

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

**DÜŞÜK ENERJİLİ BLUETOOTH TEKNOLOJİSİ KULLANAN YENİ BİR  
MOBİL İLETİŞİM AĞININ TASARIMI VE UYGULAMASI**

**MUSTAFA ÇETİNGÖZ**

**DOKTORA TEZİ**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Tez Danışmanı: DR. ÖĞRETİM ÜYESİ DENİZ TAŞKIN**

**EDİRNE-2020**

Mustafa ÇETİNGÖZ'ün hazırladığı “Düşük Enerjili Bluetooth Teknolojisi Kullanan Yeni Bir Mobil İletişim Ağının Tasarımı ve Uygulaması” başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalında bir Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri :

İmza

Doç. Dr. Cenk MISIRLI

.....

Doç. Dr. Erdiñ UZUN

.....

Dr. Öğretim Üyesi Deniz TAŞKIN

.....

Dr. Öğretim Üyesi Tarık YERLİKAYA

.....

Dr. Öğretim Üyesi Murat Olcay ÖZCAN

.....

Tez Savunma Tarihi: 02 / 09 / 2020

Bu tezin Doktora tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Dr. Öğretim Üyesi Deniz TAŞKIN  
Tez Danışmanı

İmza

.....

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Murat YURTCAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI DOKTORA**  
**PROGRAMI**  
**DOĞRULUK BEYANI**

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

02 / 09 / 2020

Mustafa ÇETİNGÖZ

Doktora Tezi

Düşük Enerjili Bluetooth Teknolojisi Kullanan Yeni Bir Mobil İletişim Ağının Tasarımı ve Uygulaması

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

## ÖZET

Günümüzdeki teknolojik gelişmeler akıllı mobil cihazlara da açıkça yansımaktadır. Ortaya çıkan yeni ihtiyaçları ve kullanımı karşılamak amacıyla özellikleri ve kapasitesi artırılmış ürünler geliştirilmektedir. Akıllı telefonlar sadece telefon haberleşmesi aracı olmaktan çıkmış, kazandırılan bu yeni özellikler ile birlikte birçok işlevi yerine getirebilen bilgi işleme yeteneklerine sahip mini bir mobil el bilgisayarı haline gelmiştir. Bu gelişmelerle birlikte kullanıcıların mobil cihaz etkileşimi ve internet kullanımlarında da artış meydana gelmiştir. Mobil akıllı cihazlarda doğası gereği zaten yaşanmakta olan hızlı şarj tükenme sorunu daha fazla gün yüzüne çıkmaya başlamıştır.

Bu çalışmada, mobil akıllı cihazlarda enerji tüketimini düşürebilmek için kullanıcıların internet erişimini kesmek durumunda kalmalarının önüne geçilmesi amacıyla yeni bir iletişim ağı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Geliştirilmiş olan iletişim ağı, mevcut internet erişim ağları pasif iken mobil uygulamalara bildirim gönderilebilmesine olanak sağlamaktadır. Tasarımın temelinde Wi-Fi aracılığı ile internet üzerinden gerekli kontrolleri yapan ve bildirimleri Düşük Enerjili Bluetooth (BLE) aracılığı ile mobil cihaza ileten yeni bir donanım yer almaktadır. Tasarımın diğer tarafında ise, gelen bildirimleri yine BLE üzerinden alarak kullanıcıyı bilgilendiren bir akıllı telefon uygulaması yer almaktadır.

Geliştirilen iletişim altyapısı 3G, 4.5G ve Wi-Fi ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmada iletişim metotları, güç tüketimi ve iletişim sıklığı arasındaki ilişki incelenmiştir. Geliştirilen iletişim altyapısının sık aralıklarla haberleşmesi gereken uygulamalarında avantaj sağladığı gösterilmiştir.

Yıl : 2020

Sayfa Sayısı : 162

Anahtar Kelimeler : Düşük Enerjili Bluetooth, Enerji tüketimi, Akıllı telefon, İletişim



Doctoral Thesis

Design and Implementation of a New Mobile Communication Network Using Bluetooth Low Energy Technology

Trakya University Institute of Natural Sciences

Computer Engineering Department

## **ABSTRACT**

Nowadays, technological developments are clearly seen particularly in mobile smart devices. In order to meet the new needs and usage, products with increased features and capacity are developed. Smartphones are no longer just a means of telephone communication, but with these new features, they have become a mini mobile handheld computers with information processing capabilities that can perform many functions. Along with these developments, there has been an increase in users' mobile device interaction and internet usage. The quick energy consumption problem, which is already experienced in mobile smart devices, has started to emerge further.

In this study, in order to reduce energy consumption, a new communication network has been designed to prevent users from interrupting their mobile smart devices' internet access. The developed communication network allows mobile applications to send notifications while existing internet access networks are passive. In the core of the design, there is a new hardware that performs the necessary controls over the internet via Wi-Fi and transmits the notifications to the mobile device via Bluetooth Low Energy (BLE). On the other side of the design, there is a smartphone application that receives incoming notifications via BLE and informs the user.

Newly developed communication infrastructure has been compared with 3G, 4.5G and Wi-Fi. Experimental results show the relationship among communication methods, power consumption and communication interval. It has been shown that the developed communication infrastructure provides advantages in its applications communicating too often.

Year : 2020

Number of Pages : 162

Keywords : Bluetooth Low Energy, Energy consumption Smartphone,  
Communication



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince, başından sonuna kadar desteğini, fikirlerini ve yardımlarını benden esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Deniz TAŞKIN'a, tüm katkılarından ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında ihtiyaç duyduğum her an bilgisini, tecrübesini ve yardımlarını esirgemeyen değerli dostum Dr. Taşkın TEZ'e de tüm katkı ve desteğinden dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmasını yürütürken tıkanırdım ya da girdiğim çıkmazlarda beni dinleyip yardım elini benden esirgemeyen Doktora Öğrencisi Ali Rıza ALTAN, Yüksek Lisans Öğrencisi Mühendis Cengiz BAYRAM ve Yüksek Lisans Öğrencisi Oğuz YURTSEVER başta olmak üzere tüm mesai arkadaşlarıma da yardım, katkı ve desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak tez çalışmam süresince her daim yorulmadan anlayış ve sabır göstererek benden desteklerini hiçbir zaman eksiltmeyen, değerli eşime ve canım kızıma da çok çok teşekkür ederim.



# İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
EKLER DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1 .....	1
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Çalışmanın Amacı .....	1
1.2. Çalışmanın Kapsamı.....	2
1.3. Önceki Çalışmalar .....	3
BÖLÜM 2 .....	9
2. MOBİL CİHAZLARDA KULLANILAN KABLOSUZ İLETİŞİM YÖNTEMLERİ 9	
2.1. Hücresel Ağ Sistemi Bağlantı Yöntemleri .....	9
2.1.1. Analog Hücresel İletişim Sistemi (1G).....	12
2.1.2. Sayısal Hücresel Sistemler (2G).....	14
2.1.3. Üçüncü Nesil Hücresel İletişim Sistemleri (3G) .....	17
2.1.4. Dördüncü Nesil Hücresel İletişim Sistemleri (4G).....	19
2.1.5. Beşinci Nesil Hücresel İletişim Sistemleri (5G).....	20
2.2. Kablosuz Yerel Alan Ağları / Kişisel Alan Ağları Bağlantı Yöntemleri .....	21
2.2.1. Wi-Fi.....	22
2.2.2. Kıızılötesi Bağlantı (IrDA) .....	26
2.2.3. Yakın Alan Ağı İletişimi (NFC) .....	27
2.2.4. Bluetooth ve Düşük Enerjili Bluetooth.....	29
BÖLÜM 3 .....	30
3. DÜŞÜK ENERJİLİ BLUETOOTH TEKNOLOJİSİ.....	30
3.1. Düşük Enerjili Bluetooth Teknolojisinin Tarihçesi.....	30
3.2. BLE Desteklenen Özellikler.....	31

3.3. BLE Protokol Yığının Mimarisi .....	32
3.3.1. BLE Mimarisi - Kontrolcü Blok .....	32
3.3.1.1. Fiziksel Katman .....	33
3.3.1.2. Bağlantı Katmanı .....	34
3.3.1.3. Sunucu Kontrolcü Arabirimi .....	41
3.3.2. BLE Mimarisi - Sunucu Bloğu .....	41
3.3.2.1. Mantıksal Bağlantı Kontrolü ve Uyarılama Protokolü .....	41
3.3.2.2. Öznitelik Protokolü .....	42
3.3.2.3. Güvenlik Yöneticisi Protokolü .....	43
3.3.2.4. Jenerik Öznitelik Profili (GATT) .....	44
3.3.2.5. Genel Erişim Profili (GAP) .....	45
3.3.3. BLE Mimarisi - Uygulama Bloğu .....	47
3.4. BLE Donanım Yapılandırmaları .....	49
3.5. BLE Ne Değildir? .....	50
BÖLÜM 4 .....	51
4. BLE TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK GELİŞTİRİLEN YENİ MOBİL İLETİŞİM AĞI .....	51
4.1. Ana Tasarım ve Sistem Bileşenleri .....	51
4.2. Geliştirilen Sistem .....	56
4.2.1. İletişim Metodu-1 .....	56
4.2.2. İletişim Metodu-2 .....	66
4.2.3. İletişim Metodu-3 .....	70
BÖLÜM 5 .....	74
5. VERİMLİLİĞİN ARAŞTIRILMASI .....	74
5.1. Kurgulanan Test Ortamı .....	74
5.2. Mobil Telefon Bekleme Durumu Testleri .....	77
5.3. E-posta Programı Testleri .....	86
5.4. Geliştirilen Mobil Uygulamanın Testleri .....	105
BÖLÜM 6 .....	124
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	124
6.1. Elde Edilen Sonuçlar .....	124
6.2. Tartışma .....	131

KAYNAKLAR .....	133
EKLER .....	139
EK- A. Mobil Uygulama Ana Ekran Görüntüsü .....	139
EK- B. Mobil Uygulama Yönetimsel Yapılandırma Formu .....	140
EK- C. Taranan Cihazlar Formu .....	141
EK- D. Kullanıcı Yapılandırma Formu .....	142
EK- E Bilgilendirme Formu .....	143
ÖZGEÇMİŞ .....	144
TEZLE İLGİLİ BİLİMSEL FAALİYETLER .....	145



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Hücresel iletişim sistemi. ....	11
Şekil 2.2. Analog hücresel iletişim sistemi (1G).....	13
Şekil 2.3. Sayısal hücresel iletişim sistemi (2G).....	16
Şekil 2.4. Geniş bant sayısal hücresel iletişim sistemi (3G). ....	18
Şekil 2.5. Wi-Fi TCP katman yapısı. ....	23
Şekil 3.1. Bluetooth sürümleri arası yapılandırma farkları. ....	31
Şekil 3.2. BLE yığın mimarisi. ....	32
Şekil 3.3. Fiziksel katman radyo frekansları. ....	33
Şekil 3.4. Link katmanı durum makinesi. ....	35
Şekil 3.5. Duyuru ve tarama.....	36
Şekil 3.6. BLE paket yapısı.....	37
Şekil 3.7. Pasif ve aktif tarama.....	39
Şekil 3.8. Bağlantı anı olayları.....	40
Şekil 3.9. ATT işlemleri.....	43
Şekil 3.10. BLE donanım yapılandırması. ....	50
Şekil 4.1. Ana tasarım modeli. ....	51
Şekil 4.2. ESP32 mikro kontrolcü.....	53
Şekil 4.3. İletişim Metodu-1'e ait protokol akışı. ....	57
Şekil 4.4. Duyuru paketinin yapısı. ....	63
Şekil 4.5. Duyuru paketinin görüntüsü. ....	63
Şekil 4.6. E-posta bildirim amaçlı duyuru paket yapısı. ....	65
Şekil 4.7. E-posta bildirim amaçlı örnek duyuru paket görüntüsü. ....	65
Şekil 4.8. İletişim Metodu-2 için temel protokol akışı.....	67
Şekil 4.9. İletişim Metodu-3 için temel protokol akışı.....	72
Şekil 5.1. Test ortamı. ....	75
Şekil 5.2. Ölçüm sistemi. ....	76

Şekil 5.3. Uçuş kipi devreden geçen akım (Osiloskop görüntüsü). .....	77
Şekil 5.4. Telefon uçuş kipindeyken bilgisayara aktarılan veri örneği. ....	78
Şekil 5.5. Telefonun uçuş kipi bekleme durumu ölçüm grafiği. ....	79
Şekil 5.6. Telefonda sadece Bluetooth açık bekleme durumu (Osiloskop görüntüsü). ..	80
Şekil 5.7. Telefonda sadece Bluetooth açık bekleme durumu ölçüm grafiği. ....	80
Şekil 5.8. Telefonun sadece GSM açık bekleme durumu için ölçüm grafiği. ....	81
Şekil 5.9. Telefonda GSM ve Bluetooth açık bekleme durumu akım ölçüm grafiği. ....	82
Şekil 5.10. Telefonda 3G açık bekleme durumu çekilen akım ölçüm grafiği. ....	83
Şekil 5.11. Telefonda 4.5G açık bekleme durumu ölçüm grafiği. ....	84
Şekil 5.12. Telefonda Wi-Fi açık bekleme durumu çekilen akım ölçüm grafiği. ....	85
Şekil 5.13. Telefonda GSM ve Wi-Fi açık bekleme durumu ölçüm grafiği. ....	86
Şekil 5.14. E-posta programı GSM ve Wi-Fi açık 1 dakika kontrol aralıklı ve test e- postası gönderilen durum için devreden geçen akım. ....	88
Şekil 5.15. E-posta programı GSM ve Wi-Fi açık 1 dakika kontrol aralıklı ve test e- postası gönderilmeyen durum için devreden geçen akım. ....	89
Şekil 5.16. E-posta programı 3G açık 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durum için devreden geçen akım. ....	90
Şekil 5.17. E-posta programı 3G açık 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durum için devreden çekilen akım. ....	91
Şekil 5.18. E-posta programı 4.5G açık 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durum için devreden geçen akım. ....	92
Şekil 5.19. E-posta programı 4.5G açık 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durum için devreden geçen akım. ....	93
Şekil 5.20. E-posta programı 4.5G açık 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durum için devreden geçen akım. ....	94
Şekil 5.21. E-posta programı 4.5G açık 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durum için devreden geçen akım. ....	95
Şekil 5.22. E-posta programı 3G açık 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durum için devreden geçen akım. ....	96
Şekil 5.23. E-posta programı 3G açık 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durum için devreden geçen akım. ....	97

