

**ÜÇ BOYUTLU (3B) COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ  
KAPSAMINDA İÇ MEKÂNLARA YÖNELİK RFID  
TABANLI KONUM BELİRLEME SİSTEMİ  
TASARIMI**

**2014  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**

**Emrullah DEMİRAL**

**ÜÇ BOYUTLU (3B) COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KAPSAMINDA İÇ  
MEKÂNLARA YÖNELİK RFID TABANLI KONUM BELİRLEME SİSTEMİ  
TASARIMI**

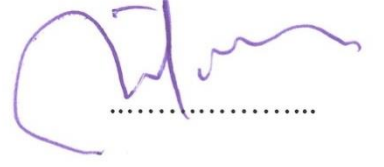
**Emrullah DEMİRAL**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Aralık 2014**

Emrullah DEMİRAL tarafından hazırlanan “ÜÇ BOYUTLU (3B) COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KAPSAMINDA İÇ MEKÂNLARA YÖNELİK RFID TABANLI KONUM BELİRLEME SİSTEMİ TASARIMI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. İsmail Rakıp KARAŞ  
Tez Danışmanı, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 26/12/2014

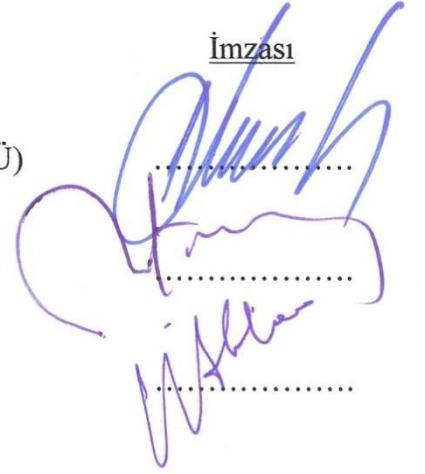
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Muhammed Kamil TURAN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. İsmail Rakıp KARAŞ (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ümit ATİLA (KBÜ)



...../...../2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Mustafa BOZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Emrullah DEMİRAL

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **ÜÇ BOYUTLU (3B) COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KAPSAMINDA İÇ MEKÂNLARA YÖNELİK RFID TABANLI KONUM BELİRLEME SİSTEMİ TASARIMI**

**Emrullah DEMİRAL**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. İsmail Rakıp KARAŞ**

**Aralık 2014, 103 Sayfa**

Sürekli değişen ve gelişen teknoloji ile beraber gökdelen diye tabir edilen binaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Çok katlı, karmaşık ve geniş alanlara yayılmış bu binaların büyüklüğü ve karmaşıklığına bağlı olarak çözülmeyi bekleyen birçok yeni problem karşımıza çıkmaktadır. Meydana gelebilecek acil durumlarda, kişiye özel navigasyon uygulamaları kullanarak binaların hızlı ve sorunsuz bir şekilde tahliyesi bu problemlerin en başta gelenidir. Görme engellilerin yönlendirilmesi, güvenlik amaçlı uygulamalar, ziyaretçi takibi, adres bulma, hizmetlerin organizasyonu, otomatik turist rehberliği gibi uygulamalar ise diğer kullanım alanlarından bazılarıdır.

Bu çalışmada, Üç Boyutlu Coğrafi Bilgi Sistemleri (3B CBS) kapsamında bina içi konum tespiti için Radio Frequency IDentification (Radyo Frekansı ile Tanımlama -

RFID) teknolojileri üzerinde durulmuştur. RFID teknolojilerinin en temel öğelerinden biri olan taşıyıcıların (RFID Tags) uygulama yüzeylerine göre farklılıklar gösterdiği bilinmektedir. Bina içi kullanıma en uygun taşıyıcının belirlenmesi amacı ile piyasada temini mümkün olan 14 farklı taşıyıcı çeşidi üzerinde bazı testler yapılmıştır. Bu testler sonucunda, çalışmada kullanılmak üzere mevcut taşıyıcılar içerisinde bina içi kullanıma en uygun olanı belirlenmiştir. Literatürde yer alan RFID tabanlı konum tespit çalışmaları incelenmiş ve iki başlık altında toplanmıştır. Mevcut sistemler ve konum tespit yöntemleri göz önünde bulundurulmuş ve tez kapsamında Coğrafi Yakınlık Yaklaşımı (Proximity) ve Trilaterasyon Yöntemi kullanılarak bina içi konum tespit çalışması yapılmıştır. Coğrafi Yakınlık Yaklaşımına göre okuyucunun bina içerisinde yer alan çalışma alanında, herhangi bir noktada en iyi sinyal aldığı taşıyıcı, bir başka deyişle Alınan Sinyal Gücü Göstergesi (Radio Signal Strength Indication - RSSI) değeri en yüksek taşıyıcı belirlenmektedir. Okuyucunun konumu ile en iyi sinyal alınan taşıyıcının bilinen konumu aynı kabul edilmiştir. Bina içerisine üç farklı modelde taşıyıcılar yerleştirilmiştir. Her bir model için mobil okuyucunun konumu gerçek zamanlı olarak tespit edilmeye çalışılmıştır. 1. modelde taşıyıcılar bina içerisine düz bir hat şeklinde tavan yüzeyine, 2. modelde bir odanın yan duvarlarına 1'er metre aralıklarla ve 3. modelde kuadratik bir şekilde bir odanın tavanına yerleştirilmiştir. Konum hassasiyeti bina içerisine yerleştirilen taşıyıcı sıklığına bağlıdır. Yapılan çalışmada taşıyıcı sıklığına ve taşıyıcıların okuyucuya yakınlığına bağlı olarak RSSI değerlerinin anlamlı olduğu ve tespit edilen konum doğruluğunu arttırdığı gözlemlenmiştir. Bu bağlamda hata payı 1 metre olarak kabul edilmiş ve en iyi sonuç %96 doğrulukla 3. modelde elde edilmiştir. Konum tespiti için kullanılan bir diğer yöntem de trilaterasyon tekniğidir. Bu yöntem için en az 3 referans noktasına hedefin uzaklığının biliniyor olması gerekmektedir. Belirli kısıtlar altında RSSI değerine bağlı uzaklık tahmini yapılmıştır. Yapılan RSSI ölçümleri doğrultusunda bir RSSI-Uzaklık dönüşüm fonksiyonu elde edilmiştir. Periyodik okumalarda en az üç referans noktasından uygun veriler toplandığında; hedefin bu üç ayrı referans taşıyıcıya olan uzaklıkları alınan RSSI değerlerine bağlı olarak, RSSI-Uzaklık dönüşüm fonksiyonu yardımı ile hesaplanmaktadır. Hesaplanan uzaklık değerleri Trilaterasyon Yöntemi için gerekmektedir. Bu yönteme bağlı yapılan çalışmada, kullanıcı önceden konumu belirlenen farklı ölçüm noktalarında sabit olarak belirli sürelerde beklemektedir.

Tahmin edilen konum ile gerçek konum arasında yaklaşık 3 metrelik bir farklılık ile karşılaşılmıştır.

**Anahtar Sözcükler** : RFID, mobil, bina içi konum tespiti, coğrafi yakınlık yaklaşımı (proximity), trilaterasyon.

**Bilim Kodu** : 902.1.026

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **RFID-BASED INDOOR POSITIONING SYSTEM DESIGN WITHIN THE SCOPE OF THREE DIMENSIONAL (3D) GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS**

**Emrullah DEMİRAL**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Computer Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. İsmail Rakıp KARAŞ**

**December 2014, 103 Pages**

The number of buildings named as skyscraper increases day by day along with continuously changing and evolving technologies. Depending on the size and complexity of these buildings that are multi-layered, complex and spread over wide areas, many new problems arise which need to be solved. In emergency situations that may occur, one of the leading problem is developing personalized navigation applications for performing safe and quick evacuation of buildings. Beside, guiding visually impaired people, security, visitor tracking, finding addresses, service organizations and guiding tourists are some other application areas.

In this study, Radio Frequency IDentification (RFID) technology for indoor positioning within the scope of three-dimensional Geographic Information Systems (3D GIS) has been emphasized. It is known that types of RFID tags



which is one of the basic components of the RFID systems, differ according to the application surface. Some tests have been performed on 14 different tag types which are available on the market to determine the most suitable tag for use in indoor. As a result of these tests, the most suitable tag for use in the building has been selected to be use in the study. RFID-based positioning studies in the literature have been revised and grouped under two headings. Current systems and positioning methods have been considered. In the thesis, indoor positioning has been performed using geographical proximity approach and trilateration method. The tag, from which the reader receives the best signal, in other words, the tag which has the highest RSSI value has been determined according to the geographical proximity approach in the study area located within the building. Known location of the tag from which best signal has been received and location of the reader has been considered as same. The tags have been placed according to three different models into the building. The location of the mobile reader has tried to be determined in real time for each model. In the first model, the tags have been consecutively attached as a straight line to the ceilings of corridors. In the second model, the tags have been attached within one meter intervals on the surfaces of two opposite walls of a room. In the third model, the tags have been attached as quadratic to the ceiling of a room. Position accuracy depends on the number of tags attached within the building. In the study it has been observed that the RSSI values are significant and increase the accuracy of the estimated position depending on the frequency of attached tags and the proximity of tags to the reader. In the case that position estimation error has been considered  $\pm 1$  meter, the best position estimation rate has been obtained from third model that is approximately 96%. Another method used for the position detection is also the trilateration technique. For this method, the distance between the target and at least three reference points must be known. Under certain constraints, distance estimation has been performed depending on the RSSI value. An RSSI-distance transformation function has been obtained in respect to RSSI measurements. Since the relevant data is collected from at least three reference points by periodic reading, the distance between the target and these three separate reference points has been calculated with the help of RSSI-distance transformation function depending on the RSSI value. The calculated distance values are required for trilateration method. The user waits stationary on separate measuring points whose positions are known in advance in

certain periods. Distance error between the estimated position and the actual position has been observed approximately 3 meters.

**Keywords** : RFID, mobile, indoor positioning, geographical proximity approach, trilateration.

**Science Code** : 902.1.026

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamda danıőmanlıęını yapan; bilgi birikimi ile bana yol gösteren, tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmalarımı bilimsel temeller ışığında Őekillendiren kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. İsmail Rakıp KARAAŐ'a sonsuz teşekkür ederim.

Çalıőmam süresince yaptığı tespitlerle tezin olgunlaőmasında büyük katkılar sağlayan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen hocam Sayın Yrd. Doç Dr. Muhammed Kamil TURAN'a, desteğini her zaman yanımda hissettiğim arkadaőım Eftal ŐEHİRLİ'ye teőekkürlerimi sunarım.

Tez alıőmam, TÜBİTAK tarafından desteklenen 112Y050 numaralı proje kapsamında tamamlanmıőtır. Bu desteğinden dolayı da TÜBİTAK'a teőekkürlerimi sunarım.

Bu alıőma, KB-BAP-13/2-YL-028 nolu proje kapsamında Karabük Üniversitesi Bilimsel Araőtırma Projeleri (BAP) Birimi tarafından desteklenmiőtir. Desteklerinden dolayı Karabük niversitesine teşekkür ederim.

Ayrıca beni yetiőtiren, dua ve iyi niyetleri ile bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan aileme, destek ve yardımlarıyla hayatımı kolaylaőtıran, çalıőmam boyunca beni cesaretlendiren en büyük destekçim eőim Buket'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	x
İÇİNDEKİLER .....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xix
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
1.1. TEZİN KAPSAMI VE AMACI.....	2
1.1.1. Acil Durum Yönetimi .....	3
1.1.2. Bina İçi Navigasyon ve Adres Bulma.....	5
1.1.3. Bina İçi Güvenlik.....	5
1.1.4. Bina İçi Hizmetlerin Organizasyonu .....	5
BÖLÜM 2 .....	6
İÇ MEKÂNLARA YÖNELİK KONUM BELİRLEME TEKNOLOJİLERİ VE ALGORİTMALARI .....	6
2.1. İÇ MEKÂNLARA YÖNELİK KONUM BELİRLEME TEKNOLOJİLERİ..	6
2.2. KONUM BELİRLEME ALGORİTMALARI .....	7
2.2.1. Uzaklık Tahmin (Distance Estimation) .....	7
2.2.2. Çevresel Analiz (Scene Analysis).....	8
2.2.3. Coğrafi Yakınlık (Proximity).....	8
BÖLÜM 3 .....	9
RFID SİSTEMLERİ İLE KONUM BELİRLEME UYGULAMALARI .....	9
3.1. RFID TEKNOLOJİSİ.....	9

3.2. LİTERATÜRDE YER ALAN RFID TABANLI KONUM BELİRLEME ÇALIŞMALARI.....	10
3.2.1. Taşıyıcı Sabit Okuyucu Hareketli Sistemler.....	11
3.2.2. Okuyucu Sabit Taşıyıcı Hareketli Sistemler.....	12
BÖLÜM 4 .....	22
İÇ MEKÂNLARDA KULLANIMA UYGUN OKUYUCU VE TAŞIYICININ BELİRLENMESİ.....	22
4.1. EN UYGUN OKUYUCUNUN BELİRLENMESİ.....	22
4.1.1. ATID AT 870.....	24
4.1.2. CLS CS 101 .....	25
4.1.3. MOTOROLA MC 9090-Z.....	26
4.1.4. ZOTEI ZT-SK 7500.....	27
4.2. EN UYGUN TAŞIYICININ BELİRLENMESİ .....	28
4.2.1. En uygun Taşıyıcının Belirlenmesi için Kullanılacak Mobil Yazılımın Geliştirilmesi.....	29
4.2.2. Taşıyıcı Modellerinin İncelenmesi .....	33
4.2.2.1. TE34 GAIN .....	33
4.2.2.2. TE14 Thinpropeller .....	34
4.2.2.3. TE24 Apparel .....	35
4.2.2.4. TH34 Hamtrace .....	35
4.2.2.5. AD826 .....	36
4.2.2.6. AZ9635.....	37
4.2.2.7. AZ9662.....	38
4.2.2.8. Kuyum Etiketi .....	38
4.2.2.9. Confidex Carrier.....	39
4.2.2.10. Confidex Windshield Label.....	40
4.2.2.11. Titan Smallest.....	41
4.2.2.12. Titan General, Blade.....	42
4.2.2.13. TF44 .....	43
4.2.3. Geliştirilen Mobil Yazılım ile Gerçekleştirilen Taşıyıcı Testleri .....	44
4.2.4. Test Sonuçları Doğrultusunda En Uygun Taşıyıcı Modelinin Belirlenmesi .....	49

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 5 .....	51
UYGULAMA: RFID TABANLI BİNA İÇİ KONUM BELİRLEME SİSTEMİNİN TASARIMI .....	51
5.1. TAŞIYICILARIN BİNA İÇERİSİNE YERLEŞTİRİLECEĞİ NOKTALARIN BELİRLENMESİ VE APLİKASYONU .....	51
5.2. APLİKE EDİLMİŞ TAŞIYICILARIN TOPOLOJİSİNİN OLUŞTURULMASI VE TAŞIYICI BELLEKLERİNE KOORDİNAT VE KOMŞULUK BİLGİLERİNİN YÜKLENMESİ .....	53
5.3. GELİŞTİRİLEN YAZILIM İLE COĞRAFİ YAKINLIK YAKLAŞIMI KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLEN KONUM TESPİTİ .....	57
5.3.1. Model 1: Taşıyıcıların Düz Bir Hat Şeklinde Yerleştirilmesi.....	60
5.3.2. Model 2: Taşıyıcıların Yan Duvarlara Karşılıklı Olarak Yerleştirilmesi .....	67
5.3.3. Model 3: Taşıyıcıların Alanı Birer Metrekarelik Hücelere Ayırarak Şekilde Yerleştirilmesi .....	76
BÖLÜM 6 .....	81
RSSI DEĞERİNE BAĞLI UZAKLIK TAHMİNİ VE TRİLATERASYON YÖNTEMİ KULLANILARAK KONUM TESPİTİ .....	81
6.1. RSSI DEĞERİNE BAĞLI UZAKLIK TAHMİNİ İÇİN YAPILAN ÖLÇÜMLER VE ELDE EDİLEN SONUÇLAR .....	81
6.1.1. RSSI Değerine Bağlı Olarak Hesaplanan Uzaklık Değerinin Kullanıcı Tarafından Ayarlanabilmesi .....	85
6.2. TRİLATERASYON YÖNTEMİ.....	87
6.2.1. İki Boyutlu Trilaterasyon.....	89
6.3. GELİŞTİRİLEN YAZILIM İLE TRİLATERASYON YÖNTEMİ KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLEN KONUM TESPİTİ .....	91
BÖLÜM 7 .....	94
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	95
KAYNAKLAR .....	98
ÖZGEÇMİŞ .....	103

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1.	Akıllı Dinamik Tahliye Sisteminin bileşenleri.....	4
Şekil 3.1.	RFID sistem bileşenleri.....	10
Şekil 3.2.	Konumu tespit edilmeye çalışılan hedefin okuyucu olduğu sistemlere örnek bir model. ....	12
Şekil 3.3.	Konumu tespit edilmeye çalışılan hedefin taşıyıcı olduğu sistemlere örnek bir model. ....	14
Şekil 4.1.	İncelenen mobil RFID okuyucular.....	24
Şekil 4.2.	Taşıyıcı listesi.....	30
Şekil 4.3.	Ayarlar sekmesi.....	30
Şekil 4.4.	Komutlar sekmesi.....	32
Şekil 4.5.	Yazılım mobil cihaz üzerinde çalışırken çekilmiş görüntü. ....	33
Şekil 4.6.	TE34 Gain taşıyıcısı.....	34
Şekil 4.7.	TE14 Thinpropeller palet işaretleme taşıyıcısı.....	35
Şekil 4.8.	TE24 Apparel taşıyıcısı.....	35
Şekil 4.9.	TH34 Hamtrace taşıyıcısı.....	36
Şekil 4.10.	AD826 taşıyıcısı.....	36
Şekil 4.11.	Alien AZ-9634 taşıyıcısı.....	37
Şekil 4.12.	Etikete ait açısal hassasiyet grafiği.....	37
Şekil 4.13.	Alien AZ-9662 taşıyıcısı.....	38
Şekil 4.14.	Kuyum etiketi.....	38
Şekil 4.15.	Confidex Carrier etiketi, taşıyıcı palet üzerine uygulanmış halde. ....	39
Şekil 4.16.	Horizontal ve vertikal radyon paterni grafikleri.....	39
Şekil 4.17.	Araç ön cam etiketi. ....	40
Şekil 4.18.	Horizontal ve vertikal radyon paterni grafikleri.....	40
Şekil 4.19.	Titan Smallest metal yüzey etiketi .....	41
Şekil 4.20.	Horizontal ve vertikal radyon paterni grafikleri.....	42
Şekil 4.21.	Titan Smallest modeli.....	43
Şekil 4.22.	Titan General modeli.....	43
Şekil 4.23.	Titan Blade modeli metal yüzey etiketi.....	43

## Sayfa

Şekil 4.24. TF44 etiketine ait anten tasarımı.....	44
Şekil 4.25. Test ortamı ve test koşulları. ....	45
Şekil 4.26. Taşıyıcı tavanda ve okuyucu a yönünde hareket ettirilmekte. ....	46
Şekil 4.27. Taşıyıcı tavanda ve okuyucu b yönünde hareket ettirilmekte. ....	47
Şekil 4.28. Taşıyıcı Strafor 1 (Kolonda) üzerinde ve okuyucu a yönünde hareket ettirilmekte. ....	47
Şekil 4.29. Taşıyıcı Strafor 1 (Kolonda) üzerinde ve okuyucu b yönünde hareket ettirilmekte. ....	48
Şekil 4.30. Taşıyıcı Strafor 2 (Tavanda) üzerinde ve okuyucu a yönünde hareket ettirilmekte. ....	48
Şekil 4.31. Taşıyıcı Strafor 2 (Tavanda) üzerinde ve okuyucu b yönünde hareket ettirilmekte. ....	49
Şekil 5.1. Çalışma alanı. ....	52
Şekil 5.2. Taşıyıcılar tavana yapıştırılmış vaziyette koridor görüntüsü. ....	53
Şekil 5.3. ID numaralarının düzenlenmesinde kullanılan yazılım (ATUHF_Net) mobil cihaz üzerinde çalışırken çekilen görüntü. ....	54
Şekil 5.4. ATUHF_Net yazılımına ait ana ekran görüntüsü. ....	55
Şekil 5.5. ATUHF_Net yazılımına ait ID değiştirme penceresi.....	55
Şekil 5.6. Değiştirilmek üzere tanıtılan ....	56
Şekil 5.7. Değiştirilen ID numarası. ....	56
Şekil 5.8. ID formatı. ....	56
Şekil 5.9. Kayıtlar sekmesi. ....	58
Şekil 5.10. Ayarlar sekmesi.....	59
Şekil 5.11. Çalışma alanı içerisinde taşıyıcıların yerleştirildiği noktalar (kat planı üzerinde gösterim).....	60
Şekil 5.12. Sonuçların grafiksel gösterimi. ....	66
Şekil 5.13. Oda içerisinde etiketlerin düzeni. ....	67
Şekil 5.14. Taşıyıcıların bulunduğu odanın görünümü ve taşıyıcı yakın görünüm... 69	
Şekil 5.15. Program mobil cihaz üzerinde çalışırken. ....	68
Şekil 5.16. Oda içerisinde etiketlerin düzeni. ....	76
Şekil 5.17. Taşıyıcıların yapıştırıldığı tavan yüzeyi. ....	77
Şekil 6.1. RSSI ölçüm. ....	82
Şekil 6.2. RSSI-Uzaklık verileri arasındaki ilişki ....	84
Şekil 6.3. RSSI-Uzaklık kullanıcı penceresi. ....	86



	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 6.4. Üç boyutlu trilaterasyon.....	88
Şekil 6.5. İki boyutlu trilaterasyon.....	89
Şekil 6.6. Ayarlar sekmesi trilaterasyon kullan seçeneği.....	91
Şekil 6.7. Trilaterasyon ile tahmin edilen konumun kullanıcıya harita üzerinde gösterimi.....	91
Şekil 6.8. İki boyutlu trilaterasyon.....	92

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. İç mekânlara yönelik konum belirleme sistemleri.....	6
Çizelge 3.1. Radyo frekanslarının özellikleri .....	10
Çizelge 3.2. RFID tabanlı konum belirleme çalışmaları .....	20
Çizelge 4.1. İncelenen 4 farklı okuyucuya ait genel özellikler.....	22
Çizelge 4.2. ATID AT 870 genel özellikleri. ....	24
Çizelge 4.3. CLS CS 101 genel özellikleri. ....	25
Çizelge 4.4. Motorola MC 9090-Z genel özellikleri. ....	26
Çizelge 4.5. Zotei ZT-SK 7500 genel özellikleri. ....	27
Çizelge 4.6. İmpinj'e ait patentli devrelerin genel özellikleri. ....	34
Çizelge 4.7. Titan Smallest, Genral ve Blade modellerine ait metal ve metal olmayan yüzeylerde sabit okuyucu varlığında ve yokluğunda okuma mesafeleri. ....	43
Çizelge 4.8. Yapılan testlere ilişkin elde edilen maksimum okunma mesafeleri ....	50
Çizelge 5.1. Kişi sabitken tahmin edilen konum ve gerçek konum bilgileri.....	61
Çizelge 5.2. Hata değerleri ve yüzdeleri.....	62
Çizelge 5.3. Kişi hareketliken tespit edilen konum ve gerçek konum bilgiler .....	63
Çizelge 5.4. Hata değerleri ve yüzdeleri.....	66
Çizelge 5.5. Konumsal hassasiyet ve yüzdesi. ....	67
Çizelge 5.6. Kişi oda içerisinde hareket halindeyken elde edilen sonuçlar (Periyod 1 sn.) .....	70
Çizelge 5.7. Kişi oda içerisinde hareket halindeyken elde edilen sonuçlar (Periyod 2 sn.). ....	72
Çizelge 5.8. Hata değerleri ve yüzdeleri.....	75
Çizelge 5.9. Konumsal hassasiyet ve yüzdesi. ....	75
Çizelge 5.10. Kişi oda içerisinde hareket halindeyken elde edilen sonuçlar (Periyod 2 sn.) .....	77
Çizelge 5.11. Hata değerleri ve yüzdeleri.....	79
Çizelge 6.1. Her 10 cm lik mesafede ölçülen RSSI değerlerinin ortalamaları .....	82
Çizelge 6.2. Taşıyıcı koordinatları.....	93

Çizelge 6.3. Ölçüm noktalarının koordinatları ve ölçüm noktalarında yapılan konum tahminlerine ait maksimum hata, minimum hata, ortalama hatalar tablosu .....	94
--	----

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### KISALTMALAR

3B CBS	: Üç Boyutlu Coğrafi Bilgi Sistemleri
RFID	: Radio Frequency IDentification (Radyo Frekansı ile Tanımlama)
RF	: Radio Frequency (Radyo Frekansı)
RSS	: Received Signal Strength (Alınan Sinyal Gücü)
RSSI	: Received Signal Strength Indication (Alınan Sinyal Gücü Göstergesi)
GNSS	: Global navigation Satalite System (Küresel Konumlama Uydu Sist.)
WLAN	: Wireless Local Area Network (Kablosuz Yerel Ağ Bağlantısı)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Yer Tanımlama Sistemi)
TAO	: Time of Arrival (Varış Süresi)
TDOA	: Time Differance of Arrival (Varış Süresi Farkı)
RSP	: Received Signal Phase (Alınan Sinyal Fazı)
AOA	: Angle of Approach (Yaklaşma Açısı)
LF	: Low Frequency (Düşük Frekans)
HF	: High Frequency (Yüksek Frekans)
UHF	: Ultra High Frequency (Çok Yüksek Frekans)
kNN	: k - Nearest Neighbor ( k En Yakın Komşuluk)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Sürekli değişen ve gelişen teknoloji ile beraber gökdelen diye tabir edilen binaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Onlarca kat, yüzlerce koridor, oda ve geçitlerden oluşan bu binalar, hem karmaşık yapıları hem de barındırdıkları nüfus itibarı ile adeta birer küçük şehir gibidirler. Dolayısı ile binaların büyüklüğü ve karmaşıklığına bağlı olarak çözülmeyi bekleyen birçok yeni problem karşımıza çıkmaktadır. Meydana gelebilecek acil durumlarda, kişiye özel navigasyon uygulamaları kullanarak binaların hızlı ve sorunsuz bir şekilde tahliyesi bu problemlerin en başta gelenidir. Görme engellilerin yönlendirilmesi, güvenlik amaçlı uygulamalar, ziyaretçi takibi, adres bulma, hizmetlerin organizasyonu, otomatik turist rehberliği gibi uygulamalar ise diğer kullanım alanlarından bazılarıdır.

Araç navigasyon sistemleri gibi günümüzde yaygın olarak kullanılan sistemlerde kullanıcının konumu Küresel Konumlama Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems - GNSS) ile belirlenmektedir. Bununla birlikte GNSS'in kapalı alanlarda doğrudan kullanılması mümkün değildir. Bu yüzden bina içlerinde de çalışabilecek etkin konum belirleme sistemlerine ihtiyaç vardır.

Kapalı mekânlarda konum belirlemeye yönelik olarak önerilen birçok teknoloji ve sistem mevcuttur. Mevcut teknolojiler içerisinde avantajları ve doğruluğu bakımından RFID teknolojisi ön plana çıkmaktadır. Günümüzde bazı akıllı cep telefonlarına ayrıca takılıp çıkarılabilen RFID okuyucu ve taşıyıcılar mevcuttur. Bu şekilde piyasada kolaylıkla temin edilebilir durumda olan portatif RFID okuyucu ve taşıyıcıların okuma menzillerinin düşük olması, akıllı telefonların şarjlarının daha hızlı tükenmesine sebep olması ve eklendiği cihazın boyutlarının azda olsa büyümesine sebebiyet vermesi gibi durumlardan dolayı yaygın kullanımı görülmemektedir. Bunun yanında gelişen teknoloji ile birlikte RFID okuyucu ve taşıyıcıların yakın

gelecekte akıllı cep telefonlarının içerisinde tıpkı WiFi adaptörleri gibi bütünleşik olarak yer alabilmesi, daha etkin bir kullanım sunması da beklenmektedir. Bu sayede RFID tabanlı geliştirilen bir kapalı mekân konum tespit sistemi akıllı telefonlarda kullanılabilir ve kişiye özel çeşitli hizmetler sunabilecektir.

## **1.1. TEZİN KAPSAMI VE AMACI**

Bu tez kapsamında kapalı mekânlara yönelik olarak etkin bir konum belirleme sistemi tasarlanması amaçlanmıştır. İdeal bir bina içi konum belirleme sistemi binadan donanım olarak bağımsız olmalıdır. Yani bina içerisinde kablo, elektronik sistemler vs. bulunmamalıdır. Tıpkı bina dışında etkin kullanıma sahip olan GNSS sistemler gibi çalışmalıdır. Bu sayede yangın gibi binada tahribata sebebiyet verebilecek durumlarda da çalışması mümkün olabilecektir. Henüz bina içi konum tespiti için etkin bir sistem bulunmamaktadır.

Literatürde yer alan mevcut çalışmalar göz önünde bulundurularak, kullanılan konum belirleme teknikleri ve mevcut teknolojiler ele alınmıştır. RFID teknolojisi avantajları ve dezavantajları bakımından diğer mevcut teknolojilere kıyasla öne çıkmaktadır. RFID teknolojisi ve sistem bileşenleri ayrıntıları ile Bölüm 3 içerisinde açıklanmıştır. RFID tabanlı kapalı mekânlarda konum belirlemeye yönelik literatürde yer alan çalışmalar incelenmiş ve iki başlık altında toplanmıştır. Bu başlıklar, Taşıyıcı Sabit Okuyucu Hareketli Sistemler ve Okuyucu Sabit Taşıyıcı Hareketli Sistemler şeklindedir. Bu tez kapsamında yapılan çalışmada Taşıyıcı Sabit Okuyucu Hareketli bir sistem üzerinde durulmuştur. Taşıyıcı Sabit Okuyucu Hareketli bir sistem binadan donanım olarak bağımsızlık anlamında iyi bir çözüm sunmaktadır.

RFID teknolojisinin birçok sektör içerisinde geniş uygulama alanlarına sahip olması okuyucu ve taşıyıcı tiplerinde çeşitliliği beraberinde getirmiştir. Bu bakımdan öncelikle çalışmada kullanılmak üzere bina içi kullanıma uygun RFID okuyucu ve taşıyıcı belirlenmiştir. Piyasada mevcut mobil RFID okuyucuların benzer özelliklere sahip olması ve tedarikçi firmanın direktifleri doğrultusunda Atid AT 870 marka ve modeli RFID okuyucunun çalışmada kullanılmasına karar verilmiştir. Bina içi kullanıma en uygun taşıyıcının belirlenmesi aşamasında, mobil RFID okuyucu

üzerinde çalışabilen bir yazılım geliştirilmiş ve bu yazılım ile piyasada mevcut çalışma kapsamında temin edilen 14 farklı taşıyıcı çeşidi üzerinde bina içerisinde bazı testler yapılmıştır. Geliştirilen yazılım ve taşıyıcılar üzerinde yapılan testler ile ilgili detaylar Bölüm 4 içerisinde açıklanmaktadır. Uygun taşıyıcının belirlenmesinde, taşıyıcının okunma aralığının geniş olması ve belirli bir periyod içerisinde okunma sayısının yüksek olması tercih sebebi olmuştur. Çalışmada TE34 Gain marka pasif taşıyıcılar kullanılmıştır. Sistemin çalışması için pasif taşıyıcıların bina içerisinde yan duvarlara veya tavan yüzeylerine yapıştırılması gerekmektedir. Bu anlamda binaya donanımsal bağlılık söz konudur ancak gelişen teknoloji ile birlikte bina içi kullanıma uygun yanmayan, yüksek ısıya ve dış etkenlere karşı dayanıklı maddelerden üretilmiş taşıyıcıların tasarlanabileceği düşünülmektedir. Bu sayede binanın yapımı aşamasında ana kolon betonlarının içerisine bu taşıyıcıların yerleştirilebilmesi ve sorunsuz çalışabilmesi sağlanabilir olacaktır. Diğer taraftan mevcut binalar için yanmayan dayanıklı maddelerden üretilmiş duvar kağıtları veya çivi şeklinde taşıyıcılar kullanılması uygun olacaktır.

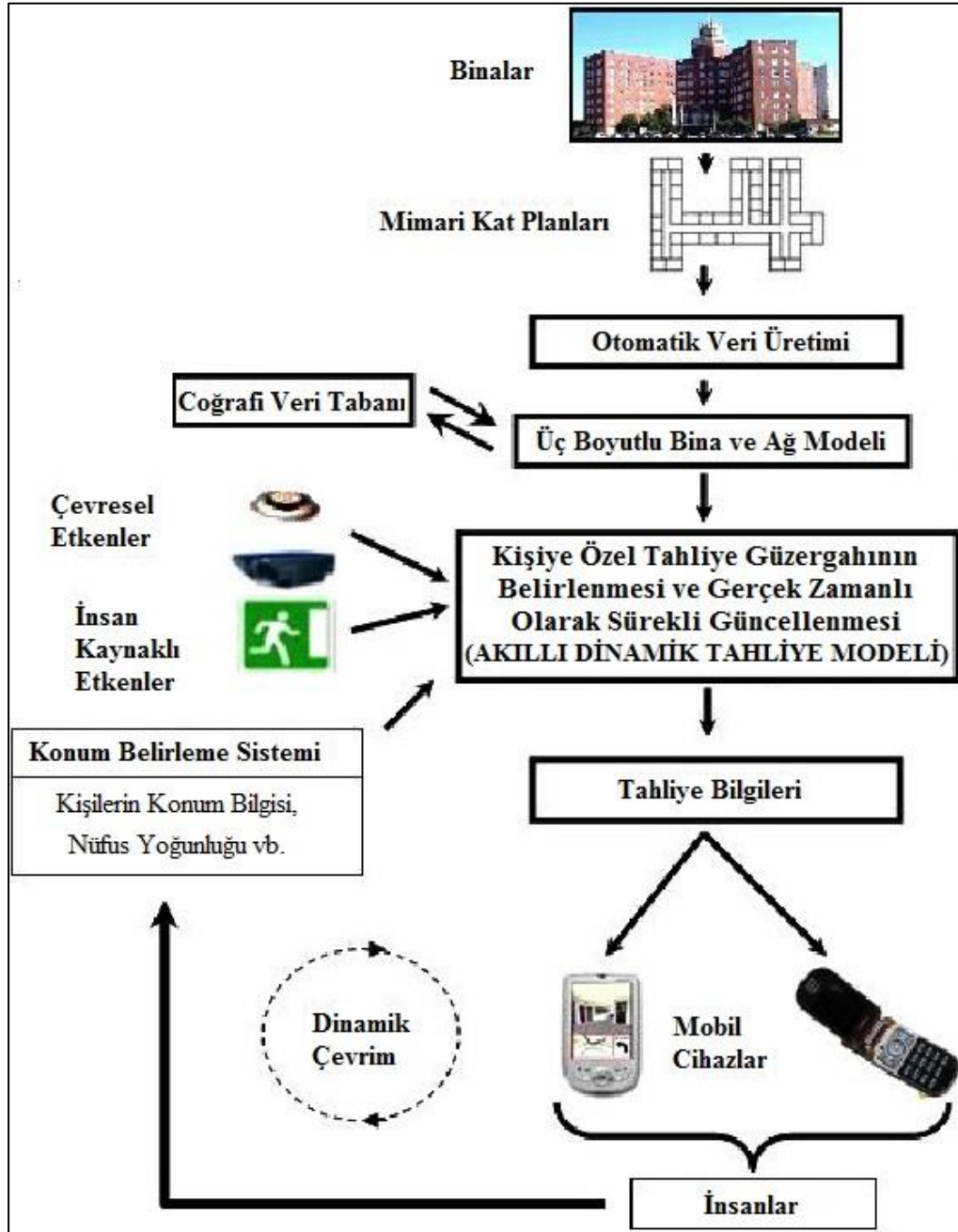
Bina içi konum tespiti, bina içi yönlerdirme için temel gereksinimdir. Tez kapsamında geliştirilmesi planlanan sistem Üç Boyutlu Coğrafi Bilgi Sistemleri (3B CBS - Three Dimensional Geographic Informations Systems) için önemli bir alt bileşendir. 3B CBS kapsamında başlıca kullanım alanları şunlardır [1]:

- Acil Durum Yönetimi
- Bina İçi Navigasyon ve Adres Bulma
- Bina İçi Güvenlik
- Bina İçi Hizmetlerin Organizasyonu

### **1.1.1. Acil Durum Yönetimi**

Yangın, deprem, terörizm (bomba ihbarı, patlamalar, rehin alma olayları) gibi olaylar iç mekânlarda meydana gelebilecek olağanüstü durumlardan bazılarıdır. Bu gibi felaket durumlarında binaların hızlı bir şekilde tahliyesi hayati önem arz etmektedir. Binaların büyüklüğü ve bina içerisindeki insan yoğunluğuna bağlı olarak panik, insanların birbirini ezmesi, bina içerisinde mahsur kalma gibi durumlar ortaya

çıkılmaktadır. Felaket durumlarında binaların hızlı ve sorunsuz bir şekilde tahliyesini sağlamak ve can kayıplarını mümkün olduğu ölçüde azaltabilmek amacıyla 3B CBS kapsamında önerilen Akıllı Dinamik Tahliye Sisteminin bileşenleri Şekil 1.1’de yer almaktadır. Böyle bir sistemin en önemli alt bileşenlerinden bir tanesi de iç mekânlara yönelik konum belirleme sistemidir. Tez kapsamında gerçekleştirilmesi hedeflenen sistem Akıllı Dinamik Tahliye Sisteminin bir bileşeni olarak kullanılabilir.



Şekil 1.1. Akıllı Dinamik Tahliye Sisteminin bileşenleri [1].



### **1.1.2. Bina İçi Navigasyon ve Adres Bulma**

Akıllı telefonların kullanımının yaygınlaşması ile artık kişiye özel navigasyon uygulamaları çoğu zaman bir ihtiyaç haline gelmiştir. Özellikle GNSS tabanlı uygulamalar bir yerden başka bir yere giderken navigasyon ve adres bulma amaçlı kullanılmaktadır. Ancak GNSS sistemlerin etkin bir şekilde iç mekanlarda kullanımı mümkün olmamaktadır. Bu açıdan tez kapsamında gerçekleştirilmesi hedeflenen sistem iç mekânlarda navigasyon ve adres bulma gibi uygulamaların temelini oluşturmaktadır.

### **1.1.3. Bina İçi Güvenlik**

Bina içerisindeki ziyaretçilerin merkezi bir sistem tarafından gerçek zamanlı olarak takibi binanın güvenliğini sağlamak adına önem taşımaktadır. Örneğin, bina içerisinde dolaşan bir ziyaretçinin girmesi için yetkisi bulunmadığı halde bina içerisinde bir odaya girmeye çalıştığını veya girdiğini düşünelim. Günümüzde akıllı telefonların kişiler için artık bir kimlik teşkil ettiğini düşünürsek, merkezi sistem tarafından kişi kolaylıkla tespit edilecektir. Böyle bir sistemin tasarlanabilmesine tez kapsamında gerçekleştirilmesi hedeflenen sistem zemin hazırlayacaktır.

### **1.1.4. Bina İçi Hizmetlerin Organizasyonu**

Hedeflenen sistemin posta, dağıtım gibi işlerin en kısa yoldan yapılabilmesini sağlamak amacı ile tasarlanmış bir sistem içerisinde kullanımı mümkündür. İki nokta arasındaki en kısa yol algoritmasını kullanan bir yazılım için iki temel bilgi gerekmektedir. Bunlar başlangıç ve hedef noktalarıdır. Başlangıç noktası; şuanda bulunduğumuz konum, hedef nokta; gitmeyi amaçladığımız yer veya yerler olarak düşünülebilir. Bu ve benzeri bir sistem için, tez kapsamında gerçekleştirilmesi hedeflenen sistem anlık konum bilgisini sağlayacaktır.

