



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**KAPALI MEKÂNLARDA RSS TABANLI
KONUM BELİRLEME YAKLAŞIMI:
PARMAK İZİ METODUNUN UYGULANMASI
VE PERFORMANS ANALİZİ**

Behlül Numan ÖZDEMİR

DOKTORA TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Behlül Numan ÖZDEMİR tarafından hazırlanan “Kapalı Mekânlarda RSS Tabanlı Konum Belirleme Yaklaşımı: Parmak İzi Metodunun Uygulanması ve Performans Analizi” adlı tez çalışması .../.../... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Unvanı Adı SOYADI

.....

Danışman

Unvanı Adı SOYADI

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi ÖYP koordinatörlüğü tarafından 2016-ÖYP-042 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Behlül Numan ÖZDEMİR

Tarih:22.12.2020

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KAPALI MEKÂNLARDA RSS TABANLI KONUM BELİRLEME YAKLAŞIMI: PARMAK İZİ METODUNUN UYGULANMASI VE PERFORMANS ANALİZİ

Behlül Numan ÖZDEMİR

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Ayhan CEYLAN

2020, 105 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Ayhan CEYLAN
Prof. Dr. Reha Metin ALKAN
Prof. Dr. Cevat İNAL
Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ
Prof. Dr. Cemal Özer YİĞİT**

Kablosuz iletişimi sağlayan Wi-Fi teknolojisi günümüzde oldukça yaygın olan, her geçen yıl güncellenerek yenilenen ve çeşitli alanlarda insan yaşamına fayda sağlayan bir araç olmuştur. Ortaya çıkış amacı her ne kadar iletişim olsa da araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar neticesinde bir yan görev olarak Wi-Fi sinyallerinden konum belirleme amacıyla da faydalanılmaktadır. Günümüzde çok popüler ve güncel bir araştırma konusu olmasında bu teknolojinin Dünya genelinde oldukça yaygın olması, neredeyse tüm kamu binaları, alışveriş merkezleri, hastaneler, kütüphaneler vb. tüm binalarda altyapısının hazır olarak kurulmuş olmasından kaynaklanmaktadır. Sinyal parmak izi, işte bu binalarda bulunan birçok kablosuz Wi-Fi erişim noktasının oluşturduğu sinyal vektörleridir ve bu parmak izleri adından anlaşılacağı üzere yalnızca bulunduğu konuma özeldir. Bu tez çalışmasında alınan sinyal gücü (RSS) bilgisi ile parmak izi konum belirleme yöntemi gerçek koşullarda uygulanmış, konum doğrulukları çeşitli kriterler dikkate alınarak analiz edilmiştir. Bu amaç doğrultusunda bir veri toplama yazılımı, öne sürülen 3 veri türü ve bir analiz yazılımı geliştirilmiştir.

Parmak izi yönteminin en zaman alıcı aşaması olan kalibrasyon aşaması için kullanılan ölçü düzeneği ve güzergâhlar şeklinde oluşturulan kalibrasyon noktaları ile yüksek doğrulukta ve hızlı bir şekilde parmak izi veritabanının oluşturulması sağlanmıştır. Yapılan çalışmalarda en yakın komşu yönteminin konum doğruluğunun kalibrasyon nokta sıklığına bağlı olduğu görülmüştür. Birden çok noktadan aday nokta konumunun hesabında ağırlıkların göz önüne alınması gerektiği, ancak komşu sayısının seçiminde sabit bir değer yerine dinamik bir değer kullanılmasının farklı tipte kapalı mekânlar için daha uygun olacağı anlaşılmaktadır. Radyo haritasında nokta sıklığına bağlı olarak veri boşlukları mevcut ise, algoritma aday noktanın konumunu, fiziksel olarak o noktadan daha uzakta bulunan kalibrasyon noktası ile eşleştirebileceği nedeniyle bu boşlukların enterpolasyon yöntemleri ile doldurulmasının konum doğruluklarına fayda sağlayacağı belirtilmektedir.

Parmak izi konum belirleme uygulamalarında kullanılabilecek yazılımsal çözümler, süreci oldukça hızlandırmakta ve çeşitli analizlerin istenilen parametreler ile gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Bu tez çalışması ile ortaya çıkan analiz ve veri toplama yazılımları, geliştirme süreçleri devam eden, bir kapalı mekânda konum belirleme uygulaması yapılması istenildiğinde bir bütün olarak ihtiyaçları karşılayan iki program haline gelmiştir. Bölüm 4.1'de belirtilen problem gibi henüz cevap bulunamamış, farklı kapalı mekân tiplerinde konum doğruluğuna etkisi gerçek ortam şartlarında incelenerek analiz edilmesi gereken birçok konuda katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasının sonlarında ortaya çıkan Wi-Fi 6 teknolojisi ile 6GHz ve üzerindeki frekanslar ile kapalı mekân konum belirleme çalışmalarında yeni ufuklar açılacağı düşünülmektedir. Ayrıca yine çalışmanın sonlarında ortaya çıkan Covid-19 pandemisi sebebiyle bu gibi durumlarda kapalı mekânlarda belki de temas, yakınlık gibi durumların belirlenebilmesinde fayda sağlanabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: IPS, Kapalı mekân konum belirleme, Parmak İzi, Wi-Fi, RSS



ABSTRACT

PhD THESIS

RSS BASED INDOOR POSITIONING APPROACH IN INDOOR ENVIRONMENTS: IMPLEMENTATION OF FINGERPRINTING METHOD AND ITS PERFORMANCE ANALYSIS

Behlül Numan ÖZDEMİR

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geomatics Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Ayhan CEYLAN

2020, 105 Pages

Jury

**Prof. Dr. Ayhan CEYLAN
Prof. Dr. Reha Metin ALKAN
Prof. Dr. Cevat İNAL
Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ
Prof. Dr. Cemal Özer YİĞİT**

Wi-Fi technology, which provides wireless communication, has become a tool that is widely used today, updated and renewed every year and benefiting human life in various fields. Although the purpose of its emergence is wireless communication, as a result of the studies carried out by the researchers, Wi-Fi signals are also used for positioning as a side task. The fact that wireless location determination is a very popular and up-to-date research subject is due to the fact that this technology is quite common throughout the world and that the infrastructure is ready in almost all public buildings, shopping malls, hospitals and libraries. Signal fingerprints are the signal vectors created by many wireless Wi-Fi access points in these buildings, and as the name suggests, these fingerprints are specific only to the location they belong. In this thesis, the received signal strength (RSS) information and fingerprint positioning method were applied in real conditions, and their position accuracy was analyzed in terms of various criteria. For this purpose, a data collection software, 3 proposed data types and an analysis software were developed.

With the measurement mechanism used for the calibration phase, which is the most time-consuming phase of the fingerprint method, and the calibration points created in the form of routes, it was ensured that the fingerprint database was created with high accuracy and quickly. In our studies, it was seen that the positioning accuracy of the nearest neighbor method is highly dependent on the calibration point density. It is understood that weights should be taken into account in the calculation of candidate point locations using KNN algorithms, but it would be more appropriate to use a dynamic value instead of a fixed value in the selection of the number of neighbors for different types of indoor spaces. It is stated that if there are data gaps in the radio map depending on the frequency of the point, the algorithm can match the position of the candidate point with the calibration point that is physically far from that point, therefore filling these gaps with interpolation methods will benefit position accuracy.

Software solutions that can be used in RSS based fingerprint indoor positioning applications accelerate the process considerably and enable various analyzes to be performed with desired parameters. The analysis and data collection software created with this thesis are projects whose development processes are ongoing and have become two programs that meet the basic needs when an indoor positioning application is needed.

It is thought that these programs will help in solving many problems that need to be investigated and analyzed under real environment conditions such as the problem specified in Section 4.1.

With the Wi-Fi 6 technology that emerged at the end of this thesis, it is undoubted that new horizons will be opened in indoor positioning studies with frequencies of 6GHz and above. In addition, the Covid-19 pandemic that occurred at the end of the study showed that in such cases, location information and determination of contact with people at risk play a very important role in determining the conditions such as exposure to the virus and risk status.

Keywords: Fingerprint, Indoor Positioning, IPS, Wi-Fi, RSS



ÖNSÖZ

Yaşadığımız yer kürenin gerek küçük ölçekte gerekse büyük ölçekte olmak üzere tamamı üzerinde çalışan harita mühendisliği disiplini, gelişen bilgi-iletişim teknolojileri ile kendisine her alanda insanlığa faydalı olabilecek imkân bulmuştur. İnsanların yaşamları boyunca zamanlarının büyük çoğunluğunu geçirdikleri kapalı mekânların bunun dışında olması söz konusu değildir. Günümüzde mevcut olan teknolojiler ile henüz kabul gören ve her yerde geçerli olan bir çözüm bulunamayan kapalı mekânlarda konum belirleme probleminin çözümü harita mühendisliği ile diğer mühendislik disiplinlerinin ortak çalışmalarıyla sonuç bulacaktır. Bu tez çalışması ile ele alınan “Alınan Sinyal Gücü” (RSS) tabanlı parmak izi konum belirleme yönteminin performansı araştırılmış, deneysel ve gerçek ortam şartlarında yapılan ölçüler değerlendirilmiş ve ortaya çıkarılan iki yazılım ve veri türü standartları ile ileride yapılacak çalışmalara ve geliştirmelere de açık bir konum belirleme sisteminin temelleri hazırlanmıştır.

Tezin hazırlanması süresince bilimsel tecrübelerini paylaşan ve bana her zaman yol gösteren danışman hocam sayın Prof. Dr. Ayhan CEYLAN’ a:

Doktora tez çalışmasının izlenmesi sürecinde, kritik noktalarda sağladığı bakış açısı ve tecrübeleri ile çalışmalarına yön veren sayın Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ’ ye:

Bilimsel desteklerini ve tecrübelerini paylaşarak çalışmalarında yenilikler ortaya çıkarmamı sağlayan sayın Prof. Dr. Cemal Özer YİĞİT’ e teşekkürü bir borç bilirim.

Behlül Numan ÖZDEMİR
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER, ÇİZELGELER VE EKLER LİSTESİ	xi
Çizelgeler Listesi	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Temel Hedefleri ve Bilime Katkısı	3
1.2. Literatürde Yapılan Çalışmalara Bakış	3
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	29
2.1. Uygulama Bölgesi ve Deney Alanı.....	29
2.2. Parmak İzi Yöntemi	30
2.2.1. Kalibrasyon aşaması	32
2.2.2. Konum belirleme aşaması.....	35
2.3. Deterministik Parmak İzi Konum Belirleme.....	36
2.4. En Yakın Komşu, K-En Yakın Komşu ve Ağırlıklı KNN.....	37
2.5. Enterpolasyon.....	39
2.5.1. Voronoi diyagramları ve Delaunay enterpolasyonu	40
2.6. Eşik Değeri Uygulaması (Thresholding)	42
2.7. Geliştirilen Yazılımlara Genel Bir Bakış	43
2.8. Mobil Veri Toplama Yazılımı.....	43
2.9. Masaüstü Analiz Yazılımı.....	46
3. UYGULAMA VE DENEY ÇALIŞMALARI	50
3.1. Anten Açısı-Ortalama Sinyal Gücü İlişkisi.....	50
3.2. DIFF Metodunun Uygulaması	52
3.3. Çift-Frekans Parmak İzi Veri Seti ile Konum Belirleme	55
3.4. Kalibrasyon Referans Yüksekliğinin Parmak İzi Vektörüne Etkisi.....	59
3.5. Ağırlıklandırılmış Ölçülerin KNN İle Karşılaştırılması	64
3.6. Enterpolasyon Sonuçlarının İncelenmesi	65
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	69
4.1. Veri Temsili Üzerine Tartışma (Data Representation)	70
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	74

5.1. Sonuçlar.....	74
5.2. neriler	76
KAYNAKLAR	78
EKLER	85
ÖZGEÇMİŞ	89



ŞEKİLLER, ÇİZELGELER VE EKLER LİSTESİ

Şekiller Listesi

Şekil 2.1 Çalışma bölgesi Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binası....	29
Şekil 2.2 Deneysel ölçüler için hazırlanan test bölgesi	30
Şekil 2.3 Ölçü düzeneği (a), ölçü sayacı (b), veri toplayıcı ve kroki cihazları (c)	33
Şekil 2.4 1186 numaralı kalibrasyon noktası için mobil yazılım ekran görüntüsü (a), koridorlarda oluşturulan güzergâh ve nokta örneği (b)	34
Şekil 2.5 Parmak izi konum belirleme iş akışı.....	36
Şekil 2.6 KNN yöntemi ile aday nokta konumunda yapılan hata.....	38
Şekil 2.7 Kapalı mekân tipine göre çevrede bulunan kalibrasyon nokta sayıları	39
Şekil 2.8 Voronoi diyagramı ve delaunay üçgenleri.....	41
Şekil 2.9 Bowyer-Watson algoritması için verilen sözde kod (URL-1).....	41
Şekil 2.10 Mobil veri toplama yazılımına ait ekran görüntüleri	44
Şekil 2.11 Parmak izi dosya içeriği	45
Şekil 2.12 Analiz yazılımı arayüzü (Data Viewer ekranı).....	46
Şekil 2.13 Analiz programında SPA ekranı görüntüsü.....	47
Şekil 2.14 Konum belirlemede uygulanan temel adımlar.....	49
Şekil 3.1 1, 2 ve 3 nolu erişim noktalarına ait sinyal yayılımları	51
Şekil 3.2 7, 8 ve 9 nolu erişim noktalarına ait sinyal yayılımları	51
Şekil 3.3 İki farklı Wi-Fi donanımı ile elde edilen RSS değerleri arasındaki ilişki	53
Şekil 3.4 DIFF yönteminde kullanılan sinyal gücü farkları ile yeni radyo haritasının oluşturulması.....	53
Şekil 3.5 2.4GHz frekansında konum hataları	56
Şekil 3.6 5GHz frekansında konum hataları	56
Şekil 3.7 Her iki frekans birlikte kullanıldığında ortaya çıkan konum hataları.....	57
Şekil 3.8 Zemin kata ait CDF grafiği, NN ve KNN algoritmaları ile tek ve çift frekans karşılaştırması	57
Şekil 3.9 1. kata ait CDF grafiği, NN ve KNN algoritmaları ile tek ve çift frekans karşılaştırması	58
Şekil 3.10 2. kata ait CDF grafiği, NN ve KNN algoritmaları ile tek ve çift frekans karşılaştırması	58
Şekil 3.11 3. kata ait CDF grafiği, NN ve KNN algoritmaları ile tek ve çift frekans karşılaştırması	58
Şekil 3.12 Kalibrasyon düzlemi ile konum belirleme düzlemi yükseklik farkı.....	59
Şekil 3.13 Yükseklik farkı değişimi etkisi için kullanılan ölçü düzeneği	60
Şekil 3.14 Zeminden 80cm ile 160cm yükseklikleri arasında 2.4GHz sinyal gücü değişimleri	61
Şekil 3.15 Zeminden 80cm ile 160cm yükseklikleri arasında 5GHz sinyal gücü değişimleri	61
Şekil 3.16 Analiz yazılımının raporlama ekran görüntüsü ve ağırlıklandırma seçeneği	64
Şekil 3.17 En yakın komşu arayışında nokta sıklığının etkisi	65
Şekil 3.18 Çalışma bölgesinde bulunan veri boşlukları.....	66
Şekil 3.19 Analiz programında enterpolasyon ekran görüntüsü.....	67
Şekil 3.20 NN, IntNN ve Int-WKNN algoritmaları CDF grafiği	68
Şekil 3.21 Alınan sinyal gücü gösterimi Exponential ($\alpha = 24$)	71
Şekil 3.22 Alınan sinyal gücü gösterimi Powed ($\beta = e$)	71

Şekil 3.23 Alınan sinyal gücü miliwatt grafiği	72
Şekil 3.24 Alınan sinyal gücü miliwatt oranı (mW-Ratio).....	72



Çizelgeler Listesi

Çizelge 2.1	Farklı konumlarda aynı sinyal gücü ile ayırt edici özellik sağlanamaz.....	31
Çizelge 2.2	Konumsal ayırt edilebilirlik açısından birden çok RSS değeri kullanılır....	31
Çizelge 2.3	Tipik bir kalibrasyon çalışmasına ait ölçü kampanyaları çizelgesi	35
Çizelge 3.1	DIFF yöntemi ve mutlak RSS kullanımı arasında oluşan fark.....	54
Çizelge 3.2	Test noktalarında ortaya çıkan hataların karşılaştırması	54
Çizelge 3.3	80cm referans yüksekliğine göre sinyal gücü farkları 2.4GHz frekansı	62
Çizelge 3.4	80cm referans yüksekliğine göre sinyal gücü farkları 5GHz frekansı	62
Çizelge 3.5	120cm referans yüksekliğine göre sinyal gücü farkları 2.4GHz frekansı ...	62
Çizelge 3.6	120cm referans yüksekliğine göre sinyal gücü farkları 5GHz frekansı	63
Çizelge 3.7	Ortalama sinyal gücü farkları	63
Çizelge 3.8	Ağırlıklı ölçülere ait verilerin karşılaştırması	64
Çizelge 3.9	Enterpolasyon sonucunda en yakın komşu ve ağırlıklı K-en yakın komşu ölçülerinin karşılaştırması.....	67



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ Barisentrik Koordinatlar

Kısaltmalar

.ADA	Fingerprint Analysis Data File
AOA	Angle of Arrival
AP	Access Point
CP	Calibration Point
dBm	Decibels Relative to Milliwatt
.FRD	Fingerprint Raw Data File
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
KTH	Konum Tabanlı Hizmetler (LBS)
LE	Location Estimation
LOS	Line of Sight
NLOS	Non-Line of Sight
RFID	Radio Frequency Identification
RP	Reference Point
RSS	Received Signal Strength
RSSI	Received Signal Strength Indicator
.SPA	Single Point Analysis File
SSD	Signal Strength Difference
TDOA	Time Difference of Arrival
TOA	Time of Arrival
WAP	Wireless Access Point
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
WSN	Wireless Sensor Network

1. GİRİŞ

Kapalı mekânlarda konum belirleme (Indoor Positioning), ağırlıklı olarak konuma dayalı hizmetleri sunma konusundaki geniş uygulamaları nedeniyle çok popüler ve güncel bir araştırma alanıdır. Konum Tabanlı Hizmetler (KTH) nitelikli bilgiyi kontrol etmek için konum verilerini kullanan yazılım düzeyinde bir hizmet türüdür. Hızla gelişmekte olan bir endüstri haline gelen Konum Tabanlı Hizmetler insanların hayatlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

KTH endüstrisi ulusal savunma, ekonomik yapı ve sosyal yaşamın önemli bir parçası haline gelmiştir. İnsanların günlük yaşamlarında zamanlarının %80'inden fazlası kapalı mekânlarda geçmekte ve kapalı mekân KTH'lere olan ihtiyaç gittikçe artmaktadır. Bu sistemler halihazırda insan yaşamına sayısız alanda hizmet etmektedirler. Bu hizmetlerden, bunlarla sınırlı olmamakla birlikte bazıları; bir alışveriş merkezindeki istenen mağazaya veya bir kamu binasındaki bir ofise gerçek zamanlı navigasyonun sağlanması, bir ambarda depolanan ürünlerin konum tespiti, bir hastanedeki personellerin, hasta veya ekipmanın konum tespiti, yangın durumunda bina içerisindeki itfaiyecilerin konumunun belirlenmesi, özellikle görme engelli kişilere yardımcı olmak için tasarlanan sistemler, bir binada patlayıcı bulmak için eğitim görmüş polis köpeklerinin yerlerinin tespiti, konum bazlı reklamlar, konuma dayalı lokal arama servisleri, büyük fuarlarda ziyaretçileri doğru fuar stantlarına yönlendirme, şirketlerde otomatik oturma açma/oturma kapatma prosedürlerinin uygulanması, yaşlı insanların ev ortamında tıbbi takibi acil durum tespiti ve düşme tespiti, mobil cihazlarda kullanıcı konumuna bağlı içerik adaptasyonu, müzelerde ziyaretçi izleme ve ziyaretçilerin davranışlarının incelenmesi, konuma bağlı kullanıcı yönlendirmesi ve tetiklenen içeriğe dayalı bilgi servislerinin sunulması, binanın iç mekanının ölçülmesi yeni yapıların geometrik olarak alımı yeniden yapılandırılmaları, tünel ve maden gibi tozlu, karanlık, nemli ve alan olarak sınırlı ortamlarda konum tespiti, artırılmış gerçeklik uygulamalarında ve benzeri sayısız uygulamada konum bilgisi kullanılmaktadır. Ayrıca bu tez çalışmasının sonlarında ortaya çıkan ve tüm dünyayı kapsayan Covid-19 sebebi ile sosyal mesafe kurallarının yüksek derecede önem arz ettiği pandemi durumunda kapalı mekânlarda bu kurallara uyulup uyulmadığının tespiti veya bulaş riskinin belirlenmesi amacı için de kullanılabilecek olan kapalı mekânlarda konum bilgisi önemini bir kez daha göstermiştir.

Konuma dayalı bu hizmetler için gerekli olan konum bilgisi üç farklı gruba ayrılabilir: teknoloji yardımıyla elde edilmektedir. Bunlar atalet sensörlerine dayalı navigasyon (ivme ölçer, jiroskop, dijital pusula vb. sensörler), mekanik dalgalar (duyulabilir ses, ultrasound vd.) ve elektromanyetik dalgalar (görünür bölge, kızılötesi, mikrodalga, radyo spektrumu) şeklindedir. Bunların içinde radyo spektrumunu kullanan sistemler; FM Radyoları, radar sistemleri, hücresel şebeke ağları, Wi-Fi, ZigBee, RFID (Radio Frequency Identification), ultra-wideband, GNSS ve sanal uydulardır (Pseudolite). Bu teknolojiler ve sistemler içinde aşağıda belirtilen bir takım performans ölçütleri dikkate alındığında bu kriterler arasında dengeyi kurabilen, günümüzde uygulanabilirliği oldukça yüksek olan teknoloji, IEEE 802.11 standardı olan Wi-Fi teknolojisi. Kapalı mekân konum belirleme sistemlerinde performans ölçütü olarak aşağıdaki kriterler değerlendirilmektedir.

- Doğruluk
- Hassasiyet
- Kullanılabilirlik/Bulunma Durumu
- Ölçeklenebilirlik
- Kapsama Alanı
- Maliyet
- Enerji Tüketimi
- Hesaplama İhtiyacı/Yükü
- Dayanıklılık (Robust)

Bu bağlamda Wi-Fi teknolojisi kullanılarak konum belirleme metotları: Varış Açısı (Angle of Arrival, AoA), Varış Zamanı (Time of Arrival, ToA), Varış Zamanı Farkı (Time Difference of Arrival, TDoA) ve Alınan Sinyal Gücü (Received Signal Strength, RSS) şeklindedir. RSS tabanlı konumlandırma metotları kendi içinde 3 alt başlıkta incelenmektedir. Bunlar ise Cell-ID, Parmak İzi ve Yol-Kayıbı tabanlı modellerdir. Bunlardan parmak izi, diğer konum belirleme ilkelerinden farklı çalışmaktadır. Mobil cihaz ile kablosuz erişim noktaları (WAP) arasındaki mesafeleri belirlemek ve kullanıcının konumunu üçgenlemek (trilateration) yerine, elde edilen RSSI değerleri bir sinyal haritası ile karşılaştırılarak kullanıcının yeri belirlenir. Birçok bilimsel araştırmada parmak izine dayalı hassas konum belirleme için farklı matematiksel modellere dayalı araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Ancak kapalı mekânların çeşitliliği, Wi-Fi altyapısındaki farklılıklar, yapıların tasarımları vb. birçok değişken sebebiyle henüz kesin bir matematiksel model ve çözüm belirlenememiştir.

1.1. Tezin Temel Hedefleri ve Bilime Katkısı

Bu tez çalışmasında, ülkemizde henüz üzerinde fazla araştırma yapılmamış olan ancak her geçen gün önemi artan bir konu ele alınmıştır. Günümüzde açık alanlarda küresel konum belirleme sistemleri, oldukça yaygın olarak kullanılmakta olup bu sistemlerin hem mühendislik projelerinde hem de sivil ya da askeri kullanımda sayısız faydalı uygulamaları bulunmaktadır. Fakat bu teknolojiler ile bu tezin yazıldığı tarih itibariyle kapalı mekânlarda bir çözüm elde edebilmek mümkün değildir. Gelecekte yörüngeye gönderilecek yeni tip küresel konum belirleme uyduları ve/veya yeni taşıyıcı dalgalar ve sinyaller ile bu durum elbette değişebilir. Teknolojik gelişmelerin varacakları noktaları kestirmek zor olduğundan, Wi-Fi teknolojisinin de ortaya çıktığında konum belirleme amacı için kullanılabileceği akla gelmemiştir. Dahası 2020 yılında yalnızca kapalı mekânlarda değil GNSS sinyallerinin ulaşmakta güçlük çektiği şehir kanyonları denilen (Urban Canyon) yüksek binalarla çevrelenmiş metropollerin caddelerinde konum bilgisi sağlamak veya konum bilgisinin doğruluğunu artırmak için Wi-Fi teknolojisi bir destekleyici görevi üstlenmektedir. Gelecekte önemi daha da artacak olan ve sayısız uygulaması olan bu teknolojinin kullanılmasını artırmak, ülkemizdeki bilinirliği ve araştırmacılara yeni fikirler sunmasını sağlamak açısından bu tez oldukça faydalı olacaktır.

Bilimsel olarak Türkçe literatüre katkı sağlayarak, konu ile ilgili geliştirilmesi sürmekte olan iki program ortaya çıkararak ve kapalı mekânlarda konum belirleme uygulamasını bütün bir bina kompleksinde gerçekleştirerek yeni araştırmalara kapılar aralanmış ve zemin hazırlanmıştır.

1.2. Literatürde Yapılan Çalışmalara Bakış

Kapalı mekânlarda konum belirleme problemi ile ilgili ülkemizde, bu tezin yazıldığı dönem dahil olmak üzere Türkçe çalışmalar yeni yeni ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu sebeple araştırmacının/okuyucunun konu hakkında daha geniş yelpazede yapılan çalışmalardan bilgi sahibi olması adına literatür araştırmaları yalnızca Wi-Fi tabanlı Parmak İzi metodu kullanılarak konum belirleme sistemlerinin oluşturulması ile kısıtlanmamıştır. Genel anlamda kapalı mekânlarda konum belirleme ile ilgili Wi-Fi sistemleri ağırlıklı olmak üzere günümüze kadar yapılan çalışmalar bu bölümde sunulmuştur.

Roos ve ark. (2002), yaptıkları araştırmada sinyal yayılımının fiziksel özelliklerini doğrudan dikkate almamışlardır. Bunun yerine konum tahminini, birkaç bilinen lokasyonda toplanan ölçüm örneklerine dayanılarak, sinyal güçlerinin farklı coğrafi alanlarda nasıl dağıldığını modellemek için bir makine öğrenme (Machine Learning) problemi olarak kabul etmişlerdir. Bu amaçla konum tahmini problemini çözmek için olasılık tabanlı bir çözüm çerçevesi sunmuşlardır. Araştırma sonuçlarına göre makine öğrenmesi yaklaşımının, eğitim verilerinin toplanmasında kullanılan orta düzeyde bir çaba ile pratik olarak uygulanabilir sonuçlar ortaya koyması açısından mümkün olduğu görülmekte ve 2 metrenin altındaki bir ortalama konum tahmin hatasının elde edilmesinin kolay olduğu gösterilmektedir. Yapılan deneylerde iki olasılıklı yöntem, en yakın komşu yönteminden biraz daha iyi sonuçlar üretmiştir. Olasılıklı yöntemlerin, kullanılan baz istasyonlarının sayısına, toplanan kalibrasyon verilerinin miktarına ve konum tahmini için kullanılan geçmişin uzunluğuna göre oldukça robust olduğu görülmüştür.

Prasithsangaree ve ark. (2002), konuma dayalı hizmetlerin özellikle kapalı mekânlarda ve kampüs bölgelerinde yeni nesil kablosuz ağların ve geniş bant multimedya kablosuz ağların kurulması ile popüler olduğunu ve bu hizmetler için kullanıcı konumunun hassas bir şekilde elde edilmesinin önemini vurgulamışlardır. Parmak izi yönteminin daha uygulanabilir olduğuna dikkat çekilirken, bu çalışmada yöntemin performans/değiş-tokuş ve gerçekleştirme sorunları konularında sistematik bir araştırma yapılmıştır. Ayrıca RSS temelli parmak izi konum belirleme teknikleri incelenmiş ve RSS temelli parmak izi yönteminin sorunları;

1. Öz-Konumlama (Self-Positioning)
2. Granülerlik (Granularity)
3. Algoritmalar
4. Hata Toleransı
5. Performans

başlıklarında tartışılmıştır.

Ristic ve ark. (2003), Beyond the Kalman Filter kitaplarında lineer olmayan (nonlinear) ve normal dağılımda olmayan (non-Gaussian) filtreleme için bir dizi teknik gözden geçirilmekte ve geniş kapsamlı bilgi verilmektedir, konu ile ilgilenen araştırmacılar için başvuru kaynağı olacaktır.

Saha ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada WLAN vasıtasıyla iletişim kuran bir mobil cihazın konumunu belirleme sorununu ele almışlar ve bir cihazın farklı erişim noktalarından alacağı sinyallerin gücünün konuma göre değişeceği ilkesini

kullanmışlardır. Burada sinyal gücü bilgisinin oryantasyona göre az miktarda (3dB) değiştiği belirtilmiş ve oryantasyon ihmal edilmiştir. Konum tahmininde kullanılan algoritmalar, en yakın komşu (Nearest Neighbour Classifier) sınıflandırıcısı, Sinir Ağları (Neural Network) ve Histogram Eşleme ile Sınıflandırma (Histogram Matching) metotlarıdır. Elde edilen doğrulukların, test lokasyonunda sinyal gücü toplama süresi arttıkça, iyileştiği gözlemlenmiştir. NN ve Histogram eşleme metotlarının doğrulukları %90 seviyelerindeyken, sinir ağları temelli sınıflandırma ile kaydedilen doğruluk %97 ile %99 olarak verilmiştir. Yöntemlerin doğrulukları, en iyi yöntem sinir ağları olmak üzere, sinir ağları için $\pm 1,5$ m, %83 olasılıkla, diğer iki yöntem ± 2 m %83-84 olasılıkla belirlenmiştir.

Youssef ve ark. (2003), yapmış oldukları çalışmada, ortak kümeleme tekniğine dayalı, olasılık temelli bir kapalı mekân konum belirleme sisteminin tasarımı, uygulanması ve değerlendirmesini sunmaktadırlar. Kümeleme yönteminin, konum belirleme sisteminin doğruluğunu arttırdığını ve sistemin daha geniş kapsama alanına ölçeklenebilmesine fayda sağladığını ortaya koymuşlardır.

Kaemarungsi ve Krishnamurthy (2004), IEEE 802.11b kablosuz ağ arabirim kartları tarafından bildirilen alınan sinyal gücünün özelliklerini araştırmışlardır. Yapılan analizler, konum parmak izlerinin temel özelliklerini anlamak için gerçekleştirilmiştir. Kullanıcıya ilişkin konuma dayalı hizmetler için konum parmak izi alırken, kullanıcının varlığının hesaba katılması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca kullanıcının oryantasyonunun önemli olduğu ve oryantasyonun veri tabanına kaydedilmesi gerektiği vurgulanmıştır. RSS'in istatistiksel özellikleri de analiz edilmiş ve belirli koşullar altında hareketsiz olduğu bulunmuş, ancak genel olarak böyle bir sonuca varılamayacağı, sinyal dağılımının genellikle Gauss dağılımında olmadığı, sola eğik olduğu ve standart sapmanın sinyal seviyesine göre değiştiği bildirilmiştir. Birden çok erişim noktasından (AP) gelen sinyallerin çoğunlukla bağımsız olduğu ve aynı frekansı kullanan diğer AP'lerden gelen sinyallerin parazitinin alınan sinyal gücü parmak izi desenine önemli bir etkisi olmadığı ortaya koyulmuştur. Bu çalışma ile bir adım geriden bakılarak, RSS deseni daha ayrıntılı bir şekilde araştırılmıştır. Konum belirleme problemini çözmek için bir desen tanıma tekniği uygulamadan önce, parmak izinin özelliklerini incelemek üzere konum parmak izi sistemi tasarlanmanın önemli hususları ortaya koyulmuştur.

Haeberlen ve ark. (2004), standart 802.11 kartlar tarafından sağlanan dahili sinyal yoğunluğu ölçerden başka bir donanım kullanmadan, tüm ofis binası içerisinde oldukça doğru konumlandırma sağlayan, istatistiksel teknikler kullanarak inşa edilmiş bir sistem

önermektedirler. Yapılan ölçüler, her bir ofis odası ya da bölge için 2 dakikadan fazla veri toplayarak yaklaşık 28 saatlik bir çaba harcanmış ve elde edilen verinin yarısından az bir kısmı kullanılarak kullanıcı konumu tüm bina içerisinde, denemelerin %95’inde doğru konumu sağlamıştır. Bu çalışmada daha robust olan ve sinyal güçlerinin tam histogramını kullanan sensör modellerine kıyasla daha az eğitim gerektiren Gauss uyum sensör modeli (Gauss fit sensor model) kullanılmıştır. Ayrıca eğitim verilerinin tamamen farklı alıcı donanımla ve eğitim aşamasındaki durumdan farklı koşullar altında kullanılmak üzere uyarlanabileceği bir teknik geliştirmişlerdir.

Kushki ve ark. (2005), bu çalışmada alınan sinyal gücünü kullanarak bir kablosuz lokal ağ (WLAN)’da kapalı mekân konum tahmini sorununu ele almışlardır. Bu çalışmada alınan sinyal gücünün mekânsal dağılımını yakalamak için konum parmak izlerini kullanarak konum kestirimi (LE) için parametrik olmayan bir Nadaraya-Watson kestirimcisi sunulmuştur. Ayrıca RSS’in multi-model zamansal olasılık dağılımlarıyla başa çıkmak için her bir araştırma noktasında, birden fazla konum parmak izinin füzyonuna dayanan yeni bir yöntem önerilmiştir. Bir ofis ortamında toplanan gerçek veriler kullanılarak yapılan deneysel sonuçlar, önerilen çoklu harita yönteminin KNN (K Nearest Neighbor) tabanlı konum tahmin yöntemlerinden karesel ortalama hata bakımından daha iyi olduğunu ortaya koymuştur.

Ali-Löyhty ve ark. (2005), yapmış oldukları çalışmada üç filtrenin tutarlılığını değerlendirmiş ve filtreler tutarsız olursa neler olabileceğini araştırmışlardır. Burada uydulardan gelen sinyallere ve cep telefonu şebekesi baz istasyonlarına dayalı bir hibrid konumlandırma yöntemi uygulanmıştır. Filtrelemenin tutarlılığının önemli olduğu ortaya koyulmuş, ikinci dereceden genişletilmiş kalman filtresinin (EKF2), genişletilmiş kalman filtresine göre (EKF) daha iyi çalıştığı, hata limitinin daha küçük olduğu ve daha az tutarsız davrandığı görülmüştür.

Kurt (2005), yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında hücresele ağlarda parmak izi konum belirleme yöntemini kullanan bir uygulama gerçekleştirmiştir. Bu uygulamada KTH’lerin doğruluğunu artırmak için yeni bir sinyal eşleme yöntemi geliştirilmiş ve bu yöntem en çok bilinen diğer yöntemler ile kıyaslanmıştır.

Li ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada konum parmak izi veri tabanı oluşturma için Kriging temelli yeni bir metot öne sürmüşlerdir. Bu metodun yalnızca daha doğru konum tahmini başarısı gösterdiği değil, aynı zamanda veri tabanı oluşturma getirdiği iş yükünü de ciddi miktarda azalttığı belirtilmiştir. Aynı zamanda yöntemin eğitim aşamasında veritabanını oluşturmak için ölçümlerin mekânsal korelasyonunu kullanması,

geleneksel yöntemler ile arasındaki fark olarak belirtilmiş, öne sürülen metot ile 1/4 hatta 1/8 oranında daha az referans noktasına ihtiyaç duyulduğu kaydedilmiştir. Bu çalışmada enterpolasyon yardımıyla kalibrasyon aşamasının zaman ve emek ihtiyacının azaltıldığı görülmektedir. Parmak izi yöntemi için oldukça önemli olan bu sonucun araştırmacılar tarafından dikkate alınması tavsiye edilir.

