

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

**KAPALI MEKÂN KONUM BELİRLEMEDE MESAFE TABANLI YENİ BİR
YÖNTEM ÖNERİSİ VE DOĞRULUK ANALİZİ**

VELİ İLÇİ

**DOKTORA TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEOMATİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. ENGİN GÜLAL**

İSTANBUL, 2017

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAPALI MEKÂN KONUM BELİRLEMEDE MESAFE TABANLI YENİ BİR
YÖNTEM ÖNERİSİ VE DOĞRULUK ANALİZİ**

Veli İLÇİ tarafından hazırlanan tez çalışması 16.05.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Engin GÜLAL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Prof. Dr. Reha Metin ALKAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Engin GÜLAL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Halil ERKAYA
Okan Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa YANALAK
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. D. Uğur ŞANLI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Atınc PIRTI
Yıldız Teknik Üniversitesi



Bu alışma, Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nn MUH19002.15.004 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Doktora tez çalışmalarım süresince her konuda bilgi ve desteklerini esirgemeyen başta Tez Danışmanım Prof. Dr. Engin Gülal'a ve Eş Danışmanım Prof. Dr. Reha Metin Alkan'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Halil Erkaya, Prof. Dr. Mustafa Yanalak ve Prof. Dr. Uğur Şanlı ile Tez savunma jüri üyesi Prof. Dr. Atınç Pırtı'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Hitit Üniversitesinde birlikte görev yapmakta olduğum Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümündeki hocalarıma süreç içerisinde verdikleri destek için teşekkürler ederim. Bu çalışmayı MUH19002.15.004 nolu proje ile destekleyen Hitit Üniversitesi'ne ve proje çalışma arkadaşlarım Öğr. Gör. Hüseyin Çizmeci ve Yrd. Doç. Dr. Mustafa Coşar'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bana hayatım boyunca inanan ve destek veren anne ve babama şükranlarımı sunarım. Uzun ve yoğun çalışmalarım süresince vermiş olduğu destek, göstermiş olduğu sabır ve gülüyüz için eşim Elif'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Bu tezi, tez çalışmalarım sürecinde ailemize katılan, güzelliği ve enerjisiyle bana hep umut olan oğlum Kaya'ya ithaf ediyorum.

Mayıs, 2017

Veli İLÇİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
BÖLÜM 1.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	6
1.3 Hipotez	6
BÖLÜM 2.....	8
2.1 Konum Tabanlı Servisler	9
2.2 Kapalı Mekân Konum Belirleme Teknolojileri.....	9
2.2.1 Ultrasonic.....	10
2.2.2 Kızılötesi.....	10
2.2.3 RFID.....	11
2.2.4 WLAN	11
2.2.5 Bluetooth	13
2.2.6 Ultra-Wide Band (UWB)	14
2.2.7 ZigBee	14
2.2.8 Dead Reckoning.....	14
2.4 Konum Belirleme Teknikleri.....	16
2.4.1 TOA	17
2.4.2 TDOA.....	17
2.4.3 AOA.....	17
2.4.4 ASG	18
2.5 Mobil Cihazlar	19

BÖLÜM 3.....	20
3.1 Sinyal Yayılımı	20
3.1.1 ITU YKM	22
3.1.2 Logaritmik Mesafe YKM.....	23
3.1.3 Chipcon YKM.....	24
3.1.4 Mesafe/ASG YKM	24
BÖLÜM 4.....	25
4.1 Bilaterasyon	25
4.2 Trilaterasyon	29
4.3 İAEKK.....	31
4.4 Kalman Filtresi.....	33
4.4.1 Genişletilmiş Kalman Filtresi	34
4.4.1.1 Durum Tahmini	35
4.4.1.2 Durum Güncellemesi.....	35
4.4.1.3 Konum (x) Modeli.....	37
4.4.1.4 Konum-Hız ($\dot{x}$) Modeli	38
4.4.1.5 Konum-Hız-İvme ($\ddot{x}$) Modeli.....	40
BÖLÜM 5.....	43
5.1 Sinyal Güçlerinin Mesafeye Bağlı Değişimlerinin Belirlenmesi.....	43
5.2 Sinyal Güçlerinin Mesafeye Bağlı Değişimlerinin Modellenmesi.....	52
5.2.1 Logaritmik Fonksiyon Parametrelerinin Belirlenmesi	59
5.2.2 Sinyal Yayılma Sabitinin Belirlenmesi	60
BÖLÜM 6.....	62
6.1 Çalışma Alanı.....	62
6.2 Hareketsiz Konum Belirleme Verilerinin Değerlendirilmesi	63
BÖLÜM 7.....	70
7.1 Önerilen Yöntem Mimarisi.....	70
7.2 Çalışma Alanı.....	79
7.3 Kinematik Konum Belirleme Verilerinin Değerlendirilmesi	81
BÖLÜM 8.....	93
KAYNAKLAR.....	97
ÖZGEÇMİŞ.....	106

SİMGE LİSTESİ

A_R	Referans mesafede alınan ortalama sinyal gücü
A	Dizayn matrisi
az	Azimuth değeri
B	Girdi matrisi
d	Artık hata vektörü
d	Sinyali yollayan ve alan cihazlar arasındaki mesafe
d_0	Sinyali yollayan ve alan cihazlar arasındaki referans mesafe
d_k	Yenilik vektörü
f	Sinyal frekansı
F	Lineer olmayan durum geçiş fonksiyonu
G_r	Sinyali alan anten kazancı
G_t	Sinyali gönderen anten kazancı
I	Birim matris
J	Kesişim noktası konumu
K_k	Kalman kazancı
l	Ölçüm modeli
L	Yayılmadan bağımsız sistem kayıp faktörü
L_f	Sinyalin zeminden geçerken kaybettiği güç
n	Sinyali yayan ve alan cihazlar arasındaki zemin sayısını
N	Mesafeye bağlı sinyal yol kayıp katsayısı
PL	Yol kaybı
P_t	Gönderilen sinyal gücü
P_r	Alınan sinyal gücü
Q_{dd}	Yenilik vektörü kovaryans matrisi
Q_{ll}	Gözlem vektörü kovaryans matrisi
Q_r	Artık hata vektörü kovaryans matrisi
Q_R	Gözlem kovaryans matrisi kofaktörü
Q_{xx}	Tahmini durum vektörü kovaryans matrisi
$Q_{\delta\hat{x}}$	Durum vektöründeki değişim miktarı kovaryans matrisi
R	Sinyali yollayan ve alan cihazlar arasındaki YKM ile belirlenen mesafe
S_k	Sistem gürültüsü kovaryans matrisi
t	Ölçüm anı
U	Mobil cihazın konumu
u_k	Sistem girdileri
w	Sistem gürültüsü

x	Durum vektörü
x_k	Şimdiki durum vektörü
x_{k-1}	Bir önceki ölçüm anına ait durum vektörü
$\hat{X}_k$	Yeni durum vektörü
X_σ	Normal rastlantısal değişken
$\dot{x}$	X yönündeki hız bileşeni
$\dot{y}$	Y yönündeki hız bileşeni
$\ddot{x}$	X yönündeki ivme bileşeni
$\ddot{y}$	Y yönündeki ivme bileşeni
Δt	Bir önceki ve şimdiki ölçüm anı arasındaki zaman farkı
σ_0^2	Öncül varyans
σ_x^2	Durum vektörü X yönü konum bileşeni varyans değeri
σ_y^2	Durum vektörü Y yönü konum bileşeni varyans değeri
$\sigma_{\dot{x}}^2$	Durum vektörü X yönü hız bileşeni varyans değeri
$\sigma_{\dot{y}}^2$	Durum vektörü Y yönü hız bileşeni varyans değeri
$\sigma_{\ddot{x}}^2$	Durum vektörü X yönü ivme bileşeni varyans değeri
$\sigma_{\ddot{y}}^2$	Durum vektörü Y yönü ivme bileşeni varyans değeri
δx	Durum vektöründeki değişim miktarı
δl	Lineer gözlem modelinin ölçüm kapanma hatası
λ	Dalga boyu

KISALTMA LİSTESİ

AOA	Angle of Arrival
ASG	Alınan Sinyal Gücü
BLE	Bluetooth Low Energy
<i>dB</i>	Decibel
EN	Erişim Noktası
EKK	En Küçük Kareler
Gbps	Giga Bits Per Second
GHz	Giga Hertz
GKF	Genişletilmiş Kalman Filtresi
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
ID	Identification Number
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
INS	Inertial Navigation System
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ITU	International Telecommunication Union
İAEKK	İteratif Ağırlıklandırılmış En Küçük Kareler
KF	Kalman Filtresi
KOH	Karesel Ortalama Hata
Mbps	Mega Bits Per Second
MEMS	Micro-Electro-Mechanical Systems
MHz	Mega Hertz
UWB	Ultra-Wide Band
PDR	Pedestrian Dead Reckoning
RFID	Radio Frequency Identification
TOA	Time of Arrival
TDOA	Time Difference of Arrival
WiFi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
YKM	Yol Kayıp Modeli

Şekil 4. 1 Durum 1. İki dairenin iki farklı noktada kesişimi (aday noktalar mavi renk ile gösterilmiştir)	27
Şekil 4. 2 Durum 2. İki daire kesişmez; dairelerden birbirinden belli mesafe uzaktadır	28
Şekil 4. 2 Durum 3. İki daire kesişmez; bu dairelerden biri diğerini kapsamaktadır.....	28
Şekil 4. 3 Trilaterasyon metodu	30
Şekil 4. 4 Genişletilmiş Kalman Filtre süreci	37
Şekil 5. 1 A-marka erişim noktaları kullanılarak mesafeye bağlı sinyal şiddetlerinin toplanması.....	44
Şekil 5. 2 B-marka erişim noktaları kullanılarak mesafeye bağlı sinyal şiddetlerinin toplanması.....	45
Şekil 5. 3 10 farklı A-marka erişim noktasından yayılan 2.4 GHz sinyallerin mesafeye bağlı güç değerleri	46
Şekil 5. 4 10 farklı A-marka erişim noktasından yayılan 5 GHz sinyallerin mesafeye bağlı güç değerleri.....	46
Şekil 5. 5 4 farklı B-marka erişim noktasından yayılan 2.4 GHz sinyallerin mesafeye bağlı güç değerleri.....	47
Şekil 5. 6 4 farklı B-marka erişim noktasından yayılan 5 GHz sinyallerin mesafeye bağlı güç değerleri.....	47
Şekil 5. 7 A ve B marka erişim noktalarından yayılan sinyallerin mesafeye bağlı ortalama güç değerleri.....	48
Şekil 5. 8 10 farklı A-marka erişim noktasından yayılan 2.4 GHz sinyallerin mesafeye bağlı standart sapma değerleri	49
Şekil 5. 9 10 farklı A-marka erişim noktasından yayılan 5 GHz sinyallerin mesafeye bağlı standart sapma değerleri	49
Şekil 5. 10 4 farklı B-marka erişim noktasından yayılan 2.4 GHz sinyallerin mesafeye bağlı standart sapma değerleri	50
Şekil 5. 11 4 farklı B-marka erişim noktasından yayılan 5 GHz sinyallerin mesafeye bağlı standart sapma değerleri	50
Şekil 5. 12 A ve B marka erişim noktalarından yayılan sinyallerin mesafeye bağlı standart sapma değerleri	51
Şekil 5. 13 Matlab curve fitting tool yazılım arayüzü	52
Şekil 5. 14 A-marka 2.4 GHz sinyalleri için mesafeye bağlı ortalama sinyal gücü değerleri ve bu değerlere göre geçirilen eğriler	53
Şekil 5. 15 A-marka 5 GHz sinyalleri için mesafeye bağlı ortalama sinyal gücü değerleri ve bu değerlere göre geçirilen eğriler	53
Şekil 5. 16 B-marka 2.4 GHz sinyalleri için mesafeye bağlı ortalama sinyal gücü değerleri ve bu değerlere göre geçirilen eğriler	54
Şekil 5. 17 B-marka 5 GHz sinyalleri için mesafeye bağlı ortalama sinyal gücü değerleri ve bu değerlere göre geçirilen eğriler	54
Şekil 5. 18 B-marka 2.4 GHz sinyalleri için mesafeye bağlı ortalama sinyal gücü değerleri ve geçirilen üstel fonksiyon	57
Şekil 5. 19 A-marka EN6 2.4 GHz sinyalleri için mesafeye bağlı sinyal gücü değerleri ve geçirilen üstel fonksiyon.....	57

Şekil 5. 20 A-marka EN7 5GHz sinyalleri için mesafeye bağlı sinyal gücü değerleri ve geçirilen üstel fonksiyon.....	58
Şekil 5. 21 A-marka EN9 5GHz sinyalleri için mesafeye bağlı sinyal gücü değerleri ve geçirilen üstel fonksiyon.....	58
Şekil 6. 1 Hareketsiz konum belirleme çalışma alanı	63
Şekil 6. 2 2.4 GHz sinyaller için ITU yol kayıp modeli kullanılarak elde edilen konum hataları	64
Şekil 6. 3 5 GHz sinyaller için ITU yol kayıp modeli kullanılarak elde edilen konum hataları	64
Şekil 6. 4 2.4 GHz sinyaller için Logaritmik Mesafe yol kayıp modeli kullanılarak elde edilen konum hataları	65
Şekil 6. 5 5 GHz sinyaller için Logaritmik Mesafe yol kayıp modeli kullanılarak elde edilen konum hataları	65
Şekil 6. 6 2.4 GHz sinyaller için Chipcon yol kayıp modeli kullanılarak elde edilen konum hataları	66
Şekil 6. 7 5 GHz sinyaller için Chipcon yol kayıp modeli kullanılarak elde edilen konum hataları	66
Şekil 6. 8 2.4 GHz sinyaller için Mesafe/ASG yol kayıp modeli kullanılarak elde edilen konum hataları	67
Şekil 6. 9 5 GHz sinyaller için Mesafe/ASG yol kayıp modeli kullanılarak elde edilen konum hataları	67
Şekil 7. 1 Önerilen yöntem akış şeması	71
Şekil 7. 2 Bilaterasyon metoduyla tüm ikili kesişim noktalarının belirlenmesi (mavi noktalar: kesişim noktaları; kırmızı noktalar: erişim noktaları)	72
Şekil 7. 3 6 adet uygun kesişim noktasının kümelenme algoritmasıyla belirlenmesi (mavi noktalar: uygun kesişim noktaları; kırmızı noktalar: erişim noktaları).	72
Şekil 7. 4 Uyuşumsuz ölçülerin ve Bilaterasyon metodu ile mobil cihazın konumunun belirlenmesi (mavi noktalar: uygun kesişim noktaları; yeşil nokta: Bilaterasyon metodu sonucu)	74
Şekil 7. 5 Uyuşumsuz ölçülerin atılması sonucu kalan uyumlu ölçülerden elde edilen ortalama konum (mavi noktalar: uygun kesişim noktaları; yeşil nokta: Bilaterasyon metodu sonucu; siyah nokta: iyileştirilmiş konum)	74
Şekil 7. 6 Kinematik uygulama alanı (kırmızı noktalar: erişim noktaları).....	80
Şekil 7. 7 Uygulama güzergâhları	81
Şekil 7. 8 Uygulama 1’de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem ve GKF metodundan elde edilen güzergâhlar	82
Şekil 7. 9 Uygulama 2’de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem ve GKF metodundan elde edilen güzergâhlar	82
Şekil 7. 10 Uygulama 3’de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem ve GKF metodundan elde edilen güzergâhlar	83
Şekil 7. 11 Uygulama 4’de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem ve GKF metodundan elde edilen güzergâhlar	83
Şekil 7. 12 Uygulama 5’de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem ve GKF metodundan elde edilen güzergâhlar	84
Şekil 7. 13 Uygulama 6’da 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem ve GKF metodundan elde edilen güzergâhlar	84

Şekil 7. 14 Uygulama 1’de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem, GKF ve Bilaterasyon metotlarından elde edilen konum hatası ile kümülatif dağılım fonksiyonu verileri.....	87
Şekil 7. 15 Uygulama 2’de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem, GKF ve Bilaterasyon metotlarından elde edilen konum hatası ile kümülatif dağılım fonksiyonu verileri.....	87
Şekil 7. 16 Uygulama 3’de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem, GKF ve Bilaterasyon metotlarından elde edilen konum hatası ile kümülatif dağılım fonksiyonu verileri.....	88
Şekil 7. 17 Uygulama 4’de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem, GKF ve Bilaterasyon metotlarından elde edilen konum hatası ile kümülatif dağılım fonksiyonu verileri.....	88
Şekil 7. 18 Uygulama 5’de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem, GKF ve Bilaterasyon metotlarından elde edilen konum hatası ile kümülatif dağılım fonksiyonu verileri.....	89
Şekil 7. 19 Uygulama 6’da 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem, GKF ve Bilaterasyon metotlarından elde edilen konum hatası ile kümülatif dağılım fonksiyonu verileri.....	89
Şekil 7. 20 Manyetik sensör hata değerleri.....	92

	Sayfa
Çizelge 5. 1 Kullanılan erişim noktalarının bazı özellikleri	44
Çizelge 5. 2 Eğri geçirme yöntemlerinden elde edilen istatistiki veriler.....	56
Çizelge 5. 3 Logaritmik eğri geçirme işlemi sonucunda elde edilen a ve b katsayıları ile ölçüm belirsizliği değerleri	59
Çizelge 5. 4 2.4 GHz ve 5 GHz sinyalleri için a ve b katsayıları ağırlıklı ortalama ve ağırlıklı ortalamanın standart sapma değerleri.....	60
Çizelge 5. 5 Yol kayıp modellerine göre sinyal yayılma sabiti (N) katsayıları.....	61
Çizelge 6. 1 Konum Hatası İstatistikleri.....	69
Çizelge 7. 1 Manyetik sensör verisi ile ivme bileşenleri arasındaki bağıntı	79
Çizelge 7. 2 Uygulama sonuçlarına ait ölçüm belirsizlikleri	90
Çizelge 7. 3 Önerilen yöntemle elde edilen iyileşme miktarları	91

KAPALI MEKÂN KONUM BELİRLEMEDE MESAFE TABANLI YENİ BİR YÖNTEM ÖNERİSİ VE DOĞRULUK ANALİZİ

Veli İLÇİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Engin GÜLAL

Eş Danışman: Prof. Dr. Reha Metin ALKAN

GNSS ile dış mekânlarda santimetre-milimetre mertebesinde konum doğrulukları elde edilebilmektedir. Ancak, GNSS sinyallerinin kapalı mekâna hiç veya yeterli oranda ulaşamaması sebebiyle bu sistemler kapalı mekânlarda konum belirleme amacıyla kullanılamamaktadır. Günümüzde insanlar başta havaalanları, alışveriş merkezleri, fuar alanları gibi oldukça büyük yapılar olmak üzere zamanlarının önemli bir kısmını kapalı mekânlarda geçirmekte ve dolayısıyla dış ortamlarda GNSS ile elde edilebilen konum bilgisinin kapalı ortamlarda da sağlanmasını talep etmektedirler. Bu amaçla araştırma merkezleri, akademisyenler ve ticari firmalar çeşitli teknoloji, teknik ve algoritmaları kullanarak kapalı mekânlarda yüksek konum doğruluğu elde etme çalışmaları yürütmektedirler. Bu çalışmaların bazılarında yüksek maliyetli sistemler kullanılarak metre-altı konum doğrulukları elde edilirken, bazılarında ise kullanıcılara hiçbir maliyet sunmadan birkaç metre mertebesinde konum doğrulukları sağlamaktadırlar. Ancak şu ana kadar üzerinde uzlaşmış ve her mekânda uygulanabilecek bir çözüm elde edilememiştir.

Bu çalışmada sadece bir dizi test çalışması ve yazılım bilgisi gerektirmesi, başka hiçbir donanım ve yazılım maliyetinin olmaması sebebiyle WiFi tabanlı kapalı mekân konum belirleme tercih edilmiştir. Bu çalışma üç temel bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde 2.4 ve 5 GHz WiFi sinyallerinin mesafeye bağlı davranışları araştırılmıştır. 5 GHz sinyallerin 2.4 GHz sinyallere oranla daha kararlı davranış sergiledikleri ve standart

sapma deęerlerinin daha dűşűk olduęu belirlenmiřtir. Sonrasında sinyallerin mesafeye baęlı davranıřları eęri geęirme fonksiyonları kullanılarak modellenmiř ve en uygun eęri geęirme fonksiyonunun logaritmik mesafe fonksiyonu olduęu tespit edilmiřtir.

İkinci olarak 4 eriřim noktası (EN) kullanılarak 27 farklı noktada hareketsiz konum belirleme uygulaması geręekleřtirilmiřtir. Bu uygulamada űç farklı karřılařtırma yapılmıřtır. İlk olarak 2.4 ve 5 GHz sinyallerin hareketsiz konum belirleme performansları karřılařtırılmıř ve 5 GHz sinyallerin daha doęru konum doęruluęu saęladıęı belirlenmiřtir. İkinci olarak Bilaterasyon, Trilaterasyon, iteratif aęırlıklandırılmıř en kűçük kareler (İAEKK) ve geniřletilmiř Kalman filtresi (GKF) metodlarının hareketsiz konum belirleme performansları karřılařtırılmıř ve en yűksek konum doęruluęunu Bilaterasyon metodunun saęladıęı gűrűlműřtür. űçűncű olarak International Telecommunication Union (ITU), Logaritmik mesafe, Chipcon ve Mesafe/alınan sinyal gűcű (ASG) mesafe belirleme modellerinin konum belirleme performansları karřılařtırılmıř ve Mesafe/ASG modelinin en yűksek konum doęruluęunu saęladıęı tespit edilmiřtir.

Son olarak kapalı mekânda hareket halindeki kiřinin konumunu belirlemek amacıyla 6 uygulama geręekleřtirilmiřtir. Bu ęalıřmada Bilaterasyon ve GKF metodlarının birlikte kullanıldıkları yeni bir yűntem űnerilmektedir. Bu yűntem ile elde edilen konum doęrulukları Bilaterasyon ve GKF metodlarından elde edilen konum doęruluklarıyla karřılařtırılmıřtır. Ayrıca 2.4 ve 5 GHz sinyallerinin kinematik konum belirleme performansları da deęerlendirilmiřtir. Elde edilen sonuęlara gűre űnerilen yűntemin 2.4 GHz sinyalleri kullanılarak Bilaterasyon ve GKF metodlarından % 30, 5 GHz sinyaller kullanılarak ise % 50 daha yűksek konum doęruluęu saęladıęı gűrűlmektedir. Ayrıca 5 GHz sinyallerinin 2.4 GHz sinyallerden űnerilen yűntem ile yaklařık 1.5 metre, GKF metodu ile yaklařık 1.3 metre ve Bilaterasyon metodu ile yaklařık 1 metre daha yűksek konum doęruluęu saęladıęı belirlenmiřtir.

Anahtar Kelimeler: Kapalı mekân konumlama, WiFi, 2.4 GHz, 5 GHz, alınan sinyal gűcű, eęri geęirme, geniřletilmiř Kalman filtresi, bilaterasyon

**AN ACCURACY ANALYSIS OF A PROPOSED DISTANCE-BASED METHOD
FOR INDOOR POSITIONING**

Veli İLÇİ

Department of Geomatic Engineering

Phd. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Engin GÜLAL

Co-Adviser: Prof. Dr. Reha Metin ALKAN

In outdoor environments, millimeter-centimeter level positioning accuracies can be obtained with GNSS. However, since GNSS signals cannot be received any or limited within indoor areas, these systems are not feasible for use in indoor positioning. Today, most people spend a considerable amount of their time in indoor spaces, especially in large buildings such as airports, shopping malls, exhibition centers etc.; therefore, there is a demand for the availability of location information in these indoor environments as is available for outdoor spaces through GNSS. For this purpose, research centers, academicians and commercial firms are conducting many researches to obtain accurate position information in indoors using various technologies, techniques and algorithms. In some of these studies, sub-meter level positioning accuracy can be achieved using high-cost systems and others provide a few meters positioning accuracy without offering any cost for the user. However, none of the solutions offered to date has been widely accepted or can be applied to all indoor environments.

In this study, a WiFi-based indoor positioning was chosen because it only requires a series of test runs and software information with no other hardware or software cost. This study was conducted in three main stages: In the first stage, the distance-dependent behaviors of 2.4 and 5 GHz Wi-Fi signals were investigated. It was determined that 5 GHz signals had a more stable behavior and lower standard deviations than 2.4 GHz signals. Then, the behavior of the signals depending on the distance was

modeled using curve fitting functions and the optimal function was found to be logarithmic distance.

In the second stage, using four access points (AP), static positioning was performed on 27 different points. In this application, three different comparisons were made. First, the static positioning performances of 2.4 and 5 GHz signals were compared and it was determined that 5 GHz signals provided a better positional accuracy. Secondly, the static positioning performance of the methods of bilateration, trilateration, iterative weighted least squares (IAEKK) and extended Kalman filter (GKF) were compared and the highest position accuracy was obtained from the bilateration method. Thirdly, the positioning performance of different distance determination models; namely, the International Telecommunication Union (ITU), logarithmic distance, Chipcon, and distance/received signal strength (RSS) were compared and the last model provided the highest positioning accuracy.

In the final stage of the study, six experiments were carried out in an indoor space to determine the position of a person in motion. In this study, a new method was proposed which involved the combined use of bilateration and EKF. The positioning accuracy achieved by the proposed method was compared with those obtained by the individual applications of bilateration and EKF. Furthermore, the kinematic positioning performance of 2.4 and 5 GHz signals was evaluated. The results showed that the proposed method provided 30% higher positional accuracy with 2.4 GHz signals and 50% higher positional accuracy using 5 GHz signals compared to the individual applications of bilateration and EKF methods. It was also determined that compared to the 2.4 GHz signals, 5 GHz signals achieved approximately 1.5 meters higher positioning accuracy using the proposed method, about 1.3 meters higher positioning accuracy with the EKF method alone and approximately 1 meter higher accuracy with bilateration alone.

Keywords: Indoor positioning, WiFi, 2.4 GHz, 5 GHz, received signal strength, curve fitting, extended Kalman filtering, Bilateration

1.1 Literatür Özeti

WiFi tabanlı kapalı mekân konumlama sistemleri kapalı mekânlardaki tavanlar, duvarlar, kapılar, insanlar vb. sebeplerle yansıma, kırılma, dağılma gibi etkilere maruz kalmaktadırlar. Bu etkilerin yanı sıra sinyallerin kapalı mekânlarda mesafeye bağlı olarak gücünü kaybetmesi de göz önüne alındığında bu ortamlarda sinyaller kullanılarak konum belirleme oldukça karmaşık hal almaktadır. Dong ve Dargie [1] de alınan sinyal gücü (ASG) değerlerinin güvenilirliğini ve kapalı mekân konumlama çalışmalarındaki kullanılabilirliğini araştırılmışlardır. Çalışma çoğunlukla açık görüş imkanına sahip 27.5 metre mesafede, 1.6 metre aralıklarla ve 10'ar saniye ASG değerlerinin toplanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Toplanan ASG değerlerinin ortalaması alınmış ve eğri geçirme metoduyla ASG ile mesafe arasındaki bağıntı belirlenmiştir. Bu bağıntı referans olarak kabul edilerek referans mesafede alınan ortalama sinyal gücü (A) ve mesafeye bağlı sinyal yol kayıp katsayısı (N) değerleri belirlenmiştir. Sonrasında ham veri, hareketli ortalama, ağırlıklı ortalama ve eğri geçirme metotları kullanılarak uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde dört uygulamanın tümünde ASG değerlerinin referans eğriye uymadığı ve böylece ASG değerlerinin güvenilirmez olduğu tespit edilmiştir.

Khan vd. [2] de genişletilmiş Kalman filtresi (GKF) metodunun konum (x), konum-hız ($x - \dot{x}$), konum-hız-ivme ($x - \dot{x} - \ddot{x}$) modelleri kullanılarak elde edilen konum doğruluklarını karşılaştırılmıştır. Kullanıcıya konum bilgisi, koordinat verisi, dönüklük bilgileri sağlayabilen ve el terminalleri, dizüstü bilgisayarı gibi cihazlara entegre

edilebilen sensörlerinin kullanıldığı bu çalışmada periyodik olarak kablosuz veri paketi gönderen ve konum belirleme amaçlı olarak kullanılan cihazlardan eşzamanlı olarak ultrases ve radyo sinyalleri yayılmaktadır. Bu sinyallerin alıcıya ulaşma anları arasındaki zaman farkları belirlenerek sinyali gönderen ve alan cihazlar arasındaki mesafeler hesaplanmaktadır. 2 boyutlu olarak gerçekleştirilen çalışmada sinyali gönderen cihazlar konumu belirli noktalarda tesis edilmişlerdir. Başlangıç konumu trilaterasyon metodu ile belirlenmiş olan mobil cihaz belirli güzergâh boyunca hareket ettirilmiş ve konumu üç farklı modelle belirlenmeye çalışılmıştır. Üç farklı hızda (20 santimetre/saniye, 40 santimetre/saniye ve 60 santimetre/saniye) gerçekleştirilen çalışmada üç modelin performansı karşılaştırıldığında, her üç hızda da (x) modelinin $(x - \dot{x})$ ve $(x - \dot{x} - \ddot{x})$ modellerinden daha yüksek konum doğruluğu sağladığı belirlenmiştir. $(x - \dot{x})$ modeli ise $(x - \dot{x} - \ddot{x})$ modelinden daha yüksek doğruluk sağlamıştır. Ayrıca düşük hızlarda konum doğruluğunun arttığı vurgulanmıştır. Sonrasında ise sinyal yollayan 3, 4 ve 6 adet cihazla uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Sinyali yollayan cihaz sayısı arttıkça konum doğruluğunun da arttığı görülmüştür.

Benzer bir çalışma Zhu ve Shareef tarafından [3] de gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada da GKF metodunun (x) , $(x - \dot{x})$ ve $(x - \dot{x} - \ddot{x})$ konum belirleme performansları kablosuz ağ için değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre $(x - \dot{x} - \ddot{x})$ modelinin $(x - \dot{x})$ ve (x) modelinden daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Ayrıca erişim noktası (EN) sayısındaki artışın konum doğruluğunu artırdığı ifade edilmiştir.

Li vd. tarafından [4] de gerçekleştirilen çalışmada iki farklı kapalı mekânda öncelikle ortamdaki konuma bağlı ASG değerleri ve manyetik alan bilgileri 30'ar dk süren bir ön çalışmada toplanmıştır. Sonrasında WiFi parmakizi ve manyetik eşleştirme teknikleri kullanılarak kullanıcının konumu belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma verileri değerlendirildiğinde EN sayısının ve manyetik özelliğe sahip cihazların fazla olduğu 1. kapalı mekânda WiFi parmakizi tekniğiyle 4.3 metre, manyetik eşleştirme ile 12.2, iki yöntemin birlikte kullanılması ile 4.5 metre konum doğruluğu elde edilmiştir. EN sayısının ve manyetik bilginin az olduğu 2. kapalı mekânda ise WiFi parmakizi tekniğiyle 7.2 metre, manyetik eşleştirme ile 16.6, iki yöntemin birlikte kullanılması ile 4.2 metre konum doğruluğu elde edilmiştir. Birinci mekânda iki yöntemin birlikte kullanılmasıyla konum doğruluğunda önemli bir artış görülmez iken 2. mekânda iki yöntemin birlikte

kullanılmasıyla konum doğruluğunda %42 oranında artış görülmektedir. Bu çalışma ile sensör teknolojisinin kullanılmasının konum doğruluğunu artırabileceği görülmektedir.

Zhuang vd. [5] de aynı bina içerisinde üç farklı kişi tarafından, üç ayrı akıllı telefon kullanarak, koridorlarda benzer özellikteki üç farklı güzergâhta WiFi, ivmeölçer ve jiroskop ile veriler toplanmıştır. Bu veriler Pedestrian Dead Reckoning (PDR), PDR+ Inertial Navigation System (INS) ve PDR+INS+Wireless Fidelity (WiFi) ile mobil cihazın konumu güzergâhlar boyunca belirlenmeye çalışılmıştır. Trilaterasyon tabanlı WiFi konum belirleme metodu özellikle PDR ve INS verilerinde zamanla oluşacak sürüklenme hatalarını sınırlamak ve düzeltmek için kullanılmıştır. PDR ile 1., 2. ve 3. güzergahlarda sırasıyla 8.44 metre, 27.92 metre ve 25.35 metre ortalama konum doğrulukları elde edilmiştir. PDR+INS ile 1., 2. ve 3. güzergahlarda sırasıyla 2.91 metre, 5.72 metre ve 9.55 metre ortalama konum doğrulukları elde edilmiştir. PDR+INS+WiFi ile 1., 2. ve 3. güzergahlarda sırasıyla 2.91 metre, 4.17 metre ve 4.49 metre ortalama konum doğrulukları elde edilmiştir. Sonuçta PDR+INS entegrasyonu ile PDR'ye oranla konum doğruluğunda %60-75 iyileşme sağlanmıştır. PDR+INS+WiFi ile de PDR+INS'e göre %15-55 oranında iyileşme sağlanmıştır.

Son teknoloji ürünü WiFi erişim noktalarında 2.4 GHz sinyallerin yanı sıra 5 GHz sinyallerde kullanılmaya başlanmıştır. WiFi tabanlı kapalı mekân konum belirleme çalışmalarında her iki sinyalin kullanıldığı çalışmalar gerçekleştirilmeye başlanmıştır [6]. Ancak 5 GHz sinyallerin oldukça yeni kullanılmaya başlanması sebebiyle iki sinyalin birlikte kullanıldığı sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Lui vd. [7] de kapalı ve açık alanlarda WiFi sinyal güçlerinin zorlukları ve limitlerinin test edilmesi amacıyla 0.3 ila 35 metre aralığındaki 15 farklı mesafede 11 farklı markanın toplam 17 modeli kullanarak uygulama gerçekleştirmişlerdir. Sinyali toplayan cihazların 12 tanesi sadece 2.4 GHz sinyal verilerini alma kapasitesine sahip iken 5 tanesi hem 2.4 hem de 5 GHz sinyal verilerini alabilmektedir. Uygulamadan elde edilen veriler ışığında aynı marka farklı modeldeki cihazlarının performanslarında farklılık olduğu görülmüştür. Hatta aynı marka ve modeldeki cihazların performanslarında da farklılıklar olduğu görülmüş ve bunun cihazların kalibrasyonundan kaynaklanıyor olabileceği ileri sürülmüştür. Ayrıca 5 GHz sinyallerinin ortalama standart sapma değerlerinin 2.4 GHz

sinyallere oranla çok daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durumun 5 GHz sinyallerinin 2.4 GHz sinyallere oranla daha az kullanılıyor olması sonucunda ortamdaki diğer sinyallerle etkileşiminin daha az olmasından kaynaklanıyor olabileceği öngörülmüştür.

Yu vd. [8] de 2.4 ve 5 GHz WiFi sinyalleri kullanılarak kapalı mekândaki mobil cihazın konumunu belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma parmakizi tekniği ve kümelenmiş K-en yakın komşuluk algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mobil cihaz kullanılarak gerçekleştirilen çalışmanın hesap yükünün azaltılması amacıyla öncelikle cihazın konumu kabaca hesaplanmakta ve uyuşumsuz parmakizi verilerinin elenmesi sonrasında hassas konum belirleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca parmakizi tekniğinin offline evresindeki işgücünün azaltılması için bilgisayar destekli yazılım kullanılarak otomatik radyo haritaları üretilmiştir. Çalışmada 2.4 ve 5 GHz sinyal dalgalanmaları detaylı olarak analiz edilmiştir. 5 GHz sinyallerin 2.4 GHz sinyallere göre daha güçlü ve daha kararlı olduğu tespit edilmiş ve bunun sebebinin düşük sinyal karışma etkisi olabileceği belirtilmiştir. Dolayısıyla 5 GHz sinyaller kullanılarak daha yüksek konum doğruluğu elde edilebileceği öngörülmüştür. Kümelenmiş K-en yakın komşuluk analizi kullanılarak gerçekleştirilen konum belirleme uygulaması sonucunda da 5 GHz sinyaller kullanılarak daha yüksek doğrulukta konum bilgisi elde edilmiştir.

Lohan vd. [9] da Wireless Local Area Network (WLAN) 2.4 ve 5 GHz sinyalleri ve Bluetooth Low Energy (BLE) sinyal davranışlarındaki benzerlik ve farklılıklar ile konum doğrulukları araştırılmıştır. Bluetooth teknolojisine göre daha basit uygulamalarda kullanılabilen BLE teknolojisi kısa mesafelerde etkisini gösterebilen, düşük enerji ve maliyet gerektiren, yayılan sinyaller kullanılarak veri iletişimine olanak tanıyan kablosuz kişisel alan ağlarıdır. Çalışma 4 katlı bir binada parmakizi tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. BLE sinyal dalgalanmalarının varyans değerinin 2.4 ve 5 GHz sinyallere oranla az miktarda daha düşük olduğu belirtilmiştir. 2.4 ve 5 GHz sinyallerin yol kayıp sabitinin hemen hemen aynı olduğu, BLE'nin ise biraz düşük olduğu tespit edilmiştir. Parmakizi tekniğiyle 2.4 GHz sinyaller kullanılarak 7.6 metre, 5 GHz sinyalleri ile 17.6 metre ve BLE sinyalleri ile 10.5 metre konum doğrulukları elde edilmiştir. 5 GHz sinyallerin daha düşük konum doğruluğuna sahip olmasının 5 GHz sinyali gönderen cihaz sayısının az olmasından kaynaklanıyor olabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, 2.4 GHz

sinyallerinin 5 GHz sinyallere oranla duvarlardan daha iyi geçebildiği ve menzilin daha uzun olduğu tespit edilmiştir.

Talvitie vd. [10] da 2.4 ve 5 GHz sinyalleri ve Bayesian parmakizi tekniği kullanarak 3'ü ofis, 3'ü de alışveriş merkezi olmak üzere 6 farklı binada 3 boyutlu konum belirlenmeye çalışmışlardır. Bu uygulamalarda her iki sinyal için ASG dağılımları belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. 5 GHz sinyallerin özellikle düşey yönde sinyal kaybının 2.4 GHz sinyallere oranla çok daha fazla olduğu görülmüştür. Konum doğrulukları karşılaştırıldığında 6 binadan sadece birinde 5 GHz sinyaller daha iyi konum doğruluğu sağlarken, 2.4 GHz ile 5 binada daha yüksek konum doğrulukları elde edilmiştir. Tüm binalardan elde edilen ortalama konum doğrulukları 2.4 GHz için 10.28 metre, 5 GHz için 13.8 metre olarak elde edilmiştir. Ancak 5 GHz sinyallerin kullanımının yaygınlaşmasıyla bu sinyallerin konum doğruluğunun artabileceğini ifade etmişlerdir.

Talvitie vd. [11] de çok katlı bir yapıda 2.4 ve 5 GHz sinyalleri toplanmış ve parmakizi veri tabanı oluşturulmuştur. İnterpolasyon ve ekstrapolasyon metotlarıyla sinyal verilerinin eksik olduğu bölgeler iyileştirilmeye çalışılmıştır. Yapay olarak oluşturulan parmakizi verileri orijinal parmakizi verileriyle karşılaştırılmıştır. Orjinal, kısmi, interpolate edilmiş, interpolate ve extrapole edilmiş parmakizi verileri karşılaştırılmıştır. Yatay konum doğrulukları ve kat belirleme olasılıkları her iki sinyal verisi için de belirlenmiştir. Yatay konum doğruluğu ve kat belirleme olasılığının uygun interpolasyon ve ekstrapolasyon metotlarıyla arttırılabildiği görülmüştür. Ayrıca, 5 GHz sinyallerin konum doğruluklarının ve kat belirleme olasılığının 2.4 GHz sinyallere oranda daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durumun 5 GHz parmakizi sayısının az olmasından kaynaklandığı, 5 GHz parmakizi sayısının artmasıyla konum doğruluğunun da artacağı görüşü savunulmuştur.

Karlsson vd. [12] de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri particle filtresi ile kapalı mekânda konum belirleme amacıyla kullanmışlardır. Öncelikle 2.4 ve 5 GHz sinyallerinin arasındaki korelasyon belirlenmeye çalışılmıştır. %95 güven aralığında gerçekleştirilen test sonucunda iki sinyal arasında korelasyon olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu sebeple iki sinyalin birlikte kullanılmasıyla konum doğruluğunun artırılacağı öne sürülmüştür. Gerçekleştirilen konum belirleme uygulaması sonucunda 2.4 GHz sinyaller kullanılarak 2.6 metre, 5 GHz sinyaller kullanılarak 2.9 metre, her iki sinyalin birlikte kullanılması ile

1.7 metre konum doğruluğu elde edilmiştir. Bu uygulamada da 2.4 GHz sinyallerin 5 GHz sinyaller oranla daha yüksek konum doğruluğu sağladığı görülmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Tezin temel amacı, kapalı mekânlarda mobil cihazları kullanarak mesafe tabanlı yeni bir konum belirleme yöntemi geliştirmektir. Bu kapsamda kapalı mekânların neredeyse tamamında bulunan mevcut WiFi altyapısının kullanılması tercih edilmiştir. Günümüzde WiFi cihazlarının 2.4 ve 5 GHz frekanslarından hizmet sunmaya başlaması sonucunda bu iki sinyalin kapalı mekân konum belirlemedeki kullanılabilirlikleri analiz edilmiş ve performansları karşılaştırılmıştır. Ayrıca kapalı mekân konum belirleme amacıyla Bilaterasyon ile GKF metotlarından oluşan yeni bir yöntem ortaya konulmuş ve bu yöntemin konum belirleme performansı hem Bilaterasyon hem de GKF metotları ile karşılaştırılmıştır.

1.3 Hipotez

WiFi 5 GHz sinyaller kullanıcılar için oldukça yeni bir üründür. 2.4 GHz sinyallere oranla daha hızlı olan ve daha geniş band spektrumuna sahip bu sinyallerin kapalı mekân konum belirlemede daha yüksek konum doğruluğu sağlayabileceği düşünülmektedir. Ancak günümüzde 5 GHz sinyaller kullanılarak gerçekleştirilen sınırlı sayıdaki çalışmada oldukça farklı değerlendirmeler olduğu görülmektedir. Bu çalışmada 2.4 ve 5 GHz sinyaller kullanılarak gerçekleştirilen detaylı inceleme ve analizler iki sinyalin konum doğruluklarına etkisinin daha net anlaşılmasını sağlayacaktır.

Kapalı mekânda sinyallerin çevresel koşullardan çok fazla etkilenmesi sonucunda mesafe ve konum tahminlerinde oldukça yüksek hata değerleriyle karşılaşmaktadır. Bu hataları gidermek için geçmiş çalışmalarda farklı analiz ve/veya teknikler kullanılarak daha doğru konum bilgisi elde edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada ise yeni bir yöntem önerilmektedir. Bu yöntemde Bilaterasyon metodu kullanılarak hatalı sinyal gücü değerlerinin neden olacağı oldukça yüksek mesafe hatalarının azaltılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, 3sigma testi ve uyuşumsuz ölçülerin atılması sonucu elde edilen iyileştirilmiş konum ve mesafe değerleri genişletilmiş Kalman filtresinde kullanılmaktadır. Böylelikle önerilen yeni yöntem ile hem genişletilmiş Kalman

filtresi'nden hem de Bilaterasyon'dan daha yüksek konum doğruluğu elde edile
bilineceği hipotezi savunulmuştur.



KAPALI MEKÂN KONUMLAMA TEKNOLOJİ ve TEKNİKLERİ

Günümüzde insanlar yaşamlarının %80-90'ını kapalı mekânlarda geçirmektedirler [13]. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişimine bağlı olarak ortaya çıkan gelişmeler sonucu insanlar konum bilgisi elde etmeye daha çok ihtiyaç duymakta ve böylece kişilerin konum bazlı servislere olan talebi de gün geçtikçe artmaktadır [14]. Süpermarketler, kapalı otopark alanları, alışveriş merkezleri, havaalanları, fuar merkezleri, kütüphaneler, hastaneler, ofis binaları, depo alanları gibi oldukça büyük kapalı mekânlarda insanlar çeşitli amaçlar için konum bilgisine ihtiyaç duyabilmektedirler. Açık görüş imkânına sahip dış ortamlarda GNSS sistemleri yüksek konum doğruluğu üretebilmektedir. Ancak yoğun ağaçlık alanlar, vadiler ve şehir içi alanlar gibi GNSS sinyallerinin alıcıya doğrudan erişiminin kısmen engellendiği alanlarda da GNSS sistemleri ile istenilen konum doğrulukları elde edilememektedir [15]. Ayrıca uydu sayısının yetersiz ve uydu geometrisinin zayıf olduğu durumlarda da yine konum doğrulukları düşmektedir [16], [17]. Kapalı mekânlarda doğrudan görüş imkânı olmaması, sinyal yayılımının iç mekânlarda engeller vb. sebeplerle düzensiz yayılıma sahip olmaları ve sinyal karışması gibi sebeplerden dolayı GNSS sistemleri etkili bir çözüm sunamamaktadır. Bu sebeplerden dolayı kapalı mekân konum belirleme günümüzde oldukça önemli araştırma alanlarından biri haline gelmiştir. Ancak kapalı mekânların karmaşık yapıya sahip olmaları sebebiyle istenilen konum doğruluklarının sağlanması oldukça güçtür [18].