## BÖLÜM 2

### İÇ MEKÂNLARA YÖNELİK KONUM BELİRLEME TEKNOLOJİLERİ VE ALGORİTMALARI

Bu bölümde iç mekânlara yönelik konum belirleme teknolojileri avantajları ve dezavantajları bakımından incelenmektedir. Bunun yanında bölüm içerisinde konum belirleme algoritmaları da açıklanmaktadır.

#### 2.1. İÇ MEKÂNLARA YÖNELİK KONUM BELİRLEME TEKNOLOJİLERİ

İç mekânlarda konum belirlemeye yönelik olarak önerilen birçok teknoloji mevcuttur. Bu teknolojiler Ultrasound, RFID, Bluetooth, WLAN, Pseudo GPS ve Infrared teknolojileridir. İç mekânlara yönelik olarak önerilen konum belirleme teknolojilerinin avantajları ve dezavantajları Çizelge 2.1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. İç mekânlara yönelik konum belirleme sistemleri [2,3].

Teknoloji	Avantajları	Dezavantajları	Doğruluk
Ultrasound	<ul style="list-style-type: none"><li>•Basit ve ucuz ekipman</li><li>•Hassas ölçüm imkânı</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Her odada alıcıların tesis edilmesi gerekliliği.</li><li>•Yüksek yoğunluklu seslerin olumsuz etkisi.</li><li>•Alıcı ve vericilerin birbirini doğrudan görme gerekliliği.</li></ul>	Yeterince sık tesis edildiğinde birkaç cm.
RFID	<ul style="list-style-type: none"><li>•Alıcı ve vericilerin birbirini doğrudan görmesine gerek yok.</li><li>•Her türden ortamda çalışma imkanı.</li><li>•Hızlı etkileşim.</li><li>•Pasif taşıyıcılar aktiflere göre daha ucuz, küçük ve pile ihtiyaç duymuyor.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Pasif taşıyıcılar, aktiflere göre daha düşük duyarlıklılı.</li><li>•RFID okuyucular pahalı.</li></ul>	RFID okuyucu ve taşıyıcıların dağılımına bağlı olarak 1 cm’den 2 metreye kadar.

Çizelge 2.1. (devam ediyor).

Bluetooth	<ul style="list-style-type: none"><li>•Her türden bluetooth cihazın izlenebilmesi (cep telefonu, mp3 player, laptop)</li><li>•Değişken okuma mesafesi (1 m. civarı)</li><li>•Küçük ölçekli kurulumlar nispeten ucuz.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Geniş ölçekli kurumlarda maliyetli</li><li>•Sınırlı bantgenişliği.</li><li>•Ana bağlantıya karşılık en fazla yedi alt bağlantı imkanı.</li><li>•Aktarmada gecikme.</li></ul>	2-15 metre
WLAN (Wifi)	<ul style="list-style-type: none"><li>•IEEE 802.11 altyapısını kullanabilme imkanı.</li><li>•Düşük maliyet.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Çok katlı ve çok yoğun alanlarda performans düşüklüğü.</li><li>•Sinyal yansıması ve dinamik ağ yapısı sebebiyle değişken sinyal gücü.</li></ul>	1-3 m. (50 m. menzil içinde)
Pseudo-GPS (Uydusallar)		<ul style="list-style-type: none"><li>•Bina içine GPS uydularına benzer ufak uydusalların kurulması gerekliliği.</li><li>•GPS alıcılı mobil cihazlar.</li><li>•Maliyeti yüksek.</li></ul>	1 m. civarı
Infrared	<ul style="list-style-type: none"><li>•Kompakt.</li><li>•Düşük güç tüketimi.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Gün ışığına karşı duyarlı.</li><li>•Alıcı ve vericilerin birbirini doğrudan görme gerekliliği.</li><li>•Tesis ve bakımı maliyetli</li></ul>	5-10 metre.

Avantajları ve doğruluğu göz önüne alındığında söz konusu yöntemler içerisinde RFID (Radio Frequency Identification) teknolojisi öne çıkmaktadır. RFID sisteminde, okuyucu ve taşıyıcıların birbirlerini doğrudan görmeleri gerekmeksizin aralarında kablosuz iletişim kurabilmeleri, sistemin bina içerisinde kullanımını kolaylaştırmaktadır. Bir diğer önemli özelliği ise birden fazla taşıyıcının aynı anda okunabilmesinin mümkün olmasıdır.

## 2.2. KONUM BELİRLEME ALGORİTMALARI

### 2.2.1. Uzaklık Tahmin (Distance Estimation)

Bu yaklaşım da hedefin konumu üçgenin geometrik özelliklerinde yararlanılarak tahmin edilmektedir. İki şekilde hedefin konumunu tespit etmek mümkündür. Bunlardan birincisi, en az iki referans noktasından bilinmeyen hedef noktaya olan açılarının ölçülmesini içerir. Bu açılar doğrultusunda çizilen çizgilerin kesişim noktası tahmin edilen konuma karşılık gelir. Diğeri ise; hedefin, en az üç referans noktasına olan uzaklığının bilinmesini gerektirir. Bu sayede hedefin konumu tahmin edilebilmektedir.

Söz konusu yöntemlerle konum belirlenirken, RFID alıcı ve taşıyıcılar arasındaki, alınan sinyal gücü (RSS), ulaşım zamanı (TAO), ulaşım zaman farkı (TDOA), alınan sinyal fazı (RSP) veya yaklaşma açısı (AOA) değerleri kullanılır.

### **2.2.2. Çevresel Analiz (Scene Analysis)**

Görüntü analizi yaklaşımı iki ayrı basamaktan oluşmaktadır. Öncelikle ortamla ilgili çevresel bilgi (parmak izi) toplanır. Daha sonra hedefin konumu, uygun parmak izi seti ile online ölçümler karşılaştırılarak tahmin edilir. Genellikle RSS tabanlı parmak izleri kullanılır. Parmak izi tabanlı iki temel yöntemden birincisi, k En Yakın Komşuluk Yöntemi (k-NN; k Nearest Neighbors) (radyo dalgaları haritalaması olarak da bilinir), ikincisi ise Olasılık Yöntemidir. En yakın komşuluk yöntemi, radyo dalgası haritası olarak tanımlanan RSS veri tabanını oluşturmak için, konumu bilinen istasyonlardaki ilk RSS ölçümleri kullanılarak gerçekleştirilir. Daha sonra çevrimiçi aşamada, hedef noktalara yöneltilen RSS ölçümleri yoluyla mevcut RF (Radyo Frekansı - Radio Frequency) cihazlarıyla üretilen sinyal uzayındaki en yakın k eşleştirmeleri aranır. Ardından, hedef noktanın konumunu tahmin etmek için seçilen komşu noktalar üzerinde karesel ortalama hata ilkesi uygulanır. Olasılıksal yaklaşımda ise, hedef noktanın yeri, bu noktanın n adet muhtemel konumunun bulunduğu ve çevrimiçi aşamada deneysel olasılık ve Bayes formülüne göre gözlenen sinyal şiddeti vektörünün olduğu varsayılarak belirlenir. Dolayısı ile en yüksek olasılığa sahip olan konum seçilir. Genelde, olasılıksal yöntemler, kalibrasyon, aktif öğrenme, hata tahmini ve izleme gibi aşamaları içerir.

### **2.2.3. Coğrafi Yakınlık (Proximity)**

Bu yaklaşım alıcı/taşıyıcıların dağılımına bağlıdır. Hedef herhangi bir alıcı/taşıyıcının etki alanına girdiğinde, noktanın alıcı/taşıyıcı ile aynı konuma sahip olduğu farz edilir. Birden fazla hedef tespit ederse, hedefin sinyali en güçlü alan alıcı ile eş konumlu olduğu kabul edilir. Bu yaklaşım temel ve uygulaması kolay bir yaklaşımdır. Bununla birlikte, doğruluk hücrelerin boyutu kadardır. Hücre, birbirini takip eden iki taşıyıcı arasında kalan bölge veya birbirine komşu olan taşıyıcıların oluşturduğu bölge olarak tanımlanabilir.

## BÖLÜM 3

### RFID SİSTEMLERİ İLE KONUM BELİRLEME UYGULAMALARI

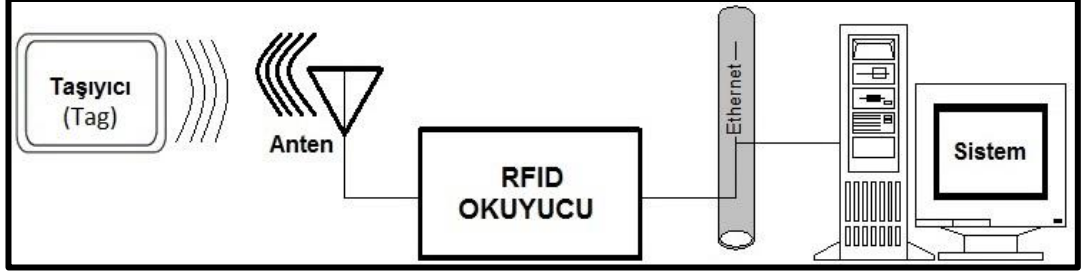
#### 3.1. RFID TEKNOLOJİSİ

RFID, bir nesne veya kişiye ait tanıma bilgisini (benzersiz seri sayı biçiminde) kablosuz bir şekilde radyo dalgaları ile iletmek için kullanılan sistemleri tanımlamak amacıyla ifade edilen genel bir terimdir [4]. RFID sistemlerinde veri akıllı kart sistemleri gibi elektronik bir veri taşıyıcı aygıtı (Transponder/ Tag) üzerinde saklanır. Diğer yandan, akıllı kartlardaki sistemin aksine, veri taşıyan aygıt için gerekli olan güç ve okuyucu ile veri taşıyan aygıt arasındaki veri değişimi temas yüzeysiz olarak manyetik veya elektromanyetik alanlarla sağlanır. RFID taşıyıcıda saklanan veriyi alabilmek için bir okuyucuya ihtiyaç vardır [5]. Okuyucu, taşıyıcının hafızasında bulunan veriyi almak için antenine enerji yükler. Bu sayede anten radyo sinyalleri yayarak taşıyıcıyı aktif hale getirir. Aktif hale gelen taşıyıcı da hafızasında yer alan veriyi bırakır [4]. Anten okuyucu ve taşıyıcı arasındaki iletişimi sağlar ve antenin şekline ve boyutuna bağlı olarak frekans aralığı gibi sistemin performansını etkileyen bazı özellikler farklılık gösterir [6].

RFID taşıyıcıları elektrik gücünün kaynağına göre aktif ve pasif olmak üzere iki genel kategoride incelenir. Aktif taşıyıcılar, genellikle bir pilden elde ettikleri kendi güç kaynaklarına sahiptirler. Pasif taşıyıcılar ise güçlerini okuyucunun sinyalinden alır [7].

Bir RFID sistemin iki temel bileşeni okuyucu ve taşıyıcıdır. Bunun yanında sistemi daha etkin hale getirmek için anten, bilgisayar ve veritabanları kullanılmaktadır. RFID sistem bileşenleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Bir diğ er önemli unsur okuyucunun frekans aralı ğ ıdır. Mevcut frekanslar, LF (Low Frequency), HF (High Frequency), UHF (Ultra High Frequency) şeklindedir [8]. Ek olarak SHF (Super High Frequency) veya mikrodalga frekans aralıkları da kullanılabilir. Radyo frekanslarının özellikleri Ç izelge 3.1’de özetlenmiştir.



Ş ekil 3.1. RFID sistem bileş enleri.

Ç izelge 3.1. Radyo frekanslarının özellikleri [9,10].

	Düş ük Frekans (LF)	Yüksek Frekans (HF)	Ç ok Yüksek Frekans (UHF)	Mikrodalga (Mikrowave)
Frekans Aralı ğ ı	125-135 kHz	13.56 MHz	400-960 MHz	2.45-5.8 GHz
Okuma Aralı ğ ı	<0.5 m (pasif)	<1.0 m (pasif)	<10 m (pasif), >10 m (yarı-pasif ve aktif)	>100 m (aktif)
Standartlar	ISO 11784/5, 14223, 18000-2	ISO 14443, 15693, 18000-3	ISO 18000-6/7, EPCGen1 and 2	ISO 18000-4/5
Metal/sıvı etkisi	Ç ok düşük	Düş ük	Yüksek	Yüksek
Veri Aktarım Hızı	Düş ük	Orta	Yüksek	Yüksek
Ç oklu Okuma	-	50 taşıyıcı/sn	150 taşıyıcı/sn	-
Kullanım Alanları	Tarım, Güvenlik, İ çecek Fabrikaları	İ laç Sanayisi, Sa ğ lık Sektörü	Üretim, Lojistik, İ nşaat Sektörleri	Askeriye, Gemi ile Nakliyat, Hava Yolları

### 3.2. LİTERATÜRDE YER ALAN RFID TABANLI KONUM BELİRLEME ÇALIŞMALARI

İç mekânlarda kişilerin konumlarını belirlemek için tasarlanmış RFID tabanlı birçok sistem vardır. Literatürde yer alan mevcut sistemleri, sistemlerin çalışma prensiplerini göz önünde bulundurarak sınıflandırılabilir. Bunun yanında bir RFID sistemin en temel iki bileşeni olan okuyucu ve taşıyıcıların konum tespit sistemleri içerisinde hedef veya referans olması gerekmektedir. Bu bağlamda okuyucu ve taşıyıcıların konum tespit sistemleri içerisindeki yerleşim düzenine bakarakta sınıflandırma yapabiliriz. Takip edilmek istenilen nesnenin üzerine yerleştirilmiş bir RFID okuyucunun olduğu ve taşıyıcıların referans amaçlı bina içerisinde konumu

bilinen sabit noktalara yerleştirildiği sistemler mevcuttur. Yine bundan farklı olarak okuyucuların referans amaçlı sabit noktalara yerleştirildiği ve taşıyıcıların konumu tespit edilmek istenen nesnenin üzerine yerleştirildiği sistemler de mevcuttur. Literatürde yer alan RFID tabanlı konum tespit sistemleri, okuyucu ve taşıyıcıların sistem içerisinde hedef veya referans olmasına bağlı olarak iki başlık altında toplanmıştır.

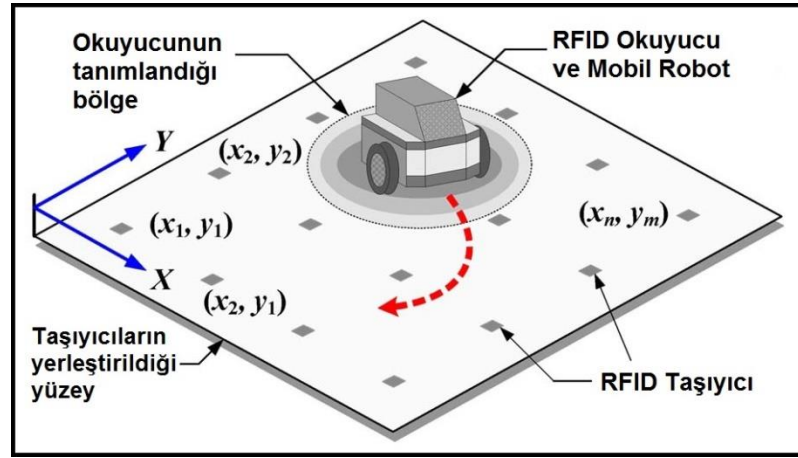
Bu bölümde literatürde yer alan RFID teknolojisi tabanlı iç mekânlara yönelik konum belirleme uygulamaları üzerinde durulmaktadır. Bu doğrultuda RFID tabanlı konum belirleme teknikleri üzerine yapılmış 28 çalışma kapsamlı olarak incelenmiş ve ileride bu alanda yapılacak yeni araştırmalara da katkı yapacağı düşünülerek detaylandırılmıştır. Çözümlerin algoritmik yönleri, cihazların kurulum ve performans değerlendirmesi ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Ayrıca yaklaşık maliyet hesaplaması yapılabilmesi için çözümlerde kullanılan okuyucu ve taşıyıcı sayıları da belirtilmektedir.

### **3.2.1. Taşıyıcı Sabit Okuyucu Hareketli Sistemler**

Bu gruptaki sistemlerde, taşıyıcılar sabit, okuyucular ise hareketlidirler. Bina içerisinde önceden belirlenmiş konumlara taşıyıcılar; takip edilecek nesnenin üzerine ise RFID okuyucular yerleştirilmektedir. Bu tip sistemlerde okuyucunun okuma alanındaki taşıyıcıların bilinen konumlarından faydalanılarak takip edilen nesnenin beraberindeki RFID okuyucunun konumu belirlenmektedir [11-13].

Byoung ve arkadaşları yaptıkları çalışmada pasif taşıyıcılar ve yüksek frekansta (13,56 MHz) çalışan okuyucu kullanmışlardır. 6 m x 2,4 m lik koridorun zeminine pasif taşıyıcılar yerleştirilmiştir. 2,4 m uzunluk doğrultusunda (koridorun genişliği) 30 cm aralıklarla taşıyıcılar yerleştirilirken 6 m olan uzunluk doğrultusunda (koridorun boyu) ise 50 cm aralıklarla taşıyıcılar yerleştirilmiştir. Okuyucu ise hareketli bir robot üzerine sabitlenmiştir. Çalışmada iki farklı deney yapılmıştır. Birinci deneyde okuyucu iki farklı doğrultuda düz bir çizgi üzerinde hareket ettirilmiştir. Okuyucu aralarında 50 cm mesafe olan taşıyıcıların üzerinden geçecek şekilde doğrusal olarak hareket ettirildiğinde 2,42 cm hata ile konum tespit

edilmektedir. Benzer şekilde okuyucu aralarında 30 cm mesafe olan taşıyıcıların üzerinden geçecek şekilde doğrusal olarak hareket ettirildiğinde 1,58 cm hata ile konum tespit edilmektedir. Taşıyıcıların yerleşimlerine bağlı olarak konum tespitindeki hatanın değiştiği gözlenmektedir. İkinci deneyde ise robot yarım daire çizecek şekilde dönüş yaptırılmış ve robot üzerindeki okuyucunun konumu 2,7 cm hata ile tespit edilmiştir [11]. Sistemin duyarlılığı kullanılan taşıyıcı sıklığına bağlıdır. Büyük bir bina içerisine uygulanabilirliği düşünüldüğünde taşıyıcı sayısının da bir hayli artırılması gerekliliği ortaya çıkar. İş yükü ve maliyetin artması kaçınılmaz bir sonuç haline gelir. Ayrıca takip edilmek istenen nesne sayısının artması okuyucu sayısının artması demektir. Okuyucu maliyetlerinin taşıyıcılara göre çok daha yüksek olması, takip edilmek istenen nesne sayısının fazla olduğu durumlarda bu sistemlerin kullanılabilirliğini azaltmakla birlikte amaca bağlı olarak tercih edilebilmektedir. Taşıyıcı sabit okuyucu hareketli sistemlere örnek bir model Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Konumu tespit edilmeye çalışılan hedefin okuyucu olduğu sistemlere örnek bir model [11].

### 3.2.2. Okuyucu Sabit Taşıyıcı Hareketli Sistemler

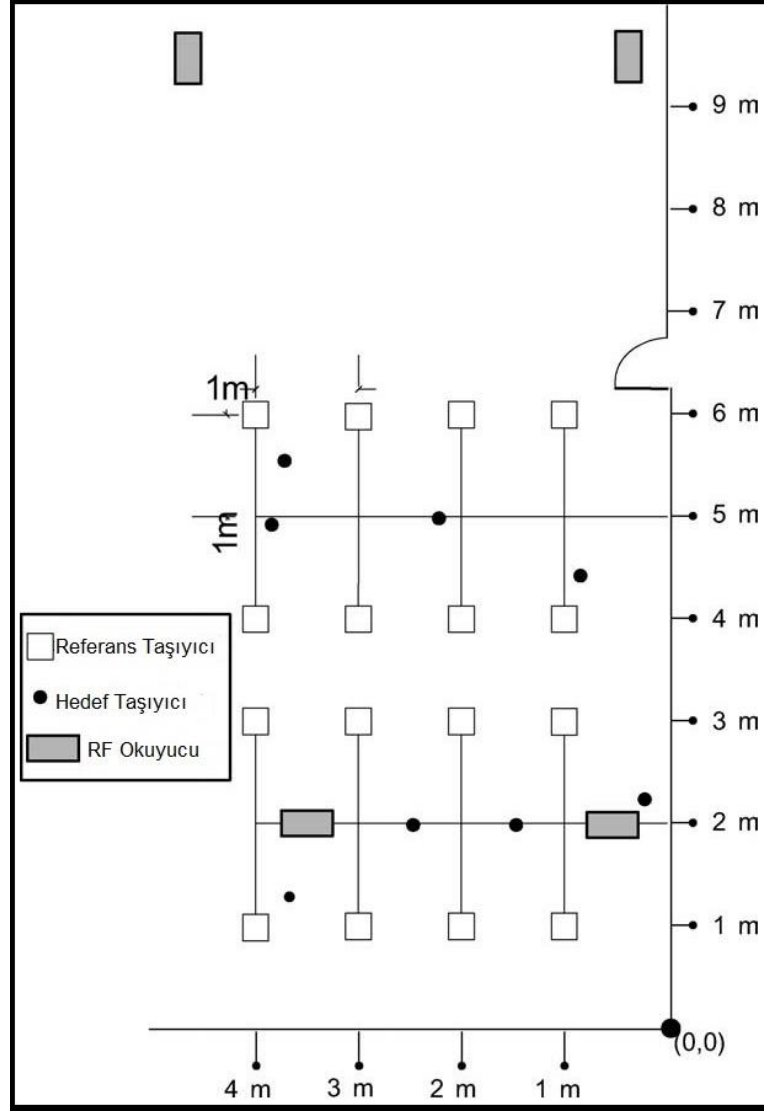
Bu gruptaki sistemlerde, taşıyıcılar takip edilmek istenilen nesnenin üzerinde ve hareketli, okuyucular ise bina içerisinde önceden belirlenmiş konumlara sabitlenmektedir. RFID taşıyıcısından Alınan Sinyal Gücü Göstergesi (Received Signal Strength Indication - RSSI) değerleri kullanılarak uzaklık tahmin



edilmektedir. RSSI değerlerini elde edebilmek için taşıyıcıdan alınan sinyal gücünü ölçebilen özellikte okuyuculara ihtiyaç vardır. Taşıyıcı ve RFID okuyucu arasındaki fiziksel mesafenin artması taşıyıcıdan alınan sinyal gücünü olumsuz yönde etkilemektedir. şu bilinen bir gerçektir ki; fiziksel mesafenin belirli bir düzeyi aşması durumunda taşıyıcı ve okuyucunun iletişimi kopacaktır. Fiziksel mesafenin minimum olduğu durumda ise taşıyıcı ve okuyucu arasındaki iletişimin en hızlı düzeyde olması beklenir. Bu durum göz önüne alındığında taşıyıcı ve okuyucu arasındaki fiziksel mesafe ile sinyal gücü göstergesi arasında bir ilişki kurmak mümkündür. Bilinen üçgenleme ve trilaterasyon yöntemleri ile birden çok okuyucudan gelen veriler birleştirilerek konum tahmini yapılmaktadır [14-16].

Bechteler ve Yenigün tarafından yapılan çalışmada 3 okuyucu ve 1 taşıyıcı kullanılmıştır. Her bir okuyucu için taşıyıcıdan alınan RSSI değerleri ile taşıyıcının okuyucularla arasındaki fiziksel mesafe hesaplanarak, trilaterasyon yöntemi ile taşıyıcının konumu tahmin edilmeye çalışılmıştır. 2 m x 2 m'lik bir alanda yaklaşık 20 cm hata ile taşıyıcının konumu tahmin edilmiştir.

Fakat iç mekânlarda sinyalin çok yönlü dağılımından kaynaklanan RSSI değerlerindeki farklılıklardan dolayı tahmin edilen konum tutarsızdır. Yapılan bazı çalışmalarda tahmin edilen konum tutarlılığını arttırmak için ortamın radyo haritasını çıkarma yoluna gidilmiştir. Radyo haritası, takip edilecek RFID taşıyıcının odanın her bir noktasındayken, okuyuculardan alınan RSSI değerlerinin toplanmasıyla oluşturulmaktadır. Radyo haritası odanın şeklinin değişmesi gibi nedenlerden ötürü değişebilir. Her seferinde tekrar hesaplanması gerekir ve bu nedenle de bu süreç uzun uğraşlar gerektirmektedir. Bu olumsuz etki referans taşıyıcılar ile çözülmeye çalışılmıştır. Ortamda belirli konumlara önceden yerleştirilen taşıyıcılardan alınan RSSI değerleri ile konumu belirlenmeye çalışılan nesnelerin üzerindeki taşıyıcılara ait RSSI değerleri karşılaştırılarak k En Yakın Komşuluk (k-NN: k Nearest Neighbors) algoritması ile konum tahminleri gerçeleştirilmiştir [17,18]. Okuyucu sabit taşıyıcı hareketli sistemlere örnek bir model şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Konumu tespit edilmeye çalışılan hedefin taşıyıcı olduğu sistemlere örnek bir model [17].

Ni ve arkadaşları LANDMARC (LocAtion iDentification based on dynaMic Active Rfid Calibration/Dinamik Aktif RFID Kalibrasyonuna Dayalı Konum Belirleme) olarak bilinen çalışmalarında referans taşıyıcılar kullanarak ortamın dinamik radyo haritasını oluşturmayı başarmışlardır. Çevresel faktörlerin, takip edilmek istenen nesnenin üzerindeki taşıyıcıdan alınan RSSI değerlerine etkisi ile bu taşıyıcıya komşu olan yani onunla aynı bölgede bulunan referans taşıyıcılardan alınan RSSI değerlerine etkisi birbirine çok yakın olacaktır. Bu sayede, odanın şeklinin değişmesi veya oda içerisinde bulunan eşyaların yerlerinin değiştirilmesi gibi çevresel etkilerden kaynaklanan problemlerde minimize edilmiştir. Daha doğru ve güvenilir konum bilgisi elde etme hususunda LANDMARC yaklaşımının bir başka avantajı,

çok sayıda pahalı RFID okuyucuya gerek duyulmamıştır. Bunun yerine ucuz referans taşıyıcılar kullanılmıştır. LANDMARC yaklaşımında RFID okuyucuların okuma mesafesi içerisinde bulunan her bir taşıyıcıya ait RSSI değerlerine ihtiyaç duyulmuştur. Bununla birlikte kullanılan sistemde her bir taşıyıcıya ait RSSI değerleri mevcut RFID okuyucularla doğrudan ölçülememiştir. RFID okuyucular ile sadece taşıyıcının güç seviyesi (Sistemde 1-8 arası bir değer) rapor edilebilmiştir. Güç seviyesini gösteren değer bina içinde çevresel faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermesi ve gerçek mesafenin bu değere bağlı olarak doğrudan hesaplanamayışı göz önünde bulundurularak, güç seviyesi değeri ile RSSI değerini birbiriyle ilişkilendiren bir algoritma geliştirilmiştir. Çalışmada, ortama 1 m aralıklarla referans taşıyıcılar yerleştirilmiştir. Konumu tespit edilmeye çalışılan hedef taşıyıcıdan alınan RSSI değeri ile referans taşıyıcılardan alınan RSSI değerleri belirli aralıklarla sürekli olarak okunmakta ve kaydedilmektedir. Referans taşıyıcıların bilinen konumlarından yararlanılarak, k en yakın komşuluk algoritması ile hedef taşıyıcının konumu hesaplanmaktadır. 16 adet referans taşıyıcı ve 4 adet okuyucu ile 10 m x 4 m'lik bina içi bir alanda yaptıkları testlerde %50 oranında 1 m hata ile, %90 oranında 2 m hata ile konum hesaplaması elde etmişlerdir. LANDMARC, RFID tabanlı konum belirleme ile ilgili birçok çalışmaya referans olmuştur. Ayrıca LANDMARC yönteminin geliştirilmesi yönünde yapılan çalışmalar da mevcuttur [17].

Zhao ve arkadaşları gerçek referans taşıyıcılarının yanında sanal referans taşıyıcılar da oluşturmuş ve alanı daha küçük bölgelere ayırmışlardır. Sanal referans taşıyıcılarının RSSI değerleri, gerçek referans taşıyıcılarının RSSI değerlerinden faydalanılarak doğrusal enterpolasyon yöntemi ile tahmin edilmektedir. k-NN algoritması ile konum tahmini yapılmaktadır. Çalışmada sistemin testi için: “(1) Yarı kapalı alan mobilya ve beton duvarlar yok. (2) Geniş kapalı alan, çok fazla metal eşya yok. (3) Tipik üniversite dersliği sıra ve sandalyeler var.” olmak üzere 3 farklı alan seçilmiştir. En iyi sonuç (1) numaralı alan için elde edilirken, en kötü sonuç ise metal yoğunluklu olan (3) numaralı alan için elde edilmiştir. Sonuçlar yorumlandığında, metal yoğunluklu maddelerin RF sinyalleri üzerindeki olumsuz etkisi göze çarpmaktadır [18].

Zhang ve arkadaşları referans taşıyıcıların içerisindeki dahili pillerin kullanım sürelerine bağlı olarak veya farklı referans taşıyıcılarının kullanımından kaynaklanabilecek performans düşüklüğüne karşı RFIDiffFreeLoc algoritması geliştirilmiştir. Çalışmada radyo sinyallerini etkileyebilecek iki önemli unsur üzerinde durularak geliştirilen algoritma ile 10 m x 10 m lik bir alanda 0,1 m hata ile konum tespiti gerçekleştirilmiştir [19].

Bir başka çalışmada ise Hsu ve arkadaşları tarafından çevresel değişikliklerin radyo sinyallerini önemli ölçüde değiştirebileceği göz önünde bulundurularak, sürekli güncellenen dinamik bir RSSI haritası oluşturma yoluna gidilmiştir. Çalışmada hedefin konumu değiştiğinde referans taşıyıcılardan alınan RSSI değerleri güncellenerek hesaplamalar yeni RSSI değerleri üzerinden yapılmaktadır. Çalışmanın sonucunda LANDMARC'a göre doğruluk oranında artış gözlenmiştir [20].

Polito ve arkadaşları tarafından referans taşıyıcılarının yakınlığını tespit etmede kullanılan iki boyutlu (2B) yoğun bir harita oluşturmak için RSI (RSSI değerlerinin konumsal enterpolasyonu) algoritması geliştirilmiştir. 9,6 m x 4,8 m'lik bir alanda gerçekleştirilen çalışmada, % 90 olasılıkla 2,5 m hata ile doğruluk elde edilmiştir. Referans taşıyıcıları arasındaki mesafe 60 cm ile 180 cm arasında değişirken RSI algoritması ile gerçekleştirilen çözümde, doğruluk için 2,5 m ile 6 m arasında değişiklik gözlenmiştir. Yazarlar çok sayıda okuyucu ve taşıyıcıya ihtiyaçlarının olduğunu, sinyalin yayılımı ile ilgili problemlerin oluştuğunu ve sistemin çalışabildiği en uygun parametrenin belirlenmesinin zor olduğunu belirtmişlerdir [21].

K. Sue ve arkadaşları tarafından FLEXOR (Flexible Localization EXplOits Rfid / RFID'den faydalanarak esnek konumlandırma) adını verdikleri bir çözüm geliştirilmiştir. Geliştirilen çözümde altıgen şeklinde sınır taşıyıcılar olarak isimlendirilen özel bir referans taşıyıcı düzeni oluşturulmuş ve her altıgen bölgenin içine bir tane hücre taşıyıcı olarak isimlendirilen bir referans taşıyıcı daha yerleştirilmiştir. Bu sayede LANDMARC yöntemine göre hesaplama yükü azalarak konum bilgisi hususunda bölgesel veya koordinatsal olmak üzere esnek iki farklı

konumlandırma sistemi sunulmuştur. Hedef taşıyıcının RSSI değerleri hücre taşıyıcılar ile kıyaslanarak hedefin içinde bulunduğu bölge tespit edilmiştir. Hedefin koordinat hesaplaması yapılırken, içinde bulunduğu bölgeye ait sınır taşıyıcılarından hedefe en yakın ikisi seçilerek konum tahmini yapılmaktadır. 49 m<sup>2</sup> lik alanda 64 referans taşıyıcı kullanılarak yapılan çalışmada 1 m hata ile doğruluk elde edilmiştir. Yine 9 m<sup>2</sup> lik alanda 16 referans taşıyıcı ile yapılan ikinci bir çalışmada ise 0,4 m hata ile doğruluk elde edilmiştir [22].

Problemi üç boyutlu (3B) olarak ele alan Khan ve Antiwal 10 m x 10 m x 10 m lik alanda 3 okuyucu ve 11 referans taşıyıcı ile simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada bildirilen ortalama hata değeri 0,5 m olarak belirtilmiştir [23].

Huang ve arkadaşları tarafından Bayes tabanlı bir algoritma geliştirilmiştir. Bayes tabanlı bu algoritma hedefin en olası yerini bulabilmek için belirli bir olasılık modeli kullanmaktadır. Ancak mesafe ölçümlerindeki hatanın artması konum belirlemedeki doğruluğun azalmasına sebep olmaktadır. Çevresel değişikliklerin neden olabileceği RSSI değerlerindeki değişimleri engellemek için ek bir algoritma kullanmışlardır. Bu iki algoritmanın simülasyon sonuçları % 60 olasılıkla 0,5 m ile 1 m hata aralığında doğruluk ile sonuçlanmıştır [24].

X. Wang ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada bir hedef taşıyıcının konumu k-NN algoritması ile tahmin edildikten sonra hedef taşıyıcı ve k en yakın komşuları bir dizi içerisinde saklanmıştır. Sonra bu dizi içerisindeki her referans taşıyıcısının konumu, diğer referans taşıyıcıları ve konumu tahmin edilen hedef taşıyıcı üzerinden hesaplanarak hata değeri elde edilmiştir. Dizi içerisindeki her bir referans taşıyıcısı için hesaplanan hata değerlerinin ortalaması alınarak, hedef taşıyıcının hesaplanan konum değerine eklenmiştir. Testler 5 m x 10 m'lik bir alan içerisinde 4 okuyucu ve 16 taşıyıcı ile yapılmış ve 1 m hata ile doğruluk değeri elde edilmiştir [25].

Jin ve arkadaşları yakınlık ve üçgenleme yöntemlerini kullanarak daha verimli bir çözüm önermişlerdir. LANDMARC yöntemine benzer şekilde k-NN algoritması ile hedefin konumu tespit edilmeye çalışılmıştır. Referans taşıyıcıların konumları üçgenleme yöntemi ile hesaplanarak bilinen gerçek konumlarına göre tahmini hata

değerleri bulunmuştur. Yakınlık yöntemi kullanılarak ortalama hata değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan ortalama hata değerleri hedef taşıyıcının LANDMARC yöntemi ile hesaplanan konum değerine eklenmiştir. 6 m x 8 m'lik alanda 4 okuyucu ve 20 referans taşıyıcı kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada 0,7 m hata ile doğruluk değeri elde edilmiştir [26].

Referans taşıyıcıların kullanımı LANDMARC yönteminin en temel özelliğidir. Gerçek dünyaya uygulanabilirliği düşünüldüğünde referans taşıyıcıların sayısının artması hesaplama yükünün artmasına ve hesaplama süresinin uzamasına sebep olacaktır. Aynı zamanda maliyetin artacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

Huang ve arkadaşları farklı bir dağılım sistemi önermişlerdir. Referans taşıyıcıların LANDMARC ve LANDMARC tabanlı birçok çalışmada dörtgenel olarak dağılım göstermesine karşı çıkararak hatayı büyüten nedenlerden birinin referans olarak dört taşıyıcının seçilmesinden kaynaklandığını söylemişlerdir. Bu doğrultuda çalışmada, üçgenel bir dizayn ile referans taşıyıcılar konumlandırılarak %90 olasılıkla 1,4 m ile 1,6 m aralığında hata ile doğruluk elde edilmiştir [27].

Konumu tahmin edilen nesnenin hareketini belirlemek için kalman filtresi uygulanmıştır [28]. Takip edilen nesnenin insan olması ve insanın dielektrik yapısından ötürü sinyali soğurması nedeniyle RSSI değerlerini etkilemesinden yola çıkılarak gölgelendirme etkisine dayalı konum tahmin sistemi gerçekleştirilmiştir [29]. Toplan ve Ersoy tarafından yapılan çalışmada odanın tavanına yerleştirilmiş bir okuyucu ve zemine yerleştirilmiş 20 taşıyıcı kullanılmıştır. Takip edilmek istenen kişi oda içerisinde hareket etmeye başladığında üzerinde bulunduğu taşıyıcıyla, RFID okuyucu arasındaki sinyal iletişimini azalttığı gözlenmiştir. Bu durumdan faydalanılarak geliştirilen sistemde, belirli sıklıkla RFID okuyucu tarafından okunan taşıyıcıların RSSI değerlerindeki azalma baz alınarak o bölgede bir kişinin varlığından söz edilmiştir. Yaşlı takibi amaçlı bu çalışmada 2 m x 2,5 m lik bir oda içerisinde 0,5 m hata ile konum tespiti gerçekleştirilmiştir.

Tüm bu yöntemlerden farklı olarak okuyucuların güç yönetimiyle konum tahmini yapan yöntemler de vardır. Yine referans taşıyıcılar kullanılan bu sistemlerde

okunabilirliği belirli bir güç seviyesiyle sınırlandırılmış taşıyıcılar, o alt sınırdaki güç seviyesinde belirlenebilen RFID taşıyıcıları ile yakın konumda oldukları varsayılarak çıkarımlar yapılmıştır [30].

RFID ile kapalı mekân konum belirleme çalışmaları, kapalı mekânlarda taşıyıcıların ya da okuyucuların kesin konumlarının tespit edilmesi fikriyle sürmektedir. Kapalı mekânlarda GNSS sistemlerinin kullanılamaması bu tip sistemlere olan ilgiyi ve ihtiyacı arttırmıştır. Devasa yapıları ile küçük şehirleri andıran alışveriş kompleksleri ve benzeri yapılardaki navigasyon uygulamaları bu tür sistemlerin başlıca kullanım alanlarıdır. Günümüz modern şehirlerinde çok katlı, karmaşık ve geniş alanlara yayılmış binalar, alışveriş ve sosyal yaşam birleşkeleri rahatlık yanında ziyaretçilerin takip edilmesi, güvenlik unsurlarının takibi ve sevki, adres belirleme, yangın, deprem, sel gibi doğal afetlerde kişilerin hızlı ve etkin bir biçimde tahliyesi gibi çözümler bekleyen konuları da gündeme getirmişlerdir. Bu açıdan bakıldığında kapalı mekânlarda RFID okuyucu ve taşıyıcı ile yapılan konum belirleme çalışmaları oldukça etkin sonuç vermiş ve problemlerin bir kısmına çözümler olabilecek düzeydedir.