Li (2006), yaptığı çalışmada bilinmeyen konum koordinatlarının ve yol-güç gradyeninin (radyo yayılım yol kaybı modelinin bir parametresi) RSS tabanlı ortak tahminiyle ilgili detaylı bir çalışma sunmaktadır. Bu çalışmada doğrusal olmayan bir en küçük kareler tahmincisi sunulmuş ve algoritmanın performansı, CRB (Cramer-Rao Bound)'ye ve çeşitli simülasyon sonuçlarına dayanarak incelenmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre önerilen ortak tahmincinin, bilinmeyen veya değişen ortamlarda konum tespiti için özellikle çok kullanışlı olduğu belirtilmiştir.

Kaemarungsi (2006), RSSI dağılımlarını 5 farklı IEEE 802.11 b/g WLAN arayüzlerinde kapsamlı ölçüm deneyleri kullanılarak araştırmıştır. Konum parmak izi için WLAN arayüzlerinin istenen özellikleri de ölçüm sonuçlarına dayanarak tanımlamışlardır. Farklı WLAN kartlarındaki RSSI karşılaştırması ile RF (Radio Frequency) ölçümünün uygulanmasının eşit olmadığını ortaya koymuşlardır. Belli sayıda ölçüm sonuçlarına göre RSSI dağılımının, ortalamasına göre değişmekte olduğuna ve sola dayalı histogram ortaya çıktığına vurgu yapmışlardır.

Liu ve ark. (2007), mevcut kablosuz konumlandırma çözümlerine genel bir bakış atmışlar ve farklı teknikleri ve sistemleri sınıflandırmaya çalışmışlardır. Burada konumlandırma sistemlerinin değerlendirildiği bir dizi özellik incelenmiş ve mevcut sistem sayısını araştırmak için bir değerlendirme yöntemi sunulmuştur. Ayrıca elde edilen sistemler hakkında doğruluk, hassaslık, karmaşıklık, ölçeklenebilirlik, robustluk ve maliyet gibi kapsamlı performans karşılaştırmaları ortaya koyulmuştur.

Li ve ark. (2007), kablosuz sensör ağlarındaki (WSN) son teknoloji konum belirleme algoritmalarının çoğunun kötü niyetli veya tehlikeli ağ düğümlerinden gelen saldırılara karşı savunmasız olduğunu ve şimdiye kadar önerilen güvenli konum belirleme tasarılarının, güç bakımından kısıtlı olan WSN'lere uygulanamayacak kadar karmaşık olduğunu belirtmişlerdir. Bunun için multilaterasyondan (Multilateration) türetilen, WSN'nin hangi konum saldırılarıyla karşı karşıya olduğunu ayırt etmeksizin daha doğru ve hızlı bir şekilde bilinmeyen düğüm noktasının konumunu hesaplayabilen "Bilaterasyon" 'a dayalı yeni bir yöntem öne sürmüşlerdir. Ayrıca simülasyon ortamında konum tahmini doğruluğunu optimize eden Bilaterasyon ve Multilaterasyon çözümlerini

LS (Least Squares), LMS (Least Median Squares) ve LLMS (Linear Least Mean Squares) ile karşılaştırmışlardır. Deney sonuçları, bilaterasyonun, konum tahmin hatası, filtreleme kabiliyeti ve hesaplama karmaşıklığı arasında en iyi dengeyi sağladığı bulunmuştur.

Rizos ve ark. (2007), yaptıkları bu çalışmada WLAN kapalı mekân konumlandırma tekniklerini tartışmış ve her bir tekniğin avantaj ve dezavantajlarını deney sonuçlarına göre karşılaştırmıştır. Araştırmada, trilaterasyon yaklaşımı, parmak izi yaklaşımının deterministik metodu ve parmak izi yaklaşımının olasılıksal metodu ele alınmıştır. Olasılıksal metodun makul seviyede konum doğruluğu sunmasına rağmen, eğitim verisi içerisindeki birçok bilgiyi göz ardı ettiği açıklanmıştır. Deterministik metodun en yakın komşu (Nearest Neighbor, NN) gibi birçok temel algoritma ile (Örn. KNN, KWNN) mobil kullanıcı konumunu her bir AP için ortalama RSS'ler yardımıyla belirlendiği gösterilmiştir. Parmak izi toplama yönteminin dezavantajı olarak, yüksek doğrulukta konum doğruluğuna ulaşılabilmesi için deterministik ya da olasılıksal yöntemlerinden hangisi kullanılırsa kullanılsın ciddi emek gerektiren bir eğitim verisinin toplanması gerektiği vurgulanmakta, çevresel değişimlerin, bu eğitim verisinin yenilenmesini gerektireceği belirtilmektedir.

Pan ve ark. (2007), veriler arasında bir haritalama fonksiyonu oluşturmak için bir makine öğrenme tekniği olan Manifold Eş-Düzenlemeye (Co-regularization) dayalı bir konum belirleme yaklaşımı sunmuşlardır. LeManCoR adını verdikleri Manifold Co-Regularization'a dayanan farklı zaman periyotlarındaki sinyal alanı ve fiziksel konum alanı arasındaki haritalama fonksiyonunu uyarlamak için bir sistem oluşturmuşlardır. Deney sonuçlarına göre modelin statik haritalama fonksiyonunu etkili bir şekilde adapte edebildiğini ve referans noktası sayısına göre robust olduğunu göstermişlerdir.

Bolliger (2008), çalışmasında GSM, Bluetooth ve Wi-Fi erişim noktalarını kullanan bir mobil cihaz temelli Redpin isimli kapalı mekân konum belirleme sistemini sunmaktadır. Ayrıca zaman alan eğitim aşamalarını atlamak için yöntemler geliştirerek, bunlar yerine kullanıcıların sistemi kullanırken aynı zamanda sistemi eğittiği "folksonomy-like" bir yaklaşım öne sürmüştür. Bu yaklaşım sayesinde sistemin, örneğin, değiştirilen erişim noktalarının neden olduğu ortamdaki değişikliklere hızla uyum sağlaması sağlanmıştır. Parmak izi yöntemi için radyo haritasındaki değişikliklerin bir şekilde güncellenmesi ve hızla sisteme dahil edilmesi büyük önem arz etmektedir.

Tarrio ve ark. (2008), Ad-Hoc ağlar için RSS tabanlı konum belirleme sistemlerinde bir mobil düğüm (Node: Ağ içinde bir cihaz) noktasının konumunu hesaplamak için ağırlıklı en küçük kareler tahmincisinin kullanılması önerilmektedir.

Çeşitli simülasyonlar ve gerçek denemeler sonucunda algoritmanın geleneksel hiperbolik ve dairesel konumlandırma algoritmalarından daha iyi konumlandırma sonuçları sağladığı görülmüştür.

Zanca ve ark. (2008), bu çalışmada kapalı mekân konum belirleme algoritmalarının gerçek performansını, gerçek dünya şartlarında test etmişlerdir. Sonuçlarda RSSI tabanlı konum belirlemenin sorunlarını ortaya koymuşlar ve doğru bir radyo kanalı modeli ile bu sorunların hafifletilebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca görme engelliler ile yapılan sistem performansı değerlendirmeleri sonucunda, önerilen sistemin görme engelli bireyleri istedikleri yere yönlendirmek için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Li ve ark. (2008), kablosuz ağlar için yeni bir robust konum belirleme algoritması geliştirmişlerdir. Bilaterasyon (Bilateration) temelli olan bu algorithmada hata sınırı içerisindeki referans noktalardan yapılan konum ve mesafe ölçülerinden elde edilen aday konum bilgilerinin birbirine daha yakın olması eğilimi varken, hatalı referans noktalardan yapılan konum ve mesafe ölçülerinden elde edilen aday konumlarının birbirine yakın olmasının muhtemel olmadığından yola çıkılmaktadır. Yapılan bu çalışmada araştırmacılar ayrıca Bilaterasyon ile üç farklı multilaterasyon (Multilateration) konumlama algoritmasını karşılaştırarak analiz etmişlerdir ve simülasyon sonuçlarına göre bilaterasyonun gerçek kablosuz sensör ağlarında (Wireless Sensor Networks) en kapsamlı ve doğru sonucu sağladığını bulmuşlardır.

Swangmuang ve Krishnamurthy (2008), bu çalışmalarında kablosuz lokal ağlarda alınan sinyalleri ve bunlarla ilişkili istatistiklerin kullanıldığı bir parmak izi konum belirleme veri tabanından elde edilen konum hatasının dağılımı ile ilgili bir analitik model sunmaktadırlar.

Honkavirta ve ark. (2009), bu çalışmada, statik kestirim için, deterministik ve olasılıklı yöntemlerin yanı sıra Bayesian filtresi ve Kalman filtresine dayanan filtreleme yöntemleri de dahil olmak üzere parmak izi konum belirleme yöntemleri hakkında geniş bir araştırma yapmışlardır. Burada literatürdeki bazı yöntemlerin eşdeğerliliğine dikkat çekilmiş ve parmak izi veri tabanı (Radio Map Database) ve konum tahmininin birleştirilmiş bir matematiksel formülasyonu ortaya koyulmuştur. Test sonuçlarında, sinyal gücü histogramlarının kernel fonksiyonu yaklaşımıyla olasılıklı yöntem en iyi statik konumlandırma metodu olarak bulunmuştur.

Khodayari ve ark. (2010), mobil kullanıcının anlık konumunu öne sürdükleri yeni metot ile hesaplayarak KNN (K Nearest Neighbors) ile karşılaştırmışlardır. PKNN adını verdikleri bu yeni metot ile yani Predicted K-Nearest Neighbors algoritması ile kullanıcı konumunu, kullanıcının bir önceki pozisyonu ve hızını da kullanarak hesaplamışlardır. Deneyler sonucunda PKNN'nin KNN'den %33 daha iyi performans gösterdiğini ve hatalarda ortalama 1,3 metrelik bir iyileştirme elde ettiklerini vurgulamışlardır. Kapalı mekân konum belirleme sistemleri için KNN türevi algoritmalarda komşu seçimi açısından yukarıdaki çalışma ve benzeri örnekleri parmak izi metodu için oldukça önemli olan çalışmalardır.

Liu ve ark. (2010), yapmış oldukları çalışmada, iki anahtar tekniği içeren gerçek zamanlı bir algoritma önermektedirler. Birinci teknik, mekânsal farklılıktan istifade eden mikro-hücreli-radyo-haritası oluşturma yöntemi, radyo dalgalanmalarını gidermek ve konumlama doğruluğunu artırmak için kullanılmaktadır. İkincisi ise sinyal haritasının yani konum parmak izi veri tabanının RSS tabanlı kümelenmesi ile, hesaplama yükünün azaltılması ve konumlandırma sisteminin performansının artırılması için önerilmiştir. Deney sonuçlarına göre örnek başına ortalama işlem sayısı 456.54'ten 25.46'ya düşürülmüş, aynı zamanda konumlandırma süresi de 96.3 ms'den 5.2 ms'ye düşürülmüştür. Yöntemin konumlandırma doğruluğunun, klasik en yakın komşu (NN) yaklaşımına göre 10 km/h hızında yaklaşık %12,3 oranında iyi sonuç verdiği ve eğitim örneklerinin boyutunun %76 ve örnek toplama zamanının %94 oranında azaltıldığı belirtilmektedir. Bu çalışmanın sonuçları giriş bölümünde bahsedilen performans ölçütlerinden hesap yükü ve enerji maliyetleri ile ilişkilidir. Parmak izi yöntemi ile radyo haritası oluşturulurken sistemin konumlandırma performansı açısından nadir olarak göz önüne alınan konu, konum belirleme süresidir ve anlık konum belirleme gereksinimi olduğu durumlar için en önemli kriterlerden birisidir. Parmak izi veri tabanı kapalı mekânın büyüklüğü ile doğru orantılı olarak büyüyecektir dolayısıyla eşleştirme algoritmasının arama aralığına dair ya da kriterlere dair çalışmalara göz atılması tavsiye edilmektedir.

Koyuncu ve Yang (2010), yaptıkları çalışmada çeşitli kapalı mekân konumlandırma tekniklerini araştırmış, avantajları ve dezavantajları hakkında kapsamlı bir çalışma sunmuştur. Araştırılan sistemlerden bazıları: Active Badge, Active Bat, Cricket, Dolphin, Wave LAN, Radar, FPM/RFID, GPS, UWB sistemleridir. Burada bütünleşmiş sistemlerin en umut verici kapalı mekân konumlama sistemleri olarak ortaya

çıkıldığı vurgulanmıştır. İleride RFID teknolojilerinin kızılötesi, ultrasonik gibi diğer teknolojiler ile birlikte kullanıldığı sistemlerin geliştirileceği sonucuna varılmıştır.

Peng ve ark. (2010), bu çalışmada bir Radyo-Haritası enterpolasyon algoritması sunmaktadırlar ve ölçülmüş radyo-haritası (konum parmak izi veri tabanı da denebilir) ile enterpole edilmiş sinyal haritasını karşılaştırmışlardır. Sonuçlarda, referans noktalarının yarısı ile enterpolasyon yapılmasına rağmen, konumlama doğruluğunda önemli bir kayıp olmadığı ortaya konulmuştur.

Hossain ve Soh (2010), konum parmak izi olarak Sinyal Gücü Farkı (SSD) kullanarak konum belirlemenin Cramer-Rao Alt Sınırını (CRLB) analiz etmişlerdir. Buradan iki çıkarım elde edilmiştir. Birincisi konum belirlemenin hata sınırının, efektif konum belirleme algoritmalarının tasarlanmasında yardımcı olabileceğidir. İkincisi ise hata eğilimlerini ortaya çıkararak, konumlandırma sisteminin tasarımı için öneriler ortaya koymasındır. Sonuç olarak eğer bir konumlandırma sistemi heterojen donanıma sahip cihazlara hizmet verecek ise, alınan sinyal gücü (RSS) yerine sinyal gücü farkının (SSD) tercih edilebileceğini öne sürmüşlerdir.

Koo ve Cha (2010), yaptıkları bu çalışmada radyo yayılım modeli hakkında hiçbir bilgi verilmediğinde, mesafeye dayalı erişim noktası lokalizasyonu için alınan sinyal gücü kullanımını araştırmışlardır. Bu amaç doğrultusunda, RSS ile mesafe arasındaki üstel ilişkiyi doğrusal halde tahmin ederek bir multilaterasyon (multilateration) uygulamışlardır. Simülasyon sonuçlarına göre farklı konumlarda dört ya da daha RSS ölçümü verildiğinde, bir erişim noktasının konumunun tahmin edilebildiği gösterilmiştir.

Li ve ark. (2011), farklı baz istasyonu geometrilerinin ortalama DOP (Dilution of Precision) değerlerini incelemişlerdir. Bu çalışmada en düşük DOP değerlerini elde edebilmek için, farklı konum belirleme sistemlerinde farklı baz istasyonu kurulumlarının gerektiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca merkezde bulunan baz istasyonu yüksekliğinin DOP'u önemli ölçüde değiştirdiği belirtilmiştir. Bu araştırmanın, mesafe ölçümüne dayalı konum belirleme sistemlerinin optimizasyonuna fayda sağlayacağı söylenmektedir.

Dawes ve Chin (2011), çalışmalarında olasılıksal ve deterministik yaklaşımlardan elde edilen bir dizi alınan sinyal gücü parmak izi (RSSIF) yöntemini, ortak bir test ortamı üzerinde karşılaştırmışlardır. Konum belirleme verimliliğini ve doğruluğunu değerlendirmişler ve birtakım iyileştirmeler ve modifikasyonlar önermişlerdir. Ayrıca geçici AP'leri hariç tutmak için RSSI değerlerinin standart sapmasını kullanmanın faydalarını göstermişler ve çok değişken AP'ler ve RSSI değerleri olan kontrolsüz ortamlarda Bayesian algoritmasının bir eksikliğini ana hatlarıyla çizerek, artan örnek

sayısı sayesinde doğruluğu eski haline getirmek amacıyla mod filtresi kullanan bir genişletme önermişlerdir.

Machaj ve ark. (2011), yapmış oldukları çalışmada kapalı mekân konum belirleme için yeni bir alınan sinyal gücü derecesine/sıralamasına dayalı parmak izi algoritması sunmuşlardır. RSS sıralaması gerçek değerden sapma ve ölçeklendirme açısından değişmez olduğu için algoritma, RSS kalibrasyonuna gerek kalmaksızın herhangi bir alıcı cihaz için aynı doğruluğu sağlayabilmektedir. Burada sıralanan vektörleri karşılaştıran benzerlik ölçütleri gösterilerek, konumlandırma doğruluğu üzerindeki etkileri deneylerle araştırılmıştır. Bu deney sonuçlarına göre önerilen algoritmanın, NN (Nearest Neighbor) ve WKNN (Weighted K-Nearest Neighbor) algoritmalarından daha iyi sonuçlar sağladığı görülmüştür.

Zheng ve ark. (2011), çalışmalarında yeni ve geliştirilmiş bir RSSI ölçümü metoduna dayalı konumlandırma yöntemini incelemişlerdir. Deney ve simülasyon sonuçlarına göre hesaplama süresinin arttığını ancak ölçüm doğruluğunun büyük ölçüde iyileştirildiğini ortaya koymuşlardır.

Pivato ve ark. (2011), kablosuz sensör ağlarında kapalı mekân konum doğruluğunu analiz etmişlerdir. Konum tahmini, alınan sinyal gücü ölçümlerine dayanmaktadır. Makalede RSS belirsizliğinin göreceli bir mesafe belirsizliği olarak nasıl yayılma eğilimi olduğunu vurgulamakla birlikte mutlak ve göreceli mesafe hataları arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadırlar.

Luo ve ark. (2011), RSSI tabanlı birkaç konum belirleme tekniğini gerçek bir ortamda test ederek birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırmada minimum-maksimum (MinMax), en büyük benzerlik (Maximum Likelihood), ROC RSSI (Ring Overlapping Circle RSSI) ve K-En Yakın Komşu algoritmaları ele alınmıştır. Basit bir MinMax algoritmasının diğerlerinden daha iyi sonuçlar verdiği ve en düşük 1.2m konum hatası elde edildiği gösterilmiştir.

Kaemarungsi ve Krishnamurthy (2012), IEEE 802.11 b/g kablosuz ağ arabirim kartları tarafından bildirilen alınan sinyal gücü bilgisinin özelliklerini, ölçümler yoluyla kapsamlı bir şekilde araştırmışlardır. Bu şekilde istatistiksel veri analiz sonuçları ile kapalı mekân konumlandırma sistemlerinin konum doğruluğunu etkileyen hata kaynakları tanımlanmaya çalışılmıştır. Elde ettikleri önemli bulgular arasında, RSSI bilgisinin sola eğik dağılım göstermesi, standart sapması, RSSI'nın durağan olmayan veya zaman bağımlılığı gibi RSSI'nın (Received Signal Strength Indicator) konuma bağlı bazı özellikleri bulunmaktadır.

Guerrero ve ark. (2012), yapmış oldukları çalışmada, bilinmeyen bir yapı ortamı içerisinde görme engelli insanlar için bir kapalı mekân navigasyon sistemi sunmuşlardır. Çalışmalarında sunulan bu sistemin kullanılabilirliği maksimum düzeyde tutacak şekilde tasarlandığı belirtilmektedir. Kullanıcının konumunu belirleyen ve hareketlerinin hızını ve yönünü hesaplayan çözüm ortaya koyulmuştur. Bu bilgiler vasıtasıyla kullanıcının rotası belirlenmiş, o rotadaki muhtemel engeller bulunmuş ve kullanıcıya navigasyon bilgisi olarak sunulmuştur. Çözümün farklı ortamlarda test edilmesinin ve görme engelli insanlardan geribildirim almanın sistemi iyileştirmek için önemli olduğu vurgulanmaktadır.

Mautz (2012), yapmış olduğu habilitasyon tez çalışmasında, kapalı mekân konum belirleme teknolojileri hakkında ayrıntılı ve kapsamlı bir araştırma yapmıştır. WLAN için sinyal yayılım modeli, deneysel parmak izi yöntemi, mesafe tabanlı metotlar hakkında bilgi verilmiş ve parmak izi yönteminin, kalibrasyon nokta yoğunluğuna bağlı olarak 2 metre ile 50 metre arasında doğruluğa sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca 10'dan fazla çalışmanın prensipleri, doğruluk seviyeleri, olgunluk durumları (araştırma, simülasyon, ürün) hakkında açıklayıcı bilgiler sunulmuştur.

Feng ve ark. (2012), sıkıştırılmış algılama teorisini kullanan bir RSS tabanlı kapalı mekân konumlandırma sistemi önermektedirler. Bu algılama teorisi, seyrek sinyallerden nitelikli tam bilgi elde edilmesini kapsamaktadır. Sistem doğruluğunu artırmak için farklı kaba konumlandırma teknikleri ve AP seçimi yaklaşımları incelenmiştir. Ayrıca sıkıştırılmış algılama (Compressed Sensing) teorisinin RSS sinyal haritasını, ölçümlerin yalnızca az sayıda parmak iziyle yeniden oluşturulması için kullanılabileceği ve ölçüm sayısının önemli ölçüde azaltıldığı sonucuna ulaşılmıştır. Deney sonuçlarına göre, önerilen sistemin, yaygın olarak kullanılan geleneksel parmak izi alma yöntemlerine göre konumlandırma doğruluğu ve karmaşıklığı üzerinde önemli ölçüde iyileştirme sağladığı bulunmuştur.

Yang ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada geleneksel metotlarla yalnızca saha çalışmalarıyla elde edilebilen bir sinyal haritasını oluşturmak için, modern cep telefonlarına entegre olan sensörlerden ve kullanıcı hareketlerinden faydalanmışlardır. Oluşturdukları sistemin insan gücüne daha az ihtiyaç duyduğunu, hızlı kurulum sağlandığını ve konumlandırmada kabul edilebilir doğrulukta sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Au ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada kablosuz yerel ağda (WLAN) alınan sinyal gücü ölçümlerine dayalı bir kapalı mekân takip ve navigasyon sistemi önermişlerdir. Sistemde konum belirleme problemi için, öncelikle mevcut konumun kaba bir tahmini ile bir önceki tahmin arasındaki mesafeyi sınırlamak amacı ile bir yakınlık sınırlaması yöntemi sunulmaktadır. Ardından, rafine edilmiş bir konum tahmini elde etmek için bir sıkıştırıcı algılama-tabanlı (Compressive Sensing, CS-Based) konum belirleme algoritması uygulanmaktadır. Bir PDA üzerinde uygulanan sistemle yapılan deney sonuçları, önerilen takip sisteminin yaygın olarak kullanılan geleneksel konumlandırma ve takip sistemlerinden daha iyi performans ortaya koyduğunu göstermiştir.

Cota-Ruiz ve ark. (2012), ilk konum bilgisini sağlamak için kullanılabilen dağıtılmış ve formül tabanlı bir “Bilateration” algoritması geliştirmişlerdir. Algoritma, doğruluk ve hesaplama karmaşıklığı açısından Levenberg-Marquardt metodolojisine dayalı En Küçük Kareler konumlama algoritması ile karşılaştırılmıştır. Doğruluk ve hesaplama performansı sonuçları, “Bilateration” algoritmasının iyi bilinen konum belirleme algoritmalarıyla karşılaştırıldığında oldukça rekabetçi olduğunu göstermektedir.

Nurminen ve ark. (2012), yaptıkları bu çalışmada bir baz istasyonunun konum ve yol kaybı modeli parametrelerinin off-line tahmini için efektif bir Bayesian metodu sunmuşlardır. Bu çalışmada yol kaybı (path-loss) parametresi belirsizliklerinin tahmin edilmesinin ve konumlandırma aşamasında dikkate alınmasının konumlandırma performansı üzerinde önemli etkisinin olduğu gösterilmiştir. Ayrıca Gauss-Newton optimizasyon algoritmasının tatmin edici doğruluk ve tutarlılık sağladığı ve Monte Carlo temelli Grid metodu ve Metropolis-Hastings örnekleyicisine kıyasla birçok uygulama için hesaplanabilir derecede uygulanabilir olduğu belirtilmiştir.

He ve ark. (2012), Varış Zamanı yönteminin (TOA) gerçek zamanlı performans analizini gerçekleştirmişlerdir. Performans değerlendirmesi, multipath etkisinin mesafe ve konumlama doğruluğuna etkisini görmek için kapalı mekân TOA konum belirleme sisteminin geliştirilmesi ve gerçekleştirilmesinde önemli bir adımdır. Araştırmada, radyo frekansı (RF) kanal emülatörü ve Ray-Trace yazılımı temel alınarak, kapalı mekân TOA konum performans değerlendirmesi için, görünür multipath ile kontrol edilebilir ve tekrarlanabilir gerçek zamanlı bir test merkezi kurulmuştur. Bu sayede kontrol edilebilir ve tekrarlanabilir test senaryoları sağlanmış ve araştırmacıya ve geliştiriciye konum tahmin hatasının kaynaklarını daha iyi anlamalarına ve konum belirleme algoritmalarının, cihazların ve sistemlerin performansını artırmalarına yardımcı olmaktadır.

Duda ve ark. (2012), Pattern Classification adlı kitaplarında desen tanıma sistemleri, öğrenme ve adaptasyon, parametrik olmayan teknikler, sinir ağları, stokastik metotlar, algoritmadan bağımsız makine öğrenmesi, kontrolsüz öğrenme ve kümeleme gibi çeşitli konuların temellerini derinlemesine ele almışlardır.

Jamâa ve ark. (2012), dağıtımı kolay, makul bir doğruluk sağlayan ve bunların yanında uygulama kolaylığı açısından önceki yaklaşımları geliştiren ve kendi kendini organize eden pratik bir RSS temelli konum belirleme tekniği tasarlamışlardır. EasyLoc adlı bu tekniğin ölçülerin %90'ında ± 1 m'den düşük konum hatası verdiği ve küçük alanlarda $\pm 0,48$ m ve büyük alanlarda ise $\pm 1,8$ m ortalama hata elde edildiği belirtilmiştir.

Deng ve ark. (2013), çalışmalarında kapalı mekân konumlamanın önemini ortaya koymuşlar ve konu ile ilgili sorunları analiz etmişlerdir. Tipik yerel ve geniş alan kapalı mekân konumlandırma sistemlerinin konumlandırma doğruluğu ve maliyetini karşılaştırmışlardır. Geniş alanlarda yüksek doğruluklu kapalı mekân konum belirleme sistemlerinin gelişim eğilimlerini üç yönden incelemişlerdir. Bunlar, heterojen ağlara dayalı kesintisiz KTH mimarisi, desimetre doğruluğunda kapalı mekân konum doğruluğu için öncül teknolojiler ve kapalı mekân ve açık alanlar için kesintisiz GIS (Coğrafi Bilgi Sistemleri)'dir.

Disha (2013), yaptığı çalışmada mevcut kablosuz konumlandırma çözümlerine genel bir bakış atmış ve farklı teknikleri ve sistemleri sınıflandırmıştır. Çalışmada doğruluk, hassasiyet, karmaşıklık, ölçeklenebilirlik, robustluk ve maliyet gibi kapsamlı performans karşılaştırmaları ile bu sistemler hakkında bilgi verilmiştir. Bu performans kriterleri arasında bir değiş tokuş dengesi olduğu ve özellikle karmaşıklık ile doğruluk/hassasiyet arasında, depolama, robotik veya acil durum gibi farklı uygulama ortamları için konumlandırma sistemleri ve teknikler seçilirken dikkatle düşünülmesi gerektiği vurgulanmıştır. Kablosuz konumlandırma sistemlerinin gelecekteki eğilimleri hakkında birkaç madde sunmuşlardır. Bu maddeler kısaca, hibrid algoritmalara ihtiyaç olduğu, farklı kablosuz konumlandırma sistemlerinin internet üzerinden ortak çalışması, kablosuz sistemlerin diğer teknolojiler ile kombine kullanılması, sensörlerin en iyi konumlandırma doğruluğu için yerleşim seçimi, UWB yani 3.1 GHz den 10.6 GHz frekansına kadar olan sinyalleri kullanan teknolojiler, açık alanlar ile kapalı mekânların birbirlerine entegre edilmeleri konularıdır.

Farid ve ark. (2013), kablosuz kapalı mekân konum belirleme tekniklerindeki ve sistemlerdeki son gelişmeleri incelemişlerdir. Ayrıca mevcut kablosuz konum belirleme

sistemleri ve konum tahmini metotlarını gözden geçirmiş, ilgili teknikleri ve gelecekteki eğilimler ile analiz etmiş ve karşılaştırmışlardır.

Cheng ve ark. (2013), bu çalışmada üç antenli alıcılar için yeni bir alınan sinyal gücü işleme metodu önermektedirler. Bu yaklaşım, çevresel bilinmeyenleri ortadan kaldıran ve RSS'nin kendisine kıyasla daha istikrarlı bir değişken olan RSS-Oran'ını temel almaktadır. Verici konumu ve RSS-Ratio (RSS-Oranı) değeri arasındaki ilişki üzerine bir analiz yaparak, tahmini RSS-Oranı değerinin doğruluğunu hem simülasyonlar hem de deneyler yoluyla incelemiştir. Gönderici konumu, alıcı anten konumu, iletim gücü, frekans ve parazit gibi etkilerin incelendiği hem kapalı mekân hem de açık alanlarda yapılan deneylerde önerilen RSS-Ratio metodunun, orijinal RSS yöntemine göre daha istikrarlı ve öngörülebilir olduğu görülmüştür.

Koweerawong ve ark. (2013), yaptıkları çalışmada “geribildirimler” (Feedback) olarak adlandırılan, bir dizi komşu lokasyondan ölçülmüş RSS parmak izlerinden belirli bir konuma ait RSS parmak izi tahmini için yeni bir yöntem önermektedirler. Önerilen bu yöntem, kesilen/ayrılan alanda yeni geribildirimler ve gerekli bazı eski RSS parmak izlerini aramakta ve ardından belirli bir konum için yeni parmak izlerini hesaplamak için enterpolasyon uygulamaktadır. Simülasyon sonuçlarına göre 30x30m'lik alanda 5 metrelik doğruluk ve 1 metrelik çözünürlükte %80 konum doğruluğu kriterini sağlamak için gerekli olan geribildirimlerin oranı %5 olarak tespit edilmiştir.

Shrestha ve ark. (2013a), dekonvolüsyon temelli, WLAN sinyalleri ve bilinmeyen AP lokasyonları ile bir kapalı mekân konum belirleme algoritması sunmuşlardır. Bu bağlamda en küçük kareler (Least Squares, LS), ağırlıklı en küçük kareler (Weighted Least Squares, WLS) ve en küçük ortalama karesel hata (Minimum Mean Square Error, MMSE) metotları incelenmiştir. Dekonvolüsyon yaklaşımları, performans ve karmaşıklık açısından konum parmak izi yaklaşımı ile karşılaştırılmıştır. Dekonvolüsyon temelli tahminin, eğitim veri tabanının boyutunu 10 kat azalttığı ve yine de mesafe tahmininde parmak izi konum belirleme yaklaşımı ile eşdeğer karesel ortalama hatalar elde edildiğini ortaya koymuşlardır.

Della Rosa ve ark. (2013), mobil konumlandırma için mesafe tabanlı doğrusal olmayan en küçük kareler (NLLS) yaklaşımlarının karşılaştığı zorlukları ortaya koymuşlardır.

Shrestha ve ark. (2013b), yaptıkları çalışmada WLAN kapalı mekân konumlamada alınan sinyal gücü ölçüm dinamikleri üzerine durmuşlardır. Bu analiz için aynı üniversite binasında (Finlandiya'nın Tampere kentinde yer alan) 3 yıl arayla alınan gerçek alan ölçüm verilerini kullanmışlardır. Bu süreçte, erişim noktalarının yeri ve türleri oldukça fazla değişime uğramakla birlikte, binanın yapısı, odalar ve mobilyalarda değişim olmamıştır. Çalışmada bu değişimlerin WLAN konum belirlemede sonuç konum bilgisinin doğruluğunu nasıl etkilediği gösterilmiş ve değişimler sonucunda eski parmak izi veri tabanı ile elde edilecek konum bilgisinin tamamen geçersiz olduğu gösterilmiştir. İstatistiksel RSS dağılımının oldukça benzer kaldığı ve bu dağılımın sadece bina yapısına (örneğin duvar ve katların materyalleri, kat sayısı, oda ve pencere yerleşimi gibi) bağlı olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, parmak izi sonuçlarından da eski ve yeni parmak izi veri tabanında aynı konum tahmin doğruluğu elde edildiği bulunmuştur.

Al-Ammar ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada konum belirlemede en son teknolojileri, teknikleri ve algoritmaları karşılaştırmalı olarak analiz ederek kapalı mekân konum belirleme alanında ilgili çalışmaları incelemişlerdir. Teknoloji ve teknik yanında algoritma seçiminin sistem performansını önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca hibrid konum belirleme yaklaşımlarının, diğer konum belirleme yaklaşımlarını birleştirerek performansı iyileştirebilecek bir potansiyele sahip olduğu vurgulanmıştır.

Subbu ve ark. (2014), son teknoloji akıllı telefon tabanlı kapalı mekân konum belirleme sistemlerini çeşitli sensör tasarımlarında sağladıkları doğruluklar, enerji tüketimi, hesaplama gücü ihtiyacı, kullanıcı memnuniyeti gibi kritik özelliklerine göre incelemişlerdir. Ayrıca Google'ın Google Maps Indoors (GMI) sistemine dayalı bir kullanıcı memnuniyeti çalışması gerçekleştirerek, sistemin başarısını ölçmüşler ve bu sistemin yeterli olmadığı noktaları tespit etmişlerdir. Yapılan bir anket ile insanların büyük bir kısmının kapalı mekânlarda bir akıllı telefon tabanlı IPS (Indoor Positioning System) 'ye ihtiyaç duydukları ortaya koyulmuştur.

Stella ve ark. (2014), RSS parmak izi test verisine en iyi uyan alanı araştırmaya dayalı bir konum belirleme yaklaşımı öne sürmektedir. Bu yaklaşımda konum doğruluğunda elde edilecek performansı daha da artırmak için önerilen model, diğer konumlandırma yöntemlerinden gelen tahminleri birleştirmek için de kullanılabilir.

Shchekotov (2014), bu çalışmada android tabanlı mobil cihaz kullanılarak kapalı mekân konum belirleme için bir Wi-Fi Trilaterasyon (Trilateration) yöntemi sunmaktadır. Burada sinyal yayılım modeli ve alınan sinyal gücü ölçüm koleksiyonu yaklaşımları göz önüne alınmıştır. Wi-Fi trilaterasyon yönteminin kapalı mekânlar için düşük doğrulukta konumlandırma elde ettiği ortaya koyulmuş, yöntemin iyileştirilmesi için daha doğru sinyal yayılım modelleri veya sinyal gücü ölçülerinin fazla sayıda referans nokta sayısından alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Kul ve ark. (2014), yaptıkları makalede 802.11 WLAN tabanlı gerçek zamanlı kapalı mekân konum belirleme tekniklerini araştırmışlar ve deneysel incelemelerde bulunmuşlardır. Farklı ortamların, ekipmanların, insanların ve iklimin her tekniği farklı şekilde etkilediğini vurgulamışlardır.

Tunca ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada android tabanlı mobil telefonların kapalı mekânlarda konumlarını belirlemek amacıyla yapay sinir ağlarının kullanıldığı bir algoritma geliştirmişlerdir.

Zhang ve ark. (2014), akıllı telefon tabanlı ve ölçeklenebilir bir konum belirleme sistemi olan MaWi'yi sunmuşlardır. MaWi iki farklı konum belirleme tekniği olan Wi-Fi ve ortam manyetik alanını birlikte kullanan yeni bir yöntemdir. Bu sistemde düşük kalitedeki parmak izi veri tabanı ile elde edilen performans, diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar ortaya koymuştur. Bu sayede parmak izi veri tabanlarının oluşturulmasında gerekli olan insan emeği de azaltılmıştır.

