

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARMANLANMIŞ KAPALI MEKAN KONUM TESPİT SİSTEMİ TASARIMI

Atalay KOCAKUŞAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2017

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARMANLANMIŞ KAPALI MEKAN KONUM TESPİT SİSTEMİ TASARIMI

Atalay KOCAKUŞAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Bu tez FYL-2015-773 proje numarası ile Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma
Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenmiştir.**

2017

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARMANLANMIŞ KAPALI MEKAN KONUM TESPİT SİSTEMİ TASARIMI

Atalay KOCAKUŞAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 13/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Selçuk HELHEL

Doç. Dr. S. Cumhur BAŞARAN

Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN



ÖZET

HARMANLANMIŞ KAPALI MEKAN KONUM TESPİT SİSTEMİ TASARIMI

Atalay KOCAKUŞAK

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç Dr. Selçuk HELHEL

Temmuz 2017, 44 Sayfa

Kapalı mekan konum tespit sistemlerinin kullanımı ve önemi son çeyrek asırda dikkate değer oranda artmıştır. Önümüzdeki yıllarda da genelde konumlama özelde kapalı mekân konumlama sistemlerinin kullanımının geniş uygulama alanı bulması beklenmektedir. Hastane ve rehabilitasyon merkezlerinde hasta ve yaşlı takibi ile alışveriş merkezlerinde müşteri alışkanlıklarının belirlenmesi adına müşteri takibi ve güvenlik uygulamaları bu alanların başında gelmektedir. Açık alanlarda çalışan GPS ve GSM tabanlı konumlama sistemlerinin kapalı mekânda çalışması söz konusu değildir. Kapalı mekânlarda yaygın olarak RF tabanlı sistemler kullanılmaktadır. Bunlardan, hali hazır kullanımları nedeni ile, WiFi tabanlı sistemler en yaygın olanıdır. RFID tabanlı sistemler ise statik ve kısa mesafeli olmaları nedeni ile sınırlı kullanıma sahiptir. Benzer şekilde ultrasonik konumlama sistemleri de sınırlı yeteneklere sahiptir.

Konumlama sistem performansının en önemli ölçütü konum belirleme hassasiyetidir. Ortaya çıkan konum hatasının (yatay, dikey ve vektör toplamı) minimize edilmesi literatürdeki çalışmaların odak noktasıdır. Bu doğrultuda, sunulan çalışmada WiFi tabanlı sistemlerde ortaya çıkan konum hatasının en önemli nedenlerinden biri olan yakın mesafe okuma hatasının ultrasonik mesafe bilgisi ile desteklenerek azaltılması için algoritma ve sistem tasarımı önerilmiştir.

Çalışma kapsamında tasarlanan Wi-Fi tabanlı konum tespit sisteminin başlangıç ortalama konum hatası 3,34(m), Yakın Mesafe Hata Eleme algoritması ile 3,25(m) ve önerilen Harmanlanmış Konum Tespit Sistemi ile 3,13(m) olarak hesaplanmıştır. Yakın Mesafe Hata Eleme algoritması %90 oranında 2,96(m) ve daha az hataya sahipken, Harmanlanmış Konum Tespit Sistemi %90 oranında 2,78(m) ve daha az hataya sahiptir. Önerilen sistem ile ortalama konum hatası %6.28 oranında iyileşmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Kapalı Mekan konumlama, Wi-Fi, RF, Ultrasonik, Kapalı Mekan Yayılım, Harmanlanmış Konum Tespit Sistemi

JÜRİ: Doç. Dr. Selçuk HELHEL(Danışman)
Doç. Dr. S. Cumhuri BAŞARAN
Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN

ABSTRACT

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF HYBRID INDOOR LOCATING SYSTEM

Atalay KOCAKUŞAK

M.Sc. Thesis in Electrical-Electronics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Selçuk HELHEL

July, 2017, 44 pages

Indoor locating system usage has begun to increase last decades. Locating system usage in general and indoor locating system usage in specific applications are expected to find wide range of application areas in coming years. Patient and geriatric tracking in hospitals and rehabilitation centres, customer tracking for determining the shopping habit in malls and security based applications are foremost. GPS and GSM based locating systems used in outdoor have not capability to be operated in indoor. RF based locating systems are used in indoor applications, and WiFi based technologies are foremost because of their common usage. RFID technologies have limited applications due to their close distance reading capabilities. Ultrasonic technologies are additional technologies for locating, but they also are operating in very close distance.

An important measure of locating system performance is its locating accuracy, and most of scientific studies have focused on minimizing locating error (vertical error, horizontal error and vector sum of them). With this purpose, an algorithm and system design are proposed for decreasing location error based on WiFi system. The most important reason of this mistake is due to the close distance Wi-Fi RF reading, and ultrasonic distance information is used for improving proposed system performance.

An initial locating error is observed as 3.34(m) by using traditional WiFi based system, this error decreased to 3.25(m) by improvement of Close Distance Error Elimination Algorithm(CDEEA). Proposed Hybrid Indoor Locating System (HILoS) indicates 3.13(m) at most. For 90% precision level, CDEEA accuracy is below 2.96(m) and HILoS accuracy is below 2.78(m). As a result , 6.28% improvement is observed between traditional system and proposed HILoS.

KEYWORDS: Indoor locating, Wi-Fi, RF, Ultrasonic, Indoor Propagation, Hybrid Locating System

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Selçuk HELHEL (Supervisor)
Assoc. Prof. Dr. S. Cumhuri BAŞARAN
Assoc. Prof. Dr. Mesud KAHRIMAN

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim boyunca yardımlarını ve desteklerini benden esirgemeyen, gelecekteki akademik çalışmalarına rol model olarak yön veren ve her zaman örnek alacağım danışman hocam Sayın Doç. Dr. Selçuk HELHEL'e, desteğini benden hiç esirgemeyen tüm değerli hocalarıma ve bugünlere gelmemdeki üstün emeklerinden dolayı annem Sayın Meral EYİLER'e şükranlarımı sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMASI.....	7
2.1. Elektromanyetik Dalgalarda Yayılım.....	7
2.1.1. Çokluyol yayılımı	8
2.1.2. Küçük ölçekli solma	8
2.1.3. Büyük ölçekli solma	8
2.2. Ultrasonik DalgalardaYayılım	9
2.3. Anten ve Serbest Uzayda Yayılım	10
2.3.1. Anten.....	10
2.3.2. Serbest uzayda yayılım ve Friis güç iletim denklemi	10
2.4. Bina İçi Yayılımın Modellenmesi	11
2.4.1. Bina içi elektromanyetik yayılımın modellenmesi	11
2.4.1.1. Yol kaybı (Path Loss) modeli	12
2.4.1.2. Baskın yol modeli	12
2.4.1. Ultrasonik ses dalgalarının yayılımının modellenmesi.....	13
2.5. IEEE 802.11 Standartları.....	13
2.6. Konum Tespit Yöntemleri.....	14
2.6.1. 3-Merkez uzaklığı-3Mu (Trilateration)	14
2.6.2. Üçgenleme (Triangulation).....	15
2.6.3. Çoklu merkez uzaklığı-CMu (Multilateration).....	16
3. MATERYAL VE METOT	18
3.1. Wi-Fi Tabanlı Konum Tespiti	18
3.1.2. Wi-Fi alıcı verici cihazları	18
3.1.3. Wi-Fi sinyal gücü ölçme programı	20

3.1.3. Kapalı mekan ölçüm alanı	22
3.1.4. Yol kaybı indeksi hesaplanması	25
3.3. Kapalı Mekan RF Yayılım Modellemesi ve Algoritma Geliştirme	28
3.3.1. Wi-Fi tabanlı konum tespit algoritması	30
3.3. Ultrasonik Tabanlı Konum Tespiti.....	33
3.3.2. Ultrasonik alıcı verici cihazları.....	33
3.4. Harmanlanmış Konum Tespit Düzenegi	34
3.4.1. Harmanlanmış konum tespit algoritması	34
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	38
5. SONUÇ.....	40
6. KAYNAKLAR	41

ÖZGEÇMİŞ

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

RF	Radyo Frekans
EM	Elektromanyetik
Wi-Fi	Wireless Fidelity, Kablosuz Bağlantı Alanı
WLAN	Wireless Local Area Network, Kablosuz Yerel Ağ
dBm	Desibel Miliwatt
m	Metre
sn	Saniye
RSS/RSSI	Received Signal Strength, Alınan Sinyal Gücü
GSM	Mobil Haberleşme için Küresel Sistem
UMTS	Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistem
RFID	Radyo Frekans ile Tanımlama

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Elektromanyetik dalgaların enine kutuplanması.....	7
Şekil 2.2. Ses dalgası yayılımı (Media College 2017).....	10
Şekil 2.3. Alıcı verici anten çifti	11
Şekil 2.4. Baskın yol modeli örneği	12
Şekil 2.5. 3-Merkez uzaklığı(3mu) yöntemi	15
Şekil 2.6. Üçgenleme yöntemi	15
Şekil 2.7. Çoklu merkez uzaklığı yöntemi	17
Şekil 3.1. Verici Olarak Kablosuz Modem	18
Şekil 3.2. Raspberry Pi 3.....	19
Şekil 3.3. Arduino Mega	20
Şekil 3.4. Esp8266 Wi-Fi bağdaştırıcı	20
Şekil 3.5. Alınan sinyal gücünü ölçen program	21
Şekil 3.6. Örnek kayıt dosyası verileri	22
Şekil 3.7. 1. Kat planı.....	22
Şekil 3.8. 1. Kat fotoğrafı.....	23
Şekil 3.9. 2. Kat planı.....	23
Şekil 3.10. 2. Kat fotoğrafı.....	24
Şekil 3.11. 3. Kat planı.....	24
Şekil 3.12. 3. Kat fotoğrafı.....	25
Şekil 3.13. A vericisi için “n” değeri hesabı	26
Şekil 3.14. B vericisi için “n” değeri hesabı	26
Şekil 3.15. C vericisi için “n” değeri hesabı	27
Şekil 3.16. D vericisi için “n” değeri hesabı	27
Şekil 3.17. Sapma fonksiyonu.....	29
Şekil 3.18. Gerçek konuma göre hatalar	31
Şekil 3.19. Wi-Fi Konum tespit algoritması akış şeması.....	32
Şekil 3.20. Ultrasonik alıcı-verici modül	33
Şekil 3.21. Ultrasonik verici sürücü devresi	33
Şekil 3.22. Ultrasonik alıcı sürücü devresi	33
Şekil 3.23. Harmanlanmış konum tespit sistemi algoritması.....	35
Şekil 3.24. Ultrasonik referans şeması.....	36
Şekil 3.25. Yakınsama işlemi.....	36
Şekil 3.26. Ultrasonik simülasyon ile hata oranları	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.....	28
Çizelge 4.1.....	38
Çizelge 4.2.....	38
Çizelge 4.3.....	39



1. GİRİŞ

Kapalı mekan konum tespit sistemlerinin kullanımı ve önemi son çeyrek asırda dikkate değer oranda artmıştır. Önümüzdeki yıllarda da genelde konumlama özelde kapalı mekân konumlama sistemlerinin kullanımının geniş uygulama alanı bulması beklenmektedir. Hastane ve rehabilitasyon merkezlerinde hasta ve yaşlı takibi ile alışveriş merkezlerinde müşteri alışkanlıklarının belirlenmesi adına müşteri takibi ve güvenlik uygulamaları bu alanların başında gelmektedir. Açık alanlarda çalışan GPS ve GSM tabanlı konumlama sistemlerinin kapalı mekânda çalışması söz konusu değildir. Kapalı mekânlarda yaygın olarak RF tabanlı sistemler kullanılmaktadır. Bunlardan, hali hazır kullanımları nedeni ile, WiFi tabanlı sistemler en yaygın olanıdır. RFID tabanlı sistemler ise statik ve kısa mesafeli olmaları nedeni ile sınırlı kullanıma sahiptir. Benzer şekilde ultrasonik konumlama sistemleri de sınırlı yeteneklere sahiptir.

Bu çalışmalar arasında özellikle Wi-Fi tabanlı sistemler ulaşılabilirlik, esneklik, kolay kullanım ve düşük maliyet gibi özellikleri ile öne çıkmıştır. Wi-Fi tabanlı sistemler 2.4 GHz frekansında çalışan kablosuz haberleşme sistemleridir. İletilecek olan bilgiler üretilen ilgili frekans bandı üzerine modüle edilerek verici anten aracılığı ile hava ortamında ilerleyen elektromanyetik dalgaya dönüştürülmekte ve alıcı anten ile hedef cihazın bilgiyi almasını sağlamaktadır. Konum tespit sistemlerinde konumu bulmayı sağlayan iletilen bilgiden ziyade , sinyalin gücü , gelme açısı, faz farkı gibi özellikleridir. Wi-Fi sistemlerine nazaran ultrasonik tabanlı sistemler, Wi-Fi sistemleri gibi birkaç on metre uzaklıkta haberleşme yapamasa da 2-3 metre uzaklıklara kadar cm'ye varan hassasiyette uzaklık bilgisi verebilmektedir. Yine konum tespiti amaçlı RFID sistemleri de kullanılmaktadır. Ancak RFID sistemlerinin doğası gereği bir RFID etiketinin tespit edilebilmesi için alıcıya yaklaştırılması gerekmektedir. Bu da büyük bir mekanda kurulabilir bir sisteme müsaade etmemektedir.

Woo vd , 2011 yılındaki yayınlarında inşaat alanlarında işçi, araç ve önemli malzemelerin konumlarını takip etmeyi amaçlamışlardır. GPS sisteminin sınırlandırmalarından ötürü , inşaat alanlarında tünel, inşaatı devam eden yapılar gibi kapalı mekanlarda alternatif bir konum tespit sistemi arayışına değinmişlerdir. Bu çalışmalarında Wi-Fi tabanlı ve RSSI değerleri üzerinden çalışan bir sistem geliştirmişlerdir(Woo vd 2011).

Stella vd 2014 yılında, ulaşılabilir ve kararlı bir konumlama sisteminin ihtiyaç haline geldiğini söylemişlerdir. Çalışmalarında WLAN, GSM ve UMTS sistemlerinde RSS ölçümleri yaparak çeşitli algoritmalar ile konum tespiti yapmışlardır. Tüm bu sistemleri bir arada kullanan heterojen kablosuz ağ ile bu sistemleri tek tek kullanan çalışmalara nazaran daha başarılı bir konum tespitinde bulduklarını ifade etmişlerdir (Stella vd 2014).

Papapostolou ve Chaouchi 2012 yılında, kapalı mekanda kablosuz internet erişimi ve kapalı mekan konum tespitinin, kablosuz ve mobil haberleşme sistemlerindeki büyük araştırma alanları olduğuna değinmişlerdir. Çalışmalarında hem konum tespiti hem de kapalı mekanda Wi-Fi sistemlerinin el sıkışma olayı ile ilgili

araştırmalar yapmışlardır. Özellikle hareket halindeki alıcıların konumlarını belirlerken el sıkışma anında oluşacak hataları RFID sistemleri ile çözmeye çalışmışlardır (Papapostolou ve Chaouchi 2012).

Koo ve Cha çalışmalarında, akıllı telefonları ve Wi-Fi vericilerini kullanarak konumlama çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada diğer çoğu çalışmada olduğu gibi vericiler aracılığıyla hedef cihazın yerini bulmak yerine cihaz üzerindeki ölçümler ile vericilerin alıcıya göre konumlarını bulmaya çalışmışlardır. Bu çalışma ile otonom çalışabilen bir konum tespit sistemini kurmaya çalışmışlardır (Koo ve Cha 2012).

Zhao vd 2014 yılında yayınladıkları çalışmalarında akıllı telefonlar ile kurulan konum tespit mekanizmalarının yükselişine değinmişlerdir. RSSI bazlı konum tespit sistemlerinin hatalarının çok olduğuna değinen araştırmacılar, buna çözüm olarak da bir algoritma geliştirmişlerdir. Hesaplanan konumlarda bir RSSI gradyant hesabı daha yaparak konumu gradyant yönünde yakınlaştırma ile iyileştirmişlerdir(Zhao vd 2014).

Galvàn-Tejada vd, sürekli geliştirilen ve modern mobil cihazlara eklenen sensörler ile gündelik olarak kullandığımız Wi-Fi gibi sinyaller ile birlikte doğal manyetik alanında ölçülebildiğine ve dolayısıyla konum belirlemede kullanılabileceğine dikkat çekmiştir. Çalışmalarında doğal manyetik alanı ölçmekte ve çeşitli yöntemler ile 46 adet özelliğini hesaplamışlardır. Bu özellikleri kullanarak bir genetik algoritma oluşturmuşlardır. Bu algoritmanın ilgili kromozomları ile yapılan işlemler ile konum tespiti yaparak sonuca ulaşmışlardır. Araştırmacılar oluşturdukları yöntem ile mekan ve cihaz bağımsız bir konum tespitini yapabildiklerini ifade etmişlerdir(Galvàn-Tejada vd 2014).

Yao vd 2014 yılında yayınladıkları çalışmalarında, sürekli olarak kullanıcının konumunun takip edilmesinin, insanın günlük yaşamı ve davranışlarına dair yeni fırsatları ortaya çıkaracağını söylemişlerdir. Kapalı mekan konum tespit sistemlerinin kullanıcıyı süre içerisinde enerji sarfiyatını azaltmakta büyük bir kolaylık sağladığı için Wi-Fi tabanlı sistemlerin kullanıldığını ifade etmişlerdir. Daha önce yapılan çalışmalarda enerji verimliliğine önem veren çalışmalar olduğunu ama bunların dış mekan sistemlerde kurgulandığını tespit etmişlerdir. Haberleşme frekansı ile konum örnekleme sıklığı arasında bir optimizasyona giderek enerji verimli bir sistem oluşturduklarını ifade etmişlerdir. Araştırmacılar kurdukları sistemin 14 saat boyunca şarj olmadan çalışabildiğini söylemişlerdir(Yao vd 2014).

Zhou vd yayınladıkları 2014 tarihli yayında cihaz bağımsız pasif insan tespitinin acil durum konum tespiti, varlık güvenliği ve akıllı alanlar için bir anahtar role üstlendiğini belirtmişlerdir. Çalışmada Wi-fi tabanlı sistemlerin RSS değerlerini kullanarak alınan güç üzerindeki dalgalanmalar aracılığı ile üzerinde hiçbir cihaz yada verici taşımayan pasif durumdaki insanın yerini bulmayı amaçlamışlardır. Ticari olarak satılan ve kolay bulunan bir kablosuz modem ve bir diz üstü bilgisayar kullanarak sistemi oluşturmuşlardır(Zhou vd 2014).

Figuera vd 2009 yılında Wi-Fi ağlarında kurulan kapalı mekan konum tespit sistemlerinin görece kolay kullanımlı olması dolayısıyla dikkat çektiğini dile

getirmişlerdir. Parmak boyama (Merkez Uzaklığı) yönteminin çok geniş bir biçimde kullanıldığını ve bunun sebebinin RSS değerleri üzerinden uzaklık hesaplamaya dayalı olması olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında parametrik olmayan istatistiki bir test ile bu yöntemin doğruluğunu arttırmaya çalışmışlardır(Figuera vd 2009).