Kapalı mekân konum belirleme sürekli ve gerçek zamanlı olarak bir kişinin veya nesnenin konumunun çeşitli teknolojiler, metotlar, teknikler ve algoritmalar kullanılarak belirlenmesidir. Kapalı mekân konum belirleme sistemleri görme engelli insanların

navigasyonunda, yaşı ve çocukların izlenmesinde, hastanelerde acil durum uygulamalarında ve hastaların izlenmesinde, hastanelerde çok yüksek maliyetli cihazların takibinde, müzelerde turist rehberliğinde, hırsızlık olaylarında, polis ve yangın operasyonlarında, fabrikalarda endüstriyel robotların navigasyonunda ve hatta hassas ameliyat operasyonlarında kullanılabilir [19]. Bu sistemler yüksek konum doğruluğuna ve geniş kapsama alanına sahip, kolaylıkla erişilebilir, farklı büyüklükteki mekânlarda uygulanabilir, uygun maliyetli ve kullanıcı için güvenli olmalıdır.

2.1 Konum Tabanlı Servisler

Konum bilgisi tek başına çok fazla değer ifade etmemekle birlikte mobil uygulamalarla kullanıldığında çok geniş kullanım alanları sağlayabilmektedir [20]. Konum tabanlı servisler kullanıcıların konum bilgisi ile birlikte pek çok bilgiyi kullanıcıya sağlayarak hizmet sunan servislerdir. Bu servislerin kullanımı ve pazarı her geçen gün artmaktadır. 2016 yılı itibarıyla 4.72 milyar dolar seviyesinde işlem hacmine sahip olan kapalı mekân konum belirleme piyasasının 2021 yılında 23.13 milyar dolar seviyesine çıkması beklenmektedir [21], [22]. Bu servisler genellikle mobil cihaz, iletişim ağı, mobil cihazın konumunun belirlenmesinden sorumlu konumlama unsurları, servis ve uygulama sağlayıcıları, veri ve içerik sağlayıcılarından oluşmaktadır.

2.2 Kapalı Mekân Konum Belirleme Teknolojileri

İnsanların kapalı mekânlardaki konum belirleme ihtiyaçlarının karşılanabilmesi amacıyla araştırma merkezleri, üniversiteler ve ticari şirketler tarafından pek çok akademik ve ticari amaçlı çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda çeşitli teknolojiler ya ayrı ayrı kullanılmış veya birden fazla teknoloji birlikte kullanılarak birbirlerinin dezavantajlarını en aza indirmek suretiyle daha doğru konum bilgisi elde edilmeye çalışılmıştır. Günümüze kadar gerçekleştirilen bu çalışmalarda kullanılan konum belirleme teknolojileri donanım ihtiyacına [23], ağ yapısına, sistem mimarisine ve temel teknolojiye [24], sistemlerin yapıya sabitlenmiş olma durumlarına [25], parametrik ve parametrik olmama durumuna [26], kullanılan teknolojilere [27] ve sistem altyapılarına [28] göre farklı sınıflandırılmışlardır. Genel olarak bu teknolojiler büyük alanlarda düşük konum doğrulukları veya küçük alanlarda yüksek konum doğrulukları

sağlayabilmektedirler [29]. Günümüzde bu ihtiyacı bütün kapalı ortamlarda giderebilecek yeterliliğe sahip bir teknoloji henüz geliştirilememiştir [20]. Kullanılan teknolojiler içerisinde düşük maliyetli ve konum doğruluğu yüksek olanlar pek çok çalışmada sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmalarda kullanılan konum belirleme teknolojileri hakkında genel bilgiler aşağıda verilmektedir.

2.2.1 Ultrasonic

Elektromanyetik dalgalarla karışmayan ve kısa mesafelerde kullanılan ultrases dalgalar mekânîk dalgalardır. Tavana monte edilen işaretçilerden belirli periyotlarda eşzamanlı olarak ultrasonik ses dalgaları ve ID değerine sahip radyo dalgaları gönderilmektedir [30]. Ses dalgalarını yayan ve alan cihazlar arasındaki mesafe, Time of Arrival (TOA) tekniği kullanılarak belirlenebilmektedir. Sinyali yayan cihazın konumu üç veya daha fazla konumu bilinen noktadan yapılan mesafe ölçümlerinin trilaterasyon veya multilateration metotları ile çözülmesiyle elde edilebilir. Küçük kapsama alanında yapılan uygulamalarda birkaç santimetre seviyesinde doğrulukla konum belirlenebilmektedir. Ancak sistemde alıcı ve vericilerin birbirini doğrudan görmesi zorunluluğu ve yüksek doğruluk elde etmek için yüksek maliyetlerin gerekmesi sistemin dezavantajlarıdır. Ayrıca ultra ses konum belirleme sistemleri yansıyan ses sinyallerinden ve gürültülü sesler gibi diğer hata kaynaklarından etkilenmektedir.

2.2.2 Kızılötesi

Görünmeyen ışık spektrumunun kullanıldığı bu teknoloji doğrudan ve dağınık kızılötesi olmak üzere ikiye ayrılır. Çok kısa mesafede çalışan ve az güçlü sinyallerin kullanıldığı doğrudan kızılötesi, cihaz ile nesne arasında doğrudan görüş gerekmektedir [31]. Dağınık kızılötesi ise daha güçlü sinyaller ve geniş açılı ledler kullanarak 9-12 metre mesafede kullanılabilir. Duvarlardan ve katı yüzeylerden geçme özelliği bulunmayan kızılötesi sinyaller sadece bir oda gibi küçük alanlarda hassas ölçme amacıyla kullanılabilirler. Ortamdaki ışık ve floresan lambalardan yayılan ışıktan kolaylıkla etkilenebilmektedir. Bu problem optik ve elektronik filtrelerle veya gürültü önleyici sinyal işleme metotları kullanılarak giderilebilmektedir. Bu teknoloji kullanılarak

kurulacak sistemler oldukça yüksek maliyete ulaşabilmektedirler. Bu teknoloji ile birkaç milimetre mertebesinde konum doğrulukları elde edilebilmektedir.

2.2.3 RFID

Radio Frequency Identification (RFID) teknolojisi radyo dalgalarının kullanarak birkaç metrelik bir alanda bir insanın veya nesnenin kimliğini belirleyen teknolojidir [32]. Hafif ve küçük etiketler kullanılarak sistem içerisindeki insanların ve nesnelerin otomatik olarak izlenmesinde kullanılmaktadır. RFID teknolojisi okuyucular ve etiketlerden oluşmaktadır. Sistem yaklaşık 2 kilobayt veri depolama kapasitesine sahip mikroçip ve antenden oluşan etiketlerinden yayılan sinyallerin anten, alıcı-verici, güç kaynağı, işlemci ve server'a bağlanmayı sağlayan ara yüzden oluşan okuyucular tarafından alınması veya okuyucular tarafından yayılan sinyallerin etiketler tarafından alınmasıyla şekilde gerçekleştirilebilirler. Etiketler aktif veya pasif olabilmektedirler. Kapsama alanı büyük ve yüksek maliyetli olan aktif etiketlerin kullanıldığı RFID sistemlerinde alıcı-verici özellikli etiketler kullanılır ve etiket tarafından ID bilgisi ve diğer bilgiler gönderilir. Küçük kapsama alanına ve düşük maliyetli olan pasif RFID etiketlerinin kullanıldığı sistemlerde izlenen etiket alıcı durumdadır. Bu teknoloji katı ve metal olmayan cisimlerden geçebilmekte ve bu sebeple doğrudan görüş imkânı şartı bulunmamaktadır. RFID okuyucuların karmaşık yapısı, kapsama alanının düşük olması, sistemin maliyetli oluşu [33], sistemin iletişim kapasitesine sahip olmaması ve diğer sistemlerle entegre çalışma sıkıntıları bu teknolojinin en önemli dezavantajlarıdır.

2.2.4 WLAN

Kablosuz ağların ve akıllı telefonların hızlı artışı sonucu çoğu kapalı mekânda sabit olarak konumlandırılmış olan WiFi erişim noktalarının sayısı da hızla artış göstermiştir [13]. Günümüzde okullarda, hava alanlarında, otellerde ve hemen herkesin evinde bulunan, internete bağlanmamızı sağlayan erişim noktaları (EN) kullanılarak iç mekânlarda konumlama yapılabilmektedir [34]. Kablosuz yerel alan ağlarıyla konumlamada varış zamanı (TOA) , varış zaman farkları (TDOA) ve varış açısı (AOA) teknikleri zaman gecikmesi ve açı ölçümü metotlarındaki karmaşıklıklar nedeniyle çok fazla kullanılamamakla birlikte en sık kullanılan teknik alınan sinyal gücü (ASG) tekniğidir. [35]

de son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalarda ASG tekniğinin kullanılmasıyla birkaç saniyelik güncelleme oranıyla yaklaşık 2-3 metre civarında konum doğruluklarının elde edilebildiği ifade edilmiştir. Kapalı mekânda bulunan mevcut WiFi altyapısının kullanılması ve ilave hiçbir donanım gerektirmemesi sebebiyle kapalı mekân konum belirleme teknolojileri içerisinde en ekonomik çözüm sunanıdır [36]. Ayrıca, sinyali yollayan cihaz sayısına bağlı olarak büyük alanlarda uygulanabilir olması ve sinyali gönderen ile sinyali alan cihazlar arasında doğrudan görüş gerektirmemesi bu teknolojinin diğer önemli avantajlarından [37]. Günümüzde mobil telefon, tablet ve dizüstü bilgisayarlar gibi mobil cihazların tamamında bu teknoloji bulunmaktadır. Yukarıda bahsedilen avantajlardan dolayı günümüzde kapalı mekân konum belirleme çalışmalarında en çok kullanılan teknolojidir. Ancak, WiFi sinyalleri mobil cihazı kullanan kişinin hareketi ve dönüklüğü, kapalı mekândaki zeminler, duvarlar, kapılar, metaller ve insanlar gibi dış etkenlerden oldukça fazla etkilenmektedirler. Bu etkiler sebebiyle sinyallerin ortamdaki yayılımı etkilenmekte, buna bağlı hesaplanan mesafe doğruluğu düşmekte ve ancak birkaç metre mertebesinde konum doğrulukları elde edilebilmektedir.

Bu teknoloji Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 802.11 standartlarını kullanmaktadır. IEEE 802.11 kablosuz iletişim teknolojisi 1999 yılında 5 GHz bandında hizmete sunulan 802.11a ve 2.4 GHz bandında hizmete sunulan 802.11b ile piyasalardaki yerini almıştır. 802.11a bandının yüksek maliyetli olması sebebiyle görece daha düşük maliyetli olan 802.11b bandına yönelim artmış ve bu bandın kullanımı ev ve işyerlerinde hızla yaygınlaşmıştır. 2.4 GHz frekansındaki sinyaller Industrial, Scientific and Medical (ISM) bandını kullanılmaktadır. 2003 yılında hizmete sunulan, 802.11a'nın kararlılığı ve 802.11b ucuzluğunu birleştiren 802.11g teknolojisiyle 2.4 GHz bandında 54 Mbps'ye varan sinyal iletim hızlarına ulaşılabilir. Bu teknoloji günümüzde hâlihazırda kullanılmakta olan pek çok EN'de bulunmaktadır. Kablosuz ağ teknolojilerindeki hızlı artış ve 2.4 GHz sinyallerin lisanssız olması sebebiyle mikrodalga, bluetooth, telekomünikasyon cihazları, kablosuz güvenlik kameraları, mikrofonlar, klavyeler ve fareler vb. farklı donanım ve uygulamalarda da 2.4 GHz sinyalleri kullanılmakta ve dolayısıyla bu sinyallerde yüksek oranda karışma ve gürültü meydana gelmektedir [38]. Bu olumsuzluklar sebebiyle 5 GHz bandındaki sinyallerin kullanımı tekrar gündeme

gelmiştir. 2009 yılında 600 Mbps'e kadar hıza ulaşabilen ve eşzamanlı 2.4 ve 5 GHz bantlarından hizmet veren 802.11n teknolojisi yürürlüğe girmiştir. Son olarak 2013 yılında kullanılmaya başlanan ve 2014 yılında onaylanan 802.11ac teknolojisi ile 1 Gbps hızına kadar ulaşabilmektedir. 802.11ac teknolojisi de hem 2.4 hem de 5 GHz bantlarından hizmet vermektedir.

Radyo sinyalleri ortamdaki aynı veya daha yüksek frekans bandındaki sinyaller tarafından etkilenmekte ve gürültülü sinyal verileri oluşmaktadır. Ancak, ortamda bulunan bu gürültüler alıcının hareketli olması gibi sebeplerden durağan olmayan süreçlerdir, büyük oranda kestirilemez ve modellenemezler [39]. 2.4 GHz sinyaller diğer pek çok cihaz tarafından kullanıldığı için sinyallere yüksek karışma etkisine maruz kalmaktadır. 2.4 GHz sinyaller düşük hıza ve 3 kanala sahiptirler ancak duvarlar ve zeminler gibi engellerden rahatlıkla geçebilmeleri sebebiyle uzun mesafede ve geniş kapsama alanında kullanılabilirler. 23 kanala ve daha geniş spektruma sahip 5 GHz sinyaller 2.4 GHz sinyallere oranla sinyal karışma etkisi çok düşüktür, daha hızlıdır, yüksek veri transfer hızına sahiptir ve enerji ihtiyacı daha düşüktür. Bu durum kullanıcılara sabit ve yüksek kalitede sinyalin sağlanması anlamına gelmektedir. Radyo dalgaları yayılım kayıp teorisine göre yüksek hıza sahip 5 GHz bandındaki sinyallerin 2.4 GHz sinyallerine oranla daha güçsüz olması beklenmektedir [40]. 5 GHz sinyaller engellerden daha az geçebilmektedirler ve dolayısıyla bu sinyallerin uygulama mesafesi ve kapsama alanı daha düşüktür.

2.2.5 Bluetooth

Bluetooth kişiden kişiye iletişimi sağlayan, çok düşük güç kullanan, düşük maliyetli, kolaylıkla ulaşılabilen kablosuz kişisel alan ağlarıdır. Günümüzde akıllı telefonların çoğunda bulunan bluetooth teknolojisi [41] lisanssız olarak kullanılabilen 2.4 GHz Industrial, Scientific and Medical (ISM) yayın bandını ve IEEE 802.15.1 teknolojisini kullanmaktadır. Ancak sinyali yollayan cihazların kapalı mekânlarda bulunmaması nedeniyle bu teknoloji kullanılarak gerçekleştirilecek çalışmalarında özel donanım gerekmektedir. Bluetooth teknolojisi kısa mesafelerde yakınlık tekniğiyle konum belirleyebilmekte ve ucuz çözümler sunmakta iken büyük alanlarda yapılan çalışmalarda düşük doğruluk ve yüksek maliyetler ortaya çıkmaktadır [42]. Bu teknoloji kullanılarak

20 saniye gecikme ile 2-3 metre mertebesinde konum doğrulukları elde edilebilmektedir [24].

2.2.6 Ultra-Wide Band (UWB)

UWB çok geniş frekans spektrumuna sahip iletişim kanalıdır ve böylece çok az enerji harcayarak büyük miktarda veriyi gönderebilmektedir. Bu teknoloji kullanılarak gerçekleştirilen konum belirleme çalışmalarında sinyali gönderen ve alan cihazlar arasındaki mesafe genellikle TOA ve TDOA teknikleri kullanılarak belirlenir [43]. Eş zamanlı konum belirleme ve veri transferinin gerçekleştirilebildiği bu teknoloji doğrudan görüş imkânı gerektirmemesi, filtreleme ile yansıyan sinyalleri orijinal sinyalden ayırt etme özelliğine sahip olması, düşük karışma etkisi ve duvar vb. nesnelerden rahatlıkla geçebilmesi sebepleriyle 1 santimetre'ye varan konum doğrulukları sağlanabilmektedir [44]. Yüksek maliyetli olması ve özel donanım gerektirmesi sebebiyle kullanımı yaygın değildir.

2.2.7 ZigBee

Kısa mesafelerde kullanılabilen ve düşük oranlı kablosuz kişisel alan ağıdır. Zigbee modülleri küçük, basit ve ucuz olmaları, az enerji harcamaları, mobil kullanıma elverişli olmaları ve alınan sinyal gücünü doğrudan kullanıcıya iletebilmeleri sebebiyle kullanılmaktadırlar [45]. Zigbee çok kanallı çift yönlü radio ve silikon üzerine yerleştirilmiş mikrokontrolörden oluşmaktadır. Bu teknolojiye konumlama devreler arasındaki koordinasyon ve iletişimin kurulmasıyla yapılmaktadır.

2.2.8 Dead Reckoning

Bu teknolojiye nesnenin şimdiki yaklaşık konumu bir önceki andaki konumu, hareket yönü ve kat edilen yol verileri kullanılarak belirlenmektedir [46]. Bu teknolojinin uygulanabilmesi genellikle mobil cihazlarda bulunan veya insanların kıyafetlerine monte edilebilecek büyüklükteki sensörler yardımıyla mümkün olabilmektedir. Günümüzde mobil cihazlar gelişmiş işlemcilere, yüksek kayıt kapasitesine ve bütünleşik sensörlere sahiptirler. Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS) olarak adlandırılan bu sensörler oldukça küçük tasarlanabilmeleri, hafif olmaları, düşük güç tüketimine sahip olmaları,

uygun maliyetli olmaları ve mobil cihazlara kolaylıkla entegre edilebilmeleri sebebiyle kapalı mekânda konum belirleme çalışmalarında kullanılabilmektedirler [4]. MEMS sensörleri genellikle diferansiyel miktarı ölçen ivmeölçer ve jiroskop ile manyetikölçer ve basınçölçerden oluşmaktadır [17]. Bu sensörler kullanılarak adım sayma, adım uzunluğu ve yön tahmini gibi uygulamalar gerçekleştirilebilmektedir [47]. Mobil cihazlarda bulunan sensörler kullanılarak hiçbir ilave maliyet ve altyapı gereksinimi olmadan konum belirleme işlemi gerçekleştirilebilmektedir [48]. İvmeölçer kullanılarak yer değiştirme miktarı, jiroskop ile açısal hız, manyetik sensör ile mobil cihazın yön bilgisi elde edilebilmektedir.

Sensörler ortamdaki ses, basınç, sıcaklık ve ışık gibi fiziksel ve çevresel etkilerine açık cihazlardır. Ayrıca sensörlerin yapısında olan kaymalar belirli bir ölçüm periyodu sonucunda oldukça büyük hatalara neden olabilmektedir. Bu hata alınan yol veya zaman ile doğru orantılı olarak artmaktadır [49], [50]. Söz konusu sistemlerin diğer bir dezavantajı ise mobil cihazın koordinat eksenleri ile gerçek koordinat eksenleri arasında sürekli dönüşüm gerekliliğidir. Ayrıca, sürekli hareket halinde olan bir kullanıcının elinde bulunan mobil cihazın yönü, tutuş pozisyonu sürekli olarak değişmekte ve böylelikle yürüme ile diğer hareketleri birbirinden ayırt edebilmek oldukça güçleşmektedir [51]. Mobil cihazda bulunan sensör tabanlı uygulamalarda unutulmaması gereken bir işlem de uygulamalardan önce cihazın kalibrasyonlarının yapılmasının gerekliliğidir. Bu işlem genellikle yaklaşık 1 dakika süresince cihazın havada sekiz çiçek şeklinde hareket ettirilmesi şeklinde gerçekleştirilir.

Kapalı mekânlarda kolon ve perde beton gibi yoğun demir donatıya sahip duvarlar ve zeminler, asansörler gibi metal yapıların varlığı ve hatta ortamdaki elektronik cihazlar manyetik alan değişimlerine neden olmaktadır [5]. Bu sebeple manyetik sensörden elde edilen yön bilgisinde dalgalanmalar ve hatalar meydana gelmektedir. Hatta Lee vd. [48] de kullanıcının sabit yönde hareket etmesi sonucu manyetik ölçerin büyük sistematik hataya ve küçük rastlantısal varyansa sahip olacağı, farklı yönde hareket edilmesi ile de yeni bir sistematik hatanın başlayacağı ifade edilmiştir.

Sensör tabanlı sistemlerden elde edilecek konum hatası 1 kilometre'nin üzerinde değere ulaşabilmektedir [23]. Bu hata değerlerinin en aza indirilebilmesi ve konum

doğruluğunun artırılabilmesi amacıyla bu teknoloji başka metotlar veya teknolojilerle birlikte kullanılmaktadır. Bu işlem için oldukça karmaşık algoritmaların geliştirilmesi gerekmektedir. Açık alanlarda GPS, sensör tabanlı sistemlerde meydana gelen konum, hız ve yön hatalarının azaltılabilmesi için en önemli destek sistemidir. Manyetik alan bozucu etkilerin olmadığı çevrelerde manyetometre jiroskopun yön hatasını gidermede etkin şekilde kullanılabilmektedir [47]. Ayrıca, sensörler tabanlı sistemler başlangıç konum bilgisine ihtiyaç duyarlar. Kapalı mekâna ait harita bilgilerinin elde edilebilmesi durumunda dönüş noktaları, merdivenler, asansörler ve kapıların yerleri belirlenebilmekte ve bu bilgilerden yararlanarak kişinin hareketleri hakkında tahmin yürütülebilmektedir.

Chen vd. [52] de WiFi tabanlı parmakizi tekniği ve sensör tabanlı kapalı mekân konumlama sistemi geliştirmişlerdir. Bu verilerin birlikte değerlendirilebilmesi amacıyla Kalman filtresi kullanılmıştır. Ayrıca konumu önceden belirlenmiş yer işaretleri kullanılmıştır. Bu işaretlerin kullanılma amacı öncelikle KF metodunun ve PDR yönteminin ihtiyaç duyduğu başlangıç konum bilgisini sağlamaktır. İkincisi ise PDR yönteminde zamanla biriken hata miktarlarının yer kontrol noktalarından geçerken sıfırlanması ve böylece yüksek konum doğruluğu elde etmektir. Söz konusu bu sistemle ortalama 1 metre konum doğruluğu elde edilmiştir.

2.4 Konum Belirleme Teknikleri

Kapalı mekân konum belirleme teknikleri mesafeden bağımsız ve mesafe tabanlı olarak iki ana gruba ayrılmaktadırlar. Mesafe tabanlı konum belirleme tekniklerinde mobil cihazın konumu, referans noktalardaki cihazlar ile mobil cihaz arasındaki mesafelerin veya açıların bilinmesi esasına bağlı olarak hesaplanmaktadır [53]. Mesafeden bağımsız metotlar komşu cihazlar arasındaki yakınlık, komşuluk analizi vb. geometrik ilişkiye bağlı konum belirlemektedirler [54]. En yakın komşuluk analizi, makine öğrenmesi, örüntü tanıma ve merkezi yöntem bu tekniğin en çok bilinen örneklerindendir. Genel olarak, mesafe tabanlı teknikler doğru mesafe tahminine bağlı konum belirledikleri için mesafeden bağımsız metotlardan daha yüksek konum doğruluğu sağlarlar [55]. Sıklıkla kullanılan mesafe tabanlı kapalı mekân konum belirleme metotları aşağıda açıklanmaktadır.

2.4.1 TOA

TOA tekniği sinyalin gidiş-dönüş süresinin ölçümüne dayalı bir metottur. Sinyal varış süresinin ışık hızı ile çarpılarak mobil cihazın sinyali yollayan cihazdan uzaklığı hesaplanmaktadır [56]. En yaygın bilinen uygulaması GPS sistemidir [57]. Bu işlemin doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için sinyali yollayan ve alan cihazlar arasında oldukça hassas zaman senkronizasyonu sağlanmalıdır. İki boyutlu konum bilgisi elde edebilmek için en az 3, üç boyutlu konum bilgisi elde edebilmek için ise en az 4 cihazdan sinyal alınması gerekmektedir. Ancak yapılacak 1 μs zaman hatasının 300 metre mesafe tahmin hatası meydana getirdiği göz önüne alındığında sistemin çok hassas zaman senkronizasyonuna sahip olması gerektiği açıktır [58]. Bu teknik diğer teknikler içerisinde en hassas sonucu vermekle birlikte zaman senkronizasyonunun oldukça pahalı cihazlar kullanılarak sağlanabilmesi sebebiyle kullanılması oldukça maliyetlidir.

2.4.2 TDOA

TDOA tekniğinde referans noktalardan iki farklı sinyal gönderilmektedir. Farklı hızlara sahip sinyallerin alıcıya varış zaman farkı hesaplanarak iki cihaz arasındaki mesafe yüksek hassasiyetle belirlenmektedir [59]. Bu teknikte zaman senkronizasyonu gerekliliği giderilmiş olsa da hala ölçüm zamanı hatasının nanosaniye mertebesini geçmemesi gerekmektedir [58]. Hesaplanan mesafelere göre geçirilen hiperbolik eğrilerin kesişimlerinden mobil cihazın konumu belirlenmektedir. [2] de gerçekleştirilen çalışmada sinyali gönderen cihazlardan (beacon) ses hızına sahip ultrasound sinyalleri ve ışık hızına sahip radio frekans sinyalleri eş zamanlı olarak gönderilmektedir. Alıcı ile sinyali gönderen beacon'lar arasındaki mesafe iki sinyalin alıcıya ulaştığı zaman farkının sinyal hızlarının farkıyla çarpılmasıyla belirlenmektedir.

2.4.3 AOA

AOA tekniğinde mobil cihazın konumu, belirli konumdaki sinyali yollayan cihazdan gelen sinyalin açısına göre belirlenmektedir [58]. Mobil cihazın iki boyutlu düzlemdeki konumunun belirlenmesi amacıyla sadece sinyal yollayan iki cihazın olması yeterlidir. Daha fazla cihaz kullanılarak konum doğruluğu arttırılabilir. Ölçülen mobil cihazın konumu genellikle triangulasyon yöntemi kullanılarak belirlenmektedir. Bu teknik

kullanılarak oldukça yüksek doğruluklar elde ediliyor olmasına rağmen [60] açıların ölçülmesi için özel anten diziliminin ve karmaşık sistemlerin oluşturulması gerekmektedir.

2.4.4 ASG

ASG normalde sadece mesafeye bağlı olarak azalmalar göstermelidir, yani kısa mesafelerde yüksek sinyal gücü, uzun mesafelerde düşük sinyal gücü alınmalıdır [8]. Ancak, sinyallerin ortamdaki diğer sinyallerle karışma etkisine maruz kalması, ortamdaki cisimlere çarparak yansması, dağılması, saçılması gibi etkilerden dolayı davranışları kararsızlaşmaktadır [55], [61]. Bu etkiler sebebiyle oldukça yüksek sinyal dalgalanmaları meydana gelmekte ve sabit mesafede dahi farklı sinyal değerleri elde edilebilmektedir [62]. Dolayısıyla, ASG tabanlı kapalı mekân konumlama çalışmalarının performansı büyük oranda kapalı mekânın tasarımına, sinyal yayılımına [63] ve sinyallerde meydana gelen karışmalara bağlıdır [18].

Bu teknik iki şekilde uygulanabilmektedir. Birincisi, ASG ölçülmekte ve ölçülen sinyal gücü kullanılarak mesafe hesaplanmaktadır. Bulunan mesafeler çeşitli metot ve algoritmalar ile kullanılarak kullanıcının anlık konumu belirlenmeye çalışılmaktadır. Hatalı ASG değerlerinden elde edilen mesafelerin kullanılması sonucu da düşük doğruluğa sahip konum bilgisi elde edilebilmektedir. Bu teknik herhangi ilave bir donanım veya altyapı gerektirmemesi [64], sadece yazılım, hesaplama gereksinimi duyması ve kolay anlaşılır olması sebepleriyle diğer konum belirleme teknikleri içerisinde en uygun maliyetli olan ve en çok kullanılan tekniktir [65].

İkincisi teknik ise parmakizi tekniğidir. Bu teknik diğer tekniklerin aksine mesafe tabanlı değil konum tabanlı çalışmaktadır. Bu teknik cep telefonu sinyalleri, kablosuz ağlar, ortam sesi, ışık ve manyetik alanlar gibi çeşitli sinyal kaynakları kullanılarak uygulanabilmektedir. Yüksek konum doğruluğu elde edilebilmesi sebebiyle yaygın olarak kullanılan tekniktir. Parmakizi tekniği iki aşamadan oluşmaktadır. Birincisi konumlama yapılacak alan hücrelere ayrılır ve her bir hücrede yapılan sinyal gücü ölçümleriyle tüm alana ait sinyal veri tabanı haritası oluşturulur. Bu teknikten elde edilecek konum doğruluğu hücrelerin büyüklüğüne ve hücreler arasındaki sinyal gücü farklılığına bağlıdır [56]. İkinci aşamada ise konumu belirlenmek istenen cismin bulunduğu noktada

gözlenen sinyal güçleri ölçülür, ölçülen sinyal gücü değeri veri tabanındaki sinyal güçleriyle karşılaştırılarak en uygun eşleşme bulunur ve nesnenin konumu belirlenir [26], [66]. Bu tekniğin en önemli dezavantajı yüksek konum doğruluğu elde edebilmek adına çalışma alanında çok fazla noktada sinyal verilerinin toplanmasının gerekliliğidir [67]. Dolayısıyla bu teknik çok zaman ve işgücü gerektirmektedir [68], [69]. Tekniğin diğer dezavantajı ise alınan sinyallerin ortamdaki kırılma, yansıma ve dağılmadan oldukça etkilenebilmesi sebebiyle alınan sinyal şiddetinde oluşan sapmalardır. Bu sebeple kapalı mekânda yapılan değişiklikler sonrasında alanda yeniden sinyal verileri toplanmalı ve yeniden hesaplamalar yapılmalıdır [52]. Bu teknikteki işgücünü azaltmak için ortamdaki kullanıcı cihazlardan toplanan sinyal güçleri sisteme dâhil edilerek sonraki analizlerde kullanılmakta, böylece sistemin bir dezavantajı ortadan kaldırılabilir.

2.5 Mobil Cihazlar

Günümüzde Android ve IOS işletim sistemine sahip mobil cihazlar ve akıllı telefonlar hemen herkeste bulunmaktadır. Bu işletim sistemleri kullanıcılara uygulama yazma ve geliştirme imkânı sunmaktadırlar. Android işletim sisteminin açık kaynak kodlu olması da kullanıcılara bu işlemleri çok daha rahat yapabilme imkânı sunmaktadır.

Mobil cihazlar sınırlı miktarda enerji kapasitesine sahiptirler. Dolayısıyla çalışma süresini olabildiğince uzun tutmak adına konum belirleme çalışmalarında pratik ve etkili çözümler sunabilecek teknik ve algoritmaların kullanılması önem arz etmektedir. Ancak mobil cihazlarda en önemli enerji tüketimi işlemci ve hafıza için değil radyo vericiler tarafından gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla hesap algoritmasındaki yükü azaltmak yerine cihazlar arasındaki veri iletişim süresini kısaltmak daha etkili olacaktır [70]. Ayrıca [35] de mobil cihazların WiFi tarama periyodunun ortalama 3-4 saniye civarında olduğu belirtilmektedir. Söz konusu durum anlık konum belirleme uygulamalarında özellikle de hızlı bir şekilde hareket etmekte olan cisimlerin navigasyonunu olumsuz etkileyecek bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır. 1 saniyelik veya daha sık periyodlarla sinyallerin alınabilmesi anlık konum değişimlerinin daha yüksek doğruluklarla konum bilgisine dönüştürülebilmesini sağlayacaktır.

KAPALI MEKÂNLARDA MESAFE BELİRLEME MODELLERİ

WiFi tabanlı kapalı mekân konumlama sistemleri genellikle mesafe tabanlı modeller kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu uygulamalarda öncelikle sinyal güçlerine göre mesafelerin belirlenmesi gerekmektedir. Mesafe verileri bazı metot ve algoritmalar içerisinde kullanılarak konum bilgisi elde edilmektedir. Mesafe tabanlı konum belirleme yaklaşımı parmakizi tekniğinin aksine oldukça basit kalibrasyon evresi gerektirmektedir. Bu yaklaşım sadece uygulama alanında gerçekleştirilecek çok az ölçümle sinyal yayılım modelinin hesaplanmasını gerektirmekte veya öncül hiçbir veriye gerek olmadan teorik modellemeye gerçekleştirilebilir. Ancak, kalibrasyon aşamasında gerçekleştirilecek uygulamalar daha doğru konum bilgisi elde edilmesi için faydalı olacaktır [67].

3.1 Sinyal Yayılımı

Kapalı mekân radyo kanalları geleneksel radyo kanallarından kapsama alanlarının çok küçük olması ve çevresel çeşitliliğin çok fazla olması yönleriyle büyük farklılıklar göstermektedir. Sinyal yayılımının belirlenmesi açısından kapalı mekânlar dış mekânlara göre pek çok zorluklara sahiptir [38]. Sinyaller oldukça karmaşık yapıya sahip kapalı mekânlardaki duvarlara, zeminlere veya diğer cisimlere çarparak yansıyabilmekte ve/veya saçılabilirler [71]. Kapalı mekânlardaki sinyalin kat ettiği yol dış mekânlara göre çok daha kısa olduğundan gecikme ve yayılımın etkisi dış mekânlara oranla çok daha fazla etkilidir [72]. Ayrıca sinyaller herhangi bir engel olmasa dahi mesafeye bağlı olarak gücünü kaybedebilmekte veya yansıma ve saçılma etkisi sonucunda çok yollu olarak hareketine devam edebilmektedir. Hatta kapalı mekân

içerisindeki kapıların veya pencerelerin açık veya kapalı olması, hareket halindeki insanlar vb. sinyallerin yayılımını etkilemektedir.

Kapalı mekândaki sinyal yayılım modeli çalışma alanına özel (site-specific) veya çalışma alanından bağımsız (site-general) olarak modellenebilmektedir [63]. Çalışma alanına özel yapılan modellerde kapalı mekânın yapısına ilişkin oldukça detaylı bilgiler kullanılarak model hesapları yapılmaktadır. Ancak çoğu kapalı mekânda kısa sürelerde pek çok değişiklik yapılabilmekte veya mekânın kat planı gibi bilgiler elde edilememektedir [73]. Çalışma alanından bağımsız modeller ise yapıya ilişkin çok fazla bilgiye ihtiyaç duymamakla birlikte genelleştirilmiş bir model ile çoğu kapalı mekânda kullanılabilecek yapıya sahiptirler. Bu modellerde sinyalin yol kaybı için genel istatistiki tahminler yapılmaktadır. Kapalı mekânlarda sinyal yayılımının modellenmesi yukarıda anlatılan pek çok etkiye maruz olması sebebiyle uygulamada çoğunlukla çalışma alanından bağımsız modeller tercih edilmektedir [72]. Çalışma [74] de yol kaybının çevresel koşullara, sinyalin frekansına ve anten yüksekliğine bağlı olması nedeniyle sinyal yayılım modelinin yalnızca modelin oluşturulduğu ortama benzer ortamlarda uygulanabileceği belirtilmiştir. Çalışma [75] de ise gerçek uygulamalarda yol kayıp katsayısının tam olarak bilinemeyeceği, çünkü gönderilen sinyal gücünün batarya durumuna, anten kazancına, kullanılan algoritmaya, kullanılan sensör tipine, zamana ve mekâna göre değişebileceği söylenmiştir. Dolayısıyla N değerinin ve modelin doğruluğu çalışma alanında gerçekleştirilecek uygulamalarla geliştirilebilir [76].

Yol kaybı iletilen sinyalin alıcıya ulaştığı zamana kadar radyo frekansında meydana gelen ortalama bağlı azalma miktarının bir ölçümüdür [77]. Yol kaybı eşitlik (3.1) ile ifade edilmektedir.

$$PL(dB) = 10 \log \frac{P_t}{P_r} \quad (3.1)$$

Eşitlikteki P_t gönderilen, P_r ise alınan sinyal gücünü göstermektedir. Alıcı ve verici arasında herhangi bir engelin bulunmadığı serbest uzayda Friis sinyal yayılım modeli eşitlik (3.2) ile ifade edilir [77],

$$P_r = (d) \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (3.2)$$

burada G_t sinyali gönderen anten kazancını, G_r sinyali alan antenin kazancını, L yayılımdan bağımsız sistem kayıp faktörünü ($L \geq 1$), λ ise metre cinsinden dalga boyunu ifade etmektedir. d ise sinyali yollayan ve alan cihazlar arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. Günümüzde kapalı mekânlarda sinyal yol kaybı için kullanılan çalışma alanından bağımsız modeller aşağıda açıklanmaktadır.

3.1.1 ITU YKM

ITU yol kayıp modeli International Telecommunication Union tarafından 300 MHz ila 100 GHz frekans aralığında kapalı mekân radyo iletişim sistemleri ve radyo yerel alan ağlarının planlanması amacıyla önerilen yayılım verisi ve tahmin modelidir [76]. ITU modelinde çalışma alanından elde edilen deneysel veriler kullanılır [78]. Bu model kat kaybını hesaba katmakta ve böylece birden fazla kattan oluşan bir yapıda kullanılabilir. Ayrıca sinyal frekansını da hesaba katarak frekansın değiştiği durumlarda diğer modellere göre üstünlük sağlamaktadır. Bu model aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir,

$$L_{total} = 20\log_{10}f + N\log_{10}d + L_f(n) - 28 \quad (3.3)$$

eşitlikteki N mesafeye bağlı sinyal güç kayıp katsayısını, f MHz biriminde sinyal frekansını, d sinyali yayan ve alan cihazlar arasındaki mesafeyi ($d > 1 \text{ metre}$), $L_f(n)$ dB biriminde sinyalin zeminden geçerken kaybettiği gücü, n ise sinyali yayan ve alan cihazlar arasındaki zemin sayısını göstermektedir ($n \geq 1$). Eşitlik (3.3)'de sinyali yayan ve alan cihazların arasındaki mesafe d yalnız bırakılarak eşitlik (3.4) elde edilir.

$$d = 10^{\frac{L_{total} - 20\log_{10}f - L_f(n) + 28}{N}} \quad (3.4)$$

Bu model günümüzde kapalı mekân konum belirleme uygulamalarında sıklıkla kullanılan bir modeldir. Bu model için yapılan araştırmalar sonucunda bazı kaynaklarda kullanılan çeşitli sinyaller için N katsayı değerleri verilmektedir. N değerinin 2.4 GHz sinyallerinin ev ve apartman gibi kapalı alanlarda 28, ofis alanlarında 30, 5.2 GHz sinyallerinin evlerde 28, apartmanlarda 30 ve ofis alanlarında 31 olduğu belirlenmiştir [76]. $L_f(n)$ değeri sadece bir katı içeren çalışmalarda veya doğrudan görüş imkanına sahip uygulamalarda göz ardı edilmektedir [65].

3.1.2 Logaritmik Mesafe YKM

Dış ortamlarda veya kapalı mekânlarda gerçekleştirilen teorik ve ölçüm tabanlı sinyal yayılım modelleri, ortalama ASG'lerinin mesafeye bağlı davranışlarının logaritmik olarak azaldığını göstermektedir [40]. Ayrıca [79] da ASG değerlerinin mesafeye bağlı azalmalarının lineer değil logaritmik olduğu belirtilmektedir. Çalışma alanındaki deneysel verilerden elde edilen Logaritmik mesafe YKM eşitlik (3.1)'deki mesafeye bağlı yol kaybı ile eşitlik (3.2)'deki sinyal yayılım modelinin bir kombinasyonudur [78]. Logaritmik mesafe YKM sinyal ile mesafe arasındaki ilişkiyi iyi belirleyebilmesi ve basit oluşu sebepleriyle kapalı mekân konumlama sistemlerinde en çok benimsenen sinyal yayılım modelidir [64]. Bu model eşitlik (3.5) ile gösterilmektedir.

$$PL(dB) = PL(d_0) + 10N \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma \quad (3.5)$$

Eşitlikte yer alan $PL(dB)$ toplam yol kaybını, $PL(d_0)$ referans mesafede meydana gelen yol kaybını, d sinyali yayan ve alan cihazlar arasındaki mesafeyi, d_0 referans mesafesini, N çevresel etkenlere ve bina tipine bağlı yol kayıp sabitini, X_σ dB biriminde σ standart sapmaya sahip normal rastlantısal değişkeni göstermektedir. $PL(d_0)$ belirli mesafeden gerçekleştirilecek uygulamayla veya eşitlik (3.6) ile elde edilir.

$$PL(d_0) = -20 \log_{10} \lambda + 20 \log_{10}(4\pi) + N \log_{10} d_0 \quad (3.6)$$

burada λ sinyalin dalga boyunu ifade etmektedir. Uygulamada genellikle d_0 mesafesi 1 metre olarak alınmakta, $PL(d_0)$ ise 1 metre mesafede doğrudan görüş ortamında ASG olarak kabul edilmektedir [80]. Eşitlik (3.5)'de sinyali yayan ve alan cihazların arasındaki mesafe d yalnız bırakılarak üstel fonksiyona dönüştürülür.

$$d = 10^{\frac{PL(dB) - PL(d_0)}{10N}} \quad (3.7)$$

N değeri sinyalin yayıldığı ortama bağlıdır ve çalışma alanında belirli mesafede gerçekleştirilecek uygulamayla belirlenmesi doğruluğu artıracaktır [70], [81]. N katsayısı boş alanlarda 2, açık görüşe sahip kapalı mekânlarda ise 1.6 ila 1.8 aralığında değerlere sahip olabilmektedir [40]. Çalışma [75] de ise N değerinin açık alanlarda 2 ile 4 arasında değiştiği verilmiştir. [31] de ise koridor, lobi ve laboratuvar gibi çok karmaşık yapıya sahip olmayan kapalı mekânlarda N değerinin 2'den küçük olduğu, karmaşık yapıya sahip

kapalı alanlarda ise bu değerin büyüyeceği belirtilmiştir. Benzer şekilde [80] de kapalı mekândaki engel durumu arttıkça yol kayıp sabiti değerin de artacağı ifade edilmiştir.

3.1.3 Chipcon YKM

Sinyali yollayan ve alan cihazlar arasındaki mesafelerin belirlenmesi amacıyla alternatif olabilecek diğer bir model de Chipcon firması tarafından önerilen modeldir. Söz konusu model eşitlik (3.8) ile gösterilmektedir [82], [83].

$$ASG = -(10N \log_{10} d + A_R) \quad (3.8)$$

burada ASG alınan sinyal gücü göstergesini, N sinyal yayılım sabitini, d sinyali yollayan ve alan cihazlar arasındaki mesafeyi, A_R ise 1 metre mesafede alınan sinyal gücünü göstermektedir. Sinyal yayılım sabiti N 'in belirlenebilmesi amacıyla eşitlik (3.8) revize edilerek eşitlik (3.9) elde edilir.

$$N = \frac{ASG - A_R}{10 \log_{10} d} \quad (3.9)$$

3.1.4 Mesafe/ASG YKM

Bu model ASG ile mesafe arasındaki ilişkinin kurulduğu ve uygulama alanı içerisindeki parametrelerin belirlendiği modellerden biridir [84] ve eşitlik (3.10) ile gösterilir.

$$ASG = -a \ln(d) - b \quad (3.10)$$

burada a ve b sabit katsayı değerlerini, d ise sinyali yollayan ve alan cihazlar arasındaki mesafeyi göstermektedir. Mesafe/ASG modelinde mobil cihazdan yayılan sinyaller belirli aralıklarla uygulama alanında konumlandırılan mesafelerden toplanır ve ASG 'ler ile mesafe arasındaki ilişki logaritmik, üstel vb. fonksiyonlar kullanılarak elde edilir. Böylece çalışma alanı içerisindeki sinyal yayılım modeli elde edilmiş olur. Mesafe/ASG modeli günümüzde pek çok mesafe tabanlı kapalı mekân konumlama çalışmalarında kullanılmaktadır [85]. Bazı sinyal yayılım modelleri ortamda bulunan duvarların ve katların etkisini araştırmakta ve bu etkileri hesaba katılmaktadır. Ancak, özellikle eski binalar başta olmak üzere çoğu yapının planları ya bulunamamakta veya yapılan revizyonlar sonucu güncel durumu yansıtmamaktadır [86].

