

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KONUM TESPİTİNDE YOL KAYBI MODELLERİNİN  
PERFORMANS ANALİZİ**

**KÜBRA NİLGÜN KARACA**

**KOCAELİ 2018**

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KONUM TESPİTİNDE YOL KAYBI MODELLERİNİN  
PERFORMANS ANALİZİ

KÜBRA NİLGÜN KARACA

Doç. Dr. Kerem KÜÇÜK  
Danışman, Kocaeli Üniversitesi  
Prof. Dr. Adnan KAVAK  
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi  
Doç. Dr. Ali ÇALHAN  
Jüri Üyesi, Düzce Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 25.06.2018

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Teknolojinin hızlı gelişimi ve internetin hayatımızın önemli bir parçası haline gelmesiyle Nesnelerin İnterneti (Internet of Things, IoT) kavramı hayatımıza girmiş ve artan teknolojik ihtiyaçlar IoT'nin önemini hızla arttırmıştır. IoT dünyasındaki hareketli cihazların sayısı arttıkça da bu cihazların ve bu cihazları kullanan kullanıcıların konumlarının tespiti önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Küresel Konumlanma Sistemi'nin (Global Positioning System, GPS) konum tespitinde her koşulda kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayamaması sebebiyle, GPS'e ihtiyaç duymayan konum tespiti sistemlerinin IoT'ye önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında GPS'ten faydalanmadan, kablosuz sinyallerin şiddetlerinin ölçülmesi ile hareketli cihazların konumlarının tespit edilmesi üzerinde çalışılmış, mevcut yöntemlerde kullanılan modeller karşılaştırılarak IoT'nin konum tespiti ihtiyacının karşılanmasına katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca bilgi birikimini benimle paylaşan, bana her zaman sabırla rehberlik eden, danışmanın Sayın Doç. Dr. Kerem KÜÇÜK'e saygılarımı ve teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Beni bugünlere getiren ve sürekli yanımda olan çok değerli babam Sinan ve annem Nazife'ye, desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen sevgili ağabeyim Ali Baybars ve ablam Sina Güzin'e, çalışmalarım sırasında beni motive eden ve yardımları ile her zaman yanımda olduğunu bana hissettiren değerli eşim Abdulkerim'e, varlığıyla bana moral kaynağı olan ve yakında doğacak olan kızım Şerife Nalan'a, sevgilerimi ve teşekkürlerimi içtenlikle sunarım.

Haziran - 2018

Kübra Nilgün KARACA

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
TABLOLAR DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÖZET .....	ix
ABSTRACT .....	x
GİRİŞ .....	1
1. KONUM TESPİTİ VE YOL KAYBI MODELLERİ .....	6
1.1. Konum Tespiti .....	7
1.2. Yol Kaybı Modelleri .....	9
1.3. Çoklu Laterasyon .....	13
1.4. Kullanılan Yöntem .....	17
2. SİSTEM MİMARİSİ .....	19
2.1. Deney Düzenekleri .....	19
2.2. Deney Ekipmanları .....	21
2.2.1. Verici cihaz .....	22
2.2.1.1. Cihaz seçimi .....	22
2.2.1.2. Geliştirme ortamı .....	22
2.2.1.3. ESP8266-12E uygulama tasarımı .....	23
2.2.2. Alıcı cihaz .....	24
2.2.2.1. Cihaz seçimi .....	24
2.2.2.2. Geliştirme ortamı .....	25
2.2.2.3. Android uygulama tasarımı .....	25
2.2.3. Diğer ekipmanlar .....	29
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE ANALİZ .....	31
3.1. Mesafe Kestirimi Deneyleri .....	31
3.1.1. Deney parametreleri .....	31
3.1.1.1. Örnek sayısı .....	34
3.1.1.2. Örnekleme oranı .....	37
3.1.1.3. Günün saati .....	40
3.1.1.4. Engeller .....	43
3.1.2. Dış mekân ve iç mekân karşılaştırması .....	46
3.1.3. Yol kaybı modellerinin uygulanması .....	47
3.1.4. Katsayı karşılaştırmaları ve r kare değerleri .....	48
3.1.4.1. Model 1 .....	49
3.1.4.2. Model 2 .....	51
3.1.4.3. Model 3 .....	53
3.1.5. Model karşılaştırmaları ve r kare değerleri .....	55
3.2. Konum Tespiti Deneyleri .....	57
3.2.1. Ölçümler .....	57
3.2.2. Yol kaybı modellerin uygulanması .....	58
3.2.3. Çoklu laterasyon yönteminin uygulanması .....	59
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	74
KAYNAKLAR .....	77
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	81



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil A.1.	IoT Ekosistemi .....	1
Şekil A.2.	Dünya genelinde IoT'ye bağlı cihazların yıllara göre yaklaşık sayıları .....	2
Şekil A.3.	İngiltere, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya ve Japonya'da IoT'ye bağlı cihazların 2020 yılına kadar kullanım alanlarına göre dağılım beklentisi .....	3
Şekil 1.1.	Konum sistemlerinin sınıflandırılması .....	8
Şekil 1.2.	Tek alıcı ile laterasyon .....	14
Şekil 1.3.	İki alıcı ile laterasyon .....	14
Şekil 1.4.	Üç alıcı ile laterasyon .....	15
Şekil 1.5.	Dört alıcı ile laterasyon .....	15
Şekil 1.6.	Verici ve alıcıların koordinat düzlemi üzerinde gösterimi .....	16
Şekil 2.1.	Temsili birinci deney düzeneği .....	19
Şekil 2.2.	Temsili ikinci deney düzeneği 4m x 4m .....	20
Şekil 2.3.	Temsili ikinci deney düzeneği 6m x 6m .....	21
Şekil 2.4.	NodeMCU v3 modülü .....	23
Şekil 2.5.	Android uygulaması: a) bekleme modu b) tarama modu .....	26
Şekil 2.6.	Diğer ekipmanlar: a) üç ayak b) metre c) batarya d) mikro USB kablo e) kutu f) kıyafet .....	29
Şekil 3.1.	NodeMCU v3 modülü ve batarya .....	31
Şekil 3.2.	Dış mekân ölçümleri .....	32
Şekil 3.3.	İç mekân ölçümleri .....	33
Şekil 3.4.	Verici ve alıcı hizaları .....	33
Şekil 3.5.	Örnek sayısı dış mekân RSSI - mesafe grafiği .....	35
Şekil 3.6.	Örnek sayısı iç mekân RSSI - mesafe grafiği .....	35
Şekil 3.7.	Örneklem oranı dış mekân RSSI - mesafe grafiği .....	38
Şekil 3.8.	Örneklem oranı iç mekân RSSI - mesafe grafiği .....	38
Şekil 3.9.	Günün saati dış mekân RSSI - mesafe grafiği .....	41
Şekil 3.10.	Günün saati iç mekân RSSI - mesafe grafiği .....	41
Şekil 3.11.	Engeller: a) kutu engeli b) kıyafet engeli .....	44
Şekil 3.12.	Engeller dış mekân RSSI - mesafe grafiği .....	45
Şekil 3.13.	Engeller iç mekân RSSI - mesafe grafiği .....	45
Şekil 3.14.	Dış mekân ve iç mekân RSSI - mesafe grafiği .....	47
Şekil 3.15.	Dış mekân RSSI - Mesafe grafiği Model 1 katsayı karşılaştırmaları .....	49
Şekil 3.16.	İç mekân RSSI - Mesafe grafiği Model 1 katsayı karşılaştırmaları .....	50
Şekil 3.17.	Dış mekân RSSI - Mesafe grafiği Model 2 katsayı karşılaştırmaları .....	51
Şekil 3.18.	İç mekân RSSI - Mesafe grafiği Model 2 katsayı karşılaştırmaları .....	52
Şekil 3.19.	Dış mekân RSSI - Mesafe grafiği Model 3 katsayı karşılaştırmaları .....	53
Şekil 3.20.	İç mekân RSSI - Mesafe grafiği Model 3 katsayı karşılaştırmaları .....	54
Şekil 3.21.	Dış mekân RSSI - Mesafe grafiği model karşılaştırmaları .....	55
Şekil 3.22.	İç mekân RSSI - Mesafe grafiği model karşılaştırmaları .....	56
Şekil 3.23.	4 m x 4 m konum tespiti ölçüm alanı .....	58

Şekil 3.24. 4 m x 4 m konum tespiti ölçüm alanında verici ve alıcıların konumları .....	59
Şekil 3.25. 4 m x 4 m konum tespiti ölçüm alanının koordinat düzleminde gösterimi .....	60
Şekil 3.26. 6 m x 6 m konum tespiti ölçüm alanı .....	61
Şekil 3.27. 6 m x 6 m konum tespiti ölçüm alanının koordinat düzleminde gösterimi ve verici ile alıcıların konumları .....	61
Şekil 3.28. 4 m x 4 m ölçüm alanında (0, 1) noktası konum tahminleri .....	62
Şekil 3.29. 4 m x 4 m ölçüm alanında (1, 1) noktası konum tahminleri .....	63
Şekil 3.30. 4 m x 4 m ölçüm alanında (1, 2) noktası konum tahminleri .....	64
Şekil 3.31. 4 m x 4 m ölçüm alanında (1, 3) noktası konum tahminleri .....	65
Şekil 3.32. 4 m x 4 m ölçüm alanında (1, 4) noktası konum tahminleri .....	66
Şekil 3.33. 4 m x 4 m ölçüm alanında (2, 3) noktası konum tahminleri .....	67
Şekil 3.34. 4 m x 4 m ölçüm alanında (2, 4) noktası konum tahminleri .....	68
Şekil 3.35. 6 m x 6 m ölçüm alanında (2, 2) noktası konum tahminleri .....	69
Şekil 3.36. 6 m x 6 ölçüm alanında (3, 3) noktası konum tahminleri .....	70
Şekil 3.37. 6 m x 6 m ölçüm alanında (3, 6) noktası konum tahminleri .....	71
Şekil 3.38. 6 m x 6 m ölçüm alanında (4, 1) noktası konum tahminleri .....	72

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Deney parametreleri: örnek sayısı.....	34
Tablo 3.2. Standart sapmalar: örnek sayısı.....	36
Tablo 3.3. Deney parametreleri: örnekleme oranı.....	37
Tablo 3.4. Standart sapmalar: örnekleme oranı.....	39
Tablo 3.5. Deney parametreleri: günün saati.....	40
Tablo 3.6. Standart sapmalar: günün saati.....	42
Tablo 3.7. Deney parametreleri: engeller.....	43
Tablo 3.8. Standart sapmalar: engeller.....	46
Tablo 3.9. Dış mekân Model 1 r kare değerleri.....	49
Tablo 3.10. İç mekân Model 1 r kare değerleri.....	50
Tablo 3.11. Dış mekân Model 2 r kare değerleri.....	51
Tablo 3.12. İç mekân Model 2 r kare değerleri.....	52
Tablo 3.13. Dış mekân Model 3 r kare değerleri.....	53
Tablo 3.14. İç mekân Model 3 r kare değerleri.....	54
Tablo 3.15. Dış mekân r kare değerleri model karşılaştırmaları.....	55
Tablo 3.16. İç mekân r kare değerleri model karşılaştırmaları.....	56
Tablo 3.17. 4 m x 4 m konum tespitinde (0, 1) noktası model tahminleri.....	62
Tablo 3.18. 4 m x 4 m konum tespitinde (1, 1) noktası model tahminleri.....	63
Tablo 3.19. 4 m x 4 m konum tespitinde (1, 2) noktası model tahminleri.....	64
Tablo 3.20. 4 m x 4 m konum tespitinde (1, 3) noktası model tahminleri.....	65
Tablo 3.21. 4 m x 4 m konum tespitinde (1, 4) noktası model tahminleri.....	66
Tablo 3.22. 4 m x 4 m konum tespitinde (2, 3) noktası model tahminleri.....	67
Tablo 3.23. 4 m x 4 m konum tespitinde (2, 4) noktası model tahminleri.....	68
Tablo 3.24. 6 m x 6 m konum tespitinde (2, 2) noktası model tahminleri.....	69
Tablo 3.25. 6 m x 6 m konum tespitinde (3, 3) noktası model tahminleri.....	70
Tablo 3.26. 6 m x 6 m konum tespitinde (3, 6) noktası model tahminleri.....	71
Tablo 3.27. 6 m x 6 m konum tespitinde (4, 1) noktası model tahminleri.....	72
Tablo 3.28. 4 m x 4 m konum tespitinde en iyi tahmini yapan modeller.....	73
Tablo 3.29. 6 m x 6 m konum tespitinde en iyi tahmini yapan modeller.....	73



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

c	: ışık hızı, (m/s)
d	: mesafe, (m)
$d_R$	: Rayleigh mesafesi, (m)
f	: frekans, ( $s^{-1}$ )
G	: verici ile alıcının toplam anten kazancı, (dBi)
$G_r$	: alıcının anten kazancı, (dBi)
$G_t$	: vericinin anten kazancı, (dBi)
$L_a$	: antenin en büyük boyutu
n	: yol kaybı katsayısı
$P_G$	: yol kazancı, (dBm)
$P_L$	: yol kaybı, (dBm)
$P_r$	: alıcının sinyal gücü, (dBm)
$P_t$	: vericinin sinyal gücü, (dBm)
$P_0$	: referans mesafede vericinin sinyal gücü, (dBm)
RSSI	: vericinin sinyal gücü, (dBm)
offset	: dengeleyici sinyal gücü, (dBm)
r	: yarıçap, (m)
v	: hız, (m/s)
$X_\sigma$	: standart normal dağılım etkisi
$\lambda$	: dalga boyu, (m)

## Kısaltmalar

AoA	: Angle of Arrival (Geliş Açısı)
DoA	: Direction of Arrival (Geliş Yönü)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlanma Sistemi)
GSM	: Global System for Mobile Communications (Mobil İletişim İçin Küresel Sistem)
GSMA	: Global System for Mobile Communications Association (Mobil İletişim İçin Küresel Sistem Birliği)
HSPA	: High Speed Packet Access (Yüksek Hızlı Paket Erişimi)
IDE	: Integrated Development Environment (Entegre Geliştirme Ortamı)
IEEE	: Institute of Electronic and Electrical Engineers (Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
IoT	: Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
ITU	: International Telecommunication Union (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği)
LoS	: Line of Sight (Görüş Hattı)
LTE	: Long Term Evolution (Uzun Vadeli Evrim)
NFC	: Near Field Communication (Yakın Mesafe İletişimi)
RF	: Radio Frequency (Radyo Frekansı)
RFID	: Radio Frequency Identification (Radyo Frekansı ile Tanımlama)
RSS	: Received Signal Strength (Alınan Sinyal Gücü)
RSSI	: Received Signal Strength Indicator (Alınan Sinyal Gücü İşareti)
SSID	: Service Set Identifier (Servis Seti Tanımlayıcısı)
TDoA	: Time Difference of Arrival (Ulaşma Zamanı Farkı)

ToA : Time of Arrival (Ulaşma Zamanı)  
USB : Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veriyolu)  
WiFi : Wireless Fidelity (Kablosuz Alan)  
WSN : Wireless Sensor Networks (Kablosuz Algılayıcı Ağlar)



## KONUM TESPİTİNDE YOL KAYBI MODELLERİNİN PERFORMANS ANALİZİ

### ÖZET

Hareketli cihazların konum tespiti, dünya genelinde üzerinde yaygın olarak çalışılan bir problemdir ve Nesnelerin İnterneti (Internet of Things, IoT) teknolojisinin hızlı gelişimi sayesinde, maliyet etkin donanımların geliştirilmesiyle beraber önemi giderek artmaktadır. Dış mekân konum tespitinde günümüzde ulaşılan noktada ortak kabul gören sonuca ulaşılmışken, iç mekân konum tespitinde henüz geniş kabul görmüş kabul edilmiş güvenilir bir yöntem bulunmamaktadır.

Dış mekân konum tespitinde Küresel Konumlanma Sistemi (Global Positioning System, GPS) uydularından yararlanılmaktadır. Fakat iç mekân konum tespitinde GPS uydularından yararlanmak her zaman mümkün olmamaktadır. Uydulardan gönderilen GPS sinyalleri iç mekânlarda konum tespitine izin vermeyecek derecede zayıflamaktadır. Aynı zamanda konum tespiti yapılırken mesafe hassasiyetinin çok yüksek olması gerektiği durumlarda GPS teknolojisi yetersiz kalabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, kısa mesafelerde konum tespitinin GPS uydularına ihtiyaç duyulmadan gerçekleştirilebilmesi üzerine çalışılmıştır. Bu amaçla, ESP8266-12E yongası ile Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) 802.11g standardını destekleyen mobil cihazlar kullanılarak mesafe kestirimi ve konum tespiti deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde ESP8266-12E yongası verici, akıllı telefon ise alıcı olarak kullanılmıştır.

Mesafe kestirimi deneylerinde farklı ortam koşullarıyla ölçümler tekrarlanmıştır. Verici tarafından üretilip alıcı tarafından toplanan sinyallerin Alınan Sinyal Gücü İşareti (Received Signal Strength Indicator, RSSI) değerleri Matlab ortamında üç farklı yol kaybı modeli (path loss model) ile işlenerek, mesafe kestirimleri yapılmıştır. Elde edilen teorik mesafeler gerçek mesafeler ile karşılaştırılarak yol kaybı modellerinin mesafe kestirimindeki performansları analiz edilmiştir. Konum tespiti deneylerinde ise birden fazla alıcı kullanılarak ölçümler yapılmış, laterasyon (lateration) yöntemi uygulanarak yol kaybı modellerinin performansları analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bina İçi Konumlandırma, ESP8266, Kablosuz Ağlar, Mobil Programlama, Yol Kaybı Modelleri.

## PERFORMANCE ANALYSIS OF PATH LOSS MODELS FOR LOCALIZATION

### ABSTRACT

Localization of mobile devices is a problem that has widely been studied around the globe and its importance increases while the cost of Internet of Things (IoT) devices decreases thanks to the rapid development of IoT technology. Unlike outdoor localization, there is not a globally accepted and trusted indoor localization method.

For outdoor positioning, Global Positioning System (GPS) satellites are used. However, it is not always possible to use GPS for indoor localization. GPS signals sent from the satellites become too weak for a GPS device to determine its location in indoor places. Another downside of GPS is that it is not very effective on high precision positioning.

In this study, localization methods are studied with short distances for indoor and outdoor environments without using GPS. For this purpose, distance estimation and localization experiments are carried out using ESP8266-12E and mobile devices supporting The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 802.11g standards. During the experiments, ESP8266-12E is used as the transmitter and several smartphones are used as the receivers.

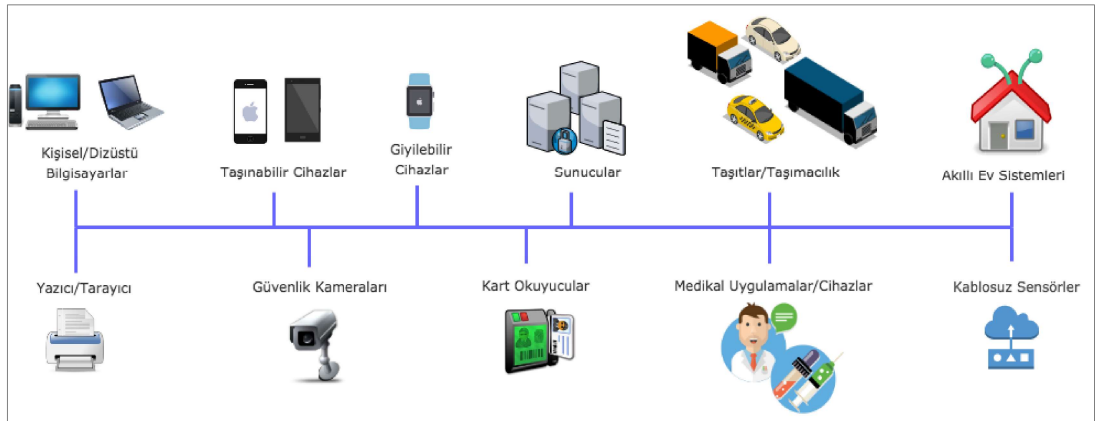
The distance estimation experiments have been repeated under different environmental conditions. In Matlab, for the three different path loss models, distance estimations are calculated based on the RSSI (Received Signal Strength Indicator) values on arriving the receive. By comparing the calculated and the real distance values, the performance of the models in distance estimation has been analyzed. In localization experiments, multiple receivers are used to collect data and lateration methods are used to assess the performance of the models.

**Keywords:** Indoor Localization, ESP8266, Wireless Networks, Mobile Programming, Path Loss Models.

## GİRİŞ

Toplumun ihtiyaçlarına bağlı olarak teknoloji dünyasındaki yeri giderek büyüyen Nesnelerin İnterneti kavramı, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (International Telecommunication Union, ITU) tarafından IoT (Internet of Things, Nesnelerin İnterneti) olarak adlandırılmıştır.

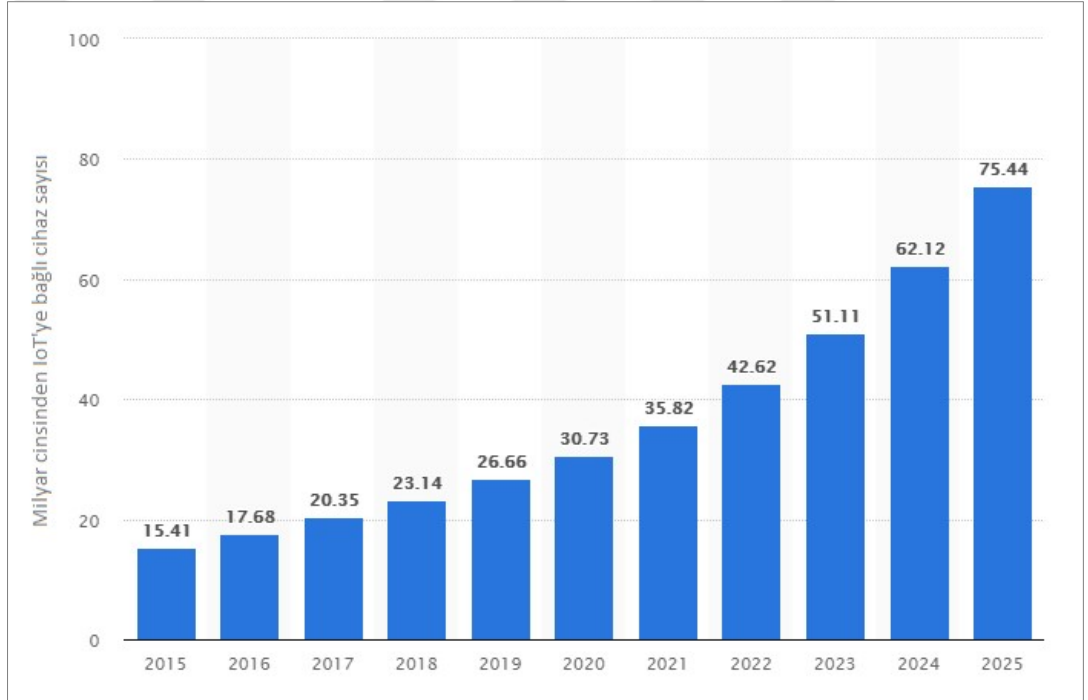
IoT teknolojisi, çevresindeki cihazlar ile haberleşerek ve gerektiğinde veri paylaşımı yaparak akıllı bir ağ oluşturmuş cihazların yaygınlaşması ve bu cihazların birçok uygulamaya dahil edilmesi ile var olmuştur [1]. IoT, Şekil A.1'de verildiği üzere çeşitli cihazların birbirleri ile haberleştiği, akıllı bir ekosistem olarak düşünülebilir [2]. Bu ekosistemde kişisel bilgisayarlar, tabletler, akıllı telefonlar, sunucular, internete bağlı taşıtlar, biyomedikal ekipmanlar, tarayıcılar, yazıcılar, Yakın Mesafe İletişimi (Near Field Communication, NFC) cihazları ve erişim noktaları, Radyo Frekansı ile Tanımlama (Radio Frequency Identification, RFID) cihazı etiketleri ve okuyucuları, video kameralar, kablosuz alıcı düğümleri (wireless sensor nodes), Kablosuz Alan (Wireless Fidelity, WiFi) yönlendiricileri (routers), sağlık hizmetleri cihazları vb. birçok cihaz bulunmaktadır. IoT teknolojisi sayesinde, örneğin aracına ulaşmak isteyen bir araç sahibi akıllı telefonu aracılığı ile bunu gerçekleştirebilmekte, hastasını gerçek zamanlı takip etmek isteyen bir sağlık görevlisi bunu elindeki tablet sayesinde yapabilmektedir.



Şekil A.1. IoT Ekosistemi [2]

IoT teknolojisinin hızlı gelişimi ile birlikte insanların günlük yaşamları çevreyi duyabilme, izleyebilme, kontrol edebilme; birbirleri ile iletişim kurabilme, veri alışverişinde bulunabilme ve bu verileri işleme özelliklerine sahip akıllı cihazlarla çevrili duruma gelmiştir [3].

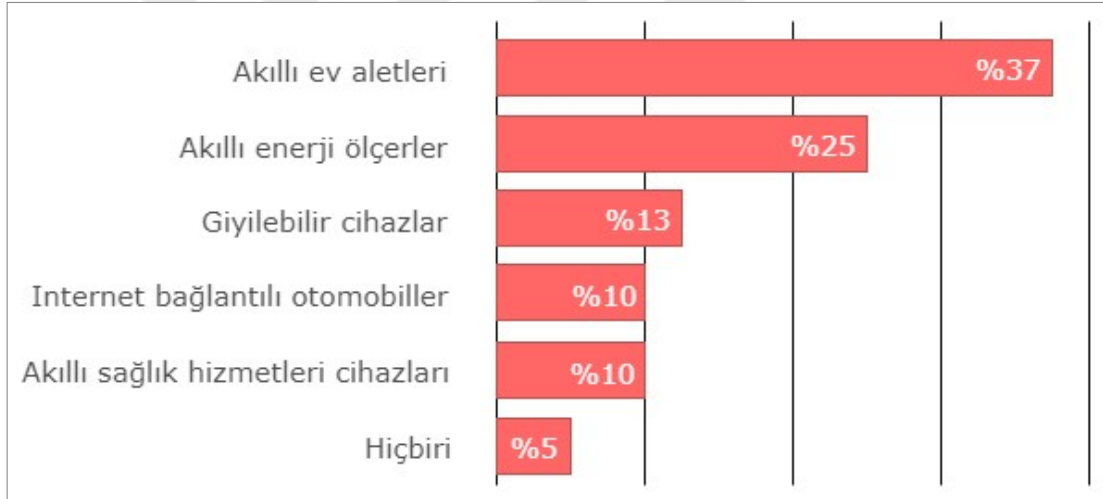
Bir Alman istatistik şirketi olan Statista'nın yaptığı bir araştırmaya göre, IoT'ye bağlı cihazların sayısı Şekil A.2'de verildiği üzere 2015 yılında yaklaşık 15 milyarı bulmuştur; günümüzde de milyarlarla ifade edilen bu rakamın 2020 yılında yaklaşık 30 milyarı, 2025 yılında ise yaklaşık 75 milyarı bulması beklenmektedir [4]. Bu hızlı artış, IoT cihazları ile internetin günlük yaşantımız için temel bir ihtiyaç haline gelmesine ve IoT cihazlarının maliyetlerinde büyük bir düşüş yaşanmasına yol açabilir.



Şekil A.2. Dünya genelinde IoT'ye bağlı cihazların yıllara göre yaklaşık sayıları [4]

Mobil İletişim İçin Küresel Sistem Birliği'nin (Global System for Mobile Communications Association, GSMA) bir raporunda bahsedildiği gibi, KRC Araştırma Şirketi'nin İngiltere, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya ve Japonya'yı kapsayan ve teknolojiye ilgi duyan toplamda 2000 kişi ile yapmış olduğu bir ankete göre, ankete katılanların yaklaşık dörtte birinin, akıllı ve internete bağlı ölçüm cihazı (%28), güvenlik sistemi (%23), aydınlatma sistemi (%23), çamaşır makinesi (%24), termostat (%24), sağlık monitörü (%23), aktivite takip edici (%24), saat (%19) ve otomobil (%43) gibi bir IoT cihazına zaten sahip olduğu belirtilmektedir [5]. Çalışmada aynı zamanda

ankete katılanların yarısından çoğunun, akıllı ve internete bağlı ölçüm cihazı (%78), güvenlik sistemi (%80), aydınlatma sistemi (%78), çamaşır makinesi (%66), termostat (%79), sağlık monitörü (%68), aktivite takip edici (%63), saat (%65), otomobil (%78), fırın (%62), buzdolabı (%62) ve yaşlı görüntüleyici (%61) gibi bir IoT cihazı ile de ilgilendikleri belirtilmektedir [5]. Aynı çalışmada, Şekil A.3'te de verildiği gibi, bu kişilerin %37'si akıllı ev aletlerini, %25'i akıllı enerji ölçerleri, %13'ü giyilebilir cihazları, %10'u internet bağlantılı otomobilleri, %10'u akıllı sağlık hizmetleri cihazlarını, önümüzdeki 5 yıl içinde kullanmaya başlamayı düşünmekte ve %5'i de bu cihazlardan herhangi birini kullanmayı düşünmemektedir [5]. Bunların yanı sıra, çevre, tarım, kamu düzeni ve güvenliği ile toplu taşıma gibi alanlarda birçok IoT uygulaması dünya genelinde kullanılmaya başlanmış ve birçok IoT uygulaması da araştırma geliştirme aşamasındadır. Bu uygulamalar beraberlerinde farklı cihaz ihtiyaçlarını doğurmuştur. Kullanılmakta ve geliştirilmekte olan bu cihazların önemli bir kısmında mesafe kestirimi veya konum tespiti teknolojisine ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil A.3. İngiltere, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya ve Japonya'da IoT'ye bağlı cihazların 2020 yılına kadar kullanım alanlarına göre dağılım beklentisi [5]

Dış mekân konum tespitinde Küresel Konumlanma Sistemi (Global Positioning System, GPS) çok etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat iç mekân konum tespitinde GPS yetersiz kalmaktadır [6, 7]. İç mekânda GPS sinyali ölçümlerinin hassasiyeti azalmakta, hata payı artmaktadır [8]. Bu yüzden iç mekân konum tespiti için GPS'e gerek duymayan uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, gerekli yazılım ve donanım bileşenlerini bir araya getirerek farklı ortam koşullarında mesafe kestirimi ile konum tespiti deneyleri gerçekleştirmek, bu deneylerden elde edilen verileri yol kaybı modellerinde (path loss models) işleyerek

yol kaybı modellerinin performanslarını karşılaştırmak ve bu sayede IoT'nin konum tespiti ihtiyacının giderilmesine katkıda bulunmaktır.

Alınan Sinyal Gücü İşareti (Received Signal Strength Indicator, RSSI) değerlerini, yol kaybı modellerinden de faydalanarak, mobil alıcılar ile sabit vericiler arasındaki mesafeyi hesaplamak için kullanmak mümkündür [9, 10]. Bu tez çalışmasında, boş alan yol kaybı modeli (free space path loss model), log-mesafe yol kaybı modeli (log-distance path loss model) ve log-normal gölgeleme yol kaybı modeli (log-normal shadowing path loss model) olmak üzere üç adet modelin performansları analiz edilmiştir.

Modern taşınabilir cihazların diğer cihazlarla etkileşim kurma yeteneğinin geliştirilmesinde kullanılmakta olan en temel iki modül, WiFi ve Bluetooth'tur [11]. Her ikisi de ağ oluşturabilmektedir ancak Bluetooth çok kısa mesafeler ve genellikle zayıf sinyaller için tasarlanmıştır [8]. Ayrıca WiFi, Bluetooth'a göre daha yüksek bir bağlantı hızına sahiptir ve kullanıcılara daha güvenli bir bağlantı imkânı sunar.

Çalışma kapsamında mesafe kestirimi için düşük maliyet ve düşük güç tüketimi özelliklerinden dolayı, IoT uygulamaları için geliştirilmiş bir WiFi modülü olan ESP8266 yongasının 12E modeli kullanılmıştır. ESP8266-12E yongası Arduino Entegre Geliştirme Ortamı (Integrated Development Environment, IDE) üzerinde WiFi sinyalleri üretecek şekilde programlanmıştır. ESP8266-12E yongasının ürettiği sinyalleri okuması için Android Studio'da bir mobil uygulama geliştirilmiş, geliştirilen bu uygulama bir Android telefona yüklenerek ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler dış mekân ve iç mekânda, farklı mesafelerde, farklı örnek sayıları ve örnekleme oranları (ölçüm sıklıkları) ile günün farklı saatlerinde, farklı engellerle tekrarlanmıştır. Geliştirilen mobil uygulama aracılığı ile ESP8266-12E yongasının ürettiği WiFi sinyallerinin RSSI değerleri, deney parametrelerinin ölçümler üzerindeki etkilerinin tespit edilmesi ve yol kaybı modellerinin performanslarının analiz edilmesi amacı ile Android telefon tarafından toplanıp kaydedilmiştir.