Wu ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada mobil aygıtların statik davranışlarından istifade eden, kapalı mekân konumlandırma için otomatik ve sürekli kendini güncelleyen bir sinyal haritası sistemi önermektedirler. Önerilen bu sistemde mobil aygıtlar sabit kaldıklarında, bir referans noktası olarak görev yaparak, gerçek zamanlı RSS değerleri toplamakta ve sistemi otomatik eğitmektedirler. AcMu isimli sistem, RSS varyasyonlarını zamanla etkili bir şekilde algılamakta ve ortalama hatası 5dB'den az olan yeni sinyal haritasını üretmektedir. Bu şekilde konum belirleme doğruluğunun 2 kat artırıldığı bildirilmiştir.

Zhou ve ark. (2015), yaptıkları bu çalışmada kapalı mekânlarda WLAN temelli parmak izi yönteminin hassasiyet analizini yapan yeni bir bilgi esaslı yöntem önermişlerdir. Fisher Bilgi Matrisi (FIM) kullanarak, hedef ortamdaki alınan sinyal kuvvetlerinin çeşitliliğini karakterize etmek için farklı sinyal dağılımlarını dikkate alarak WLAN parmak izi tabanlı konum belirlemenin hassasiyet sınırlarını üretmişlerdir. Bu şekilde, çok hassas konum belirleme sisteminin tasarımı için değerli bilgi sağlayabilecek

olan konumlama hassasiyeti ve erişim noktaları yerleşimi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir.

Li ve ark. (2015), konumlandırma için birkaç geliştirilmiş algoritma ile Wi-Fi alıcıları için pasif bir konum belirleme sistemi sunmuşlardır. Yazılım Tabanlı Radyo (SDR) teknikleriyle, fiziksel katmanda Kanal İmpuls Tepki (CIR) bilgilerini çıkartmışlardır. CIR ile multipath etkisi azaltılmıştır. Filtrelenmiş sinyal gücü bilgilerini yayılma mesafelerine ilişkilendirmek için Doğrusal Olmayan Regresyon (NLR) yöntemini kullanmışlar ve bu yayılma mesafelerinde, yaygın olarak kullanılan logaritmik yol kaybı (log-distance path loss modeli, bir binanın içinde ya da kalabalık alanlarda sinyalin karşılaştığı yol kaybını öngören bir radyo yayılım modelidir.) modeline kıyasla önemli derecede düzelme sağladığı görülmüştür.

Tang ve ark. (2015), yaptıkları bu çalışmada bir insansız kara aracı (UGV) ile parmak izi veri tabanını hızla güncellemek için bir çözüm önermektedirler. Bu yaklaşım ile gerçekçi bir kapalı mekân konumlandırma uygulaması için önemli olan veri tabanının yeniliğini sürdürmek amacıyla daha sık örnekleme noktaları ve daha geniş bir kapsama alanı ile WLAN parmak izi veri tabanını toplamak ve güncellemek için uygun bir platform oluşturulmuştur.

Du ve ark. (2015), erişim noktalarının aygıt yazılımlarını (firmware) değiştirdikleri ve bazı Wi-Fi sensörleri ile dayanak noktaları oluşturdukları yeni bir sistem tasarımı önermektedirler. Bu sistem tasarımında komşu erişim noktaları ve sensör bağlantıları ile ilgili periyodik tarama sonucu elde edilen raporlar, konumlandırma sunucusuna gönderilerek, kalibrasyon noktası olarak kullanılmaktadır. RSSI Coğrafi Ağırlıklı Regresyon (RGWR) adlı bu yeni yöntemi, konum parmak izi veri tabanı oluşturma probleminde bir çözüm önerisi olarak sunmuşlardır. Bu yaklaşım ile insan gücü ihtiyacı oldukça azaltılmıştır. Oluşturulan sistemin konumlandırma hatası statik ve yürüyüş senaryoları için sırasıyla 2-3m ve 4-5m olarak bulunmuştur ve bu sonuçların, insan müdahalesi az olan sistemler tarafından elde edilen en doğru sonuçlar arasında yer aldığı vurgulanmaktadır.

Fang ve ark. (2015), Wi-Fi kapalı mekân konumlandırma sistemlerinde parmak izi bilgilerini eşleştirmede kullanılan KNN (K-Nearest Neighbor) algoritmasını iyileştiren bir çalışma yapmışlardır. Burada eşleme yönteminden önce K komşu noktaya belirli kurallara göre farklı ağırlıklar verildiğinden eşleme doğruluğu iyileştirilmiştir. Örneklerin alındığı alanın gruplandırılmış ön işleme tabi tutulması nedeniyle, konum eşleme işleminin zamanı azaltılmış, dolayısıyla konumlandırma doğruluğu arttırılmıştır.

Hossain ve Soh (2015), parmak izi konum belirleme metodlarının en büyük dezavantajı olan kalibrasyon süreci yani sinyal haritasının oluşturulmasında ortaya çıkan yeni çözümleri incelemişlerdir. Ayrıca bu çözümlerin öz niteliklerine dayanan bazı yeni performans karşılaştırma kriterlerini tespit etmişler ve bunları önerilen birçok sistemi değerlendirmek için geleneksel olan kriterler ile karşılaştırmışlardır. Kalibrasyon sorunu ve enerji tüketimi gibi problemlerin üzerine araştırmaların artırılması gerektiği belirtilmiştir.

He ve ark. (2015), çalışmalarında gürültülü parmak izlerini belirsiz karşılıklı mesafelerle birleştiren hassas kapalı mekân konum belirleme sistemi olan Wi-Dist sistemini açıklamışlardır. Wi-Dist, geniş bir yelpazede sensörler ve kablosuz parmak izleri için geçerli olan genel bir sistemdir. Bir uluslararası hava alanı ve üniversite kampüsünde Wi-Dist uyarlanmış ve Wi-Fi temelli kapsamlı simülasyon ve deneysel çalışmalar yürütmüşlerdir. Deney bulgularına göre sistemin, diğer son teknoloji metotlardan daha iyi doğruluk sağladığını belirtmişlerdir.

Yang ve Shao (2015), ToA (Time of Arrival) ve AoA (Angle of Arrival) yöntemlerinde karşılaşılan problemleri çözecek Wi-Fi tabanlı konumlama tekniği geliştirmişlerdir. Simülasyon sonuçlarına göre, ticari Wi-Fi ürünlerinde herhangi bir donanım değişikliği olmaksızın Wi-Fi tabanlı konumlandırma ile ± 1 m'lik bir doğruluğun elde edildiğini vurgulamışlar ve hem akademik hem de endüstride maliyet ve sistem karmaşıklığının dengelenmesine ilişkin geleneksel çözümlerden daha iyi bir sonuç ortaya koymuşlardır.

Jun ve ark. (2015), yapmış oldukları çalışmada bağımsız erişim noktaları ile robust ve iş yükü az olan bir Wi-Fi parmak izi tabanlı konum belirleme sistemi geliştirmişlerdir. Çalışmada güvenilirliği düşük mutlak RSS değerleri yerine, her bir AP çifti arasındaki RSS farklılıklarını bir parmak izi metriği olarak kullanmışlardır. Ayrıca parmak izi haritası oluşturulurken, ilgili alanı dairesel sınırlar ile küçük alanlara bölerek kümeleme yöntemi uygulamışlardır.

Talvitie ve ark. (2015a), yaptıkları bu araştırmada, alınan sinyal gücü ölçümlerini kullanan ve parmak izi tabanlı, çok katlı kapalı mekân konumlama sistemini incelemişlerdir. İlk olarak 2.4 GHz ve 5 GHz'lik iki farklı frekans bandında RSS ölçüm istatistikleri karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda iki farklı ülkede 6 büyük ve çok katlı binada hem farklı katlar arasında hem de aynı kat içinde geniş çaplı bir ölçü kampanyası düzenlemişlerdir. 5 GHz bandının özellikle düşey yönde 2.4 GHz bandına göre önemli ölçüde yüksek sinyal kaybına uğradığı belirlenmiştir.

Talvitie ve ark. (2015b), bu çalışmada ise eksik bir parmak izi veri tabanı ve gerçekçi kapsama alanı boşluklarına sahip bir sistem için birkaç enterpolasyon ve ekstrapolasyon yönteminin performanslarını incelemişlerdir. Bu kapsamda, 2.4 GHz ve 5 GHz'lik frekans bantlarında dört katlı bir binada kapsamlı bir veri seti toplamışlardır. Elde edilen parmak izi veri tabanından, enterpolasyon ve ekstrapolasyon metotlarının doğruluğunu ölçmek için yapay olarak rastgele veriler silinmiş ve boşluklar oluşturulmuştur. Burada en iyi konumlandırma performansının en iyi ortalama enterpolasyon ve ekstrapolasyon doğruluğu ile elde edilebileceğinden ziyade, enterpolasyon ve ekstrapolasyonda bazı hata türlerinden kaçınmanın daha önemli olduğu vurgulanmıştır.

Park ve ark. (2015), yapmış oldukları makalede Wi-Fi tabanlı kapalı mekân konumlandırma sistemleri için uyarlanabilir bir hibrid filtre önermektedirler. Buradaki hibrid filtre, temel kalman filtresinin tahmin çerçevesinde parçacık filtreleri kavramını benimsemektedir. Önerilen uyarlanabilir hibrid filtrenin (AHF) konum doğruluğunda kayda değer bir iyileşme sağladığı belirtilmiştir.

Karabey (2015), yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında kapalı mekân konum belirleme yöntemlerinden konum parmak izi yöntemi için uyguladığı sınıflandırma yöntemlerinden KNN, Naive Bayes, Rastgele Orman, Geri Yayılım, Destek Vektör Makineleri, Redpin ve WASP metotlarını, iki farklı ortamdan elde ettiği veri seti aracılığı ile karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonucunda Rastgele Orman yönteminin iş yeri ve ev ortamlarında sırasıyla %87 ve %72 doğruluk oranları ile en iyi sonucu verdiğini tespit etmiştir.

Wen ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada RSS parmak izine dayalı kapalı mekân konumlama ne kadar başarılıdır? Sorusunun cevabını bulmak için bir olasılık modeli sunmaktadırlar. Sisteme gönderilen parmak izleri göz önüne alındığında, kullanıcının belirli bir boyuta sahip bir bölgede konum belirleyebilme ihtimalleri araştırılmıştır. Ayrıca konum belirleme doğruluğu, konum tahmin güvenilirliği ve RSS parmak izi tabanlı konum belirlemedeki ölçü sayısı arasındaki etkileşimi ortaya çıkarmışlardır. Verilen güvenilirlik ve ölçüm sayısı için en iyi doğruluğu sağlayabilecek en uygun parmak izi raporlama stratejisinin belirlenmesi de çalışmanın bulgularından birisidir.

Torres-Sospedra ve ark. (2015), kapalı mekân konum belirleme çalışmalarında genelde kullanılan ham veri ve öklid mesafesi ölçütlerinin, konum doğruluğu için en iyisi olup olmayacağını incelemişlerdir. Bunun için öklid ile 51 mesafe ölçütü ve 4 alternatif ham veri gösterim şekli öne sürmüşlerdir. Sørensen mesafesi ve “Powd” veri gösterimi

ile konum belirlemenin hatasının %50 oranında düştüğünü ve konumlandırma doğruluğunun NN algoritmasına göre 1,7 m iyileştiği gösterilmiştir.

Moghtadaiee ve Dempster (2015), yaptıkları çalışmada Manhattan, Öklid ve Chebyshev mesafesini kullanarak hata olasılığı (POE) açısından konumlandırma performansını analitik olarak karşılaştırarak simülasyon ve gerçek deneyler ile sonuçları teyit etmişlerdir. Bu sonuçlara göre en yakın komşu yöntemi ve RSS Gauss dağılımı varsayımı altında öklid mesafesinin optimum olduğu ve en düşük hata olasılığı ve ortalama hataya sahip olduğu gösterilmiştir.

Svečko ve ark. (2015), alıcı tarafında çoklu antenleri kullanarak mesafe tahmini için bir parçacık filtresi algoritması ve radyo frekansının alınan sinyal gücü göstergesi (RSSI) kullanılan yalnızca bir verici cihaz olduğu durumunu incelemişlerdir. Deneysel sonuçlara göre önerilen filtreleme algoritması kullanıldığında, yalnızca yayılım modellerinin kullanılmasıyla elde edilen mesafe tahmin doğruluğundan daha iyi bir sonuç elde edildiği bulunmuştur.

Zhao ve ark. (2016), yaptıkları çalışmada, parmak izi tabanlı kablosuz yerel ağ konum belirleme sistemi için geliştirdikleri bir performans değerlendirme sınama ortamını sunmaktadırlar. Bu sistem içerisinde konumlandırma sunucusu, konum belirleme terminali, erişim noktaları, konumlandırma doğruluğu analiz sistemi ve test senaryolarını barındırmaktadır. Diğer çalışmalardan farklı olarak hem kapalı mekân hem de dış ortamı kapsayan bir test sistemi oluşturulmuştur. Bu sınama ortamında ayrıca statik model, düşük hızlı model ve yüksek hızlı model gibi çeşitli hareket modelleri ve farklı konumlandırma algoritmaları da dikkate alınmıştır.

Luo ve ark. (2016), yapmış oldukları çalışmada sinyal haritasını ve konumlandırma algoritmasını girdi olarak alan ve konumlandırma sisteminin beklenen doğruluğunu veren bir Gauss tabanlı yaklaşım öne sürmektedirler. Bu yaklaşımın konum belirleme sistemlerinin hata davranışlarını yakından tahmin etmesini sağladığı ve konum belirleme algoritması seçimi, alt küme seçimi gibi faydalı uygulamalara fırsat verdiği belirtilmiştir.

He ve ark. (2016), Wi-Fi parmak izi konum belirlemenin iki önemli özelliğini ele almışlardır. Bunlar gelişmiş konum belirleme teknikleri ve optimum sistem kurulumu. Ayrıca Wi-Fi parmak izi tabanlı konum belirleme tekniklerinin gelecekteki birkaç eğilimi hakkında bilgi vermişlerdir. Bu alanlar;

-Kanal durumu bilgisinin (Channel State Information), RSSI bilgisinin yerini alacağı teknikler,

-Anlık, sürekli konum belirleme deneyiminin KTH'deki önemli rolü,
 -Görüntü temelli sistemler ile Wi-Fi Parmak izi konumlandırma sistemlerinin birlikte kullanılması şeklindedir.

Melamed (2016), yaptığı derlemede, kapalı mekân konum belirlemenin 2020 yılına kadar elde edeceği Pazar payı ve ortaya çıkacak iş fırsatlarının yaklaşık 10 milyar dolar olacağını vurgulamıştır. Çalışmada, Wi-Fi tabanlı konum belirleme sistemlerinden, bu sistemlerin kullandığı RSSI (Received Signal Strength Indication), Trilaterasyon (Trilateration), Parmak izi temelli yöntemler, Varış Açısı Temelli Yöntemler (Angle of Arrival, AoA), Uçuş Süresi (Time of Flight, ToA) Temelli Yöntemlerden kısaca bahsedilmiş ve bu yaklaşımlardan RSSI temelli olanların ticari olarak kullanımlarının daha pratik ve algoritmaların “İyi” doğruluğa sahip olduğu belirtilmiştir.

He ve ark. (2016), bu çalışmada parmak izi verilerini içeren bütün bir sinyal haritasını oluşturmak için radyo yayılım modeline dayalı yeni bir yöntem sunulmaktadır. Bu yeni yöntemde kalibrasyon noktaları iki kategoriye ayrılmıştır. Birincisi alınan sinyal gücü bilgisini yapay olarak toplayan kalibrasyon noktaları (CP), ikincisi ise bazı hesaplamalar yolu ile elde edilen kalibrasyon noktalarıdır. Oluşturulan sinyal haritasına göre ölçü yapılacak bölgeyi birkaç Voronoi bölgesine bölmüşlerdir ve yapılan deney sonuçlarına göre konum hatasının ± 0.6 m'den az olduğu bulunmuştur.

Chowdhury ve ark. (2016), bu çalışmalarında kablosuz sensör ağlarında (WSN) konumlandırma için önerilen en son araştırma sonuçlarını ve yaklaşımlarını sunmaktadırlar. Burada çok çeşitli faktörleri göz önüne alarak ve veri işleme (Merkezî ya da dağınık), iletim mesafesi (mesafeden bağımsız ya da mesafe temelli), mobilite (statik veya mobil), operasyon ortamı (kapalı mekân ya da açık alan), nokta yoğunluğu (seyrek ya da sık), yönlendirme, algoritmalar vb. açısından kategorize ederek WSN'lerde konumlandırma tekniklerindeki son gelişmeleri sunmaktadırlar.

Wu ve ark. (2016), kapalı mekân konum belirleme doğruluğunu iyileştirmek için, donanımdan bağımsız yeni bir parçacık filtresi sunmaktadırlar. Deneyisel sonuçlarda ± 1.1 m ortalama hata mesafesine ulaşıldığı belirtilmiştir.

Turgut ve ark. (2016), nesnelerin interneti (IoT) konumlama algoritması tasarlamak için Wi-Fi konum belirleme algoritmalarını araştırmışlardır. Bir Wi-Fi ağı altında çalışan IoT yapısının konumlandırma algoritması için, trilaterasyon, triangulasyon, mekân analizi, dead reckoning, yakınlık gibi deterministik yöntemler kullanmak ya da parmak izi gibi olasılıksal algoritmaların kullanılmasının tek başlarına yeterli olmayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Choi ve ark. (2016), Wi-Fi tabanlı kapalı mekân konumlamada alınan sinyal gücü gecikme problemini çözmek için bir çift bantlı kanaldaki Wi-Fi sinyallerinin kendi kendine kalibrasyonunu sağlayan yeni bir yöntem öne sürmüşlerdir. Bu model ile hatalı mesafenin kalibrasyon yapılmamış verilere göre sonuçların %95’inde 7,3 m kadar azaltıldığı gösterilmiştir.

Li ve ark. (2016), yapmış oldukları çalışmada, kapalı mekân konumlandırmayı kontrolsüz öğrenme algoritması ile ele almaktadırlar. Alınan sinyal gücüne dayanan bu algoritma, en iyi optimizasyon yöntemleri ile menzil tabanlı ve menzilden bağımsız konumlandırmayı birleştirmektedir. Teorik ve deneysel analizlere göre, önerilen algoritmanın, sisteme ekstra bir hesaplama maliyeti eklemekten klasik menzil tabanlı algoritmalarla göre daha iyi bir konumlandırma doğruluğu sağladığı belirtilmektedir.

Davidson ve Piché (2016), bu çalışmalarında akıllı telefon tabanlı konum belirleme için mevcut en önemli yöntemlerin bir özetini sunmaktadırlar. Burada araştırılan yöntemler, Wi-Fi ve Bluetooth tabanlı konumlandırma, manyetik alan parmak izi oluşturma, bina kat planlarını kullanarak harita yardımcı navigasyon ve sensörler yardımıyla navigasyon metotlarıdır. WLAN tabanlı konumlandırmanın iyileştirilmesinin, iç mekân harita bilgilerinin kullanılarak başarılabileceği vurgulanmaktadır. Ayrıca sensörlerin kullanımının WLAN / BLE (Bluetooth low energy) tabanlı çözümlerde konumlandırma doğruluğunu önemli ölçüde arttırabileceği belirtilmektedir.

Dong ve ark. (2017b), bu çalışmada alışveriş merkezi senaryosunu göz önünde bulunduran kapalı bir navigasyon sistemi olan “Canoe”yi oluşturmuşlardır. Bu sistemde kat planı veya mağaza konumları, erişim noktası yerleşimi veya güç ayarları, geçmiş RSS ölçümleri veya parmak izleri gibi herhangi bir ön bilgi kullanılmamaktadır. Uygulama yalnızca mağaza sahiplerinin mağaza girişlerinde RSS değerlerini toplama ve yayınlamasını ve gözlemlenen RSS değerlerinin karşılaştırılması ile mobil cihazın yönlendirilmesi temeline dayanmaktadır. Konum tahmin algoritması olarak en büyük benzerlik metodu kullanılmıştır.

Retscher ve Hofer (2017), yaptıkları çalışmada ilgili alan boyunca düzenli bir grid üzerine yerleştirilen referans noktaları yerine akıllı kontrol noktaları (iCP)’nin mantıksal bir dizisini kullanan yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bir başlangıç noktası A’dan hedef B’ye doğru bir kullanıcının navigasyonu için belirli iCP’lerin geçilmesi gerekmektedir. Bu sebeple RSS taramaları için nokta seçimine ve yol boyunca doğru dizilişteki mantıksal sıralamaya bağlı olduklarından iki kat zeki oldukları belirtilmiştir. Alanda yapılan testlerden, iCP yaklaşımının, geleneksel RSS parmak izi yaklaşımlarına göre, doğru

şekilde parmak izi eşleştirmede daha yüksek bir başarı oranına ulaştığı sonucuna varılmıştır.

Dong ve ark. (2017a), yaptıkları çalışmada alınan sinyal gücü bilgilerinde toplanan ölçümlerin yetersiz kaldığı ve mevcut parmak izi konum belirleme yöntemlerinin yetersiz konum parmak izi ölçülerinden konum bilgisi elde ederken karşılaştıkları kısıtlamaları ele almışlardır. Ayrıca maksimum olasılık tahminine dayanan, alınan sinyal gücü ölçmelerinde, gürültüyü azaltmak ve “Stochastic Gradient Descent” algoritması kullanılarak yetersiz konum parmak izlerinden konum hesaplamak için yeni bir yöntem sunmuşlardır. Sonuç olarak sunulan yöntemin, KNN (K Nearest Neighbor), WKNN (Weighed K Nearest Neighbor) ve histogram yöntemleri gibi yaygın olarak kullanılan konum parmak izi yöntemlerinden daha iyi konum doğruluğu sağlayabileceğini göstermişlerdir.

Gettapola ve ark. (2017), direkt görüş sağlanamayan ve multipath dalga yayılma koşullarına sahip ortamlarda, düşük maliyetli ve uygulanabilir basit bir çözüm ile konuma dayalı parmak izi için duyulabilir ses temelli bir sistemin uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Çalışmada üç farklı yöntem olan Harmonik Temelli Metot (Harmonic Based Method), Korelasyon Temelli Metot (Correlation Based Method) ve Otoregresif (Autorregressive, AR) Modelleme ele alınmış ve en doğru parametre kombinasyonu seti, AR Modeli temelli yöntem ile elde edilmiştir.

Della Rosa ve ark. (2017), Bu çalışmada WLAN ile kapalı mekân konum belirlemeyi genel hatları ile açıklamışlardır. RSS ölçülerini etkileyen, kullanıcının vücudunun ve vücut bölümleri ile çevreleyen ortamın neden olduğu problemlere çözüm olabilecek deneysel yaklaşımlara odaklanmışlardır.

Pirzada ve ark. (2017), cihaz olmaksızın WLAN konum parmak izi yöntemi temelli bir kapalı mekân konum belirleme sistemi önermişlerdir (DFIL). Kapalı mekân içerisinde bulunan bir insanın konumunun, kablolu yerel ağda, alınan sinyal gücündeki değişimlerin gözlemlenmesi ile belirlenebileceği gösterilmiştir. Wi-Fi ağı için parmak izi tabanlı algoritmaları tasarlayanın ilk adımı olarak, çeşitli iç mekân ortamlarında RSSI ölçümü için Wi-Fi ağı test ortamı geliştirilmiştir. Yapılan test sonuçlarına göre DFL (Device Free Localization) sisteminin doğruluğunun, kapalı mekândaki engeller ile azaldığı tespit edilmiştir.

Gao ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada multipath yayılımında konum bilgisi özelliklerini ve buna karşılık gelen bir model kullanarak yeni bir parmak izi konum belirleme yöntemi önermişlerdir. Ayrıca önerilen konum parmak izinin Cramer-Rao

sınırını ve algoritmanın doğru tahmin olasılığını analiz etmişlerdir. Yüksek doğrulukla tahmin olasılığının, yani doğru konumlandırmanın elde edilmesi için, her yolun (Path) varış süresinin ölçüm hatasının azaltılması ve yüksek boyutlu bir TDOPA (Time Difference of Path Arrival) oluşturmak için yeterli sayıda yol kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Khan ve ark. (2017), Wi-Fi tabanlı konum belirleme sistemlerinin düşük maliyet ve yüksek doğruluk sunduklarını, kapalı mekânlarda Wi-Fi tabanlı en çok kullanılan iki yöntemin Trilaterasyon ve Konum Parmak İzi (LF, Location Fingerprinting) teknikleri olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada her iki tekniğin kombinasyonu olan ve algoritmanın belirli bir doğruluk ve robustluk düzeyi elde ettiğini gösteren karma bir yapı öne sürmüşlerdir. Algoritmanın performansını, Dead Reckoning (DR) kullanarak insan hareketinin yoluna bağlı olarak farklı senaryolarda test etmişler ve önerilen algoritmanın daha iyi performans gösterdiğini ve makul bir doğruluk düzeyine ulaştığını doğrulamışlardır. Çalışmada kokusuz kalman filtresi (Unscented Kalman Filter, UKF) ve Parmak izi lokasyonu kombine edilmiş, diğer iyi bilinen genişletilmiş kalman filtresi (Extended Kalman Filter, EKF) ile karşılaştırma yapılmış, UKF'nin EKF üstündeki avantajlarına değinilmiştir.

Zhang ve ark. (2017), bu çalışmada günümüz kablosuz ortamının kaynak sınırlamalarını ele alarak, parmak izi oluşturma ve konum belirleme için bir yol kaybı (path-loss) modeli uyarlayan gelişmiş bir parmak izine dayalı konum belirleme yaklaşımı önermektedirler. Bu yaklaşım iki metot ile oluşturulmuştur. Bunlar, yol kaybına dayalı parmak izi lokalizasyonu (Path-Loss-Based Fingerprint Localization, PFL) ve çift taranmış parmak izi lokalizasyonu (Dual-Scanned Fingerprint Localization)'dur. PFL ile konumlandırma doğruluğu artırılırken, DFL ile konumlandırmanın güvenilirliği garanti edilmiş olur. PFL, RSS yerine çevresel yol kaybı faktörlerini analiz ederek konum belirleme doğruluğu artırır. DFL ise iki adım olarak çalışmakta ve ilk olarak benzer potansiyel konumlar arasında kümeleme yaparak, güvenilirliği düşük olanları eler. İkinci adımda ise aday noktalardan (Candidate Points, CP), hedefin konumunun belirlenmesidir. Endüstriyel ortamlar için cihaz izleme sistemleri daha yüksek konumlandırma doğruluğuna ulaşmak için PFL'yi seçebileceği, ofis binaları için çalışanların takip uygulamalarında daha az hassas ancak daha güvenilir doğruluklar düzeyinde konumlandırma garantisi için DFL'yi seçebileceği ifade edilmiştir.

Zeng ve Lin (2017), bu araştırmada mobil konumlandırma aygıtının kapalı mekân konumlama doğruluğunu arttırmak için kullanılabilecek yeni bir yöntem sunmuşlardır.

Bu yöntemde, mobil cihazın yön bilgisi, açı ve erişim noktası sayısı, parmak izi veri tabanına katılan iki özellik olmaktadır. Bu şekilde bu iki parametre parmak izi veri tabanını daha verimli hale getirmiştir. Test sonuçlarında ölçülerin %76,7'sinde konum doğruluğu 5m'den az bulunurken geleneksel parmak izi ile bu değer sadece %48,3 olarak bulunmuştur.

Luo ve Fu (2017), özellik çıkarma ve kümeleme ile WLAN konum parmak izine dayalı bir akıllı telefon kapalı mekân konumlama algoritması geliştirmişlerdir. Bu algoritma erişim noktalarından toplanan, alınan sinyal gücüne dayanmaktadır. Burada öncelikle gelişmiş bir AP seçim algoritması, parmak izi verileri olarak AP'lerin en uygun alt kümesini seçmek için sinyallerin kararlılığına dayandırılmıştır. Bu sayede testler sonucunda, değersiz erişim noktaları sistemden dışarı atıldığından kapalı mekân konumlananın doğruluğunun geliştirildiği doğrulanmıştır. İkinci olarak da Kernel Principal Component Analysis (KPCA), doğrusal olmayan öznelik çıkarımı için kullanılmış, fazla verilerin ve gürültünün ortadan kaldırılması, hesaplama karmaşıklığının azaltılması ve konumlandırma doğruluğunun artırılması sağlanmıştır.

De Poorter ve ark. (2017), bu çalışmalarında, kapalı mekân konum belirleme konusunda yapılan çalışmalarda sunulan konum doğruluğu bilgilerinin güvenilir olmadığını ve bu nokta konum doğrulukları için deney noktaları seçiminin önemi üzerine durmuşlardır. Elde edilen sonuçların sadece bir kısmı ele alındığında bazı algoritmalar için konum hatasının 5 m ile 15 m arasında değiştiği vurgulanmıştır.

Li ve ark. (2017b), yapmış oldukları çalışmada Dead-Reckoning (DR), Wi-Fi parmak izi ve Manyetik Eşleme (MM) entegrasyonuna dayanan bir kapalı mekân konum belirleme sistemi sunmaktadırlar. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak üç aşamalı bir kontrol mekanizması kurulmuştur. Sunulan bu sistemde konum karesel ortalama hatasının ve yanlış eşleştirmelerin azaldığı belirtilmektedir.

İlçi ve ark. (2018), kapalı mekân konumlama sistemlerinde farklı frekanstaki sinyallerin davranışını incelemişlerdir. 2.4 GHz ve 5 GHz Wi-Fi sinyallerinin davranışlarını, erişim noktalarından alınan sinyal gücü değerlerini toplayarak araştırmışlar ve bir eğri uydurma tekniği kullanarak her sinyal frekansı için RSS ve mesafe arasındaki ilişkiyi belirlemişlerdir. Ayrıca, sinyal dalgalanmalarını ve konumlandırma doğruluğu üzerindeki etkilerini de karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Deneysel sonuçlara göre 5 GHz sinyallerinin daha kararlı olduğunu ve 2.4 GHz sinyallerine kıyasla daha iyi konumlandırma doğruluğuna sahip olduğunu ortaya

koymuşlardır. Konumlandırma algoritmaları ile ilgili her iki frekansta da bilaterasyonun (Bilateration) en iyi konumlandırma doğruluğuna sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Fang ve ark. (2018), sinyal gürültüsü fazla olan bir ortam için WKNN'nin bir uygulamasını gerçekleştirmişlerdir.

Bi ve ark. (2018), tarafından yapılan çalışmada Adaptif-WKNN temelli bir metot öne sürülmüş, ortalama 2.2m konum hatası (RMS: 1.5m) elde edilerek geleneksel parmak izi yöntemlerinden daha iyi sonuç elde edildiği vurgulanmıştır.

Wang ve ark. (2020), aday nokta-referans noktası arasındaki mesafe ilişkisi üzerine bir WKNN algoritması öne sürmüşler ve üç veri tabanından ilkinde 2.32m ortalama hata (RMS:2.78m) elde etmişlerdir.



2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırmanın temel materyali gerçek koşullar altında bir kapalı mekânda elde edilen sinyal gücü ölçümleri ve koordinat bilgileridir. Bu ölçülerin yapıldığı cihazlar, araştırma süresince uygulama yapılan alanlar ve kullanılan programlar ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

2.1. Uygulama Bölgesi ve Deney Alanı

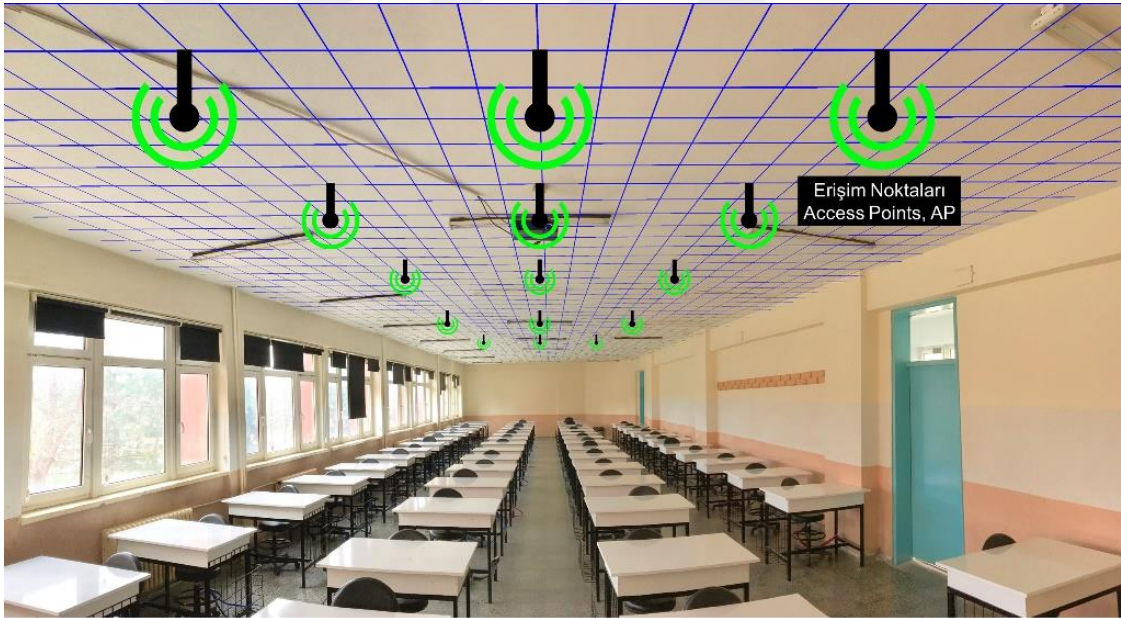
Araştırma ve deney çalışmaları Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakülte binasında yapılmıştır (Şekil 2.1). Yapı, zemin kat üzerinde 3 kat ve toplam 6 bloktan oluşmaktadır. Fakülte içerisinde tüm bloklarda aynı donanımına sahip WLAN ağı mevcut olup, 2.4GHz ve 5GHz frekanslarında Eduroam ve KtunKablosuz kablosuz yayınları mevcuttur. Kablosuz lokal ağ, Aruba 2xx serisi kablosuz erişim noktaları (WAP) ile sağlanmaktadır ve bu erişim noktaları tüm koridorlarda mevcuttur. Yapılan çalışmalarda elde edilebilecek gerçek konum doğruluğunu görmek için altyapıda değişiklik yapılmadan uygulamalar gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.1 Çalışma bölgesi Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binası

Uygulama yapılan binanın CAD planı Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Dekanlığından temin edilmiştir. Yapı planının ölçek, dönüklük ve koordinat düzeltmeleri için Topcon OS103 TotalStation ile yersel ölçüler yapılmıştır. Plan üzerinde yapılan bu koordinatlandırma ve diğer kalibrasyon nokta tesisi işlemlerinde Netcad 8.0 (Lisans Bilgileri: S/N: 2849A491-4/2020) programı ve Autodesk AutoCad 2015-2017 (Lisans: Eğitim Lis. S/N: 900-55149523) programı kullanılmıştır.

Kontrollü deneysel ölçülerin yapılabilmesi için ayrıca bir test bölgesi oluşturulmuştur. Bu test bölgesi 132m²'lik bir alan olup içerisinde 15 adet çift antenli dual-band kablosuz erişim noktaları yerleştirilmiştir (Şekil 2.2). Bu sayede 2.4GHz ve 5GHz frekansları için sinyal gücü seviyesi, anten açılarının etkileri gibi çeşitli faktörler incelenerek deneysel ölçüler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.2 Deneysel ölçüler için hazırlanan test bölgesi

2.2. Parmak İzi Yöntemi

Parmak İzi teriminin çıkış noktası kapalı mekânda yayılan kablosuz sinyallerin oluşturduğu eşsiz sinyal vektörleridir. Bu sinyal vektörlerinin kapalı mekânın her bir farklı konumunda değişkenlik göstermesinden, diğer bir ifade ile hiçbir konumda birebir aynı sinyal vektörünün oluşmamasından faydalanılır. Dolayısıyla insanların parmak

izlerinin benzersizliğinden esinlenilerek yöntem Parmak İzi Konum Belirleme ismini almıştır. Sinyal vektörleri kapalı mekânın herhangi bir K noktasında, çevrede bulunan kablosuz erişim noktalarından (WAP) alıcı cihaza ulaşan Alınan Sinyal Gücü (RSS) bilgilerinin tümünü içerir. Bu durumda bir sinyal vektörünün eşsiz olmasını sağlayan sebebin açıklanması yerinde olacaktır.

