KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BLUETOOTH DÜŞÜK ENERJİ TABANLI HASTANE TAKİP VE KONUMLANDIRMA SİSTEMİ

MEHMET SENA ALTIN

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BLUETOOTH DÜŞÜK ENERJİ TABANLI HASTANE TAKİP VE KONUMLANDIRMA SİSTEMİ

MEHMET SENA ALTIN

Prof. Dr. Emine Doğru BOLAT		
Danışman,	Kocaeli Üniversitesi	.....
Prof. Dr. Celal ÇEKEN		
Jüri Üyesi,	Sakarya Üniversitesi	.....
Doç. Dr. Arif ÖZKAN		
Jüri Üyesi,	Kocaeli Üniversitesi	.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 12.07.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın hazırlanmasında, sabır ve titizlikle verdiği tüm emekler ve geleceğe yönelik kazandırdığı bilimsel bakış açısı için sayın hocam Prof. Dr. Emine Doğru BOLAT'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışması süresince yardımlarını esirgemeyen ve çalışmalarımda yol gösteren Pavo Tasarım Üretim A.Ş Aviyonik bölüm müdürü Sinan Ali TOK'a teşekkür ederim. Bu tezi hazırlamamda büyük emeği olan çalışma arkadaşlarım Esra TOK'a, İsmail Fehmi AKKOÇ'a, Ahmet BİBER'e, Mustafa GÜLERYÜZ'e, Can Ayberk DEMİR'e ve Burak MISIRLIOĞLU'na teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışması süresince sağladığı laboratuvar desteğinden dolayı Pavo Tasarım Üretim A.Ş genel müdürü Kutsal ANIL'a teşekkürlerimi sunarım.

Babam Zeki ALTIN'a ve Eşim Nehir ALTIN'a yüksek lisans çalışmalarım süresince gösterdiği sabır ve destek için teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Temmuz – 2019 Mehmet Sena ALTIN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii
ÖZET ix
ABSTRACT x
GİRİŞ 1
1. KAPALI ALAN KONUMLANDIRMA TEKNOLOJİLERİ 4
1.1. WiFi Tabanlı Konumlama 4
1.2. NFC/RFID Tabanlı Konumlama 4
1.3. GPS Tabanlı Konumlama 4
1.4. BLE Tabanlı Konumlama 5
2. KABLOSUZ TEKNOLOJİ KARŞILAŞTIRMA KRİTERLERİ 6
2.1. Kapsama Alanı 6
2.2. Maliyet 6
2.3. Hassasiyet 6
2.4. Erişilebilirlik 7
2.5. Güvenlik 7
3. BLE PROTOKOL YAPISI 8
3.1. BLE Bağlantı Kurulum Aşamaları 8
3.2. BLE Protokol Bileşenleri 9
3.2.1. ATT 9
3.2.2. GATT 10
3.2.3. GAP 10
4. MALZEME VE YÖNTEM 11
5. DENEYSEL ÇALIŞMA 13
5.1. Yazılım Tasarımı 13
5.1.1. Hareketli düğüm yazılımı 13
5.1.2. Sabit düğüm yazılımı 14
5.1.3. Merkez yazılımı 15
5.1.4. MQTT yazılımı 16
5.1.5. MySQL yazılımı 17
5.2. Donanım Tasarımı 18
5.2.1. Ziyaretçi takip donanımı 18
5.2.2. Envanter takip donanımı 20
5.2.3. Personel takip donanımı 21
5.2.4. Akıllı bileklik (panik buton) donanımı 21
5.2.5. Sabit düğüm (toplayıcı) donanımı 22
5.2.6. Dock station donanımı 23
5.3. Hastane Takip ve Konumlama Sistemi 24
5.3.1. Yapılan çalışma 29
5.4. Akıllı Bileklik Sistemi 36

5.4.1. Mobil yazılım 38
5.4.2. Web servis 38
5.4.3. GPS 38
5.4.4. SMS 39
5.4.5. Çağrı merkezi 39
5.4.6. Mobil yazılım entegrasyonu 39
5.5. Test Senaryosu 43
5.5.1. Statik test 44
5.5.2. Güç tüketimi 45
5.6. Akıllı Bileklik Sistemi 46
5.6.1. Yapılan çalışma 47
6. BULGULAR VE TARTIŞMA 49
7. SONUÇ VE ÖNERİLER 52
KAYNAKLAR 54
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER 57
ÖZGEÇMİŞ 58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. BLE protokol bileşenleri 9
Şekil 5.1 Hareketli düğüm ve sabit düğümün haberleşmesi 13
Şekil 5.2. Sabit-hareketli düğüm haberleşmesi 15
Şekil 5.3. Merkez yazılım haberleşmesi 16
Şekil 5.4. MQTT haberleşme sistemi 16
Şekil 5.5. MQTT topic 17
Şekil 5.6. Alıcı-MQTT mesajlaşma yapısı 17
Şekil 5.7. Ziyaretçi kartı donanımı 19
Şekil 5.8. Ziyaretçi kayıt arayüzü 19
Şekil 5.9. Envanter takip donanımı 20
Şekil 5.10. Personel takip donanımı 21
Şekil 5.11. Akıllı bileklik PCB (baskı devre kartı) ve mekaniği 22
Şekil 5.12. Akıllı bileklik donanımı 22
Şekil 5.13. Sabit düğüm çalışma durumu 23
Şekil 5.14. Dock station donanımı 23
Şekil 5.15. Hastane takip sistemi haberleşme protokolleri 24
Şekil 5.16. Toplayıcı yerleştirilmemiş acil servis krokisi 25
Şekil 5.17. Toplayıcı yerleştirilmiş acil servis krokisi 25
Şekil 5.18. MQTT bağlantı ayarları 25
Şekil 5.19. Toplayıcı ayar sayfası 26
Şekil 5.20. Personel, envanter ve ziyaretçi ayar sayfası 26
Şekil 5.21. 277 numaralı envanterin konumu 27
Şekil 5.22. Kroki sayfası (gerçek görünüm) 27
Şekil 5.23. Kroki sayfası (2D) 28
Şekil 5.24. Filtreleme sayfası 28
Şekil 5.25. Hareketli düğüm ölçüm güzargahı (2D) 29
Şekil 5.26. Hareketli düğüm ölçüm güzargahı (3D) 30
Şekil 5.27. Çoklu hareketli düğüm ölçüm sonuçları 32
Şekil 5.28. Hassasiyet ölçüm sonuçları (277) 32
Şekil 5.29. Hassasiyet ölçüm sonuçları - 2 (277) 33
Şekil 5.30. Hassasiyet ölçüm sonuçları (73) 34
Şekil 5.31. Hassasiyet ölçüm sonuçları - 2 (73) 34
Şekil 5.32. Hassasiyet ölçüm sonuçları (67) 34
Şekil 5.33. Hassasiyet ölçüm sonuçları -2 (67) 35
Şekil 5.34. Akıllı bileklik sistemine genel bakış 37
Şekil 5.35. Akıllı bileklik PCB'si 37
Şekil 5.36. GPS ağı 39
Şekil 5.37. Uygulama görseli 39
Şekil 5.38. Giriş ekranı 40
Şekil 5.39. Kişisel bilgiler ve adres bilgileri ekranı 40
Şekil 5.40. Sağlık Bilgileri ve yakın bilgileri ekranı 41
Şekil 5.41. Hesap aktivasyon ekranı 41
Şekil 5.42. Mod seçme ekranı 42

Şekil 5.43. Tarama ekranı 42
Şekil 5.44. Eşleştirme ekranı 43
Şekil 5.45. Sinyal algılandı ekranı 43
Şekil 5.46. Ölçüm sonuçları 44
Şekil 5.47. Hareketli bileklik tanıtım çevrimi güç tüketimi 45
Şekil 5.48. Bilgilendirme kısa mesajı 47
Şekil 5.49. Panik sinyal dağılımları 48
Şekil 5.50. Çağrı merkezi arayüzü 48

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Kablosuz teknolojilerin karşılaştırılmaları 7
Tablo 5.1. Hareketli düğüm ölçüm sonuçları 30
Tablo 5.2. Gerçek konum ile hesaplanan konum farkı 35
Tablo 5.3. Testlerde kullanılan hareketli düğümlerin özellikleri 35
Tablo 5.4. RSSI değişimi 45

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

t	: Birim zaman, (sn)
f	: Frekans, (Hz)
d	: Mesafe, (m)
h	: Birim zaman, (sa)
dBm	: Sinyal güç değeri, (1 miliwata karşılık gelen desibel değeri)

Kısaltmalar

AC	: Alternating Current (Alternatif Akım)
ADC	: Analog Digital Converter (Analog Dijital Dönüştürücü)
AES	: Advanced Encryption Standard (Gelişmiş Şifreleme Standardı)
ATT	: Attribute Protocol (Öznitelik Protokolü)
BLE	: Bluetooth Low Energy (Bluetooth Düşük Enerji)
BTS	: Base Transciever Station (Baz Alıcı–Verici İstasyonu)
CSR	: Cambrigde Silicon Radio (Cambridge Silikon Radyosu)
E-INK	: Electronic Ink (Elektronik Mürekkep)
FSPL	: Free Space Path Loss (Boş Alan Yolu Kaybı)
GAP	: Generic Access Profile (Genel Erişim Protokolü)
GATT	: Generic Attribute Profile (Genel Öznitelik Protokolü)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
HCI	: Human Computer Interaction (Merkez Denetleyici Arabirimi)
IoT	: Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
I2C	: Inter-integrated Circuit (Dahili Entegre Devre)
LED	: Light Emitting Diod (Işık Yayan Diyot)
LCD	: Liquid Crystal Display (Sıvı Kristal Ekran)
Li-Po	: Lityum Polimer
MAC	: Media Access Control (Ortam Erişim Yöntemi)
M2M	: Machine to Machine (Makineden Makineye)
NFC	: Near Field Communication (Yakın Alan İletişimi)
N/A	: Not Attended (Katılmadı)
PCB	: Printed Circuit Board (Baskı Devre Kartı)
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişliği Modülasyonu)
RAM	: Random Access Memory (Rasgele Erişimli Bellek)
RF	: Radio Frequency (Radyo Frekansı)
RFID	: Radio Frequency Identification (Radyo Frekans Tanımı)
ROM	: Read-Only Memory (Salt Okunur Bellek)
RSSI	: Received Signal Strength Indication (Alınan Sinyal Güç Göstergesi)
SM	: Security Manager (Güvenlik Yöneticisi)
SMS	: Short Message Service (Kısa Mesaj Hizmeti)
SPI	: Serial Peripheral Interface (Seri Çevre Birim Arabirimi)

TCP/IP	: Transmission Control Protocol/Internet Protocol (İletim Denetimi Protokolü/Internet Protokolü)
TCKN	: Türkiye Cumhuriyeti Kimlik Numarası
TX	: Transmit (İletim)
UART	: Universal Asynchronous Receiver Transmitter (Asenkron Alıcı Verici)
UUID	: Universally Unique Identifier (Evrensel Olarak Tanımlayıcı)
WiFi	: Wireless Fidelity (Kablosuz Bağlantı Alanı)

BLUETOOTH DÜŞÜK ENERJİ TABANLI HASTANE TAKİP VE KONUMLANDIRMA SİSTEMİ

ÖZET

Dünya üzerinde konum belirleme çalışmaları yüzyıllar önce yıldız haritaları ile başlamıştır. Günümüzde ise uydulardan faydalanarak geliştirilen GPS (Global Positioning System, küresel konumlama sistemi) teknolojisi kullanılarak konum belirlenebilmektedir. GPS teknolojisi açık alanlarda metre hassasiyetinde konum belirleyebilse de kapalı alanlarda hassasiyet seviyesi istenilen seviyelerde değildir.

Kapalı alanlarda konumlama önemli araştırma konularından biri olmuştur. Nedeni ise kişisel cihazlardaki artış ve otonom cihazların kullanımının artmasıdır. Kapalı alan konumlama sistemleri için farklı teknolojiler geliştirilmiştir. Geliştirilen farklı teknolojiler arasında kullanım amaçlarına göre üstünlükler bulunmaktadır. Hastane takip uygulamasında düşük enerji tüketimi ön planda tutularak bölgesel hassasiyette konumlama hedeflenmiştir. Belirlenen bu kriterlerin yanı sıra maliyet, erişebilirlik ve güvenlik kriterleri de göz önüne alınarak WiFi (Wireless Fidelity, kablosuz bağlantı alanı), BLE (Bluetooth Low Energy, bluetooth düşük enerji), RFID/NFC (Radio Frequency Identification/Near Field Communication, radyo frekans tanımı/yakın alan iletişimi) ve GPS teknolojileri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucu BLE altyapısı ile RSSI (Received Signal Strength, alınan sinyal güç göstergesi) konum tahmini tekniği kullanıma uygun bulunmuştur. RSSI değerindeki olası sapmalar hassasiyet seviyesini düşürdüğü için standart sapma ve RSSI algoritmaları ile hassasiyet seviyesi artırılmıştır.

Hastane takip sistemi ile hastane içerisindeki envanterlerin, personellerin, hastaların ve ziyaretçilerin anlık konum takibi yapılabilecektir. Ayrıca akıllı bileklik sistemi, hastane takip sistemine entegre edilerek hastane içerisinde ve dışarısında oluşabilecek acil durumlar hastane yetkililerine bildirilebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Bileklik Sistemi, Envanter Takip Sistemi, Hastane Takip Sistemi, Personel Takip Sistemi, Ziyaretçi Takip Sistemi.

BLUETOOTH LOW ENERGY BASED HOSPITAL TRACKING AND POSITIONING SYSTEM

ABSTRACT

Geolocation studies on the world started with star maps centuries ago. Today, however, the location can be determined by using GPS technology developed by using satellites. GPS technology can determine the accuracy of meters in outdoor areas, the sensitivity level in indoor areas is not at desired levels.

Positioning in enclosed spaces has been one of the major research topics. The reason is the increase in personal devices and in the use of autonomous devices. Different technologies have been developed for indoor positioning systems. Among the different technologies developed, there are advantages according to the intended use. In the hospital follow-up application, low energy consumption is prioritized and regional sensitivity is targeted. In addition to these criteria, wireless technologies were compared by considering cost, accessibility and security criteria. As a result of the comparisons, BLE infrastructure and RSSI position estimation technique were found suitable for use. Since the possible deviations in the RSSI value decrease the sensitivity level, the sensitivity level is increased with standard deviation and RSSI algorithms.

With the hospital follow-up system, instant location tracking of inventories, personnel, patients and visitors within the hospital will be possible. In addition, the smart wristband system will be integrated with the hospital monitoring system and emergency situations that may occur inside and outside the hospital will be reported to the hospital authorities.

Keywords: Smart Wristband System, Inventory Tracking System, Hospital Tracking System, Personnel Tracking System, Visitor Tracking System.

GİRİŞ

Bu çalışmanın amacı bölgeleri tanımlanmış hastane içi kapalı alanlarda konumlandırma sistemi gerçekleştirmektir. Kaybolması muhtemel ve değerli envanterlerin, personellerin, hastaların ve ziyaretçilerin anlık takibi yapılmaktadır. Ayrıca konum belirleme, alan dışına çıkma ve alan içine girme gibi temel konum değişikliklerini kaydederek merkeze raporlamaktadır.

Konum belirleme insan hayatını kolaylaştırmaktadır. M. Mohammadi ve arkadaşlarının 2018 yılında yaptığı araştırmaya göre insanlar günlük hayatlarının sadece %13'lük kısmını açık alanlarda geri kalan kısmını kapalı alanlarda (ev, okul, iş yerleri vb.) geçirmektedir [1]. Son yıllarda, mobil cihazların yaygınlaşması ile birlikte açık alan konumlandırma sistemlerinde GPS kullanımı ön plana çıkmıştır. Fakat GPS hem güç tüketiminin yüksek olması hem de kapalı alanlarda GPS sinyalinin zayıflaması sebebiyle istenilen hassasiyette çalışamadığı için kapalı alan konumlandırma sistemlerine uygun değildir.

Kapalı alan konumlandırma sistemlerinde ise en çok kullanılan teknolojiler WiFi ve BLE'dir. Her ikisinin de birbirlerine karşı üstünlükleri vardır. WiFi alt yapısı yüksek olmasına rağmen güç tüketimi yüksektir. Bu sebeple pil kullanılan projeler için uygun değildir. Kapalı alan konum hassasiyeti 3 - 4 metredir [2]. BLE ise alt yapısı her geçen gün artan düşük güç tüketimine sahip ucuz bir teknolojidir. Bu sebeple hastane takip sisteminde Qualcomm firmasının ürettiği CSR1010 [3] entegresi ile tasarlanan envanter takip cihazı kullanılmıştır. Radyo sinyal gücü göstergesi, bir sinyalin alıcı tarafından alındığı andaki gücüdür. Alıcı ve verici arasındaki mesafeyi bulmada ve iç mekan konumlandırma amacıyla kullanılabilir [4]. Kablosuz ağlar ile konum lokalizasyonu BTS (Base Transciever Station, konum alıcı-verici istasyonu) sistemi ile yapılmaktadır [5]. Konumlandırma sistemlerinde RSSI (radyo sinyal gücü göstergesi) kullanan çalışmalar T. Chong ve ark., 2010 [6] , P. Kornel ve ark., 2013 [7], N. Pritt ve ark, 2013 [8] yaptığı çalışmalar örnek verilebilir.

M2M (makineden makineye) ve IoT (nesnelerin interneti) projelerinin vazgeçilmez bir parçası olan MQTT(mesaj sırası telemetri taşımacılığı) [9] protokolü IBM/Eurotech tarafından geliştirilmiştir. TCP/IP (iletim denetimi protokolü/internet protokolü) tabanlı mesajlaşma trafiğini yönetmek amacıyla kullanılmaktadır. MQTT'nin iletişim protokolü olarak kullanılması güç ve bant genişliğinden tasarruf sağlar [10]. MQTT, küçük bir mesaj boyutuna sahip hafif bir protokoldür [11].

MQTT mimarisi yayınla ve abone ol özelliği üzerine kurulmuştur. Güç kısıtlamaları olan cihazlar ile kullanıma uygundur. MQTT protokolü OASIS tarafından standartlaştırılmaktadır [12].

MQTT protokolü üzerinde mesaj dağıtmak için kullanılan merkezi kontrolöre MQTT broker denir. MQTT yöneticiye yayıncılardan gelen mesajlar abonelere iletilir. Yayınla/abone ol konsepti ile iletişim kurabilen cihazlar iletişim kurulacak konuyu belirtmelidir. Sadece belirtilen konudaki cihaz aboneleri iletişim kurabilir.

Günümüzde insanlar teknolojiyi hayatlarının her alanında yoğun bir şekilde kullanmaktadır. Tıbbi acil servis için olayın oluştuğu an ile ilk tıbbi müdahale arasında geçen süre hayati önem taşımaktadır. Akıllı bileklik sistemi ile bu süreyi en aza indirmek hedeflenmiştir. Bir gün yalnız kalınabilir ve çok hasta olup ambulans çağırılarak en yakın hastaneye ulaşılması gerekebilir. Sadece bileklik üzerinde bulunan butona basılarak aile üyelerine ve sağlık kurumuna konum ve derhal bakıma ihtiyacının bulunduğu bilgisi iletilebilir. Benzeri diğer sağlık sorunları yaşandığında da acil durum akıllı bileklik sistemi hayat kurtarabilir.

Bölüm 1'de kapalı alan konumlandırma sistemlerinde kullanılan teknolojiler hakkında literatür bilgisi verilmiştir.

Bölüm 2'de kapalı alan konumlandırma projelerinde kullanılabilecek kablosuz teknolojilerin kapsama alanı, maliyet, hassasiyet, erişilebilirlik ve güvenlik parametleri göz önüne alınarak karşılaştırmasına yer verilmiştir.

