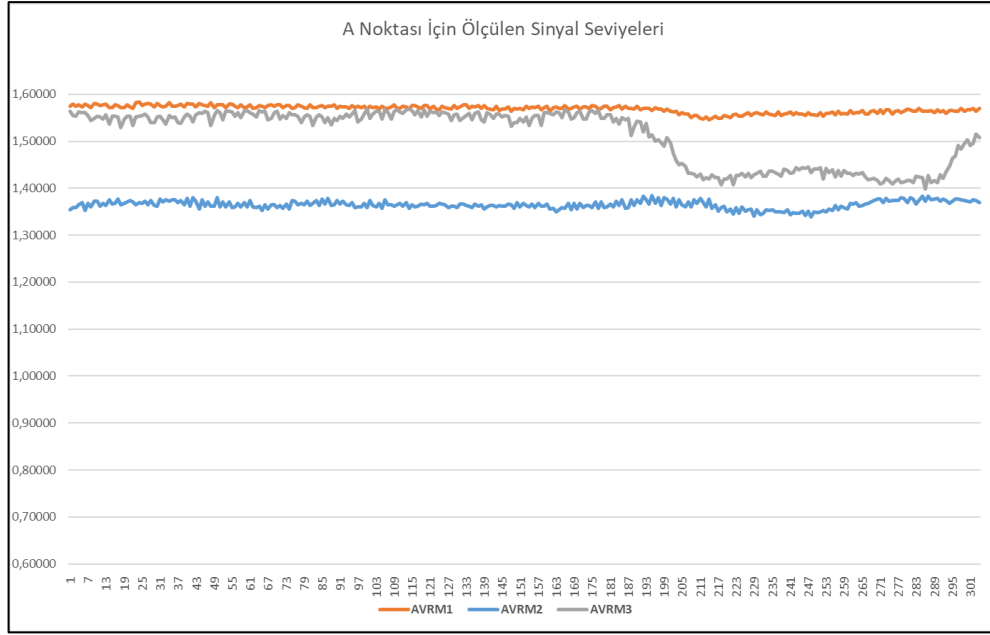
Tablo 5.3 üzerinde RRM'lerin ve ölçüm alınan hedef noktalarının Enlem-Boylam bilgileri verilmiştir. Hedef konum bilgileri trilaterasyon sonrası elde edilecek konum bilgileri ile karşılaştırma için kullanılacaktır.

Konumu tespit edilecek hedef radyo verici modülü, Tablo 5.3'teki sırası ile A, B, C, D, E, F konumlarında tutularak, her bir nokta için 30sn boyunca RRM'lerde alınan sinyal seviyesi ölçümü yapılmıştır. ADC'ler saniyede 10 örnek almaktadır. RRM'ler ile AKB arasındaki telemetri linki üzerinden her bir RRM'ye ait 300 örneklik veri, AKB'ye gönderilmiş ve kaydedilmiştir.

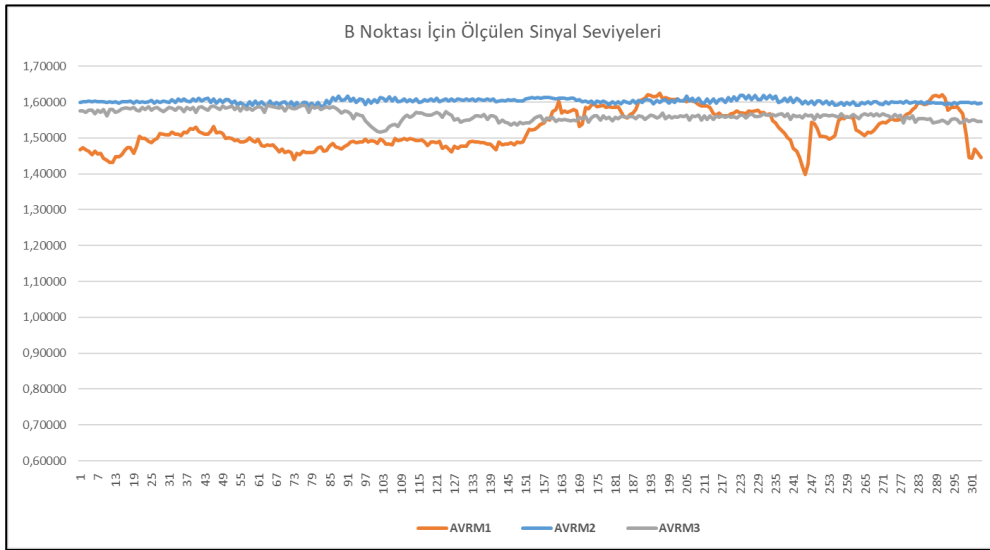
Tablo 5.3: RRM ve ölçüm alınan hedef konum bilgileri.

	Enlem	Boylam
RRM1	40,80586	29,36214
RRM 2	40,81222	29,36093
RRM 3	40,80811	29,35639
HEDEF A	40,80885	29,36160
HEDEF B	40,80849	29,36148
HEDEF C	40,80869	29,36243
HEDEF D	40,80833	29,36232
HEDEF E	40,80893	29,35992
HEDEF F	40,80770	29,35967

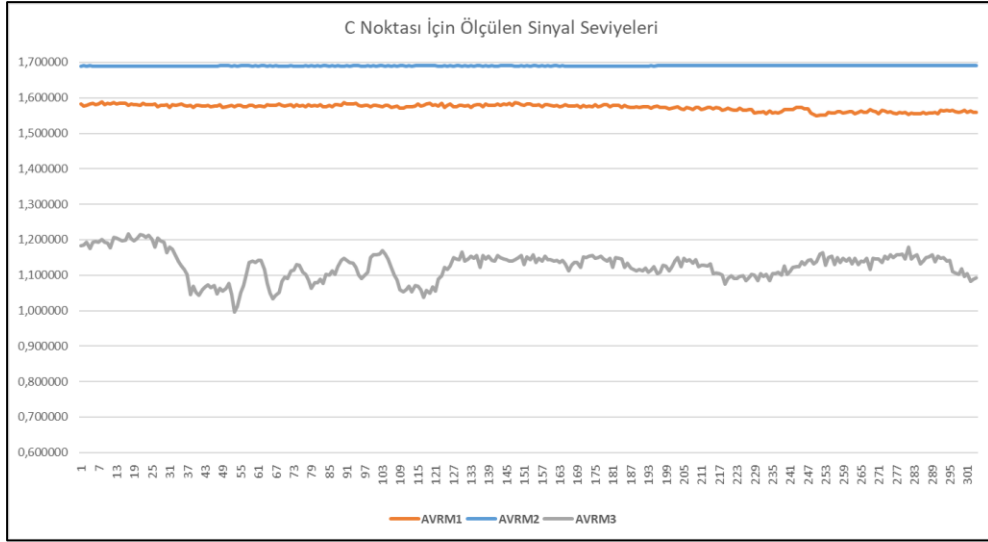
AKB'de RRM'lerden toplanan örneklerin ortalaması alınır ve bu ortalama değer üzerinden RSSI dönüşümü yapılır. Şekil 5.10, Şekil 5.11, Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14ve Şekil 5.15'de sırasıyla A, B, C, D, E ve F hedef noktaları için alınan ölçümlerin zamana bağlı voltaj değerleri çizdirilmiştir.