KAPALI MEKÂNLARDA KONUM BELİRLEME METOTLARI

Kapalı mekân konum belirleme uygulamaları genellikle mesafeye bağlı olarak çalışmaktadır. Bunun için sinyali gönderen cihaz ile konumu belirlenmek istenen cihaz arasındaki mesafe olabildiğince doğru şekilde belirlenmelidir. ASG'ler mesafe belirleme modelleri ile mesafelere dönüştürülmekte ve bu mesafeler metotlar, teknikler veya algoritmalar içerisinde kullanılarak mobil cihazın konumu belirlenmektedir.

4.1 Bilaterasyon

Bilaterasyon metodu komşu iki dairenin kesişimini temel alan geometrik bir metottur. Söz konusu iki dairenin kesişiminden iki nokta elde edilir ve bu noktalar aday noktalar olarak isimlendirilir, çünkü henüz bu iki noktadan hangisinin bizi sonuca götürecektir nokta olduğu bilinmemektedir. Hangi aday noktanın daha uygun olduğuna karar verebilmek için bu noktaların diğer ikili daire kesişimlerinden elde edilen aday noktalara olan yakınlıkları belirlenmelidir. Bu mesafe kontrollerinin yapılması sonucunda anlamlı aday noktaların belirli bir bölgede kümelenme göstermeleri beklenmektedir. İkili aday noktadan anlamlı olanlarının tamamı belirlendikten sonra bu noktaların aritmetik ortalamaları alınarak mobil cihazın konumu belirlenir.

Bilaterasyon metodu bir dizi matematiksel hesaplardan oluşmaktadır. Kapalı mekânlarda mobil cihaz tarafından toplanan ASG verileri ortamdaki kaynaklanan bozulmalar sonucunda 3 farklı durumun oluşmasına neden olurlar. Bu durumlar şöyle özetlenebilir;

- (1) İki daire iki farklı noktada kesişebilir
- (2) İki daire kesişmez; daireler birbirlerinden belli bir mesafede uzakta bulunabilirler
- (3) İki daire kesişmez; iki dairelerden biri diğerini kapsayabilir

1) Durum 1. Aday noktalar iki farklı noktada kesişirler (Şekil 4.1). İki komşu EN'lerin konumları $EN_1 = [X_{EN_1} \ Y_{EN_1}]^T$ ve $EN_2 = [X_{EN_2} \ Y_{EN_2}]^T$, mobil cihazın konumu ise

$U = [X_U \ Y_U]$ olarak belirlenmiştir. R_1 ve R_2 EN'ler ile mobil cihaz arasında mesafe bulma modelleri kullanılarak elde edilen mesafeler, d_1 ve d_2 ise EN'ler ile mobil cihaz arasında konumlardan hesaplanarak elde edilen mesafelerdir. Bu durumun uygulanabilmesi için $R_1 > d_1$ ve $R_2 < d_2$ olarak kabul edilmektedir. J_{12-1} ve J_{12-2} komşu iki daire kesişiminden elde edilen aday noktalar ve bu noktaların konum vektörü ise $J = [X_J \ Y_J]^T$ dir. Bu noktalar komşu iki EN olan EN_1 ve EN_2 noktalarından geçen hayali doğruya göre birbirlerinin yansımalarıdır. Burada (EN_1, J_{12-1}, O) ve (EN_2, J_{12-2}, O) noktaları iki üçgen oluşturmaktadır. L ise O ($O = [X_O \ Y_O]^T$) noktası ile aday noktalar arasındaki mesafeyi ifade etmek üzere iki aday noktanın konumları aşağıdaki eşitlikler kullanılarak elde edilebilir:

$$d_{1,O}^2 + L^2 = R_1^2 \quad (4.1)$$

$$d_{2,O}^2 + L^2 = R_2^2 \quad (4.2)$$

$$R_1^2 - d_{1,O}^2 = R_2^2 - d_{2,O}^2 \quad (4.3)$$

$$d = \|EN_1 - EN_2\| = d_{1,O} + d_{2,O} \quad (4.4)$$

$$R_1^2 - d_{1,O}^2 = R_2^2 - (d - d_{1,O})^2 \quad (4.5)$$

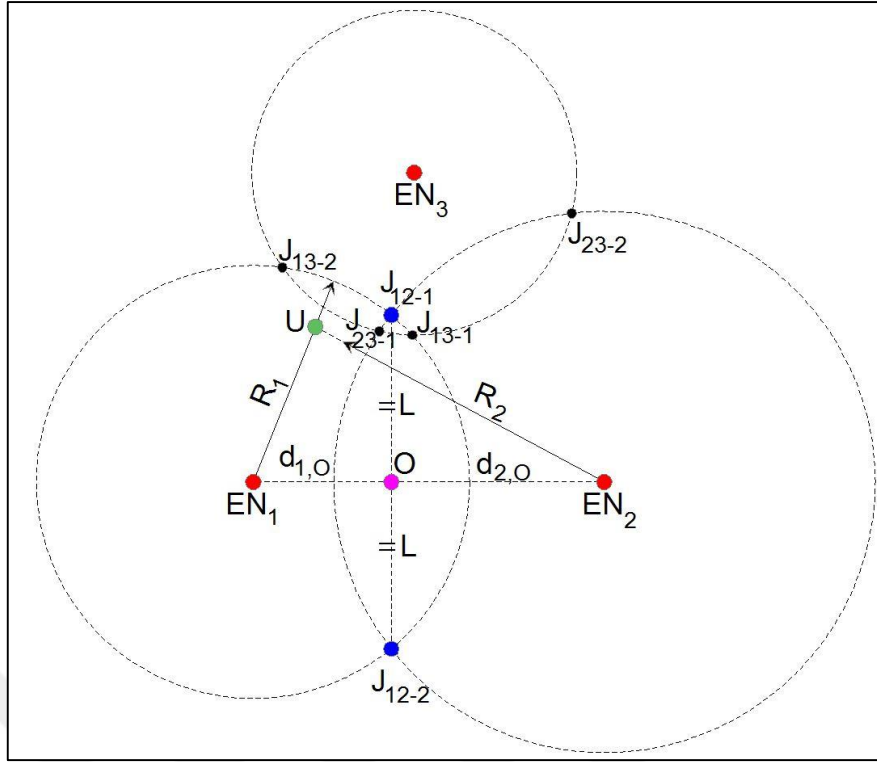
$$R_1^2 = R_2^2 - d^2 + 2 * d * d_{1,O} \quad (4.6)$$

$$d_{1,O} = \frac{R_1^2 - R_2^2 + d^2}{2*d} \quad (4.7)$$

$$O = EN_1 + \frac{d_{1,O}}{d} (EN_2 - EN_1) \quad (4.8)$$

$$X_J = X_O \pm \frac{L}{d} (Y_{EN_2} - Y_{EN_1}) \quad (4.9)$$

$$Y_J = Y_O \mp \frac{L}{d} (X_{EN_2} - X_{EN_1}) \quad (4.10)$$



Şekil 4. 1 Durum 1. İki dairenin iki farklı noktada kesişimi (aday noktalar mavi renk ile gösterilmiştir)

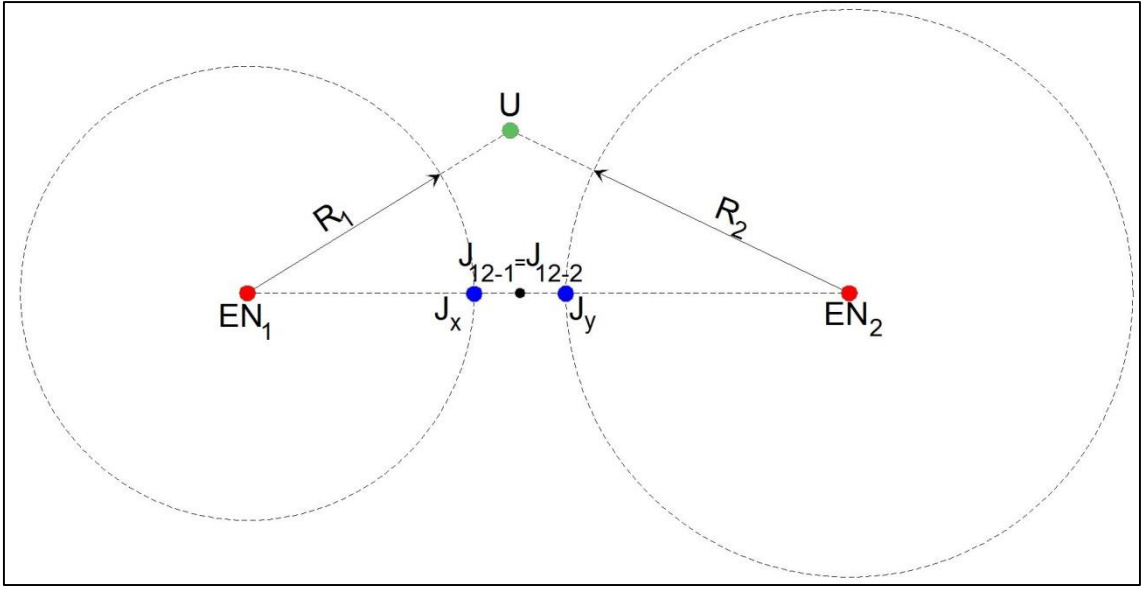
Yukarıdaki formüller kullanılarak EN_1 ve EN_2 noktalarından ve iki daireden iki aday nokta elde edilmekte ve benzer şekilde tüm ikili komşu dairelerden ikişer aday noktalar hesaplanmaktadır. Sonuç olarak Şekil 4.1'den 6 aday nokta ($J_{12-1}, J_{12-2}, J_{13-1}, J_{13-2}, J_{23-1}, J_{23-2}$) elde edilmektedir. EN sayısı arttıkça kesişim noktası sayısı da artmaktadır.

2) Durumlar 2 ve 3. Mobil cihaza gelene kadar bozucu birçok etkiye maruz kalan ASG değerlerinden elde edilen hatalı mesafelerin kullanılmasıyla komşu iki EN'lerin oluşturduğu iki çember birbirinden belirli mesafe uzağında olacak şekilde kesişmeyebilir (Şekil 4.2) veya biri diğerini kapsayabilir (Şekil 4.3). Bu durumların çözümü için aşağıdaki formüller kullanılabilir;

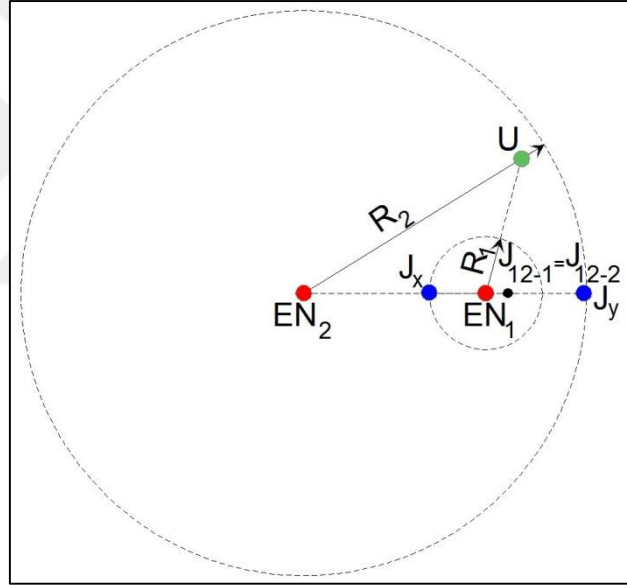
$$J_X = EN_1 + \frac{R_1}{d} (EN_2 - EN_1) \quad (4.11)$$

$$J_Y = EN_2 + \frac{R_2}{d} (EN_1 - EN_2) \quad (4.12)$$

$$J_{12-1} = J_{12-2} = \frac{J_X + J_Y}{2} \quad (4.13)$$



Şekil 4. 2 Durum 2. İki daire kesişmez; dairelerden birbirinden belli mesafe uzaktır



Şekil 4. 2 Durum 3. İki daire kesişmez; bu dairelerden biri diğerini kapsamaktadır

Yukarda açıklanan üç durumdaki tüm aday noktalar belirlendikten sonra, mobil cihazın gerçek konumunun Şekil 4.1 de J_{12-1} , J_{13-1} ve J_{23-1} aday noktalarının oluşturduğu kümelenmiş bir bölgede olduğu düşünülmektedir. İkili aday noktalardan hangisinin daha mantıklı olduğuna karar verebilmek için (J_{12-1} veya J_{12-2} ; J_{13-1} veya J_{13-2} ; J_{23-1} veya J_{23-2}) bu aday noktaların her birinin diğer tüm aday noktalara olan minimum toplam öklid mesafeleri aşağıdaki formüller kullanılarak bulunur.

$$\alpha = \min(\|J_{12-1} - J_{13-1}\|^2, \|J_{12-1} - J_{13-2}\|^2) \\ + \min(\|J_{12-1} - J_{23-1}\|^2, \|J_{12-1} - J_{23-2}\|^2) \quad (4.14)$$

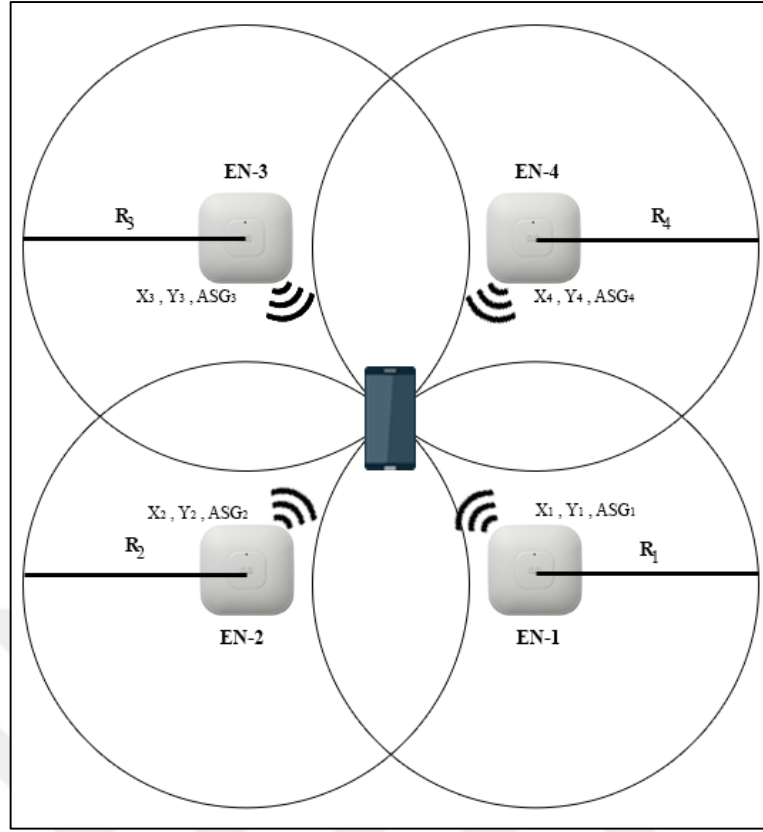
$$\beta = \min(\|J_{12-2} - J_{13-1}\|^2, \|J_{12-2} - J_{13-2}\|^2) \\ + \min(\|J_{12-2} - J_{23-1}\|^2, \|J_{12-2} - J_{23-2}\|^2) \quad (4.15)$$

Sonuç olarak eğer $\alpha < \beta$ ise doğru aday noktanın J_{12-1} olduğu, $\alpha > \beta$ ise doğru aday noktanın J_{12-2} olduğu söylenebilir. Bu işlemler tüm aday nokta çiftleri için tekrarlanır ve mobil cihazın gerçek konumu doğru olduğuna karar verilen aday noktaların aritmetik ortalamaları alınarak belirlenir.

Bilaterasyon metodu iteratif olarak çalışmaması sebebiyle aşırı işlem yükü yaratmamaktadır. Bu özelliği sebebiyle bu metodun mobil cihazlar gibi sınırlı işlem kapasitesine sahip cihazlarda kullanımı uygundur [87], [88]. Ayrıca bu metot GKF ve iteratif ağırlıklandırılmış en küçük kareler (İAEKK) gibi iteratif metotların ihtiyaç duyduğu başlangıç konum verisini sağlayabilecek güçlü bir adaydır [89].

4.2 Trilaterasyon

Trilaterasyon en kolay ve ekonomik konum belirleme metodudur [90], [91]. Kapalı mekândaki sinyallerin ortamdaki çok etkilenmesi sebebiyle hatalı mesafe değerleri elde edilebilmekte ve bu hatalı mesafelerin kullanılması sonucu Trilaterasyon metodunun konum doğruluğu oldukça düşük olmaktadır [92]. GNSS teknolojisi ile yoğun şekilde kullanılmaya başlanan bu metot koordinatları belirli noktada bulunan EN'ler ile mobil cihaz arasındaki en az üç mesafe değeri belirlenir ve bu mesafeler kullanılarak mobil cihazın konumu hesaplanır [93]. Mobil cihazın iki boyutlu konumunun hesaplanabilmesi için doğrusal olmayan en az 3 EN'den olan mesafe bilgisine, üç boyutlu konum bilgisi için düzlemsel olmayan en az 4 EN'den olan mesafe bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi EN'ler ve mobil cihaz arasındaki mesafe olan R_i kadar büyüklükte daireler çizilmekte ve bu dairelerin kesim noktasının koordinatı hesaplanmaktadır. EKK metoduyla en uygun kesişim noktasının belirlenmesi amacıyla parametre kestirimi gerçekleştirilmektedir. Bu metotta hata vektörü elemanlarının tamamının aynı varyans değerine sahip oldukları ve tüm elemanların korelasyonsuz oldukları varsayılmaktadır.



Şekil 4. 3 Trilaterasyon metodu

Konumu belirlenmek istenen cihazın konumu $U = [x_U \ y_U]^T$, n tane sinyali gönderen cihazların konumları $\{(X_{EN_1} \ Y_{EN_1})^T, \dots, (X_{EN_n} \ Y_{EN_n})^T\}$ ve sinyali gönderen cihazlarla konumu belirlenmek istenen cihaz arasındaki mesafe belirleme modelleri ile elde edilen mesafeler $\{R_1 \ \dots \ R_n\}$ olarak verilmiştir. Eğer $n \geq 3$ ise ve sinyali gönderen 3 cihaz da bir doğru üzerinde değilse 3 eşitliğin çözümünden tek bir nokta belirlenebilir. Ancak gerçek ortamda yapılan ölçümlerin gürültü içermeleri sebebiyle bir noktada kesişim çoğunlukla gerçekleşmez. Bu sebeple var olan hatalar en küçük kareler metoduyla minimize edilmelidir. Sinyali gönderen cihazlarla mobil cihaz arasında hesaplanan tahmini öklid normu $\|U - EN_i\|^2 = R_{Ui}^2$ olmak üzere, bu eşitliğin tüm kenarlar için türetilmesiyle aşağıdaki eşitlikler elde edilmektedir.

$$\begin{aligned}
 \|EN_1 - U\|^2 = R_1^2 &\leftrightarrow (x_{EN_1} - x_U)^2 + (y_{EN_1} - y_U)^2 = R_1^2 \\
 \|EN_2 - U\|^2 = R_2^2 &\leftrightarrow (x_{EN_2} - x_U)^2 + (y_{EN_2} - y_U)^2 = R_2^2 \\
 &\vdots \\
 \|EN_n - U\|^2 = R_n^2 &\leftrightarrow (x_{EN_n} - x_U)^2 + (y_{EN_n} - y_U)^2 = R_n^2
 \end{aligned} \tag{4.16}$$

Bu sistemi lineer hale getirmek için ilk formül diğer formüllerden çıkarılır ve aşağıdaki matris form elde edilir.

$$A\vec{x} = \vec{b} \quad (4.17)$$

$$A = 2 \begin{bmatrix} (X_{EN_2} - X_{EN_1}) & (Y_{EN_2} - Y_{EN_1}) \\ (X_{EN_3} - X_{EN_1}) & (Y_{EN_3} - Y_{EN_1}) \\ \vdots & \vdots \\ (X_{EN_n} - X_{EN_1}) & (Y_{EN_n} - Y_{EN_1}) \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

$$\vec{b} = \begin{bmatrix} (X_{EN_2}^2 - X_{EN_1}^2) + (Y_{EN_2}^2 - Y_{EN_1}^2) - (R_2^2 - R_1^2) \\ (X_{EN_3}^2 - X_{EN_1}^2) + (Y_{EN_3}^2 - Y_{EN_1}^2) - (R_3^2 - R_1^2) \\ \vdots \\ (X_{EN_n}^2 - X_{EN_1}^2) + (Y_{EN_n}^2 - Y_{EN_1}^2) - (R_n^2 - R_1^2) \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

$$\vec{x} = (A^T A)^{-1} A^T \vec{b} \quad (4.20)$$

burada R EN'ler ile mobil cihaz arasındaki mesafeyi, $\vec{x}$ mobil cihazın konum vektörünü, x ve y mobil cihazın koordinat bileşenleri, X_{EN_i} ve Y_{EN_i} ise EN'lerin bilinen koordinatlarını göstermektedir.

[94] de gerçekleştirilen çalışmada bu metodun iteratif metotlarla karşılaştırıldığında daha düşük doğruluk değerlerine sahip olmasına rağmen, az miktarda işlem gerektirmesi, enerji tüketiminin ve maliyetinin az olması gibi nedenlerle pek çok kapalı mekân konum belirleme uygulamasında tercih edildiği belirtilmiştir. Benzer şekilde [95] de bu metodun düşük konum bilgisi sağlayabileceği ifade edilmektedir.

4.3 İAEKK

Bu metot bir bakıma trilaterasyon metodunun sinyal güçlerine veya mesafelere göre ağırlıklandırılarak iteratif olarak çözülmesini sağlayan bir metottur. Lineer olmayan sistemlerin çözümü için kullanılan İAEKK metodu GKF metoduna göre uygulanması daha kolaydır ve her iki metot da hareketsiz modelde benzer sonuçlar vermektedir [86]. Bu metotta gözlem modeli;

$$l = h(x) + v \quad (4.21)$$

ile ifade edilir. Bu formülde l ölçüm vektörü ve $h(x)$ ise x durum vektörünün bir fonksiyonudur. Lineer olmayan ölçüm vektörünün terimleri Taylor serisi kullanılarak

mevcut durum tahmini olan $\hat{x}$ civarında genişletilerek lineerleştirilmesi sağlanır. Bu lineerleştirme sırasında sadece birinci dereceden terimler kullanılır. Böylece gözlem modeli;

$$l = h(\hat{x}) + H\delta x + v \quad (4.22)$$

halini alır. Burada $\delta x = x - \hat{x}$ durum vektöründeki değişim miktarıdır. $A = \frac{dh(x)}{dx}$ ise dizayn matrisidir ve eşitlik (4.23) ile gösterilir.

$$A = \begin{bmatrix} \frac{(x-x_{EN_1})}{R_1} & \frac{(y-y_{EN_1})}{R_1} \\ \frac{(x-x_{EN_2})}{R_2} & \frac{(y-y_{EN_2})}{R_2} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{(x-x_{EN_n})}{R_n} & \frac{(y-y_{EN_n})}{R_n} \end{bmatrix} \quad (4.23)$$

Burada R sinyal yayılım modeli kullanılarak elde edilen mesafeleri ifade etmektedir. z eşitliği tekrar düzenlenerek;

$$l - h(\hat{x}) = A\delta x + v \quad (4.24)$$

$$\delta l = A\delta x + v \quad (4.25)$$

halini alır. Burada δl lineer gözlem modelinin ölçüm kapanma hatasını göstermektedir. δx ise durum vektöründe meydana gelen değişim miktarını gösterir. Konum çözümü olan $\delta \hat{x}$ ve onun kovaryans matrisi $Q_{\delta \hat{x}}$;

$$\delta \hat{x} = (A^T Q_u^{-1} A)^{-1} A^T Q_u^{-1} \delta l \quad (4.26)$$

$$Q_{\delta \hat{x}} = (A^T Q_u^{-1} A)^{-1} \quad (4.27)$$

şeklinde ifade edilirler. Yukarıdaki formüllerdeki Q_u gözlem kovaryans matrisini göstermektedir. Yeni durum vektörü $\hat{X}_k$ ise;

$$\hat{X}_k = \hat{x} + \delta \hat{x} \quad (4.28)$$

ile hesaplanır. Gözlem modeli de durum vektörüne göre genişletilir. Bu iteratif metod adımları $|\delta \hat{x}| < \text{eşik değeri}$ oluncaya kadar devam eder. En küçük kareler metodunun artık hata vektörü d ve onun kovaryans matrisi Q_r eşitlik (4.29) ve (4.30) ile formülize edilir;

$$d = l - h(\hat{x}) \quad (4.29)$$

$$Q_r = Q_{ll} - A(A^T Q_{ll}^{-1} A)^{-1} A^T \quad (4.30)$$

burada ölçüm kovaryans matrisi Q_{ll} ise;

$$Q_{ll} = \sigma_0^2 Q_R \quad (4.31)$$

şeklinde hesaplanır. σ_0^2 öncül varyansı, Q_R ise Q_{ll} matrisinin kofaktörünü ifade etmektedir ve eşitlik (4.32) ile ifade edilmektedir.

$$Q_R = \frac{R_l}{\Sigma R} \quad (4.32)$$

Böylece lineer olmayan en küçük kareler metodunun çözümü aşağıdaki eşitliklerle çözülür;

$$\delta \hat{x} = (A^T Q_R^{-1} A)^{-1} A^T Q_R^{-1} \delta l \quad (4.33)$$

$$Q_{\delta \hat{x}} = \sigma_0^2 (A^T Q_R^{-1} A)^{-1} \quad (4.34)$$

$$d = l - h(\hat{x}) \quad (4.35)$$

$$Q_r = \sigma_0^2 (Q_R - A(A^T Q_R^{-1} A)^{-1} A^T) \quad (4.36)$$

[41] de gerçekleştirilen similasyon ve saha çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre lineer olmayan en küçük kareler metodunun sinyal yayılım parametrelerinin kestirimi için uygun bir metot olduğu ortaya konulmuştur.

4.4 Kalman Filtresi

1960 yılında Rudolf Emil Kalman tarafından ortaya konulan Kalman Filtresi (KF) metoduyla kesikli verilerin lineer filtreleme problemine iteratif olarak çözüm getirmiş ve sonra konumlama problemine çözüm olabilecek sürekli zaman versiyonu ortaya konulmuştur [96]. İlk uygulamaları navigasyon amaçlı olarak gerçekleştirilen KF [97] ilerleyen süreç içerisinde pek çok askeri ve sivil uygulamalarda sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır [98]. Bu metot bir dizi tekrarlı matematiksel hesaplamayla, bir bakıma tahmini hataların varyanslarını minimize ederek, sürecin durumunu belirler [99]. KF metodu sistem ve gözlem eşitliklerinin kombinasyonundan oluşmaktadır [100]. ‘Durum tahmini’ ve ‘Durum güncellemesi’ olmak üzere temelde ikiye ayrılan KF, geçmiş ve şimdiki duruma göre bir sonraki durumun belirlenmesini sağlar. Ancak metot, ölçüm hatalarının Gauss dağılımına sahip olduğu lineer sistemler için en iyi çözümü sağlarken

lineer olmayan sistemlerde aynı başarıyı gösterememektedir. Özellikle ASG tabanlı kapalı mekân konumlama uygulamaları gibi ölçümlerin pek çok dış etkiye maruz kaldığı ve hataları Gauss dağılımlarına sahip olmayan sistemlerde KF yerine GKF önerilmektedir.

4.4.1 Genişletilmiş Kalman Filtresi

Yukarıda açıklandığı üzere KF kesikli zamanlı lineer süreçler için iyi sonuç vermesine karşın lineer olmayan süreçler için KF metodunun genişletilmiş hali olan GKF metodu daha uygun sonuçlar vermektedir [101]. GKF lineer olmayan gözlem modelinin lineerleştirilmesi ile gerçekleştirilir. Sistemin başarısı geçiş ve dizayn matrislerinin yanı sıra ölçü ve sistem bozukluğu parametrelerinin doğru olarak tahmin edilmesine bağlıdır [102]. GKF metodu bu özelliğiyle sinir ağları, görüntü işleme, araç izleme ve konum tahmini gibi uygulamalarda başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca GKF, Bayes algoritmalarına oranla daha düşük hesap yüküne ve hafıza gereksinimine ihtiyaç duyar. Benzer şekilde [103] de sinyal işlemede ortaya çıkan lineer olmayan filtreleme probleminin çözümünde kullanılan particle filtresinin yoğun zaman ve hesap gerektirmesi sonucu akıllı telefonlar gibi sınırlı kapasiteye sahip cihazlarda kullanımının uygun olmadığı, onun yerine GKF metodunun daha uygun olduğu belirtilmiştir.

GKF önceki durum tahmininden şu anki durum tahminin kestirilebildiği iteratif bir metottur. GKF için durum modeli aşağıdaki eşitlik ile verilebilir:

$$x_k = F(x_{k-1}, u_{k-1}) + w_{k-1} \quad w_{k-1} \sim N(0, S_k) \rightarrow x \in R^n \quad (4.37)$$

burada x_k ve x_{k-1} sırasıyla şimdiki (t_k) ve bir önceki (t_{k-1}) durum vektörlerini, u_{k-1} ise sistem girdilerini göstermektedir. Lineer olmayan durum geçiş fonksiyonu F bir önceki durum bilgisinden şimdiki durum bilgisinin belirlenmesini sağlamaktadır. w_{k-1} ise sıfır ortalamalı ve S_k kovaryans matrisine sahip normal dağılımlı sistem gürültüsüdür.

GKF ölçüm modeli ile teorik olarak elde edilen durum modeline karşın sistem gerçek ölçülerle belirli zaman noktalarında belirlenir [104]. Ölçü modeli aşağıdaki eşitlik ile verilebilir:

$$l_k = h(x_k) + v_k \quad v_k \sim N(0, Q_{ll}) \rightarrow l \in R^m \quad (4.38)$$

burada l_k , k anındaki ölçüm vektörünü, lineer olmayan ölçüm fonksiyonu h ise x_k durumundaki ölçüm tahminini gösterirken, v_k sıfır ortalamalı Q_{ll} kovaryans matrisine sahip normal dağılımlı ölçüm gürültüsünü göstermektedir. KF metodunda ölçüm ve sistem eşitlikleri matematiksel ve istatistiksel olarak uyumlu olmalıdır [105]. Ayrıca, KF metodunda sistemin geçerli olabilmesi için ölçüm ve sistem gürültülerinin beklenen değerleri sıfıra eşit olmalıdır [102].

4.4.1.1 Durum Tahmini

Bu aşamada şimdiki (k anındaki) öncül durum vektör tahmini $\bar{x}_k$, bir önceki ($k - 1$ anındaki) soncul durum tahminine $\hat{x}_{k-1}$ göre hesaplanır. Durum tahmini aşağıdaki eşitlik ile verilebilir:

$$\bar{x}_k = T_{k-1}\hat{x}_{k-1} + B_{k-1}u_{k-1} \quad (4.39)$$

bu eşitlikte u_{k-1} sistem girdilerini, T_{k-1} lineerleştirilmiş durum geçiş matrisini ve B_{k-1} ise giriş büyüklüğü matrisini göstermektedir. Tahmini durum vektörü $\bar{x}_k$ ile ilişkili kovaryans matrisi $Q_{\bar{x}\bar{x},k}$, bir önceki soncul kovaryans matrisi $Q_{\hat{x}\hat{x},k-1}$ ve sistem gürültüsü kovaryans matrisi S_{k-1} cinsinden şu şekilde formülize edilebilir:

$$Q_{\bar{x}\bar{x},k} = T_{k-1}Q_{\hat{x}\hat{x},k-1}T_{k-1}^T + S_{k-1} \quad (4.40)$$

Burada T_{k-1} ifadesi durum geçiş fonksiyonunun x' e ve y' ye göre kısmi türevlerinin alınmasıyla elde edilen Jakobiye (dizayn/katsayılar matrisi) F önceki durum tahmini civarında hesaplanarak şöyle ifade edilir:

$$T_{k-1} = \left. \frac{\partial F}{\partial x} \right|_{\hat{x}_{k-1}} \quad (4.41)$$

4.4.1.2 Durum Güncellemesi

Düzeltilme aşaması olarak da adlandırılan bu aşamada gözlem vektörü kullanılarak önsel tahmin düzenlenmektedir. Yenilik vektörü d_k , gözlem vektörü l_k ve beklenen ölçüm $h(\bar{x}_k)$ 'nin farkından elde edilir.

$$d_k = l_k - h(\bar{x}_k) \quad (4.42)$$

Yenilik vektörünün kovaryans matrisi $Q_{dd,k}$ ise öncül durum hata kovaryansına bağlı beklenen ölçüm tahmini hatası ve gözlem vektörünün kovaryans matrisinin $Q_{ll,k}$ toplamından oluşmaktadır.

$$Q_{dd,k} = A_k Q_{\bar{x}\bar{x},k} A_k^T + Q_{ll,k} \quad (4.43)$$

Burada A_k gözlem fonksiyonunun Jakobiyen matrisi şöyle ifade edilebilir.

$$A_k = \left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{\bar{x}_{k-1}} \quad (4.44)$$

Soncul durum tahmini $\hat{x}_k$, öncül durum matrisinin düzenlenmesiyle;

$$\hat{x}_k = \bar{x}_k + K_k (l_k - A_k \bar{x}_k) \quad (4.45)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada K_k Kalman kazancı;

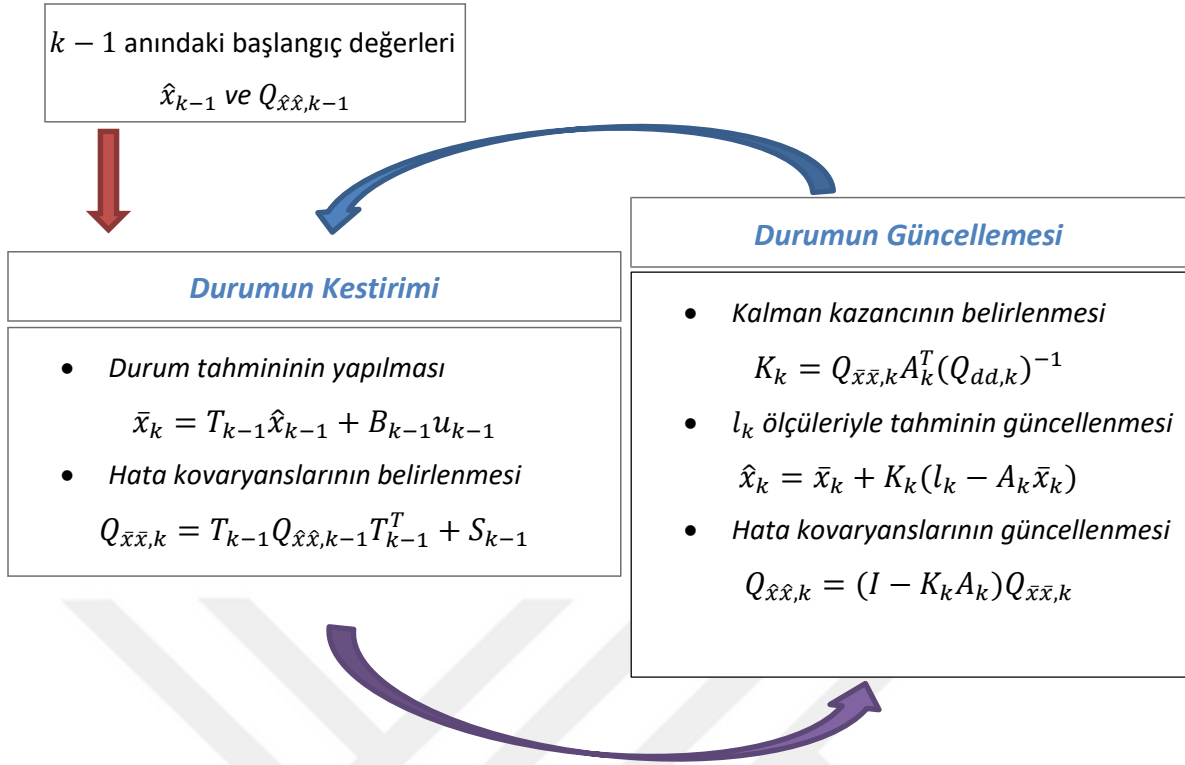
$$K_k = Q_{\bar{x}\bar{x},k} A_k^T (Q_{dd,k})^{-1} \quad (4.46)$$

ile formülüne edilir. Soncul durum kovaryans matrisi $Q_{\hat{x}\hat{x},k}$ ise öncül durum kovaryans matrisinin düzeltilmesiyle şu şekilde bulunur:

$$Q_{\hat{x}\hat{x},k} = (I - K_k A_k) Q_{\bar{x}\bar{x},k} \quad (4.47)$$

burada I birim matrisi göstermektedir.

Kalman Filtresinin çalışması için öncelikle $\hat{x}_{k-1}$ vektörünün ve $Q_{\hat{x}\hat{x},k-1}$ matrisinin sisteme tanıtılması gerekmektedir. Sonrasında ‘Durum Tahmini’ ve ‘Durum Güncellemesi’ aşamaları iteratif olarak çalışmakta ve mobil cihazın konumu belirlenmektedir. GKF’nin iteratif olarak çalışan süreci Şekil 4.5’de verilmektedir. GKF metodu Konum (x), Konum-Hız ($x - \dot{x}$) Konum-Hız-İvme ($x - \dot{x} - \ddot{x}$) olmak üzere üç farklı model şekilde uygulanabilir. [106] de gerçekleştirilmiş olan çalışmada, (x) modelin en az hesap ve hafıza doluluğuna sebep olan model olduğu belirtilmiş ve ($x - \dot{x}$) modeli (x) modelinden yaklaşık 3 kat, ($x - \dot{x} - \ddot{x}$) modeli (x) modelinden yaklaşık 8 kat, ($x - \dot{x}$) modelinden ise yaklaşık 2.5 kat daha fazla hesap yüküne sahip olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde ($x - \dot{x}$) modeli (x) modelinden yaklaşık 2 kat, ($x - \dot{x} - \ddot{x}$) modeli (x) modelinden yaklaşık 4 kat, ($x - \dot{x}$) modelinden ise yaklaşık 2 kat daha fazla hafıza kullanımına sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. 4 Genişletilmiş Kalman Filtre süreci

4.4.1.3 Konum (x) Modeli

Genellikle durağan haldeki kullanıcının konumunun belirlenmesi amacıyla kullanılan bu modelde sadece konum bileşenleri kullanılır [85]. Böylece durum vektörü x_k , durum geçiş matrisi T_{k-1} ve sistem gürültüsünün kovaryans matrisi S sırasıyla;

$$x_k = [x \quad y]^T \quad (4.48)$$

$$T_{k-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.49)$$

$$S = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & 0 \\ 0 & \sigma_y^2 \end{bmatrix} \quad (4.50)$$

şeklinde gösterilir. Burada x ve y mobil cihazın konum bileşenleri, σ_x^2 ve σ_y^2 ise x ve y eksenleri boyunca hıza ilişkin oluşan varyans değerlerini göstermektedir. Başlangıç durum vektörü kovaryans matrisi $Q_{xx,k-1}$;

$$Q_{xx,k-1} = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & 0 \\ 0 & \sigma_y^2 \end{bmatrix} \quad (4.51)$$

şeklinde oluşturulur. Burada σ_x^2 ve σ_y^2 durum vektörü bileşenlerinin varyans değerlerini göstermektedir. Konum değerlerine göre oluşturulacak eşitliklerde $\hat{x}_k = \hat{x}_{k-1}$ ve $\hat{P}_k = \hat{P}_{k-1}$ olmaktadır. Beklenen ölçüm vektörü $h(\bar{x}_k)$;

$$h(\bar{x}_k) = \begin{bmatrix} \sqrt{(\tilde{x}_M - x_{EN_1})^2 + (\tilde{y}_M - y_{EN_1})^2} \\ \sqrt{(\tilde{x}_M - x_{EN_2})^2 + (\tilde{y}_M - y_{EN_2})^2} \\ \vdots \\ \sqrt{(\tilde{x}_M - x_{EN_n})^2 + (\tilde{y}_M - y_{EN_n})^2} \end{bmatrix} \quad (4.52)$$

ve bu vektörün Jakobiyeninin alınmasıyla elde edilen A_k matrisi;

$$A_k = \begin{bmatrix} \frac{(x - x_{EN_1})}{d_1} & \frac{(y - y_{EN_1})}{d_1} \\ \frac{(x - x_{EN_2})}{d_2} & \frac{(y - y_{EN_2})}{d_2} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{(x - x_{EN_n})}{d_n} & \frac{(y - y_{EN_n})}{d_n} \end{bmatrix} \quad (4.53)$$

olarak elde edilmektedir. Gözlem vektörünün kovaryans matrisi $Q_{ll,k}$ ise;

$$Q_{ll,k} = \text{diag}[\sigma_{d_1}^2 \quad \dots \quad \sigma_{d_n}^2] \quad (4.54)$$

olarak elde edilir. Burada σ_d^2 değerleri i. EN'nin mesafe ölçümlerinden elde edilen varyans değerini göstermektedir.

4.4.1.4 Konum-Hız ($x - \dot{x}$) Modeli

($x - \dot{x}$) modelinde metottaki konum bileşenleriyle birlikte mobil cihazın x ve y yönlerindeki hız bileşenleri de kullanılmaktadır. Böylece durum vektörü x_k ;

$$x_k = [x \quad y \quad \dot{x} \quad \dot{y}]^T \quad (4.55)$$

ile gösterilir. x ve y mobil cihazın konum bileşenleri, $\dot{x}$ ve $\dot{y}$ mobil cihazın hız bileşenlerini ifade etmektedir. Durum geçiş matrisi T_{k-1} ise;

$$T_{k-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.56)$$

ile gösterilir. Δt önceki ölçüm anı t_{k-1} ile şimdiki ölçüm anı t_k arasında geçen süreyi ifade etmektedir. Sistem gürültüsünün kovaryans matrisi S ;

$$S = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}\Delta t^2 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2}\Delta t^2 \\ \Delta t & 0 \\ 0 & \Delta t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{\ddot{x}}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{\ddot{y}}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{2}\Delta t^2 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2}\Delta t^2 \\ \Delta t & 0 \\ 0 & \Delta t \end{bmatrix}^T \quad (4.57)$$

şeklinde gösterilir. $\sigma_{\ddot{x}}^2$ ve $\sigma_{\ddot{y}}^2$, x ve y yönleri boyunca oluşan ivmeye ilişkin varyans değerlerini göstermektedir. Başlangıç durum vektörü kovaryans matrisi $Q_{xx,k-1}$;

$$Q_{xx,k-1} = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_y^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\dot{x}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{\dot{y}}^2 \end{bmatrix} \quad (4.58)$$

şeklinde oluşturulur. Burada σ_x^2 , σ_y^2 , $\sigma_{\dot{x}}^2$ ve $\sigma_{\dot{y}}^2$ durum vektörü konum ve hız bileşenlerinin varyans değerlerini göstermektedir. Beklenen ölçüm vektörü $h(\hat{x}_k)$;

$$h(\bar{x}_k) = \begin{bmatrix} \sqrt{(\tilde{x}_M - x_{EN_1})^2 + (\tilde{y}_M - y_{EN_1})^2} \\ \sqrt{(\tilde{x}_M - x_{EN_2})^2 + (\tilde{y}_M - y_{EN_2})^2} \\ \vdots \\ \sqrt{(\tilde{x}_M - x_{EN_n})^2 + (\tilde{y}_M - y_{EN_n})^2} \end{bmatrix} \quad (4.59)$$

ve bu vektörün Jakobiyeninin alınmasıyla elde edilen A_k matrisi;

$$A_k = \begin{bmatrix} \frac{(x-x_{EN_1})}{d_1} & \frac{(y-y_{EN_1})}{d_1} & 0 & 0 \\ \frac{(x-x_{EN_2})}{d_2} & \frac{(y-y_{EN_2})}{d_2} & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{(x-x_{EN_n})}{d_n} & \frac{(y-y_{EN_n})}{d_n} & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.60)$$

olarak elde edilmektedir. Gözlem vektörünün kovaryans matrisi $Q_{ll,k}$ ise;

$$Q_{ll,k} = \text{diag}[\sigma_{d_1}^2 \quad \dots \quad \sigma_{d_n}^2] \quad (4.61)$$

olarak elde edilir. Burada σ_d^2 değerleri EN'lerin mesafe ölçümlerinden elde edilen varyans değerini göstermektedir.