Konum belirleme çalışmalarında temel sorun RFID okuyucu ile taşıyıcı arasında ki sinyal/cevap ilişkisinin çok parametrelidir (RSSI, metal yoğunluğu, mekânın fiziksel boyutu, mekânın açık, kapalı ya da yarı açık olması, okuyucu yoğunluğu, taşıyıcı yoğunluğu vb.) bir sistem tarafından etkilenmesidir. Yapılan çalışmalar göze alındığında taşıyıcıların hareketli, okuyucuların sabit olduğu sistemlerin literatürde daha az incelendiği görölmektedir. Bunun kesin nedeni açık olmamakla birlikte, ana neden okuyucu sayısının artması ile maliyetlerin katlanmasıdır. Taşıyıcıların hareketli, okuyucuların sabit olduğu sistemlerde maliyet nispeten daha düşük kalmaktadır. Bu ikinci sistemde konumsal doğruluğu arttırmak için bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda taşıyıcıların yoğunluğunun artırılması ile konumsal doğruluğu artacağı açıkça ortaya konmuş buna karşılık taşıyıcı yoğunluğu arttıka hesap yükünün de artacağı da belirtilmiştir. Okuyucu ile taşıyıcı arasındaki çok parametrelidir denkleminde iç mekânlardaki eşyaların RSSI'ya olumsuz olarak etki ettikleri vurgulanmış eşyaların yerlerinin değişmesinden kaynaklanan olumsuz etkinin azaltılması için sinyal gücüne dayalı radyo haritası çıkartılması (bu sistem

daha önceden belirlenmiş konumlara koyulan taşıyıcıların RSSI değerleri üzerinden konumsal parametrelerin yeniden hesaplanmasına dayanır) önerilmiştir. Mekânın fiziksel özellikleri, literatürde kapalı, yarı açık ve tipik bir üniversite dersliği olarak incelenmiştir, iç mekânlarda konum tahmini üzerine etkili olduğu ortaya konmuş ve en yüksek başarımın açık ve az eşyalı mekânlarda elde edildiği de vurgulanmıştır. Bu bağlamda literatür ışığında, başarılı bir iç mekan konum belirleme uygulamasının, taşıyıcıların hareketli, okuyucuların sabit olduğu, anlık radyo haritalamasına bağlı olarak konumsal parametrelerin yeniden hesaplandığı dinamik sistemlerle yapılabileceği sonucuna varılmıştır.

Tez kapsamında incelenen, literatürde yer alan çalışmalar Çizelge 3.2’ de tek bir tablo halinde verilmiştir. Çizelge 3.2, mevcut çalışmaları başarım seviyelerine göre kıyaslamak açısından literatürde yer alan çalışmaların bir özeti niteliğindedir.

Çizelge 3.2. RFID tabanlı konum belirleme çalışmaları [31].

Referans	Çalışma Alanının Özellikleri	Kullanılan Yöntem (Açıklama)	Takip Edilen	Doğruluk	Maliyet	
					Taşıyıcı Sayısı	Okuyucu Sayısı
SpotOn (J. Hightower vd. 2000) [14]	-	RSSI değerleri kullanılarak üçgenleme methodu ile konum kestirme	Taşıyıcı	3 m	-	-
(Bechteler ve Yenigün 2003) [15]	2 x 2	3 okuyucu ile RSSI değerleri kullanılarak üçgenleme methodu ile konum kestirme	Taşıyıcı	Ortalama 20 cm	1	3
(Stelzer vd. 2004) [16]	500 m x 500 m	TDoA (Time Difference of Arrival / Varış Süresi Farkı) Ağırlıklı ortalama kareler	Taşıyıcı	10 m	-	-
(J. Zhou ve J. Shi 2011) [32]	1 m2 100 m2	Multilaterayon yöntemi 3’ ten fazla okuyucu ile daha hassas konum tahmini yapılmıştır.	Taşıyıcı	0,0524 m 0,053 m		4, 6, 8, 10
LANDMARC (Ni vd.2004) [17]	4 x 9	Referans taşıyıcılar yerleştirilmiş ve k-NN algoritması kullanılmıştır.	Taşıyıcı	2 m	16	4
VIRE (Zhao vd. 2007) [18]	1. Yarı kapalı alan 2. Geniş kapalı alan 3. Tipik üniversite odası	LANDMARC ile benzer olan çalışma 3 farklı alanda test edilmiş ve en iyi sonuç 1. alanda elde edilmiştir. En kötü sonuç ise 3. alanda elde edilmiştir.	Taşıyıcı	0,29 m (Sınırlandırılmamış Taşıyıcı ) 1,5 m (Sınırlandırılmış Taşıyıcı)	16	4
(Wang vd. 2007) [33]	-	RSS Yakınlık ve Optimizasyon (Matlab yazılımı ile simulas yon)	Taşıyıcı Okuyucu	0,3 – 3 ft (Pasif) 0,2 – 0,5 ft (Aktif)	16	4



Çizelge 3.2. (devam ediyor).

(Bekkali vd. 2007) [28]	-	Kalman filtresi (Simülasyon)	Taşıyıcı	0,5 – 5 m	-	-
(Z. Zhen 2008) [34]	384 m (4 oda)	RSSI Yakınlık ve Destek Vektör Makineleri ile çıkarım Bölgesel bazda konum belirleme	Taşıyıcı	%93 (Bölgeler düzeyinde)	-	7
(Y. Huang vd. 2008) [24]	4 m x 4 m	RSSI Yakınlık ve Bayes çıkarımı	Taşıyıcı	1,5 m	16	4
(M.A. Khan ve V.K. Antiwal 2009) [23]	10 x 10 x 10 m	LANDMARC Algoritması Genişletilerek 3 Boyutta Simüle edildi.	Taşıyıcı	0,5 m	11	3
(X. Wang vd. 2009) [25]	5 m x 10 m	RSSI Sahne Analizi	Taşıyıcı	1 m	16	4
(K. Sue vd. 2006) [22]	9/49 m <sup>2</sup>	RSSI Sahne Analizi Bölgesel ve koordinatsal olmak üzere iki moda çalışır.	Taşıyıcı	0,4 – 1 m	16/64	4
(Y. Huang vd. 2009) [27]	3 m x 4 m	RSSI Yakınlık ve k-NN ile çıkarım	Taşıyıcı	1,4 m (%90)	16	4
(S. Polito vd. 2007) [21]	9,6 m x 4,8 m	RSSI Sahne Analizi	Taşıyıcı	2,5 m	30	8
(G. Jin vd. 2006) [26]	8 m x 6 m	RSSI Sahne Analizi LANDMARC ile benzer bir çalışma	Taşıyıcı	0,83 m	20	4
(R. Silva ve P.A. Goncalves 2009) [35]	5 m x 6,5 m	RSSI Sahne Analizi	Taşıyıcı	%52,5 (Bölgesel Düzeyde)	16	4
(K. Yu vd. 2009) [36]	15 m x 10 m	RSSI Yakınlık (Simülasyon)	Taşıyıcı	-	-	3
(T. Zhang vd. 2009) [19]	10 m x 10 m	RSSI Sahne Analizi	Taşıyıcı	0,1 m (Gürültüsüz) 0,2 m (Gürültülü)	49	4
(Byoung vd. 2011) [11]	6 m x 2,4 m	RSSI Yakınlık	Okuyucu	2,7 cm	0,3-0,5 m arayla	-
(Han vd. 2007) [37]	1 m x 1 m	Eğitim ve RSSI Yakınlık	Okuyucu	0,016 m	5cm arayla	-
(Lee ve Lee 2006) [12]	25 m x 25 m	RSSI Yakınlık	Okuyucu	0,026 m	30	-
(Xu ve Gang 2006) [38]	40 m x 40 m	RSSI Yakınlık ve Bayes çıkarımı	Okuyucu	1,5 m	5 m arayla	-
(Yamano vd. 2004) [39]	-	RSSI Yakınlık ve Destek Vektör Makineleri ile çıkarım	Okuyucu	%80	25	-
(Toplan ve Ersoy 2012) [29]	2 m x 2,5 m	Gölgelendirme Etkisine Dayalı Konum Belirleme	-	0,5 m	20	1
(A. Pradhan vd. 2009) [40]	115 m x 75 m			10,7 m (%93)	8	-
(X. Luo vd. 2011) [41]	7 m x 6,4 m (Bina) 6,3 m x 5,1 m (Şantiye)	Üçgenleme Yöntemi		1,55 – 3,11 m 1,22 – 3,79 m	4 3/6	1
(Bouet ve Pujolle 2008) [30]	50 cm x 50 cm x 3 m			0,2 m – 1,2 m		

Tabloda Maliyet kısmında Referans olarak kullanılan okuyucu ve Taşıyıcı sayıları verilmiştir. Bir okuyucunun maliyeti 600\$ ile 1400\$ arasında değişmektedir. Aktif bir taşıyıcının maliyeti ise 15\$ civarındadır (Şubat 2013).

## BÖLÜM 4

### İÇ MEKÂNLARDA KULLANIMA UYGUN OKUYUCU VE TAŞIYICININ BELİRLENMESİ

#### 4.1. EN UYGUN OKUYUCUNUN BELİRLENMESİ

Çalışmada kullanılmak üzere mobil RFID okuyucular incelenmiştir. Genel olarak UHF mobil RFID okuyucuların Çizelge 4.1’de verilen özelliklerine bakıldığında birbirine yakın özelliklere sahip oldukları söylenebilir. Bunun yanında AT 870 diğer okuyuculara kıyasla ortalama düzeyde her özelliğe erişme imkânı sunmaktadır. Bu noktada tedarikçi firma ile yapılan görüşmeler doğrultusunda Atid AT 870 marka ve modeli cihazın temin edilmesi ve çalışmada kullanılmasına karar verilmiştir.

Çizelge 4.1. İncelenen 4 farklı okuyucuya ait genel özellikler.

ÖZELLİKLER	ATID AT 870	CLS CS 101	MOTOROLA MC 9090-Z	ZOTEI ZT-SK 7500
Fiziksel ve Çevresel	ATID AT 870	CLS CS 101	MOTOROLA MC 9090-Z	ZOTEI ZT-SK 7500
Boyutlar	146x74x26 mm	197 x122 x 223 mm	273x119x195 mm	200x84x40 mm
Ağırlık	270g – 330g	1 kg	1 kg	850 g
Görüntü	3.5” TFT LCD 256k Renk QWGA Çözünürlük (240Wx320L)	3.5” TFT LCD 256k Renk QWGA Çözünürlük (240Wx320L)	Renk QWGA	3.5” TFT LCD
Çalışma Sıcaklığı (°C)	[ -20, +50 ]	[ -20, +50 ]	[ -20, +50 ]	[ -20, +60 ]
Depolama Sıcaklığı(°C)	[ -30, +60 ]	[ -40, +75 ]	[ -40, +70 ]	[ -40, +85 ]
Nem	%95 Bağıl nem	%95 Bağıl nem	%95 Bağıl nem	%95 Bağıl nem
Çevresel Koruma	IP65 ve toza karşı endüstriyel dayanıklılık 1,5 metreden düşmeye dayanıklı	IP65 ve toza karşı endüstriyel dayanıklılık 1,5 metreden düşmeye dayanıklı	IP65 ve toza karşı endüstriyel dayanıklılık 1,5 metreden düşmeye dayanıklı	IP65 ve toza karşı endüstriyel dayanıklılık 1,5 metreden düşmeye dayanıklı
Performans				
İşlemci	Marvel PXA270 520 MHz	Samsung, 400 MHz	Intel® XScale™ Bulverde PXA270 processor at 624 MHz	ARM 11 processor at 800 MHz
Sistem Belleği	128MB SDRAM / 256MB Flash ROM	128MB Flash, 64 MB RAM	64MB RAM / 128MB ROM	128MB DDR SDRAM / 256MB ROM
Kullanıcı Arayüzü	Alfa numerik klavye, tetik butonu	Alfa numerik klavye, tetik butonu	Alfa numerik klavye, tetik butonu	Alfa numerik klavye, tetik butonu
İşletim Sistemi	Microsoft WinCE 5.0	-	Microsoft Windows Mobile 5.0 Premium Edition and 6.1 Premium Edition	Microsoft WinCE 6.0

Çizelge 4.1. (devam ediyor).

Bellek Yükseltme	1 Micro SD slotu, 1 slim slotu	1 Micro SD slotu, 2 GB a kadar desteklenmekte	SD/MMC kart	1 Micro SD slotu, 2 GB a kadar desteklenmekte
Standart İletişim	USB 1.1, RS232 arayüzü, DC	USB 1.1, RS232 arayüzü	USB 1.1, RS232 arayüzü, DC	USB 1.1, RS232 arayüzü, DC RJ45 adaptor
Barkod Tarama	1D ya da 2D	1D ya da 2D	1D ya da 2D	1D ya da 2D
RF Çıkış Gücü	1W EIRP	1W EIRP	EU: 1.5 Watt ERP; US: 4 Watt EIRP	1W EIRP
Kamera	1.3 Megapixel	-	-	-
Batarya Sistemi	3000mAH Lityum polimer ana batarya 4400mAH Lityum ve el tutacağı 4400mAH büyük batarya 100mAH yedek batarya	Sürekli okumada 1,5 saat Standby konumunda 20 saate kadar dayanıklılık	2200mAH Lityum lon batarya, 7.2 volt	3500mAH Lityum polimer batarya, 7.4 volt
Network				
Wireless	IEEE802.11b/g 2.4GHz	Wi Fi (802.11 b/g)	802.11a-5 GHz; 802.11b-2.4 GHz; 802.11g-2.4 GHz	IEEE802.11b/g 2.4GHz
Bluetooth	Entegre Bluetooth Sınıf II (SPP) CDMA EVDO veya 2000 1x GSM/GPRS/EDGE	-	Bluetooth versiyon1.2	Bluetooth 2.0 CDMA EVDO veya 2000 1x GSM/GPRS/EDGE
GPS	GPS (Kompakt Flash Slot)	-	-	GPS (Kompakt Flash Slot)
RFID Modülü				
Radyo Frekansı	HF (13.56MHz) & UHF (US:902-928MHz, EU:865-868 MHz, JP:952-954MHz)	865-868 MHz, 902-928 MHz, 952-954 MHz, 919-928 MHz, 910-914 MHz	EU: 865-868 MHz; US: 902-928 MHz	HF (13.56MHz) & UHF (US:902-928MHz, EU:865-868 MHz, JP:952-954MHz, ÇİN:920-925MHz)
Etiket Desteği	HF – ISO14443A / B, ISO15693, MIFARE UHF – EPC Class1 Gen2, ISO18000-6C; 865 868 MHz	ISO18000-6C, EPC UHF Class 1 Gen 2 (Class 3 Gen 2 uyumlu)	UHF – EPC Gen2 DRM	HF – ISO14443A / B, ISO15693, MIFARE UHF – EPC Class1 Gen2, ISO18000-6C; 865-868 MHz
Okuma Aralığı	0-7 m (Taşıyıcı türü ve ortama bağlı)	7 m (AD431 özel uyumlu AD431 taşıyıcı ile)	6.09 m – 12.1 m	0-7 m (Taşıyıcı türü ve ortama bağlı)
Yazma Aralığı	0-3 m (Taşıyıcı türü ve ortama bağlı)	-	30.5 cm - 60.9 cm	-
Okuma Oranı	-	150 taşıyıcı/sn	-	-
Düzenleyici Makamın Onayı	FCC Class B, CE, MIC	CS101-V/H-N (N=1: 865-868 MHz (CE for Europe) & 865-867 MHz (for India), N=2: 902-928 MHz (FCC for USA), N=3: 952-954 MHz (Telec for Japan), N=4: 919-928 MHz (SRRC for China, Malaysia NCC for Taiwan), N=5: 910-914 MHz (MIC for Korea). (V for vertically linear polarization, H for horizontally linear polarization)	US, Canada, Europe	FCC Class B, CMII, TELECOM, ETSI
Aksesuarlar	Masaüstü kazağı (1USB, 1 seri, ekstra batarya şarj edici ile birlikte, 1 DC güç girişi) El tutacağı ile birlikte 4400 mAH batarya, Ethernet (Opsiyonel), Cihaz kazağı, Koruyucu taşıma çantası	-	Masaüstü kazağı (1 USB, 1 seri, 1 DC güç girişi)	Masaüstü kazağı (1 USB, 1 seri, 1 DC güç girişi)

İnceleme esnasında okuyucuların taşınabilirliği, programlanabilirliği, anten özellikleri, frekans aralığı, batarya, bluetooth, wireless, gsm desteği gibi sahip oldukları birçok özellik dikkate alınmıştır. Bu açıdan ele alınan Şekil 4.1’de gösterilen farklı marka ve modeldeki dört okuyucunun özellikleri şu şekildedir.



Şekil 4.1. İncelenen mobil RFID okuyucular.

#### 4.1.1. ATID AT 870

ATID AT 870 marka ve modellenli mobil RFID okuyucunun genel özellikleri Çizelge 4.2’de sıralanmıştır.

Çizelge 4.2. ATID AT 870 genel özellikleri [42].

Fiziksel ve Çevresel	
Boyutlar	146x74x26 mm
Ağırlık	270g – 330g
Görüntü	3.5” TFT LCD 256k Renk QWGA Çözünürlük (240Wx320L)
Çalışma Sıcaklığı (°C)	-20, +50
Depolama Sıcaklığı(°C)	-30, +60
Nem	%95 Bağlı nem
Çevresel Koruma	IP65 ve toza karşı endüstriyel dayanıklılık 1,5 metreden düşmeye dayanıklı
Performans (Ana Gövde)	
İşlemci	Marvel PXA270 520 MHz
Sistem Belleği	128MB SDRAM / 256MB Flash ROM
Kullanıcı Arayüzü	Alfa numerik klavye, tetik butonu, hoparlör, mikrofon, kulaklık girişi
İşletim Sistemi	Microsoft WinCE 5.0
Bellek Yükseltme	1 Micro SD slotu, 1 slim slotu
Standart İletişim	USB 1.1, RS232 arayüzü, DC
Barkod Tarama	1D ya da 2D
RF Çıkış Gücü	1W EIRP
Kamera	1.3 Megapixel

Çizelge 4.2. (devam ediyor).

Batarya Sistemi	3000mAH Lityum polimer ana batarya, 4400mAH Lityum ve el tutacağı, 4400mAH büyük batarya, 100mAH yedek batarya
Network	
Wireless	IEEE802.11b/g 2.4GHz
Bluetooth	Entegre Bluetooth Sınıf II (SPP) CDMA EVDO veya 2000 1x GSM/GPRS/EDGE
GPS	GPS (Kompakt Flash Slot)
RFID Modülü	
Radyo Frekansı	HF (13.56MHz) & UHF (US:902-928MHz, EU:865-868 MHz, JP:952-954MHZ)
Etiket Desteği	HF-ISO14443A / B, ISO15693, MIFARE, UHF-EPC Class1 Gen2, ISO18000-6C; 865 868 MHz
Okuma Aralığı	0-7 m (Taşıyıcı türü ve ortama bağlı)
Yazma Aralığı	0-3 m (Taşıyıcı türü ve ortama bağlı)
Okuma Oranı	-
Düzenleyici Makamın Onayı	FCC Class B, CE, MIC
Aksesuarlar	Masaüstü kazağı (1USB, 1 seri, ekstra batarya şarj edici ile birlikte, 1 DC güç girişi) El tutacağı ile birlikte 4400 mAH batarya, Ethernet (Opsiyonel), Cihaz kazağı, Koruyucu taşıma çantası

#### 4.1.2. CLS CS 101

CLS CS 101 marka ve modellenli mobil RFID okuyucunun genel özellikleri Çizelge 4.3'de sıralanmıştır.

Çizelge 4.3. CLS CS 101 genel özellikleri [43].

Fiziksel ve Çevresel	
Boyutlar	197 x122 x 223 mm
Ağırlık	1 kg
Görüntü	3.5" TFT LCD 256k Renk QWGA Çözünürlük (240Wx320L)
Çalışma Sıcaklığı (°C)	-20, +50
Depolama Sıcaklığı(°C)	-40, +75
Nem	%95 Bağıl nem
Çevresel Koruma	IP65 ve toza karşı endüstriyel dayanıklılık 1,5 metreden düşmeye dayanıklı
Performans (Ana Gövde)	
İşlemci	Samsung, 400 MHz
Sistem Belleği	128MB Flash, 64 MB RAM
Kullanıcı Arayüzü	Alfa numerik klavye, tetik butonu
İşletim Sistemi	-
Bellek Yükseltme	1 Micro SD slotu, 2 GB a kadar desteklenmekte
Standart İletişim	USB 1.1, RS232 arayüzü

Çizelge 4.3. (devam ediyor).

Barkod Tarama	1D ya da 2D
RF Çıkış Gücü	1W EIRP
Kamera	-
Batarya Sistemi	Sürekli okumada 1,5 saat, Standby konumunda yaklaşık 20 saat dayanıklılık
Network	
Wireless	Wi Fi (802.11 b/g)
Bluetooth	-
GPS	-
RFID Modülü	
Radyo Frekansı	865-868 MHz, 902-928 MHz, 952-954 MHz, 919-928 MHz, 910-914 MHz
Etiket Desteği	ISO18000-6C, EPC UHF Class 1 Gen 2 (Class 3 Gen 2 uyumlu)
Okuma Aralığı	7 m (AD431 özel uyumlu AD431 taşıyıcı ile)
Yazma Aralığı	-
Okuma Oranı	150 taşıyıcı/sn
Düzenleyici Makamın Onayı	CS101-V/H-N (N=1: 865-868 MHz (CE for Europe) & 865-867 MHz (for India), N=2: 902-928 MHz (FCC for USA), N=3: 952-954 MHz (Telec for Japan), N=4: 919-928 MHz (SRRC for China, Malaysia NCC for Taiwan), N=5: 910-914 MHz (MIC for Korea). (V for vertically linear polarization, H for horizontally linear polarization).
Aksesuarlar	-

#### 4.1.3. MOTOROLA MC 9090-Z

Motorola MC 9090-Z marka ve modellenli mobil RFID okuyucunun genel özellikleri Çizelge 4.4’de sıralanmıştır.

Çizelge 4.4. Motorola MC 9090-Z genel özellikleri [44].

Fiziksel ve Çevresel	
Boyutlar	273x119x195 mm
Ağırlık	1 kg
Görüntü	Renk QWGA
Çalışma Sıcaklığı (°C)	-20, +50
Depolama Sıcaklığı(°C)	-40, +70
Nem	%95 Bağıl nem
Çevresel Koruma	IP65 ve toza karşı endüstriyel dayanıklılık 1,8 metreden düşmeye dayanıklı
Performans (Ana Gövde)	
İşlemci	Intel® XScale™ Bulverde PXA270 processor at 624 MHz
Sistem Belleği	64MB RAM / 128MB ROM
Kullanıcı Arayüzü	Alfa numerik klavye, tetik butonu, Hoparlör, mikrofon, kulaklık girişi

Çizelge 4.4. (devam ediyor).

İşletim Sistemi	Microsoft Windows Mobile 5.0 Premium Edition and 6.1 Premium Edition
Bellek Yükseltme	SD/MMC kart
Standart İletişim	USB 1.1, RS232 arayüzü, DC
Barkod Tarama	1D ya da 2D
RF Çıkış Gücü	EU: 1.5 Watt ERP; US: 4 Watt EIRP
Kamera	-
Batarya Sistemi	2200mAH Lityum Ion batarya, 7.2 volt
Network	
Wireless	802.11a-5 GHz; 802.11b-2.4 GHz; 802.11g-2.4 GHz
Bluetooth	Bluetooth versiyon1.2
GPS	-
RFID Modülü	
Radyo Frekansı	EU: 865-868 MHz; US: 902-928 MHz
Etiket Desteği	UHF - EPC Gen2 DRM
Okuma Aralığı	6.09 m - 12.1 m
Yazma Aralığı	30.5 cm - 60.9 cm
Okuma Oranı	150 taşıyıcı/sn
Düzenleyici Makamın Onayı	Düzenleyici Makamın Onayı: US, Canada, Europe
Aksesuarlar	Aksesuarlar: Masaüstü kızıağı (1 USB, 1 seri, 1 DC güç girişi)

#### 4.1.4. ZOTEI ZT-SK 7500

Zotei ZT-SK 7500 marka ve modellen mobil RFID okuyucunun genel özellikleri Çizelge 4.5’de sıralanmıştır.

Çizelge 4.5. Zotei ZT-SK 7500 genel özellikleri [45].

Fiziksel ve Çevresel	
Boyutlar	200x84x40 mm
Ağırlık	850 g (El tutacağı ile birlikte)
Görüntü	3.5” TFT LCD
Çalışma Sıcaklığı (°C)	-20, +50
Depolama Sıcaklığı(°C)	-40, +85
Nem	%95 Bağıl nem
Çevresel Koruma	IP65 ve toza karşı endüstriyel dayanıklılık 1,5 metreden düşmeye dayanıklı
Performans (Ana Gövde)	
İşlemci	ARM 11 processor at 800 MHz
Sistem Belleği	128MB DDR SDRAM / 256MB ROM
Kullanıcı Arayüzü	Alfa numerik klavye, tetik butonu, Hoparlör, mikrofon, kulaklık girişi
İşletim Sistemi	Microsoft WinCE 6.0
Bellek Yükseltme	1 Micro SD slotu, 2 GB a kadar desteklenmekte
Standart İletişim	USB 1.1, RS232 arayüzü, DC RJ45 adaptor

Çizelge 4.5. (devam ediyor).

Barkod Tarama	1D ya da 2D
RF Çıkış Gücü	1W EIRP
Kamera	-
Batarya Sistemi	3500mAH Lityum polimer batarya, 7.4 volt
Network	
Wireless	IEEE802.11b/g 2.4GHz
Bluetooth	Bluetooth 2.0 CDMA EVDO veya 2000 1x GSM/GPRS/EDGE
GPS	GPS (Kompakt Flash Slot)
RFID Modülü	
Radyo Frekans	HF (13.56MHz) & UHF (US:902-928MHz, EU:865-868 MHz, JP:952-954MHz, ÇİN:920-925MHz)
Etiket Desteği	HF – ISO14443A / B, ISO15693, MIFARE, UHF-EPC Class1 Gen2, ISO18000-6C; 865-868 MHz
Okuma Aralığı	0-7 m (Taşıyıcı türü ve ortama bağlı)
Yazma Aralığı	-
Okuma Oranı	-
Düzenleyici Makamın Onayı	FCC Class B, CMII, TELEC, ETSI
Aksesuarlar	Masaüstü kazağı (1 USB, 1 seri, 1 DC güç girişi)

## 4.2. EN UYGUN TAŞIYICININ BELİRLENMESİ

RFID taşıyıcıları elektrik gücünün kaynağına göre aktif ve pasif olmak üzere iki genel kategoride incelenir. Aktif taşıyıcılar, genellikle bir pilden elde ettikleri kendi güç kaynaklarına sahiptirler. Pasif taşıyıcılar ise güçlerini okuyucunun sinyalinden alır [7]. Öngörülen sistem için kullanılması planlanan mobil okuyucu (ATID AT 870) pasif taşıyıcıları okuyabildiğinden ve pasif taşıyıcıların maliyetlerinin aktif taşıyıcılara göre daha düşük olmasından dolayı çalışmamızda pasif taşıyıcılar kullanılmıştır. Aktif taşıyıcı üzerinde bulunduğu üzere dış bir enerji kaynağı olarak pil bulunur. Bu pil etiketinin daha güçlü manyetik ışımaya yapmasına neden olur. Bu güçlü manyetik akı değeri yan yana duran iki aktif etiketinin aralarındaki mesafenin RSSI değeri üzerinden tahmin edilmesini neredeyse imkânsız kılar. Pasif taşıyıcıların birçok farklı modeli ve çeşidi bulunmaktadır. Bunlar kullanılmak istenen yüzeye bağlı olarak farklılık göstermektedir. Örneğin cam yüzeylere yapıştırılmak için tasarlanmış bir taşıyıcı ile plastik yüzeylerde kullanılacak bir taşıyıcı birbirinden farklıdır. Benzer şekilde metal yoğunluklu, ahşap, kâğıt gibi yüzeyler içinde farklılık göstermektedir. Farklılığın temel sebebinin sinyalin çok yönlü dağılımından ve

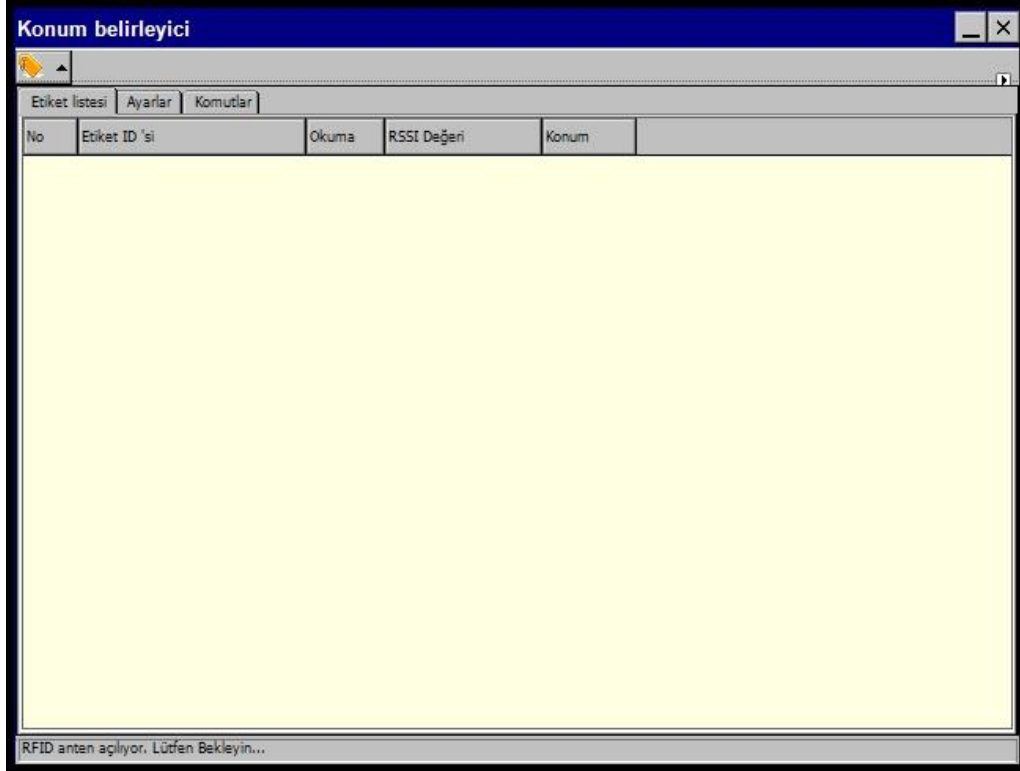


yüzeyle göre yansıyış biçimindeki değışikliklerden kaynaklandığı düşünölmektedir. İlk etapta bir okuyucu ve iki farklı özelliğe sahip pasif taşıyıcı ile başlanılan çalışmada, bina içi kullanımda taşıyıcıların maksimum okunma mesafelerinin bazı durumlarda değışken olduğu gözlenmiştir. Maksimum okunma mesafesini etkileyen faktörleri tespit etmek ve etkileşimi en aza indirebilmek için farklı yüzeylede kullanılan farklı özelliklere sahip 14 çeşit taşıyıcı üzerinde bazı testler yapılmasına karar verilmiştir. Bu işlemin için mobil RFID okuyucu üzerinde çalışabilen bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım hakkında detaylı bilgi, teste tabi tutulan taşıyıcı modelleri ile ilgili açıklamalar, geliştirilen mobil yazılım ile yapılan bina içi testler ve elde edilen sonuçlar başlıklar halinde aşağıda açıklanmaktadır.

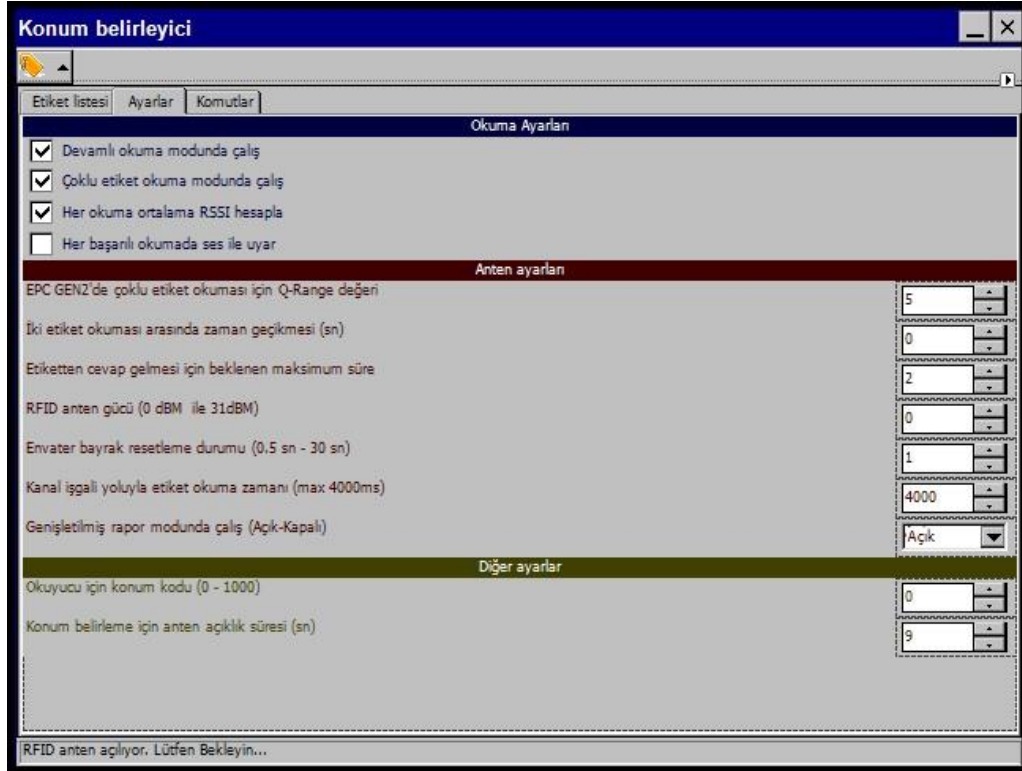
#### **4.2.1. En uygun Taşıyıcının Belirlenmesi için Kullanılacak Mobil Yazılımın Geliştirilmesi**

Taşıyıcıları test etmek için mobil cihaz üzerinde çalışabilen bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yazılım okuyucunun okuma menzili içerisinde yer alan taşıyıcılardan alınan verileri kullanıcıya sunmaktadır. Bu veriler içerisinde Taşıyıcının ID si, okunma sayısı, RSSI değeri ve kullanıcı tarafından girilen okuyucunun bulunduğu konum bilgisi yer almaktadır. Şekil 4.2’de bu bilgilerin program içerisinde “Etiket listesi” sekmesi altında kullanıcıya sunulduğu ekran görüntüsü yer almaktadır. Bunun yanında Şekil 4.3’te de gösterildiği gibi “Ayarlar” sekmesi üzerinden bazı ayarlamalar yapılabilmektedir. Bu ayarlamalara bir göz atacak olursak; “Okuma Ayarları”, “Anten Ayarları” ve “Diğer Ayarlamalar” şeklinde gruplandığı görölmektedir.

Okuma ayarları altında; Devamlı okuma modunda çalış, Çoklu okuma modunda çalış, Her okuma ortalama RSSI değeri hesapla ve Her başarılı okumada ses ile uyar şeklinde dört onay kutucuğu mevcuttur.



Şekil 4.2. Taşıyıcı listesi.



Şekil 4.3. Ayarlar sekmesi.

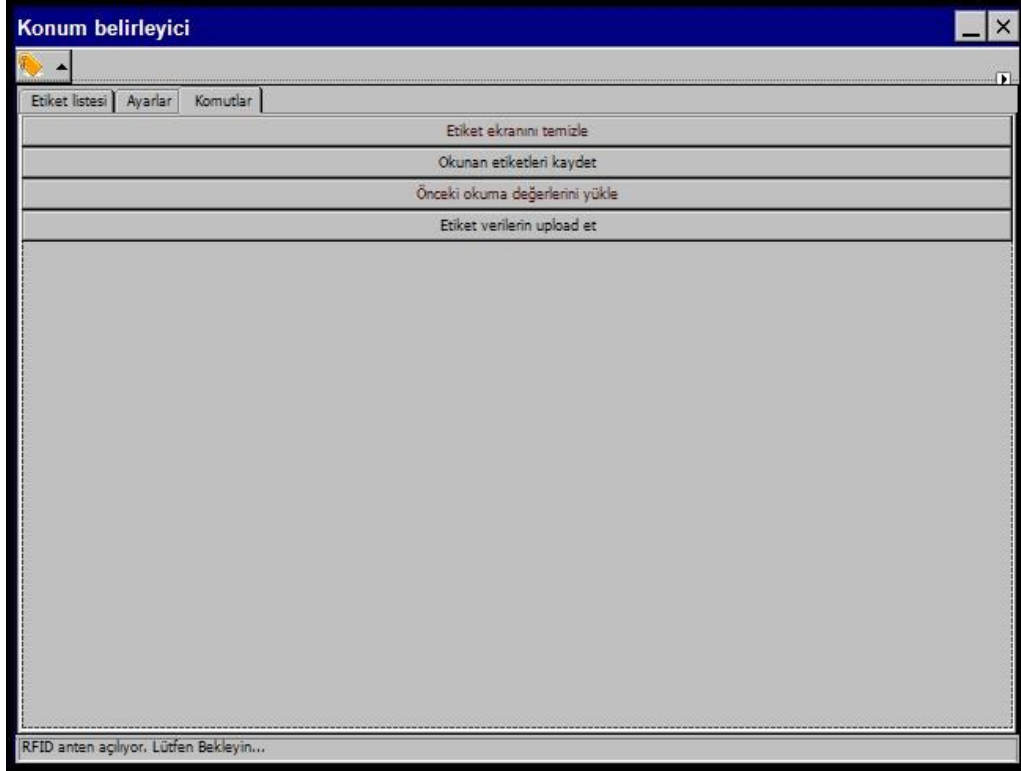
“Devamlı okuma modunda çalış” onay kutusu işaretli olduğunda okuyucu, kapsama alanı içerisinde yer alan taşıyıcılardan gelen verileri anlık olarak kullanıcıya sunmaktadır. İşaretli olmadığı durumda ise kapsama alanı içerisinde yer alan taşıyıcıları yalnız bir defa okumaktadır. Dolayısıyla okunabilen her bir taşıyıcıya ait yalnız bir okunma verisi kullanıcıya sunulacaktır. Bu veriler ilk okumalara ait verilerdir. “Çoklu etiket okuma modunda çalış” onay kutusu işaretli olduğunda taşıyıcı ayırımı yapılmaksızın okuyucunun kapsam alanı içerisinde yer alan taşıyıcılar okunacaktır. Bu onay kutusu işaretli değilse eğer; sadece ilk okunan taşıyıcı için kullanıcıya veri sunulacaktır. “Her okuma ortalama RSSI değeri hesapla” onay kutusu işaretli iken okunan her bir taşıyıcının okunma sayısına bağlı olarak elde edilen RSSI değerlerinin ortalaması kullanıcının bilgisine sunulmaktadır. Bu onay kutusu işaretli olmadığı durumda ise kullanıcıya, taşıyıcının en son okunduğunda elde edilen RSSI değeri gösterilmektedir. Eski değer her yeni okumada yeni değer ile değiştirilmektedir. “Her başarılı okumada ses ile uyar” onay kutusu ile herhangi bir taşıyıcıdan veri alındığında kullanıcı ses ile uyarılmaktadır. Bu onay kutusu işaretli iken her okuma için sesli uyarı yapılmaktadır. Onay kutusu işaretli değil ise okunma sırasında sesli uyarı yapılmamaktadır.

Anten ayarları kısmında; okuyucu anteni ile ilgili anten gücü ayarlaması, frekans aralığı ayarlaması, taşıyıcı okunması esnasında gerçekleşen bazı ayarlamaların yapılması mümkündür.

Diğer ayarlamalar kısmında ise okuyucunun bulunduğu konum bilgisi kullanıcı tarafından seçilebilecek şekilde eklenmiştir. Yine okuyucu anteninin açıklık süresi de bu kısım vasıtasıyla kullanıcı tarafından saniye olarak girilebilmektedir.