Şekil 5.24. E-posta programı GSM ve Wi-Fi açık 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durum için devreden geçen akım. ....	98
Şekil 5.25. E-posta programı GSM ve Wi-Fi açık 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durum için devreden geçen akım. ....	99
Şekil 5.26. E-posta programı GSM ve Wi-Fi açık 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durum için devreden geçen akım. ....	100
Şekil 5.27. E-posta programı GSM ve Wi-Fi açık 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durum için devreden geçen akım. ....	101
Şekil 5.28. E-posta programı 3G açık 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durum için devreden geçen akım. ....	102
Şekil 5.29. E-posta programı 3G açık 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durum için devreden geçen akım. ....	103
Şekil 5.30. E-posta programı 4.5G açık 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durum için devreden geçen akım. ....	104
Şekil 5.31. E-posta programı 4.5G açık 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durum için devreden geçen akım. ....	105
Şekil 5.32. Mobil uygulama İletişim Metodu-1 için 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durumda devreden geçen akım. ....	106
Şekil 5.33. Mobil uygulama İletişim Metodu-1 için 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durumda devreden geçen akım. ....	107
Şekil 5.34. Mobil uygulama İletişim Metodu-2 için 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durumda devreden geçen akım. ....	108
Şekil 5.35. Mobil uygulama İletişim Metodu-2 için 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durumda devreden geçen akım. ....	109
Şekil 5.36. Mobil uygulama İletişim Metodu-3 için 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durumda devreden geçen akım. ....	110
Şekil 5.37. Mobil uygulama İletişim Metodu-3 için 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durumda devreden geçen akım. ....	111
Şekil 5.38. Mobil uygulama İletişim Metodu-1 için 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durumda devreden geçen akım. ....	112
Şekil 5.39. Mobil uygulama İletişim Metodu-1 için 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durumda devreden geçen akım. ....	113

Şekil 5.40. Mobil uygulama İletişim Metodu-2 için 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durumda devreden geçen akım. ....	114
Şekil 5.41. Mobil uygulama İletişim Metodu-2 için 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durumda devreden geçen akım. ....	115
Şekil 5.42. Mobil uygulama İletişim Metodu-3 için 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durumda devreden geçen akım. ....	116
Şekil 5.43. Mobil uygulama İletişim Metodu-3 için 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durumda devreden geçen akım. ....	117
Şekil 5.44. Mobil uygulama İletişim Metodu-1 için 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durumda devreden geçen akım. ....	118
Şekil 5.45. Mobil uygulama İletişim Metodu-1 için 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durumda devreden geçen akım. ....	119
Şekil 5.46. Mobil uygulama İletişim Metodu-2 için 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durumda devreden geçen akım. ....	120
Şekil 5.47. Mobil uygulama İletişim Metodu-2 için 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durumda devreden geçen akım. ....	121
Şekil 5.48. Mobil uygulama İletişim Metodu-3 için 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durumda devreden geçen akım. ....	122
Şekil 5.49. Mobil uygulama İletişim Metodu-3 için 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durumda devreden geçen akım. ....	123

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 6.1. Mobil cihazda bekleme durumu için ölçüm devresinden geçen ortalama akım değerleri.....	125
Çizelge 6.2. E-posta Programı ve Mobil Uygulama için ölçüm devresinden geçen ortalama akım değerleri (1 dakika). ....	126
Çizelge 6.3. E-posta Programı ve Mobil Uygulama için ölçüm devresinden geçen ortalama akım değerleri (5 dakika). ....	127
Çizelge 6.4. E-posta Programı ve Mobil Uygulama için ölçüm devresinden geçen ortalama akım değerleri (10 dakika). ....	128
Çizelge 6.5. Mobil Uygulama için ölçüm devresinden geçen ortalama akım değerleri karşılaştırması (1, 5 ve 10 dakika). ....	129



## EKLER DİZİNİ

EK- A. Mobil Uygulama Ana Ekran Görüntüsü.....	139
EK- B. Mobil Uygulama Yönetimsel Yapılandırma Formu .....	140
EK- C. Mobil Uygulama Taranan Cihazlar Formu.....	141
EK- D. Mobil Uygulama Kullanıcı Yapılandırma Formu .....	142
EK- E. Mobil Uygulama Bilgilendirme Formu .....	143

# BÖLÜM 1

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Çalışmanın Amacı

Teknolojide yaşanan gelişmeler gün geçtikçe artarak devam etmekte ve kullanıcılara her geçen gün yeni olanaklar sunulmaktadır (Elliot, Kor, & Omotosho, 2017). Bilişim teknolojilerindeki bu gelişmeler sonucunda, kullanıcılar mini bir bilgisayarı iletişim aracı olarak ceplerinde ya da çantalarında taşır hale gelmiştir. Bunun sonucunda da akıllı telefon olarak nitelendirilen cihazlar sadece iletişim ya da haberleşme aracı olmaktan çıkmıştır. Kullanıcılar sabit ya da dizüstü bilgisayarlarından yapabildikleri hemen hemen birçok işlevi, hatta üzerinde barındırdıkları algılayıcılar vasıtasıyla daha fazlasını akıllı telefonlar ile yapabilir duruma gelmiştir. Mobil cihazların CPU ve depolama kapasitelerindeki artışa paralel olarak, iletişim teknolojilerindeki gelişmeler de diğer taraftan devam etmektedir. GSM operatörlerinin sunduğu internet hızları her geçen gün artmakta, kullanıcılar için 5G hızı uzak görünmemektedir (Tayyaba & Shah, 2019).

Dolayısıyla teknolojideki yenilikler sunulmaya devam ettikçe, kullanıcılar tarafından akıllı mobil cihazlar gün geçtikçe farklı amaçlar için daha fazla kullanılır hale gelmektedir. Bu kullanımın sonucunda, doğası gereği ince ve hafif tasarıma sahip olarak üretilmelerinin bir sonucu olarak mobil akıllı cihazlardaki enerji depolama problemi giderek artmaktadır. Yoğun kullanımlarda bazen bir akıllı cihaz gün içerisinde birden fazla defa şarj edilmek zorunda kalmaktadır. Kullanıcılar hacimli, ağır ve pahalı olarak satın aldıkları taşınabilir bataryalar kullanarak bu soruna çözüm üretmeye çalışmaktadır (Jain, Fan, Leon-Salas, & Lucietto, 2018). Daha sık şarj edilen cihazların bataryası daha çabuk deforme olmakta ve kısa bir süre sonra bataryalarını yenisi ile değiştirilmek

durumunda kalmaktadır. Pil ile çalışan cihazlardaki pil ömrünün kullanıcıların cihaz tercihini değiştirebilmesinin yanı sıra, kullanılan alana göre güvenlik, ekonomik uygulanabilirlik ve çevresel etkileri de olabilmektedir (Jolly, 2019).