4.4.1.5 Konum-Hız-İvme ($x - \dot{x} - \ddot{x}$) Modeli

($x - \dot{x} - \ddot{x}$) modelinde metottaki konum ve hız bileşenleriyle birlikte mobil cihazın x ve y yönlerindeki ivme bileşenleri de kullanılmaktadır. Böylece durum vektörü x_k ;

$$x_k = [x \quad y \quad \dot{x} \quad \dot{y} \quad \ddot{x} \quad \ddot{y}]^T \quad (4.62)$$

ile gösterilir. x ve y mobil cihazın konum bileşenleri, $\dot{x}$ ve $\dot{y}$ mobil cihazın hız bileşenleri, $\ddot{x}$ ve $\ddot{y}$ ivme bileşenlerini ifade etmektedir. Durum geçiş matrisi T_{k-1} ise;

$$T_{k-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 & \frac{1}{2}\Delta t^2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t & 0 & \frac{1}{2}\Delta t^2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.63)$$

ile gösterilir. Δt önceki ölçüm anı t_{k-1} ile şimdiki ölçüm anı t_k arasında geçen süreyi ifade etmektedir. Sistem gürültüsünün kovaryans matrisi S ;

$$S = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}\Delta t^2 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2}\Delta t^2 \\ \Delta t & 0 \\ 0 & \Delta t \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{\ddot{x}}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{\ddot{y}}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{2}\Delta t^2 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2}\Delta t^2 \\ \Delta t & 0 \\ 0 & \Delta t \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}^T \quad (4.64)$$

şeklinde gösterilir. $\sigma_{\ddot{x}}^2$ ve $\sigma_{\ddot{y}}^2$ ise x ve y yönleri boyunca oluşan ivmeye bileşenlerini göstermektedir. Başlangıç durum vektörü kovaryans matrisi $Q_{xx,k}$;

$$Q_{xx,k} = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_y^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\dot{x}}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{\dot{y}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{\ddot{x}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{\ddot{y}}^2 \end{bmatrix} \quad (4.65)$$

şeklinde oluşturulur. Burada σ_x^2 , σ_y^2 , $\sigma_{\dot{x}}^2$, $\sigma_{\dot{y}}^2$, $\sigma_{\ddot{x}}^2$ ve $\sigma_{\ddot{y}}^2$ durum vektörü bileşenlerinin varyans değerlerini göstermektedir. Beklenen ölçüm vektörü $h(\bar{x}_k)$;

$$h(\bar{x}_k) = \begin{bmatrix} \sqrt{(\tilde{x}_M - x_{EN_1})^2 + (\tilde{y}_M - y_{EN_1})^2} \\ \sqrt{(\tilde{x}_M - x_{EN_2})^2 + (\tilde{y}_M - y_{EN_2})^2} \\ \vdots \\ \sqrt{(\tilde{x}_M - x_{EN_n})^2 + (\tilde{y}_M - y_{EN_n})^2} \end{bmatrix} \quad (4.66)$$

ve bu vektörün Jakobiyeninin alınmasıyla elde edilen A_k matrisi;

$$A_k = \begin{bmatrix} \frac{(x - x_{EN_1})}{d_1} & \frac{(y - y_{EN_1})}{d_1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{(x - x_{EN_2})}{d_2} & \frac{(y - y_{EN_2})}{d_2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{(x - x_{EN_n})}{d_n} & \frac{(y - y_{EN_n})}{d_n} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.67)$$

olarak elde edilmektedir. Gözlem vektörünün kovaryans matrisi $Q_{ll,k}$ ise;

$$Q_{ll,k} = \text{diag}[\sigma_{d_1}^2 \quad \dots \quad \sigma_{d_n}^2] \quad (4.68)$$

olarak elde edilir. Burada σ_d^2 değerleri EN'lerin mesafe ölçümlerinden elde edilen varyans değerini göstermektedir.

[2] de gerçekleştirilen ve literatür bölümünde özetlenen çalışmada (x) modelinin $(x - \dot{x})$ ve $(x - \dot{x} - \ddot{x})$ modellerinden daha yüksek konum doğruluğu sağladığı belirtilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada keskin dönüşü sahip güzergâhlarda (x) modelinin $(x - \dot{x})$ ve $(x - \dot{x} - \ddot{x})$ modellerine oranla daha yüksek konum doğruluğu sağladığı tespit edilmiştir. Bunun sebebinin ise hız ve ivmeye bağlı hatalardan kaynaklandığı belirtilmiştir. $(x - \dot{x})$ modelinin hız ölçümlerindeki, $(x - \dot{x} - \ddot{x})$ modelinin ise ivme ölçümlerindeki süreksizliklerden etkilendiği ve bunun konum hatasının artmasına neden olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak söz konusu çalışmada yüksek mesafe doğruluğu sağlayan TDOA tekniğinin kullanıldığı unutulmamalıdır. Çünkü ASG gibi mesafe tahmin hatasının yüksek olduğu uygulamalarda (x) modeli kullanılarak $(x - \dot{x})$ ve $(x - \dot{x} - \ddot{x})$ modellerinden daha düşük konum doğruluğu elde edileceği düşünülmektedir. Diğer bir deyişle, mesafe doğruluğunuz yüksek ise gözlem modelinin, düşük ise durum modelinizin daha ağırlıklı olmasının yüksek konum doğruluğu sağlayacağı düşünülmektedir. [34] de ASG değerleriyle GKF metodu kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada ise güzergâhın dönüş kısımlarında gözlem modelinin, diğer kısımlarda ise

durum modelinin ağırlıklarının arttırılmasının konum doğruluğunu arttıracakını vurgulamışlardır. [73] de GKF ve İAEKK metotlarının hareketsiz konumunun belirlenmesi durumunda benzer performans gösterdikleri tespit edilmiştir. Bu sebeple uygulama kolaylığı olduğu için İAEKK metodunun tercih edilmesinin durağan haldeki nesnenin konumunun belirlendiği uygulamalarda kullanılmasının daha uygun olacağı belirtilmiştir. Hareket halindeki bir cismin konumunun belirlenmesi için sistem modeli yardımıyla GKF metodunun daha doğru konum bilgisi sağlayabileceği belirtilmiştir.



WİRELESS SİNYAL DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI

Geçmişte yalnızca internet iletişimi amacıyla kullanılan WiFi tabanlı erişim noktalarının tamamında 2.4 GHz sinyaller yayılmakta iken son yıllarda üretilmeye başlanan yeni nesil cihazlarda 2.4 GHz sinyallerinin yanı sıra 5 GHz sinyaller de yayılmaya başlanmıştır. Bu sebeple geçmişte yapılan çalışmaların hemen hepsinde 2.4 GHz sinyaller kullanılmakta iken günümüzde hem 2.4 hem de 5 GHz sinyaller kullanılarak çalışmalar gerçekleştirilebilmektedir. Kapalı ortamlarda sinyallerin pek çok etken tarafından etkilenmesi sonucunda sinyaller çok fazla bozulmaya maruz kalmaktadırlar. Özellikle mesafeye bağlı olarak çalışan kapalı mekân konumlama sistemlerinde konum doğruluklarının artırılması için sinyallerin mesafeye bağlı davranışlarının olabildiğince iyi modellenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada 2.4 ve 5 GHz wireless sinyallerinin kapalı mekânda mesafeye bağlı davranışları araştırılmış ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

5.1 Sinyal Güçlerinin Mesafeye Bağlı Değişimlerinin Belirlenmesi

Wireless sinyalleri kapalı mekânlarda kendi doğasında olan mesafeye bağlı azalmanın yanı sıra duvarlar, kapılar, eşyalar, canlılar vb. nedeniyle kırılma, yansıma ve saçılma etkilerine maruz kalmaktadırlar [39]. Bu etkilerin kapalı mekânların tamamında farklılık göstermesi sebebiyle sinyal davranışlarının kapalı mekâna özel analizlerinin yapılması gerektiği düşünülmektedir.

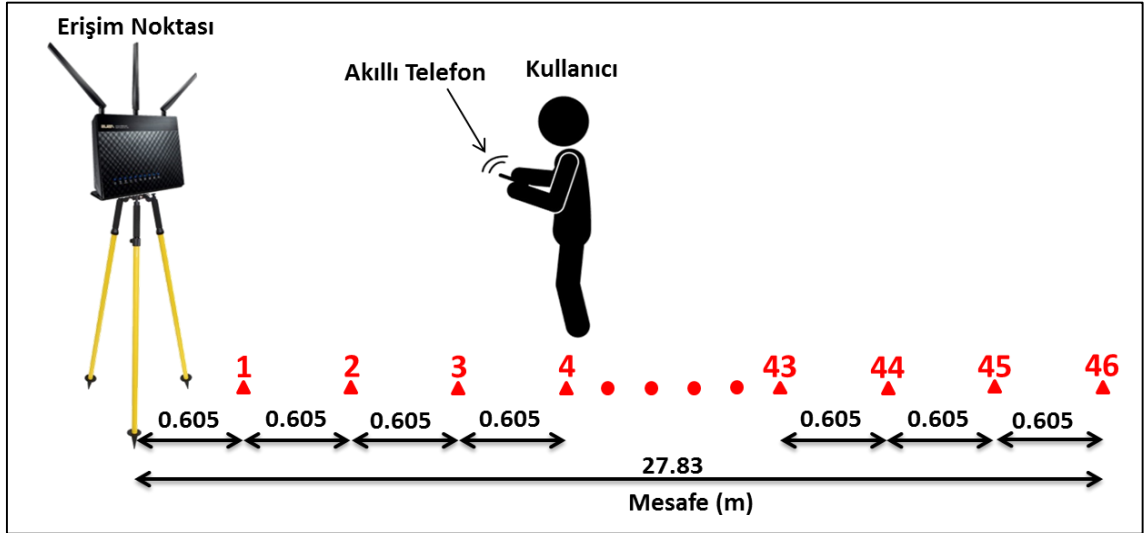
Bu uygulamada 2.4 ve 5 GHz WiFi sinyallerinin mesafeye bağlı davranışları araştırılmış ve elde edilen bulgular değerlendirilmiştir. Sinyallerin davranışları hakkında daha sağlıklı yorumların yapılabilmesi amacıyla bu çalışma hem 2.4 GHz hem de 5 GHz sinyallerinin yayma özelliğine sahip iki farklı marka ve modeldeki cihazlar kullanılarak

gerçekleştirilmiştir. Kullanılan erişim noktalarına ait bazı teknik özellikler Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5. 1 Kullanılan erişim noktalarının bazı özellikleri

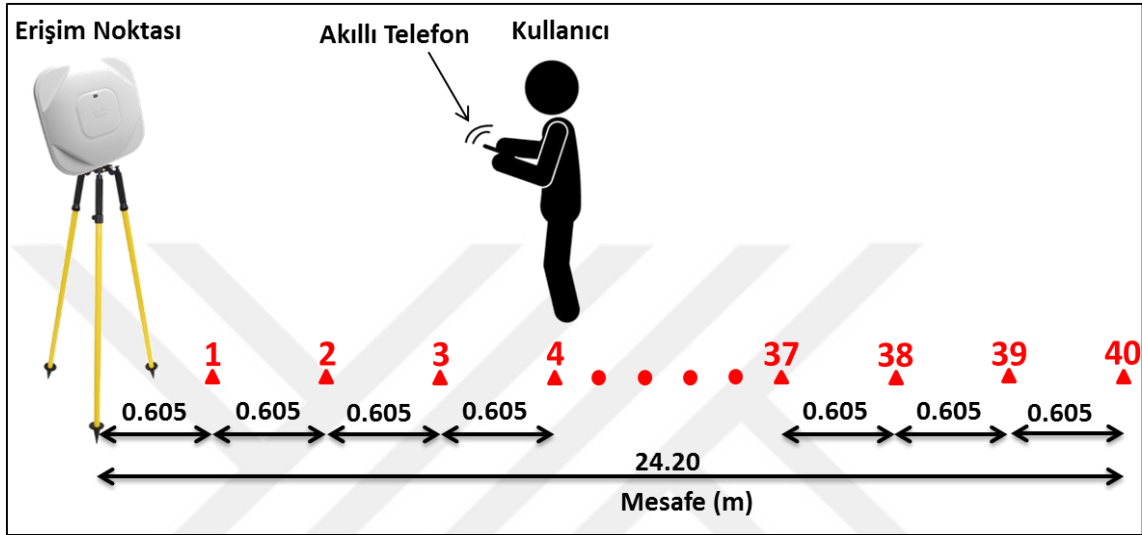
Marka / Model	A-marka	B-marka
Ağ standartları	IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n, IEEE 802.11ac, IPv6	IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n,
Çalışma frekansı	2.4GHz 5GHz	2.4GHz 5GHz
Mekân tipi	Kapalı mekân	Kapalı mekân

Sinyallerin mesafeye bağlı davranışlarının belirlenmesi amacıyla öncelikle 10 adet A-marka erişim noktası sırasıyla tripod üzerine kurulmuştur. Şekil 5.1’de görülen deney düzeneğinde, erişim noktalarından yayılan 2.4 GHz ve 5 GHz sinyaller, bu sinyalleri alabilme özelliğine ve Android işletim sistemine sahip Samsung Galaxy Note 5 marka akıllı telefon kullanılarak toplanmıştır.



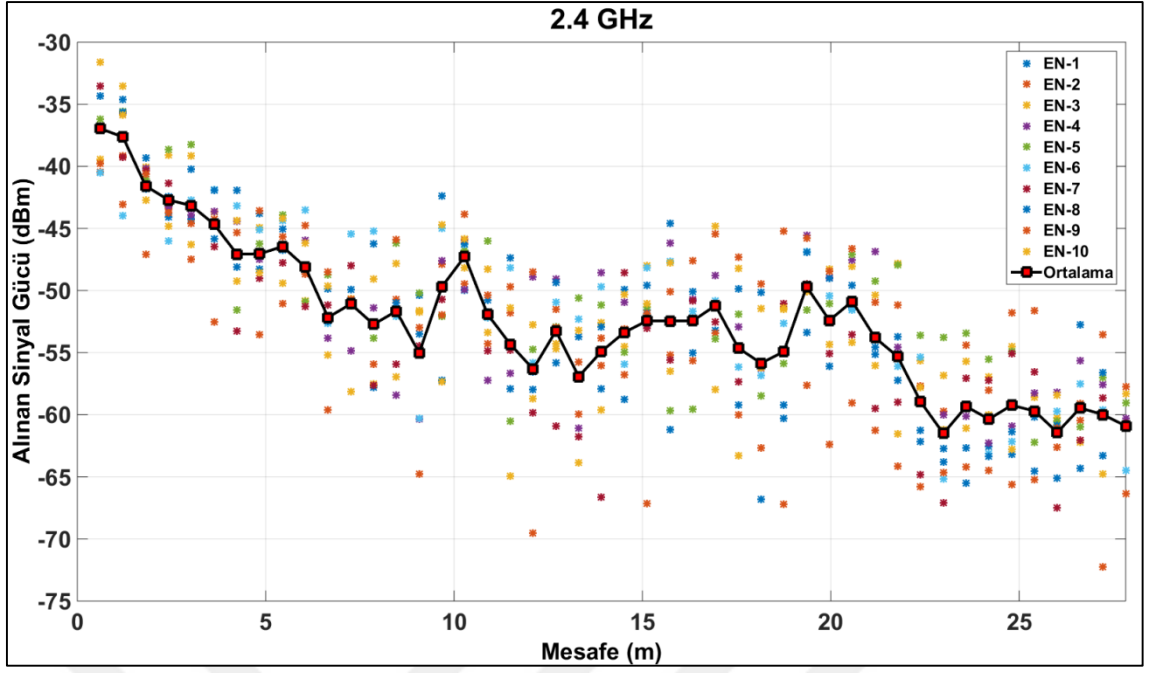
Şekil 5. 1 A-marka erişim noktaları kullanılarak mesafeye bağlı sinyal şiddetlerinin toplanması

Bu işlem 0.605 metre aralıklarla belirlenen 46 noktada toplamda 27.83 metrelik doğrudan görüş imkânına sahip bir hat boyunca gerçekleştirilmiştir. Her noktada en az 150 sinyal verisi toplanmıştır. Benzer bir uygulama 4 adet B-marka erişim noktası kullanılarak toplamda 24.20 metrelik bir mesafede gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.2). Bu uygulamaların gerçekleştirilebilmesi amacıyla Android Studio uygulama geliştirme ortamında, JAVA programlama dili kullanılarak yazılım kodlanmıştır.

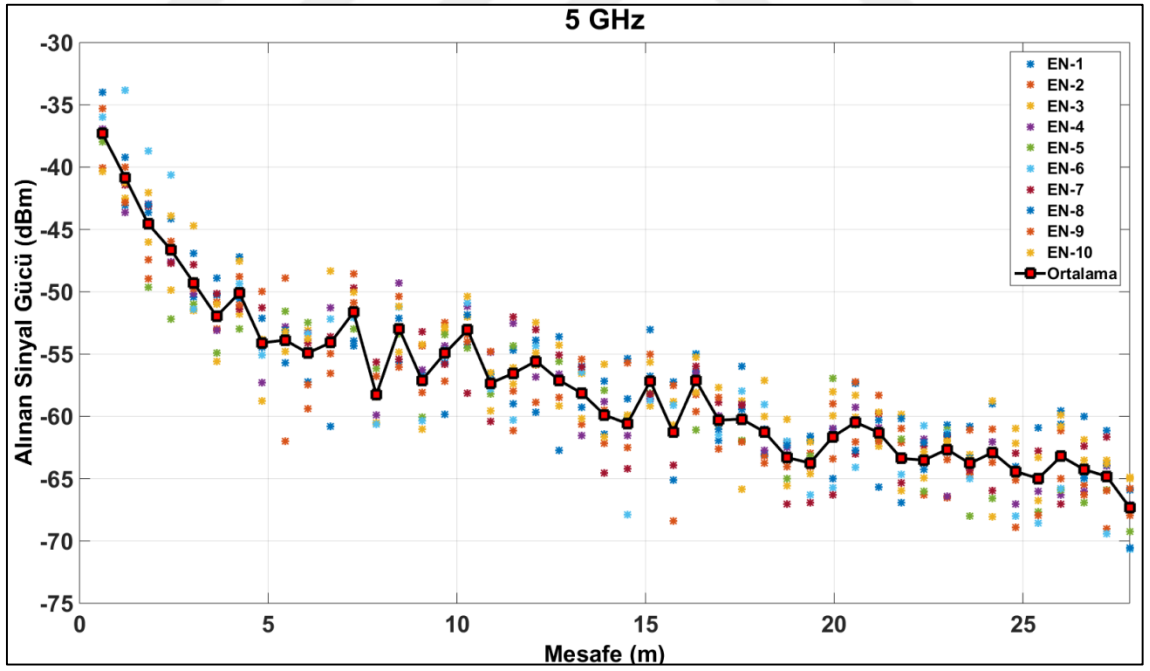


Şekil 5. 2 B-marka erişim noktaları kullanılarak mesafeye bağlı sinyal şiddetlerinin toplanması

A-marka erişim noktalarından alınan 2.4 GHz ve 5 GHz sinyal güçlerinin mesafeye bağlı değerleri ve 10 erişim noktasının mesafeye bağlı sinyal güçlerinin ortalamaları sırasıyla Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’de görülmektedir.

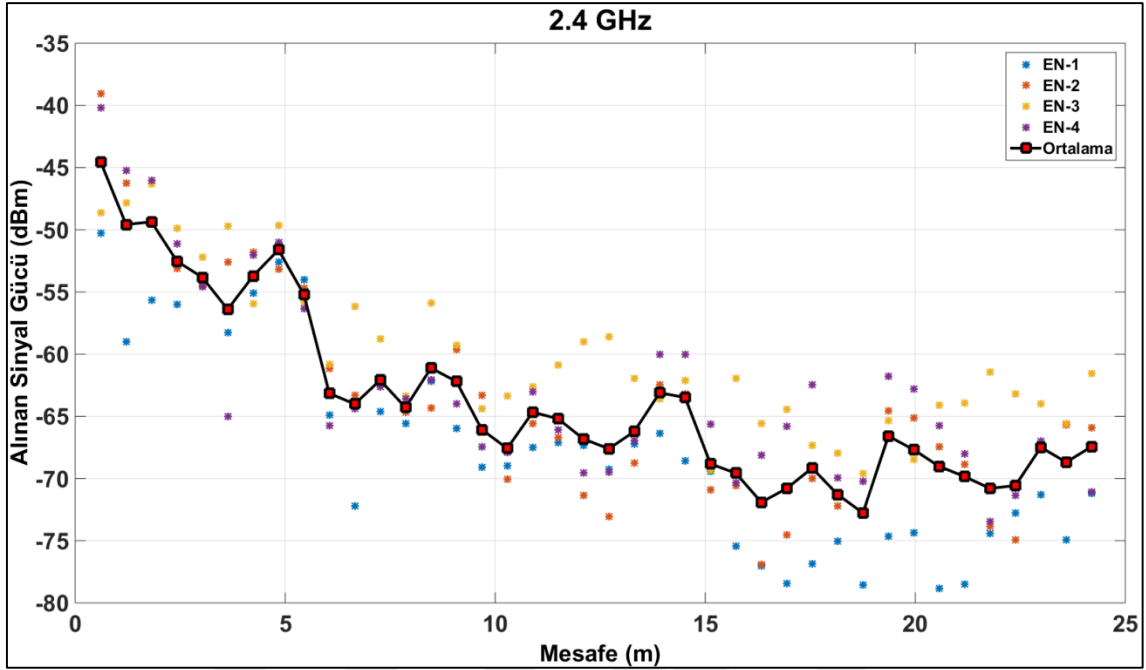


Şekil 5. 3 10 farklı A-marka erişim noktasından yayılan 2.4 GHz sinyallerin mesafeye bağlı güç değerleri

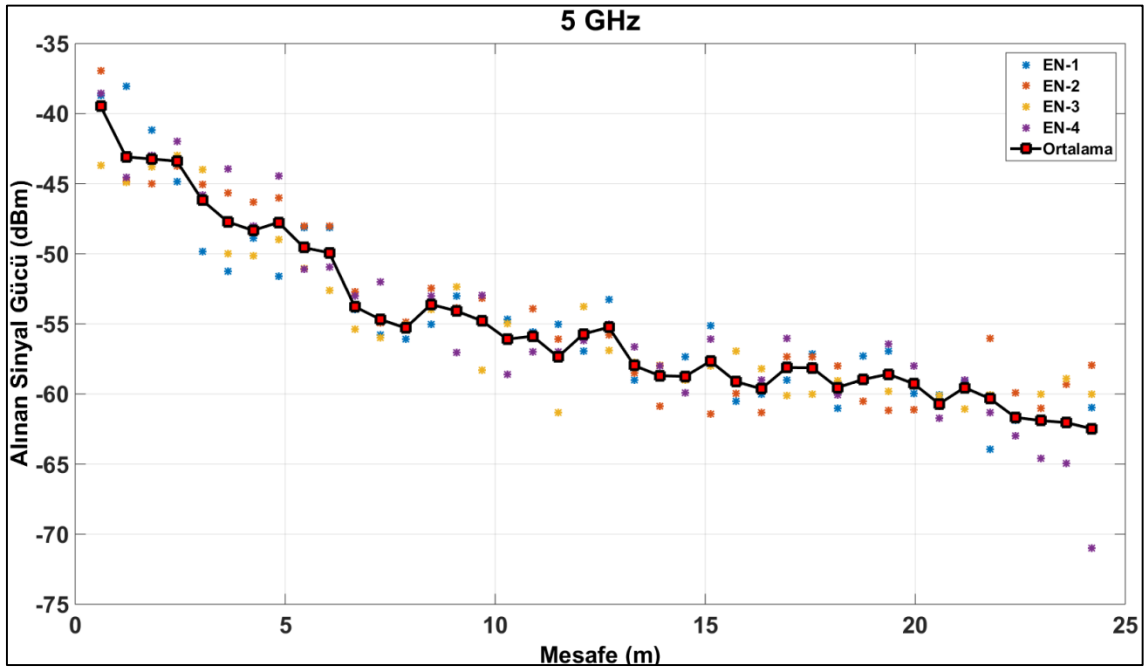


Şekil 5. 4 10 farklı A-marka erişim noktasından yayılan 5 GHz sinyallerin mesafeye bağlı güç değerleri

Benzer şekilde B-marka erişim noktalarından alınan 2.4 GHz ve 5 GHz sinyal güçlerinin mesafeye bağlı değerleri ve 4 erişim noktasının mesafeye bağlı sinyal güçlerinin ortalamaları sırasıyla Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'de gösterilmektedir.

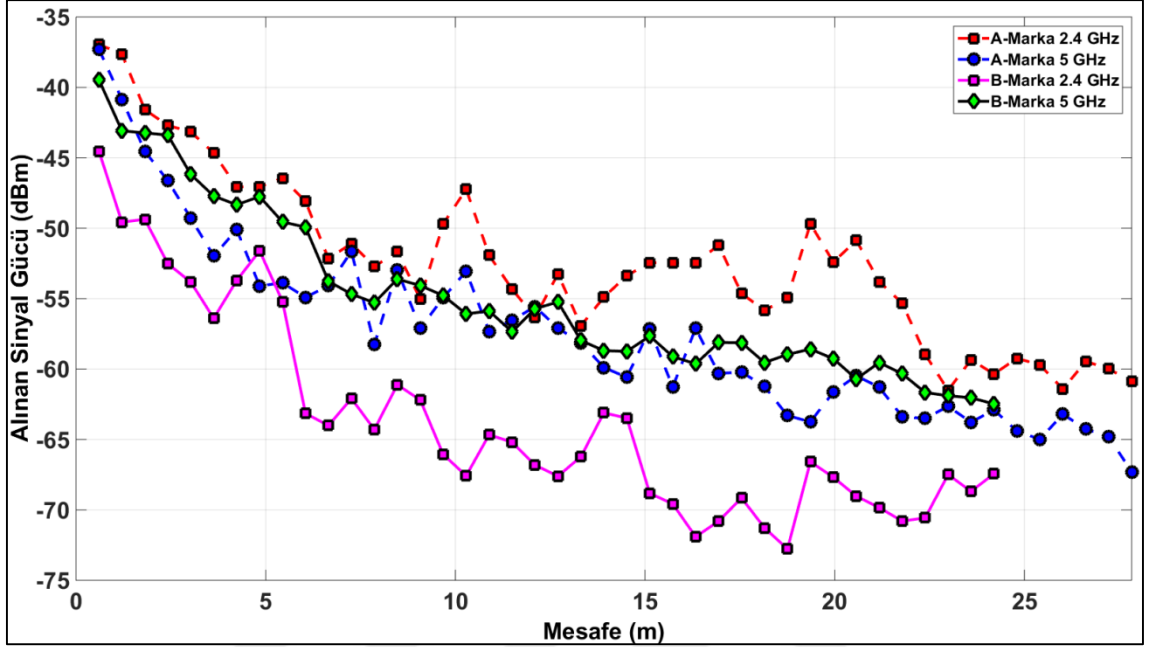


Şekil 5. 5 4 farklı B-marka erişim noktasından yayılan 2.4 GHz sinyallerin mesafeye bağlı güç değerleri



Şekil 5. 6 4 farklı B-marka erişim noktasından yayılan 5 GHz sinyallerin mesafeye bağlı güç değerleri

Sinyal davranışlarının mesafeye bağlı hareketlerini daha iyi değerlendirebilmek adına A ve B marka erişim noktalarından elde edilen ortalama sinyal güçleri Şekil 5.7’de gösterilmiştir.

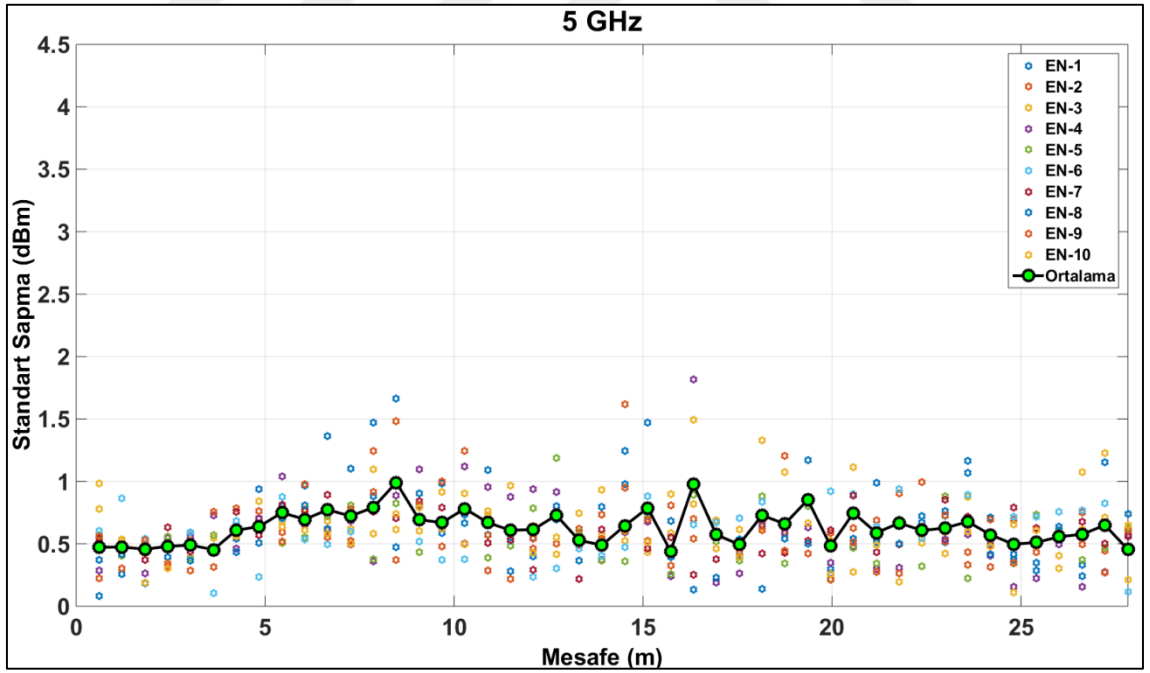


Şekil 5. 7 A ve B marka erişim noktalarından yayılan sinyallerin mesafeye bağlı ortalama güç değerleri

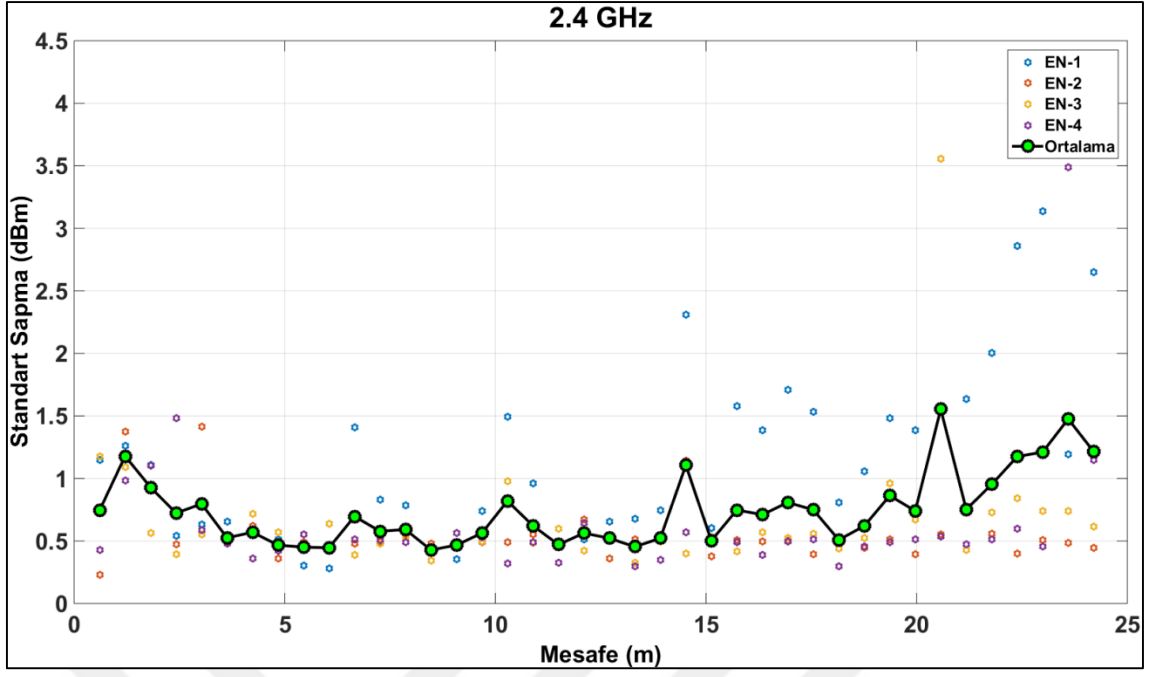
Sinyal güçlerinin mesafeye bağlı değişimleri incelendiğinde A-marka 2.4 GHz sinyallerin A-marka 5 GHz sinyallere oranla daha güçlü dBm değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Ancak, B-marka 2.4 GHz sinyaller B-marka 5 GHz sinyallere oranla çok daha güçsüz değerlere sahiptir. Bu durum göz önüne alındığında 2.4 ve 5 GHz sinyallerin birbirine göre güçlü veya güçsüz olmaları konusunda bir genelleme yapılamayacağı sonucuna varılmaktadır. Çünkü iki farklı frekanstaki sinyallerin birbirlerine göre güçlü veya güçsüz olmaları cihaza göre değişiklik göstermektedir. Şekil 5.7’de dikkati çeken diğer bir husus da hem A hem de B marka cihazlardan elde edilen 5 GHz sinyal ortalamalarının birbirlerine çok yakın olmalarıdır. Ayrıca yukarıdaki şekillerden çıkarılacak diğer bir sonuç ise hem A hem de B marka cihazlarından alınan 5 GHz ortalama sinyal gücü değerlerindeki dalgalanmaların 2.4 GHz sinyallere göre çok daha düşük seviyede olmalarıdır. Bu durumu daha iyi belirleyebilmek için Şekil 5.8’de A-marka 2.4 GHz, Şekil 5.9’da A-marka 5 GHz, Şekil 5.10’da B-marka 2.4 GHz ve Şekil 5.11’de B-marka 5 GHz alınan sinyal güçlerinin mesafeye bağlı standart sapma değerleri görselleştirilmiştir.



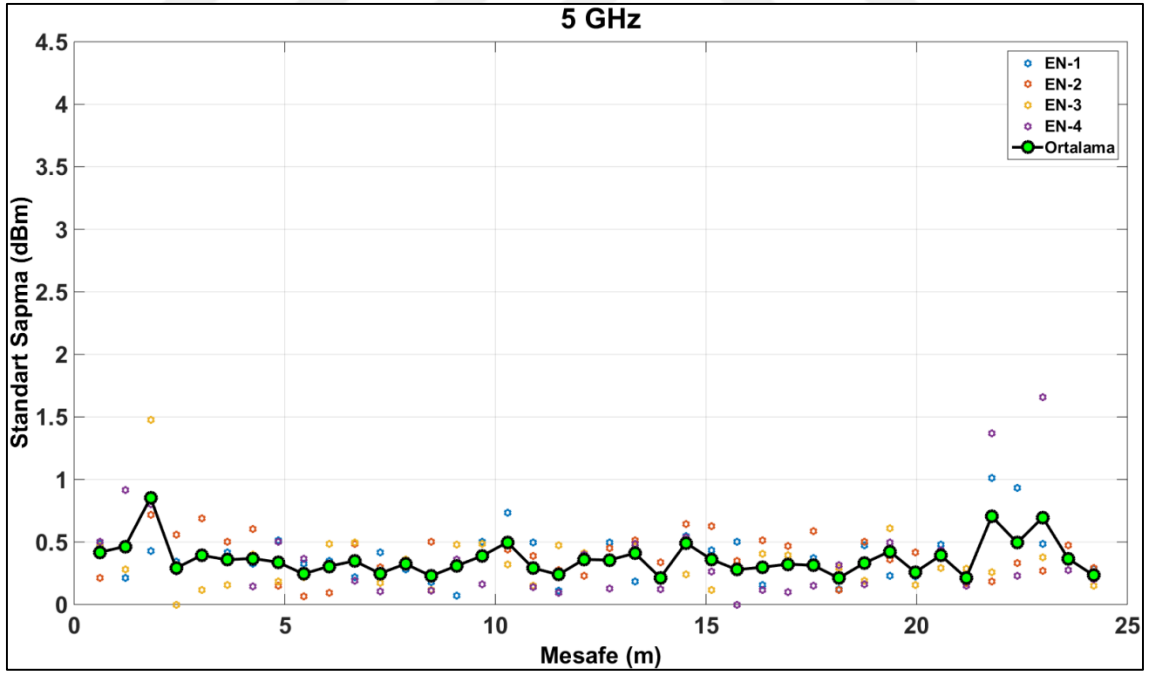
Şekil 5. 8 10 farklı A-marka erişim noktasından yayılan 2.4 GHz sinyallerin mesafeye bağlı standart sapma değerleri



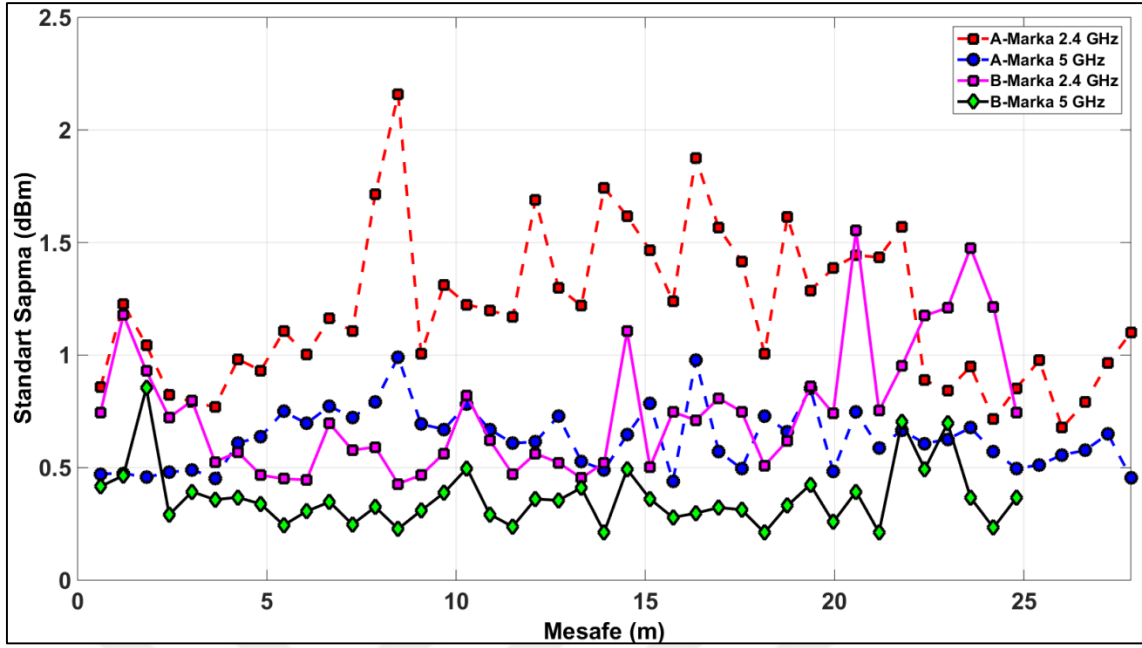
Şekil 5. 9 10 farklı A-marka erişim noktasından yayılan 5 GHz sinyallerin mesafeye bağlı standart sapma değerleri



Şekil 5. 10 4 farklı B-marka erişim noktasından yayılan 2.4 GHz sinyallerin mesafeye bağlı standart sapma değerleri



Şekil 5. 11 4 farklı B-marka erişim noktasından yayılan 5 GHz sinyallerin mesafeye bağlı standart sapma değerleri



Şekil 5. 12 A ve B marka erişim noktalarından yayılan sinyallerin mesafeye bağlı standart sapma değerleri

Şekil 5.12’de A ve B marka EN’lere ait 2.4 ve 5 GHz sinyallerinin ortalama standart sapma değerleri görülmektedir. Standart sapma değerleri incelendiğinde A-marka 2.4 GHz sinyallerinin mesafeye bağlı standart sapma ortalaması 1.20 dBm olarak elde edilmiştir. A-marka 5 GHz sinyallerinin standart sapma ortalaması ise 0.63 dBm olarak bulunmuştur. Bu durum göz önüne alındığında 5 GHz sinyallerin çok daha kararlı davranış sergilediği görülmektedir. Benzer şekilde B-marka 2.4 GHz sinyallerinin ortalama standart sapma değeri 0.75 dBm iken, B-marka 5 GHz sinyallerinin ortalama standart sapma değeri 0.37 dBm olarak bulunmuştur. B-marka cihazlarda da A-marka cihazlarda olduğu gibi 5 GHz sinyali 2.4 GHz sinyallerine oranla 2 kat daha kararlı davranış sergilemektedir.

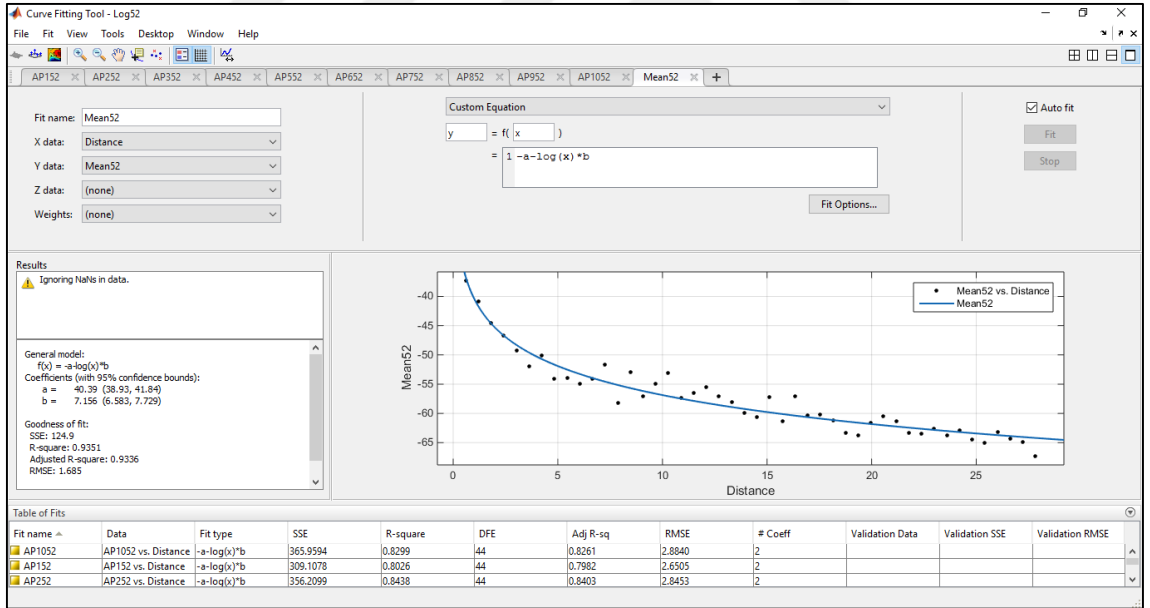
Yukarıda bulunan şekiller ve elde edilen değerler incelendiğinde;

- 5 GHz sinyal dalgalanmalarının 2.4 GHz sinyallerine göre çok daha az olduğu,
- 5 GHz sinyallerin modellenmesinin 2.4 GHz sinyallere oranla daha yüksek doğrulukla yapılabileceği,
- 5 GHz sinyallerin kullanılmasıyla elde edilen mesafe tahminlerinin 2.4 GHz sinyallere oranla daha yüksek doğrulukla yapılabileceği,

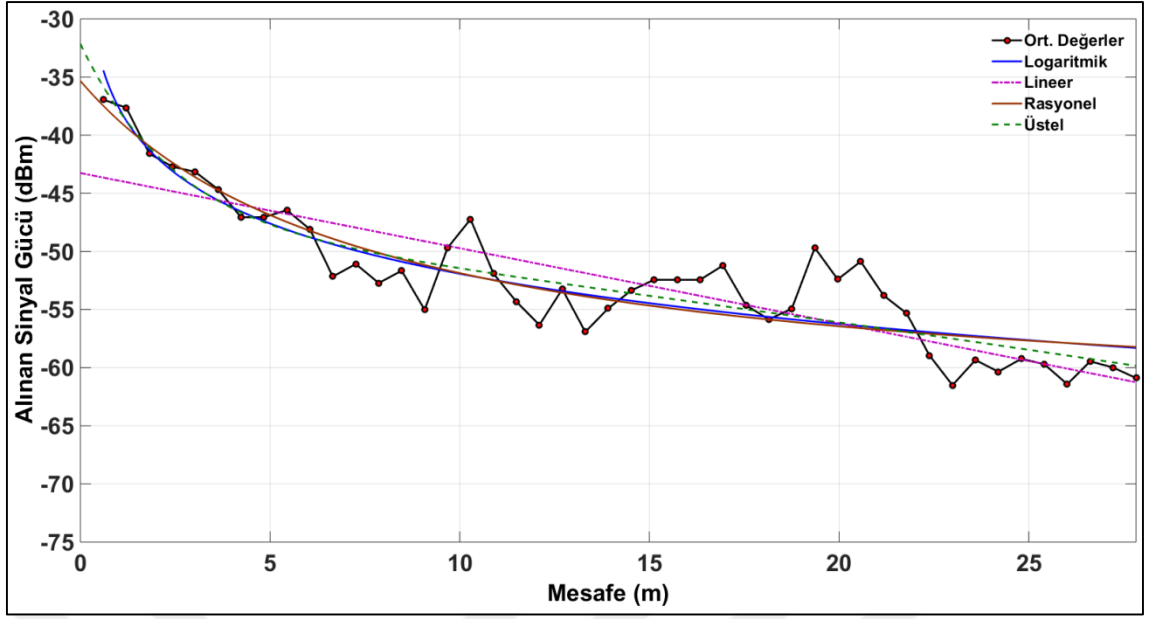
- 5 GHz sinyaller kullanılarak elde edilen konum bilgilerinin 2.4 GHz sinyaller kullanılarak elde edilecek konum bilgilerine oranla doğruluğunun daha yüksek olacağı düşünülmektedir.