Manzoor vd 2010 tarihli yayınlarında RFID teknolojisinin kullanım potansiyelinin farkına varıldığını ve son yıllarda geniş disiplinler arası endüstrilerde ve uygulamalarda kullanıldığını değinmişlerdir. RFID tabanlı konumlandırma sistemlerinin diğer teknolojilerle birlikte kullanıldığını dikkat çeken araştırmacılar çalışmalarında referans olarak pasif RFID etiketlerinden oluşmuş ızgara şeklinde dizilmiş bir test düzeneği ile sistemi kurgulamışlardır. Referans etiketler yapılan hesaplar sonucu konumu bilinmek istenen etikete ne kadar uzakta olduğunu vermekte ve konum tespiti yapılmaktadır. Ancak araştırmacılar RFID teknolojisinin tek başına kullanılmak yerine Wi-Fi gibi bir teknoloji ile birleştirilmesinin doğruluğu daha yüksek bir sonuç vereceğine dikkat çekmişlerdir(Manzoor vd 2010).

Ozdenizci vd 2015 tarihli çalışmalarında, GPS sinyallerinin kapalı mekanlardaki sinyal eksiklikleri sebebi ile kapalı mekan konum tespit sistemlerinin popüler hale geldiğini vurgulamışlardır. Çalışmalarında karmaşık binalarda kullanıcının en kısa yoldan hedefe ulaşmasını sağlayacak yolu öneren bir sistem oluşturmak üzerine kurgulamışlardır. Bunun için tüm teknolojileri karşılaştırdıklarında dokunma ile çalışan NFC (Near Field Communication) teknolojisinde karar kılmışlardır. Kurdukları sistemde kullanıcı bulunduğu konuma en yakın NFC etiketine akıllı telefonunu dokundurarak telefonda çalışan bir uygulama ile gitmek istediği noktaya bir yol çizdirebilmektedir(Ozdenizci vd 2015).

Görülmektedir ki birçok araştırmacı kapalı mekanda konum tespiti için GPS sisteminin çalışmamasından dolayı Wi-Fi sistemlerini ve RSS tabanlı konum tespit algoritmalarını kullanarak sistemler geliştirmişlerdir. Ayrıca yine pekçok yayında Wi-Fi sisteminin tek başına kullanılmak yerine başka teknolojilerle harmanlanması da önerilmiştir. Wi-Fi teknolojisinin düzgün çalışabilmesi için en önemli nokta iyi bir yol kaybı modelinin oluşturulmasıdır. Modelin iyi oluşturulması ile RSS bilgisinin mesafe bilgisine çevrilmesindeki hatayı azaltarak daha doğru konum tespiti sağlanacaktır. Devam eden paragraflarda yol kaybı modeli üzerine çalışmalar ile ilgili bilgiler sunulmuştur.

Hausman ve Januszkiewicz 2014 tarihli çalışmalarında, vücut üzeri ağlardaki(BAN- Body Area Network) kapalı mekan ortam koşullarının yol kaybı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Wi-Fi tabanlı sistemler ile yaptıkları çalışmada vericilerin insan üzerindeki yerleşimlerini irdelenmişlerdir. Antenlerin vücut üzerinde yerleştirildikleri yere göre yol kaybı modellerinin başarılı yada başarısız olduğu durumları tespit etmişler ve bundan sonraki çalışmalarda modellere bu konuda katkılar yapılmasını önermişlerdir (Hausman ve Januszkiewicz 2014).

Mani vd 2014 yılındaki çalışmalarında, parçalı yüzeyler, duvarlar ve benzeri yapı objelerinden kaynaklı saçılmaları ve bu saçılmaların propagasyon modelleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalarda saçılmaların yayılan

dalgaların polarizasyonlarını değiştirdiğini ve alına sinyal gücünün 0'a yaklaşmasına neden olduğunu görmüşlerdir(Mani vd 2014).

Kurnaz ve Helhel 2014'de, yeşillik derinliği 400 metreden az olan çam ağacı ormanları için bir yayılım modelini deneysel olarak serbest uzay ve yakın toprak düzlemi yol kaybı modellerini kullanarak önermişlerdir. Bu model 200 m derinliği sınır kabul eden parçalı bir modeldir. Bir çok iyi bilinen yayılım modeli ile önerilen model karşılaştırmışlardır, bilinen modeller 32 ,16, 20 dB gibi ortalama hatalar yaparken önerdikleri modelin ortalama hatası 6 dB civarlarındadır(Kurnaz ve Helhel 2014).

Çelik vd 2013'de, kapalı mekandan dış mekana yayılım ile ilgili deneysel teknikler ile bir deneysel model oluşturmuşlardır. Bu modelde duvarların sayısı, pencerelerin yerleri ve frekansın etkisini incelemişlerdir. Mobil haberleşme sistemlerinin çeşitli protokolleri üzerine yapılan çalışmada teori ile ölçümler arasında en fazla 6 dB sapma görmüşlerdir. Ürettikleri modelde ayrıca bant genişliği etkisini de içermektedir(Celik vd 2013).

Literatürde yine farklı amaçlarla Wi-Fi tabanlı sistemleri kullanan , başka sistemler ile harmanlayan ve var olan sistemleri geliştirmek için algoritmalar geliştiren kapalı mekan konum tespit çalışmaları bulmak mümkündür.

Campos vd 2014 yılındaki çalışmalarında, çok katlı Wi-Fi tabanlı kapalı mekan konum tespit sistemleri üzerine odaklanmışlardır. Katlar, kapılar, koridorlar gibi mimari yapılar bakımından en iyi eşleşmeleri elde etmek için, yazarlar yerleştirme hassasiyetini artıran K-means/Kohonen kümeleme teknikleri ve yapay sinir ağı olmak üzere iki tekniği kombine şekilde uygulamışlardır. Kümeleme teknikleri sonucunda yüksek doğrulukta kat tespitini gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca iki boyutlu yatay konumlamada da 4.5 ile 1.7 metre arasında hatalar ile konum tespit edebilmişlerdir. Araştırmacılar ilerleyen çalışmalarda harmanlanmış(hibritlenmiş) sistemlerden alınan bilgiler ile konum tespit edilmesini önermişlerdir(Campos vd 2014).

Wahab vd 2013 yılında, yol güvenliği uygulamalarında kullanılabilecek bir konum tespit sistemi üzerine çalışma yapmışlardır. GPS sisteminin 10 ile 30 metreler arasındaki hata oranını iyileştirmeye odaklayan araştırmacılar kurdukları sistemle yol üzerinde hareket eden taşıtların yönlerini ve hızlarını tespit etmeyi amaçlamışlardır. Bu sistemin temelini TOA(Time of Arrival) , varış zamanı hesaplama ile kurgulamışlardır(Wahab vd 2013).

Uebayash vd 2013 tarihli çalışmalarında, görüş alanında olmayan bölgelerden yansiyarak vericiye tekrar ulaşan yansıyan dalgalar ile konum tespiti yapmaya odaklanmışlardır. Varış süresi ve varış süresi arası farklar üzerinden bir nümerik yöntem kurarak konumu tayin etmişlerdir(Uebayash vd 2013).

Kim vd 2003 yılında, RF etiketlerinin uzak mesafeli kullanımında oluşan küçük ölçekli solmaları incelemişlerdir. Kapalı mekanda 2.4 GHz ile kısa mesafede yansıtıcı anten üzerinden yansıyan dalga üzerinde etkili küçük ölçekli solmaları incelemişler ve tek yönlü bağlantı ile karşılaştırıldığında yol kaybının üstel ifadesini ikiye katladığını göstermişlerdir(Kim, Ingram ve W. Whit Smith 2003).

Aitenbichler ve Mühlhäuser 2003 yılındaki bildirimlerinde, kızılötesi tabanlı optik yerel bir konumlama sistemi önermişlerdir. Önerdikleri sistemde hedefler kızılötesi ışık yayan aktif etiketleri taşımakta ve bu sinyaller bir kamera vasıtası ile alınarak işlenmektedir. Önerdikleri sistemin piyasadan ucuza bulunup alınabilen elemanlar ile oluşturulmuş, kolay kurulumlu ve geniş yetenekli bir sistem olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca RF, ultrasonik, manyetik ve kızılötesi sistemlerin konum tespitinde kullanımlarını da irdelemişlerdir(Aitenbichler ve Mühlhäuser 2003).

Brunato ve Battiti 2004 yılındaki makalelerinde, access pointler aracılığı ile kurulmuş düzeneklerde kablosuz cihazın yerini sinyal gücü ve parmak boyama/ merkez uzaklığı yöntemi ile tespit etmeye yarayan sistemleri iyileştirmeye yönelik teknik ve algoritmalar üzerinde durmuşlardır. Sinyal gücü ölçümünün Wi-Fi cihazların üzerinde standart bir özellik olduğu için ekstra donanım ihtiyacı duymadığına parmak basmışlardır. İstatiksel öğrenme teorisi tabanlı geliştirdikleri algoritmalar ile RSSI bilgilerini ölçerek konum tespit eden bir sistem kurmaya çalışmışlardır(Brunato ve Battiti 2004).

Al-Ahmadi vd 2011 yılında, mevcut kapalı mekan konum tespit sistemlerinin kullanıma geçmeden önce bir öğrenme fazından geçtiği ve bir radyo haritası çıkartılmaya ihtiyaç duyduğuna değinmişler ve bu aşamaya ihtiyaç duymayan bir sistem için çalışmalar yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda sistem Bayesian grafik modellerini kullanan bir tek aşamalı konum tespit sistemi oluşturmuşlardır. Oluşturdukları sistemin 2.139 m ortalama doğrulukta ve %75 oranında 2.601m hata ile çalıştığını söylemişlerdir(Al-Ahmadi vd 2011).

Alsehly vd 2011 yılında, kat tespitinin kapalı mekan konumlamadaki önemli noktalardan biri olduğuna dikakt çekmişlerdir. Çalışmalarında düşük maliyet ve zaman da sunulabilen Wi-Fi tabanlı yeni konumlama algoritmalarını sunmuşlardır. Çoğu konumlama çalışmasında metre bazında sunulduğu gibi bir sonuç değil kat tahmini üzerine sonuçlarını sunmuşlardır. RSSI tabanlı yaptıkları ölçümlerde en iyi durumda %75 oranında doğru kat tespitinde bulunmuşlardır(Alsehly vd 2011).

Lin vd 2011 yılındaki yayınlarında, RFID teknolojisi ve RSS bilgisi kullanarak yapay sinir ağları oluşturmuşlardır. Sonrasında genetik algoritma aracılığı ile her bir sinir ağının ağırlığını bulmuşlardır. Son olarak takip etiketleri eşyalar üzerine yerleştirilmiştir, bu etiketler sinir ağlarını ve komşu referans etiketlerden aldıkları konum bilgilerinin aritmetik ortalamalarını alarak konumlarını bulabilmektedir. Ayrıca çalışmalarında kullandıkları çoklu yapay sinir ağı yönteminin tek bir sinir ağı kullanmaya nazaran daha başarılı olduğunu belirtmişlerdir(Lin vd 2011).

Bahl ve Padmanabhan 2000'de, taşınabilir işlem cihazlarının ve kablosuz yerel ağ (WLAN) ekipmanlarının artmasının konuma duyarlı hizmet ve sistemlere olan ilgiyi arttırdığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında kullanıcıları binaların içinde izlemek için RF tabanlı RADAR ismini verdikleri sistemi sunmuşlardır. Kurdukları sistem pekçok baz istasyonunda sinyal güçlerini kaydederek ve işleyerek çalışmaktadır. Deneysel bir yayılım modeli ile kullanıcının konumunu tespit ederek, konum bilgisi servislerini ve

hizmetlerini aktif etmektedir. Yazarlar sistemin ortanca çözünürlüğünün 2 ile 3 metre arasında olduğunu belirtmişlerdir(Bahl ve Padmanabhan 2000).

Zhao vd 2010'da, kapalı mekandaki asansör gibi büyük engellerin olması durumunda radyo dalgalarının bu engellerin içinden geçemeyeceğini belirtmişlerdir. Bu durumda, alınan sinyal gücünde (RSS) iletim ve yansıma yolu ile ulaşan sinyallerin katkısının düşeceği ve sadece kırınım yoluyla gelebileceğini belirtmişlerdir. Bu durumda klasik yol kaybı modelinin uygulanamayacağını ve geliştirilmiş bir modele ihtiyaç olduğunu vurgulamışlardır. Bu amaçla çalışmalarında her bir verici için mekan bağımlı vericiye özel yol kaybı indeksi "n" hesaplamışlardır. Bu indeks ilgili vericiden elde edilen RSS değerine bağlı uzaklık hesabında kullanılmıştır(Zhao vd 2010).

Liu vd 2007'de yayınladıkları çalışmada kablosuz kapalı mekan konum tespit sistemlerinin hem konum tespit yöntemi hem de kullanılan kablosuz haberleşme teknolojileri bakımından karşılaştırmasını yapmışlardır. Bir kapalı mekan konum tespit sisteminin hangi kıstaslar ile daha iyi yada daha kötü olarak nitelendirilebileceğini tanımlamışlardır. Yine çalışmalarında o tarihe kadar yapılmış olan çalışmaları kablosuz haberleşme teknolojileri, konum tespit algoritması, doğruluk, hassasiyet, karmaşıklık vb. gibi bir çok parametre ile değerlendirerek birbirleri ile karşılaştırmış ve araştırmacılara kendi çalışmalarının başarısını değerlendirebilecekleri bir referans oluşturmuşlardır. Pek çok konum tespit sistemi çalışmasında bu çalışma referans olarak kullanılmış ve başarı değerlendirmesi yayının verdiği kıstaslar ile yapılmıştır(Liu vd 2007).

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde hemen hemen tüm araştırmacıların Wi-Fi tabanlı sistemler için bir model üretilmesi gerektiğine vurgu yaptığı görülmektedir. Ayrıca pek çok yayında Wi-Fi tabanlı sistemlerin RFID, Ultrasonik gibi teknolojiler ile harmanlanması önerilmiş ya da denenmiştir (Bose ve Foh 2007;Helhel vd 2015;Fukuju vd 2003).

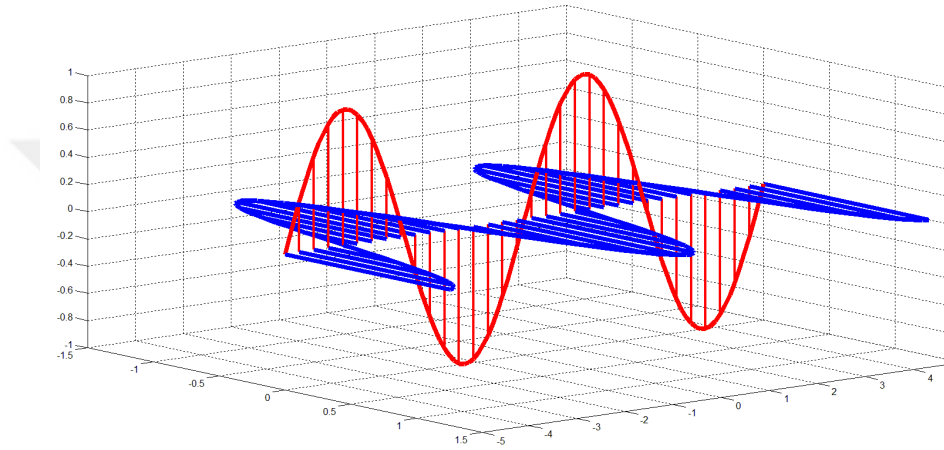
Konumlama sistem performansının en önemli ölçütü konum belirleme hassasiyetidir. Ortaya çıkan konum hatasının (yatay, dikey ve vektör toplamı) minimize edilmesi literatürdeki çalışmaların odak noktasıdır. Bu doğrultuda, sunulan çalışmada WiFi tabanlı sistemlerde ortaya çıkan konum hatasının en önemli nedenlerinden biri olan yakın mesafe okuma hatasının ultrasonik mesafe bilgisi ile desteklenerek azaltılması için Wi-Fi ve Ultrasonik teknolojilerini harmanlayarak bir arada kullanan konum tespit sistemine ilişkin algoritma ve sistem tasarımı önerilmiştir. Çalışmanın 2. Bölümünde kuramsal bilgiler, 3. Bölümünde çalışmada kullanılan materyal ve yöntemler ile o yöntemlerin açıklamaları, 4. Bölümünde ise çalışmanın sonuçlarından bahsedilmiştir. Çalışmada başvuru kaynaklar ise 5. Bölümde listelenmiştir.

2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMASI

2.1. Elektromanyetik Dalgalarda Yayılım

Elektromanyetik dalgalar enine dalgalar olup titreşim doğrultusuna dik bir doğrultuda hareket ederler ve bu hareket Poynting vektörü olarak tanımlanır. Birimi metrekare başına düşen güç miktarı olduğundan kısaca güç yoğunluğu olarak da tanımlanabilir.

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H} \text{ (W.m-2)} \quad (2.1)$$



Şekil 2.1. Elektromanyetik dalgaların enine kutuplanması

Bu denklemde \vec{E} ve \vec{H} sırası ile elektrik alan şiddeti ile ona eşlik eden dik doğrultudaki manyetik alan şiddetini ifade etmektedir. Elektrik ve manyetik alan şiddetlerinin birlikte oluşturduğu düzlem Poynting vektörüne diktir. Bir kaynaktan kutuplanarak çıkan elektromanyetik dalga hedef noktaya mesafesinin karesi ile ters orantılı olarak ($\sim 1/R^2$) ulaşır. Yayılım modellemesi hesaplarında elektrik alan şiddetinden ziyade dalganın yol kaybı değeri dikkate alınır. Ancak yol kaybı hesabında elektrik alan şiddeti yerine elektromanyetik dalganın gücünü kullanmak pratiklik bakımından önem taşımaktadır. Bu nedenle daha sonra değinileceği üzere bu çalışmada da verici ve alıcıda okunan işaretin güç değerlerinden yararlanılmıştır. E_0 başlangıç elektrik alan şiddetine karşın, kayıpsız bir ortamda, “R” mesafesinde okunan elektrik alan şiddeti değeri Denklem 2.2 ile verildiği biçimdedir.

$$|\vec{E}_r| = E_0 \cdot e^{-i\beta \cdot R} \quad (2.2)$$

Okunan elektrik alan şiddeti değerinden güç hesabına geçmek için Denklem 2.3 kullanılır. (Helhel, Ozen ve Goksu, 2008)

$$P_r = \frac{|\vec{E}_r|^2}{30 \cdot G_1(\theta)} \cdot \left| \frac{l}{e^{-i\beta \cdot R}} \right|^2 \quad (2.3)$$

Verilen eşitlikte, P_r alınan sinyal gücünü, G_1 yönlendirilmiş anten kazancını, l toplam yayılım yolu uzunluğunu göstermektedir. Denklem çözümü ile yol kay kaybı hesaplanabilmektedir.