Bölüm 3'te hastane takip ve konumlandırma sisteminde kullanılacak olan BLE protokol yapısı daha detaylı incelenmiştir.

Bölüm 4'te hastane takip sisteminde kullanılacak malzeme ve yöntemler hakkında bilgi verilmiştir.

Bölüm 5'te tez kapsamında kullanılacak yazılım ve donanımlar hakkında bilgiler verilmiştir. Yazılım tasarımı yapılırken hangi aşamalardan geçildiği hareketli düğüm, sabit düğüm, merkez yazılımı, MQTT ve MySQL yazılımlarının proje özelinde kullanım amaç ve yöntemleri anlatılmıştır. Deneysel çalışmanın da yapıldığı bölüm 5'te hastane içerisinde personel, envanter, ziyaretçi anlık konum tahmini yapmak için çalışmalar ve elde edilen konumların doğruluğunu arttırmak için gerekli değerlendirmeler yapılmıştır. Hastane takip ve konumlandırma sistemine akıllı bileklik sistemi entegre edilmiştir. Bu sayede hastane içerisinde veya hastaneden taburcu olduktan sonra hastanın hastane ile iletişimi gözlem süreci boyunca devam etmesi sağlanacak ve acil durumlarda ilk müdahale süresinin kısalması sağlanacaktır.

Bölüm 6'da literatürde yapılan kapalı alan konumlandırma çalışmaları ile hastane takip ve konumlama sistemini arasındaki farklar yer almaktadır.

Bölüm 7'de bu tezde yapılan çalışmaların sonuçları özetlenmiştir.

1. KAPALI ALAN KONUMLANDIRMA TEKNOLOJİLERİ

Radyo sinyalleri kullanılarak iç mekan konumlama ve anlık gözlem sistemleri geliştirilebilir. Radyo sinyalleri zemin, duvar ve insan vücudu gibi çeşitli nesnelerden etkilenir [13]. Bu sebeple ilk olarak bölgesel konumlama hassasiyetine sahip kablosuz teknolojiyi tespit etmek için farklı teknolojilerin özellikleri karşılaştırılmıştır.

1.1. WiFi Tabanlı Konumlama

WiFi iç mekan konumlandırması alınan sinyal gücüne dayanır. Düşük maliyet, yaygın alt yapı ve kullanım kolaylığı gibi çok önemli avantajı olan yerel konumlandırma teknolojisidir [14]. En önemli eksikliği güç tüketimidir. Bu sebeple pil kullanılan sistemler için uygun değildir.

1.2. NFC/RFID Tabanlı Konumlama

NFC, RFID teknolojisinin çift yönlü haberleşmesini destekleyen versiyonudur. NFC ve RFID genel olarak etiketlenmiş nesnelerin belli noktalardan geçişini denetleyen bir teknolojidir [15].

RFID teknolojisinde aktif ve pasif olmak üzere iki etiket vardır. Aktif etiket enerji ihtiyacı duyar ve pil ile çalışır. Pasif etiket ise okuyucudan aldığı RF (radyo frekansı) işaret gücü ile okuyucuya cevap verir. Aktif etiketler pasif etiketlere göre daha uzun mesafelerde haberleşebilirler. NFC teknolojisi ise çift yönlü ve yüksek hızlı veri iletişimi için geliştirilmiştir. Kapsama alanı çok yakın mesafe olması nedeniyle konumlama projeleri için uygun değildir.

1.3. GPS Tabanlı Konumlama

GPS ortaya çıkış amacı askeri cihazlar olsa da birçok akıllı cihaz bu teknolojiyi desteklemektedir [15]. Dünya etrafındaki uydulardan en az dördünden durum, konum ve zaman bilgilerini içeren mesajlarla oluşturulan kürelerin kesişim noktası alıcı konumunu belirler.

Açık alan konumlandırma sistemlerinde metre hassasiyetindedir fakat kapalı alan konumlama sistemleri yetersiz kalmaktadır. Yetersiz kalmasının sebebi kapalı alanlarda kırılmalara ve yansımalara maruz kalmaktadır.

GPS entegrasyonu maliyet olarak incelendiğinde ekonomiktir. Fakat kapalı alanlarda kullanılmak istenirse hassasiyetin arttırılması ve bilgilerin merkeze aktarılması için diğer teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır.

1.4. BLE Tabanlı Konumlama

Düşük enerjili kapalı alan konumlandırma sistemleri için en uygun çözüm düşük enerjili bluetooth teknolojisidir [15]. Maliyeti, esnek protokol yapısı, taşınabilir boyutlarda olması, erişilebilirlik ve kolay entegrasyon kriterleri göz önünde bulundurulduğunda diğer kablosuz teknolojilerin eksik yönlerini kapattığı söylenebilir.

Düşük enerjili bluetooth teknolojisi, bluetooth klasik ile karşılaştırıldığında güç tüketimleri ve protokol yapısı arasında büyük farklar vardır. Kolay entegrasyon sağlanmasının sebebi akıllı cihazların çoğunun BLE teknolojisini desteklemesinden dolayıdır. Güç tüketimi WiFi'nin harcadığı gücün %3-4 kadarını harcamaktadır.

Hastane takip sisteminde maliyeti belirleyen kısımlar pil değişim süresi, akıllı cihazlar ile entegrasyonu ve arayüzlerdir. BLE cihaz maliyetleri WiFi ve RFID/NFC'e göre daha ucuzdur.

2. KABLOSUZ TEKNOLOJİ KARŞILAŞTIRMA KRİTERLERİ

Hastane, ofis, okul, depo gibi kapalı alanlarda kullanılacak konumlandırma ve takip sistemleri için birçok farklı teknoloji bulunmaktadır. Bu çalışmada, kapalı alan konumlandırma ve takip sistemi olarak kullanılabilen GPS, WiFi, Bluetooth Classic, RFID/NFC ve BLE teknolojilerinin karşılaştırılmıştır. Bu teknolojilerin kapsama alanı, maliyet, hassasiyet, erişebilirlik ve güvenlik parametreleri kullanılarak birbirlerine karşı üstünlük ve eksikleri verilmiştir.

Kapalı alan konumlandırma projelerinde kullanılabilecek kablosuz teknolojilerin üstünlük ve eksiklikleri aşağıdaki parametrelere göre belirlenecektir.

2.1. Kapsama Alanı

Tanıtım ve tarama olarak çalışan cihazların haberleşebildikleri en uzak mesafeye kapsama alanı denilmektedir. Kapsama alanı cihaz çıkış gücü seviyelerine ve çevreye bağlıdır. Açık alanlarda daha uzak seviyelere ulaşabilen WiFi, BLE ve benzeri teknolojilerin kapalı alanlar da kırılma, yansıma ve soğurma gibi etkilerle kapsama alanları düşmektedir. Bu nedenlerle kapalı alanlarda kapsama alanı değişkendir.

2.2. Maliyet

Teknolojilerin yaygınlığı maliyet parametresini düşüren bir etmendir. Mikroişlemci maliyetleri yanı sıra sistem kurulumu, sistem sürdürülebilirliği ve işletme maliyetleri de toplam maliyet parametresini oluşturmaktadır.

2.3. Hassasiyet

Konumlandırma sistemleri için hassasiyet önemli bir parametredir. Konumlandırma hassasiyetinin belirlenmesinde kapsama alanı, hesaplama yöntemleri ve özellikleri belirleyicidir.

Hastane takip ve konumlandırma sisteminde hassasiyeti seviyesi bölgeseldir. Çalışma sonucunda hareketli düğümün konum olarak hangi bölgede olduğu bilinecektir.

2.4. Erişilebilirlik

Kablosuz teknolojiler arası bilgi çevrimi, kullanıcı arayüzü ulaşım kolaylığı ve geliştirme ortamı erişilebilirlik açısından değerlendirilecektir.

2.5. Güvenlik

Kablosuz teknolojiler için güvenlik parametresi çok önemlidir. Sisteme yetkisiz kişilerin erişimini önlemek ve sisteme hatalı veri gönderilmesini engellemek için AES (gelişmiş şifreleme standardı) şifreleme standardını destekleyen teknolojiler değerlendirilecektir.

İstenilen konumlama hassasiyetine göre farklı teknolojik çözümlerin daha iyi sonuçlar vereceği kesindir. Hastane takip sisteminde uygun maliyeti, güç tüketimi, esnekliği, erişilebilirliği ve kapalı alan konumlama hassasiyeti ölçütleri göz önüne alınarak BLE tercih edilmiştir. Kablosuz teknolojilerin karşılaştırmaları Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Kablosuz teknolojilerin karşılaştırılmaları

Teknoloji	Kullanım Yeri	Hassasiyet	Kapsama Alanı	Uygunluk	Pil Ömrü	Güvenlik
GPS	Açık	< 5-20 m	Global	Bölgesel	Yüksek	Güvenli
WiFi	Kapalı	< 15 m	<150 m	Bölgesel	Orta	Güvensiz
BLE	Kapalı	< 8 m	< 75 m	Bölgesel	Düşük	Güvenli
RFID	Kapalı	< 10 cm	< 1 m	Noktasal	-	Güvenli

3. BLE PROTOKOL YAPISI

Düşük enerjili bluetooth, nesnelerin interneti projelerinde kullanılan düşük güçlü bir kablosuz teknolojidir. BLE teknolojisinin önümüzdeki birkaç yılda milyarlarca sisteme ve cihaza dahil edilmesi beklenmektedir.

BLE protokolünde bağlantı kurma süresi milisaniye mertebesindedir. Veri alışverişi tamamlandıktan sonra bağlantı koparılır ve uyku moduna dönülebilir. BLE büyük veri alışverişleri için uygun değildir. Web servisleri ve cihazlar arası küçük veri alışverişi olan IoT/M2M uygulamaları için tercih edilir.

3.1. BLE Bağlantı Kurulum Aşamaları

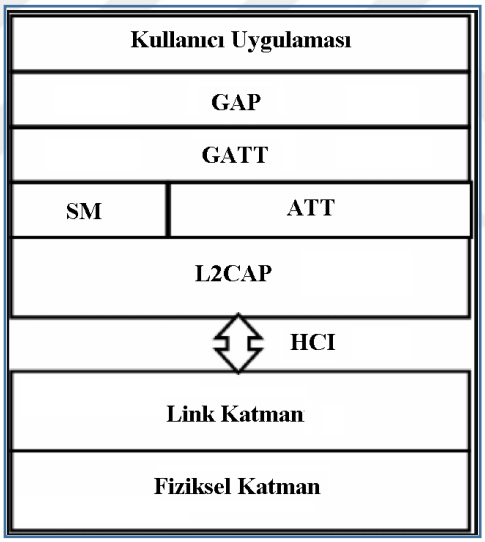
Bağlantı kurulumu 5 aşamadan oluşmaktadır. Bekleme (standby) aşamasında veri alış verişi aktif değildir. Tanıtım (advertising) aşamasında sunucu cihazlarının tanıtım kanallarından çevredeki cihazlara tanıtım mesajları gönderilir. Tarama (scanning) aşamasında istemci cihazlarının tanıtım kanalındaki tanıtım mesajları alınır. Başlatma (initiating) aşaması ise sunucu ve istemci cihazların bağlantı kurma aşamasıdır. Son aşama olan bağlantı (connection) aşamasında ise sunucu cihaz ile istemci cihaz iletişimi kurulur.

Sunucu olarak çalışan cihaz bağlantıya hazır olduğunda 20 ms – 10,24 s zaman aralığında ayarlanabilir periyotlar ile sırasıyla 37. 38. ve 39. tanıtım kanallarından tanıtım (advertising) yayını yapar.

Bağlantı kurulamadığı durumlarda protokol gereği, tanıtım mesajlarının periyodikliği değiştirilir. Bunun sebebi ise tarama (istemci) ve tanıtım (sunucu) olarak çalışan cihazların aynı periyotlu ve farklı zamanlarda aktif olması sebebi ile oluşabilecek bağlantı kuramama durumu önlenmiş olur. İstemci olarak çalışan cihaz ise bağlantı kurmadan da tanıtım kanallarından gelen bu tanıtım (advertising) içeriğindeki bilgileri alabilirler. Her iki cihaz güç tasarrufu için bekleme aşamasına geçebilir.

3.2. BLE Protokol Bileşenleri

BLE protokol bileşenleri denetleyici, merkez ve uygulamadan oluşur. Denetleyici bileşeni fiziksel katman ve bağlantı katmanını içerir. Merkez bileşeni mantıksal bağlantı kontrolü ve L2CAP (uyarlama protokolü), GATT (genel öznitelik profili), SM (güvenlik yöneticisi) ve GAP (genel erişim profili) dahil olmak üzere üst katman işlerini içerir [16]. Denetleyici ile merkez bileşeni arasındaki iletişim HCI (merkez denetleyici arabirimi) olarak standartlaştırılmıştır. Uygulama bileşeni merkez bileşeni üstünde kullanılabilir. L2CAP katmanının ana sorumluluğu, alt katmanlar için paketlerin segmentasyonunu ve yeniden montajını çoğaltmak ve gerçekleştirmektir. ATT (Öznitelik Protokolü), sunucu ve istemci rollerini oynayan iki cihaz arasındaki iletişimi tanımlar. SM, cihaz eşleştirme, kimlik doğrulama ve anahtar dağıtımından sorumludur. BLE protokol bileşenleri Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1. BLE protokol bileşenleri

3.2.1. ATT

BLE protokol yığında, ATT katmanı protokolü bir eş aygıtta öznitelikleri keşfetmeyi, okumayı ve yazmayı yönetir. ATT, sırasıyla özel bir L2CAP kanalının üstünde sunucu ve istemci rollerini oynayan iki cihaz arasındaki iletişim protokolünü tanımlar. Genellikle çevresel bir aygıt olan sunucu, verileri bir veya daha fazla özellik olarak tutar ve bunları bir merkeze sunar. Genellikle merkezi bir aygıt olan istemci, bir veya daha fazla sunucudan tanıtıcıyı kullanarak öznitelikleri getirir. İstemci, sunucudan yanıt iletilerini tetikleyen istekleri göndererek sunucunun özniteliklerine erişebilir.

3.2.2. GATT

GATT, BLE protokol yapısının temelini oluşturmaktadır. GATT, sunucu-istemci hizmetlerin keşfedilmesi, sunucu cihazlar ve istemci cihazlar arasında özelliklerin değişimi için kullanan bir protokolü tanımlar.

GATT istemcisi ile GATT sunucuların paket formatlarının aynı olmasıyla protokol basitliği sağlanmıştır. GATT veri tabanı servislere, servisler karakteristiklere ayrılır. Servisler ve karakteristikler nitelik kodu UUID ile belirtilir. GATT istemcisi, GATT sunucu üzerindeki parametreleri okuyabilir ve parametre yazabilir. GATT sunucunın ana görevi parametreleri saklamaktır. GATT istemci bir istekte bulunduğunda GATT sunucu bu parametre özelliklerini kullanılabilir hale getirmek zorundadır.

3.2.3. GAP

GAP protokolü, BLE cihazlarının birbiri ile iletişime geçebilmesi için alacağı rolü belirler. Tanıtım yayını yapmak ve tanıtım yayını taramak olarak iki farklı GAP rolü vardır. BLE cihazları GAP rollerinden birini kabul ederek BLE ağına katılır. Yayın yapmak için bağlantı kurulmasına gerek yoktur. Tanıtım yayını tarayan cihazın da tanıtım yayınını dinleyebilmek için yayıncı ile bağlantı kurmasına gerek yoktur. Böylece tarayıcı cihaz birden fazla yayıncı cihazın yayınını dinleyebilir.

Çift yönlü haberleşmenin gerçekleştirilmesi için bağlantının kurulması gerekmektedir. Bağlantı kurulduktan sonra tanıtım yayını yapılmaz. Yayıncı cihazın rolü dinleyici olduğu için aradaki iletişimi düzenlemek merkezi cihazın sorumluluğundadır.

4. MALZEME VE YÖNTEM

BLE'nin kapalı alan konumlama, konum tabanlı bilgi mesajları, diğer sistemler ile entegre olabilme, çift yönlü haberleşme, güç tüketimi ve hareketli konum takibi projelerinde ön plana çıktığı görülmüştür. Bu nedenle, BLE teknolojisi detaylı olarak incelenmiş ve BLE kullanılarak hastanede bulunan hastane yatakları ve taşınabilir/sabit test makineleri, hastanelerde kaybolabilecek veya yanlış yerleştirilebilecek yüksek değerli envanterlerin, personellerin ve ziyaretçilerin anlık ve bölgesel konum takibi yapılmıştır. Ayrıca, envanterin, personelin ve ziyaretçinin konum belirleme, alan dışına çıkma, alan içine girme gibi temel fonksiyonlarını raporlayabilecek merkezi bir haberleşme sistemi de kurulmuştur. Merkezi haberleşme sistemi olarak MQTT sunucu kullanılmıştır. Her bölgeye 2 adet BLE - WiFi (kablosuz bağlantı alanı) bağlantılı 5 V ile çalışan sabit düğüm toplayıcılar yerleştirilmiştir. Hareketli düğümlerden sabit düğümlere gelen tanıtım bilgileri WiFi bağlantısı ile merkeze gönderilecektir. Konumlama hassasiyeti bölgesel olarak başarılı olmuştur. Hareketli düğüm kartının üzerinde bulunan hareket sensörü sayesinde hareketli/hareketsiz durumu, pil durumu ve RSSI bilgileri merkez tarafından anlık olarak takip edilebilmektedir. Envanter kartı pil tasarrufu için 2 saniye yayın 60 saniye uyku periyodunda olmaktadır. Personel kartı pil tasarrufu için 200 saniye 2 saniye uyku ve ziyaretçi kartı ise 100 milisaniye yayın 1 saniye uyku periyodunda olmaktadır. Envanter ve personel kartı CR2032 saat pili ile çalışacaktır ve mevcut konfigürasyon ile pil ömrü yaklaşık 1 sene olacaktır. Ziyaretçi kartı 280 mAh kapasiteli Li-Po (lityum polimer) batarya ile kullanılacaktır. Uyku periyodunda hareket sensörü tetiklendiğinde yayın periyoduna geçerek merkezi bilgilendirmektedir. Merkez uyku ve yayın süresini konfigüre edebilmektedir. Bu sayede, envanter veya personel kartlarının yayın süresi artırılarak bölgesel konum hassasiyetleri arttırılabilecektir. Yayın süresi arttıkça konum hassasiyeti artacak pil ömrü azalacaktır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, hastane takip uygulamasının bir parçası olan akıllı bileklik acil durum sistemi anlatılmıştır. Sistem daha çok sağlık alanında kullanılması düşünülse de birçok farklı alanda kullanılabilecek bir acil durum sistemidir. Sistemi

diğer acil durum sistemlerinden ayıran en önemli özelliği BLE tabanlı kablosuz olmasıdır. Kablosuz olmasının yanı sıra BLE tabanlı olması sebebiyle güç tüketimi oldukça düşüktür. Akıllı bileklik tek bir pil ile en az 96 acil durum çağrısını iletebilecek oldukça düşük güç tüketiminde tasarlanmıştır. Akıllı bileklik acil durum sistemi, akıllı bileklik ve akıllı telefon uygulaması olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Acil durum bilekliği üzerinde bulunan acil durum butonu kullanıcının herhangi bir tehdit, soygun, hırsızlık ve sağlık gibi durumlarda aktif ettiği ve mobil uygulama sayesinde yakınlarına/yardım merkezlerine haber verdiği bir acil durum sistemidir. Akıllı bileklik sistemi sayesinde acil bir olay ile karşılaşıldığında kişinin yakınlarına haber vermek için telefon numaralarını hatırlamasına gerek kalmamaktadır. Mobil uygulama kişinin hem yakınlarına hem de yardım kurumlarına konum bilgisini paylaşarak yardım mesajını iletmektedir. Akıllı bilekliğin suya dayanıklılık özelliği sayesinde sıvı ile temas edilebilecek ortamlarda bile kişinin kolundan çıkartmasına gerek kalmamaktadır. Herhangi bir olumsuz durumda akıllı bileklik üzerinde bulunan panik buton tetiklenerek aktif hale getirilebilmektedir. Tetiklenen akıllı bileklik sinyalleri mobil cihaza iletilerek acil durum çağrısı kişinin yakınlarına ve yardım merkezlerine iletilmektedir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde, hastane takip sistemi ve akıllı bileklik sistemleri için tasarlanan yazılım, donanım ve test senaryoları hakkında bilgiler verilmektedir.