5.2 Sinyal Güçlerinin Mesafeye Bağlı Değişimlerinin Modellenmesi

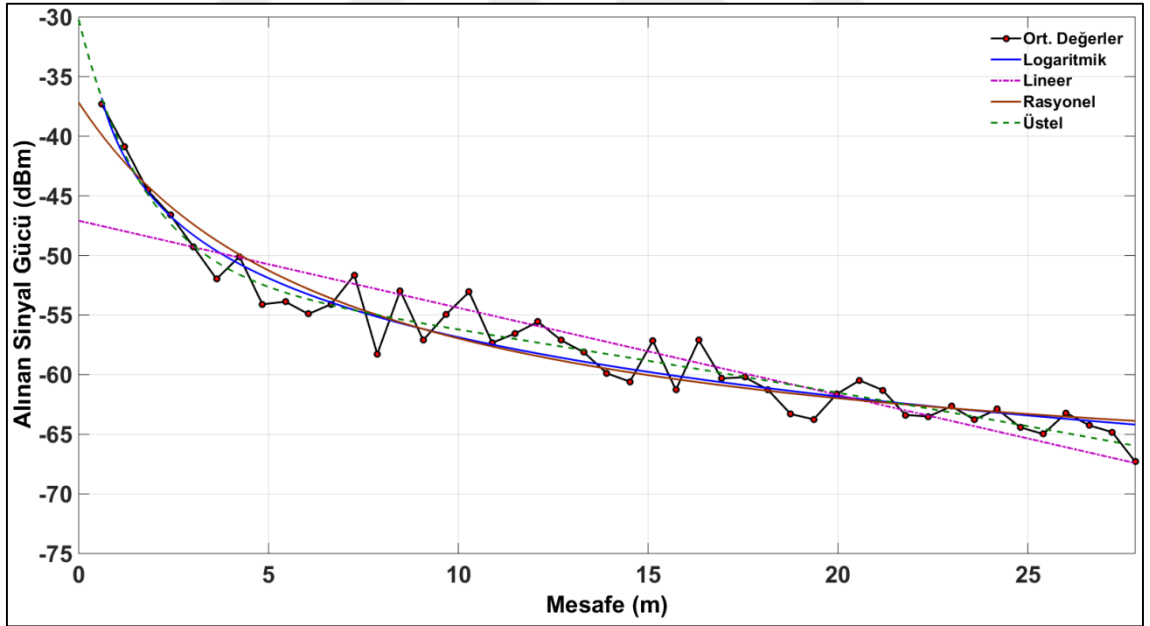
WiFi sinyallerindeki dalgalanmalar göz önüne alındığında, sinyal davranışlarını tam olarak modelleneneceği bir fonksiyon bulunmasının zor olduğu düşünülmekle birlikte bu davranışların olabildiğince iyi tanımlanabileceği bir fonksiyon belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla elde edilen ortalama sinyal gücü değerleri ile mesafe arasındaki ilişkiyi ölçmek amacıyla regresyon analizi yapılmıştır. Matlab curve fitting tool kullanılarak 2.4 ve 5 GHz sinyaller için logaritmik, lineer, rasyonel ve üstel fonksiyon olarak eğri geçirme (curve fitting) araştırması yapılmıştır (Şekil 5.13). Şekil 5.14’de A-marka 2.4 GHz, Şekil 5.15’de A-marka 5 GHz, Şekil 5.16’da B-marka 2.4 GHz ve Şekil 5.17’de B-marka 5 GHz sinyalleri ortalama sinyal verileri için eğri geçirme grafikleri görülmektedir.



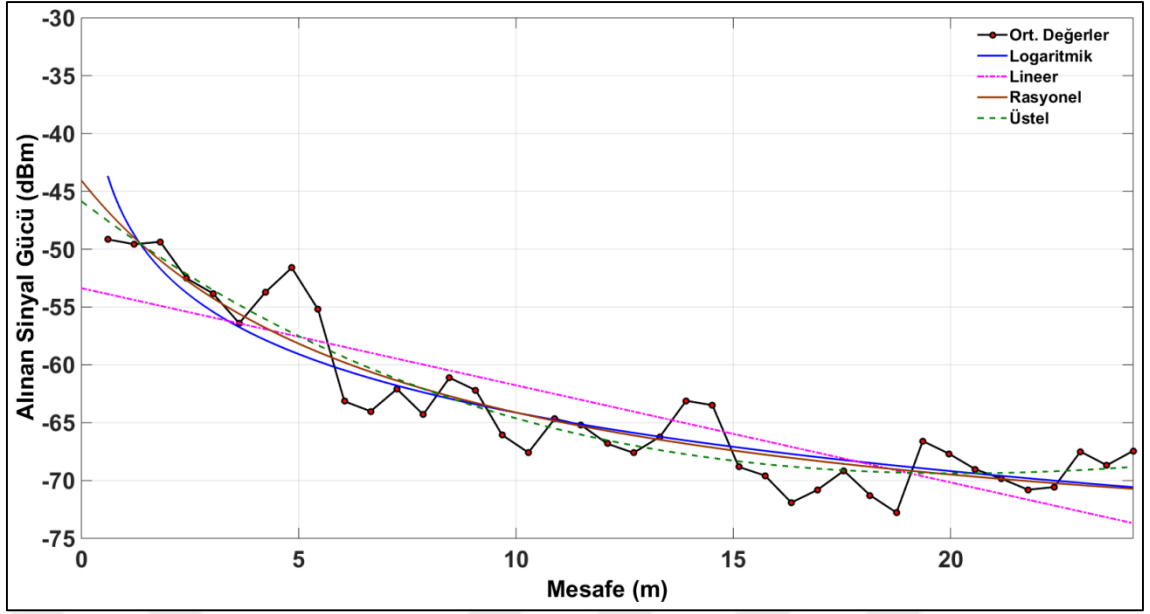
Şekil 5. 13 Matlab curve fitting tool yazılım arayüzü



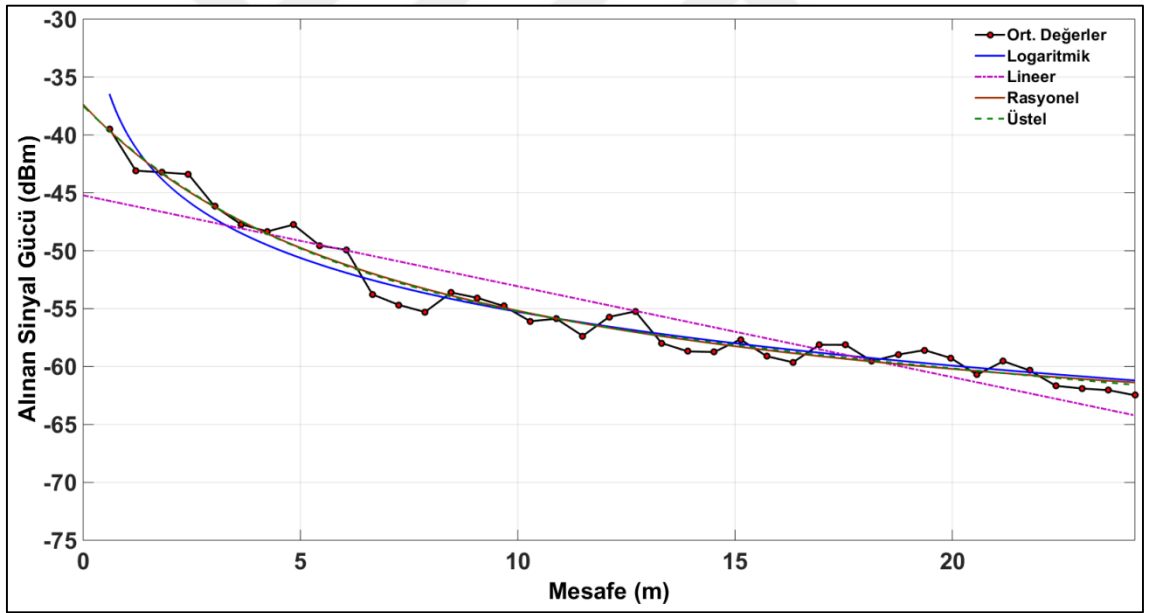
Şekil 5. 14 A-marka 2.4 GHz sinyalleri için mesafeye bağlı ortalama sinyal gücü değerleri ve bu değerlere göre geçirilen eğriler



Şekil 5. 15 A-marka 5 GHz sinyalleri için mesafeye bağlı ortalama sinyal gücü değerleri ve bu değerlere göre geçirilen eğriler



Şekil 5. 16 B-marka 2.4 GHz sinyalleri için mesafeye bağlı ortalama sinyal gücü değerleri ve bu değerlere göre geçirilen eğriler



Şekil 5. 17 B-marka 5 GHz sinyalleri için mesafeye bağlı ortalama sinyal gücü değerleri ve bu değerlere göre geçirilen eğriler

Çizelge 5.2’de ortalama sinyal güçlerine göre geçirilen eğrilere ait istatistiki bilgiler bulunmaktadır. Burada R^2 değerinin 1’e yakın olması ve ölçüm belirsizliği değerinin olabildiğince küçük olması eğri geçirme fonksiyonunun nokta kümesini daha iyi temsil ettiğini göstermektedir. Aşağıdaki çizelgede yer alan veriler ışığında;

- Her iki cihaz için 5 GHz sinyallerden geçirilen fonksiyonların R^2 değerlerinin 2.4 GHz sinyallere göre 1'e daha yakın değerde oldukları,
- Sinyaller ölçüm belirsizliği verilerine göre değerlendirildiğinde 5 GHz sinyallerinden geçirilen eğrilerin ölçüm belirsizliği değerlerinin 2.4 GHz sinyallerine göre oldukça düşük olduğu görülmektedir.

İstatistiki R^2 ve ölçüm belirsizliği değerleri 5 GHz sinyal gücü mesafe ilişkisinin 2.4 GHz'e göre çok daha iyi şekilde temsil edilebileceğini göstermektedir. Diğer bir deyişle, 5 GHz sinyalleri kullanılarak bulunacak mesafelerin 2.4 GHz'e oranla daha yüksek mesafe doğruluğu verisi sağlayacaktır.

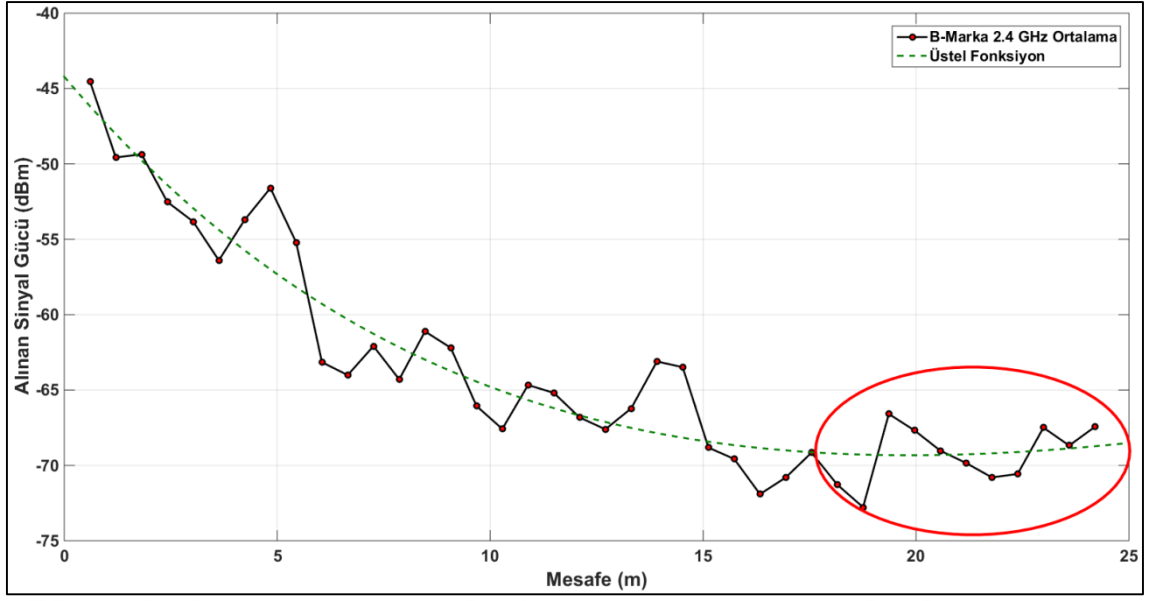
Elde edilen veriler eğri geçirme fonksiyonlara göre karşılaştırıldığında;

- A-marka 2.4 GHz ve 5 GHz sinyal verilerinin R^2 ve ölçüm belirsizliği değerlerine göre nokta kümesini en yüksek doğrulukla temsil eden fonksiyon üstel fonksiyon iken en düşük doğrulukla temsil eden fonksiyonun lineer fonksiyon olduğu görülmektedir. Logaritmik ve rasyonel fonksiyonlar ise birbirine çok yakın doğrulukla sonuç vermekle birlikte, logaritmik fonksiyonun doğruluğu biraz daha yüksektir.
- B-marka 2.4 GHz ve 5 GHz sinyal verilerinin R^2 ve ölçüm belirsizliği değerlerine göre ise nokta kümesini en yüksek doğrulukla temsil eden fonksiyon üstel fonksiyon iken en düşük doğrulukla temsil eden fonksiyonun lineer fonksiyondur. Bu durumun A-marka'dan elde edilen sonuçlarla aynı olduğu görülmektedir. Ancak rasyonel fonksiyon logaritmik fonksiyona oranla çok az miktarda doğruluğu daha yüksek sonuç vermektedir.

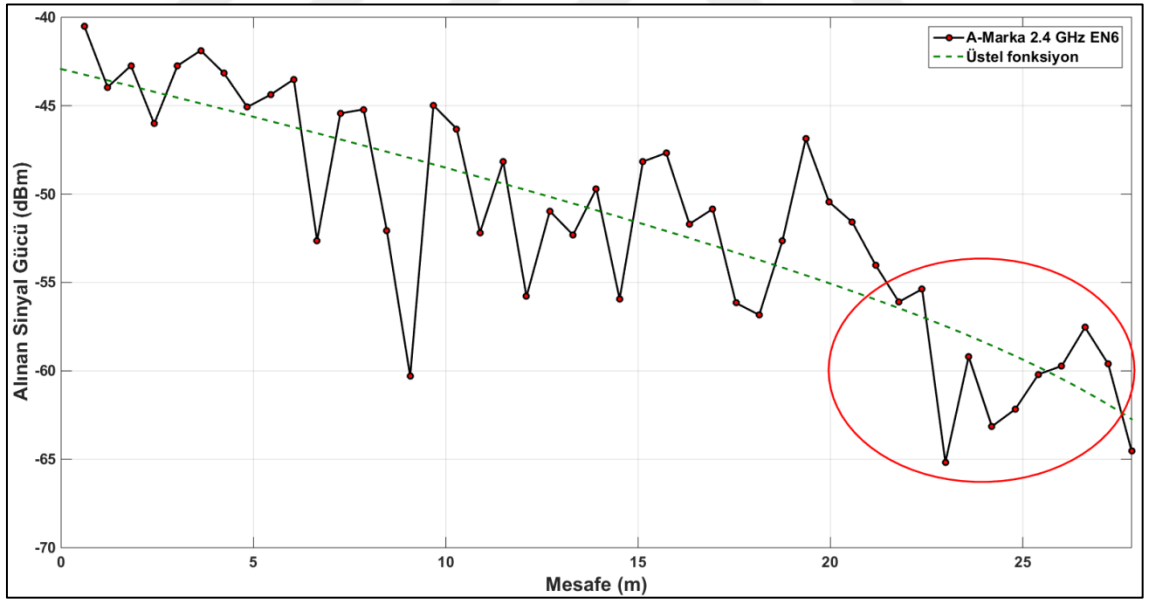
Çizelge 5. 2 Eğri geçirme yöntemlerinden elde edilen istatistiki veriler

Eğri Geçirme Fonksiyonu	R ²				Ölçüm Belirsizliği			
	A-marka		B-marka		A-marka		B-marka	
	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz	5 GHz
Logaritmik	0.82	0.94	0.88	0.96	2.58	1.68	2.56	1.28
Lineer	0.75	0.82	0.73	0.86	3.08	2.78	3.82	2.29
Rasyonel	0.82	0.92	0.89	0.97	2.65	1.90	2.44	1.05
Üstel	0.85	0.95	0.90	0.97	2.45	1.53	2.35	1.04
Genel Ortalama	0.81	0.91	0.85	0.94	2.69	1.98	2.80	1.41

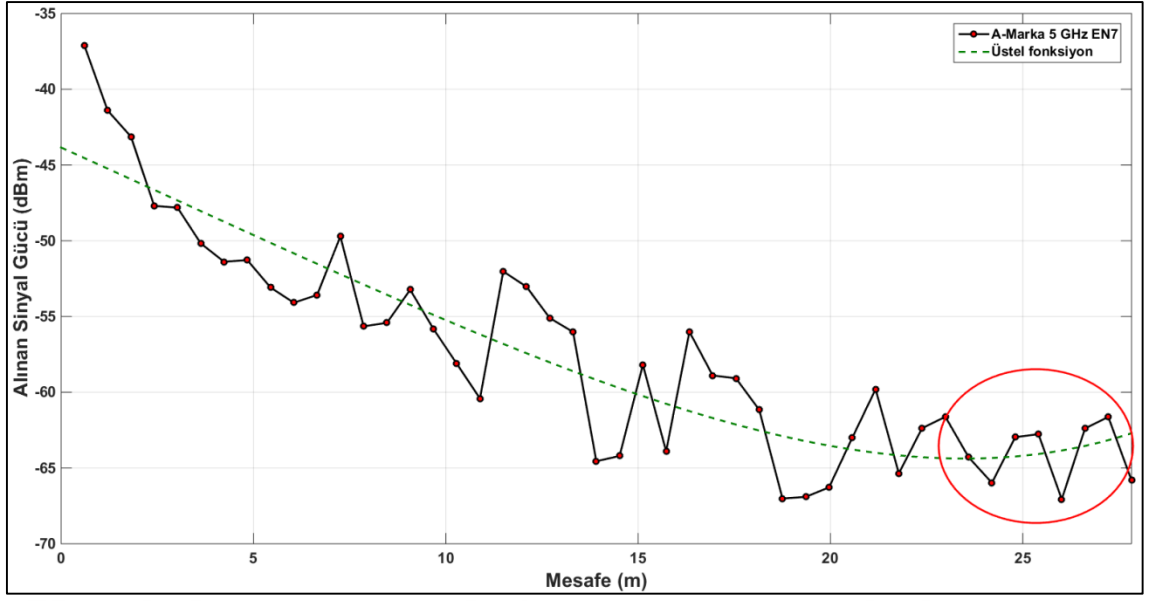
Üstel fonksiyon istatistiki verilere göre sinyal şiddetlerini en iyi modelleyen fonksiyon olmasına rağmen bu fonksiyon kullanımı sırasında bazı sorunlar yaşana bileceği görülmüştür. Bunlardan en önemlisi Şekil 5.18’de görülen belirli bir mesafeden sonra eğrinin azalma yerine artma eğilimi gösterdiği. Şekil 5.19, Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de de benzer durumlar söz konusudur. Bu durum üstel fonksiyon kullanılarak WiFi sinyal verilerini modellenmesi sonucunda özellikle belirli bir mesafenin üzerindeki uzunluklarda kullanılmasında sakıncalar olabileceğini göstermektedir. Logaritmik fonksiyonun rasyonel fonksiyondan A-marka cihazlarda doğruluğu az miktarda daha yüksek sonuç verdiği görülmüştür. Konum belirleme uygulamalarında da A-marka cihazlar kullanılacağından ve yapılan literatür araştırmasında sinyallerin mesafeye göre logaritmik olarak azaldığı görüşü çoğunlukla savunulduğundan [40] çalışmanın bundan sonraki kısımlarında sinyal mesafe arasındaki bağıntı logaritmik olarak düşünülmüştür. Ayrıca bu düşüncenin hâkim olmasında logaritmik fonksiyonun çalışmada kullanılan tüm sinyal gruplarında sorunsuz çözüm sağlaması da etkili olmuştur.



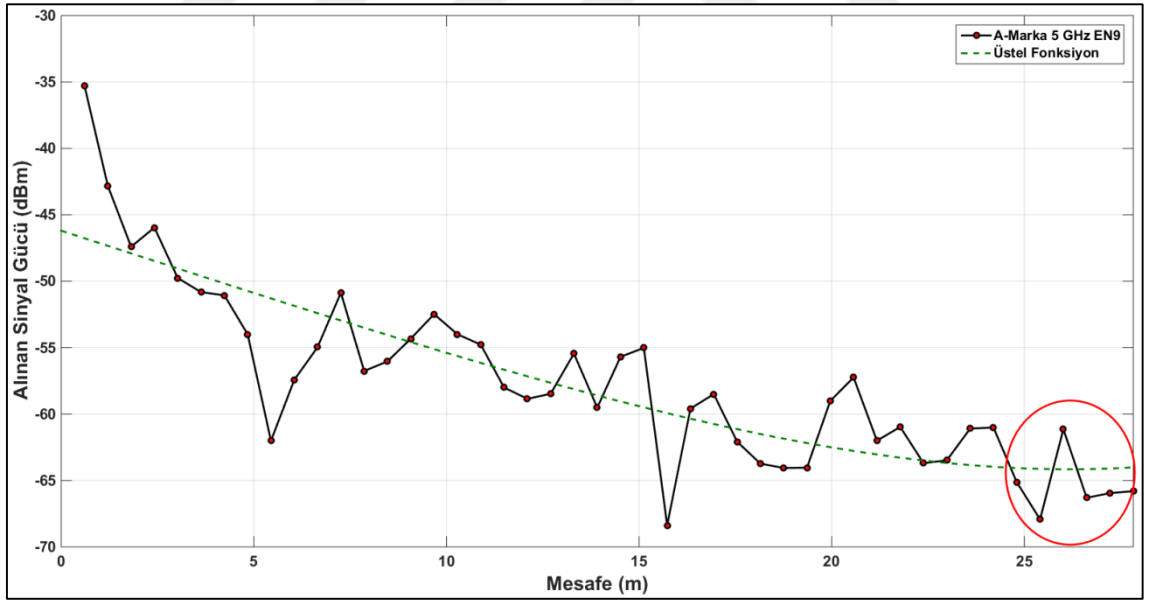
Şekil 5. 18 B-marka 2.4 GHz sinyalleri için mesafeye bağlı ortalama sinyal gücü değerleri ve geçirilen üstel fonksiyon



Şekil 5. 19 A-marka EN6 2.4 GHz sinyalleri için mesafeye bağlı sinyal gücü değerleri ve geçirilen üstel fonksiyon



Şekil 5. 20 A-marka EN7 5GHz sinyalleri için mesafeye bağlı sinyal gücü değerleri ve geçirilen üstel fonksiyon



Şekil 5. 21 A-marka EN9 5GHz sinyalleri için mesafeye bağlı sinyal gücü değerleri ve geçirilen üstel fonksiyon

5.2.1 Logaritmik Fonksiyon Parametrelerinin Belirlenmesi

Bu uygulamanın amacı logaritmik fonksiyonda bulunan a ve b katsayıları için en uygun değerin belirlenmesidir. Bu amaçla 10 adet A-marka EN'den yayılan sinyal verilerinin mesafeye bağlı değerleri için Matlab curve fitting tool kullanılarak logaritmik eğri geçirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonucunda her bir eğri ve örnek veri kümesi için eşitlik 5.1'de görülen a ve b katsayılarının yanı sıra ölçüm belirsizliği değerleri de elde edilmiştir.

$$f(x) = -a - \log(x) b \quad (5.1)$$

Çizelge 5. 3 Logaritmik eğri geçirme işlemi sonucunda elde edilen a ve b katsayıları ile ölçüm belirsizliği değerleri

Erişim noktası	2.4 GHz			5 GHz		
	a	b	Ölçüm belirsizliği	a	b	Ölçüm belirsizliği
1	36.30	7.65	3.51	42.75	5.98	2.65
2	40.04	7.03	4.66	40.60	7.40	2.85
3	38.15	5.37	4.41	43.27	6.00	2.73
4	38.28	5.56	4.54	40.25	7.24	2.75
5	36.63	6.08	3.90	41.79	6.88	2.64
6	37.89	5.76	4.38	36.72	8.79	3.41
7	38.11	6.55	4.56	39.59	7.52	2.81
8	34.49	6.84	4.34	38.31	7.78	2.69
9	39.51	4.45	4.34	41.33	6.84	3.04
10	36.21	7.08	4.20	39.24	7.13	2.88

Söz konusu işlem sonucunda 2.4 GHz ve 5 GHz sinyalleri için Çizelge 5.3'de yer alan değerler elde edilmiştir. Birim ağırlıklı ölçünün standart sapması $\sigma_0 = 1$ olarak kabul edilmiştir. Ölçülerin ağırlıkları w_i ,

$$w_i = \sigma_0^2 / \sigma_i^2 \quad (5.2)$$

bağıntısıyla ifade edilmektedir. Bağıntıda σ_i^2 i. ölçünün varyansını göstermektedir. Ağırlıklı ortalama $\bar{x}$,

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} = \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_n x_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \quad (5.3)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada x değerleri Çizelge 5.3’de yer alan a ve b katsayılarını, n ise ölçü sayısını ifade etmektedir. Ağırlıklı ortalamanın standart sapması $\sigma_{\bar{x}}$,

$$\sigma_{\bar{x}} = \mp \sqrt{\frac{\sum(w_i \Delta v_i^2)}{(n-1) \sum w_i}} \quad (5.4)$$

eşitliğiyle belirlenebilmektedir. Burada v ağırlıklı ortalama ile ölçü değerleri arasındaki farkı ifade etmektedir. Ağırlıklı ortalama ($\bar{x}$) ve ağırlıklı ortalamanın standart sapması ($\sigma_{\bar{x}}$) değerleri kullanılarak Eşitlik (5.5) ile verilere %95 güven aralığında t testi uygulanmıştır.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s / \sqrt{n}} \quad (5.5)$$

Yukarıdaki eşitlikte μ_0 bağımsız rasgele değişkenin ortalama değeri, s ise örneklemin standart sapmasını göstermektedir. t dağılımının serbestlik derecesi $f = n - 1$ olmak üzere, dağılımın güven aralığı,

$$\bar{x} - t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (5.6)$$

eşitliğiyle ifade edilir. t testi sonucunda 2.4 GHz ve 5 GHz verileri için a ve b katsayıları %95 güven aralığında başarılı bulunmuşlardır. Yukarıdaki bağıntılar kullanılarak elde edilen logaritmik fonksiyonun a ve b değerlerine ait ağırlıklı ortalama ve ağırlıklı ortalamanın standart sapma değerleri Çizelge 5.4’de verilmektedir.

Çizelge 5. 4 2.4 GHz ve 5 GHz sinyalleri için a ve b katsayıları ağırlıklı ortalama ve ağırlıklı ortalamanın standart sapma değerleri

	2.4 GHz		5 GHz	
	a	b	a	b
Ağırlıklı ortalama	37.42	6.31	40.54	7.09
Ağırlıklı ortalamanın standart sapması	0.52	0.32	0.61	0.25

5.2.2 Sinyal Yayılma Sabitinin Belirlenmesi

Her kapalı ortamın kendine özgü yapısı vardır. Kapalı ortamda yayılan WiFi sinyallerinin yayılımı ortamın kendine özgü yapısı sebebiyle farklı şekillerde yayılım davranışı gösterirler. Mesafe tabanlı kapalı mekân konumlama sistemlerinde ortamın sinyal

yayılma sabitinin belirlenmesi EN noktaları ve mobil cihaz arasındaki mesafelerin daha doğru belirlenmesini sağlayacaktır. Bu sebeple yukarıda katsayıları belirlenen logaritmik eğrinin literatürde yaygın şekilde kullanılan yol kaybı modellerindeki sinyal yayılma sabitinin belirlenmesi için kullanılması düşünülmüştür. Burada asıl amaç EN'ler ile mobil cihaz arasındaki mesafenin farklı yol kaybı modelleri ile belirlenmesi ve bu yol kaybı modellerinin mesafe belirleme doğruluklarının karşılaştırılmasıdır.

Bölüm 5.2.1'de hesaplanan logaritmik eğri verilerine göre mesafeye bağlı alınan sinyal güçleri kullanılarak Logaritmik mesafe YKM, ITU YKM ve Chipcon YKM için sinyal yayılma sabiti değerleri belirlenmiştir. Bu uygulamada sinyal yayılma sabiti uygulama mesafesi olan 27.83 metre boyunca gerçek mesafelere ortalamada en yakın değeri verecek şekilde belirlenmiştir. Yol kayıp modellerine göre elde edilen sinyal yayılma sabiti değerleri Çizelge 5.5'de gösterilmektedir.

Çizelge 5. 5 Yol kayıp modellerine göre sinyal yayılma sabiti (N) katsayıları

	2.4 GHz	5 GHz
Log YKM	1.24	1.14
ITU YKM	12.65	11.70
Chipcon YKM	1.11	1.35

[107] de 2.4 GHz sinyallerini kullanarak gerçekleştirdikleri, alıcı ile verici cihazlar arasında doğrudan görüş imkânı bulunan kapalı mekândaki çalışmada sinyal yayılma sabiti N değerini 1.04 ve standart sapmasını 4.34 olarak belirlemişlerdir. Bu değer bizim çalışmamızda elde ettiğimiz değere oldukça yakın olması dikkat çekicidir. [92] de ise kapalı mekânların karmaşık yapıya sahip olmaları, duvarlar, kapılar ve bölmeler vb. nesnelerin kapalı mekândaki sinyal yayılımını önemli oranda etkilemeleri sonucunda elde edilmiş olan sinyal yayılma sabiti ve yol kayıp modelinin kullanılması durumunda dahi hassas mesafe tahmini sağlayamaya bilineceği belirtilmiştir.

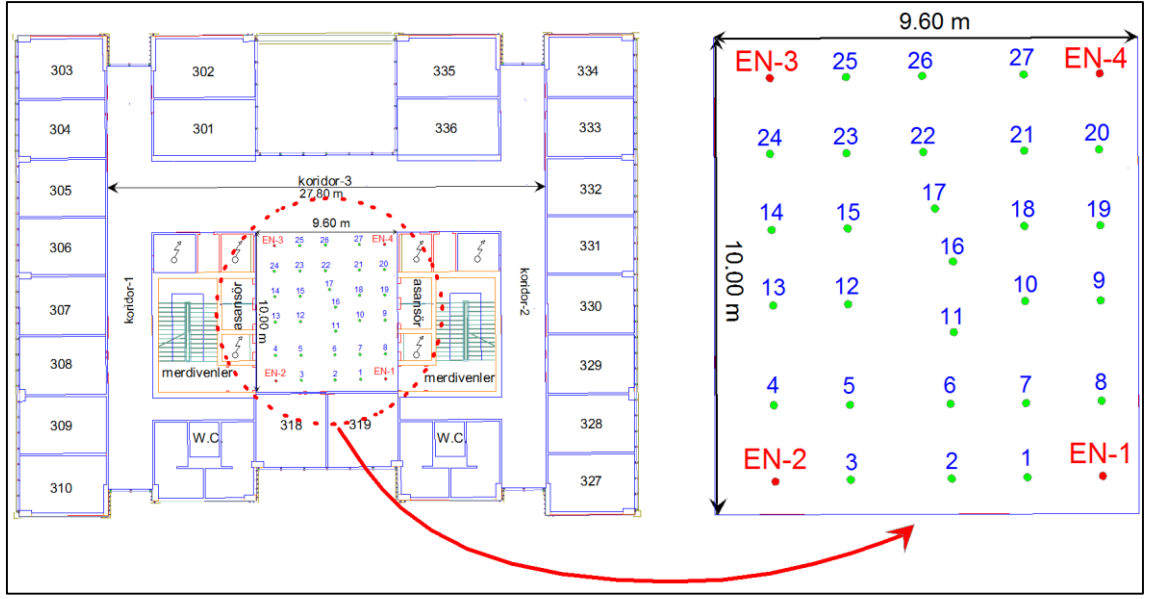
DURAĞAN (HAREKETSİZ) KONUM BELİRLEME

Bu kısımda durağan haldeki (hareketsiz durumda) mobil cihazın konumu belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sırasında aşağıdaki karşılaştırmalar yapılmıştır;

- A-marka 2.4 GHz ve 5 GHz sinyal verilerinin,
- Bilaterasyon, trilaterasyon, İAEKK ve GKF metotlarının,
- ITU, Logaritmik mesafe, Chipcon ve Mesafe/ASG yol kayıp modellerinin hareketsiz konum belirleme doğrulukları karşılaştırılmıştır.

6.1 Çalışma Alanı

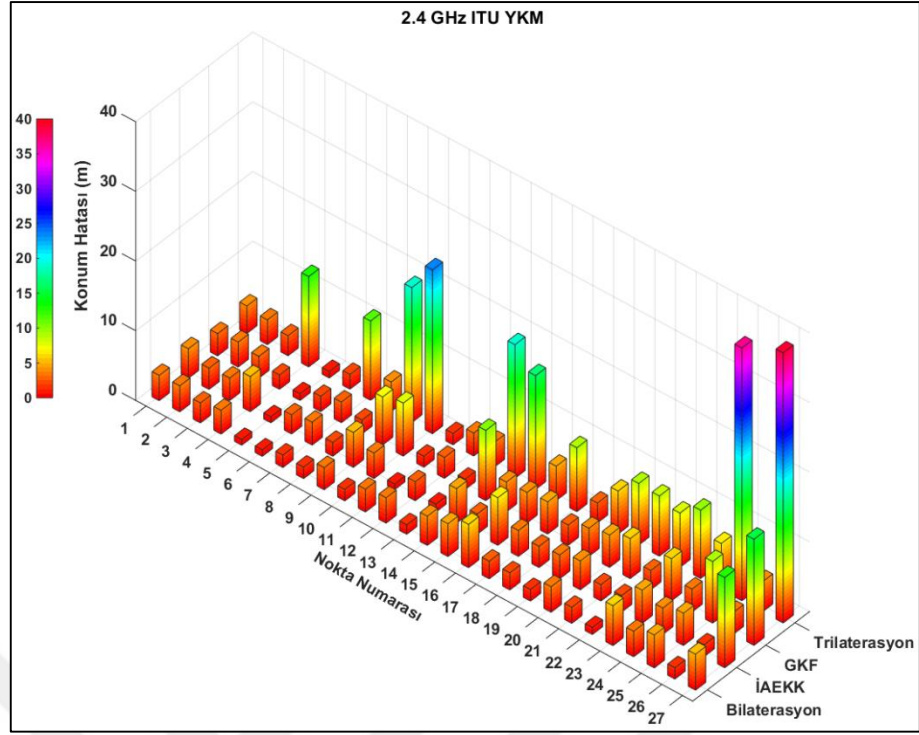
Çalışma Şekil 6.1’de görülen Hitit Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu idari bina 3. katında bulunan 10 x 9.6 metre boyutlarındaki kapalı alanda gerçekleştirilmiştir. Erişim noktaları yani sinyali yayan cihazlar Şekil 6.1’de kırmızı ile gösterilen noktalarda konumlandırılmıştır. Mobil cihaz ise yeşil ile gösterilen 27 farklı noktada konumlandırılmıştır. 4 adet erişim noktası ve 27 adet gözlem noktasının koordinatları Spectra Precision Focus 8 total station ile jeodezik yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Erişim noktaları olarak 4 adet A-marka kablosuz modem, mobil cihaz olarak ise Samsung Galaxy Note 5 akıllı telefon kullanılmıştır. 4 Adet erişim noktası eş zamanlı olarak çalışır durumda iken mobil cihaz ile noktaların her birinde yaklaşık 150 örnek veri seti olacak sürede ölçümler gerçekleştirilmiştir. Söz konusu ölçümlerin Android işletim sistemine sahip mobil cihaz ile gerçekleştirilebilmesi için kodlamalar Android Studio yazılımında ve Java programlama dilinde kodlanmıştır. Hesap algoritmalarının Java dilinde yazılabilmesi için Jama temel lineer cebir paketi kullanılmıştır.



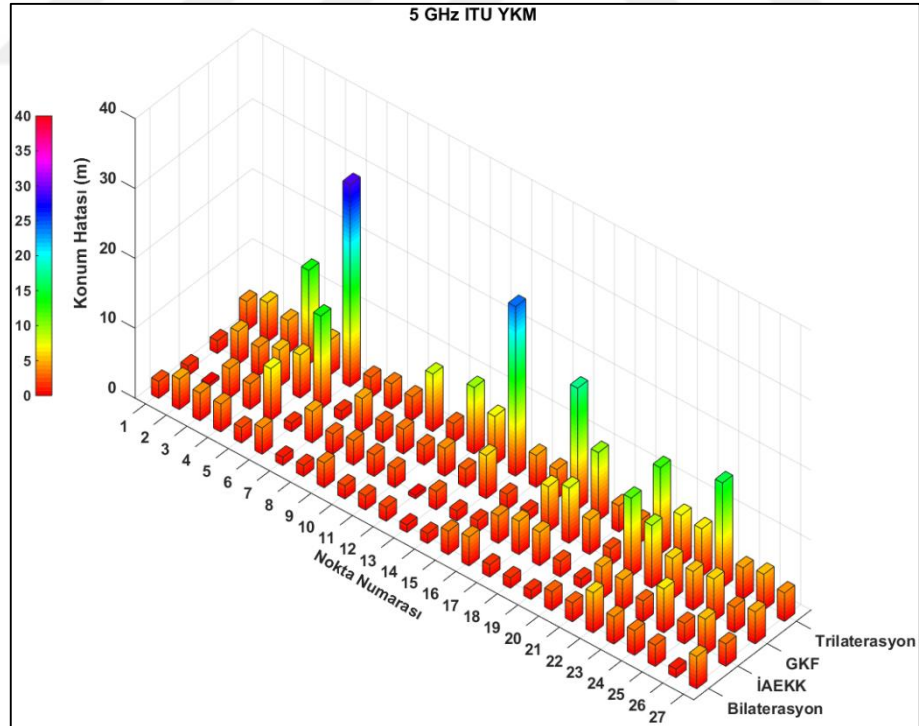
Şekil 6. 1 Hareketsiz konum belirleme çalışma alanı

6.2 Hareketsiz Konum Belirleme Verilerinin Değerlendirilmesi

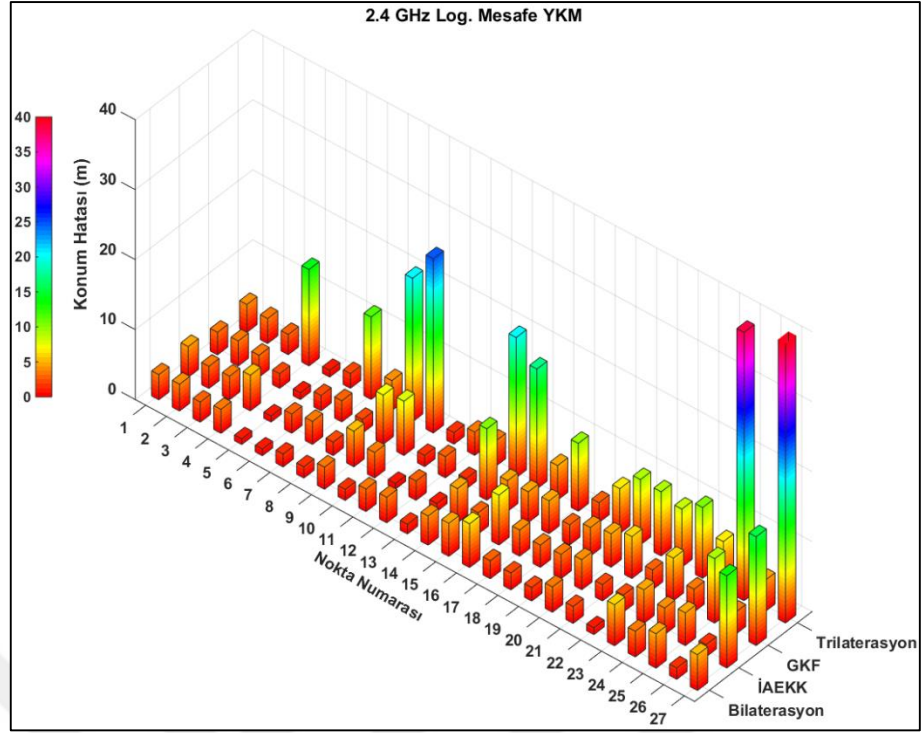
Bu çalışmada söz konusu 27 ölçüm noktasının konum bilgileri 4 ayrı konum belirleme metodu ve 4 ayrı yol kayıp modeli için hem 2.4 GHz hem de 5 GHz sinyal verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Gözlem noktalarına ait uygulama sonuçlarından elde edilen 150 örnek veri setinin ortalama konum bilgileri jeodezik yöntemle belirlenen konum bilgileriyle karşılaştırılmış ve hesaplanan konum hataları aşağıda bulunan şekillerde ve çizelgede verilmiştir. Şekil 6.2’de 2.4 GHz sinyal verileri ve ITU yol kayıp modeli, Şekil 6.3’de 5 GHz sinyal verileri ve ITU yol kayıp modeli, Şekil 6.4’de 2.4 GHz sinyal verileri ve Logaritmik Mesafe yol kayıp modeli, Şekil 6.5’de 5 GHz sinyal verileri ve Logaritmik Mesafe yol kayıp modeli, Şekil 6.6’da 2.4 GHz sinyal verileri ve Chipcon yol kayıp modeli, Şekil 6.7’de 5 GHz sinyal verileri ve Chipcon yol kayıp modeli, Şekil 6.8’de 2.4 GHz sinyal verileri ve Mesafe/ASG yol kayıp modeli, Şekil 6.9’da 5 GHz sinyal verileri ve Mesafe/ASG yol kayıp modeli için 4 ayrı konum belirleme metodu sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca konum hatalarına ait istatistiki veriler Çizelge 6.1’de bulunmaktadır.