Tezin çalışmasının organizasyonu şu şekildedir: Tezin birinci bölümünde konum tespiti ile ilgili yapılmış literatür taraması, karşılaştırılmak üzere seçilmiş yol kaybı modelleri ve çoklu laterasyon (multilateration) yöntemi anlatılmaktadır. İkinci bölümde sistem mimarisi, deney düzeneği ve tasarımı, deneyde kullanılan ekipmanlar ile ESP8266-12E yongasının ve mobil uygulamanın programlanması anlatılmaktadır. Tezin üçüncü bölümünde deney parametreleri ve deney düzenekleri detaylı bir



biçimde anlatılmaktadır; deneyler sonucunda oluşturulan grafikler ve tablolar değerlendirilmekte, hesaplanan veriler gerçek verilerle karşılaştırılmaktadır. Dördüncü ve son bölümde ise sonuçlar yorumlanmakta, çalışmanın potansiyel uygulama alanlarından ve gelecek çalışmalardan söz edilmektedir.



## 1. KONUM TESPİTİ VE YOL KAYBI MODELLERİ

Mobil cihazlar için iç mekânda mesafe kestirimi ve konum tespiti çalışmaları literatürde mevcuttur. Fakat GPS erişimine ihtiyaç duymayan, düşük maliyetli ve uygulanabilirliği yüksek yöntemler için çözüm arayışları devam etmektedir.

Kablosuz Algılayıcı Ağlar'da (Wireless Sensor Networks, WSN) algılayıcı düğümler, bilinen konumlarda sabitlendiğinde sadece veri toplamak ve göndermekle sorumludur; ancak mobil olduğunda ve düğümlerin konumları değiştiğinde, veri toplamak ve göndermekle birlikte konum ve komşu bilgilerini periyodik olarak güncellemekten de sorumludur [7].

Literatürdeki bazı çalışmalarda konum tespiti için sabit düğümlerle oluşturulmuş kablosuz algılayıcı ağlar kullanılmıştır [7, 13]. Bu tür ağlar büyük alışveriş merkezleri, havaalanları, ceza evleri, müzeler ve konferans salonları gibi, planı belli, büyük ve kapalı mekânlarda konum tespiti için kullanılabilir. Fakat konum tespitinde sabit düğümlü bir ağdan faydalanmak her konum tespiti senaryosu için çözüm olamamaktadır. Örneğin enkaz altında kalmış ve WiFi sinyalleri ile yardım çağrısı yayını yapan bir yaralının, kurtarma ekipleri tarafından mobil cihazlar aracılığı ile konumunun tespit edilmesi gerektiği bir senaryoda, konum tespitinde kullanılacak cihazların sabit ve arama yapılacak bölgeye önceden yerleştirilmiş olması mümkün değildir. Bu tür senaryolar için mobil düğümlerle oluşturulmuş kablosuz algılayıcı ağların kullanılması gerekmektedir. Literatürde bu tür senaryolar için çözüm olabilecek nitelikte, mobil düğümlü ağlar öneren çalışmalar da mevcuttur [14, 15].

Konum tespitinde sadece sabit ve sadece mobil düğümlerden oluşan ağlara ihtiyaç duyulan durumlar olabileceği gibi hem sabit hem de mobil düğümlerden oluşan ağlara ihtiyaç duyulan durumlardan da söz etmek mümkündür. Kapalı bir otoparkta aracını kaybetmiş bir kullanıcının aracını bulmaya çalıştığı bir senaryo buna örnek olarak gösterilebilir. Böyle bir senaryoda otoparkın belirli noktalarına önceden yerleştirilmiş sabit düğümler ile aracını aramakta olan kişinin elindeki mobil düğüm iş birliği yapabilir. Konum tespitinin yapılacak olduğu yerin önceden belirli olduğu senaryolar için, mekân haritasının ya da kat planının çözümde bir bileşen olarak kullanıldığı [16]

ve daha önceden toplanmış RSSI değerleri ile oluşturulmuş haritaların kullanıldığı parmak izi (fingerprint) yönteminin kullanıldığı [17] çalışmaları da literatürde mevcuttur.

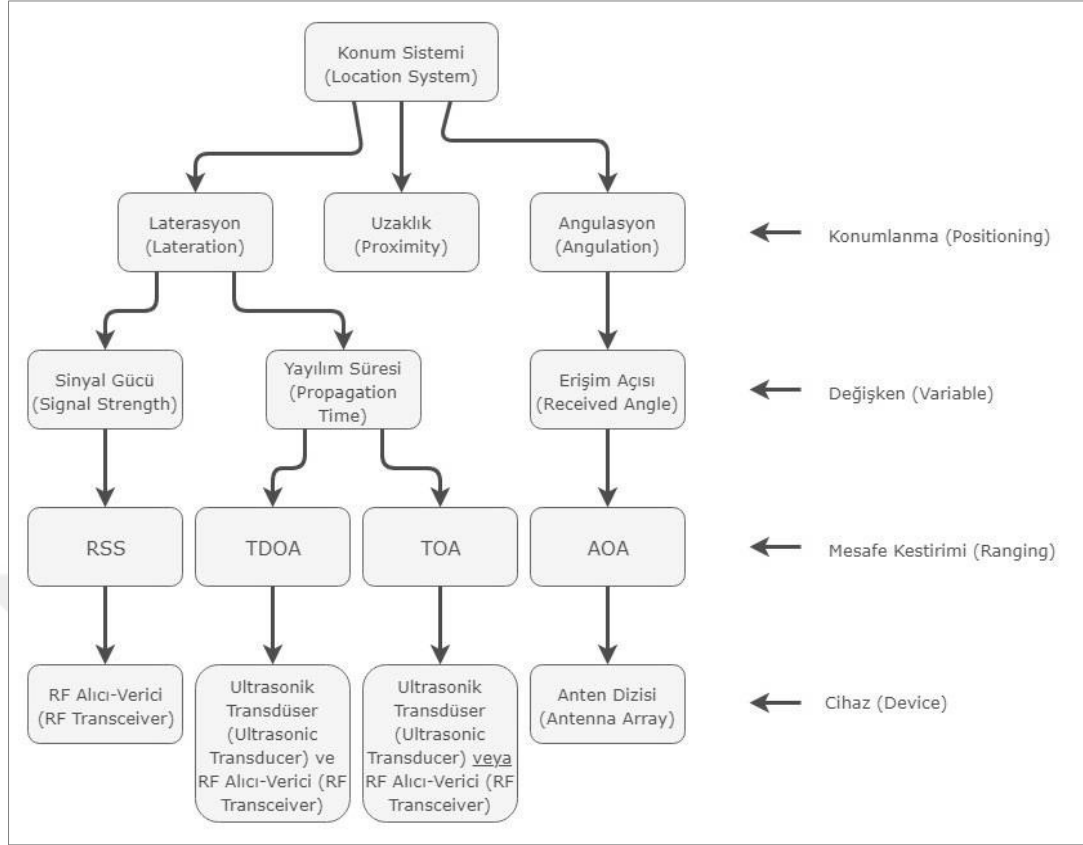
Konumu bilinmeyen bir vericinin konumunun alıcı tarafından tespit edilebilmesi için, vericinin hem mesafesinin hem de yönünün bilinmesi gerekir. Sinyal gücü bilgisi kullanılarak konum tespiti yapılırken vericinin yönünün tespit edilebilmesi için de ağdaki konumu bilinen en az üç tane alıcı düğüm tarafından ölçülmüş, vericiye ait sinyal gücü bilgisine ihtiyaç duyulur [18]. Ancak bu durum yönsüz antenli alıcılar kullanıldığında geçerlidir. Yönlü antenli alıcılar kullanarak daha az alıcı ile vericinin yönünü bulmak mümkündür. Önceki çalışmalarda bir antenin farklı yönlerdeki açıları ve RSSI değerleri birlikte kaydedilerek, sadece bir tane yönlü antenle alıcının yönü ve konumu tespit edilebilmiştir [19].

### **1.1. Konum Tespiti**

Literatürde mevcut olan ve en çok tercih edilen konum tespiti teknikleri, teknoloji bakışı açısına göre değerlendirildiğinde, Şekil 1.1'de verildiği gibi konumlanma (positioning), değişken (variable), mesafe kestirimi (ranging) ve cihaz (device) kademelerinden oluşan bir ağaç yapısında sınıflandırılabilir [20]. Bu ağaç yapısına göre tüm konum tespiti teknikleri konumlanma türlerine göre laterasyon (lateration), uzaklık (proximity) ve angulasyon (angulation) yöntemlerinden yararlananlar olmak üzere toplamda üç ana başlık altında incelenebilir.

Uzaklık, menzil bağımsız (range free) bir yöntemdir. Bu yöntemde konumları önceden bilinen alıcı düğümler kullanılır, konum tespiti kabaca yapılır ve vericinin yaklaşık konumu hesaplanır [21]. Parmak izi yöntemi uzaklık yöntemine örnek olarak gösterilebilir.

Laterasyon ve angulasyon menzil bağımlı (range based) yöntemlerdir. Laterasyon yönteminde konum tespiti için en az üç tane alıcıya ihtiyaç duyulur. Bu yöntem üç tane alıcı düğüm kullanıldığında üçlü laterasyon (trilateration), üçten fazla düğüm kullanıldığında ise çoklu laterasyon (multilateration) olarak adlandırılır. Üç tane alıcı düğüm ile bir düzlem üzerinde (iki boyutta) konum tespiti yapmak mümkünken, uzayda (üç boyutta) konum tespiti yapmak için en az dört tane alıcı düğüme ihtiyaç duyulur [13].



Şekil 1.1. Konum sistemlerinin sınıflandırılması [20]

Laterasyon, sinyal gücünü (signal strength) ve yayılım süresini (propagation time) değişken olarak kullanan yöntemler olarak ikiye ayrılır. Mesafe kestirimi için sinyal gücünü kullanan yöntem literatürde Alınan Sinyal Gücü (Received Signal Strength, RSS) yöntemi olarak geçer. Bu yöntemde cihaz olarak Radyo Frekans (Radio Frequency, RF) alıcı-vericisi (transceiver) kullanılır ve alıcının algıladığı radyo sinyalinin gücü ölçülür. Radyo sinyalinin gücü çevrenin etkisine bağlı olarak değişir [22]. Vericinin sinyal çıkış gücü, anten kazançları bilgisi ve uygun yol kaybı modeli kullanılarak verici ve alıcı arasındaki mesafe hesaplanır [10].

Mesafe kestirimi için yayılım süresini kullanan yöntemler, Ulaşma Zamanı Farkı (Time Difference of Arrival, TDoA) ve Ulaşma Zamanı (Time of Arrival, ToA) yöntemleridir. TDoA yönteminde cihaz olarak RF alıcı-vericisi ve ultrasonik transdüser (ultrasonic transducer), ToA yönteminde ise RF alıcı-vericisi veya ultrasonik transdüser kullanılır.

ToA yöntemi, bir vericiden birkaç alıcıya iletilen bir sinyalin varış zamanının kesin ve hassas ölçümüne dayanmaktadır [10]. Bu yöntem, sinyal varış süresinin sinyal gücüne göre çevre koşullarından daha az etkilenmesi nedeniyle RSS yöntemine göre daha kesin sonuç vermektedir fakat bu yöntemin gerçekleştirilmesinde

senkronizasyon için ışık hızındaki sinyalleri kullanma zorunluluğu ve yüksek frekanslı RF sinyalleri ile hızlı ve kesin çalışma saati problemlerinin çok iyi çözümlenmesi gerekmektedir [22].

ToA yöntemi, sinyal iletiminin başlangıç zamanı bilgisinin çok hassas olmasını, tüm verici ve alıcıların doğru bir zaman kaynağı ile doğru bir şekilde senkronize edilmesini gerektirir; bu şekilde yayılma hızı ve ölçülen zaman bilgilerinden faydalanılarak verici ile alıcı arasındaki mesafe hesaplanır [10].

TDoA yöntemi mutlak zaman ölçümleri yerine alıcıların nispi (relative) zaman ölçümlerini kullanır, bu sebeple TDoA yöntemi zamanı kullanarak konum tespiti yapmak için vericinin senkronize bir zaman kaynağı kullanmasını gerektirmez; TDoA uygulamaları, hiperbolik gecikme olarak bilinen bir matematik kavramına dayanmaktadır ve bu yaklaşımda en az üç adet senkronize alıcı gereklidir [10].

Menzil bağımlı yöntemlerden angulasyon başlığı altında incelenen Geliş Açısı (Angle of Arrival, AoA) yöntemi, değişken olarak erişim açısını (received angle), cihaz olarak ise anten dizisi (antenna array) kullanır. Bazen Geliş Yönü (Direction of Arrival, DoA) olarak da adlandırılan AoA yöntemi vericiyi, sinyallerin alıcıya ulaştığı geliş açısını belirleyerek bulur; iki boyutlu bir düzlemde konum tahmini için en az iki alıcıya ihtiyaç duyar [10].

Konum tespiti tekniklerinden RSSI değerlerini kullanan RSS yöntemi, ToA, TDoA ve AoA yöntemlerine göre daha az karmaşıktır ve iletişim için daha az donanıma ihtiyaç duyar [14]. Dolayısıyla RSS, maliyeti diğer yöntemlere göre daha düşük bir yöntemdir. Bu tez çalışmasında da mesafe kestirimi ve konum tespiti için RSS ile birlikte çoklu laterasyon yöntemlerinin kullanılması tercih edilmiştir.

## 1.2. Yol Kaybı Modelleri

Bir elektromanyetik dalganın boşlukta ilerlerken kaybettiği güç, yol kaybı (path loss) olarak bilinir. Bu kaybı matematiksel olarak gösteren modeller ise, yol kaybı modeli olarak adlandırılır. Yol kaybı Eşitlik (1.1)'de verildiği gibi, verici tarafından gönderilip alıcı tarafından karşılanan sinyalin, verici ve alıcıdaki dB (desibel) oranlarının hesaplanması ile bulunur:

$$P_L \text{ dB} = 10 \log \frac{P_t}{P_r} \quad (1.1)$$

Eşitlik (1.1)'de  $P_L$  yol kaybını,  $P_t$  vericinin (transmitter) sinyal gücünü,  $P_r$  ise alıcının (receiver) sinyal gücünü ifade eder.

En sık kullanılan yol kaybı modelleri, serbest uzay yol kaybı modeli (free space path loss model) ve log-mesafe yol kaybı (log-distance path loss model) modelleridir; pratik uygulamaların çoğu için, özellikle iç mekânda, log-mesafe yol kaybı modeli daha güvenilirdir [23].

Verici ile alıcı arasında engel olmadığında, vericiden alıcıya gönderilen sinyal düz bir çizgi üzerinde ilerler; bu tür yayılma modeliyle ilişkilendirilen kanala, Görüş Hattı (Line of Sight, LoS) kanalı adı verilir ve bu kanalda alınan sinyale LoS sinyali veya LoS ışını denir [24]. Sinyaller LoS kanalında iletildiğinde sistemdeki yol kaybı, Eşitlik (1.2)'de verildiği gibi serbest uzay yol kaybı modeli ile hesaplanabilir:

$$P_L \text{ dB} = -10 \log \frac{G \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (1.2)$$

Eşitlik (1.2)'de  $G$  verici ve alıcının toplam anten kazancını,  $\lambda$  dalga boyunu (wavelength),  $d$  ise verici ve alıcı arasındaki mesafeyi ifade eder. Serbest uzay yol kazancı ise Eşitlik (1.3)'te verildiği gibi yol kaybının toplama işlemine göre tersidir ve Eşitlik (1.4)'te verildiği gibi hesaplanır:

$$P_G \text{ dB} = - P_L \text{ dB} \quad (1.3)$$

$$P_G \text{ dB} = 10 \log \frac{G \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (1.4)$$

Eşitlik (1.3) ve (1.4)'te  $P_G$  yol kazancını ifade eder.

Friis eşitliği serbest uzayda, alınan sinyal gücünü mesafeye bağlı bir fonksiyon olarak Eşitlik (1.5)'teki gibi hesaplar:

$$P_r = P_t G_t G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (1.5)$$

Eşitlik (1.5)'te  $G_t$  vericinin anten kazancını,  $G_r$  ise alıcının anten kazancını ifade eder.

Eşitlikteki  $\left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$  ifadesi, serbest uzay yol kaybı faktörü olarak da bilinir [25].

Friis'in eşitliği verici ve alıcı antenleri arasında en az bir Rayleigh mesafesi olduğunda geçerlidir; Fraunhofer mesafesi olarak da bilinen bu mesafe Eşitlik (1.6)'da gösterildiği şekilde tanımlanır [25]:

$$d_R = \frac{2 L_a^2}{\lambda} \quad (1.6)$$

Eşitlik (1.6)'da  $d_R$  Rayleigh mesafesini,  $L_a$  antenin en büyük boyutunu ifade eder ve yeterli mesafe için  $d \gg \lambda$  ile  $d \gg L_a$  eşitsizliklerinin de sağlanması gerekir [25].

Friis eşitliğinin logaritmik ölçekte yazılması ile türetilmiş olan ve Eşitlik (1.7)'de verilen serbest uzay yayılım modeli, vericiden gönderilen sinyale serbest uzay yol kaybı etkisini ekleyerek alıcıya ulaşan sinyalin dBm (1 miliwatt'a karşılık gelen dB değeri) cinsinden RSSI değerinin bulunması için kullanılabilir [6, 11, 26]:

$$P_r = P_t + G_t + G_r + 20 \log(\lambda) - 20 \log(4\pi) - 10 n \log(d) \quad (1.7)$$

Eşitlik (1.7)'deki  $n$ , iletim ortamına bağlı ve tipik olarak 2 ila 4 arasında değişen, yol kaybı katsayısını ifade eder. Bu katsayı bazı binalar, stadyumlar gibi bazı iç mekânlarda 4 ila 6 aralığındaki değerlere ulaşabileceği gibi tünellerde de 2'nin altına düşebilir [27].

Eşitlik (1.8) ve Eşitlik (1.9)'daki değerler Eşitlik (1.7)'de uygun yerlere konulduğunda ve  $P_r$  değeri RSSI olarak ifade edildiğinde, Eşitlik (1.10) elde edilir [6, 11, 26, 28]. Eşitlik (1.8)'de  $v$  dalga hızını,  $f$  ise frekansı ifade eder. Dalga ışık hızında hareket ettiği için eşitlikte hız,  $c$  olarak alınır:

$$G = G_t + G_r \quad (1.8)$$

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1.9)$$

$$RSSI = P_t + G + 20 \log \frac{c}{4\pi f} - 10 n \log(d) \quad (1.10)$$

Eşitlik (1.10)'da  $d$  değeri yalnız bırakıldığında, alıcıya ulaşan sinyalin RSSI bilgisi kullanılarak verici ile alıcı arasındaki mesafenin  $m$  (metre) cinsinden hesaplanabildiği Eşitlik (1.11) elde edilmiş olur:

$$d = 10^{\frac{P_t + G + 20 \log \frac{c}{4\pi f} - RSSI}{10 n}} \quad (1.11)$$

Sistemin kalibre edilmesi için bir denge (offset) değeri eşitliğe eklenebilir [7, 29]. Bu denge değerinin saptanabilmesi için tekrarlanan birçok deney yapılması gerekir. Denge değeri eklendiğinde, Eşitlik (1.12)'de verildiği gibi deneylerde kullanılacak eşitliğin son hali elde edilmiş olur:

$$d = 10^{\frac{P_t + G + 20 \log \frac{c}{4\pi f} - (RSSI + \text{offset})}{10 n}} \quad (1.12)$$

Bu tez çalışmasında yapılan deneyler sonucunda denge değeri 30 dBm olarak belirlenmiştir. Deneylerde verici sinyal gücünü ifade eden  $P_t$  değeri 17 dBm [30], toplam anten kazancını ifade eden  $G$  değeri 6 dBi [31], frekansı ifade eden  $f$  değeri ise 2,4 GHz [30] olarak alınmıştır.

Hem teorik hem de ölçüm bazlı yayılım modelleri, ortalama RSSI değerinin verici ve alıcı arasındaki mesafenin logaritması ile ters orantılı olduğunu göstermektedir ve bu modeller literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır [32]. Log-mesafe yol kaybı modeli, mesafeye bağlı bir fonksiyon olarak Eşitlik (1.13)'te verildiği gibi ifade edilir [8, 20, 33]:

$$RSSI = P_0 - 10 n \log \frac{d}{d_0} \quad (1.13)$$

Eşitlik (1.13)'te  $d_0$  verici ile alıcı arasındaki referans mesafeyi,  $P_0$  ise referans mesafede vericiye ulaşan sinyalin gücünü ifade eder.  $d$  değeri yalnız bırakılırken  $d_0$  1 metre olarak alındığında, alıcıya ulaşan sinyalin RSSI bilgisi ve referans mesafedeki RSSI bilgisi kullanılarak verici ile alıcı arasındaki mesafenin hesaplanabildiği Eşitlik (1.14) elde edilmiş olur:

$$d = 10^{\frac{P_0 - RSSI}{10 n}} \quad (1.14)$$

Log-mesafe yol kaybı modeli, çevredeki gürültünün iki farklı ortamda çok farklı olabileceğini hesaba katmamaktadır ve bu durum bazen modelin hesapladığı RSSI değerleri ile ölçülen RSSI değerlerinin çok farklı olmasına yol açar; yapılan ölçümler herhangi bir mesafede, belirli bir konumdaki yol kaybının rastgele ve log-normal dağılımlı (log-normal distribution) olduğunu göstermiştir [32]. Eşitlik (1.15)'te log-normal dağılımı etkisindeki log-normal gölgeleme yol kaybı modeli (log-normal shadowing path loss model) verilmiştir [29, 34]:

$$RSSI = P_0 - 10 n \log \frac{d}{d_0} + X_\sigma \quad (1.15)$$



Eşitlik (1.15)'te de Eşitlik (1.14)'te olduğu gibi  $d$  değeri yalnız bırakılırken  $d_0$  1 metre olarak alındığında, alıcıya ulaşan sinyalin RSSI bilgisi ve referans mesafedeki RSSI bilgisi kullanılarak verici ile alıcı arasındaki mesafenin hesaplanabildiği Eşitlik (1.16) elde edilmiş olur:

$$d = 10^{\frac{P_0 - \text{RSSI} + X_\sigma}{10n}} \quad (1.16)$$

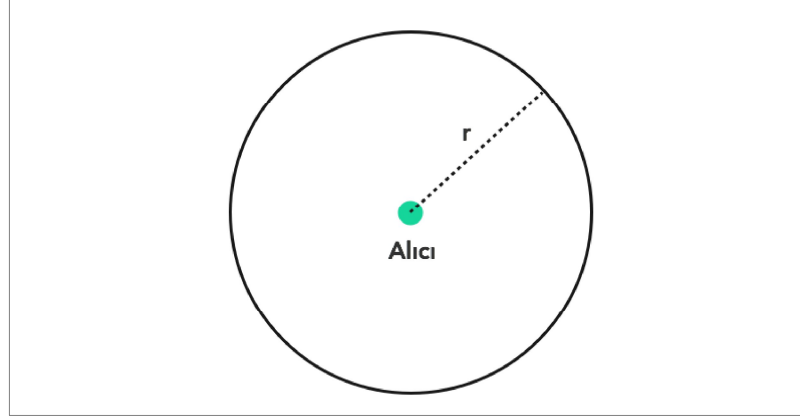
Eşitlik (1.16)'daki  $X_\sigma$  değeri, standart Gauss dağılımı (standard Gaussian distribution) olarak da bilinen standart normal dağılım (standard normal distribution) etkisini ifade eder. Standart normal dağılım, ortalaması 0 (zero-mean) ve varyansı 1 olan bir normal dağılım türüdür.  $X_\sigma$  değeri, verici ile alıcı arasındaki mesafe 1 metre iken ölçülen standart sapma (standard deviation) değeri ile rastgele olarak belirlenmiş normal dağılım (normal distribution) değerinin çarpılması ile elde edilir. Çalışma kapsamında log-normal gölgeleme için gerekli olan rastgele normal dağılım değerleri Matlab ortamında üretilmiştir.

### 1.3. Çoklu Laterasyon

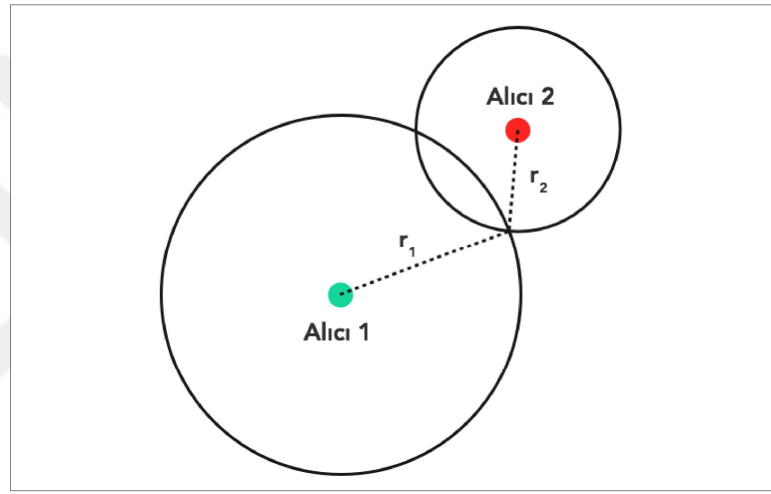
Yukarıda anlatılan yol kaybı modelleri ile sadece mesafenin tespiti mümkündür. Mesafe skaler bir büyüklük olduğu için, mesafe bilgisi konum tespitinde tek başına yeterli değildir. Bir nesnenin başka bir nesneye göre konumunun tespit edilebilmesi için iki nesne arasındaki mesafenin ve konumu tespit edilmek istenen nesnenin referans alınan nesneye göre yönünün tespit edilmesi gerekmektedir.

Üçlü laterasyon yönteminde düzlem üzerindeki bir vericinin bulunması için üç adet alıcı kullanılır ve üç alıcının da verici ile arasındaki mesafesi hesaplanır; bu mesafeler kullanılarak vericinin muhtemel konumu hesaplanır [18, 23, 29].

Alıcı ile bir adet verici ile arasındaki mesafe bilindiğinde, düzlem üzerinde aranan verici, alıcının merkezde olduğu, verici ile alıcı arasındaki mesafe kadar yarı çaplı bir çemberin üstündedir, denilebilir. Şekil 1.2'de böyle bir senaryoda alıcının bilinen konumu ve vericinin muhtemel konumları gösterilmiştir. Aynı senaryoda iki alıcı olduğunda ise, verici Şekil 1.3'te gösterildiği gibi iki çemberin kesiştiği iki noktanın geçtiği doğru parçasının üzerindedir, denilebilir. Şekil 1.4'te gösterildiği gibi üç alıcı kullanıldığında ise, verici üç çemberin kesiştiği noktadadır, denilebilir.



Şekil 1.2. Tek alıcı ile laterasyon



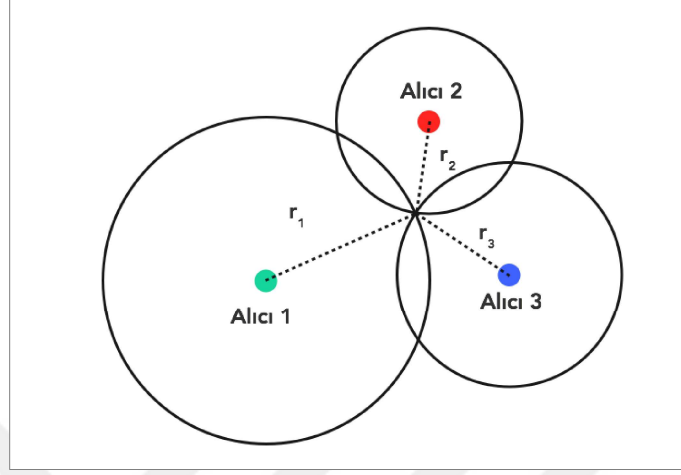
Şekil 1.3. İki alıcı ile laterasyon

Çoklu laterasyon yönteminde, dört ve daha fazla alıcı kullanılır. Kullanılan alıcı sayısı arttıkça konumun doğru tahmin edilme ihtimali yükselir. Şekil 1.5'te dört adet alıcıya ait dört adet çemberin kesiştiği nokta gösterilmektedir ve vericinin bu kesişim noktasında olduğu çıkarımı yapılabilir. Şekillerde  $r$  çemberlerin yarıçapını, çemberlerin ortasında bulunan noktalar ise alıcıları temsil etmektedir.

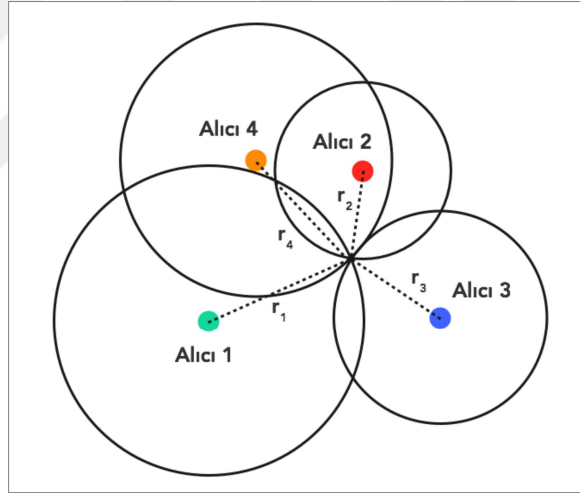
Gerçek ortamda toplanan RSSI verileri kullanılarak elde edilen mesafelere ait çemberler, çeşitli çevresel koşulların ölçümleri etkilemesinden dolayı, şekillerde görüldüğü gibi her zaman kesişmeyebilir.

Çemberler iki boyutlu kesişim bölgeleri oluşturacak şekilde üst üste gelebilir veya hiç kesişmeyerek ayrıık durumda olabilirler. Böyle durumlarda vericinin bulunduğu nokta şekillerdeki gibi görsel olarak tahmin edilemez.

Şekillerde verildiği gibi çemberlerin noktaları kesişsin ya da kesişmesin, mesafe eşitliklerinden oluşan matris tablolarından ve en küçük kareler (least square) yönteminden yararlanılarak, vericiye ait noktanın koordinatları hesaplanabilir.



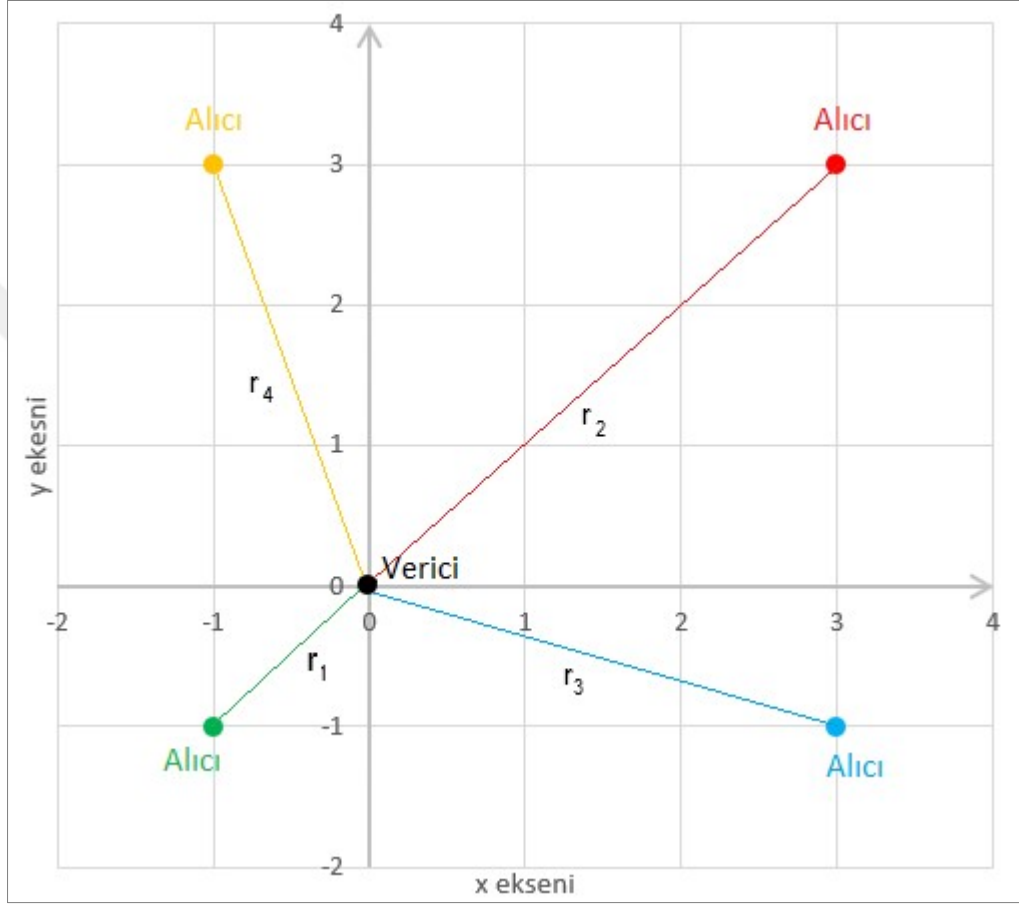
Şekil 1.4. Üç alıcı ile laterasyon



Şekil 1.5. Dört alıcı ile laterasyon

Şekil 1.6'da gösterildiği gibi, bir koordinat düzlemi üzerinde vericinin  $(x_0, y_0)$  noktasında ve  $n$  kadar alıcının  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ ,  $(x_3, y_3) \dots (x_n, y_n)$  noktalarında olduğu kabul edilirse, bu noktaların merkez olduğu çemberlere ait yarıçaplar sırasıyla  $r_1, r_2, r_3 \dots r_n$  olarak, Eşitlik (1.17) kümesinde verildiği gibi ifade edilir:

$$\begin{cases} r_1 = \sqrt{(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2} \\ r_2 = \sqrt{(x_0 - x_2)^2 + (y_0 - y_2)^2} \\ \vdots \\ r_k = \sqrt{(x_0 - x_k)^2 + (y_0 - y_k)^2} \end{cases} \quad (1.17)$$



Şekil 1.6. Verici ve alıcıların koordinat düzlemi üzerinde gösterimi

Vericinin konumu en küçük kareler yöntemi ile hesaplanmak istediğinde ise, Eşitlik (1.18)'de ve Eşitlik (1.19)'da verilen matrislerin çarpımlarından oluşan Eşitlik (1.20) elde edilir [29, 33]:

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_k - x_1) & 2(y_k - y_1) \\ 2(x_k - x_2) & 2(y_k - y_2) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_k - x_{k-1}) & 2(y_k - y_{k-1}) \end{bmatrix} \quad (1.18)$$

$$X = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \quad (1.19)$$

$$B = \begin{bmatrix} r_1^2 - r_k^2 - x_1^2 - y_1^2 + x_k^2 + y_k^2 \\ r_2^2 - r_k^2 - x_2^2 - y_2^2 + x_k^2 + y_k^2 \\ \vdots \\ r_{k-1}^2 - r_k^2 - x_{k-1}^2 - y_{k-1}^2 + x_k^2 + y_k^2 \end{bmatrix} \quad (1.20)$$

Vericinin bulunduğu  $(x_0, y_0)$  konumunun koordinat değerlerini içeren X matrisi yalnız bırakıldığında Eşitlik (1.21) elde edilir ve bu eşitlik kullanılarak vericinin muhtemel konumu bulunur:

$$X = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (1.21)$$

#### 1.4. Kullanılan Yöntem

Bu tez çalışmasında RSS yöntemi, çoklu laterasyon kullanılarak uygulanmıştır. Bu amaçla serbest uzay yol kaybı modeli, log-mesafe yol kaybı modeli ve log-normal gölgeleme yol kaybı modelinden elde edilmiş olan sırasıyla Eşitlik (1.12), Eşitlik (1.14) ve Eşitlik (1.16) ile çalışılmış; eşitliklerin Matlab ortamında kodları yazılmıştır.