Çalışmalarımız serbest uzay ortamında gerçekleşmediğinden, elektromanyetik dalgaların içinde bulunduğu ortamdan etkilenmesini beklemek gerekir. Buna bağlı olarak Radyo dalgaları birbirinden bağımsız üç temel olgudan etkilenmektedir. Bu olgular:

1. Alıcı Verici ayrışıklığına bağlı olarak sinyal zayıflaması
2. RF gölgeleme (Büyük Ölçekli Solma) etkisine bağlı olarak sinyal varyasyonları
3. Çoklu yol(multipath) yayılımı şartlarında oluşan sinyal varyasyonlarıdır.

Bu üç olgunun her biri ayrı ayrı farklı fiziksel mekanizmalar sebebi ile oluşmaktadır. Bir yayılım modeli oluşturmak isteyen kişi her bir olguyu ayrı ayrı irdelemelidir (Agilent Technologies 2000).

2.1.1. Çokluyol yayılımı

Çokluyol yayılımı kablosuz haberleşme kanalının esas karakteristiklerinden birisidir. Bir sinyal vericiden çıktıktan sonra alıcıya farklı yollar izleyerek varmaktadır. Bu açık mekanda ağaçlar, binalar, yer düzlemi gibi cisimlerden yansıyarak, kırılarak ve kırılarak oluşurken kapalı mekanda duvarlar, kolonlar, kirişler, mobilyalar üzerinden yansımalar ile oluşmaktadır. Bir hedef noktasından sinyalin bir çok kopyasının birleşmesi sonucu ulaşan sinyallerin fazlarına bağlı olarak okunan genlikte değişiklikler olmaktadır. Eğer aynı faz ile ulaşmışlar ise okunan genlik üst üste toplanarak büyüyecek ama fazlar aynı olmazsa sinyalin dalga formalarının bileşkesi daha düşük genlikli bir hal alacaktır.

2.1.2. Küçük ölçekli solma

Bir önceki başlıkta farklı fazla ile hedefe ulaşan çoklu sinyallerin toplamının daha zayıf bir sinyal oluşturabileceğini görebiliriz. Teorik olarak bu sonuç doğru olmakla birlikte gerçek hayatta çoklu yoldan gelen sinyallerin genlik ve fazlarının doğrusal bir şekilde değişmeyip, dalga formunun her bir noktasında ayrı ayrı zayıflamalar ve faz kaymaları görülerek hedefe ulaşmaktadır. Bu noktasal görece küçük ama dalganın her bir noktasında ayrı ayrı oluşan solmaya, küçük ölçekli solma denir.

2.1.3. Büyük ölçekli solma

Daha önce bir noktadaki sinyalin iki sinyalin bileşkesi olabildiği inceleştik, bu sinyallerden birisi yavaş değişen diğeri ise keskin değişen hızlı solmalı bir sinyal olduğu durumda, sinyallerin yerel ortalamalarını açıklayan mekanizma büyük ölçekli solma ya da log-normal gölgeleme (gölgeleme faktörü) olarak adlandırılmaktadır. Bu olgu alıcı verici arasındaki mesafe aynı tutulduğu durumda birden fazla ölçüm yapıldığında alınan

birbirinden farklı sonuçları açıklamaktadır. Bu farklar bir çok GSM uygulamasında 10 dB seviyelerini bulabilmektedir.

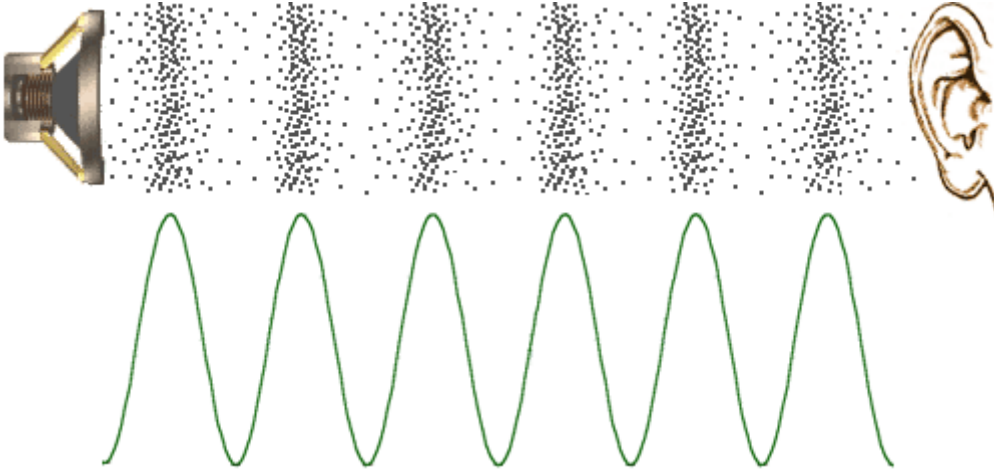
2.2. Ultrasonik Dalgalarda Yayılım

Sesler insan kulağının duyabildiği frekans aralığına göre sınıflandırılır. İnsan kulağının duyabildiği ses bölgesi 20 Hz- 20 kHz frekans aralığıdır. Bu aralıktan daha yüksek frekans bölgesindeki seslere özellikle 20 kHz-1 GHz bölgesine ultrasonik ses veya ses üstü ses denir. Ses dalgaları bilindiği üzere elektromanyetik dalgaların aksine boyuna dalgalardır. Yani yayılım yönünde kutuplanırlar. Bu durumdan dolayı ses dalgaları yayılabilmek için yoğun bir ortama ihtiyaç duymaktadırlar. Kaynakta üretilen basınç değişiminin yayılabilmesi için ortamın yoğun olması gerekir. Boşlukta basıncın etkiyebileceği bir yoğunluk olmadığı için iletilmez. Bunun dolaylı anlamı bu dalgaların sınırlı mesafeler için kullanılabilmesi gerçeğidir.

Ultrasonik ses dalgaları duyulabilir bölgedeki ses dalgalarına göre daha fazla enerjiye sahiptir. İnsan kulağının duyma aralığında olmasalar da köpek, yunus, yarası gibi bir çok hayvan tarafından duyulmakta hatta yarası gibi hayvanlar tarafından üretilip yön bulma amaçlı kullanılmaktadırlar.

Ultrasonik ses dalgaları üretmek için duyulabilir bölgedeki seslerin üretiminde olduğu gibi bir tel, zar yada benzerlerinin titreştirmek kullanılabilmesi gibi hem daha yüksek frekanslar hem de daha yüksek güçler için piezoelektrik olaylardan yararlanılır. Piezoelektrik olayı bir seramik veya kristal malzemelere mekanik bir kuvvet uygulayarak basınç altında tutulunca bu malzemelerin ürettiği elektriksel gerilim olarak açıklanabilir. Bu mekanik tam ters şekilde kullanılıncaya yani malzemelere bir gerilim uygulandığında malzemeler daralıp genişleyerek titreşir ve ses dalgalarını oluşturur.

Ultrasonik dalgaların yayılım hızı frekans ve dalga boyunun çarpımına eşittir. Ultrasonik ses dalgalarının 20 santigrat derecede hava boşluğunda yayılma hızları 344 m/s'dir. Ses dalgalarının elektromanyetik dalgalarla kıyasla yavaş olmaları uzaklık ve yön bakımından ölçülebilir çözünürlüklerinin yüksek olmasını sağlar. Bu sebeptendir ki cisim algılama amaçlı ultrasonik ses dalgaları kullanılmaktadır. Üretilen ses dalgası bir cisme çarparsa yansır ve geri döner ve bu yansıyan dalga alıcı bir düzenek ile tespit edilerek gönderilen dalganın doğrultusunda bir cisim olup olmadığı anlaşılabilir. Ultrasonik dalgalarının yayılım hızları ortam içinde sabit olduğu için cisimlerin uzaklığı belirlenebilir. Konum tespit amaçlı çalışmalarda, uzaklık bilgisini kesin olarak tespit edecek şekilde kullanımları olduğu gibi, kullanıcının sadece belirli bir yakınlıkta olduğunu tahmin edebilmesi için var/yok mantığı ile çalışan ve sadece sinyal varlığını kullanan düzeneklerde kullanılmaktadır. İkinci seçenek daha kolay, daha ucuz bir çözüm sunmakla birlikte net bir uzaklık vermediği için konum bilgisini sadece belirli bir alana indirgeyebilmektedir. Belirlenen alan tek başına çok bir anlam ifade etmemekle birlikte başka bir teknoloji ile harmanlanarak kullanıma oldukça uygundur.



Şekil 2.2. Ses dalgası yayılımı (Media College 2017)

2.3. Anten ve Serbest Uzayda Yayılım

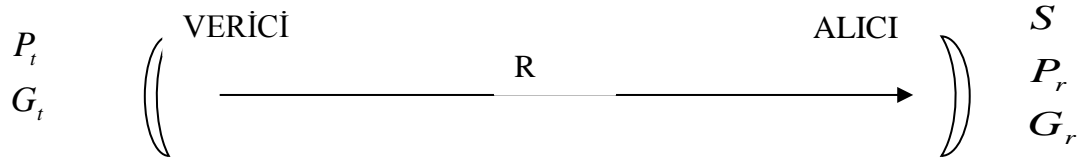
2.3.1. Anten

Elektriksel gerilimi tasarlandığı biçimde yönlü yada yönsüz olarak elektromanyetik enerjiye dönüştürerek yayan ve üzerine düşen elektromanyetik enerjiyi yine elektrik gerilimine dönüştüren, iletken fiziksel yapılara anten denir. Aynı zamanda antenler iki ortam arasında geçişi sağlamaları dolayısıyla besleme hatları ile yayılma ortamı arasındaki empedans uyumlandırma amaçlı bir dönüştürücü olarak da düşünülebilir. Bu sebeptendir ki verimli ve empedansı uyumlu bir anten olmadan elektromanyetik dalgaların uzak mesafelere etkin bir biçimde iletilmesi mümkün olmamaktadır.

2.3.2. Serbest uzayda yayılım ve Friis güç iletim denklemi

Az sayıdaki durum için radyo dalgalarının yayılımının kararlı ve kesin yollarla hesaplayabilmek mümkündür. Bu durumlardan bir tanesi serbest uzay ortamındaki radyo dalgalarının yayılımıdır. Ancak gerçek uygulamalarda bir çok kestirilemeyen koşul bir araya geldiği için oldukça zorlaşmaktadır.

Serbest uzayda bir verici antenin besleme ucundaki güç ile alıcı antenin besleme ucundaki güç arasındaki ilişkiyi hesaplamak için oluşturulmuş denklem 2.6'daki haline Friis denklemi denir. Denklem 2.4'de, verici anteni besleyen P_t P_r gücü yön bağımsız bir anten ile yayıldığında r yarıçaplı bir kürenin yüzeyine eşit şekilde dağılacak şekilde yayılır. Eğer verici antenin bir G_t yönlendirilmiş kazancı var ise yayılım bu yönlendirmeye bağlı olarak belirli bir bölgede toplanır. Bu doğrultuda yayılan dalgalar R mesafesindeki alıcı üzerinde S güç yoğunluğunu oluşturur(Helhel 2017).



Şekil 2.3. Alıcı verici anten çifti

$$S = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} (W/m^2) \quad (2.4)$$

Alıcı anten üzerine düşen güç yoğunluğunun alıcı antenin etkin açıklığı ile çarpımı uyumlu yüke aktarılır. Böylece alıcı hatta aktarılmış olan güç miktarı;

$$P_r = S A_{e_r} = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} G_r \quad (2.5)$$

Biçiminde elde edilmiş olur. Denklem 2.5’de P_t verici gücünü, S güç yoğunluğunu, A_{e_r} alıcı antenin etkin açıklığını ifade etmektedir. Vericinin besleme ucundan verilen güç ile uyumlu yüke aktarılan güç arasındaki ilişkiyi anlatan Friis güç eşitliği Denklem 6. Deki şekilde ifade edilir.

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_r G_t \quad (2.6)$$

2.4. Bina İçi Yayılımın Modellenmesi

2.4.1. Bina içi elektromanyetik yayılımın modellenmesi

Daha önceki başlıkta incelenen Friis denklemi bize serbest uzay ortamında bir birine bakan alıcı verici çifti arasındaki yayılım ve zayıflama hakkında bilgi verir.

Friis denklemi tüm yayılım modelleri için iyi bir çıkış noktasıdır. Ancak model üzerinde bir çok değişiklik yapılarak ilgili ortama uyarlanması gerekmektedir. Bu uyarlamaların güzel bir örneği Kurnaz ve Helhel 2014’de anlatılmıştır (Kurnaz ve Helhel 2014). Friis denkleminin düzgün çalışabilmesi için serbest uzay ortamı ve doğrudan görüş(line of sight) çizgisi haricinde her hangi bir doğrultudan sinyal alınmaması gerekmektedir. Bilinen Friis denklemine bir bölen olarak getirilecek L yayılım faktörü ölçüm yapılan ortama göre denklemi uyarlamaktadır (Denklem 2.7).

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{G_r G_t \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2 L} \quad (2.7)$$

Yayılm modellemesinin yapılacağı ortama bağlı olarak yukarıdaki denklem içerisinde yer alan “L” faktörü büyük bir değişime uğrayarak, yola çıkılan temel denklemi başka bir forma dönüştürmektedir. Bu dönüşüm neticesinde, orman, şehir, açık alan ve kapalı mekanlar için elde edilen yayılım modelleri bir birinden çok farklı olmaktadır. Bu çalışmanın hedefi kapalı mekan konum tespitinde kullanılmak üzere elektromanyetik dalgaların kapalı mekan yayılım modellemesine ihtiyaç vardır.

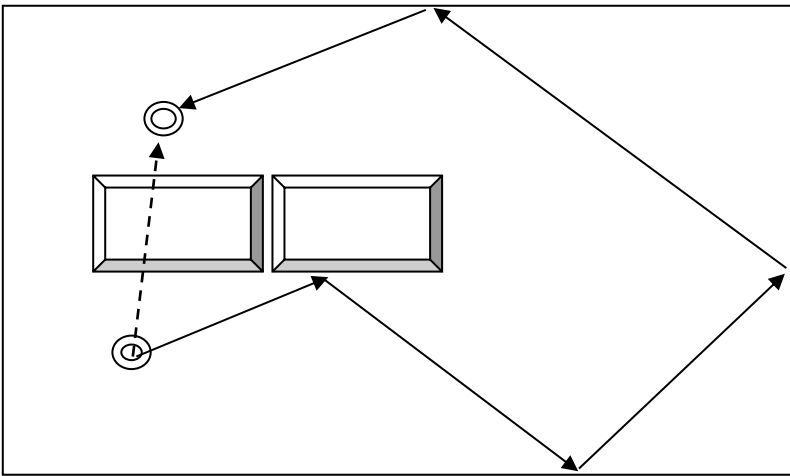
2.4.1.1. Yol kaybı (Path Loss) modeli

Zhao vd 2010 ‘da Denklem 2.8 de verildiği üzere ifade etmiştir(Zhao, Li ve Shi 2010). Bu denklemde $P(d)$ alıcı d mesafede iken alınan sinyal gücünü dBm cinsinden, $P(d_0)$ alıcı, d_0 (1 metre) mesafede iken alınan sinyal gücünü, n parametresi bina içi ortamına bağlı yol kaybı indeksini ve ζ ise rastgele bir değişken olan gölgeleme faktörünü ifade eder. Kapalı mekanda yol kaybı modeli :

$$P(d) = P(d_0) - 10 \times n \times \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \zeta \quad (2.8)$$

2.4.1.2. Baskın yol modeli

Kapalı mekanda ortadan kaldırılması mümkün olmayan ve elektromanyetik dalgaları etkileyen asansör gibi objeler var ise yol kaybı modeli yerine kullanılan modeldir. Bu tip ortamlarda iletilen ve yansıyan dalgaların sinyal gücüne etkisi oldukça azalmaktadır ve çoğu zaman elektromanyetik dalgalar alıcıya kırınım yoluyla ulaşmaktadır. Geleneksel yol kaybı metodu bu durumda uygulanamamaktadır çünkü alıcı verici arasındaki d mesafesinin bir fonksiyonu olan $P(d)$ burada d mesafesindeki gücü vermemektedir. Ancak Zhao vd 2010 ‘a göre baskın yol uzunluğu olan L ile bağdaştırılabilir.



Şekil 2.4. Baskın yol modeli örneği

Şekil 2.4.'de de görüldüğü üzere elektromanyetik dalganın yolu üzerindeki engellerin içinden geçen kesikli doğru kuşbakışı gerçek uzaklıktır. Ancak asansör benzeri metal ağırlıklı engeller elektromanyetik dalgaların geçmesine izin vermezler. Dolayısıyla alıcıya ulaşan sinyaller yansımalar ve kırınımalarla oluşan diğer doğruların gösterdiği baskın yol üzerinden gelmektedirler. Önerilen baskın yol modeli ise şu şekildedir:

$$P(L) = P(d_0) - 10 \times n \times \log\left(\frac{L}{d_0}\right) \quad (2.9)$$

Denklem 2.9'da $P(L)$ baskın yol olan L uzaklığındaki alıcıda okunan sinyal gücü ve baskın yol $P(d_0)$ iken ölçülen değerdir ($d_0=1$ metre). n parametresi ise ortama bağlı yol kaybı indeksidir. Rappaport 2001 yılındaki kitabında bir çok haberleşme sistemi için yayılım modellerini irdelemiş, modellerin ortam şartlarına göre nasıl revize edileceğini anlatmıştır (Rappaport 2001). Bahsi geçen modeller ilerleyen başlıklarda da anlatılacağı üzere ölçüm yapılan bölgeye göre optimize edilerek konum tespitinde başarı artması sağlanabilir.

2.4.1. Ultrasonik ses dalgalarının yayılımının modellenmesi

Ultrasonik sesin hızı ortam sıcaklığına göre değişmektedir. Ultrasonik ses dalgalarının hızı 20 santigrat derece sıcaklıkta $V_{us} \cong 344 \text{ m/s}$ 'dir. Konum tespit sisteminde ultrasonik ses dalgası bir çeşit referans sinyali olarak kullanılacağı için direkt olarak mesafe bilgisi ölçme ihtiyacı yoktur.

2.5. IEEE 802.11 Standartları

IEEE 802.11, bilgisayar haberleşmesinde bir dizi Telsiz Yerel Ağ (TYA / WLAN) standartına verilen isimdir. Bu standart 1997 senesinden beri, uluslararası bir sivil toplum örgütü olan, Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (EEME / IEEE) tarafından geliştirilmektedir. IEEE kısaltması bu kuruluşu belirtmektedir.

802.11 standardının gelişimi ile IEEE 'nin 11 inci çalışma grubu ilgilenmektedir. Bu çalışma grubu aynı zamanda Metropolitan Ağ Standartları (MA / MAN) ile ilgili çalışma yapmaktadır. Çalışma grubunun tam ismi "IEEE TYA ve MA Standartlar Komitesidir.