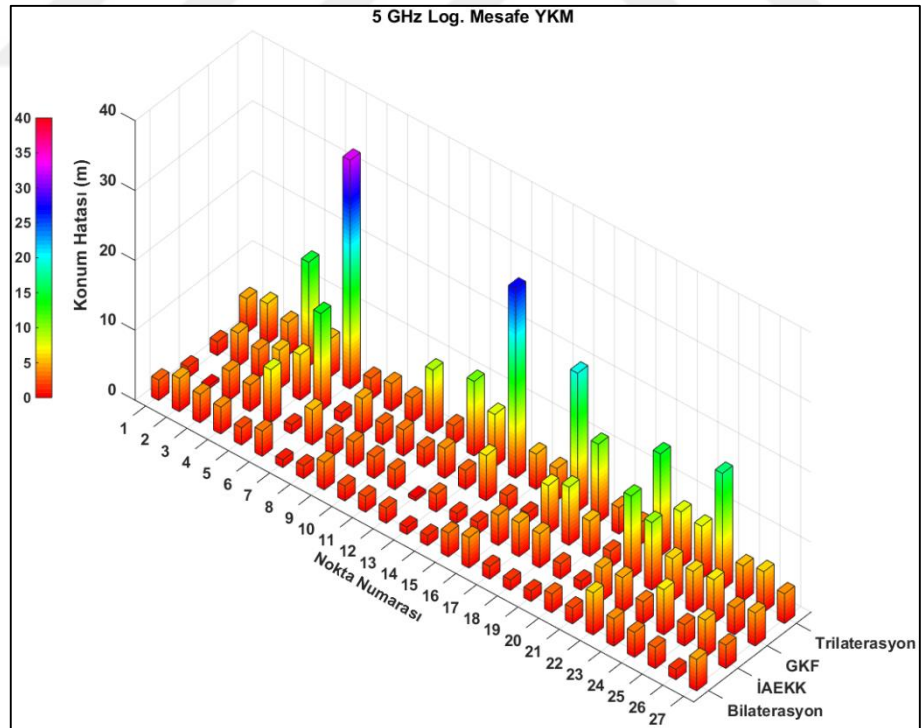
Şekil 6. 2 2.4 GHz sinyaller için ITU yol kayıp modeli kullanılarak elde edilen konum hataları



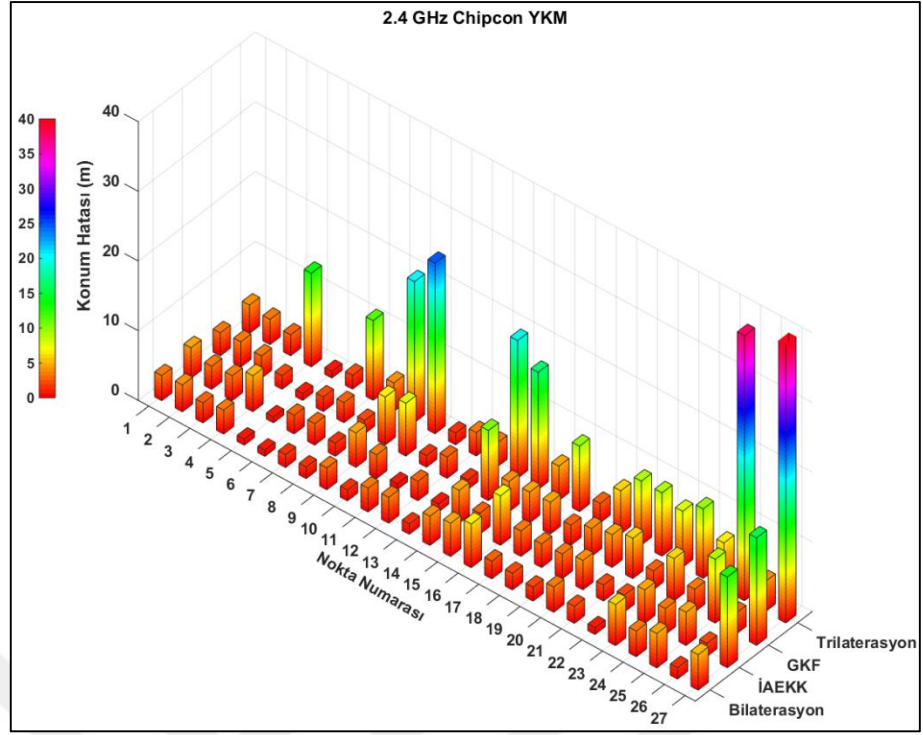
Şekil 6. 3 5 GHz sinyaller için ITU yol kayıp modeli kullanılarak elde edilen konum hataları



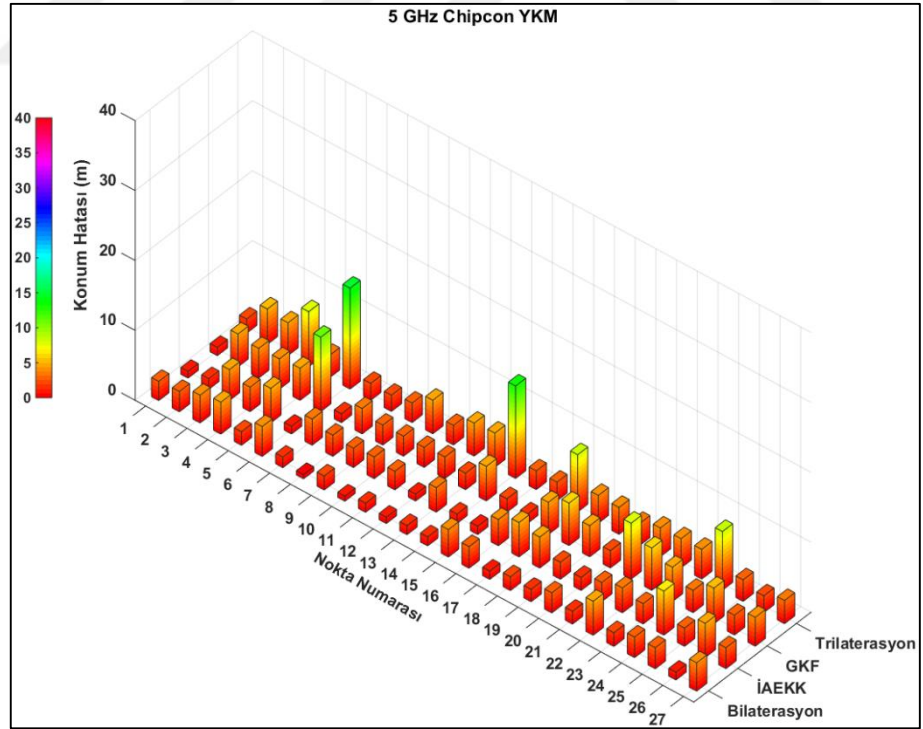
Şekil 6. 4 2.4 GHz sinyaller için Logaritmik Mesafe yol kayıp modeli kullanılarak elde edilen konum hataları



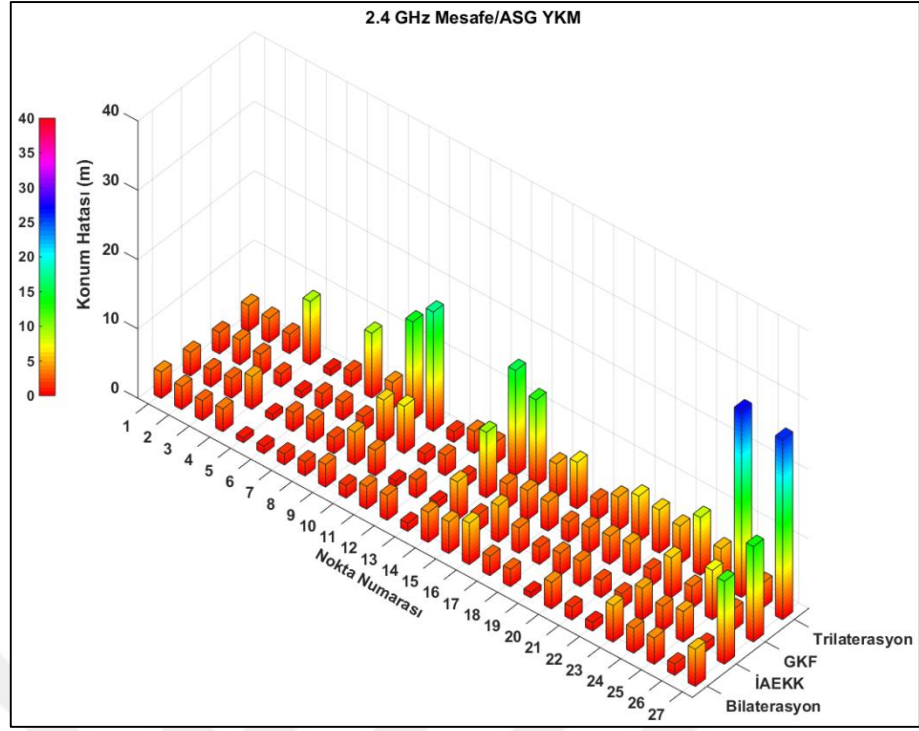
Şekil 6. 5 5 GHz sinyaller için Logaritmik Mesafe yol kayıp modeli kullanılarak elde edilen konum hataları



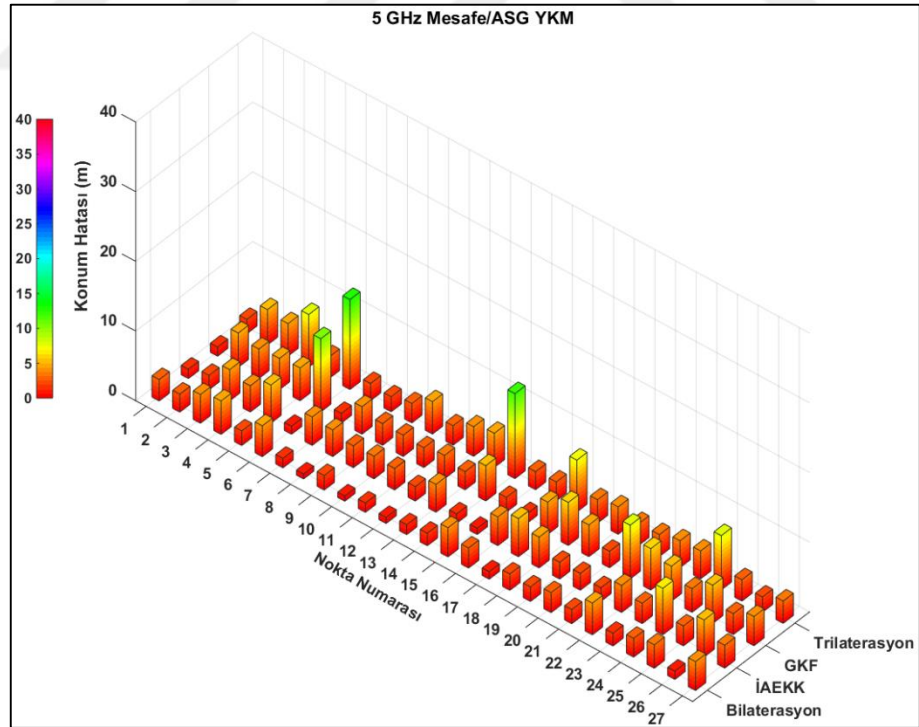
Şekil 6. 6 2.4 GHz sinyaller için Chipcon yol kayıp modeli kullanılarak elde edilen konum hataları



Şekil 6. 7 5 GHz sinyaller için Chipcon yol kayıp modeli kullanılarak elde edilen konum hataları



Şekil 6. 8 2.4 GHz sinyaller için Mesafe/ASG yol kayıp modeli kullanılarak elde edilen konum hataları



Şekil 6. 9 5 GHz sinyaller için Mesafe/ASG yol kayıp modeli kullanılarak elde edilen konum hataları

Çizelge 6.1’de bulunan istatistiki veriler 27 ölçüm noktasında elde edilen konum hatalarına göre düzenlenmiştir. Bu incelemeyi daha sağlıklı yapabilmek adına sonuçların sinyal şiddetleri, konum belirleme metotları ve yol kayıp modellerine göre ayrı ayrı değerlendirilmesinin daha anlaşılır olacağı düşünülmektedir.

Alınan 2.4 GHz ve 5 GHz sinyal verilerinin konum belirleme performanslarına göre karşılaştırıldığında 2.4 GHz sinyalleri kullanılarak elde edilen minimum konum hatalarının 5 GHz sinyallerine oranla daha düşük olduğu görülmektedir. Sinyaller maksimum konum doğruluk değerlerine göre karşılaştırıldığında ise 2.4 GHz sinyallerinin 5 GHz sinyallere göre doğruluğu düşük sonuçlar verdiği görülmektedir. Ortalama konum doğrulukları değerlendirildiğinde 5 GHz sinyaller kullanılarak elde edilen konum doğruluklarının 2.4 GHz sinyaller kullanılarak elde edilenlere oranla Bilaterasyon, Trilaterasyon ve İAEKK metotlarının tamamında ve ayrıca GKF metodu ile Chipcon YKM kullanıldığı durumda doğruluğu daha yüksek sonuç verdiği görülmektedir. Ancak GKF metodu Mesafe/ASG ile kullanıldığında hemen hemen aynı doğrulukları vermiş, ITU ve Logaritmik mesafe modelleri ile kullanıldığında ise 2.4 GHz sinyaller ile daha yüksek konum doğrulukları elde edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında 5 GHz sinyallerinin bazı istisnai durumlar dışında daha yüksek konum doğruluğu sağladığı görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar konum belirleme metotlarından edilen doğruluklara göre değerlendirildiğinde Bilaterasyon metodunun sağladığı konum hatalarının en küçük, en büyük ve ortalama değerlerinin diğer metotlara göre daha küçük olduğu görülmektedir. Bilaterasyon metodunun sağladığı konum doğruluklarına en yakın metotlar ise sırasıyla İAEKK ve GKF metotları olarak tespit edilmiştir. Trilaterasyon metodu konum hatalarının ise oldukça yüksek değerlerde olduğu görülmektedir.

Elde edilen konum hataları yol kayıp modeli verilerine göre değerlendirildiğinde Mesafe/ASG modelinin 2.4 GHz verilere göre doğruluğu en yüksek olan sonuçları verdiği görülürken onu sırasıyla ITU, Chipcon ve Logaritmik mesafe metotları takip etmektedir. Benzer analiz 5 GHz sinyal verilerine göre yapıldığında ise en düşük konum hatası Chipcon model ile elde edilirken ona çok yakın sonuçları Mesafe/ASG ve sonrasında ITU ve Logaritmik mesafe modelleri vermektedir. Her iki sinyal verileri birlikte

değerlendirildiğinde ise en yüksek konum doğruluklarının Mesafe/ASG yol kayıp modeli ile elde edilebileceği görülmektedir.

Çizelge 6. 1 Konum Hatası İstatistikleri

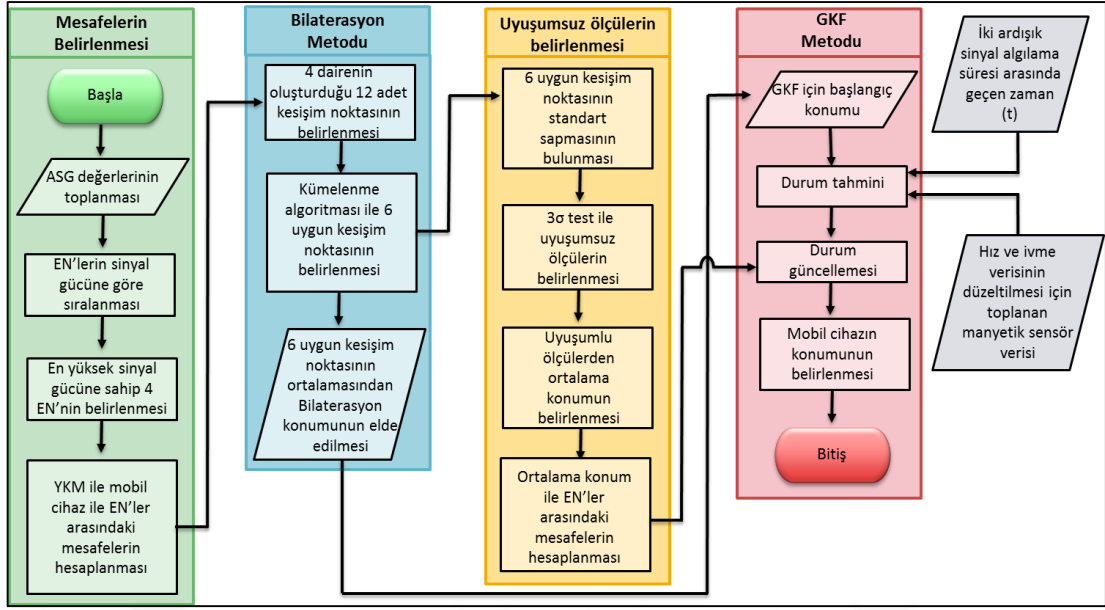
		2.4 GHz				5 GHz			
		Bil. (m)	İAEKK (m)	GKF (m)	Tril. (m)	Bil. (m)	İAEKK (m)	GKF (m)	Tril. (m)
ITU YKM	en küçük	0.81	0.81	0.95	0.93	1.06	0.48	1.36	2.72
	en büyük	6.21	12.95	15.24	38.76	5.73	7.43	13.34	28.94
	ortalama	3.02	3.67	4.46	10.11	2.77	3.26	4.99	8.20
Log. Mesafe YKM	en küçük	0.81	0.81	0.96	0.94	1.04	0.46	1.40	2.72
	en büyük	6.25	13.16	15.54	41.78	6.02	7.57	13.99	32.70
	ortalama	3.04	3.73	4.53	10.62	2.87	3.38	5.22	9.10
Chipcon YKM	en küçük	0.87	0.85	0.96	0.94	0.61	0.96	1.17	2.03
	en büyük	6.26	13.02	15.42	41.91	4.86	6.30	10.63	14.43
	ortalama	3.06	3.72	4.47	10.47	2.39	3.04	4.02	4.79
Mesafe/ASG YKM	en küçük	0.71	0.85	0.93	0.88	0.71	0.88	1.32	2.07
	en büyük	5.97	11.95	13.75	26.92	4.79	6.65	10.50	12.91
	ortalama	2.94	3.41	4.09	7.79	2.46	3.32	4.12	4.51

KİNEMATİK KONUM BELİRLEME

Dış ortamlarda olduğu gibi kapalı mekânlarda da hareket halindeki bir nesnenin veya insanın konumunun anlık olarak belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada günlük yaşantımıza uygun olarak, elinde mobil cihazı olan bir kullanıcının herhangi bir kapalı mekân içerisinde iki boyutlu konumunun anlık olarak belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla yeni bir yöntem önerilmektedir. Gerçekleştirilen uygulamalar sonucunda hareket halindeki mobil cihazın söz konusu model kullanılarak elde edilen konum belirleme doğruluğu ile GKF ve Bilaterasyon metotlarının konum belirleme doğrulukları karşılaştırılmaktadır. Ayrıca önerilen yöntem ile GKF ve Bilaterasyon metotlarından elde edilen sonuçlar için 2.4 GHz ve 5 GHz sinyallerinin kinematik konum belirleme performansları karşılaştırılmaktadır.

7.1 Önerilen Yöntem Mimarisi

Sinyal gücü tabanlı kapalı mekân konumlama çalışmalarındaki en önemli hata kaynağı alınan sinyal güçlerindeki kararsızlıklardır. Bu kararsız davranışlar çalışmalardaki mesafe tahminlerini güçleştirmektedir. Meydana gelen sinyal davranışlarındaki olumsuz etki pek çok farklı metotla giderilmeye çalışılmakta ancak yine de belli bir seviyenin altına indirilememektedir. Mesafe tabanlı kapalı mekân konum belirleme çalışmalarında henüz belirli bir yöntem veya sistem üzerinde uzlaşılamamasının en önemli sebebi de budur. Bu çalışmada sinyal şiddetlerindeki dalgalanmaların konum belirlemedeki etkisini azaltacak yeni bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntemin akış şeması Şekil 7.1’de gösterilmektedir.

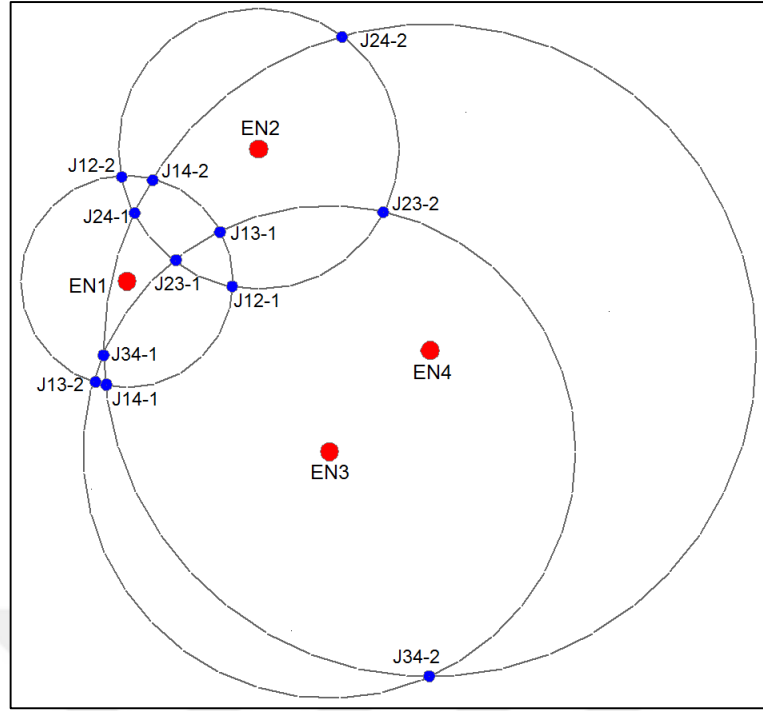


Şekil 7. 1 Önerilen yöntem akış şeması

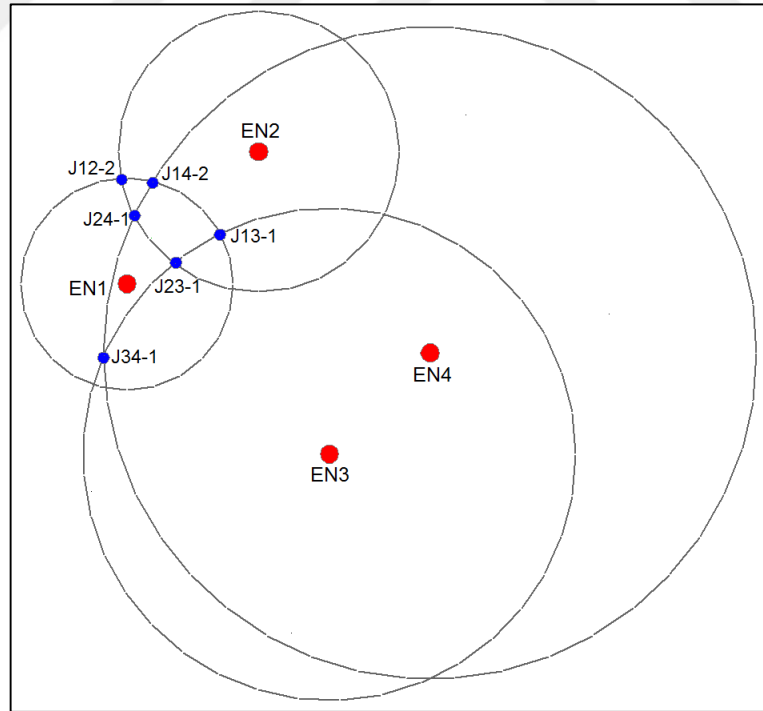
Önerilen yöntemde kapalı mekânda bulunan 2.4 ve 5 GHz WiFi sinyallerin tamamı mobil cihaz tarafından toplanmaktadır. Sonrasında bu sinyaller güçlüden güçsüze doğru sıralama algoritması kullanılarak sıralanmaktadır. En yüksek sinyal şiddetine sahip 4 adet erişim noktası belirlenmektedir. Bu 4 erişim noktası ile mobil cihaz arasındaki mesafeler yol kayıp modeli kullanılarak belirlenmektedir. Hareketsiz konum belirleme uygulamalarda göstermiş olduğu yüksek performans nedeniyle mesafelerin belirlenmesinde eşitlik (3.10) ile verilmiş olan Mesafe/ASG yol kayıp modeli kullanılmıştır. Bilaterasyon metodu kullanılarak 4 adet dairenin oluşturduğu toplamda 12 adet kesişim noktası hesaplanmaktadır (Şekil 7.2). Sonrasında ikili dairelerin oluşturduğu iki kesişim noktalarından hangisinin daha uygun olduğu eşitlik (7.1) ve (7.2)'de verilen kümelenme algoritmasıyla belirlenmektedir, yani bu iki noktanın diğer noktalara olan toplam mesafelerinin küçük olmasına bakılmaktadır.

$$\alpha = \min(\|J_{12-1} - J_{13-1}\|^2, \|J_{12-1} - J_{13-2}\|^2) + \min(\|J_{12-1} - J_{23-1}\|^2, \|J_{12-1} - J_{23-2}\|^2) + \min(\|J_{12-1} - J_{24-1}\|^2, \|J_{12-1} - J_{24-2}\|^2) + \min(\|J_{12-1} - J_{34-1}\|^2, \|J_{12-1} - J_{34-2}\|^2) + \min(\|J_{12-1} - J_{41-1}\|^2, \|J_{12-1} - J_{41-2}\|^2) \quad (7.1)$$

$$\beta = \min(\|J_{12-2} - J_{13-1}\|^2, \|J_{12-2} - J_{13-2}\|^2) + \min(\|J_{12-2} - J_{23-1}\|^2, \|J_{12-2} - J_{23-2}\|^2) + \min(\|J_{12-2} - J_{24-1}\|^2, \|J_{12-2} - J_{24-2}\|^2) + \min(\|J_{12-2} - J_{34-1}\|^2, \|J_{12-2} - J_{34-2}\|^2) + \min(\|J_{12-2} - J_{41-1}\|^2, \|J_{12-2} - J_{41-2}\|^2) \quad (7.2)$$



Şekil 7. 2 Bilaterasyon metoduyla tüm ikili kesişim noktalarının belirlenmesi (mavi noktalar: kesişim noktaları; kırmızı noktalar: erişim noktaları)



Şekil 7. 3 6 adet uygun kesişim noktasının kümelenme algoritmasıyla belirlenmesi (mavi noktalar: uygun kesişim noktaları; kırmızı noktalar: erişim noktaları)

Bu işlem diğer tüm ikili daire kesişimleri için de gerçekleştirilmektedir. Böylece 12 adet ikili kesişim noktasından anlamlı olan 6 tanesi kümelenme algoritmasıyla belirlenmektedir (Şekil 7.3). Söz konusu 6 noktanın konumlarının eşitlik (6.3) ve (6.4) ile ortalaması alınarak Bilaterasyon metodunun konumu elde edilmektedir.

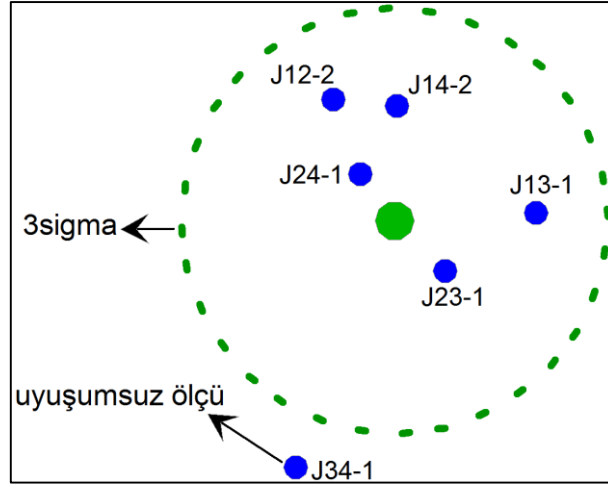
$$X_{bil} = \sum_{i=1}^n \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (7.3)$$

$$Y_{bil} = \sum_{i=1}^n \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} \quad (7.4)$$

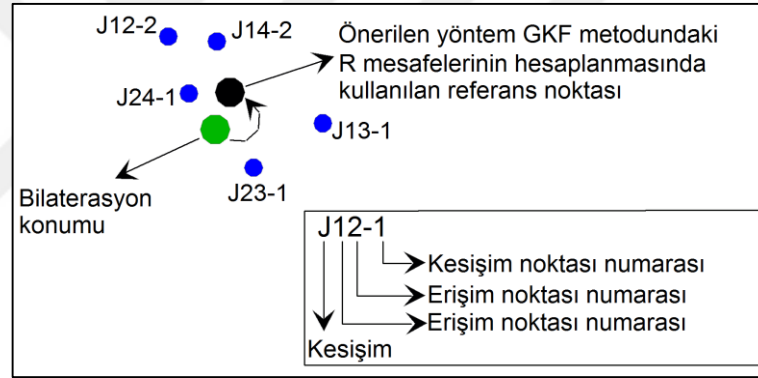
Burada X_{bil} ve Y_{bil} ortalama konum bileşenlerini ve Bilaterasyon metodunun sonucunu, x ve y ise 6 adet kesişim noktasının konum bileşenlerini, n ise ölçü sayısını göstermektedir. Bu noktalar alınan sinyal güçlerine bağlı olarak her zaman kümelenmiş şekilde olmamaktadır. Yani hatalı sinyal şiddetlerinin alınması sonucunda hatalı mesafeler hesaplanmakta ve bu altı noktanın bazıları diğerlerinden çok farklı konumlarda olabilmektedir. Bu durum mobil cihazın konumunun daha düşük doğrulukla belirlenmesine yol açmaktadır. Söz konusu durumun düzeltilebilmesi amacıyla uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesi ve sistemden atılması gerekmektedir. Bu çalışmada uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesinde 3σ kuralı kullanılmıştır. Bir hatanın 3σ 'ya eşit ve 3σ 'dan büyük olma olasılığı %0.1'den gibi düşük bir olasılıktır. Bu nedenle bu genliği aşan hataların normal dağılıma uymadığı, yani kaba hatalı oldukları kabul edilir. Bu amaçla önce eşitlik (7.5) ile anlamlı 6 noktanın standart sapma değeri belirlenmektedir.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((X_{bil} - x_i)^2 + (Y_{bil} - y_i)^2)} \quad (7.5)$$

burada σ 6 adet anlamlı kesişim noktasının standart sapma değerini, n ise anlamlı kesişim noktası sayısını göstermektedir. x_i ve y_i ise anlamlı kesişim noktalarının konum bileşenlerini göstermektedir. 3σ kuralı için eşik değeri eşitlik (7.5) ile elde edilen σ değerinin 3 katı olarak belirlenmektedir. 6 adet anlamlı kesişim noktaları, Bilaterasyon metodunun konumu, 3σ kuralı için hesaplanan bölge ve uyuşumsuz olarak belirlenen nokta Şekil 7.4'de gösterilmektedir. Sonrasında uyuşumsuz ölçü ve/veya ölçüler atılmakta ve kalan uyumlu ölçülerin ortalama konumu belirlenmektedir. Şekil 7.5'de uyuşumsuz ölçülerin atılmaları sonucunda ortalama konumda meydana gelen kayma miktarı ve iyileştirilmiş konum görülmektedir. Tüm bu işlemler kinematik uygulamanın her bir ölçüm anı için hesaplanmaktadır.



Şekil 7. 4 Uyuşumsuz ölçülerin ve Bilaterasyon metodu ile mobil cihazın konumunun belirlenmesi (mavi noktalar: uygun kesişim noktaları; yeşil nokta: Bilaterasyon metodu sonucu)



Şekil 7. 5 Uyuşumsuz ölçülerin atılması sonucu kalan uyumlu ölçülerden elde edilen ortalama konum (mavi noktalar: uygun kesişim noktaları; yeşil nokta: Bilaterasyon metodu sonucu; siyah nokta: iyileştirilmiş konum)

GKF metodunda EN'lerden alınan ham sinyal gücü değerlerinin mesafe/ASG yol kayıp modeli ile mesafeye dönüştürülmesinden elde edilen mesafeler kullanılmaktadır. Önerilen yöntemde ise ham sinyal güçlerinin neden olduğu olası hatalı mesafeler yerine iyileştirilmiş konum ile EN'ler arasındaki mesafeler kullanılmaktadır. Böylece doğruluklarının daha yüksek olduğu düşünülen mesafeler GKF'ne girdi olarak verilmektedir. İyileştirilmiş konum ile mobil cihaz arasındaki gözlem vektörü eşitlik (7.6)'daki şekilde gösterilebilir,

$$l_{k_g} = \begin{bmatrix} \sqrt{(x_{iy} - x_{EN_1})^2 + (y_{iy} - y_{EN_1})^2} \\ \sqrt{(x_{iy} - x_{EN_2})^2 + (y_{iy} - y_{EN_2})^2} \\ \sqrt{(x_{iy} - x_{EN_3})^2 + (y_{iy} - y_{EN_3})^2} \\ \sqrt{(x_{iy} - x_{EN_4})^2 + (y_{iy} - y_{EN_4})^2} \end{bmatrix} \quad (7.6)$$

burada l_{k_g} gözlem vektörü, x_{iy} ve y_{iy} mobil cihazın iyileştirilmiş konum bileşenlerini, x_{EN} ve y_{EN} ise erişim noktalarının konum bileşenlerini ifade etmektedir. Bu veriler elde edildikten sonra süreç GKF metoduyla devam etmektedir. Önerilen yöntemde konum, hız ve ivme modelinden oluşan GKF metodu kullanılmaktadır. GKF metodunun durum vektörü x_k eşitlik (7.7) ile tanımlanmaktadır,

$$x_k = [x \quad y \quad \dot{x} \quad \dot{y} \quad \ddot{x} \quad \ddot{y}]^T \quad (7.7)$$

burada x ve y mobil cihazın konum bileşenlerini, $\dot{x}$ ve $\dot{y}$ hız bileşenlerini, $\ddot{x}$ ve $\ddot{y}$ ise ivme bileşenlerini, alt indis k ise söz konusu değerlerin hangi ölçüm anına ait olduğunu göstermektedir. Bilaterasyon metodunun iyileştirilmiş konumu mobil cihazın başlangıç konumu (x ve y) olarak kabul edilmektedir. Mobil cihazın başlangıçtaki hızının ve ivmesinin ise 0 olduğu kabul edilmiştir. GKF'nin durum tahmini aşamasındaki öncül durum vektörü $\bar{x}_k$ ise eşitlik (7.8) ile ifade edilir.

$$\bar{x}_k = T_{k-1} \hat{x}_{k-1} \quad (7.8)$$

Eşitlik (7.8)'deki T_{k-1} ve $\hat{x}_{k-1}$ sırasıyla $(k - 1)$ anındaki lineerleştirilmiş durum geçiş matrisini ve soncul durum vektörünü ifade etmektedirler. Lineerleştirilmiş durum geçiş matrisi T_{k-1} ise eşitlik (7.9) ile şöyle ifade edilir,

$$T_{k-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 & \frac{1}{2}\Delta t^2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t & 0 & \frac{1}{2}\Delta t^2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.9)$$

burada Δt iki ardışık işlem anı olan k ve $k - 1$ arasındaki geçen zaman farkını ifade etmektedir. Durum kovaryans matrisi $Q_{\bar{x}\bar{x},k}$ ise eşitlik (7.10) ile ifade edilmektedir.

$$Q_{\bar{x}\bar{x},k} = T_{k-1} Q_{\hat{x}\hat{x},k-1} T_{k-1}^T + S_{k-1} \quad (7.10)$$

burada $Q_{\hat{x}\hat{x},k-1}$ ve S_{k-1} sırasıyla $(k - 1)$ anındaki soncul kovaryans matrisini ve sistem gürültüsünün kovaryans matrisini göstermektedir. $Q_{\hat{x}\hat{x},k-1}$ matrisi eşitlik (7.11) ile ifade edilmektedir,

$$Q_{\hat{x}\hat{x},k-1} = 1/\sigma^2 \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_y^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\dot{x}}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{\dot{y}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{\ddot{x}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{\ddot{y}}^2 \end{bmatrix} \quad (7.11)$$

Burada σ_x^2 , σ_y^2 , $\sigma_{\dot{x}}^2$, $\sigma_{\dot{y}}^2$, $\sigma_{\ddot{x}}^2$ ve $\sigma_{\ddot{y}}^2$ sırasıyla konum, hız ve ivme bileşenlerinin hatalarını ifade etmektedir. σ ise başlangıç standart sapma değerini ifade etmektedir ve başlangıç değeri 1 olarak kabul edilmiştir. Başlangıç değeri olarak σ_x ve σ_y 10 metre, $\sigma_{\dot{x}}^2$ ve $\sigma_{\dot{y}}^2$ 1 m/s, $\sigma_{\ddot{x}}^2$ ve $\sigma_{\ddot{y}}^2$ ise 1 m/s² olarak belirlenmiştir. Bozukluk matrisi C_{k-1} eşitlik (7.12) ile tanımlanmaktadır.

$$C_{k-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}\Delta t^2 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2}\Delta t^2 \\ \Delta t & 0 \\ 0 & \Delta t \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7.12)$$

σ_{w_x} ve σ_{w_y} bozukluk ivmesi bileşenleri olmak üzere, ivme bozukluğunun kofaktörler matrisi Q_{ww} eşitlik (7.13) ile gösterilir.

$$Q_{ww} = 1/\sigma^2 \begin{bmatrix} \sigma_{w_x}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{w_y}^2 \end{bmatrix} \quad (7.13)$$

burada σ_{w_x} ve σ_{w_y} bozukluk ivmesi bileşenlerinin başlangıç değeri olarak 1 verilmiştir. S ise eşitlik (7.14) ile ifade edilir.

$$S = C_{k-1}Q_{ww}C_{k-1}^T \quad (7.14)$$

l_{k_g} eşitlik (7.6)'da ifade edilen gözlem vektörü, l_{k_b} beklenen ölçüm vektörü olmak üzere yenilik vektörü d eşitlik (7.15) ile gösterilir.

$$d = l_{k_g} - l_{k_b} \quad (7.15)$$

l_{k_b} beklenen ölçüm vektörü eşitlik (7.16) ile gösterilir,

$$l_{k_b} = \begin{bmatrix} \sqrt{(x - x_{EN_1})^2 + (y - y_{EN_1})^2} \\ \sqrt{(x - x_{EN_2})^2 + (y - y_{EN_2})^2} \\ \sqrt{(x - x_{EN_3})^2 + (y - y_{EN_3})^2} \\ \sqrt{(x - x_{EN_4})^2 + (y - y_{EN_4})^2} \end{bmatrix} \quad (7.16)$$

burada x ve y mobil cihazın $(k - 1)$ anındaki konum bileşenlerini, x_{EN} ve y_{EN} ise erişim noktalarının konumlarını ifade etmektedir. $Q_{dd,k}$ yenilik vektörü kovaryans matrisi ise eşitlik (7.17) ile ifade edilmektedir.

$$Q_{dd,k} = A_k Q_{\bar{x}\bar{x},k} A_k^T + Q_{ll,k} \quad (7.17)$$

burada A_k beklenen ölçüm vektörü l_{k_b} 'nin x 'e ve y 'ye göre kısmi türevlerinin alınmasıyla elde edilen Jakobiyen matrisidir ve eşitlik (7.18) ile ifade edilmektedir,

$$A_k = \begin{bmatrix} \frac{(x - x_{EN_1})}{\sqrt{(x - x_{EN_1})^2 + (y - y_{EN_1})^2}} & \frac{(y - y_{EN_1})}{\sqrt{(x - x_{EN_1})^2 + (y - y_{EN_1})^2}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{(x - x_{EN_2})}{\sqrt{(x - x_{EN_2})^2 + (y - y_{EN_2})^2}} & \frac{(y - y_{EN_2})}{\sqrt{(x - x_{EN_2})^2 + (y - y_{EN_2})^2}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{(x - x_{EN_3})}{\sqrt{(x - x_{EN_3})^2 + (y - y_{EN_3})^2}} & \frac{(y - y_{EN_3})}{\sqrt{(x - x_{EN_3})^2 + (y - y_{EN_3})^2}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{(x - x_{EN_4})}{\sqrt{(x - x_{EN_4})^2 + (y - y_{EN_4})^2}} & \frac{(y - y_{EN_4})}{\sqrt{(x - x_{EN_4})^2 + (y - y_{EN_4})^2}} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7.18)$$

$Q_{ll,k}$ ise gözlem vektörünün kovaryans matrisini ifade etmektedir ve eşitlik (7.19) ile hesaplanır,

$$Q_{ll,k} = \begin{bmatrix} \sigma_{R_1}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{R_2}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{R_3}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{R_4}^2 \end{bmatrix} \quad (7.19)$$

burada σ_R değerleri 10 olarak belirlenmiştir.

GKF'nin durum güncellemesi aşamasındaki Kalman kazancı K_k eşitlik (7.20) ile ifade edilmiştir,

$$K_k = Q_{\bar{x}\bar{x},k} A_k^T (Q_{dd,k})^{-1} \quad (7.20)$$

Soncul durum tahmini vektörü $\hat{x}_k$ ise eşitlik (7.21) ile gösterilmektedir,

$$\hat{x}_k = \bar{x}_k + K_k d \quad (7.21)$$

Böylece yeni konum, hız ve ivme bileşenleri elde edilmiş olur. Soncul durum kovaryans matrisi $Q_{\hat{x}\hat{x},k}$ eşitlik (7.22) ile hesaplanır,

$$Q_{\hat{x}\hat{x},k} = (I - K_k A_k) Q_{\bar{x}\bar{x},k} \quad (7.22)$$

Yukarıdaki süreç sonunda elde edilen standart sapma değeri s_0 eşitlik (7.23) ile elde edilir,

$$s_0 = \sqrt{\frac{d^T Q_{dd,k}^{-1} d}{f}} \quad (7.23)$$

burada f ölçümün serbestlik derecesini ifade eder. Konum, hız ve ivme bileşenlerinin yeni standart sapmaları eşitlik (7.24)-(7.29) ile elde edilmektedir.

$$\hat{\sigma}_x = s_0 \sqrt{Q_{\hat{x}\hat{x},k}[1,1]} \quad (7.24)$$

$$\hat{\sigma}_y = s_0 \sqrt{Q_{\hat{x}\hat{x},k}[2,2]} \quad (7.25)$$

$$\hat{\sigma}_{\dot{x}} = s_0 \sqrt{Q_{\hat{x}\hat{x},k}[3,3]} \quad (7.26)$$

$$\hat{\sigma}_{\dot{y}} = s_0 \sqrt{Q_{\hat{x}\hat{x},k}[4,4]} \quad (7.27)$$

$$\hat{\sigma}_{\ddot{x}} = s_0 \sqrt{Q_{\hat{x}\hat{x},k}[5,5]} \quad (7.28)$$

$$\hat{\sigma}_{\ddot{y}} = s_0 \sqrt{Q_{\hat{x}\hat{x},k}[6,6]} \quad (7.29)$$

Kinematik uygulamalarda bahsi geçen değişkenlere ait başlangıç değerlerinin belirlenmesi için Java programlama diliyle yazılan kodlamalar Matlab yazılımı ile de kodlanmıştır. Çalışma alanından toplanan gerçek sinyal verileri ile azimuth verileri kullanılarak Matlab yazılımında bir dizi deneysel uygulama gerçekleştirilmiştir. Böylelikle değişkenlerin optimum değerleri elde edilmiş ve GKF metodunda başlangıç değerleri olarak kullanılmıştır.

Bu yöntem kullanılarak yapılan çalışmalarda bazı ölçüm anlarında hatalı ASG değerlerinin mobil cihazın hız ve ivme bileşenlerindeki yön hatalarına sebep olduğu görülmüştür. Bu durumun iyileştirilmesi amacıyla mobil cihazda bulunan manyetik sensör (magnetometer) verisinin kullanılması düşünülmüştür. Manyetik sensör sisteme entegre

edilerek mobil cihazın manyetik kuzeyle yaptığı açı belirlenmekte ve bu değere göre durum vektöründeki hız ve ivme bileşenlerinin büyüklükleri ve yönleri düzeltilmektedir. x ve y doğrultularındaki hız bileşenleri sırasıyla eşitlik (7.30) ve (7.31) ile elde dilmektedir.

$$\dot{x} = \hat{v}\cos(az) \quad (7.30)$$

$$\dot{y} = \hat{v}\sin(az) \quad (7.31)$$

Burada $\hat{v}$ metre/saniye cinsinden hız vektörünün değerini, az ise manyetik sensör kullanılarak elde edilen azimuth değerini göstermektedir. [108] de insanların ortalama yürüme hızının 0.5 ila 2 metre/saniye aralığında değiştiği ifade edilmektedir. Benzer şekilde [109] de yayaların ortalama yürüme hızlarının 0.85 ila 1.92 metre/saniye aralığında değiştiği ortaya konulmuştur. Çalışma alanında gerçekleştirilen 6 farklı uygulama sonucunda 80.46 metre uzunluğundaki güzergâhın ortalama 139 saniye’de tamamlandığı görülmüştür. Bu nedenle bu çalışma süresince hız bileşeni 0.6 metre/saniye olarak kabul edilmiştir. İvme bileşeninin değeri ise 0.01 metre/saniyekare olarak belirlenmiştir. İvme bileşenlerinin manyetik sensör yardımıyla yönleri Çizelge 7.1’e göre belirlenmektedir.