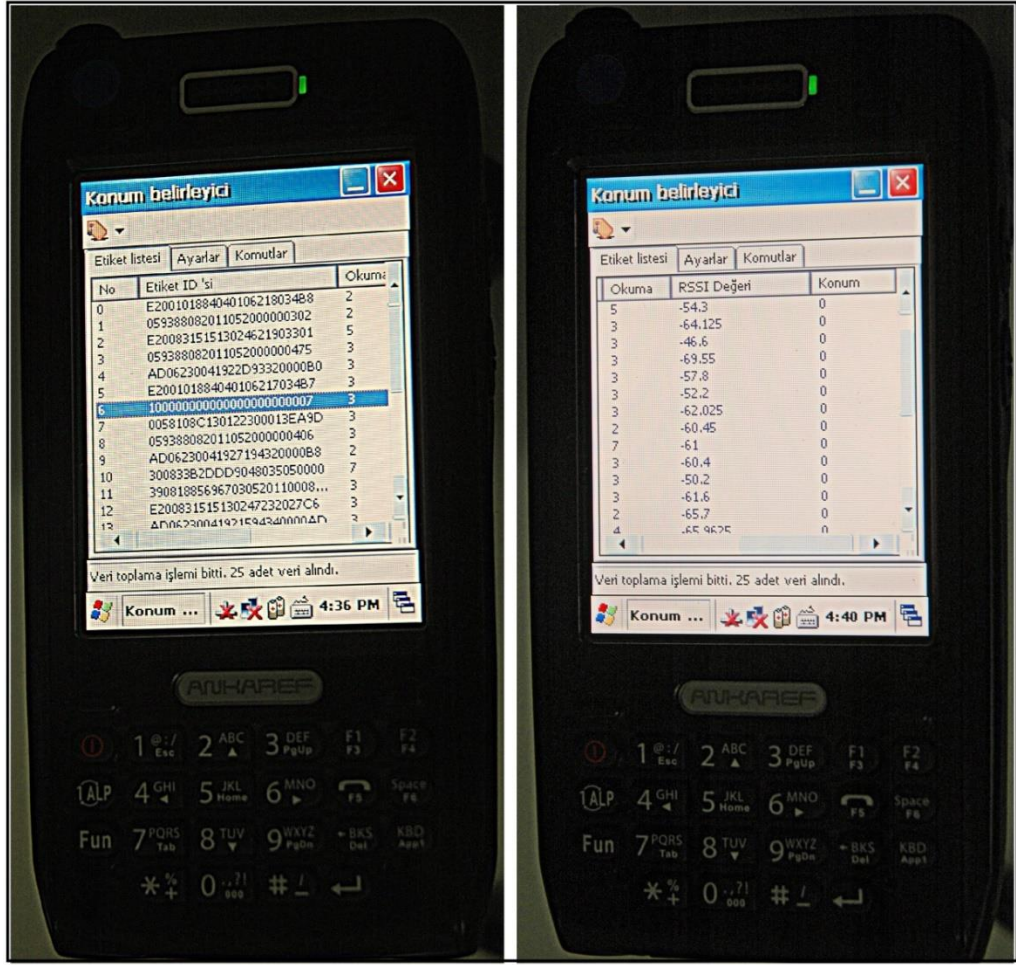
Kullanıcı arayüzünde yer alan bir diğer sekmede “Komutlar” sekmesidir. Şekil 4.4’te Komutlar sekmesine ait ekran görüntüsü verilmiştir. Bu sekmede ekran görüntüsünde de görüldüğü gibi dört komut mevcuttur. Bu komutlardan “Etiket ekranını temizle” komutu ile Etiket Listesi sekmesinde yer alan veriler temizlenmektedir. “Okunan etiketleri kaydet” komutu ile Etiket listesinde yer alan verilerin hafızaya kaydedilmesi mümkündür. Yine daha önceden kaydedilmiş okuma verileri “Önceki

okuma değerlerini yükle” komutu ile Etiket listesi sekmesinde gösterilecektir. “Etiket verileri upload et” komutu ile veriler bir Web Server’a upload edilebilir.



Şekil 4.4. Komutlar sekmesi.

Yazılım mobil cihaz üzerinde sorunsuz bir Şekilde alışmaktadır. Şekil 4.5’te gösterilen resimde anten açıklık süresi 10 sn olarak ayarlanmış ve anten tetik tuşu vasıtasıyla okuma işlemi başlatılmıştır. 10 sn sonunda elde edilen okuma değerleri ekran görüntüsünde gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Yazılım mobil cihaz üzerinde çalışırken çekilmiş görüntü.

## 4.2.2. Taşıyıcı Modellerinin İncelenmesi

En uygun taşıyıcıyı bulabilmek için, bina içerisinde etiketler ile yapılacak testler kadar onların teknik özelliklerini de bilmek gerekecektir. Bu açıdan öncelikle taşıyıcılar teknik özellikleri bakımından incelenmiştir.

### 4.2.2.1. TE34 GAIN

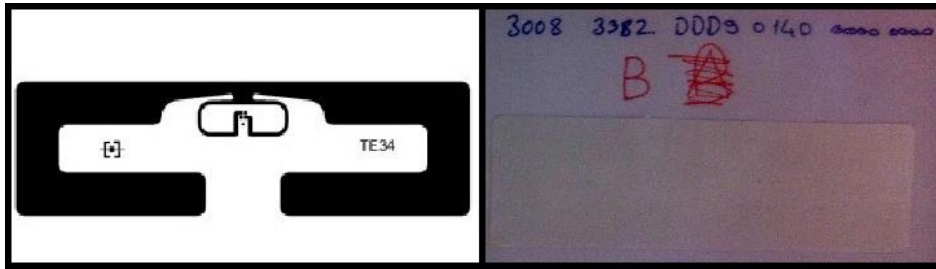
Taşıyıcı protokolü EPC Class 1 Gen 2 olup genel çalışma bandı 860-960 Mhz arasındadır. Üzerinde koşulu devre Impinç şirketine patentli olan Impinç Monza 4D/4E/4QT modelidir. Anten boyutları 85mm x 25mm olarak belirlenmiştir. Tipik olarak bu taşıyıcı 4 metreden tespit edilebilir ve genel olarak spor mücadelelerinde (özellikle koşu, tur gibi) zaman saptama, araç ile bariyer geçişlerinde tanımlama

amaçlarına yönelik olarak ayrımcı giyim ve perakende satış işlemlerinde de iyi bir taşıyıcı olarak kullanılır. İmpinj'e ait patentli bu devrelerin ayrıntıları Çizelge 4.6'da sunulmuştur. Bu etikete ait teknik çizim ve çalışmada kullanılan hali ile fotoğrafı Şekil 4.6'da birlikte sunulmuştur.

Çizelge 4.6. İmpinj'e ait patentli devrelerin genel özellikleri [46].

Model	Kullanıcı Hafızası	EPC Hafızası	Serialized TID*	True 3D™ Teknolojisi	QT™ Teknolojisi
Monza 4QT	512	128	X	X	X
Monza 4U	512	128	X	X	-
Monza 4E	128	Up to 496	X	X	-
Monza 4D	32	128	X	X	-
Monza 3		96	-	-	-

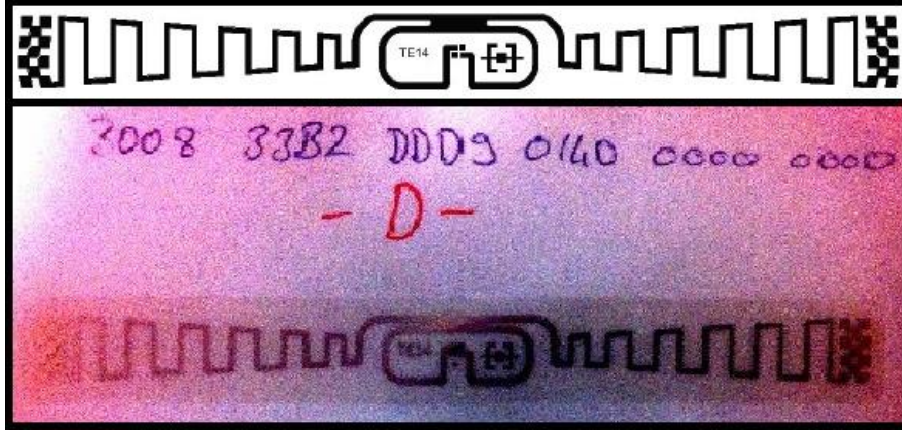
\*Serialized TID (Serialized Tag: RFID taşıyıcılarının klonlanmasının önüne geçilebilmesi için geliştirilmiş bir teknolojidir.



Şekil 4.6. TE34 Gain taşıyıcısı [47].

#### 4.2.2.2. TE14 Thinpropeller

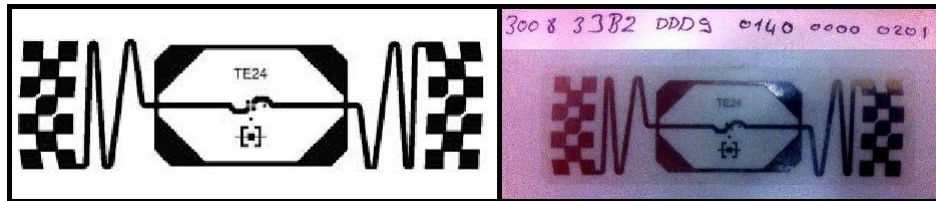
Taşıyıcı protokolü EPC Class 1 Gen 2 olup genel çalışma bandı 860-960 Mhz arasındadır. Üzerinde koşulu devre İmpinj şirketine patentli olan İmpinj Monza 4D/4E/4QT modelidir. Taşıyıcının anten boyutları 94mm x 7.5mm olarak verilmiştir. Tipik olarak bu taşıyıcı 7 metreden tespit edilebilir Bu taşıyıcı genel olarak besleme zinciri uygulamalarında palet işaretlemesi için kullanılır. Fakat benzer şekilde her tür lojistik uygulaması için de elverişlidir. Bu etikete ait teknik çizim Şekil 4.7'de sunulmuştur. Üzerinde koşulu devre TE34 Gain ile aynı özellikleri taşır.



Şekil 4.7. TE14 Thinpropeller palet işaretleme taşıyıcısı [47].

#### 4.2.2.3. TE24 Apparel

Taşıyıcı protokolü EPC Class 1 Gen 2 olup genel çalışma bandı 860-960 Mhz arasındadır. Üzerinde koşulu devre Impinj şirketine patentli olan Impinj Monza 4D/4E/4QT modelidir. Taşıyıcının anten boyutları 68mm x 19mm olarak verilmiştir. Etiket en dikkat çekici özelliği sabit okuyucu ve anten varlığında 5 metreden uzak mesafelerden okunabilir olmasıdır (maksimum okuma mesafesi okuyucu tipine ve gücüne, sabit anten varlık ve yokluğu ile alanın elektromanyetik haritasına göre değişim gösterebilir). Bu etiket özellikle kargo ve tekstil sektörlerinde paket ya da ürün takip etmek amacıyla tasarlanmıştır. Üzerinde koşulu devre TE34 Gain ile aynı özellikleri taşır. Bu etikete ait teknik çizim Şekil 4.8’de sunulmuştur.

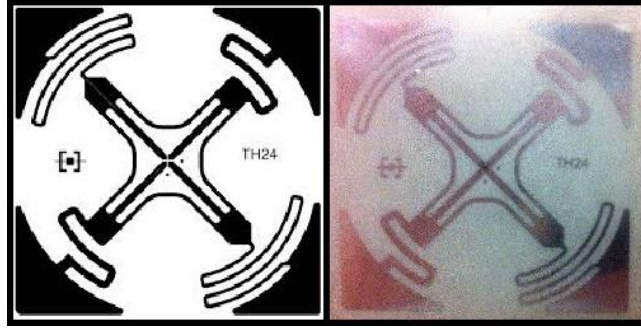


Şekil 4.8. TE24 Apparel taşıyıcısı [47].

#### 4.2.2.4. TH34 Hamtrace

Taşıyıcı protokolü EPC Class 1 Gen 2 olup genel çalışma bandı 860-960 Mhz arasındadır. Üzerinde koşulu devre Impinj şirketine patentli olan Impinj Monza

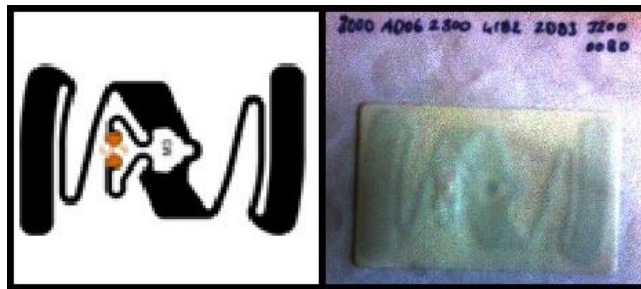
4D/4E/4QT modelidir. Taşıyıcının anten boyutları 44mm x 44mm olarak verilmiştir. Tipik olarak bu taşıyıcı 2.5 metreden tespit edilebilir. Bu etiket özellikle yiyecek endüstrisinde mamul ya da ham madde işaretlemesinde ayrıca erişim kontrolünde kullanılır yanı sıra etiket genel kullanım için de uygundur. Üzerinde koşulu devre TE34 Gain ile aynı özellikleri taşır. Bu etikete ait teknik çizim Şekil 4.9'da sunulmuştur.



Şekil 4.9. TH34 Hamtrace taşıyıcısı [47].

#### 4.2.2.5. AD826

Taşıyıcı protokolü EPC Class 1 Gen 2 olup genel çalışma bandı 865-865 Mhz arasındadır. Üzerinde koşulu devre Impinj şirketine ait Impinj Monza 3 modelidir. Tedarik zinciri envanter ve lojistik, hırsızlık önleme, ürün yetkilendirme ve ürün seviye belirleme ve depolama gibi alanlarda kullanıma uygun olarak tasarlanmıştır. Manzo 3 devresinin önemli özelliklerinden bir tanesi de hızlı yazma oranıdır. Etikete yazma oranı 15 etiket/saniye olarak verilmiştir. Bu etikete ait teknik çizim Şekil 4.10'da sunulmuştur.

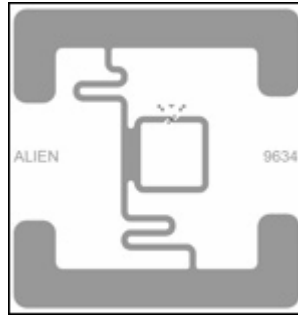


Şekil 4.10. AD826 taşıyıcısı [47].

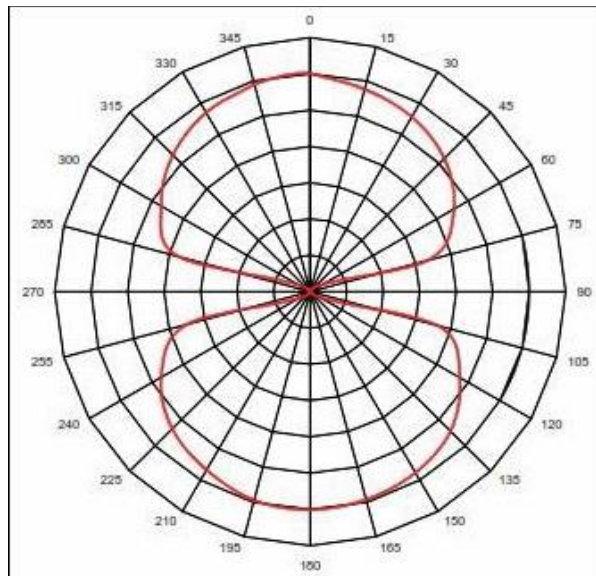


#### 4.2.2.6. AZ9635

Alien/Higgs tarafından üretilmiş pasif bir etikettir. Taşıyıcı protokolü ISO/IEC 18000-6C | EPC Class1 Gen2 olarak belirtilmiş olup genel çalışma bandı 865-865 Mhz arasındadır. Üzerinde koşulu devre Alien/Higgs H3 modelidir. Model 96 bit okuma ve yazma için EPC, 32 bit sadece okunabilen TID, 64 bit tekil TID, 32 bit şifre erişimi ve erişimi iptal bandı, 512 bit kullanıcıya yarılmış okuma ve yazma hafızasına sahiptir. Özellikle tedarik zincirlerinde ürün takibi için, ürün seviye belirleme ve lojistik ile tekstil alanında kullanımı bulunmaktadır. Ortalama en uzak okuma mesafesi 4,1 metre olarak bildirilmiştir. Bu etikete ait teknik çizim Şekil 4.11’de sunulmuştur. Şekil 4.12’de ise etikete ait açısal hassasiyet grafiği sunulmuştur.



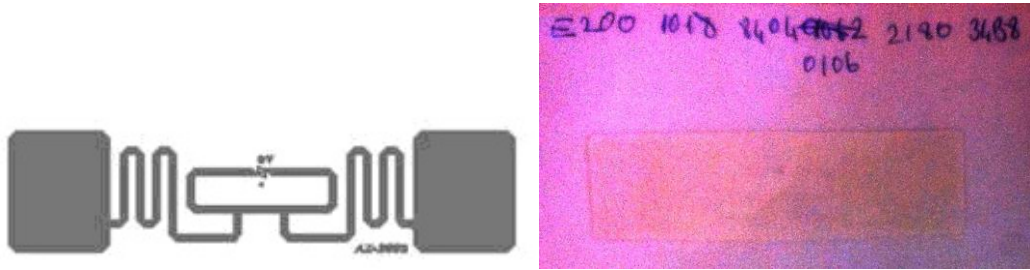
Şekil 4.11. Alien AZ-9634 taşıyıcısı [47].



Şekil 4.12. Etiketeye ait açısal hassasiyet grafiği [47].

#### 4.2.2.7. AZ9662

Alien/Higgs tarafından üretilmiş pasif bir etikettir. Taşıyıcı protokolü ISO/IEC 18000-6C | EPC Class1 Gen2 olarak belirtilmiş olup genel çalışma bandı 860-960 Mhz arasındadır. Üzerinde koşulu devre Alien/Higgs H3/H4 modelidir. Ortalama en uzak okuma mesafesi 4 metre olarak bildirilmiştir. Etiket AZ9635 modelinde olduğu gibi tekstil, tedarik zinciri, lojistik ve ürün seviye tespiti gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bu etikete ait teknik çizim Şekil 4.13’de sunulmuştur.



Şekil 4.13. Alien AZ-9662 taşıyıcısı [47].

#### 4.2.2.8. Kuyum Etiketi

Etiket EPCglobal Class 1 Gen 2 Standart ile uyumlu UHF pasif etikettir ve genel çalışma bandı 860-960 Mhz arasındadır. Özellikle mücevherat isleri için tasarlanmış bir RFID etiket olup; her etiket kendine has ve değiştirilemez bir kimliğe sahiptir. Okuyucuya bağlı olarak 1,5 metreden okuma yapılabilmektedir. Etiket yüzük ve benzeri mücevherata rahat bir şekilde takılabilmesi için yapışkan uç kısma sahiptir. Etiket belleği 240-bit EPC kod, 64-bit TID ‘den oluşur. Bu etikete ait teknik çizim Şekil 4.14’te sunulmuştur.



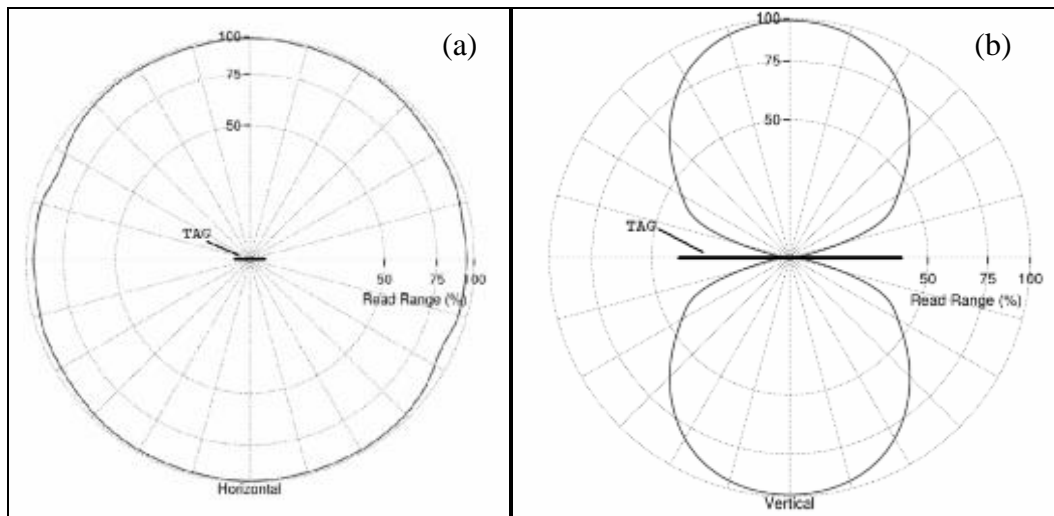
Şekil 4.14. Kuyum etiketi [47].

#### 4.2.2.9. Confidex Carrier

Etiket Confidex firması tarafından tasarlanmış, genel çalışma bandı 860-960 Mhz olan pasif vasıfta bir etikettir. Özellikle plastik paletleri işaretlemek için kullanılan, darbelere dayanıklı, yüksek yapışkanlığı, düşük pH değerlerine sahip kuvvetli asit temasından ya da yüksek pH değerine sahip kuvvetli baz temasından buhar gibi yüksek ısı temasından etkilenmeyecek bir pakete sahiptir. Üzerinde koşturulan devre Monza QT (Epc 128 bit, Kullanıcı için 512 bit, TID için 96 bit hafıza organizasyonu) modelidir. Okuyucunun çalışma bandına bağlı olarak 4 metreden 10 metreye kadar esnek okuma penceresine sahiptir. Özellikle 865-868 Mhz 'de plastik yüzeyde 10 metreye varan okuma mesafesi, 865-868 Mhz 'de karton kutu yüzeyinde 4 metreye kadar düşmektedir. Etiket US standardında 902-928 Mhz aralığında bir okuyucu ile tetiklendiğinde plastik yüzey ve karton kutu yüzeyinde ortalama 8 metreden okunabilmektedir. Bu etikete ait teknik çizim Şekil 4.15'de sunulmuştur. Şekil 16'da ise horizontal radyasyon paterni ile vertikal radyasyon paterni sunulmuştur.



Şekil 4.15. Confidex Carrier etiketi, taşıyıcı palet üzerine uygulanmış halde [47].



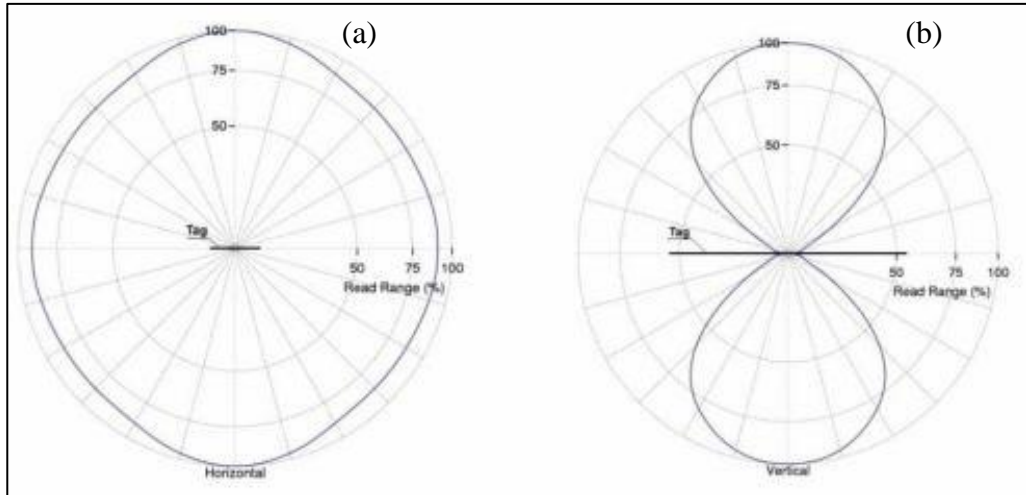
Şekil 4.16. a) Horizontal ve b) vertikal radyon paterni grafikleri.

#### 4.2.2.10. Confidex Windshield Label

Etiket Confidex firması tarafından tasarlanmış, genel çalışma bandı 860-960 Mhz olan pasif vasıfta bir etikettir. Confidex Windshield etiketi güvenli ve hızlı araç tanımlama için özel dizayn edilmiştir. 96mm x 22mm boyutlarındadır. Pasif bir etiket olan Confidex Windshield etiketi, araç camına monte edilip, geçiş kontrol, park izni, sigorta bilgileri ve ücret toplama için kullanılmaktadır. Etiket başka araca transfer edilemez, zarar görmeden sökülemez özelliğindedir. Kullanıcı hafızası parola korumalı ve kriptoludur. 2 watt okuyucu varlığında etikety 8 metreye kadar okunma kapasitesine sahiptir. Bu etikete ait teknik çizim Şekil 4.17’de sunulmuştur. Şekil 4.18’de ise horizontal radyasyon paterni ile vertikal radyasyon paterni sunulmuştur.



Şekil 4.17. Araç ön cam etiketi [47].



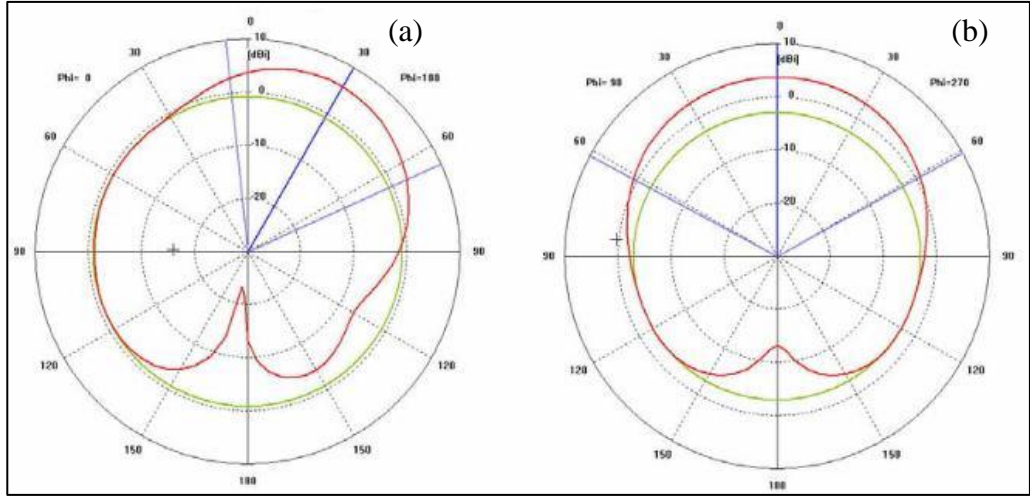
Şekil 4.18. a) Horizontal b) Vertikal radyon paterni grafikleri.

#### 4.2.2.11. Titan Smallest

Titan Smallest, küçük sabitlenebilir özelliğe, pasif ve metal yüzeylere uygulanmak için özellikle tasarlanmış bir etikettir. Etiket EPCglobal Class 1 Gen 2 Standart ile uyumlu UHF pasif etikettir ve genel çalışma bandı 860-960 Mhz arasındadır. Etiket üzerinde Alien Higgs H3 devresi kuruludur. Hafıza organizasyonu benzer şekilde EPC 96 bit (512 bit'e kadar yükseltilebilir), kullanıcı için 512 bit ve TID 64 bit ayrıca CRC 32 bit koruma şeklindedir. Boyutları 38mm x 10mm x 3.1mm olup anten altın kaplama bakır olarak iç kısma yerleştirilmiştir. Etiket performansını uygulama yüzeyi oldukça yüksek oranda etiler. Metal yüzeye uygulama sonrasında el terminali ile 1,5 metre, sabit okuyucu ile 2,5 metreden okunabilen etiket; metal olmayan yüzeylere uygulandığında el terminali ile 0,3 metre ve sabit okuyucu ile 0,5 metreden okunabilmektedir. Bu etiket özellikle otomotiv sanayi ve lastik işaretleme, havacılık ve havaalanı uygulamaları, el aletleri ve medikal uygulamalar için uygundur. Otoklavlanabilmesi ek bir özelliktir. -55 dereceden +180 dereceye kadar depolama ve -40 dereceden +85 dereceye kadar oldukça geniş çalışma sıcaklığı aralıklarına sahiptir. Şekil 4.19'da etikete ait resim ve vidalanabilme özelliği sunulmuştur. Şekil 20'de ise 0 derece açısız radyasyon paterni ile 90 derece açısız radyasyon paterni sunulmuştur.



Şekil 4.19. Titan Smallest metal yüzey etiketi [48].



Şekil 4.20. a) Horizontal b) vertikal radyon paterni grafikleri (metal ve metal olmayan yüzeylere ayrı ayrı uygulanmış şekilde [48]).

#### 4.2.2.12. Titan General, Blade

Titan General, küçük sabitlenebilir özellikte genel kullanıma uygun, pasif ve metal yüzeylere uygulanmak için özellikle tasarlanmış bir etikettir. Etiket EPCglobal Class 1 Gen 2 Standart ile uyumlu UHF pasif etikettir ve genel çalışma bandı 860-960 Mhz arasındadır. Etiket üzerinde Alien Higgs H3 devresi kuruludur. Titan Smallest'a benzer özellikte radyasyon paternine ve okuma aralığına sahiptir. General modelinde el terminali ile metal yüzeye uygulama sonrasında 2,5 metre ve sabit okuyucu ile 3,5 metre okuma aralığına sahiptir. Özellikle General modeli +200 derecede 6 saat kalabilmesinden dolayı metal yüzeyli otoklavlanabilir malzemede kullanıma uygundur. Blade modelinde Smallest ve General modelinde olan Alien Higgs2 H3 devre koşturulmaktadır. Genel özellikleri ile diğerlerine benzeyen etiket okuma performansı olarak Smallest ve General modellerinden ayrılır. Sabit okuyucu varlığında metal yüzeyde 6 metre ve metal olmayan yüzeyde ise 8 metre; el terminali varlığında metal olan yüzeyde 3,5 metre ve metal olmayan yüzeyde 4 metre okuma aralığına sahiptir. Smallest, General ve Blade modellerine ait radyasyon paternleri benzerdir. Her üç modele ait okuma mesafelerini içeren Çizelge 4.7 aşağıda sunulmuştur. Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te incelenen Titan modellerine ait resimler sunulmuştur.

Çizelge 4.7. Titan Smallest, Genral ve Blade modellerine ait metal ve metal olmayan yüzeylerde sabit okuyucu varlığında ve yokluğunda okuma mesafeleri [48].

Model	Sabit Okuyucu		El Terminali	
	Metal yüzey	Metal olmayan yüzey	Metal yüzey	Metal olmayan yüzey
Smallest	2.5 metre	0.5 metre	1.5 metre	0.3 metre
General	3.5 metre	8.0 metre	2.0 metre	4.0 metre
Blade	6.0 metre	8.0 metre	3.5 metre	4.0 metre



Şekil 4.21. Titan Smallest modeli [48].



Şekil 4.22. Titan General modeli [48].

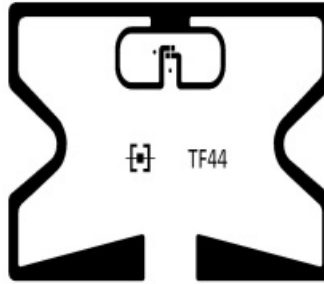


Şekil 4.23. Titan Blade modeli metal yüzey etiketi [48].

#### 4.2.2.13. TF44

Taşıyıcı protokolü EPC Class 1 Gen 2 olup genel çalışma bandı 860-960 Mhz arasındadır. Üzerinde koşulu devre Impinj şirketine ait olan Impinj Monza 4D/4E/4QT modelidir. 128 bitten 496 bite kadar EPC ve 32 bitten 512 bite kadar

kullanıcı hafızası mevcuttur. Anten boyutları 50mm x 30mm'dir. Genelde tekstil sektöründe kullanılır. Bunun yanında depolama çözümü olarak kutularda seviye belirlemede ve varlık sayımında da kullanım alanları vardır. Normal koşullar altında maksimum 4 metreden okuma yapılabilir. Uzak okumada olduğu kadar yakın okumada da başarılı bir etiket olarak bilinir. Sabit okuyucu ve anten varlığında maksimum okuma uzaklığı 40 metreye kadar çıkabilir. Bu etikete ait anten şeması Şekil 4.24'te sunulmuştur.



Şekil 4.24. TF44 etiketine ait anten tasarımı [47].

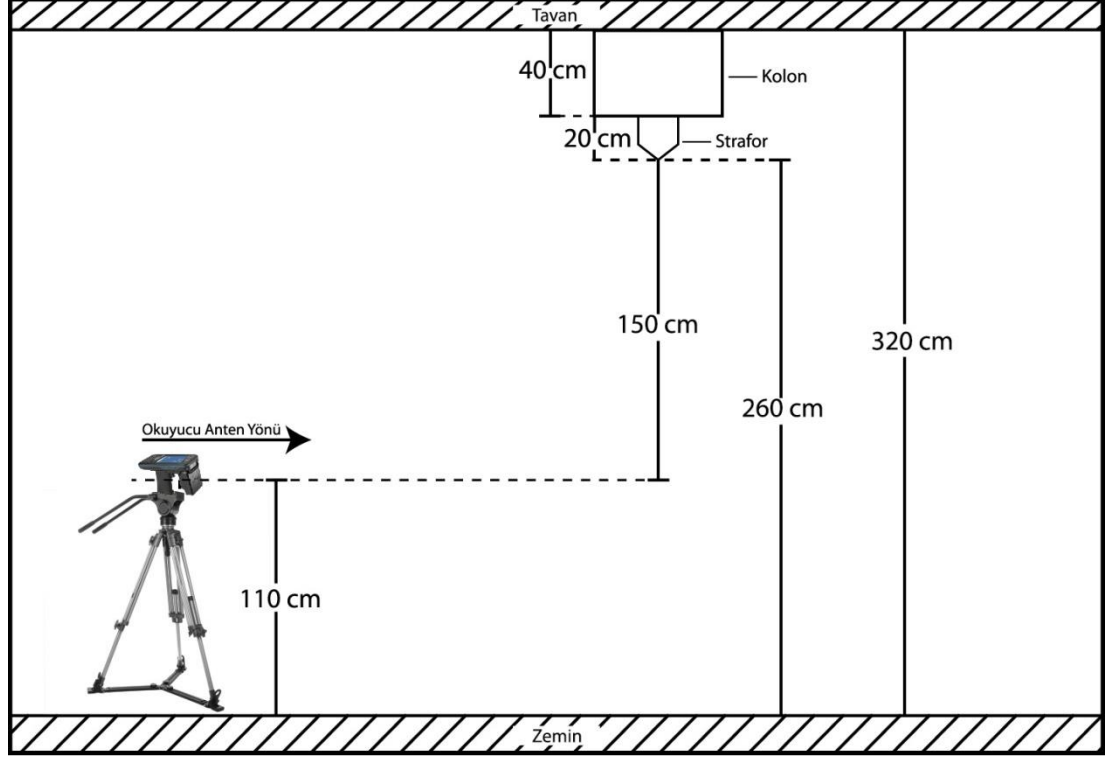
#### 4.2.3. Geliştirilen Mobil Yazılım ile Gerçekleştirilen Taşıyıcı Testleri

Sistemin kurulumu için taşıyıcıların bina içerisinde yer alan koridor ve odaların tavanlarına yerleştirilmesi planlanmaktadır. Yukarıda genel özellikleri verilen taşıyıcılar öncelikle bina içerisinde tavana yapıştırılarak test edilmiştir. Elde edilen sonuçların istenilen verimlilikte olmamasından dolayı taşıyıcıların, ayırıcı bir madde ile tavadan ayrılması düşünülmüştür. Taşıyıcıları tavadan belirli bir miktar ayırmak için strafor seçilmiştir. Strafor bina içi kullanıma uygun, tavana yapıştırılması kolay, şekil vermek için kolay kesilebilir, hafif, sert ve dayanıklı bir maddedir. Seçim sırasında straforun bu özellikleri göz önünde bulundurulmuştur. Öte yandan sistem reel olarak uygulama aşamasına gelindiğinde, aynı özelliklerdeki yanmayan bir başka maddenin seçimi uygun olacaktır.

Taşıyıcının tavadaki duruşunun maksimum okunma mesafesine etkisini tespit etmek amacıyla taşıyıcı tavana yatay ve dikey olmak üzere iki farklı şekilde yapıştırılmıştır. Benzer şekilde strafor üzerine de yatay ve dikey yapıştırılarak iki durumda da test edilmiştir. Ayrıca okuyucunun anten yönünün taşıyıcının ön veya



arka yüzünü görmesi durumlarının, maksimum okunma mesafesi üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla düz bir hat üzerinde iki yönlü olarak test yapılmıştır. Okuyucu anten yönünün, taşıyıcının ön yüzünü gördüğü durum “Yön a” taşıyıcının arka yüzünü gördüğü durum ise “Yön b” olarak ifade edilmiştir.

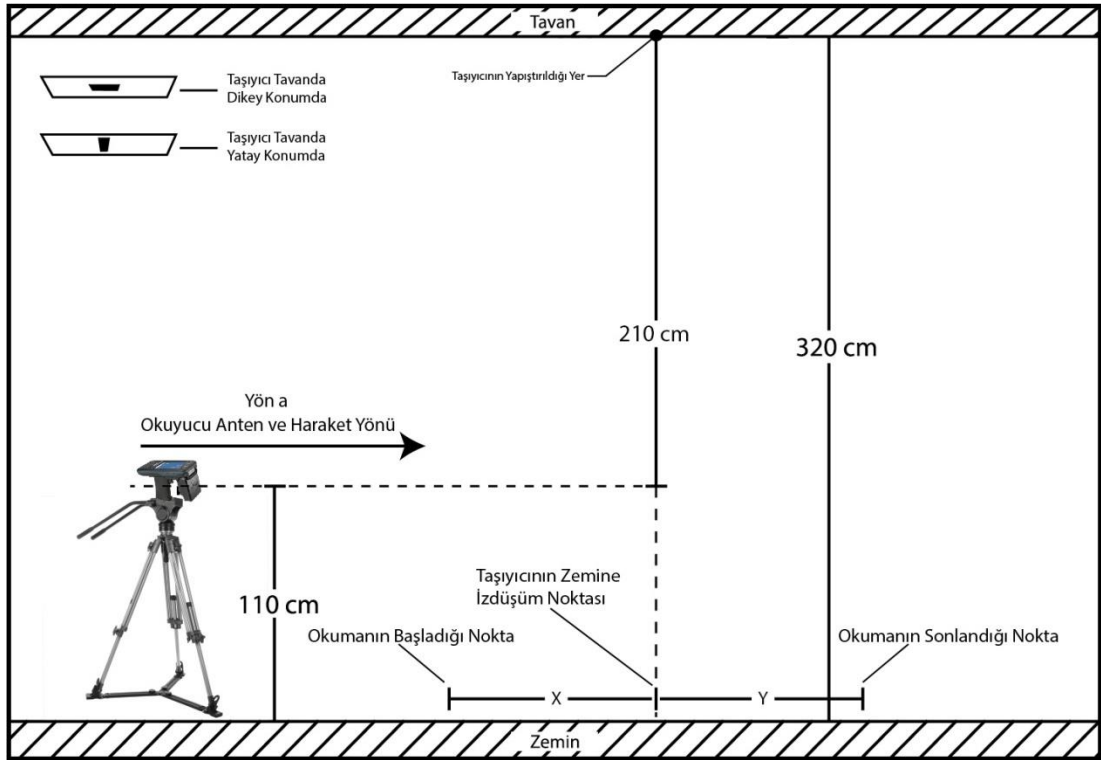


Şekil 4.25. Test ortamı ve test koşulları.