802.11 iletişim kuralının ilk sürüm olan "legacy" 1997 yılında piyasaya sürülmüştür. Bu sürüm iki tane veri aktarma hızına sahiptir. Bunlar 1Mbit/s ve 2Mbit/s hızlarıdır. Bu sürüm de veri 3 şekilde aktarılıyordu. Bunlar sırası ile Kızıl Ötesi, Frekans Atlamalı Geniş Spektrum (Frekans Sıçrama) ve Seri Çalışan Frekans Etkileşim Yöntemi. Bu üç yöntemde Sınai, Bilimsel, ve Tıbbi Frekans Bandı olan 2.4Ghz den yayın yapmaktadır.

Zamanla bu standardın devamına a/b/g/n/c gibi revizyonlar gelmiş ve çeşitli farklılıklar ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada kullanılan vericiler 802.11 b/g/n vericilerdir. 2.4 Ghz de ve 14 kanallı veri iletimi yapabilmektedirler. Bu çalışmada

kullanılan elektromanyetik dalgalar bu standart ta çalışan Wi-Fi sistemleri aracılığıyla oluşturulup ölçülmüştür.

2.6. Konum Tespit Yöntemleri

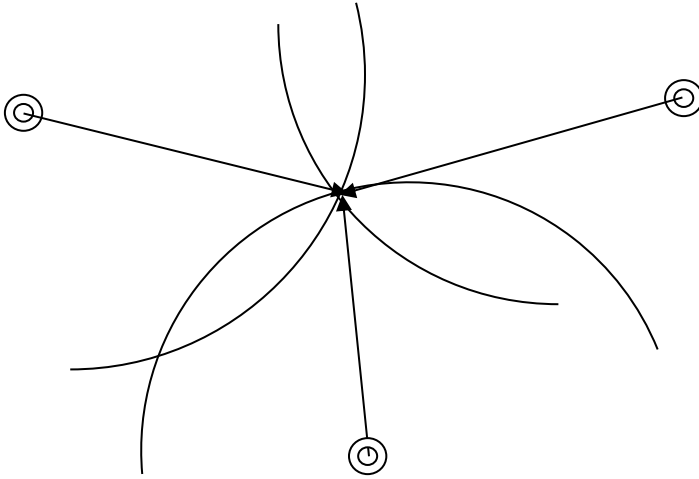
Klasik olarak bir objenin yerini tespit etmek için öncelikle referanslar belirlenmelidir. Bu çalışmadaki kurulan sistemde elektromanyetik vericiler sabit tutularak referanslar olarak kullanılmıştır ve hareketli cihazın yerini bulurken bu referansları kullanması sağlanmıştır. Bu referanslar belirlendikten sonra çeşitli yöntemler ve çeşitli parametreler kullanılarak konum tespiti gerçekleştirilebilir. Aşağıda incelenecek olan yöntemlerde 3 referans noktalı sistemler baz alınacaktır.

2.6.1. 3-Merkez uzaklığı-3Mu (Trilateration)

Cotera vd 2016'da, RF sinyallerini dinleyen bir robotun konumu bulmak için çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda okunan RSS bilgisini bir yayılım modeli aracılığıyla uzaklık bilgisine çevirmişlerdir. Elde edilen uzaklık bilgileri ile konum tespiti yapmak için 3 merkez uzaklığı algoritmalarından(trilateration) faydalanmışlardır. Bu çalışma esnasında detaylı bir biçimde 3 merkez uzaklığı yöntemini açıklamışlar, kapalı mekan konum tespit sistemlerinde kullanırken algoritma içinde dikkat edilmesi gereken noktalara değinmişlerdir(Cotera vd 2016).

He ve Chan 2015'de , kapalı mekan konumu bazlı servislere olan ticari ilginin artması dolayısıyla pek çok kapalı mekan konumlama tekniğinin geliştirildiğini vurgulamışlardır. Çalışmalarında Wi-Fi tabanlı ve parmak boyama /3 merkez uzaklığı yöntemi ile çalışan sistemleri incelemişlerdir. Wi-Fi ve 3 merkez uzaklığı yönteminin bir arada kullanılmasının uygulanabilirlik ve verimlilik açısından en büyük araştırma alanlarından biri olduğuna dikkat çekmişlerdir. 3 Merkez uzaklığı algoritmasını kullanan Wi-Fi tabanlı sistemlerin temelde bir adet çevrimdışı ve bir adet çalışma fazı olmak üzere toplam 2 fazdan oluştuğunu belirtmişlerdir. İlk faz olan çevrimdışı fazda kurulum yapılan alanda bir çok kalibrasyon ölçümü yapılarak RSS bilgilerinin uzaklık bilgisi ile kalibre edildiğini ikinci fazda ise kullanıcıların tekil ölçümler yaparak konumlarını tespit ettiğini belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında RSS tabanlı konum tespit sisteminin RSS bilgileri üzerindeki değişimleri takip ederek hareket algılama sistemi olarak da kullanılabileceğini önermişlerdir(He ve Chan 2015).

Bu yöntem vericiler ve alıcı arasındaki mesafenin bilinmesine ihtiyaç duymaktadır. Referans noktalarının koordinatları ve alıcı ile aralarındaki mesafe bilindiği için her bir referans ayrı ayrı merkez kabul edilerek yarıçapı alıcının o referansa uzaklığı olan daireler çizildiğinde bu dairelerin kesişim noktası konumu vermektedir. Şekil 2.5'te doğrular her bir referansa olan uzaklığı göstermektedir. Doğrular yarıçap kabul edilerek çizilen daireler konumda kesişir. Bu çalışmada kullanılan yöntem de budur. Uzaklık hesaplamak için daha sonra detaylı olarak anlatılacağı üzere Alınan Sinyal Gücü(RSS) kullanılmıştır.

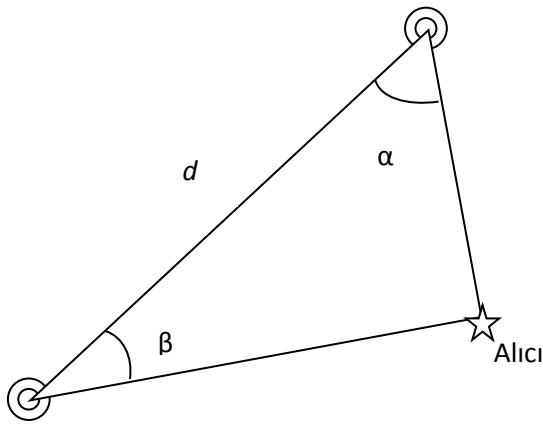


Şekil 2.5. 3-Merkez uzaklığı(3Mu) yöntemi

2.6.2. Üçgenleme (Triangulation)

Lee vd 1977 tarihli yayınlarında, haritalandırma ve bir noktanın pozisyonunu tayin etme konularında araştırmalarını sunmuşlardır. Hedef noktaya uzaklıkları ayrı ayrı bilinen ve kendi aralarındaki mesafe de belli olan bir sistemde üçgen yasaları gereği hedefin sadece tek bir noktada olacağını söylemişlerdir. Aynı şekilde referans noktaların arasındaki mesafe biliyor iken ve hedef noktaya bakış açıları belli ise yine üçgen yasaları gereği sadece tek bir noktada kesişebilecek üçgen kenarlarının çizilerek hedefin konumunun bulunabileceğini göstermişlerdir (Lee vd 1977).

Bu yöntemde alıcı 2 vericinin aralarındaki uzaklığı olan d ve vericilerle kendisi arasındaki açılar α ve β 'i bilmelidir. Bu durum bilinince klasik üçgen yasalarından noktalara olan uzaklıklar ve dolayısıyla konum bulunabilmektedir.



Şekil 2.6. Üçgenleme yöntemi

2.6.3. Çoklu merkez uzaklığı-CMu (Multilateration)

Leonardi vd 2009'da, Çoklu merkez uzaklığı metodunun bir çok büyük havalimanında yer konum bilgisi servisi amaçlı kullanıldığına değinmişlerdir. Temel bir çoklu merkez uzaklığı sisteminde referans noktalardan hedef noktaya gönderilen sinyallerin alınıp tekrar geri gönderilmesi ve toplamda geçen süre üzerinden mesafe hesabı yapılarak konum tespiti yapıldığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında varış süresi ve varış süresi farkları tabanlı iki adet konum tespit algoritması önermişlerdir (Leonardi, Mathias ve Galati 2009).

Kapoor vd 2016'da 40 kHz frekansında çalışan bir ultrasonik şebekesi ile kapalı mekanda 3 boyutlu konum tespiti sistemi sunmuşlardır. Önerdikleri teknikte bir araç gelen ultrasonik sinyallerin varışta geçen sürelerini hesaplayarak konumu hesaplamaktadır. Bu işlem sırasında şebeke yayın yapmamakta ve dolayısıyla sessiz ve kapsayıcı bir konum tespiti elde edilmektedir (Kapoor vd 2016).

Bu yöntem uzaklıktan ziyade zaman bilgisine ihtiyaç duymaktadır. Sinyalin geliş zaman farkı konum tespitinde kullanılmaktadır. Konumu bilinmek istenen verici bir çerçeve (frame) yayar. Bu çerçeveyi yakalayan tüm alıcılar (örnekte 4 alıcı) sisteme alış saatleri ile kaydeder ve referans seçilen bir alıcıya bağlı olarak farklar hesaplanır(Denklem 2.10). Bu farklar:

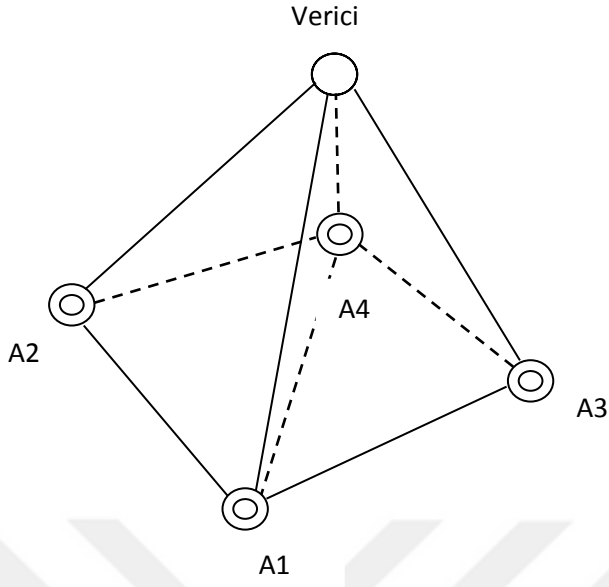
c : yayılım hızı

(x_i, y_i) : alıcı i 'nin koordinatları

e_i : referans alıcıya olan uzaklık, şekil 2.10 için A1 alıcısı olmak üzere:

$$\begin{aligned}
 0 &= c(t_2 - t_4) - \frac{e_2^2}{ct_2} + \frac{e_4^2}{ct_4} + 2x\left(\frac{x_2}{ct_2} - \frac{x_4}{ct_4}\right) + 2y\left(\frac{y_2}{ct_2} - \frac{y_4}{ct_4}\right) + 2z\left(\frac{z_2}{ct_2} - \frac{z_4}{ct_4}\right) \\
 0 &= c(t_2 - t_3) - \frac{e_2^2}{ct_2} + \frac{e_3^2}{ct_3} + 2x\left(\frac{x_2}{ct_2} - \frac{x_3}{ct_3}\right) + 2y\left(\frac{y_2}{ct_2} - \frac{y_3}{ct_3}\right) + 2z\left(\frac{z_2}{ct_2} - \frac{z_3}{ct_3}\right) \\
 0 &= c(t_3 - t_4) - \frac{e_3^2}{ct_3} + \frac{e_4^2}{ct_4} + 2x\left(\frac{x_3}{ct_3} - \frac{x_4}{ct_4}\right) + 2y\left(\frac{y_3}{ct_3} - \frac{y_4}{ct_4}\right) + 2z\left(\frac{z_3}{ct_3} - \frac{z_4}{ct_4}\right)
 \end{aligned} \tag{2.10}$$

denklemlerinin çözümünde kullanılarak konum tespit edilir.



Şekil 2.7. Çoklu merkez uzaklığı yöntemi

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Wi-Fi Tabanlı Konum Tespiti

Bu çalışmanın çıkış amacı olan kapalı mekanda yüksek doğrulukta çalışan konum tespit sistemi oluşturmak için daha önce yapılmış olan çalışmalarda ortaya çıkan sonuçlara göre bu çalışma iki aşamaya bölünmüştür. İlk aşama olarak daha önce denenmiş ve kısmen başarıya ulaşılmış olan Wi-Fi tabanlı konum tespit sisteminin ikinci aşaması ise ilk çalışmada ortaya çıkan sonuçlar (Kocakusak Ve Helhel 2015) ve bu çalışmada Wi-Fi tabanlı sistemler ile ilgili yapılan çalışmaların ışığında en büyük hatanın yapıldığı gözlemlenen elektromanyetik dalga üreten vericilere yakın bölgelerde hatayı azaltacak bir sistemin kurulmasıdır. Dolayısıyla son durumda bu çalışmanın çıktısı olacak sistem iki sistemi bir arada kullandığı için HARMANLANMIŞ KONUM TESPİT SİSTEMİ olarak adlandırılacaktır.

3.1.2. Wi-Fi alıcı verici cihazları

İlk aşama olarak kolay bulunan ve hali hazırda bir WLAN (Wireless Local Area Network, Kablosuz Ağ) ile konum tespitinin gerçekleştirilebilmesini sağlayabilmek amacıyla piyasada kolay bulunan ve cihaz bağımsız bir sistem oluşturmak amacıyla sıradan cihazlar kullanımı kararlaştırılmıştır. Bu bağlamda alıcı cihaz olarak bir diz üstü bilgisayar seçilmiştir. Üzerinde taşıdığı kablosuz ağ bağdaştırıcından okunabilen sinyal gücü değerleri algoritmalara sokulmuştur. Ağ bağdaştırıcısının sinyali aldığı anten dizüstü bilgisayarın sol tarafında kullanıcı bakış açısına göre bilgisayar kasasından ekranın üst kısmına doğru dik olarak yerleştirilmiştir.

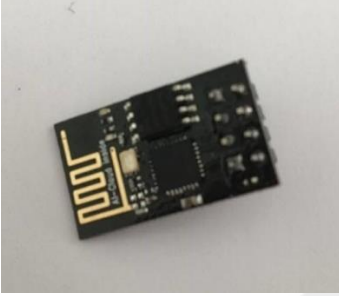
Verici cihaz olarak ise yine kolay bulunabilir ve ucuz olması sebepleri ile ev ve işyerlerinde kablosuz modem olarak kullanılması için üretilmiş olan cihazlar seçilmiştir. Bu seçim ucuzluk, kolay kullanım vb. gibi bir çok avantajı olmakla beraber sinyal gücünün düşük oluşu, sinyal seviyesi üzerinde bir değişiklik yapılamaması gibi dezavantajları da barındırmaktadır. Kullanılan modem EDIMAX WN150 isimli kablosuz modemdir, modem çıkış gücü kataloğunda -50 dBm olarak verilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Verici olarak kablosuz modem



Şekil 3.3. Arduino Mega



Şekil 3.4. ESP8266 Wi-Fi bağdaştırıcı

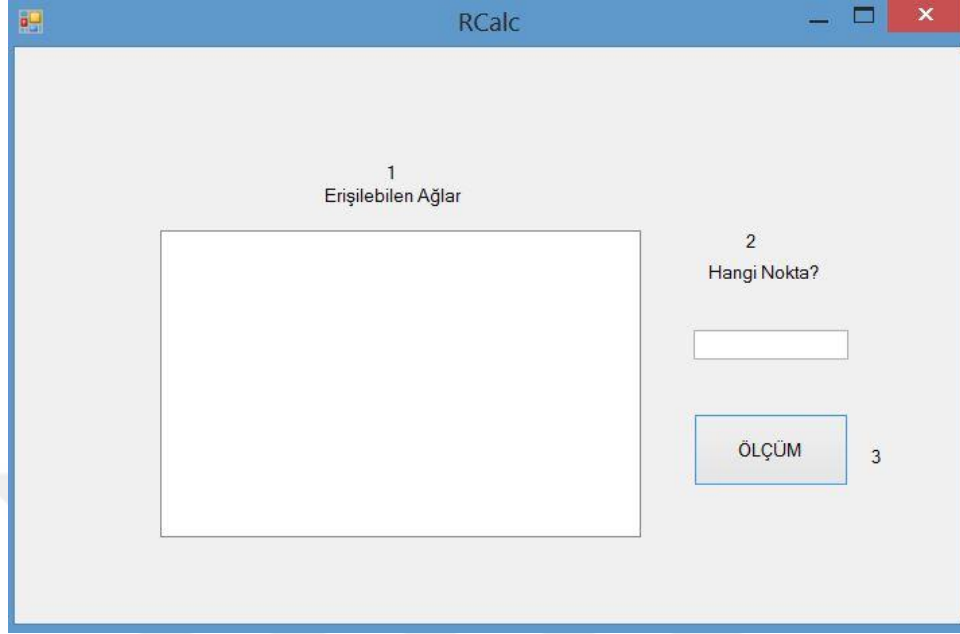
3.1.3. Wi-Fi sinyal gücü ölçme programı

Kapalı mekan yayılım modelinin düzgün çalışabilmesi için en önemli kısıtlardan biri yol kaybı modelindeki n yol kaybı endeksinin hesaplanmasıdır. Bu hesaplamamanın en doğru sonucu verebilmesi için olabildiğince fazla sayıda referans veriye ihtiyaç duyulmaktadır.

Hem ilk modelin oluşturulması için hem de sonraki aşamalarda konum tespit sisteminde kullanılacak sinyal güçlerinin ölçülmesi için hızlı ve kararlı çalışan bir bilgisayar programına ihtiyaç duyulmuştur. Bu program Microsoft Visual Studio Professional 2015 ara yüzünde C# yazılım dili kullanılarak yazılmıştır. Bu seçimin yapılmasındaki en büyük sebep diz üstü bilgisayarın Windows tabanlı bir işletim sistemine sahip olması dolayısıyla yine aynı firma ürünü olan derleyici program ile donanım üzerindeki sinyal gücüne erişimin görece daha kolay olmasıdır. Yanı sıra C# yazılım dilinin nesne tabanlı olması ve ara yüz tasarlamaya olan yatkınlığı da tercih sebebi yapmaktadır.

Program öncelikle kapsama alanı içerisindeki tüm kablosuz ağların isimlerini ve alınan sinyal güçlerini(RSS) toplar. Topladığı listeden önceden tanımlanmış olan ve konum tespit sisteminin referansları olarak kullanılacak olan ağları (A,B,C,D,E,F ile isimlendirilmiş) seçerek ilgili vericilere ait RSS değerlerini bir dosyaya saklar. Bu dosyanın içinde veriler sıralı ve bir kodlama ile tutulmaktadır. Her dosya o ölçüm dizisi

başlatıldığında verilen isim ile program tarafından oluşturularak kaydedilir. Alınan sinyal güçleri dBm cinsinden kaydedilmektedir.