## 1.2. Çalışmanın Kapsamı

Pil tüketimine sebep olan temel etkenler; donanımsal olarak cihaz tarafından yapılan tüketim, ağ iletişimi, yazılımsal uygulamalar ve kullanıcı alışkanlığı ya da kullanım biçimi kaynaklı tüketimler olarak gruplandırılabilir (Xiaomeng vd., 2015). İnternet üzerinden çalışan birçok uygulamanın gerek Wi-Fi, gerekse hücresel ağ üzerinden düzenli aralıklarla kalp atışı bilgisi gönderip alması pil tüketimine doğrudan etki eden faktörler arasında yer almaktadır (Bolla, Khan, Parra, & Repetto, 2014). Dolayısıyla akıllı cihazlarda ağ iletişiminde gerçekleşen pil tüketimi problemi, birçok araştırmacının ilgisini ve dikkatini çekmiş bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Teknolojinin sunduğu imkânlar ve git gide artan pil şarj tüketim sorununa yine teknolojinin sunduğu bazı olanaklar ile çözüm bulunmaya çalışılmaktadır. Aslında günümüzde daha çok nesnelerin interneti (IoT) uygulamaları için Düşük Enerjili Bluetooth (BLE) teknolojisi ve ZigBee teknolojilerinin sık kullanımlarına rastlamak mümkündür (Bello, Zeadally, & Badra, 2017). İlk kez 2010 yılında duyurulmuş olan Düşük Enerjili Bluetooth, düşük veri hızı sunmasına karşın, enerji kısıtlı uygulamalar hedef alınarak kısa menzilli kablosuz iletişim sağlama hedefiyle yola çıkmıştır. Düşük güç tüketimine ek olarak, BLE'nin geliştirilmesinde düşük maliyet ve daha az karmaşık radyo alıcı-vericilerinin tasarımı öncelikli tasarım hedefleri arasında yer almıştır (Shahzad & Oelmann, 2014).

BLE, ağabeyi Klasik Bluetooth'un kullandığı eşler arası iletişime alternatif olarak dış dünya ile yayın yöntemini kullanarak haberleşebilmektedir. Yayın yöntemi, bağlantı kurulmaksızın dinleme aralığındaki tarayıcı cihaza veya alıcıya veri gönderilmesi ile gerçekleşen, yayıncı ve gözlemci olmak üzere iki temel rol tanımıyla sunulmuş bir yöntemdir. Böylece eşler arasında sürekli devam eden bağlantı zorunluğu ortadan kaldırılmış, farklı ağ topolojileri için düşük enerji tüketimli cihazlar sunulur hale gelmiştir. Dolayısıyla ilk zamanlarda sadece bir adet pil kullanarak, küçük kapasiteli verilerin 1 yılı aşkın süre boyunca kesintisiz olarak aktarımı mümkün hale gelmiştir

(Instruments, 2012). Sonraki sürümlerinde beklenen pil ömrü zamanının çok daha uzatılabildiği görülmektedir (Andreev & Aprahamian, 2018).

Güç tüketimi açısından hâlihazırda kullanılan alternatif teknolojilerdeki uygulamalar ile karşılaştırıldığında, gerek güncel, gerekse en düşük enerji tüketimiyle çalışabilme özelliğine sahip yaklaşımın BLE teknolojisi olduğu görülmektedir (Siekkinen, Hienkari, Nurminen, & Nieminen, 2012), (Boualouache, Nouali, Moussaoui, & Derder, 2015).

Bu çalışma kapsamında mobil telefon ve tablet gibi akıllı cihazların şarj sonrası kullanım süresini artırmak amacıyla BLE teknolojisini temel alan yeni bir iletişim ağı oluşturulmaya çalışılmıştır. Tasarımın merkezinde gerektiğinde batarya ile gerektiğinde ise sabit enerji beslemesiyle çalıştırılabilen BLE ve Wi-Fi özelliklerine sahip bir donanım bulunmaktadır. Bu donanım, uygun bir şekilde programlanarak ortamdaki Wi-Fi ağı vasıtasıyla internet üzerinden gerekli kontrolleri yapmaktan ve varsa bildirimleri BLE üzerinden ilgili alıcılara aktarmaktan sorumludur. Tasarımın ikinci kısmında da mobil akıllı cihaz tarafında çalıştırılmak üzere geliştirilmiş bir uygulama yer almaktadır. Bu uygulama ise, gönderilen bildirimleri yine BLE üzerinden almaktan ve kullanıcıyı bilgilendirmekten sorumludur.

### **1.3. Önceki Çalışmalar**

Fallis, E & Spachos, F (2018) tarafından yapılan “Akıllı Telefonlarda Kablosuz İletişim Teknolojilerinin Güç Tüketimi ve Verimi” isimli çalışmada, 3 kablosuz teknolojinin mobil akıllı telefonlardaki verimi araştırılmıştır. Çalışma yapılırken 4 farklı model akıllı telefonun kablosuz erişimleri Wi-Fi, Bluetooth ve LTE üzerinden sağlanarak güç tüketimi, veri giriş çıkışı ve veri iletim verimlilikleri araştırılmıştır. Telefon seçiminde ekran boyutları, çözünürlükleri ve iletişimde kullandıkları yongaları farklı olan modeller tercih edilmiştir. Deneysel çalışma için ölçümler aynı ortamda, aynı saat aralığında ve üçer defa tekrarlanarak yapılmıştır. Tüketilen gücü tespit edebilmek için Monsoon isimli cihazdan yararlanılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda Wi-Fi teknolojisinin en verimli teknoloji olduğu tespit edilmiştir.

Jayasvasti & Isarakorn (2019) tarafından, insan beyni ile ilgili bir hastalık olan nörodejenaratif isimli hastalığın teşhisinde, doktorlar tarafından hastanın uzun süre

izlenmesi gerektiği bildirilmiştir. Hastanın elektronik olarak izlenerek hareketlerinin kayıt altına alınması için RFID etiketleri ve BLE temelli iki sistem önerilmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır. RFID etiketleri ile yapılan testlerde hastaya takılan etiketlerde her hangi bir bataryaya ihtiyaç olmaması ve düşük maliyetli olması BLE sistemine göre avantaj sağlamış olsa da, rastgele hareketlerde hedeflenen konum doğruluğu belirlemede BLE temelli sistemin daha başarılı olduğu sonucu çıkarılmıştır.

“BLE-Kornası: Akıllı Telefon Bazlı Düşük Enerjili Bluetooth Araç-Yaya Güvenlik Sistemi” isimli çalışmada, trafik kazalarını önlemek için akıllı telefonlarda BLE üzerinden çalışan bir model önerilmiştir (Wu, Ma, Liu, Xiu, & Zhang, 2017). Önerilen modelin, önceki Wi-Fi temelli araç-yaya güvenliği sistemlerine göre sağladığı avantajlar ve çift taraflı çalışabilme özelliği sayesinde getirdiği üstünlükler anlatılmıştır. Sıkıştırılmış GPS bilgisinin duyuru paketi olarak gönderilmesi, araçların veya yayaların bu bilgiyi alarak çarpışmaların önlenmesi temeline dayanır. Yaptıkları deneysel çalışmalar ile önerilen sistemin çarpışmaların önüne geçebilme ve düşük güç tüketimi sunabilme özelliklerini gösterebilmişlerdir.