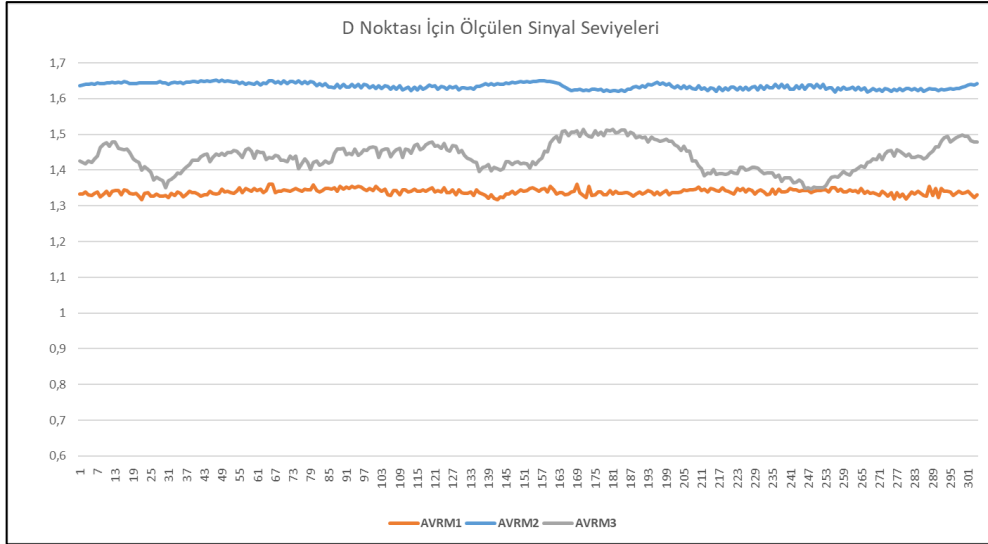
Şekil 5.10: A noktası için ölçülen sinyal seviyeleri.



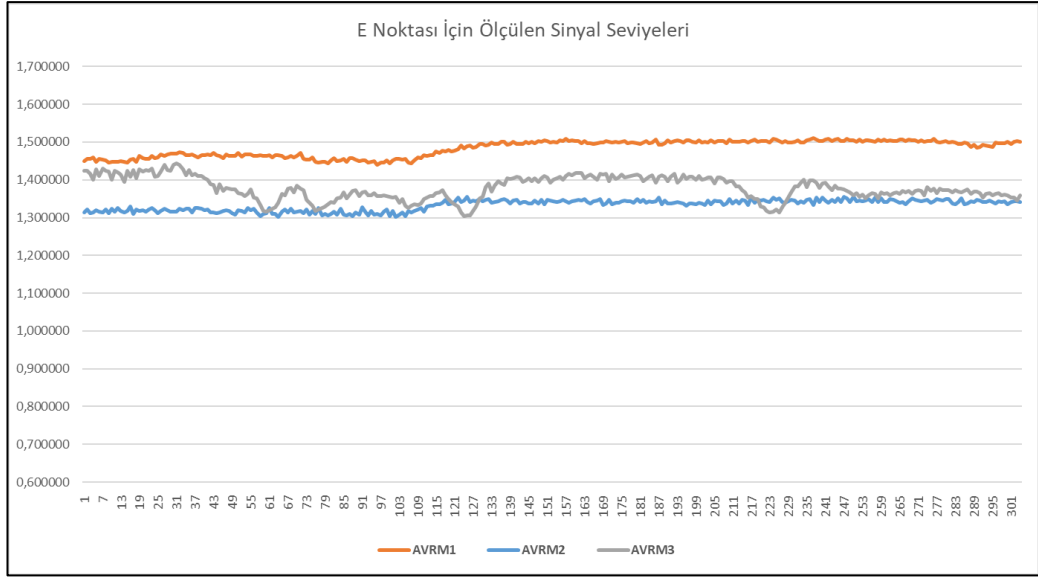
Şekil 5.11: B noktası için ölçülen sinyal seviyeleri.



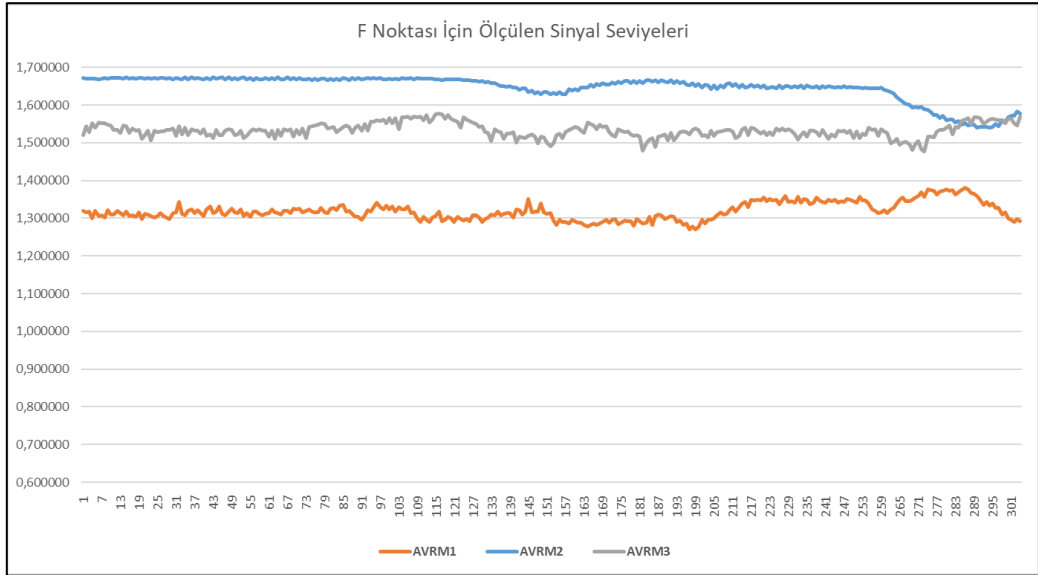
Şekil 5.12: C noktası için ölçülen sinyal seviyeleri.



Şekil 5.13: D noktası için ölçülen sinyal seviyeleri.



Şekil 5.14: E noktası için ölçülen sinyal seviyeleri.



Şekil 5.15: F noktası için ölçülen sinyal seviyeleri.

Bu örneklerin aritmetik ortalaması Denklem (5.10)'daki eğri fonksiyonu ile RSSI değerine dönüştürülür ve Denklem (2.13) ile RSSI değeri mesafe bilgisine dönüştürülür. Tablo 5.4'te her bir hedef nokta için her üç RRM'de ölçülen ortalama ADC voltaj değeri ile hesaplanan RSSI ile mesafe bilgisi listelenmiştir.

Tablo 5.4: RRM’lerde elde edilen ölçüm bilgileri.