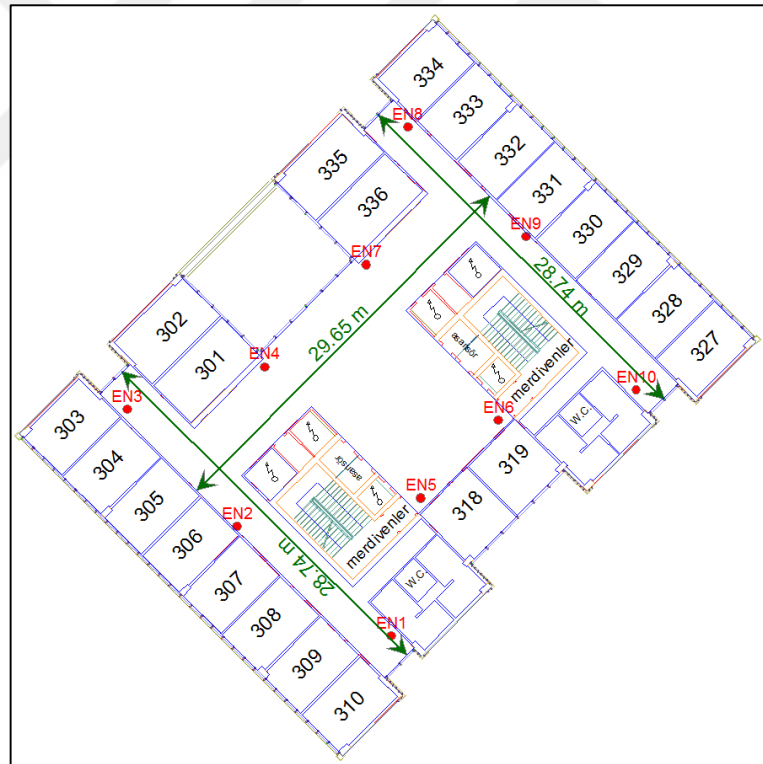
Çizelge 7. 1 Manyetik sensör verisi ile ivme bileşenleri arasındaki bağıntı

Mobil cihazın manyetik sensöründen elde edilen yön verisine göre ivme bileşenlerinin işaretleri (°)				
	0-90	90-180	180-270	270-360
$\ddot{x}$	+	-	-	+
$\ddot{y}$	+	+	-	-

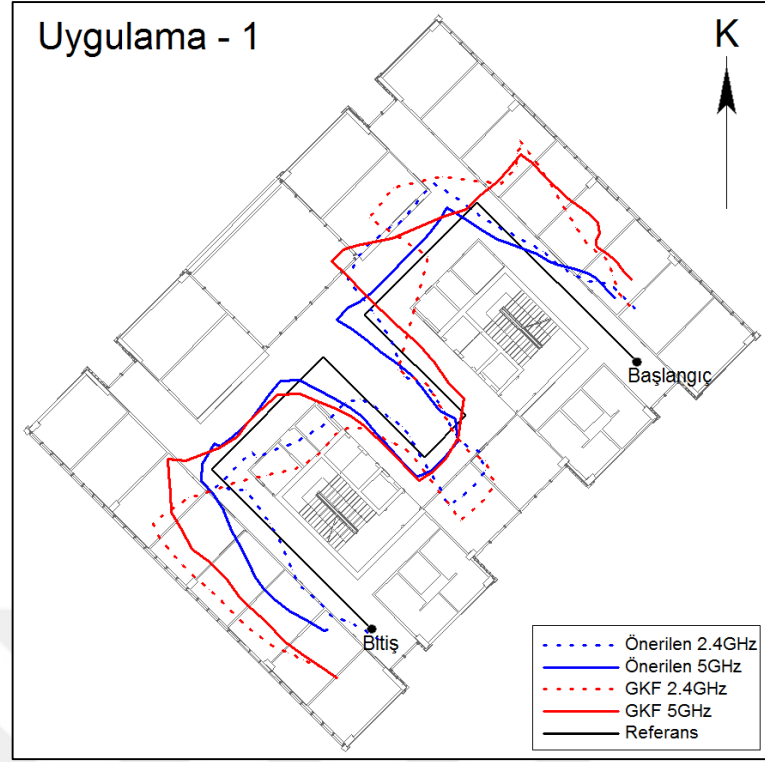
7.2 Çalışma Alanı

Kinematik uygulamalar Şekil 7.6’da görülen Hitit Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu idari bina 3. katında gerçekleştirilmiştir. 10 adet A-marka kablosuz modem (erişim noktaları) Şekil 7.6’da kırmızı renkle gösterilen noktalarda tesis edilmiştir. EN’lerin konumları klasik jeodezik ölçme yöntemleriyle belirlenmiştir. Uygulamada

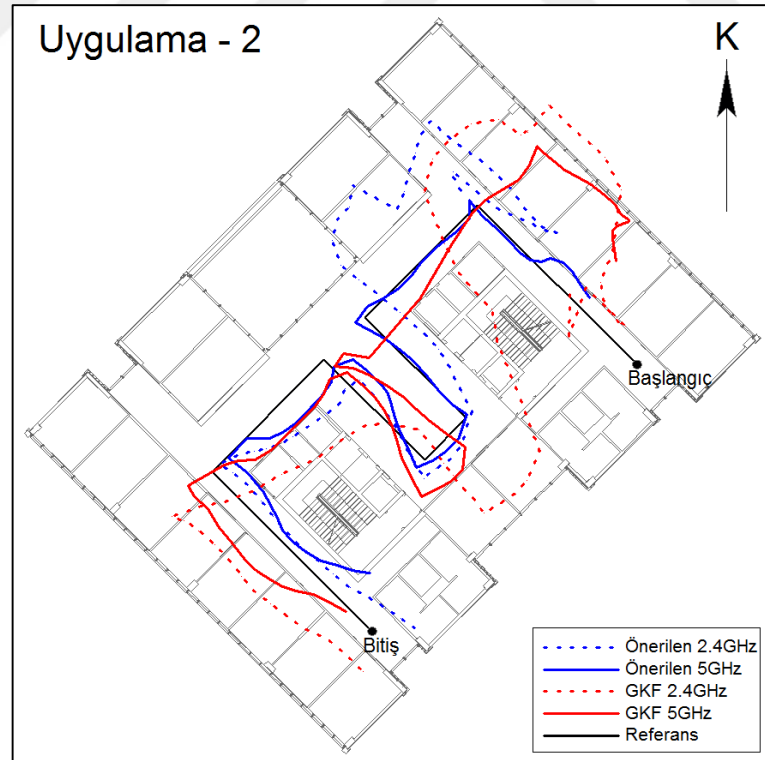
mobil cihaz olarak 2.4 ve 5 GHz WiFi sinyallerini alabilme yeteneğine sahip Samsung Galaxy Note 5 akıllı telefon kullanılmıştır. Yöntemin kullanılmasıyla elde edilecek olan konum doğruluklarının ve yöntem performansının daha iyi yorumlanabilmesi amacıyla toplamda 6 farklı kinematik uygulama gerçekleştirilmiştir. Ayrıca önerilen yöntemin dönüş noktalarındaki performanslarının ortaya konulabilmesi amacıyla 6 dönüş noktasına sahip Güzergah-1 ve Güzergah-2 olarak adlandırılan iki farklı güzergâh izlenmiştir. Uygulamalarda izlenen güzergahlar Şekil 7.7’de gösterilmektedir. İki farklı güzergâhın kullanılmasıyla planlanan diğer bir sonuç ise Bilaterasyon metodunun sağladığı başlangıç konum doğruluklarını gözlemleyebilmektir. Söz konusu uygulamalar normal yürüyüş hızında gerçekleştirilmiştir. Uygulamaların Android işletim sistemine sahip mobil cihaz ile gerçekleştirilebilmesi amacıyla kodlamalar Android Studio yazılımında ve Java programlama dilinde yapılmıştır. Hesap algoritmalarının Java dilinde yazılabilmesi için Jama temel lineer cebir paketi kullanılmıştır.



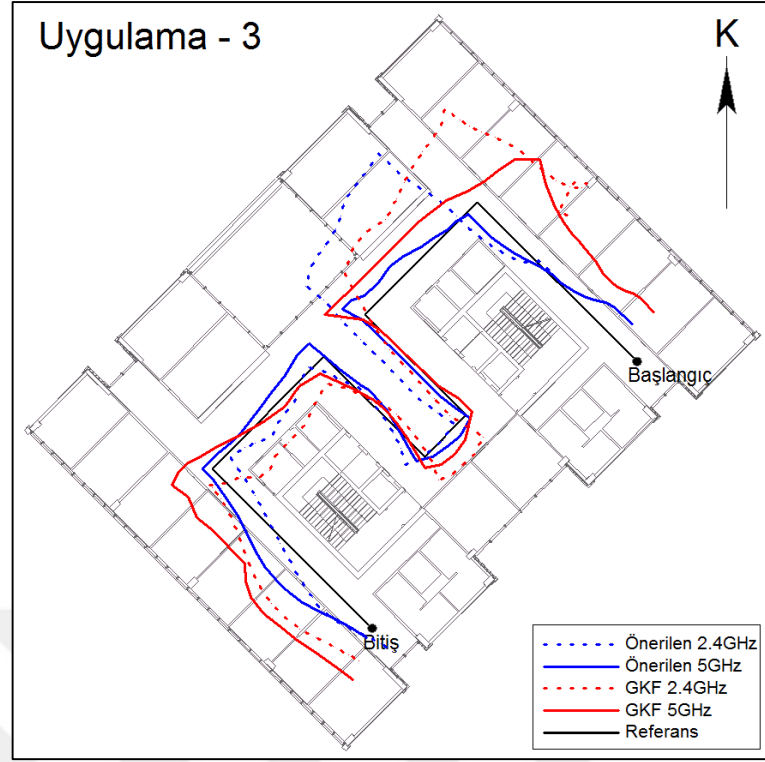
Şekil 7. 6 Kinematik uygulama alanı (kırmızı noktalar: erişim noktaları)



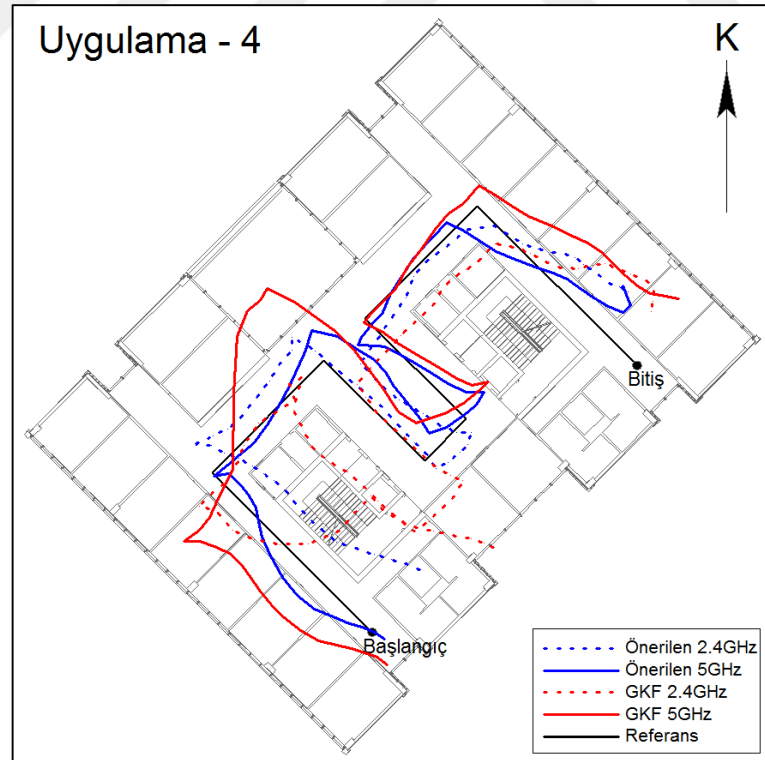
Şekil 7. 8 Uygulama 1’de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem ve GKF metodundan elde edilen güzergâhlar



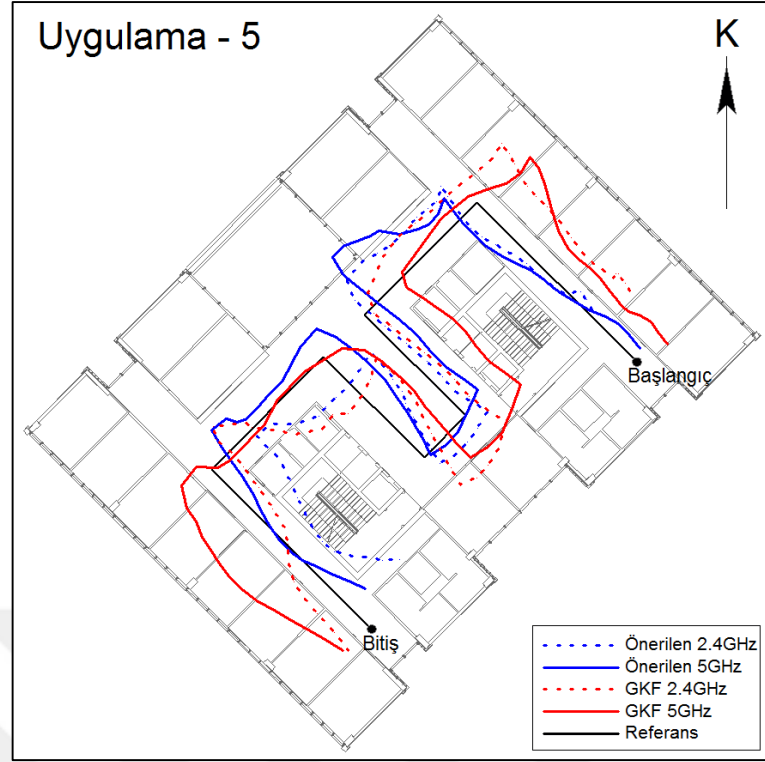
Şekil 7. 9 Uygulama 2’de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem ve GKF metodundan elde edilen güzergâhlar



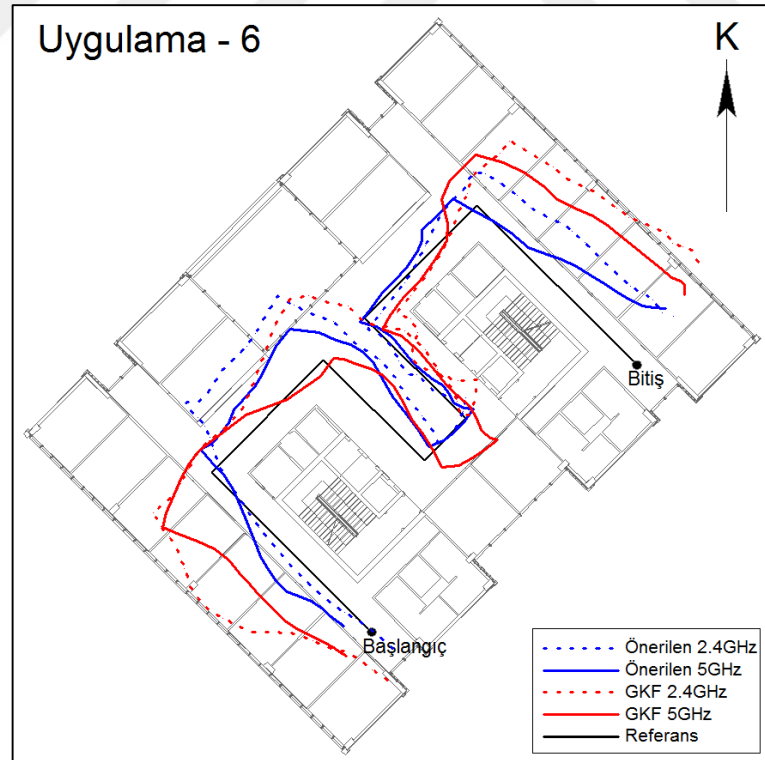
Şekil 7. 10 Uygulama 3’de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem ve GKF metodundan elde edilen güzergâhlar



Şekil 7. 11 Uygulama 4’de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem ve GKF metodundan elde edilen güzergâhlar



Şekil 7. 12 Uygulama 5’de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem ve GKF metodundan elde edilen güzergâhlar



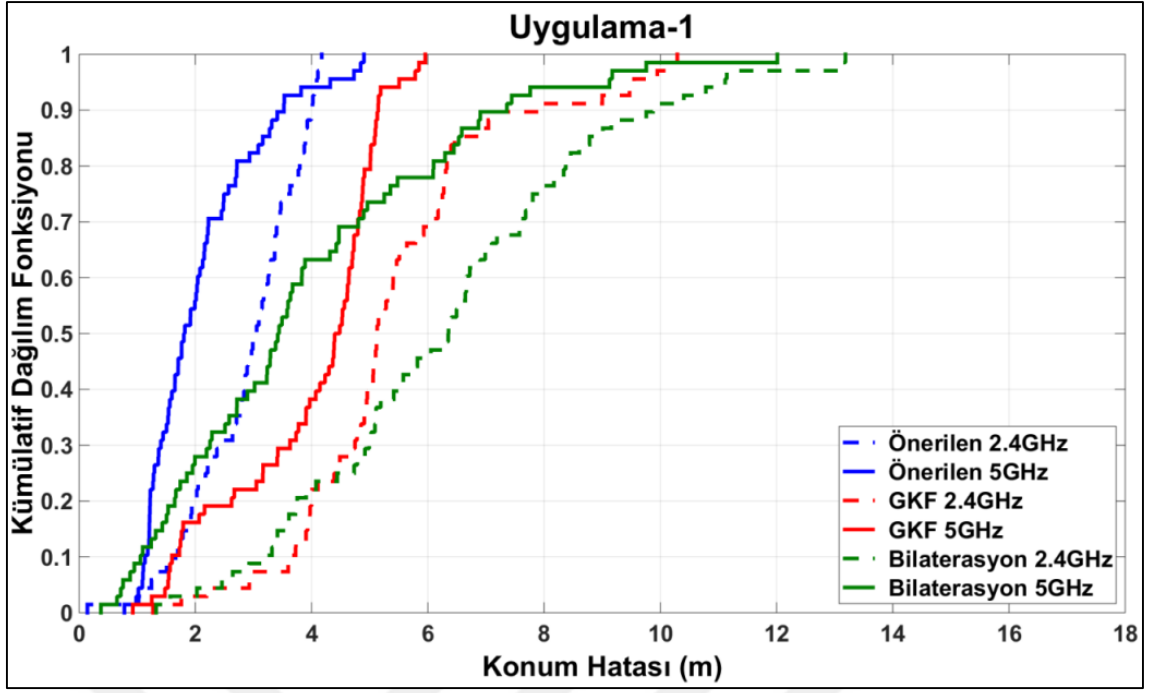
Şekil 7. 13 Uygulama 6’da 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem ve GKF metodundan elde edilen güzergâhlar

Diğer bir deyişle önerilen yöntemin başlangıç noktası tahmininde GKF metodundan daha yüksek konum doğruluğu sağladığı, 5 GHz sinyallerinin ise 2.4 GHz sinyallerden daha yüksek konum doğruluğu sağladığı görülmektedir. Ancak bu durum uygulama 1 ve 2 için geçerli değildir. Uygulama 1’de 2.4 GHz önerilen yöntem ve GKF metotlarının hemen hemen aynı konumdan başladığı ve başlangıç noktasına 5 GHz sinyallerle üretilen konumlardan daha yakın oldukları belirlenmiştir. Önerilen 5 GHz sonuçlarının ise GKF 5 GHz sonuçlarına oranla yüksek konum doğruluğu sağladıkları belirlenmiştir. Uygulama 2’de ise başlangıç konum doğruluklarının sırasıyla GKF 2.4 GHz, önerilen 5 GHz, GKF 5 GHz ve önerilen 2.4 GHz oldukları görülmektedir. 6 ayrı uygulamadan elde edilen başlangıç konum doğrulukları göz önüne alındığında önerilen yöntemin GKF metodundan, 5 GHz sinyallerinin ise 2.4 GHz sinyallerden daha doğru başlangıç konum bilgisi sağlayabildikleri, ancak bu durumun anlık sinyal şiddeti değerlerine göre değişiklik gösterebilecekleri belirlenmiştir. Referans güzergâha görsel olarak en uygun güzergâh tahmininin başlangıç konumunun diğer metotlara oranla daha hatalı olduğu 1 ve 2. uygulamalarda dâhil tüm uygulamalarda önerilen 5 GHz yöntem tarafından gerçekleştirildiği tespit edilmiştir.

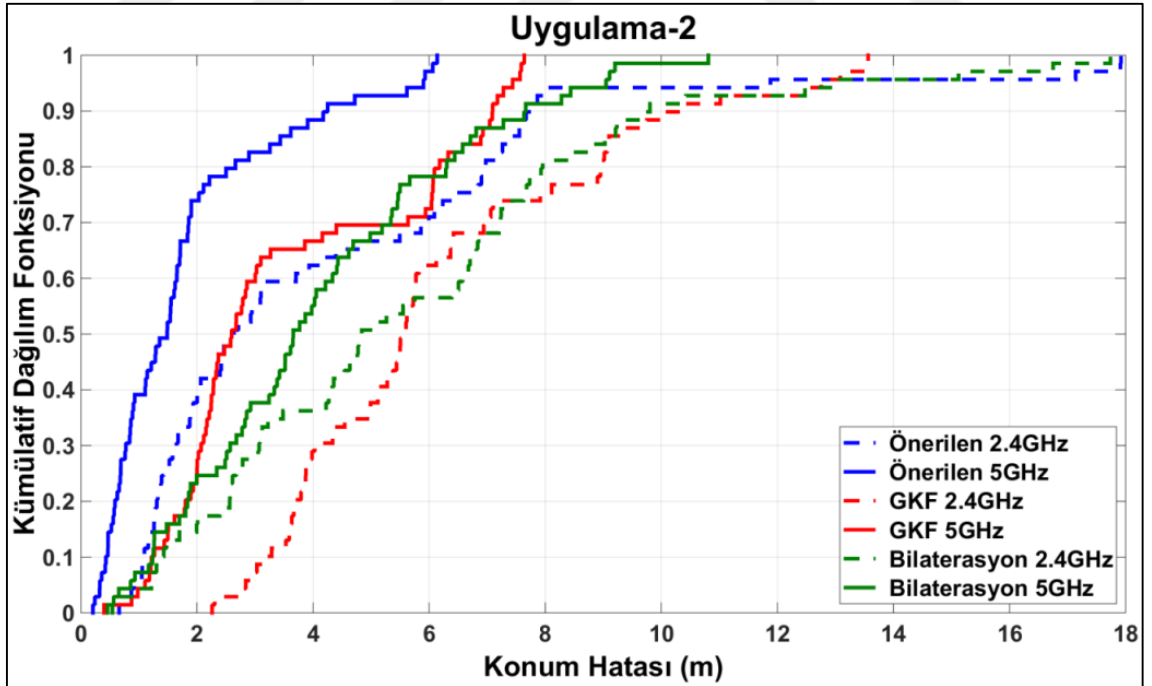
Şekil 7.14-7.19’da önerilen yöntem 2.4 ve 5 GHz, GKF metodu 2.4 ve 5 GHz, Bilaterasyon metodu 2.4 ve 5 GHz ile elde edilen konum hatalarının kümülatif (birikimli) dağılım fonksiyonları verilmektedir. Bu gösterim ile herhangi bir eşik değeri için konum hatası değerlerinin eşik değere eşit ya da ondan küçük bir değer alma olasılığı ifade edilmektedir. Şekil 7.14-7.19’a göre maksimum konum hatalarının önerilen yöntem 2.4 GHz ile uygulama 2’de 17.90 metre, önerilen yöntem 5 GHz ile uygulama 2’de 6.12 metre, GKF metodu 2.4 GHz ile uygulama 2’de 13.53 metre, GKF 5 GHz ile uygulama 2’de 7.60 metre, Bilaterasyon metodu 2.4 GHz ile uygulama 2’de 17.72 metre, Bilaterasyon 5 GHz ile uygulama 4’de 14.93 metre olarak elde edildiği görülmektedir. Bu sonuçlar dikkate alındığında 5 GHz sinyalleri kullanılarak elde edilen maksimum konum hatalarının 2.4 GHz ile elde edilenlere oranla oldukça düşük oldukları görülmektedir. 6 uygulamadan elde edilen maksimum konum hatalarının ortalamalarına bakıldığında önerilen yöntem 2.4 GHz ile 8.15 metre, önerilen yöntem 5 GHz ile 4.75 metre, GKF metodu 2.4 GHz ile 10.06 metre, GKF metodu 5 GHz ile 6.39 metre, Bilaterasyon metodu 2.4 GHz ile 13.49 metre ve Bilaterasyon metodu 5 GHz ile 11.62 metre olduğu

görülmektedir. Böylece önerilen yöntem ile elde edilen maksimum konum hatası değerlerinin diğer iki metoda oranla daha düşük oldukları görülmektedir. Şekil 7.14-7.19'a göre önerilen yöntem 5 GHz konum doğruluklarının tüm uygulamalarda en iyi sonucu verdiği belirlenmiştir. Tüm uygulamaların ortalamasına bakıldığında önerilen yöntem 5 GHz sinyallerinin %60 olasılıkla 2 metre ve daha iyi, %90 olasılıkla 4 metre ve daha iyi konum doğruluğu sağladığı görülmektedir.

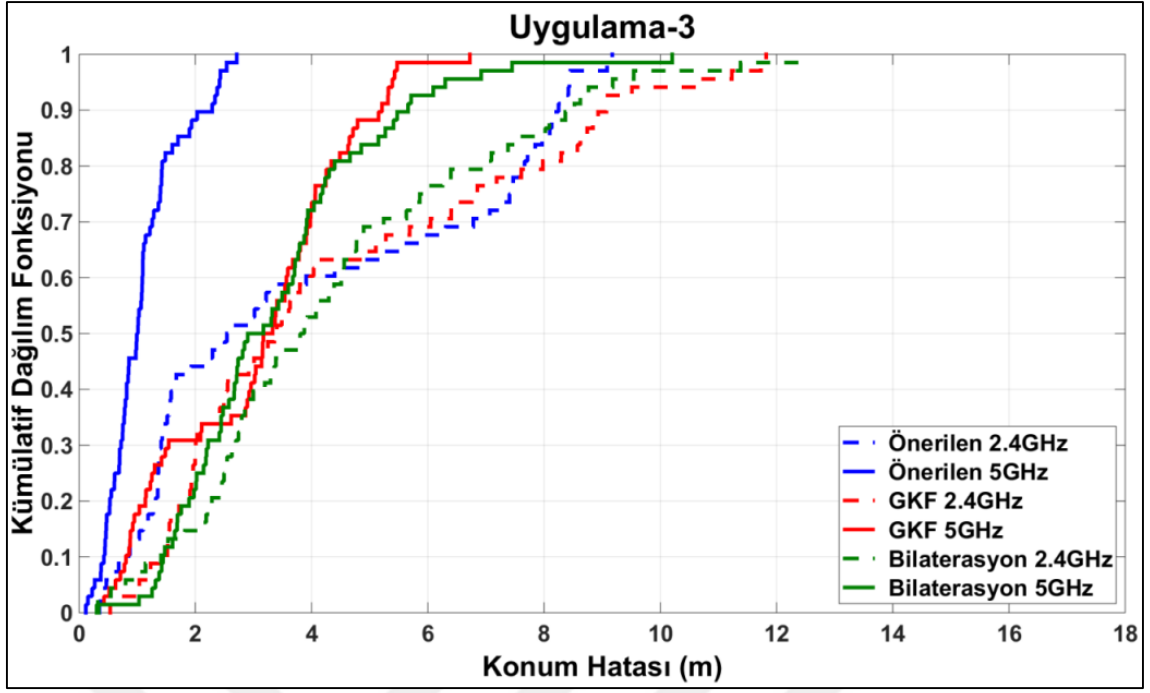




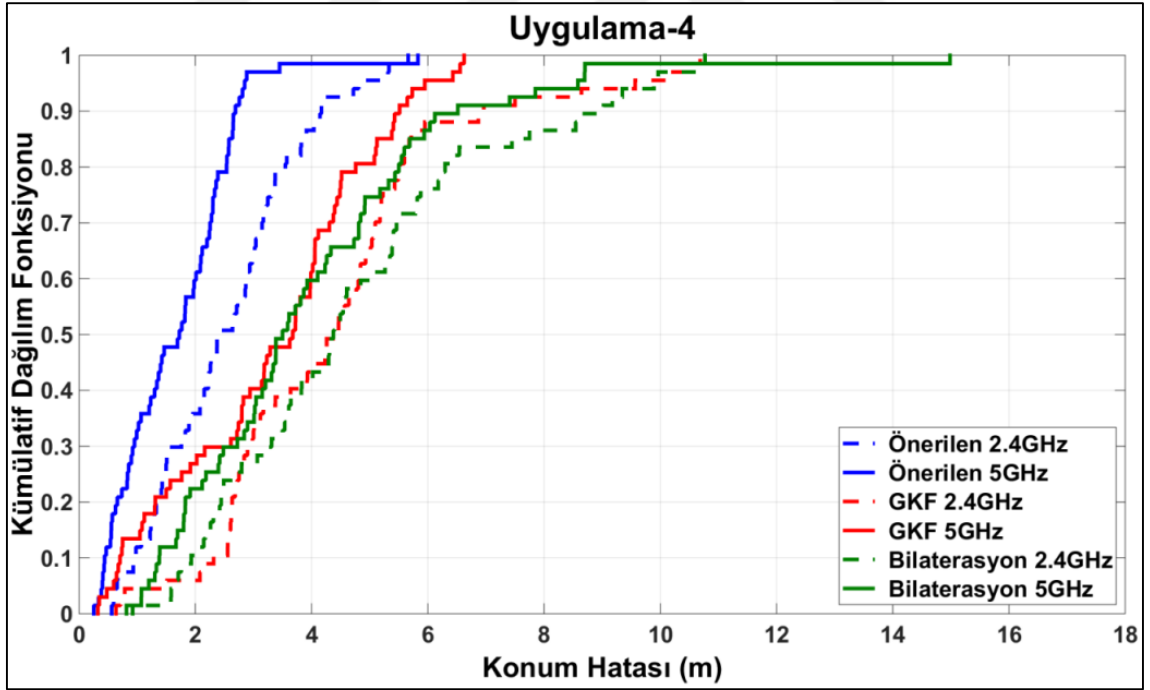
Şekil 7. 14 Uygulama 1’de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem, GKF ve Bilaterasyon metotlarından elde edilen konum hatası ile kümülatif dağılım fonksiyonu verileri



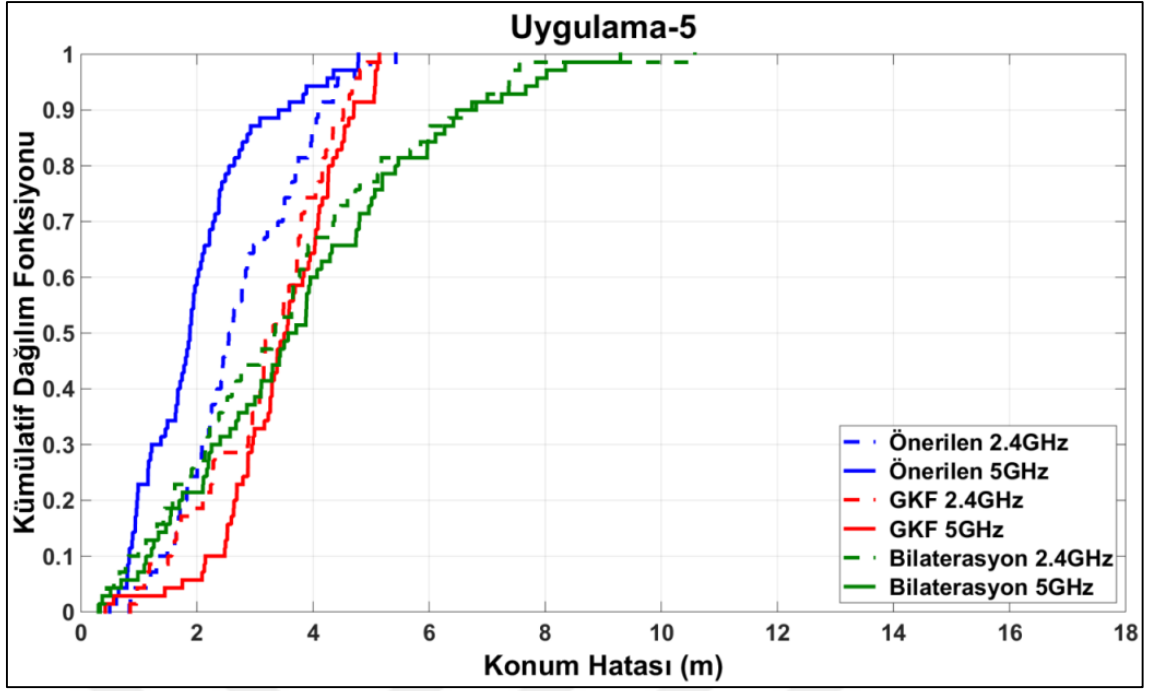
Şekil 7. 15 Uygulama 2’de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem, GKF ve Bilaterasyon metotlarından elde edilen konum hatası ile kümülatif dağılım fonksiyonu verileri



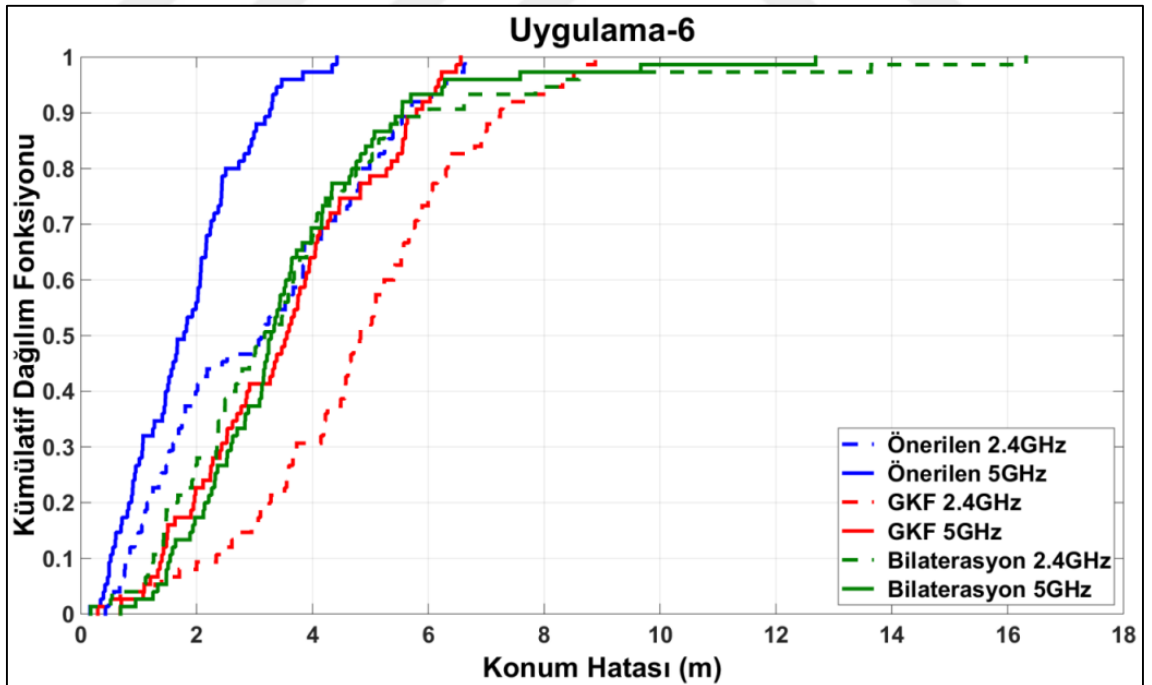
Şekil 7. 16 Uygulama 3’de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem, GKF ve Bilaterasyon metotlarından elde edilen konum hatası ile kümülatif dağılım fonksiyonu verileri



Şekil 7. 17 Uygulama 4’de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem, GKF ve Bilaterasyon metotlarından elde edilen konum hatası ile kümülatif dağılım fonksiyonu verileri



Şekil 7. 18 Uygulama 5’de 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem, GKF ve Bilaterasyon metotlarından elde edilen konum hatası ile kümülatif dağılım fonksiyonu verileri



Şekil 7. 19 Uygulama 6’da 2.4 ve 5 GHz sinyalleri için önerilen yöntem, GKF ve Bilaterasyon metotlarından elde edilen konum hatası ile kümülatif dağılım fonksiyonu verileri

Çizelge 7. 2 Uygulama sonuçlarına ait ölçüm belirsizlikleri

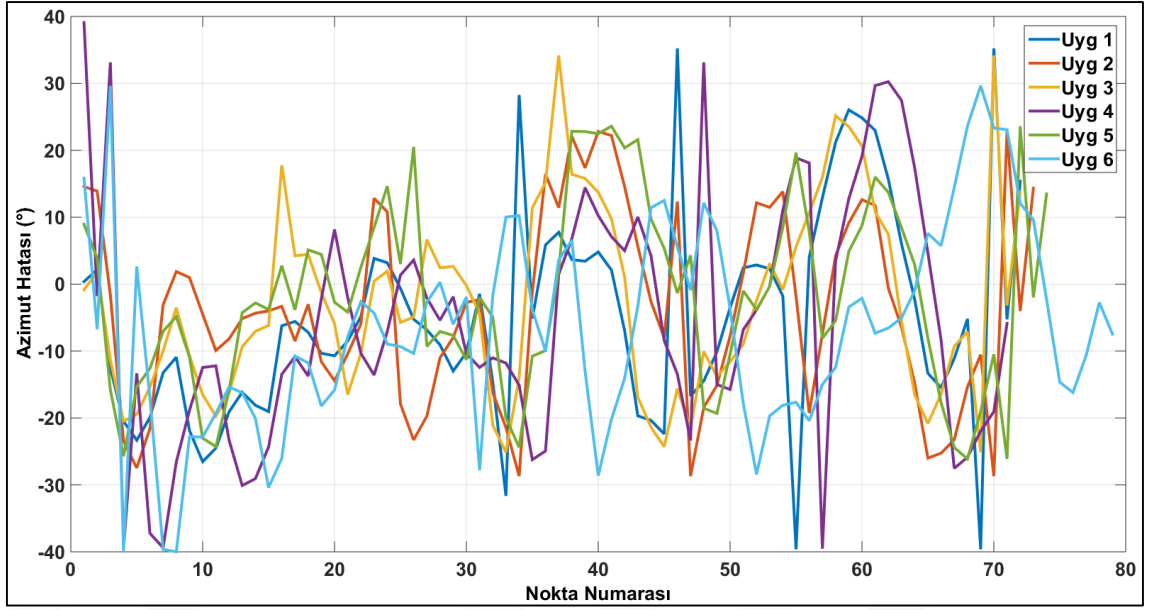
Uygulama	Sinyal Frekansı (GHz)	Ölçüm Belirsizliği (m)		
		Önerilen	GKF	Bilateration
1	2.4	2.85±0.11	5.39±0.22	6.32±0.32
	5	2.03±0.12	3.89±0.16	3.85±0.30
2	2.4	4.20±0.47	6.18±0.35	5.65±0.45
	5	1.79±0.19	3.53±0.27	4.08±0.29
3	2.4	3.85±0.37	4.42±0.38	4.37±0.33
	5	1.07±0.08	2.97±0.19	3.31±0.21
4	2.4	2.52±0.15	4.38±0.26	4.71±0.30
	5	1.59±0.12	3.25±0.21	3.91±0.29
5	2.4	2.80±0.13	3.26±0.13	3.59±0.26
	5	1.89±0.12	3.41±0.12	3.72±0.25
6	2.4	3.08±0.21	4.79±0.22	3.57±0.30
	5	1.77±0.12	3.46±0.19	3.53±0.22
Genel Ortalama	2.4	3.22	4.74	4.70
	5	1.69	3.42	3.73

Çizelge 7.2’de ise uygulamalarda elde edilen ölçüm belirsizliği değerleri verilmektedir. Söz konusu çizelgeden en yüksek konum doğruluğunun önerilen yöntem 5 GHz sinyalleri ile 1.69 metre ortalama hata olarak elde edildiği görülmektedir. Onu 3.22 metre ortalama konum doğruluğu ile önerilen yöntem 2.4 GHz sinyalleri, 3.42 metre ile GKF 5 GHz sinyalleri, 3.73 metre ile Bilaterasyon 5 GHz sinyalleri, 4.70 metre ile Bilaterasyon 2.4 GHz sinyalleri ve son olarak 4.74 metre ile GKF 2.4 GHz sinyalleri izlemektedir. Diğer bir deyişle, 5 GHz sinyalleri ile elde edilen ortalama konum doğrulukları 2.4 GHz sinyallere oranla daha yüksektir. Ayrıca, önerilen yöntem hem GKF hem de Bilaterasyon metotlarından daha yüksek konum doğruluğu sağlamaktadır.

Çizelge 7. 3 Önerilen yöntemle elde edilen iyileşme miktarları

Uygulama	Sinyal Frekansı (GHz)	İyileşme Oranı (%)	
		GKF'den	Bilaterasyon'dan
1	2.4	47	55
	5	48	47
2	2.4	32	26
	5	49	56
3	2.4	13	12
	5	64	68
4	2.4	42	46
	5	51	59
5	2.4	14	22
	5	45	49
6	2.4	36	14
	5	49	50
Genel Ortalama	2.4	31	29
	5	51	55

Çizelge 7.3’de ise önerilen yöntem ile konum doğruluklarında sağlanan yüzdesel iyileşme miktarları gösterilmektedir. Bu çizelgeden önerilen yöntem 2.4 GHz sinyalleri kullanılarak elde edilen konum doğruluklarının GKF metodu 2.4 sinyallere oranla %31, Bilaterasyon metodu 2.4 sinyallere oranla %29 daha yüksek konum doğruluğu sağladığı belirlenmiştir. Benzer şekilde önerilen yöntem 5 GHz sinyalleri kullanılarak elde edilen konum doğruluklarının GKF metodu 5 GHz sinyallere oranla %51, Bilaterasyon metodu 5 GHz sinyallere oranla %55 daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.



Şekil 7. 20 Manyetik sensör hata değerleri

Şekil 7.20’de uygulamalardan elde edilen manyetik sensör hata verileri görülmektedir. Manyetik sensör hatalarının tüm uygulamalarda $\pm 40^\circ$ aralığında olduğu görülmektedir. Ayrıca manyetik sensör belirli bölgelerde benzer hata değerleri göstermektedir. En çok hata yapılan bölgelerin uygulamanın asansörlere yaklaşıldığı kısımlarında ve merdiven boşluğunun etrafındaki yoğun demir donatıya sahip perde beton yapılara yaklaşıldığı bölgelerde elde edildiği tespit edilmiştir. Bu uygulamada manyetik sensör verisinin kullanılmasıyla hız ve ivme bileşenlerindeki yön hataları büyük oranda giderilmiştir, ancak bu verilerin hala önemli miktarda hatayı barındırdıkları da göz önüne alınmalıdır. Ayrıca, mobil cihazlarda kullanılan elektro-manyetik sensörlerin kalibrasyonlarının kolaylıkla bozulması sebebiyle bir süre sonra oldukça yüksek hata değerleri gösterdikleri ve her ölçümden önce kalibrasyonlarının yeniden yapılma gerekliliği de bu sistemlerin en önemli dezavantajı olarak söylenebilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, mobil cihaza sahip kullanıcının kapalı mekân içerisindeki anlık konumunun sadece mobil cihazında bulunan WiFi ve manyetik sensör verileriyle birlikte ortamda bulunan erişim noktalarından yayılan WiFi sinyallerini kullanarak gerçekleştirilebilmesi hedeflenmiştir.