Li, Liu, & Qiaozhu (2018) tarafından yapılan “Kapsamlı ve Gerçek Zamanlı Kullanım Verilerine Dayalı Akıllı Telefonlarda Pil Ömrünün Tahmin Edilmesi” isimli çalışmada, pildeki şarj süresinin sıfırlama zamanını daha doğru bir şekilde tespit edilmesiyle ilgili çalışma yapılmıştır. Yöntem olarak 51 denekten 21 aylık süre boyunca, sistemin durumu, algılayıcıların durumu, sistemdeki olaylar ve uygulama durumu ile ilgili bilgilerden oluşan kapsamlı bir eğitim seti oluşturulmuştur. Kullanıcının geçmişteki ve şimdiki kullanımını dikkate alarak, sistemdeki kalan şarj süresini 33 dakikalık bir farkla daha başarılı bir şekilde tahmin edebilmişlerdir.

“Akıllı Telefonlar ve BLE İşaretçileri Arasındaki Yakınlığı Tespit Etmek için Sıkıştırıcı Algılama Yaklaşımı” isimli çalışmada yakınlık tespitinde kullanılan genel yöntemlerden ve sorunlardan bahsedilmiş, ardından sıkıştırma tabanlı yeni bir yöntem önerilmiştir (Ng, She, & Ran, 2019). Bu önerilen yöntemin performans değerlendirmesini yapmak için, sanal olarak üretilen RSS sinyal değerleri yerine gerçek dünyadan topladıkları RSS veriler kullanılmıştır. Önerdikleri sistemin performansını, gerçek ticari uygulamalarda kullanılan yöntem ve bu konuda çalışma yapılmış diğer birkaç yöntemle karşılaştırmışlar ve önemli ölçüde başarıya katkı sağladığını göstermişlerdir.

Boualouache, vd. (2015) tarafından IoT uygulamaları için BLE temelli bir sistem önerilmiştir. Bu sistemde, IoT düğümlerinin Arduino (Bluno) kullanılarak tasarlandığı ve akıllı mobil telefonların veri toplayıcı olarak rol aldığı bir yapı kurgulanmıştır. IoT düğümlerinden toplanan veriler internete mobil akıllı telefon aracılığı ile aktarılmaktadır. Önerilen yapı için iki bilinen Arduino ve Android teknolojilerinden yararlanılmıştır. Performans değerlendirmesi için; BLE teknolojisi kullanılarak enerji verimliliği ve İletişim performansı için sistemin uygulanabilirliği test edilmiştir. Kullanılan C7-mini model telefonda 1800 mAh kapasiteli pil bulunmaktadır. Test öncesi telefon uçak kipine geçirilmiştir. 500 Hz örnekleme oranına sahip örnekleme uygulaması geliştirilerek test yapılmıştır. Enerji verimliliği performans değerlendirmesi testi için; BLE (telefondan Bluno Mikro kontrolcüye), Klasik Bluetooth (telefondan başka bir akıllı telefona), Wi-Fi (telefondan dizüstü bilgisayara) testleri yapılmıştır. BLE üzerinden 3,5 gün, Klasik Bluetooth üzerinden 2 gün ve Wi-Fi üzerinden 1 gün boyunca veri gönderilebilmiştir.

Laine, Lee, & Suk (2014) tarafından yapılan çalışmada bazı sağlık sistemlerinde anlık veri aktarımı için Zigbee'nin kullanıldığından bahsedilmiş, ancak bu yöntemin ihtiyaç duyulan bant genişliğini tek başına karşılayamaması sebebiyle Bluetooth temelli bir ağ geçidi önerilmiştir. Sistemde öncelikle algılayıcılardan üretilen bilgilerin Zigbee ile düğüm noktasına aktarıldığı, düğüm noktası tarafından da bu bilgilerin toplanarak Bluetooth üzerinden hastaya ait mobil ağ geçit cihazına aktarıldığı bir yapı yer almaktadır. Hastaya ait mobil ağ geçit cihazında bu bilgiler bir ön işleme tabi tutulmakta, ardından Wi-Fi, 3G veya 4G üzerinden internet üzerindeki bir sunucuya aktarılmaktadır.

Zachariah vd. (2015) önerdiği çalışmada nesnelerin internetindeki ağ geçidi problemlerine değinmişler ve akıllı mobil cihazın yazılım tabanlı ağ geçidi olarak çalıştırılabileceği bir yapı önermişlerdir. Bu yapıda uçbirimde yer alan algılayıcılar duyuru paketleri yöntemi ile veri göndermekte, mobil akıllı telefon tarafından alınan veriler de internet ya da bulut tarafında bulunan sunucuya Wi-Fi üzerinden aktarılmaktadır. Hali hazırdaki birçok ağ geçidinin cihaza özel tasarlanmış nitelik taşıdığı, ancak burada önerilen yapının esneklik getirdiğinden bahsedilmiştir.

Hawelkar & Tamhankar (2015) tarafından önerilen sistemde, kısa mesafeli kablosuz haberleşme için BLE ve Zigbee gibi sıkça kullanılan iki ayrı teknolojinin tek bir ağ geçit cihazında birleştirildiği bir yapıdan bahsedilmektedir. Tasarımın temelini 32 bit

MCU barındıran Linux tabanlı bir yapıdan oluştuğu, tasarlanan ağ geçit çözümünün hem her iki protokolü destekleyen hem de internete bağlanabilen bir çözüm olduğu gösterilmiştir.

Elektrikli araçların batarya yönetimi için Düşük Enerjili Bluetooth ağ geçit sistemiyle ilgili bir çalışma da incelenmiştir (De Maso-Gentile, Baca, Ambrosini, Orcioni, & Conti, 2015). Bu çalışmada kontrolcü alan ağ arabirimi ile donatılmış bir Arduino board ve BLE sisteminden yararlanılmış ve kullanıcıların bilgileri alabileceği bir akıllı telefon uygulaması geliştirilmiştir. Araç batarya yönetim sistemi ve elektrik kontrol sisteminden gelen bilgilerin aktarılmasını sağlayan ağ geçidi Bluno board, Arduino ve Bluetooth 4.0 modülünden oluşmaktadır.

Joh & Ryoo (2015) tarafından akıllı cihazların iletişim özelliklerini hibrit olarak Wi-Fi ve BLE kullanarak optimize eden bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada; arada herhangi bir Erişim Noktası veya Yönlendirici gerektirmeksizin noktadan noktaya Wi-Fi iletişimi olan Wi-Fi P2P ve BLE'nin kullanıldığı yeni bir iletişim modeli önerilmiştir. BLE ile her iki cihazın MAC adresleri duyuru paketi ile duyurulmakta, ardından Wi-Fi P2P üzerinden bir biri ile bağlantı sağlanmaktadır. Önerilen sistem için OPNET simülasyonu kullanılmıştır. Wi-Fi, Bluetooth ve önerilen sistem için veri giriş çıkışı (Throughput) / Zaman (Time) karşılaştırması ve büyük hacimli dosya tipleri için Boyut / Zaman karşılaştırması yapılmıştır.