Şekil 3.5. Alınan sinyal gücünü ölçen program

Ölçümler alınırken mekan içinde noktalar işaretlenerek bir matris oluşturulmuş ve programda kayıt yapılırken bu matris numaraları da belirtilmiştir. Şekil 3.6.' da gösterildiği üzere sıralı bir biçimde kayıt yapılmıştır. Her bir sütun da başka bir veri saklanmaktadır.

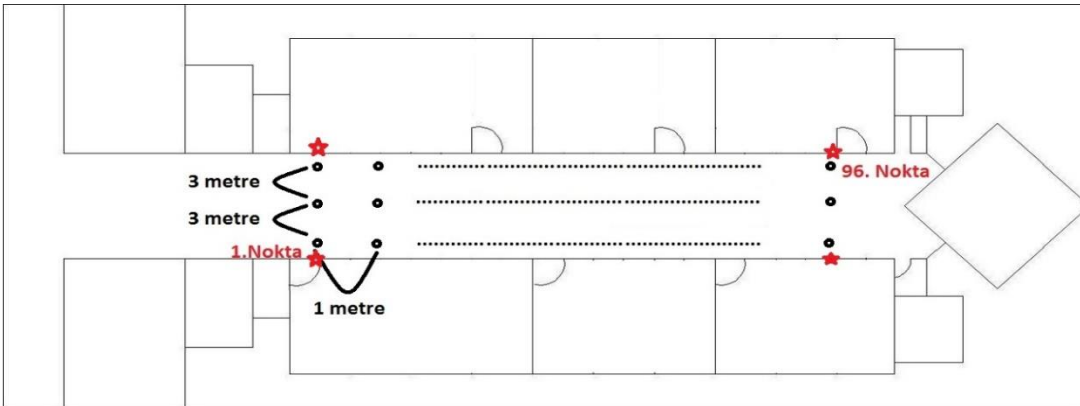
Bunlar kısaca bahsetmek gerekirse, ölçüm noktası, verici adı, sinyal gücüdür. Programı kullanan kişi programı açtığında Şekil 3.5.'deki görüntü ile karşılaşacaktır. 1 numara ile gösterilen bölgede erişim alanında bulunan Wi-Fi ağlarının isimleri görüntülenmektedir. 2 numara ile işaretlenen alan kullanıcının ölçüm yapmakta olduğu noktayı girmesi için oluşturulmuş bir veri giriş kutusudur. Kullanıcı ölçüm yaptığı referans noktasının numarasını girerek daha sonra hesaplamalarda kullanılabilir bir veri oluşturmaktadır. 3 numara ile işaretlenen düğme basıldığı anda o nokta için erişimde bulunan tüm vericiler için arka arkaya 100 adet RSS ölçümü almakta ve bir metin dosyasına bu 100 değer ortancasını yazmaktadır. Sistem erişim alanında, sisteme ait olmayan vericileri ölçüm aşamasında kullanmamakta ancak erişilebilir ağlar kısmında göstermektedir. Bir ölçüm noktası için ortalama ölçüm süresi konuma gelindikten sonra bir dakika sinyal seviyelerinin düzenli hale gelmesini için geçen süre ve ölçüm adımları için geçen süre ile toplandığında iki dakikadan az olmaktadır.

13-0	609	263	ra	-72	rb	-61	rc	-100	rd	-77	re	-64,5	rf	-
13-1	608	268	ra	-73,5	rb	-55	rc	-100	rd	-76	re	-53,5	rf	-
13-2	613	223	ra	-72	rb	-57	rc	-100	rd	-78,5	re	-52,5	rf	-
14-0	608	207	ra	-73,5	rb	-58,5	rc	-100	rd	-76	re	-71	rf	-
14-1	647	207	ra	-70	rb	-57,5	rc	-100	rd	-81	re	-55	rf	-
14-2	673	255	ra	-67,5	rb	-67,5	rc	-100	rd	-82	re	-58,5	rf	-
15-0	835	213	ra	-67	rb	-60	rc	-100	rd	-73,5	re	-56	rf	-
15-1	819	215	ra	-67	rb	-62	rc	-100	rd	-81	re	-57,5	rf	-
15-2	842	221	ra	-68,5	rb	-56	rc	-100	rd	-76	re	-61	rf	-
16-0	839	220	ra	-67,5	rb	-58,5	rc	-100	rd	-72,5	re	-59,5	rf	-
16-1	646	207	ra	-70	rb	-57	rc	-100	rd	-72,5	re	-56	rf	-
16-2	660	270	ra	-72	rb	-70	rc	-100	rd	-77	re	-70	rf	-10
17-0	608	253	ra	-77	rb	-58,5	rc	-100	rd	-72	re	-65	rf	-
17-1	656	233	ra	-69,5	rb	-64,5	rc	-100	rd	-72	re	-63,5	rf	-
17-2	661	239	ra	-69,5	rb	-61	rc	-100	rd	-72,5	re	-67	rf	-
18-0	661	239	ra	-69,5	rb	-61	rc	-100	rd	-72,5	re	-67	rf	-
18-1	721	227	ra	-67,5	rb	-67,5	rc	-100	rd	-69,5	re	-71	rf	-
18-2	608	258	ra	-73,5	rb	-62	rc	-100	rd	-74,5	re	-66	rf	-
19-0	609	207	ra	-80	rb	-62	rc	-100	rd	-73,5	re	-72	rf	-
19-1	707	264	ra	-69,5	rb	-67	rc	-100	rd	-68,5	re	-69,5	rf	-
19-2	643	282	ra	-72,5	rb	-69,5	rc	-100	rd	-83,5	re	-68,5	rf	-

Şekil 3.6. Örnek kayıt dosyası verileri

3.1.3. Kapalı mekan ölçüm alanı

İlk aşama kapalı mekan ölçüm alanı olarak Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi D-Blok 1-2-3. Kat koridorları seçilmiştir. Her katta tekrarlı bir çok ölçüm yapılmıştır. 1. Kat ölçüm alanı 7.2 metre genişliğinde 37.3 metre uzunluğunda ve 2.8 metre yüksekindedir. Giriş tarafında üst katlara bakan bir atriyum bulunmaktadır. Şekil 3.7'de de görüleceği üzere ölçüm alanının dört köşesinde şekilde yıldız ile gösterilen noktalara kablosuz modemler asma tavana sabitlenerek yerleştirilmiştir. Ölçüm alanı 3 koridor şeklinde matris şeklinde işaretlenmiştir. Koridorlar arası 3 metre ve boyuna noktalar arasına da 1 metre aralık verilmiştir. Kenar koridorlar ile duvarlar arasında da 60cm bulunmaktadır. Her koridorda 32 olmak üzere toplam 96 nokta bulunmaktadır.

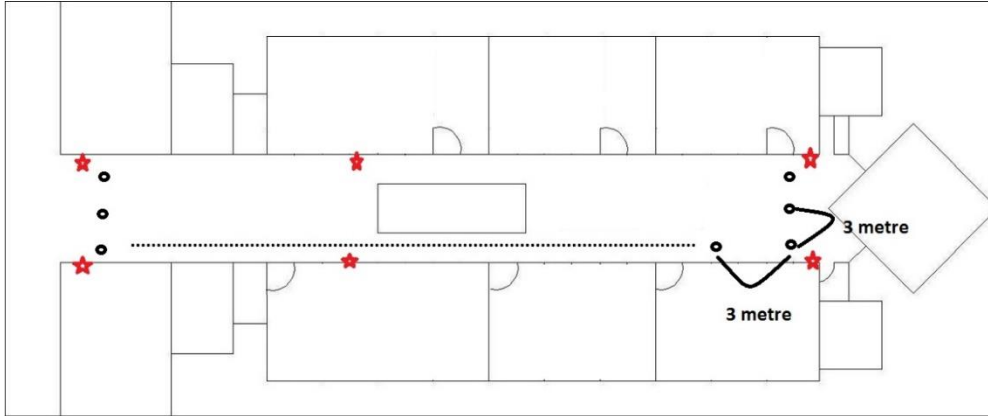


Şekil 3.7. 1. Kat planı

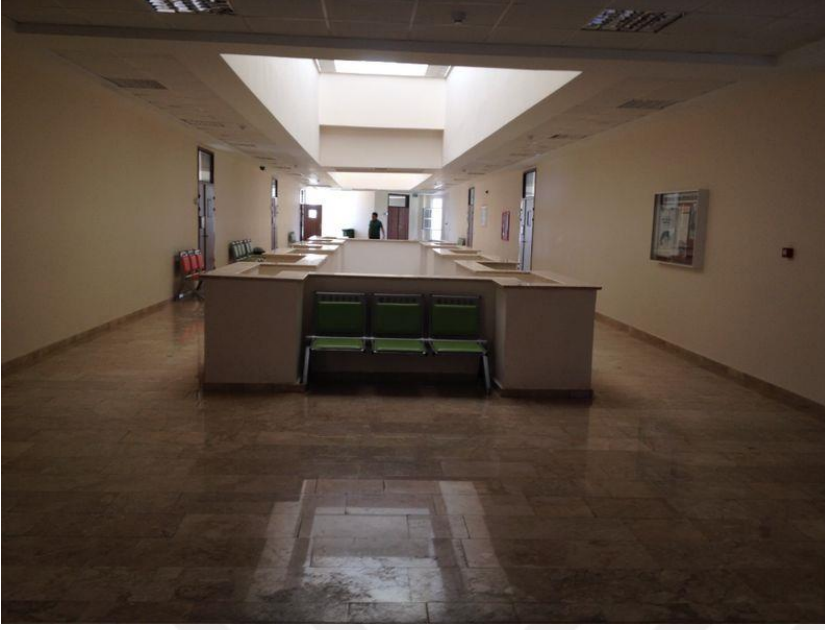


Şekil 3.8. 1. Kat fotoğrafı

2. kat ölçüm alanı 1. Kata benzer şekilde 7.2 metre genişliğinde ancak 50 metre uzunluğunda ve 2.8 metre yüksekliğindedir. Giriş kısmında hem alt hem üst kata açılan 2 adet ve 2 metre ileride de üst kaça açılan toplam 3 adet atriyum bulunmaktadır. Şekil 3.9'da da görüleceği üzere ölçüm alanının 6 noktasında yıldızlar ile gösterilmiş noktalara modemler tavana tutturulmuştur. Tüm noktalar 3 koridor olarak işaretlenmiş koridorlar arası 3 metre ve boyuna noktalar arasına 3 metre boşluk bırakılarak ölçüm yapılmıştır.

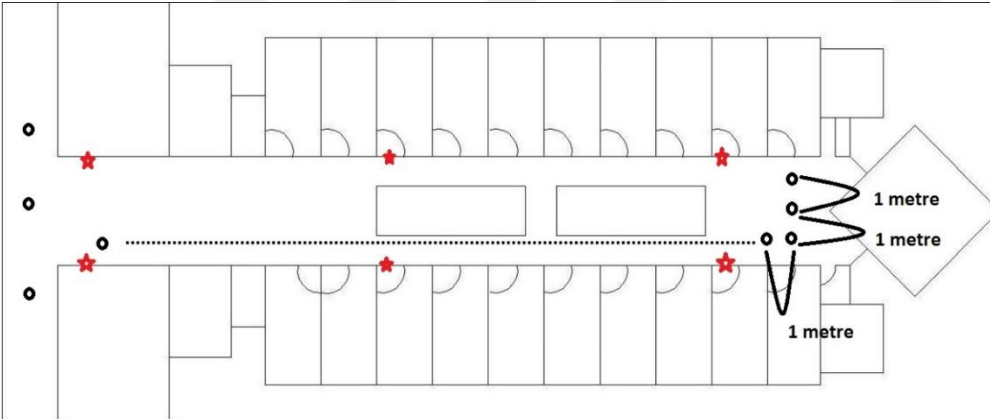


Şekil 3.9. 2. Kat planı

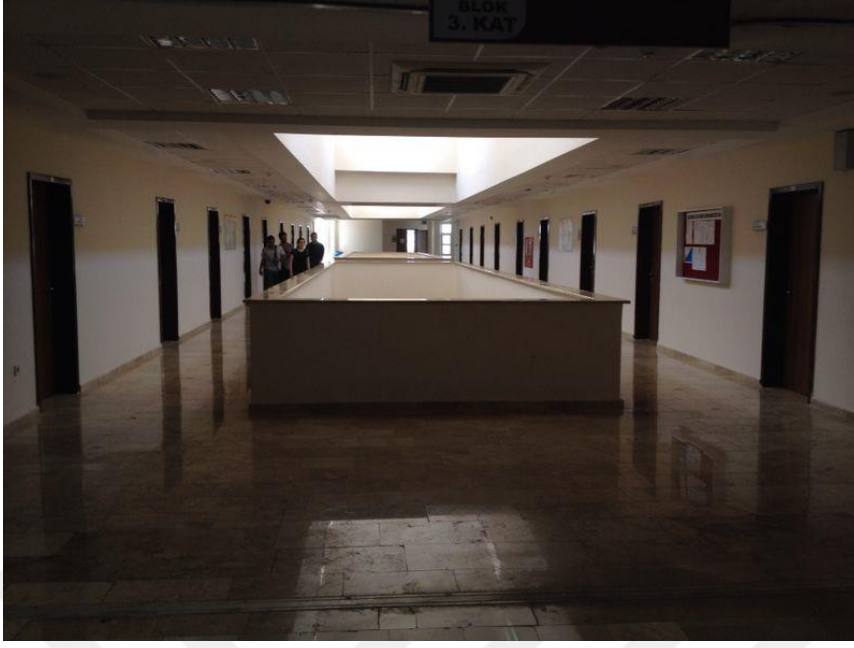


Şekil 3.10. 2. Kat fotoğrafı

3. Katta ölçüm alanı 2. Kat ile birebir aynı özellikleri taşımaktadır. Ve 2 adet alt kata açılan havalandırma atriymu bulunmaktadır. Şekil 3.11.'de de görüleceği üzere yıldız ile gösterilen noktalara modemler yerleştirilmiştir. Ölçüm alanı 3 koridor halinde işaretlenmiştir. Noktalar arası yatayda ve dikeyde şekle göre sağ tarafta 1 metre atriymular geçilince ise 3 metredir. Toplam 120 nokta işaretlenmiştir.



Şekil 3.11. 3. Kat planı



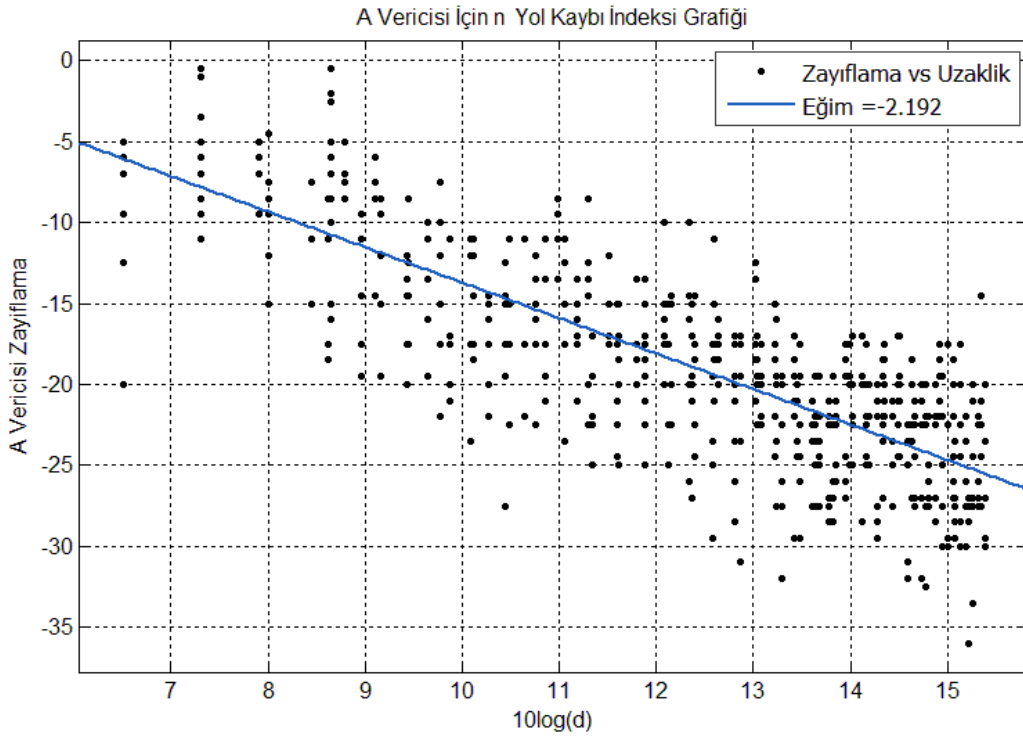
Şekil 3.12. 3. Kat fotoğrafı

3.1.4. Yol kaybı indeksi hesaplanması

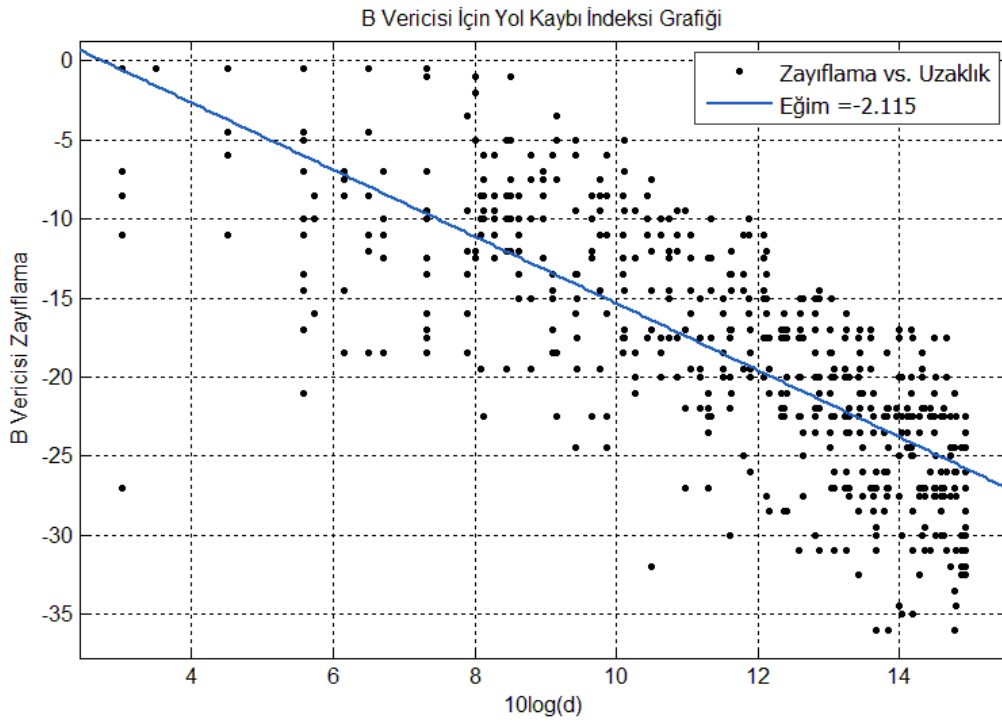
Daha önce de verilen yayılım modelinde Zhao vd 2010’da belirttikleri üzere alıcı da okunan sinyal gücünü hesaplarırken bir “n” yol kaybı indeksine ihtiyaç vardır.