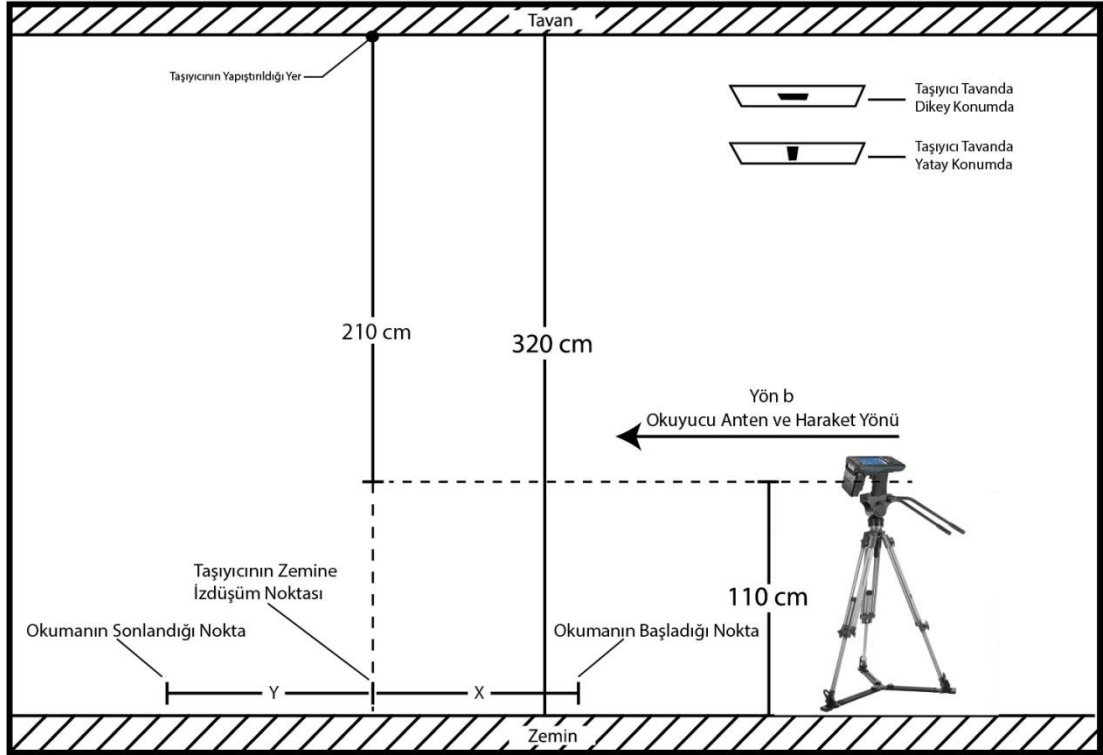
Şekil 4.25’te test koşulları ve test ortamı sayısal değerler ile birlikte gösterilmiştir. Testlerin gerçekleştirildiği koridorun tavanı ile zemini arasındaki mesafe 320 cm olarak ölçülmüştür. Bunun yanında Şekil 4.25’te kolon yüksekliği, okuyucu antenin orta noktası ile zemin arasındaki mesafe, taşıyıcıyı tavadan ayırmak için kullanılan straforun boyu gibi değerlerde gösterilmiştir.

Taşıyıcıyı tavadan ayırmak için kullanılan strafor 20 cm boyundadır. Straforun uç kısmı 45 derecelik açı ile kesilmiştir. Strafor Şekil 4.25’te gösterildiği gibi kolon üzerine yapıştırılmıştır. Taşıyıcılar da sırayla straforun 45 derece açı ile kesik olan uç kısmına yapıştırılmıştır. Bu sayede okuyucunun taşıyıcıyı daha uygun bir açı ile görmesi sağlanmıştır.

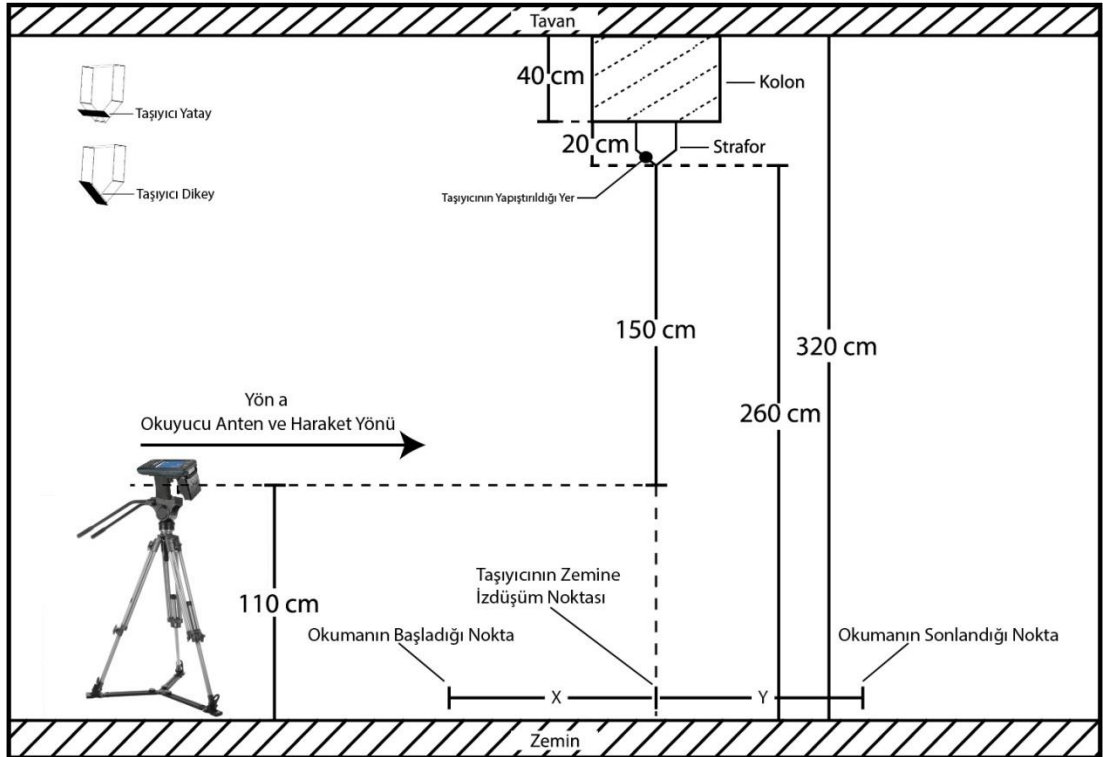
Testler esnasında okuyucu ile okumaya, taşıyıcının yerleştirildiği noktanın zemine iz düşüm noktasına göre 5 metrelik bir mesafeden başlanılmıştır. Tripod üzerine sabitlenen okuyucu kısa adımlarla ilerletilerek taşıyıcıya yaklaştırılmıştır. Aynı zamanda sürekli olarak taşıyıcıdan veri okunma durumu da kontrol edilmektedir. Taşıyıcıdan veri okunmaya başlanılan nokta ile taşıyıcının zemin üzerine iz düşüm noktası arasındaki mesafe ölçülerek Çizelge 4.8’de “x” değeri ile ifade edilmektedir. Daha sonra okuyucu hareket yönü değiştirilmeden tekrar hareket ettirilmeye başlanmıştır. Taşıyıcı ile olan veri iletişimi kesilinceye kadar okuyucu hareket ettirilmeye devam edilmiştir. İletişimin kesildiği noktanın taşıyıcının iz düşümüne olan uzaklığı ölçülerek Çizelge 4.8’de “y” değeri ile ifade edilmektedir. Her bir taşıyıcı için bu değerler Çizelge 4.8’de gösterilmektedir.



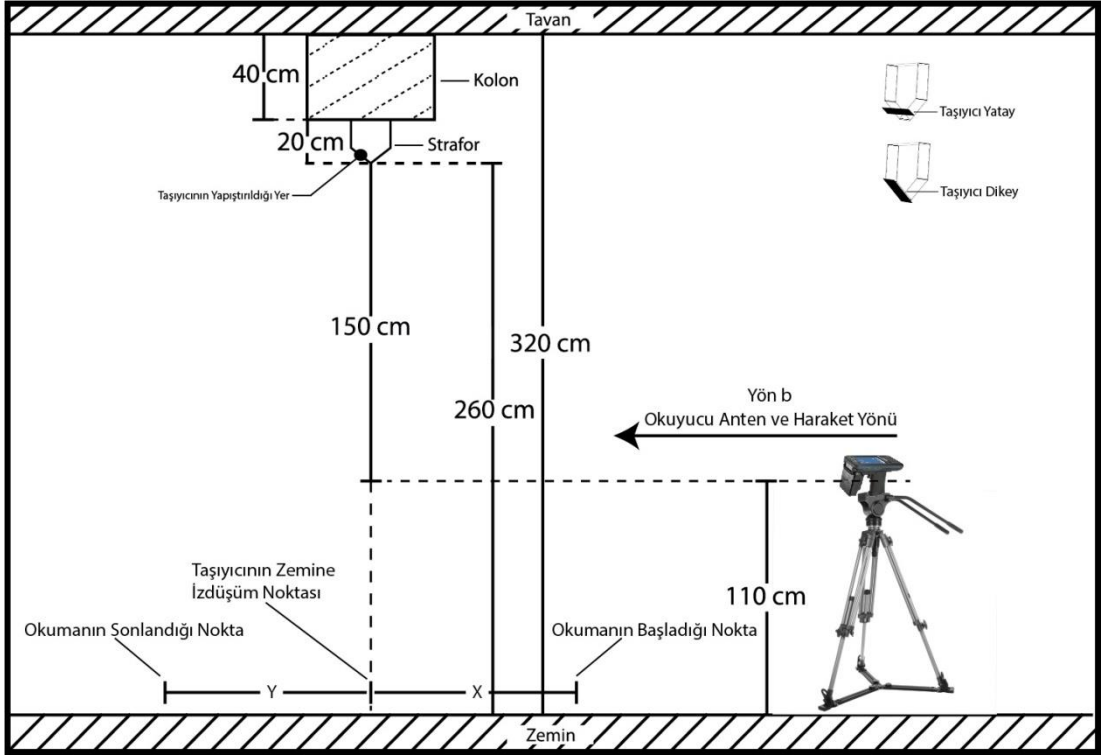
Şekil 4.26. Taşıyıcı tavanda ve okuyucu a yönünde hareket ettirilmekte.



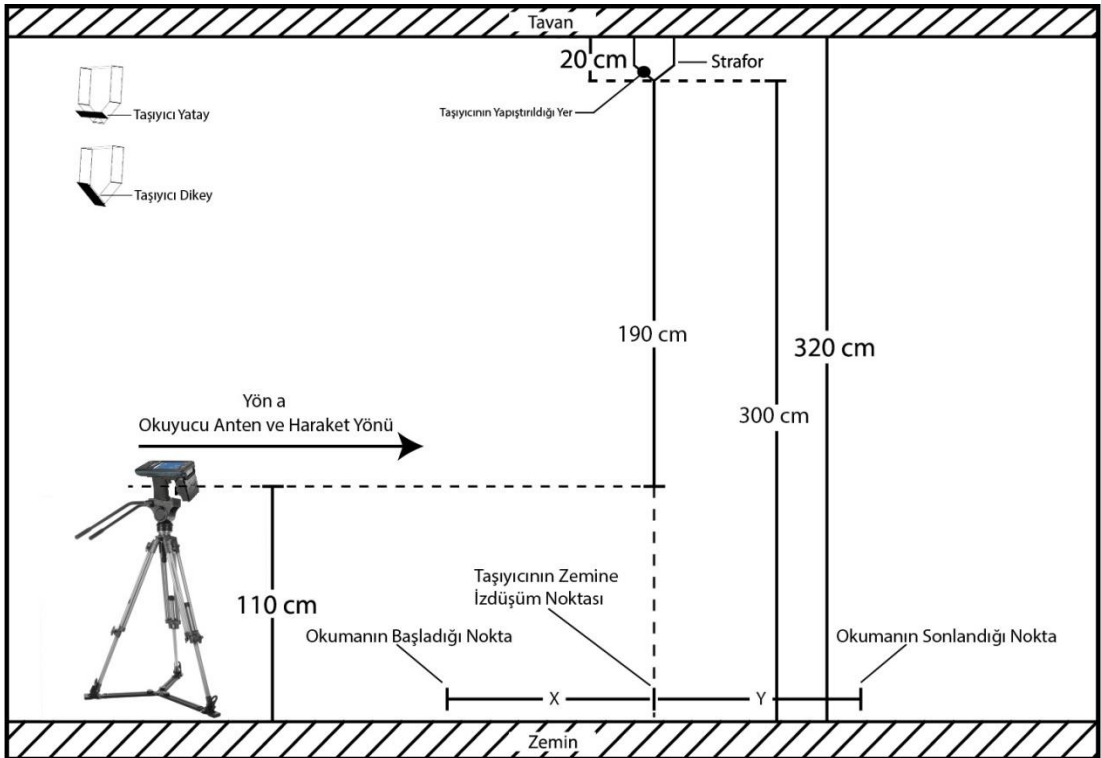
Şekil 4.27. Taşıyıcı tavanda ve okuyucu b yönünde hareket ettirilmekte.



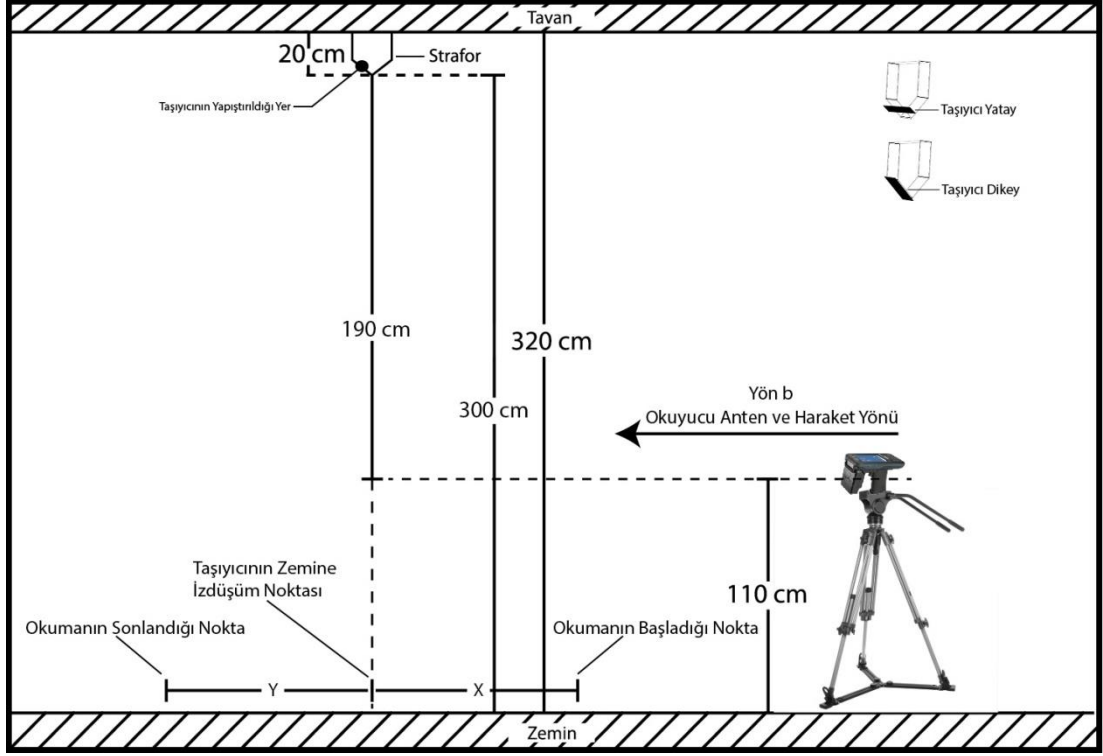
Şekil 4.28. Taşıyıcı Strafor 1 (Kolonda) üzerinde ve okuyucu a yönünde hareket ettirilmekte.



Şekil 4.29. Taşıyıcı Strafor 1 (Kolonda) üzerinde ve okuyucu b yönünde hareket ettirilmekte.



Şekil 4.30. Taşıyıcı Strafor 2 (Tavanda) üzerinde ve okuyucu a yönünde hareket ettirilmekte.



Şekil 4.31. Taşıyıcı Strafor 2 (Tavanda) üzerinde ve okuyucu b yönünde hareket ettirilmekte.

#### 4.2.4. Test Sonuçları Doğrultusunda En Uygun Taşıyıcı Modelinin Belirlenmesi

Çizelge 4.8’de verilen değerler cm cinsinden olup, bu değerler doğrudan tavana yapıştırılan taşıyıcılar, kolon üzerine yerleştirilen strafor üzerindeki taşıyıcılar ve tavana yerleştirilen strafor üzerindeki taşıyıcılar olmak üzere üç farklı durum için ölçülmüştür. Çizelge 4.8’de yer alan maksimum okunma mesafeleri genel olarak incelendiğinde, taşıyıcıların büyük çoğunluğu için, strafor ile tavadan ayrıldıklarında daha uzak mesafelerden okunabildikleri söylenebilir. Dolayısı ile testler, öngörülen sistem için taşıyıcıların bina içerisine yerleştirilmesi aşamasında taşıyıcıların tavadan strafor ile ayrılarak yapıştırılmasının daha doğru olacağını göstermiştir.

Uygun taşıyıcının belirlenmesinde, taşıyıcının okunma aralığının geniş olması ve okunma sayısının yüksek olması tercih sebebi olacaktır. Bu özelliklerdeki taşıyıcılar kullanıldığında, okuyucu çok daha fazla taşıyıcı ile iletişim kuracak, böylece konum belirleme işlemindeki başarı seviyesi yükselecektir. Çizelge 4.8’de yer alan Strafor 2

üzerinde yapılan test sonuçları dikkate alındığında 3008 33B2 DDD9 0140 0000 0000 (B) ID'ye sahip etiketin bu özellikleri sağlayan en uygun taşıyıcı olduğu görülmektedir.

Diğer yandan, okuyucu hareket yönüne göre okuyucunun önünde kalan bölgede okunabilirliği yüksek, okuyucunun arkasında kaldığında ise okunabilirliği düşük olan bir taşıyıcının seçilmesi de doğru konum belirlemedeki bir başka önemli bir etkidir. Test sonuçlarına bakıldığında bu koşula en elverişli taşıyıcının 3008 33B2 DDD9 0140 0000 0000 (D) ID'ye sahip taşıyıcı olduğu da görülmektedir.

Çizelge 4.8. Yapılan testlere ilişkin elde edilen maksimum okunma mesafeleri (cm) .

Etiket ID ve Açıklaması	Yön	Tavana Yapışık				Strafor 1 üzerinde (Kolonda)				Strafor 2 üzerinde (Tavanda)			
		Yatay		Dikey		Yatay		Dikey		Yatay		Dikey	
		x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
E200 8315 1513 0247 2320 27C6 (AZ9634)	a	-	-	80	80	420	50	450	380	420	30	480	200
	b	-	-	60	20	350	190	460	390	80	180	450	320
2013 0678 0000 0000 0000 4928 (Titan General)	a	90	50	-	-	-10	10	190	-180	-	-	-	-
	b	150	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3008 33B2 DDD9 0480 3505 0000	a	70	30	-	-	440	5	410	0	160	20	160	-20
	b	50	10	90	-30	120	110	-20	80	160	80	10	50
E200 1018 8404 0106 2180 34B8 (AZ9662)	a	210	150	200	50	440	240	440	100	400	170	420	40
	b	150	130	210	60	290	160	360	260	350	220	80	190
3005 FB63 AC1F 3841 EC88 0467 (Confidex Carrier)	a	-10	10	-	-	450	0	420	30	270	90	130	-40
	b	110	140	90	80	420	100	-30	150	140	80	10	80
3008 33B2 DDD9 0140 0000 0201 (TE24 Apparel)	a	210	160	230	80	440	0	420	20	160	80	360	-40
	b	170	130	230	50	440	100	-20	150	110	80	-40	40
2013 0220 0000 0000 0000 0325 (Titan Blade)	a	200	150	190	140	460	240	430	30	400	150	600	20
	b	180	120	240	110	460	240	-30	190	400	160	20	180
AD06 2300 4192 2D93 3200 00B0 (AD826)	a	80	40	-	-	320	160	430	40	400	150	400	-30
	b	60	30	100	-10	300	160	320	110	400	150	-30	270
3008 33B2 DDD9 0140 0000 0000 (A) (TE34 Hamtrace)	a	210	150	100	30	60	-40	-	-	-	-	-	-
	b	180	80	130	20	-	-	-	-	-	-	-	-
3008 33B2 DDD9 0140 0000 0000 (B) (TE34 Gain)	a	200	150	-	-	480	500+	450	120	500+	500+	500+	30
	b	150	60	90	-20	500+	450	480	220	500+	500+	500+	200
3008 33B2 DDD9 0140 0000 0000 (C)	a	240	180	270	90	450	80	420	50	500+	50	320	40
	b	180	140	240	50	440	100	60	160	500+	160	120	160
3008 33B2 DDD9 0140 0000 0000 (D) (TE14 Thinpropeller)	a	240	180	270	90	460	230	440	50	500+	150	500+	250
	b	180	140	240	50	470	160	80	240	500+	0	30	160
3008 33B2 DDD9 0140 0000 0000 (E) (Confidex Windshield Label)	a	200	170	250	50	10	-	110	40	-	-	-	-
	b	180	140	210	0	40	10	-	-	-	-	-	-
0058 108C 1301 2230 0013 EA97 (Kuyum Etiket)	a	90	150	80	100	460	140	400	50	160	140	190	-
	b	60	50	200	40	440	150	100	100	150	130	40	80
	a	/	/	130	30	/	/	440	25	/	/	180	20
	b	/	/	120	20	/	/	-30	100	/	/	20	170

## BÖLÜM 5

### UYGULAMA: RFID TABANLI BİNA İÇİ KONUM BELİRLEME SİSTEMİNİN TASARIMI

Karabük Üniversitesi Karabük ili merkezinde yer almaktadır. Bu konumuyla Karabük Üniversitesi kent hayatının içinde yer alan bir üniversitedir. Birçok alanda kent üniversiteyi, üniversite de kenti etkilemektedir. Sistem tüm özellikleri ile tüm kampüs için tamamlandığında, üniversiteyi ziyaret eden bir kişi istediği birime nasıl ulaşabileceğini ve o birim hakkında istediği bilgileri öğrenebilecektir.

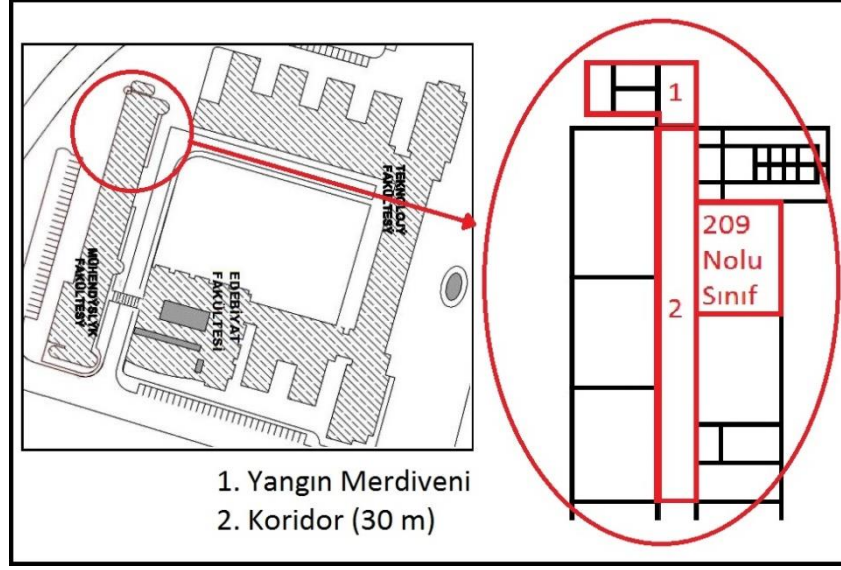
#### 5.1. TAŞIYICILARIN BİNA İÇERİSİNE YERLEŞTİRİLECEĞİ NOKTALARIN BELİRLENMESİ VE APLİKASYONU

Bina içerisinde gerçekleştirilecek konum tespiti için çalışma gereği; koridor, oda (sınıf) ve merdiven gibi binanın çalışma alanı olarak belirlenen kısımlarının tavanına ve/veya yan duvarlarına taşıyıcılar yapıştırılması gerekmektedir. Bu amaçla, uygulama alanı olarak Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakülte Binası içerisinde oda (sınıf), koridor ve merdiven gibi binanın bazı kısımlarını içeren, Şekil 5.1'de yer alan kat planında da gösterilen bölüm seçilmiştir.

Çalışma esnasında, bu bölüm içerisinde yer alan;

- Birinci Kat 112 no'lu kapıdan (Bilgisayar ağları) yangın merdivenine kadar olan koridor (yaklaşık 30 metre),
- İkinci kat 212 no'lu kapıdan (Uzaktan Eğitim Stüdyosu) yangın merdivenine kadar olan koridor (yaklaşık 30 metre) ve,
- 209 ve 109 numaralı sınıflar ile yangın merdiveni kullanılmıştır.

Birinci ve ikinci katların planları birbirinin aynısıdır.



Şekil 5.1. Çalışma alanı.

Söz konusu iki katın kullanılmak istenmesinin sebebi, konum tespit aşamasında; kullanıcının bulunduğu noktanın konum bilgisi ile kullanıcının bina içerisinde bulunduğu katın belirlenmesini sağlamak ve kat ayrımı yapabilen bir sistemi tasarlamaktır. Çalışmanın yapılacağı yerin tavanına RFID taşıyıcılar yapıştırılmıştır. Bunun yanında taşıyıcılardan yansıyan sinyalin verimini arttırmak amacıyla taşıyıcıları tavadan biraz uzaklaştırmak için 20x10x5 cm ebatlarında kesilmiş straforlar kullanılmış ve Şekil 5.2’de gösterildiği gibi yaklaşık 1 metre aralıklarla tavana yapıştırılmıştır.

Çalışmanın yapıldığı ortamın köşe koordinatları başlangıç noktası olarak alınmıştır. Buna bağlı olarak taşıyıcıların bulunduğu noktaların koordinatları hesaplanmaktadır.





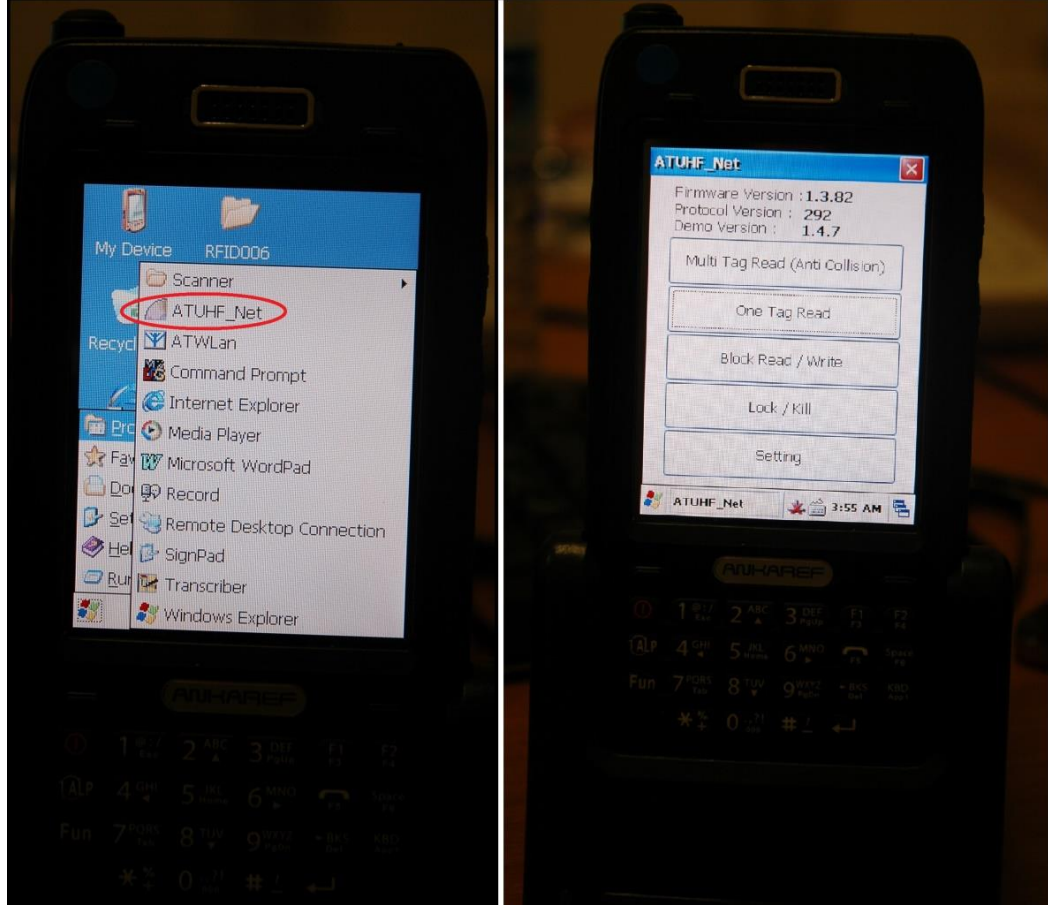
Şekil 5.2. Taşıyıcılar tavana yapıştırılmış vaziyette koridor görüntüsü.

## **5.2. APLİKE EDİLMİŞ TAŞIYICILARIN TOPOLOJİSİNİN OLUŞTURULMASI VE TAŞIYICI BELLEKLERİNE KOORDİNAT VE KOMŞULUK BİLGİLERİNİN YÜKLENMESİ**

RFID sistemlerde her taşıyıcının bir ID numarası vardır ve bu ID numaraları sayesinde taşıyıcılara bir kimlik kazandırılmaktadır. RFID sistemlerin en temel özelliği, okuyucunun (okuyucuların) kapsama alanı içerisinde yer alan taşıyıcıya (taşıyıcılara) ait ID numarasını (numaralarını) okuması ve sistemin buna bağlı olarak çalışmasıdır. Taşıyıcı ID numaralarını, taşıyıcı özelliklerine bağlı olarak yazma yapabilen bir okuyucu ile yeniden düzenlemek, değiştirmek mümkündür. Yaptığımız çalışmada kullanılmakta olan taşıyıcıların ID numaraları, okuma ve yazma özelliklerine sahip mevcut mobil okuyucu (Atid AT870) ile yeniden düzenlenebilmektedir.

Bu aşamada bina içerisine yerleştirilen her bir taşıyıcının, yerleştirildikleri noktalara ait koordinat bilgileri taşıyıcı ID numarası olarak ilgili taşıyıcının belleğine yazılmıştır. Bu işlemi gerçekleştirmek için kullanılan program, okuyucunun temini sırasında tedarikçi firma tarafından okuyucunun içerisine kurulmuş olan ana

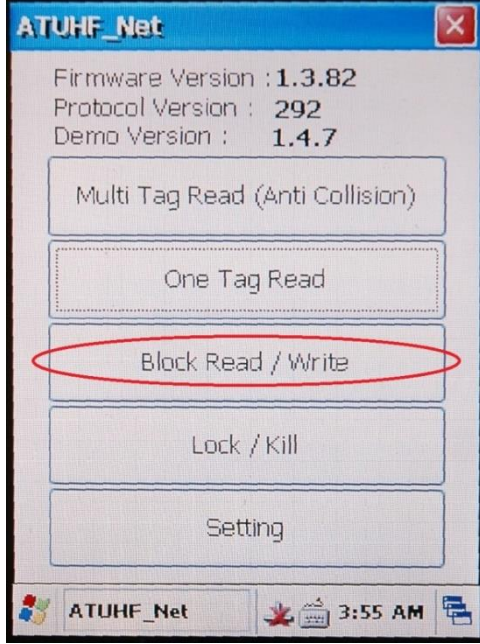
programlardan bir tanesidir. Program okuyucunun içerisinde kullanılabilir durumda olduğu için tarafımızca geliştirilen programa taşıyıcı ID numarası değiştirme özelliği eklenmesine gerek duyulmamıştır. ATUHF\_Net yazılımı mobil cihaz üzerinde çalışırken çekilen fotoğraf Şekil 5.3'te yer almaktadır.



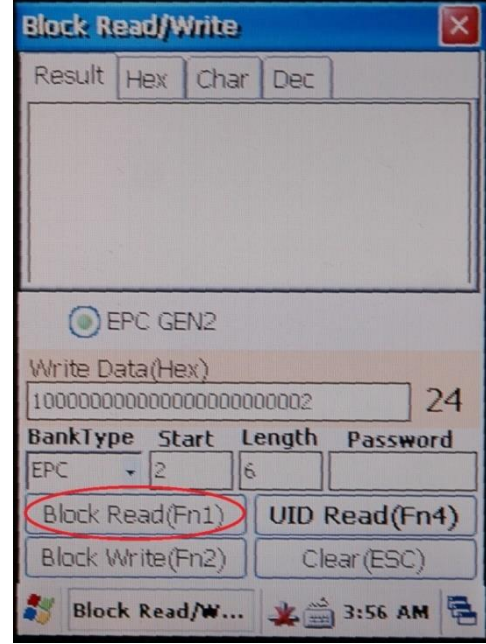
Şekil 5.3. ID numaralarının düzenlenmesinde kullanılan yazılım (ATUHF\_Net) mobil cihaz üzerinde çalışırken çekilen görüntü.

ATUHF\_Net yazılımı taşıyıcı ID numaralarının değiştirilmesi dışında farklı bazı özelliklere de sahiptir. Ancak burada yazılımın sahip olduğu diğer özelliklere değinilmesine gerek olmadığından dolayı ID değiştirme özelliği üzerinde durulmaktadır. Yazılım içerisinde ID değiştirme işlemi gerçekleştirmek için Şekil 5.4'de gösterildiği gibi ana pencerede karşımıza çıkan, “Block Read / Write” butonu kullanılmaktadır. Bu buton bizi Şekil 5.5'te gösterilen pencereye yönlendirmektedir. Şekil 5.5'te işaretli olarak gösterilen “Block Read(Fn1)” butonu ile ID numarası

değiştirilmek istenen taşıyıcı tespit edilerek, taşıyıcının ID numarası programa tanıtılmaktadır.



Şekil 5.4. ATUHF\_Net yazılımına ait ana ekran görüntüsü.

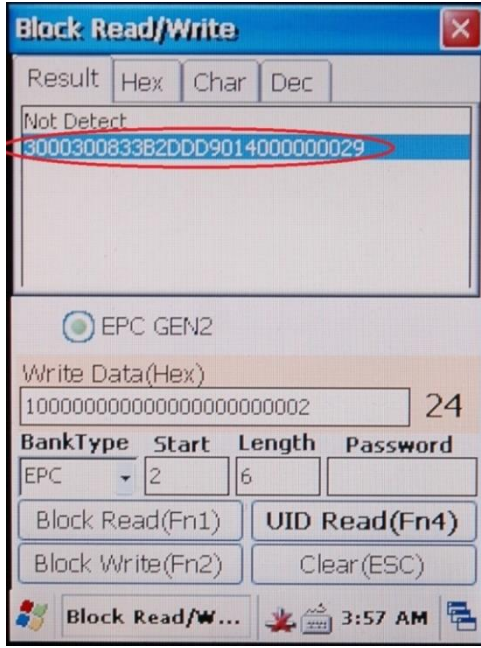


Şekil 5.5. ATUHF\_Net yazılımına ait ID değiştirme penceresi.

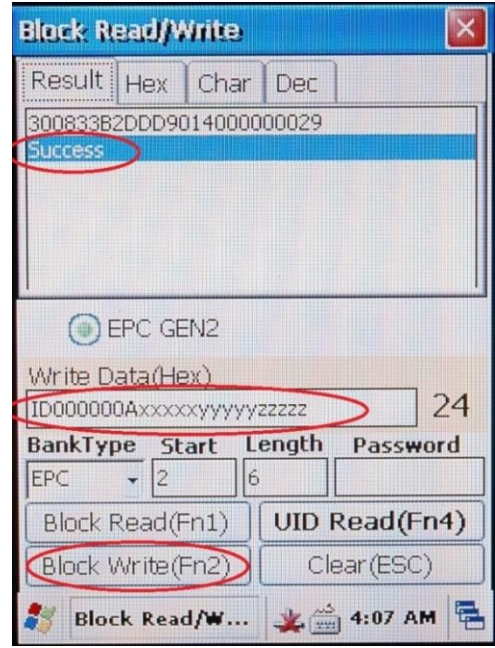
Şekil 5.6'da değiştirilmek üzere tanıtılan ID numarası işaretlenmiştir. Değiştirilmek istenen ID numarasının tanıtımı işlemi gerçekleştirilirken; okuyucunun okuma menzili içerisinde başka bir taşıyıcı olmamasına dikkat edilmelidir. Okuyucunun okuma menzili içerisinde kalan herhangi bir taşıyıcının ID si Block Read(Fn1) butonuna basıldığında değiştirilmek üzere programa tanıtılmaktadır. Bu işlem defalarca yapılabilir, bu noktada herhangi bir kısıtlama yoktur ancak Block Read(Fn1) butonuna basıldığında, okuyucunun okuma menzili içerisinde birden fazla taşıyıcı varsa; okunacak ID numarasının sizin gerçekte değiştirmek istediğiniz ID olmama ihtimali söz konusu olacaktır.

Şekil 5.6'da gösterilen "3000300833B2DDD90140000000029" ID numarası değiştirilmek istenmektedir. Şekil 5.7'de işaretli olan "Write Data(Hex)" bölümüne yeni ID değeri girilmektedir. Bu değer 24 karakter ve hexadesimal (16 lık sayı tabanı) düzende olmalıdır. Yani girilebilecek karakterler; 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E ve F şeklindedir. Şekil 5.7'de işaretli olan Write Data(Hex) bölümünde

yazılı olan ID000000Axxxxxyyyzzzzz ID numarası temsili olarak gösterilmiş ve açıklaması aşağıda yapılmıştır. Bu numara içerisinde yer alan x, y, z ve I karakterleri 16lık sayı tabanında olmadığı için değiştirilen ID numarasında bu karakterler yerine 16 lık sistemde bu karakterlere karşılık gelen farklı karakterler yer almaktadır. Yeni ID değeri Write Data(Hex) bölümüne girildikten sonra, Block Write(Fn2) butonuna basılır ve ID değiştirme işlemi tamamlanmış olur. İşlemin başarı ile gerçekleştiğine dair bilgi “success” şeklinde Şekil 5.7’de gösterildiği gibi kullanıcıya iletilmektedir.

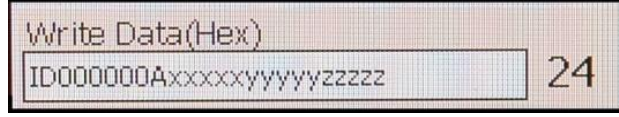


Şekil 5.6. Değiştirilmek üzere tanıtılan ID numarası.



Şekil 5.7. Değiştirilen ID numarası.

Bu işlem yapılırken okuyucu sadece tanıtılan ID numarasını değiştirmektedir ancak okuyucunun okuma mesafesi içerisinde birebir aynı ID ye sahip birden fazla taşıyıcı varsa; ID değiştirme işlemi gerçekleştirildiğinde sadece bu taşıyıcılardan birinin ID numarası değiştirilmiş olacaktır. Aynı ID'ye sahip diğer taşıyıcıların ID numaralarında herhangi bir değişiklik olmamaktadır. Hangi taşıyıcının ID'sinin değiştirildiği noktasında da okuma menzili içerisinde yer alan bütün taşıyıcılara tek tek bakmak gerekecektir. Bu açıdan ID düzenleme işlemi yapılırken okuyucunun okuma alanı içerisinde ID değişikliği yapılacak taşıyıcıdan başka taşıyıcı olmamasına dikkat edilmelidir.



Şekil 5.8. ID Formatı.