Bir kablosuz erişim noktasından yayılan WiFi sinyali cihazın anten türüne bağlı olarak bir yayılım sergiler. Örneğin çok yönlü (Omni-directional) antenler eksene dik bir şekilde her yöne eşit sinyal gücü yayarlar. Ayrıca tüm kablosuz sinyallerde kaynaktan uzaklaştıkça sinyal gücü düşer dolayısıyla sabit uzaklıkta birçok konumda yaklaşık aynı sinyal gücü elde edilebilir. Kapalı mekânların karakteristik yapıları açık alanlardan oldukça farklı olduğundan yayılan sinyaller aşırı derecede yansıma, sönümlenme gibi etkilere maruz kalırlar. İşte bu nedenle tam olarak belirli bir uzaklıktaki noktalarda elde edilebilecek sinyal gücü tahmini zorlaşır. Diğer bir ifade ile iki farklı konumda aynı sinyal gücü elde edilebilir. Bu durumda sinyal gücü bilgisinden konumu ayırt etmek olanaksızdır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 İki farklı konumda (A, B) aynı erişim noktasından elde edilen eşit sinyal gücü

Konum \ WAP No	WAP-01
A (Y_a, X_a)	-63dBm
B (Y_b, X_b)	-63dBm

WAP sayısı artırıldığında ise konuma ait sinyal sayısı da artar. Bu artış ile birlikte ortaya çıkan sinyal vektörü farklılaşmaya başlar ve artık konumu ayırt edici bir özellik kazanır, yani konuma ait “eşsiz” sinyal parmak izi olur (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2 Birden çok erişim noktasından elde edilen sinyal gücü bilgileri

Konum \ WAP No	WAP-01	WAP-02	WAP-03	WAP-04
A(Y_a, X_a)	-63dBm	-55dBm	-80dBm	-70dBm
B(Y_b, X_b)	-63dBm	-52dBm	-72dBm	-78dBm

Günümüzde kablosuz iletişimin yaygınlığı düşünüldüğünde, neredeyse her bina içerisinde birçok WAP bulunduğundan, parmak izi yöntemi kolaylıkla uygulanabilir bir yöntem olarak görülür. Yöntemin uygulanması iki aşamada gerçekleştirilir. İlk olarak

Kalibrasyon aşaması ve ikincisi Konum Belirleme olarak tanımlanan bu süreçler aşağıda detayları ile açıklanmıştır.

2.2.1. Kalibrasyon aşaması

Literatürde eğitim ya da çevrimdışı (Training Phase/Off-Line Phase) olarak da geçen kalibrasyon aşaması bir ön çalışma niteliğinde olup sistemden elde edilebilecek konum doğruluğu ile doğrudan ilişkilidir. Temel olarak kapalı mekânda belirli sıklıkta oluşturulan Referans/Kalibrasyon noktalarında, çevrede bulunan kablosuz erişim noktalarından elde edilen sinyal gücü ölçümlerine dayanır. Sinyal dalgalanmalarından dolayı genellikle her noktada birden çok ölçü yapılması ve ortalama ölçülerin kaydedilmesi tercih edilir. Kalibrasyon nokta koordinatları ile ortalama sinyal gücü verilerinin oluşturduğu veri seti ise parmak izi veri tabanını diğer bir adıyla radyo haritasını oluşturur. Jung ve ark. (2016), yaptığı çalışmada radyo haritası oluşturma yöntemlerinden bahsetmiş ve dört ana başlıkta bu metotlar toplanmıştır.

- Noktadan noktaya manuel kalibrasyon
- Yürürken ölçme
- Yarı-Denetimli öğrenme
- Sensör tabanlı yöntem

Noktadan noktaya manuel kalibrasyonda temel hedef en yüksek doğruluğu elde etmektir. Bu sebeple belirli küçük bölgelere bölünen kapalı mekânda her bir kalibrasyon noktasında onlarca ölçü alınır dolayısıyla bu yöntemde kalibrasyonun zaman ve emek maliyetleri düşünülmez. Bu sebeple bu yöntemin bir ileri aşaması olan Yürürken Ölçme yöntemi öne sürülmüştür. Burada kalibrasyon noktaları spesifik olarak belirlenmemekte bunun yerine ön çalışma olarak yürüyüş rotaları tasarlanmaktadır. Yalnızca ölçü toplayan operatörler için bu rotaların başlangıç, bitiş ve köşe noktası gibi nitelikli noktaları belirlenmektedir. Operatörler bu belirli noktalardan faydalanarak rota boyunca yürürlerken parmak izi ölçüleri otomatik olarak kaydedilir.

Yarı-Denetimli öğrenme tabanlı kalibrasyonda ise kitle kaynaklı veriler kullanılır. Yani kapalı mekânda işaretlenmemiş şekilde yapılan sinyal gücü ölçüleri, ortamdaki birçok mobil cihaz tarafından kaydedilir. Bunun sonrasında ise yapılacak tek işlem, bu verilerin işaretlenmesi yani konumları bilinmeyen bu ölçülerin gerçek konumlarının tespit edilmesidir. Yukarıda bir parmak izi veri setinin kalibrasyon nokta koordinatları ile o noktaya ait ortalama sinyal gücü bilgilerinden oluştuğu söylenmiştir. Fakat mobil

cihazlarda konumu ayırt edici ve konum değişikliğini diğer bir ifade ile yer değiştirmeyi algılayabilen diğer kaynaklar da mevcuttur. Günümüzde neredeyse her mobil cihaz içerisinde bu kaynaklardan bir ya da birden çoğu bulunur. Bunlar ivme ölçer, jiroskop, dijital pusula gibi mobil cihaza entegre edilmiş sensörlerdir. İşte yukarıdaki maddelerden dördüncüsü olan sensör tabanlı yöntemde bu sensör verilerinden de faydalanarak kapalı mekânın radyo haritası oluşturulabilir.

Kapalı mekânlar konum belirleme perspektifinden bakıldığında yapıları itibarıyla açık alanlardan farklıdır. Özellikle görüş hattı olmayan (NLOS) sinyallerin aşırı yoğun olduğu bu ortamlar, insanlar ve eşyalar gibi yer değiştirebilen nesneler sebebiyle de oldukça değişken ve dinamikler. İşte tam da bu sebeple bir kapalı mekân konum belirleme sistemi tasarlanırken yalnızca en yüksek konum doğruluğu değil, yenilenebilir, uyum sağlayabilen, mümkün olan en yüksek doğrulukta ve anlık konum belirlemek genellikle daha ön planda olan ihtiyaçlardır. Bu mantıktan yola çıkarak, kalibrasyon aşaması düşünüldüğünde, kapalı mekânda gerek yapısal değişiklikler veya kablosuz ağ altyapısındaki değişiklikler, gerekse taşınabilir eşyaların yer değiştirmesi sebebiyle ortaya çıkabilecek kalibrasyon yenileme ihtiyacına hızlı cevap verilebilmesi çok önemlidir.

Bu tez çalışmasında, kalibrasyon noktalarını yüksek doğrulukta belirlerken hızlı bir şekilde ölçülerin yapılması amacı ile bir ölçüm tekerleği kullanılmıştır (Şekil 2.3). Bu ölçü tekerleği hassasiyeti $\pm 1\text{cm}$ olan, yol ve ray uzunluğu gibi ölçümlerde kullanılan bir mesafe ölçüm cihazıdır.



Şekil 2.3 Ölçü düzeneği (a), ölçü sayacı (b), veri toplayıcı ve kroki cihazları (c)

Yersel ölçüler ile elde edilen bina köşe noktaları koordinatlarından faydalanarak koordinat dönüşümü sağlanan CAD planı üzerinde ölçü güzergahları oluşturulmuştur (Şekil 2.4). Bu güzergahlarda birer metre aralıklarla noktalar yerleştirilmiş ve bu nokta dosyası dışa aktararak sinyal toplama yazılımına yüklenmiştir. Ölçümlerde bina planı veri toplayan kişinin yanında bulunmaktadır. Koridorların başlangıç noktasından ölçüm tekerleği sayacı sıfırlanarak birinci metreye gelindiğinde mobil yazılımdan o noktanın ismi listeden seçilerek ölçüm gerçekleştirilmiş ve ikinci metredeki kalibrasyon noktasına geçilmiştir. Bu şekilde güzergahın son noktasına kadar ölçümler gerçekleştirilmiş ve sonraki güzergâh yani koridora geçilmiştir.



Şekil 2.4 1186 numaralı kalibrasyon noktası için mobil yazılım ekran görüntüsü (a), koridorlarda oluşturulan güzergâh ve nokta örneği (b)

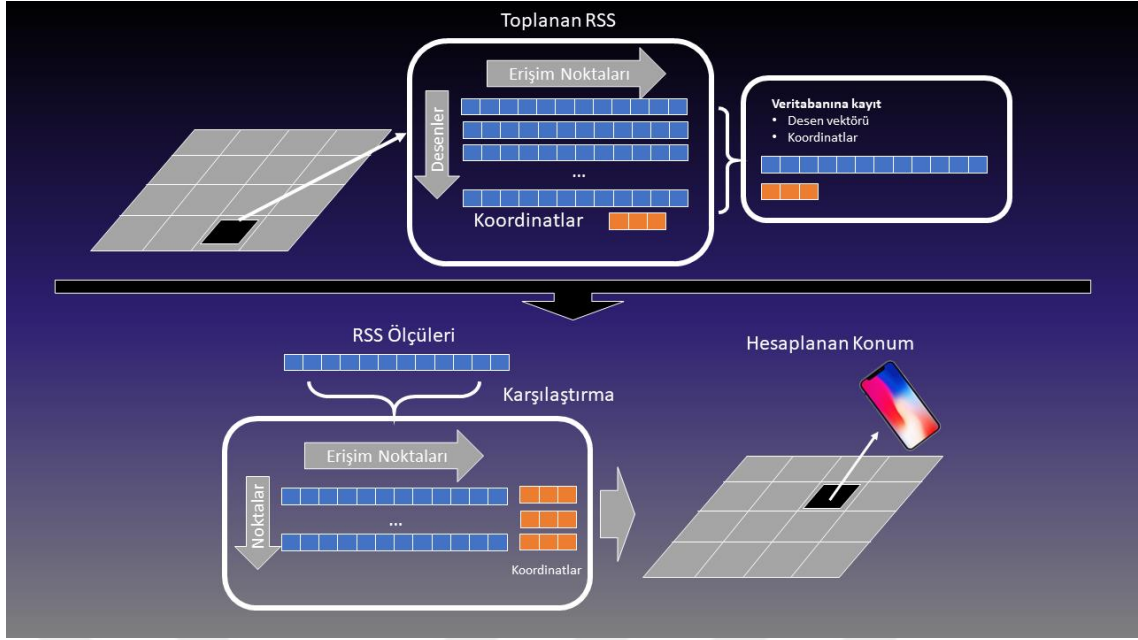
Çalışma kapsamında çok kez ölçü toplanmış gerek deneysel gerek gerçek şartlarda uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Tipik bir ölçü kampanyası Çizelge 2.3'te görülmekte olup bu ölçülere ait bilgiler, uygulama binası için yaklaşık olarak 1772 kalibrasyon noktası, 2.4GHz ve 5GHz sinyallerinde her bir noktada 3 ölçü olmak üzere toplam 10632 sinyal vektörü şeklindedir. Ölçü düzeneği ile bir ölçüm süresi 8-9 saniye olurken, bir kalibrasyon noktasından diğerine geçmek için geçen süre 25-27sn olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2.3 Tipik bir kalibrasyon çalışmasına ait ölçü kampanyaları

Ölçü Kamp. No.	Tarih	Başlangıç	Bitiş	Süre(h)	Nokta sayısı
1	4.09.2019	16:28	17:18	00:50	69
2	9.09.2019	17:52	20:22	02:30	322
3(1)	10.09.2019	14:22	14:56	00:34	70
3(2)	10.09.2019	16:38	19:22	02:44	314
4	11.09.2019	18:06	20:56	02:50	427
5(1)	12.09.2019	17:25	19:05	01:40	255
5(2)	12.09.2019	19:30	20:01	00:31	84
6	13.09.2019	14:24	15:48	01:24	231

2.2.2. Konum belirleme aşaması

Radyo haritası oluşturulmuş bir kapalı mekânda konum belirleme işlemi birtakım algoritmalar yardımıyla aday noktadan elde edilen parmak izi verisinin, veri tabanındaki verilerle karşılaştırılarak en olası, en yüksek benzerlik gösteren kalibrasyon nokta ya da noktalarından konumunun hesaplanması işlemidir. Burada parmak izi verisi, kalibrasyon aşamasında anlatıldığı gibi salt ortalama sinyal gücü verilerinden oluşabileceği gibi, jeomanyetik alan sensörü, oryantasyon bilgisi gibi birçok veriyi de içinde barındırabilir. Bu faktörler konum belirleme yaklaşımlarının uygulama şeklini değiştirir. Temel olarak parmak izi yönteminde konum belirlemenin iş akışı Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Üstte kalibrasyon aşamasında ortalama sinyal gücü bilgilerinin kaydedilmesi ve altta ise oluşturulan radyo haritası içerisinde alınan sinyal gücü eşleştirmelerinin yapılarak konumun hesaplanması görülmektedir.



Şekil 2.5 Parmak izi konum belirleme iş akışı

Burada veri tabanındaki sinyal vektörleri ile aday noktaya ait sinyal vektörünün karşılaştırılması ve aday noktanın konumunun hesaplanmasına ait pek çok yöntem mevcuttur. Aday noktanın konumu kendisine en yakın benzerlik gösteren kalibrasyon noktasından hesaplanabileceği gibi, birden çok kalibrasyon nokta koordinatları ortalaması kullanılarak da hesaplanabilir. Ayrıca sinyal vektörü içinde bulunan belirli kablosuz erişim noktalarından alınan veriler kullanılmayabileceği gibi enterpolasyon ile sisteme yeni kalibrasyon noktaları eklenmesi suretiyle hesaplamalar gerçekleştirilebilir. Bu konular ile ilgili bilgiler aşağıdaki bölümlerde detaylarıyla açıklanmıştır.

2.3. Deterministik Parmak İzi Konum Belirleme

Deterministik parmak izi konum belirleme ilk olarak Bahl ve Padmanabhan (2000), tarafından kullanılmıştır. Yöntem, bir sinyal vektörünün radyo haritasındaki tüm noktalar ile olan benzerliğine dayanır. Gözlemlenen veri ile radyo haritası arasında Öklid başta olmak üzere Manhattan (City Block L_1), Chebyshev (Minkowski ailesi) gibi çeşitli mesafe ölçütleri kullanılarak en kısa sinyal mesafeleri hesaplanır. 50'den fazla mesafe ölçütü ile ilgili kapsamlı bilgiye Cha (2007), tarafından yapılan çalışmadan ulaşılabilir. Bir radyo haritasında M adet referans noktası (RP), N adet erişim noktası (AP) olduğu düşünülürse i 'inci RSS vektörü $RSS_i = RSS_{i1}, RSS_{i2}, \dots, RSS_{iN}$ ve $i = 1, 2, \dots, M$ $j = 1, 2, \dots, N$ şeklinde olup tüm vektörler ise parmak izi veri tabanını oluşturur. Konumu belirlenecek

noktada (P) ölçülen sinyal gücü vektörü de $RSS_p = RSS_j, RSS_{j+1}, \dots, RSS_N$ olduğundan farklar aşağıdaki şekilde hesaplanır. Burada $q=2$ Öklid mesafesidir.

$$D_i = \left(\sum_{j=1}^N |RSS_{ij} - RSS_j|^q \right)^{1/q} \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (2.1)$$

Parmak izi ile konum belirlemede deterministik yöntemler dışında olasılık dağılımları da kullanılmakla birlikte yüksek sinyal varyasyonu olan ortamlarda düşük performans gösterdiği bilinmektedir.

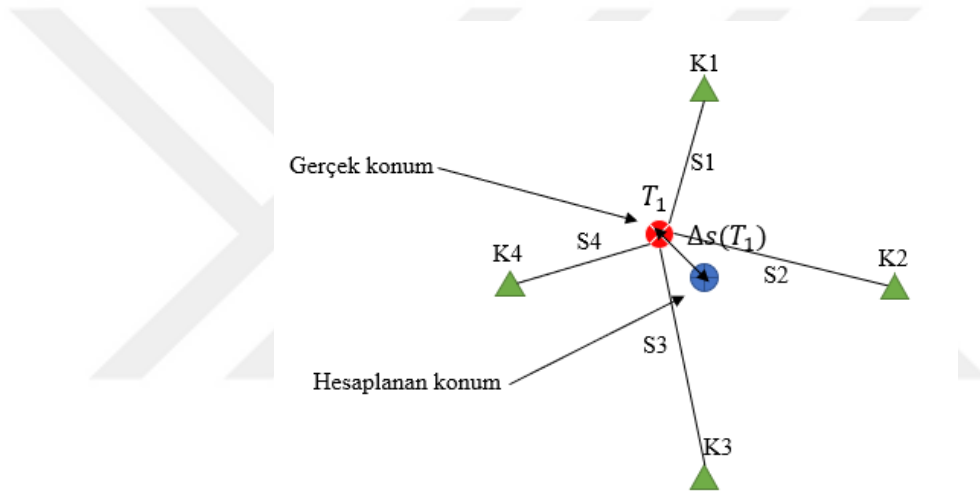
2.4. En Yakın Komşu, K-En Yakın Komşu ve Ağırlıklı KNN

En yakın komşu (NN), K-En Yakın Komşu (KNN) ve Ağırlıklı KNN (WKNN) metotları parmak izi verilerinin deterministik analizinde en çok kullanılan eşleştirme metotlarıdır (Moghtadaiee ve Dempster, 2015). En yakın komşu algoritması (NN) bölüm 2.3'te belirtilen sinyal uzayındaki D_i mesafeleri içerisinde en kısa olanı seçerek aday nokta konumunu belirler. Diğer bir ifade ile birden çok sinyal gücü ölçümlerinin ortalamalarından oluşan “alınan sinyal gücü vektörü” ile parmak izi veri tabanında bulunan kalibrasyon noktalarına ait tüm ya da seçili bir kısım sinyal vektörleri arasında mesafeler hesaplanır. Sonrasında bu sonuçlar en küçükten başlayarak artan şekilde sıralanır ve bu dizinin ilk sırasında bulunan kalibrasyon noktasının koordinatları, aday nokta konumu olarak tespit edilir. En hızlı ve pratik yöntem NN olmakla birlikte metodun doğruluğu kalibrasyon nokta sıklığına oldukça bağlıdır. NN metodu ile yüksek doğruluk elde edilmesi için yoğun kalibrasyon ölçüsü toplanması ve dolayısıyla parmak izi metodunun dezavantajı olan kalibrasyon aşamasının uzun ve zahmetli olması sonucu ortaya çıkar. Herhangi bir kontrol mekanizması olmadığında NN algoritması gerçek konumdan oldukça farklı yerlerde aday nokta konumu hesaplayarak kaba hataların ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir. Bu nedenle aday noktayı tek bir nokta ile temsil etmek her zaman doğru olmaz. Bu durumda birden çok kalibrasyon noktası seçilebilir. Bu metoda K-En Yakın Komşu adı verilir. Sinyal mesafeleri hesaplandığında ve en küçükten itibaren artan şekilde sıralandığında aday noktanın konumu, K komşu sayısı olmak üzere formül 2.2'deki gibi hesaplanır.

$$P(X,Y) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (x_i, y_i) \quad (2.2)$$

Burada noktanın konumu kendisine komşu olan her bir kalibrasyon noktasının etkisi eşit derecede olacak şekilde aritmetik ortalama olarak hesaplanır. $K=1$ durumunda ise KNN algoritması standart en yakın komşu algoritmasına indirgenir.

KNN algoritması uygulanırken birkaç noktaya dikkat etmek gereklidir. Komşu noktaların hepsinin aday noktaya etkisi eşit alınsa da bu nokta daima komşu noktaların merkezinde bulunmaz. Hatta bu durum çok nadir gerçekleşir. Dolayısıyla gerçek konumdan Şekil 2.6’da görülen Δs kadar bir kayma ile konum tespit edilir.



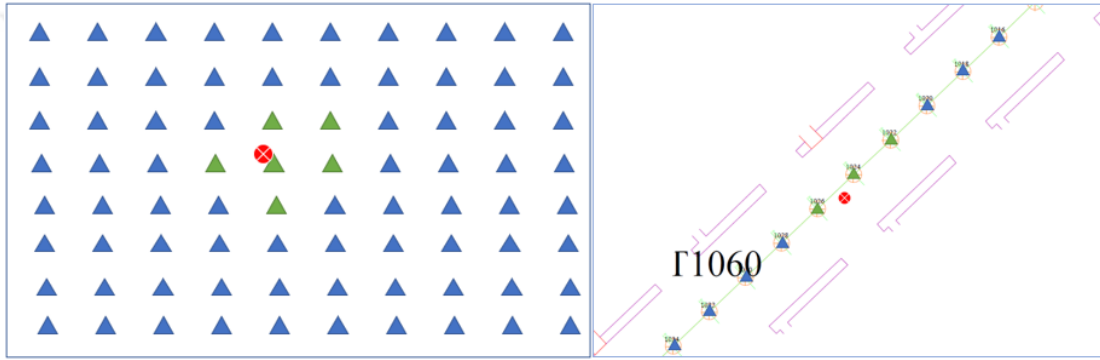
Şekil 2.6 KNN yöntemi ile aday nokta konumunda yapılan hata

Seçilen K sayıda komşunun, aday nokta üzerindeki etkisi, hesaplanan sinyal mesafeleri ile ters ilişkilidir. Yani aday noktadan uzaklaştıkça sinyal benzeşmesinin bozulmaya başlayacağı düşünülürse sinyal mesafesi komşuların ağırlıklandırılmasında kullanılabilir. Bu da literatürde Ağırlıklandırılmış K-En Yakın Komşu algoritması (WKNN) olarak geçmektedir. Bölüm 2.3’te hesaplanan D_i mesafeleri yardımı ile ağırlıklar (w_i) aşağıdaki formüller ile uygulanarak aday noktanın konumu hesaplanır.

$$w_i = \frac{1/D_i}{\sum_{j=1}^k 1/D_j} \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (2.3)$$

$$X_p = \sum_{j=1}^k w_i X_j \quad Y_p = \sum_{j=1}^k w_i Y_j \quad (2.4)$$

Dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ise K sayısının sabit seçilmesinin ortaya çıkardığı bazı problemlerdir. Örneğin K=5 durumunda ilk 3 komşu mesafeleri ile son 2 komşu mesafeleri arasındaki fark büyük olabilir. Yani seçilen komşulardan 3 tanesi aday noktaya yakın konumdayken 2 tanesi ise uzakta bulunabilir. Kapalı mekânın karakteristik yapısına göre de yakın komşuların sayısı değişkenlik gösterir. Koridor tipi tek boyutlu alanlarda yakın komşu nokta sayısı birkaç nokta olurken salon tipi kapalı alanlarda 4-5 ve daha fazla komşu kalibrasyon noktası bulunabilir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Kapalı mekân tipine göre çevrede bulunan kalibrasyon nokta sayıları

Ağırlıklandırma ile tamamen çözülemeyecek bu problem bulunulan ortamın tipine göre dinamik bir K değeri seçilmesi ile çözülebilir (Shin ve ark., 2012). Bu tür algoritmalar “Geliştirilmiş Ağırlıklı K-En Yakın Komşu” ismi ile araştırılabilir (Li ve ark., 2017a); (Pham ve Le, 2019).

2.5. Enterpolasyon

Sayısal analiz alanında bir tür tahmin olan enterpolasyon, bilinen bir veri seti kullanılarak yeni noktaların türetilmesi (tahmin edilmesi) olarak tanımlanır. Parmak izi ile kapalı mekân konum belirleme yönteminde bir sinyal haritası oluşturulurken mümkün olduğunca homojen dağılmış noktalar ile kapalı mekânın tamamının kapsanması istenir. Bunun mümkün olmadığı durumlarda ise veri boşluklarının doldurulması gereklidir. Ayrıca bölüm 2.2.1’de açıklanan radyo haritası üretme yöntemlerine paralel olarak, az sayıda veri yardımıyla kalibrasyon aşamasının zaman ve emek maliyetlerinden kısıarak,

konum doğruluğundan fazla taviz vermeden de veri tabanı oluşturulabilir. Enterpolasyonun parmak izi konum belirleme yönteminde çeşitli varyasyonlarda uygulamaları mevcut olmakla birlikte burada delaunay üçgenlerine dayanan lineer enterpolasyon yöntemi uygulanmıştır.

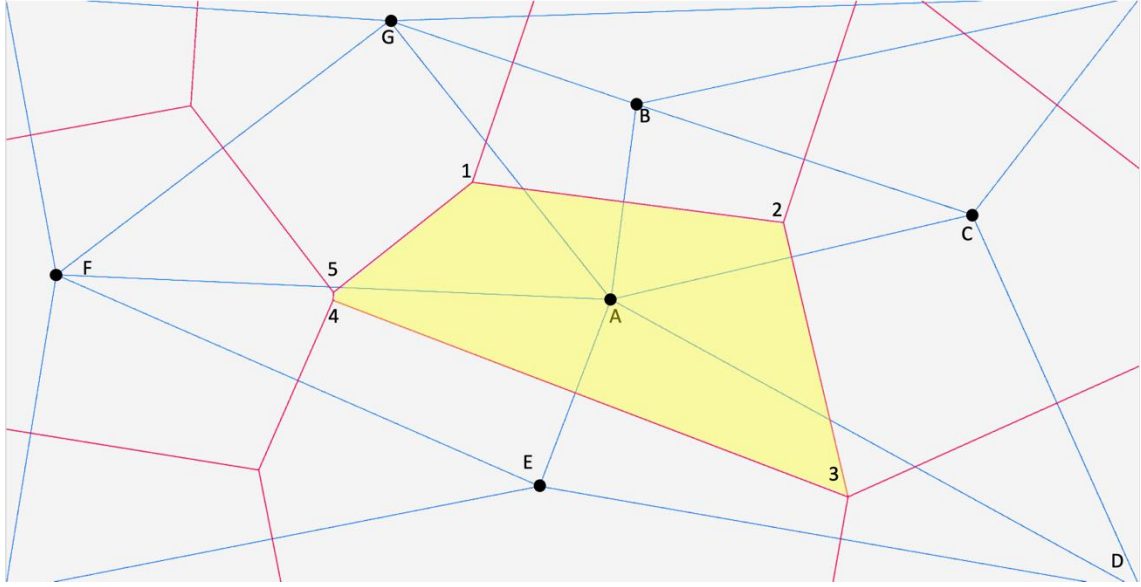
Wi-Fi RSS ölçülerinin enterpolasyonu:

- Üçgen araştırması
- Noktanın ait olduğu mozaik üçgeninin tespiti
- Barisentrik koordinatların hesaplanması
- Aday noktanın üçgene göre konumunun incelenmesi
- Noktanın içinde bulunduğu Delaunay üçgeni kullanılarak her bir erişim noktası için sinyal gücü enterpolasyonu
- Yeni sinyal vektörünün oluşturulması ve kaydedilmesi

işlemleri ile gerçekleştirilir.

2.5.1. Voronoi diyagramları ve Delaunay enterpolasyonu

Bir düzlemdeki noktalar kümesi içerisinde seçilen bir düğüm noktasına diğer noktalardan daha yakında bulunan noktaların tümünün oluşturduğu geometrik şekil Voronoi Poligonu ve bu poligonların birleşimine ise Voronoi Diyagramı denir. Yakınlık analizlerinde kullanılan Voronoi Diyagramlarında her noktanın, kendisine komşu diğer noktalar ile oluşturduğu üçgen mozaik yapıya ise delaunay üçgenleri adı verilir. Yani iki kavram birbirlerini oluşturabilen, aynı öze sahip farklı gösterimler olarak düşünülebilir. Örneğin Şekil 2.8’de sarı renk ile taralı bölge Voronoi bölgesini, A noktası örnek bir düğüm noktasını, 1-2-3-4-5 noktaları Voronoi köşelerini, (1-2), (2-3), (3-4), (4-5), (5-1) doğruları Voronoi kenarlarını ve düğüm noktalarının komşu düğüm noktaları ile birleşerek oluşturduğu üçgen ağına delaunay üçgenleri adı verilir. Sarı renk ile taralı bölge içerisinde seçilen herhangi bir noktaya en yakın düğüm noktasının A olduğu kolaylıkla söylenebilir.



Şekil 2.8 Voronoi diyagramı ve delaunay üçgenleri

Voronoi diyagramlarını ve dolayısıyla delaunay üçgenlerini üretmek için çeşitli algoritmalar kullanılabilir (Su ve Drysdale, 1997). Bunlara örnek olarak Bowyer-Watson ve Fortune'un algoritması verilebilir. İlkine ait sözde kod (pseudocode) Şekil 2.9'da verilmiştir.

```
function BowyerWatson (pointList)
    // Üçgenlenecek noktaları belirleyen koordinat listesinin
    tanımlanması
    triangulation := empty triangle mesh data structure
    add super-triangle to triangulation // Nokta listesindeki
    tüm noktaları tamamen içerebilmesi için yeterince büyük
    olmalıdır
    for each point in pointList do // Üçgenlemeye her seferde
    bir tane olmak üzere tüm notaları ekle
        badTriangles := empty set
        for each triangle in triangulation do // ilk olarak
        yerleşime artık uygun olmayan üçgenleri tespit et
            if point is inside circumcircle of triangle
                add triangle to badTriangles
        polygon := empty set
        for each triangle in badTriangles do //
        for each edge in triangle do
            if edge is not shared by any other triangles in
            badTriangles
                add edge to polygon
        for each triangle in badTriangles do // hatalı
        poligonları veri yapısından çıkart
            remove triangle from triangulation
        for each edge in polygon do // Ağı tekrar üçgenle
            newTri := form a triangle from edge to point
            add newTri to triangulation
        for each triangle in triangulation // Nokta yerleştirme
        bitti, temizleme
            if triangle contains a vertex from original super-
            triangle
                remove triangle from triangulation
    return triangulation
```

Şekil 2.9 Bowyer-Watson algoritması için verilen sözde kod (URL-1)

Bu çalışmada delaunay üçgenleri için bowyer-watson algoritması C# ile uyarlanmıştır. Enterpole edilecek noktanın üçgenin içinde olup olmadığı, noktaya ait barisentrik koordinatlar hesaplanarak tespit edilir. Aşağıda bu koordinatların formülleri verilmiştir.

$$\lambda_1 = \frac{(y_2 - y_3)(x - x_3) + (x_3 - x_2)(y - y_3)}{(y_2 - y_3)(x_1 - x_3) + (x_3 - x_2)(y_2 - y_3)} \quad (2.5)$$

$$\lambda_2 = \frac{(y_3 - y_1)(x - x_3) + (x_1 - x_3)(y - y_3)}{(y_2 - y_3)(x_1 - x_3) + (x_3 - x_2)(y_2 - y_3)} \quad (2.6)$$

$$\lambda_3 = 1 - \lambda_1 - \lambda_2 \quad (2.7)$$

Hesaplanan koordinatlar kullanılarak aday noktanın üçgene göre olan konum tespiti aşağıdaki kodlar ile kontrol edilir.

```
if ( $\lambda_1 == 0$  ||  $\lambda_2 == 0$  ||  $\lambda_3 == 0$ ) >> ("Nokta Üçgenin Kenarındadır.");
else if ( $\lambda_1 >= 0$  &&  $\lambda_1 <= 1$  &&  $\lambda_2 >= 0$  &&  $\lambda_2 <= 1$  &&  $\lambda_3 >= 0$  &&  $\lambda_3 <= 1$ ) >> ("Nokta
Üçgenin İçerisindedir.");
else >> ("Nokta Üçgenin Dışındadır.");
```

Üçgen tespiti ve konum kontrolü başarıyla gerçekleştiğinde, üç köşe noktasında (Delaunay Vertice) her bir erişim noktasından elde edilen sinyal gücü bilgileri, noktanın barisentrik koordinatları ağırlık olarak alınarak 2.8’de verilen formül ile hesaplanır.

$$RSS_{ent}^j = \lambda_1 RSS_1^j + \lambda_2 RSS_2^j + \lambda_3 RSS_3^j \quad (2.8)$$

2.6. Eşik Değeri Uygulaması (Thresholding)

Kapalı mekânlarda duvar ve eşyalar gibi çeşitli engeller sebebiyle NLOS sinyaller direkt görüş hattı olan (LOS) sinyallere göre çok daha fazladır. Bir WAP’tan yayılan sinyaller kırılma ve yansımalarla maruz kalarak kapalı mekânda gittikçe sönümlenerek yol alır. Araştırmalarda öne sürülen eşik değeri uygulaması literatürde aday noktaya sinyal gücünün çoğunu kaybederek ulaşan bu sinyallerin artık önemli bir bilgiden ziyade gürültü olarak etki etmesi sebebiyle elimine edilmesi işlemi olarak belirtilmektedir. Bu

eliminasyon, önceden belirlenmiş bir eşik değerinin altında kalan sinyallerin algoritmaya katılmaması şeklinde uygulanabildiği gibi, yalnızca en güçlü K sayıda WAP'tan gelen sinyallerin algoritmaya katılması şeklinde de uygulanabilir. Genellikle -80dBm ve üzeri sinyal gücüne sahip kablosuz sinyallerin sağlıklı ve stabil olduğu kabul edilir. Deneysel bir uygulama olan eşik değeri uygulamasında elimine edilen veriler içerisinde anlamlı bilgi bulunabileceği göz ardı edilmemelidir. Gelişmiş kablosuz erişim noktalarında birden çok kablosuz sinyalin tek antenden yayılabildiği (VWAP) düşünüldüğünde en güçlü K sayıda WAP seçimi de aynı donanıma dolayısıyla tek bir konuma tekabül edeceğinden konum doğruluklarında ciddi azalmaya sebep olabilir. Bu düşünceler ışığında bölüm 3.3'te açıklanan bilgilere de ayrıca dikkat edilmesi tavsiye edilmektedir.

2.7. Geliştirilen Yazılımlara Genel Bir Bakış

Parmak izi konum belirleme yönteminin iki ayağı yazılım ve donanımdır. Uygulanabilirlik açısından yapılarda mevcut olan kablosuz ağ altyapısı kullanıldığından donanım kısmı genel kullanımın düşünüldüğü uygulamalarda değiştirilmez. Bu sebeple asıl önemli olan yazılım ayağıdır. Konum doğruluğuna etkiyecek tüm faktörler, sistemin çalışma hızı ve sürekliliği yazılımsal olarak gerçekleştirilir. Fakat giriş bölümünde bahsedildiği gibi kapalı mekânlarda konum belirleme problemi halihazırda araştırmacılar tarafından çalışmakta, yeni çözümler üretilmekte fakat henüz her yerde kabul gören bir çözüme sahip değildir.

Bu tez çalışmasında hem parmak izi verilerinin toplanmasında kullanılabilecek hem de toplanan verilerin analiz edilerek o yapı için en uygun çözümün bulunabilmesi konusunda fikir sağlayabilecek iki yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılımların geliştirilmesi ve çeşitli fonksiyonların eklenerek daha kapsamlı hale getirilmesi devam eden bir çalışma olup yeterli olgunluğa eriştiğinde diğer araştırmacıların kullanımına sunulması planlanmaktadır. Aşağıdaki bölümde bu yazılımlar ile ilgili açıklamalar sunulmuştur.

2.8. Mobil Veri Toplama Yazılımı

Bir kapalı mekânda parmak izi yöntemi ile konum belirleme çalışmasının ilk gerekliliği, sistematik olarak belirli bir formatta toplanmış sinyal gücü bilgileridir. Literatürde yapılan çalışmalarda her araştırmacı kendi ihtiyaçları doğrultusunda bir çözüm ortaya koyarken parmak izi verisi için standart bir format bulunmamaktadır. Bu

tez çalışmasında bu problem için bir çözüm önerisi niteliğinde üç veri türü ve bir veri toplama yazılımı oluşturulmuştur.