Mesafe kestirimi ve konum tespiti deneyleri için yapılan ölçümlerde alıcıya ulaşan sinyallerin RSSI değerleri toplanmış ve bu değerler metin dosyaları olarak kaydedilmiştir.

Metin dosyalarında tutulan RSSI değerlerinin Matlab ortamında ortalamaları alınarak ortalamalar eşitliklerde girdi olarak kullanılmış ve yol kaybı modellerine ait mesafe kestirimleri elde edilmiştir.

Mesafe kestirimi deneylerinde, mesafe kestirimi ölçümlerinde okunarak kaydedilen RSSI değerlerinin işlenmesiyle elde edilen sonuçlar gerçek mesafelerle karşılaştırılmış ve serbest uzay yol kaybı modeli, log-mesafe yol kaybı modeli ile log-normal gölgeleme yol kaybı modellerinin mesafe kestirimindeki performansları analiz edilmiştir. Daha sonra yine aynı modellerin bu sefer konum tespitindeki performanslarının analiz edilmesi için konum tespiti deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Konum tespiti deneylerinde, konum tespiti için yapılan ölçümlerde okunarak kaydedilen RSSI değerleri kullanılmış, mesafe kestirimi deneylerinde kullanılan aynı yol kaybı modelleri ile ilk önce mesafe kestirimleri yapılmıştır. Hesaplanan mesafeler Eşitlik (1.21)'de girdi olarak kullanılarak Matlab ortamında çoklu laterasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çoklu laterasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesiyle vericinin konumu tahmin edilmiş, serbest uzay yol kaybı modeli, log-mesafe yol kaybı modeli

ve log-normal gölgeleme yol kaybı modellerinin konum tespitindeki performansları analiz edilmiştir.

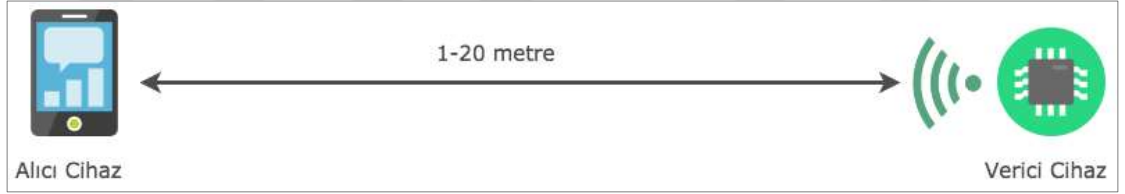
İkinci bölümde mesafe kestirimi ve konum tespiti deneylerine ait sistem mimarileri açıklanmakta, üçüncü bölümde ise deneylerin detaylı anlatımı yapılmakta ve deneylerde elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.



## 2. SİSTEM MİMARİSİ

### 2.1. Deney Düzenekleri

Çalışmanın deney kısmında, iki farklı amaca yönelik iki farklı deney düzeneği kurulmuştur. Birinci deney düzeneğinde amaç, bir adet verici cihazın yaydığı sinyallerin farklı çevresel şartlar altında, belirli mesafelerdeki bir adet alıcı cihaz tarafından okunması ile elde edilmiş RSSI değerlerini toplamaktır. Deneylerde toplanan RSSI değerleri, daha sonra yol kaybı modellerinde işlenerek mesafe kestirimlerinde kullanılmak üzere kaydedilmiştir. İkinci deney düzeneğinde ise konum tespitine yönelik bir çalışma yürütülmüştür. Deney düzeneğinde amaç, bir kare alanın dört köşesine yerleştirilmiş dört adet alıcı cihaz ile kare alan içerisinde dolaşımda olan bir adet verici cihazın iletişimi esnasında, alıcı cihazlar tarafından okunan sinyallerin RSSI değerlerini toplamaktır. Deneylerde alıcıların konum bilgileri ve toplanan RSSI değerleri, daha sonra çoklu laterasyon işlemlerinde kullanılmak üzere kaydedilmiştir.



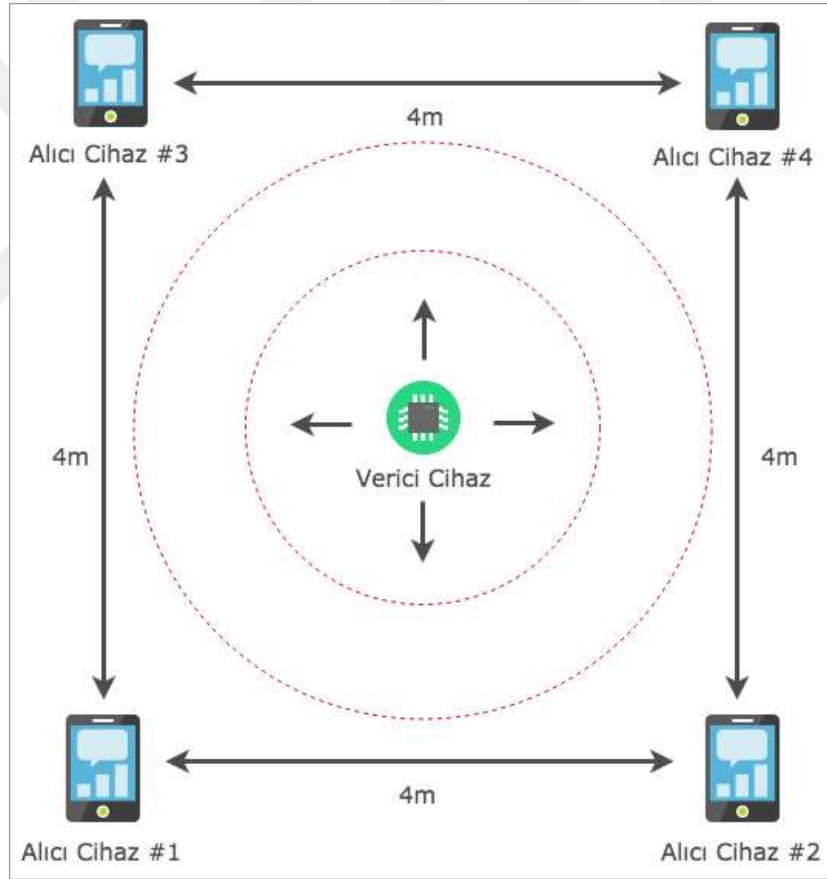
Şekil 2.1. Temsili birinci deney düzeneği

Birinci deney düzeneğinde verici ve alıcı cihaz 20 metrelik tek bir doğru üzerinde konumlandırılmış, alıcı cihaz bu doğru üzerinde hareket ettirilmiş, her metrede bir alıcı cihaz tarafından okunan RSSI değerleri toplanmıştır. Örnek sayısı, örnekleme oranı ve günün saatinin yanı sıra, verici cihazın kutu ve kıyafet gibi iletimi kısmen engelleyecek materyallerle kaplanması gibi okunan RSSI değerlerini etkileyebilecek dış etkenler de deney parametreleri olarak deney düzeneğine dahil edilmiştir. Deney parametreleri hakkında daha detaylı bilgi Bölüm 3.1.1’de verilmiştir.

Birinci deney düzeneği, sürekli yayın yapan bir adet verici cihazdan ve verici cihaz tarafından üretilen sinyalleri belirli aralıklarla tarayıp, taranan sinyallerin RSSI değerlerini kaydeden bir adet alıcı cihazdan oluşmaktadır. Temsili birinci deney düzeneği Şekil 2.1’de verildiği gibidir.

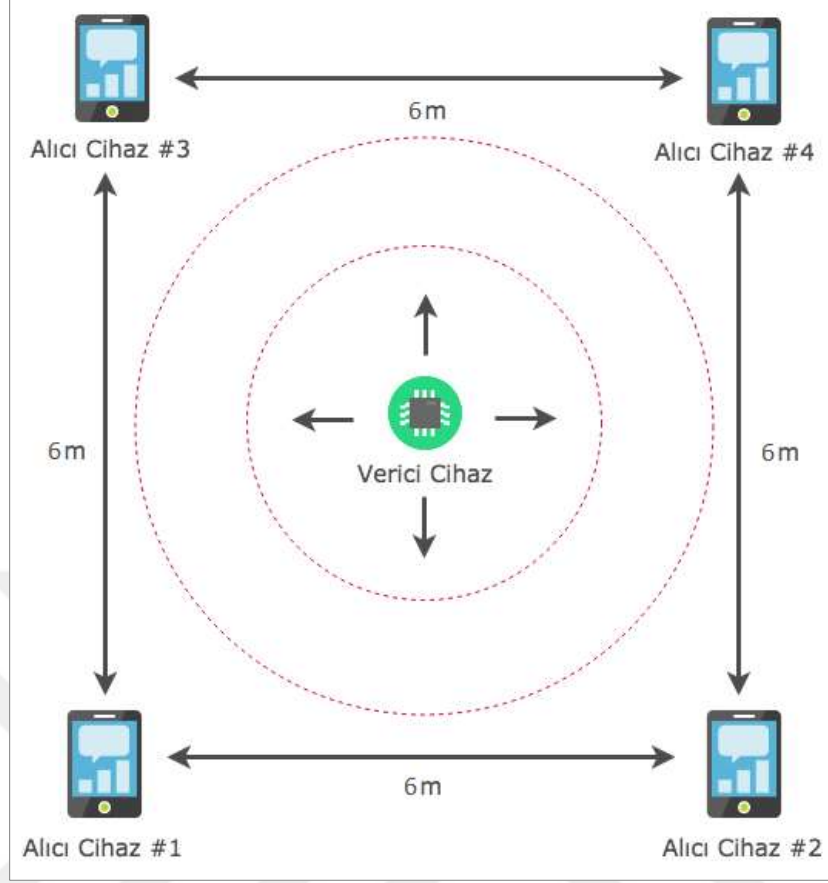
İkinci deney düzeneğinde birinci deney düzeneğinden farklı olarak bir doğru üzerinde değil, kare bir alan üzerinde çalışılmıştır. Zemin üzerinde metre yardımıyla 4 m x 4 m ve 6 m x 6 m boyutlarında birer kare oluşturulmuş ve karelerin köşe noktalarına alıcı cihazlar yerleştirilmiştir. Verici cihaz oluşturulan kare alan içerisinde rastgele olarak seçilmiş belirli noktalarda konumlandırılmış ve her bir konum için alıcı cihazlar tarafından okunan RSSI değerleri kaydedilmiştir. Bu deneyde birinci deneyin aksine çevresel parametreler deney düzeneğine eklenmemiştir.

İkinci deney düzeneği, sürekli yayın yapan bir adet verici cihazdan ve verici cihaz tarafından üretilen sinyalleri belirli aralıklarla tarayıp, taranan sinyallerin RSSI değerlerini kaydeden dört adet alıcı cihazdan oluşmaktadır. Temsili ikinci deney düzeneği Şekil 2.2'de ve Şekil 2.3'te verildiği gibidir.



Şekil 2.2. Temsili ikinci deney düzeneği 4m x 4m





Şekil 2.3. Temsili ikinci deney düzeneği 6m x 6m

## 2.2. Deney Ekipmanları

Deney düzeneklerinde donanım bileşeni olarak, alıcı cihaz ve verici cihaz olmak üzere toplam iki temel ekipman mevcuttur. Sürekli yayın yapmak üzere programlanmış ESP8266-12E yongası verici cihaz; yapılan yayını tarayıp elde edilen RSSI değerlerini metin dosyası formatında kaydedebilen ve mesafe, örnek sayısı, örnekleme oranı, günün saati ve engel bilgilerinin girişlerinin yapılabildiği uygulamanın yüklü olduğu Android telefon ise alıcı cihaz olarak kullanılmıştır.

Verici ve alıcı cihaz seçimi yapılırken bazı faktörler göz önünde bulundurulmuş, cihaz seçimleri bunlara göre yapılmıştır. Hem alıcı hem de verici cihazların, Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) 802.11b/g/n kablosuz haberleşme standartlarını destekliyor oluşuna dikkat edilmiştir.

## 2.2.1. Verici cihaz

### 2.2.1.1. Cihaz seçimi

Verici cihaz seçimi yapılırken, kullanılacak cihazın aşağıdaki özellikleri taşıyor olmasına dikkat edilmiştir:

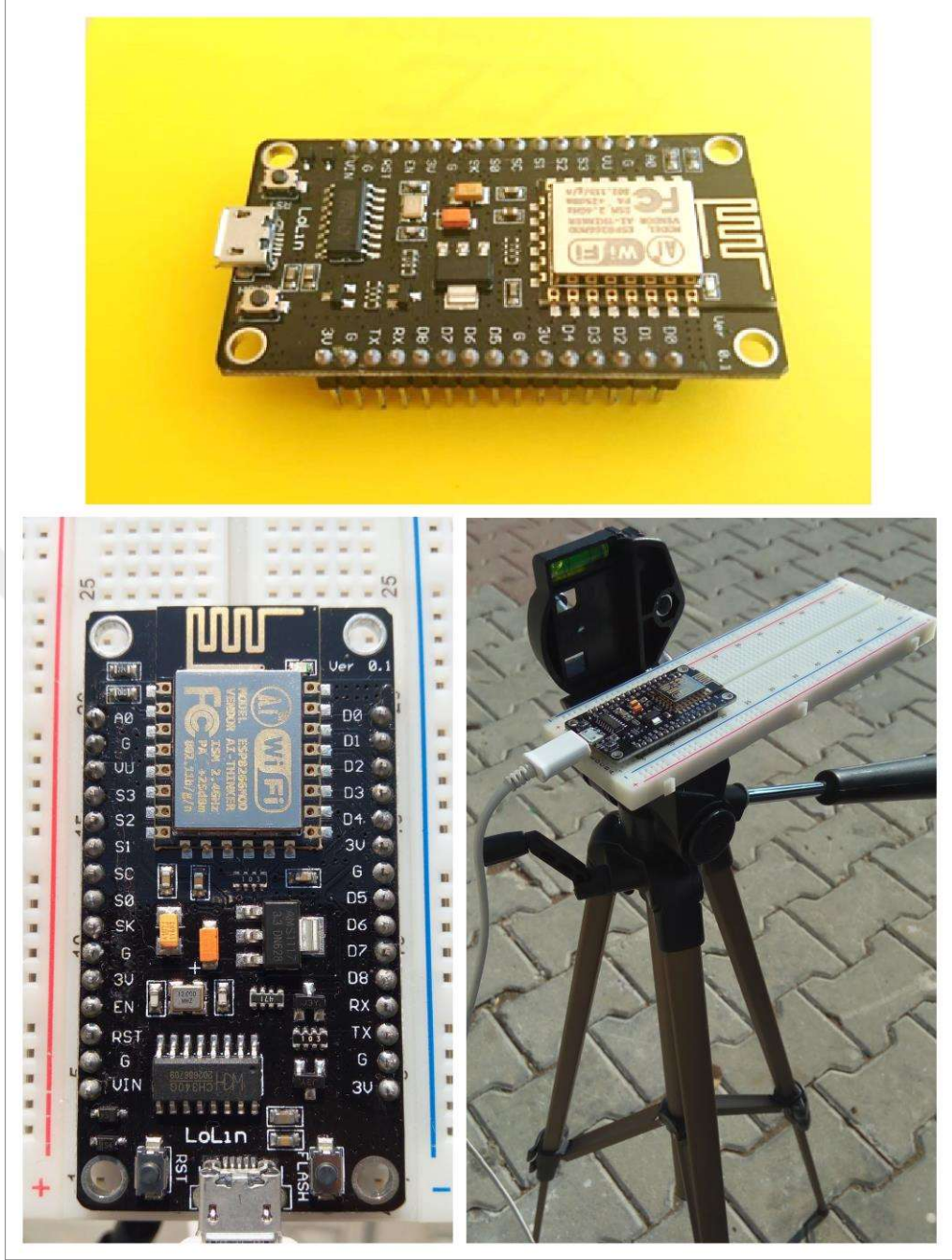
- Güvenilir ve kolay programlanabilir olması
- Düşük maliyetli olması
- Sürekli yayın modunda çalışması gerekeceği için düşük güç tüketimli olması
- Kolay taşınabilir olması

Verici cihaz olarak bu özellikleri barındıran ESP8266-12E yongası tercih edilmiştir.

Deneylerde verici cihaz olarak, ESP8266-12E yongasını içinde barındıran ve geliştiriciler tarafından yaygın olarak kullanılan NodeMCU v3 modülü kullanılmıştır. NodeMCU v3 modülü, üzerinde ESP8266-12E sınıfı kablosuz haberleşme yongasını ve programlama için gerekli devreyi barındıran tümleşik bir geliştirme platformu sunmaktadır. Bunun yanında mikro USB (Universal Serial Bus, Evrensel Seri Veriyolu) güç girişi ve 5 V - 3,3 V (volt) çevirici devresi ile ilave bir donanıma ihtiyaç duyulmadan 5 V'luk güç kaynakları ile pratik bir şekilde çalıştırılabilmektedir. Verici cihaz olarak kullanılan ESP8266-12E yongasını üzerinde barındıran NodeMCU v3 modülüne ait görseller Şekil 2.4'te verilmiştir.

### 2.2.1.2. Geliştirme ortamı

NodeMCU v3, temel olarak geliştiriciler için tasarlanmış bir modül olduğu için, kolay programlanabilme ve hızlı test edilebilme özelliklerine sahiptir. Bu çalışma kapsamında kullanılan ESP8266-12E uygulaması C dilinde yazılmıştır ve kod geliştirme ortamı olarak Arduino IDE platformu kullanılmıştır. Arduino IDE, modülü programlamak için gerekli NodeMCU v3 desteğini ön tanımlı olarak sunmadığı için NodeMCU v3 kart geliştirme bileşenleri ve kütüphaneleri dış kaynaklardan sağlanmış ve IDE'ye eklenmiştir. NodeMCU v3 modülünün USB arabirimi üzerinden Arduino IDE ile haberleşme testleri yapıldıktan sonra, ağ yayını yaptırmak üzere geliştirilen uygulama cihaza yüklenmiştir.



Şekil 2.4. NodeMCU v3 modülü

### 2.2.1.3. ESP8266-12E uygulama tasarımı

ESP8266-12E uygulaması, sürekli WiFi yayını yapan bir erişim noktası (access point) olacak şekilde tasarlanmıştır. Uygulama tasarımı; uygulama gereksinimleri ve bu gereksinimleri karşılayan tasarım öğeleri olarak ele alınmıştır. Verici uygulama gereksinimleri ve tasarım öğeleri aşağıda anlatıldığı gibidir.

Uygulama gereksinimleri:

- Servis Seti Tanımlayıcısı (Service Set Identifier, SSID) tanımlanabilen, belirli bir bağlantı noktası oluşturabilmelidir.
- IEEE 802.11b/g/n standartlarında kablosuz yayın yapabilmelidir.

Tasarım ögeleri:

- Bağlantı noktası oluşturmada ESP8266WiFi.h kütüphanesi kullanılmıştır. SSID olarak "ESP8266-12E" değeri verilmiş, alıcı cihazlar da RSSI okumalarını bu SSID tarafından adlandırılan ağ üzerinde yapacak şekilde konfigüre edilmiştir.
- Cihaz IEEE 802.11b, IEEE 802.11g ve IEEE 802.11n standartlarını desteklemekle birlikte [30], IEEE 802.11n'ye göre daha düşük güç tüketimi imkânı sunduğu ve IEEE 802.11b'ye göre daha hızlı haberleşme imkânı sunduğu için, varsayılan (default) mod IEEE 802.11g tercih edilmiştir.

## **2.2.2. Alıcı cihaz**

### **2.2.2.1. Cihaz seçimi**

Alıcı cihaz seçimi yapılırken, kullanılacak cihazın aşağıdaki özellikleri taşıyor olmasına dikkat edilmiştir:

- Sürekli kablosuz ağ taraması yapabilmesi
- Deneyler sırasında değişen deney parametrelerinin kolayca girilebileceği bir arayüz sunabilmesi
- Okunan RSSI değerlerinin metin dosyası formatında kaydedebilmesi ve bu dosyalara kolayca erişim sağlanabilmesi
- Kolay taşınabilir olması

Bu gereksinimlerden dolayı verici cihazın Android destekli bir akıllı telefon olmasına ve Android platformunda bir uygulama yazılarak cihaz üzerinde kullanılmasına karar verilmiştir.

Android uygulamasının, arayüzünün kolay erişilebilir ve kullanılabilir olması, elde edilen RSSI değerlerini metin dosyası formatında yazabilmesi ve kaydedebilmesi, güvenilir olması gibi gereksinimleri karşılaması göz önünde bulundurulmuştur. Tüm bu gereksinimlerin yanında günlük hayatta oldukça önemli bir yer tutan akıllı telefonların bu çalışmada yer alması, çalışılan mesafe kestirim yöntemlerinin gündelik hayatta uygulanabilirliğinin tecrübe edilmesi açısından önemli kazanımlar sağlamıştır. Alıcı cihaz olarak seçilen Android destekli akıllı telefonlarda çalıştırılmak üzere

geliştirilmiş olan Android uygulamasının bekleme ve tarama modu arayüz görüntüleri sırasıyla Şekil 2.5 a) ve Şekil 2.5 b)'de verilmiştir.

Uygulama geliştirme aşamasında Sony marka Xperia Z model akıllı telefon kullanılmıştır. Deneylerin bir kısmında da kullanılan bu cihazın özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Desteklenen Ağ Teknolojileri: Mobil İletişim İçin Küresel Sistem (Global System for Mobile Communications, GSM), Yüksek Hızlı Paket Erişimi (High Speed Packet Access, HSPA), Uzun Vadeli Evrim (Long Term Evolution, LTE)
- İşletim Sistemi: Android 5.1.1 Lollipop
- İşlemci: Quad-core 1.5 GHz Krait
- İletişim Altyapısı: Wi-Fi 802.11 a/b/g/n, dual-band

Deneyler boyunca kullanılan diğer bir cihaz da Lenovo marka Vibe S1 Lite model akıllı telefondur. Bu cihaza ait özellikler de aşağıda verilmiştir:

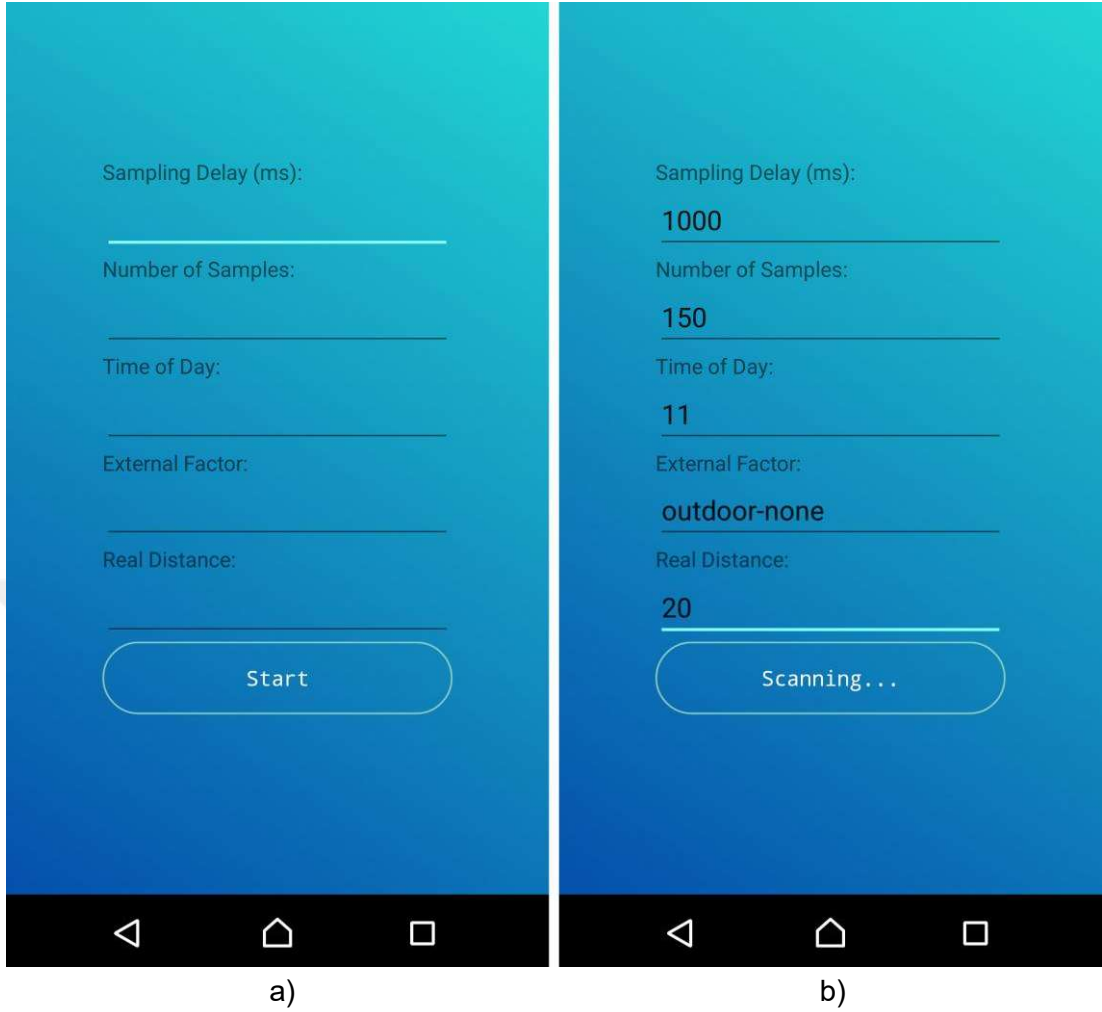
- Desteklenen Ağ Teknolojileri: GSM/HSPA/LTE
- İşletim Sistemi: Android 5.1.1 Lollipop
- İşlemci: Octa-core 1.3 GHz Cortex-A53
- İletişim Altyapısı: Wi-Fi 802.11 b/g/n

#### **2.2.2.2. Geliştirme ortamı**

Android uygulaması Java programlama dili ve Gradle proje altyapısı ile Android Studio geliştirme platformu üzerinde programlanmıştır. Geliştirmelerde Java Development Kit 1.8 Update-131 versiyonu kullanılmıştır. Uygulamanın gerçek ortam testleri Android 5.1.1 işletim sistemi kurulu bir akıllı telefon üzerinde gerçekleştirilmiş, aynı cihaz daha sonra deneylerde de kullanılmıştır.

#### **2.2.2.3. Android uygulama tasarımı**

Android uygulaması, ESP8266-12E yongasının yayınladığı kablosuz ağa ait sinyalleri belirli aralıklarla taramak ve RSSI değerlerini metin dosyasına yazmak amacı ile geliştirilmiştir. Aynı zamanda kolay kullanılabilir bir arayüz sunarak değişen ortam ve deney parametrelerine uyum sağlayabilen bir tasarım için çalışılmıştır.



Şekil 2.5. Android uygulaması: a) bekleme modu b) tarama modu

Bu bölümde tasarım öğeleri, uygulama gereksinimleri ile birlikte sunulmuştur. Aşağıda alıcı uygulama gereksinimleri ve bu gereksinimleri karşılayan tasarım öğeleri anlatılmaktadır.

Uygulama gereksinimleri:

- Kolay kullanılabilir bir arayüze sahip olmalıdır.
- Ortam koşulları kullanıcı arayüzünden tanımlanabilir olmalıdır:
- Bir deney süresince kaç adet RSSI okuması yapılacağı kullanıcı arayüzünden tanımlanabilir olmalıdır.
- Yapılan ardışık iki RSSI okuması arasında geçen süre kullanıcı arayüzünden tanımlanabilir olmalıdır.
- Ölçüm başladığında kullanıcı bilgilendirilmelidir.
- Ölçüm bittiğinde uyarı verilmelidir.
- Ölçüm sonuçları belirlenen formatta metin dosyasına yazılabilir.

- Deney parametreleri, metin dosyasının adı olacak şekilde, kullanıcı arayüzünden tanımlanabilir olmalıdır.

Tasarım öğeleri:

Kullanıcı arayüzü, uygulamada deney parametresi olarak tanımlı tüm değerlerin değer atamalarının yapılabileceği şekilde tasarlanmıştır. Değer atamaları arayüz üzerinden yapılabilen değişkenler aşağıdaki gibidir:

- `samplingDelay`: Ardışık iki RSSI okuması arasındaki süreyi temsil eder, ms (milisaniye) cinsinden verilir.
- `numberOfSamples`: Deney süresince toplamda kaç adet RSSI okuması yapılacağı bilgisini tutar.
- `timeOfDay`: Ölçümlerde bir etkisi yoktur, oluşturulan dosya isminde ölçümün hangi zaman diliminde yapıldığının belirtilmesi için kullanılır.
- `externalFactor`: Ölçümlerde bir etkisi yoktur, oluşturulan dosya isminde mevcut dış etkenlerin belirtilmesi için kullanılır.
- `realDistance`: Ölçümlerde bir etkisi yoktur, ölçümün yapıldığı gerçek mesafenin oluşturulan dosya isminde kullanılması için tanımlanmıştır.

Yukarıda belirtildiği gibi `samplingDelay` ve `numberOfSamples` değişkenleri ölçüme aktif olarak etki eden değerlerken; `timeOfDay`, `externalFactor` ve `realDistance` değişkenleri ölçüm sonunda oluşturulan dosya isimlerinde kullanılan, deneyin hangi şartlarda yapıldığı bilgisini tutan değerlerdir.

Kullanıcı arayüzü Android'in `LinearLayout` bileşeninin dikey dizilim (`vertical orientation`) özelliği ile ekran üzerinde alt alta sıralı duran, yukarıda anlatılan değişkenlerin tanımlandığı `TextView` değerleri şeklinde tasarlanmıştır. Ekranın alt kısmına RSSI okumalarını tetikleyen bir başlama butonu konumlandırılmıştır. Ölçüm bu butona basılarak başlatılır ve ölçüm başladıktan sonra buton etkisiz duruma geçer. Ölçüm tamamlandığında ise buton tekrar etkin duruma geçer ve cihaz 1 saniye boyunca titreşerek kullanıcıyı uyarır.

Ardışık iki RSSI okuması arasındaki süre daha önce belirtildiği gibi `samplingDelay` değişkeni ile tutulmaktadır. Uygulama RSSI okumalarını başlama butonuna basıldığında bir defaya mahsus olarak `WirelessRunnable` sınıfını çağırarak başlatmaktadır. `WirelessRunnable` sınıfı bir RSSI okumasını tetikledikten sonra `samplingDelay` değişkeninde tutulan değer kadar milisaniye boyunca uyur ve yeni bir `WirelessRunnable` nesnesi çalıştırarak çalışmasına son verir. Bu yinelemeli

(recursive) döngü numberOfSamples değişkeninde tutulan değer kadar devam eder. RSSI okumalarını WirelessRunnable sınıfı tetiklemekte ve elde edilen değerler bir listeye yazılmaktadır. Listenin boyutu numberOfSamples değişkeninde tutulan değere ulaştığında elde edilen listedeki tüm değerler bir metin dosyasına yazılmaktadır.