			RRM1	RRM2	RRM3
Hedef Noktaları	A	ADC (V) (Ölçülen)	1,36492	1,56794	1,48853
		RSSI (dBm) (Hesaplanan)	-86,3474	-76,5507	-85,5310
		Mesafe (m) (Hesaplanan)	378,69	161,65	352,75
	B	ADC (V)(Ölçülen)	1,62279	1,51947	1,54572
		RSSI (dBm) (Hesaplanan)	-75,3414	-78,6194	-83,0901
		Mesafe (m) (Hesaplanan)	145,5	193,5	285,35
	C	ADC (V) (Ölçülen)	1,57040	1,69225	1,41358
		RSSI (dBm) (Hesaplanan)	-77,5776	-71,2507	-88,5589
		Mesafe (m) (Hesaplanan)	176,74	102,0	458,9
	D	ADC (V) (Ölçülen)	1,34687	1,63287	1,46839
		RSSI (dBm) (Hesaplanan)	-87,1178	-73,7796	-89,8049
		Mesafe (m) (Hesaplanan)	404,9	127,0	511,4
	E	ADC (V) (Ölçülen)	1,50047	1,34272	1,51824
		RSSI (dBm) (Hesaplanan)	-80,5652	-86,1632	-82,8810
		Mesafe (m) (Hesaplanan)	229,13	372,68	280,2
	F	ADC (V) (Ölçülen)	1,31426	1,65957	1,53251
		RSSI (dBm) (Hesaplanan)	-88,5098	-72,6403	-83,6537
		Mesafe (m) (Hesaplanan)	456,9	115,0	299,6

RRM’lere ait GNSS bilgileri ve Tablo 5.4’te hesaplanan mesafe bilgileri Haversin mesafesi eşitliği ile oluşturulmuş trilaterasyon modeli Cramer Matris Kuralı ile çözüldüğünde, Tablo 5.5’de listelenen altı hedef noktası için enlem ve boylam bilgisi hesaplanmış olur.

AKB üzerinde çalışan trilaterasyon yazılımı, Ek-D ve Ek-E’de verilen fonksiyonlar üzerinden mesafe ve alıcı konum bilgileri üzerinden hedef bilgisini hesaplamaktadır. Ek-F’de ölçüm esnasında kullanılan sabit katsayılar ve değişken yapıları tanımlanmıştır. Ubuntu 16.04 üzerinde gcc ile derlenen kod çalıştırıldığında Ek-G’de verilen çıktıları üretmektedir.

Hedeflere ait gerçek konum bilgileri bilindiğinden, Ek-C’de verilen fonksiyon üzerinden, her bir hedef noktası için ölçülen noktanın sapma miktarı metre cinsinden hesaplanmaktadır.

Tablo 5.5: HME ile hesaplanan hedef konumları ve sapma miktarı.

	Enlem	Boylam	Sapma(m)
A	40, 808276	29, 361351	69, 14
B	40, 809113	29, 361257	71, 65
C	40, 809084	29, 363151	73,57
D	40, 808279	29, 363154	70, 52
E	40, 809443	29, 360205	61, 93
F	40, 807708	29, 360696	83, 06

Benzer şekilde, RRM'lere ait GNSS bilgileri ve Tablo 5.4'te hesaplanan mesafe bilgileri Euclidian mesafesi eşitliği ile oluşturulmuş trilaterasyon modeli Cramer Matris Kuralı ile çözüldüğünde, Tablo 5.6'da listelenen altı hedef noktası için enlem ve boylam bilgisi elde edilir[18], [19].

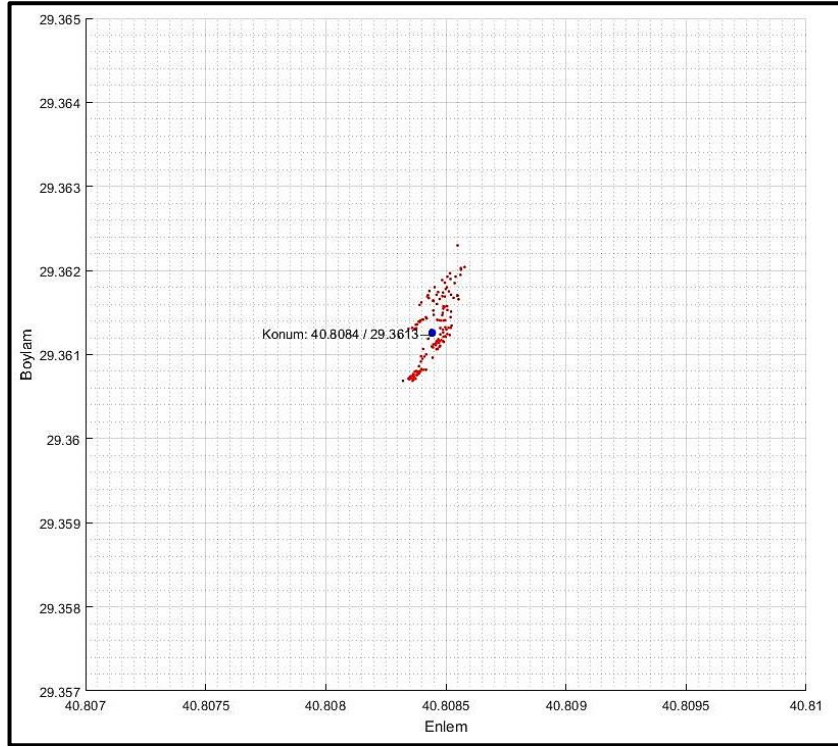
Tablo 5.6: EME ile hesaplanan hedef konumları ve sapma miktarı.

	Enlem	Boylam	Sapma(m)
A	40, 807673	29, 36064	133,86
B	40, 809019	29, 360557	96,90
C	40, 808973	29, 362302	32,56
D	40, 807678	29, 362305	72,52
E	40, 809550	29, 359587	74,57
F	40, 806760	29, 360041	109,33