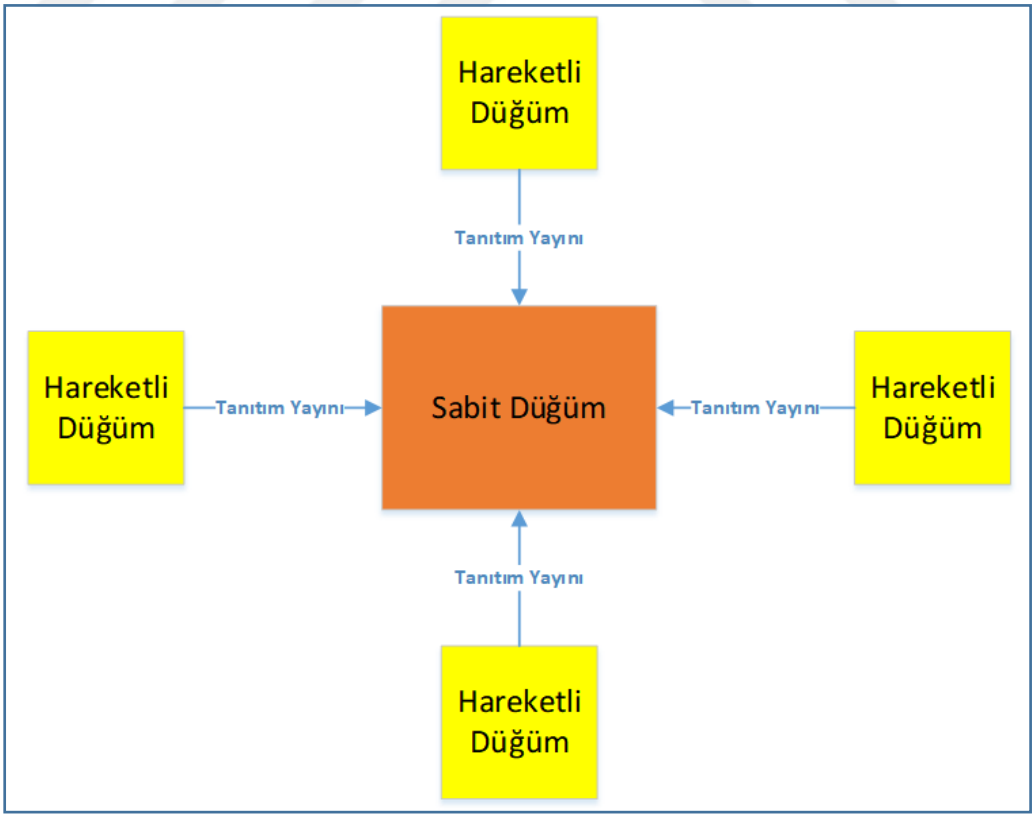
5.1. Yazılım Tasarımı

Hastane takip ve konumlandırma projesinde BLE teknolojisi kullanılmıştır.

5.1.1. Hareketli düğüm yazılımı

Hareketli düğüm olarak nitelendirilen cihazlar belirli periyotlar ile tanıtım yayını yapmaktadırlar. Yayın periyotları cihazın kullanım amacına göre değişmektedir.

Hareketli düğüm ile sabit düğüm arasındaki haberleşme mantığı Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 Hareketli düğüm ve sabit düğümün haberleşmesi

Tanıtım yayın içeriğinde hareketli düğüm kullanıcı numarası, hareketli düğüm türü, hareketli düğüm batarya seviyesi, hareketli düğüm hareket durum bilgisi, hareketli düğüm izin bilgisi ve hareketli düğüm sıcaklık bilgisi yer almaktadır.

5.1.2. Sabit düğüm yazılımı

Sabit düğümün görevi, kapsama alanında bulunan hareketli düğümlerin tanıtım yayınlarını ve servislerini okuyarak merkez yazılıma göndermektir. Hareketli düğümlerin izinsiz bölgede görüldükleri durumlarda bağlantı kurulması işlemini sabit düğüm yazılımları başlatır. Tanıtım yayınlarından gelen bilgilere konum ve RSSI seviye bilgilerini ekleyip tanımlanan mesaj paket formatına göre düzenleyerek UART (evrensel asenkron alıcı verici) arayüzü ile merkez yazılıma ethernet veya WiFi üzerinden gönderir.

Sabit düğüm ile hareketli düğümün arasındaki mesafe dBm cinsinden RSSI ile ifade edilir. Konum bilgisinin hesaplanacağı RSSI değeri sabit düğümde belirlenir. Hastane takip sisteminde hareketli düğüm RSSI seviyesi belirlenirken standart sapma ortalamasının dışında kalan ölçümü ortalama dışında bırakır.

Standart sapma RSSI değerinin ortalama RSSI değeri ile farkının karesinin alınmasıyla hesaplanır. Standart sapma formülü Denklem (5.1)'de verilmiştir.

Standart sapma:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^2}{n}} \tag{5.1}$$

Standart sapma yardımıyla anlık değişimler filtrenecektir. Ölçüm sonuçlarının hassasiyeti arttırılacaktır.

Standart sapma sonucu elde edilen RSSI değeri kullanılarak hareketli düğüm ile sabit düğüm arasındaki mesafe hesaplanabilir.

RSSI=TX gücü-10*n*log(d) (5.2)

Denklem (5.2)'de verilen "n" değeri sinyal kaybını ifade eden sabit bir değerdir. Sinyal kaybı ideal ortamda 2 olarak alınmaktadır.

Denklem (5.2)'de verilen "d" değeri hareketli düğüm ile sabit düğüm arasındaki mesafeti ifade etmektedir.

Hareketli düğüm ile sabit düğüm sadece hareketli düğüm yasak bölgeye girdiği durumlarda bağlantı kurmaktadır. Sabit düğüm ile hareketli düğüm arasındaki bağlantı kurma aşamaları Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



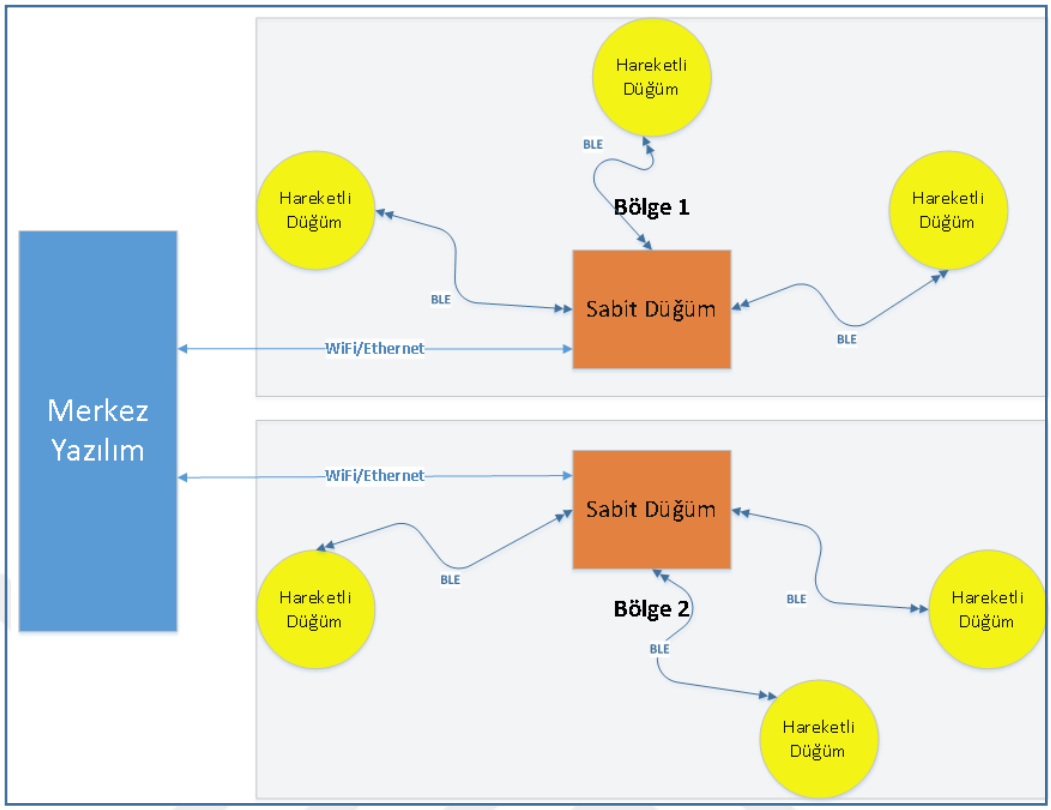
Şekil 5.2. Sabit-hareketli düğüm haberleşmesi

5.1.3. Merkez yazılımı

Sistemi kullanıcı arayüzü merkez yazılımdır. Hareketli düğümlerin BLE tanıtım yayınları sabit düğümler tarafından toplanır. Sabit düğümlerde toplanan bilgiler mesaj paketi formatına uygun hale getirilir ve WiFi/Ethernet haberleşmesi ile merkez yazılıma aktarılır. Merkez yazılım da toplanan verilerin işlenmesi ve kullanıcının anlayabileceği hale getirilmesini sağlar. Merkez yazılım, sabit düğüm ve hareketli düğüm haberleşme protokollleri Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

Hareketli düğüm yasak bölge bilgisi merkez yazılım arayüzü ile belirlenir. Hareketli düğümlerin anlık bilgileri merkez arayüzünde görülebilmektir. Merkez yazılım yasak bölgede olduğu farkedilen hareketli düğümün uyarı LED (ışık yayan diyot)'ini aktif hale getirmesi için sabit düğüme bağlan bilgisi gönderir.

Sabit düğüm bu bilgi ile hareketli düğüme bağlanarak uyarı LED'ini aktif hale getirir. Hareketli düğüm yasak bölgeden çıkarak izinli bölgeye geçtiğinde sabit düğüm tarafından uyarı LED'i pasif hale getirilir.

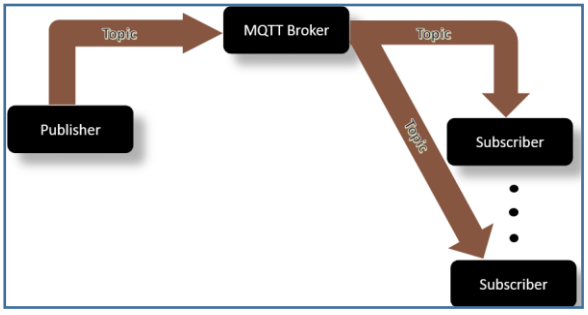


Şekil 5.3. Merkez yazılım haberleşmesi

5.1.4. MQTT yazılımı

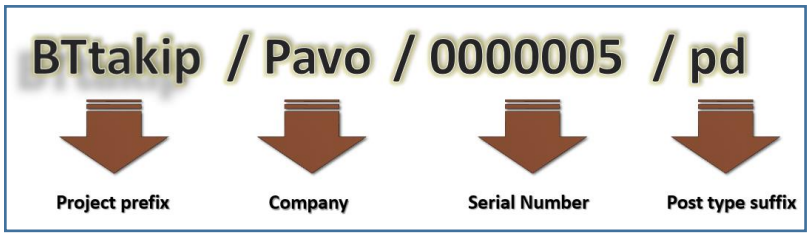
MQTT protokolü üzerinde mesaj dağıtmak için kullanılan merkezi kontrolöre MQTT broker denir. MQTT brokera yayıncılardan gelen mesajlar abonelere iletilir. Yayınla/abone ol konsepti ile iletişim kurabilen cihazlar iletişim kurulacak konuyu belirtmelidir. Sadece belirtilen konudaki cihaz aboneleri iletişim kurabilir.

MQTT protokolünde mesaj trafiğini kontrol eden yöneticiye “broker”, mesaj yayını yapana “publisher” ve mesajları dinleyen aboneye “subscriber” denilir. MQTT haberleşme sistemi Şekil 5.4’te verilmiştir.



Şekil 5.4. MQTT haberleşme sistemi

Hastane takip sisteminde topikler 4 seviyeden oluşur. Broker'a bağlanan her alıcı/toplayıcının seri numarası topiğe dahil edildiği için yayın yaptığı ve abone olduğu topik tektir. Örnek bir topik Şekil 5.5'te görülmektedir.



Şekil 5.5. MQTT topic

Hasta takip sisteminde broker ile bağlantı kurabilmek için istemci (bilgisayar arayüzü) uygulaması kullanılır. İstemci, broker'a kullanıcı adı, şifre ile bağlantı kurup, belirtilen bir topic üzerinden abone olacaktır. İstemci kendine gelen mesajı byte array olarak almaktadır. Mesaj içeriği Topic numarası, envanter numarası, envanter batarya ve RSSI seviyesidir. Her alıcının MQTT brokera gönderdiği mesaj yapısı Şekil 5.6'da sunulmuştur.

Message Name	HEX	ASCII	LENGHT
Frame Prefix	01 AA 55	<SOH>ªU	3
Message Type (put on per ID)	7C	|	1
ID	00 01(MSB-LSB)	Dec value	2
Battery status(%)	64	Dec value	1
RSSI level	D8	Dec value	1
Permission status	00 01(MSB-LSB)	Dec value	2
Frame Suffix	55 AA 04	Uª< EOT >	3

Şekil 5.6. Alıcı-MQTT mesajlaşma yapısı

5.1.5. MySQL yazılımı

MySQL dünyanında en büyük açık kaynak veritabanlarından biridir. Ayrıca kanıtlanmış güvenirliği, performansı ve anlaşılırlığı sebebiyle kullanılmıştır.

Hastane takip sisteminde veri tabanı olarak MySQL kullanılır. İstemci uygulamaları üzerinden gelen mesaj paketlerinin kayıt edildiği veritabanı bulunmaktadır. Sabit ve hareketli düğümlere ait veriler de veritabanında tutulmaktadır.

5.2. Donanım Tasarımı

Hareketli düğüm ve sabit düğüm kartları CSR1010 BLE entegresi ve çevre komponentlerinden oluşmaktadır. CSR1010 entegresi BLE v4.1'i desteklemektedir. Çıkış gücü 7,5 dBm ve alış gücü 92,5 dBm hassasiyetindedir [17].

CSR1010 entegresinin çalışma gerilimi 1,8 V ile 3,6 V arasındadır. IoT (nesnelerin interneti) projelerinde önemli olan güç tüketimi ise derin uyku modunda 900 nA değerine kadar düşmektedir. Tanıtım yayını esnasında 30 µA, tanıtım yayını tarama esnasında ise 1 mA akım çekmektedir. BLE bağlantısı kurulduğunda 5 mA akım ve seri kanal haberleşmesi esnasında ise 16 mA maksimum akım değerine sahiptir. 12 adet dijital giriş ve çıkış, 3 adet 10 bit ADC (analog dijital dönüştürücü), 4 adet PWM (darbe genişliği modülasyonu) modülü ve birer adet UART, I2C (dahili Entegre devre) ve SPI (seri çevre birim arabirimi) haberleşmesi içerir. Hafıza alanı dahili 64 KB ROM (salt okunur bellek) ve 64 KB RAM (rasgele erişimli bellek)'e sahiptir. SPI haberleşmesi ile programlanır. Batarya seviyesi ve jonksiyon sıcaklık seviyelerini raporlayabilir. 7 farklı seviye TX (iletim) çıkış güç seçeneğine sahiptir.

5.2.1. Ziyaretçi takip donanımı

Hastane takip uygulamasında hastane ziyaretçilerine verilmek üzere tasarlanan ziyaretçi takip donanımında BLE ve E-INK (elektronik mürekkep teknolojisi) ekran teknolojisi kullanılmaktadır. E-INK ekran kullanılarak kimlik bilgisi, hangi hasta için geldiği ve hangi odayı ziyaret edeceği gibi bilgiler elektronik yaka kartı üzerinde olacaktır. 2,5 inç E-INK ekranı ile aynı kart defalarca kez farklı ziyaretçi için kullanılabilmektedir.

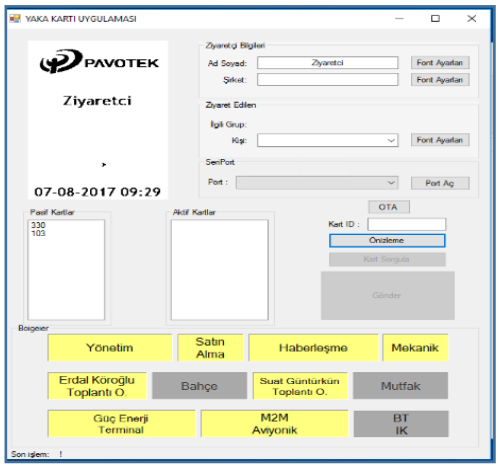
E-INK ekran olarak Pervasive Display EM027BS013 kullanılmıştır [18]. E-INK ekran CSR1010 entegresi ile SPI arayüzü ile kontrol edilecektir. E-INK ekranlar LCD (sıvı kristal ekran) ekranlarda olduğu gibi sürekli yenilenme ihtiyacı duymaz. Sürekli yenileme olmadığı için de LCD ekranlar ile karşılaştırıldıklarında çok tasarruf sağlamaktadır. E-INK ekranlar sadece ekran yenilenme esnasında enerji harcar, sabit görüntü esnasında enerji harcamaz. E-INK ekran bekleme modunda güç harcamadığı için BLE ile kullanıma çok uygundur. İki teknoloji bir arada kullanılarak düşük güç tüketimli IoT projeleri geliştirilmektedir.

Ziyaretçi takip kartında 280 mAh kapasiteli Li-Po pil kullanılacaktır. Şarj edilebilir ve batarya seviyesini bildirebilecektir. Ziyaretçi takip kartında bir adet uyarı LED'i bulunacaktır. E-INK ekran dock station kullanılarak bilgisayar arayüzü ile güncellenebilecektir. İzinsiz alanda tespit edildiğinde üzerindeki LED ile uyarı oluşturabilecektir. Her ziyaretçi için özel basılması gereken kağıdın israfını önleyecektir. Ziyaretçinin takibi ile güvenliğini arttıracaktır. Ziyaretçinin dinamik izinler ile istenilen bölgelere veya alanlara erişiminin sınırlandırılmasını sağlayacaktır. Ziyaretçi kartı donanımı Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Ziyaretçi kartı donanımı

Ziyaretçi kayıt arayüzü Şekil 5.8'de gösterilmektedir. Gelen ziyaretçilerin, ad, soyad, hangi firmadan geldiği, hangi kişiyi ziyaret edeceği verilerinin önizlenip sistemde müsait olan (dockstation'a takılı şarj durumu en yüksek olan) ziyaretçi kartının ekranını süren/güncelleyen masaüstü uygulamadır.



Şekil 5.8. Ziyaretçi kayıt arayüzü

Ziyaretçi kartlarının şarj edilebildiği ve üzerinde takılı iken ekran güncellenebildiği şarj istasyonu (dock station) ile birlikte çalışır. 10 adet ziyaretçiyi şarj eden şarj ünitesi, üzerine takılı olan kartların anlık batarya seviyelerini arayüze gönderir.