Uygulama yalnızca "ESP8266-12E" SSID'sine sahip ağı dinleyerek bu ağa ait RSSI değerlerini okuyup metin dosyasına yazma işini gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır. Uygulama arayüzde belirtilen sayıda RSSI okuması yaptıktan sonra elde edilen değerleri her biri yeni bir satırda olacak şekilde aşağıdaki formatta metin dosyasına yazmaktadır:

Tarih(yyyy-MM-dd'T'HH:mm:ss.SSS) RSSI Frekans

Her ölçüm sonunda yeni bir dosya oluşturulmaktadır. Oluşturulan dosyalar Android cihazın "downloads" (indirilenler) dizinine yazılmaktadır. Dosya isimleri kullanıcı arayüzünden girilen değerler kullanılarak oluşturulmaktadır. Dosya isimlendirme formatı aşağıdaki gibidir:

```
<externalFactor>-delay<samplingDelay>-samples<numberOfSamples>-  
time<timeOfDay>-distance<realDistance>.txt
```

Uygulama toplamda 4 sınıftan oluşmaktadır:

- MainActivity: Uygulamanın giriş noktasını ve arayüz ekranını oluşturur.
- RSSIApplication: Uygulamanın Application sınıfıdır, Application Android'in ön tanımlı temel sınıflarındandır. Uygulamanın Android WiFi kütüphanesini kullanabilmesi ve RSSI okumalarını yapabilmesi için gerekli servis kaydı (service registry) tanımlamaları burada yapılır.
- WifiReceiver: Android'in ön tanımlı BroadcastReceiver sınıfını kapsamına alır (extend). Bu sayede WiFi tarama sonuçları bu sınıfa yönlendirilir, okunan RSSI değerleri burada yönetilir.
- WirelessRunnable: Android'in yapısı gereği, her bir RSSI okuması farklı bir yürütme birimi (thread) tarafından yapılmaktadır. Bu iş için WirelessRunnable sınıfı yazılmıştır. WirelessRunnable nesnesi RSSIApplication sınıfı üzerinden bir kez tetiklendikten sonra, yinelemeli olarak RSSI okuma zincirini yönetir. Toplam RSSI okuması, numberOfSamples değişkeninde tutulan değer kadar yapılır.



### 2.2.3. Diğer ekipmanlar

Deneyleerde ESP8266-12E yongası ve Android cihazla birlikte bazı yardımcı ekipmanlar kullanılmıştır. Bu ekipmanlar ve kullanım amaçları aşağıdaki gibidir:



Şekil 2.6. Diğer ekipmanlar: a) üç ayak b) metre c) batarya d) mikro USB kablo e) kutu f) kıyafet

- Üç Ayak (Tripod): ESP8266-12E yongasının toz ve nem gibi olumsuz çevre şartlarından korunması için kullanılmıştır. Ekipmana ait görsel Şekil 2.6 a)'da verildiği gibidir.

- Metre: Deneylerde gerçek mesafenin ölçülmesi için kullanılmıştır. Ekipmana ait görsel Şekil 2.6 b)'de verildiği gibidir.
- Batarya: Mobil cihazların şarj edilmesinde kullanılan 6000 mAh (miliamper) gücünde 5 V çıkışlı bir bataryadır. ESP8266-12E yongası için güç kaynağı olarak kullanılmıştır. Uzun süreli deneylerde zaman zaman Android cihazın şarj edilmesinde de faydalanılmıştır. Ekipmana ait görsel Şekil 2.6 c)'de verildiği gibidir.
- Mikro USB Kablo: ESP8266-12E yongasının batarya ile güç bağlantısının yapılabilmesi için kullanılmıştır. Ekipmana ait görsel Şekil 2.6 d)'de verildiği gibidir.
- Kutu: Kartondan imal edilmiş bir kutunun sinyal gücü üzerindeki etkisinin ölçüldüğü deneylerde ESP8266-12E yongasının anteninin engellenmesi için kullanılmıştır. Ekipmana ait görsel Şekil 2.6 e)'de verildiği gibidir.
- Kıyafet: Triko kumaştan imal edilmiş bir kıyafetin sinyal gücü üzerindeki etkisinin ölçüldüğü deneylerde ESP8266-12E yongasının anteninin engellenmesi için kullanılmıştır. Ekipmana ait görsel Şekil 2.6 f)'de verildiği gibidir.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE ANALİZ

Çalışma kapsamında ilk önce mesafe kestirimi deneyleri, daha sonra ise konum tespiti deneyleri yapılmıştır. Mesafe kestirimi deneylerinde deney parametreleri olarak farklı ortam koşulları tanımlanmış ve her deney parametresi için ölçümler tekrarlanmıştır. Konum tespiti deneylerinde ise ortam koşullarının etkisi ölçülmemiş, sadece konumun tespit edilmesine yönelik çalışılmıştır.

Deneylerde verici cihaz olarak kullanılan ESP8266-12E yongasına Şekil 3.1’de gösterildiği gibi taşınabilir 5 V’luk batarya ile güç sağlanmış, NodeMCU v3 modülü bataryaya sabitlenmiş ve güç bağlantısı mikro USB kablosu aracılığı ile kurulmuştur.



Şekil 3.1. NodeMCU v3 modülü ve batarya

#### 3.1. Mesafe Kestirimi Deneyleri

##### 3.1.1. Deney parametreleri

Mesafe kestirimi deneylerinde deney parametreleri olarak;

- farklı örnek sayıları,
- farklı örnekleme oranları,
- günün farklı saatleri ve
- farklı engeller

uygulanmış, bu parametrelerin ölçümler üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Tüm deneyler bu parametrelerle 1 m'den 20 m'ye kadar toplamda 20 ayrı mesafede, dış mekânda ve iç mekânda ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Dış mekân deneyleri açık otoparkta, iç mekân deneyleri ise kapalı otoparkta gerçekleştirilmiştir. Dış mekân ve iç mekân deney ortamlarından görseller sırasıyla Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.2. Dış mekân ölçümleri

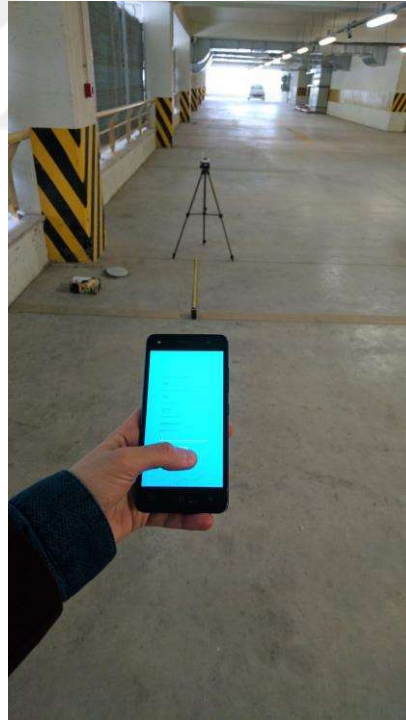
Dış mekân ve iç mekân deney ortamlarında ölçüm yapılırken, sinyal iletiminde yaşanan kaybın en aza indirgenmesi amacıyla, verici ile alıcının üzerlerinde bulunduğu doğru üzerinde, ortalarından herhangi bir cismin geçmemesine dikkat edilmiştir. Ölçümler sırasında verici ile alıcı aynı yükseklikte tutularak, verici ve alıcının yere paralel bir doğru üzerinde bulunmasına dikkat edilmiştir. Bu amaçla telefon Şekil 3.4'te de görülebileceği gibi, yonganın üzerinde bulunduğu üç ayağın hizasına getirilmiş, uygulama bu şekilde çalıştırılmıştır. Bu sayede ölçüm yapılan mesafenin metre ile ölçülen mesafe ile aynı olması sağlanmıştır.

Farklı deney parametreleri ile gerçekleştirilen ölçümlerde toplanan veriler, her deney parametresine ait alt parametrelerin sinyal gücü üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması için Android cihazda saklanmıştır. Sinyal gücündeki değişikliklerin daha iyi gözlemlenebilmesi için her deney parametresi için grafikler oluşturulmuştur.





Şekil 3.3. İç mekân ölçümleri



Şekil 3.4. Verici ve alıcı hizaları

### 3.1.1.1. Örnek sayısı

Örnek sayısının ölçümler üzerindeki etkisinin gözlemlendiği deneyler, Tablo 3.1’de verildiği gibi tek bir ölçümde toplamda 50 örnek, 100 örnek ve 150 örnek alınarak gerçekleştirilmiştir. Her bir örnek sayısı için ölçümler 1 m’den başlanarak ve mesafe her seferinde 1 m arttırılarak 20 m’ye ulaşıncaya kadar yapılmıştır.

Tablo 3.1. Deney parametreleri: örnek sayısı

Örnek Sayısı	Mekân
50 örnek	Dış Mekân
50 örnek	İç Mekân
100 örnek	Dış Mekân
100 örnek	İç Mekân
150 örnek	Dış Mekân
150 örnek	İç Mekân

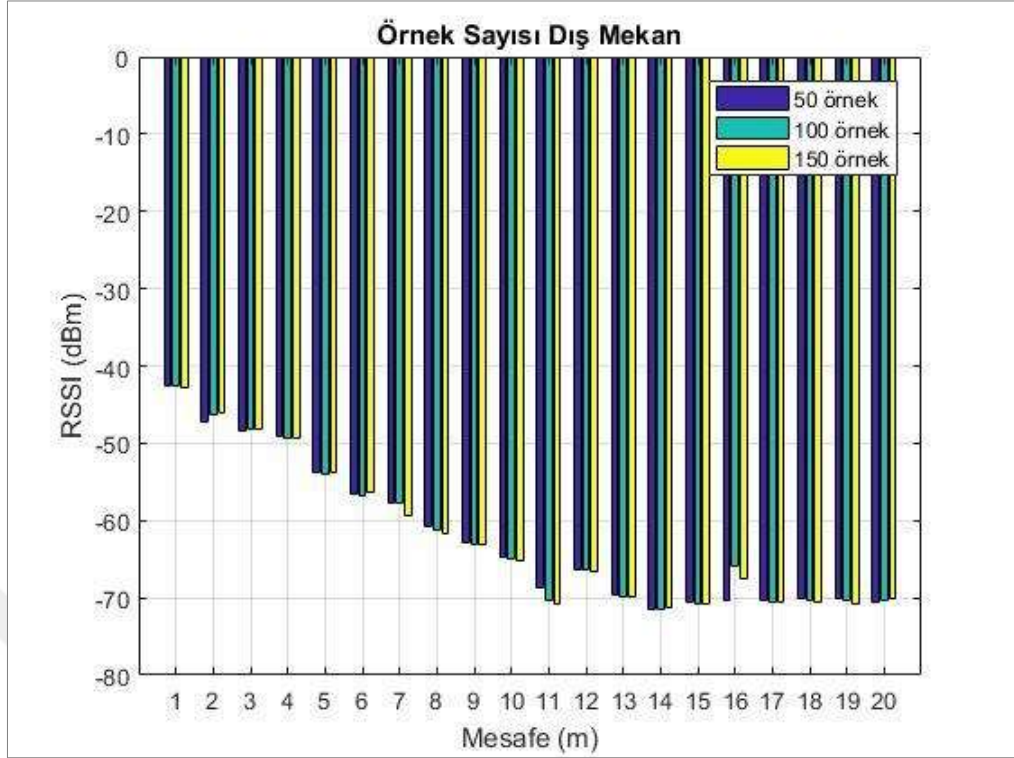
Aynı deneyler dış mekânda ve iç mekânda ayrı ayrı tekrarlanmış, verici cihaz tarafından gönderilen sinyaller alıcı cihaz tarafından taranarak sinyallerin RSSI değerleri kaydedilmiştir. Daha sonra bu RSSI değerlerinin Matlab ortamında ortalamaları alınmış ve bu ortalamalara göre RSSI - mesafe grafikleri çıkarılmıştır.

Örnek sayılarına göre sonuçları gösteren dış mekân grafikleri Şekil 3.5’te, iç mekân grafikleri ise Şekil 3.6’da verildiği gibidir.

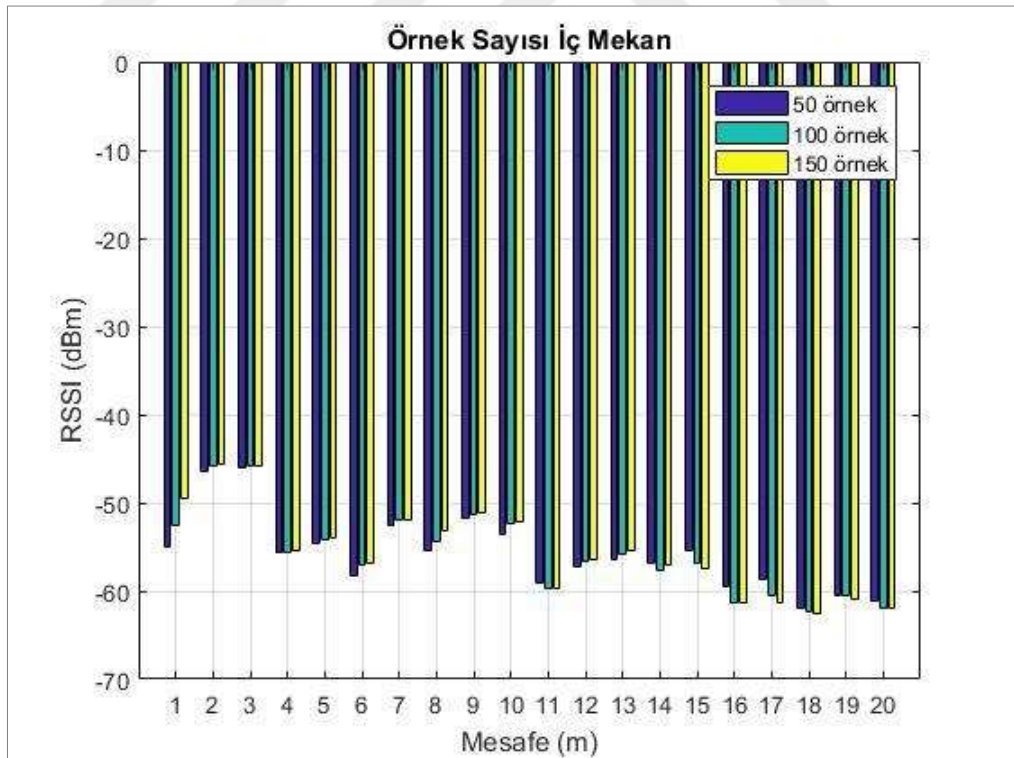
Aynı mesafede farklı örnek sayıları ile yapılan ölçümlerde elde edilen değerlerin, dış mekânda ortalama %1,0, iç mekânda ise ortalama %1,5 oranlarında değişiklik gösterdiği, Matlab ortamında hesaplanarak bulunmuştur. Örnek sayısının RSSI değerleri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

Belirli bir mesafede aynı örnek sayısı ile ölçüm yapılırken, RSSI değerlerinin stabil olmadığı gözlemlenmiş ve toplanan değerlerin standart sapmaları her mesafe ve örnek sayısı için Matlab ortamında hesaplanmıştır.

En yüksek standart sapmaların gri dolgu ile işaretlendiği, örnek sayılarına göre standart sapma sonuçlarını ve ortalamalarını gösteren dış mekân ve iç mekân standart sapma tabloları, Tablo 3.2’de verildiği gibidir.



Şekil 3.5. Örnek sayısı dış mekân RSSI - mesafe grafiği



Şekil 3.6. Örnek sayısı iç mekân RSSI - mesafe grafiği

Tablo 3.2. Standart sapmalar: örnek sayısı

Örnek Sayısı Dış Mekân				Örnek Sayısı İç Mekân			
Mesafe (m)	50 Örnek	100 Örnek	150 Örnek	Mesafe (m)	50 Örnek	100 Örnek	150 Örnek
1	2,0021	1,7675	1,5744	1	11,1547	8,7038	8,8254
2	4,9212	3,6394	3,1087	2	1,7272	1,4325	1,2399
3	3,8183	2,9256	2,4387	3	1,2936	0,9811	0,8699
4	1,0592	1,0384	1,0555	4	1,1885	0,9462	1,1060
5	0,9160	0,9742	0,9600	5	2,9416	2,1653	1,8102
6	2,5078	1,9440	1,9081	6	2,1636	1,8753	1,8434
7	0,6642	0,9885	2,7856	7	2,2121	2,0734	1,7576
8	2,1267	1,6954	1,5338	8	2,2606	1,9618	2,5361
9	2,3643	2,2851	2,6615	9	2,1404	1,7515	1,4759
10	1,7379	1,2878	1,3325	10	1,8192	1,8218	1,8149
11	2,6996	2,5603	2,2854	11	2,7836	2,0969	1,8279
12	1,1030	0,8798	0,8161	12	1,7304	1,3355	1,1392
13	1,8818	1,4374	1,2273	13	2,8634	2,1147	1,8297
14	0,9035	0,7677	0,9092	14	1,5327	1,5256	1,5480
15	0,9205	0,7719	0,7047	15	2,7386	2,4311	2,2441
16	1,0497	5,6618	5,6409	16	2,6592	2,7528	2,3397
17	2,4331	1,8007	1,5118	17	3,0207	2,8323	2,5747
18	1,2455	1,0607	1,0405	18	1,7915	1,4556	1,2396
19	1,4049	1,9010	1,8941	19	0,5439	0,5206	1,0677
20	1,5748	1,3562	1,3940	20	1,8498	1,6104	1,3586
<b>Ortalama</b>	1,8667	1,8372	1,8391	<b>Ortalama</b>	2,5208	2,1194	2,0224

Dış mekân ve iç mekânda yapılan ölçümlerdeki standart sapmalar karşılaştırıldığında, örnek sayısı parametresiyle iç mekânda yapılan ölçümlerdeki maksimum ve ortalama standart sapma değerlerinin dış mekânda yapılan ölçümlerdeki maksimum ve ortalama standart sapma değerlerine göre daha büyük olduğu görülmüştür.

Farklı örnek sayılarıyla yapılan ölçümlerdeki standart sapmalar ve standart sapma ortalamaları karşılaştırıldığında, örnek sayısı parametresinin standart sapma değerleri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

Farklı mesafelerdeki standart sapmalar incelendiğinde verici cihaz ve alıcı cihaz arasındaki mesafe ile standart sapmanın büyüklüğü arasında bir ilişki gözlemlenmemiştir.



### 3.1.1.2. Örnekleme oranı

Örnekleme oranının ölçümler üzerindeki etkisinin gözlemlendiği deneyler, Tablo 3.3'te verildiği gibi  $250 \text{ ms}^{-1}$  (saniyede 4 kere),  $500 \text{ ms}^{-1}$  (saniyede 2 kere) ve  $1000 \text{ ms}^{-1}$  (saniyede 1 kere) frekanslarında RSSI değeri okunarak gerçekleştirilmiştir. Her bir örnekleme oranı için ölçümler 1 m'den başlanarak ve mesafe her seferinde 1 m artırılarak 20 m'ye ulaşıncaya kadar yapılmıştır.

Tablo 3.3. Deney parametreleri: örnekleme oranı

Örnekleme Oranı	Mekân
$250 \text{ ms}^{-1}$	Dış Mekân
$250 \text{ ms}^{-1}$	İç Mekân
$500 \text{ ms}^{-1}$	Dış Mekân
$500 \text{ ms}^{-1}$	İç Mekân
$1000 \text{ ms}^{-1}$	Dış Mekân
$1000 \text{ ms}^{-1}$	İç Mekân

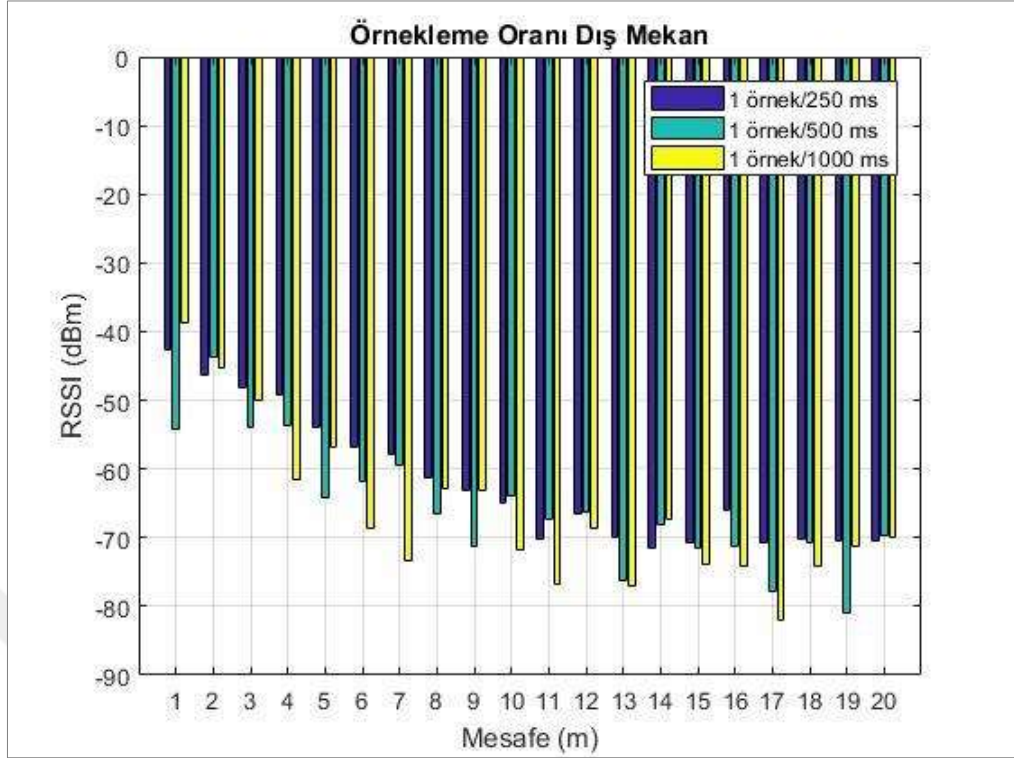
Aynı deneyler dış mekânda ve iç mekânda ayrı ayrı tekrarlanmış, verici cihaz tarafından gönderilen sinyaller alıcı cihaz tarafından taranarak sinyallerin RSSI değerleri kaydedilmiştir. Daha sonra bu RSSI değerlerinin Matlab ortamında ortalamaları alınmış ve bu ortalamalara göre RSSI - mesafe grafikleri çıkarılmıştır.

Örnekleme oranlarına göre sonuçları gösteren dış mekân grafikleri Şekil 3.7'de iç mekân grafikleri ise Şekil 3.8'de verildiği gibidir.

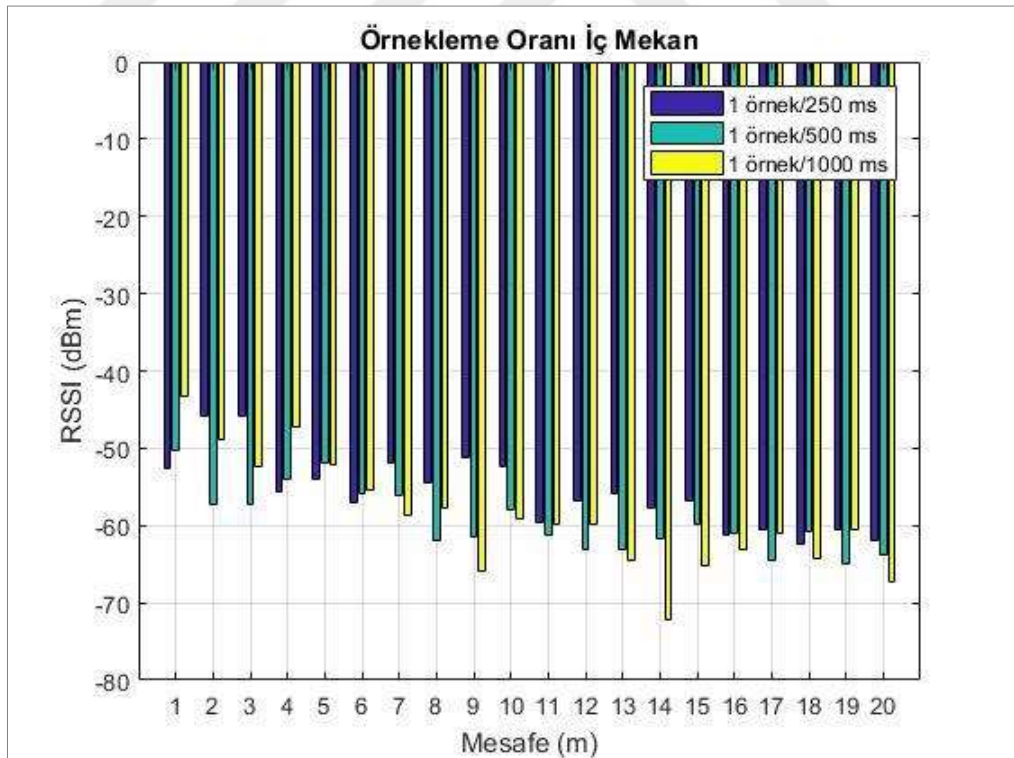
Farklı örnekleme oranları ile aynı mesafede yapılan ölçümlerde elde değerlerin, dış mekânda ortalama %8,3, iç mekânda ise ortalama %8,2 oranlarında değişiklik gösterdiği, Matlab ortamında hesaplanarak bulunmuştur. En düşük örnekleme oranı olan  $250 \text{ ms}^{-1}$  frekansında yapılan ölçümlerde okunan RSSI değerlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Belirli bir mesafede aynı örnekleme oranı ile ölçüm yapılırken, RSSI değerlerinin stabil olmadığı gözlemlenmiş ve toplanan değerlerin standart sapmaları her mesafe ve örnekleme oranı için Matlab ortamında hesaplanmıştır.

En yüksek standart sapmaların gri dolgu ile işaretlendiği, örnekleme oranlarına göre standart sapma sonuçlarını ve ortalamalarını gösteren dış mekân ve iç mekân standart sapma tabloları, Tablo 3.4'te verildiği gibidir.



Şekil 3.7. Örnekleme oranı dış mekân RSSI - mesafe grafiği



Şekil 3.8. Örnekleme oranı iç mekân RSSI - mesafe grafiği

Tablo 3.4. Standart sapmalar: örnekleme oranı

Örnekleme Oranı Dış Mekân				Örnekleme Oranı İç Mekân			
Mesafe (m)	250 ms-1	500 ms-1	1000 ms-1	Mesafe (m)	250 ms-1	500 ms-1	1000 ms-1
1	1,7675	2,6989	1,7263	1	8,7038	1,4381	1,8167
2	3,6394	1,9726	2,8781	2	1,4325	2,5685	1,6834
3	2,9256	4,7932	1,0195	3	0,9811	5,3411	1,6947
4	1,0384	5,7030	0,8040	4	0,9462	0,0000	0,6945
5	0,9742	1,5232	1,4077	5	2,1653	2,1692	1,1326
6	1,9440	4,8722	1,7291	6	1,8753	1,8097	1,1833
7	0,9885	1,4250	2,1932	7	2,0734	1,7659	1,4062
8	1,6954	4,2762	1,2277	8	1,9618	1,3816	0,6243
9	2,2851	1,5668	1,7090	9	1,7515	1,0480	1,2457
10	1,2878	1,9982	3,2901	10	1,8218	2,3445	2,1036
11	2,5603	1,2143	1,2379	11	2,0969	0,8909	2,4446
12	0,8798	1,9215	1,4240	12	1,3355	0,8453	2,7957
13	1,4374	1,5485	2,2243	13	2,1147	1,1099	1,5070
14	0,7677	1,8667	2,3884	14	1,5256	0,9645	2,5761
15	0,7719	2,2957	1,6017	15	2,4311	0,7120	3,6044
16	5,6618	1,3771	2,2962	16	2,7528	0,9742	1,1705
17	1,8007	2,7991	3,1096	17	2,8323	1,1386	2,5699
18	1,0607	1,8942	2,4728	18	1,4556	0,7436	4,9981
19	1,9010	2,7733	1,2313	19	0,5206	1,8271	0,8918
20	1,3562	2,1608	2,3973	20	1,6104	0,9692	1,7789
<b>Ortalama</b>	1,8372	2,5340	1,9184	<b>Ortalama</b>	2,1194	1,5021	1,8961

Dış mekân ve iç mekânda yapılan ölçümlerdeki standart sapmalar karşılaştırılmış ve örnekleme oranı parametresiyle iç mekânda yapılan ölçümlerdeki maksimum ve ortalama standart sapma değerleri ile dış mekânda yapılan ölçümlerdeki maksimum ve ortalama standart sapma değerleri arasında bir ilişki kurulamamıştır.

Farklı örnekleme oranlarıyla yapılan ölçümlerdeki standart sapmalar ve standart sapma ortalamaları karşılaştırıldığında, örnekleme oranı parametresinin standart sapma değerleri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

Farklı mesafelerdeki standart sapmalar incelendiğinde verici cihaz ve alıcı cihaz arasındaki mesafe ile standart sapmanın büyüklüğü arasında bir bağlantı görülememiştir.

### 3.1.1.3. Günün saati

Günün saatinin ölçümler üzerindeki etkisinin gözlemlendiği deneyler, Tablo 3.5'te verildiği gibi saat 11:00 - 13:00 arası, 15:00 - 17:00 arası ve 19:00 - 21:00 arasında gerçekleştirilmiştir. Her bir saat dilimi için ölçümler 1 m'den başlanarak ve mesafe her seferinde 1 m arttırılarak 20 m'ye ulaşıncaya kadar yapılmıştır.

Tablo 3.5. Deney parametreleri: günün saati

Günün Saati	Mekân
11:00 - 13:00	Dış Mekân
11:00 - 13:00	İç Mekân
15:00 - 17:00	Dış Mekân
15:00 - 17:00	İç Mekân
19:00 - 21:00	Dış Mekân
19:00 - 21:00	İç Mekân

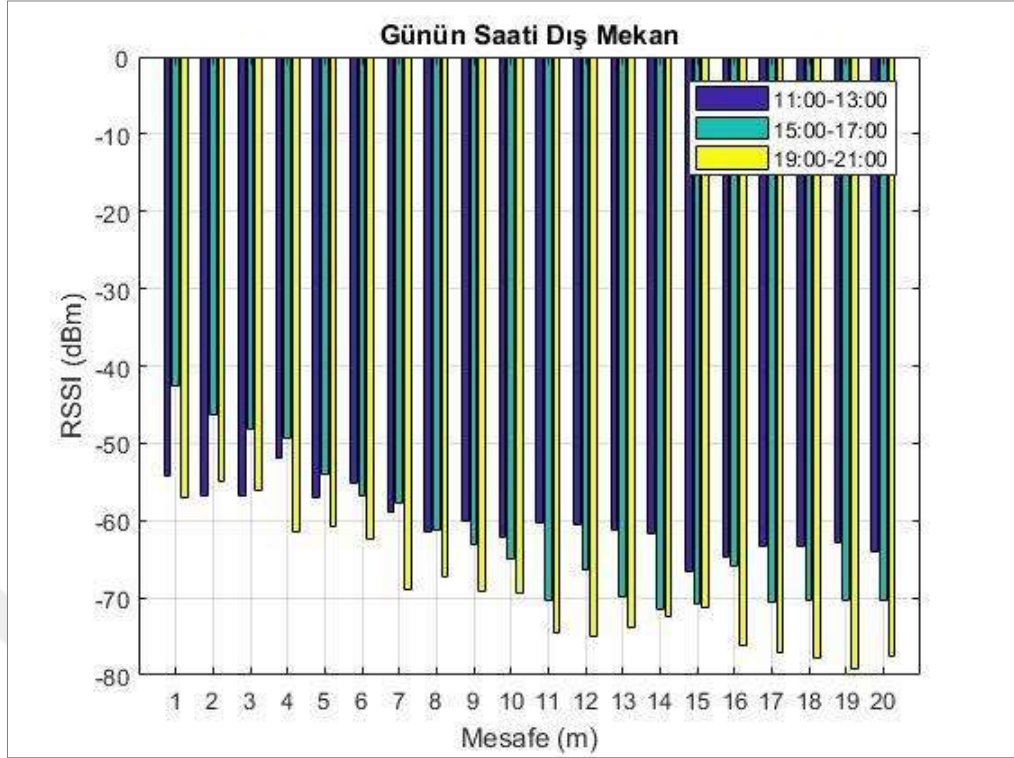
Aynı deneyler dış mekânda ve iç mekânda ayrı ayrı tekrarlanmış, verici cihaz tarafından gönderilen sinyaller alıcı cihaz tarafından taranarak sinyallerin RSSI değerleri kaydedilmiştir. Daha sonra bu RSSI değerlerinin Matlab ortamında ortalamaları alınmış ve bu ortalamalara göre RSSI - mesafe grafikleri çıkarılmıştır.