Yeniden düzenlenen taşıyıcı ID numaraları Şekil 5.8’de gösterildiği gibi taşıyıcının yerleştirildiği noktanın koordinatlarını içermektedir. Bunun yanında yine her bir taşıyıcıya birbirinden farklı ve taşıyıcıların komşuluk bilgisini tanımlayabilmek ve anlayabilmek adına sıralı şekilde bir numara verilmiş ve ID numarasının geri kalan kısmını da bu numara oluşturmaktadır. Bir taşıyıcının bulunduğu (yapıştırıldığı) noktaya ait koordinat bilgisi olan X, Y ve Z değerleri için ID numarası içerisinde beşer karakterlik yer ayrılmıştır. X, Y, Z koordinatları 000,00 ile 999,99 arasında girilebilmektedir. Gerek görüldüğü takdirde X, Y ve Z için ayrılan karakter sayısı 1 arttırılarak, değer aralığı (-999,99) ile (+999,99) şeklinde girilebilir. Girilen değer metre cinsinden olup virgülden öncesi tam kısım ve virgülden sonrası da cm olan kısmı ifade etmektedir.

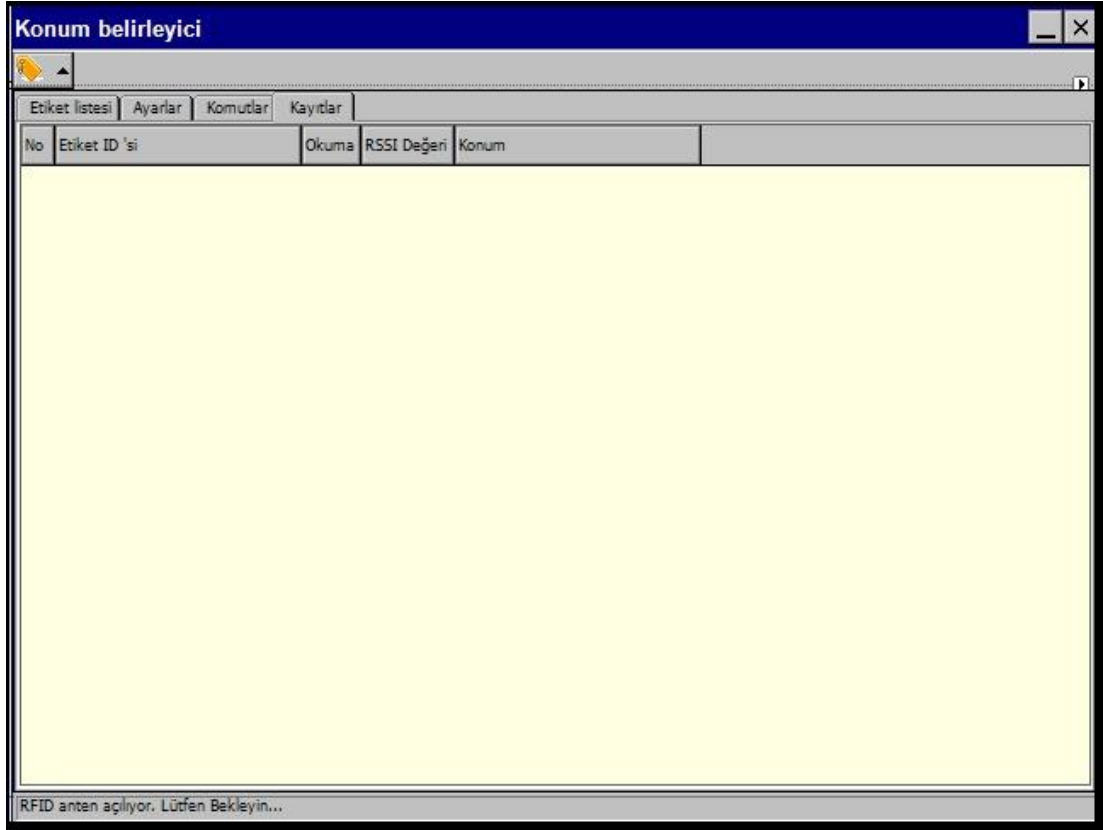
Taşıyıcı ID numaralarının yukarıda anlatıldığı şekilde değiştirilmesi ve yeniden düzenlenmesi ile sistem içerisinde taşıyıcı koordinatları dinamik olarak kullanılabilir.

### **5.3. GELİŞTİRİLEN YAZILIM İLE COĞRAFİ YAKINLIK YAKLAŞIMI KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLEN KONUM TESPİTİ**

Daha önce etiketlerin test edilmesi aşamasında geliştirilen program ile ilgili detaylar Bölüm 4 içerisinde “En Uygun Taşıyıcının Belirlenmesi için Kullanılacak Mobil Yazılımın Geliştirilmesi” başlığı altında açıklanmıştı. Daha önce geliştirilen program üzerinde bazı değişiklikler yapılarak program istenilen uygun hale getirildi. Yapılan değişiklikler şu şekildedir;

Program ara yüzüne Kayıtlar sekmesi eklenmiştir. Şekil 5.9’da gösterilen “Kayıtlar” sekmesi üzerinde programın çalışması süresince, okunan veriler eklenerek kayıt edilmektedir. Kullanıcıya bu sekme üzerinden okunan taşıyıcılara ait, taşıyıcı (etiket)

ID numarası, Şekil 5.10’da “Ayarlar” sekmesi içerisinde yer alan kullanıcı tarafından belirlenen periyodlarla yapılan okuma sayısı, RSSI değeri ve hesaplanan konum bilgisi sunulmaktadır.



Şekil 5.9. Kayıtlar sekmesi.

Programın çalışma mantığı şu şekildedir: Kullanıcı tarafından Konum belirleme için zaman sıklığı Şekil 5.10’da gösterildiği gibi Ayarlar sekmesinden ayarlanabilir. Program açıldığında varsayılan değer olarak 2 sn. belirlenmiştir. Belirlenen zaman sıklığı kullanıcıya konum bilgisinin geri dönüş periyodu olarak da ifade edilebilir. Bu periyod süresinde okuyucunun okuma menzili içerisinde yer alan taşıyıcılara ait bilgiler “Etiket Listesi” sekmesinde tutulmakta ve kullanıcı tarafından görülebilmektedir. Periyodun sonunda Etiket Listesi sekmesinde yer alan taşıyıcılar içerisinde RSSI değerine bağlı olarak en güçlü sinyalin alındığı taşıyıcı belirlenmektedir. Taşıyıcı ID numaraları, taşıyıcıların yapıştırıldıkları noktanın gerçek koordinat değerlerini içerisinde barındırdığı için taşıyıcının koordinat değeri bilinmektedir. Coğrafi yakınlık yaklaşımına göre periyodun sonunda belirlenen

taşıyıcının konumu ile okuyucunun konumu aynı varsayılmaktadır. Her periyodun sonunda alınan verilere bağlı olarak bir koordinat değeri tespit edilmektedir ve bu değer Kayıtlar sekmesinde yer alan konum bölümüne yazılmaktadır. Bunun yanında her bir periyod sayılmakta ve bu değerde Kayıtlar sekmesinde Okuma bölümünde gösterilmektedir.

Konum belirleme için zaman sıklığının artırılması Etiket Listesi sekmesinde görüntülenen veri sayısının artmasına olanak sağlamaktadır bu sayede daha doğru konum bilgisi elde edilmektedir. Ancak belirlenen periyodun sonunda konum bilgisi tespit edildiği için sürenin artırılması konum bilgisinin geç hesaplanması anlamına gelecektir.

**Konum belirleyici**

Etiket listesi | Ayarlar | Komutlar | Kayıtlar

**Okuma Ayarları**

Devamlı okuma modunda çalış  
 Çoklu etiket okuma modunda çalış  
 Her okuma ortalama RSSI hesapla  
 Her başarılı okumada ses ile uyar

**Anten ayarları**

EPC GEN2'de çoklu etiket okuması için Q-Range değeri: 5  
İki etiket okuması arasında zaman gecikmesi (sn): 0  
Etiketten cevap gelmesi için beklenen maksimum süre: 2  
RFID anten gücü (0 dBm ile 31dBm): 0  
Envanter bayrak resetleme durumu (0.5 sn - 30 sn): 1  
Kanal işgali yoluyla etiket okuma zamanı (max 4000ms): 4000  
Genişletilmiş rapor modunda çalış (Açık-Kapalı): Açık

**Diğer ayarlar**

Konum belirleme için zaman sıklığı (sn): 2  
Konum belirleme için anten açıklık süresi (sn): 59

RFID anten açılıyor. Lütfen Bekleyin...

Şekil 5.10. Ayarlar sekmesi.





Belleklerine Koordinat ve Komşuluk Bilgilerinin Yüklenmesi başlığı altında da anlatıldığı gibi taşıyıcı ID'leri bu bilgiyi içermektedir.

Program koridor ve sınıfı içeren test alanında test edilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Test aşamasında taşıyıcıların yerleştirildiği noktaların her biri bir düğüm noktası olarak kabul edilmiştir. Kişinin konumu en yakın olduğu, yani en güçlü sinyal alınan taşıyıcının (düğümün) bulunduğu nokta olarak kabul edilmiştir. Düğüm numaraları koridor boyunca sırasıyla birer artan şekilde 1 ile 31 arasında verilmiş ve sınıf içerisinde yer alan 4 düğüm noktasına da 32' den 35'e kadar numara verilmiştir. Koridor boyunca yerleştirilen düğümler arasındaki mesafe 1'er metredir.

İlk olarak kişinin hareket etmeden bir noktada beklemesi durumu ele alınmıştır. Bu amaçla, 2 numaralı düğüm noktasında 1 dakika boyunca hareket edilmeden beklenmiştir. Bu süre boyunca okuyucu anten yönü koridor doğrultusunda artan numaralı düğümler yönünde tutulmuş ve Çizelge 5.1'de verilen sonuçlar elde edilmiştir. Burada belirlenen okuma periyodu 2 saniyedir. Yani her 2 saniyede bir konum tahmini yapılmaktadır.

Çizelge 5.1. Kişi sabitken tahmin edilen konum ve gerçek konum bilgileri.

Okuma Sayısı	Süre karşılıkları (saniye)	Tahmin Edilen Konum	Gerçek Konum
1	2	4 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
2	4	4 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
3	6	4 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
4	8	3 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
5	10	4 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
6	12	4 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
7	14	4 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
8	16	3 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
9	18	4 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
10	20	4 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
11	22	4 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
12	24	4 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
13	26	4 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
14	28	3 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
15	30	3 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
16	32	4 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
17	34	3 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
18	36	3 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
19	38	4 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
20	40	5 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
21	42	3 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
22	44	3 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm

Çizelge 5.1. (devam ediyor).

23	46	5 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
24	48	5 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
25	50	5 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
26	52	3 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
27	54	3 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
28	56	3 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
29	58	3 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
30	60	5 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm

Çizelge 5.1'deki değerler incelendiğinde, kişinin yönüne bağlı olarak bulunduğu düğüm noktasından sonra gelen düğüm noktalarından 3, 4 veya 5 numaralı düğümlerden birinde olduğu tahmin edilmiştir. Anten yönünün sinyal kalitesini etkilediği ve buna bağlı olarak sonuçların bu şekilde elde edildiği düşünülmektedir. Bir diğer önemli etken ise insan vücudunun sinyali olumsuz etkilemesidir. Okuyucu ile taşıyıcı arasına doğrudan görüşü engelleyecek şekilde biri girdiğinde taşıyıcıdan alınan sinyal değeri düşmektedir.

Okuyucu anten yönüne bağlı olarak, sonuçlar gerçek konumdan farklı gözlemlenmiştir. Çizelge 5.5'de de gösterildiği gibi bu fark en fazla 3 metre en az ise 1 metre olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.2. Hata değerleri ve yüzdeleri.

Hata değeri (metre)	Açıklama	Sonuçlar	Yüzdesi (%)
3	Tahmin edilen konum gerçek konumun 3 metre ilerisindedir.	5	16,66
2	Tahmin edilen konum gerçek konumun 2 metre ilerisindedir.	13	43,33
1	Tahmin edilen konum gerçek konumun 1 metre ilerisindedir.	12	40
0	Tahmin edilen konum ile gerçek aynıdır.	0	0
<b>Toplam</b>		30	

Kişinin hareketli olduğu durum ele alındığında ise, yaklaşık 4 dakika boyunca ortalama bir hızla yürüyerek, koridor ve sınıfta gezinilmiştir. Bu süre boyunca okuyucu anten yönü kişinin hareket yönünde tutulmuştur. Burada belirlenen okuma periyodu bir önceki testte olduğu gibi 2 saniyedir.

Çizelge 5.3. Kişi hareketliken tespit edilen konum ve gerçek konum bilgileri.

Okuma Sayısı	Süre karşılıkları (saniye)	Tahmin Edilen Konum	Gerçek Konum
1	2	4 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
2	4	4 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
3	6	2 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
4	8	4 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
5	10	4 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
6	12	3 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
7	14	2 numaralı düğüm	3 numaralı düğüm
8	16	5 numaralı düğüm	5 numaralı düğüm
9	18	9 numaralı düğüm	7 numaralı düğüm
10	20	9 numaralı düğüm	8 numaralı düğüm
11	22	7 numaralı düğüm	10 numaralı düğüm
12	24	12 numaralı düğüm	11 numaralı düğüm
13	26	13 numaralı düğüm	13 numaralı düğüm
14	28	15 numaralı düğüm	14 numaralı düğüm
15	30	17 numaralı düğüm	16 numaralı düğüm
16	32	18 numaralı düğüm	17 numaralı düğüm
17	34	18 numaralı düğüm	19 numaralı düğüm
18	36	19 numaralı düğüm	20 numaralı düğüm
19	38	21 numaralı düğüm	21 numaralı düğüm
20	40	24 numaralı düğüm	23 numaralı düğüm
21	42	25 numaralı düğüm	24 numaralı düğüm
22	44	25 numaralı düğüm	25 numaralı düğüm
23	46	28 numaralı düğüm	27 numaralı düğüm
24	48	28 numaralı düğüm	28 numaralı düğüm
25	50	29 numaralı düğüm	29 numaralı düğüm
26	52	29 numaralı düğüm	31 numaralı düğüm
27	54	31 numaralı düğüm	31 numaralı düğüm
28	56	31 numaralı düğüm	31 numaralı düğüm
29	58	26 numaralı düğüm	31 numaralı düğüm
30	60	31 numaralı düğüm	31 numaralı düğüm
31	62	31 numaralı düğüm	31 numaralı düğüm
32	64	26 numaralı düğüm	29 numaralı düğüm
33	66	26 numaralı düğüm	28 numaralı düğüm
34	68	26 numaralı düğüm	26 numaralı düğüm
35	70	20 numaralı düğüm	25 numaralı düğüm
36	72	21 numaralı düğüm	23 numaralı düğüm
37	74	21 numaralı düğüm	22 numaralı düğüm
38	76	14 numaralı düğüm	20 numaralı düğüm
39	78	17 numaralı düğüm	19 numaralı düğüm
40	80	19 numaralı düğüm	18 numaralı düğüm
41	82	16 numaralı düğüm	18 numaralı düğüm
42	84	16 numaralı düğüm	18 numaralı düğüm
43	86	16 numaralı düğüm	18 numaralı düğüm
44	88	16 numaralı düğüm	18 numaralı düğüm
45	90	16 numaralı düğüm	18 numaralı düğüm
46	92	16 numaralı düğüm	18 numaralı düğüm
47	94	32 numaralı düğüm	32 numaralı düğüm
48	96	32 numaralı düğüm	32 numaralı düğüm
49	98	32 numaralı düğüm	32 numaralı düğüm
50	100	32 numaralı düğüm	32 numaralı düğüm
51	102	32 numaralı düğüm	32 numaralı düğüm
52	104	34 numaralı düğüm	32 numaralı düğüm
53	106	34 numaralı düğüm	35 numaralı düğüm

Çizelge 5.3. (devam ediyor).

54	108	35 numaralı düğüm	35 numaralı düğüm
55	110	35 numaralı düğüm	35 numaralı düğüm
56	112	35 numaralı düğüm	35 numaralı düğüm
57	114	34 numaralı düğüm	35 numaralı düğüm
58	116	35 numaralı düğüm	35 numaralı düğüm
59	118	35 numaralı düğüm	35 numaralı düğüm
60	120	35 numaralı düğüm	35 numaralı düğüm
61	122	34 numaralı düğüm	35 numaralı düğüm
62	124	32 numaralı düğüm	32 numaralı düğüm
63	126	32 numaralı düğüm	32 numaralı düğüm
64	128	32 numaralı düğüm	32 numaralı düğüm
65	130	33 numaralı düğüm	32 numaralı düğüm
66	132	34 numaralı düğüm	32 numaralı düğüm
67	134	33 numaralı düğüm	33 numaralı düğüm
68	136	33 numaralı düğüm	33 numaralı düğüm
69	138	34 numaralı düğüm	33 numaralı düğüm
70	140	33 numaralı düğüm	33 numaralı düğüm
71	142	34 numaralı düğüm	33 numaralı düğüm
72	144	33 numaralı düğüm	33 numaralı düğüm
73	146	34 numaralı düğüm	34 numaralı düğüm
74	148	34 numaralı düğüm	34 numaralı düğüm
75	150	34 numaralı düğüm	34 numaralı düğüm
76	152	35 numaralı düğüm	34 numaralı düğüm
77	154	35 numaralı düğüm	34 numaralı düğüm
78	156	34 numaralı düğüm	34 numaralı düğüm
79	158	34 numaralı düğüm	34 numaralı düğüm
80	160	34 numaralı düğüm	34 numaralı düğüm
81	162	34 numaralı düğüm	34 numaralı düğüm
82	164	34 numaralı düğüm	34 numaralı düğüm
83	166	32 numaralı düğüm	33 numaralı düğüm
84	168	33 numaralı düğüm	33 numaralı düğüm
85	170	33 numaralı düğüm	33 numaralı düğüm
86	172	33 numaralı düğüm	33 numaralı düğüm
87	174	33 numaralı düğüm	33 numaralı düğüm
88	176	33 numaralı düğüm	33 numaralı düğüm
89	178	33 numaralı düğüm	33 numaralı düğüm
90	180	32 numaralı düğüm	32 numaralı düğüm
91	182	32 numaralı düğüm	32 numaralı düğüm
92	184	16 numaralı düğüm	17 numaralı düğüm
93	186	14 numaralı düğüm	17 numaralı düğüm
94	188	16 numaralı düğüm	17 numaralı düğüm
95	190	14 numaralı düğüm	17 numaralı düğüm
96	192	16 numaralı düğüm	17 numaralı düğüm
97	194	16 numaralı düğüm	16 numaralı düğüm
98	196	16 numaralı düğüm	15 numaralı düğüm
99	198	15 numaralı düğüm	14 numaralı düğüm
100	200	8 numaralı düğüm	13 numaralı düğüm
101	202	13 numaralı düğüm	12 numaralı düğüm
102	204	12 numaralı düğüm	10 numaralı düğüm
103	206	10 numaralı düğüm	9 numaralı düğüm
104	208	9 numaralı düğüm	8 numaralı düğüm
105	210	8 numaralı düğüm	7 numaralı düğüm
106	212	7 numaralı düğüm	6 numaralı düğüm
107	214	6 numaralı düğüm	4 numaralı düğüm

Çizelge 5.3. (devam ediyor).

108	216	2 numaralı düğüm	3 numaralı düğüm
109	218	2 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
110	220	2 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
111	222	2 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm
112	224	2 numaralı düğüm	2 numaralı düğüm

Çizelge 5.3 incelendiğinde tahmin edilen konum değerlerinin çoğunlukla gerçek konum değeriyle aynı düğüm noktaları olmadığı ancak doğru değerlerinde elde edildiği görülebilmektedir.

İnsan normal şartlar altında 5 km/h ortalama gezi hızına sahiptir. Koşu hızı ise ortalama bir insan için 6 km/h ile 10 km/h arasında değişir. Bu bağlamda değerleri m/sn. cinsinden hesaplandığında yürüme hızı 1.6 m/sn. ve ortalama koşu hızının ise 2.2 m/sn. olduğu görülmektedir. Çizelge 5.3'deki sonuçlar yürüme ve hızlı yürüme eylemi içinde alındığından gerçek konum ile tahmin edilen konum arasında genelde fark olduğu görülmektedir. Okuyucunun hareketli taşıyıcının sabit olduğu modelimizde okuyucunun ekranının kullanıcı tarafından net bir şekilde görüldüğü vücuda dik konumu nedeni ile öndeki taşıyıcılardan sinyal alması da Çizelge 5.3'deki sonuca etki etmiştir.

Çizelge 5.3 detaylı bir şekilde incelendiğinde:

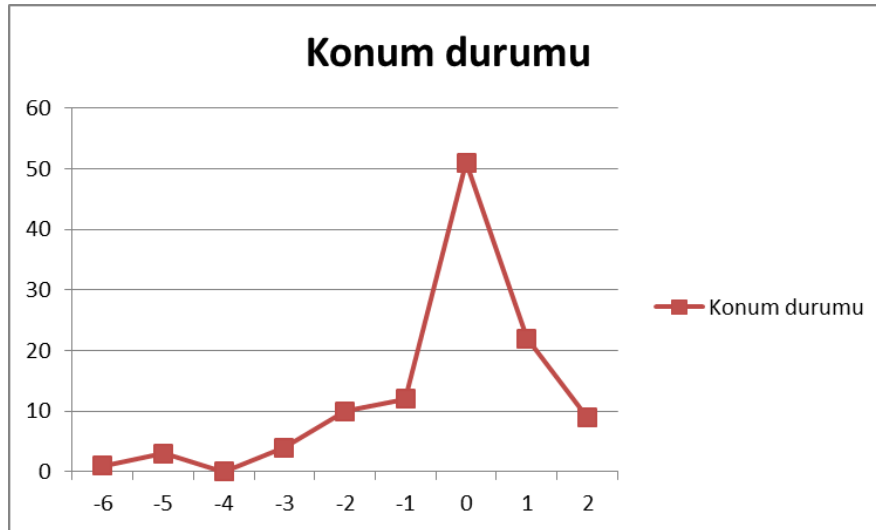
1. 112 konumdan 61 tanesini yanlış tespit ettiği görülmüştür. Buna karşılık 51 tanesi doğru tespit edilmiştir.
2. 112 konumum sadece 30 tanesinde, gerçek konumun gerisinde bulunan bir konumdan okuma değeri alınmıştır. Buna karşılık 82 tanesinde ise ileriki bir taşıyıcıdan okuma değeri alınmıştır.
3. 6 taşıyıcı (6 metre) geriden (6 metre geride) tahmin yapılan sonuçlar 1 tanedir.
4. 5 taşıyıcı (5 metre) geriden (5 metre geride) tahmin yapılan sonuçlar 3 tanedir.
5. 4 taşıyıcı (4 metre) geriden (4 metre geride) tahmin yapılan sonuçlar bulunmamaktadır.
6. 3 taşıyıcı (3 metre) geriden (3 metre geride) tahmin yapılan sonuçlar 4 tanedir.
7. 2 taşıyıcı (2 metre) geriden (2 metre geride) tahmin yapılan sonuçlar 10 tanedir.
8. 1 taşıyıcı (1 metre) geriden (1 metre geride) tahmin yapılan sonuçlar 12 tanedir.

9. Tam konum bilgisi alınan sonuçlar 30 tanedir.
10. 1 taşıyıcı (1 metre) ileriden (1 metre ileride) tahmin yapılan sonuçlar 22 tanedir.
11. 2 taşıyıcı (2 metre) ileriden (2 metre ileride) tahmin yapılan sonuçlar 9 tanedir.

3. ve 4. maddeler rastlantısal olarak değerlendirilmiştir. Yukarıda açıklanan maddeler Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Hata değerleri ve yüzdeleri.

Hata değeri (metre)	Açıklama	Sonuçlar	Yüzdesi (%)
-6	Tahmin edilen konum gerçek konumun 6 metre gerisindedir.	1	0,89
-5	Tahmin edilen konum gerçek konumun 5 metre gerisindedir.	3	2,68
-4	Tahmin edilen konum gerçek konumun 4 metre gerisindedir.	0	0
-3	Tahmin edilen konum gerçek konumun 3 metre gerisindedir.	4	3,57
-2	Tahmin edilen konum gerçek konumun 2 metre gerisindedir.	10	8,93
-1	Tahmin edilen konum gerçek konumun 1 metre gerisindedir.	12	10,71
0	Tahmin edilen konum ile gerçek aynıdır.	51	45,54
1	Tahmin edilen konum gerçek konumun 1 metre ilerisindedir.	22	19,64
2	Tahmin edilen konum gerçek konumun 2 metre ilerisindedir.	9	8,04
Toplam		112	



Şekil 5.12. Sonuçların grafiksel gösterimi.

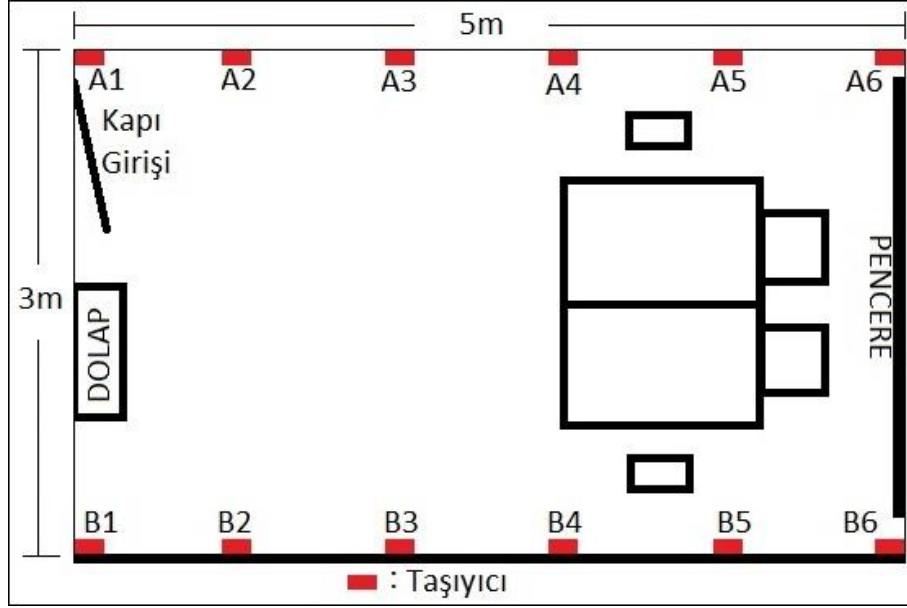
Çizelge 5.5. Konumsal hassasiyet ve yüzdesi.

<b>Konumsal Hassasiyet</b>	<b>Ölçüm Sayısı</b>	<b>Yüzdesi (%)</b>
Konumsal hassasiyet $\pm 1$ metre	85/112	75,89
Konumsal hassasiyet $\pm 2$ metre	104/112	92,85

Bu bağlamda 112 ölçümün toplam 85 tanesinde konumsal hassasiyetin  $\pm 1$  metre olduğu görülür. Bu alandaki değerler 85 tane olup yaklaşık %76'sını oluşturmaktadır. Oda (sınıf) ve koridor ayrımının açık bir şekilde yapılabildiği bu çalışmada konum hassasiyetinin  $\pm 1$  metre olduğu söylenebilir. Bunun yanında tahmin edilen konum değerlerinin, gerçek konum değerinin yakın komşulukları olduğu görülmektedir (0,76 olasılıkla). Yapılan bu çalışmada, en iyi sinyal değerinin okuyucuya göre en yakında olan taşıyıcıdan alınması beklenirken anten yönüne göre en iyi sinyal değerinin 2. veya 3. en yakın taşıyıcıdan alındığı gözlemlenmiştir. En iyi sinyal değerinin en yakın taşıyıcıdan alınmamış olması coğrafi yakınlık yaklaşımına göre elde edilen sonuçlarda sapmalara neden olmuştur. Bunun yanında testler sırasında okuyucuya en yakın olan taşıyıcının okunduğu halde alınan sinyal değerinin 2. veya 3. en yakın taşıyıcıdan daha düşük olduğu da gözlemlenmiştir.

### **5.3.2. Model 2: Taşıyıcıların Yan Duvarlara Karşılıklı Olarak Yerleştirilmesi**

Bir başka çalışmada,  $3 \times 5 \text{ m}^2$  taban alanına sahip çalışma odasına Şekil 5.13'te gösterildiği taşıyıcılar yerleştirilmiştir. Taşıyıcıların yerden yüksekliği 220 cm dir. Her bir taşıyıcı arasında 1 metre mesafe bulunmaktadır.



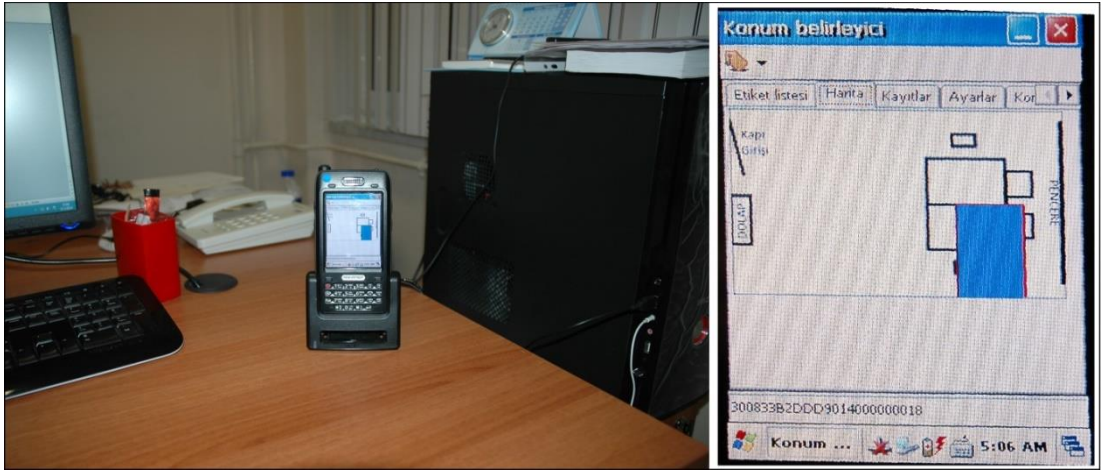
Şekil 5.13. Oda içerisinde etiketlerin düzeni.

Bir önceki çalışmaya benzer şekilde Coğrafi Yakınlık Yaklaşımı kullanılarak konum tespit edilmeye çalışılmıştır. Burada önceki çalışmadan farklı olarak taşıyıcılar tavana yapıştırılmamış, Şekil 5.14’te gösterildiği gibi yan duvarlara yapıştırılmıştır. Ayrıca program ara yüzüne Şekil 5.15’ te de gösterildiği gibi oda planı eklenmiş ve kişinin konumu görsel olarak kullanıcıya sunulmuştur. Yapılan çalışmada oda içerisinde gezinilmiş, gerçek konum değerleri ve tahmin edilen konum değerleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Önceki çalışmada konum tespiti için belirlenen periyod 2 sn. olarak seçilmişti. Bu çalışmada konum tespiti olarak belirlenen periyod 1 sn. ve 2 sn. olarak ayrı ayrı seçilmiş ve test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda detaylarıyla açıklanmıştır.





Şekil 5.14. Taşıyıcıların bulunduğu odanın görünümü ve taşıyıcı yakın görünüm.



Şekil 5.15. Program mobil cihaz üzerinde çalışırken.

Birbirini takip eden A düğümleri arasında 1 metre, yine benzer şekilde birbirini takip eden B düğümleri arasında 1 metre ve karşılıklı aynı hizada yer alan aynı numaralı A ve B düğümleri arasında ise 3 metre mesafe bulunmaktadır (Şekil 5.13). Periyodun 1 saniye olarak belirlendiği testte elde edilen sonuçlar Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Kişi oda içerisinde hareket halindeyken elde edilen sonuçlar (Periyod 1 sn.).

Okuma Sayısı	Süre Karşılıkları (1 sn. lik Periyod)	Tahmin edilen konum	Gerçek Konum
1	1	A3 Düğümü	A1 Düğümü
2	2	A2 Düğümü	A1 Düğümü
3	3	B2 Düğümü	A1 Düğümü
4	4	A1 Düğümü	A1 Düğümü
5	5	A1 Düğümü	A1 Düğümü
6	6	A2 Düğümü	A2 Düğümü
7	7	A2 Düğümü	A2 Düğümü
8	8	A2 Düğümü	A2 Düğümü
9	9	A1 Düğümü	A3 Düğümü
10	10	A3 Düğümü	A3 Düğümü
11	11	A2 Düğümü	A3 Düğümü
12	12	A4 Düğümü	A4 Düğümü
13	13	A4 Düğümü	A4 Düğümü
14	14	A4 Düğümü	A4 Düğümü
15	15	A5 Düğümü	A5 Düğümü
16	16	A5 Düğümü	A5 Düğümü
17	17	A5 Düğümü	A5 Düğümü
18	18	A5 Düğümü	A5 Düğümü
19	19	A5 Düğümü	A5 Düğümü
20	20	A5 Düğümü	A5 Düğümü
21	21	A5 Düğümü	A5 Düğümü
22	22	A5 Düğümü	A5 Düğümü
23	23	A6 Düğümü	A6 Düğümü
24	24	A6 Düğümü	A6 Düğümü
25	25	A6 Düğümü	A6 Düğümü
26	26	A6 Düğümü	A6 Düğümü
27	27	A6 Düğümü	A6 Düğümü
28	28	A6 Düğümü	A5 Düğümü
29	29	A5 Düğümü	A5 Düğümü
30	30	A4 Düğümü	A4 Düğümü
31	31	A4 Düğümü	A4 Düğümü
32	32	A4 Düğümü	A4 Düğümü
33	33	A3 Düğümü	A3 Düğümü
34	34	A4 Düğümü	A3 Düğümü
35	35	A3 Düğümü	A2 Düğümü
36	36	A2 Düğümü	A2 Düğümü
37	37	A2 Düğümü	A2 Düğümü
38	38	A2 Düğümü	A2 Düğümü
39	39	A1 Düğümü	A1 Düğümü
40	40	A1 Düğümü	A1 Düğümü
41	41	A2 Düğümü	A1 Düğümü
42	42	B2 Düğümü	B2 Düğümü
43	43	B2 Düğümü	B2 Düğümü
44	44	B2 Düğümü	B2 Düğümü
45	45	B2 Düğümü	B2 Düğümü
46	46	B1 Düğümü	B1 Düğümü

Çizelge 5.6. (devam ediyor).

47	47	B1 Düğümü	B2 Düğümü
48	48	B1 Düğümü	B3 Düğümü
49	49	B6 Düğümü	B3 Düğümü
50	50	B3 Düğümü	B3 Düğümü
51	51	B3 Düğümü	B3 Düğümü
52	52	B4 Düğümü	B4 Düğümü
53	53	B4 Düğümü	B5 Düğümü
54	54	B5 Düğümü	B5 Düğümü
55	55	B5 Düğümü	B5 Düğümü
56	56	B6 Düğümü	B6 Düğümü
57	57	B5 Düğümü	B5 Düğümü
58	58	B6 Düğümü	B5 Düğümü
59	59	B6 Düğümü	B4 Düğümü
60	60	B6 Düğümü	B4 Düğümü
61	61	B5 Düğümü	B4 Düğümü
62	62	B4 Düğümü	B4 Düğümü
63	63	A5 Düğümü	B3 Düğümü
64	64	B4 Düğümü	B3 Düğümü
65	65	B3 Düğümü	B3 Düğümü
66	66	B3 Düğümü	B3 Düğümü
67	67	B2 Düğümü	B2 Düğümü
68	68	B2 Düğümü	B1 Düğümü
69	69	B1 Düğümü	B1 Düğümü
70	70	A2 Düğümü	A2 Düğümü
71	71	A3 Düğümü	A3 Düğümü
72	72	A3 Düğümü	A3 Düğümü
73	73	A3 Düğümü	A4 Düğümü
74	74	A4 Düğümü	A4 Düğümü
75	75	A4 Düğümü	B4 Düğümü
76	76	A3 Düğümü	B4 Düğümü
77	77	B5 Düğümü	B4 Düğümü
78	78	B4 Düğümü	B4 Düğümü
79	79	B4 Düğümü	B3 Düğümü
80	80	B4 Düğümü	B3 Düğümü
81	81	B3 Düğümü	B3 Düğümü
82	82	B3 Düğümü	B2 Düğümü
83	83	B3 Düğümü	B2 Düğümü
84	84	B1 Düğümü	B1 Düğümü
85	85	B2 Düğümü	B1 Düğümü
86	86	B3 Düğümü	A2 Düğümü
87	87	A2 Düğümü	A2 Düğümü
88	88	A1 Düğümü	A2 Düğümü
89	89	A2 Düğümü	A3 Düğümü
90	90	A3 Düğümü	A3 Düğümü
91	91	A3 Düğümü	A4 Düğümü
92	92	A3 Düğümü	A4 Düğümü
93	93	B5 Düğümü	A4 Düğümü
94	94	A4 Düğümü	A4 Düğümü
95	95	A5 Düğümü	B4 Düğümü
96	96	B4 Düğümü	B4 Düğümü
97	97	B4 Düğümü	B5 Düğümü
98	98	B5 Düğümü	B5 Düğümü
99	99	B5 Düğümü	B6 Düğümü
100	100	B5 Düğümü	B6 Düğümü

Çizelge 5.6. (devam ediyor).

101	101	B6 Düğümü	B6 Düğümü
102	102	B6 Düğümü	B6 Düğümü
103	103	B5 Düğümü	B5 Düğümü
104	104	B4 Düğümü	B4 Düğümü
105	105	B5 Düğümü	B3 Düğümü
106	106	B4 Düğümü	B2 Düğümü

Çizelge 5.7’de periyodun 2 sn. olarak belirlendiği testte elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 5.7. Kişi oda içerisinde hareket halindeyken elde edilen sonuçlar (Periyod 2 sn.).

Okuma Sayısı	Süre Karşılıkları (2 sn lik Periyod)	Tahmin Edilen Konum	Gerçek Konum
1	2	A1 Düğümü	A1 Düğümü
2	4	A1 Düğümü	A1 Düğümü
3	6	A2 Düğümü	A2 Düğümü
4	8	A3 Düğümü	A3 Düğümü
5	10	A4 Düğümü	A4 Düğümü
6	12	A5 Düğümü	A5 Düğümü
7	14	A5 Düğümü	A5 Düğümü
8	16	A6 Düğümü	A6 Düğümü
9	18	A6 Düğümü	A5 Düğümü
10	20	A4 Düğümü	A4 Düğümü
11	22	A3 Düğümü	A3 Düğümü
12	24	A3 Düğümü	A3 Düğümü
13	26	B3 Düğümü	B3 Düğümü
14	28	B3 Düğümü	B4 Düğümü
15	30	B5 Düğümü	B5 Düğümü
16	32	B5 Düğümü	B6 Düğümü
17	34	B6 Düğümü	B6 Düğümü
18	36	B6 Düğümü	B5 Düğümü
19	38	B5 Düğümü	B5 Düğümü
20	40	B4 Düğümü	B4 Düğümü
21	42	B3 Düğümü	B3 Düğümü
22	44	B3 Düğümü	B2 Düğümü
23	46	B3 Düğümü	B1 Düğümü
24	48	B2 Düğümü	B1 Düğümü
25	50	B1 Düğümü	B1 Düğümü
26	52	B2 Düğümü	B2 Düğümü
27	54	B3 Düğümü	B3 Düğümü
28	56	B4 Düğümü	B4 Düğümü
29	58	B4 Düğümü	B4 Düğümü
30	60	A4 Düğümü	A4 Düğümü
31	62	A3 Düğümü	B4 Düğümü
32	64	B3 Düğümü	B3 Düğümü
33	66	B4 Düğümü	B3 Düğümü
34	68	B3 Düğümü	A3 Düğümü
35	70	A3 Düğümü	A3 Düğümü
36	72	A3 Düğümü	A2 Düğümü

Çizelge 5.7. (devam ediyor).