$$P(d) = P(d_0) - 10 \times n \times \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \zeta_{ext} \quad (3.1)$$

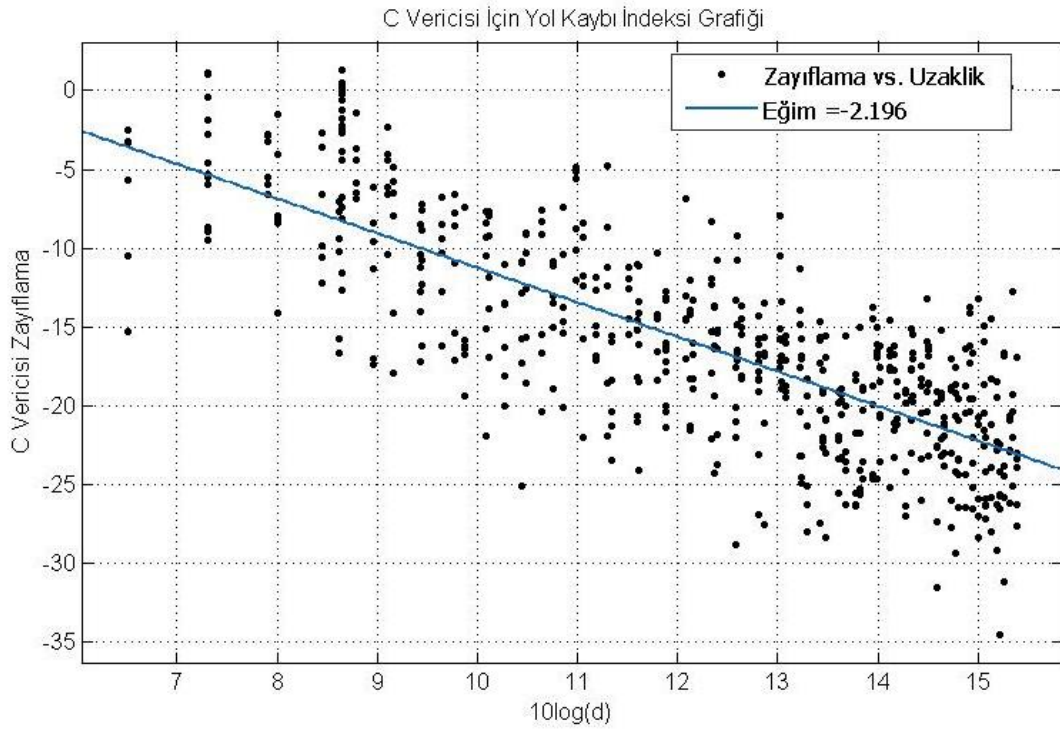
Denklem 3.1’de yol kaybı indeksini hesaplamak için Zhao vd 2010’da önerilen yöntem alıcı verici arasındaki mesafeleri belli olan referans noktalarında mümkün olan en çok sayıda ölçüm yapılmalıdır (Zhao, Li ve Shi 2010). Elde edilen değerler ile hesaplanan sinyal zayıflamaları, ölçüm yapılan noktanın uzaklığının 1 metredeki uzaklığa oranının logaritmasına karşı çizdirilerek oluşturulan grafiğin bize verdiği hakim eğri yol kaybı indeksini vermektedir. Bu çalışmada ilgili ölçümler ilk deneme ölçümleri sonucunda daha stabil olduğu görülen 1. Kat ölçüm alanında yapılmıştır. Ve bu ölçümlerde 4 vericili bir sistem kurulmuştur. Bu hesaplara ilişkin ölçüm sonuçları her bir verici için izleyen şekillerde verilmektedir.



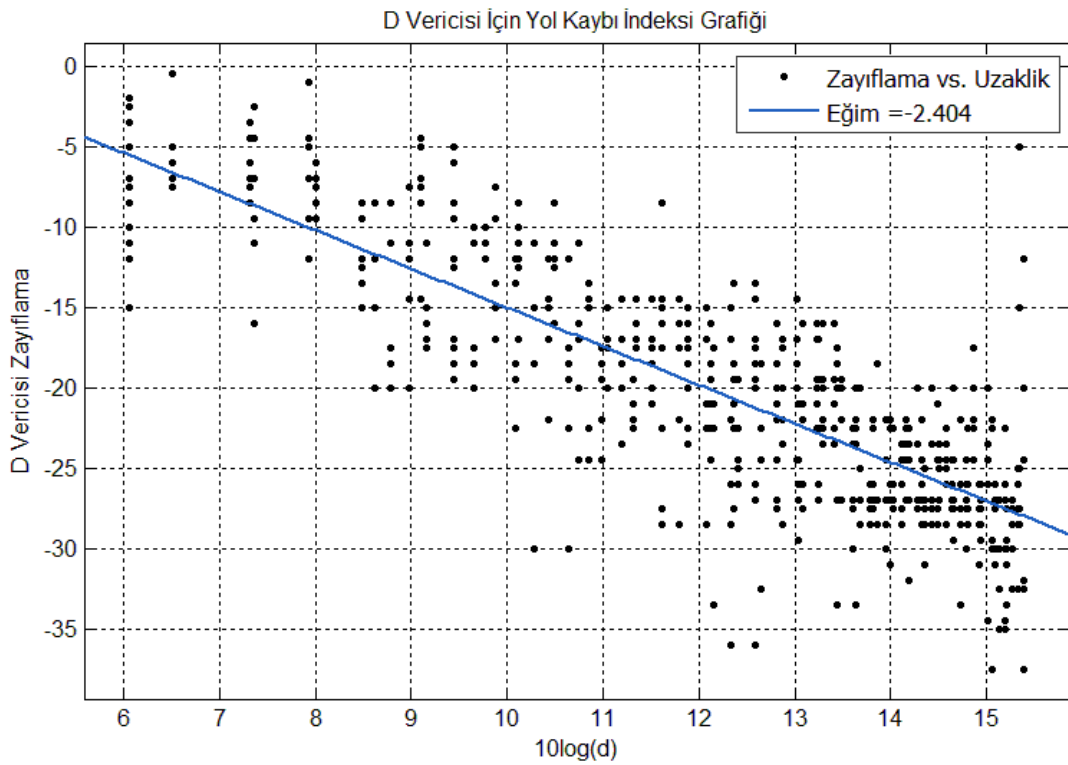
Şekil 3.13. A vericisi için “n” değeri hesabı



Şekil 3.14. B vericisi için “n” değeri hesabı



Şekil 3.15. C vericisi için “n” değeri hesabı



Şekil 3.16. D vericisi için “n” değeri hesabı

Şekil 3.16.'da görülen grafiklerdeki çizilmiş olan hakim eğrilerin eğimleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

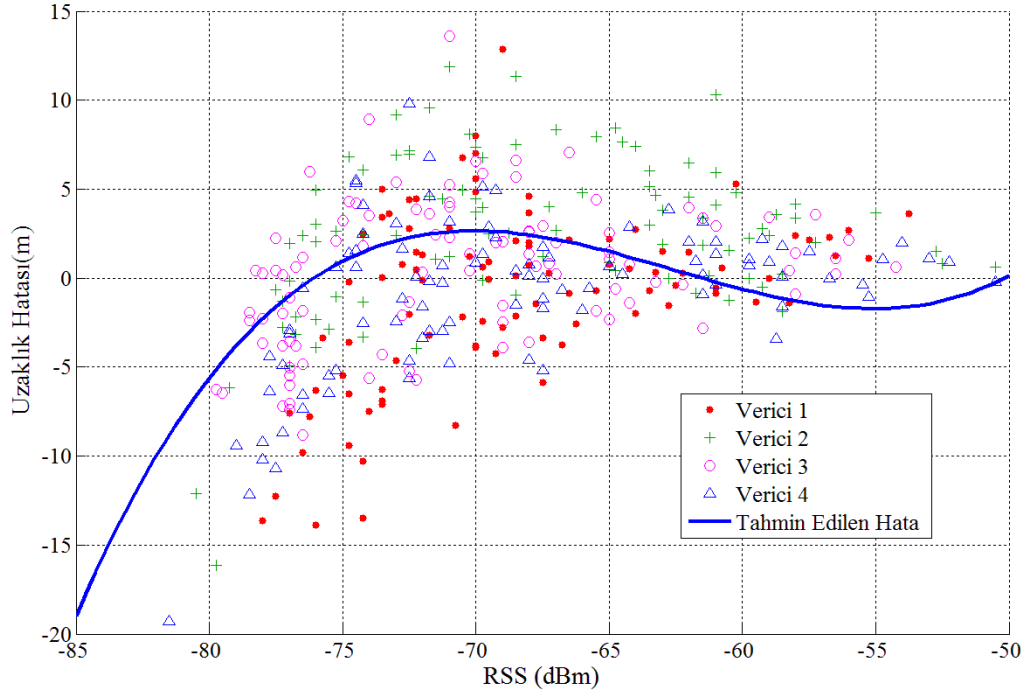
Çizelge 3.1. n Değerleri

WLAN (Referans Nokta Adı)	Eğri (n)
A	2.192
B	2.115
C	2.404
D	2.363

Yol kaybı indeksini hesapladıktan sonra Denklem 10. de eksik kalan tek parametre ζ olarak tanımlanan rastgele bir değer olan gölgeleme faktörüdür. Bu faktörün hesabında referans ölçümleri sırasında alınmış olan 2000 den fazla ölçüm verileri kullanılarak ortaya çıkan hatalar k-means kümeleştirmeli hata hesabı kullanılmıştır. Bu hesap sonucunda tüm sistem için gölgeleme faktörü 8.62 olarak bulunmuştur.

3.3. Kapalı Mekan RF Yayılım Modellemesi ve Algoritma Geliştirme

Bu çalışmada kapalı mekan elektromanyetik dalga yayılımı için yeni bir deneysel model üretilmiştir. Klasik yol kaybı modeli oldukça basit ve kullanışlı olsa da, konum tespit sisteminde kullanılırken özellikle görece vericilere yakın olan bölgelerde verdiği uzaklık bilgisindeki hatalar nedeniyle yetersiz kalmaktadır. Yapılan referans ölçümlerinde ve karşılaştırmalarda özellikle -55 dBm ve üstü güçlerde alınan sinyal ile yapılan uzaklık ölçümlerinin hatasının oldukça fazla olduğu görülmüştür. Bu çoğunlukla yakın alan etkisi ile oluşmaktadır (Kurnaz ve Helhel 2014). Bu etkiyi ortadan kaldırmak için temel sapma dağılımı fonksiyonu üretilmiştir. Şekil 3.17'de görüleceği üzere tüm vericilerden gelen sinyaller ile hesaplanmış olan uzaklık bilgilerindeki hatalar ve o hatanın olduğu sinyal seviyesi karşılaştırmalı olarak çizdirilmiştir.



Şekil 3.17. Sapma fonksiyonu

Tüm vericiler için yapılan bu işlemde ortaya çıkan grafikteki hakim eğri tahmini sapma hatası olarak değerlendirilmiş ve Ψ ile gösterilmiştir. Ψ fonksiyonu Denklem 3.2'de verilmiştir.

$$\Psi = 0.0033741P^3 + 0.63617P^2 + 39.636P + 818.923 \quad (3.2)$$

Bu fonksiyonda Ψ , metre cinsinden uzaklığı, P dBm cinsinden alınan sinyal gücünü göstermektedir. Bu fonksiyonun alınan sinyal gücüne göre türevi alındığında sıfıra gittiği noktalar bizim için iki kritik noktayı vermektedir (Denklem 3.3). Bu sinyal seviyeleri yaklaşık olarak -55 dBm ve -70 dBm 'dir. Bu değerlerden de görüleceği üzere bir dönüm noktası yakın alan bölgesinde bir diğeri de zayıflayan sinyallerin olduğu sınırdadır çıkmaktadır.

$$\frac{\partial \Psi}{\partial P} = 0 \quad (3.3)$$

Bu üretilen fonksiyonlar algoritmayı kurarken elimine edilecek sinyal bölgelerini vermektedir. Daha önce verilen detaylı alınan sinyal gücü verileri incelendiğinde sinyal seviyelerinin iki bölge halinde incelenmesi oldukça makuldür. Dolayısıyla yayılım modeli olarak kullanacak fonksiyonda iki bölgeyi bir yapı kullanmak kaçınılmazdır. Bu bölgelerdeki alınan sinyal güçlerinin hatasını azaltacak bir doğrulama fonksiyonu kurulmuştur (Denklem 3.4). \mathcal{R}_{ext} bu doğrulama fonksiyonunu temsil etmektedir. Bu denklemde P alınan gücü dBm cinsinden ifade etmektedir.

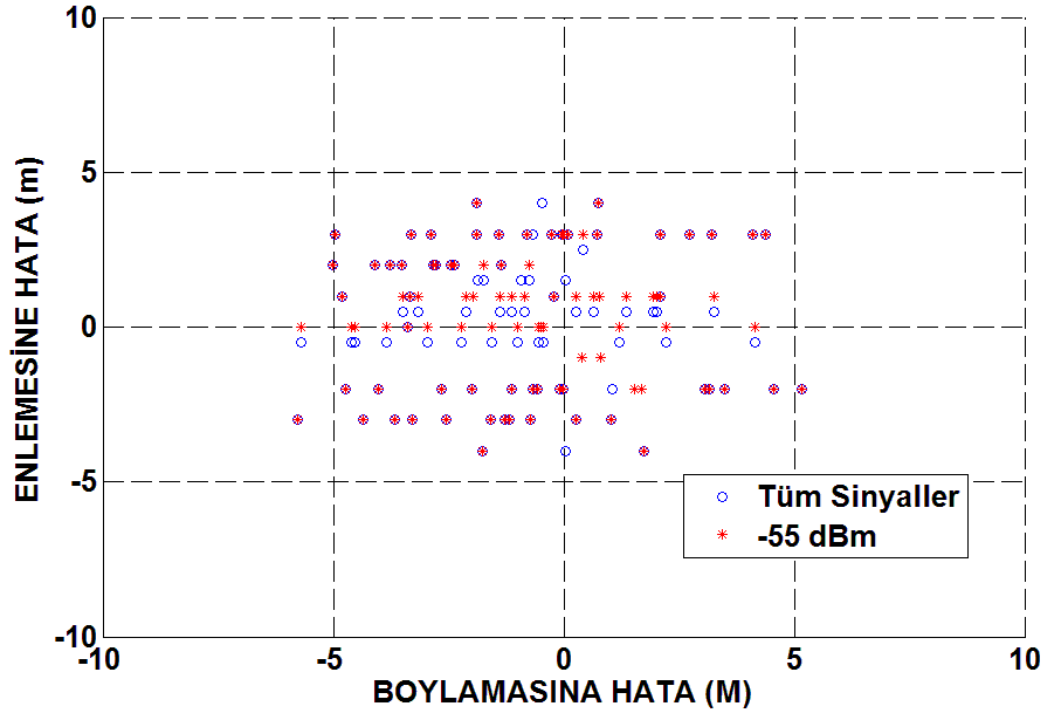
$$\mathfrak{R}_{ext} = \begin{cases} -0.057P - 2.065, & -70dBm \leq P < -55dBm \\ 0.0198P^3 + 4.36P^2 + 3199P + 7842, & P < -70dBm \end{cases} \quad (3.4)$$

Doğrulama fonksiyonu oluşturulduktan sonra yapılan referans ölçümleri değerlerine uygulanarak yol kaybı modeli Denklem 3.5’de verildiği hale getirilmiştir. Bu model ve bu aşamaya kadarki anlatılan tüm işlemler makale haline getirilip uluslararası bir dergide yayınlanmıştır (Helhel ve Kocakusak, 2016). Denklemde d mesafeyi N ise daha önceden hesaplanan yol kaybı indeksini göstermektedir ve denklem -55dBm sınırını belirtecek şekilde ayrıklaştırılmıştır.

$$d_{final} = \begin{cases} \text{YASAKLI} & P \geq -55dBm \\ 10^{\left(\frac{P(d) - P(d_0) - \zeta_{ext}}{N}\right)} + \mathfrak{R}_{ext} & P < -55dBm \end{cases} \quad (3.5)$$

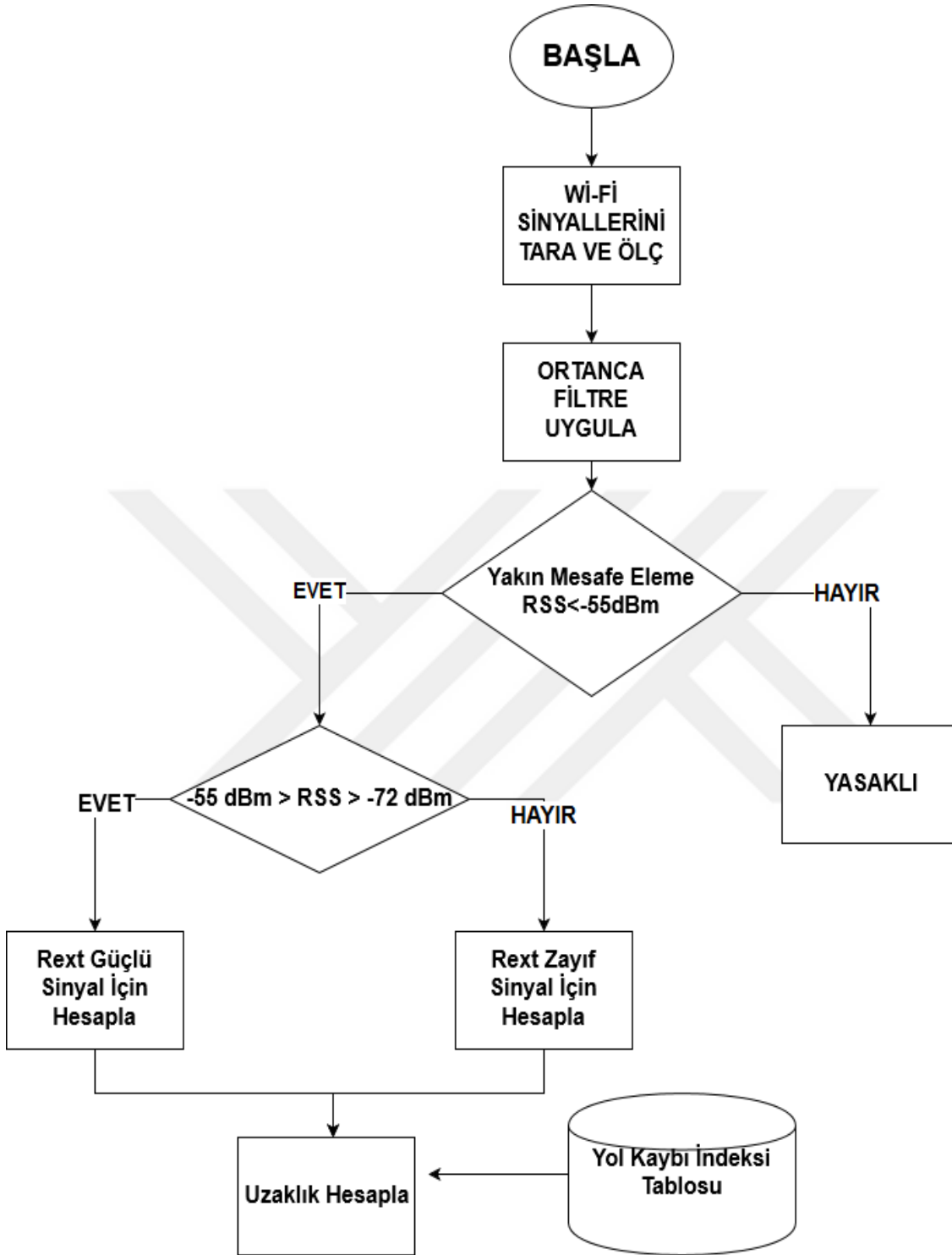
3.3.1. Wi-Fi tabanlı konum tespit algoritması

Çalışmanın ilk aşaması olarak 3Mu yöntemi ile çalışan basit bir algoritma ile referans bir sistem oluşturulmuştur. Bu sistem alıcının okuduğu sinyaller üzerinden vericilere olan uzaklığı hesaplayıp her bir verici için hesaplanan uzaklığı yarıçap kabul eden daireleri sanal olarak çizerek kesişim noktalarını bularak konumu tespit etmektedir. Ancak bu sistemin doğruluğu iyileştirilmeye ihtiyaç duymaktadır. Bu doğrultuda yakın uzaklık hata ayıklama algoritması olarak isimlendirilen bir algoritma oluşturulmuştur. Bu algoritma basitçe daha önce hesaplanan -55 dBm ve daha yüksek sinyalli yakın alan bölgesinden gelen sinyallerin göz ardı edilmesini ve bu göz ardı edilme sonucunda yeniden 3Mu algoritmasını çalıştırarak daha doğru bir konum elde edilmesini amaçlamaktadır. Bu algoritma alıştırdığında -55dBm seviyesi eleme bölgesi olarak seçilince ortaya Şekil 3.18.’deki hata oranları çıkmaktadır. Görüleceği üzere sadece bu adım bir çok noktada enlemesine (ölçüm alanının dar olduğu yön) konumda iyileştirme sağlamaktadır. Şekilde mavi noktalar tüm sinyaller kullanıldığında kırmızı noktalar ise eleme yapıldığındaki sonuçlardır.