5.2.2. Envanter takip donanımı

Hastane envanter kartı, hastane içi bilgi ve tesis güvenliği gerekli konumlarda envanter kontrolü amacıyla tasarlanmıştır. Herhangi hareketli nesnenin, hareketinin başlangıcından sonuna kadar olan konum değişimini gerçek zamanlı izlemeyi sağlar. Hastane içerisindeki envanterlerin anlık konumlarını takip etmek amacıyla geliştirilmiş hareketli düğümdür. Envanterin yasak bölgeye geçişlerini kontrol etmek, sürekli kaybolan envanterlerin konumlarını öğrenmek ve hırsızlık olaylarını önlemek için kullanılacaktır. BLE entegresi yanı sıra üzerinde LIS2DH12 ivme sensörü bulunmaktadır [19]. İvme sensörü sayesinde envanterin hareket durumu tanıtım yayını içerisine eklenecek ve envanter anlık olarak takip edilebilecektir. Ayrıca ivme sensörü ile uyku periyotları belirlenecektir. Hareketsiz olan envanterin uyku periyodu daha uzun olacaktır. Hareket algılandığında ise BLE entegresi tetiklenerek tanıtım yayını yapmaya başlayacaktır. CR2032 coin pil ile çalışır. Envanter takip kartı şarj edilemez. Pil değişikliği gerekir.

Tanıtım yayını yapan envanter kartının sinyal gücü 4 (-8 dBm)'. Konum bilgisinin yanı sıra hareket durum bilgisi, izin bilgisi, kart türü bilgisi ve batarya seviyesi bilgisi sabit düğüme gönderilir. Yayın süresi ve sıklığı pil tüketimi etkilediği için hareket durumuna göre değişkendir. Envanter kartı 60 saniye sabit bir durumdaysa yayın süresi 1000 ms yapılarak güç tüketimi azaltılır. Envanter kartı hareketli bir durumda ise yayın süresi 100 ms olarak ayarlanmaktadır. Envanter takip kartı; sinyal gücü -8 dBm, yayın periyodu hareketli durumda 100 ms ve sabit durumda ise 1000 ms'dir.

Envanter takip kartı Şekil 5.9'da gösterilmektedir.



Şekil 5.9. Envanter takip donanımı

5.2.3. Personel takip donanımı

Hastane içerisindeki personellerin anlık konumlarını takip etmek amacıyla geliştirilmiş hareketli düğümdür. Personellerin turnike sistemini yönetmek, anlık konumlarını öğrenmek ve yasak bölgeye geçişlerini kontrol etmek amacıyla kullanılacaktır. BLE entegresinin yanı sıra üzerinde LIS2DH12 ivme sensörü bulunmaktadır [19]. İvme sensörü sayesinde personelin hareket durumu tanıtım yayını içerisine eklenecek ve personel anlık olarak takip edilebilecektir. Tanıtım yayını yapan personel kartının sinyal gücü -8 dBm'dir. Ayrıca ivme sensörü ile uyku periyotları belirlenecektir. Hareketsiz olan personelin uyku periyodu daha uzun olacaktır. Hareket algılandığında ise BLE entegresi tetiklenerek tanıtım yayını yapmaya başlayacaktır.

Personel takip kartında 900 mAh kapasiteli Li-Po pil kullanılacaktır. Şarj edilebilir ve batarya seviyesini bildirebilecektir. Personelin takibi ile iş güvenliği arttırılacak ve personelin dinamik izinler ile istenlien bölgelere veya alanlara erişiminin sınırlanması sağlanacaktır.

Personel takip kartı Şekil 5.10'da gösterilmektedir.

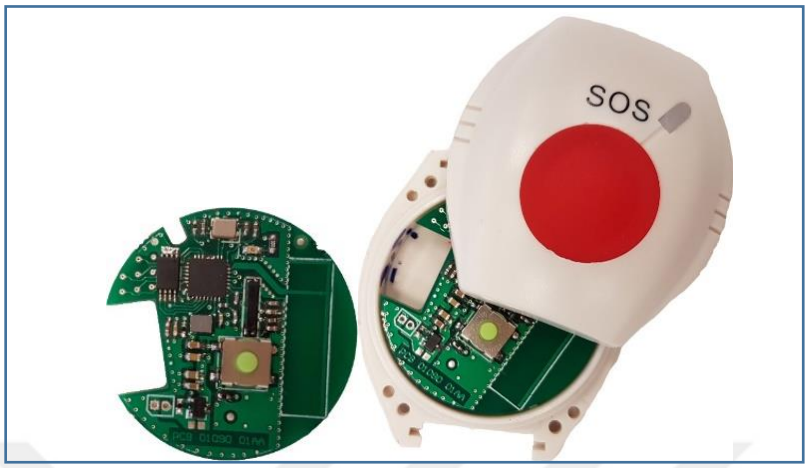


Şekil 5.10. Personel takip donanımı

5.2.4. Akıllı bileklik (panik buton) donanımı

Hastane içerisinde ve hastane dışarısında ilk müdahale süresini en aza indirebilmek için kullanılan takip donanımıdır. Hasta hastaneden taburcu olsa dahi gözlem süresi boyunca hastane ile iletişimi panik butonu ile devam edecektir. Acil durum bileklik kartı, Şekil 5.11'de görüldüğü gibi CSR1010 entegresi ve çevre birimleri ile tasarlanmıştır [17]. CSR1010 entegresi bluetooth düşük enerji (BLE) v4.1'i

desteklemektedir. Acil durum bileklikte BLE v4.1'in tercih edilmesinin sebebi batarya tüketimi ve çekim gücüdür.



Şekil 5.11. Akıllı bileklik PCB (baskı devre kartı) ve mekaniği

Akıllı bileklik takip donanımı bileklik şeklinde tasarlanmıştır. Akılı bileklik donanımı Şekil 5.12'de gösterilmiştir.

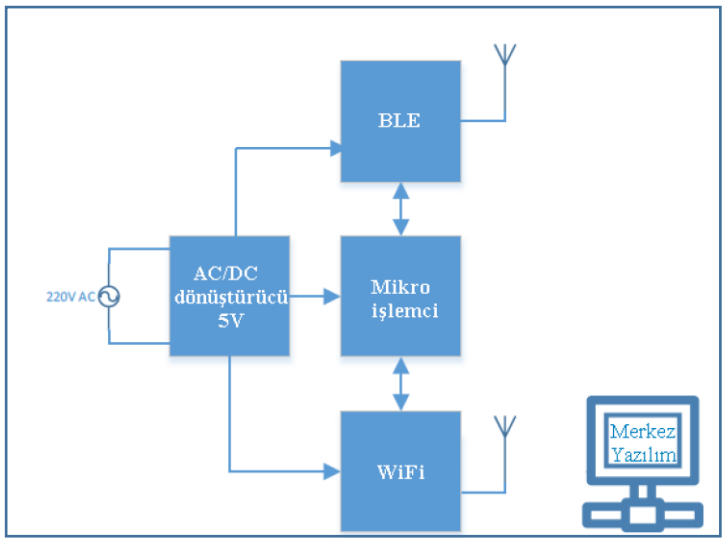


Şekil 5.12. Akıllı bileklik donanımı

5.2.5. Sabit düğüm (toplayıcı) donanımı

Sabit düğüm 5 V DC gerilim ile çalışabilir olarak tasarlanmıştır. Hareketli düğümler ile haberleşebilmek için CSR1010 BLE entegresi, merkez yazılım ile haberleşebilmek için ESP8086 WiFi arayüzü kullanılacaktır.

Sabit düğüm haberleşme ve çalışma durumu Şekil 5.13'te gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Sabit düğüm çalışma durumu

Sabit düğüm ile hareketli düğümler, BLE üzerinden gönderdiği veri içerik olarak; pil durum raporunu, haberleşme raporunu, yasak bölge durum raporunu (eğer alarm tanımlanmış alandan çıkış yapıldıysa) ve hareketsiz durum uyarısını içermektedir. Toplayıcılar, BLE kartlardan gelen veriyi toplayarak merkezdeki veri tabanına aktarır. MQTT protokolü kullanılır ve veriler kullanıcı arayüzüne işlenir. Toplayıcı aynı zamanda turnike açmadan sorumlu olabilir.

5.2.6. Dock station donanımı

Dock station donanımı, mıknatıslı pinlere sahiptir ve USB konnektörle PC'ye bağlanarak kullanılır. Resepsiyonist, ziyaretçi geldiğinde onu bekletmeden anında web arayüzünden ziyaretçi bilgilerini şarj ünitesindeki karta aktarır. 10 adet kart aynı anda şarj edilip, e-mürekkep ekranlar web arayüz kontrolüyle 1 dakika içerisinde güncellenebilmektedir. 5 V adaptör ile çalışır. Dock station üzerine yerleştirilmiş kartlar ile seri kanal üzerinden iletişim kurar. Dock station donanımı Şekil 5.14'te verilmiştir.

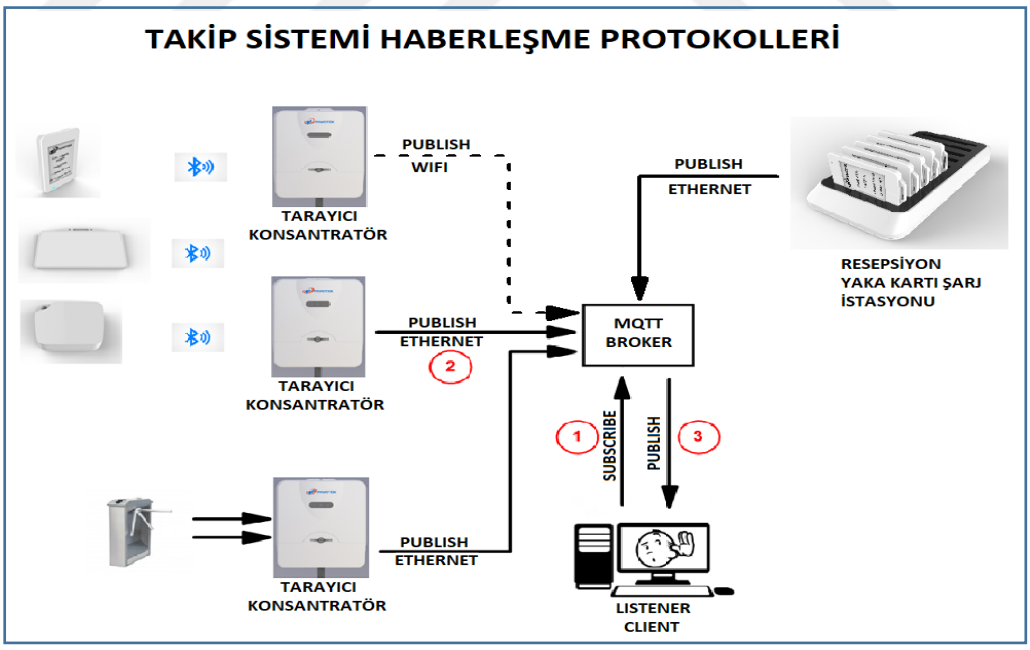


Şekil 5.14. Dock station donanımı

5.3. Hastane Takip ve Konumlama Sistemi

Hastane Envanter takip sistemi hareketli düğümler ve toplayıcı sabit düğümler olarak iki kısımdan oluşur. Hareketli düğümlerin konum bilgileri, batarya bilgileri, hareket durumu bilgileri ve izin bilgileri toplayıcı sabit düğümler vasıtasıyla toplanıp akıllı merkezi sistemde işlenerek bilgiler elde edilir. Hareketli düğüm bu proje özelinde envanter takip cihazı olarak ta isimlendirilecektir. Envanter takip cihazı, sık sık kaybolabilen nesnelerin bulunması, yerinin değiştirilmemesi veya çalınmaması için takibini kolaylaştıran akıllı cihazdır. Yetenekleri arasında batarya seviyesini bildirebilme, ivme sensörü sayesinde hareket durumunu bildirebilme, sabit düğümler tarafından tespit edilebilme, ve genelde uyku modunda olduklarından pil ömrünün uzun olması sayılabilir.

Sabit düğümlerde WiFi ve BLE teknolojilerini birlikte kullanılmaktadır. Hareketli düğüm ile haberleşebilmek için sabit düğüm BLE kullanılır. Hareketli düğümlerden alınan bilgileri merkez yazılıma iletmek için ise WiFi kullanılır. Hastane takip sisteminde kullanılan haberleşme protokolleri Şekil 5.15'te gösterilmiştir



Şekil 5.15. Hastane takip sistemi haberleşme protokolleri

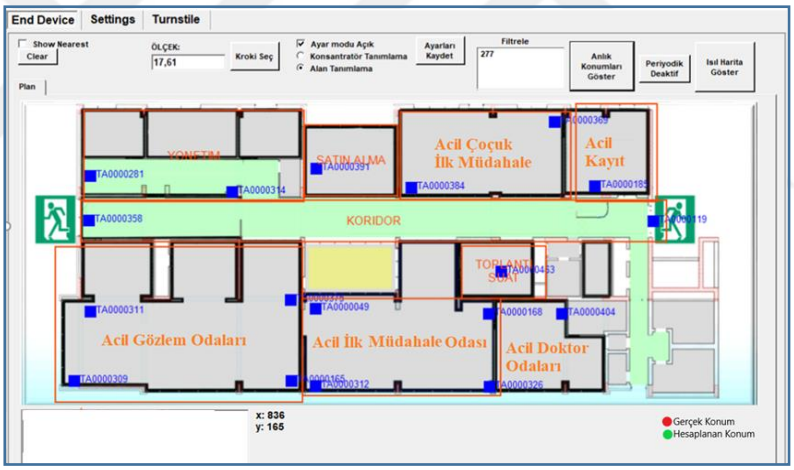
Çalışmamızda özel bir sağlık merkezinin acil katınında bulunan bölümler dikkate alınarak bir kroki oluşturulmuştur. Hastane takip sistemi bilgisayar arayüzü açılır.

Bilgisayar arayüzüne çalışmanın yapılacağı kapalı alan kroki dosyası içe aktarılır. Toplayıcı yerleştirilmemiş acil servis krokisi Şekil 5.16'da gösterilmektedir.



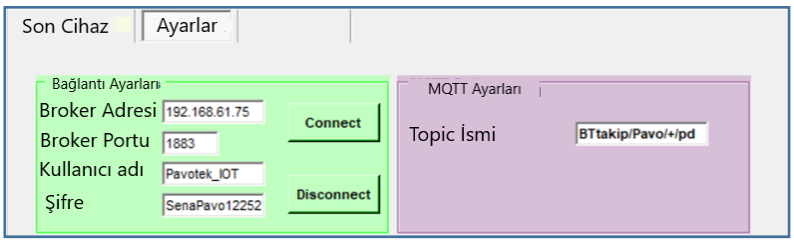
Şekil 5.16. Toplayıcı yerleştirilmemiş acil servis krokisi

Kroki üzerinde bölgeler ve sabit düğümlerin konumları girilir. Bölge seçimi yapılmış ve toplayıcı yerleştirilmiş acil servis krokisi Şekil 5.17'de gösterilmektedir.



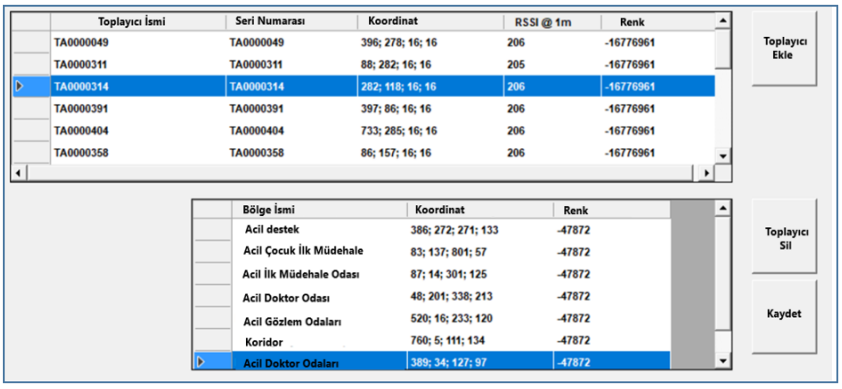
Şekil 5.17. Toplayıcı yerleştirilmiş acil servis krokisi

MQTT brokera bağlanmak için Settings sekmesin tıklanır. MQTT topic ismi, yönetici adresi, yönetici portu, kullanıcı adı ve şifre bilgileri Şekil 5.18'de gösterildiği gibi girilerek bağlantı kurulur.



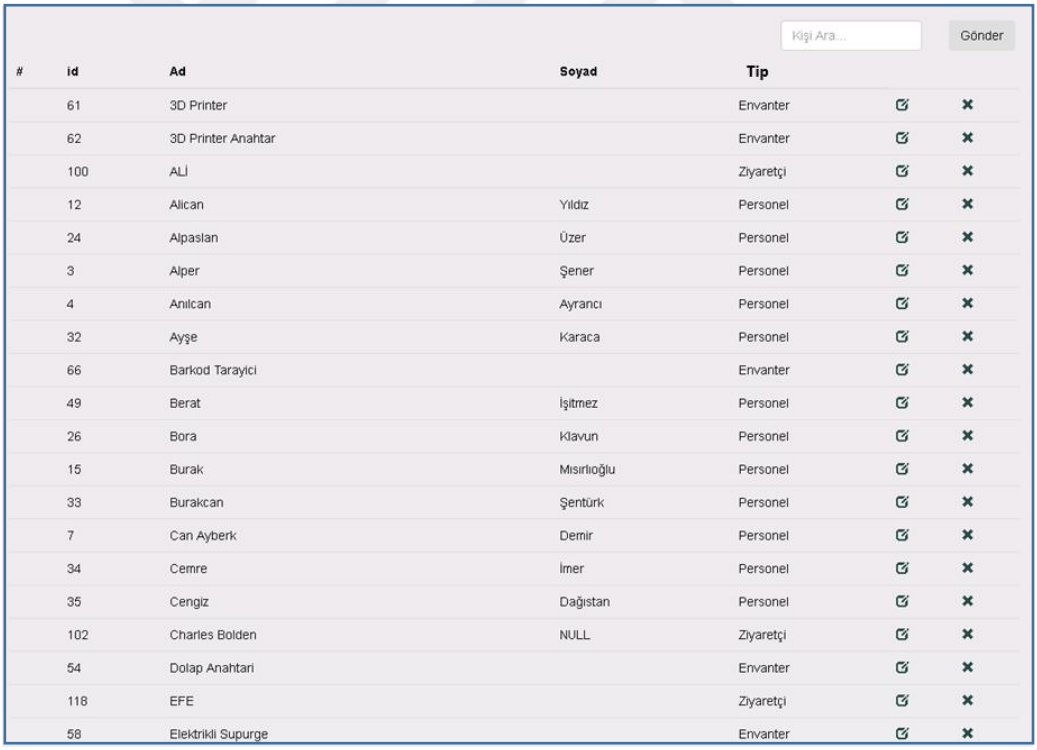
Şekil 5.18. MQTT bağlantı ayarları

Toplayıcı isimleri, koordinatları ve her toplayıcının 1 metredeki RSSI hassasiyeti kontrol edilir. Bölge isimleri ve koordinat bilgileri Şekil 5.19'da kontrol edilir.