Pyles, Nguyen, Qi, ve Zhou (2015) tarafından önerilen “Bluesaver: A Multi-PHY Approach to Smartphone Energy Savings” isimli çalışmada akıllı telefonlardaki enerji tasarrufu için çoklu fiziksel katman yaklaşımıyla ilgili bir çalışma yapılmıştır. MAC katmanı seviyesinde trafiğin Bluetooth ya da Wi-Fi'dan gönderilmesi durumunu belirleyen bir sistem önerilmiştir. Gerek AP tarafında, gerekse akıllı telefon tarafında modifikasyon gerekliliği bulunmaktadır. Youtube gibi yüksek hız gerektiren uygulamaların Wi-Fi üzerinden, web tarayıcı ve Skype gibi daha düşük hızın yeterli olduğu uygulamaların Bluetooth üzerinde çalışmasını sağlayan bir tasarım önerilmiştir. Wi-Fi teknolojisinde güç tüketim modu (Power Saver Mode - PSM) isimli bir teknoloji yer almaktadır. Bu teknoloji sayesinde tüketilen güç düşmekte ancak gecikmeler yaşanabilmektedir. Test aşamasında telefon için Motorola RAZR Android (sürüm 2.3.5), Wi-Fi AP için ise Ubuntu (sürüm 12.0.4) yüklenmiş olan bir PC kullanılmıştır. Aynı

zamanda Bluetooth ve Wi-Fi kartları takılmış ve sürücülerini hazır hale getirilerek altyapı hazırlanmıştır. Önerilen tasarımda öncelikle enerji tasarrufu yapıp yapılmadığı, ardından Bluetooth – Wi-Fi anahtarlamasının etkin bir şekilde yapıp yapılmadığı araştırılmıştır. Enerji tüketim testi için, telefonun pili aradan çıkarılmıştır. Bunun yerine telefonun enerji beslemesini sağlayan ve aynı zamanda anlık olarak tüketilen enerjiyi tespit etmeye yarayan “Monsoon” isimli güç monitör sistemi kullanılmıştır. Tabii ki bu işlem öncesi ilgisiz tüm arabirimler, arka planda çalışan işlevler ve servisler devre dışı bırakılmış ve telefon uçak kipine getirilmiştir. MAC katmanı seviyesinde trafiğin Bluetooth ya da Wi-Fi üzerinden gönderilmesi durumunu belirleyen sistemin toplamda %25 enerji tasarrufu sağladığı gösterilmiştir. BLE bu sistemin içine katılmamış olup sadece Klasik Bluetooth üzerinden inceleme ve araştırma yapılmıştır.

Wang, Li, Song, Wang, ve Chen (2016) tarafından “Android ve Arduino Tabanlı İnsan Fizyolojik Parametre Tespit Sistemi” isimli Android, Arduino ve BLE temelli bir yapı önerilmiştir. İnsan vücut ısısının ve nabız değerinin ölçülerek BLE vasıtasıyla mobil cihaza aktarıldığı bir çalışmadır. Android üzerinde çalışan bir uygulama ile elde edilen verilerin depolanmasını ve görüntülenebilmesini sağlayan bir uygulama geliştirilmiştir. Ölçülen değerlerin eşik değerin altında olması halinde koruyucusuna / bakıcısına uyarı mesajı gönderen bir yapı bulunmaktadır. Algılayıcı devre ile deneklerden ateş ve nabız ölçüm değerlerinin alınma işlemi gerçekleşir. Bu bilgilerin akıllı telefona gönderimi, algılayıcı devreye seri port üzerinden bağlı olan BLE modülü tarafından gerçekleştirilir. Akıllı telefon tarafından toplanan bilgilerin eşik değerin altında ya da üstünde olması durumuna göre, SMS aracılığı ile ilgili bilginin koruyucusuna / bakıcısına gönderimi gerçekleşmektedir.

Zou, Javed, ve Muntean (2017) tarafından yapılan “Kablosuz Ortamlarda Video Akışı için Akıllı Mobil Cihaz Güç Tüketim Ölçümü: Wi-Fi ve LTE” isimli çalışmada video görüntülerinin iki farklı kablosuz ağ sistemi üzerinden iletimleri esnasında harcanan enerjiyi hesaplamayı amaçlayan açık kaynak güç tüketim hesaplayıcısı önermişlerdir. Bu yapıda batarya ile akıllı telefon arasına çok küçük değerli bir direnç elemanı yerleştirilmiştir. Araya yerleştirilen direncin üzerinden geçen akımın belirlenmesi ve akıllı mobil cihaz üzerinde sarf edilen gücün hesaplanması amaçlanmıştır. Çalışmanın nihai hedefinde video görüntülerinin Wi-Fi ve LTE kullanma durumuna göre akıllı telefondaki güç tüketimini tespit etmek yer almaktadır. Çalışmanın sonucunda Wi-



Fi ve LTE bağlantıları üzerinden gerçekleşen video haberleşmesinin enerji modellemesi gösterilmiştir.



## BÖLÜM 2

### 2. MOBİL CİHAZLARDA KULLANILAN KABLOSUZ İLETİŞİM YÖNTEMLERİ

Bir mobil akıllı telefon, günümüzde sadece ses görüşmelerinin yapılmasını sağlayan iletişim rolünden ziyade, arka planda birçok uygulamanın internet ile iki yönlü olarak haberleştiği bir modele dönüşmüştür. Mobil akıllı telefonlar, teknolojik gelişmelerin sunduğu kullanım kolaylığı sayesinde internetten bağımsız olarak düşünülmemeyecek bir konuma gelmiştir. Literatür çalışmaları incelendiğinde ise, mobil akıllı telefonlarda pil tüketimine sebep olan önemli etkenler arasında ağ iletişiminin yer aldığı görülmektedir. Ağ iletişimi konusu da birçok farklı bakış açısına sebep olmuş, araştırmacılar bu konuda gerek hali hazırda kullanılan yöntemleri değerlendirmiş, gerekse de mevcut iletişim yöntemlerinin farklı varyasyonları ile pil tüketim sorununa çare aramışlardır. Bu sebeple, tezin bu bölümünde mobil akıllı cihazlarda kullanılan iletişim yöntemlerinden bahsedilmesine karar verilmiştir.

Mobil cihazlar; Hücresel Ağ Sistemi ve Kablosuz Yerel Alan Ağları / Kişisel Alan Ağları olmak üzere 2 temel yöntem üzerinden dış dünya ile iletişim kurmaktadır. Dolayısıyla mobil cihazlarda kullanılan iletişim yöntemleri bu iki alt başlık üzerinden incelenecektir.

#### 2.1. Hücresel Ağ Sistemi Bağlantı Yöntemleri

1980'lerin başında kullanılmaya başlayan hücresel telekomünikasyon teknolojisi, teknolojiye erişim ölçüsünde 1990'li yılların sonlarına doğru dünya nüfusunun hemen hemen tamamını kapsar duruma gelmiştir (Nitesh & Kakkar, 2016). Gelişmiş ülkelerden