Şekil 2.10 Mobil veri toplama yazılımına ait ekran görüntüleri

Mobil veri toplama yazılımı iki ana menü (SPA-Fingerprint)’den oluşmaktadır (Şekil 2.10). Bu yazılım Android 10 versiyonunda en son olarak v2.0 olarak tamamlanmış olup araştırma çalışmalarında ihtiyaç duyulan durumlara göre geliştirilmesi sürmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken bir husus mobil yazılımların geliştirildiği işletim sistemlerinin ve Wi-Fi ile ilgili kullanılacak API (Application Programming Interface)’nin istenilen özellikleri sağlayabilmesidir. Nitekim Wi-Fi tarama sıklığında Google tarafından gidilen değişiklik ile Android 9 versiyonunda çevredeki kablosuz erişim noktalarını tarama süresi kısıtlanmıştır. Android 9’dan önceki versiyonlarda sorunsuz olarak çalışan fonksiyonlar, kısıtlamadan kaynaklanan problemlerin farkına varıldığında düzeltildiği Android 10 versiyonunda da geliştirici seçeneklerine eklenen seçim ile eski haline getirilmiştir.

Arayüzün üst yarısında çevredeki algılanan kablosuz erişim noktaları ağ isimleri ve BSSID (Basic Service Set Identifier) adresleri ile birlikte sinyal gücü (dBm) bilgileri anlık olarak gösterilmektedir. BSSID adresleri parmak izi veri tabanı oluşturulurken eşsiz olmalarından dolayı kablosuz erişim noktalarının kimlikleri olarak kullanılmaktadır. Arayüzün alt yarısında ise,

- Building ID: Ölçü yapılan bina kimlik numarası

- Aprx. GNSS Coordinates: Bulunulan noktanın yaklaşık GNSS koordinatları
 - Latitude: Enlem (Derece)
 - Longitude: Boylam (Derece)
- Floor: Binada bulunulan noktanın kat bilgisi
- Orientation: Dönüklük
- Time: Ölçü zamanı ve ayrıca yapılacak ölçüye özel seçilebilecek birtakım parametreler bulunmaktadır.

Bu parametrelere bağlı olarak kaydedilecek dosya içeriği değişir. Bir ölçüye ait dosya içeriği Şekil 2.11’de görülmektedir. Burada meta veri olarak ölçü yapılan cihaz, ölçü tarihi, ölçü başlangıç saati, nokta numarası, yaklaşık GNSS koordinatları ve gerçek koordinatlar gibi birçok veri bulunmaktadır. Üst verinin arkasından o noktaya ait alınan sinyal gücü ölçümleri gelmektedir.

```

1 Device:SM-A520F
2 Date:10.Eyl.2019
3 StartTime:19:8
4 BuildingID/Floor:mhdf/2
5 PointID:2004
6 Aprx GNSS Coordinates
7 38.0269419632.5109266
8 Coordinates
9 4210601.5085457066.378
10 Orientation:99
11 Magnetic Field:-18.3599996-4.08%-0.84
12 1
13 BSSID600:02:61:c9:c7:246-50
14 BSSID634:da:b7:c9:03:ab6-69
15 BSSID6b0:4e:26:8d:8a:e76-77
16 BSSID6c4:71:54:15:40:746-81
17 BSSID624:58:6e:a6:7e:d46-83
18 BSSID634:da:b7:c8:cd:196-83
19 BSSID600:02:61:53:46:896-87
20 BSSID6c8:3a:35:7c:b2:d06-87
21 BSSID6c4:71:54:16:a1:806-88
22 BSSID60a:18:d6:0b:28:ca6-92
23 BSSID600:02:61:bf:82:c96-93
24 BSSID658:d7:59:19:d2:3e6-93
25 2
26 BSSID600:02:61:c9:c7:246-50
27 BSSID634:da:b7:c9:03:ab6-70
28 BSSID6b0:4e:26:8d:8a:e76-77
29 BSSID634:da:b7:c8:cd:196-83
30 BSSID6c4:71:54:15:40:746-84
31 BSSID6c8:3a:35:7c:b2:d06-85
32 BSSID600:02:61:53:46:896-86
33 BSSID624:58:6e:a6:7e:d46-86
34 BSSID6c4:71:54:16:a1:806-87
35 BSSID600:02:61:bf:82:c96-93
36 3
37 BSSID600:02:61:c9:c7:246-50
38 BSSID634:da:b7:c9:03:ab6-69

```

ength: 58,217 lines: 2,293 Ln: 81 Col: 28 Sel: 0|0

Şekil 2.11 Parmak izi dosya içeriği

Parmak izi ölçümlerinde ve analiz programında kullanılmak üzere öne sürülen veri formatları ve içerikleri aşağıda açıklanmıştır.

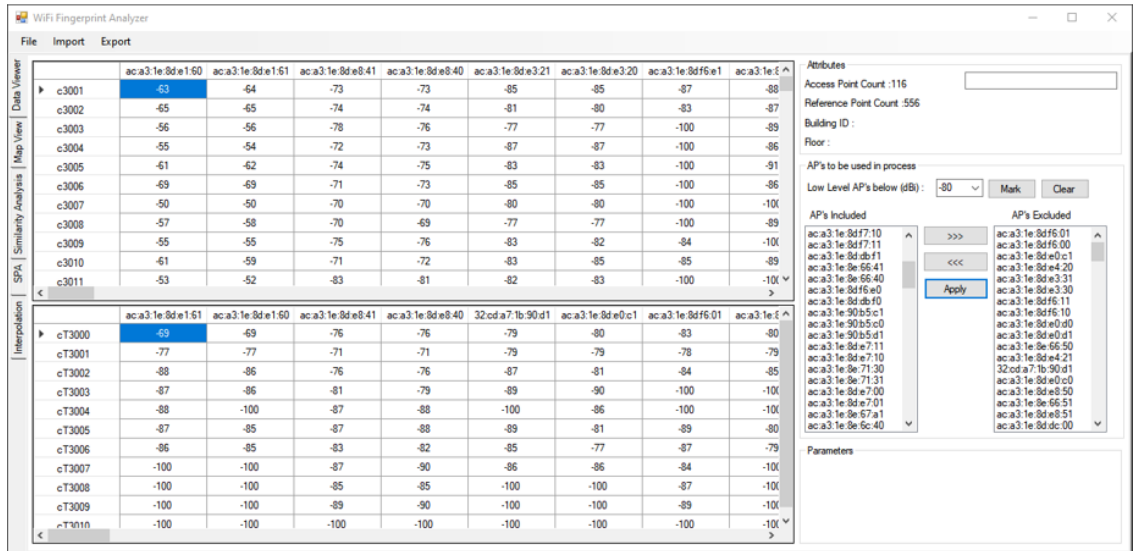
- Fingerprint Raw Data (.frd): İçerisinde düzenlenmemiş ham veri şeklinde kalibrasyon ölçülerini saklamaktadır.

- Fingerprint Analysis Data (.ada): FRD dosyasından oluşan veri tabanı kullanılarak elde edilebilecek konum doğruluklarını araştırmak üzere çeşitli rastgele konumlarda toplanan koordinatlı sinyal gücü bilgilerinden oluşmaktadır.
- Single Point Analysis (.spa): Belirli noktalarda uzun süreli ölçümler sonucunda sinyal gücü değişimlerinin incelenmesi ve erişim noktalarına ait görünürlük analizinin yapılmasını sağlayan dosyadır.

Bu veri formatlarının içerikleri yapısal olarak birbirleriyle çok benzer olmakla birlikte analiz programı tarafından hangi verinin ne şekilde okunması gerektiğini ayırt etmek amacıyla kullanılmaktadır. Tasarlanan bu üçlü yapı programlar geliştirildikçe ve ihtiyaçlar doğrultusunda yenilenerek güncellenebilecektir.

2.9. Masaüstü Analiz Yazılımı

Mobil veri toplama yazılımının çıktısı olan veri formatlarıyla uyumlu çalışan Wi-Fi Fingerprint Analyzer programı .NET tabanlı nesne yönelimli C# programlama dili ile kodlanmıştır. Programlama arayüzü olarak MS Visual Studio ve .NET Framework versiyonu olarak v4.5.2 kullanılmıştır. Bu programın hedeflenen temel amacı parmak izi verileri kullanılarak, konum belirleme uygulamasının yapıldığı yer için elde edilebilecek konum doğruluklarını analiz etmek, ham veri üzerinde gerekli değişiklikleri, filtreleri ve algoritmaları çalıştırarak hızlı ve otomatik bir şekilde raporlama sağlamaktır. Programın arayüzüne ve fonksiyonlarına ait temel bilgiler aşağıda verilmiştir (Şekil 2.12).

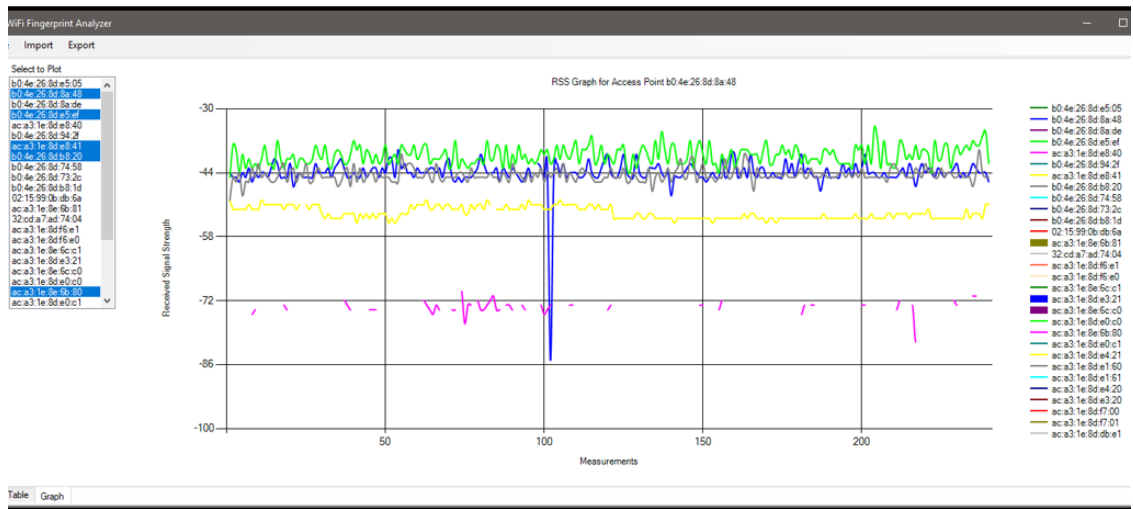


Şekil 2.12 Analiz yazılımı arayüzü (Data Viewer ekranı)

Sol kısımda bulunan menü öğeleri ve işlevleri:

- Data Viewer (Ham Veri Ekranı): Mobil yazılımdan elde edilen verilerin Import>FP Raw Data ve Import>Analysis Data menüleri ile programa eklenen verilerin gösterildiği ekrandır.
- Map View (Harita Ekranı): Programın içine aktarılan kalibrasyon noktalarının harita üzerinde konumlarının gösterildiği ekrandır.
- Similarity Analysis (Benzerlik Analizi): Konum doğruluklarının analiz edilip rapor edildiği ekrandır.
- SPA (SPA Plot Ekranı): Kablosuz erişim noktalarından uzun süreli elde edilen sinyal gücü bilgilerinin grafik olarak gösterildiği ekrandır.
- Interpolation (Enterpolasyon): Radyo haritasında bulunan boşluklarda yeni kalibrasyon noktalarının hesaplandığı ve dışa aktarılacak mevcut radyo haritasına eklendiği ekrandır.

Programın orta bölümünde, bulunulan sekmeye bağlı olarak sayısal veya görsel olarak veriler gösterilir. Örnek olarak Import>SPA Data menüsü ile bir “.spa” dosyası okutulduğunda Şekil 2.13’teki ekran ortaya çıkar. Bu ekranda alıcı cihaza ulaşan sinyaller ile ilgili, süreklilik, dalgalanma vb. durumlar incelenebilmektedir. Sık sık sinyal kopmalarına sahip erişim noktaları belirlenerek, konumlandırma işleminden hariç tutulması sağlanabilir.



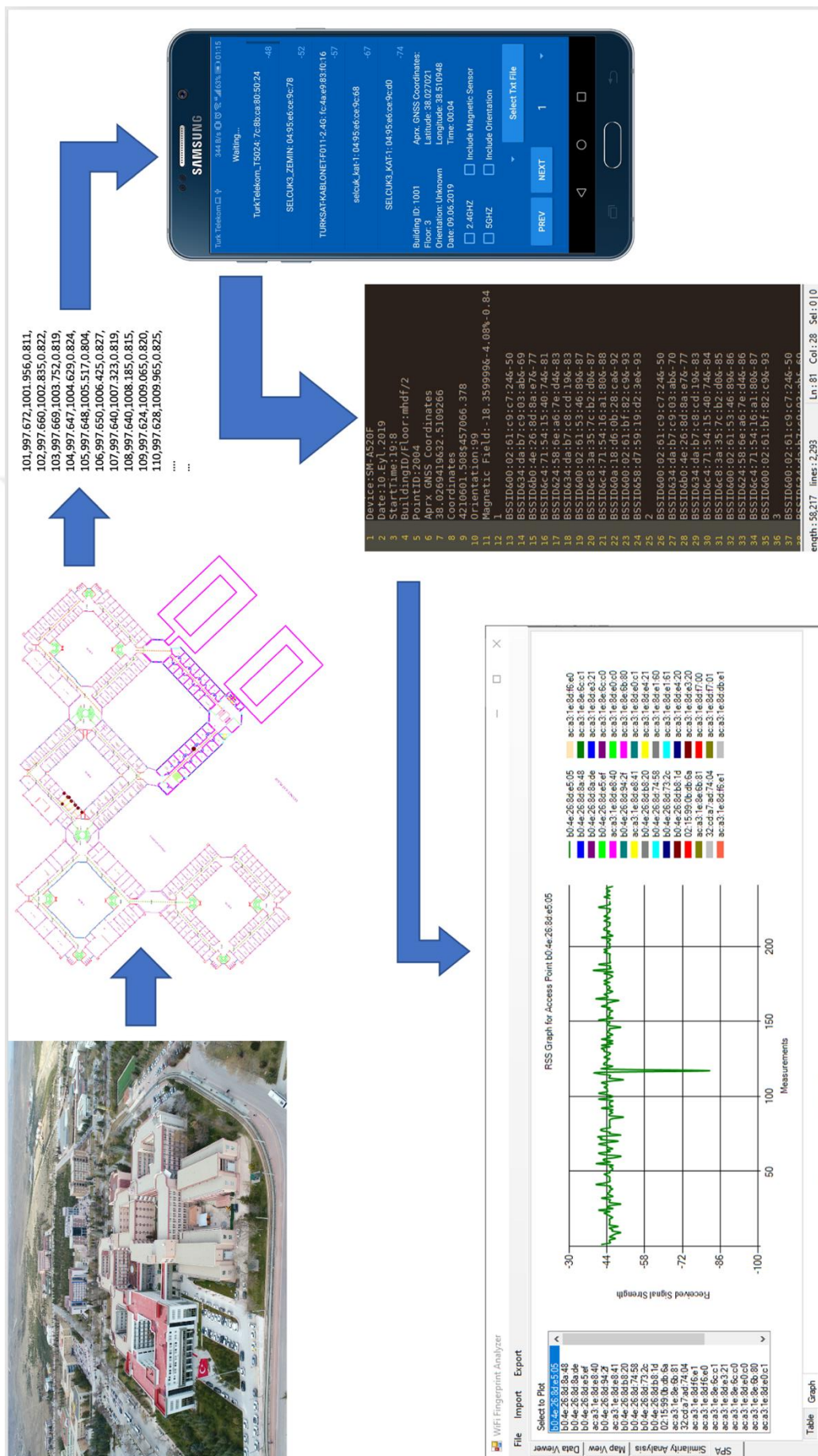
Şekil 2.13 Analiz programında SPA ekranı görüntüsü

Bu sinyal kesiklikleri yalnızca düşük sinyal gücünden (-85dBm ve aşağısı) kaynaklanmıyor olabilir. Nitekim örnekte (Şekil 2.13) ac:a3:1e:8d:e8:40 adresli erişim noktasından elde edilen sinyalin -72 dBm seviyesinin biraz altında olmasına rağmen ne bağlantı için ne de konum belirleme algoritması için sağlıklı olduğu görülmüştür. Bu ekranda çoklu seçim yapılarak erişim noktalarından alınan sinyal grafikleri tek ekranda karşılaştırmalı olarak incelenebilir. Bu menü ile ayrıca 2.4GHz ve 5GHz frekanslarının bir kapalı mekânda sinyal gücü değişimlerinin uzun süreli olarak değişimleri karşılaştırmalı olarak incelenebilir.

Hazırlanan analiz programı ve veri toplama programları ile birlikte bir kapalı mekân konum belirleme uygulaması için baştan sona işlem adımları Şekil 2.14'te sunulmaktadır.

Burada ilk olarak bölüm 2.2.1'de açıklandığı şekilde uygulamanın yapılacağı yapıya ait CAD planları elde edilmektedir. Şekil 2.14'te görülmeyen bir ara adım olarak yapının planından koordinat çıkarabilmek için gerekli koordinat dönüşümünün yapılması gerekliliğidir. Sistemde kullanılacak koordinatlar lokal olarak da bırakılabilir ancak kapalı mekânlar ile açık alanların bir bütün halinde entegre olması düşünüldüğünde ortak koordinat sisteminin kullanılması daha uygun olacaktır. Dönüşüm yapıldıktan sonra parmak izi yönteminin ilk aşaması olan kalibrasyon aşaması ön çalışmaları gerçekleştirilir. Kapalı mekânda ölçü planları oluşturularak kalibrasyon noktalarında hangi düzende ve tekrarda ölçü alınacağı tasarlanır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen kalibrasyon nokta koordinatlarına ait liste mobil veri toplama yazılımına yüklenir.

Veri toplama yazılımı ile bir operatör binaya ait bir kroki yardımı ile üzerinde bulunduğu kalibrasyon nokta adını listeden seçerek dosya içeriğine seçilen tekrar sayısında sinyal gücü bilgilerinin ölçülerek kaydedilmesini sağlar. Devam eden süreçte ise kaydedilen bu veriler analiz yazılımına aktarılarak gerek tablo olarak gerek grafik olarak gösterilir. Bu veriler üzerinde çeşitli fonksiyonlar kullanılarak konum doğruluklarına dair analizler gerçekleştirilir.

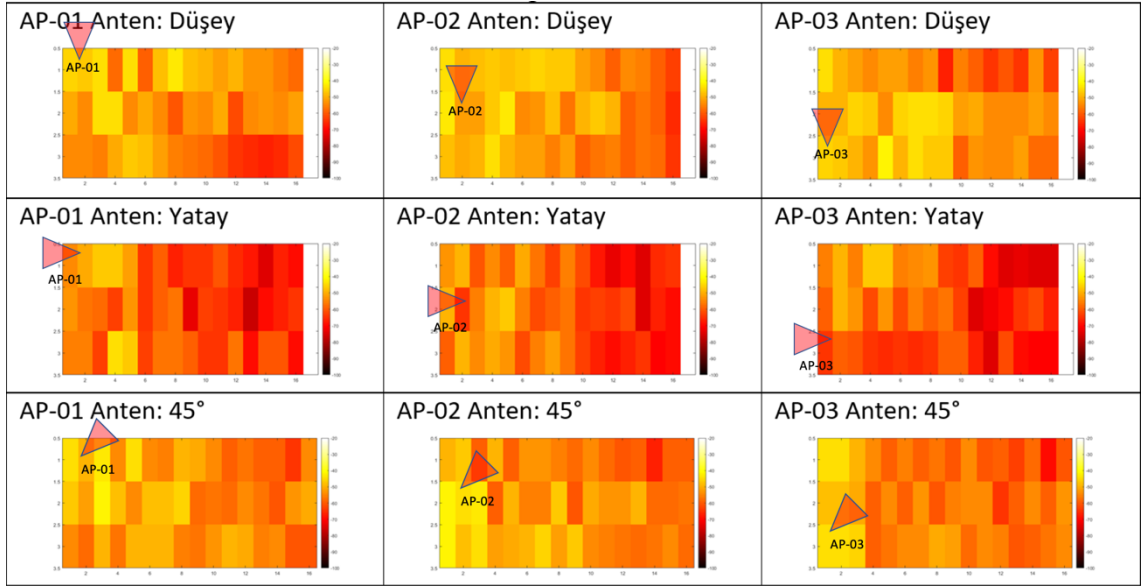


Şekil 2.14 Konum belirlemede uygulanan temel adımlar

3. UYGULAMA VE DENEY ÇALIŞMALARI

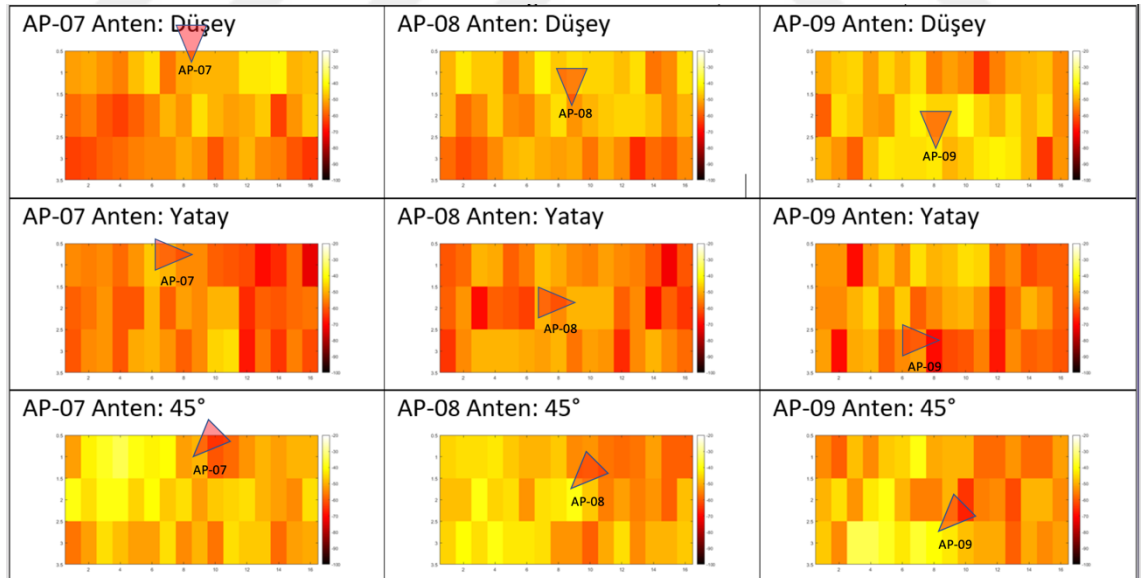
3.1. Anten Açısı-Ortalama Sinyal Gücü İlişkisi

Kablosuz erişim noktaları harici veya dahili anten veya antenler ile donatılmışlardır. Bölüm 2.6’da belirtildiği gibi -85dBm ve üzerindeki sinyallerin stabil olduğu kabul edilmekte olduğundan, bir kapalı mekânda yapılacak konum belirleme uygulaması için ortalama sinyal gücü önemlidir. Yani kablosuz sinyaller kapalı mekânda ne kadar sağlıklı yayılım gerçekleştirirlerse konum belirleme uygulaması da bir o kadar başarılı olacaktır. Wi-Fi sinyalleri asıl olarak kablosuz iletişim amacı taşıdığından, donanımların yerleşimi ve sayısı bu iletişimin kapalı mekânın istenilen her yerinde ulaşılabilir olacağı şekilde yapılır. Dahili antenli donanımlarda, donanımın konumunu değiştirmek haricinde anten yerleşimine müdahale edilemez. Hareketli antenli donanımlarda anten yönü daha kolay değiştirilebilir. Genellikle bu sistemlerde çok yönlü (omni-directional) antenler kullanılmaktadır. Anten konusu oldukça kapsamlı ve derin bir konu olmakla birlikte burada sadece parmak izi yöntemi açısından konu ele alınmaktadır. Bölüm 2.1’deki deneysel çalışma alanında, anten açılarının etkisi incelemek amacıyla 6 erişim noktası için sinyal gücü ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçüler deney alanında 48 noktada, her noktada 20 tekrarlı ölçü olacak şekilde, anten açıları düşey, yatay ve 45 derece diyagonal olacak şekilde değiştirilerek tekrarlanmıştır. Çok yönlü antenler çörek şeklinde bir radyasyon modeline sahiptir ve aynı düzlemdeki cihazları bağlamak için idealdir. Testlerde anten pozisyonu yatay olduğunda ise bu düzlem düşey olarak oluştuğundan, anten sinyal yayılım açısına bağlı olarak test bölgesine yayılan ortalama sinyal gücünün düştüğü görülmüştür (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2).



Şekil 3.1 1, 2 ve 3 nolu erişim noktalarına ait sinyal yayılımları

Yatay pozisyonda bulunan antenler ile test alanında 48 noktada elde edilen sinyallerin ortalama sinyal gücü -60,68 dBm ölçülürken, antenleri 45° derece açılı ve dikey yönde konumlandırılan erişim noktalarında ise sırasıyla ortalama -53,54 dBm ve -52,68 dBm ölçülmüştür.



Şekil 3.2 7, 8 ve 9 nolu erişim noktalarına ait sinyal yayılımları

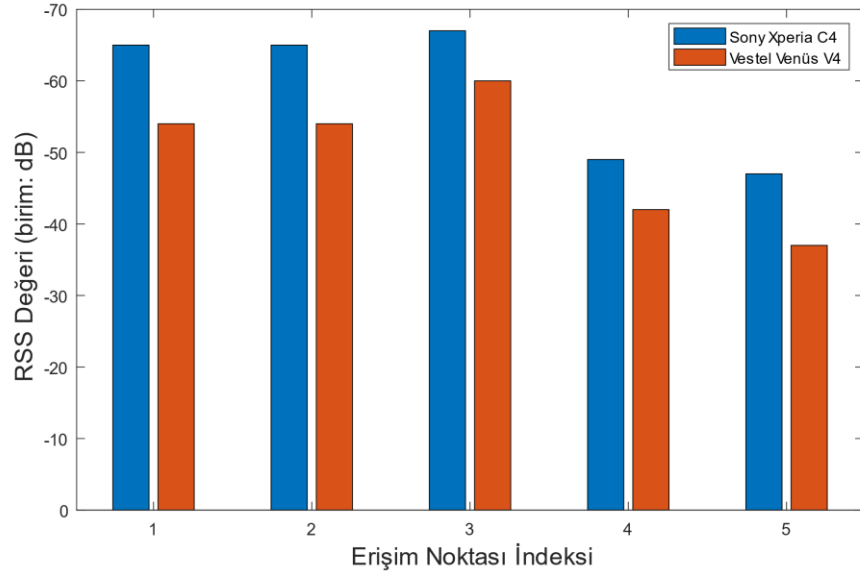
Konum doğruluğu açısından değişimleri gözlemlemek için 16 kontrol noktasında sinyal gücü ölçümleri toplanmış ve değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda en yakın komşu algoritması ile anten yönü yatay konumda $m_x=2,1m$ ve $m_y=2,9m$ olurken

diyagonal olarak $m_x=1,2m$ ve $m_y=1,7m$ olarak, düşey olduğunda ise $m_x=1,3m$ ve $m_y=1,6m$ olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar 2.4GHz sinyali için olmakla birlikte 5GHz frekansı için de benzer sonuçlar elde edilmiş, çoğunlukla anten yönü diyagonal veya düşey olduğu durumlarda en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

3.2. DIFF Metodunun Uygulaması

Günümüzde kablosuz bağlantının oldukça yaygın bir kullanıma sahip olması, bu teknolojiyi kullanan mobil cihazların da çok çeşitli olmasını sağlamıştır. Bu çeşitlilik nedeniyle Wi-Fi donanımları ve anten yerleşimleri farklı olan bu cihazlar kullanılarak RSS tabanlı konum belirlenirken farklı cihazların farklı sinyal gücü alması sebebi ile sistemin performansının düşmesi beklenen bir sonuçtur. Bu problemin önüne geçmek için kullanılan, Dong ve ark. (2009), tarafından öne sürülen DIFF yöntemi iki farklı cihaz arasındaki bu sorunu gidermek için uygulanmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

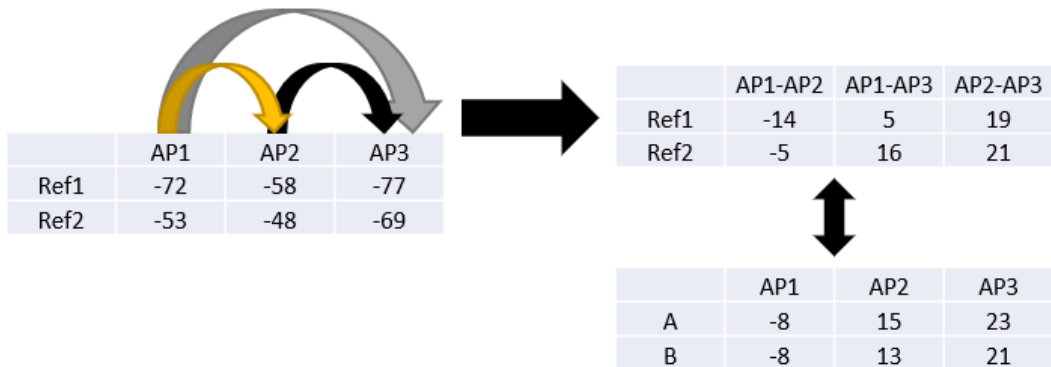
Öncelikle, iki cihaz sabit bir noktadayken aynı erişim noktalarından sinyal gücü ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçüler incelendiğinde aynı erişim noktasından elde edilen alınan sinyal gücü (RSS) bilgisinin farklı olduğu görülmüştür. Bu farklılık diğer erişim noktaları için de geçerlidir. Bu durumda cihazların arasındaki bu RSS farklılığı parmak izi yönteminde uygun eşleşmenin sağlanmasını zorlaştırmakta ve hatalı en yakın komşu seçimine sebep olmaktadır. Her ne kadar cihazlardan elde edilen ölçülerin kalibrasyon ile birbirleri arasında uyumlu hale getirilmesi yapılabilir olsa da binlerce farklı cihaz için bunun uygulanması pek mümkün değildir. Bu noktada farklı bir bakış açısı ile, veri tabanındaki ham veriler üzerinde bir değişiklik yaparak problemin çözüleceği öne sürülmüştür.



Şekil 3.3 İki farklı Wi-Fi donanımı ile elde edilen RSS değerleri arasındaki ilişki

Şekil 3.3 incelendiğinde, iki cihaz aynı erişim noktasından farklı RSS elde etmişse de genel olarak iki cihaz da uzaktaki erişim noktasından görece düşük sinyal, yakındaki erişim noktasından görece yüksek sinyal gücü elde etmektedir. Bu gerçek, iki erişim noktası (AP) çiftinden elde edilen sinyal gücü farkının parmak izi veri tabanı için kullanılabileceğini göstermektedir.

Bu durumu test etmek için A ve B cihazı olarak temsil edilecek bu iki mobil cihazdan A cihazı, kalibrasyon noktalarında referans ölçülerinin alınmasında kullanılmıştır. Sonrasında hem A hem de B cihazı ile koordinatı önceden bilinen seçili noktalarda sinyal gücü ölçümleri yapılmıştır. Geleneksel yöntemden farklı olarak veri tabanı oluşturulurken RSS değerleri mutlak (absolute) olarak değil, erişim noktaları arasında ikili farklar alınarak çıkan değerler kullanılarak oluşturulur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 DIFF yönteminde kullanılan sinyal gücü farkları ile yeni radyo haritasının oluşturulması

Konumu belirlenecek nokta için, o noktadan elde edilen sinyal gücü bilgileri, DIFF ile oluşturulan veri tabanı ile karşılaştırılırken, yine ham sinyal gücü bilgileri değil, ikili erişim noktası farkları alınarak oluşan parmak izi kullanılır. Çizelge 3.1’de verilen örnekte görüldüğü gibi Ref2 konumunda yapılan ölçülerde B cihazı ile Ref1 konumu için en yakın sinyal mesafesi elde edilmiştir. DIFF ile eşleştirme incelendiğinde iki cihazın da konumu doğru bir şekilde bulunmaktadır.

Çizelge 3.1 DIFF yöntemi ve mutlak RSS kullanımı arasında oluşan fark

Geleneksel					
	AP1	AP2	AP3	Ref1 Sinyal Mesafesi	Ref2 Sinyal Mesafesi
Ref1	-72	-58	-77		
Ref2	-53	-48	-69		
A Cihazı	-53	-45	-68	24,71841	3,162278
B Cihazı	-63	-55	-76	9,539392	14,07125
DIFF					
	AP1	AP2	AP3	Ref1 Sinyal Mesafesi	Ref2 Sinyal Mesafesi
Ref1	-14	5	19		
Ref2	-5	16	21		
A Cihazı	-8	15	23	12,32883	3,741657
B Cihazı	-8	13	21	10,19804	4,242641

Gerçek koşullarda 20 test noktasına ait ölçüler ve hataların ortalaması geleneksel ve DIFF yöntemi için Çizelge 3.2’de görülmektedir. Buradan parmak izi veri tabanının oluşturulduğu cihazdan farklı bir cihaz olan C4 ile konum belirlenmek istendiğinde, elde edilen ortalama hata 3,6 metreden 2,5 metreye düşmüştür. Aynı cihaz konumlandırma için kullanıldığında 2,6 m olan konum doğruluğu 2,5 m olarak görülmektedir.

Çizelge 3.2 Test noktalarındaki hataların karşılaştırılması

V4 Ref. Cih.	C4 ile konum hatası(m)		V4 ile konum hatası(m)	
	Mutlak	DIFF	Mutlak	DIFF
1	4,0	4,0	3,9	3,9
2	3,0	1,6	3,0	3,0
3	2,2	2,2	3,0	1,6
4	2,2	2,2	2,2	2,2
5	5,6	5,6	2,2	2,2
6	4,7	4,7	1,5	1,5

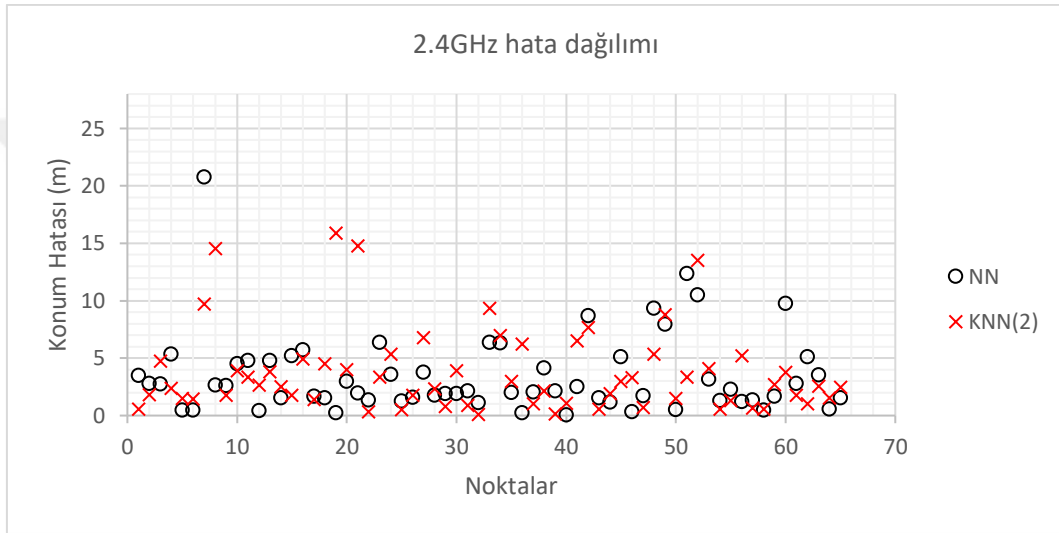
7	2,9	2,9	1,5	1,5
8	3,0	3,0	2,1	2,1
9	1,5	2,2	1,5	1,5
10	3,8	3,8	1,2	2,9
11	7,2	1,2	3,8	2,1
12	2,2	2,2	2,2	2,2
13	1,6	1,6	1,5	1,5
14	1,2	1,4	1,5	1,5
15	2,2	1,2	2,2	2,2
16	3,8	3,8	1,5	3,8
17	1,4	1,4	5,1	3,0
18	3,7	1,5	1,2	1,2
19	4,6	1,5	6,5	6,5
20	10,8	1,5	3,8	3,0
Ortalama	3,6	2,5	2,6	2,5

3.3. Çift-Frekans Parmak İzi Veri Seti ile Konum Belirleme

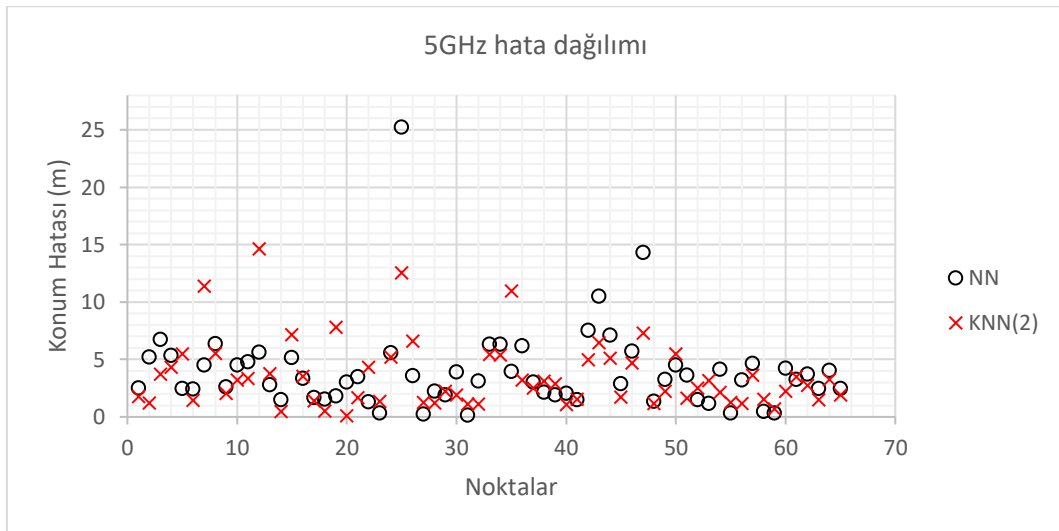
Wi-Fi sinyalleri bu tez çalışmasının yapıldığı dönemde mevcut olan Wi-Fi donanımları ile iki temel frekans olan 2.4GHz ve 5GHz frekanslarında çalışmaktadırlar. Bu sinyaller arasındaki benzerlik ve farklılıklar araştırmacılar tarafından kapalı mekân konum belirleme uygulamalarındaki verimlilikleri açısından halihazırda yoğun olarak incelenmektedir (İlçi ve ark., 2018).