5.3. ADC Örnek Sayısının Değerlendirilmesi

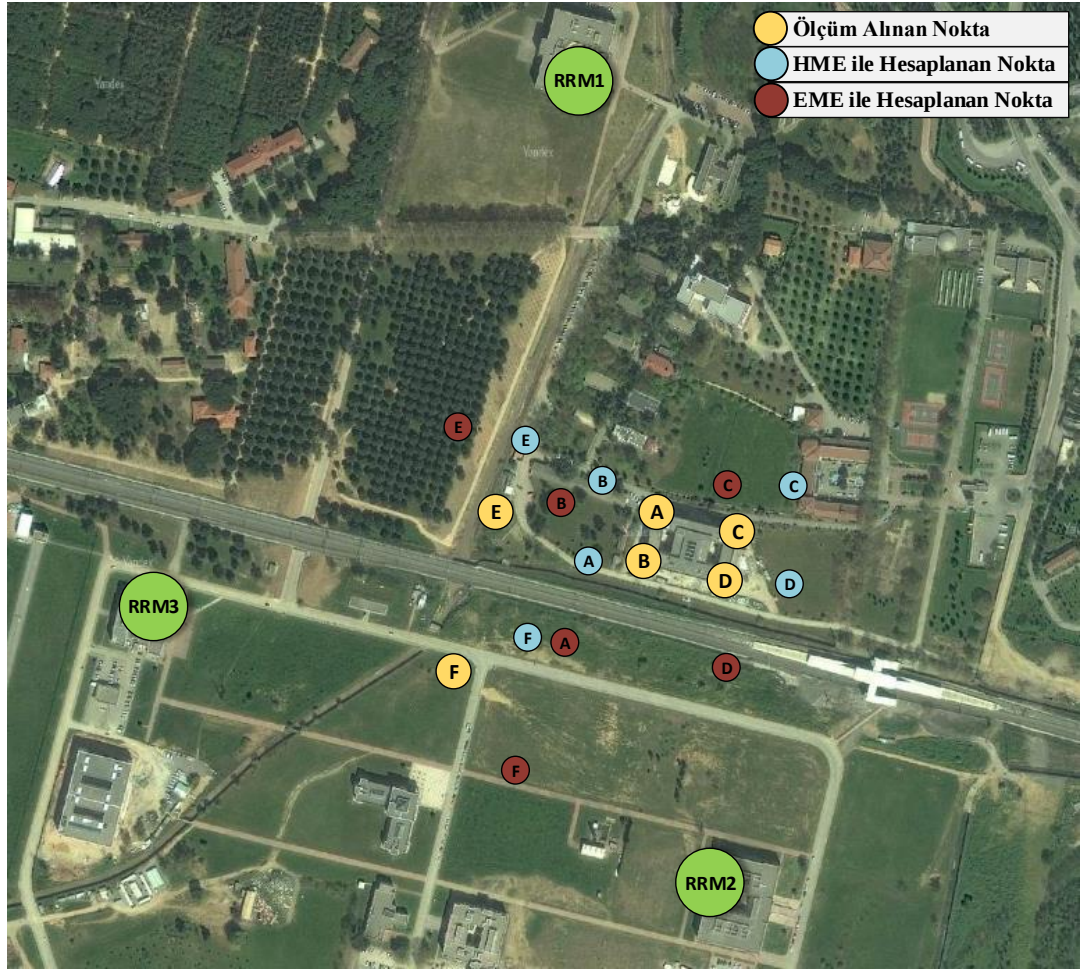
Tablo 5.5'de toplam 300 örneğin aritmetik ortalaması üzerinden elde edilen mesafe bilgisiyle hesaplanan konum değerleri verilmiştir. A noktası için, alınan örnekler üzerinde sırası ile her beş örneğin ortalaması alınarak konumlandırma yapıldığında Şekil 5.16'da verilen dağılım elde edilmektedir. Kırmızı noktalar her bir beşerli ortalama ile hesaplanan enlem-boylam çiftlerini göstermektedir. Mavi nokta ise hesaplanan konumların ortalaması alındığında elde edilen konumu vermektedir. 300 ADC örneğinin ortalaması alınarak elde edilen mesafe bilgisi üzerinden hesaplanan konum E: 40,807673 ve B: 29,36064 iken Şekil 5.16'da verilen konumların ortalaması alındığında E: 40,8084 ve B: 29,3611 elde edilmektedir.

Tablo 5.3'te verilen Hedef A konumuna olan mesafe, 300 ortalama için 59,04m iken 5'erli ortalama için 61,76m'dir. Sabit alıcı verici noktaları için ortalaması alınan örnek sayısının sonuca etkisi A noktası için %3,25 seviyelerinde olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 5.16: Beş örnek ortalama konum hesabı dağılımı.

Elde edilen sonuçlar, ölçümün alındığı alan haritası üzerinde Şekil 5.17'deki gibi gösterilmiştir. Üçgenin köşeleri şeklinde konumlandırılmış RRM ekipmanı yeşil daire içerisinde, üçgenin içerisinde altı farklı noktaya yerleştirilmiş hedef vericiler sarı daireler ile, Haversin mesafesi ile hesaplanan hedef noktaları mavi daireler ile ve Euclidian mesafesi ile hesaplanmış hedef noktaları kırmızı daireler ile gösterilmiştir.



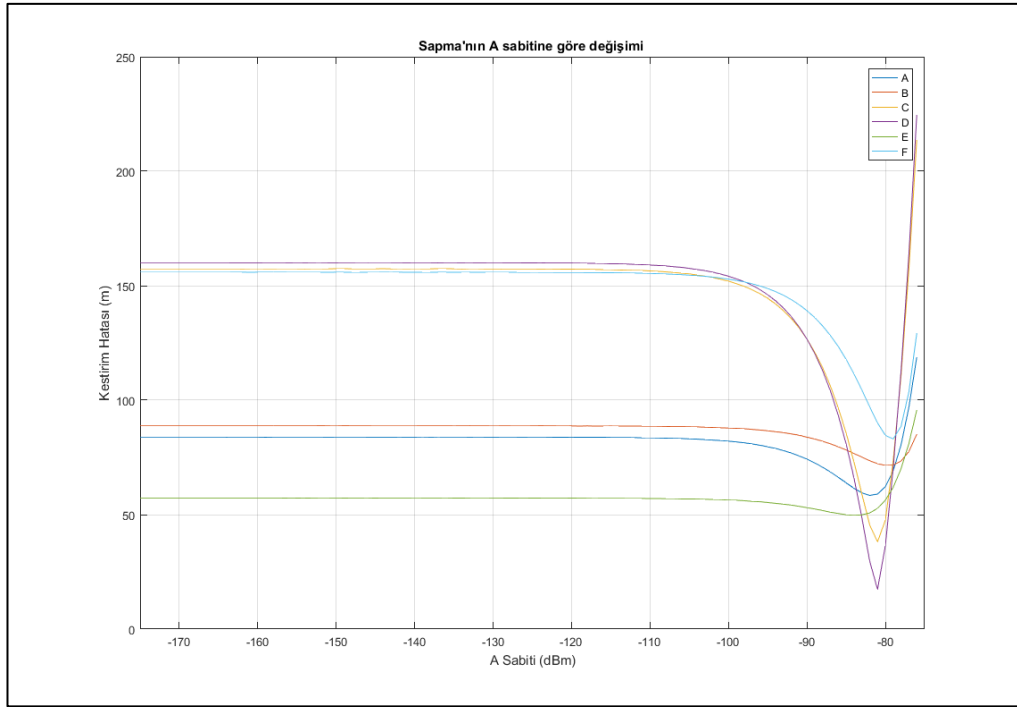
Şekil 5.17: HME ve EME hesabı noktalarının harita üzerinde gösterimi.

HME ile hesaplama yapıldığında ölçüm alınan referans hedef noktalar ile hesaplama sonucunda elde edilen hedef noktalar arasında 57,5m, EME üzerinden hesaplama yapıldığında ise 86m sapma ortaya çıkmaktadır. İki hesap türü arasında 28,5m sapma farkı olduğu hesaplanmaktadır. Kısa mesafeler için HME ve EME'nin çok yakın sonuçlar vermesi beklenmektedir. Ancak, trilaterasyon modelini oluşturan eşitliklerin HME veya EME denklemlerinden elde edilmesi durumunda, girdilerin tamamen aynı olması durumunda dahi hesap farkları oluşabilmektedir.