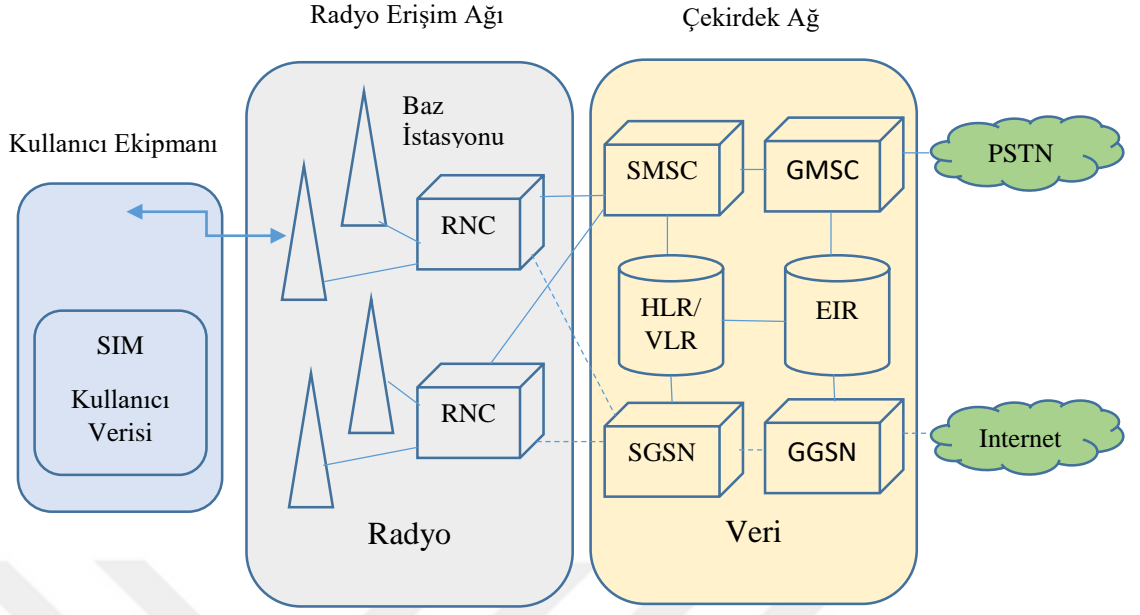
gelişmekte olan ülkelere tüm dünyada kurulmuş, elektronik ve iletişim endüstrisinin büyümesinde ve gelişmesinde önemli rol oynamış ve oynamaya da devam etmektedir.

Tabii ki bu büyüme süresi çok kısa zamanda gerçekleşmemiş, ama kablolu teknolojide 100 yılı aşan bir sürede dünya genelindeki ulaşılan toplam abone sayısına 12 yıl gibi kısa sayılabilecek bir zamanda ulaşılmıştır. 2015 yılında, toplam abone sayısında 7 milyara ulaşılmıştır. O yıllarda dünyadaki nüfusun 7 milyardan biraz fazla olduğu düşünüldüğünde, birçok insanın birden fazla aboneliğe sahip olması noktasına gelinmişti.

Hücreli iletişim teknolojisi, adından da anlaşılacağı gibi her bir hücreyi ya da alanı kapsayabilen çok sayıda baz istasyonunun kullanımına dayanan bir teknolojidir. Her bir baz istasyonu makul sayıda kullanıcıyla haberleştiğinden, kurulan yapı çok sayıda kullanıcıya hizmet verebilmekte ve frekans kullanımında da sıkıntı yaşanmamaktadır.

Bir hücreli iletişim sistemi, kullanıcı ekipmanı, radyo erişim ağı ve çekirdek ağı olmak üzere 3 ana kısımda düşünülebilir.

Kullanıcı ekipmanı; kullanıcı cihazı ve abone kimlik modülü (SIM) olmak üzere temelde 2 kısımdan oluşur. Kullanıcı cihazı; cep telefonu, diz üstü bilgisayar, sayaç okuma sistemi gibi hücreli ağına bağlanıp bilgi gönderip alabilen kullanıcı tarafındaki donanımı ifade eder. Abone kimlik modülü ise, hizmet alınan servis sağlayıcı tarafından sunulan servis aboneliği kimliğini ve az miktarda bazı kişisel bilgileri içeren küçük bir bilgi kartıdır. Radyo erişim ağı ise hücreli sistem ile kullanıcı cihazı arasındaki bağlantıyı sağlayan baz istasyonunu ve baz istasyonu kontrolcüsünü barındıran kısımdır. Dış dünya ile bağlantı kuran, erişimi kontrol eden, kullanıcı verilerinin depolandığı ve genel sistemin yönetildiği merkezi kısım ise çekirdek ağı olarak adlandırılır. Bir hücreli iletişim ağına ait yapı Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Hücresel iletişim sistemi.

Baz istasyonu tipik olarak bir binada ya da konteynırda çalıştırılan radyo kulesinden, alıcı-verici ve anten ara yüzünden, kontrol cihazları ve güç kaynaklarından oluşur. Radyo alıcı-verici bölümü, alıcı ve verici düzeneklerine ayrılmıştır. Verici bölüm, kablosuz aygıtlara iletmek üzere bir ses veya veri sinyalini radyo frekansına dönüştürür. Alıcı bölüm, radyo frekansını kablosuz aygıttan mobil anahtarlama merkezine (MSC) veya paket anahtarlama ağına yönlendirilen ses veya veri sinyallerine dönüştürür. Kontrolcü bölüm ise sinyal bilgilerinin eklenmesi ve çıkarılmasını sağlar.

Baz istasyonu kontrolcüsü (BSC), bir veya daha fazla baz alıcı-vericinin mobil anahtarlama merkeziyle veya bir paket veri iletişim sistemi ile iletişim kurmasını sağlayan otomatik bir koordinatördür. Aynı zamanda normalde 3G'de kullanılan geniş bant kod bölümlü çoklu erişim (WCDMA) sistemlerinde bir Radyo Ağı Denetleyicisi (RNC) olarak da adlandırılmaktadır.

Bir mobil cihaz ilk açıldığında, kontrol kanallarını bulmak için mevcut radyo kanallarını tarayarak başlangıçtaki bilgileri toplamaya çalışır. Pilot sinyalini ya da sinyallerini bulduğunda, genellikle en iyi kalitedeki sinyal seviyesi olan radyo kanalını tespit ederek servis tipini belirler ve sistem yayın bilgisini elde etmek için kanal ile

senkronize olur. Sistem yayın bilgisinde mobil cihaz tarafından ihtiyaç duyulan gelen aramalar (çağrı mesajları), güç seviyesi ve maksimum sistem erişim girişim sayısı gibi sistem erişimini koordine edecek bilgiler yer alır. Bu ilk bilgilerin toplanmasının ardından mobil cihaz sisteme kayıt olacaktır.

Bir mobil cihaz sistemden servis almak istediğinde (çağrı başlatma veya mesaj gönderme vb.), bir erişim isteği mesajı gönderir. Sisteme erişmeye çalışmadan önce, mobil cihaz önce sistemin boş durumda olup olmadığını (şu anda meşgul değil) diğer mobil cihazlardan gelen erişim taleplerini belirlemek için kontrol kanalını dinlemektedir. Mobil cihaz için sistem tarafından bir arama isteği geldiğinde ise, sistem mobil cihazın en son kayıt olduğu radyo kapsama alanlarına bir arama uyarısı (paging) mesajı gönderir. Mobil cihaz sisteme erişimi başlatıldıktan sonra, mesaj, komut ya da çağrılardan haberdar olabilmesi için arama uyarısı mesajlarını sürekli dinlemektedir.