2.4GHz bandı, binalarda kullanılan birçok mikrodalga, kablosuz telefon, bluetooth aksesuarları gibi cihazın ortak kullandığı bir band olduğundan kablosuz iletişim parazitine daha çok maruz kalır ve bunun sonucunda da sinyalde dalgalanma etkisi veya bağlantıda kopmalar oluşur. Diğer yandan bir radyo sinyalinin dalga boyu kısaldığında, yani frekansı arttığında katı objeleri aşma gücü bir o kadar azalır ve bu gerçek ışığında 5GHz bandı bu konuda dezavantajlı konumdadır. Fakat parmak izi konum belirleme çalışmalarında bu iki frekansın birlikte kullanımının doğruluklara ve genel olarak sisteme ne şekilde fayda/zarar sağladığını test etmek gereklidir.

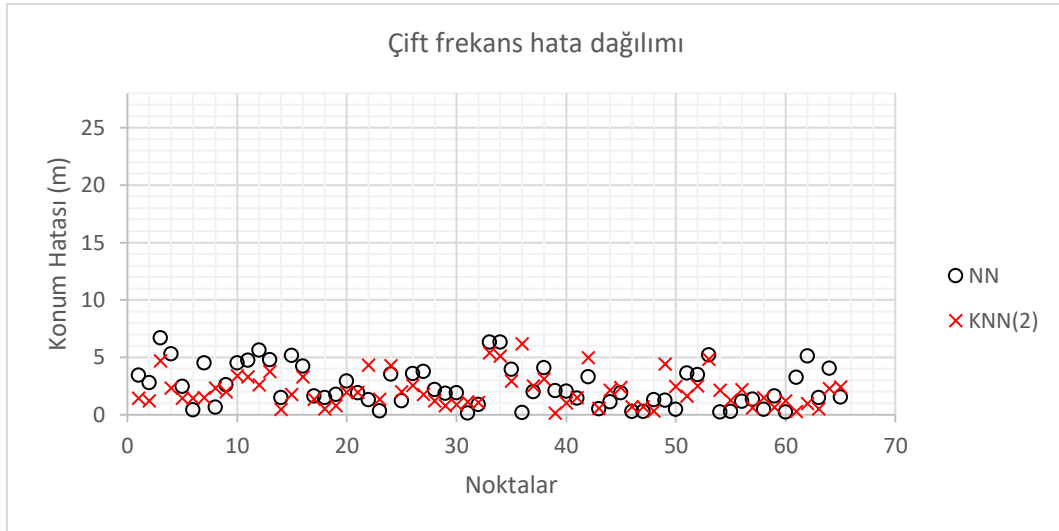
Yaptığımız uygulamada, her iki frekanstaki sinyalde ayrı ayrı elde edilen konum doğrulukları ve yukarıda bahsedilen kombine edilmiş veri seti ile elde edilen hatalar incelenmiştir. Bunun sonucunda her iki frekansta, test noktalarının konum hatalarında 5 metre ve üzerinde görülen sıçramalar saptanmıştır (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6). Algoritma ve analizde değişiklik yapılmaksızın test noktalarının konum doğrulukları kombine edilmiş veri seti ile incelendiğinde, 5 metreden daha büyük kaba hataların kendiliğinden giderildiği görülmüştür (Şekil 3.7). Burada noktayı temsil eden sinyal sayısındaki artış önemli rol oynamaktadır.



Şekil 3.5 2.4GHz frekansında konum hataları

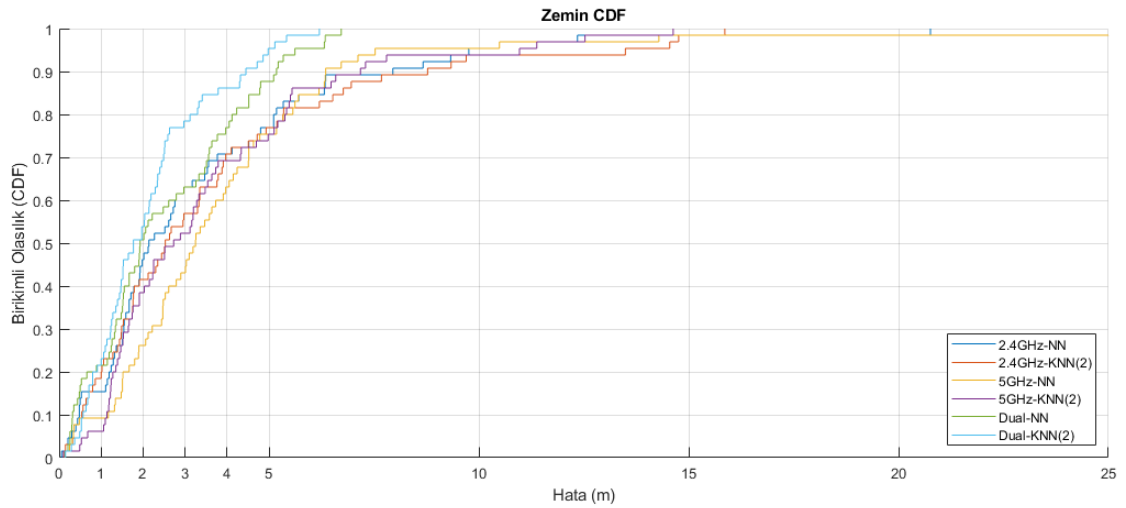


Şekil 3.6 5GHz frekansında konum hataları

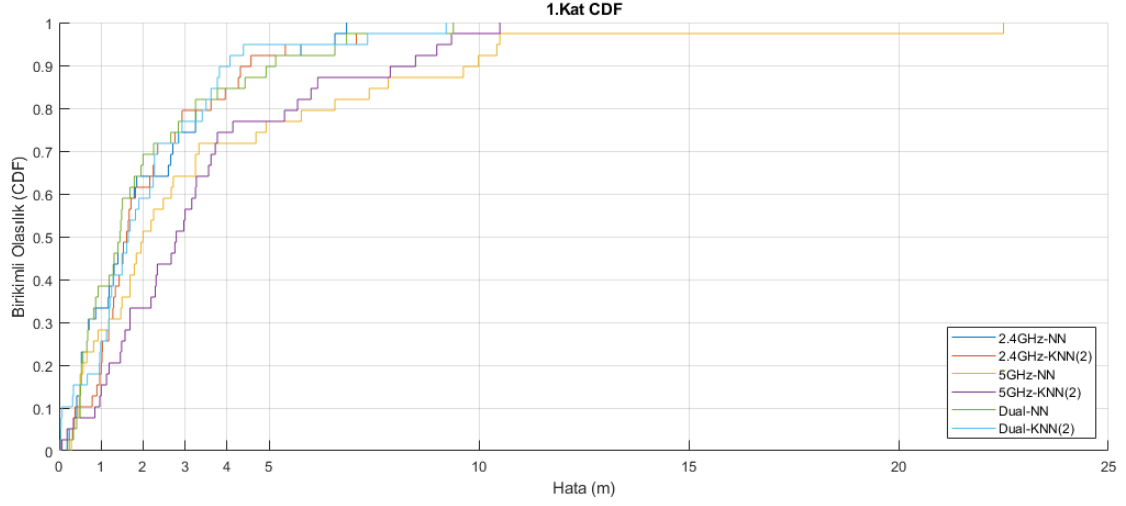


Şekil 3.7 Her iki frekans birlikte kullanıldığında ortaya çıkan konum hataları

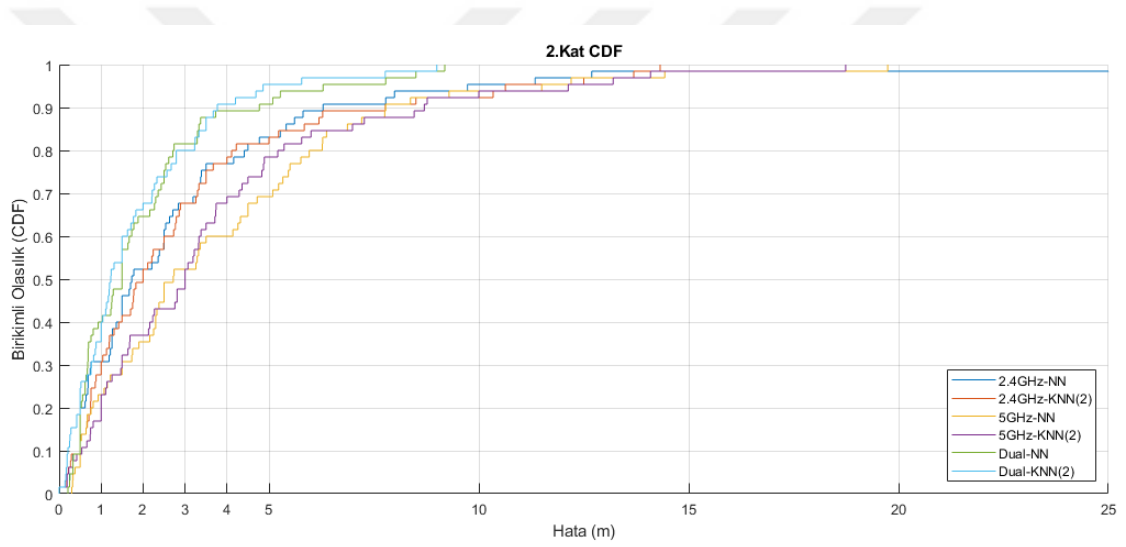
Bu uygulamalarda sıklıkla kullanılan birikimli olasılık fonksiyonu (CDF) grafiği incelendiğinde her iki algoritma için (NN-KNN2) çift frekans kullanımının başarı oranının diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11). Zemin kat ve 1.kat için ölçülerin yaklaşık %85'inde konum doğruluğu $\leq 4m$, 2 ve 3.kat için ölçülerin %85'inde doğruluk yaklaşık $\leq 3.5m$ olarak görülmüştür. Katlar arasındaki farklar, her katta birebir aynı kalibrasyon nokta dağılımı olmamasından, katlar arasındaki yapı farklılığından ve erişim noktalarının bazı konumlarda sayısının değişmesinden kaynaklanmaktadır.



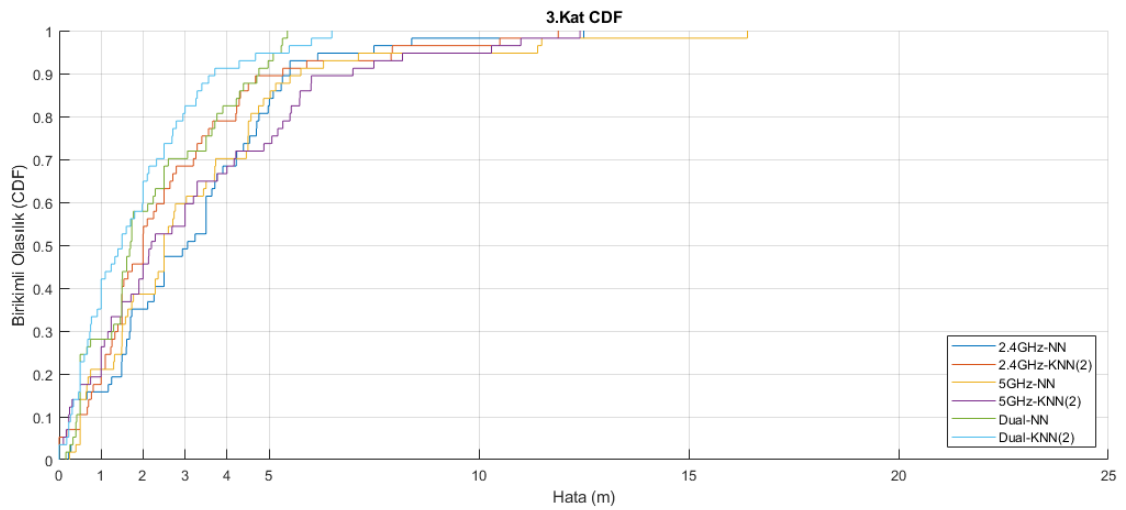
Şekil 3.8 Zemin kata ait CDF grafiği, NN ve KNN algoritmaları ile tek ve çift frekans karşılaştırması



Şekil 3.9 1. kata ait CDF grafiği, NN ve KNN algoritmaları ile tek ve çift frekans karşılaştırması



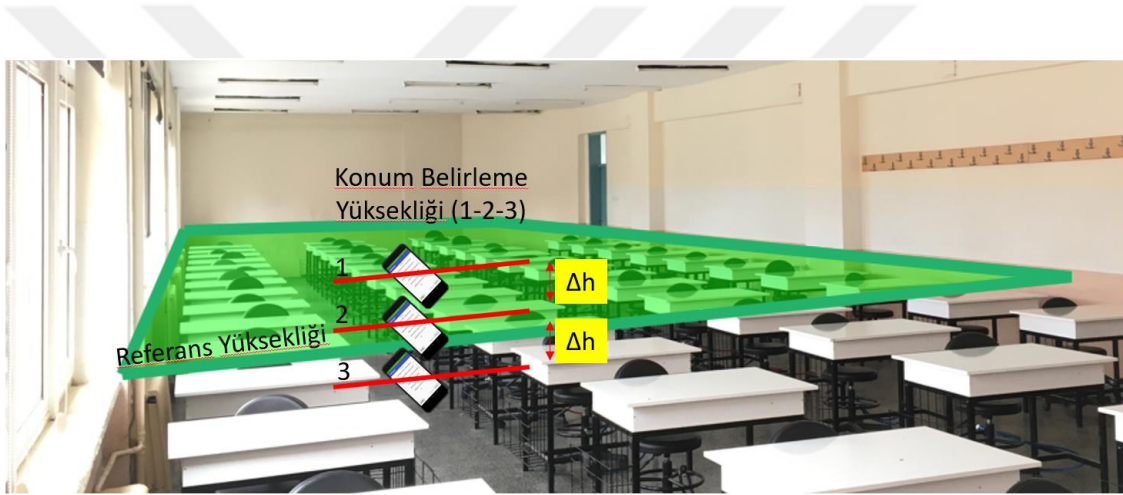
Şekil 3.10 2. kata ait CDF grafiği, NN ve KNN algoritmaları ile tek ve çift frekans karşılaştırması



Şekil 3.11 3. kata ait CDF grafiği, NN ve KNN algoritmaları ile tek ve çift frekans karşılaştırması

3.4. Kalibrasyon Referans Yüksekliğinin Parmak İzi Vektörüne Etkisi

Parmak izi veri tabanı oluşturulurken, kalibrasyon ölçüleri yani diğer bir adıyla referans noktalarında sinyal gücü ölçüleri yapılır. Konum belirleme aşamasında ise, durulan konumdan elde edilen sinyal vektörü, radyo haritasındaki veriler ile karşılaştırılarak çeşitli algoritmalar ile en yakın benzeşme veya benzeşmelerden yola çıkarak koordinatlar hesaplanır. Bu uygulamalar genellikle 2 boyutlu yani kapalı mekânlar için kat düzeyinde çalıştığından, veri tabanında yükseklik bilgisi yer almaz. Bunun yerine kat bilgisi bulunabilir. Ancak, kalibrasyon ölçüleri sırasında mobil cihazın kat tabanından itibaren tutulduğu yükseklik ile konum belirleme aşamasında aday noktadaki mobil cihazın yüksekliği farklı olabilir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Kalibrasyon düzlemi ile konum belirleme düzlemi yükseklik farkı

Örneğin Şekil 3.12’de 2 numaralı mobil cihaz, referans yüksekliği ile aynı düzlemde bulunurken, 1 ve 3 numaralı cihazlar, sinyalin toplandığı yükseklikten farklı noktada bulunurlar. Bunun sonucunda yatay düzlemde aynı konumda bulunmalarına rağmen, yükseklik değiştiğinde farklı düzlemlerde oluşan Wi-Fi sinyal gücü bilgileri de farklılık gösterir.

Bu durumun konum belirlemede radyo haritasına olan etkisini incelemek amacıyla, test bölgesinde bir ölçü düzeneği hazırlanmıştır (Şekil 3.13). Ölçü toplayan cihazın düşey konumunun değiştirilebildiği bu düzenek ile tabandan itibaren 80cm, 90cm, 100cm, 110cm, 120cm, 130cm, 140cm, 150cm ve 160cm yüksekliklerinde sinyal gücü ölçümleri yapılmıştır.



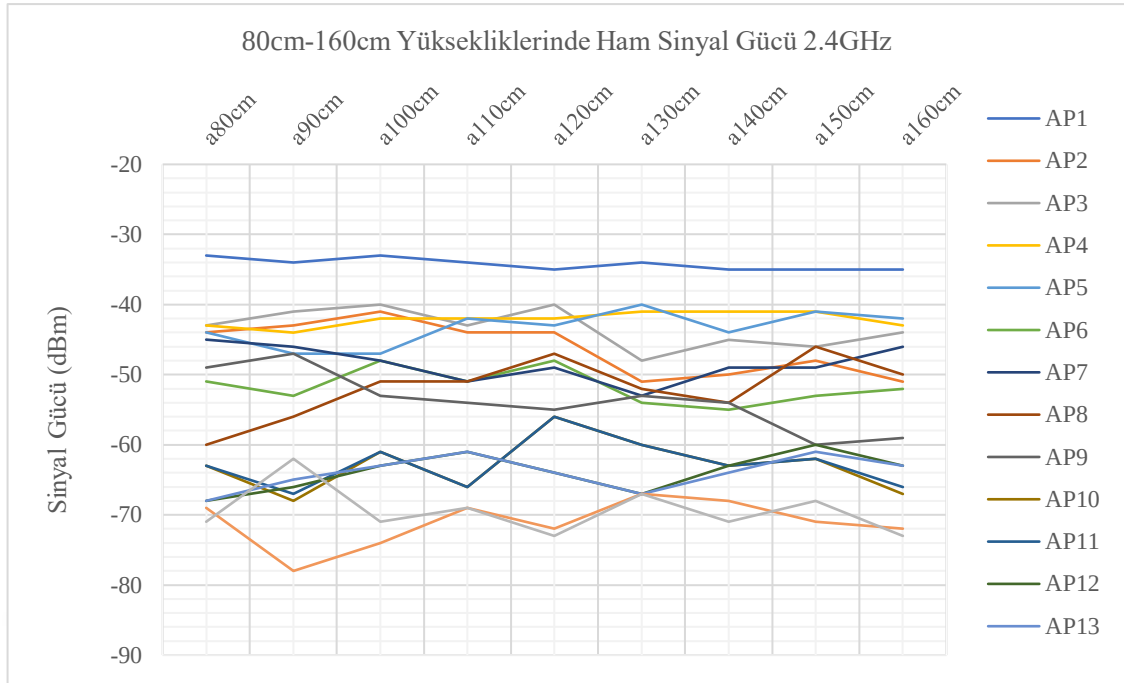
Şekil 3.13 Yükseklik farkı değişimi etkisi için kullanılan ölçü düzeneği

Deney iki açıdan değerlendirilmiştir.

- A) 80cm referans olacak şekilde +80cm yükseklik farkının incelenmesi
- B) 120cm referans olacak şekilde ± 40 cm yükseklik farkının incelenmesi

“A” durumunda 80cm yükseklik farkında oluşan sinyal değişimi gözlenirken, B durumunda, mobil cihazın normal tutuş yüksekliği (120cm) dikkate alınarak, yukarı ve aşağı yönde ± 40 cm konumundaki düzlemlerde değişimler gözlemlenmiştir.

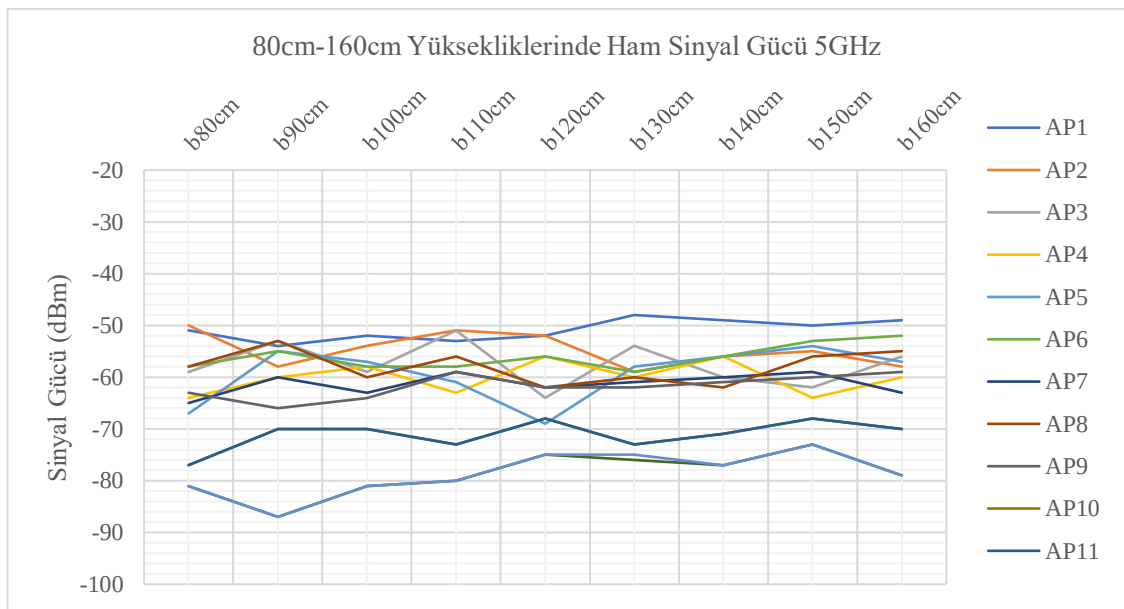
2.4GHz ve 5GHz sinyal davranışlarının farklı olmasından her iki frekans için ayrı ayrı incelemeler gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.14’te birçok kablosuz cihaz tarafından ortak olarak kullanılan ve bu sebeple sinyal gürültüsünden daha çok etkilenen 2.4GHz frekansındaki Wi-Fi sinyallerinin yüksekliğe bağlı değişimi gösterilmiştir. Her bir erişim noktası için (AP) elde edilen sinyaller incelendiğinde yüksekliğe bağlı değişimde 80cm-160cm yükseklikleri arasında herhangi bir trend olmadığı açıkça görülmektedir.



Şekil 3.14 Zeminden 80cm ile 160cm yükseklikleri arasında 2.4GHz sinyal gücü değişimleri

Diğer kablosuz sinyal frekansı (5GHz) incelendiğinde ise Şekil 3.15'te görüldüğü üzere, 5GHz frekansında yukarı yönlü trend görülmekte, yani mobil cihaz tavanda yerleştirilen erişim noktalarına yaklaştıkça, sinyal gücünde artış gözlemlenmektedir.

Her iki durumda da değişimin radyo haritasına etkisini daha iyi görmek için sinyal vektörleri ile, seçilen referans yüksekliği arasında elde edilen farklar Çizelge 3.3, Çizelge 3.4, Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.15 Zeminden 80cm ile 160cm yükseklikleri arasında 5GHz sinyal gücü değişimleri

Çizelge 3.3 80cm referans yüksekliğine göre sinyal gücü farkları 2.4GHz frekansı

80cm Referans yüksekliğinden Farklar 2.4GHz (dBm)															
	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5	AP6	AP7	AP8	AP9	AP10	AP11	AP12	AP13	AP14	AP15
+10cm	-1	1	2	-1	-3	-2	-1	4	2	-5	-4	2	3	-9	9
+20cm	0	3	3	1	-3	3	-3	9	-4	2	2	5	5	-5	0
+30cm	-1	0	0	1	2	0	-6	9	-5	-3	-3	7	7	0	2
+40cm	-2	0	3	1	1	3	-4	13	-6	7	7	4	4	-3	-2
+50cm	-1	-7	-5	2	4	-3	-8	8	-4	3	3	1	1	2	4
+60cm	-2	-6	-2	2	0	-4	-4	6	-5	0	0	5	4	1	0
+70cm	-2	-4	-3	2	3	-2	-4	14	-11	1	1	8	7	-2	3
+80cm	-2	-7	-1	0	2	-1	-1	10	-10	-4	-3	5	5	-3	-2

Çizelge 3.4 80cm referans yüksekliğine göre sinyal gücü farkları 5GHz frekansı

80cm Referans Yüksekliğinden Farklar 5GHz (dBm)													
	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5	AP6	AP7	AP8	AP9	AP10	AP11	AP12	AP13
+10cm	-3	-8	6	4	12	3	5	5	-3	7	7	-6	-6
+20cm	-1	-4	0	6	10	0	2	-2	-1	7	7	0	0
+30cm	-2	-1	8	1	6	0	6	2	4	4	4	1	1
+40cm	-1	-2	-5	8	-2	2	3	-4	1	9	9	6	6
+50cm	3	-9	5	4	9	-1	4	-2	1	4	4	5	6
+60cm	2	-6	-1	8	11	2	5	-4	2	6	6	4	4
+70cm	1	-5	-3	0	13	5	6	2	3	9	9	8	8
+80cm	2	-8	3	4	10	6	2	3	4	7	7	2	2

Çizelge 3.5 120cm referans yüksekliğine göre sinyal gücü farkları 2.4GHz frekansı

120cm Referans Yüksekliğinden Farklar 2.4GHz (dBm)															
	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5	AP6	AP7	AP8	AP9	AP10	AP11	AP12	AP13	AP14	AP15
-40cm	2	0	-3	-1	-1	-3	4	-13	6	-7	-7	-4	-4	3	2
-30cm	1	1	-1	-2	-4	-5	3	-9	8	-12	-11	-2	-1	-6	11
-20cm	2	3	0	0	-4	0	1	-4	2	-5	-5	1	1	-2	2
-10cm	1	0	-3	0	1	-3	-2	-4	1	-10	-10	3	3	3	4
+10cm	1	-7	-8	1	3	-6	-4	-5	2	-4	-4	-3	-3	5	6
+20cm	0	-6	-5	1	-1	-7	0	-7	1	-7	-7	1	0	4	2
+30cm	0	-4	-6	1	2	-5	0	1	-5	-6	-6	4	3	1	5
+40cm	0	-7	-4	-1	1	-4	3	-3	-4	-11	-10	1	1	0	0

Çizelge 3.6 120cm referans yüksekliğine göre sinyal gücü farkları 5GHz frekansı

120cm Referans Yüksekliğinden Farklar 5GHz (dBm)													
	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5	AP6	AP7	AP8	AP9	AP10	AP11	AP12	AP13
-40cm	1	2	5	-8	2	-2	-3	4	-1	-9	-9	-6	-6
-30cm	-2	-6	11	-4	14	1	2	9	-4	-2	-2	-12	-12
-20cm	0	-2	5	-2	12	-2	-1	2	-2	-2	-2	-6	-6
-10cm	-1	1	13	-7	8	-2	3	6	3	-5	-5	-5	-5
+10cm	4	-7	10	-4	11	-3	1	2	0	-5	-5	-1	0
+20cm	3	-4	4	0	13	0	2	0	1	-3	-3	-2	-2
+30cm	2	-3	2	-8	15	3	3	6	2	0	0	2	2
+40cm	3	-6	8	-4	12	4	-1	7	3	-2	-2	-4	-4

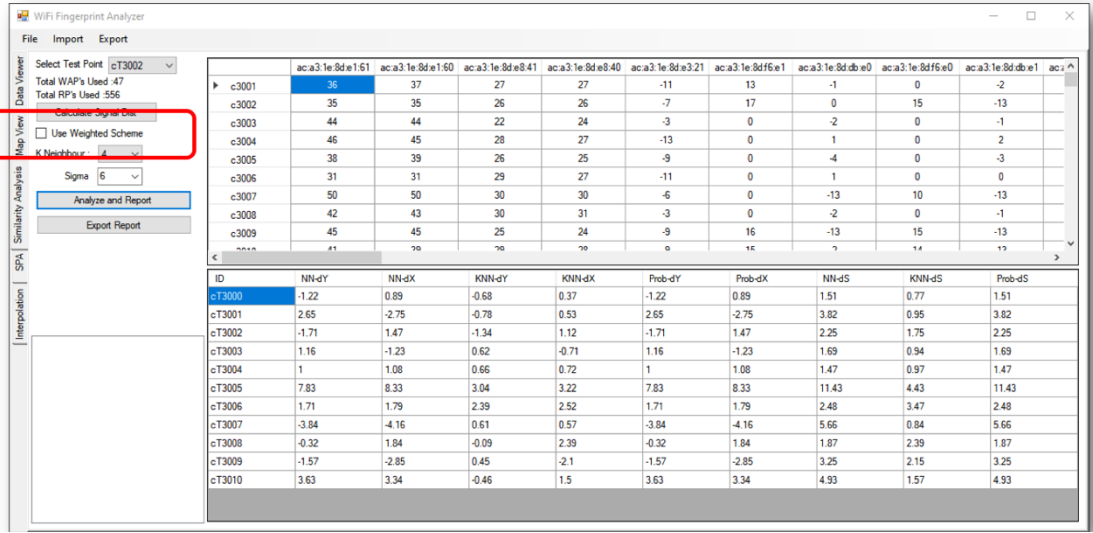
Tüm tablolar incelendiğinde yükseklik değişimine bağlı olarak sinyal gücü bilgisinde anlamlı bir değişim görülmemiştir. Çizelge 3.7’te tüm erişim noktalarından elde edilen minimum ve maksimum sinyal gücü bilgileri arasındaki farkların ortalamaları yükseklik değişimi sebebiyle oluşan sinyal gücü dalgalanmalarına çok yakın olması sebebiyle uygulamada bu yükseklik farkının konum belirlemeye etkisinin olmadığı söylenebilir. Son olarak 5GHz sinyali genel itibariyle daha düşük gürültüye maruz kaldığından, yükseklik farkından kaynaklanan (az da olsa) değişimlerin gözlemlenmesinde daha uygun bir tercihtir.

Çizelge 3.7 Ortalama sinyal gücü farkları

H(cm)	Ortalama Farklar (dBm)	
	2.4GHz	5GHz
80	7.0	2.1
90	7.0	2.6
100	6.0	2.6
110	6.0	2.2
120	6.2	2.4
130	5.6	2.2
140	5.8	2.1
150	7.1	1.7
160	6.0	1.5

3.5. Ağırlıklandırılmış Ölçülerin KNN İle Karşılaştırılması

Daha önce bölüm 2.4’te açıklandığı gibi, KNN algoritması seçilen K sayıda komşu noktanın, aday nokta üzerine eşit derecede etki ettiği bir algoritmadır. Ancak uygulamada yani gerçek şartlarda, komşu noktaların fiziki konumları, aday noktaya aynı yakınlıkta olmamaktadır. Bu durumu incelemek amacıyla fakülte binasında ölçüler toplanmış ve değerlendirilmiştir. Değerlendirme işlemleri, kodlanan analiz yazılımı ile sağlanmış olup, ağırlıklı ölçüler ile işlem için “Use Weighted Scheme” seçeneği işaretlenmelidir (Şekil 3.16). Program bu şekilde seçilen K sayıda komşuyu sinyal mesafelerine göre ağırlıklandırarak nokta konumlarını raporlayacaktır.



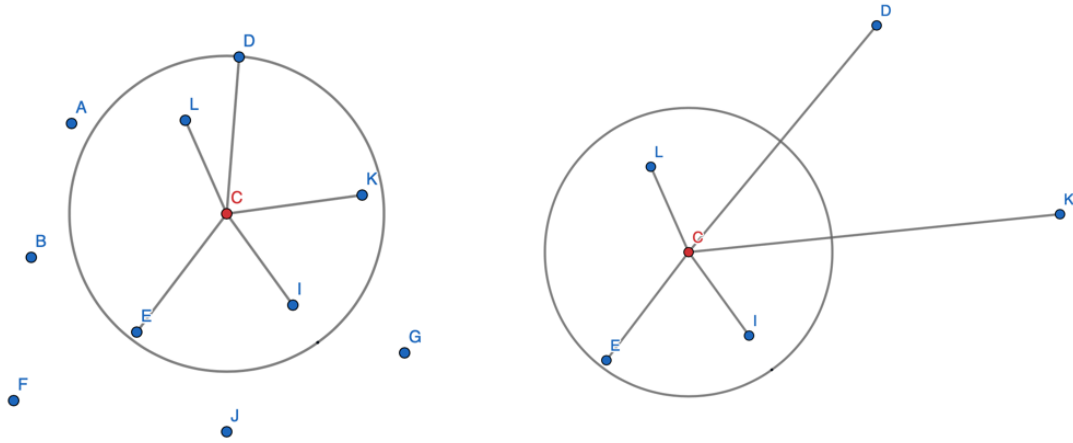
Şekil 3.16 Analiz yazılımının raporlama ekran görüntüsü ve ağırlıklandırma seçeneği

Yapılan çalışmada en yakın komşu algoritmasına kıyasla birden çok komşu seçiminin her zaman konum doğruluğunu iyileştirmede yardımcı olduğunu söyleyebiliriz. Çizelge 3.8’de KNN3’e bakıldığında tüm katlar için 40’cm’ye kadar ortalama hatalarda iyileşme görülürken, komşu sayısı 5’e çıktığında zemin kat için hatalar yükselmiş, diğer katlar için ise bir miktar iyileşme görülmüştür.

Çizelge 3.8 Ağırlıklı ölçülere ait verilerin karşılaştırması

	Ortalama Hatalar (m)				
Katlar	NN	KNN-3	KNN-5	W-KNN-3	W-KNN-5
Zemin	3.08	2.73	3.62	2.66	2.58
1.Kat	3.98	3.53	3.39	3.51	3.39
2.Kat	2.78	2.49	2.38	2.48	2.36
3.Kat	4.55	4.35	4.33	4.33	2.89

Bu noktalar ağırlıklandırılmış şekilde işlendiğinde ise WKNN3 ve WKNN5 sütunlarından görüldüğü gibi tüm katlarda koordinat hatalarının azaldığı görülmektedir. Özellikle kalibrasyon nokta sıklığı ile de alakalı olan bu durum, komşu sayısı arttıkça aday noktadan daha uzaktaki kalibrasyon noktalarının seçilmesi sonucunu doğurur.