Şekil 3.18. Gerçek konuma göre hatalar

Tüm bu işlemler tek bir sinyal ölçüldüğünde uygulanacak bir çözüm vermektedir. Ancak ölçüm düzeneğinin kararsızlaşabileceği göz önüne alınarak üst üste ölçümler yapıldığında bu yapılan ölçümlerden tek bir değer ya da bu değerler ile hesaplanan bir değer algoritmaya sokulabilmektedir. Bu sebeple bu çalışmada arka arkaya yapılan ölçümler sonucu elde edilmiş sinyaller ortanca filtreden geçirilerek kararsızlık durumlarının ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Bu adımda eklenince sistemin algoritması Şekil 3.19.'daki halini almıştır.



Şekil 3.19. Wi-Fi Konum Tespit Algoritması Akış Şeması

3.3. Ultrasonik Tabanlı Konum Tespiti

Kapalı mekan konum tespit sistemlerinde kullanılan yöntemlerden birisi de ultrasonik sinyaller ve bu sinyallere uyumlu alıcı verici devreler ile kurulmuş düzeneklerdir. Ultrasonik sinyaller birkaç metre mesafede oldukça keskin bir uzaklık bilgisi verebilseler de yaklaşık 3 metre mesafeden daha uzak alanlarda sinyal zayıflaması ve boyuna dalga olmanın getirdiği dezavantajlar nedeniyle kullanılamamaktadır. Bu çalışmanın ilk aşaması olan Wi-Fi tabanlı konum tespit sisteminin de tam bu mesafelerde hata yaptığı göz önüne alındığında sistemi tamamlamak için ultrasonik sinyallerin kullanılabilmesi aşıkardır.

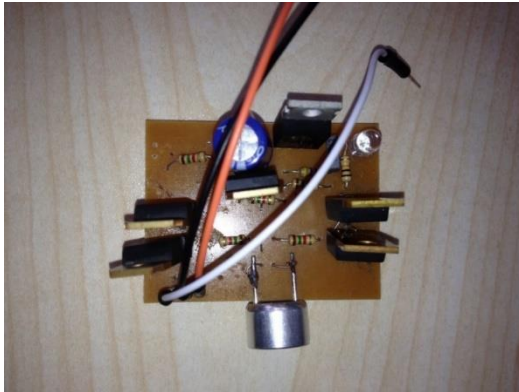
3.3.2. Ultrasonik alıcı verici cihazları

Ultrasonik sinyaller yüksek frekanslı ses dalgaları olması sebebiyle alıcı ve verici olarak kullanılan ekipmanlar o frekansta çalışabilen herhangi bir ses cihazı olması teoride mümkündür. Ancak hem sinyal gücünün doğru ölçülebilmesi, hem stabil çalışma hem de Wi-Fi sistemi ile birleştirilebilmesi için yine arduino vb. geliştirme kartlarında kullanılmak üzere üretilmiş olan Prowave 400ST120 isimli transducer kullanılmıştır. 20 volt gerilime kadar çalıştırılabilen bu sensor istenen sinyalleri üretmekte ve algulamakta oldukça yeterlidir (Şekil 3.20.).

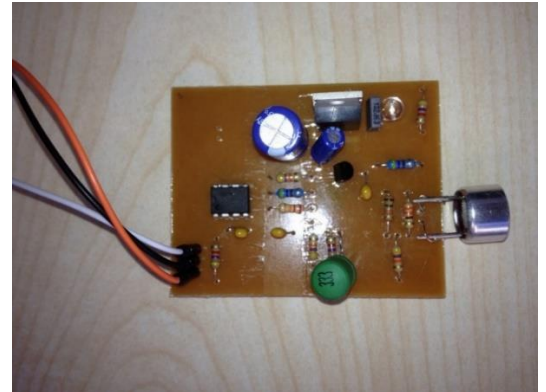


Şekil 3.20. Ultrasonik Alıcı-Verici Modül

Ultrasonik sensörü çalıştırmak için bir alıcı ve bir verici olmak üzere 2 devre kurulmuştur. Verici devre arduino üzerinden verilen 20 kHz den büyük sinyaller ile sensörü sürerek ultrasonik ses yaymasını sağlamaktadır(Şekil 3.22.). Alıcı devre ise üzerine sinyal düştüğünde 0 değeri veren bir yapıda kurularak lojik mantıkla çalışma sağlanmıştır.



Şekil 3.21. Ultrasonik Verici Sürücü Devresi



Şekil 3.22. Ultrasonik Alıcı Sürücü Devresi

3.4. Harmanlanmış Konum Tespit Düzenegi

Bu aşamada önerilen sistemden daha önceki aşamalarda anlatılan sistemlerin bileşkesidir. Sadece Wi-Fi tabanlı sistem ile oluşturulmuş olan en iyi sistemin (Helhel Ve Kocakusak, 2016) sonucunda hala tam olarak düzeltilemeyen RF verici yakınındaki hataların ortadan kaldırılması için oluşturulmuştur. Ultrasonik tabanlı sistemler RF vericilerin yakınında oluşacak konum belirleme hatalarını önlemek için oluşturulmuş yakın mesafe hata eleme metodu ile ortaya çıkan sonuçları düzeltmede kullanılmaktadır.

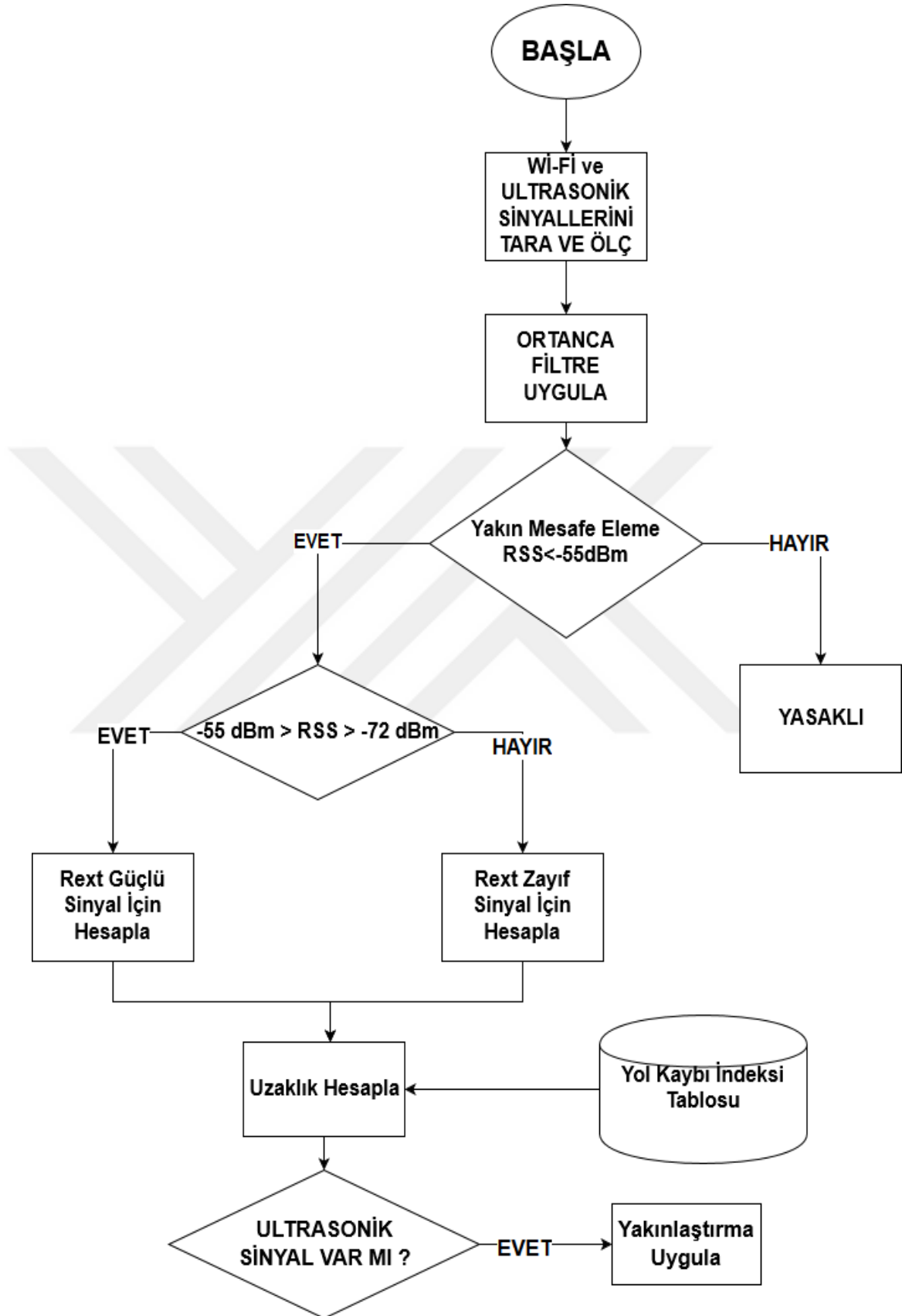
3.4.1. Harmanlanmış konum tespit algoritması

Wi-Fi tabanlı konum tespit sisteminin son uzaklık hesabı öncesinde ultrasonik alıcı sensörler okunur ve bir sinyal olup olmadığına karar verilir. Ultrasonik sinyallerin yaklaşık 3 metreden daha uzağa yayılmadığı göz önünde bulundurularak uzaklık hesabında bir yakınsama algoritması devreye sokulur (Şekil 3.23.).

Şekil 3.23.'deki akış şemasında, ilk basamak olarak ölçüm yapılan noktada yüz adet Wi-Fi sinyal gücü ölçümü ve ultrasonik sinyal ölçümü yapılmaktadır. Yapılan wi-Fi ölçüm dizisinin ortanca değerini almak için veri seti ortanca filtreden geçirilmektedir. Filtrenin çıktısı olarak verilen sinyal gücü değeri yakın mesafe hata eleme metodu gereği -55dBm seviyesinden daha yüksek ya da daha düşük olma durumuna göre karşılaştırılmaktadır. Daha yüksek sinyaller yasaklı bölgeye denk düştüğünden işleme tabi tutulmamaktadır. Geriye kalan daha düşük seviyeli sinyaller ile uzaklık hesabı yapılmaktadır.

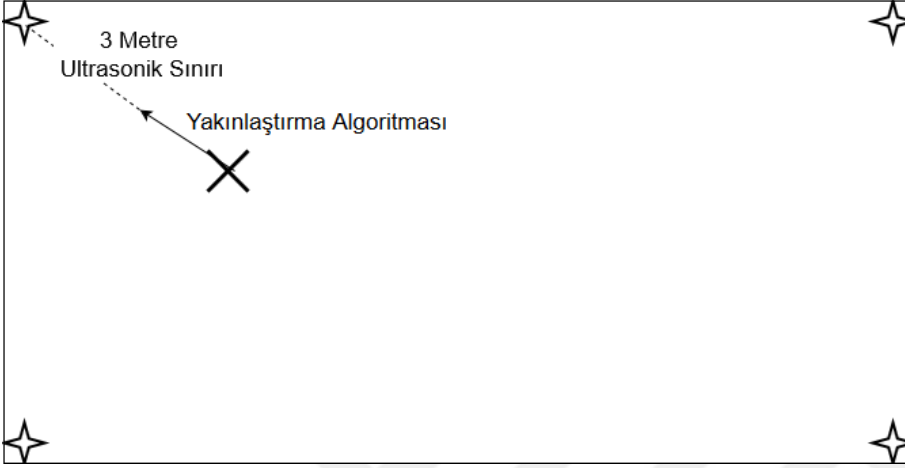
Uzunluk hesabında sinyal seviyesine göre ilgili düzeltme fonksiyonu uygulanır. Uzaklık hesaplarırken ilgili vericiye ait yol kaybı endeksi olan "n" değeri kullanılmaktadır. Ölçüm yapılan noktada en başta alınmış olan ultrasonik değerler ve Wi-Fi sistemi ile ölçülmüş olan konum bilgisi karşılaştırılmakta ve ultrasonik sinyalin varlığı durumunda eğer Wi-Fi tabanlı sistem daha uzak bir noktayı hesapladı ise yakınlaştırma uygulanarak konum düzeltilir. Bu şema her ölçüm noktası için ayrı ayrı tekrarlanarak kontrol ölçümleri yapılmıştır.

Kurulan algoritma mantığı gereği arka arkaya hızlı bir biçimde konum tespit etmeye uygundur. Bu uygunluk özellikle taşınabilir Raspberry Pi gibi cihazlar ile uygulanabilirliğini arttırmaktadır. Böylece kurulan sistem çok esnek bir hal almaktadır.



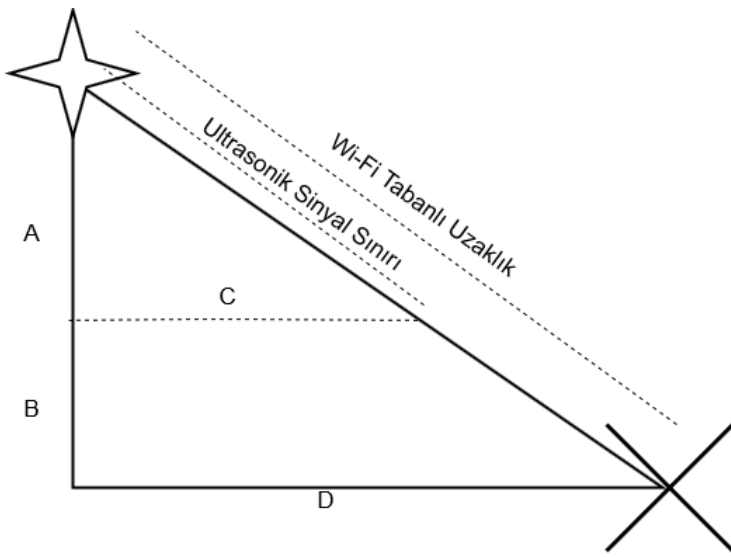
Şekil 3.23. Harmanlanmış Konum Tespit Sistemi Algoritması

Yansıma algoritması Wi-Fi sinyalleri aracılığı ile tespit edilmiş konumun ne olduğuna bakmaksızın Wi-Fi sinyallerinin seviyelerine bağlı olarak ve ultrasonik sinyallerin 3 metre menzilden daha uzakta olamayacağını hesaba katılarak o an cihazın hangi ultrasonik referansa yakın olduğu tespit edilir. Daha sonra tespit edilen referansa göre konumun 3 metrelik bir çember içinde olması gerektiğinden eğer bu mesafeden daha uzakta bir konum hesaplanmış ise üçgende benzerlik kuralları gereği o referansa yaklaştırılır(Şekil 3.24.).



Şekil 3.24. Ultrasonik referans şeması

Yakınlaştırma yapılırken üç merkez uzaklığı metodu ile belirlenmiş olan konumun ultrasonik sinyalin erişilebilir olduğu durumda muhtemel olan en yakın ultrasonik vericiden geldiği var sayılarak o vericiye yaklaştırma işlemidir. Bu işlem yapılırken temel üçgende benzerlik kuralları kullanılarak hem enine hem boyuna yakınlaştırma yapılarak son konum hesaplanmaktadır(Şekil 3.25.).



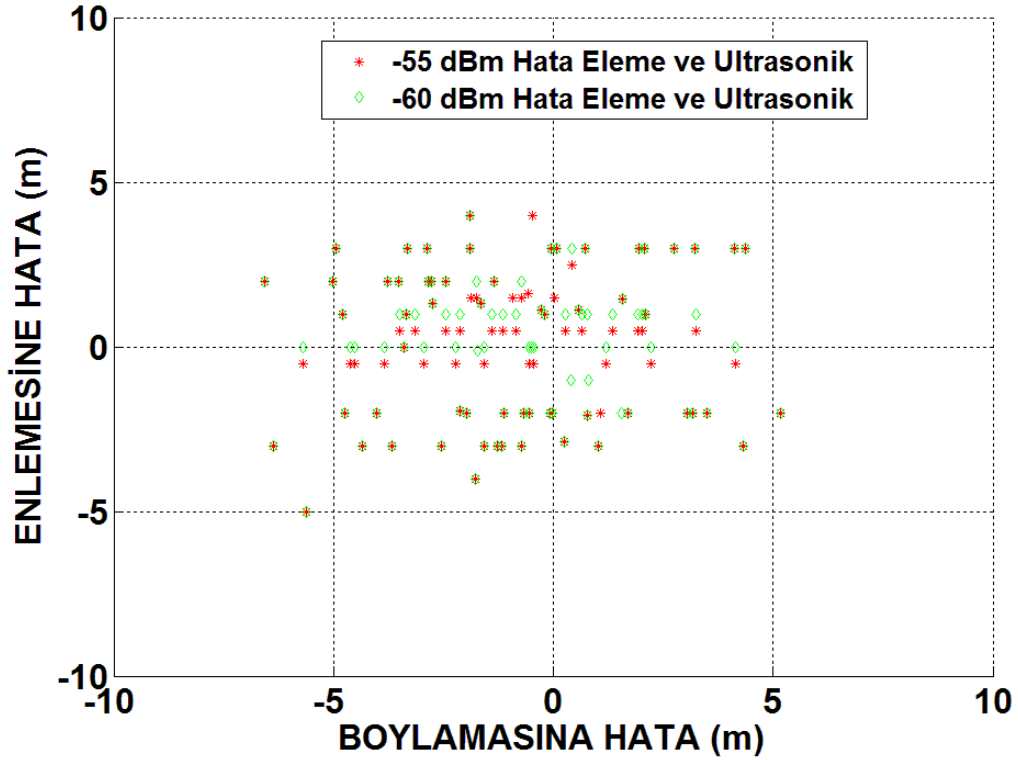
Şekil 3.25. Yakınsama işlemi

Temel üçgen bağıntılarına göre;

$$\frac{A}{A+B} = \frac{C}{D} = \frac{USS}{USS+WTU} \quad (3.6)$$

Şeklinde Denklem 16. yazılabilir . Bu denklemde USS, ultrasonik sinyal sınırını, WTU ise Wi-Fi tabanlı sistem ile bulunmuş konuma göre bulunan uzaklığı belirtmektedir.