6. SONUÇLAR VE YORUMLAR

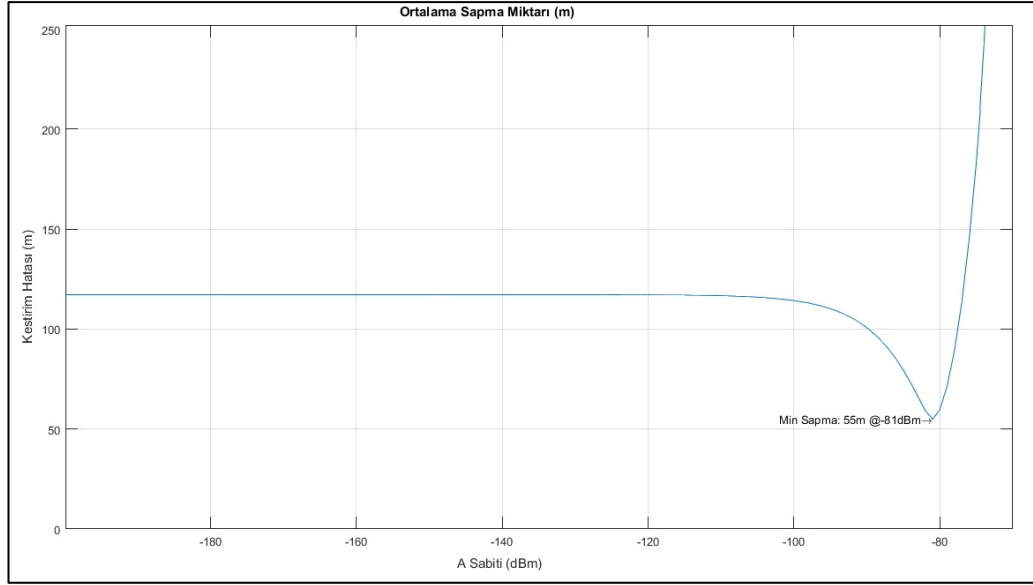
Ölçümlerde elde edilen değerler ile konum kestirim hesabı yapılırken, yapılan kestirimde ortaya çıkan hatayı asgari düzeye indirmek için, kullanılan denklemlerdeki sabitler veya katsayılar kontrollü olarak değiştirilebilir. PL_{d_0} 'a bağlı olarak değişen A sabitinin kestirim sonuçlarına etkisi Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'te görülmektedir.

Burada ölçüm alınan ortamdaki yol kaybı katsayısına ve kablo konektör kayıplarına bağlı olarak değişen A değeri -175dBm'den -75dBm'e kadar arttırılmıştır. A değerinin -95dBm ile -75dBm arasında olduğu durumda, her bir ölçüm için yapılan sapmanın azaldığı görülmektedir.



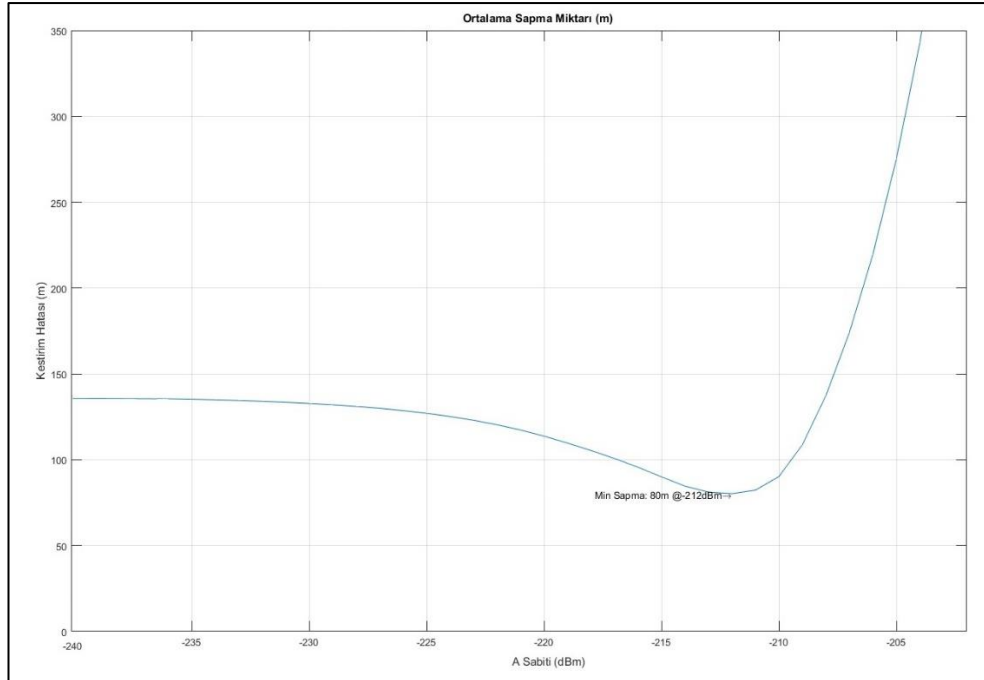
Şekil 6.1: Her bir noktaya ait konum sapma miktarı.

Özellikle Şekil 6.2'te verilen, tüm noktalar için sapmanın ortalama değerini gösteren grafikte, A sabitinin -81dBm alındığında ortalama hata 55m civarına kadar inmektedir. Ölçümler esnasında A sabiti -79dBm olarak hesaplanmıştı ve konum kestiriminde bu değer kullanıldı.



Şekil 6.2: HME ile hesaplanan altı noktanın ortalama hata grafiği.

EME ile oluşturulan trilaterasyon modelinin çözümünde A sabitini geniş aralıkta iterasyon yaptığımızda Şekil 6.3’de görüldüğü üzere en iyi durumda ortalama 80m hataya kadar düşebilmektedir.



Şekil 6.3: EME ile hesaplanan altı noktanın ortalama hata grafiği.

Günümüzde trilaterasyon metodu ile konum kestiriminde Euclidian mesafesi eşitliği kullanılmaktadır. Bu çalışmada ilk kez küresel kosinüs eşitliği kullanılarak

hesaplanan Haversin mesafesi eşitliği ile, yer yüzeyi üzerinde uzun mesafelerde, düzlemsel eşitliğe oranla, oluşacak mesafe hesap hatasının azaltılması hedeflenmiştir. Özellikle düşük frekanslar ile konumlandırma yapıldığı durumda, düşük frekanslı işaretlerin yer yüzeyi üzerinde uzun mesafelere erişebilmesi sayesinde, alıcı ile verici arasındaki uzak mesafeler için yine Haversin Mesafesine dayalı trilaterasyon modeli kullanılabilir.

Mevcut çalışmalarda, haversine eşitliğine dayalı konum hesaplamalarında, alıcı ile verici konumları arasındaki bearing açısı bilgisi kullanılmaktadır. Bearing açısı bilgisinin elde edilmesi hedef noktanın yaklaşık konum bilgisi üzerinden elde edilmektedir. Tez kapsamında bearing açısına ihtiyaç duyulmadan, alıcı konum ve aradaki mesafe bilgisi üzerinden yapılan trilaterasyon çözümü ile verici konum bilgisi elde edilmektedir.