Bu amaçla öncelikle 2.4 ve 5 GHz sinyallerinin çalışma ortamında mesafeye bağlı değişimleri incelenmiştir. Sonuçların daha sağlıklı değerlendirilebilmesi amacıyla bu uygulama iki farklı marka erişim noktaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilere göre sinyal güçlerinin mesafeye bağlı azalmalarının farklı marka cihazların kullanılmasıyla değişebileceği tespit edilmiştir. Her iki marka cihazların yayınladığı 5 GHz sinyallerin mesafeye bağlı davranışları birbirine oldukça benzer iken 2.4 GHz sinyallerinin birbirinden oldukça farklı değerler alabildiği görülmektedir. Ayrıca her iki marka erişim noktaları için 5 GHz sinyallerin mesafeye bağlı standart sapma değerlerinin 2.4 GHz sinyallere oranla 2 kat daha düşük oldukları belirlenmiştir. Diğer bir deyişle 5 GHz sinyallerinin mesafeye bağlı davranışları 2.4 GHz sinyallere oranla 2 kat daha karardır. 2.4 GHz sinyallerde görülmekte olan bu kararsız davranışlara ve yüksek sinyal dalgalanmalarına 2.4 GHz sinyallerin yoğun şekilde kullanılmasının ve dolayısıyla sinyallerde oluşan karışma etkisinin neden olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple kapalı mekân konum belirleme çalışmalarında 5 GHz sinyallerin kullanılmasının daha yüksek doğruluklarda konum bilgisi sağlayabileceği görülmektedir. Ayrıca gerçekleştirilen regresyon analiz sonuçlarına göre 5 GHz sinyallerinin mesafeye bağlı davranışlarının 2.4 GHz sinyallere oranla daha yüksek doğrulukla modellenebileceği belirlenmiştir. Farklı marka erişim noktalarının yaydığı aynı frekanstaki sinyallerde görülen değişimler, bir

erişim noktasının yaydığı 2.4 veya 5 GHz sinyallerde görülen farklılıklar ve değişik ortamlardaki sinyalin yayılımını etkileyecek çevresel faktörler göz önüne alındığında her çalışma ortamı ve erişim noktaları için sinyal yayılma sabitinin belirlenmesinin elde edilecek mesafe ve konum doğruluğunu artıracak görülmüştür. Dolayısıyla çalışma alanında bir gün içerisinde gerçekleştirilebilecek uygulama ile ortama ve ortamda kullanılacak erişim noktalarına özel sinyal yayılma sabitinin belirlenmesi önerilmektedir.

Çalışma alanında hareketsiz haldeki mobil cihazın konumunun belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen uygulamada 2.4 ve 5 GHz sinyallerinin, Bilaterasyon, Trilaterasyon, İAEKK ve GKF metotlarının, ITU, logaritmik mesafe, Chipcon ve mesafe/ASG yol kayıp modellerinin durağan haldeki mobil cihazın konumunun belirlenmesinde göstermiş oldukları performanslar karşılaştırılmıştır. 2.4 ve 5 GHz sinyallerinin hareketsiz konum belirleme performansları karşılaştırıldığında istisnai durumlar hariç 5 GHz sinyaller kullanılarak doğruluğu daha yüksek konum bilgisine ulaşılabildiği görülmektedir. Söz konusu 4 metodun hareketsiz konum belirleme performansları karşılaştırıldığında ise en yüksek konum doğruluklarını Bilaterasyon metodunun sağladığı, en düşük konum doğruluklarını ise Trilaterasyon metodunun sağladığı belirlenmiştir. Bilaterasyon metodunun özellikle içerisinde barındırdığı kümelenme algoritması sayesinde yüksek konum doğruluğu elde etmeyi başarabildiği görülmüştür. Dolayısıyla hareketsiz konum belirleme uygulamalarında GKF ve İAEKK gibi iteratif ve yoğun hesap yükü gerektiren metotlar yerine Bilaterasyon gibi daha az hesap yüküne sahip ve yüksek konum doğruluğu sağlayan metotların kullanılması önerilmektedir. Ancak Bilaterasyon ve Trilaterasyon metotlarının iteratif metotlar olmadıkları, hareketsiz konum belirleme de kullanılabilirken kinematik uygulamalarda anlamlı bir rota bilgisi sağlayamayacakları göz önünde bulundurulmalıdır. Hareketsiz uygulamada kullanılan yol kayıp modelleri karşılaştırıldığında 4 modelinde logaritmik fonksiyondan türetilmeleri sebebiyle oldukça benzer sonuçlar verdikleri görülmekle birlikte mesafe/ASG modelinin genel olarak diğer modellere göre daha yüksek konum doğruluğu sağladığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen diğer bir uygulama ise kapalı mekânda hareket halindeki kullanıcının mobil cihazını kullanarak konumunun belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Söz konusu uygulamada hareketsiz konum belirleme uygulamasında olduğu gibi hem 2.4 GHz hem de 5 GHz sinyalleri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve elde

edilen konum doğrulukları karşılaştırılmıştır. Uygulamada yeni bir yöntem önerilmektedir. Bu yöntemin ortaya çıkmasındaki asıl düşünce alınan sinyal gücü değerlerindeki dalgalanmaların ve kararsızlıkların neden olduğu hatalı konum tahmininin en aza indirilmesi ve böylece doğruluğu daha yüksek konum bilgisinin elde edilmesidir. Bu sistemin ana bileşenlerinden biri günümüzde hareket halindeki cisimlerin navigasyonunda sıklıkla kullanılan GKF metodudur. Ancak GKF ve İAEKK metotları gibi kinematik uygulamalarda sistemin başlangıç konumunun verilmesi gerekmektedir. Bu değer hareketli konum belirleme uygulamasında göstermiş olduğu yüksek konum doğruluğu sebebiyle Bilaterasyon metodu kullanılarak elde edilmesi düşünülmüştür. Ayrıca Bilaterasyon metodunun içerisinde barındırdığı kümelenme analizi ile 3σ analizi sıralı olarak kullanılmış ve böylece uyumsuz ölçüler sistemden atılmış ve uyumlu ölçüler kullanılarak GKF metodu ve manyetik sensör verisiyle daha yüksek konum doğruluğu elde edilmesi sağlanmıştır. Söz konusu yöntemin konum doğruluğunun daha iyi analiz edilebilmesi amacıyla 6 ayrı kinematik uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulamalardan elde edilen ölçüm belirsizliği verilerine göre 5 GHz sinyaller kullanılarak elde edilen konum doğruluklarının 2.4 GHz sinyallere göre hem önerilen yöntem hem de Bilaterasyon ve GKF metotları sonuçlarına göre doğruluğu yüksek sonuç verdikleri görülmektedir. Önerilen yöntem ile Bilaterasyon ve GKF metotlarına göre 2.4 GHz sinyaller kullanılarak %30, 5 GHz sinyaller kullanılarak %50 daha yüksek konum doğruluğu elde edilmektedir. Bu çalışma, sinyallerde var olan kararsızlıkların sebep olacağı yüksek konum hatalarının çeşitli yöntemler, farklı sensörler ve filtrelemeler kullanılarak azaltılabileceğini göstermiştir. Dolayısıyla, bu tür çalışmalarda verilerin titizlikle analizlerinin yapılması, birden fazla sensör verisinin kullanılması, birden fazla yöntem veya algoritmanın kullanılması önerilmektedir.

Ayrıca, bu çalışmada önerilen yöntemin kapalı mekân içerisinde herhangi bir başlangıç konum gereksinimi bulunmamaktadır. Kullanıcı zaten hemen hepimizin sahip olduğu mobil cihazını kullanarak günümüzde hemen her kapalı mekânda bulunan WiFi altyapısı ile kendi konumunu kolaylıkla belirleyebilmektedir. Ayrıca bu yöntemde kullanıcının başlangıç yönünün bilinmesine de ihtiyaç duyulmamaktadır. Böylece söz konusu yöntem kullanıcıya hiçbir mali yük getirmemekte, sistemin tasarlanması ve kurulumu aşamalarında da herhangi bir donanım ve yazılım maliyeti bulunmamaktadır. Sadece kısa

süre içerisinde gerçekleştirilebilecek olan sinyal-mesafe ilişkisinin elde edilmesi çalışmaları yeni bir kapalı mekânda yöntemin uygulanabilmesini mümkün kılmaktadır.



KAYNAKLAR

- [1] Dong, Q. ve Dargie, W., (2012). "Evaluation of the Reliability of RSSI for Indoor Localization", 2012 International Conference on Wireless Communications in Unusual and Confined Areas (ICWCUCA), 28-30 August 2012, Clermont-Ferrand, France.
- [2] Khan, R., Khan, S.U., Khan, S. ve Khan, M.U.A., (2014). "Localization Performance Evaluation of Extended Kalman Filter in Wireless Sensors Network", *Procedia Computer Science*, 32: 117-124.
- [3] Zhu, Y.F. ve Shareef, A., (2006). "Comparisons of Three Kalman Filter Tracking Algorithms in Sensor Network", International Workshop on Networking, Architecture, and Storages (IWNAS'2006), 01-03 August 2006, Shenyang, China, 1-2.
- [4] Li, Y., Zhuang, Y., Lan, H., Zhang, P., Niu, X. ve El-Sheimy, N., (2015). "WiFi-Aided Magnetic Matching for Indoor Navigation with Consumer Portable Devices", *Micromachines*, 6(6): 747-764.
- [5] Zhuang, Y., Lan, H., Li, Y. ve El-Sheimy, N., (2015). "PDR/INS/WiFi Integration Based on Handheld Devices for Indoor Pedestrian Navigation", *Micromachines*, 6(6): 793-812.
- [6] İlçi, V., Güllal, E. ve Alkan, R., (2017). "An investigation of different Wi-Fi signal behaviours and their effects on indoor positioning accuracy", *Survey Review*: 1-8.
- [7] Lui, G., Gallagher, T., Li, B., Dempster, A.G. ve Rizos, C., (2011). "Differences in RSSI readings made by different Wi-Fi chipsets: A limitation of WLAN localization", 2011 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS), 29-30 June 2011, Tampere, Finland, 53-57.
- [8] Yu, F., Jiang, M., Liang, J., Qin, X., Hu, M., Peng, T. ve Hu, X., (2014). "5G WiFi Signal-Based Indoor Localization System Using Cluster k-Nearest Neighbor Algorithm", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 1-12, DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/247525>.
- [9] Lohan, E.S., Talvitie, J., Silva, P.F.E., Nurminen, H., Ali-Loytty, S. ve Piche, R., (2015). "Received Signal Strength models for WLAN and BLE-based indoor positioning in multi-floor buildings", 2015 International Conference on Location and GNSS (ICL-GNSS), 22-24 June 2015, Gothenburg, Sweden.

- [10] Talvitie, J., Renfors, M. ve Lohan, E.S., (2015). "A Comparison of Received Signal Strength Statistics between 2.4 GHz and 5 GHz bands for WLAN-based Indoor Positioning", 2015 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), 6-10 December 2015, San Diego, USA.
- [11] Talvitie, J., Renfors, M. ve Lohan, E.S., (2015). "Distance-Based Interpolation and Extrapolation Methods for RSS-Based Localization With Indoor Wireless Signals", IEEE Transactions on Vehicular Technology, 64: 1340-1353.
- [12] Karlsson, F., Karlsson, M., Bernhardsson, B., Tufvesson, F. ve Persson, M., (2015). "Sensor Fused Indoor Positioning Using Dual Band WiFi Signal Measurements", 2015 European Control Conference (ECC), 15-17 July 2015, Linz, Austria, 1669-1672.
- [13] Zhu, X. ve Feng, Y., (2013). "RSSI-based algorithm for indoor localization", Communications and Network, 5(2B): 37-42.
- [14] Jekabsons, G. ve Zuravlyovs, V., (2010). "Refining Wi-Fi Based Indoor Positioning", Proceedings of the 4th International Scientific Conference Applied Information and Communication Technologies (AICT2010), Jelgava, Latvia, 87-94.
- [15] Alkan, R.M., İlçi, V., Ozulu, I.M., ve Saka, M.H., (2015). "A comparative study for accuracy assessment of PPP technique using GPS and GLONASS in urban areas", Measurement, 69: 1-8.
- [16] Alcay, S. ve Yigit, C.O., (2016). "Network based performance of GPS-only and combined GPS/GLONASS positioning under different sky view conditions", Acta Geodaetica et Geophysica: 1-12, doi:10.1007/s40328-016-0173-5.
- [17] Lan, H.Y., Yu, C.Y., Zhuang, Y., Li, Y. ve El-Sheimy, N., (2015). "A Novel Kalman Filter with State Constraint Approach for the Integration of Multiple Pedestrian Navigation Systems", Micromachines, 6(7): 926-952.
- [18] Jiang, Q., Qiu, F., Zhou, M. ve Tian, Z.S., (2016). "Benefits and Impact of Joint Metric of AOA/RSS/TOF on Indoor Localization Error", Applied Sciences, 6, 296.
- [19] Feng, C., Au, W.S.A. Valaee, S. ve Tan, Z.H., (2010). "Compressive Sensing Based Positioning Using RSS of WLAN Access Points", IEEE 29th Conference on Computer Communications (INFOCOM'10), 15-19 March 2010, San Diego, CA, USA, 1631-1639.
- [20] Subbu, K.P., Zhang, C., Luo, J. ve Vasilakos, A.V., (2014). "Analysis and Status Quo of Smartphone-Based Indoor Localization Systems", IEEE Wireless Communications, 21(4): 106-112.
- [21] Haverinen, J., (2016). "A 2016 Global Research Report On The Indoor Positioning Market", The Rise of Indoor Positioning, Indoor Atlas, 1-11.
- [22] marketsandmarkets.com, Indoor Location Market by Component (Technology, Software Tools, and Services), Application, End User (Transportation, Hospitality, Entertainment, Shopping, and Public Buildings), and Region - Global Forecast to 2021, 21.03.2017, <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/indoor-positioning-navigation-ipin-market-989.html>.

- [23] Collin, J., Mezentsev, O. ve Lachapelle, G., (2003). "Indoor positioning system using accelerometry and high accuracy heading sensors", Proceedings of ION GPS/GNSS Conference 2003, 9-12 September 2003, Portland, USA, 1-7.
- [24] Gu, Y.Y., Lo, A. ve Niemegeers, I., (2009). "A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks", IEEE Communications Surveys and Tutorials, 11(1): 13-32.
- [25] Al Nuaimi, K. ve Kamel, H., (2011). "A survey of indoor positioning systems and algorithms", 2011 International Conference on Innovations in Information Technology (IIT), 25-27 April 2011, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 185-190.
- [26] Cholis, J., Eguizabal, M., Hernandez-Solana, A. ve Valdovinos, A., (2011). "Comparison of Algorithms for UWB Indoor Location and Tracking Systems", 2011 IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 15-18 May 2011, Budapest, Hungary.
- [27] Mautz, R., (2012). Indoor positioning technologies, Habilitation Thesis, ETH Zurich, Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering, Institute of Geodesy and Photogrammetry, Zurich.
- [28] Al-Ammar, M.A., Alhadhrami, S., Al-Salman, A., Alarifi, A., Al-Khalifa, H.S., Alnafessah, A. ve Alsaleh, M., (2014). "Comparative Survey of Indoor Positioning Technologies, Techniques, and Algorithms", 2014 International Conference on Cyberworlds (CW), 6-8 October 2014, Santander, Spain, 245-252.
- [29] Curran, K., Furey, E., Lunney, T., Santos, J., Woods, D. ve McCaughey, A., (2011). "An Evaluation of Indoor Location Determination Technologies", Journal of Location Based Services, 5(2): 61-78.
- [30] Mautz, R., (2009). "Overview of current indoor positioning systems", Geodezija ir Kartografija, 35(1): 18-22.
- [31] Huang, C.H., Lee, L.H., Ho, C.C., Wu, L.L. ve Lai, Z.H., (2015). "Real-Time RFID Indoor Positioning System Based on Kalman-Filter Drift Removal and Heron-Bilateration Location Estimation", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 64(3): 728-739.
- [32] Giaglis, G.M., Pateli, A., Fouskas, K., Kourouthanassis, P. ve Tsimakos, A., (2002). "On the Potential Use of Mobile Positioning Technologies in Indoor Environments", 15th Bled Electronic Commerce Conference eReality: Constructing the eEconomy, Bled, Slovenia, 17-19 June 2002, 413-429.
- [33] Chen, Y. ve Luo, R., (2007). "Design and Implementation of a WiFi-Based Local Locating System", 2007 IEEE International Conference on Portable Information Devices, 25-29 May 2007, Orlando, USA, 213-217.
- [34] Yim, J., Jeong, S., Gwon, K. ve Joo, J., (2010). "Improvement of Kalman filters for WLAN based indoor tracking", Expert Systems with Applications, 37(1): 426-433.
- [35] Kim, B., Kwak, M., Lee, J. ve Kwon, T., (2014). "A Multi-pronged Approach for Indoor Positioning with WiFi, Magnetic and Cellular Signals", 2014 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 27-30 October 2014, Busan, Korea, 723-726.

- [36] İlçi, V., Gülal, E., Alkan, R.M. ve Çizmecı, H., (2015). "Trilateration Technique for WiFi-Based Indoor Localization", The Eleventh International Conference on Wireless and Mobile Communications (ICWMC), St. Julians, Malta, 11-16 October 2015, 25-28.
- [37] Khoury, H.M. ve Kamat, V.R., (2009). "Evaluation of position tracking technologies for user localization in indoor construction environments", *Automation in Construction*, 18(2009): 444-457.
- [38] Li, B., Wang, Y., Lee, H.K., Dempster, A. ve Rizos, C., (2005). "Method for yielding a database of location fingerprints in WLAN", *IEE Proceedings-Communications*, 152(5): 580-586.
- [39] Parasuraman, R., Fabry, T., Molinari, L., Kershaw, K., Di Castro, M., Masi, A. ve Ferre, M., (2014). "A Multi-Sensor RSS Spatial Sensing-Based Robust Stochastic Optimization Algorithm for Enhanced Wireless Tethering", *Sensors*, 14(12): 23970-24003.
- [40] Rappaport, T.S., (1996). *Wireless communications: principles and practice*: Prentice Hall PTR New Jersey, 2.
- [41] Li, H., (2014). "Low-Cost 3D Bluetooth Indoor Positioning with Least Square", *Wireless Personal Communications*, 78(2): 1331-1344.
- [42] Tesoriero, R., Tebar, R., Gallud, J.A., Lozano, M.D. ve Penichet, V.M.R., (2010). "Improving location awareness in indoor spaces using RFID technology", *Expert Systems with Applications*, 37(1): 894-898.
- [43] Song, Z., Jiang, G. ve Huang, C., (2011). "A Survey on Indoor Positioning Technologies", *Theoretical and Mathematical Foundations of Computer Science*, Springer, Berlin, Heidelberg, 164: 198-206.
- [44] Liu, J., (2014). "Survey of wireless based indoor localization technologies", 21.03.2017, <http://www.cs.wustl.edu/~jain/cse574-14/ftp/indoor/index.html>.
- [45] Kaya, S.B. ve Alkar, A.Z., (2014). "Location estimation improvement by signal adaptive RSSI filtering", *22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Trabzon, Turkey, 1183-1186.
- [46] Leppakoski, H., Collin, J. ve Takala, J., (2013). "Pedestrian Navigation Based on Inertial Sensors, Indoor Map, and WLAN Signals", *Journal of Signal Processing Systems*, 71(3): 287-296.
- [47] Zhuang, Y., Chang, H.W. ve El-Sheimy, N., (2013). "A MEMS multi-sensors system for pedestrian navigation", In: Sun J., Jiao W., Wu H., Shi C. (eds) *China Satellite Navigation Conference (CSNC) 2013 Proceedings. Lecture Notes in Electrical Engineering*, 245: 651-660, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- [48] Lee, S., Kim, B., Kim, H., Ha, R. ve Cha, H., (2011). "Inertial Sensor-Based Indoor Pedestrian Localization with Minimum 802.15.4a Configuration", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(3): 455-466.

- [49] Chen, L.H., Wu, E.H.K., Jin, M.H. ve Chen, G.H., (2014). "Intelligent Fusion of Wi-Fi and Inertial Sensor-Based Positioning Systems for Indoor Pedestrian Navigation", *IEEE Sensors Journal*, 14(11): 4034-4042.
- [50] Correa, A., Munoz Diaz, E., Bousdar Ahmed, D., Morell, A. ve Lopez Vicario, J., (2016). "Advanced Pedestrian Positioning System to Smartphones and Smartwatches", *Sensors*, 16(11), 1-18.
- [51] Naguib, A., Pakzad, P., Palanki, R., Poduri, S. ve Chen, Y., (2013). "Scalable and Accurate Indoor Positioning on Mobile Devices", 2013 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, 28-31 October 2013, Montbeliard-Belfort, France.
- [52] Chen, Z., Zou, H., Jiang, H., Zhu, Q., Soh, Y.C. ve Xie, L., (2015). "Fusion of WiFi, Smartphone Sensors and Landmarks Using the Kalman Filter for Indoor Localization", *Sensors*, 15(1): 715-732.
- [53] İlçi, V., Güllal, E., Çizmeci, H., Coşar, M. ve Alkan, R.M., (2016). "RSS-Based Indoor Positioning with Weighted Iterative Nonlinear Least Square Algorithm", The Twelfth International Conference on Wireless and Mobile Communications (ICWMC 2016), 13-17 November 2016, Barcelona, Spain, 106-109.
- [54] Wang, W., Ma, H., Wang, Y. ve Fu, M., (2015). "Performance analysis based on least squares and extended Kalman filter for localization of static target in wireless sensor networks", *Ad Hoc Networks*, 25(A): 1-15.
- [55] Wang, J., Prasad, R.V., An, X. ve Niemegeers, I.G.M.M., (2012). "A study on wireless sensor network based indoor positioning systems for context-aware applications", *Wireless Communications & Mobile Computing*, 12(1): 53-70.
- [56] Yang, C. ve Shao, H., (2015). "WiFi-Based Indoor Positioning", *IEEE Communications Magazine*, 53(3): 150-157.
- [57] Li, B., Dempster, A.G. ve Wang, J., (2011). "3D DOPs for positioning applications using range measurements", *Wireless Sensor Network*, 3(10): 334-340.
- [58] Bose, A. ve Foh, C.H., (2007). "A practical path loss model for indoor WiFi positioning enhancement", 2007 6th International Conference on Information, Communications & Signal Processing (ICICS 2007), 10-13 December 2007, Nanyang, Singapore, 1-5.
- [59] Jie, C., (2011). "RSSI-based indoor mobile localization in wireless sensor network", *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, 5(7): 408-416.
- [60] Barsocchi, P., Chessa, S., Micheli, A. ve Gallicchio, C., (2013). "Forecast-Driven Enhancement of Received Signal Strength (RSS)-Based Localization Systems", *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2(4): 978-995.
- [61] Yi, P., Yu, M., Zhou, Z., Xu, W., Zhang, Q. ve Zhu, T., (2014). "A Three-Dimensional Wireless Indoor Localization System", *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2014(2014):1-13.

- [62] Koo, J. ve Cha, H., (2011). "Localizing WiFi Access Points Using Signal Strength", *IEEE Communications Letters*, 15(2): 187-189.
- [63] Fan, W., Ahmadi, M. ve Xue, F., (2014). "Radio Propagation Characteristics of Indoor Location System Based on RSSI at 490 Mhz", *Journal of Circuits Systems and Computers*, 23(7):1-16.
- [64] Xiao, F., Wu, M.T., Huang, H., Wang, R. ve Wang, S., (2012). "Novel Node Localization Algorithm Based on Nonlinear Weighting Least Square for Wireless Sensor Networks", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2012:1-6.
- [65] Shen, X.S. ve Lu, M., (2012). "A framework for indoor construction resources tracking by applying wireless sensor networks", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 2012, 39(9): 1083-1088.
- [66] Ciurana, M., Barcelo-Arroyo, F. ve Cugno, S., (2009). "Tracking mobile targets indoors using WLAN and time of arrival", *Computer Communications*, 32(13-14): 1552-1558.
- [67] Tarrio, P., Bernardos, A.M. ve Casar, J.R., (2011). "Weighted Least Squares Techniques for Improved Received Signal Strength Based Localization", *Sensors*, 11(9): 8569-8592.
- [68] Razavi, A., Valkama, M. ve Lohan, E.S., (2016). "Robust Statistical Approaches for RSS-Based Floor Detection in Indoor Localization", *Sensors*, 16(6):1-17.
- [69] Tarrio, P. Bernardos, A.M. ve Casar, J.R., (2007). "An RSS localization method based on parametric channel models", 2007 International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM 2007), 14-20 October 2007, Valencia, Spain, 265-270.
- [70] Tarrio, P., Bernardos, A.M. ve Casar, J.R., (2012). "An Energy-Efficient Strategy for Accurate Distance Estimation in Wireless Sensor Networks", *Sensors*, 12: 15438-15466.
- [71] Desimone, R., Brito, B.M. ve Baston, J., (2015). "Model of indoor signal propagation using log-normal shadowing", *Systems, Applications and Technology*, 2015 IEEE Long Island, 1 May 2015, 1-4.
- [72] Seybold, J.S., (2005). *Introduction to RF propagation*, Hoboken, NJ: Wiley.
- [73] Zhuang, Y., Wright, B., Syed, Z., Shen, Z. ve El-Sheimy, N., (2014). "Fast WiFi Access Point Localization and Autonomous Crowdsourcing", 2014 Ubiquitous Positioning Indoor Navigation and Location Based Service (UPINLBS), 21-24 November 2014, Texas, USA, 272-280.
- [74] Lim, S.Y., Yun, Z. ve Iskander, M.F., (2014). "Propagation measurement and modeling for indoor stairwells at 2.4 and 5.8 GHz", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 62(9): 4754-4761.
- [75] Huang, J.Y., Liu, P., Lin, W. ve Gui, G., (2016). "RSS-Based Method for Sensor Localization with Unknown Transmit Power and Uncertainty in Path Loss Exponent", *Sensors*, 16(9):1-20.

- [76] ITU-R, (2015). Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz, Electronic Publication, Geneva, 2015.
- [77] Sarkar, T.K., Ji, Z., Kim, K., Medouri, A. ve Salazar-Palma, M., (2003). "A survey of various propagation models for mobile communication", IEEE Antennas and Propagation Magazine, 45(3): 51-82.
- [78] Naik, U. ve Bapat, V.N., (2014). "Adaptive Empirical Path Loss Prediction Models for Indoor WLAN", Wireless Personal Communications, 79(2): 1003-1016.
- [79] Tarrio, P., Bernardos, A.M., Besada, J.A. ve Caser, J.R., (2008). "A New Positioning Technique for RSS-Based Localization Based on a Weighted Least Squares Estimator", 2008 IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS 2008), 21-24 October 2008, Reykjavik, Iceland, 358-362.
- [80] Seidel, S.Y. ve Rappaport, T.S., (1992). "914 Mhz Path Loss Prediction Models for Indoor Wireless Communications in Multifloored Buildings", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 40(2): 207-217.
- [81] Nurminen, H., Talvitie, J., Ali-Loytty, S., Muller, P., Lohan, E.S., Piche, R. ve Renfors, M., (2012). "Statistical path loss parameter estimation and positioning using RSS measurements", 2012 Ubiquitous Positioning, Indoor Navigation, and Location Based Service (UPINLBS), 3-4 October 2012, Helsinki, Finland.
- [82] Lau, E.E.L., Lee, B.G., Lee, S.C. ve Chung, W.Y., (2008). "Enhanced RSSI-Based High Accuracy Real-Time User Location Traching System for Indoor and Outdoor Environments", International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, 1(2): 534-548.
- [83] Vui, L.C. ve Nordin, R., (2014). "Lateration Technique For Wireless Indoor Positioning in Single-Storey and Multi-Storey Scenarious", Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 68(3): 670-675.
- [84] Yim, J., Jeong, S., Joo, J. ve Park, C., (2008). "Development of kalman filters for wlan based tracking", International Conference on Future Generation Communication and Networking (FGCN 2008), 13-15 December 2008, Hainan Island, China, 1-6.
- [85] Yim, J., Park, C., Joo, J. ve Jeong, S., (2008). "Extended Kalman filter for wireless LAN based indoor positioning", Decision Support Systems, 45(4): 960-971.
- [86] Zhuang, Y., Syed, Z., Georgy, J. ve El-Sheimy, N., (2015). "Autonomous smartphone-based WiFi positioning system by using access points localization and crowdsourcing", Pervasive and Mobile Computing, 18: 118-136.
- [87] Cota-Ruiz, J., Rosiles, J.G., Sifuentes, E. ve Rivas-Perea, P., (2012). "A Low-Complexity Geometric Bilateration Method for Localization in Wireless Sensor Networks and Its Comparison with Least-Squares Methods", Sensors, 12(1): 839-862.
- [88] Li, X. Hua, B. Shang, Y. Cu, Y. ve Yue, L.G.H., (2007). "Bilateration: An attack-resistant localization algorithm of wireless sensor network", Embedded and

- Ubiquitous Computing, In: Kuo T.W., Sha E., Guo M., Yang L.T., Shao Z. (eds) Embedded and Ubiquitous Computing (EUC2007), 4808: 321-332.
- [89] Li, X., Hua, B., Shang, Y. ve Xiong, Y., (2008). "A robust localization algorithm in wireless sensor networks", *Frontiers of Computer Science in China*, 2(4): 438-450.
 - [90] Pathak, O., Palaskar, P., Palkar, R. ve Tawari, M., (2014). "Wi-Fi Indoor Positioning System Based on RSSI Measurements from Wi-Fi Access Points—A Trilateration Approach", *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 5(4): 1234-1238.
 - [91] Yim, J., (2014). "Development of Web Services for WLAN-based Indoor Positioning and Floor Map Repositories", *International Journal of Control and Automation*, 7(3): 63-74.
 - [92] Wang, B., Zhou, S., Liu, W. ve Mo, Y., (2015). "Indoor Localization Based on Curve Fitting and Location Search Using Received Signal Strength", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(1): 572-582.
 - [93] Liu, H.H., Lo, W.H., Tseng, C.C. ve Shin, H.Y., (2014). "A WiFi-Based Weighted Screening Method for Indoor Positioning Systems", *Wireless Personal Communications*, 79(1): 611-627.
 - [94] Wang, Y., (2015). "Linear least squares localization in sensor networks", *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, 2015:51.
 - [95] Shchekotov, M., (2014). "Indoor Localization Method Based on Wi-Fi Trilateration Technique", *Proceeding of the 16th conference of fruct association 2014*, 177-179.
 - [96] Kalman, R.E., (1960). "A new approach to linear filtering and prediction problems", *Journal of basic Engineering*, 82(1): 35-45.
 - [97] Gülal, E., (2012). "Mühendislik Jeodezisinde Sistem Analizi", YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Geomatik Programı, Ders Notları, (Basılmamış).
 - [98] Khan, R., Sottile, F. ve Spirito, M.A., (2013). "Hybrid Positioning through Extended Kalman Filter with Inertial Data Fusion", *International Journal of Information and Electronics Engineering*, 3(1): 127-131.
 - [99] Welch, G. ve Bishop, G., (2006). "An introduction to the kalman filter", 1995.
 - [100] Gülal, E. ve Heunecke, O., (2001). "Some New Aspects in the Geodetic Monitoring of Engineering Structures", *Fourth Turkish-German Joint Geodetic Days*, 3-6 April 2001, Berlin, Germany.
 - [101] Caceres, M.A., Sottile, F. ve Spirito, M., (2009). "Adaptive Location Tracking by Kalman Filter in Wireless Sensor Networks", *2009 IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob 2009)*, 12-14 October 2009, Marrakech, Morocco, 123-128.
 - [102] Gülal, E., Hoşbaş, R.G. ve Uzel, T., (1996). "Kinematik Deformasyon Analizinde Kalman Filtreleme Tekniği", *Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi*, 1996(3-4): 31-37.

- [103] Deng, Z.A., Hu, Y., Yu, J. ve Na, Z., (2015). "Extended Kalman Filter for Real Time Indoor Localization by Fusing WiFi and Smartphone Inertial Sensors", *Micromachines*, 6(4): 523-543.
- [104] Gülal, E., (1999). "Kalman Filtreleme Tekniğinin Deformasyon Analizinde Uygulanması", *Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi*, 1999(1): 11-19.
- [105] Poyraz, F. ve Gülal, E., (2007). "Integration of theoretical and the empirical deformations by KALMAN-Filtering in the North Anatolia Fault Zone", *Natural Hazards and Earth System Science*, 7: 683-693.
- [106] Shareef, A. ve Zhu, Y., (2009). "Localization using extended Kalman filters in wireless sensor networks", *Kalman Filter: Recent Advances and Applications* (2009): 297-320.
- [107] Mardeni, R. ve Solahuddin, Y., (2012). "Path loss model development for indoor signal loss prediction at 2.4 GHz 802.11n network", *2012 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT)*, 5-8 May 2012, Shenzhen, China.
- [108] Niu, X., Li, M., Cui, X., Liu, J., Liu, S. ve Chowdhury, K.R., (2014). "WTrack: HMM-based walk pattern recognition and indoor pedestrian tracking using phone inertial sensors", *Personal and Ubiquitous Computing*, 18(8): 1901-1915.
- [109] Nguyen, L.V. ve La, H.M., (2016). "Real-Time Human Foot Motion Localization Algorithm With Dynamic Speed", *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 46(6): 822-833.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Veli İLÇİ
Doğum Tarihi ve Yeri : 15.11.1982 - Bakırköy
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : veliilci@hitit.edu.tr / veliilci@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Harita Mühendisliği	Afyon Kocatepe Üniversitesi	2013
Lisans	Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği	İstanbul Teknik Üniversitesi	2006
Lise	Düz lise	Halkalı Toplu Konut Lisesi	2000

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010-2012	Aksa Afyon Doğalgaz Dağıtım A.Ş.	Yapım-İşletme Şefi
2008-2010	İMA İnşaat	Şantiye Şefi
2007-2008	Karaca İnşaat	Harita Mühendisi
2006-2007	Seçkin Harita	Harita Mühendisi
2005-2006	Uğur Harita	Harita Mühendisi



YAYINLARI

Makale

1. **İlçi, V.**, Gülal, E. and Alkan, R.M. "An investigation of different Wi-Fi signal behaviours and their effects on indoor positioning accuracy", Survey Review, 1-8, (2017), (SCI&SCI-E).
2. Gökgöz, T., Hacı, M., Memduhoğlu, A., **İlçi, V.**, Karabulut, M.F., Tekin, A.C. and Özerdem, Ö.Z. "An Experimental Study on Map Projection Transformation Using GIS Tools", Sigma J Eng & Nat Sci, 35(1), 101-117, (2017). (ESCI).
3. Coşar, M., Tombuş, F.E., Ozulu, İ.M., **İlçi, V.**, "Dış Ortam Kablosuz Networklerde Uygun Sinyal Dağılımının Görünürlük Analizi Yöntemiyle Belirlenmesi", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 21(1), Şubat 2017. doi:10.16984/saufenbilder.24070
4. Alkan, R.M., Ozulu, İ.M. and **İlçi, V.** "Accuracy Comparison Of Online GNSS PPP, Analyzing Web Positioning Services' Performance in Marine Environment", Sea Technology, 57(5), pp.37-39, (2016) (SCI&SCI-E).
5. Alkan, R.M., **İlçi, V.** and Ozulu, İ.M. "Accuracy Comparison of PPP Using GPS-only and Combined GPS+GLONASS Satellites in Urban Area: A Case Study in Çorum", Journal of the Arab Institute of Navigation - AIN Journal, 32, 7-12,(2015).
6. Erdogan, S., **İlçi, V.**, Soysal, O. M. and Korkmaz, A. "A Model Suggestion for the Determination of the Traffic Accident Hotspots on the Turkish Highway Road Network: A Pilot Study", Boletim de Ciencias Geodesicas, pp.169-188 (2015) (DOI: 10.1590/S1982-21702015000100011).
7. Alkan, R.M., **İlçi, V.**, Ozulu, İ.M. and Saka, M.H. "A Comparative Study for Accuracy Assessment of PPP Technique Using GPS and GLONASS in Urban Areas", Measurement, (2015) (SCI&SCI-E)(DOI: 10.1016/j.measurement.2015.03.012).

8. Alkan, R.M, Ozulu, I.M., **İlçi, V.**, Tombus, F.E and Sahin, M. "TUSAGA A-ktif and WEB- based onlie PPP Services: A case study in Çorum", Coordinates, X (04), 20-28, (2014).
9. Alkan, R.M., **İlçi, V.**, Ozulu, İ. M., Tombuş, F.E., Şahin, M. ve Arslan, E. "Hassas Kible Tayini", Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi (AKÜ FEMÜBİD), 16(3), 665-673, (2016) (TÜBİTAK ULAKBİM-TR Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı) doi: 10.5578/fmbd.40385
10. **İlçi,V.** ve Ozulu, İ. M. "PPP Yönteminin Arkeolojik Amaçlı Ölçme Uygulamalarında Kullanabilirliği: Şapinuva Kazı Alanı Örneği". Harita Teknolojileri Elek. Der., 8(3),1-9, (2016). (TÜBİTAK ULAKBİM-TR Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı)
11. Yavasoglu, H., Alkan, M.N. Alkan., Ozulu, I.M., **İlçi, V.**, Tombus, F.E., Aladogan, K., Sahin, M., Tiryakioglu, I., Kivrak, S.O., "Recent tectonic features of the central part (Bolu-Corum) of the North Anatolian Fault", Hittite Journal of Science and Engineering, 2015, 2 (1) 77-83. DOI: 10.17350/HJSE190300000011
12. Alkan, R.M., Ozulu, I.M. ve **İlçi, V.** "Deniz Uygulamalarında Hassas Nokta Konumlama Tekniğinin (PPP) Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma", Harita Dergisi, 154, 1-8, (2015).
13. Alkan, R.M, **İlçi, V.**ve Ozulu, İ.M. "PPP Yönteminde GPS ve GLONASS Uydularının Kullanımının Nokta Konum Doğruluğuna Etkisinin Araştırılması", Harita Teknolojieri Elektronik Dergisi, 6(2), 27-34, (2014).

Bildiri

1. **İlçi, V.**, Gulal, E. V., Cizmeci, H., Cosar, M. and Alkan, R.M. "RSS-Based Indoor Positioning with Weighted Iterative Nonlinear Least Square Algorithm", The Twelfth International Conference on Wireless and Mobile Communications-ICWMC 2016, Barcelona, Spain, November 13-17, (2016), 106-109.
2. **İlçi, V.**, Gulal, V.E., Alkan, R.M. and Cizmeci, H. "Trilateration Technique for WiFi-Based Indoor Localization", The Eleventh International Conference on Wireless and Mobile Communications-ICWMC 2015, Malta, October 11-16, (2015).
3. **İlçi, V.**, Gülal, E. V., Çizmeci, H., Coşar, M. ve Alkan, R.M. "Wifi Tabanlı Kapalı Mekân Konumlama Sistemlerinde Sinyal Davranışlarının İncelenmesi", 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 19-21 Ekim, (2016).
4. Gulal, V.E., Alkan, R.M., Alkan, M.N., **İlçi, V.**, Ozulu, I.M., Tombus, F.E., Kose, Z., Aladogan, K., Sahin, M., Yavasoglu, H., and Oku, G. "Measurement of Dam Deformations: Case Study of Obruk Dam (Turkey)", EGU General Assembly 2016, Geophysical Research Abstracts, Vol. 18, EGU2016-8959, Vienna, Austria, 17-22 April, (2016) (Abstract).
5. Alkan, R.M., **İlçi, V.**, Ozulu, I.M., Tombus, F.E., Sahin, M. and Arslan, E. "Qibla Determination by Using GNSS: A Case Study in Corum City", IAG Commission 4 Positioning and Applications Symposium, Wroclaw, Poland, September 4-7, (2016) (Poster).
6. Alkan, R.M., Ozulu, I.M. and **İlçi, V.** "Precise Point Positioning (PPP) Technique versus Network RTK GNSS", Proc. on FIG Working Week 2016, Christchurch, New Zealand, 2-6 May, (2016).
7. Alkan, R.M., **İlçi, V.** and Ozulu, I.M. "Web-based GNSS Data Processing Services as an Alternative to Conventional Processing Technique", Proc. on FIG Working Week 2016, Christchurch, New Zealand, 2-6 May, (2016).

8. Saka, M.H., Ozulu, İ.M., **İlçi, V.** and Alkan, R.M. "Comparing the Results of Self-differential and Precise Point Positioning in Kinematic Applications", 2016 European Navigation Conference-ENC 2016, Helsinki, Finland, 30 May – 02 June (2016) (Poster).
9. Yavasoglu, H, Alkan, M.N, Aladogan, K., Ozulu, I.M, **İlçi, V.**, Sahin, M., Tombus, F.E, Tiryakioglu, I. "İsmetpasa and Destek Regions: Creeping or Accumulating Strain", European Geosciences Union General Assembly(EGU2016), Vienna, Austria, 17-22 April, (2016) (Poster).
10. Alkan, R.M, Ozulu, I.M, **İlçi, V.** and Kahveci, M. "Single-baseline RTK GNSS Positioning for Hydrographic Surveying", European Geosciences Union General Assembly (EGU 2015), Vienna, Austria, 12-17 April, (2015) (Poster).
11. Alkan, R.M, Ozulu, I.M, **İlçi, V.**, Tombus, F.E, and Sahin, M. "Usability of GNSS Technique for Cadastral Surveying", World Cadastre Summit (WCS 2015), Istanbul, Turkey, 20-24 April, (2015).
12. Alkan, R.M, Ozulu, I.M and **İlçi, V.** "PPP Usability at Dynamic Environment", European Navigation Conference (ENC--GNSS 2014), Rotterdam, Netherlands, 15-17 April, (2014).
13. **İlçi, V.**, Alkan, R.M., and Ozulu, I.M, "Performance Analysis of PPP Technique Using GPS--only and GPS+GLONASS in Urban Environment", Abstract Book of the Melaha Conference 2014 Resilience Navigation, p. 41, Alexandria, Egypt, 1--3 September, (2014) (Abstract).
14. Alkan, R.M, **İlçi, V.**, Tombus, F.E, Ozul, I.M, Sahin, M. "Performance Analysis of CORS Systems: A Case Study in Corum", Proc. of the European Navigation Conference 2013 - -ENC2013, Vienna, Austria, 23--25 April, (2013) (Poster).
15. Alkan, R.M., Ozulu, I.M, Tombus, F.E, **İlçi, V.** and Sahin, M. "Comparison of Online-PPP Service and Network RTK GPS (TUSAGA--Active)", Proc. of International

Symposium on Global Navigation Satellite Systems 2013 -ISGNSS-2013, İstanbul, Turkey, 2-2-25 October, (2013) (Poster).

16. Alkan, R.M., Gülal, E., İlçi, V., Ozulu, İ.M., Alkan, M.N., Köse, Z., Aladoğan, K., Tombuş, F.E. Şahin, M., Yavaşoğlu, H., Oku, G. "Obruk Barajı Deformasyon Ölçmeleri ", 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 19-21 Ekim, (2016).
17. Alkan, R.M., İlçi, V., Ozulu, İ.M., Tombuş, F.E. Şahin, M., Arslan, E. "Camilerin Hassas Kible Tayini İçin Bazı Yöntem Önerileri", 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 19-21 Ekim, (2016)
18. Alkan, R.M, İlçi, V. ve Ozulu, İ.M. "GLONASS Uydularının Nokta Konum Doğruluğuna Etkisinin Araştırılması: Çorum Örneği", 7. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Çorum, 15--17 Ekim, (2014).
19. Yavaşoğlu, H. , Alkan, M.N., Ozulu, İ.M., İlçi, V., Tombuş, F.E., Aladoğan, K., Şahin, M., "Kuzey Anadolu Fayı Bolu-Çorum Segmenti Boyunca Oluşan Yerkabuğu Hareketlerinin GPS Yöntemiyle İzlenmesi", 7.Ulusal Mühendislik Ölçme Sempozyumu, Çorum, 15-17 Ekim, (2014)

Kitap

1. Alkan, R.M., Ozulu, İ.M., **İlçi, V.**, Tombuş, F.E. and Şahin, M. (2017). Cadastre: Geo-Information Innovations in Land Administration. Chapter 8: Usability of GNSS Technique for Cadastral Surveying, Yomralioglu, T. and McLaughlin, J. (Eds.),Springer International Publishing, New Delhi, ISBN 978-3-319-51215-0, pp. 77-91.

Proje

1. Wi Fi Tabanlı Kapalı Mekân Konumlamada Trilaterasyon Tekniğinin Kullanılması / Hitit Üniversitesi BAP Birimi / Araştırmacı

2. Büyük Yerleşkelerde, İç ve Dış Ortam Kablosuz (Wifi) Network Sistemlerinin Optimum Sinyal Dağılımlarının Tasarımı / Hitit Üniversitesi BAP Birimi / Araştırmacı
3. Obruk Barajı Örneğinde Baraj Deformasyonlarının Farklı Ölçme Yöntemleri İle İzlenmesi ve Doğruluk Analizi / Hitit Üniversitesi BAP Birimi / Araştırmacı
4. Kuzey Anadolu Fayı Bolu-Çorum Segmenti Boyunca Oluşan Yerkabuğu Hareketlerinin GPS Yöntemiyle İzlenmesi / Hitit Üniversitesi BAP Birimi / Araştırmacı

ÖDÜLLERİ

1. Best Paper Award, 'Trilateration Technique for WiFi-Based Indoor Localization' / International Academy, Research, and Industry Association/2015