Şekil 3.17 En yakın komşu arayışında nokta sıklığının etkisi

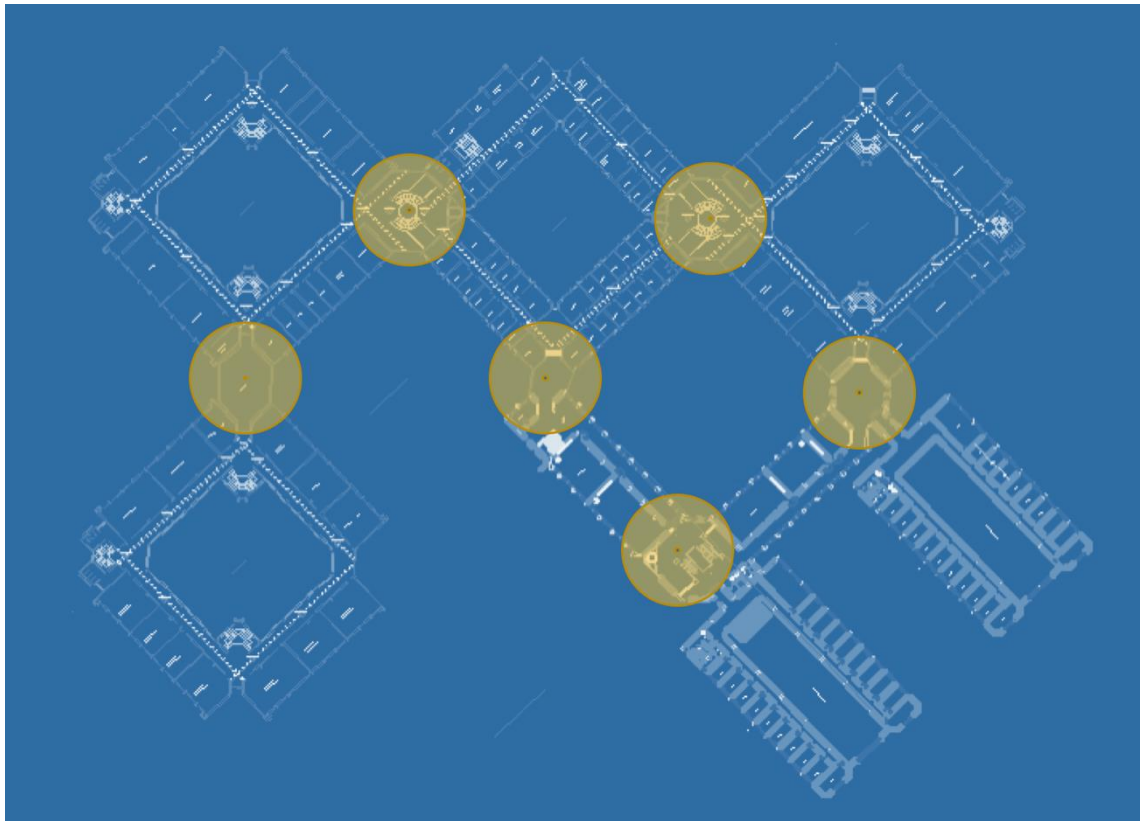
Şekil 3.17’de solda K=5 değeri için komşu noktalar yaklaşık benzer yakınlıkta olduğundan ağırlıklandırmanın etkisi az olurken, nokta sıklığının az olduğu bölgeyi temsil eden sağdaki durumda 5-en yakın komşu seçilirken D ve K noktalarına kadar arama çemberi genişler. Bu durumda ağırlıklandırmanın sonuçlara etkisi daha görünür olur. Sonuç olarak daha az sinyal benzerliğine sahip komşuların, aday noktaya eşit derecede etki ederek konum doğruluğunu bozabildiği söylenebilir.

3.6. Enterpolasyon Sonuçlarının İncelenmesi

Parmak izi yönteminde konum belirleme algoritmaları, aday noktada elde edilen sinyal vektörünü, radyo haritası ile karşılaştırır. Bu işlemin sonucunda da belirli kriterlere bağlı olarak aday noktanın konumunu bir ya da daha çok referans noktasını dayanak

olarak hesaplar. Bu kriterlerden bazıları hangi sinyal mesafe/benzerlik ölçüsünün kullanılacağına belirlenmesi, komşu nokta sayısı statik ise uygun K değerinin belirlenmesi ya da dinamik K değeri kullanımı ve seçim kriteri, kullanılacak veri gösteriminin belirlenmesi(Lineer veya üstel) vb. şeklindedir. İşte bu noktada, radyo haritasında veri olmayan bölgelerin bulunması, algoritmaların aday noktayı, o nokta ile ilişkisi ya da benzerliği daha az olan, mesafe olarak daha uzaktaki noktalardan konumlandırmasına sebep olur.

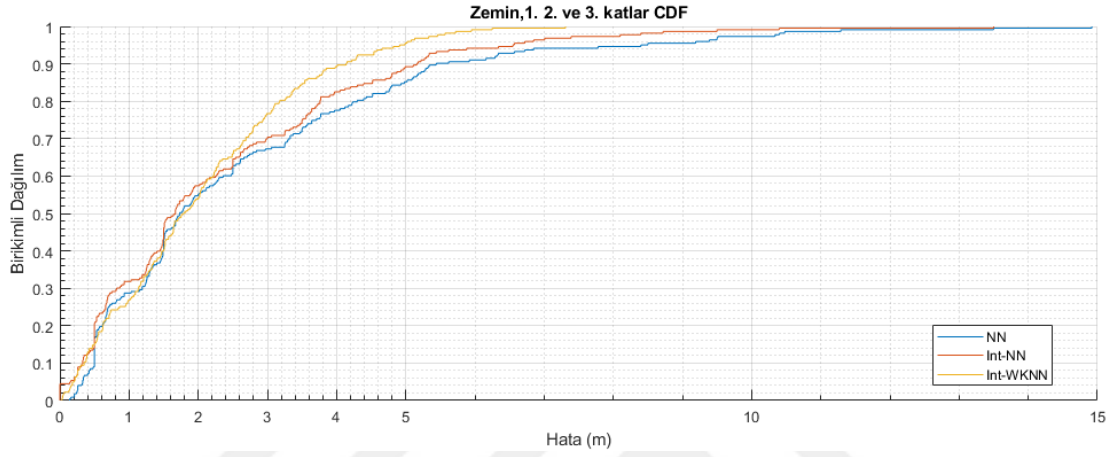
Çalışma bölgesinde genellikle blok geçişlerinde bulunan bu boşluklarda uygulama çalışması gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 Çalışma bölgesinde bulunan veri boşlukları

Enterpolasyon için CAD ortamında boş bölgelere uygun sıklıkta noktalar yerleştirilerek koordinat listeleri elde edilmiştir. Analiz programında Import>Interpolate adımları seçilerek sinyal gücü enterpolasyonu yapılacak noktalara ait koordinat listesi programa yüklenir. Bu aşamadan itibaren bölüm 2.5'teki anlatılanlara göre iş akışı gerçekleştirilir. İşlem sonucunda programdan çıktı olarak enterpole edilmiş noktalardan oluşan parmak izi veri seti elde edilir, bu veri seti, boşluklara sahip veriler ile birleştirilerek bütün bir parmak izi veri tabanı oluşturulmuş olur. Sonuçları gerçek

edildiği görüldüğünden özet olarak Çizelge 3.9’da bu veriler gösterilmiştir. Şekil 3.20’deki birikimli dağılım grafiğinden genel başarımlar daha net bir şekilde görüldüğü gibi, boşlukları doldurulan veri seti ile özellikle 3m ve üzerindeki hataların sayısında ciddi bir azalma olduğu anlaşılmaktadır. Sonuç olarak enterpole edilerek boşluklardan arındırılmış veri seti ile ağırlıklandırılmış ölçüler birlikte kullanıldığında daha iyi konum doğruluğu elde edilmektedir.



Şekil 3.20 NN, IntNN ve Int-WKNN algoritmaları CDF grafiği

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Geliştirilen Wi-Fi analiz yazılımının, güncel yöntemler ile birlikte ham parmak izi verilerini kapsamlı bir şekilde analiz edebilecek kapasiteye gelmesi bu tezin öncelikli konularından birisidir. Eğer parmak izi veri formatında bir standart oluşturulabilirse, GNSS ölçülerinde olduğu gibi bu ölçü dosyalarını okuyup analiz eden ve işleyen programlar yardımıyla araştırmalar hız kazanacaktır. Bu amaçla bu tez çalışmasında dosya türleri için de 3 öneri sunulmaktadır. Kalibrasyon aşamasında sinyal gücü bilgilerini kaydetme konusunda da bir standart bulunmamaktadır. Ancak bazı çalışmalarda radyo haritaları herkese açık olarak tablo verisi şeklinde paylaşılmaktadır (Lohan ve ark., 2017).

Yapılan çalışmalarda farklı yüksekliklerde elde edilen sinyal vektörleri incelendiğinde, 80cm'den yukarı yönde 160cm'ye kadar elde edilen RSS değerlerinde düzenli bir davranış gözlemlenmemiştir. Kapalı mekânda multipath vb. etkilerden oldukça fazla etkilenen kablosuz sinyallerin, her bir 2-boyutlu yatay düzlemde farklı bir radyo haritası oluşturması kaçınılmazdır. Ancak kapalı mekânda yapılacak özel çalışmalar ile belirlenebilecek olan sinyal yayılımı modeli oluşturulduğunda, bu iki boyutlu düzlemlerde oluşan radyo haritaları birbirleri ile ilişkilendirilebilir. Aksi takdirde parmak izi ile konum belirleme metodu için düşey yöndeki yer değiştirmeden (80cm-160cm) oluşan sinyal varyasyonu koordinat belirlemeye etki etmiyor denilebilir. Son olarak bu etkinin, sinyal gürültüleri ve kanal çakışmalarından daha az etkilenen 5GHz sinyali ile incelenmesinin daha anlaşılabilir sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

WKNN (Weighted K-Nearest Neighbour) metodunun, sinyal mesafelerini dikkate alarak aday noktanın konumunu belirlemede daha başarılı olduğu görülmüştür. Ölçü ağırlıklarının olmadığı durumda (KNN), algoritma aday noktayı daima komşu noktaların merkezinde seçtiği için hatalı koordinatlar elde edilmesine sebep olmaktadır.

Uygulamada oluşturulan veri seti içerisinde boşluk olan noktalarda konum belirlenirken, algoritmalar mecburen daha uzaktaki kalibrasyon noktalarını araştırmaktadır. Bu durumda yer yer kaba hataların ortaya çıktığı görülmüştür. Ancak delaunay üçgenleri yardımıyla bu boşlukların doldurulması sonucunda, konum hatalarının iyileştiği gözlemlenmiş ayrıca bu işlemin, kalibrasyon aşamasında harcanan zamanın bir miktar azaltılmasında da fayda sağlayacağı anlaşılmıştır.

4.1. Veri Temsili Üzerine Tartışma (Data Representation)

Wi-Fi sinyal gücüne dayalı matematiksel işlemlerde genel olarak kullanılan birim dBm veya dB_{mW} (Decibels-milliwatts), 1 mW değerine görece desibel biriminde sinyal gücünü ifade etmektedir. Radyo dalgaları, mikrodalgalar gibi çeşitli iletişim ağlarında çok büyük ve çok küçük “güç” değerlerini basitçe ifade ettiğinden dBW yerine tercih edilir. İki birim arasında dönüşüm 4.1 formülü ile gerçekleştirilir.

$$RSS_{dBm} = 10 \log \left(\frac{Power_{mW}}{1mW} \right) \quad (4.1)$$

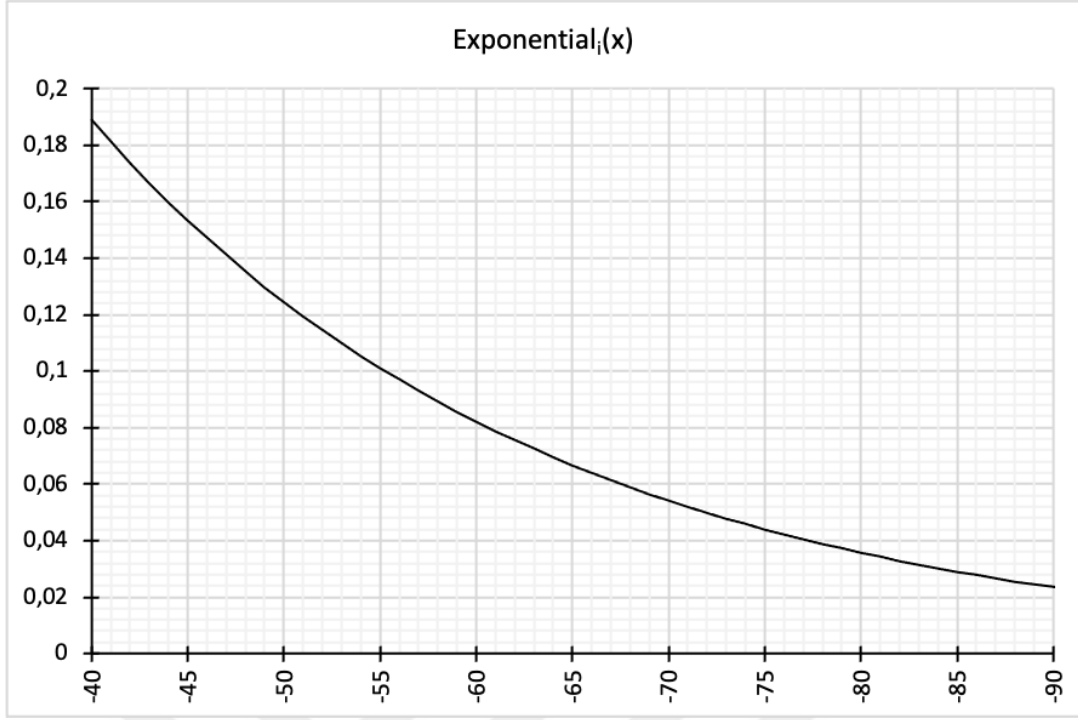
Parmak izi ile konum belirleme uygulamalarında özellikle dikkate alınması ve araştırılması gereken bu husus, sinyal vektörlerinin veritabanı ile en yakın eşleştirmelerini ararken sinyal gücü farkları hesaplandığında önem kazanmaktadır.

Nitekim uygulamada -50dBm ile -60dBm sinyal gücü farkı -70dBm ile -80dBm sinyal gücü farkıyla birebir aynı şeyi ifade eder. Her iki durumda da sinyal gücü kaybı 10dBm’dir. Oysa gerçekte bu farklar arasında mW olarak 100 kat fark vardır. Diğer bir ifade ile gerçekte -70dBm’den -80dBm’e güç kaybı önemsenmeyecek kadar küçükken, -50dBm’den -60dBm’e olan değişim çok daha büyüktür ve çok daha değerli bilgi taşır.

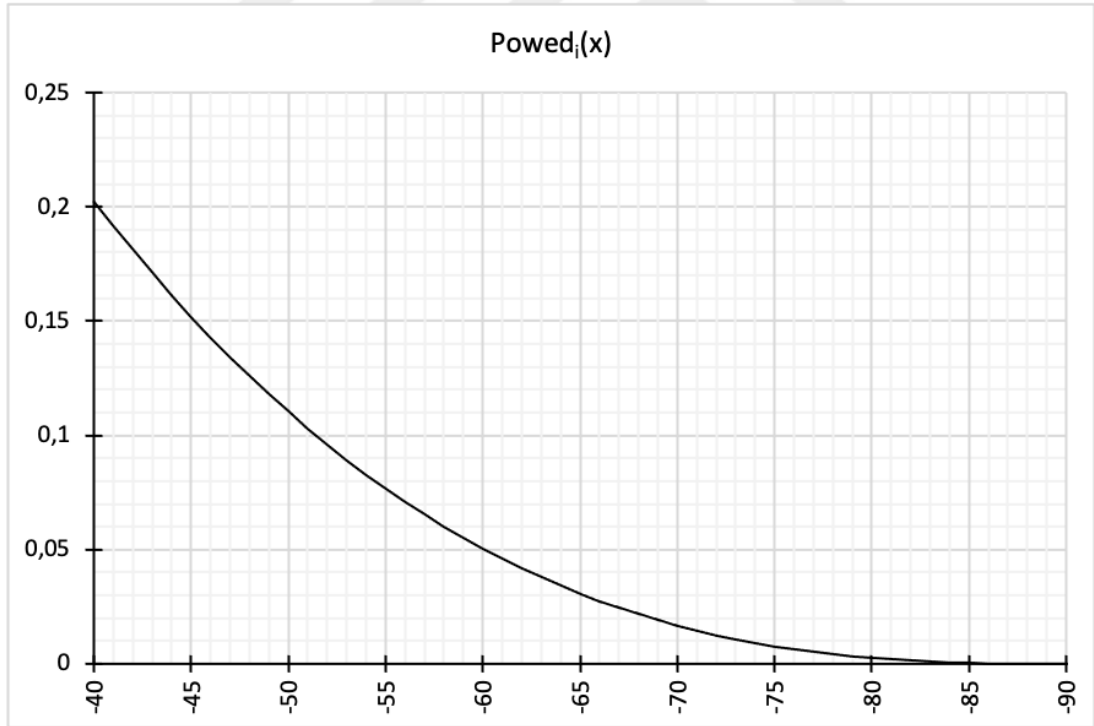
İşte bu nedenle lineer olan dBm yerine veriyi daha iyi temsil eden ve logaritmik bir gösterim tercih edilebilir. Bu konuda Torres-Sospedra ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada birkaç öneri ileri sürmüşlerdir. Aşağıda önerdikleri iki gösterim metodu (Exponential, Powed) ve mW grafikleri ile henüz etkisi tam olarak analiz edilerek bu tez çalışmasına yetiştiremediğimiz mWR grafikleri -40dBm -90dBm arasında verilmiştir. Matematiksel modeller mW için formül 4.1’de, Exponential ve Powed için sırasıyla formül 4.2 ve formül 4.3’te verilmiştir.

$$Exponential_i(x) = \frac{\exp \left(\frac{Positive(x)}{\alpha} \right)}{\exp \left(\frac{-min}{\alpha} \right)} \quad (4.2)$$

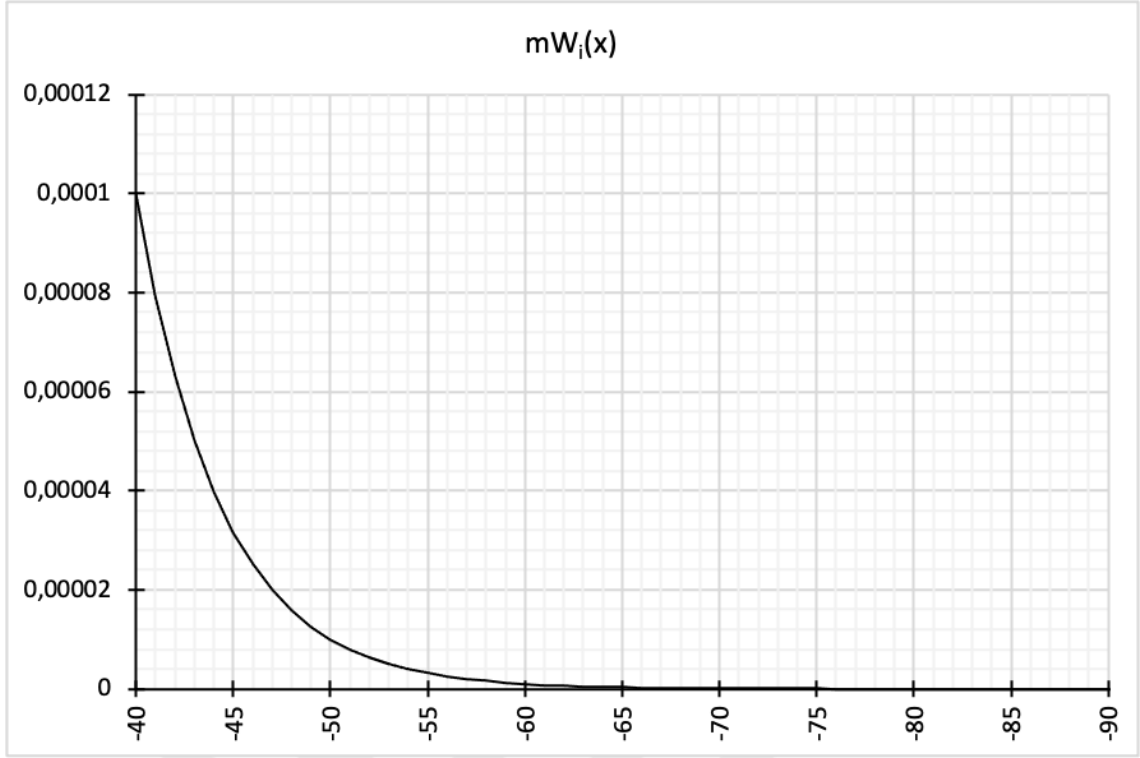
$$Powed_i(x) = \frac{(Positive(x))^\beta}{-min^\beta} \quad (4.3)$$



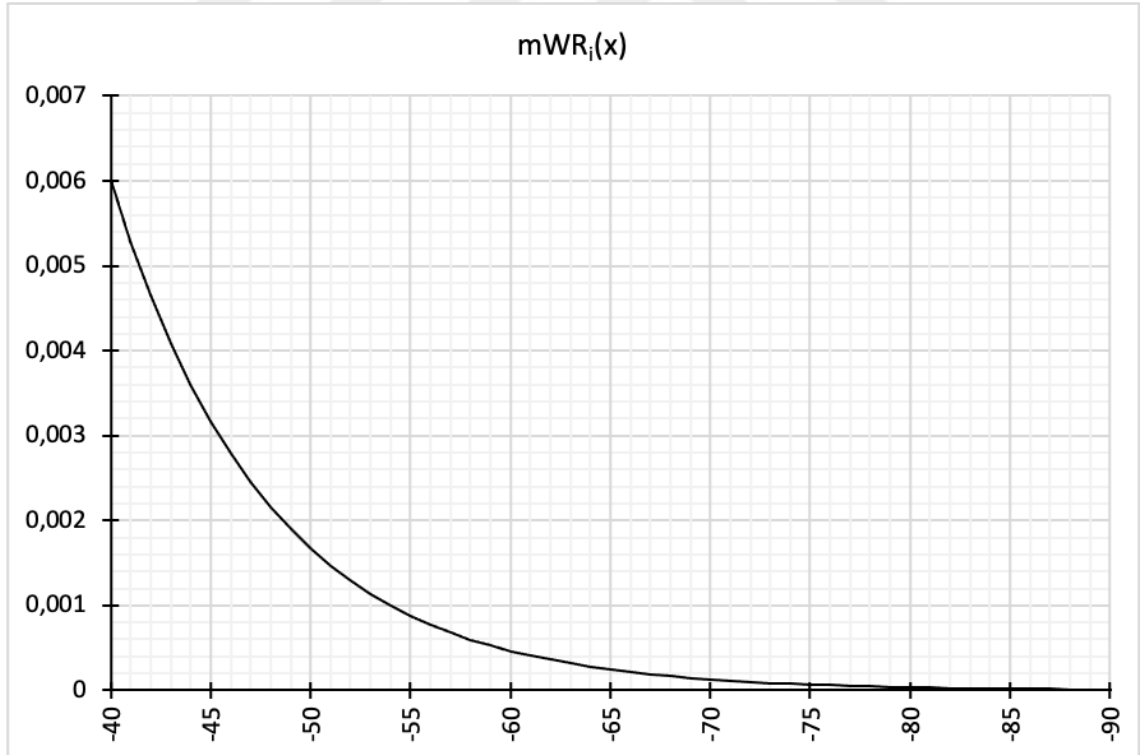
Şekil 3.21 Alınan sinyal gücü gösterimi Exponential ($\alpha = 24$)



Şekil 3.22 Alınan sinyal gücü gösterimi Powered ($\beta = e$)



Şekil 3.23 Alınan sinyal gücü miliwatt grafiği



Şekil 3.24 Alınan sinyal gücü miliwatt oranı (mW-Ratio)

Şekil 3.21’de -90dBm’e kadar sinyallerin ağırlıklarının azalarak ancak ağırlıklarını tamamen kaybetmeyecek şekilde sinyal gücü değişimi görülmektedir. Bunun

altında Şekil 3.22’de Powed grafiğinde ise yüksek sinyal güçlerinde vurgunun daha çok olduğu ve -75dBm -80dBm seviyelerinden sonraki sinyallerin hemen hemen aynı olduğu anlaşılmaktadır, mW grafiği (Şekil 3.23) ile karşılaştırıldığında düşük güçteki sinyaller bir miktar ağırlıklandırılmıştır. Üzerinde çalışmayı sürdürdüğümüz modelde ise (Şekil 3.24) Powed ile mW arasında diyebileceğimiz bir ağırlıklandırma öngörülmektedir.

Sonuç olarak parmak izi ile kapalı mekânlarda konum belirleme çalışmalarında araştırmaya ihtiyaç duyulan birçok konudan birisi olan veri temsili güncel olarak cevap bekleyen sorunlardan birisidir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Kapalı mekânlarda konum belirleme sorunu, günümüzde çok güncel olarak çözüm aranan aktif bir araştırma alanıdır. Bu konuda yapılan çok çeşitli bilimsel çalışmalar, birçok farklı amaca yönelik çeşitli uygulamalar mevcuttur. Alınan sinyal gücü bilgisine dayalı Parmak İzi metodu ile konum belirleme yaklaşımı, avantaj ve dezavantajları ile bilim insanları tarafından yoğun olarak çalışılan bir alandır. Bunun belki de en önemli sebebi, kapalı mekânlarda halihazırda bulunan kablosuz erişim noktalarının (WAP) kullanılması dolayısıyla harici bir kurulum, donanım, makine ve teçhizat gerektirmemesidir. Diğer yandan, kapalı mekânın radyo haritasının üretilmesi aşaması olan kalibrasyon aşaması, zaman alıcı ve emek isteyen bir çalışma olduğundan dezavantaj olarak görülmektedir.

Kablosuz sinyallerin kapalı mekânlardaki davranışlarına bakıldığında anten açısı ile yayılan ortalama sinyal gücünün ilişkili olduğu görülmektedir. Çok yönlü antenlere sahip donanımlar ile yapılan ölçülerde bu anten tiplerinin çörek şeklindeki radyasyon modeli sebebiyle antenlerin düşey ya da diyagonal konumda daha sağlıklı sinyal yayılımı sağladığı görülmüştür. Çok düşük güçte sinyaller çeşitli kontroller ile her ne kadar algoritma dışında tutulabiliyorsa da kullanılabilecek sağlıklı sinyal sayısı azalacağından bu önemli hususa dikkat edilmelidir.

Parmak izi konum belirlemede konum doğruluğuna etkiyen diğer bir faktör ise donanımların çeşitliliğidir. GNSS sistemlerinde de yüzlerce anten tipi bulunmaktadır fakat faz merkezi gibi antene özel konfigürasyon dosyaları kullanıma açıktır. Mobil cihazların kullanım ömürleri ve inanılmaz çeşitliliği göz önüne alındığında Wi-Fi donanımları için böyle bir çözüm söz konusu olamaz. Bu nedenle tez çalışmasında uygulaması gerçekleştirilen DIFF yöntemi gibi çözümler önerilmektedir. Burada deneyler sonucunda iki farklı cihaz ile elde edilen konum bilgileri, alınan sinyal gücü farklarından oluşturulan radyo haritasından hesaplanmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde ise kalibrasyonun yapıldığı cihazdan farklı bir cihaz ile elde edilen konum hatalarının ortalama 3.6m'den 2.5m'ye kadar düşerek, kalibrasyon cihazı ile aynı seviyeye geldiği görülmüştür. Bir kapalı mekân konum belirleme sisteminde Wi-Fi donanım farklılığının konum belirleme süreci içerisine algoritmaya mutlaka dahil edilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Günümüzde Wi-Fi 6 olarak son haline ulaşan kablosuz teknoloji, bu tezin bitim tarihi dahil olmak üzere sivil kullanımda büyük çoğunlukla iki frekansta çalışmaktadır. Yayılım özellikleri farklı olan bu iki frekans (2.4GHz ve 5GHz), parmak izi konum belirleme yöntemi açısından ele alındığında koşullara bağlı olarak elde edilen konum doğrulukları değişmektedir. Örneğin kullanım alanı çok geniş olan 2.4GHz sinyali parazite daha çok maruz kalırken, 5GHz sinyali yüksek frekansı sebebiyle engelleri aşmakta daha kötüdür. Yapılan deney sonuçlarında her iki sinyalin tek başlarına kullanıldığında kaba hatalar ile birlikte benzer konumsal doğruluk sağladığı görülmüştür. Fakat yukarıda da bahsedilen yayılım farklılıkları sebebiyle iki sinyalin birlikte oluşturduğu bir radyo haritası ile sistemde başka bir değişiklik yapmadan kaba hataların ortadan kalktığı görülmüştür.

Kalibrasyon aşamasında tabandan belirli bir yükseklikte veriler toplanarak radyo haritası oluşturulmaktadır. Yapılan çalışmaların çoğunda da konum doğrulukları aynı yükseklikte yapılan test ölçüleri ile değerlendirilmektedir. Bu tez çalışmasında yüksekliğin sinyal vektörlerine sonucu değiştirecek kadar etki edip etmediği araştırılmıştır. Sonuç olarak ise kapalı mekânlarda ağırlıklı olan sinyallerin NLOS sinyaller olmasından dolayı gelen sinyallerde olan küçük değişikliklerin genel olarak parmak izini, yani sinyal vektörünü etkileyecek seviyede olmadığı görülmüştür. Gerçek şartlarda yapılan deney sonuçlarında, kablosuz sinyal gücündeki zamansal değişimlerin, 80cm'ye kadar olan yükseklik farkından kaynaklanan sinyal gücü değişimlerinden daha büyük olduğu anlaşılmıştır. Fakat 5GHz sinyali çevresel faktörlerden daha az etkilendiği için yükseklik etkisinin gözlemlenmesinde ve ileriki araştırmalarda kullanılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Konum belirleme algoritmalarında birden çok kalibrasyon noktasından faydalandığı durumlarda (KNN, $K>1$), seçilen komşu noktaların konumu hesaplanacak nokta üzerindeki etkisi eşit değildir. Dolayısıyla bu noktalara ait ölçülerin ağırlıklandırılmaları gereklidir. Yapılan çalışmalarda ağırlıklı ölçüler ile çalışma bölgesi binasının tüm katlarında en yakın komşu ve K-en yakın komşu algoritmalarına göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Komşu sayısı (K) deneysel olarak seçilen sabit bir değer olmakla birlikte, kapalı mekân tipine göre değişken olmasının fayda sağlayabileceği, nokta sıklığına bağlı olarak konum doğruluğunu artırabileceği söylenebilir.

Kalibrasyon aşaması parmak izi yöntemi için çok önemli olduğundan, ne kadar hızlı ve ekonomik yapılabilirse, güncellenmesi ya da yenilenmesi gibi durumlar ortaya çıktığında o kadar az emek harcanarak konum belirleme sistemi çalışır hale getirilebilir.

Bunun için kalibrasyon nokta sıklığını interpolasyon ile artırmak ya da bazı veri boşluğu olan alanları doldurmak faydalı olabilir. Yapılan çalışmada fakülte binasının blok geçişlerinde bulunan veri boşluğu olan bölgelerde interpolasyon ile parmak izi verileri oluşturularak gerçek parmak izi verileri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde tüm katlarda konum doğruluklarında minör iyileşmeler sağlandığı görülmüştür. Kapalı mekân koşullarına ve nokta sıklığına bağlı olarak sonuçlara etkisinin artabileceği düşünülmektedir.

5.2. Öneriler

Teknolojinin ilerlemesine paralel olarak Wi-Fi sinyallerindeki gelişmelerin, kapalı mekânlarda konum belirleme sorununa çözüm arayışında yeni kapılar açacağı düşünülmektedir. Yeni yöntem ve uygulamalar ile açık alanlarda GNSS sistemlerinin sunduğu güvenilir, anlık ve yüksek doğrulukta konum belirleme hizmetinin kapalı mekânlarda karşılığının olması, iç-dış mekân arasında konum bilgisi açısından günümüzde mevcut olan ayrılığın ortadan kalkmasını sağlayacaktır. Bu bağlamda bina içi navigasyonun sağlanması, insan ve eşyaların konumlarının tespiti için Wi-Fi teknolojisinin kullanılması,

- Altyapının hazır olması
- Geniş kullanım alanları
- Kullanım yaygınlığı
- Güncellenebilir olması
- Genişletilebilir olması

gibi özellikleri bakımından önerilmektedir. Nitekim Wi-Fi 6 ve devamında gelmesi muhtemel olan versiyonlar ile daha yüksek frekans ve geniş bant aralıkları sayesinde kapalı mekânlarda yayılan kablosuz sinyallerin konum belirleme kabiliyetlerinin incelenmesi ve araştırılması gerekecektir. Bu nedenle gerek yazılımsal olarak gerekse matematiksel modellerin uygulanması açısından temellerin oluşturulması önem arz etmektedir. Son olarak bulunduğumuz yılda Covid-19 sebebiyle sosyal mesafenin kapalı mekânlarda tespit edilerek bulaş riskinin belirlenmesi ya da en aza indirgenmesi gibi insanların faydasına olacak uygulamalar yapılabilmesi mümkündür. Fakat her yönden bizleri saran ister hücresel 5G sinyalleri olsun ister Wi-Fi 6 ya da sonraki yıllarda ortaya çıkacak daha güçlü/daha yüksek frekanslı sinyaller olsun, bunların insan sağlığına etkileri

araştırılmalıdır. Başka bir boyut ise kablosuz sinyallerin, işteğimiz dışında kullanılarak bilgi-iletişim araçları yoluyla büyük veriye dönüştürülmesi üzerine düşünülmesi, hatta bu sinyallerin (Wi-Fi, Bluetooth, 5G vb.) belki de bazı devlet kurumlarında kullanımının sınırlandırılması gerekliliği üzerine bazı yönergeler veya kullanma esasları oluşturulması gerekliliğidir.



KAYNAKLAR

- Al-Ammar, M. A., Alhadhrami, S., Al-Salman, A., Alarifi, A., Al-Khalifa, H. S., Alnafessah, A. ve Alsaleh, M., 2014, Comparative survey of indoor positioning technologies, techniques, and algorithms, *2014 International Conference on Cyberworlds*, 245-252.
- Ali-Löytty, S., Sirola, N. ve Piché, R., 2005, Consistency of three Kalman filter extensions in hybrid navigation, *Proceedings of The European Navigation Conference GNSS*, 1049-1056.
- Au, A. W. S., Feng, C., Valaee, S., Reyes, S., Sorour, S., Markowitz, S. N., Gold, D., Gordon, K. ve Eizenman, M., 2012, Indoor tracking and navigation using received signal strength and compressive sensing on a mobile device, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 12 (10), 2050-2062.
- Bahl, P. ve Padmanabhan, V. N., 2000, RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system, *Proceedings IEEE INFOCOM 2000. Conference on Computer Communications. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (Cat. No. 00CH37064)*, 775-784.
- Bi, J., Wang, Y., Li, X., Qi, H., Cao, H. ve Xu, S., 2018, An adaptive weighted KNN positioning method based on omnidirectional fingerprint database and twice affinity propagation clustering, *Sensors*, 18 (8), 2502.
- Bolliger, P., 2008, Redpin-adaptive, zero-configuration indoor localization through user collaboration, *Proceedings of the first ACM international workshop on Mobile entity localization and tracking in GPS-less environments*, 55-60.
- Cha, S.-H., 2007, Comprehensive survey on distance/similarity measures between probability density functions, *City*, 1 (2), 1.
- Cheng, W., Tan, K., Omwando, V., Zhu, J. ve Mohapatra, P., 2013, RSS-Ratio for enhancing performance of RSS-based applications, *2013 Proceedings IEEE INFOCOM*, 3075-3083.
- Choi, T., Chon, Y., Kim, Y., Kim, D. ve Cha, H., 2016, Enhancing WiFi-fingerprinting accuracy using RSS calibration in dual-band environments, *Pervasive and Mobile Computing*, 30, 45-57.
- Chowdhury, T. J., Elkin, C., Devabhaktuni, V., Rawat, D. B. ve Oluoch, J., 2016, Advances on localization techniques for wireless sensor networks: A survey, *Computer Networks*, 110, 284-305.
- Cota-Ruiz, J., Rosiles, J.-G., Sifuentes, E. ve Rivas-Perea, P., 2012, A low-complexity geometric bilateration method for localization in wireless sensor networks and its comparison with least-squares methods, *Sensors*, 12 (1), 839-862.
- Davidson, P. ve Piché, R., 2016, A survey of selected indoor positioning methods for smartphones, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19 (2), 1347-1370.
- Dawes, B. ve Chin, K.-W., 2011, A comparison of deterministic and probabilistic methods for indoor localization, *Journal of Systems and Software*, 84 (3), 442-451.
- De Poorter, E., Van Haute, T., Laermans, E. ve Moerman, I., 2017, Benchmarking of localization solutions: guidelines for the selection of evaluation points, *Ad Hoc Networks*, 59, 86-96.
- Della Rosa, F., Paakki, T., Nurmi, J. ve Pelosi, M., 2013, Exploiting RSS measurements among neighbouring devices: A matter of trust, *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, 1-8.