37	74	A1 Düğümü	A2 Düğümü
38	76	A3 Düğümü	A3 Düğümü
39	78	B3 Düğümü	B3 Düğümü
40	80	B3 Düğümü	B3 Düğümü
41	82	A3 Düğümü	A4 Düğümü
42	84	A4 Düğümü	A4 Düğümü
43	86	B4 Düğümü	B4 Düğümü
44	88	B4 Düğümü	B4 Düğümü
45	90	B4 Düğümü	B3 Düğümü
46	92	B3 Düğümü	B3 Düğümü
47	94	B3 Düğümü	B2 Düğümü
48	96	B2 Düğümü	B2 Düğümü
49	98	B3 Düğümü	B3 Düğümü
50	100	B3 Düğümü	B4 Düğümü
51	102	B4 Düğümü	B5 Düğümü
52	104	B5 Düğümü	B6 Düğümü
53	106	B6 Düğümü	B6 Düğümü
54	108	B6 Düğümü	B6 Düğümü
55	110	B6 Düğümü	B5 Düğümü
56	112	B4 Düğümü	B4 Düğümü
57	114	B3 Düğümü	B3 Düğümü
58	116	B3 Düğümü	A3 Düğümü
59	118	A3 Düğümü	A3 Düğümü
60	120	A2 Düğümü	A2 Düğümü
61	122	A1 Düğümü	A1 Düğümü
62	124	A1 Düğümü	A2 Düğümü
63	126	A3 Düğümü	A3 Düğümü
64	128	A4 Düğümü	A4 Düğümü
65	130	A4 Düğümü	A5 Düğümü
66	132	A5 Düğümü	A5 Düğümü
67	134	A6 Düğümü	A6 Düğümü
68	136	A6 Düğümü	A5 Düğümü
69	138	A5 Düğümü	A4 Düğümü
70	140	A3 Düğümü	A3 Düğümü
71	142	A3 Düğümü	A3 Düğümü
72	144	A3 Düğümü	A3 Düğümü
73	146	A3 Düğümü	A3 Düğümü
74	148	A3 Düğümü	A3 Düğümü
75	150	A3 Düğümü	A3 Düğümü
76	152	B3 Düğümü	B3 Düğümü
77	154	B3 Düğümü	B3 Düğümü
78	156	B3 Düğümü	B3 Düğümü
79	158	B3 Düğümü	B3 Düğümü
80	160	B3 Düğümü	B3 Düğümü
81	162	B3 Düğümü	B2 Düğümü
82	164	B2 Düğümü	B2 Düğümü
83	166	B2 Düğümü	B2 Düğümü
84	168	B2 Düğümü	B1 Düğümü
85	170	B1 Düğümü	B1 Düğümü
86	172	B1 Düğümü	A2 Düğümü
87	174	A1 Düğümü	A1 Düğümü
88	176	A1 Düğümü	A1 Düğümü
89	178	A1 Düğümü	A1 Düğümü
90	180	A2 Düğümü	A2 Düğümü

Çizelge 5.7. (devam ediyor).

91	182	A1 Dügümü	A2 Dügümü
92	184	A3 Dügümü	A3 Dügümü
93	186	A4 Dügümü	A4 Dügümü
94	188	A5 Dügümü	A4 Dügümü
95	190	A4 Dügümü	A4 Dügümü
96	192	A4 Dügümü	A4 Dügümü
97	194	A4 Dügümü	A4 Dügümü
98	196	A4 Dügümü	A4 Dügümü
99	198	A4 Dügümü	A4 Dügümü
100	200	A4 Dügümü	A4 Dügümü
101	202	B4 Dügümü	B4 Dügümü
102	204	B4 Dügümü	B4 Dügümü
103	206	B4 Dügümü	B4 Dügümü
104	208	B4 Dügümü	B5 Dügümü
105	210	B5 Dügümü	B5 Dügümü
106	212	B5 Dügümü	B5 Dügümü
107	214	B5 Dügümü	B5 Dügümü
108	216	B5 Dügümü	B5 Dügümü
109	218	B5 Dügümü	B5 Dügümü
110	220	B5 Dügümü	B5 Dügümü

Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7 incelendiğinde, Çizelge 5.6 için 106 konumdan 41 tanesinin hatalı tespit edildiği görülmektedir. Buna karşılık 65 tanesi doğru tespit edilmiştir. Çizelge 5.7 için 110 konumdan 80 tanesinin hatalı tespit edildiği görülmektedir. Buna karşılık 30 tanesi doğru tespit edilmiştir.

Dügüm isimlerinde yer alan, A ve B odayı kısa kenarından uzunlamasına bölecek şekilde ayrılan 2 bölgeyi ifade etmektedir. 1,5 metre genişliğine sahip bu bölgeler 1 metre uzunluğunda tekrar bölümlere ayrılmış ve bu ayırmda düğüm isminde yer alan sıralı numara ile ifade edilmiştir. Örneğin Şekil 5.15'te verilen program ekran görüntüsünde mavi ile gösterilmiş olan alan B5 düğümüne ait bölgeyi göstermektedir.

Çizelge 5.8'de verilen hata değerleri hesaplanırken tahmin edilen konum ile gerçek konum aynı bölgede (her ikisi de A bölgesinde veya B bölgesinde) ise; çıkan değerlerin  $\pm 1$  metre veya  $\pm 2$  metre olduğu gözlemlenmiştir. Tahmin edilen konum ile gerçek konum aynı bölgede değil (biri A diğeri B bölgesinde) ise; karşılıklı iki düğüm arasının 3 metre olduğu göz önünde bulundurularak, hata değeri  $\pm 3$  metre şeklinde ifade edilmiştir. Oda içerisinde çapraz yönlü yapılan yürümlerde bu durumla karşılaşmıştır.

Çizelge 5.8. Hata değerleri ve yüzdeleri.

Hata değeri (metre)	Açıklama	Periyod 1 sn.		Periyod 2 sn.	
		Sonuçlar	Yüzdesi (%)	Sonuçlar	Yüzdesi (%)
±3	Tahmin edilen konum gerçek konumun 3 metre ilerisinde veya gerisindedir.	7	6,6	4	3,67
±2	Tahmin edilen konum gerçek konumun 2 metre ilerisinde veya gerisindedir.	8	7,55	0	0
±1	Tahmin edilen konum gerçek konumun 1 metre ilerisinde veya gerisindedir.	26	24,52	26	23,64
0	Tahmin edilen konum ile gerçek konum aynıdır.	65	61,32	80	72,72
<b>Toplam</b>		106		110	

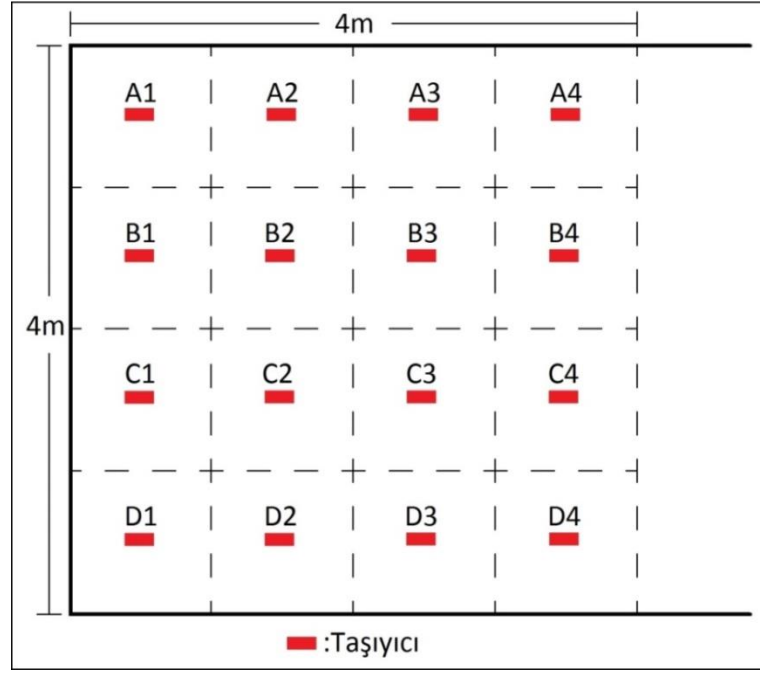
Periyodun 1 sn. olarak belirlendiği durumda yapılan 106 ölçümden 91 ölçüm değeri ±1 metre aralığındadır ve toplam ölçümün yaklaşık %86 lık dilimini oluşturmaktadır. Periyodun 2 sn. olarak belirlendiği durumda ise yapılan 110 ölçümden 106 ölçüm değeri ±1 metre aralığındadır ve toplam ölçümün yaklaşık %96 lık dilimini oluşturmaktadır. Bu çalışmada, program 2 farklı periyotta test edilerek sonuçları karşılaştırılmıştır. Periyod süresinin 1 sn. değil de 2 sn. olarak belirlenmesi, her ne kadar kullanıcıya sunulan konum bilgisinde gecikme anlamını taşısa da doğru sonuçlar üzerindeki etkisi açıktır. Bunun yanında taşıyıcıların tavanda değil, odanın yan duvarlarında olmasının ve buna bağlı olarak okuyucu ile okuyucuya en yakın taşıyıcı arasındaki mesafenin azalmasının sinyal değeri (RSS) üzerinde olumlu etki yaptığı ve elde edilen sonuçlarda tutarlılığı arttırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.5 dikkatle incelendiğinde konumsal hassasiyet ±2 metre durumu için elde edilen sonuçların yüzdelerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.9. Konumsal Hassasiyet ve yüzdesi.

Konumsal Hassasiyet	Periyod 1 sn.		Periyod 2 sn.	
	Ölçüm Sayısı	Yüzdesi (%)	Ölçüm Sayısı	Yüzdesi (%)
Konumsal hassasiyet ±1 metre	91/106	85,85	106/110	96,36
Konumsal hassasiyet ±2 metre	99/106	93,40	106/110	96,36

### 5.3.3. Model 3: Taşıyıcıların Alanı Birer Metrekarelik Hücelere Ayracak Şekilde Yerleştirilmesi

Bir başka çalışmada ise, 4 m x 4 m ebatlarında bir alana Şekil 5.16’da gösterildiği gibi taşıyıcılar yerleştirilmiştir. Taşıyıcıların yerden yüksekliği 250 cm dir. Birbirine komşu olan taşıyıcılar arasındaki mesafe 1 metredir.



Şekil 5.16. Oda içerisinde etiketlerin düzeni.

Bu çalışmada taşıyıcılar tavana yapıştırılmıştır. Bölüm 4 içerisinde “Geliştirilen Mobil Yazılım ile Gerçekleştirilen Taşıyıcı Testleri” başlığı altında taşıyıcıların beton yüzeyden strafor ile ayrılarak yapıştırılması ve beton yüzeye doğrudan yapıştırılması durumları detaylı olarak incelenmişti. İlgili bölümde de belirtildiği gibi yapılan testler sonucunda strafor ile beton yüzeyden ayrılan taşıyıcılardan daha iyi sinyal alındığı gözlemlenmiş ve bu amaçla taşıyıcıların bina içerisine yerleştirilmesi esnasında taşıyıcılar, strafordan yapılmış bir aparat ile tavadan uzaklaştırılarak yapıştırılmıştı. Çalışmanın yapıldığı odanın tavanı asma tavadır ve strafor ile kaplıdır. Taşıyıcıların yapıştırıldığı asma tavan ile binanın beton tavanı arasında yaklaşık yarım metre yükseklikte bir boşluk bulunmaktadır. Bundan dolayı, önceki iki çalışmada taşıyıcıları beton tavan yüzeyinden ayırmak için kullanılan strafor



malzemedan yapılmış aparatlara ihtiyaç duyulmamış ve Şekil 5.17’de gösterildiği gibi taşıyıcılar asma tavana doğrudan yapıştırılmıştır. Önceki iki çalışmaya benzer şekilde program çalıştırılmış ve oda içerisinde hareket edilerek test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.10’da detayları ile sunulmuştur.



Şekil 5.17. Taşıyıcıların yapıştırıldığı tavan yüzeyi.

Çizelge 5.10. Kişi oda içerisinde hareket halindeyken elde edilen sonuçlar (Periyod 2 sn.).

Okuma Sayısı	Süre Karşılıkları (2 sn. lik Periyod)	Tahmin edilen konum	Gerçek Konum
1	2	D3 Düğümü	D3 Düğümü
2	4	D3 Düğümü	D3 Düğümü
3	6	D3 Düğümü	D3 Düğümü
4	8	C3 Düğümü	C3 Düğümü
5	10	C3 Düğümü	C3 Düğümü
6	12	C3 Düğümü	C3 Düğümü
7	14	C3 Düğümü	B3 Düğümü
8	16	B3 Düğümü	B3 Düğümü
9	18	A3 Düğümü	A3 Düğümü
10	20	A3 Düğümü	A3 Düğümü
11	22	A3 Düğümü	A3 Düğümü
12	24	A4 Düğümü	A2 Düğümü
13	26	A4 Düğümü	A2 Düğümü
14	28	A2 Düğümü	A2 Düğümü
15	30	A2 Düğümü	A2 Düğümü
16	32	A2 Düğümü	A1 Düğümü
17	34	A1 Düğümü	A1 Düğümü
18	36	A1 Düğümü	A1 Düğümü
19	38	A1 Düğümü	A1 Düğümü

Çizelge 5.10. (devam ediyor).

20	40	A1 Düğümü	A1 Düğümü
21	42	A2 Düğümü	A2 Düğümü
22	44	A2 Düğümü	A2 Düğümü
23	46	A2 Düğümü	A2 Düğümü
24	48	A2 Düğümü	B2 Düğümü
25	50	A2 Düğümü	B2 Düğümü
26	52	B2 Düğümü	B2 Düğümü
27	54	B2 Düğümü	B2 Düğümü
28	56	B2 Düğümü	B3 Düğümü
29	58	B3 Düğümü	B3 Düğümü
30	60	B3 Düğümü	B3 Düğümü
31	62	B4 Düğümü	B4 Düğümü
32	64	B4 Düğümü	B4 Düğümü
33	66	B4 Düğümü	B4 Düğümü
34	68	B4 Düğümü	B4 Düğümü
35	70	B4 Düğümü	B4 Düğümü
36	72	B4 Düğümü	C4 Düğümü
37	74	C4 Düğümü	C4 Düğümü
38	76	C4 Düğümü	C4 Düğümü
39	78	C4 Düğümü	D4 Düğümü
40	80	D4 Düğümü	D4 Düğümü
41	82	D4 Düğümü	D4 Düğümü
42	84	D4 Düğümü	D4 Düğümü
43	86	D2 Düğümü	C4 Düğümü
44	88	C4 Düğümü	C4 Düğümü
45	90	C4 Düğümü	C4 Düğümü
46	92	B4 Düğümü	B4 Düğümü
47	94	B4 Düğümü	B4 Düğümü
48	96	B4 Düğümü	B4 Düğümü
49	98	A4 Düğümü	B3 Düğümü
50	100	A4 Düğümü	B3 Düğümü
51	102	B3 Düğümü	B3 Düğümü
52	104	B3 Düğümü	B3 Düğümü
53	106	B2 Düğümü	B2 Düğümü
54	108	A2 Düğümü	B2 Düğümü
55	110	A2 Düğümü	A2 Düğümü
56	112	A2 Düğümü	A2 Düğümü
57	114	B2 Düğümü	A2 Düğümü
58	116	A2 Düğümü	A2 Düğümü
59	118	A4 Düğümü	A3 Düğümü
60	120	A3 Düğümü	A3 Düğümü
61	122	A3 Düğümü	A3 Düğümü
62	124	A4 Düğümü	A4 Düğümü
63	126	A4 Düğümü	A4 Düğümü
64	128	A4 Düğümü	A4 Düğümü
65	130	A4 Düğümü	B4 Düğümü
66	132	B4 Düğümü	B4 Düğümü
67	134	B4 Düğümü	B4 Düğümü
68	136	C4 Düğümü	C4 Düğümü
69	138	C4 Düğümü	C4 Düğümü
70	140	C3 Düğümü	C4 Düğümü
71	142	D4 Düğümü	D4 Düğümü
72	144	D4 Düğümü	D4 Düğümü
73	146	D4 Düğümü	D4 Düğümü

Çizelge 5.10. (devam ediyor).

74	148	D2 Dügümü	D3 Dügümü
75	150	D3 Dügümü	D3 Dügümü
76	152	D3 Dügümü	D3 Dügümü
77	154	D3 Dügümü	D3 Dügümü
78	156	D2 Dügümü	D2 Dügümü
79	158	D2 Dügümü	D2 Dügümü
80	160	D2 Dügümü	D2 Dügümü
81	162	D1 Dügümü	D1 Dügümü
82	164	D1 Dügümü	D1 Dügümü
83	166	D1 Dügümü	D1 Dügümü
84	168	D1 Dügümü	D1 Dügümü
85	170	D1 Dügümü	D1 Dügümü
86	172	D1 Dügümü	D2 Dügümü
87	174	D1 Dügümü	D2 Dügümü
88	176	D1 Dügümü	D2 Dügümü
89	178	D4 Dügümü	D3 Dügümü
90	180	D3 Dügümü	D3 Dügümü

Çizelge 5.10 incelendiğinde tahmin edilen 90 konumdan 22 tanesinin hatalı tespit edildiği görülmektedir. Buna karşılık 68 tanesi doğru tespit edilmiştir. Şekil 5.16’da gösterilen alan 1’er m<sup>2</sup> lik 16 bölgeye ayrılmıştır. Her bir bölgeye de merkezine gelecek şekilde birer adet taşıyıcı yerleştirilmiştir. Çizelge 5.10’daki tahmin edilen konum değerleri, bölgeler dikkate alınarak yazılmıştır.

Çizelge 5.11. Hata değerleri ve yüzdeleri.

Hata değeri (metre)	Açıklama	Periyod 2 sn.	
		Sonuçlar	Yüzdesi (%)
±2	Tahmin edilen konum gerçek konumun 2 metre ilerisinde veya gerisindedir.	3	3,33
±1	Tahmin edilen konum gerçek konumun 1 metre ilerisinde veya gerisindedir.	19	21,11
0	Tahmin edilen konum ile gerçek konum aynıdır.	68	75,56
<b>Toplam</b>		90	

Çizelge 5.11’de verilen hata değerleri, bölgesel olarak da değerlendirilebilir. Tahmin edilen konum ile gerçek konum değeri aynı bölge içerisinde ise hata değeri 0 olarak alınmıştır. Tahmin edilen konum, gerçek konum değerinin birinci derece komşularından biri ise ±1, ikinci derece komşularından biri ise ±2 olarak alınmıştır. Bu çalışmada en yüksek hata değerinin ±2 metre olduğu gözlemlenmiştir. Bu duruma, yapılan 90 ölçümden sadece 3 ölçümde rastlanmıştır. Yapılan 90 ölçümden 87 ölçüm değeri ±1 metre aralığındadır ve toplam ölçümün yaklaşık %96 lık dilimini oluşturmaktadır.

Yapılan alışmalar göz önünde bulundurularak, taşıyıcıların sıklığına ve okuyucuya yakınlığına bağlı olarak okunan RSS değerinin anlamlı olduğu söylenebilir. Bunun yanında anten yönünün de RSS değeri üzerinde etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Model 2 ve model 3 için yapılan testlerde elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu grlmektedir. Kullanılabilirliği ortama bağlı olarak değişecektir. Model 2 için taşıyıcıların yapıştırılacağı karşılıklı iki duvar arasındaki mesafenin taşıyıcının okunabilirliğine bağlı olarak en fazla 8-10 metre olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

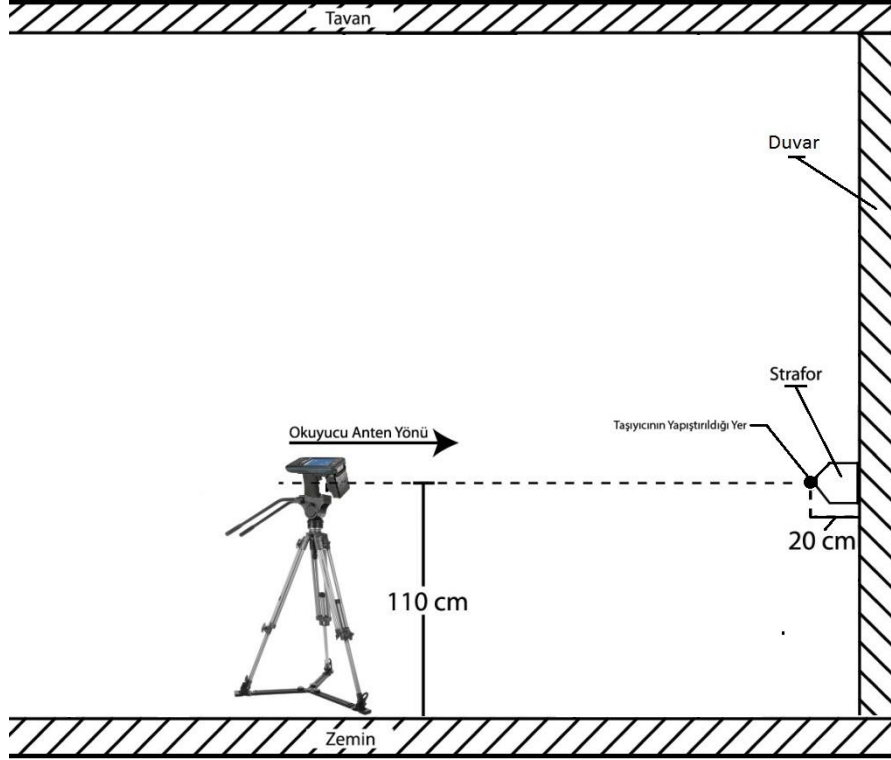
## BÖLÜM 6

### RSSI DEĞERİNE BAĞLI UZAKLIK TAHMİNİ VE TRİLATERASYON YÖNTEMİ KULLANILARAK KONUM TESPİTİ

Bu bölümde belirli koşullar altında gerçekleştirilen RSSI değerlerinin ölçümü ve ölçülen bu değerlere bağlı olarak elde edilen RSSI-Uzaklık dönüşüm fonksiyonu açıklanmaktadır. Bu fonksiyon ile hedefin, konumları bilinen üç referans noktasına olan uzaklığı hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu uzaklık değerleri trilaterasyon yöntemi için gerekmektedir. Trilaterasyon yönteminin detayları bu bölüm içerisinde ilgili başlık altında açıklanmaktadır. Bu yöntemle ilgili olarak geliştirilen yazılım ile bina içi konum tespit çalışmaları yapılmış ve yazılım test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve başarımlar bölüm içerisinde açıklanmaktadır.

#### 6.1. RSSI DEĞERİNE BAĞLI UZAKLIK TAHMİNİ İÇİN YAPILAN ÖLÇÜMLER VE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

RSSI değeri okuyucunun, taşıyıcıdan aldığı sinyalin gücünü gösteren bir değerdir. RSSI değerinin değişimini etkileyen faktörlerin başında taşıyıcı ile okuyucu arasındaki mesafenin değişimi gelmektedir. Bunun yanında taşıyıcı ve okuyucu sabit birer noktaya yerleştirildiği durumlarda da RSSI değerinin her zaman aynı değerde okunmaması söz konusudur. Bu durum; okuyucunun batarya durumuna, ortamda hareketli kişi veya nesnelerin olması gibi sinyalin dağılımını etkileyebilecek herhangi bir duruma bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Yapılan deneysel ölçümlerle elde edilen veriler kullanılarak RSSI-Uzaklık dönüşümünü sağlayacak bir eğri bulmak mümkündür. RSSI-Uzaklık dönüşüm fonksiyonu oluşturmak amacıyla bir oda içerisinde Şekil 6.1'de gösterildiği gibi taşıyıcı sabit bir noktaya yerleştirilmiş ve okuyucu tripod yardımıyla taşıyıcı ile aynı yükseklik seviyesine ayarlanmıştır.



Şekil 6.1. RSSI ölçüm.

Ölçümler sırasında okuyucu yüksekliği sabit tutulmuştur. Şekil 6.1’de gösterildiği gibi okuyucu, taşıyıcıyı doğrudan görecek şekilde ölçümler yapılmıştır. 10 cm aralıklarla RSSI değerleri ölçülmüştür. Her ölçüm noktasında 100 okuma yapılmıştır. 100 okumanın ortalaması olan RSSI değerleri ve ölçüldüğünü noktanın taşıyıcıya uzaklığı tablosu Çizelde 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Her 10 cm lik mesafede ölçülen RSSI değerlerinin ortalamaları.

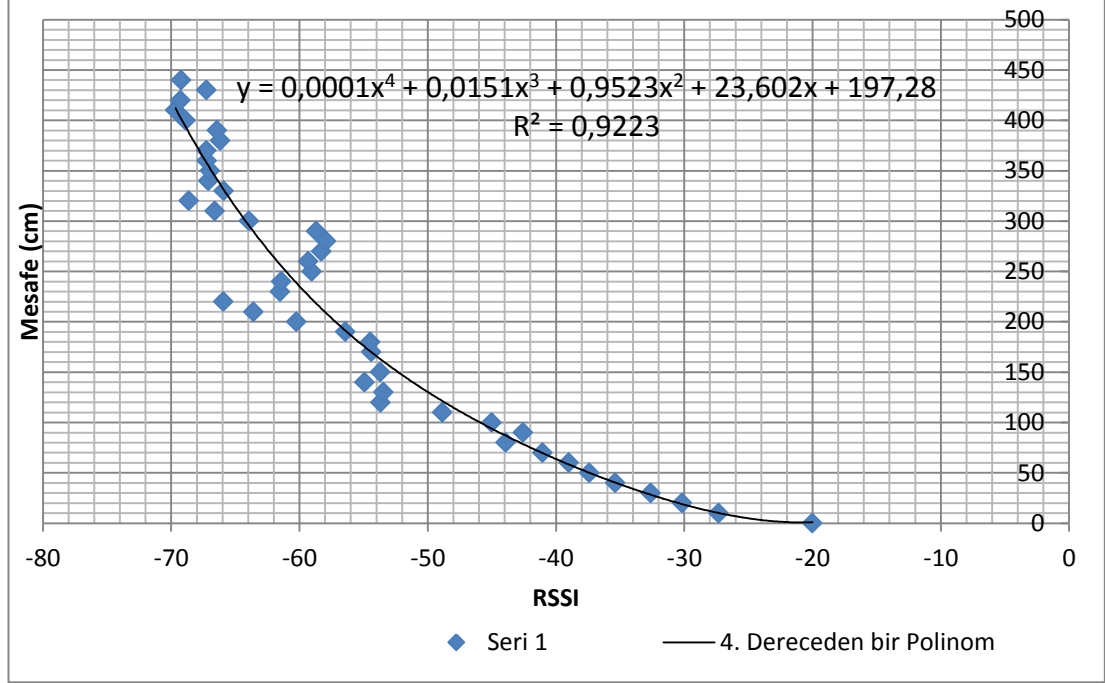
RSSI Ortalama	Mesafe (cm)
-21,976	0
-27,312	10
-30,16	20
-32,616	30
-35,392	40
-37,408	50
-39	60
-41,04	70
-43,92	80
-42,56	90
-45,008	100
-48,864	110
-53,68	120
-53,464	130
-54,92	140

Çizelge 6.1. (devam ediyor).

-53,704	150
-54,071	160
-54,408	170
-54,488	180
-56,424	190
-60,248	200
-63,597	210
-65,943	220
-61,504	230
-61,417	240
-59,048	250
-59,32	260
-58,288	270
-57,928	280
-58,704	290
-63,942	300
-66,595	310
-68,617	320
-65,905	330
-67,094	340
-66,97	350
-67,22	360
-67,265	370
-66,175	380
-66,44	390
-68,864	400
-69,67142857	410
-69,28	420
-67,254	430
-69,22786885	440

Benzer bir deneysel ölçüm farklı bir ortamda yapıldığında sonuçların farklı çıkması muhtemeldir. Boş bir odadaki sinyalin yayılımı ile içerisinde eşya olan bir odadaki sinyalin yayılımı farklılık göstermektedir. Buna bağlı olarak, RSS değerleri baz alınarak yapılacak hesaplamalarda hatalı sonuçlarla karşılaşılacağı unutulmamalıdır. Çizelge 6.1’de yer alan değerler için RSSI-Uzaklık dağılım grafiği ve bu grafik için elde edilen eğri Şekil 6.2’de gösterilmiştir. Bu tez kapsamında yaptığımız çalışmada yapılan ölçümlere bağlı olarak elde edilen veriler ışığında RSSI-Uzaklık denklemi 4. Dereceden bir polinom olarak alınmıştır. Denklemde Uzaklık (cm) olarak ifade edilen değişken, okuyucu ile taşıyıcı arasındaki mesafedir. RSSI değeri ise okuyucu ile arasındaki mesafenin belirlenmeye çalışıldığı taşıyıcıdan alınan RSSI değeridir.

$$Uzaklık (cm) = 0,0001 * RSSI^4 + 0,0151 * RSSI^3 + 0,9523 * RSSI^2 + 23,602 * RSSI + 197,28$$



Şekil 6.2. RSSI-Uzaklık verileri arasındaki ilişki

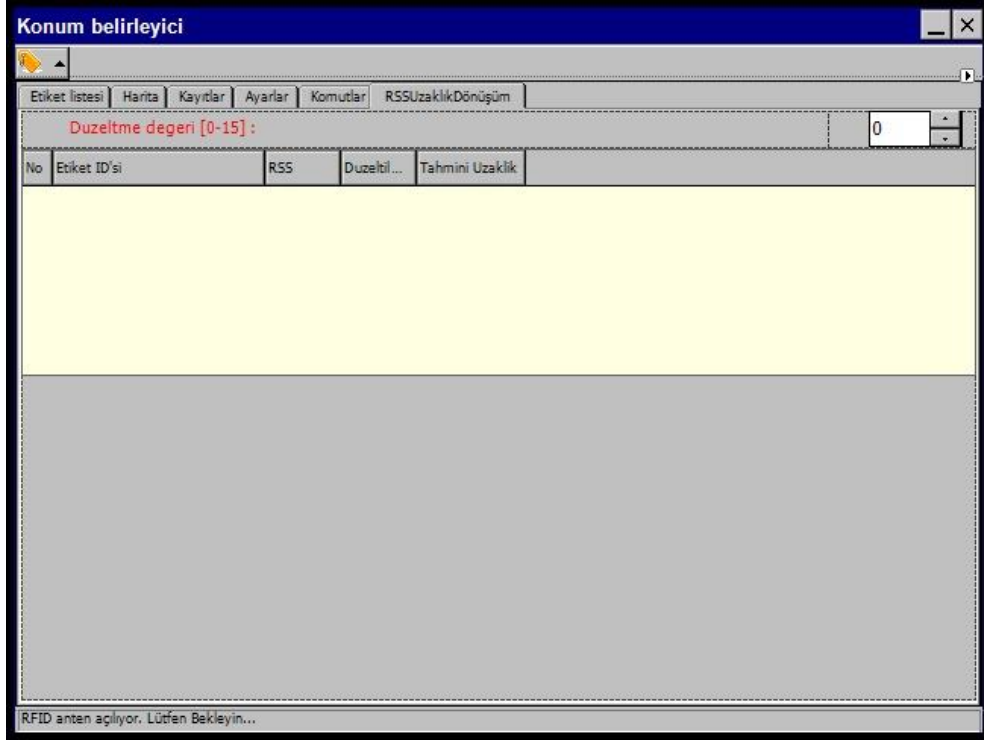
Şekil 6.2’de verilen grafik incelendiğinde, yaklaşık 100 cm mesafeye kadar olan ölçümlerde RSSI değerleri dağılımının lineer olduğu söylenebilir. Eğrinin bu noktaların üzerinden geçtiği görülmektedir. Okuyucu ve taşıyıcı arasındaki mesafe 100 cm nin üzerine çıktığı durumlarda değişken RSSI değerleri gözlemlenmiş ve eğri tam olarak bu noktalara karşılık gelmemektedir. RSSI ölçüm değerleri yaklaşık 100 cm ve üzeri ölçümlerde non-lineer dağılım göstermektedir. Buna bağlı olarak RSSI-Uzaklık dönüşüm fonksiyonu ile hesaplanacak mesafe değerlerinin bazı RSSI aralıklarında hata oranının yüksek olması beklenmektedir. Örneğin -53 ile -54 arasında değişen RSSI değerlerinin mesafe karşılıkları deneysel ölçümlerde 120 cm ile 170 cm aralığında gözlemlenmişken, bu değerler denklemde hesaplandığında yaklaşık 160 cm ile 170 cm aralığına sıkıştığı görülmektedir. Bunun anlamıda olası 40 cm hata demektir. Benzer şekilde -58 ile -60 aralığında ve -66 ile -68 aralığındaki RSSI değerleri içinde hesaplanacak mesafenin hatalı olması muhtemeldir.



### **6.1.1. RSSI Değerine Bağlı Olarak Hesaplanan Uzaklık Değerinin Kullanıcı Tarafından Ayarlanabilmesi**

RSSI ile uzaklık arasındakı ilişki radyo sinyallerinin çok yönlü dağılımına bağlı olarak değişmektedir. Nitekim literatürde geçen radyo haritalamasının kullanılış sebebi de budur. Bir oda veya kapalı mekân içerisinde yapılan RSSI değerlerine bağlı uzaklık ölçümleri radyo haritalamasında olduğu gibi farklı bir oda için yeniden yapılmalıdır. Oda içerisinde bazen eşyaların yerlerinin değiştirilmesi veya bazı eşyaların odadan dışarıya çıkarılması/dışarıdan odaya yeni eşya yerleştirilmesi gibi durumlarda radyo haritalamasının yeniden yapılması gerekebilmektedir. Benzer şekilde aynı durum RSSI değerine bağlı uzaklık ölçümleri içinde geçerlidir. Dolayısıyla yukarıda verilen RSSI uzaklık dönüşüm fonksiyonu ölçümlerin yapıldığı oda için idealdir ancak başka bir ortamda program test edilmek istendiğinde RSSI değerine bağlı olarak hesaplanan uzaklık değeri kabul edilebilir hata sınırlarını aşabilmektedir. Bu durumu ortaya koymak ve kullanıcı tarafından görülebilirliğini sağlamak amacıyla tez kapsamında geliştirilen önceki bölümlerde detayları açıklanan yazılıma yeni bir pencere eklenmiştir. Şekil 6.3’de gösterilen “RSSUzaklıkDönüşüm” sekmesi içerisinde yer alan pencerede kullanıcı, ortamda okuyucunun okuma menzili içerisindeki taşıyıcıların bilgilerini ve kendisine olan uzaklıklarını görebilmektedir. Bu sayede kullanıcı, taşıyıcı ile arasındaki hesaplanan tahmini uzaklık ile gerçek uzaklığı kıyaslayabilme imkânına sahiptir. Ayrıca hesaplanan tahmini uzaklık değeri hatalı olduğu durumda kullanıcı tarafından hatanın indirgenmesini sağlamak amaçlı, pencere içerisinde 0 ile 15 arasında girilebilen bir değer aralığında RSSI düzeltme değeri mevcuttur. Kullanıcının girdiği değer ölçülen RSSI değerine eklenerek, RSSI değeri büyümekte ve buna bağlı olarak hesaplanan uzaklık değeri küçülmektedir. RSSI değerine bağlı olarak hesaplanan tahmini uzaklık değeri gerçek uzaklık değerinden küçük olduğu durumlarda, kullanıcı tarafından düzeltme işlemi yapılamamaktadır. Buradaki amaç trilaterasyon yöntemi için gereken uzaklık değerlerini, gerçek değere en yakın veya gerçek değerden küçük olacak şekilde ayarlayabilmektir. Tahmin edilen uzaklık değerleri gerçek değerden büyük olduğu durumda, trilaterasyon yönteminde kullanılan çemberler büyüyecektir. Büyüyen çemberlerin kesişim bölgelerinin büyümeside muhtemeldir. Kesişim bölgelerinin büyümesi beraberinde, konumsal hatanın artmasına sebep olmaktadır.

Bu açıdan çemberleri küçültme yoluna gidilmiştir. Bu işlem gerçekleştirilirken, en iyi sinyal alınan üç taşıyıcının RSSI değeri aynı olmadığı sürece çemberler aynı oranda küçültülmeyecektir. Çemberler aynı oranda küçültülür veya büyütülürse, bu durumda, trilaterasyon yöntemi ile elde edilen çemberlerin kesişim noktası değişmemektedir. Dolayısı ile hata değeri aynı kalmakta ve yapılan düzeltme işlemi anlamını yitirmektedir. Bu kesişim noktasının değişmesi için çemberlerin farklı oranlarda küçültülmesi veya büyütülmesi gerekir. En iyi sinyal alınan üç taşıyıcının RSSI değerinin aynı olması dışındaki durumlarda çemberlerin küçülme oranları birbirinden farklıdır.



Şekil 6.3. RSSI-Uzaklık kullanıcı penceresi.

0 ile 15 arasında ayarlanabilen düzeltme değeri ile -70 olan en küçük RSSI değeri -55'e kadar yükseltilebilmektedir. Uygulanan düzeltme işlemine ait açıklamalar aşağıdadır.

1. Düzeltme değeri = 0 ise; okunan RSSI değerinde herhangi bir değişiklik yok.
2. Düzeltme değeri 0 (Sıfır)'dan farklı ise; okunan RSSI değerine bakılır.
3. Okunan RSS değeri -70 ile -55 aralığında ise düzeltme değeri eklenir.

Örneğin;

Okunan değer = -55 ve düzeltme değeri = 15 ise düzeltilmiş RSSI değeri = -40 olacaktır. Benzer şekilde Okunan değer = -60 ve düzeltme değeri = 10 ise düzeltilmiş RSSI değeri = -50 olacaktır.

4. Okunan RSSI değeri -55 ile -35 aralığında ise -40 ile -35 aralığına sıkıştırılır.

Bu işlem için,  $Düzeltilmiş\ RSSI = \frac{Okunan\ RSSI - (-35)}{20} \cdot 5 + (-35)$  dönüşümü kullanılır.

Örneğin;

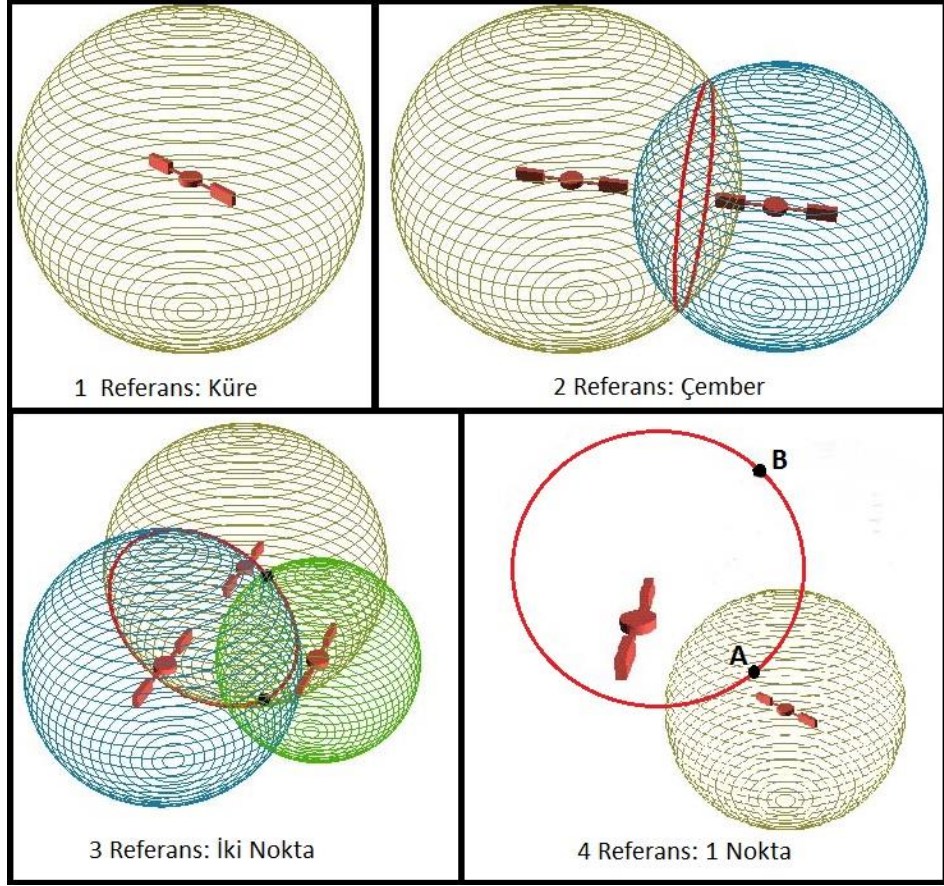
Okunan değer = -45, düzeltme değeri = sıfırdan farklı bir değer olmalı. Bu durumda,  $Düzeltilmiş\ RSSI = \frac{-45 - (-35)}{20} \cdot 5 + (-35) = -37,5$  olur.