Çalışmada kullanılan donanım özellikleri gereği, gerçekleştirilen sistem hedef etrafında seyreden Sürü İHA'lar üzerinden konumlandırma için kullanılabilecek niteliktedir. Alıcı RSSI hassasiyeti -120dBm olduğundan, 5km'ye kadar ölçüme imkan vermektedir. Benzer şekilde İHA ile AKB arasındaki telemetri link 7km'ye kadar haberleşme sağlayacak nitelikte tanımlanmıştır. Uzak mesafeler için, mesafe hesabından ortaya çıkacak hatalara dayanıklı Haversin mesafesi trilaterasyon metodu, AKB'de çalışan Cramer Matris Kuralının aritmetik çözüm özelliği ile hızlı bir şekilde çözülerek konum hesabı yapılabilmektedir.

Hareketli Sürü İHA'lar üzerinden RSSI ölçümü alınarak hesaplama yapıldığı durumda, ölçülen RSSI bilgisi üzerinde veya hesaplanacak konum bilgisi üzerinde Kalman filtresi kullanılarak sistem performansı artırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Kaddour M., Tmazirte Ait N., El-Najjar M. E., Naja Z., Moubayed N., (2014), “Autonomous integrity monitoring for GNSS localization using informational approach and iono-free measurements”, CyberSec Conference, Beirut, Lebanon, 29 April-1 May.
- [2] Zhang Y., Liu H., Fu W., Zhou A., Mi L., (2014), “Localization algorithm for GSM mobiles based on RSSI and Pearson's correlation coefficient”, ICCE Conference, Las Vegas, NV, USA, 20 March.
- [3] Gorovyi L., Roenko A., Pitertsev A., Chervonyal L., Vovk V., (2017), “Real-time system for indoor user localization and navigation using bluetooth beacons”, UKRCON Conference, Kiev, Ukraine, 29 May-2 June.
- [4] Xu X., Tang Y., Li S., (2017), “Indoor localization based on hybrid Wi-Fi hotspots”, IPIN Conference, Sapporo, Japan, 18-21 September.
- [5] Cakir O., Kaya İ., Cakır O., (2014), “Kaynak Konumlandırma Varsı Zamanları Farkı Setlerinin Konumlandırma Doğruluğu Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”, SIU Konferansı, Trabzon, Turkey, 23-25 Nisan.
- [6] Shue S., Johnson E. L., Conrad J. M., (2017), “Utilization of XBee ZigBee Modules and MATLAB for RSSI Localization Applications”, SoutheastCon, Charlotte, NC, USA, 30 Mart-2 April.
- [7] Kalantari A., Maleki S., Chatzinotas S., Ottersen B., (2016), “Frequency of arrival-based interference localization using a single satellite”, 8. ASMS/SPSC Conference, Palma de Mallorca, Spain, 5-7 October.
- [8] Mahmoud H., Akkari N., (2016), “Shortest Path Calculation: A Comparative Study for Location-Based Recommender System”, WSCAR Symposium, Cairo, Egypt, 12-14 March.
- [9] Shaw J. A., (2013), “Radiometry and the Friis transmission equation”. In: Bernstein J., Laws K., Tolley R., Vertiy, Editors, American Journal of Physics 81, 33.
- [10] Amin S., Ahmed B., Amin M., Abbasi M. I., Elahi A., Aftab U., (2017), “Establishment of boundaries for near-field, fresnel and Fraunhofer-field regions”, APMC Conference, Kuala Lumpur, Malasia, 13-16 November.

- [11] Anthony O. N., Obikwelu O., Rapheal, (2014), “Characterization of signal attenuation using pathloss exponent in south-south Nigeria”, 3. IJETTCS Conference, Awka, Nigeria, May-June.
- [12] Seeber G., (2003), “Satellite Geodesy”, 2nd Edition, Walter de Gruyter.
- [13] Web 1, (2017), <https://undergroundmathematics.org/trigonometry-compound-angles/the-great-circle-distance>, (Eriřim Tarihi: 20/12/2017).
- [14] White J. F., (2004), “Matrix Analysis”. In: “High Frequency Techniques: An Introduction to RF and Microwave Engineering”, 1th Edition, John Wiley & Sons Inc.
- [15] Web 2, (2018), <https://www.adafruit.com/product/1085>, (Eriřim Tarihi: 10/01/2018).
- [16] Web 3, (2018), www.jameco.com/Jameco/workshop/circuitnotes/raspberry-pi-circuit-note.html, (Eriřim Tarihi: 02/01/2018).
- [17] Web 4, (2012), <http://www.radiometrix.com/files/additional/bim1h.pdf>, (Eriřim Tarihi: 05/01/2018).
- [18] Günay F. B., Çavdar T., (2015), “Algılayıcı ağlarla insansız gezgin filo uygulaması”, SIU Konferansı, Malatya, Turkey, 16-19 Mayıs.
- [19] Noertjahyana A., Wijayanto I. A., Andjarwirawan J., (2017), “Development of mobile indoor positioning system application using android and bluetooth low energy with trilateration method”, ICSiIT Conference, Denpasar, Indonesia, 26-29 September.

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin ALKAN 1984 yılında Trabzon’da doğdu. 2003’te başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden, birinci yıl sonunda derece yaparak Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümüne geçiş yaptı. 2009 Şubat ayında lisans eğitimini başarıyla tamamladı. 2011 yılında Ctech Bilişim AŞ firmasında yazılım mühendisi olarak işe başladı. 2013 yılında Gebze Teknik Üniversitesinde Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansına başladı. Evli ve iki çocuk babası olan Hüseyin ALKAN, Ctech firmasında Uzman Gömülü Yazılım Mühendisi olarak görevine devam etmektedir.

EKLER

Ek A: ADC Değerinden RSSI Hesaplayan Kod

```
double voltage_to_rssi(double voltage_in)
{
    if(VOLT_TO_RSSI == 1){
        if(voltage_in > AZM_ADC){
            return AZM_RSSI;
        } else if(voltage_in < ASG_ADC){
            return ASG_RSSI;
        }
        return (COEFFA * voltage_in + COEFFB);
    } else{
        return voltage_in;
    }
}
```

Şekil A1.1: ADC değerinden RSSI hesaplanması.

Ek B: RSSI Değerinden Mesafe Hesaplayan Kod

```
double rssi_to_distance(double rssi)
{
    double ref_val;
    if(VOLT_TO_RSSI == 1){
        ref_val = RSSI_REF;
    } else{
        ref_val = VOLTAGE_REF;
    }
    if(rssi == AZM_RSSI){
        return ASG_MESAFE;
    } else if(rssi == ASG_RSSI){
        return AZM_MESAFE;
    }
    double a = DIST_REF*pow(10, ((ref_val -rssi)/(10*PLOSS_EXP)));
    return a;
}
```

Şekil B1.1: RSSI değerinden mesafe hesaplanması.