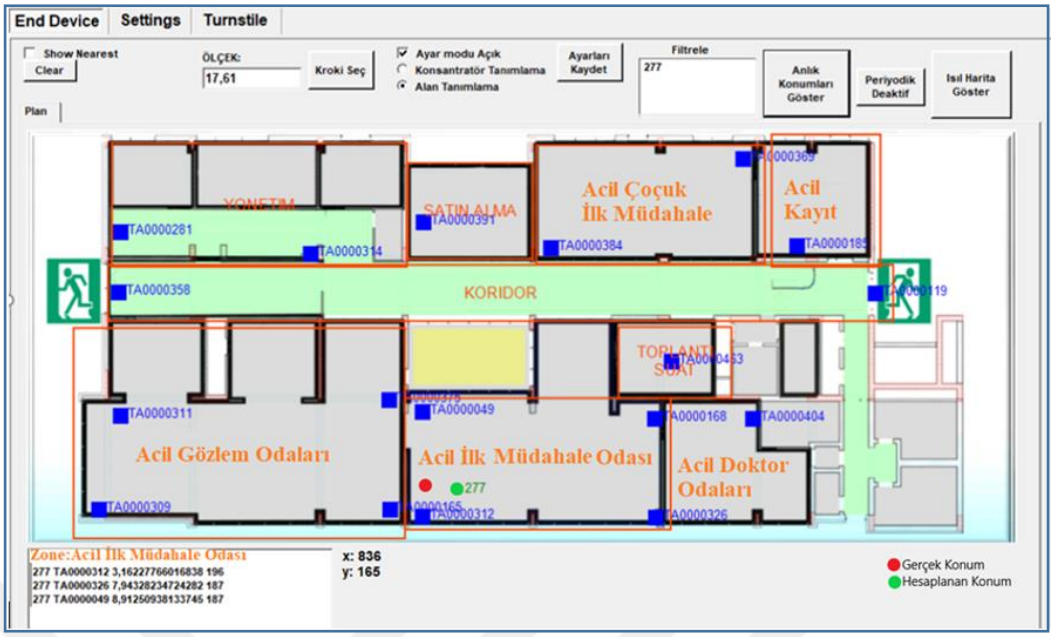
Şekil 5.19. Toplayıcı ayar sayfası

Şekil 5.20'de gösterilen ayar sayfası, personel, ziyaretçi ve envanter bilgilerinin kullanıcının istediği zaman düzenleyip, silebileceği sayfadır.



Şekil 5.20. Personel, envanter ve ziyaretçi ayar sayfası

277 numaralı değerli envanterin konumu öğrenmek için "Filtrele" sekmesine 277 yazarak "Anlık Konumları Göster"'e tıklanır. 277 numaralı envanteri en yakın gören 3 toplayıcının RSSI seviyesine göre işlem yapılır. Şekil 5.21'de 277 numaralı envanterin konumu Acil İlk Müdahale Odasında görülmektedir.



Şekil 5.21. 277 numaralı envanterin konumu

Hastane ortamında sistem kurulumu yapmak için gerekli izinler alınamadığı için "Hastane takip ve konumalama sistemi" Teknopark İstanbul'da bulunan Pavo Tasarım firması ofisinde gerçeklenmiştir. Pavo Tasarım firmasının 3 boyutlu krokisi Şekil 5.22'de ve 2 boyutlu krokisi Şekil 5.23'te gösterilmektedir.



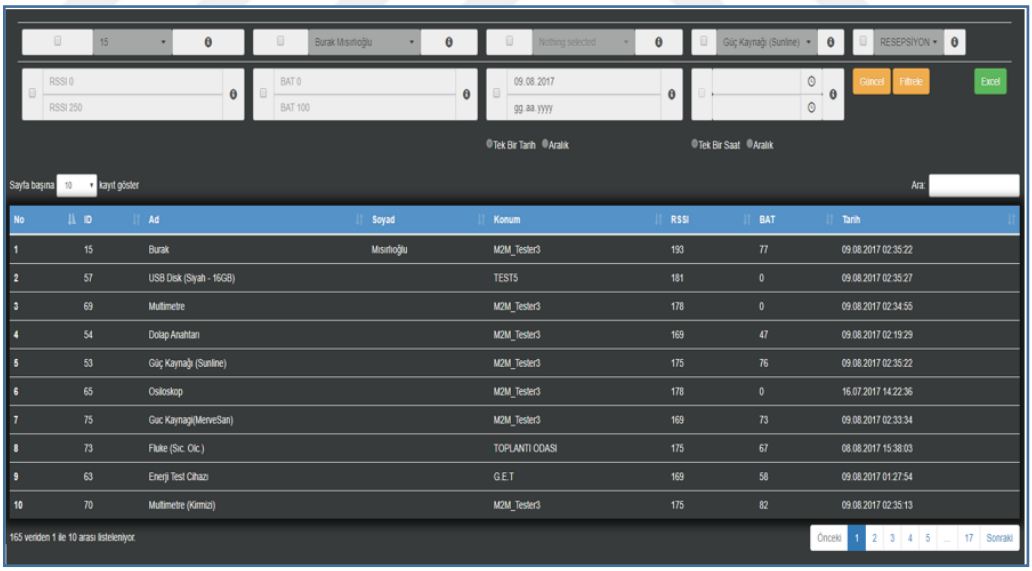
Şekil 5.22. Kroki sayfası (gerçek görünüm)

Şekil 5.22'de gösterilen kroki sayfasının üzerinde alana ait personel, envanter ve ziyaretçi sayısı canlı olarak görüntülenebilecektir.



Şekil 5.23. Kroki sayfası (2D)

Kroki üzerinde incelenmek istenen alanın linkine tıklayarak alan içerisinde bulunan personel, envanter ve ziyaretçi sayıları görüntülenir. Ekranın sağında bulunan tabloda kroki üzerinden seçilen alana ait veriler listelenir. Ekranın solunda ise seçilen personel, envanter ya da ziyaretçiye ait gün içerisinde bulunduğu alanlar listelenir.



Şekil 5.24. Filtreleme sayfası

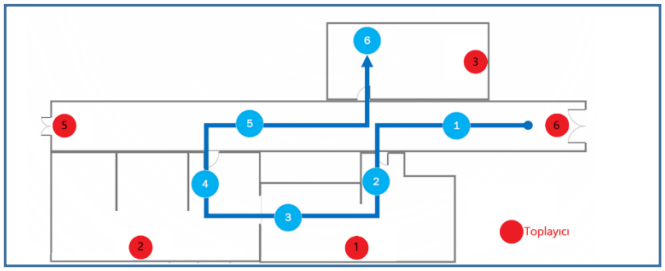
Şekil 5.24'te filtreleme ekranında karşınıza çıkan "ID", "Personel Adı Soyadı", "Misafir Adı Soyadı", "Envanter Adı", "Konum", "RSSI", "BAT", "Tarih", "Saat" bölümlerinden istenilen kriterlerde filtreleme yapılabilir.

5.3.1. Yapılan çalışma

Hastaneler için anlık ve geçmiş envanter, personel ve ziyaretçi takibi büyük önem arz etmektedir. Bunun nedeni ise hastane içerisinde ortak olarak kullanılan malzemelerin ihtiyaç halinde nerede olduğunun bilinmemesidir. Diğer bir nedeni ise pahalı envanterin anlık takibi ve izinsiz olarak bölge dışına çıkartıldığında güvenlik uyarısı verebilmesidir. Sistem güvenliğini arttırmak için hareketli düğümlerin (envanter takip kartların) yayın sıklıkları arttırılabilir. Böylece hem konum hassasiyeti iyileşme sağlanacak hem de sistem güvenliği arttırılmış olacaktır.

Envanter takibi dışında hastane çalışan takibi, hasta ziyaretçi takibi ve refakatçi takibi de sisteme entegredir.

Hastane envanter takip uygulaması temelinde MQTT protokolü bulunmaktadır. IoT ve M2M uygulamaları için bir mesajlaşma protokolüdür. MQTT istemci olarak bilgisayar arayüzü kullanılmaktadır. MQTT protokolünü benzer protoköllerden ayıran en önemli özelliği işlem yükünün hafif olmasıdır. MQTT broker Linux tabanlı oluşturulmuştur. MQTT broker mesaj trafiğini kontrol ederek haberleşme üzerinde bir trafik polisi görevi görmektedir. TCP/IP protokolünde 1883 portunu kullanmaktadır. Yöneticiye erişim bilgisayar arayüzü kullanılarak kullanıcı adı, şifre ve sunucuya ait sabit ip adresi ile sağlamaktadır. Client kendine gelen mesajı bayt dizisi olarak almaktadır. Mesaj dizisi içeriği mesaj Topic numarası, hareketli düğüm numarası, hareketli düğüm batarya ve RSSI serviyesidir. İstemci uygulamaları üzerinden gelen mesaj paketlerinin kayıt edildiği veritabanı bulunmaktadır. Veritabanı olarak MySQL programı kullanılmıştır. Toplayıcılara, envanter, personel ve ziyaretçi kartlarına ait verilerde veritabanında tutulmaktadır. Hastane takip sistemi ile anlık envanter, personel ve ziyaretçi takibi yapılabileceği görülmüştür. Personel takip kartı ile Şekil 5.25'te belirtilen güzargahta alınan ölçüm sonuçları Tablo 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.25. Hareketli düğüm ölçüm güzargahı (2D)

Hareketli düğüm ölçüm güzargahı yeşil çizgi ile Şekil 5.25'te gösterilmiştir. Güzargah geçiş noktaları Şekil 5.25'te gösterilmektedir

Hareketli düğüm ölçüm sonuçları Tablo 5.26'da yer almaktadır. Tablo 5.1'de yer alan değerler dBm cinsinden RSSI seviyesini belirtmektedir. Yeşil ile belirtilen değerler sabit düğüm ile hareketli düğümlerin en yüksek değerini belirtmektedir. Siyah ile belirtilen değerler hareketli düğümlerin tanıtım reklamlarının ulaşabildiği sabit düğümlerin RSSI seviyelerini belirtmektedir. N/A (katılmadı) ise hareketli düğümlerin tanıtım reklamlarının ulaşamadığı sabit düğümleri göstermektedir.



Şekil 5.26. Hareketli düğüm ölçüm güzargahı (3D)

Ölçüm 1 incelendiğinde Toplayıcı 3 için -75,5 dBm, Toplayıcı 6 için -65,5 dBm ve Toplayıcı 5 için de -84,2 dBm RSSI sonuçları değerlendirildiğinde hareketli düğümün Toplayıcı 6 bölgesinde olduğu görülmektedir.

Tablo 5.1. Hareketli düğüm ölçüm sonuçları

	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ölçüm 5	Ölçüm 6
Toplayıcı 1	N/A	-74,6	-69,3	-87,0	N/A	N/A
Toplayıcı 2	N/A	N/A	-83,4	-72,6	-86,2	N/A
Toplayıcı 3	-75,5	-84,4	N/A	N/A	N/A	-71,5
Toplayıcı 6	-65,5	-82,7	N/A	N/A	-81,3	-83,8
Toplayıcı 5	-84,2	N/A	N/A	-88,6	-75,7	N/A

Hareketli düğüm ile yapılan dinamik testler sonucunda;

Ölçüm 2 incelendiğinde Toplayıcı-1 için -74,6 dBm, Toplayıcı3 için -84,4 dBm ve Toplayıcı 6 için de -82,7 dBm RSSI sonuçları değerlendirildiğinde hareketli düğümün Toplayıcı-1 bölgesinde olduğu görülmektedir.

Ölçüm 3 incelendiğinde Toplayıcı 1 için -69,3 dBm, Toplayıcı 3 için -83,4 dBm RSSI sonuçları değerlendirildiğinde hareketli düğümün Toplayıcı 1 bölgesinde olduğu görülmektedir.

Ölçüm 4 incelendiğinde Toplayıcı 1 için -87 dBm, Toplayıcı 2 için -72,6 dBm RSSI sonuçları değerlendirildiğinde hareketli düğümün Toplayıcı 2 bölgesinde olduğu görülmektedir.

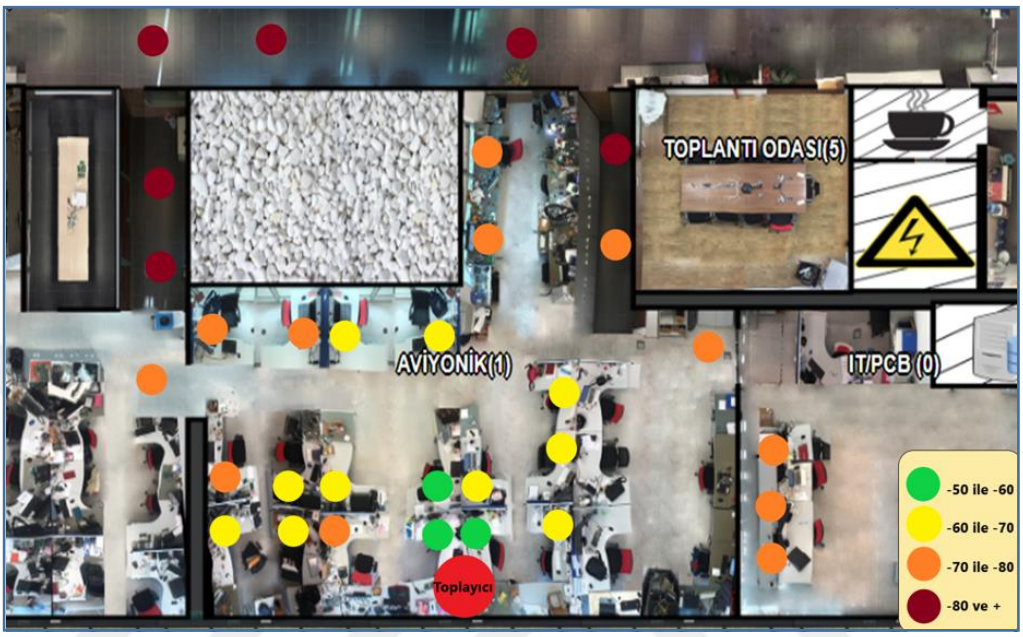
Ölçüm 5 incelendiğinde Toplayıcı 2 için -86,2 dBm, Toplayıcı 5 için -81,6 dBm ve Toplayıcı 5 için de -75,7 dBm RSSI sonuçları değerlendirildiğinde hareketli düğümün Toplayıcı 5 bölgesinde olduğu görülmektedir.

Ölçüm 6 incelendiğinde Toplayıcı 3 için -71,5 dBm, Toplayıcı-6 için -83,8 dBm RSSI sonuçları değerlendirildiğinde hareketli düğümün Toplayıcı 3 bölgesinde olduğu görülmektedir.

Ölçüm sonuçları dikkate alındığında BLE tabanlı sabit düğümler ile BLE tabanlı hareketli düğümler kullanılarak bölgesel hassasiyete sahip projeler geliştirilebileceği görülmektedir. Kapalı bir ortamda sabit bir toplayıcı ile birden fazla hareketli düğümün anlık ölçüm sonuçları Şekil 5.27'de gösterilmektedir. Yeşil renkli nokta olarak semblolize edilen konumlarda bulunan hareketli düğümler -50 dBm ile -60 dBm RSSI değerine sahiptir. Sarı renkli nokta olarak semblolize edilen konumlarda bulunan hareketli düğümler -60 dBm ile -70 dBm RSSI değerine sahiptir. Turuncu renkli nokta olarak semblolize edilen konumlarda bulunan hareketli düğümler -70 dBm ile -80 dBm RSSI değerine sahiptir. Bordo renkli nokta olarak semblolize edilen konumlarda bulunan hareketli düğümler -80 dBm RSSI değeri veya kapsama alanı dışında kalan hareketli düğümleri ifade eder.

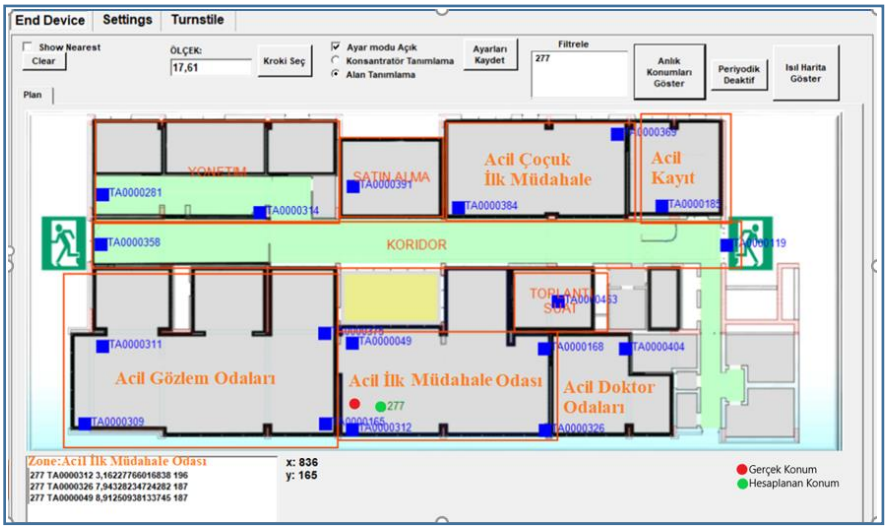
Birden fazla hareketli düğüm ile sabit bir düğüm arasındaki anlık ölçüm sonuçları Şekil 5.27'de gösterilmektedir. Sonuçlar dikkate alındığında sabit düğümler ile

hareketli düğümler arasında mesafe analizi yapılırken yansıma, kırılma ve saçılma parametrelerinin göz önünde tutulması gerektiği anlaşılmaktadır. Sabit düğümler ile hareketli düğümler arasındaki engellerden geçemeyen BLE tanıtım yayınları yansıyarak sabit düğümlere ulaşmaktadır.



Şekil 5.27. Çoklu hareketli düğüm ölçüm sonuçları

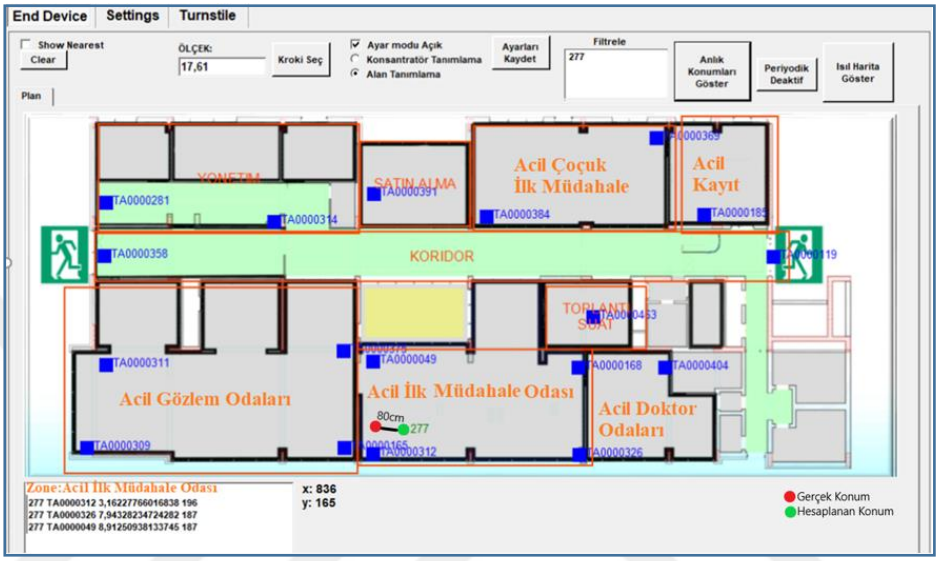
277 numaralı personel takip kartının Şekil 5.28'de gerçek konumu ile hesaplanan konumları gösterilmektedir. 277 nuramaralı personel takip kartı tanıtım yayınları TA00000312, TA00000049, TA00000168, TA00000326, TA00000165, TA00000375, ve TA00000453 numaralı toplayıcılarına ulaşmaktadır.



Şekil 5.28. Hassasiyet ölçüm sonuçları (277)

277 numaralı personel takip kartının yaptığı tanıtım yayınları en yüksek TA00000312 numaralı toplayıcıya 196 dBm, TA00000326 ve TA00000049 numaralı toplayıcılara 187 dBm sinyal gücü ile iletilmektedir.