Günün saatlerine göre sonuçları gösteren dış mekân grafikleri Şekil 3.9'da, iç mekân grafikleri ise Şekil 3.10'da verildiği gibidir.

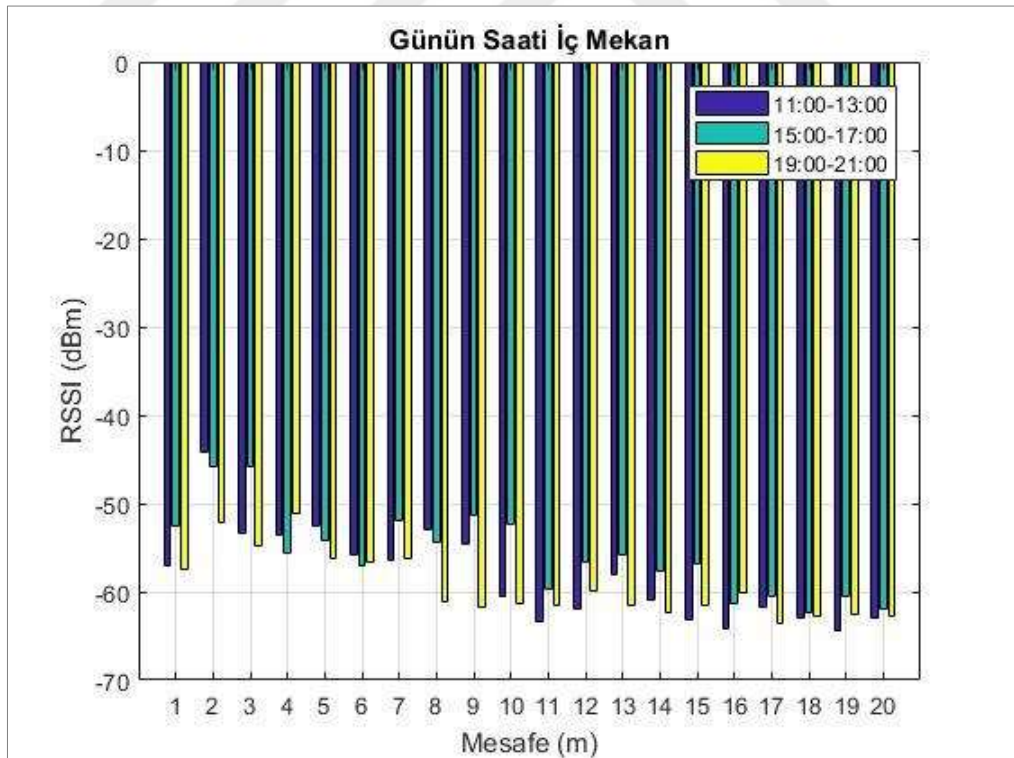
Günün farklı saatlerinde aynı mesafede yapılan ölçümlerde elde değerlerin, dış mekânda ortalama %11,6, iç mekânda ise ortalama %6,0 oranlarında değişiklik gösterdiği Matlab ortamında hesaplanarak bulunmuş, gün içinde vakit ilerledikçe RSSI değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Belirli bir mesafede günün aynı saat diliminde ölçüm yapılırken, RSSI değerlerinin stabil olmadığı gözlemlenmiş ve toplanan değerlerin standart sapmaları her mesafe ve saat dilimi için Matlab ortamında hesaplanmıştır.

En yüksek standart sapmaların gri dolgu ile işaretlendiği, günün saatine göre standart sapma sonuçlarını ve ortalamalarını gösteren dış mekân ve iç mekân standart sapma tabloları, Tablo 3.6'da verildiği gibidir.



Şekil 3.9. Günün saati dış mekân RSSI - mesafe grafiği



Şekil 3.10. Günün saati iç mekân RSSI - mesafe grafiği

Tablo 3.6. Standart sapmalar: günün saati

Günün Saati Dış Mekân				Günün Saati İç Mekân			
Mesafe (m)	11:00-13:00	15:00-17:00	19:00-21:00	Mesafe (m)	11:00-13:00	15:00-17:00	19:00-21:00
1	4,9642	1,7675	2,1415	1	5,0791	8,7038	4,6698
2	1,6483	3,6394	1,3000	2	1,9765	1,4325	3,7358
3	1,7320	2,9256	1,2821	3	0,4824	0,9811	1,9697
4	1,5406	1,0384	1,5070	4	1,6581	0,9462	2,3324
5	0,3379	0,9742	1,7236	5	1,0926	2,1653	2,4303
6	1,1062	1,9440	0,8326	6	3,4002	1,8753	2,3203
7	1,2552	0,9885	1,4456	7	0,4943	2,0734	1,9891
8	1,2181	1,6954	1,8346	8	1,2384	1,9618	3,3111
9	1,1711	2,2851	1,3327	9	1,0139	1,7515	1,6890
10	1,5573	1,2878	2,2612	10	2,9342	1,8218	1,2421
11	0,4902	2,5603	2,0313	11	0,4902	2,0969	2,5061
12	1,0195	0,8798	3,9323	12	0,7247	1,3355	0,5630
13	1,2339	1,4374	2,0215	13	1,6041	2,1147	0,9479
14	3,9526	0,7677	3,0922	14	1,6236	1,5256	0,4688
15	1,1467	0,7719	0,6558	15	0,4408	2,4311	0,7091
16	2,1526	5,6618	3,6710	16	1,1537	2,7528	1,8492
17	4,0157	1,8007	3,8045	17	0,5574	2,8323	0,4943
18	1,7424	1,0607	2,0680	18	0,7996	1,4556	1,4219
19	0,7288	1,9010	3,8978	19	0,7174	0,5206	1,8500
20	1,1947	1,3562	2,9383	20	0,3379	1,6104	1,6372
<b>Ortalama</b>	1,7104	1,8372	2,1887	<b>Ortalama</b>	1,3910	2,1194	1,9069

Dış mekân ve iç mekânda yapılan ölçümlerdeki standart sapmalar karşılaştırılmış ve günün saati parametresiyle iç mekânda yapılan ölçümlerdeki maksimum ve ortalama standart sapma değerleri ile dış mekânda yapılan ölçümlerdeki maksimum ve ortalama standart sapma değerleri arasında bir ilişki olmadığı görülmüştür.

Günün farklı saatlerinde yapılan ölçümlerdeki standart sapmalar ve standart sapma ortalamaları karşılaştırıldığında, günün saati parametresinin standart sapma değerleri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı çıkarımı yapılmıştır.

Farklı mesafelerdeki standart sapmalar incelendiğinde verici cihaz ve alıcı cihaz arasındaki mesafe ile standart sapmanın büyüklüğü arasında bir ilişki kurulamamıştır.

#### 3.1.1.4. Engeller

Engellerin ölçümler üzerindeki etkisinin gözlemlendiği deneyler, Tablo 3.7’de verildiği gibi kutu engeliyle, kıyafet engeliyle ve engelsiz olarak gerçekleştirilmiştir. Kutu engeli Şekil 3.11 a)’da, kıyafet engeli ise Şekil 3.10 b)’de gösterildiği gibidir. Her bir engel için ölçümler 1 m’den başlanarak ve mesafe her seferinde 1 m arttırılarak 20 m’ye ulaşıncaya kadar yapılmıştır.

Tablo 3.7. Deney parametreleri: engeller

Engel	Mekân
Kutu	Dış Mekân
Kutu	İç Mekân
Kıyafet	Dış Mekân
Kıyafet	İç Mekân
Yok	Dış Mekân
Yok	İç Mekân

Aynı deneyler dış mekânda ve iç mekânda ayrı ayrı tekrarlanmış, verici cihaz tarafından gönderilen sinyaller alıcı cihaz tarafından taranarak sinyallerin RSSI değerleri kaydedilmiştir. Daha sonra bu RSSI değerlerinin Matlab ortamında ortalamaları alınmış ve bu ortalamalara göre RSSI - mesafe grafikleri çıkarılmıştır.

Engellere göre sonuçları gösteren dış mekân grafikleri Şekil 3.12’de, iç mekân grafikleri ise Şekil 3.13’te verildiği gibidir.

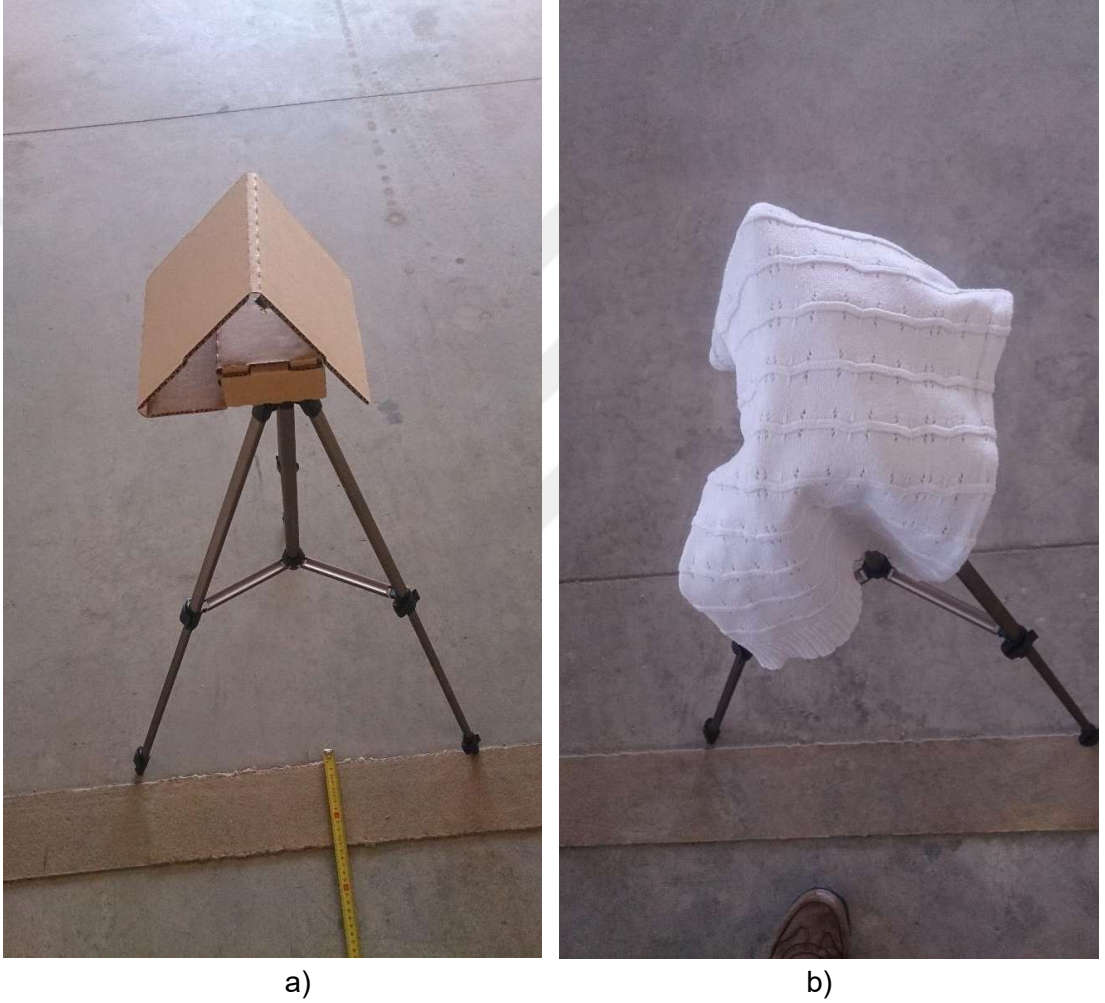
Farklı engellerle aynı mesafede yapılan ölçümlerde elde değerlerin, dış mekânda ortalama %9,8, iç mekânda ise ortalama %5,9 oranlarında değişiklik gösterdiği Matlab ortamında hesaplanarak bulunmuş, engellerin sinyal gücünü azaltarak okunan RSSI değerlerinin düşmesine sebep olduğu gözlemlenmiştir.

Belirli bir mesafede aynı engelle ölçüm yapılırken, RSSI değerlerinin stabil olmadığı gözlemlenmiş ve toplanan değerlerin standart sapmaları her mesafe ve engel için Matlab ortamında hesaplanmıştır.

En yüksek standart sapmaların gri dolgu ile işaretlendiği, engellere göre standart sapma sonuçlarını ve ortalamalarını gösteren dış mekân ve iç mekân standart sapma tabloları, Tablo 3.8’de verildiği gibidir.

Engeller parametresiyle iç mekânda yapılan ölçümlerdeki maksimum ve ortalama standart sapma değerleri ile dış mekânda yapılan ölçümlerdeki maksimum ve ortalama standart sapma değerleri arasında bir ilişki kurulamamıştır.

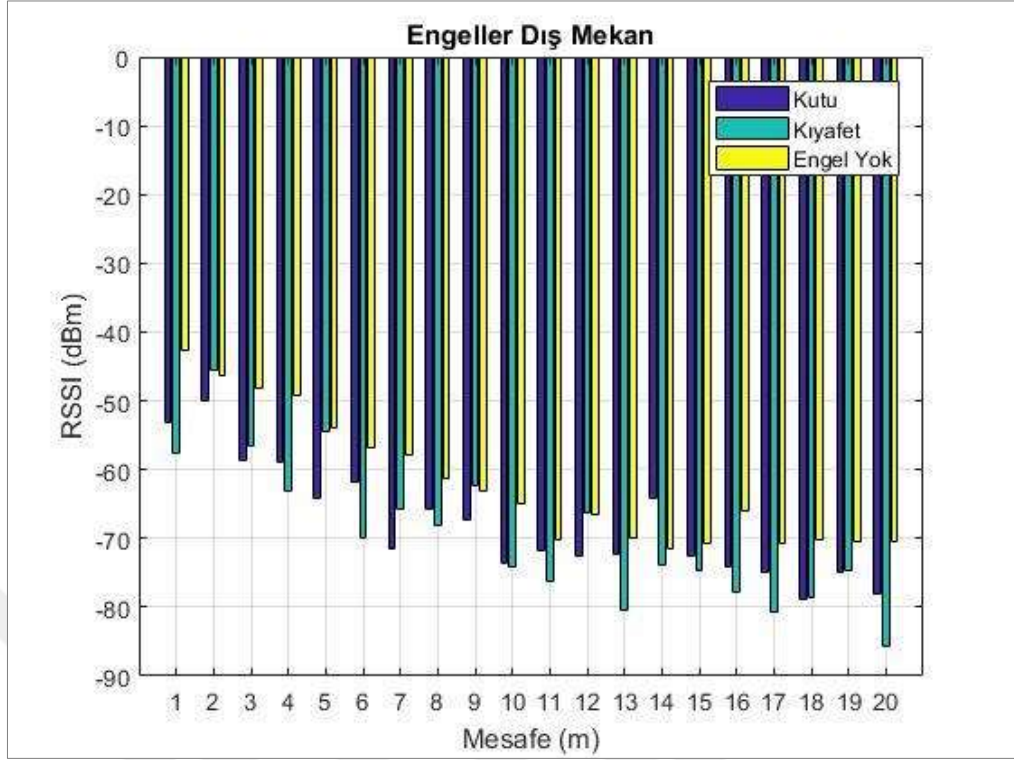
Engeller parametresinin standart sapma değerleri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı sonucuna varılmış, verici ve alıcı ile arasındaki mesafe ile standart sapma değerleri arasında da bir bağlantı görülememiştir.



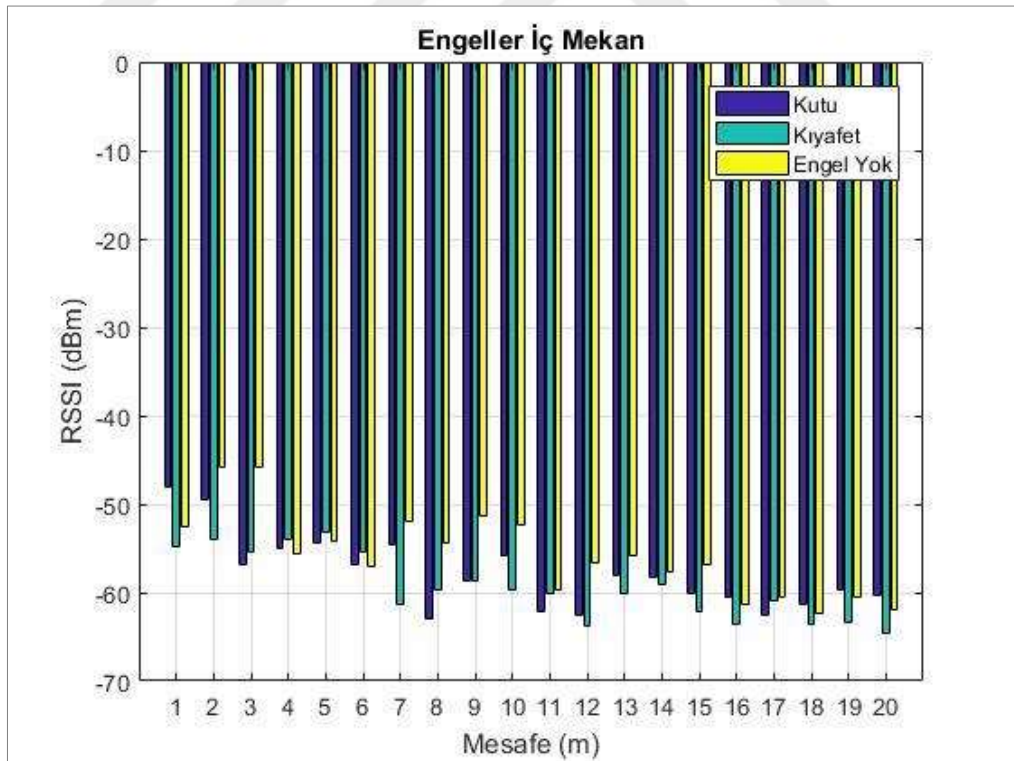
Şekil 3.11. Engeller: a) kutu engeli b) kıyafet engeli

Tüm deney parametreleri ile yapılan ölçümlere ait RSSI - mesafe grafiklerinde, RSSI değerlerinin verici ve alıcı arasındaki mesafe arttıkça azaldığı ve okunan RSSI değerlerinin stabil olmadığı gözlemlenmiştir.





Şekil 3.12. Engeller dış mekân RSSI - mesafe grafiği



Şekil 3.13. Engeller iç mekân RSSI - mesafe grafiği

Tablo 3.8. Standart sapmalar: engeller

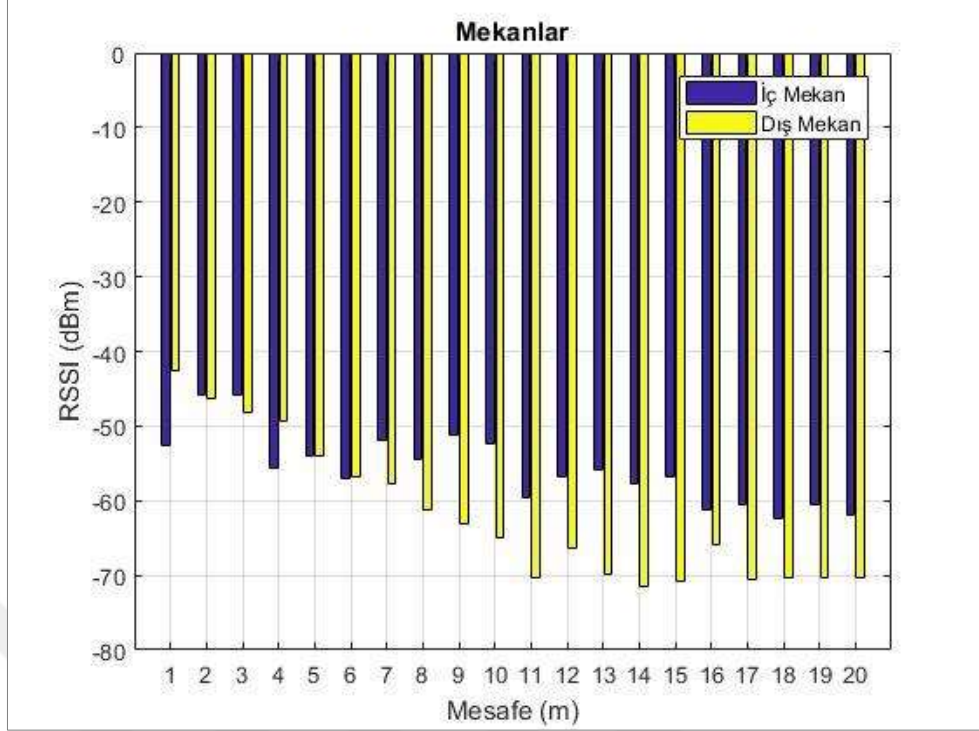
Engeller Dış Mekân				Engeller İç Mekân			
Mesafe (m)	Kutu	Kıyafet	Engel Yok	Mesafe (m)	Kutu	Kıyafet	Engel Yok
1	1,7296	1,2208	1,7675	1	5,1490	1,2742	8,7038
2	6,0102	4,0080	3,6394	2	4,6654	2,6109	1,4325
3	3,5998	0,8896	2,9256	3	4,3245	5,0500	0,9811
4	1,2392	1,6142	1,0384	4	1,6847	2,0999	0,9462
5	0,9893	0,8586	0,9742	5	2,1220	1,7925	2,1653
6	1,4774	2,1277	1,9440	6	1,6236	2,3211	1,8753
7	3,3299	0,8487	0,9885	7	2,8853	1,3926	2,0734
8	2,0664	1,6899	1,6954	8	2,9058	0,8273	1,9618
9	0,6759	1,4994	2,2851	9	0,8744	0,4943	1,7515
10	1,4164	1,3886	1,2878	10	0,7003	1,8978	1,8218
11	0,9536	1,7556	2,5603	11	1,2294	1,2783	2,0969
12	3,1374	1,5612	0,8798	12	1,0192	1,3989	1,3355
13	2,2903	1,4456	1,4374	13	1,0042	1,7339	2,1147
14	1,6060	1,6395	0,7677	14	1,0019	2,2243	1,5256
15	1,8367	2,6490	0,7719	15	0,7034	0,8042	2,4311
16	2,6646	2,4040	5,6618	16	2,1134	1,1499	2,7528
17	1,7238	2,5477	1,8007	17	1,4104	2,4618	2,8323
18	1,4419	0,8932	1,0607	18	1,2148	0,7174	1,4556
19	1,7628	2,1361	1,9010	19	0,6974	0,5563	0,5206
20	3,1739	1,9694	1,3562	20	0,9648	1,0462	1,6104
<b>Ortalama</b>	2,1563	1,7573	1,8372	<b>Ortalama</b>	1,9147	1,6566	2,1194

### Dış mekân ve iç mekân karşılaştırması

100 örnekle, 250 ms<sup>-1</sup> örnekleme oranında, 15:00 -17:00 zaman diliminde ve engelsiz olarak yapılan ölçümlere ait dış mekân ve iç mekân sonuçlarının karşılaştırıldığı grafik, Şekil 3.14'te verilmiştir.

Dış mekânda yapılan ölçümlerde RSSI ile mesafe arasındaki ters orantının iç mekânda yapılan ölçümlerdeki ters orantıya göre daha belirgin olduğu, dış mekânda yapılan ölçümlerdeki RSSI okumalarının iç mekânda yapılan ölçümlerdeki RSSI okumalarına göre mesafe ile daha uyumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

RSSI ile mesafe arasındaki ilişkinin daha belirgin bir şekilde görülebildiği, RSSI ile gerçek mesafeler ve modeller tarafından hesaplanan mesafelere ait grafikler, Bölüm 3.1.4'te verilmiştir.



Şekil 3.14. Dış mekân ve iç mekân RSSI - mesafe grafiği

### 3.1.2. Yol kaybı modellerinin uygulanması

Ölçümlerin ardından, metin dosyalarına kaydedilmiş olan RSSI değerleri ve Bölüm 1'de anlatılan yol kaybı modelleri kullanılarak, Matlab ortamında mesafe kestirimleri yapılmıştır.

Yol kaybı modelleri Matlab ortamında yazılmış, daha sonra RSSI değerlerinin ortalamaları alınmış ve ortalama RSSI değerleri yol kaybı modellerinde girdi olarak kullanılmıştır.

Modellerdeki yol kaybı katsayısını ifade eden  $n$  değerine 1, 2 ve 3 değerleri atanarak, atanan her değer için, yol kaybı modelleri ile mesafe kestirimleri yapılmıştır.

Gerçek RSSI değerlerine denk gelen mesafe verileriyle oluşturulmuş grafiklere Matlab ortamında eğri uydurma (curve fitting) uygulanmıştır. Modeller tarafından hesaplanan teorik mesafeleri temsil eden uyan eğriler, gerçek mesafelerle karşılaştırılmıştır. Bu şekilde hem her modelin kendi içinde farklı katsayılarla ortaya koyduğu sonuçlar, hem de tek bir katsayı ile farklı modellerin ortaya koyduğu sonuçlar analiz edilmiştir.

### 3.1.3. Katsayı karşılaştırmaları ve r kare değerleri

Mesafe tahmininde kullanılan bir modelde, hangi yol kaybı katsayısı ile gerçeğe daha yakın değerler üretildiğini her zaman grafik üzerinden, gözle anlamak mümkün değildir.

Bu bölümde RSSI ile gerçek mesafeler ve modeller tarafından hesaplanan mesafelere ait grafiklerdeki eğrilerin regresyon analizleri yapılmıştır. Bu şekilde hangi yol kaybı kat sayısı ile gerçeğe daha yakın mesafe değerleri üretildiği sayısal olarak görülmüştür.

Yapılan regresyon analizinde her katsayıya ait çoklu belirleme katsayısını (coefficient of multiple determination) ifade eden r kare değeri, r kare eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Bu amaçla r kare eşitliği Matlab ortamında kodlanmış ve deney verileri kodda girdi olarak kullanılmıştır.

R kare değerinin 1'e yakın olması, model tarafından hesaplanan mesafenin gerçek mesafeye yakın olduğu anlamına gelmektedir. Bu yüzden, katsayılar ait hesaplanan r kare değerleri 1'e ne kadar yakınsa, o katsayının model eğrisinin gerçek değerlere o kadar yakın olduğu çıkarımı yapılır. Başka bir deyişle bir katsayıya ait r kare değeri 1'e ne kadar yakınsa, modelin o katsayı ile o kadar başarılı veriler ürettiği sonucuna varılır.

Hesaplanan r kare değerlerinin gösterildiği tablolardaki (Tablo 3.9 - 3.16) n değeri, yol kaybı katsayısını ifade etmektedir. Yol kaybı katsayısına 2, 3 ve 4 olmak üzere toplamda üç farklı değer atanmıştır.

Tablo 3.9 - 3.16'da 1'e en yakın olan, başka bir deyişle en başarılı r kare değerlerine ait hücreler, gri renkli dolgu ile boyanmıştır.

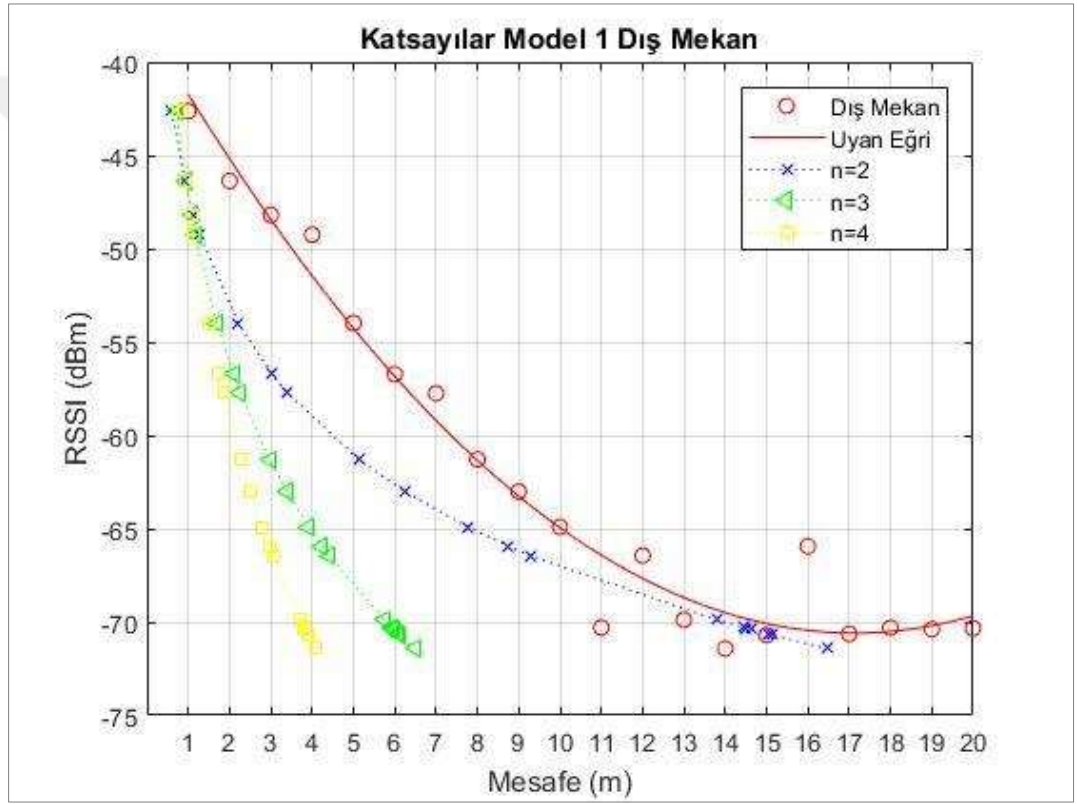
R kare değerinin 0'ın altında olması, eğrinin başarı oranının oldukça düşük olduğu anlamına gelmektedir.

0'ın altında r kare değerlerinin üretildiği yol kaybı katsayılarına ait mesafe eğrilerinin gerçek mesafe eğrilerine oldukça uzak olduğu, grafik üzerinde açıkça görülebilmektedir.

### 3.1.3.1. Model 1

Grafiklerde “Model 1” olarak adlandırılan serbest uzay yol kaybı modeli Bölüm 1’de anlatılmış ve Eşitlik (1.12)’de verilmiştir.

Serbest uzay yol kaybı modeli kullanılarak farklı yol kaybı katsayıları ile yapılmış dış mekân mesafe kestirimlerine ait RSSI - mesafe grafikleri Şekil 3.15’te ve iç mekân mesafe kestirimlerine ait RSSI - mesafe grafikleri Şekil 3.16’da verildiği gibidir. Dış mekân r kare değerleri Tablo 3.9’da, iç mekân r kare değerleri ise Tablo 3.10’da verilmiştir.



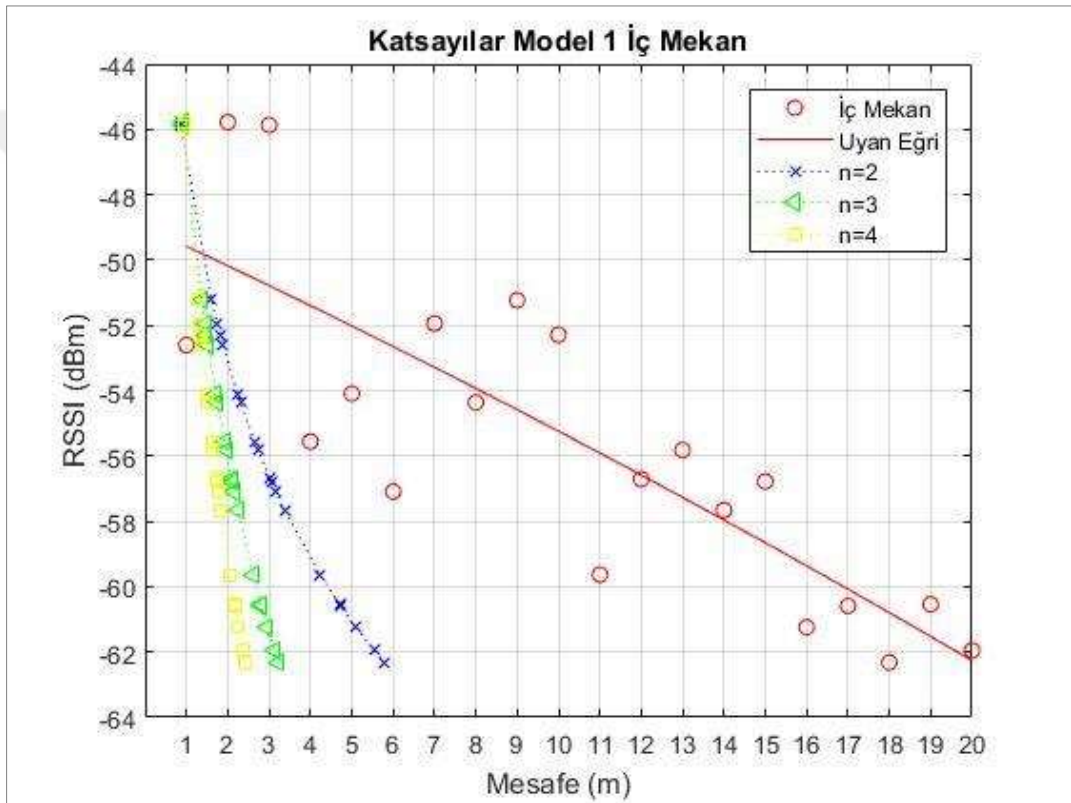
Şekil 3.15. Dış mekân RSSI - Mesafe grafiği Model 1 katsayı karşılaştırmaları

Tablo 3.9. Dış mekân Model 1 r kare değerleri

Dış Mekân Model 1	
n	R Kare
2	0,5289
3	-0,578
4	-1,673

Dış mekân ve iç mekân grafiklerinin her ikisinde de gerçek mesafe eğrisine en yakın sonucun yol kaybı katsayısının 2'ye eşit ( $n = 2$ ) olduğu durumda elde edildiği görülmüştür. Dış mekân ve iç mekân tablolarında 1'e en yakın r kare değerlerinin yol kaybı katsayısının 2'ye eşit olduğu durumlarda elde edilmiş olması, bu durumu sayısal olarak doğrulayıcı niteliktedir.