Ek C: İki Konum Arası Mesafeyi Hesaplayan Kod

```
double haversine_distance(double *p1, double *p2)
{
    double dist_lat = (p1[Enlem] - p2[Enlem])*DEG_TO_RAD;
    double dist_lon = (p1[Boylam] - p2[Boylam])*DEG_TO_RAD;
    double a = sin(dist_lat/2)*sin(dist_lat/2) + cos(p1[Enlem]*DEG_TO_RAD)
        *cos(p2[Enlem]*DEG_TO_RAD)*sin(dist_lon/2)*sin(dist_lon/2);
    double c = 2*atan2((sqrt(a)), (sqrt(1-a)));
    double d = c*EARTH_RADIUS;
    return d;
}
```

Şekil C1.1: İki konum arasında mesafe hesaplanması.

Ek D: Hedef Konumunu Hesaplayan Kod

```
int inv_haversine_tri(coordinate_src *src)
{
    /*CRAMER RULE*/
    double lat_i1 = src->RRM1[Enlem] * DEG_TO_RAD;
    double lon_i1 = src->RRM1[Boylam] * DEG_TO_RAD;
    double lat_i2 = src->RRM2[Enlem] * DEG_TO_RAD;
    double lon_i2 = src->RRM2[Boylam] * DEG_TO_RAD;
    double lat_i3 = src->RRM3[Enlem] * DEG_TO_RAD;
    double lon_i3 = src->RRM3[Boylam] * DEG_TO_RAD;
    double A1 = sin(lat_i1);
    double A2 = sin(lat_i2);
    double A3 = sin(lat_i3);
    double B1 = cos(lat_i1)*cos(lon_i1);
    double B2 = cos(lat_i2)*cos(lon_i2);
    double B3 = cos(lat_i3)*cos(lon_i3);
    double C1 = cos(lat_i1)*sin(lon_i1);
    double C2 = cos(lat_i2)*sin(lon_i2);
    double C3 = cos(lat_i3)*sin(lon_i3);
    double R1 = cos(src->dist_calc[RRM1]/EARTH_RADIUS);
    double R2 = cos(src->dist_calc[RRM2]/EARTH_RADIUS);
    double R3 = cos(src->dist_calc[RRM3]/EARTH_RADIUS);
    double DET_A1 = A1*(B2*C3 - B3*C2);
    double DET_B1 = B1*(A2*C3 - A3*C2);
    double DET_C1 = C1*(A2*B3 - A3*B2);
    double DET_M = DET_A1 - DET_B1 + DET_C1;

    double DET_XA1 = R1*(B2*C3 - B3*C2);
    double DET_XB1 = B1*(R2*C3 - R3*C2);
    double DET_XC1 = C1*(R2*B3 - R3*B2);
```

Şekil D1.1: Hedef Konumunun hesaplanması.

```

double DET_MX = DET_XA1 - DET_XB1 + DET_XC1;
double DET_YA1 = A1*(R2*C3 - R3*C2);
double DET_YB1 = R1*(A2*C3 - A3*C2);
double DET_YC1 = C1*(A2*R3 - A3*R2);
double DET_MY = DET_YA1 - DET_YB1 + DET_YC1;
double DET_ZA1 = A1*(B2*R3 - B3*R2);
double DET_ZB1 = B1*(A2*R3 - A3*R2);
double DET_ZC1 = R1*(A2*B3 - A3*B2);
double DET_MZ = DET_ZA1 - DET_ZB1 + DET_ZC1;
double x = DET_MX/DET_M;
double y = DET_MY/DET_M;
double z = DET_MZ/DET_M;

double xs = asin(x)*RAD_TO_DEG;
double ys = acos((y/cos(xs*DEG_TO_RAD)))*RAD_TO_DEG;
src->lla_target[Enlem] = xs;
src->lla_target[Boylam] = ys;
return 0;
}

```

Şekil D1.1: Devam.

Ek E: Main ve Dönüşüm Kodu

```

int calc_triangulation(coordinate_src *src_in)
{
    double RRM1adc = src_in->adc_in[RRM1];
    double RRM2adc = src_in->adc_in[RRM2];
    double RRM3adc = src_in->adc_in[RRM3];
    if (RRM1adc > AZM_ADC){
        src_in->output_sts[RRM1] = tooshort;
    } else if(RRM1adc < ASG_ADC){
        src_in->output_sts[RRM1] = toolong;
    } else{
        src_in->output_sts[RRM1] = valid;
    }
}

```

Şekil E1.1: Main kodu dönüşüm işlemleri.

```

if(RRM2adc > AZM_ADC){
    src_in->output_sts[RRM2] = tooshort;
} else if(RRM2adc < ASG_ADC){
    src_in->output_sts[RRM2] = toolong;
} else{
    src_in->output_sts[RRM2] = valid;
}
if(RRM3adc > AZM_ADC){
    src_in->output_sts[RRM3] = tooshort;
} else if(RRM3adc < ASG_ADC){
    src_in->output_sts[RRM3] = toolong;
} else{
    src_in->output_sts[RRM3] = valid;
}
RRM1adc = RRM1adc + OFFSET_RRM1;
RRM2adc = RRM2adc + OFFSET_RRM2;
RRM3adc = RRM3adc + OFFSET_RRM3;
if ((RRM1adc > AZM_ADC) || (RRM1adc < ASG_ADC)){
    RRM1adc = RRM1adc - OFFSET_RRM1;
}
if ((RRM2adc > AZM_ADC) || (RRM2adc < ASG_ADC)){
    RRM2adc = RRM2adc - OFFSET_RRM2;
}
if ((RRM3adc > AZM_ADC) || (RRM3adc < ASG_ADC)){
    RRM3adc = RRM3adc - OFFSET_RRM3;
}
src_in->rss_val[RRM1] = voltage_to_rssi(RRM1adc);
src_in->rss_val[RRM2] = voltage_to_rssi(RRM2adc);
src_in->rss_val[RRM3] = voltage_to_rssi(RRM3adc);
src_in->dist_calc[RRM1] = rssi_to_distance(src_in->rss_val[RRM1]);
src_in->dist_calc[RRM2] = rssi_to_distance(src_in->rss_val[RRM2]);
src_in->dist_calc[RRM3] = rssi_to_distance(src_in->rss_val[RRM3]);
inv_haversine_tri(src_in);
return 0;
}