277 numaralı personel takip kartı Şekil 5.29'da gösterilen gerçek konumu ile hesaplanan konumu arasındaki mesafe farkı 80 cm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.29. Hassasiyet ölçüm sonuçları - 2 (277)

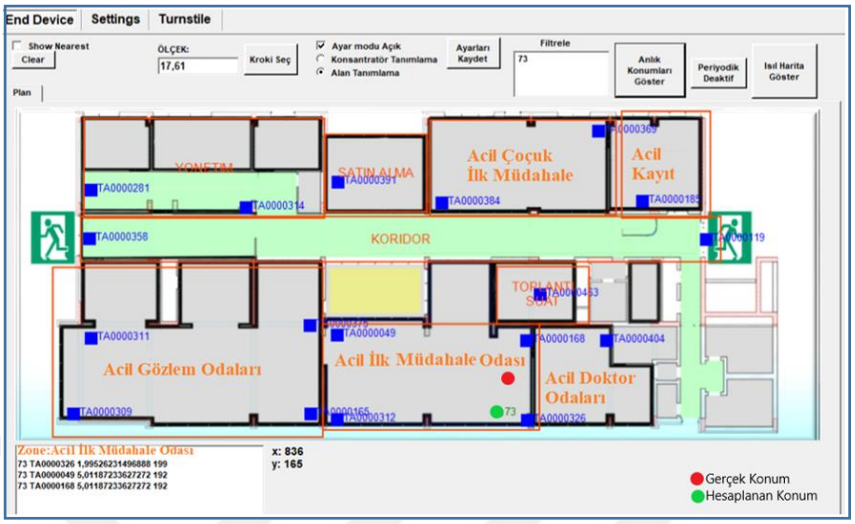
73 numaralı envanter takip kartının Şekil 5.30 ve Şekil 31'de gerçek konumu ile hesaplanan konumları gösterilmektedir. 73 numaralı envanter takip kartı tanıtım yayınları TA00000312, TA00000049, TA00000168, TA00000326, TA00000165, TA00000404, ve TA00000453 numaralı toplayıcılarına ulaşmaktadır.

277 numaralı personel takip kartının yaptığı tanıtım yayınları en yüksek TA00000326 numaralı toplayıcıya 199 dBm, TA00000168 ve TA00000049 numaralı toplayıcılara 192 dBm sinyal gücü ile iletilmektedir.

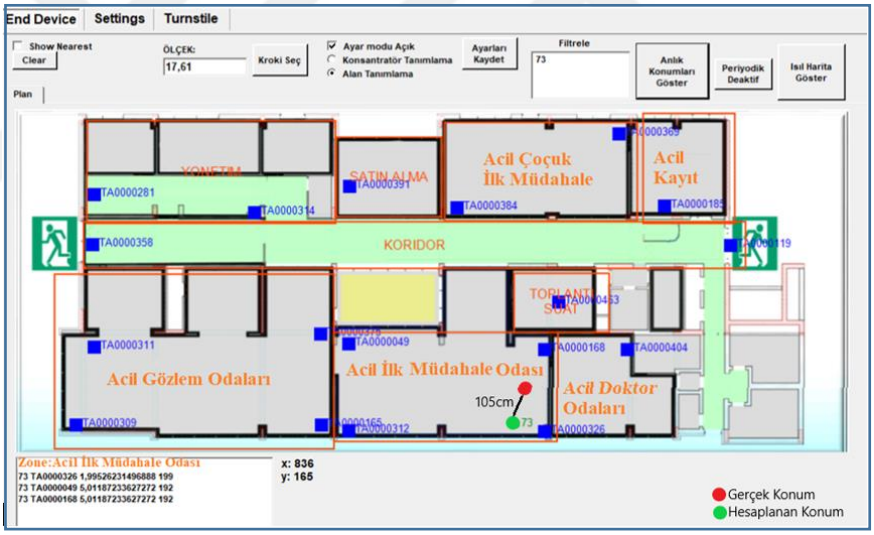
67 numaralı ziyaretçi takip kartının Şekil 5.32'de gerçek konumu ile hesaplanan konumları gösterilmektedir. 67 numaralı ziyaretçi takip kartı tanıtım yayınları TA00000384, TA00000391 ve TA00000369 numaralı toplayıcılarına ulaşmaktadır.

67 numaralı ziyaretçi takip kartının yaptığı tanıtım yayınları en yüksek TA00000384 numaralı toplayıcıya 188 dBm, TA00000369 numaralı toplayıcılara 182 dBm TA00000391 numaralı toplayıcılara 172 dBm sinyal gücü ile iletilmektedir.

67 numaralı ziyaretçi takip kartı Şekil 5.33'te gösterilen gerçek konumu ile hesaplanan konumu arasındaki mesafe farkı 220 cm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.30. Hassasiyet ölçüm sonuçları (73)



Şekil 5.31. Hassasiyet ölçüm sonuçları - 2 (73)



Şekil 5.32. Hassasiyet ölçüm sonuçları (67)



Şekil 5.33. Hassasiyet ölçüm sonuçları -2 (67)

277 numaralı personel takip cihazı, 73 numaralı envanter takip kartı ve 67 numaralı ziyaretçi takip kartları ile yapılan ölçümler sonucunda kapalı alan konum belirleme hassasiyetini etkileyen faktörler ortaya çıkmıştır. Sonuçlar Tablo 5.2'de yer almaktadır.

Tablo 5.2. Gerçek konum ile hesaplanan konum farkı

Cihaz numarası	Gerçek konum ile hesaplanan konum farkı
277	80 cm
73	105 cm
67	220 cm

Konum belirleme çalışmalarında kullanılan hareketli aynı seviyede çıkış sinyal gücüne, tanıtım reklam periyodu ve pil seviyesine sahiptirler. Testlerde kullanılan hareketli düğümlerin özellikleri Tablo 5.3'te gösterilmektedir. Bu sebeple çıkış sinyal gücü ve pil seviyesi ölçüm sonuçlarına etki etmemektedir.

Tablo 5.3. Testlerde kullanılan hareketli düğümlerin özellikleri

Testlerde kullanılan hareketli düğümlerin özellikleri	
Mikroişlemci	CSR1010 BLE v4.1
Tanıtım reklam periyodu	200 ms
Çıkış sinyal gücü	Seviye 4 (-8 dBm)
Pil seviyesi	%98 - %100

277 numaralı cihaz ile 73 numaralı cihazlar aynı bölgede bulunmalarına rağmen gerçek konumları ile hesaplanan konumları arasındaki farkın sebebi 73 numaralı cihazın olduğu alandaki yansıma oluşturabilecek engellerin bulunmasıdır. 67 numaralı cihazın ise diğer cihazlara göre konum farkının yüksek çıkmasının nedeni ise sabit düğüm konumlandırmasının doğru yapılmamasıdır. "Acil Çocuk İlk Müdahale" bölgesinde 2 adet sabit düğüm toplayıcı bulunmaktadır, diğer en yakın toplayıcı ise

“Satın Alma” bölgesinde yer almaktadır. Hassasiyeti yüksek sonuçlar elde edilmek isteniyorsa aynı bölgede en az 3 adet sabit düğüm toplayıcı bulunması gerekmektedir.

5.4. Akıllı Bileklik Sistemi

Bu çalışmada, gerçeklenen acil durum bilekliği hastane takip uygulmasının bir parçası olarak ortaya çıkmıştır. Acil bir durum oluştuğunda kazazede ile yakınları/yardım kurumları arasında köprü kurarak iletişimi sağlamaktadır.

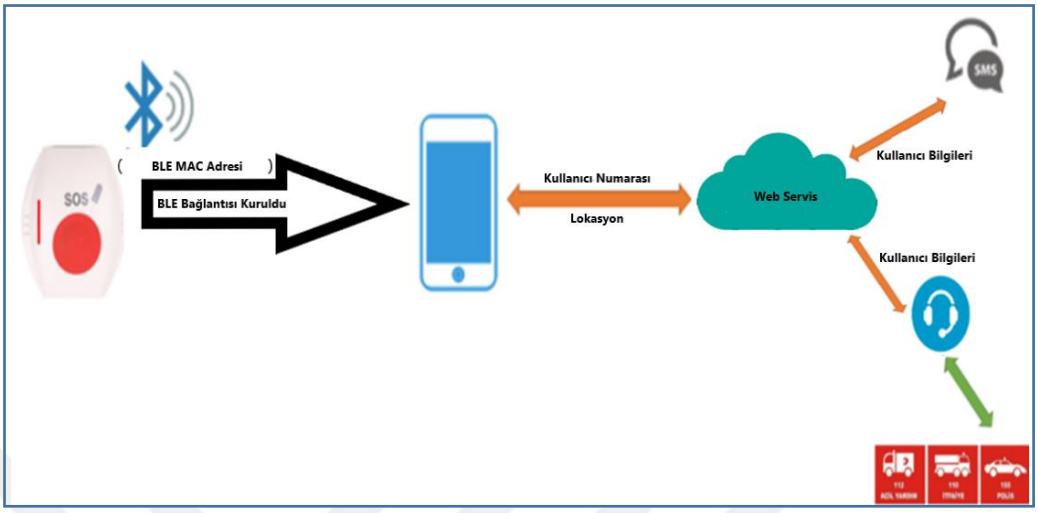
Acil durum akıllı bileklik sistemi, BLE tabanlı mikroişlemciye sahip ve üzerinde acil durum butonu bulunan bir akıllı bileklik ile mobil telefon uygulaması olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Sistemi kullanmak isteyen kişilerin, mobil uygulamayı akıllı telefonlarına kurduktan sonra üye olarak kendilerinin ve yakınlarının bilgilerini girmeleri yeterli olmaktadır. Akıllı bileklik ile mobil cihaz eşleştirmesi yapılarak akıllı bileklik ile mobil cihaz birbirleriyle öznelleştirilmektedir.

Akıllı bileklik sistemi mobil yazılım, BLE, GPS, SMS (kısa mesaj servisi), web servis ve çağrı merkezi bölümlerinden oluşmaktadır. BLE tabanlı kablosuz acil durum bilekliği sistemin şeması Şekil 5.34’te görülmektedir.

Bileklik üzerinde bulunan buton ile tetiklenen acil durum sinyali BLE teknolojisi kullanılarak mobil cihaza kablosuz olarak iletilir. Mobil cihaza iletilen mesaj paketinin içeriğinde akıllı bilekliğin BLE MAC (ortam erişim yöntemi) adresi yer almaktadır. Mobil cihaz iletişim kurduğu akıllı bilekliğin bilgilerini web servise arayüzüne göndermektedir. Web servis arayüzünden SMS veya çağrı merkezine gönderilen mesajda ise kişinin bilgileri (Türkiye Cumhuriyeti kimlik numarası, telefon numarası yaşı, hastalık geçmişi, yakın listesi vb.) yer almaktaktadır. Çağrı merkezinden ise acil servise yönlendirilirken ise kişinin bilgileri ve konum bilgileri eklenerek gönderilmektedir.

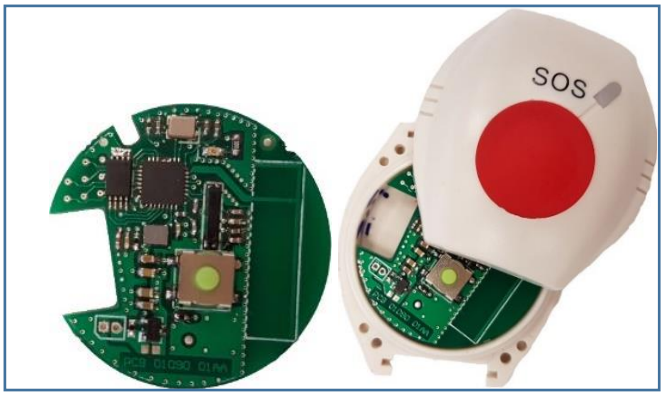
BLE (Bluetooth Low Energy), Bluetooth Classic ile karşılaştırıldığında protokol yapısında ve güç modlarındaki değişiklikler ile düşük güç tüketimli ve uzun pil ömürlü sistemlere olanak sağlamaktadır. Pil ömrü düşünüldüğünde, aynı zaman zarfında WiFi’ın harcadığı gücün %2-3 kadarını harcamaktadır [21]. Böylece pil değişimi yapılmadan yaklaşık 2 yıl kullanılabilmektedir. BLE, akıllı cihazlara, bilgisayarlara,

akıllı ev sistemlerine ve çeşitli sensörlere direkt erişim sağlayabilen bir ağ yapısı sunmaktadır. Ayrıca RSSI ile yaklaşık konum hesaplaması yapılmaktadır.



Şekil 5.34. Akıllı bileklik sistemine genel bakış

BLE konumlama, noktasal konum yerine yaklaşık konum kullanır. BLE konumlandırma sistemi için 0 - 0,5 m çok yakın, 0,5 - 2 m arası yakın, 2 - 20 m arası uzak ve 50 m üstü bilinmiyor olarak ifade edilmektedir. BLE cihaz maliyetleri RFID ve WiFi'a göre daha uygundur. Sistem tasarlanırken BLE'nin maliyetinin daha düşük olması ve akıllı cihazlar ile entegrasyon kolaylığı göz önüne alınmıştır. BLE, yeni bir çözüm olmasına karşın yaygınlaşmaya başlamıştır. Düşük maliyeti, pil ömrünün uzunluğu ve yüksek erişilebilirliği bunun en temel sebepleridir. Acil durum bileklik kartı, Şekil 5.35'te görüldüğü gibi CSR1010 entegresi ve çevre birimleri ile tasarlanmıştır [17]. CSR1010 entegresi bluetooth düşük enerji v4.1'i desteklemektedir. Acil durum bileklikte BLE v4.1'in tercih edilmesinin sebebi batarya tüketimi ve çekim gücüdür.



Şekil 5.35. Akıllı bileklik PCB'si [22]

5.4.1. Mobil yazılım

Mobil yazılım Android 4,4 (KitKat) sürümü üstündeki cihazlar için geliştirilmiştir. Mobil uygulamanın çalışabilmesi için mobil cihaz üzerinde internet erişimi, GPS ve BLE servislerinin açık olması gerekmektedir.

Mobil yazılımın özellikleri;

- Telefon açılışında otomatik açılma
- Arka planda çalışabilme
- Acil durum bileklik ile eşlenebilme
- Yakınlara SMS/mail gönderme
- İnternet aracılığla merkez ile iletişim kurma (yangın, ilk yardım, emniyet)
- İşlem kaydı tutma
- GPS ile konum algılama
- Panik buton pil seviye kontrolü

Akıllı buton mobil yazılımı Android Studio programı kullanılarak hazırlanmıştır. Mobil yazılımın arayüzü tasarlanırken kullanıcı kitlesi göz önüne alınarak sadelik ön planda tutulmuştur. Ayrıca mobil yazılımın mobil cihaz aktif olduğu süre boyunca arka planda çalışması akıllı bileklik sistemi için oldukça önemlidir.

5.4.2. Web servis

Web servis özellikle birden fazla mimari barındıran uygulamalar için geliştirilmiştir. Web servis genel anlamda farklı uygulamaların birbiri ile haberleşmesini XML mesajlaşma sistemi ile sağlayan bir yazılım parçasıdır. Akıllı bileklik sisteminde tasarlanan web servis .net dili ile hazırlanmıştır.

5.4.3. GPS

GPS son yüzyılın en önemli buluşlarından biridir. İlk kullanım amacı olan askeri cihazlar dışında kişisel akıllı cihazların büyük çoğunluğu bu teknolojiyi desteklemektedir [23]. Dünyayı çevreleyen GPS ağı Şekil 5.36'da gösterilmiştir.

GPS, dünya etrafında bulunan yirmi dört uydunun en az dördünden alınan konum, durum ve zaman veri paketleri ile alıcı tarafında konumun belirlenmesini sağlayan sistemdir. Hava durumu gibi değişkenler nedeniyle 3 - 5 metreye kadar ortalama hassasiyet değerine ulaşabilen bu teknoloji bina içinde kırılmalara ve yansımalara

maruz kalmakta; çok katlı binalarda yükseklik hesabının zorlaşmasıyla kat tahmininin zorlaşmasına neden olmaktadır.



Şekil 5.36. GPS ağı [24].

5.4.4. SMS

SMS (kısa mesaj servisi), mobil cihaz aracılığıyla yazılan mesajın başka bir mobil cihaza gönderilmesi hizmetidir.

5.4.5. Çağrı merkezi

Çağrı merkezi, farklı teknolojilerle gelen talepleri ilgili kurumlara iletmekle görevli olan departmandır. Acil durum bileklik sistemi birçok çağrı merkezine entegre olabilecek bir alt yapıya sahiptir.

5.4.6. Mobil yazılım entegrasyonu

Acil durum bileklik sisteminin kullanılabilir hale gelmesi için aşağıdaki adımların takip edilmesi gerekmektedir. Akıllı telefonun aktif bir internet bağlantısı olmalıdır. Akıllı telefona "Acil Durum Sistemi" uygulaması kurulmalıdır. Şekil 5.37'deki uygulama görseli tıklanarak uygulama başlatılmalıdır.



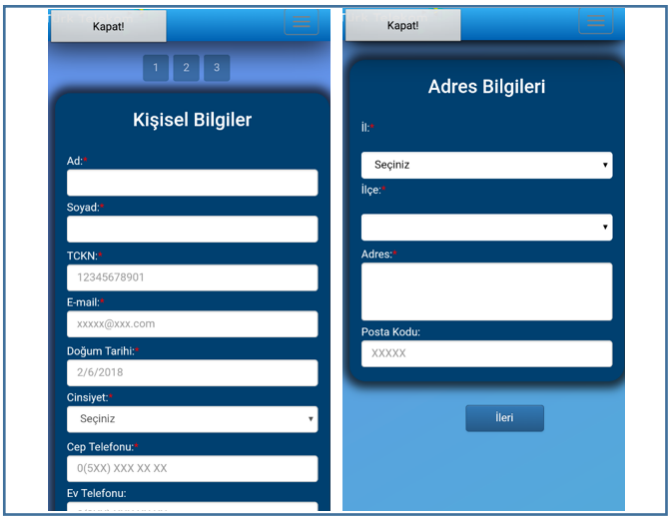
Şekil 5.37. Uygulama görseli [25]

Uygulama açılarak istenilen konuma erişim izni verilmelidir. Uygulamanın açılış ekranı "Giriş Ekranı" Şekil 5.38'de görülmektedir. Eğer sisteme daha önce kayıt olunmuşsa, kimlik numarsı ve şifre ile giriş yapılabilir. Eğer sisteme kayıt olunmadıysa, "Kayıt Ol"a basılarak kurulum adımları takip edilmelidir.



Şekil 5.38. Giriş ekranı

"Onay ekranı"na akıllı telefona gelen aktivasyon kodu, kodun istenildiği alana girilerek "Gönder"e basılmalıdır. Kayıt ekranı açılır ve ekranın üst kısmında bulunan sekme numaralarına tıklanarak, daha önce doldurulan ekranlar arasında geçiş yapılabilir. İlk sekmede, Şekil 5.39'da görülen "Kişisel Bilgiler" ve "Adres Bilgileri" alanları yer almaktadır. Resmi kimlik kartında yer alan bilgilere göre "Kişisel Bilgiler" alanı doldurulmalıdır. Ekranın alt kısımda yer alan "Adres Bilgileri" alanına, acil durumlarda size ulaşabileceğimiz adres bilgileri girilerek "İleri"ye basılmalıdır. İşaretli (*) alanların doldurulması zorunludur.



Şekil 5.39. Kişisel bilgiler ve adres bilgileri ekranı

Şekil 5.40'ta görülen "Sağlık Bilgileri Ekranı" açılır ve bu alanda istenen bilgiler, acil durumlarda sağlık ekipleri ile paylaşılmaktadır.

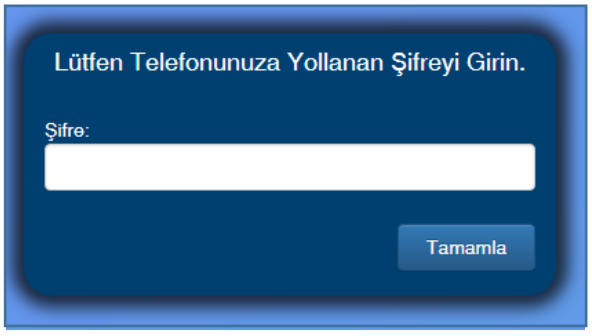
İstenilen bilgiler girilir ve “İleri”ye basarak sonraki adıma geçilir.