Grafikler ve tablolar incelendiğinde serbest yol kaybı modelinin, dış mekânda yapılan ölçüm değerleri ile gerçeğe daha yakın mesafe kestirimleri yaptığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 3.16. İç mekân RSSI - Mesafe grafiği Model 1 katsayı karşılaştırmaları

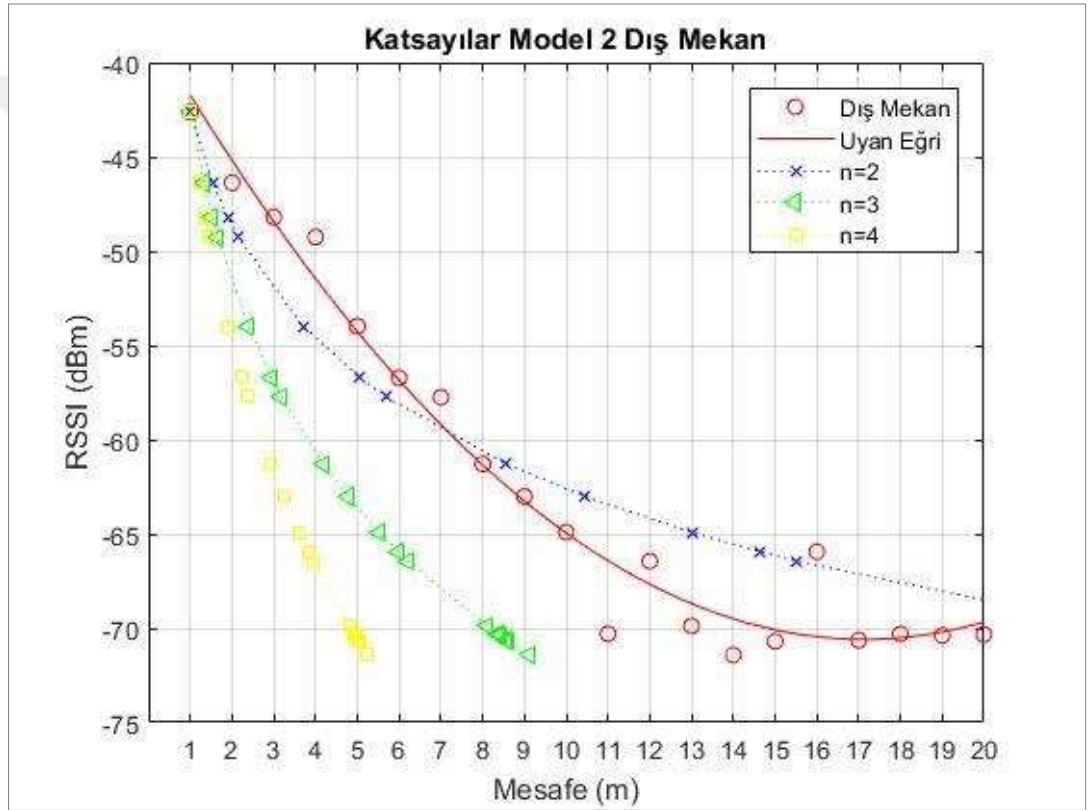
Tablo 3.10. İç mekân Model 1 r kare değerleri

İç Mekân Model 1	
n	R Kare
2	-1,4546
3	-2,8944
4	-3,783

### 3.1.3.2. Model 2

Grafiklerde “Model 2” olarak adlandırılan olan log-mesafe yol kaybı modeli Bölüm 1’de anlatılmış ve Eşitlik (1.14)’te verilmiştir.

Log-mesafe yol kaybı modeli kullanılarak farklı yol kaybı katsayıları ile yapılmış dış mekân mesafe kestirimlerine ait RSSI - mesafe grafikleri Şekil 3.17’de ve iç mekân mesafe kestirimlerine ait RSSI - mesafe grafikleri ise Şekil 3.18’de verildiği gibidir. Dış mekân r kare değerleri Tablo 3.11’de, iç mekân r kare değerleri ise Tablo 3.12’de verilmiştir.



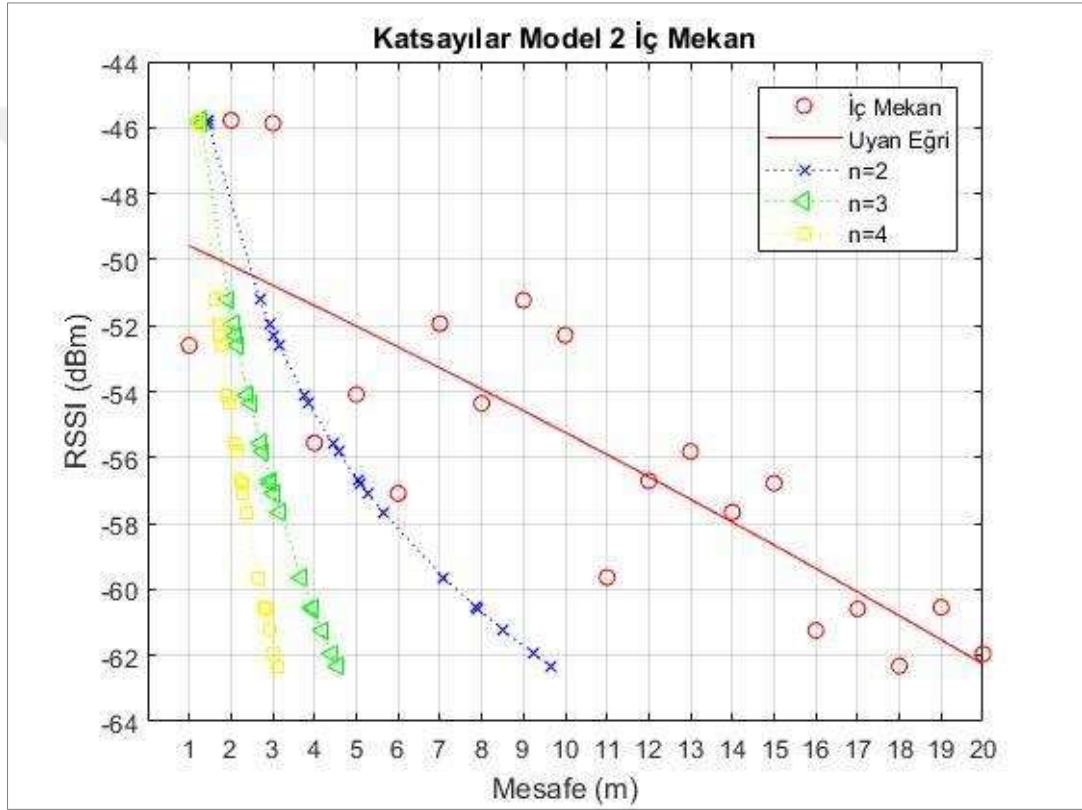
Şekil 3.17. Dış mekân RSSI - Mesafe grafiği Model 2 katsayı karşılaştırmaları

Tablo 3.11. Dış mekân Model 2 r kare değerleri

Dış Mekân Model 2	
n	R Kare
2	0,7598
3	0,2934
4	-0,7503

Dış mekân ve iç mekân grafiklerinin her ikisinde de gerçek mesafe eğrisine en yakın sonucun yol kaybı katsayısının 2'ye eşit ( $n = 2$ ) olduğu durumda elde edildiği gözlemlenmiştir. Dış mekân ve iç mekân tablolarında 1'e en yakın r kare değerlerinin yol kaybı katsayısının 2'ye eşit olduğu durumlarda elde edilmiş olması, bu durumu sayısal olarak doğrulamaktadır.

Grafikler ve tablolar incelendiğinde log-mesafe yol kaybı modelinin, dış mekânda yapılan ölçüm değerleri ile gerçeğe daha yakın mesafe kestirimleri yaptığı sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 3.18. İç mekân RSSI - Mesafe grafiği Model 2 katsayı karşılaştırmaları

Tablo 3.12. İç mekân Model 2 r kare değerleri

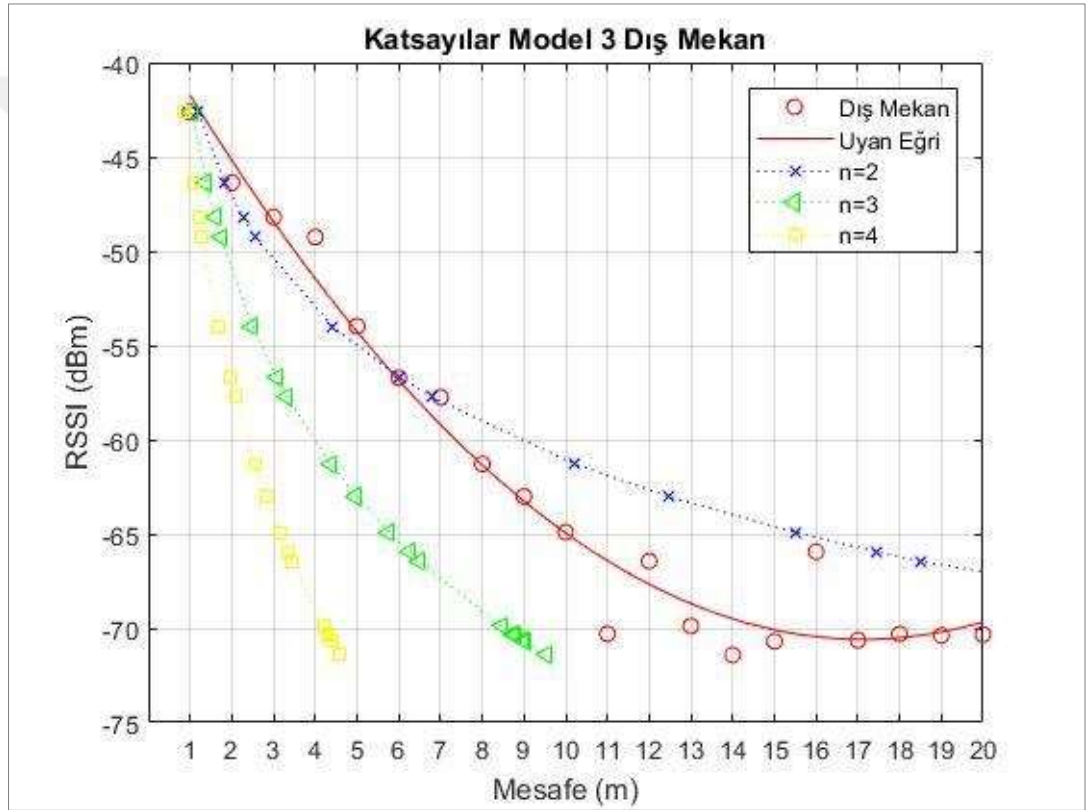
İç Mekân Model 2	
n	R Kare
2	-4,36267
3	-5,13503
4	-5,57668



### 3.1.3.3. Model 3

Grafiklerde “Model 3” olarak adlandırılan olan log-normal gölgeleme yol kaybı modeli Bölüm 1’de anlatılmış ve Eşitlik (1.14)’te verilmiştir.

Log-normal gölgeleme yol kaybı modeli kullanılarak farklı yol kaybı katsayıları ile yapılmış dış mekân mesafe kestirimlerine ait RSSI - mesafe grafikleri Şekil 3.19’da ve iç mekân mesafe kestirimlerine ait RSSI - mesafe grafikleri Şekil 3.20’de verildiği gibidir. Dış mekân r kare değerleri Tablo 3.13’te, iç mekân r kare değerleri ise Tablo 3.14’te verilmiştir.



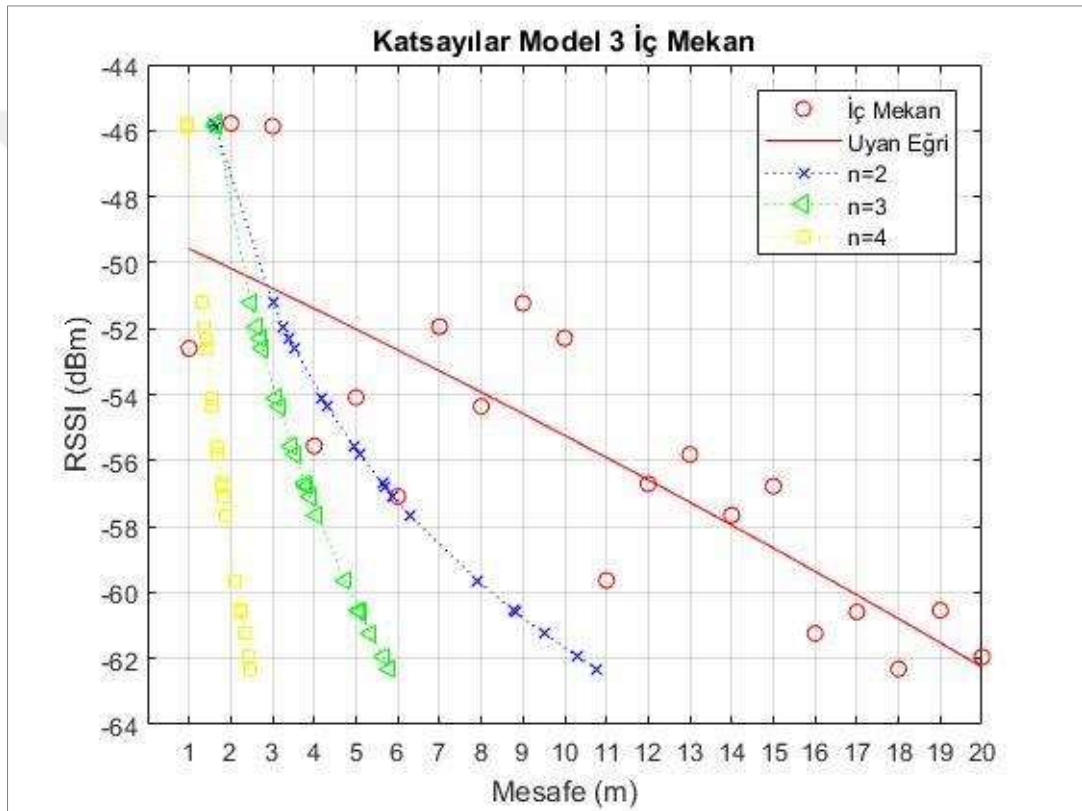
Şekil 3.19. Dış mekân RSSI - Mesafe grafiği Model 3 katsayı karşılaştırmaları

Tablo 3.13. Dış mekân Model 3 r kare değerleri

Dış Mekân Model 3	
n	R Kare
2	0,7604
3	0,6787
4	-0,9391

Dış mekân ve iç mekân grafiklerinin her ikisinde de gerçek mesafe eğrisine en yakın sonucun yol kaybı katsayısının 2'ye eşit ( $n = 2$ ) olduğu durumda elde edildiği görülmüştür. Dış mekân ve iç mekân tablolarında 1'e en yakın r kare değerlerinin yol kaybı katsayısının 2'ye eşit olduğu durumlarda elde edilmiş olması, bu durumu sayısal olarak doğrulamaktadır.

Grafikler ve tablolar incelendiğinde log-normal gölgeleme yol kaybı modelinin, dış mekânda yapılan ölçüm değerleri ile gerçeğe daha yakın mesafe kestirimleri yaptığı çıkarımı yapılmıştır.



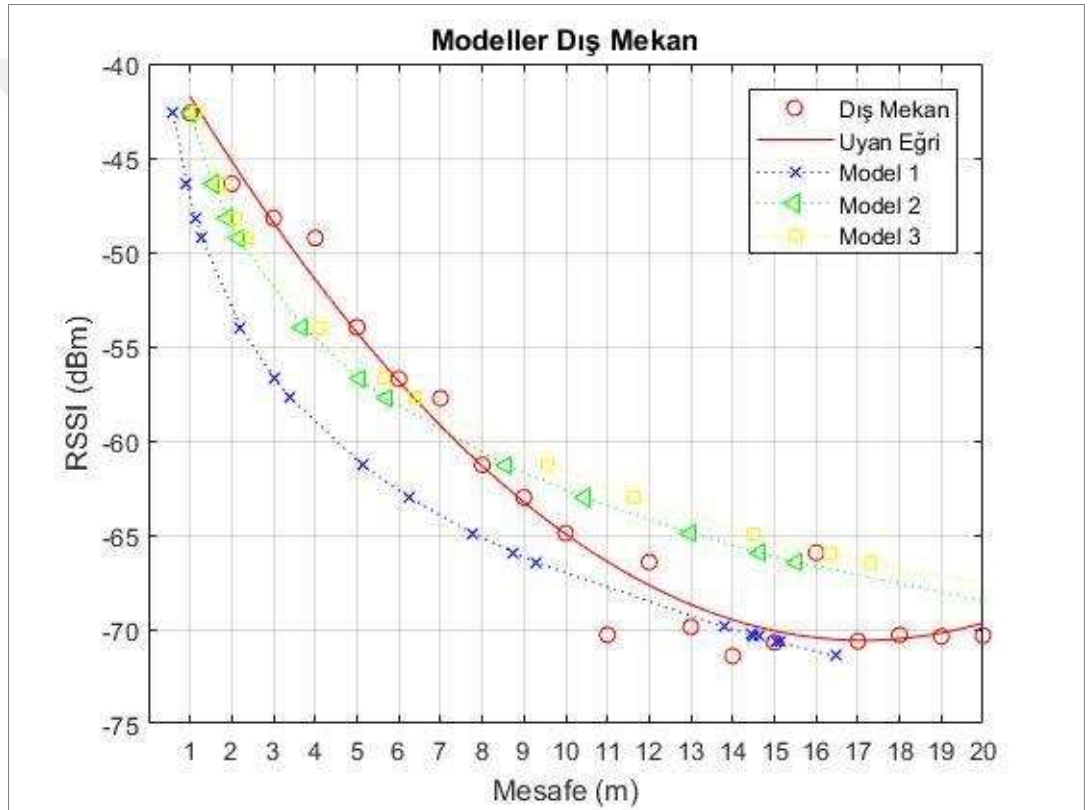
Şekil 3.20. İç mekân RSSI - Mesafe grafiği Model 3 katsayı karşılaştırmaları

Tablo 3.14. İç mekân Model 3 r kare değerleri

İç Mekân Model 3	
n	R Kare
2	0,1429
3	-5,3426
4	-8,1794

### 3.1.4. Model karşılaştırmaları ve r kare değerleri

Tüm modellerin, yol kaybı katsayısının 2'ye eşit ( $n = 2$ ) olduğu durumlarda gerçeğe daha yakın sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir ve bu kez de yol kaybı katsayısının 2'ye eşit olduğu durumlarda üç modelden hangisinin daha başarılı olduğunun değerlendirilmesi yapılmıştır. Model karşılaştırmalarının da katsayı karşılaştırmalarında olduğu gibi sayısal olarak yapılabilmesi için, modellere ait r kare değerleri hesaplanmıştır. Dış mekân ölçümlerinin RSSI - mesafe grafiği ve r kare sonuçları Şekil 3.21 ve Tablo 3.15'te, iç mekân ölçümlerinin RSSI - mesafe grafiği ve r kare sonuçları ise Şekil 3.22 ve Tablo 3.16'da verilmiştir.



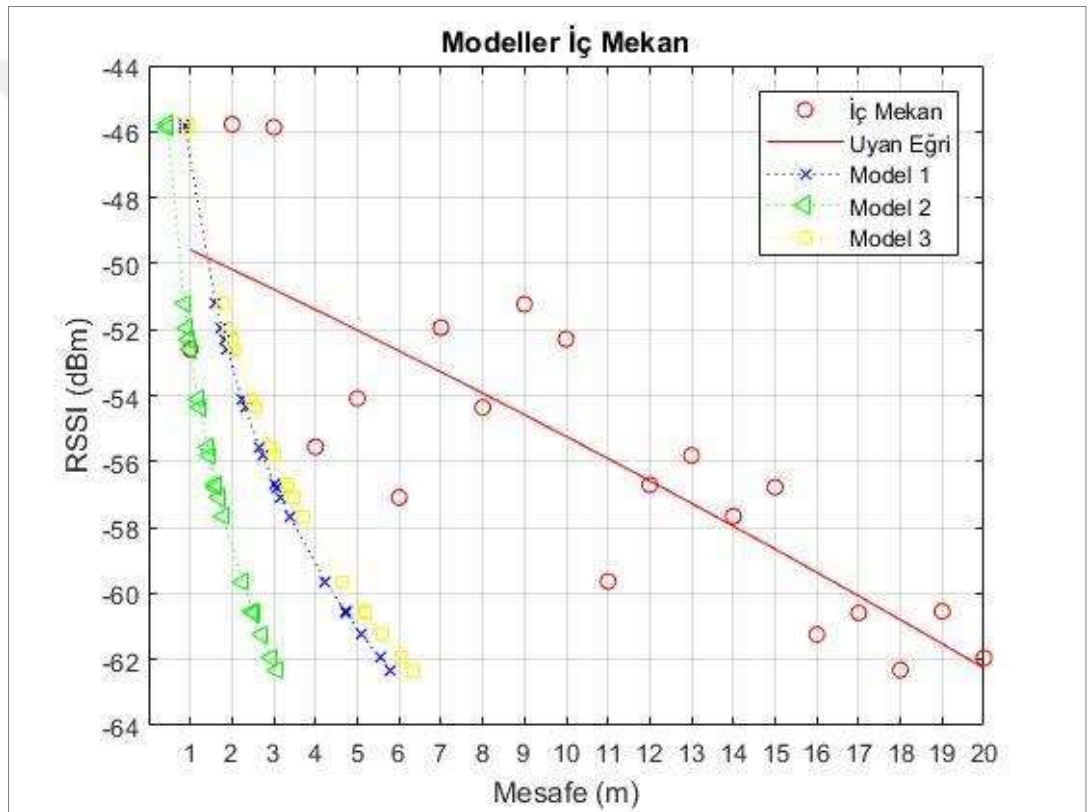
Şekil 3.21. Dış mekân RSSI - Mesafe grafiği model karşılaştırmaları

Tablo 3.15. Dış mekân r kare değerleri model karşılaştırmaları

Dış Mekân n = 2	
Model	R Kare
Model 1	0,5289
Model 2	0,7598
Model 3	0,7604

Dış mekân ölçümlerine ait grafik incelendiğinde üç modelin de birbirlerinin ürettiği değerlere ve gerçek değerlere yakın tahminlerde bulunduğu gözlemlenmiştir. Dış mekân ölçümlerine ait r kare tablosunda 1'e en yakın r kare değerinin Model 3'e ait olduğu görülmüş, en başarılı mesafe tahmininin log-normal gölgeleme yol kaybı modeli tarafından yapıldığı sonucuna ulaşılmıştır.

İç mekân ölçümlerine ait grafik ve r kare tablosu incelendiğinde gerçeğe en yakın tahminin yine log-normal gölgeleme yol kaybı modeli tarafından yapıldığı görülmüştür. Bunun yanı sıra modelin dış mekân ölçümlerinde yapılan tahminlerde iç mekân ölçümlerinde yapılan tahminlere göre çok daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.22. İç mekân RSSI - Mesafe grafiği model karşılaştırmaları

Tablo 3.16. İç mekân r kare değerleri model karşılaştırmaları

İç Mekân n = 2	
Model	R Kare
Model 1	-1,4546
Model 2	-4,3627
Model 3	0,1429

## 3.2. Konum Tespiti Deneyleri

### 3.2.1. Ölçümler

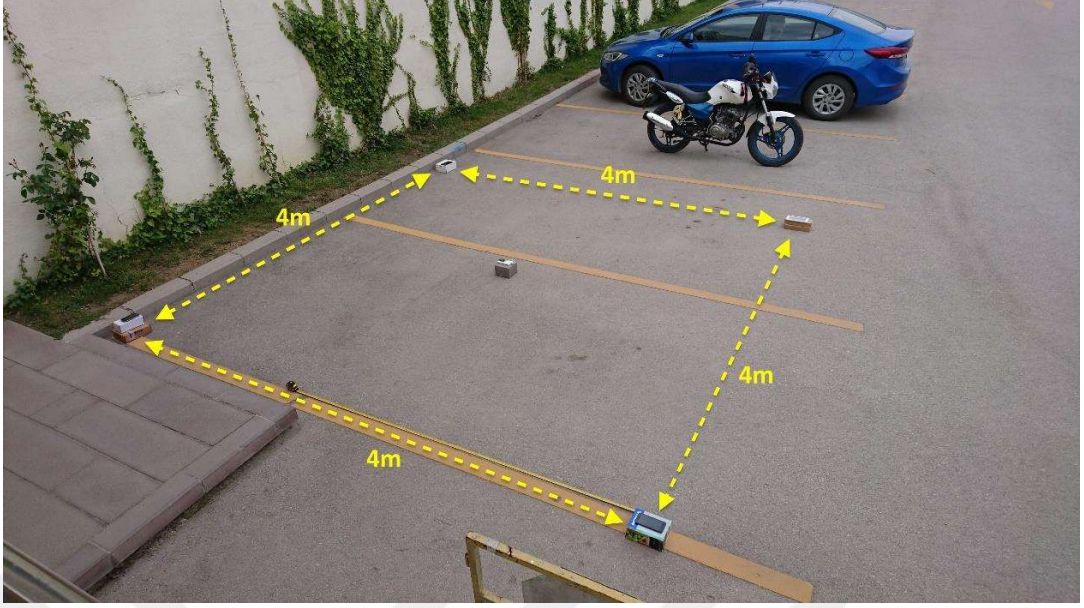
Konum tespiti deneylerinde mesafe kestirimi deneylerinde olduğu gibi önce gerçek ortamdaki ölçümler, daha sonra da Matlab ortamındaki teorik işlemler gerçekleştirilmiştir. Ölçümler farklı büyüklüklerdeki iki farklı ölçüm alanında yapılmıştır. Şekil 3.23'te de gösterildiği gibi metre yardımıyla yerde 4 m x 4 m ebatlarında bir kare oluşturulmuş ve Şekil 3.24'te gösterildiği gibi alıcı olarak kullanılan Android cihazlar karenin köşelerine, verici olarak kullanılan ESP8266-12E yongası ise karenin ortasına yerleştirilmiştir.

Verici cihaz, Şekil 3.25'te gösterildiği gibi, rastgele olarak belirlenmiş yedi ayrı noktada gezdirilmiştir. Verici cihazın bulunduğu rastgele noktaların her birinde, dört köşedeki alıcı cihaz tarafından, mesafe kestirimi deneylerinde olduğu gibi, RSSI değerleri okunarak kaydedilmiştir. Konum tespiti ölçümlerinin tamamı 100 örnek sayısı alınarak,  $250 \text{ ms}^{-1}$  örnekleme oranı ile, gündüz vakti ve engelsiz olarak (LoS kanalında) gerçekleştirilmiştir.

Konum tespiti deneylerinde 4 m x 4 m'lik ölçümler tamamlandıktan sonra, bu kez Şekil 3.26'da gösterildiği gibi metre yardımıyla yerde 6 m x 6 m ebatlarında bir kare oluşturulmuştur. Verici cihaz Şekil 3.27'de gösterildiği gibi karenin ortasına konulmuş ve rastgele olarak belirlenmiş dört ayrı noktada gezdirilmiştir. Ortada bulunan verici cihazın yeri değiştikçe, sinyallerin RSSI değerleri köşelerde bulunan alıcı cihazlar tarafından okunarak kaydedilmiştir.

4 m x 4 m'lik ve 6 m x 6m'lik deneylerde vericinin bulunduğu her bir nokta için yapılan ölçümde, mesafe kestirimi ölçümlerinde olduğu gibi, RSSI değerlerinin yazılı olduğu metin dosyaları oluşturmuşlardır.

Konum tespiti deneylerinin ölçüm kısmı tamamlandıktan sonra, oluşturulan metin dosyalarında tutulmakta olan RSSI değerlerindeki aykırı (outlier) veriler Matlab'ın kendi kütüphanesinde bulunan "filloutliers" fonksiyonu ile "mean" ve "previous" yardımcı parametreleri kullanarak temizlenmiş, kalan değerlerin ortalamaları alınmıştır.



Şekil 3.23. 4 m x 4 m konum tespiti ölçüm alanı

### 3.2.2. Yol kaybı modellerin uygulanması

Konum tespiti deneylerinde, mesafe kestirimi deneylerinde de kullanılmış olan serbest uzay yol kaybı modeli, log-mesafe yol kaybı modeli ve log-normal gölgeleme yol kaybı modelinden elde edilmiş olan sırasıyla Eşitlik (1.12), Eşitlik (1.14) ve Eşitlik (1.16) kullanılmıştır. Bu amaçla sırasıyla Eşitlik (1.12), Eşitlik (1.14) ve Eşitlik (1.16) Matlab ortamında kodlanmıştır.

Ölçümlerde elde edilen ve aykırı verilerden arındırılarak ortalamaları alınan RSSI değerleri, Matlab ortamında kodlanmış olan eşitliklerde girdi olarak kullanılmış ve yol kaybı modellerine ait mesafe tahminleri elde edilmiştir.

Serbest uzay yol kaybı modeli, log-mesafe yol kaybı modeli ve log-normal gölgeleme yol kaybı modeli tüm grafiklerde sırasıyla Model 1, Model 2 ve Model 3 olarak adlandırılmıştır.

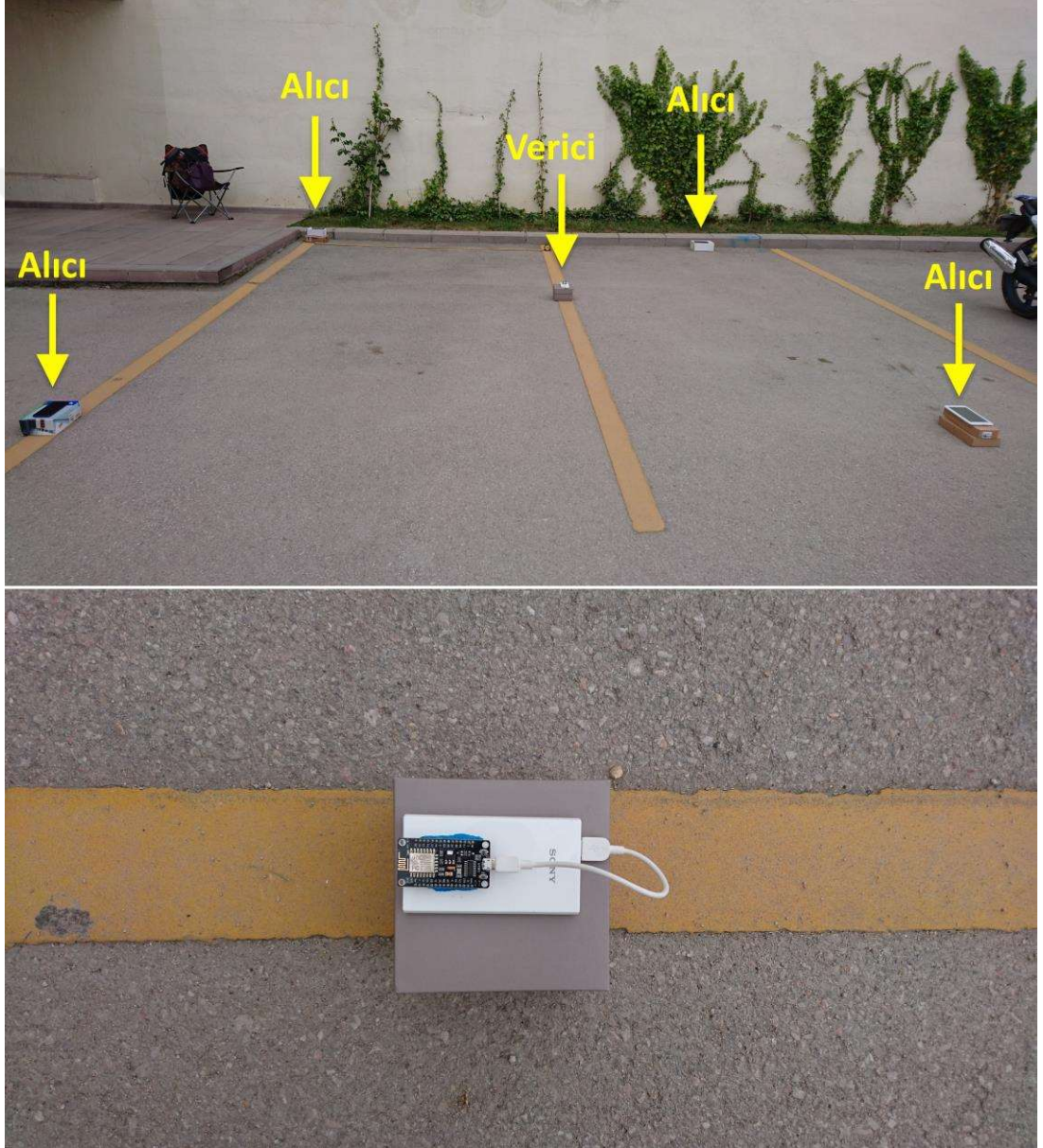
Yol kaybı modelleri tarafından hesaplanan mesafeler, çoklu laterasyon işlemlerinde kullanılarak konum hesaplamaları yapılmış ve bu şekilde yol kaybı modellerinin konum tespitindeki performansları analiz edilmiştir.