```

Şekil E1.1: Devam.

```

/*Main Kodu*/
int main(void)
{
    coordinate_src src_test;

    src_test.RRM1[Enlem] = 40.81222;    // RRM 2 Enlem değeri
    src_test.RRM1[Boylam] = 29.36093;    // RRM 2 Boylam değeri
    src_test.RRM1[Yukseklık] = 11.1; // RRM 2 Yukseklik değeri
    src_test.RRM2[Enlem] = 40.80586;    // RRM 1 Enlem değeri
    src_test.RRM2[Boylam] = 29.36214;    // RRM 1 Boylam değeri
    src_test.RRM2[Yukseklık] = 6.7; // RRM 1 Yukseklik değeri
    src_test.RRM3[Enlem] = 40.80811;    // RRM 3 Enlem değeri
    src_test.RRM3[Boylam] = 29.35639;    // RRM 3 Boylam değeri
    src_test.RRM3[Yukseklık] = 7.2; // RRM 3 Yukseklik değeri


    double Hedef_A[3] = {40.80887, 29.36159, 11.8};
    double Hedef_B[3] = {40.80849, 29.36147, 10.5};
    double Hedef_C[3] = {40.80870, 29.36244, 10.1};
    double Hedef_D[3] = {40.80833, 29.36232, 9.4};
    double Hedef_E[3] = {40.80893, 29.35992, 10.3};
    double Hedef_F[3] = {40.80771, 29.35971, 8.8};

    //////////////////////////////////////

    src_test.adc_in[RRM1] = 1.36492;    // RRM 1'de ölçülen rssi-adc değeri
    src_test.adc_in[RRM2] = 1.56794;    // RRM 2'de ölçülen rssi-adc değeri
    src_test.adc_in[RRM3] = 1.48853;    // RRM 3'de ölçülen rssi-adc değeri
    calc_triangulation(&src_test);
    printf("A->Enlem: %f\n", src_test.lla_target[Enlem]);
    printf("A->Boylam: %f\n", src_test.lla_target[Boylam]);
    printf("A->Sapma: %f\n\n", haversine_distance(src_test.lla_target, Hedef_A));
    src_test.adc_in[RRM1] = 1.622793;    // RRM 1'de ölçülen rssi-adc değeri
    src_test.adc_in[RRM2] = 1.51947;    // RRM 2'de ölçülen rssi-adc değeri

```

Şekil E1.1: Devam.

```

src_test.adc_in[RRM3] = 1.54572; // RRM 3'de ölçülen rssi-adc değeri
calc_triangulation(&src_test);
printf("B->Enlem: %f\n", src_test.lla_target[Enlem]);
printf("B->Boylam: %f\n", src_test.lla_target[Boylam]);
printf("B->Sapma: %f\n\n", haversine_distance(src_test.lla_target, Hedef_B));
src_test.adc_in[RRM1] = 1.57040; // RRM 1'de ölçülen rssi-adc değeri
src_test.adc_in[RRM2] = 1.69012; // RRM 2'de ölçülen rssi-adc değeri
src_test.adc_in[RRM3] = 1.417585; // RRM 3'de ölçülen rssi-adc değeri
calc_triangulation(&src_test);
printf("C->Enlem: %f\n", src_test.lla_target[Enlem]);
printf("C->Boylam: %f\n", src_test.lla_target[Boylam]);
printf("C->Sapma: %f\n\n", haversine_distance(src_test.lla_target, Hedef_C));
src_test.adc_in[RRM1] = 1.34687; // RRM 1'de ölçülen rssi-adc değeri
src_test.adc_in[RRM2] = 1.632867; // RRM 2'de ölçülen rssi-adc değeri
src_test.adc_in[RRM3] = 1.38839; // RRM 3'de ölçülen rssi-adc değeri
calc_triangulation(&src_test);
printf("D->Enlem: %f\n", src_test.lla_target[Enlem]);
printf("D->Boylam: %f\n", src_test.lla_target[Boylam]);
printf("D->Sapma: %f\n\n", haversine_distance(src_test.lla_target, Hedef_D));
src_test.adc_in[RRM1] = 1.50047; // RRM 1'de ölçülen rssi-adc değeri
src_test.adc_in[RRM2] = 1.34272; // RRM 2'de ölçülen rssi-adc değeri
src_test.adc_in[RRM3] = 1.51824; // RRM 3'de ölçülen rssi-adc değeri
calc_triangulation(&src_test);
printf("E->Enlem: %f\n", src_test.lla_target[Enlem]);
printf("E->Boylam: %f\n", src_test.lla_target[Boylam]);
printf("E->Sapma: %f\n\n", haversine_distance(src_test.lla_target, Hedef_E));
src_test.adc_in[RRM1] = 1.3142558; // RRM 1'de ölçülen rssi-adc değeri
src_test.adc_in[RRM2] = 1.65956; // RRM 2'de ölçülen rssi-adc değeri
src_test.adc_in[RRM3] = 1.5325137; // RRM 3'de ölçülen rssi-adc değeri
calc_triangulation(&src_test);
printf("F->Enlem: %f\n", src_test.lla_target[Enlem]);
printf("F->Boylam: %f\n", src_test.lla_target[Boylam]);
printf("F->Sapma: %f\n\n", haversine_distance(src_test.lla_target, Hedef_F));
}

```

Şekil E1.1: Devam.

Ek F: Kod İçinde Kullanılan Sabitler ve Kütüphaneler

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <inttypes.h> // uint8_t, etc
#include <math.h>
#include <sys/ioctl.h>
#include <fcntl.h>

#define DIST_REF      200.0f    //m
#define VOLTAGE_REF   2.4f    //V
#define RSSI_REF      -79.0     //dBm
#define PLOSS_EXP     3.4f    //n=2
#define VOLT_TO_RSSI  1        //tablo var ise 1 olacak
#define COEFFA         42.68
#define COEFFB         -145.0
#define OFFSET_RRM1   0.00932
#define OFFSET_RRM2   0.02584
#define OFFSET_RRM3   -0.09516
#define RAD_TO_DEG     57.29577951308232
#define DEG_TO_RAD     0.017453292519943
#define PI              3.141592653589793
#define EARTH_RADIUS   6378137.0    //m
#define ASG_ADC         0.52    //V
#define AZM_ADC         1.695    //V
#define ASG_RSSI        -150    //dbm
#define AZM_RSSI        -75     //dbm
#define ASG_MESAFE      200      //m
#define AZM_MESAFE      7500    //m
```

Şekil F1.1: Kullanılan sabitler ve kütüphaneler.

```

enum lla_num{
    Enlem = 0,
    Boylam,
    Yukseklik,
    valid = 0,
    tooshort,
    toolong,
    RRM1 = 0,
    RRM2,
    RRM3
};

typedef struct coordinate_src
{
    double ref_target[3];    //input -- not used
    double RRM1[3];          //input
    double RRM2[3];          //input
    double RRM3[3];          //input
    double adc_in[3];        //input

    double rssi_val[3];       //calculated
    double dist_calc[3];     //calculated

    double lla_target[3];    //output GNSS point*
    uint8_t output_sts[3];   //output GNSS value valid or not
}coordinate_src;

```

Şekil F1.1: Devam.

Ek G: Kod Çıktısı

```
/*Kod Ubuntu 16.04 Sürümünde;  
gcc konum_hesaplama.c -o knmhsp -lm ile derlenir. */  
>./knmhsp  
A->Enlem: 40.808287  
A->Boylam: 29.361333  
A->Sapma: 68.434260  
  
B->Enlem: 40.809129  
B->Boylam: 29.361232  
B->Sapma: 73.893419  
  
C->Enlem: 40.809102  
C->Boylam: 29.363121  
C->Sapma: 72.789063  
  
D->Enlem: 40.808286  
D->Boylam: 29.363143  
D->Sapma: 69.518801  
  
E->Enlem: 40.809532  
E->Boylam: 29.360395  
E->Sapma: 78.056002  
  
F->Enlem: 40.807714  
F->Boylam: 29.360688  
F->Sapma: 82.370322
```

Şekil G1.1: Yazılımın örnek çıktısı.