Not: Düzeltme değeri = 0 için okunan RSSI değerinde herhangi bir değişiklik yapılmayacağını yukarıda söylemiştik. Burada düzeltme değerinin sıfırdan farklı olması gerekmektedir. Dönüşüm formülünde düzeltme değerinin bir etkisi yoktur.

5. Okunan RSSI değeri -35'ten büyük olduğu durumda, herhangi bir değişiklik yapılmadan okunan RSSI değeri düzeltilmiş RSSI değeri olarak kabul edilir.

## 6.2. TRİLATERASYON YÖNTEMİ

Trilaterasyon yöntemi konum belirlemede kullanılan önemli bir yöntemdir. GPS (Global Positionin System-Global Yer Tanımlama Sistemi) uyduları ile yapılan yer tespitlerinde bu yöntem kullanılmaktadır. İki boyutlu (2B) trilaterasyon yönteminde koordinatları belirlenmek istenen bir noktanın en az üç farklı noktaya uzaklığı biliniyor ve bu üç noktanın koordinatları biliniyorsa, aranan noktanın koordinatlarını hesaplamak mümkündür. Üç boyutlu (3B) trilaterasyon yönteminde ise koordinatları belirlenmek istenen bir noktanın en az dört farklı noktaya olan uzaklıklarının bilinmesi ve bunun yanında bu dört noktanda koordinatlarının bilinmesi gerekmektedir. Nitekim GPS uydularının konumlandırma işlemi sırasında en az dört uyduyla haberleşmenin sağlanması gerekmektedir. Bunun sebebi en az dört kürenin kesişimi sonucunda bir noktaya ait koordinatların elde edilebilir olmasıdır. Şekil 6.4'te gösterildiği gibi merkezleri farklı dört küresinin kesişiminden bir nokta elde edilebilir.



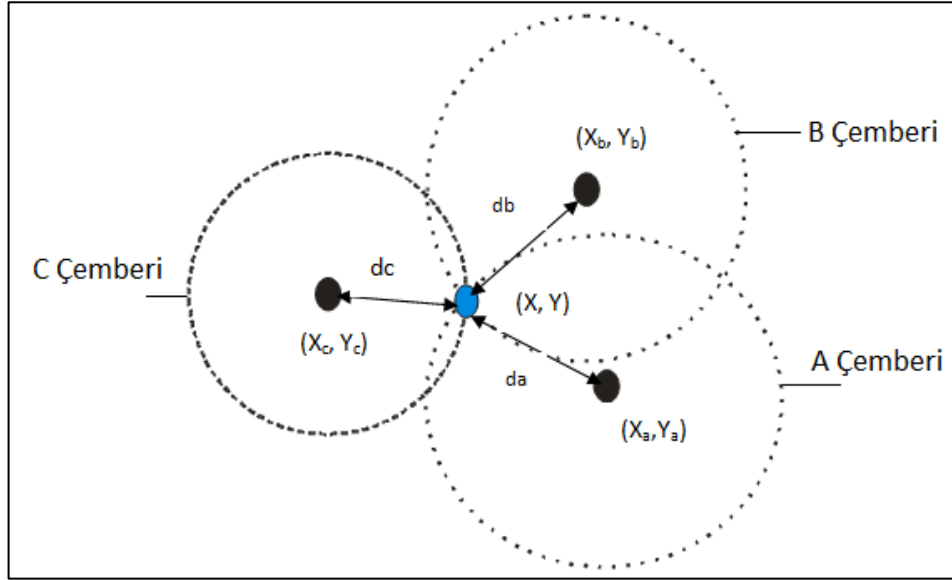
Şekil 6.4. Üç boyutlu trilaterasyon [49].

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda referans taşıyıcılar, bina içerisinde tavana veya yan duvarlara yapıştırılmaktadır. Aynı katta bulunan referans taşıyıcılar, buldukları katın zemininden yapıştırıldıkları yere kadar olan yükseklikler aynı olacak şekilde yapıştırılmışlardır. Dolayısı ile aynı katta bulunan her bir referans taşıyıcının z koordinatları aynı olacaktır. İhtiyaç duyulduğunda kat ayrımı yapabilmek için kullanılacak olan z koordinatları aynı katta yer alan referans taşıyıcılar için aynı değer olduğundan 2 boyutlu trilaterasyon hesabı ile konum tahmini yapılmıştır.

Bu bölümde çalışmada kullanılan İki Boyutlu Trilaterasyon yönteminin matematiksel ifadelerine yer verilmektedir.

### 6.2.1. İki Boyutlu Trilaterasyon

2B trilaterasyon yönteminin uygulanabilmesi için konumları bilinen üç referans noktasına ve hedefin bu referans noktalarına olan uzaklıklarının bilinmesine ihtiyaç vardır. Referans noktalarının koordinatlarının çemberlerin merkezi olarak ve referans noktalarının hedefe olan uzaklığının da çemberlerin yarıçapı olarak kabul edildiği bu yöntemde, hedefin konumu üç çember denkleminin ortak çözüm noktasının bulunması ile elde edilmektedir. Düzlemde konumlandırma yapabilmek için üç adet referans noktası yeterlidir. Şekil 6.5’ te gösterildiği gibi merkezleri farklı 3 çemberin kesişimi bir noktadır.



Şekil 6.5. İki boyutlu trilaterasyon.

A çemberine ait çember denklemi,

$$\begin{aligned} d_a^2 &= (x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 \\ &= x^2 - 2.x.x_a + x_a^2 + y^2 - 2.y.y_a + y_a^2 \end{aligned} \quad (6.1)$$

B çemberine ait çember denklemi,

$$\begin{aligned} d_b^2 &= (x - x_b)^2 + (y - y_b)^2 \\ &= x^2 - 2.x.x_b + x_b^2 + y^2 - 2.y.y_b + y_b^2 \end{aligned} \quad (6.2)$$

C çemberine ait çember denklemi,

$$\begin{aligned}d_c^2 &= (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 \\ &= x^2 - 2x \cdot x_c + x_c^2 + y^2 - 2y \cdot y_c + y_c^2\end{aligned}\quad (6.3)$$

Denklem 6.1 ve 6.2' den yararlanarak,

$$d_b^2 - d_a^2 = 2x \cdot (x_a - x_b) + x_b^2 - x_a^2 + 2y \cdot (y_a - y_b) + y_b^2 - y_a^2 \quad (6.4)$$

Denklem 6.2 ve 6.3' den yararlanarak,

$$d_b^2 - d_c^2 = 2x \cdot (x_c - x_b) + x_b^2 - x_c^2 + 2y \cdot (y_c - y_b) + y_b^2 - y_c^2 \quad (6.5)$$

Denklem 6.4'den yararlanarak,

$$x \cdot (x_a - x_b) + y \cdot (y_a - y_b) = \frac{(d_b^2 - d_a^2) - (x_b^2 - x_a^2) - (y_b^2 - y_a^2)}{2} = v_a \quad (6.6)$$

Denklem 6.5'den yararlanarak,

$$x \cdot (x_c - x_b) + y \cdot (y_c - y_b) = \frac{(d_b^2 - d_c^2) - (x_b^2 - x_c^2) - (y_b^2 - y_c^2)}{2} = v_b \quad (6.7)$$

Denklem 6.6 ve 6.7'den x ve y değişkenlerini çekersek,

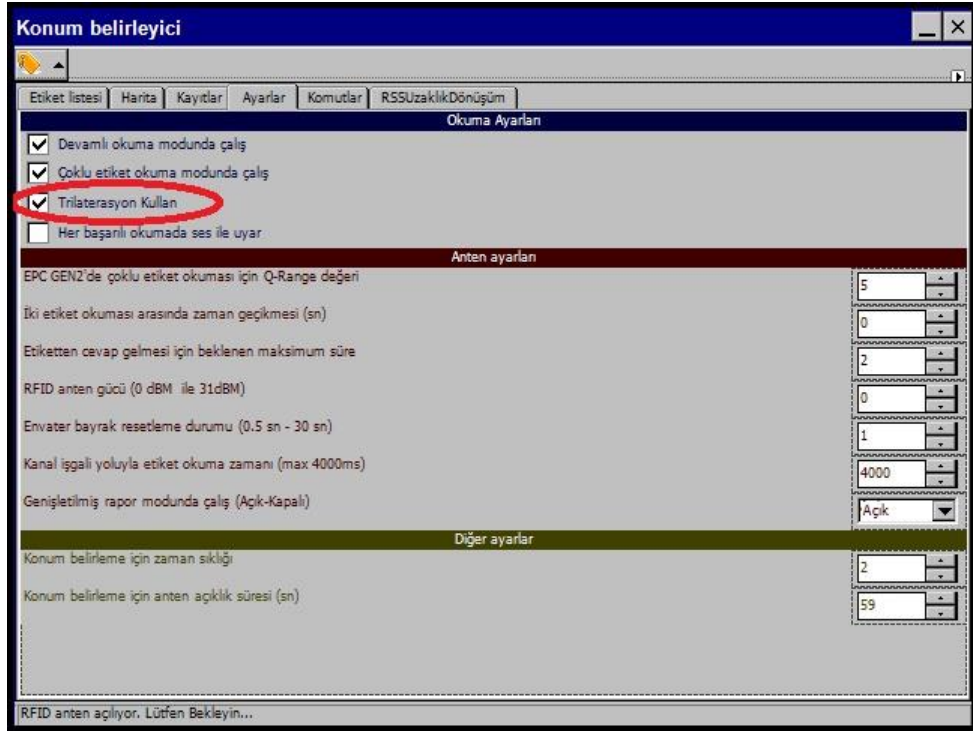
$$y = \frac{v_a \cdot (x_c - x_b) - v_b \cdot (x_a - x_b)}{(y_a - y_b) \cdot (x_c - x_b) - (y_c - y_b) \cdot (x_a - x_b)} \quad (6.8)$$

$$x = \frac{v_b - y \cdot (y_c - y_b)}{(x_c - x_b)} \quad (6.9)$$

Denklem 6.8 ve 6.9 denklemleri elde edilir [50].

### 6.3. GELİŞTİRİLEN YAZILIM İLE TRİLATERASYON YÖNTEMİ KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLEN KONUM TESPİTİ

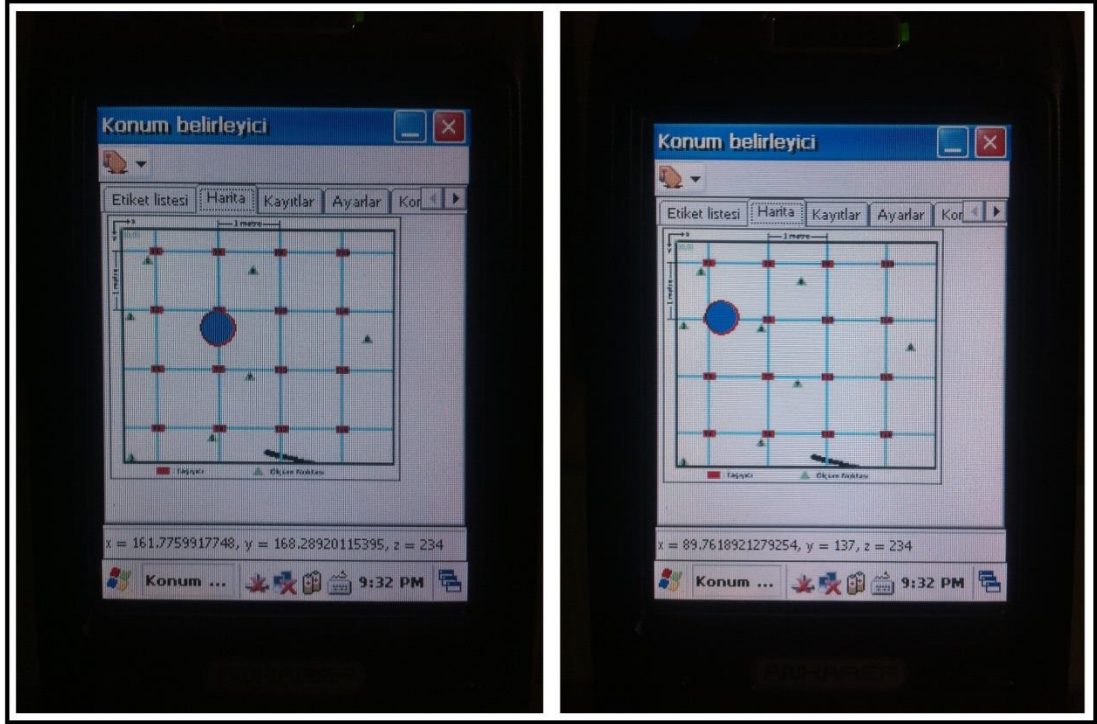
Çalışmanın bu bölümünde program içerisine trilaterasyon hesaplaması eklenmiştir. Şekil 6.6'da Ayarlar sekmesi içerisinde gösterilen “Trilaterasyon Kullan” seçeneği ile kullanıcı istediği takdirde konum tahminlerini trilaterasyon ile hesaplabilmektedir.



Şekil 6.6. Ayarlar sekmesi trilaterasyon kullan seçeneği.

Kullanıcı, Trilaterasyon Kullan seçeneğini işaretlediği takdirde; her bir konum tahmin periyodu içerisinde (Periyod: Kullanıcı tarafından ayarlanabilen konum belirleme için zaman sıklığı) programın temel olarak çalışması şu şekildedir:

1. En iyi sinyal alınan 3 taşıyıcı belirlenmeye çalışılır.
2. Eğer 3 taşıyıcı belirlenebilmişse, RSSI-Uzaklık dönüşüm fonksiyonu ile bu taşıyıcılara olan tahmini uzaklıklar belirlenir. Devamında trilaterasyon yöntemi kullanılarak konum tahmini yapılır ve kullanıcıya harita üzerinde bulunduğu nokta Şekil 6.7'deki gibi gösterilir.



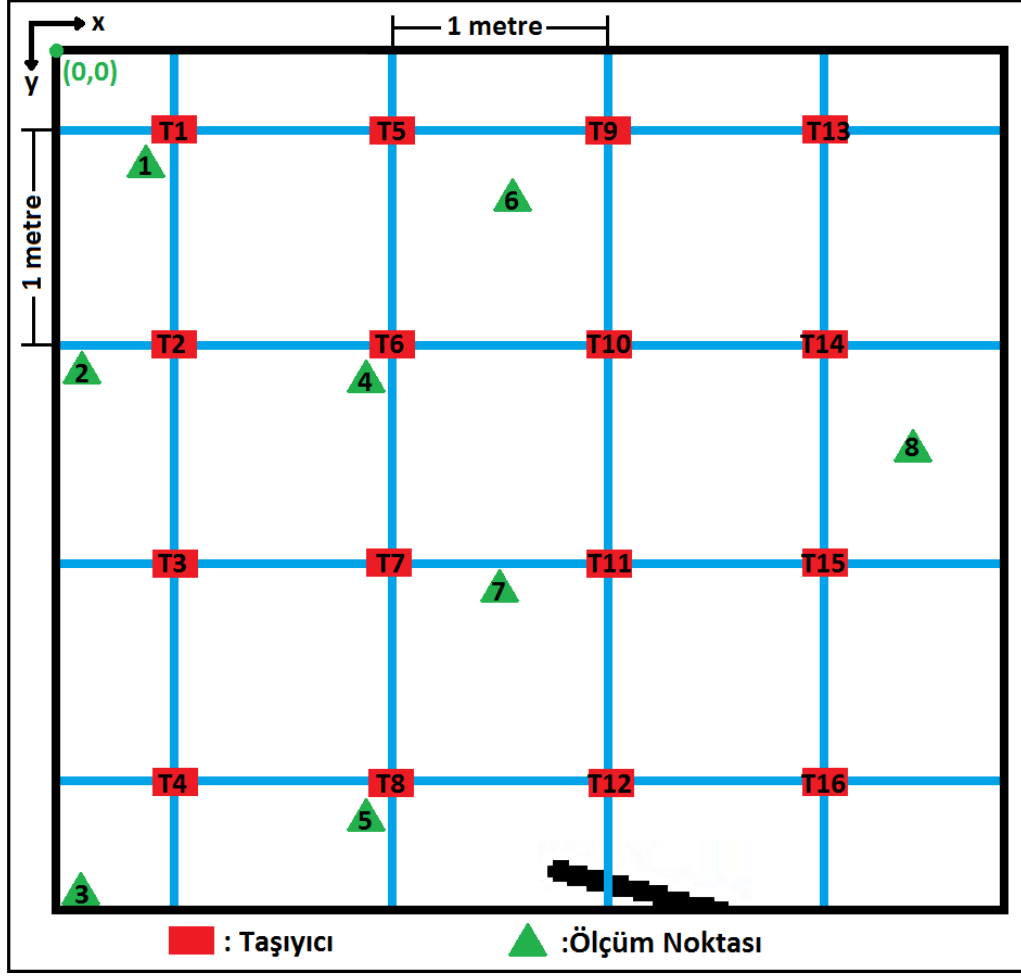
Şekil 6.7. Trilaterasyon ile tahmin edilen konumun kullanıcıya harita üzerinde gösterimi.

3. Eğer herhangi bir konum tahmin periyodu içerisinde 2 taşıyıcıdan sinyal alınabilmiş ve dolayısıyla en iyi sinyal alınan 2 taşıyıcı belirlenebilmişse, RSSI-Uzaklık dönüşüm fonksiyonu kullanılarak bu iki taşıyıcı arasında bir nokta belirlenir. Tahmin edilen konum daha iyi sinyal alınan taşıyıcıya daha yakındır.
4. Eğer herhangi bir konum tahmin periyodu içerisinde tek bir taşıyıcıdan sinyal alınabilmiş ise tahmin edilen konum, bu taşıyıcının bulunduğu noktadır.

Şekilde gösterilen çalışma alanı içerisinde program, trilaterasyon kullan seçeneği aktif olarak çalıştırılmıştır. Tahmin edilen konum doğruluğunu, hata oranını hesaplayabilmek için konumları bilinen belirli noktalarda sabit bir şekilde durulmak sureti ile konum tahminleri yapılmış ve değerler kaydedilmiştir.

Şekil 6.8’de gösterildiği gibi çalışma alanı içerisine yerleştirilen taşıyıcıların bulunduğu noktalara ait koordinat değerleri Çizelge 6.2 verilmiştir. Ölçüm Noktası olarak ifade edilen noktaların koordinatları Çizelge 6.3’te verilmiştir.





Şekil 6.8. Çalışma ortamı içerisinde taşıyıcıların yerleşimi ve test noktaları.

Çizelge 6.2. Taşıyıcı koordinatları.

Taşıyıcı No	Koordinat		
	x	y	z
T1	57	37	234
T2	57	137	234
T3	57	237	234
T4	57	337	234
T5	157	37	234
T6	157	137	234
T7	157	237	234
T8	157	337	234
T9	257	37	234
T10	257	137	234
T11	257	237	234
T12	257	337	234
T13	357	37	234
T14	357	137	234
T15	357	237	234
T16	357	337	234

Her bir Ölçüm Noktasında, 100'den fazla konum tahmini yapılmıştır. Elde edilen konum tahminleri kaydedilmiştir. Bilinen koordinat değerleri ile tahmin edilen koordinat değerleri arasındaki uzaklıklar hesaplanmış ve minimum uzaklık, maksimum uzaklık, ortalama uzaklık gibi değerler her bir ölçüm noktası için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çizelge 6.3'te her bir ölçüm noktasında yapılan koordinat tahminlerine dair hata bilgileri cm cinsinden gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. Ölçüm noktalarının koordinatları ve ölçüm noktalarında yapılan konum tahminlerine ait maksimum hata, minimum hata, ortalama hatalar.

Ölçüm Noktası No	Ölçüm Noktası Koordinat			Maksimum Hata (cm)	Minimum Hata (cm)	Ortalama Hata (cm)
	x	y	z			
1	57	37	234	296,448984	9,53939201	131,723548
2	0	137	234	256,048823	9	126,664995
3	0	400	234	434,062208	24,7588368	289,764924
4	157	137	234	173,851126	5,22582476	114,217179
5	157	337	234	217,737675	65,3309479	159,52303
6	210	70	234	213,114992	19,3935679	133,682154
7	207	237	234	197,026238	40,057769	153,457212
8	395	185	234	302,605003	21,1236718	199,520821

Çizelge 6.3'te verilen değerlerin istenen düzeyde olmayışının sebebi olarak, RFID okuyucu ile taşıyıcı arasındaki sinyal/cevap ilişkisinin çok parametrelili (RSSI, metal yoğunluğu, mekânın fiziksel boyutu, mekânın açık, kapalı ya da yarı açık olması, okuyucu yoğunluğu, taşıyıcı yoğunluğu vb.) bir sistem tarafından etkilenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışma ile sabit noktada bulunan okuyucunun taşıyıcılara olan fiziksel mesafesi değişmediği halde taşıyıcılardan alınan RSSI değerinin sürekli değişken olduğu gözlemlenmiştir. RSSI değerinin değişken oluşuna bağlı olarak hesaplanan uzaklık değerleri de farklı olmaktadır. Bunun sonucunda trilaterasyon yöntemi ile elde edilen tahmini konum koordinatları ile gerçek konum koordinatı arasındaki hata ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, bu şekilde çoklu parametrelerin bulunduğu, tek anlamlı çözümlerinin ise yapılmasının pek mümkün olmadığı, doğası gereği argümanların çoklu ve değişken olduğu sorun sistemlerinde, yapay zekâ ve genetik çözüm yollarının da tartışmaya açılması gerektiği düşünülmektedir.

## BÖLÜM 7

### SONUÇ VE ÖNERİLER

RFID ile kapalı mekân konum belirleme çalışmaları, kapalı mekânlarda taşıyıcıların ya da okuyucuların kesin konumlarının tespit edilmesi fikriyle sürmektedir. Kapalı mekânlarda GNSS sistemlerinin kullanılamaması bu tip sistemlere olan ilgiyi ve ihtiyacı arttırmıştır. Devasa yapıları ile küçük şehirleri andıran alışveriş kompleksleri ve benzeri yapılardaki navigasyon uygulamaları bu tür sistemlerin başlıca kullanım alanlarıdır. Bunun yanında çok katlı, karmaşık ve geniş alanlara yayılmış binalar, alışveriş ve sosyal yaşam birleşkeleri için yangın, deprem, sel gibi doğal afetlerde kişilerin hızlı ve etkin bir biçimde tahliyesi, güvenlik amaçlı uygulamalar, adres belirleme gibi çözüm bekleyen konular Üç Boyutlu Coğrafi Bilgi Sistemleri kapsamında araştırılmaktadır. Benzer problemlerin çözümü için bina içi konumun belirlenmesi en temel gerekliliktir. Bu anlamda tez kapsamında önerilen sistemin birçok kullanım alanının olduğu açıktır.

Yapılan çalışmalar göz önüne alındığında okuyucuların hareketli, taşıyıcıların sabit olduğu sistemlerin literatürde daha az incelendiği görülmektedir. Bunun kesin nedeni açık olmamakla birlikte, ana neden taşıyıcılara göre oldukça pahalı olan okuyucu sayısının artması ile maliyetlerin katlanmasıdır. Taşıyıcıların hareketli, okuyucuların sabit olduğu sistemlerde maliyet nispeten daha düşük kalmaktadır. Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışma ve benzeri konum belirleme çalışmalarında temel sorun RFID okuyucu ile taşıyıcı arasındaki sinyal/cevap ilişkisinin çok parametreliliği (RSSI, metal yoğunluğu, mekânın fiziksel boyutu, mekânın açık, kapalı ya da yarı açık olması, okuyucu yoğunluğu, taşıyıcı yoğunluğu vb.) bir sistem tarafından etkilenmesidir. Bu bağlamda literatür ışığında, başarılı bir iç mekân konum belirleme uygulamasının binadan bağımsızlık anlamında kablo ve elektronik sistemlerin minimum olduğu bir sistem ile gerçekleştirilmesi gerektiği düşünülerek; tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmada taşıyıcı sabit okuyucu hareketli sistemler

üzerinde durulmuştur. Sistemin çalışması için pasif taşıyıcıların bina içerisinde yan duvarlara veya tavan yüzeylerine yapıştırılması gerekmektedir. Bu anlamda binaya donanımsal bağlılık söz konudur ancak gelişen teknoloji ile birlikte bina içi kullanıma uygun yanmayan, yüksek ısıya ve dış etkenlere karşı dayanıklı maddelerden üretilmiş taşıyıcıların tasarlanabileceği düşünülmektedir. Bu sayede binanın yapımı aşamasında ana kolon betonlarının içerisine bu taşıyıcıların yerleştirilebilmesi ve sorunsuz çalışabilmesi sağlanabilir olacaktır. Diğer taraftan mevcut binalar için yanmayan dayanıklı maddelerden üretilmiş duvar kağıtları veya çivi şeklinde taşıyıcılar kullanılması uygun olacaktır. Konum belirleme konusunda temel yaklaşımlardan biri olan Coğrafi Yakınlık Yaklaşımı kullanılarak üç farklı taşıyıcı yerleşim düzeni içerisinde konum tespit çalışmaları gerçekleştirilmiş, geliştirilen yazılım ve elde edilen sonuçlar ile ilgili detaylar tez içerisinde sunulmuştur. Bunun yanında bir diğer konum belirleme yöntemi olan Trilaterasyon hesabına dayalı konum belirleme çalışması da yapılmıştır. Belirli kısıtlar altında RSSI değerine bağlı uzaklık tahmini yapılmıştır. Yapılan RSSI ölçümleri doğrultusunda bir RSSI-Uzaklık dönüşüm fonksiyonu elde edilmiştir. RSSI değerine bağlı uzaklık tahmini ve tahmin edilen uzaklık değerleri ile trilaterasyon hesaplamaları yapılarak konum tahmin edilmiş ve sonuçlar detayları ile birlikte sunulmuştur. Geliştirilen yazılım, trilaterasyon hesaplamaları için gerekli verilerin konum belirleme periyodu içerisinde toplanması durumunda trilaterasyon hesaplaması yapacak şekilde programlanmıştır. Aksi halde Coğrafi Yakınlık Yaklaşımına bağlı konum tahmini yapmaktadır.

Çalışmalarda referans taşıyıcıların bina içerisinde yerleşim düzenleri 3 farklı modelde ele alınmış ve en iyi sonuçlar  $\pm 1$  metre aralığında yaklaşık %96 lık başarımla seviyesi ile taşıyıcıların alanı birer metre karelik hücrelere ayırarak şekilde yerleştirildiği 3. Modelde gözlemlenmiştir. Bunun yanında 2. Modelde gözlemlenen sonuçlar ile 3. Modelde gözlemlenen sonuçlar birbirine oldukça yakındır. Taşıyıcıların yan duvarlara karşılıklı olarak yerleştirildiği 2. Modelde başarımla seviyesi  $\pm 1$  metre aralığında yaklaşık %96 dır. Ayrıca 2. Modelde konum belirleme öncesi RSSI değeri ve taşıyıcı koordinatı gibi gerekli verilen toplandığı konum belirleme periyodu 1 saniye ve 2 saniye olmak üzere iki farklı süre aralığında alınmış ve 1 saniyelik periyod için başarımla seviyesinin  $\pm 1$  metre aralığında yaklaşık %85, 2

saniyelik periyod için başarıml seviyesinin  $\pm 1$  metre aralığında yaklaşık %96 olarak elde edilmiştir.

Bu açıdan bakıldığında tez kapsamında kapalı mekânlarda RFID okuyucu ve taşıyıcı ile yapılan konum belirleme çalışmaları oldukça etkin sonuç vermiş ve yukarıda bahsi geçen problemlerin bir kısmına çözüm olabilecek düzeydedir. Gelişen teknoloji ile birlikte bina içi kullanım için özel olarak tasarlanacak pasif taşıyıcılar ile daha da iyi sonuçların alınabileceği düşünülmektedir.

Ayrıca RSSI tabanlı sistemlerde RFID tek olası çözüm gibi görülse de okuyucu ve taşıyıcı maliyetlerinin çok düşük olduğu Bluetooth ve WLAN sistemler de hibrit modeller kurularak araştırılması gereken konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte, bu şekilde çoklu parametrelerin bulunduğu, tek anlamlı çözümlerlerin ise yapılmasının pek mümkün olmadığı, doğası gereği argümanların çoklu ve değişken olduğu sorun sistemlerinde, yapay zekâ ve genetik çözüm yollarının da tartışmaya açılması gerektiği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Karaş, İ. R., "Objelerin topolojik ilişkilerinin 3B CBS ve ağ analizleri kapsamında değerlendirilmesi", Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 12-15 (2007).
2. İnternet: Lemieux, N., "Reading Course On Indoor Location Systems", <http://www.csd.uwo.ca/~nplemieu/readingcourse/indoorlocationreadingcourse.html> (2013).
3. İnternet: Candy, J., "Indoor Location Techniques For Mobile Location-Based Indoor GIS Applications", <http://giswww1.bcit.ca/georanger/find-indoor-loc.htm> (2013).
4. Khong, G. and White, S., "Moving right along: Using RFID for collection management at the parliamentary library", *Information Online: 12Th Conference And Exhibition*, Sydney, 1-12 (2005).
5. Finkenzeller, K., "RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification", 2. Edition, *John Wiley & Sons, Ltd.*, Germany, 1-393 (2003).
6. Dziadak, K., Kumar, B. and Sommerville, J., "Model for the 3D location of buried assets based on RFID technology", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 23 (3): 148-159 (2009).
7. Manish, B. and Shahram, M., "RFID Field Guide: Deploying Radio Frequency Identification Systems", *Prentice Hall Ptr*, USA, 24-29 (2005).
8. Wang, L., Lin, Y. and Lin, P. H., "Dynamic mobile RFID-Based supply chain control and management system in construction", *Advanced Engineering Informatics*, 21 (4): 377-390 (2007).
9. Era Build, "Review Of The Current State Of Radio Frequency Identification (Rfid) Technology, Its Use and Potential Future Use in Construction", *Danish Technological Institute*, Denmark, 1-100 (2006).
10. Li, N. and Becerik-Gerber, B., "Performance-based evaluation of RFID-based indoor location sensing solutions for the built environment", *Advanced Engineering Informatics*, 25 (3): 535-546 (2011).
11. Choi, B., Lee, J. W., Lee, J. J. and Park, K., "A hierarchical algorithm for indoor mobile robot localization using RFID sensor fusion", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58 (6): 2226-2235 (2011).

12. Lee, H. J. and Lee, M. C., "Localization of mobile robot based on radio frequency identification devices", *SICE-ICASE International Joint Conference*, Busan, Korea, 5934-5939 (2006).
13. Hahnel, D., Burgard, W., Fox, D., Fishkin, K. and Philipose, M., "Mapping and localization with RFID technology", *International Conference On Robotics and Automation*, New Orleans, LA, 1015-1020 (2004).
14. Hightower, J. and Borriello, G., "SpotON: An indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength", *IEEE International Conference on Computational Science and Engineering*,(2000).
15. Bechteler, T. and Yenigun, H., "2D localization and identification based on saw ID-tags at 2.5 ghz", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 51 (5): 1585-1590 (2003).
16. Stelzer, A., Pourvoyeur, K., and Fischer, A., "Concept and application of LPM—a novel 3-D local position measurement system", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 52 (12): 2664-2669 (2004).
17. Ni, L. M., Liu, Y., Lau, Y. C. and Patil, A. P., "LANDMARC: Indoor location sensing using active RFID", *Wireless Networks*, 10 (6): 701-710 (2004).
18. Zhao, Y., Liu, Y. and Ni, L., "VIRE: Active RFID-based localization using virtual reference elimination", *International Conference on Parallel Processing*, China (2007).
19. Zhang, T., Chen, Z., Ouyang, Y., Hao, J., and Xiong, Z., "An improved RFID-based locating algorithm by eliminating diversity of active tags for indoor environment", *The Computer Journal*, 52 (8): 902-909 (2009).
20. Hsu, P. W., Lin, T. H., Chang, H. H., Chen, Y. T., Yen, C. Y., and Tseng Y. J., "Practicability study on the improvement of the indoor location tracking accuracy with active RFID", *International Conference on Communications and Mobile Computing*, NJ, USA, 165-169 (2009).
21. Polito, S., Biondo, D., Iera, A., Mattei, M., and Molinaro, A., "Performance evaluation of active rfid location systems based on rf power measures", *The 18Th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Greece (2007).
22. Sue, K., Tsai, C., and Lin, M., "Flexor: A flexible localization scheme based on RFID", *International Conference On Information Networking*, Japan, 306-316 (2006).
23. Khan, M. A., Antiwal, V. K., "Location estimation technique using extended 3-D LANDMARC algorithm for passive RFID tag", *IEEE International Advance Computing Conference*, NJ, USA, 249-253 (2009).

24. Huang, Y., Lui, Z., and Ling, G., "An improved Bayesian-based RFID indoor location algorithm", *International Conference on Computer Science and Software Engineering*, NJ, USA, 511-514 (2008).
25. Wang, X., Jiang, X., and Liu, Y., "An enhanced approach of indoor location sensing using active RFID", *WASE International Conference on Information Engineering*, NJ, USA, 169-172 (2009).
26. Jin, G., Lu, X., and Park, M., "An indoor localization mechanism using active RFID tag", *IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing*, Taiwan, 40-43 (2006).
27. Huang, Y., Lv, S., Liu, Z., Jun, W., and Jun, S., "The topology analysis of reference tags of RFID indoor location system", *3rd IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies*, NJ, USA, 313-317 (2009).
28. Bekkali, A., Sanson, H., and Matsumoto, M., "RFID indoor positioning based on probabilistic RFID map and kalman filtering", *Third IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking And Communications*, NY, USA (2007).
29. Toplan, E., ve Ersoy, C., "Yaşlı takibi amaçlı RFID tabanlı bina içi konum belirleme", *Signal Processing and Communications Applications Conference*, Muğla, Türkiye (2012).
30. Bouet, M. and Pujolle, G., "A range-free 3-D localization method for RFID tags based on virtual landmarks", *IEEE 19th International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications*, France (2008).
31. Demiral, E., Karas, İ. R., ve Turan, M. K., "RFID sistemleri ile konum belirleme uygulamaları", *14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara (2013).
32. Zhou, J., and Shi, J., "A comprehensive multi-factor analysis on rfid localization capability", *Advanced Engineering Informatics*, 25 (1): 32-40 (2011).
33. Wang, C., Wu, H., and Tzeng, N. F., "RFID-based 3-D positioning schemes", *IEEE INFOCOM*, Alaska, USA, 1235-1243 (2007).
34. Zhen, Z., Jia, Q., Song, C., and Guan, X., "An indoor localization algorithm for lighting control using RFID", *IEEE Energy 2030 Conference*, Atlanta, USA (2008).
35. Silva, R., and Goncalves, P. A., "Enhancing the efficiency of active RFID-based indoor location systems", *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Budapest, Hungary (2009).



36. Yu, K., Liao, C., Lee, M., and Lin, H., "Design and implementation of a RFID based realtime location-aware system in clean room", *IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications*, Sichuan, China, 382-388 (2009).
37. Han, S. S., Lim, H. S., and Lee, J. M., "An efficient localization scheme for a differential-driving mobile robot based on RFID system, *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 54 (6): 3362-3367 (2007).
38. Xu, B., and Gang, W., "Random sampling algorithm in RFID indoor location system", *IEEE international workshop on electronic design, test and applications (DELTA'06)*, Kuala Lumpur, Malaysia (2006).
39. Yamano, K, "Self-localization of mobile robots with RFID system by using support vector machine", *Proceedings of 2004 IEEWRSI international conference on intelligent robots and systems*, Sendai, Japan (2004).
40. Pradhan, A., Ergen, E., and Akinci, B., "Technological assessment of radio Frequency identification technology for indoor localization", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 23 (4): 230-238 (2009).
41. Luo, X., O'Brien, W. J., and Julien, C. L., "Comparative evaluation of Received Signal- Strength Index (RSSI) based indoor localization techniques for construction jobsites", *Advanced Engineering Informatics*, 25 (2): 355-363 (2011).
42. İnternet: Ankaref, "ATID AT 870 El Terminali Hakkında Bilgi", <http://www.ankaref.com/files/crmproducts/otherfiles/el-terminali-27082013092506.pdf> (2013).
43. İnternet: Convergence, "CLS CS 101 El Terminali Hakkında Bilgi", <http://www.convergence.com.hk/products/rfid/handheld-reader/cs101/2/> (2013).
44. İnternet: Motorola Solution, "MOTOROLA MC 9090-Z El Terminali Hakkında Bilgi", [http://www.motorolasolutions.com/us/en/business+product+and+services/mobile+computers/yesterdays+products/mc9090-z+rfid+handheld+reader#specs\\_tab](http://www.motorolasolutions.com/us/en/business+product+and+services/mobile+computers/yesterdays+products/mc9090-z+rfid+handheld+reader#specs_tab) (2013).
45. İnternet: Zotei, "ZOTEİ ZT-SK 7500 El Terminali Hakkında Bilgi", [http://www.zotei.com/devices/hand-held\\_reader/hand-held\\_rfid\\_reader\\_zt-sk-7500.html](http://www.zotei.com/devices/hand-held_reader/hand-held_rfid_reader_zt-sk-7500.html) (2013).
46. İnternet: İmpinj, "Monza Anten Dizaynı Hakkında Bilgi", <https://support.impinj.com/hc/en-us/categories/200156298-monza-chip-products> (2014).
47. İnternet: Ankaref, "UHF RFID Etiketler Hakkında Bilgi", <http://ankaref.com/tr/products/uhf-etiketler/38> (2014).

48. İnternet: Titan RFID Corp., "Titan Marka Etiketler Hakkında Bilgi", <http://titantag.com> (2013).
49. İnternet: Indiagps, "Trilaterasyon Yöntemi İle İlgili Bilgi", <http://indiagps.in/triangulaton-trilateration> (2014).
50. Oguejiofor, O. S., Aniedu, A. N., Ejiofor, H. C. and Okolibe, A. U., "Trilateration based localization algorithm for wireless sensor network", *International Journal Of Science And Modern Engineering*, 1 (10): 21-27 (2013).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Emrullah DEMİRAL, 1988 yılında Hatay'ın Dörtyol ilçesinde dünyaya geldi. İlk ve orta öğrenimini Safranbolu'da tamamladıktan sonra 2006 yılında Ege Üniversitesi Matematik Bölümünü kazandı. 2012 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Kasım 2012'den itibaren 18 ay süre ile 112Y050 nolu TÜBİTAK projesi kapsamında tam zamanlı bursiyer olarak Karabük Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünde görev yaptı. Halen Karabük Üniversitesi'nde TUBİTAK projesi ile ilgili çalışmalarına devam eden Emrullah DEMİRAL, evlidir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Bağlarbaşı Mah. Bulut Cad. Safran Villaları

O Blok D:1 Safranbolu/ KARABÜK

E-posta : emrullahdemiral@gmail.com