Ultrasonik tabanlı sistem ile desteklenmiş harmanlanmış konum tespit sistemi ölçümleri için temel ultrasonik devreler hazırlanmış, ilk ölçümler yapılmıştır. Ancak teoride çalışacağı düşünüldüğü şekilde ve temel mesafe ölçümlerinde çalıştırıldığı yöntem ile konum tespiti yapılamamıştır. Bunun sebebi konumu belirlenmek istenen cihaz üzerine 5 adet farklı açılarda konumlandırılan ultrasonik devrelerin paralel çalışma esnasında hata yapmasıdır. Dolayısıyla ultrasonik sistemlerinde kullanıldığı harmanlanmış konum tespit sisteminin kalibre ölçümleri yapılmış ancak konum tespiti Matlab programı üzerinde ideal şartlar altında simüle edilerek algoritma doğruluğu denetlenmiştir. Bu simülasyon için ölçüm bölgesinde ultrasonik referansların 3 metre çevresindeki tüm noktalarda ultrasonik sinyalin alındığı durum kullanılmıştır. Ve oluşturulan sistemde 16 adet nokta bu tanıma uymaktadır. Ancak algoritma sonucunda 9 noktada sistem devreye girmektedir. Ve bu düzeltmeler sonucunda daha önce verilen hata oranları (Şekil 3.26.) daki gibi değişmiştir. Detaylı sonuçlar bir sonraki bölümde anlatılmıştır.



Şekil 3.26. Ultrasonik simülasyon ile hata oranları

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Denklem 4.1 aracılığı ile sistem performansının ölçüsü olan konum hatası hesaplamaları yapılmıştır. Bu denklemde toplam konum sayısı n olmak üzere E_i hesaplanan konum bilgisi ile gerçek konum bilgisi arasındaki farkı ifade etmektedir. Çalışmada üç aşamalı bulgular elde edilmiştir. Birinci aşama bulgusu serinin yalnızca ortanca değeri ile hesaplanan konum bilgisinden, herhangi bir düzeltme algoritmasına tabi tutulmaksızın, oluşmaktadır. Benzer şekilde ikinci aşama bulgusu olarak yakın mesafe hata eleme algoritmasının verdiği sonucu içermektedir. Son ve üçüncü aşamada ise ultrasonik verilerle desteklenmiş (harmanlanmış konum tespit algoritması) konum bulgularına ulaşılmıştır. Bu bulgular birlikte Çizelge 4.1.'de verilmektedir.

$$E_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n E_i^2}{n}} \quad (4.1)$$

Çizelge 4.1. Ortalama hatalar

Aşama	Ortalama Hata(m)
Sadece Ortanca Filtre	3.34(m)
Sinyal Elemeli Ortanca Filtre	3.25 (m)
Harmanlanmış Sistem	3.13 (m)

Çizelge 4.2 de sunulan bulgular sistem performansının diğer bir göstergesi olan enine ve boyuna hatalara ilişkindir. Konum hatalarının enine ve boyuna bileşenlerine ayrılması sonucunda sistemin enine hata oranının oransal olarak daha yüksek olduğu ancak mutlak değer olarak daha küçük olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. 1. Satırda yeni bir yöntem üretmeden klasik yol kaybı eşitliğine bağlı hesaplanmış 3 merkez uzaklığı yöntemi ile 2. satırda ise -55 dBm ve daha iyi sinyallerin elenerek hesaplanmış konum tespit hatalarının ölçüm alanının ince kenarı “en” uzun kenarı “boy” olarak kabul edilmiş hataları görülmektedir. Son satırda ise Harmanlanmış Konum Tespit Sisteminin hata ortalamaları görülmektedir.

Çizelge 4.2. İki doğrultuda hata

Model	Boylamasına Hata (m)	Enlemesine Hata (m)
Klasik Yol Kaybı	2.17	1.93
Sinyal Elemeli Model	2.20	1.83
Harmanlanmış Sistem	2.12	1.80

Çizelge 4.3’de önerilen çalışmanın literatürde var olan ve aynı teknoloji tabanını kullanan sistemler ile karşılaştırılması verilmektedir. Verilen karşılaştırma tablosu Liu vd’nin hazırladığı tablonun önerilen çalışma ile birleştirilmesinden oluşmaktadır (Liu, vd 2007). Liste incelendiğinde bu çalışma ile elde edilen bulguların literatürde en iyi ikinci bulgular olduğu görülmektedir. Yine listenin 3. Sırasında yer alan bulgularda Helhel ve Kocakusak 2016 tarafından literatüre sokulmuştur. (Helhel ve Kocakusak, 2016).

Çizelge 4.3. Önceki çalışmalar ile karşılaştırma

Sistem Adı	Hata Payı (m)	Hassasiyet (%)
Horus	2,10	90
Harmanlanmış Sistem	2.78	90
Sinyal Elemeli Model	2,96	90
DIT	3,00	90
TIX	5,40	90
Microsoft RADAR	5,90	90

Elde bulguların daha da iyileştirilebilmesi için yüksek hassasiyetli işaret gücü (RSS) ölçümü yapabilecek sistemlerin geliştirilmesi/kullanılması, doğruya daha yakın cevap veren RF yayılım modellerinin geliştirilmesi ve konum belirleme algoritmasının iyileştirilmesi gerekmektedir.

Kapalı mekânların dalga kılavuzu veya rezonatör gibi modellenerek kullanılan dalga boyu ile hacmin fiziksel boyutları arasında ilişki kurularak yöntemle ilişkin kısıtlar belirlenmelidir.

Zaman yetersizliği nedeni ile bu çalışmada kullanılmayan yönlendirilmiş anten kullanımı ile çok giriş çok çıkışlı (MIMO) anten yapılarının kullanımının da çalışmanın başarısını artırması beklenmektedir.

Yukarıda bahsedilen adımların ileriki çalışmalarda denenmesi ile Wi-Fi tabanlı sistem konum hatasının 2(m)’nin altına indirilmesi hedeflenmektedir.

5. SONUÇ

Bu tez çalışma Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenmiş ve elde edilen bulgular itibari ile literatürde var olan karşılaştırma tablolarında kendine en iyi ikinci çalışma olarak yer bulmuştur.

Çalışma kapsamında tasarlanan Wi-Fi tabanlı konum tespit sisteminin başlangıç ortalama konum hatası 3,34(m), Yakın Mesafe Hata Eleme algoritması ile 3,25(m) ve önerilen Harmanlanmış Konum Tespit Sistemi ile 3,13(m) olarak hesaplanmıştır. Yakın Mesafe Hata Eleme algoritması %90 oranında 2,96(m) ve daha az hataya sahipken, Harmanlanmış Konum Tespit Sistemi %90 oranında 2,78(m) ve daha az hataya sahiptir. Önerilen sistem ile ortalama konum hatası %6.28 oranında iyileşmiştir.

Çalışmanın bundan sonraki aşamalarında sırası ile MIMO anten ve yönlendirilmiş anten seçeneklerine ilaveten yüksek performanslı yayılım modelleri geliştirilerek toplam konum hatasının 2(m) ve altına düşürülmesi hedeflenmektedir.

6. KAYNAKLAR

- AGILENT TECHNOLOGIES Inc. 2000. RF Engineering Continuing Education and Training, Traffic Planning. Florida, ABD, 95 s.
- AITENBİCHLER, E. and MÜHLHÄUSER M. 2003. An IR Local Positioning System for Smart Items and Devices. Proceedings of the 23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops. Providence, ss. 1-6, 19-23 Mayıs, Rhode Island, ABD.
- AL-AHMADI, A.S., RAHMAN T.A., KAMARUDİN M.R., JAMALUDDİN M.H. and OMER A.I. 2011. Single-Phase Wireless LAN Based Multi-Floor Indoor Location Determination System. 17th International Conference on Parallel and Distributed Systems, ss. 1057-1062, 7-9 Aralık, Tainan, Tayvan.
- ALSEHLY, F., ARSLAN T. and SEVAK Z. 2011. Indoor positioning with floor determination in Multi Story Buildings. International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), ss. 1-7, 21-23 Eylül, Guimaraes, Portekiz.
- BAHL, P. and PADMANABHAN V.N. 2000. RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System. INFOCOM 2000 Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, ss. 775-784, 26-30 Mart, Tel Aviv, İsrail.
- BOSE, A., ve FOH C.H. 2007. A practical path loss model for indoor WiFi positioning enhancement. 6th International Conference on Information, Communications & Signal Processing, ss. 1-5, 10-13 Aralık, Singapore, Singapore: IEEE.
- BRUNATO, M. ve BATTITI R. 2004. Statistical learning theory for location fingerprinting in wireless LANs. *Computer Networks*, 47: 825–845.
- CAMPOS, R.S., LOVISOLO L. and DE CAMPOS M.L.R. 2014. Wi-Fi multi-floor indoor positioning considering architectural aspects and controlled computational complexity. *Expert Systems with Applications*, 41 (14): 6211-6233.
- CELIK, S., KURNAZ O., ALBAYRAK Y., BITIRGAN M., BASYIGIT I. B. and HELHEL S. 2013. An Indoor To Outdoor Propagation Model At Gsm900 Gsm1800 And Cdma2100. *International Journal of Engineering & Applied Sciences (IJEAS)*, 5 (2): 09-17.
- COTERA, P., VELAZQUEZ M., CRUZ D., MEDİNA L. and BANDALA M. 2016. Indoor Robot Positioning Using an Enhanced Trilateration Algorithm. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 13 (3): 1-8.
- FİGUERA, C., MORA-JIMÈNEZ, I., GUERRERO-CURIESES, A., ROJO-ÀLVAREZ, J., EVERSS, E., WILBY, M. and RAMOS-LÒPEZ, J. 2009. Nonparametric Model Comparison and Uncertainty Evaluation for Signal

Strength Indoor Location. *IEEE Transactions On Mobile Computing*, 8 (9) : 1250-1264.

- FUKUJU, Y., MĪNAMĪ M., MORĪKAWA H. and AOYAMA T. 2003. DOLPHIN: an autonomous indoor positioning system in ubiquitous computing environment. IEEE Workshop on Software Technologies for Future Embedded Systems, ss. 1-4, 15-16 Mayıs, Hokkaido, Japan, Japonya.
- GALVÀN-TEJADA, C.E., GARCĪA-VÁZQUEZ J.P. and BRENA R.F. 2014. Magnetic Field Feature Extraction and Selection for Indoor. *Sensors*, 14 (6): 11001-11005.
- HAUSMAN, S., and JANUSZKĪEWĪCZ Ł. 2014. Impact of Indoor Environment on Path Loss in Body Area Networks. *Sensors*, 14 (10): 19551-19560.
- HE, S. VE CHAN S.-H G. 2015. Wi-Fi Fingerprint-Based Indoor Positioning: Recent Advances and Comparisons. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18 (1): 466 - 490.
- HELHEL, S., KOCAKUSAK A., ALBAYRAK Y. and OZEN S. 2015. WLAN Based Indoor Locating Systems Enhanced by Ultrasonic. The 36th Progress In Electromagnetics Research Symposium, ss. 1-3, 6-9 Temmuz, Prag, Çek Cumhuriyeti
- HELHEL, S., OZEN S. and GOKSU H. 2008. Investigation of GSM Signal Variation Dry and Wet Earth Effects. *Progress In Electromagnetics Research B*, 1: 147-157.
- HELHEL, S. and KOCAKUSAK A. 2016. Improved Indoor Location Systems in a Controlled Environments. *TELKOMNIKA*, 14 (2): 25-52.
- HELHEL, S. 2017. Mikrodalga Teknikleri Ders Notları.
- KAPOOR, R., RAMASAMY S., GARDĪ A., BĪEBER C., SĪLVERBERG L. and SABATĪNĪ R. 2016. A Novel 3D Multilateration Sensor Using Distributed Ultrasonic Beacons for Indoor Navigation. *Sensors*, 16 (10) : 1-13.
- KĪM, D., INGRAM M. A. and J. SMĪTHR. W.W. 2003. Measurements of Small-Scale Fading and Path Loss for Long Range RF Tags. *IEEE Transactions On Antennas And Propagation*, 51 (8): 1740-1749.
- KOCAKUSAK, A. and HELHEL S. 2015. WLAN Based Indoor Positioning in Building Halls by Using Trilateral Method. 31st International Review of Progress in Applied Computational Electromagnetic, ss. 246-247, 22-26 Mart, Williamsburg, VA, ABD.
- KOO, J. and CHA H. 2012. Unsupervised Locating of WiFi Access Points Using Smartphones., *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics—Part C: Applications And Reviews*, 42 (6): 1341-1353.

- KURNAZ, O. and HELHEL S. 2014. Near Ground Propagation Model For Pine Tree Forest Environment. *AEU- International Journal Of Electronics And Communications*, 68 (10): 944-950.
- LEE, R. C. T., SLAGLE J. R. and BLUM H. 1977. A Triangulation Method for the Sequential Mapping of Points from N-Space to Two-Space. *IEEE Transactions on Computers*, C-26 (3): 288-292.
- LEONARDI, M., MATHIAS A. and GALATI G. 2009. Two efficient localization algorithms for multilateration. *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, 1 (3): 223-229.
- LIN, Y.S., CHEN R.C. and LIN Y.C. 2011. An indoor location identification system based on neural network and genetic algorithm. 3rd International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST), ss. 27-30, 27-30 Eylül, Dalian, Çin Halk Cumhuriyeti.
- LIU, H., DARABI H., BANERJEE P. and LIU J. 2007. Survey of Wireless Indoor Positioning. *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics- Part C: Applications And Reviews*, 37 (6): 1067-1080.
- MA, L. and XU Y. 2015. Received Signal Strength Recovery in Green WLAN Indoor Positioning System Using Singular Value Thresholding. *Sensors*, 15 (1): 1292-1311.
- MANI, F., VITUCCI E. M., QUITIN F., DEGLI-ESPOSTI V. and OESTGES C. 2014. Parameterization of a Polarimetric Diffuse Scattering Model in Indoor Environments. *IEEE Transactions On Antennas And Propagation*, 62 (8): 4361-4364.
- MANZOOR, F., HUANG Y. and MENZEL K. 2010. Passive RFID-Based Indoor Positioning System, An Algorithmic Approach. Program for the IEEE International Conference on RFID-Technology and Applications, ss. 112-117, 17-19 Haziran, Guangzhou, Çin Halk Cumhuriyeti.
- MEDIA COLLEGE*. 2017. <http://www.mediacollege.com/audio/01/sound-waves.html> [Son erişim tarihi : 10.07.2017]
- OZDENIZCI, B., COSKUN V. and OK K. 2015. NFC Internal: An Indoor Navigation System. *Sensors*, 15 (4): 7571-7595.
- PAPAPOSTOLOU, A. and CHAOUCHI H. 2012. Integrating RFID and WLAN for indoor positioning and IP movement detection. *Wireless Networks*, 18 (7): 861-879.
- RAPPAPORT, T.S. 2001. *Wireless Communications: Principles and Practice 2nd Edition*, Prentice Hall, 736 s.

- STELLA, M., RUSSO M. and BEGUŠIĆ D. 2014. Fingerprinting based localization in heterogeneous wireless networks. *Expert Systems with Applications*, 41 (15): 6738-6747.
- UEBAYASH, S., SHIMIZU M. and FUJIWARA T. 2013. A Study of TDOA Positioning Using UWB Reflected Waves. 78th Vehicular Technology Conference (VTC Fall), ss. 1-5, 2-5 Eylül, Las Vegas, NV, ABD.
- WAHAB, A.A., KHATTAB A. and FAHMY Y.A. 2013. Two-Way TOA with Limited Dead Reckoning for GPS-Free Vehicle Localization Using Single RSU. 13th International Conference on ITS Telecommunications (ITST), ss. 244-249, 5-7 Kasım, Tampere, Finlandiya.
- WOO, S., JEONG, S., MOK, E., XIA, L., CHOI, C., PYEON, M. and HEO, J. 2011. Application of WiFi-based indoor positioning system for labor tracking at construction sites: A case study in Guangzhou MTR. *Automation in Construction*, 20 (1): 3-13.
- YAO, D., YU, C., CEY, A.K., KOEHLER, C., MIN, G., YANG, L.T. and JIN, H. 2014. Energy efficient indoor tracking on smartphones. *Future Generation Computer Systems*, 39 : 44-54.
- ZHAO, F., LUO H., GENG H. and SUN Q. 2014. An RSSI Gradient-based AP Localization Algorithm. *China Communications*, 11 (2): 100-108.
- ZHAO, Y., LI M. and SHI F. 2010. Indoor Radio Propagation Model Based on Dominant Parth. *Int. J. Communications, Network and System Sciences*, 3 (3): 330-337.
- ZHOU, Z., YANG Z., WU C., SHANGGUAN L. and LIU Y. 2014. Omnidirectional Coverage for Device-Free Passive Human Detection. *IEEE Transactions On Parallel And Distributed Systems*, 25 (7): 1819-1829.

ÖZGEÇMİŞ



Atalay KOCAKUŞAK 1992 yılında Antalya’da doğdu. İlköğretimini Antalya Başöğretmen Atatürk İlköğretim Okulu’nda, lise eğitimini Antalya Aldemir Atilla Konuk Anadolu Lisesi’nde tamamladı. Liseyi bitirdiği 2010 senesinde Akdeniz Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimine başladı ve 2014 yılında mezun oldu. 2014 yılında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı ve 2017 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı. Mayıs 2017 tarihinden beri Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Tezin yazıldığı tarihte 2’si SCI, 1’i Scopus veri tabanında taranan dergilerde yayınlanan toplam 3 makale ve 4’ü uluslararası toplam 6 adet bildiri sahibidir.