### 3.2.3. Çoklu laterasyon yönteminin uygulanması

4 m x 4 m'lik ve 6 m x 6m'lik deneylerde, Bölüm 1.3'te anlatıldığı gibi, ölçüm alanı bir koordinat düzlemi olarak düşünülmüş ve karenin köşelerinden biri (0, 0) noktası olarak kabul edilmiştir.

Çoklu laterasyon işlemleri, alıcıların bulunduğu köşe noktaları ve vericinin bulunduğu noktalar koordinat düzlemi üzerinde tanımlanarak yapılmıştır.



Şekil 3.24. 4 m x 4 m konum tespiti ölçüm alanında verici ve alıcıların konumları

Çoklu laterasyon işlemleri, Eşitlik (1.18), (1.19), (1.20) ve (1.21) kullanılarak, Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir.

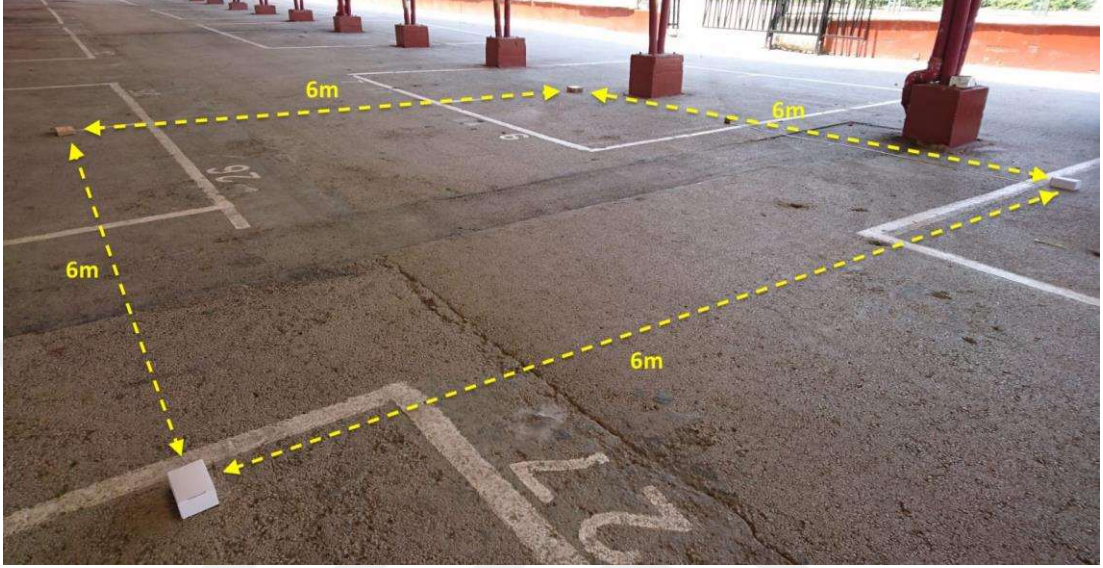
4 m x 4 m'lik konum tespiti ölçümlerinde, vericinin konumlandırıldığı noktalar ve çoklu laterasyon yöntemi ile birlikte modeller tarafından tahmin edilmiş olan noktaların koordinat bilgileri Tablo 3.17 - 3.23'te; koordinat düzlemi üzerindeki konumları Şekil 3.28 - 3.34'te verilmiştir.



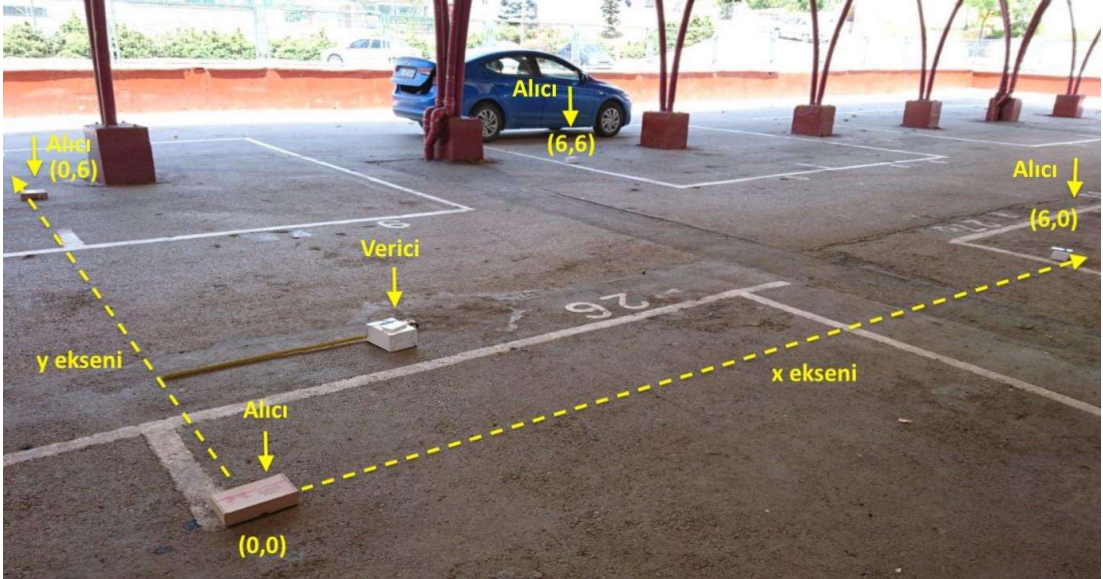
Şekil 3.25. 4 m x 4 m konum tespiti ölçüm alanının koordinat düzleminde gösterimi



6 m x 6 m'lik konum tespiti ölçümlerinde, vericinin konumlandırıldığı noktalar ve çoklu laterasyon yöntemi ile birlikte modeller tarafından tahmin edilmiş olan noktaların koordinat bilgileri Tablo 3.24 - 3.27'de; koordinat düzlemi üzerindeki konumları Şekil 3.35 - 3.38'de verilmiştir.



Şekil 3.26. 6 m x 6 m konum tespiti ölçüm alanı



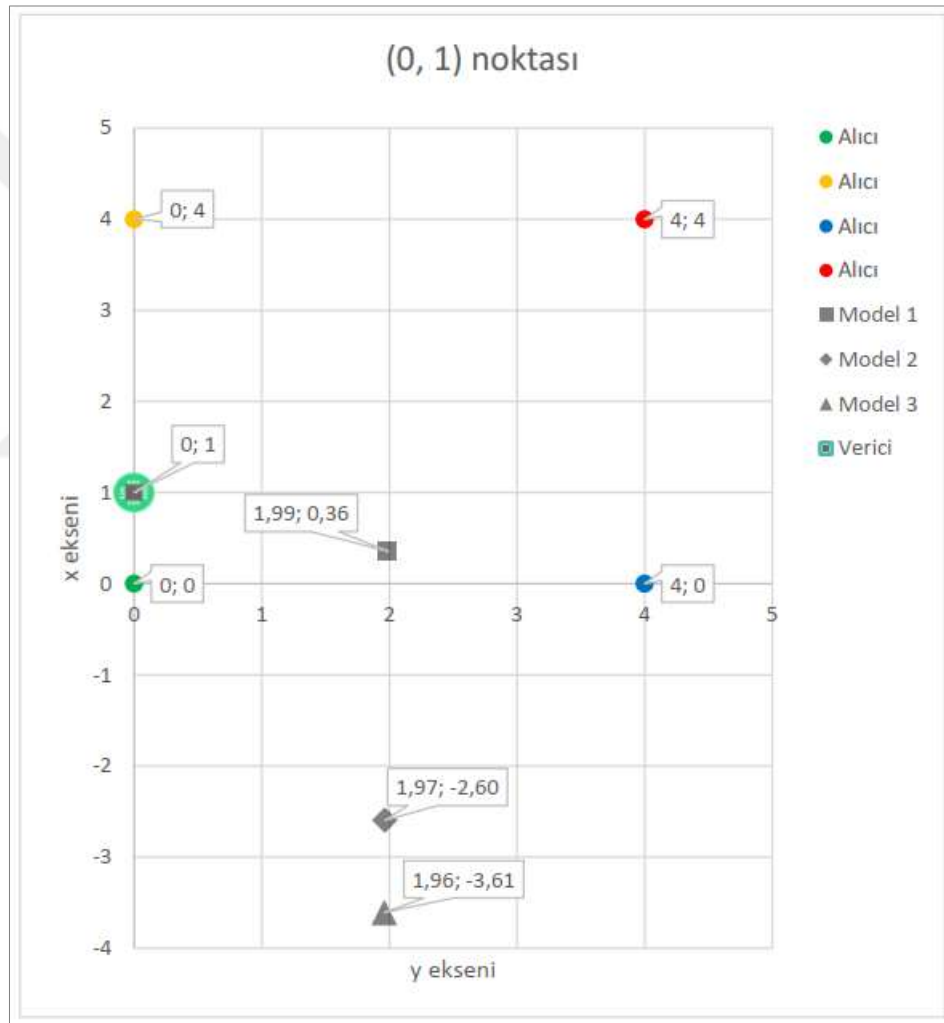
Şekil 3.27. 6 m x 6 m konum tespiti ölçüm alanının koordinat düzleminde gösterimi ve verici ile alıcıların konumları

Tablo 3.17. 4 m x 4 m konum tespitinde (0, 1) noktası model tahminleri

	Gerçek Konum	Model 1	Model 2	Model 3
x noktası	0	1,9881	1,9667	1,9594
y noktası	1	0,3562	-2,5959	-3,6092

Şekil 3.28'de gösterildiği gibi, 4 m x 4 m konum tespiti ölçüm alanının (0, 1) noktasına en yakın tahmin Model 1 tarafından yapılmıştır.

(0, 1) noktasına en yakın tahmini Model 1'den sonra Model 2 yapmış, Model 2'yi ise Model 3 izlemiştir.



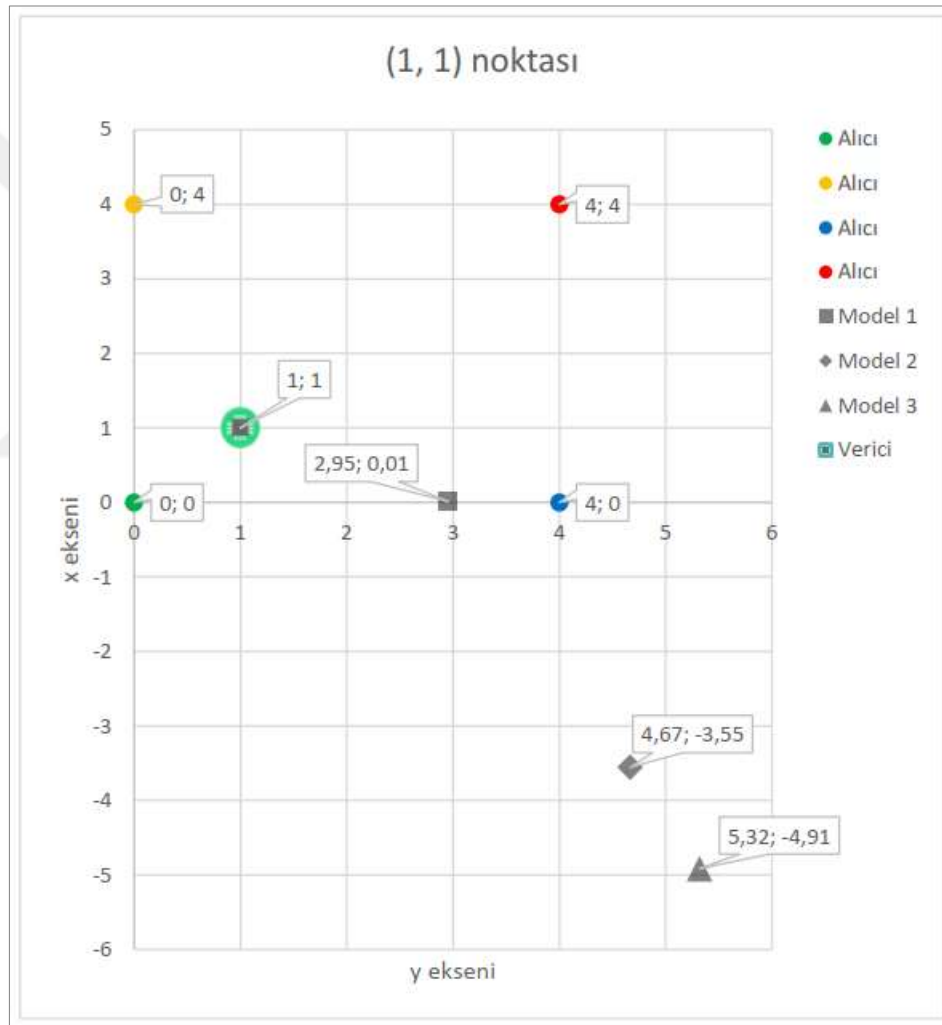
Şekil 3.28. 4 m x 4 m ölçüm alanında (0, 1) noktası konum tahminleri

Tablo 3.18. 4 m x 4 m konum tespitinde (1, 1) noktası model tahminleri

	Gerçek Konum	Model 1	Model 2	Model 3
x noktası	1	2,9541	4,6676	5,3211
y noktası	1	0,0136	-3,5539	-4,9146

Şekil 3.29'da gösterildiği gibi, 4 m x 4 m konum tespiti ölçüm alanının (1, 1) noktasına en yakın tahmin Model 1 tarafından yapılmıştır.

(1, 1) noktasına en yakın tahmini Model 1'den sonra sırasıyla Model 2 ve Model 3 yapmıştır.



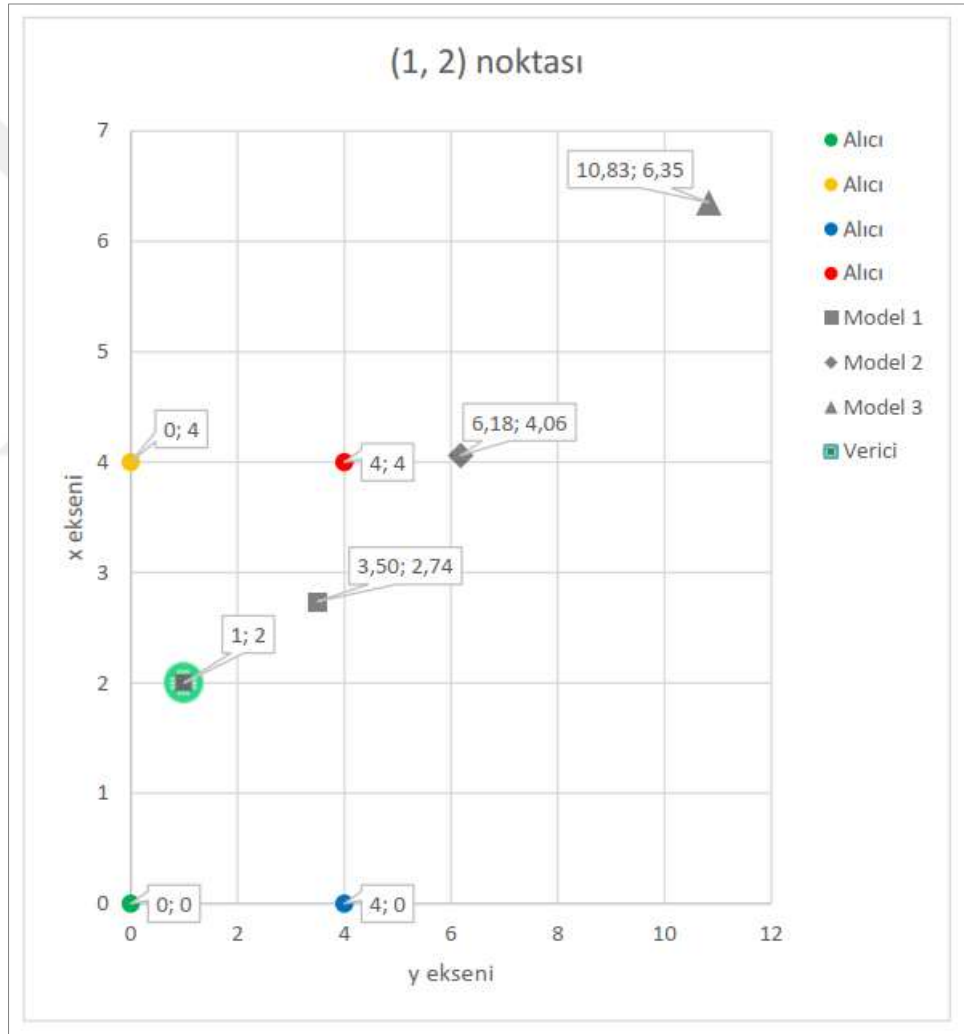
Şekil 3.29. 4 m x 4 m ölçüm alanında (1, 1) noktası konum tahminleri

Tablo 3.19. 4 m x 4 m konum tespitinde (1, 2) noktası model tahminleri

	Gerçek Konum	Model 1	Model 2	Model 3
x noktası	1	3,496	6,1829	10,8323
y noktası	2	2,7372	4,0613	6,3525

Şekil 3.30'da gösterildiği gibi, 4 m x 4 m konum tespiti ölçüm alanının (1, 2) noktasında gerçeğe en yakın tahmin Model 1 tarafından yapılmıştır.

(1, 2) noktasına en yakın tahmini Model 1'den sonra sırasıyla Model 2 ve Model 3 yapmıştır.



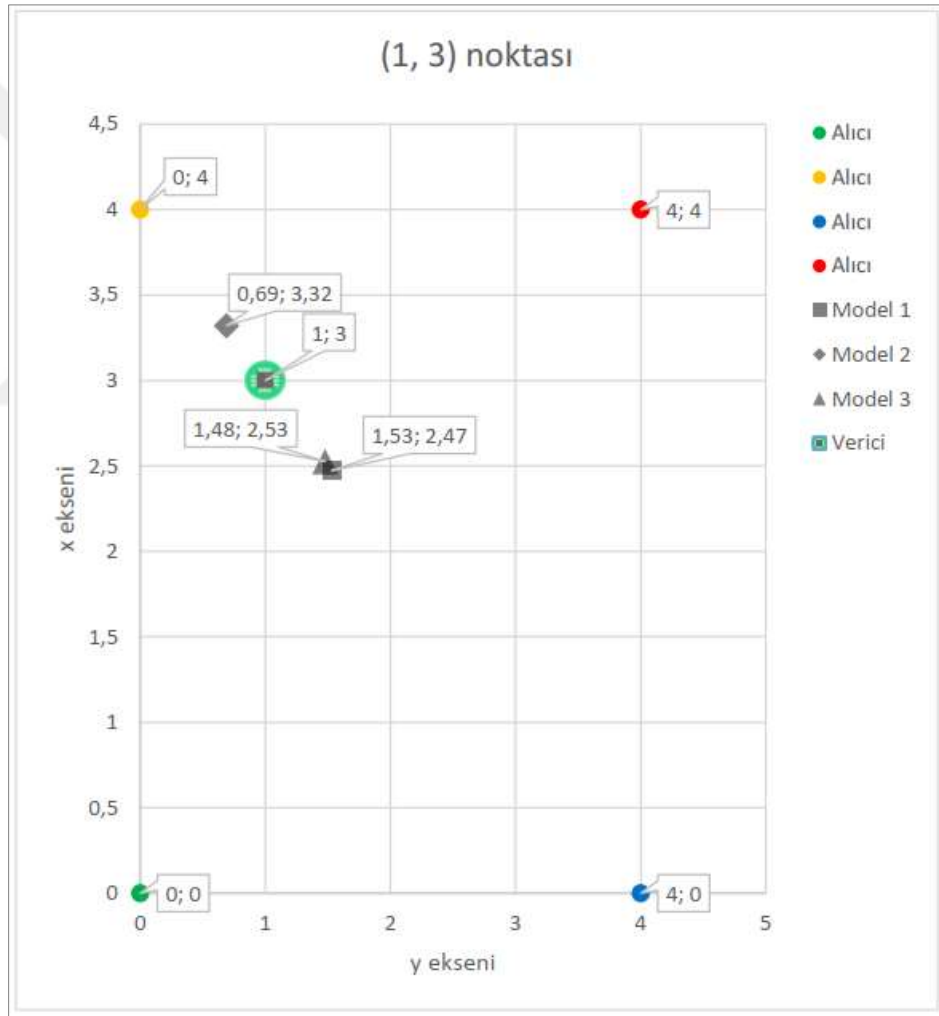
Şekil 3.30. 4 m x 4 m ölçüm alanında (1, 2) noktası konum tahminleri

Tablo 3.20. 4 m x 4 m konum tespitinde (1, 3) noktası model tahminleri

	Gerçek Konum	Model 1	Model 2	Model 3
x noktası	1	1,5312	0,6893	1,478
y noktası	3	2,4726	3,3213	2,5262

Şekil 3.31’de gösterildiği gibi, 4 m x 4 m konum tespiti ölçüm alanının (1, 3) noktasında gerçeğe en yakın tahmin Model 2 tarafından yapılmıştır.

Model 1 ve Model 3 birbirlerine çok yakın iki tahminde bulunmuştur fakat (1, 3) noktasına en yakın tahmini Model 2’den sonra, sırasıyla Model 3 ve Model 1 yapmıştır.



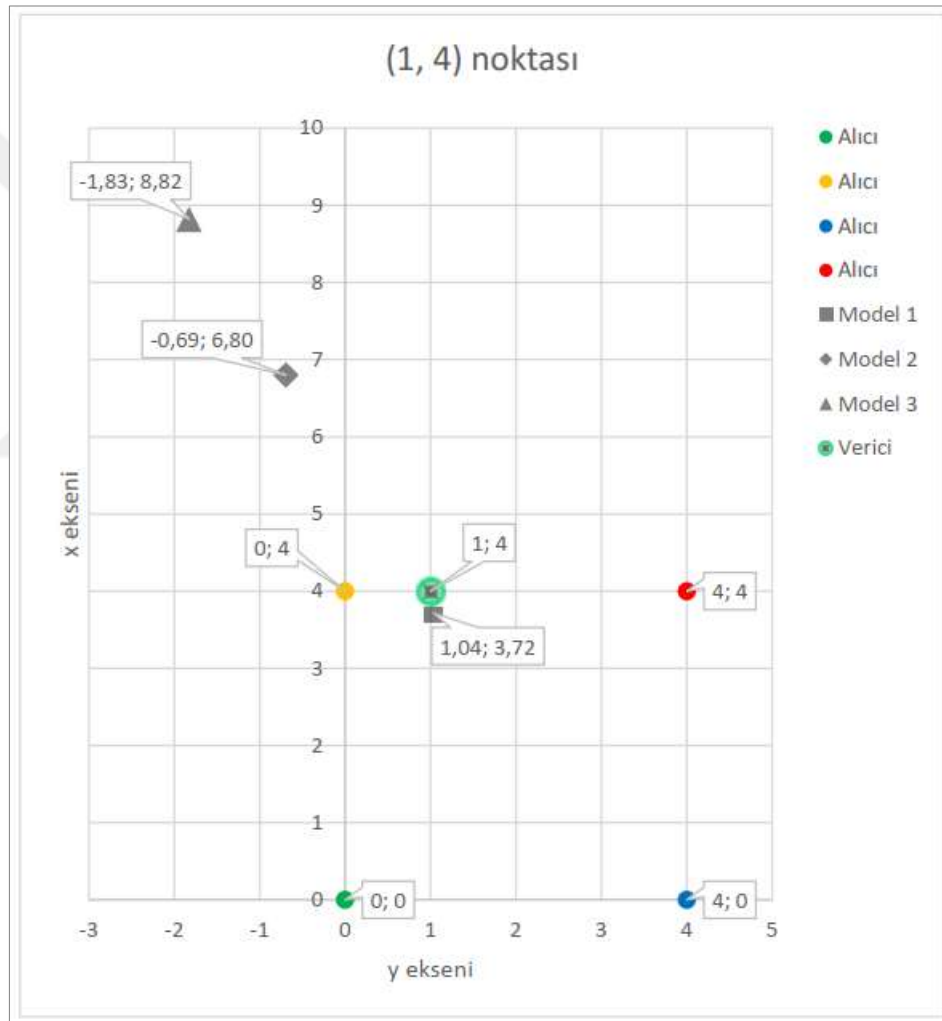
Şekil 3.31. 4 m x 4 m ölçüm alanında (1, 3) noktası konum tahminleri

Tablo 3.21. 4 m x 4 m konum tespitinde (1, 4) noktası model tahminleri

	Gerçek Konum	Model 1	Model 2	Model 3
x noktası	1	1,0371	-0,6922	-1,8257
y noktası	4	3,7168	6,8001	8,8211

Şekil 3.32'de gösterildiği gibi, 4 m x 4 m konum tespiti ölçüm alanının (1, 4) noktasında Model 1, gerçeğe çok yakın bir tahminde bulunmuştur.

Model 1'den sonra (1, 4) noktasına en yakın tahmini Model 2, daha sonra da Model 3 yapmıştır.



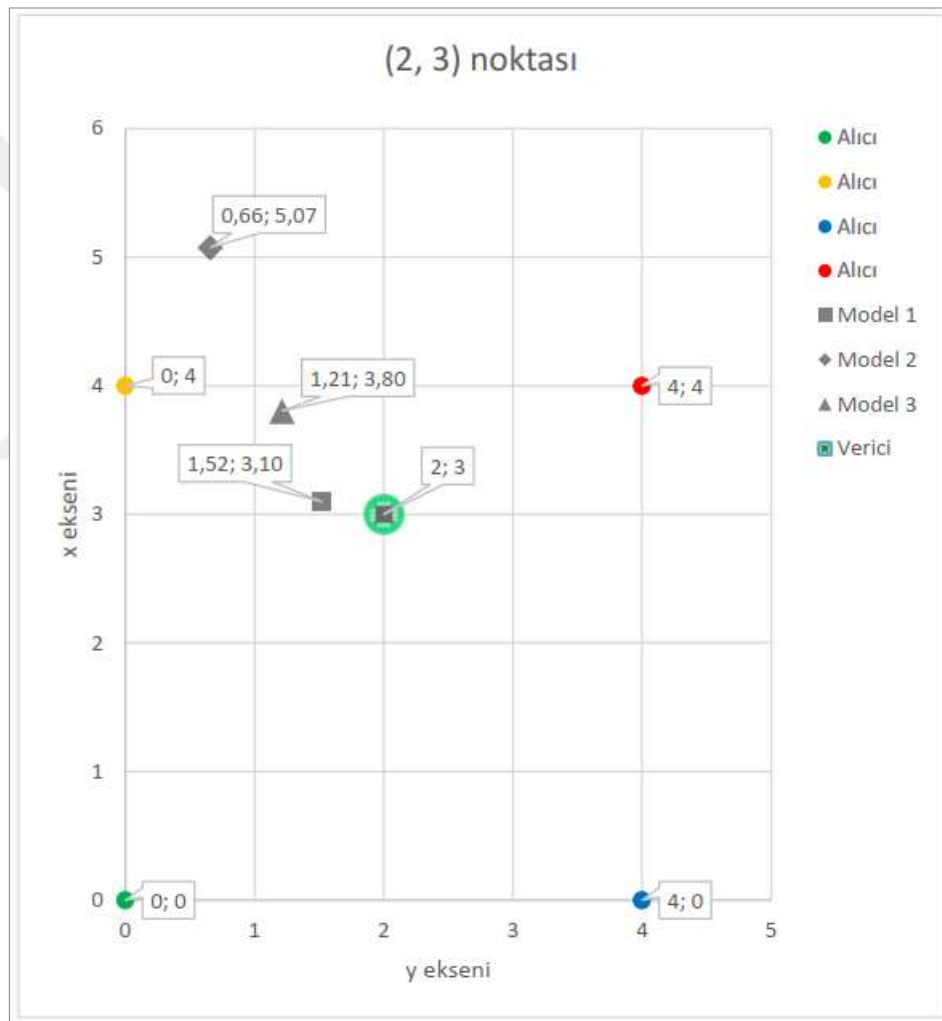
Şekil 3.32. 4 m x 4 m ölçüm alanında (1, 4) noktası konum tahminleri

Tablo 3.22. 4 m x 4 m konum tespitinde (2, 3) noktası model tahminleri

	Gerçek Konum	Model 1	Model 2	Model 3
x noktası	2	1,5204	0,659	1,213
y noktası	3	3,0995	5,0742	3,8041

Şekil 3.33'te gösterildiği gibi, 4 m x 4 m konum tespiti ölçüm alanının (2, 3) noktasında Model 1'in gerçeğe en yakın tahmini yaptığı görülmüştür.

Model 1'den sonra (2, 3) noktasına en yakın tahmin Model 3 tarafından yapılmış, Model 2 ise Model 3'ü izlemiştir



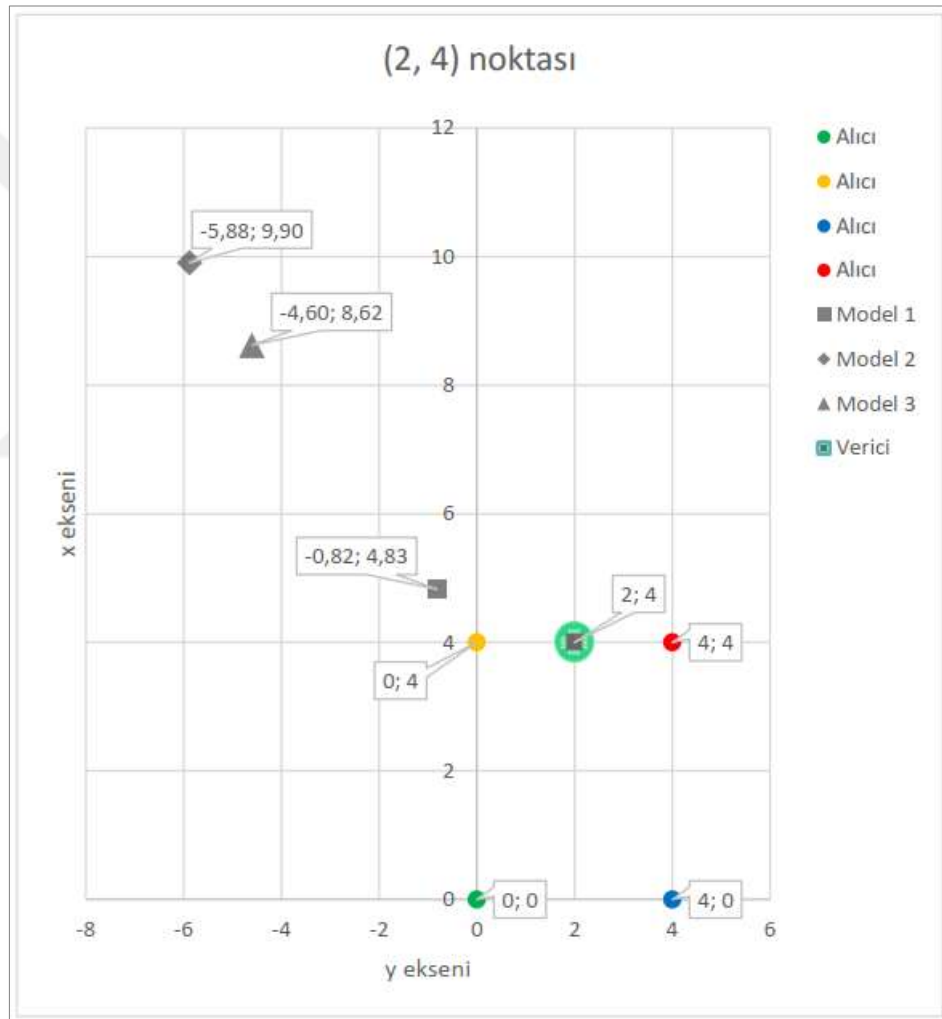
Şekil 3.33. 4 m x 4 m ölçüm alanında (2, 3) noktası konum tahminleri

Tablo 3.23. 4 m x 4 m konum tespitinde (2, 4) noktası model tahminleri

	Gerçek Konum	Model 1	Model 2	Model 3
x noktası	2	-0,8178	-5,8786	-4,6024
y noktası	4	4,8271	9,9044	8,624

Şekil 3.34'te verildiği gibi, 4 m x 4 m konum tespiti ölçüm alanının (2, 4) noktasında gerçeğe en yakın tahmini yine Model 1 yapmıştır.