Şekil 5.40. Sağlık bilgileri ve yakın bilgileri ekranı

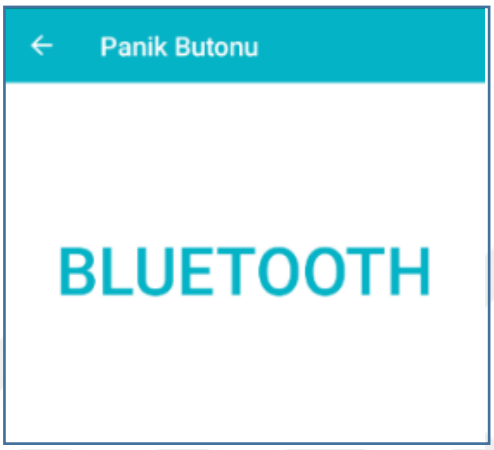
Şekil 5.40’ta görülen ekran “Yakın Bilgileri” ve “Yakın Adres Bilgileri” ekranıdır. Bu Alana acil durumda ulaşılması istenilen yakının resmi kimlik bilgileri girilmelidir. Sisteme en az bir adet yakın eklenmesi zorunludur. Sisteme birden fazla yakının tanımlanması istenirse öncelikle kayıt işleminin tamamlanması gerekmektedir. Kayıt işlemi tamamlandıktan sonra, uygulama içerisinden “Hesap Ayarları”na girilerek “Yakın Bilgileri” sekmesinden “Yakın Ekle” seçilmelidir.

Ekranın alt kısmında bulunan SMS içeriği alanından hasta yakınına gönderilecek SMS taslağı seçilir veya ilgili alana istenilen mesaj taslağı yazılır. “Kaydet”e basarak işlem tamamlanır. Kayıt başarı ile tamamlandığında “Hesap Aktivasyonu Ekranı” açılır ve “Kişisel Bilgiler” alanında belirtilen numaraya SMS ile aktivasyon şifresi gönderilir. Şekil 5.41’de görülen “Hesap Aktivasyonu Ekranı”na bu şifre girilir, “Tamamla”ya basılarak hesap aktif hale getirilir.



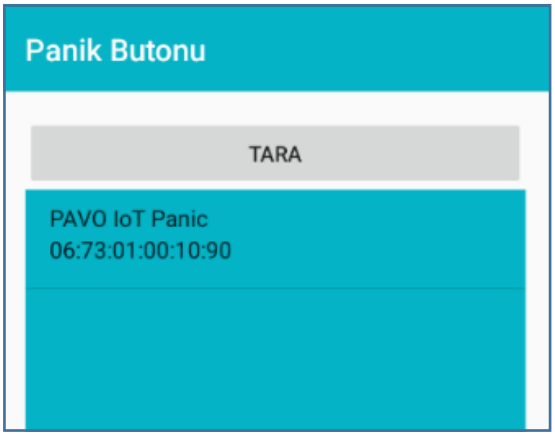
Şekil 5.41. Hesap aktivasyon ekranı

Hesap aktif olduğunda “Giriş Ekranı” açılır. “Giriş Ekranı”nda ilgili alanlara TCKN (Türkiye Cumhuriyeti Kimlik Numarası) ve şifre bilgileri girilerek “Giriş”e basılır. Giriş başarılı şekilde gerçekleştiğinde “Panik Buton Mod Seçme Ekranı” açılır. Kurulum ve kayıt işlemi tamamlandıktan sonra akıllı bileklik ile mobil telefonu eşleme işlemi yapılır. Şekil 5.42’de Panik Buton Mod Seçme Ekranı’nda yer alan seçeneklerden Bluetooth modu seçilir.



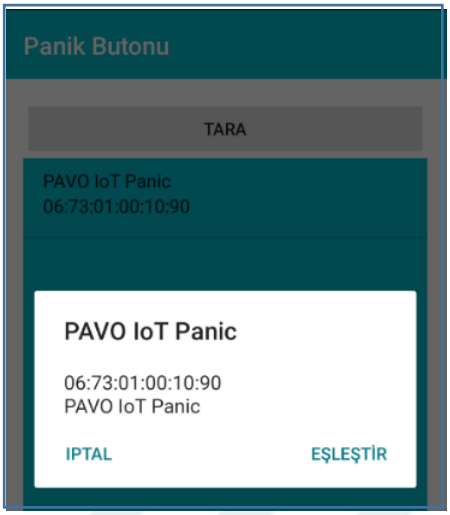
Şekil 5.42. Mod seçme ekranı

Bluetooth’un açık olduğundan emin olunmalıdır. Uygulamanın, Bluetooth erişim izni isteği kabul edilir. Panik Buton üzerinde bulunan kırmızı butona, panik buton üzerindeki LED yanıp sönmeye başlayana kadar basılı tutulur. Panik buton üzerindeki LED yanıp sönmeye başladıktan sonra mobil uygulamada Şekil 5.43’te açılan ekranda “TARA”ya basılır. Eşleşme sağlanması için “EŞLEŞTİR” seçilerek ilerlenir. Tarama sonucunda ekranda listelenen cihazlardan “Pavo IoT Panic” seçilir. Eğer cihaz bulunamadıysa tekrar “TARA”ya basılır.



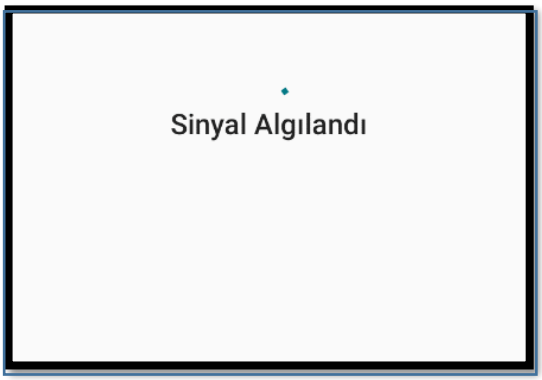
Şekil 5.43. Tarama ekranı

Eşleşme sağlanması için Şekil 5.44'te açılan ekranda "EŞLEŞTİR" seçilerek ilerlenir.



Şekil 5.44. Eşleştirme ekranı

Eşleşme başarılı şekilde sağlandığında "Eşleşme Başarılı" mesajı ekranda görülür. "OK" seçilerek eşleştirme işlemi tamamlanır. Eşleşme işlemi tamamlandığında panik buton servisi otomatik olarak başlar ve "Uygulama Ana Ekranı" açılır. Panik Buton üzerinde yanıp sönen LED sabit olarak yanmaya başlar ve sonrasında söner. Bu süreçte mobil uygulama üzerinde Şekil 5.45'te görülen "Sinyal Algılandı" ekranı açılıp-kapanır. LED sönene kadar işlem yapmadan beklenmelidir.



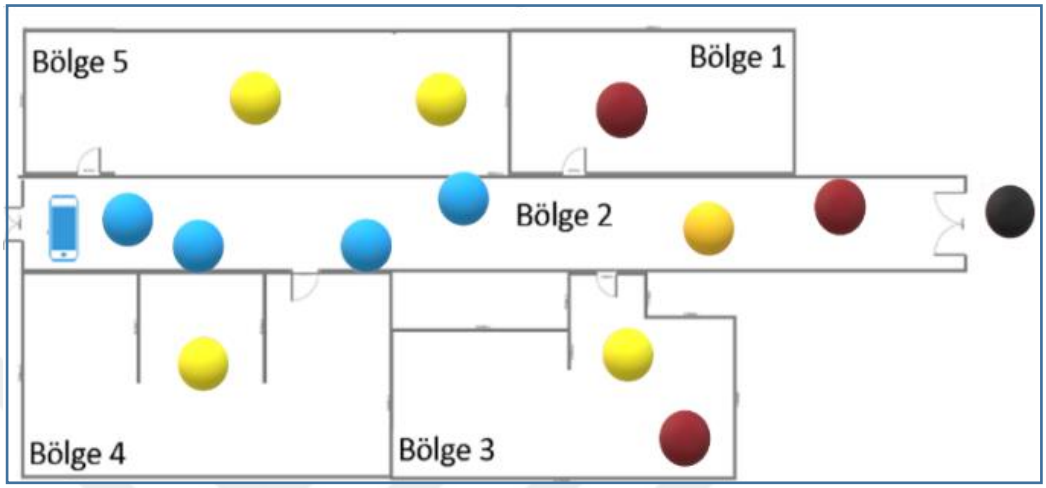
Şekil 5.45. Sinyal algılandı ekranı

5.5. Test Senaryosu

Test senaryosu kapsamında statik durumda bulunan hareketli düğümler ile statik durumda bulunan mobil cihaz arasındaki ölçüm sonuçları kaydedilecektir. Test esnasında hareketli düğümlerin güç tüketimleri gözlemlenecektir.

5.5.1. Statik test

Hareketli düğüm ile sabit düğüm 65 m^2'lik bir kapalı bir alanda uçtan uca bağlantı kurabilme kabiliyetine sahiptir. Açık alanda ise bağlantı kurabilme kabiliyeti 50m'dir.



Şekil 5.46. Ölçüm sonuçları

RSSI, alıcıya ulaşan işaret gücü ile ilişkilidir. Bina içi kırılma, yansıma, çoklu-yol etkisi ve ideal olmayan ortam nedeniyle hata oranı artar. Hata oranı hareketli nesneler ile sürekli değişiklik gösterir [21]. Verici antenden alıcı antene ulaşan işaretteki güç kaybı, ideal durumda sadece FSPL (Boş Alan Yolu Kaybı)'dir. Bu hesaba dahil edilemeyen başka kayıplar da yaşanacaktır.

Şekil 5.46'da gösterilen 65 m^2 büyüklüğünde bir kapalı alan krokisidir. Mobil cihaz ile acil durum bilekliği Şekil 5.46'da farklı renklerle sembolize edilen noktalarda ölçüm alınmıştır. Mavi renk çok yakını (RSSI seviyesi -70), sarı renk yakını (RSSI seviyesi -79), kırmızı renk uzağı (RSSI seviyesi -84) ve siyah renk kapsama alanı dışı olarak ifade edilmektedir. Mavi renk ile sembolize edilen bileklik 3,4 m uzaklıkta, sarı renkle sembolize edilen bileklik 14 m uzaklıkta, kırmızı renkle ifade edilen bileklik 23 m uzaklıkta ölçülmüştür. Siyah renkle gösterilen bileklik sinyali ise kapsama alanına girmemiştir.

Ölçüm sonuçları açık alanda daha iyi sonuç verirken duvar gibi sinyal kırıcı ortamlarda daha kötü sonuç vermiştir.

Tablo 5.4'de RSSI seviyeleri belirtilmiştir.

Tablo 5.4. RSSI değişimi

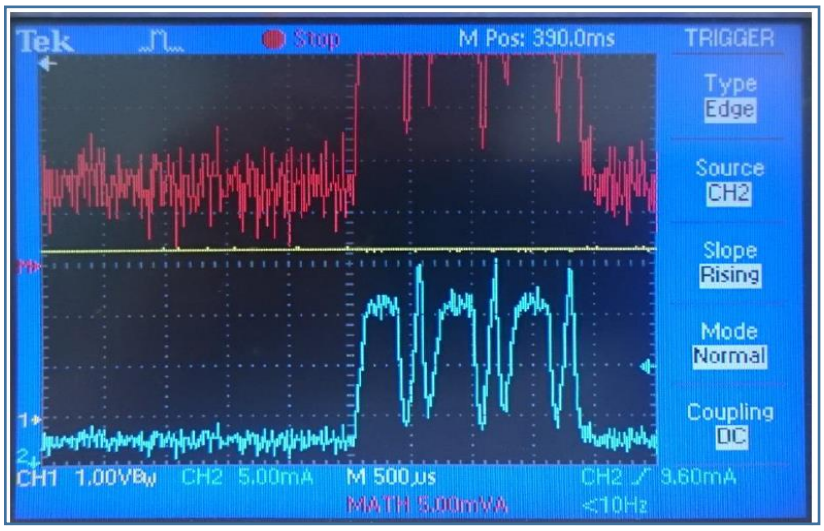
Çıkış Gücü 4 (-8 dBm)	RSSI
Mavi	-66,8 ile -70,5
Sarı	-74,3 ile -79,6
Kırmızı	-83,6 ile -84,5
Siyah	Kapsama Alanı Dışı

Bu statik testin amacı sabit düğüm ile hareketli düğümün 65 m^2'lik bir kapalı alanda sinyal algılama yeteneğini göstermektir.

5.5.2. Güç tüketimi

Hareketli düğüm için güç tüketimi pil ömrü için önemli bir ölçüttür. Çıkış gücü seviye 4 (-8 dBm) için tanıtım anındaki gerilim ve akım değerleri ölçülmüştür. Hareketli düğüm aktif durumda ortalama 3 V – 10 mA olmaktadır. Şekil 5.47'deki Ölçümler Tektronix TPS2024B ile yapılmıştır. Kullanılan CR2032 pil 240 mAh toplam enerjiye sahiptir [26].

Panik tetiklendikten sonra mobil yazılım ile bağlantı kurana kadar aktif durumda reklam göndermeye devam etmektedir. Bağlantı kurma süresi mesafeye göre değişmektedir. Eğer bağlantı kurulmadıysa panik buton aktif olduktan 15 dakika sonra pasif duruma geçmektedir.



Şekil 5.47. Hareketli bileklik tanıtım çevrimi güç tüketimi [21]

240mAh=10mA*n (5.3)

Denklem (5.3)'te n basım sayısını ifade etmektedir. Denklem (5.3) sadeleştirme sonucunda n, 24h olarak alınmıştır. 1 basımın maksimum aktiflik süresi 15 dakika olduğu için akıllı bileklik basım ömrü 96 basım olarak hesaplanmıştır.

5.6. Akıllı Bileklik Sistemi

Acil durum bileklik sistemi, mobil yazılımı ile iletişim kurulan kişi/kurum değiştirilerek farklı amaçlar için de kullanılabilir. Acil durum bileklik sistemi örneğin yaşlı ve engelli kişilerin hayat kalitesini arttırmak için veya kişisel güvenlik alanlarında rahatlıkla kullanılabilir. Yaşlı nüfus ve engelli bireylerin hareketlilik ve hedeflerine güvenli bir şekilde ulaşması konusunda sorunları bulunmaktadır. Acil durum bileklik sistemi yaşlıların ve engellilerin serbesteçe hareket etmelerini sağlar. Çünkü kentsel ortamlardaki başlarına gelebilecek en küçük olumsuzlukları yakınlarına kolayca haber verebileceklerdir. Birleşmiş Milletler 2014 raporunda, dünya genelinde her üç kadından birinin fiziksel veya cinsel saldırı mağduru olduğu ortaya koyulmuştur [27]. Şehirlerde, özellikle de gelişmekte olan ülkelerde, kadınların erkeklerden herhangi bir biçimde saldırıya uğramasının daha olası olduğu bildirilmiştir [28]. Avrupa Birliği'nde bile kadınların yaklaşık yüzde 50'si 15 yaşından beri cinsel tacize uğramıştır [29].

Acil durum bileklik sistemi ile yakınlara hemen bir tehlike mesajı gönderilebilir. Böylece kişiye ulaşılabilir ve güvenliği sağlanabilir. Acil durum bileklik sistemi güvenlik önlemleri alabildiği için aile içi istismar ve şiddet mağduru olan insanlar için de basit ve etkili bir çözümdür. BLE tabanlı acil durum bilekliği sistemini benzeri çalışmalardan ayıran en büyük avantajı kablosuz teknoloji yardımıyla uyarı oluşturabilmesidir. Acil bir durum ile karşı karşıya kalındığı stresli ortamda mobil telefon ile uyarı oluşturmak acil durum bilekliği ile uyarı oluşturmaktan oldukça zordur. Mobil uygulama BLE tabanlı akıllı bileklikten aldığı sinyalleri anlamlandırarak yakınlara/yardım kuruluşlarına iletmektedir. Mobil uygulama çağrı merkezleri ile iletişim kurabilecek alt yapıya sahiptir.

Mobil uygulama BLE tabanlı akıllı bileklikten aldığı sinyallere (BLE MAC adres) konum bilgisi ekleyerek web servise göndermektedir. Web servis, mobil uygulama kayıt anında girilen tüm bilgileri veritabanında saklanmaktadır. Web servisteki kişisel bilgiler ile konum bilgileri çağrı merkezi ile yardım kuruluşlarına yönlendirilir.

Yakınlara ise web servis veritabanında kayıtlı olan numaralar kullanılarak bilgilendirme kısa mesajı gönderilmektedir.

5.6.1. Yapılan çalışma

Akıllı bileklik ile acil bir uyarı oluşturulduğunda kişinin tanımlı olduğu mobil cihaz dahil tüm cihazlara bağlantı mesajları gönderilir. Akıllı bileklik sadece daha önce eşleşme işlemi yapılan cihaza bağlanabilir.

Mobil cihaz üzerinde internet bağlantısı olmalıdır. Ayrıca Android Studio ile hazırlanan "Akıllı Bileklik" uygulaması da çalışır durumda olmalıdır. Akıllı bileklik uygulaması ile akıllı bileklik BLE MAC adresi kullanılarak kablosuz bağlantı kurulur.

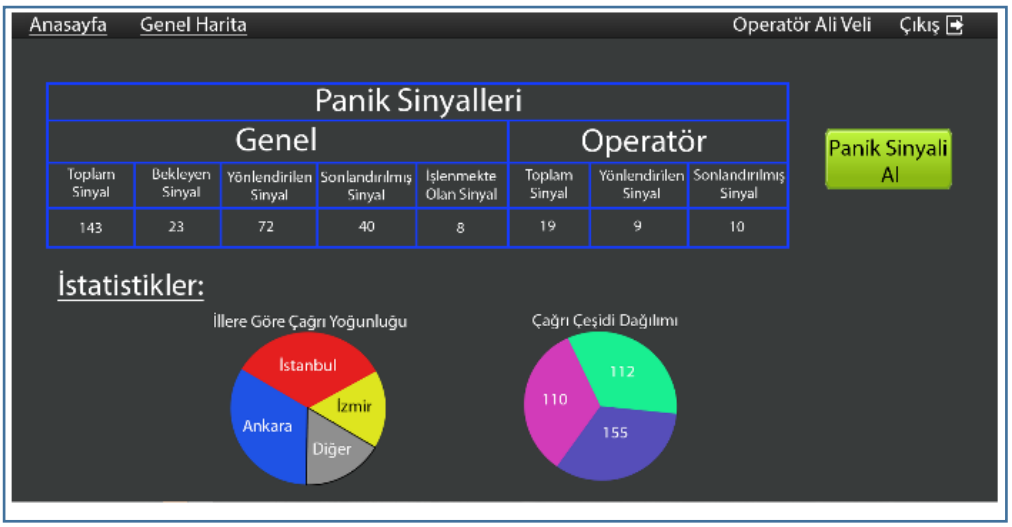
Akıllı bileklik uygulaması web servise bağlantı kurulan akıllı bileklik BLE MAC adresi ile konum bilgilerini gönderir.

Web servis MAC adresi ile gelen paketi alarak veritabanındaki "BLE MAC – Kişi Bilgileri" tablosu ile eşleştirme yapar. Mobil uygulamaya yakın olarak kaydedilen numaralara konum bilgisini içeren Şekil 5.48'de görülen SMS gönderilir.