- Della Rosa, F., Pelosi, M. ve Nurmi, J., 2017, Indoor positioning in WLAN, *Mobile Positioning and Tracking: From Conventional to Cooperative Techniques*, 261-282.
- Deng, Z., Yu, Y., Yuan, X., Wan, N. ve Yang, L., 2013, Situation and development tendency of indoor positioning, *China Communications*, 10 (3), 42-55.
- Disha, A., 2013, A comparative analysis on indoor positioning techniques and systems, *International Journal of Engineering Research and Applications*, 3 (2), 1790.
- Dong, F., Chen, Y., Liu, J., Ning, Q. ve Piao, S., 2009, A calibration-free localization solution for handling signal strength variance, *International Workshop on Mobile Entity Localization and Tracking in GPS-less Environments*, 79-90.
- Dong, K., Ling, Z., Xia, X., Ye, H., Wu, W. ve Yang, M., 2017a, Dealing with insufficient location fingerprints in Wi-Fi based indoor location fingerprinting, *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2017.
- Dong, K., Wu, W., Ye, H., Yang, M., Ling, Z. ve Yu, W., 2017b, Canoe: An autonomous infrastructure-free indoor navigation system, *Sensors*, 17 (5), 996.
- Du, Y., Yang, D. ve Xiu, C., 2015, A novel method for constructing a WiFi positioning system with efficient manpower, *Sensors*, 15 (4), 8358-8381.
- Duda, R. O., Hart, P. E. ve Stork, D. G., 2012, Pattern classification, John Wiley & Sons, p.
- Fang, X., Jiang, Z., Nan, L. ve Chen, L., 2018, Optimal weighted K-nearest neighbour algorithm for wireless sensor network fingerprint localisation in noisy environment, *Iet Communications*, 12 (10), 1171-1177.
- Fang, Y., Deng, Z., Xue, C., Jiao, J., Zeng, H., Zheng, R. ve Lu, S., 2015, Application of an improved K nearest neighbor algorithm in WiFi indoor positioning, *China Satellite Navigation Conference (CSNC) 2015 Proceedings: Volume III*, 517-524.
- Farid, Z., Nordin, R. ve Ismail, M., 2013, Recent advances in wireless indoor localization techniques and system, *Journal of Computer Networks and Communications*, 2013.
- Feng, C., Au, W. S. A., Valaee, S. ve Tan, Z., 2012, Received-signal-strength-based indoor positioning using compressive sensing, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 11 (12), 1983-1993.
- Gao, Y., Chang, Y., Su, B., Xue, J. ve Li, A., 2017, Analysis of localization using multipath characteristics as location fingerprint, *2017 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 1-5.
- Gettapola, K., Ranaweera, R. D., Godaliyadda, G. I. ve Imara, M., 2017, Location based fingerprinting techniques for indoor positioning, *2017 6th National Conference on Technology and Management (NCTM)*, 175-180.
- Guerrero, L. A., Vasquez, F. ve Ochoa, S. F., 2012, An indoor navigation system for the visually impaired, *Sensors*, 12 (6), 8236-8258.
- Haeberlen, A., Flannery, E., Ladd, A. M., Rudys, A., Wallach, D. S. ve Kavraki, L. E., 2004, Practical robust localization over large-scale 802.11 wireless networks, *Proceedings of the 10th annual international conference on Mobile computing and networking*, 70-84.
- He, C., Guo, S., Wu, Y. ve Yang, Y., 2016, A novel radio map construction method to reduce collection effort for indoor localization, *Measurement*, 94, 423-431.
- He, J., Li, S., Pahlavan, K. ve Wang, Q., 2012, A realtime testbed for performance evaluation of indoor TOA location system, *2012 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 482-486.

- He, S., Chan, S.-H. G., Yu, L. ve Liu, N., 2015, Fusing noisy fingerprints with distance bounds for indoor localization, *2015 IEEE conference on computer communications (INFOCOM)*, 2506-2514.
- Honkavirta, V., Perala, T., Ali-Loytty, S. ve Piché, R., 2009, A comparative survey of WLAN location fingerprinting methods, *2009 6th workshop on positioning, navigation and communication*, 243-251.
- Hossain, A. M. ve Soh, W.-S., 2010, Cramer-Rao bound analysis of localization using signal strength difference as location fingerprint, *2010 Proceedings IEEE INFOCOM*, 1-9.
- Hossain, A. M. ve Soh, W.-S., 2015, A survey of calibration-free indoor positioning systems, *Computer Communications*, 66, 1-13.
- İlçi, V., Güllal, E. ve Alkan, R. M., 2018, An investigation of different Wi-Fi signal behaviours and their effects on indoor positioning accuracy, *Survey Review*, 50 (362), 404-411.
- Jamâa, M. B., Koubâa, A. ve Kayani, Y., 2012, Easyloc: Rss-based localization made easy, *Procedia Computer Science*, 10, 1127-1133.
- Jun, J., Chakraborty, S., He, L., Gu, Y. ve Agrawal, D. P., 2015, Robust and undemanding wifi-fingerprint based indoor localization with independent access points, *Proceedings of the Microsoft Indoor Localization Competition (IPSN)*, 13-17.
- Jung, S. H., Moon, B.-C. ve Han, D., 2016, Performance evaluation of radio map construction methods for Wi-Fi positioning systems, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18 (4), 880-889.
- Kaemarungsi, K. ve Krishnamurthy, P., 2004, Properties of indoor received signal strength for WLAN location fingerprinting, *The First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, 2004. MOBIQUITOUS 2004.*, 14-23.
- Kaemarungsi, K., 2006, Distribution of WLAN received signal strength indication for indoor location determination, *2006 1st International Symposium on Wireless Pervasive Computing*, 6 pp.-6.
- Kaemarungsi, K. ve Krishnamurthy, P., 2012, Analysis of WLAN's received signal strength indication for indoor location fingerprinting, *Pervasive and Mobile Computing*, 8 (2), 292-316.
- Karabey, I., 2015, Wi-Fi Tabanlı Parmak İzi Yöntemi Kullanarak İç Ortam Konumlandırma, *Atatürk Üniversitesi*, 100.
- Khan, M., Kai, Y. D. ve Gul, H. U., 2017, Indoor Wi-Fi positioning algorithm based on combination of location fingerprint and unscented Kalman filter, *2017 14th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST)*, 693-698.
- Khodayari, S., Maleki, M. ve Hamed, E., 2010, A RSS-based fingerprinting method for positioning based on historical data, *Proceedings of the 2010 International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS'10)*, 306-310.
- Koo, J. ve Cha, H., 2010, Localizing WiFi access points using signal strength, *IEEE Communications letters*, 15 (2), 187-189.
- Koweerawong, C., Wipusitwarakun, K. ve Kaemarungsi, K., 2013, Indoor localization improvement via adaptive RSS fingerprinting database, *The International Conference on Information Networking 2013 (ICOIN)*, 412-416.
- Koyuncu, H. ve Yang, S. H., 2010, A survey of indoor positioning and object locating systems, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 10 (5), 121-128.

- Kul, G., Özyer, T. ve Tavli, B., 2014, IEEE 802.11 WLAN based real time indoor positioning: Literature survey and experimental investigations, *Procedia Computer Science*, 34, 157-164.
- Kurt, Ö. F., 2005, Location Estimation by Fingerprinting in Cellular Networks, *Koç Üniversitesi*.
- Kushki, A., Plataniotis, K., Venetsanopoulos, A. ve Regazzoni, C., 2005, Radio map fusion for indoor positioning in wireless local area networks, *2005 7th International Conference on Information Fusion*, 8 pp.
- Li, B., Wang, Y., Lee, H. K., Dempster, A. ve Rizos, C., 2005, Method for yielding a database of location fingerprints in WLAN, *IEE proceedings-communications*, 152 (5), 580-586.
- Li, B., Dempster, A. G. ve Wang, J., 2011, 3D DOPs for positioning applications using range measurements, *Wireless sensor network*, 3 (10), 334.
- Li, C., Qiu, Z. ve Liu, C., 2017a, An improved weighted k-nearest neighbor algorithm for indoor positioning, *Wireless Personal Communications*, 96 (2), 2239-2251.
- Li, L., Yang, W., Alam Bhuiyan, M. Z. ve Wang, G., 2016, Unsupervised learning of indoor localization based on received signal strength, *Wireless Communications and Mobile Computing*, 16 (15), 2225-2237.
- Li, X., 2006, RSS-based location estimation with unknown pathloss model, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 5 (12), 3626-3633.
- Li, X., Hua, B., Shang, Y., Guo, Y. ve Yue, L., 2007, Bilateralization: an attack-resistant localization algorithm of wireless sensor network, *International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing*, 321-332.
- Li, X., Hua, B., Shang, Y. ve Xiong, Y., 2008, A robust localization algorithm in wireless sensor networks, *Frontiers of computer science in China*, 2 (4), 438-450.
- Li, Y., Zhuang, Y., Zhang, P., Lan, H., Niu, X. ve El-Sheimy, N., 2017b, An improved inertial/wifi/magnetic fusion structure for indoor navigation, *Information Fusion*, 34, 101-119.
- Li, Z., Braun, T. ve Dimitrova, D. C., 2015, A passive wifi source localization system based on fine-grained power-based trilateration, *2015 IEEE 16th International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*, 1-9.
- Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P. ve Liu, J., 2007, Survey of wireless indoor positioning techniques and systems, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 37 (6), 1067-1080.
- Liu, X. C., Zhang, S., Zhao, Q.-y. ve Lin, X.-k., 2010, A real-time algorithm for fingerprint localization based on clustering and spatial diversity, *International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems*, 74-81.
- Lohan, E. S., Torres-Sospedra, J., Leppäkoski, H., Richter, P., Peng, Z. ve Huerta, J., 2017, Wi-Fi crowdsourced fingerprinting dataset for indoor positioning, *Data*, 2 (4), 32.
- Luo, C., Hong, H., Cheng, L., Chan, M. C., Li, J. ve Ming, Z., 2016, Accuracy-aware wireless indoor localization: Feasibility and applications, *Journal of Network and Computer Applications*, 62, 128-136.
- Luo, J. ve Fu, L., 2017, A smartphone indoor localization algorithm based on WLAN location fingerprinting with feature extraction and clustering, *Sensors*, 17 (6), 1339.
- Luo, X., O'Brien, W. J. ve Julien, C. L., 2011, Comparative evaluation of Received Signal-Strength Index (RSSI) based indoor localization techniques for construction jobsites, *Advanced Engineering Informatics*, 25 (2), 355-363.

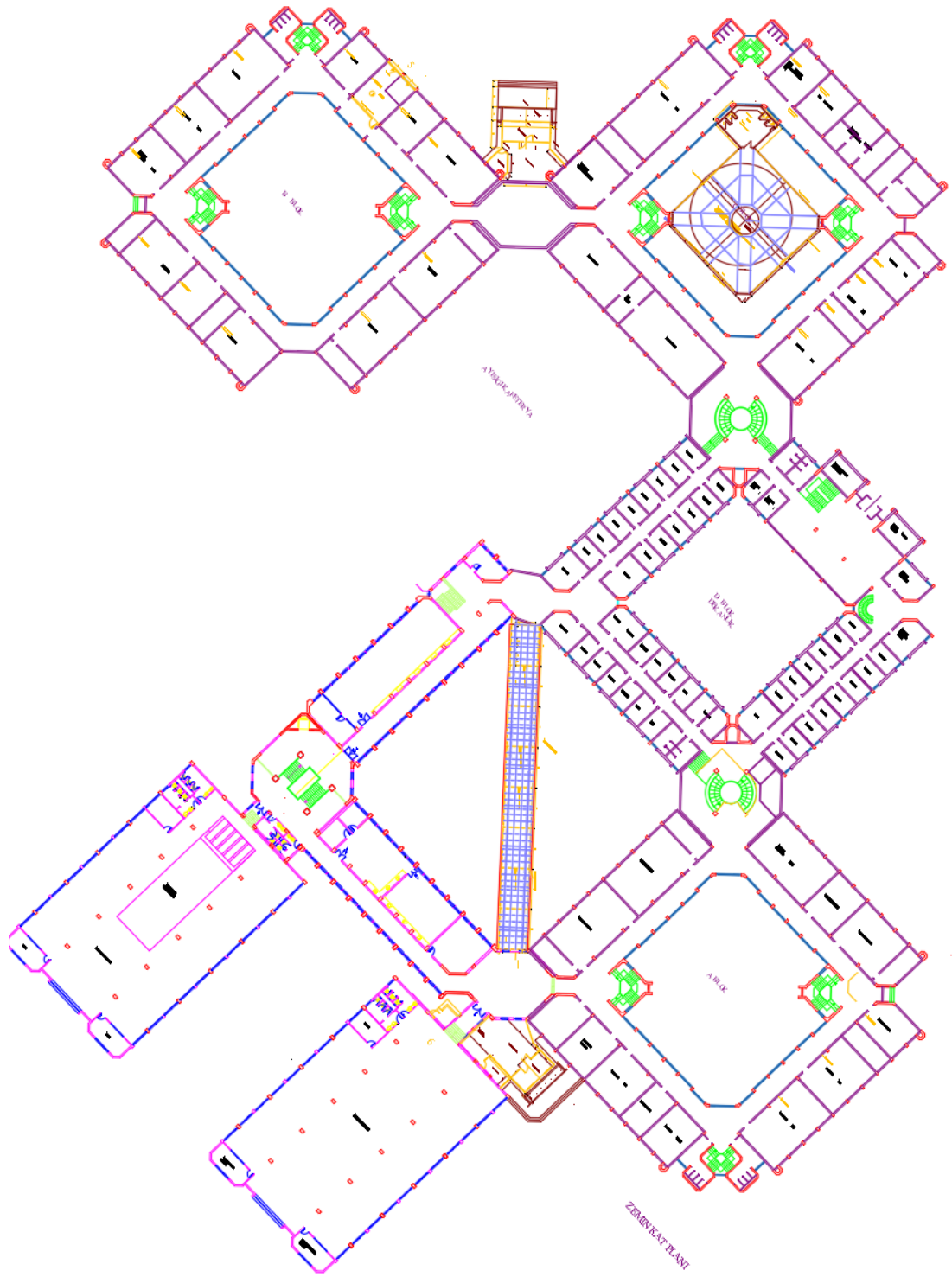
- Machaj, J., Brida, P. ve Piché, R., 2011, Rank based fingerprinting algorithm for indoor positioning, *2011 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, 1-6.
- Mautz, R., 2012, Indoor positioning technologies.
- Melamed, R., 2016, Indoor localization: Challenges and opportunities, *Proceedings of the International Conference on Mobile Software Engineering and Systems*, 1-2.
- Moghtadaiee, V. ve Dempster, A. G., 2015, Determining the best vector distance measure for use in location fingerprinting, *Pervasive and Mobile Computing*, 23, 59-79.
- Nurminen, H., Talvitie, J., Ali-Löytty, S., Müller, P., Lohan, E.-S., Piché, R. ve Renfors, M., 2012, Statistical path loss parameter estimation and positioning using RSS measurements in indoor wireless networks, *2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, 1-9.
- Pan, S. J., Kwok, J. T., Yang, Q. ve Pan, J. J., 2007, Adaptive localization in a dynamic WiFi environment through multi-view learning, *AAAI*, 1108-1113.
- Park, N., Jung, S. ve Han, D., 2015, An adaptive hybrid filter for practical WiFi-based positioning systems, *ICT Express*, 1 (2), 82-85.
- Peng, L., Han, J., Meng, W. ve Liu, J., 2010, Research on radio-map construction in indoor WLAN positioning system, *2010 First International Conference on Pervasive Computing, Signal Processing and Applications*, 1073-1077.
- Pham, H.-A. ve Le, T.-V., 2019, An Improved Weighted K-Nearest Neighbors Algorithm for High Accuracy in Indoor Localization, *2019 25th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*, 24-27.
- Pirzada, N., Nayan, M. Y., Subhan, F., Abro, A., Hassan, M. F. ve Sakidin, H., 2017, Location fingerprinting technique for WLAN device-free indoor localization system, *Wireless Personal Communications*, 95 (2), 445-455.
- Pivato, P., Palopoli, L. ve Petri, D., 2011, Accuracy of RSS-based centroid localization algorithms in an indoor environment, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 60 (10), 3451-3460.
- Prasithsangaree, P., Krishnamurthy, P. ve Chrysanthi, P., 2002, On indoor position location with wireless LANs, *The 13th IEEE international symposium on personal, indoor and mobile radio communications*, 720-724.
- Retscher, G. ve Hofer, H., 2017, Wi-Fi location fingerprinting using an intelligent checkpoint sequence, *Journal of Applied Geodesy*, 11 (3), 197-205.
- Ristic, B., Arulampalam, S. ve Gordon, N., 2003, Beyond the Kalman filter: Particle filters for tracking applications, Artech house, p.
- Rizos, C., Dempster, A. G., Li, B. ve Salter, J., 2007, Indoor positioning techniques based on wireless LAN.
- Roos, T., Myllymäki, P., Tirri, H., Misikangas, P. ve Sievänen, J., 2002, A probabilistic approach to WLAN user location estimation, *International Journal of Wireless Information Networks*, 9 (3), 155-164.
- Saha, S., Chaudhuri, K., Sanghi, D. ve Bhagwat, P., 2003, Location determination of a mobile device using IEEE 802.11 b access point signals, *2003 IEEE Wireless Communications and Networking*, 2003. WCNC 2003., 1987-1992.
- Shchekotov, M., 2014, Indoor localization method based on Wi-Fi trilateration technique, *Proceeding of the 16th conference of fruct association*, 177-179.
- Shin, B., Lee, J. H., Lee, T. ve Kim, H. S., 2012, Enhanced weighted K-nearest neighbor algorithm for indoor Wi-Fi positioning systems, *2012 8th International Conference on Computing Technology and Information Management (NCM and ICNIT)*, 574-577.

- Shrestha, S., Talvitie, J. ve Lohan, E. S., 2013a, Deconvolution-based indoor localization with WLAN signals and unknown access point locations, *2013 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS)*, 1-6.
- Shrestha, S., Talvitie, J. ve Lohan, E. S., 2013b, On the fingerprints dynamics in WLAN indoor localization, *2013 13th International Conference on ITS Telecommunications (ITST)*, 122-126.
- Stella, M., Russo, M. ve Begušić, D., 2014, Fingerprinting based localization in heterogeneous wireless networks, *Expert systems with Applications*, 41 (15), 6738-6747.
- Su, P. ve Drysdale, R. L. S., 1997, A comparison of sequential Delaunay triangulation algorithms, *Computational Geometry*, 7 (5-6), 361-385.
- Subbu, K. P., Zhang, C., Luo, J. ve Vasilakos, A. V., 2014, Analysis and status quo of smartphone-based indoor localization systems, *IEEE wireless communications*, 21 (4), 106-112.
- Svečko, J., Malajner, M. ve Gleich, D., 2015, Distance estimation using RSSI and particle filter, *ISA transactions*, 55, 275-285.
- Swangmuang, N. ve Krishnamurthy, P., 2008, An effective location fingerprint model for wireless indoor localization, *Pervasive and Mobile Computing*, 4 (6), 836-850.
- Talvitie, J., Renfors, M. ve Lohan, E. S., 2015a, A comparison of received signal strength statistics between 2.4 GHz and 5 GHz bands for WLAN-based indoor positioning, *2015 IEEE globecom workshops (GC Wkshps)*, 1-6.
- Talvitie, J., Renfors, M. ve Lohan, E. S., 2015b, Distance-based interpolation and extrapolation methods for RSS-based localization with indoor wireless signals, *IEEE transactions on vehicular technology*, 64 (4), 1340-1353.
- Tang, J., Chen, Y., Chen, L., Liu, J., Hyypä, J., Kukko, A., Kaartinen, H., Hyypä, H. ve Chen, R., 2015, Fast fingerprint database maintenance for indoor positioning based on UGV SLAM, *Sensors*, 15 (3), 5311-5330.
- Tarrio, P., Bernardos, A. M., Besada, J. A. ve Casar, J. R., 2008, A new positioning technique for RSS-based localization based on a weighted least squares estimator, *2008 IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems*, 633-637.
- Torres-Sospedra, J., Montoliu, R., Trilles, S., Belmonte, Ó. ve Huerta, J., 2015, Comprehensive analysis of distance and similarity measures for Wi-Fi fingerprinting indoor positioning systems, *Expert systems with Applications*, 42 (23), 9263-9278.
- Tunca, C., Toplan, E., Işık, S. ve Ersoy, C., 2014, Yapay Sinir Ağları ile WiFi Tabanlı İç Mekan Konumlandırma, *Boğaziçi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, NETLAB, İstanbul*.
- Turgut, Z., Aydın, G. Z. G. ve Sertbas, A., 2016, Indoor localization techniques for smart building environment, *Procedia Computer Science*, 83, 1176-1181.
- Wang, B., Gan, X., Liu, X., Yu, B., Jia, R., Huang, L. ve Jia, H., 2020, A Novel Weighted KNN Algorithm Based on RSS Similarity and Position Distance for Wi-Fi Fingerprint Positioning, *IEEE Access*, 8, 30591-30602.
- Wen, Y., Tian, X., Wang, X. ve Lu, S., 2015, Fundamental limits of RSS fingerprinting based indoor localization, *2015 IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, 2479-2487.
- Wu, C., Yang, Z., Xiao, C., Yang, C., Liu, Y. ve Liu, M., 2015, Static power of mobile devices: Self-updating radio maps for wireless indoor localization, *2015 IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, 2497-2505.

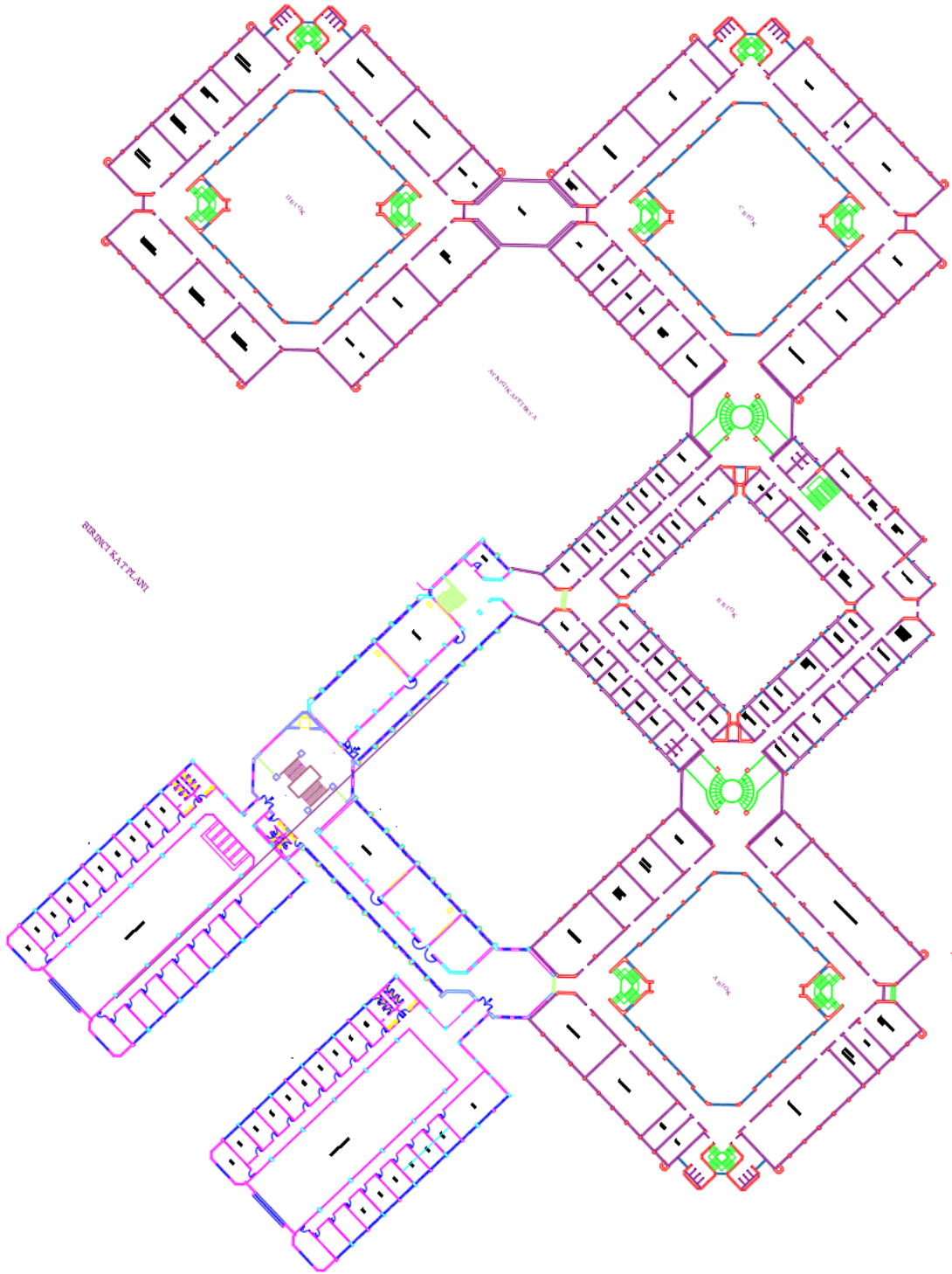
- Wu, Z., Jedari, E., Muscedere, R. ve Rashidzadeh, R., 2016, Improved particle filter based on WLAN RSSI fingerprinting and smart sensors for indoor localization, *Computer Communications*, 83, 64-71.
- Yang, C. ve Shao, H.-R., 2015, WiFi-based indoor positioning, *IEEE Communications Magazine*, 53 (3), 150-157.
- Yang, Z., Wu, C. ve Liu, Y., 2012, Locating in fingerprint space: wireless indoor localization with little human intervention, *Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking*, 269-280.
- Youssef, M. A., Agrawala, A. ve Shankar, A. U., 2003, WLAN location determination via clustering and probability distributions, *Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, 2003.(PerCom 2003). 143-150.
- Zanca, G., Zorzi, F., Zanella, A. ve Zorzi, M., 2008, Experimental comparison of RSSI-based localization algorithms for indoor wireless sensor networks, *Proceedings of the workshop on Real-world wireless sensor networks*, 1-5.
- Zeng, X. ve Lin, W., 2017, A kind of improved fingerprinting indoor location method based on WiFi, *AIP Conference Proceedings*, 020052.
- Zhang, C., Luo, J. ve Wu, J., 2014, A dual-sensor enabled indoor localization system with crowdsensing spot survey, *2014 IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems*, 75-82.
- Zhang, J., Han, G., Sun, N. ve Shu, L., 2017, Path-loss-based fingerprint localization approach for location-based services in indoor environments, *IEEE Access*, 5, 13756-13769.
- Zhao, W., Han, S., Meng, W. ve Zou, D., 2016, A Testbed of Performance Evaluation for Fingerprint Based WLAN Positioning System, *KSII Transactions on Internet & Information Systems*, 10 (6).
- Zheng, J., Wu, C., Chu, H. ve Xu, Y., 2011, An improved RSSI measurement in wireless sensor networks, *Procedia engineering*, 15, 876-880.
- Zhou, M., Qiu, F., Tian, Z., Wu, H., Zhang, Q. ve He, W., 2015, An information-based approach to precision analysis of indoor WLAN localization using location fingerprint, *Entropy*, 17 (12), 8031-8055.
- URL-1 https://en.wikipedia.org/wiki/Bowyer-Watson_algorithm

EKLER

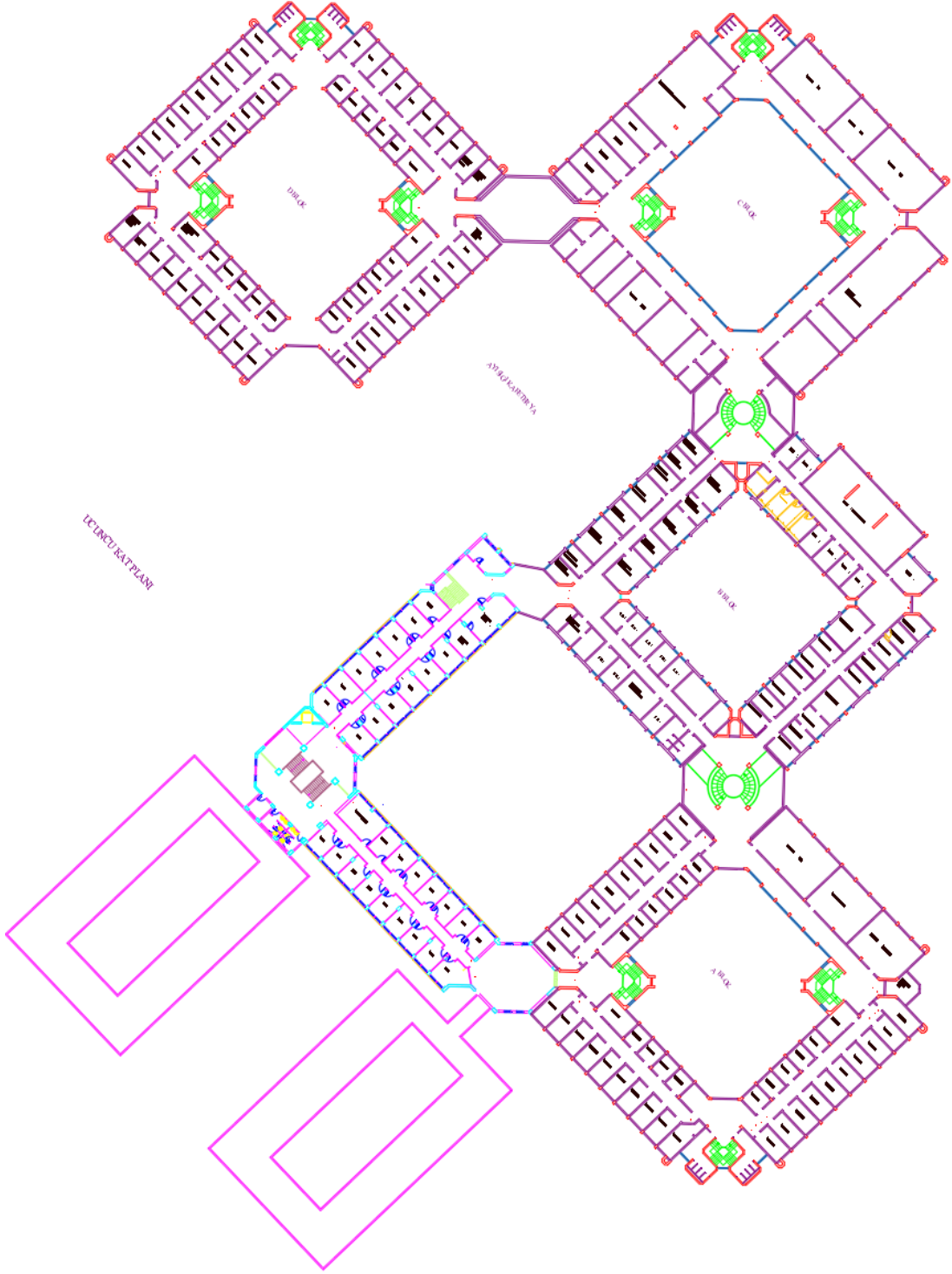
EK-1 Uygulamaların yapıldığı bina zemin kat CAD planı



EK-2 Uygulamaların yapıldığı bina 1.kat CAD planı



EK-4 Uygulamaların yapıldığı bina 3.kat CAD planı



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Behlül Numan ÖZDEMİR
Uyruğu : TC
Doğum Yeri ve Tarihi : ORDU/1989
Telefon : 0332 205 16 49
Faks :
E-Posta : bnozdemir@ktun.edu.tr / behlulnuman@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Ordu Lisesi, Altınordu, ORDU	2007
Üniversite	: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Merkez, TRABZON	2011
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	2015
Doktora	: Konya Teknik Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	2020

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2012	POİ Bilg. Tek.	CBS Uzmanı
2013-2018	Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü	Araştırma Görevlisi
2018-Devam Ed.	Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Ölçme Tekniği, GNSS Ölçmeleri, PPP, Kapalı Mekân Konum Belirleme, Coğrafi Bilgi Sistemleri

YABANCI DİLLER

İngilizce (YDS:87,5)

YAYINLAR

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

Özdemir Behlül Numan, Ceylan Ayhan (2020). Constructing A Precise Radio Map And Application Of Indoor Positioning With Dual-Frequency Wi-Fi Fingerprinting Method. Measurement, 163(107997) (Yayın No: 6275599)

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitaplarında (Proceedings) Basılan Bildiriler

Ceylan Ayhan, Özdemir Behlül Numan (2018). On The Improvement Of The Orthometric Heights With GNSS Leveling: The Case of Selçuk University Campus Area. Eurasian GIS 2018 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4746050)

Özdemir Behlül Numan, Ceylan Ayhan (2018). An Indoor Positioning Study Based On The Wi-Fi Fingerprinting Method. Eurasian GIS 2018 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4746250)

Ceylan Ayhan, Özdemir Behlül Numan (2016). Investigating Point Positioning Accuracy and Digital Mapping Using Low Altitude UAV. International Scientific Conference On Applied Sciences, "Spatial Data Processing, Modelling, Analysing And Management For Knowledge Based Systems (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:6045319)

Özdemir Behlül Numan, Ceylan Ayhan (2016). Satellite And Terrestrial Radio Positioning for Indoor Location. International Scientific Conference On Applied Sciences, "Spatial Data Processing, Modelling, Analysing And Management For Knowledge Based Systems (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:6045258)

Ceylan Ayhan, Yiğit Cemal Özer, Alçay Salih, Özdemir Behlül Numan (2015). Evaluating The Performance Of Kinematic PPP and Differential Kinematic Methods In Rural And Urban Areas. FIG Working Week 2015 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:1695811)

Özdemir Behlül Numan, Alçay Salih, Yiğit Cemal Özer, Ceylan Ayhan (2015). Utility Software For Web Based PPP Applications for Automated Data Processing. FIG Working Week 2015 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:1695804)

Ulusal Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

Yiğit Cemal Özer, Özdemir Behlül Numan, Alçay Salih, Ceylan Ayhan (2016). CSRS-PPP Yazılımının Uzun Dönemli GNSS Zaman Serilerinin oluşturulmasında ve Nokta Hızlarının Kestirilmesinde Kullanılabilirliği. Harita Dergisi(155), 23-31. (Kontrol No: 3537919)

Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan Ve Bildiri Kitaplarında Basılan Bildiriler

Ceylan Ayhan, Özdemir Behlül Numan (2016). CORS Ağları ve Konya Sabit GNSS Ağı'nın (Kosaga) Nokta Konum Doğruluğunun Araştırılması. 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:6045679)

Özdemir Behlül Numan, Ceylan Ayhan, Alçay Salih, Yiğit Cemal Özer (2014). Kapalı Mekânlarda Uygulanan Konum Belirleme Yöntemleri ve Karşılaştırılması. 7. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:1695818)

Ceylan Ayhan, Yiğit Cemal Özer, Alçay Salih, Özdemir Behlül Numan (2014). Kinematik PPP ve Post Process Kinematic Yöntemlerinin Kırsal Ve Meskun Alanlardaki Performanslarının Karşılaştırılması. 7. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:1695814)