Model 1'den sonra (2, 4) noktasına en yakın tahmini sırasıyla Model 3, daha sonra da Model 2 yapmıştır.



Şekil 3.34. 4 m x 4 m ölçüm alanında (2, 4) noktası konum tahminleri

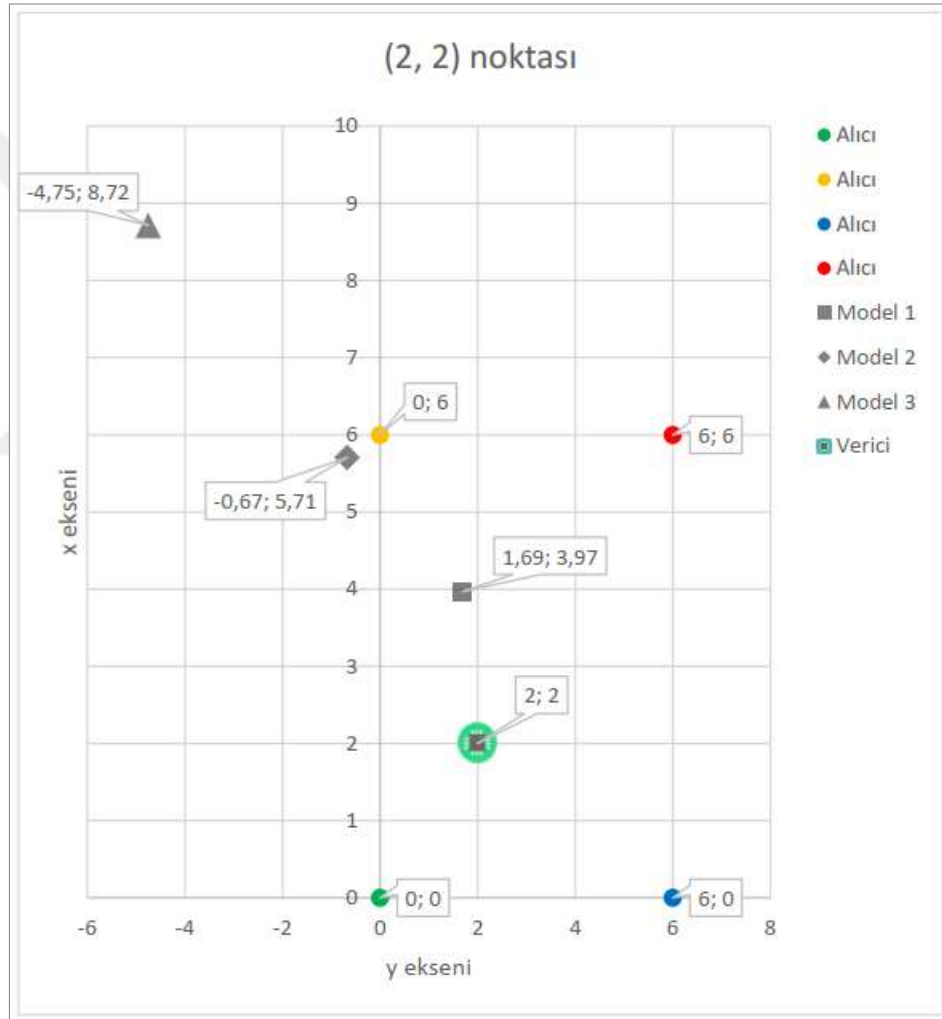


Tablo 3.24. 6 m x 6 m konum tespitinde (2, 2) noktası model tahminleri

	Gerçek Konum	Model 1	Model 2	Model 3
x noktası	2	1,69	-0,67	-4,75
y noktası	2	3,97	5,71	8,72

Şekil 3.35'te gösterildiği gibi, 6 m x 6 m konum tespiti ölçüm alanının (2, 2) noktasına en yakın tahmini Model 1 yapmıştır.

Model 1'den sonra (2, 2) noktasına en yakın tahmini sırasıyla Model 2, daha sonra da Model 3 yapmıştır.



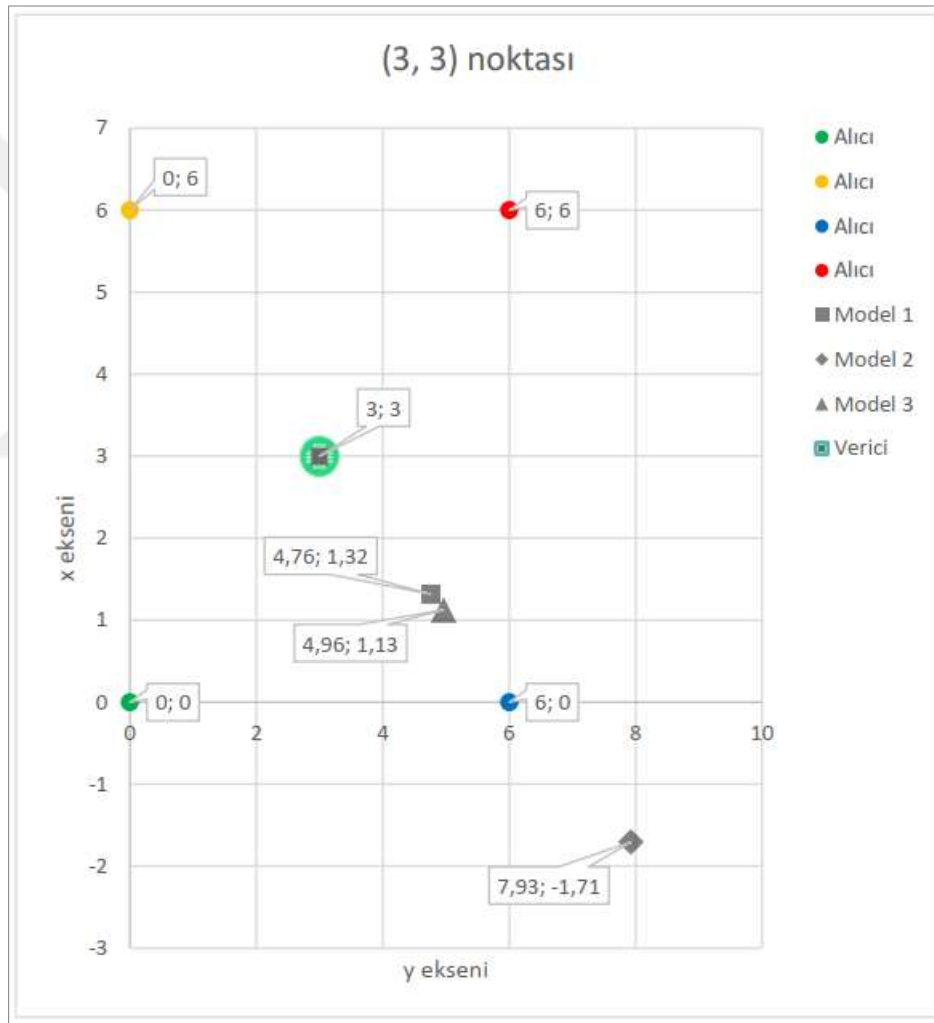
Şekil 3.35. 6 m x 6 m ölçüm alanında (2, 2) noktası konum tahminleri

Tablo 3.25. 6 m x 6 m konum tespitinde (3,3) noktası model tahminleri

	Gerçek Konum	Model 1	Model 2	Model 3
x noktası	3	4,76	7,93	4,96
y noktası	3	1,32	-1,71	1,13

Şekil 3.36'da gösterildiği gibi, 6 m x 6 m konum tespiti ölçüm alanının (3, 3) noktasında Model 1 gerçeğe en yakın tahminde bulunmuştur.

Model 3 Model 1'e çok yakın bir tahminde bulunarak Model 1'i izlemiştir. Model 2 ise Model 3'ü izlemiştir.



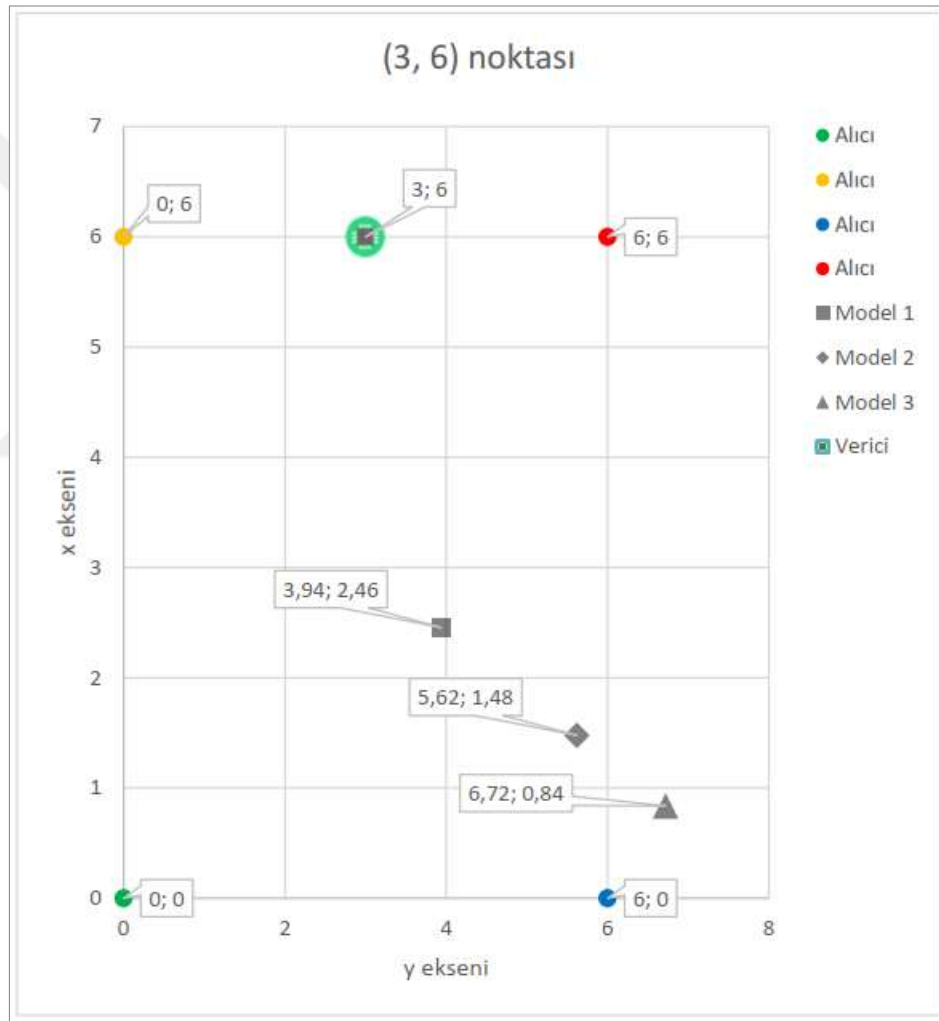
Şekil 3.36. 6 m x 6 ölçüm alanında (3, 3) noktası konum tahminleri

Tablo 3.26. 6 m x 6 m konum tespitinde (3, 6) noktası model tahminleri

	Gerçek Konum	Model 1	Model 2	Model 3
x noktası	3	3,94	5,62	6,72
y noktası	6	2,46	1,48	0,84

Şekil 3.37’de gösterildiği gibi, 6 m x 6 m konum tespiti ölçüm alanının (3, 6) noktasında Model 1’in gerçeğe en yakın tahmini yaptığı görülmüştür.

Model 1’den sonra ise en yakın tahmin Model 2 tarafından yapılmış, Model 3 ise Model 2’yi izlemiştir.



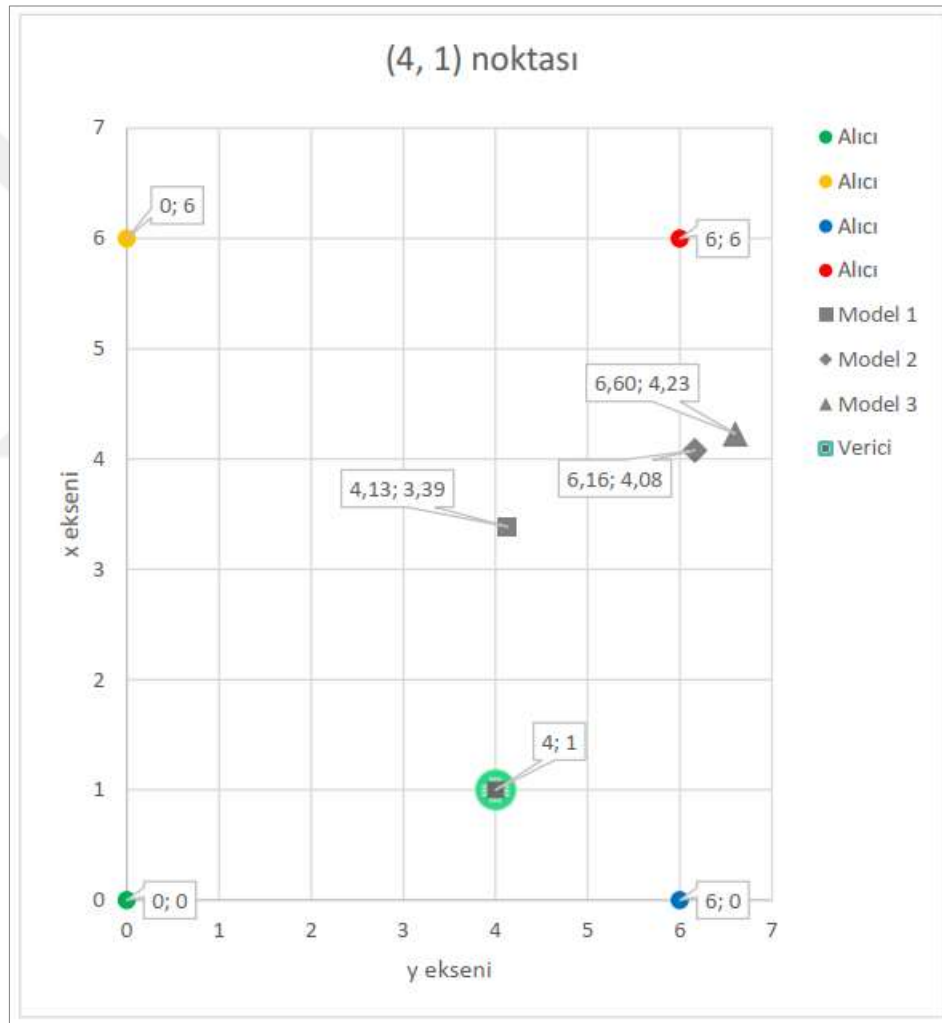
Şekil 3.37. 6 m x 6 m ölçüm alanında (3, 6) noktası konum tahminleri

Tablo 3.27. 6 m x 6 m konum tespitinde (4, 1) noktası model tahminleri

	Gerçek Konum	Model 1	Model 2	Model 3
x noktası	4	4,13	6,16	6,60
y noktası	1	3,39	4,08	4,23

Şekil 3.38'de gösterildiği gibi, 6 m x 6 m konum tespiti ölçüm alanının (4, 1) noktasında gerçeğe en yakın tahmin yine Model 1 tarafından yapılmıştır.

Model 2 ve Model 3 birbirlerine yakın iki tahminde bulunmuş fakat Model 2 Model 3'e göre gerçeğe daha yakın bir tahmin yapmıştır.



Şekil 3.38. 6 m x 6 m ölçüm alanında (4, 1) noktası konum tahminleri

Sırasıyla Tablo 3.28 ve Tablo 3.29’da, 4 m x 4 m’lik ve 6 m x 6m’lik deneylerde en iyi sonucu veren modeller gösterilmiştir. Tablolarda, en iyi tahmini yapan modele ait hücreler beyaz dolgu renkli, ikinci en iyi tahmini yapan modele ait hücreler açık gri dolgu renkli, üçüncü en iyi tahmini yapan modele ait hücreler ise koyu gri dolgu renkli olacak şekilde boyanmıştır. Bu durumda konum tespitinde en başarılı modelin sırasıyla Model 1 (serbest uzay yol kaybı modeli), Model 2 (log-mesafe yol kaybı modeli) ve Model 3 (log-normal gölgeleme yol kaybı modeli) olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 3.28. 4 m x 4 m konum tespitinde en iyi tahmini yapan modeller

(0, 1)	(1, 1)	(1, 2)	(1, 3)	(1, 4)	(2, 3)	(2, 4)
Serbest Uzay	Serbest Uzay	Serbest Uzay	Serbest Uzay	Serbest Uzay	Serbest Uzay	Serbest Uzay
Log-mesafe	Log-mesafe	Log-mesafe	Log-mesafe	Log-mesafe	Log-mesafe	Log-mesafe
Log-normal Gölgeleme	Log-normal Gölgeleme	Log-normal Gölgeleme	Log-normal Gölgeleme	Log-normal Gölgeleme	Log-normal Gölgeleme	Log-normal Gölgeleme

Tablo 3.29. 6 m x 6 m konum tespitinde en iyi tahmini yapan modeller

(2, 2)	(3, 3)	(3, 6)	(4, 1)
Serbest Uzay	Serbest Uzay	Serbest Uzay	Serbest Uzay
Log-mesafe	Log-mesafe	Log-mesafe	Log-mesafe
Log-normal Gölgeleme	Log-normal Gölgeleme	Log-normal Gölgeleme	Log-normal Gölgeleme

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında IoT'nin konum tespiti ihtiyacının karşılanmasına katkı sağlanması amacıyla mesafe kestirimi ve konum tespiti deneyleri gerçekleştirilmiş, RSSI değerlerinin mesafe kestirimi ve konum tespitinde kullanılmasının ne kadar başarılı sonuçlar verildiği değerlendirilmiş; yol kaybı modellerinin performansları analiz edilmiştir.

Mesafe kestirimi ölçümlerinin tamamında verici ile alıcı arasındaki mesafe arttıkça sinyal gücünün azaldığı; mesafe ile RSSI değerinin yol kaybı modeli eşitliklerindeki gibi ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir. 50 ile 150 arasında değişen örnek sayılarının, mesafe tahminlerini önemli ölçüde etkilemediği görülmüştür. Kullanılan Android cihazının davranışlarının, daha düşük örnekleme oranı ile yapılan ölçümlerde, daha sağlıklı sonuçlar alınmasını sağladığı sonucuna varılmıştır. RSSI değerlerindeki günün saatine bağlı düşüşün, otoparktaki doluluk oranı ile alakalı olduğu sonucuna varılmıştır. Verici ile alıcı arasında farklı engeller olduğunda RSSI değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Dış mekânda yapılan ölçümlerdeki RSSI okumalarının iç mekânda yapılan ölçümlerdeki RSSI okumalarına göre daha stabil olduğu görülmüştür. Bütün ölçümlerde yol kaybı katsayısının 2'ye eşit olduğu durumlarda, 3'e ve 4'e eşit olduğu durumlara göre, her üç modelin de daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Mesafe kestirimi deneylerinde dış mekânda log-normal gölgeleme yol kaybı modelinin, iç mekânda ise log-mesafe yol kaybı modelinin gerçeğe en yakın tahminlerde bulunan modeller olduğu görülmüştür. İç mekânda modellerin mesafe tahminlerinin çok başarılı olmamasına karşın, dış mekânda üç modelin de başarılı ve birbirlerine çok yakın tahminlerde bulunduğu; log-normal gölgeleme yol kaybı modelinin ise en başarılı model olduğu görülmüştür.

Konum tespiti deneylerinde serbest uzay yol kaybı modelinin, log-mesafe yol kaybı modeline ve log-normal gölgeleme yol kaybı modeline göre daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra log-mesafe yol kaybı ve log-normal gölgeleme yol kaybı modellerinde, referans mesafe olan 1 metre'deki RSSI değeri gerekli bir

parametre olduğu için, gerçek hayatta uygulanabilirlikleri serbest uzay yol kaybı modeline göre daha düşüktür.

Mesafe kestirimi deneylerinde log-normal gölgeleme yol kaybı modelinin en başarılı model olmasına karşın, konum tespiti deneylerinde serbest uzay yol kaybı modeli en başarılı model olmuştur. Mesafe kestirimi dış mekân model karşılaştırma grafiğinde de (Şekil 3.21) görülebileceği gibi, log-normal gölgeleme yol kaybı modelinin 1 m - 20 m genelinde daha başarılı olmasına karşın, serbest uzay yol kaybı modelinin, 1 m'den, yaklaşık 5,66 m ile yaklaşık 8,49 m'ye (sırasıyla 4 m<sup>2</sup> ve 6 m<sup>2</sup>'lik kareler içinde, iki nokta arasında mümkün olan en uzak mesafeler) kadar olan mesafedeki eğrisine ait eğimin, gerçek mesafe eğrisinin eğimine daha yakın olduğu görülmüştür. Çoklu laterasyon kullanılarak gerçekleştirilen konum tespiti yönteminde, tahmin edilen mesafelerin doğru olması kadar, geometrik ağırlıklarının da doğru olması önemli olduğu için, serbest uzay yol kaybı modelinin konum tespitinde daha doğru tahminler yaptığı görülmüştür. Başka bir deyişle serbest uzay yol kaybı modelinin eğrisinin, gerçek mesafe eğrisine yaklaşık olarak paralel olması, model eğrisinin farklı mesafelerdeki değerlerinin oranlarının gerçek mesafe eğrisinin farklı mesafelerdeki değerlerinin oranlarına yakın olduğu ve modelin ürettiği değerlerin gerçek mesafe değerleri ile uyumlu olduğu anlamına gelmektedir. Bu yüzden konum tespiti deneylerinin gerçekleştirildiği mesafe aralığında yapılan konum tahminlerinde, serbest uzay yol kaybı modelinin daha başarılı olduğu görülmüştür.

Tüm deneylerde yapılan ölçümlerde, RSSI değerlerinin beklenmedik şekilde değişkenlikler gösterdiği ve RSSI okumalarının kararlı olmadığı, bu durumun da mesafe ve konum tahminlerindeki hata payını arttırdığı gözlemlenmiştir. RSSI ölçümleri, mesafe kestirimi ve konum tespitinde hatalara yol açan ve doğruluk oranını azaltan, çevresel ve cihaza bağlı olanlar olarak iki grupta incelenebilecek bazı faktörlerden etkilenir; çevresel faktörlere bağlı hatalara çoğunlukla kablosuz iletişim kanalında oluşan gölgeleme etkisi (shadowing effect), çok yollu yayılım (multipath propagation) solma etkisi (fading effect) ve diğer RF kaynaklarından gelen parazitler yol açar [13]. Özellikle iç mekânda RSSI değerleri, gölgeleme etkisi ve çok yollu yayılımın neden olduğu solma etkisi nedeniyle çok kararsızdır [35].

RSSI değeri iletim gücü, mesafe, iletim yolu gibi etkenlere bağlı olduğu için kararlı değildir, iki sabit düğüm arasında bile RSSI değeri aynı kalmaz; zaman içinde değişir [36]. Bu yüzden RSSI değerleri her zaman güvenilir değildir, sinyallerin iletim güvenilirliği farklı senaryolar altında değişir; mobil varlıkların sayısı arttığında iletişim

parazitleri de artar, bu da iletim güvenilirliğini azaltır [36]. Vericiden gönderilen sinyalin iletim gücünün tam bir kesinlik ile tespit edilememesi, RSSI değerlerine dayanan konum tespiti yöntemlerinin dezavantajlarından biridir [22]. RSSI değerlerine dayanan konum tespiti yöntemlerinin çoğunun, gerçek platformlarda yapılan deneylerde, simülasyonlarda tahmin edilenlerden daha kötü sonuçlar verdiği görülmüştür [37]. Nitekim RSSI değerinin mesafe tahmini için uygun bir parametre olmadığını söyleyen çalışmalar literatürde mevcuttur [38].

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, RSSI değerlerine dayanan konum tespiti çalışmalarında, RSSI ölçümlerine ek olarak yeni yöntem ve tekniklerin kullanılması gerekliliği tespit edilmiştir. Gelecek çalışmalarda bu yöntem ve tekniklerle ilgili çalışılması, aynı zamanda RSSI okumalarının stabil olmaması sorunun üzerinde durulması, bu soruna neden olan etkenlerin araştırılması planlanmaktadır.



## KAYNAKLAR

- [1] Akkuş S., Gömülü Sistem Tabanlı Kriptolu TCP/IP Veri Haberleşmesi Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016, 441716.
- [2] Vermesan O., Friess P., *Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems*, 1st ed., River Publishers, Denmark, 2013.
- [3] Tarkoma S., Ailisto H., The Internet of Things program: The finnish perspective, *IEEE Communications Magazine*, 2013, **51**(3), 10-11.
- [4] Columbus L., Roundup Of Internet Of Things Forecasts And Market Estimates, Forbes, <https://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2016/11/27/roundup-of-internet-of-things-forecasts-and-market-estimates-2016/> (Ziyaret Tarihi: 9 Haziran 2018).
- [5] Bouverot A., The Impact of the Internet of Things: The Connected Home, *Global System for Mobile Communications Association (GSMA)*, 15625, 4-5, 2015.
- [6] Liu S., Jiang Y., Striegel A., Face-to-Face Proximity Estimation Using Bluetooth On Smartphones, *IEEE Transactions On Mobile Computing*, 2014, **13**(4), 811-823.
- [7] Guidara A., Derbel F., A Real-Time Indoor Localization Platform based on Wireless Sensor Networks, *12th International Multi-Conference on Systems Signals & Devices*, Mahdia, Tunisia, March 16-19, 2015.
- [8] Zhu X., Feng Y., RSSI-based Algorithm for Indoor Localization, *Communications and Network*, 2013, **5**(2B), 37-42.
- [9] Zargoun F. M. A., Henawy I. M., Ziedan N., Effects of Walls and Floors in Indoor Localization Using Tracking Algorithm, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2016, **7**(3), 34-39.
- [10] Cisco Systems, *Wi-Fi Location-Based Services 4.1 Design Guide*, 1st ed., Cisco, California, 2008.
- [11] Gu Y, Ren F., Energy-Efficient Indoor Localization of Smart Hand-Held Devices Using Bluetooth, *IEEE Access*, 2015, **3**(1), 1450 - 1461.
- [12] Kale S., Bluetooth vs WiFi : Similarities, Differences and Applications, Tricks Window, <http://trickwindow.com/technology/bluetooth-wifi-similarities-differences-applications/> (Ziyaret Tarihi: 09 Haziran 2018).

- [13] Bekcibasi U., Tenruh M., Increasing Localization Accuracy with Distance Reference Anchor in Wireless Sensor Networks, *Acta Polytechnica Hungarica*, 2014, **11**(8), 103-120.
- [14] Günay F. B., Çavdar T., Kablosuz Duyarga Ağlarda RSSI, TOA ve TDOA Yardımıyla Gezgin Filo Lokalizasyon Modeli, *IEEE 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU 2014)*, Trabzon, Turkey, April 23-25, 2014.
- [15] Treu G., Küppel A., Efficient Proximity Detection for Location Based Services, *The 2nd Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC'05) & 1st Ultra-Wideband Expert Talk (UET'05)*, Hannover, Germany, March 17, 2005.
- [16] Liu X., Zhang S., Zhao Q., A novel approach for fingerprint positioning based on spatial diversity, *Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), 2010 3rd International Conference*, Chengdu, China, August 20-22, 2010.
- [17] Carrera J. L., Zhao Z., Braun T., Li Z., A Real-time Indoor Tracking System by Fusing Inertial Sensor, Radio Signal and Floor Plan, *Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2016 International Conference*, Alcalá de Henares, Spain, October 4-7, 2016.
- [18] Chung W. Y., Lau E. E. L., Enhanced RSSI-based Real-time User Location Tracking System for Indoor and Outdoor Environments, *2007 International Conference on Convergence Information Technology (ICCIT 2007)*, Gyeongju, November 21-23, 2007.
- [19] Joel Yves A., Hao P., RSSI-based Indoor Localization Using RSSI-with-Angle-based Localization Estimation Algorithm, *International Journal of Sensor Networks and Data Communications*, 2015, **04**(01), 1-5.
- [20] Pu C. C., Pu C. H., Lee H. J., Indoor Location Tracking using Received Signal Strength Indicator, Editörler: Förster A., *Emerging Communications for Wireless Sensor Networks*, 1st ed., InTech, Rijeka, Hırvatistan, 229-254, 2011.
- [21] He T., Huang C., Blum B. M., Stankovic J. A., Abdelzaher T. F., Range-Free Localization and Its Impact on Large Scale Sensor Networks, *ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS)*, 2005, **4**(4), 877-906.
- [22] Küçük K., Akıllı Anten Sistemi Kullanan Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Bağlantı Analizi ve Konum Belirleme Algoritması, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2010, 259370.
- [23] Shue S., Johnson L. E., Conrad J. M., Utilization of XBee ZigBee Modules and MATLAB for RSSI Localization Applications, *SoutheastCon 2017*, North Carolina, USA, March 30 - April 2, 2017.

- [24] Büyükeröglü O., GSM El Değiştirmenin Yapay Sinir Ağlarıyla Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, 0028188.
- [25] Molisch A. F., *Wireless Communications, 2nd ed.*, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, İngiltere, 2011.
- [26] Kotanen A., Hannilainen M., Leppakoski H., Hamalainen T. D., Experiments on Local Positioning with Bluetooth, *Proceedings ITCC 2003. International Conference on Information Technology: Coding and Computing*, Las Vegas, USA, April 28-30, 2003.
- [27] Papamanthou C., Preparata F. P., Tamassia R., Algorithms for Location Estimation Based on RSSI Sampling, *ALGOSENSORS 2008*, Berlin, Germany, July 12, 2008.
- [28] Türkoral T., Tamer Ö., Yetiş S., İnanç E., Çetin L., Alınan İşaret Güç Göstergesi (RSSI) Metriği Kullanılarak Kapalı Alan Mesafe Kestirimi, *2016 National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO)*, Bursa, Turkey, December 1-3, 2016.
- [29] Alawi R. A., RSSI Based Location Estimation in Wireless Sensors Networks, *Networks (ICON), 2011 17th IEEE International Conference*, Singapore, Singapore, December 14-16, 2011.
- [30] Espressif Inc, *ESP8266EX Datasheet Version 4.3*, ESP8266 datasheet, 2015.
- [31] Espressif Inc, *ESP8266 Wi-Fi Channel Selection Guidelines Version 1.0* ESP8266 channel datasheet, 2017.
- [32] Liberti J. C. Jr., Rappaport T. S., *Smart Antennas for Wireless Communication: IS-95 and Third Generation CDMA Applications*, 1st ed., Prentice Hall, New Jersey, 1999.
- [33] ZhongPeng L., Juan L.L., Bayesian Optimization RSSI and Indoor Location Algorithm of Iterative Least Square, *International Journal of Smart Home*, 2015, **9**(6), 31-42.
- [34] Feng S., Wu C., Zhang Y., Jia Z., Grid-Based Improved Maximum Likelihood Estimation for Dynamic Localization of Mobile Robots, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2014, **10**(3), 1-15.
- [35] Hamdoun S., Rachedi A., Benslimane A., RSSI-based Localization Algorithms using Spatial Diversity in Wireless Sensor Networks, *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, DOI: 10.1504/IJAHUC.2015.070592.
- [36] Wang Y., Zhao B., Zhaohui J., RSSI-Based Smooth Localization for Indoor Environment, *The Scientific World Journal*, 2014, **2014**(639142), 1-8.

- [37] Heurtefeux K., Valois F., Is RSSI a Good Choice for Localization in Wireless Sensor Network?, *Advanced Information Networking and Applications (AINA)*, 2012 IEEE 26th International Conference, Fukuoka, Japan, 26-29 March 2012.
- [38] Subhan F., Halabi H., Azat R., Tahir S. B., Handover in Bluetooth Networks using Signal Parameters, *Information Technology Journal*, 2011, **10**(5), 965-973.



## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Karaca K.**, Küçük K., Comparison of Path Loss Models for Indoor Localization Using Wi-Fi RSSI Values, *International Conference on Engineering Technologies (ICENTE)*, Konya, Turkey, December 7-9, 2017.
- [2] **Karaca K.**, Küçük K., A Study on the Performance of Path Loss Models for Indoor Localization Using RSSI Values, *International Conference on Multidisciplinary Sciences (ICOMUS)*, Ankara, Turkey, November 25-26, 2017.



## ÖZGEÇMİŞ

Kübra Nilgün KARACA, 1989 yılında İzmir’de doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini İzmir’de tamamladı. 2009 yılında girdiği Doğu Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İngilizce Bilgisayar Mühendisliği Bölümü’nü burslu okuyarak, 2013 yılında bilgisayar mühendisi olarak mezun oldu. 2018 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimini tamamladı. Tez çalışması sırasında uluslararası bir konferans olan ICENTE’te danışmanı ile birlikte yayınladığı “Comparison of Path Loss Models for Indoor Localization Using Wi-Fi RSSI Values” adlı çalışma, en iyi çalışma ödülüne layık görüldü. 2015 - 2018 yılları arasında, Ankara’da bulunan ve çeşitli devlet kurumları için yazılım projeleri geliştiren şirketlerde, yazılım geliştirici olarak görev aldı.