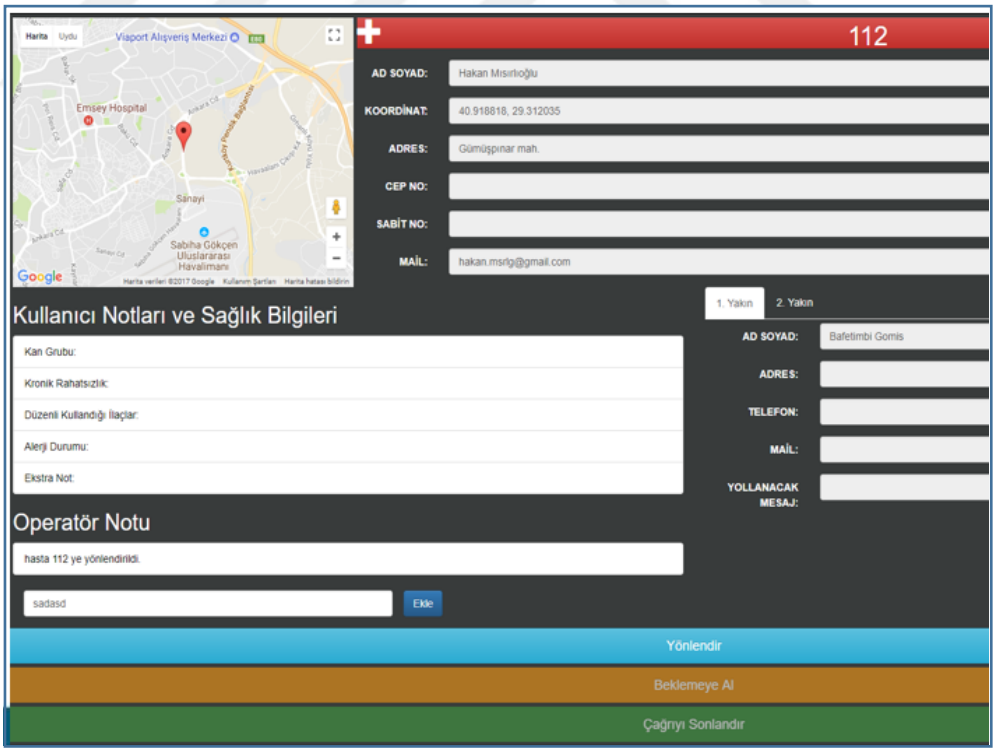
Şekil 5.48. Bilgilendirme kısa mesajı

Web servis aynı zamanda üst sistem olarak ayarlanan çağrı merkezine kişi bilgilerini içeren acil durum mesajı gönderecektir. Çağrı merkezi ekranına panik sinyali mesajı düşecektir. Uygun olan çağrı merkezi çalışanı Şekil 5.49'da görülen "Panik Sinyali Al" sekmesine tıklamalıdır.



Şekil 5.49. Panik sinyal dağılımları

Şekil 5.50'de görülen çağrı merkezi ekranında acil durum sinyalinin oluştuğu konum bilgisi ile kişisel bilgilere ulaşılacaktır. Çağrı merkezi ilk olarak acil durum çağrısı oluşturan kişi ile iletişim kurmaya çalışacak, doğru bir acil durum çağrısı olması durumunda acil servis ve kişinin yakınlarına haber verecektir.



Şekil 5.50. Çağrı merkezi arayüzü

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Temelinde GPS koordinat verisi ve mobil telefon kullanılarak geliştirilmiş uyarı sistemleri içeren makale ve tezler incelendiğinde genel olarak kişisel güvenlik amacıyla tasarlandığı görülmüştür. Chand ve arkadaşları, acil durum çağrısını mobil telefon üzerinden verebilen ve polis merkezi ile iletişim içinde olan bir acil durum sistemi tasarlamışlardır [20]. Benzer bir çalışmada, Anshul Chauhan ve arkadaşları acil durum sinyalini mobil cihaz ile üretebilmektedir [30]. M.Şanlı ve arkadaşları, geliştirdikleri mobil hasta takip sistemini RF teknolojisi ile tasarlamışlardır [31]. A. Yılmaz ve arkadaşları ise kablosuz haberleşme tabanlı hasta takip sistemini "Bluetooth Classic" ile tasarlamışlardır [32]. RFID, Bluetooth Classic teknolojileri, BLE teknolojisine göre eski teknoloji oldukları için güç tüketimi ve çekim gücü karşılaştırmalarında oldukça geridedir. M. Güleryüz ve arkadaşları GPS, RFID/NFC, WiFi ve BLE teknolojilerini kapsama alanı, erişebilirlik, hasssasiyet, maliyet ve güvenlik ölçütlerine göre incelemişlerdir. İncelemeler sonrasında BLE ve RSSI yapısının kapalı alan konumlandırma sistemlerini en uygun bulmuşlardır [21].

Akıllı bileklik sistemi daha çok kapalı alanlarda çalışacağı için BLE teknolojisi ile tasarlanmıştır. Literatürdeki tezlerin en büyük eksikliği acil durum sinyalini mobil cihaz üzerinden oluşturmalarıdır. Bu nedenle mobil cihazı sürekli yanlarında taşımak zorunda kalırlar. Acil durum bileklik sistemi ile mobil cihaz yanlarında olmadan acil durum bilekliği yardımıyla sıvıya temas eden ortamlarda bile ortamda yardım sinyali oluşturabileceklerdir. Acil bir durum içindeyken bileklik ile uyarı oluşturmak mobil cihaz ile uyarı oluşturmaktan çok daha kolaydır. Ayrıca BLE tabanlı acil bileklik sistemi ise esnektir, tüm çağrı merkezlerine uyarlanabilecek bir alt yapı ile tasarlanmıştır.

Literatürde bulunan acil durum bileklikleri ile akıllı bileklik arasında belirgin farklar vardır. Literatürdeki cihazlarda uyarı oluşturabilmek için akıllı telefonun yanınızda olması gerekir. Ancak, akıllı bileklik sisteminde acil durum bilgisini gönderebilmek için akıllı telefonun yanınızda olması gerekmez. Akıllı bileklik ile eşleştirilen mobil

cihazın 65 m^2 bir ev içerisinde olması yeterli olacaktır. Bu sayede acil bir durum oluştuğunda akıllı telefonun yanlarında olması gerekmeyecek ve bileklerine taktıkları akıllı bileklik butonu ile kolaylıkla uyarı oluşurabilecektir. Literatürde bulunan diğer acil durum sistemleri mobil cihaz üzerinden uyarı oluşturabildikleri için suya dayanıklı değildir. Akıllı bileklik ise suya dayanıklı mekaniği sayesinde sıvı içeren ortamlarda da kullanılabilmektedir. Örneğin duşta fenalaşarak hareketsiz kalan bir hasta kolundaki acil durum bilekliğini butona basarak aktif edip yakınlarına/yardım merkezlerine konum bilgisi ile haber verebilecektir. Akıllı bileklik sisteminin diğer acil durum sistemlerine göre bir diğer üstünlüğü ise güç tüketimidir. Acil durumları dışında pasif olan akıllı bileklik en az 96 acil durumu mobil cihaza iletebilecek düşük güç tüketimine sahiptir. Akıllı bileklikte kullanılan batarya CR2032'dir. Batarya değişimi kolaylıkla yapılabilecek mekanik yapıya sahiptir. Bu sayede kullanıcının batarya değişimi için ürünü yetkili servise götürmesi gerekmeyecektir.

Tomohiro Kuroda ve arkadaşları [33] BLE beacon teknolojisi kullanarak hastane içerisi konumlandırma sistemi üzerine çalışmışlardır. Benzer bir çalışmada Dutta ve arkadaşları [34] beacon kimliklerini kullanarak hastane içerisinde konum belirleme uygulaması yapmışlardır. BLE beacon işaretinin 3 ayrı kimliği vardır. Bu kimlikler, UUID (Universally Unique Identifier, evrensel olarak tanımlayıcı) 16 byte ile özel alanları, büyük kimlik 2 byte ile grupları ve küçük kimlik ise 2 byte ile sınıfları belirtir [35]. Xin-Yu Lin ve arkadaşları da beacon teknolojisini kullanarak kapalı alan konumlandırma sistemi üzerine çalışmışlardır [36]. Zhouchi Li ve arkadaşları yenidoğan servisindeki bebekleri beacon teknoloji kullanarak takip etmek üzere çalışmışlardır [37]. BLE tabanlı acil durum bilekliği, beacon teknolojisini desteklediği için benzer uygulamalar geliştirmek için kullanılabilmektedir.

Thaljaoui ve arkadaşlarının 2015 yılında yayınladığı "BLE Localization using RSSI Measurements and iRingLA" başlıklı çalışmasında üçgenleme yöntemi ile üç sabit toplayıcı düğümden toplanan RSSI verileri ile iki farklı yarıçap oluşturulmuştur. İlk yarıçap 100 adet RSSI verisinin ortalaması alınarak, ikinci yarıçap ise en büyük 10 RSSI verisinin ortalaması alınarak oluşturulmuştur [38]. Ortalamalarla belirlenen bu iki yarıçap ile çizilen daireler arasında kalan alan ile konum tahmini yapılmıştır. 16 metrekarelik alanda üç farklı sabit toplayıcı düğüm yapılan çalışmada en uzak mesafe

4 m olarak belirlenmiştir. İdeal ortamda pil tüketiminin önemsenmeden yapılan çalışma hassasiyeti 0,4 m olarak hesaplanmıştır.

Myungin Ji ve arkadaşlarının 2015 yılında yaptığı "Analysis of Positioning Accuracy Corresponding to the Number of BLE Beacons in Indoor Positioning System" başlıklı çalışmada farklı üreticilerden temin edilen BLE beaconlar ile tanıtım yayınları yapılmıştır [39]. Sabit düğüm olarak akıllı telefonlar kullanılmıştır. Çalışma sonucu olarak konumlama hassasiyetini arttırabilmek için sabit düğüm sayısının arttırılması gerektiği gösterilmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Acil durum bileklik sistemi 7/24 hizmet veren çağrı merkezleri ile entegre olabilecek bir alt yapıya sahiptir. Bu sayede ambulans yönlendirmesi hızlıca yapılabilemektedir. Ortaya çıkış sebebi sağlık alanı olsa da akıllı bileklik sistemi kişisel güvenlik alanında kullanıma son derece uygundur. Bu tür vakalarda ilgili bilgiler hemen güvenlik birimlerine ulaşamadığı için yardım edilememektedir. Bu vakalarda en büyük sorun gizli ve hızlı olarak yakınlara/yardım merkezlerine konum bilgisi gönderilerek yardım isteğinin bildirilememesidir.

Bu iki önemli sorunun yanında tehdit, soygun ve hırsızlık durumlarında da kullanıcı butona basarak yakınlarına/yardım merkezlerine sinyal gönderebilmektedir. Bulunduğu koordinat ve adres bilgileri GPS vasıtasıyla belirlenerek ilgili birimlerin de yönlendirilmesi sağlanır. Böylelikle herhangi bir acil durumda, hatırlanması güç olan tüm numaralara tek bir butonla erişilebilir ve kişi kolayca kendisini güvende tutabilir. Akıllı bileklik sistemi teletıp uygulamaları için alt yapı oluşturulabilir. CSR1010 entegresi SPI (Serial Peripheral Interface), I2C (Inter Integrated Circuit) ve UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) haberleşmesini destekleyen biyomedikal algılayıcılar ile yeni sistemler oluşturulabilir. Elde edilen biyolojik sinyaller (kalp atışı, vücut sıcaklığı gibi) mobil cihaza gönderilebilir. Böylelikle acil durum bilekliği panik sinyalinin yanı sıra anlık hasta takip uygulamasına da dönüşebilir. Akıllı bileklik kartı beacon alt yapısı kullandığı için iBeacon ve EddyStone konfigürasyonlarına uyumludur. Bu sayede farklı uygulamalarda kullanıma uygundur.

Hastane takip ve konumlandırma sistemi için yapılan ölçümler sonucunda konumlandırma hassasiyeti 2 - 3 metre olarak hesaplanmıştır. Sabit düğümlerin sayısı artırılarak hassasiyet seviyesi bir metrenin altına indirilebilir. Hassasiyet seviyesini arttırmanın diğer bir yolu hareketli düğümlerin yayın sıklığını arttırmaktır.

Yayın sıklığı arttıkca güç tüketimi de artacağı için pil değişim süresi kısalacaktır.

Sonuç olarak; hastane takip sistemi ile sınırları belirlenmiş bölgelerde statik ve dinamik olarak yapılan testlerde hareketli düğüm konumları doğru tahmin edilmiştir. Hastane takip sistemi idealden uzak ortamlarda kullanılabilecek bölgesel hassasiyetli kablosuz konumlama sistemidir.

KAYNAKLAR

[1] Mehdi M., Semi-supervised Deep Reinforcement Learning in Support of IoT and Smart City Services, *IEEE Internet of Things Journal*, DOI: 10.1109/JIOT.2017.2712560.

[2] Gints J., Vadim K., Vadim Z., An Analysis of Wi-Fi Based Indoor Positioning Accuracy, *Scientific Journal of Riga Technical University*, DOI: 10.2478/v10143-011-0031-4.

[3] https://www.qualcomm.com/media/documents/files/csr1010-data-sheet.pdf (Ziyaret tarihi: 04 Mayıs 2019).

[4] Mardeni R., Shaifull N., Node Positioning in ZigBee Network Using Trilateration Method Based on the Received Signal Strength Indicator (RSSI), *European Journal of Scientific Research*, 2010, **46**(1), 48-61.

[5] Sauter M., Mobility Management in the Cell-DCH State., *GSM to LTE: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband*., 2nd ed., 171-179, India, 2010.

[6] Chong T., Efficient RFID tag placement framework for in building navigation system for the blind, *Asia-Pacific Symposium,* 2010, **81,** 6.

[7] Korbel P., Analysis of the influence of radio beacon placement on the accuracy of indoor positioning system, *FedCSIS*, 889-894, Krakow, Polonya, 8-11 Eylül 2013.

[8] Pritt N., Indoor location with Wi-Fi fingerprinting, *Workshop: Sensing for Control and Augmentation*, DOI: 10.1109/UEMCON.2016.7777834.

[9] http://mqtt.org/ (Ziyaret tarihi: 04 Mayıs 2019).

[10] Špeh I., Heđ I., A Web Based IoT Solution for Monitoring Data Using MQTT Protocol, *Int. Conf. Smart Syst. Technol.*, DOI: 10.1109/SST.2016.7765668.

[11] Luzuriaga J. E., Cano J. C., Calafate C., Manzoni P., Perez M., Boronat P., Handling mobility in IoT applications using the MQTT protocol, *Internet Technologies and Applications,* DOI: 10.1109/ITechA.2015.7317403.

[12] https://www.oasis-open.org/ (Ziyaret tarihi: 04 Mayıs 2019).

[13] Yongguang C., Hisashi K., Signal Strenght Based Indoor Geolocation, *2002 IEEE International Conference on Communications. Conference Proceedings,* DOI: 10.1109/ICC.2002.996891.

[14] Zhang W., Xianghong H., Domain clustering based WiFi indoor positioning algorithm, *2016 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN),* DOI: 10.1109/IPIN.2016.7743641.

[15] http://blog.lighthouse.io/indoor-location-technologies-compared (Ziyaret tarihi: 02 Ocak 2019).

[16] Dian F.J., Yousefi A., Xianghong H., A practical study on Bluetooth Low Energy (BLE) throughput, *2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON),* DOI: 10.1109/IEMCON.2018.8614763.

[17] https://www.qualcomm.com/media/documents/files/csr1010-data-sheet.pdf (Ziyaret tarihi: 04 Mayıs 2019).

[18] http://www.pervasivedisplays.com/LiteratureRetrieve.aspx?ID=214530&A (Ziyaret tarihi: 12 Haziran 2019).

[19] LIS2DH12 Datasheet. https://www.st.com/ (Ziyaret tarihi: 03 Mayıs 2019).

[20] Dhruv C., Karnataka-India "A Mobile Application for Women's Safety: WoSApp", *TENCON 2015*, DOI: 10.1109/TENCON.2015.7373171.

[21] Güleryüz M., "Bölge Tanımlı Kapalı Alanlar İçin Düşük Güçlü Bluetooth Konumlama Sistemi" İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015, 10098119.

[22] https://pavotek.com.tr/portfolio/panik-buton/, (Ziyaret tarihi: 04 Şubat 2019).

[23] http://blog.lighthouse.io/indoor-location-technologiescompared/, (Ziyaret tarihi: 22. Ekim 2018).

[24] http://www8.garmin.com/aboutGPS/, (Ziyaret tarihi. 22 Ekim 2018).

[25] http://www.myiconfinder.com/icon/alert-bell-emergency-fire-alarm-light-signal-warning/21165, (Ziyaret tarihi: 15 Mart 2018).

[26] CR2032 Datasheet. http://data.energizer.com/PDFs/cr2032.pdf, (Ziyaret tarihi: 12 Ekim 2018).

[27] http://apps/who/int/iris/bitstream/10665/85239/1/9789241564625, (Ziyaret tarihi: 14 Aralık 2018).

[28] Vanderschueren F., The Prevention of Urban Crime., *Paper presented at the Africities 2000 Summit*, 144, Nairobi, Kenya, 2007.

[29] European C., Industrial Relations and Social Affairs, *Sexual harassment at the workplace in the European Union*, 3, Brüksel, Belçika, 1998.

[30] Anshul C., Healtcare Information Management System Android OS, *2017 3rd International Conference on* Computational Intelligence and Networks (CINE), DOI: 10.1109/CINE.2017.29.

[31] Yılmaz A., Kablosuz Haberleşme Teknolojisi İle Uzaktan Hasta Takip Sistemi, *Electronic Letters on Science & Engineering*, **13**(1), 16-30.

[32] Şanlı M., Mobil Hasta Takip Sistemi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2009, 259488.

[33] Tomohiro K., Impact of Position Tracking on the Outpatient Navigation System, Member, *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, DOI: 10.1109/EMBC.2012.6347386.

[34] Dutta A., Location-awareness based data dissemination for Smart Hospitals Samsung Research Institute, *International Conference on Medical Imaging,* DOI: 10.1109/MedCom.2014.7005978.

[35] Senan M., Sharhan H., Indoor Mapping for Location-based Policy Tooling Using Bluetooth Low Energy Beacons, *IEEE 11th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob),* DOI: 10.1109/WiMOB.2015.7347937.

[36] Xin-Yu L., A Mobile Indoor Positioning System Based on iBeacon Technology, *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC),* DOI: 10.1109/EMBC.2015.7319507.

[37] Zhouchi L., Using iBeacon for Newborns Localization in Hospitals, *10th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT),* DOI: 10.1109/ISMICT.2016.7498906.

[38] Val T., Nasri N., Brulin, D., BLE Localization using RSSI Measurements and iRingLA, *Industrial Technology IEEE International Conference (ICIT),* DOI: 10.1109/ICIT.2015.7125418.

[39] Kim, J., Jeon J., Cho Y., Analysis of Positioning Accuracy corresponding to the number of BLE beacons in Indoor Positioning System, *Advanced Communication Technology (ICACT)*, DOI: 10.1109/ICACT.2015.7224764.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

[1] Bolat E.D., **Altın M.S.,** BLE Tabanlı Hastane Envanterinin Konum Takip Sisteminin Gerçeklenmesi, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (Bahar),* 2134-2142, Kocaeli, Türkiye, 26-28 Nisan 2019.

ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Aydın'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Aydın'da tamamladı. 2011 yılında girdiği Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 2015 yılında Elektrik Elektronik Mühendisi olarak mezun oldu. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2010 yılında çalışmaya başladığı Dikmen Bal firmasından 2015 yılında ayrıldı. 2015 yılından beri İstanbul Teknopark'ta bulunan Pavo Tasarım Üretim Elektronik A.Ş'de askeri ve sivil projelerde yazılım tasarım mühendisi olarak çalışmaktadır.