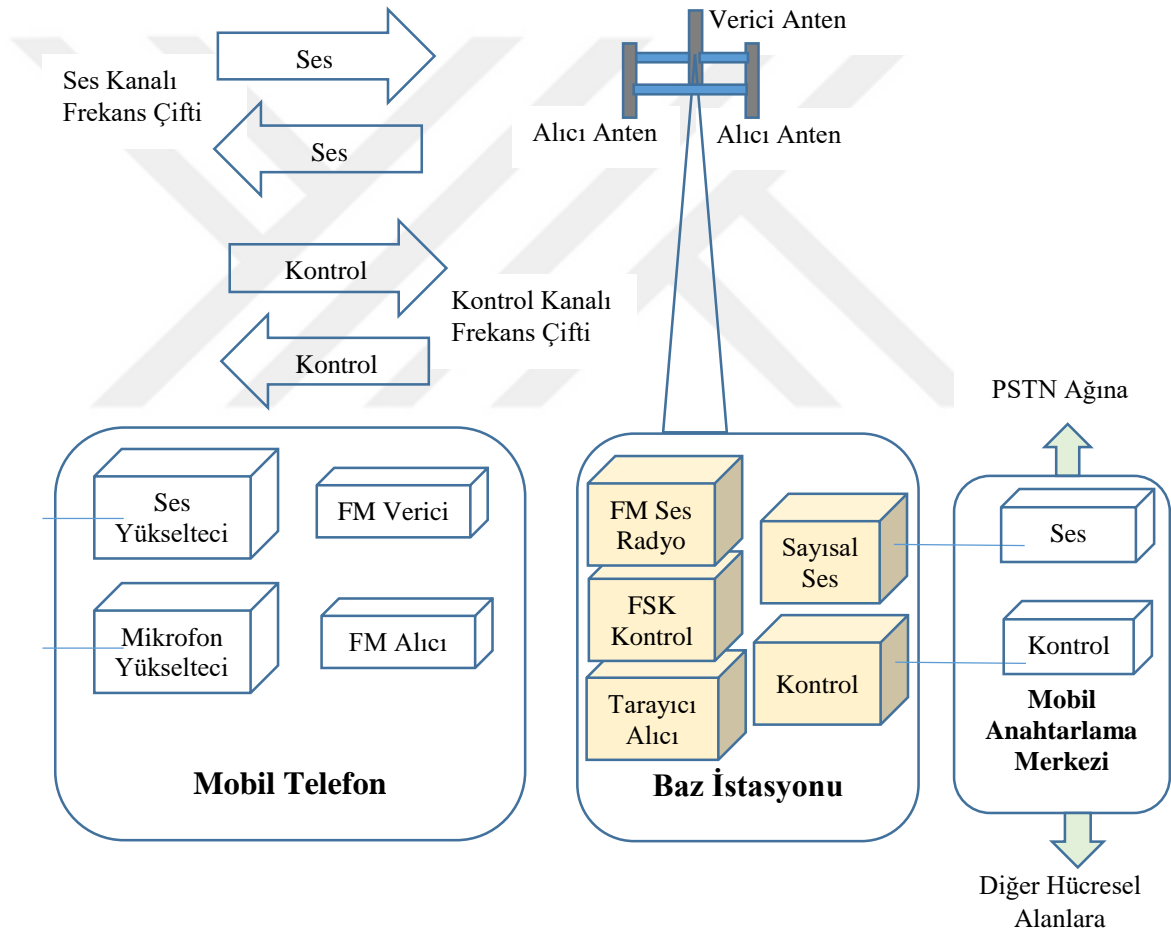
Bağlantı durumu ise, baz istasyonu ile mobil cihazın arasında karşılıklı bağlantı için kanal tahsis edilmesi ve iletişimin başlamasıdır. Baz istasyonu, gerek ses çağrıları için gerekse veri haberleşmesi için aldığı her paketi tahsis edilen iletişim hattı ya da IP adresi üzerinden transfer eder. Sesli çağrılar için kullanıcının çağrıyla sonlandırması ya da veri haberleşmesi için kullanıcının veri haberleşmesi yaptığı uygulamayı sonlandırması durumunda tahsis edilen bağlantı sonlandırılır ve kaynaklar talep gelen diğer kullanıcılara kullanılır.

### **2.1.1. Analog Hücresel İletişim Sistemi (1G)**

Frekans Modülasyonu gibi analog modülasyon formu kullanılarak ses bilgisi iletimi gerçekleştiren ilk nesil sistemler Analog Hücresel İletişim sistemleri ya da birinci nesil (1G) hücresel sistemler olarak anılmaktadır (Ru & Gupta, 2015). Sistemin özü her ne kadar analog ise de sayısal kontrol kanallarına sahip olabilir ve geniş coğrafi alanlarda ses ve düşük hızlı veri iletimi gerçekleştirme kapasitesine sahiptir (Ud Din Arshad, Kashif, & Quershi, 2019).

Analog hücresel sistemlerin temel çalışma şekli, bir mobil telefon ilk açıldığında önceden belirlenmiş bir kontrol kanal kümesini tarar ve en güçlü kanalı ayarlayarak kendisini başlatır. Başlatma sırasında, sistem tanımlama ve kurulumla ilgili bilgileri almak için kontrol kanalındaki mesajları dinlemeye başlar. Bu işlemlerin

tamamlanmasının ardından artık istasyon ve cihaz birbirlerinden haberdardır. Bundan sonra mobil cihaz, kullanıcı tarafından başlatılacak çağrıyı algılar veya bekleme kipine girerek gelen çağrılardan haberdar olabilmek için uyarı mesajlarını dinlemeye başlar. Bir çağrıyla ilgili bilgiyi alır almaz, mobil telefon kontrol kanalı üzerinden erişmek için sistem erişim kipine girer. Erişim sonrası kontrol kanalı, uygun bir ses kanalının atama mesajını gönderir. Sonrasında, mobil telefon belirtilen ses kanalına ve konuşma kipine girer. Birinci nesil ya da diğer ismiyle analog hücrel mobil iletişim sistemine ait yapı Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Analog hücrel iletişim sistemi (1G).

Analog hücreli iletişim sistemlerindeki kontrol kanalında frekans kaydırmalı anahtarlama (FSK), ses kanallarında ise frekans modülasyonu (FM) kullanılmaktadır. Mobil cihazlarda kullanılan donanımın doğası gereği iletim güçlü değildir ve baz istasyonlarında kullanılan ikili antenler sinyal alım performansına olumlu katkı sağlar. Baz istasyonlarının merkezi anahtarlama sistemine bağlantıları yüksek hızlı devrelerle sağlanmaktadır. Sabit telefon şebekelerine bağlantı ise merkezi anahtarlama sistemleri üzerinden sağlanmaktadır.

### **2.1.2. Sayısal Hücreli Sistemler (2G)**

2G teknolojisi, ses bilgilerinin sayısal biçimde aktarımını sağlayan ikinci nesil hücreli iletişim teknolojisine verilen isimdir. Sayısal teknoloji, kullanılan erişim teknolojisi türleriyle karakterize edilir ve dijital bilgilerin hücreli sistem yönüne doğru ya da hücreli sistem tarafından aktarım şeklini belirler. Dijital hücreli sistemlerin temel mantığında ses bilgisinin sayısallaştırılması ve sıkıştırılması vardır. İlk olarak, güvenli veri iletimi için sayısal şifreleme 2G’de kullanılmıştır (Garg, 2014).

Kullanıcılar veya aboneler genellikle sistemi çok uzun süre kullanmadıklarından, iletişim kanallarının her birini paylaşmalarında işletme anlamda bir sakınca bulunmamaktadır. 20 abonenin bir dijital radyo kanalını paylaştığı düşünüldüğünde ve bu kanal 8 alt kanala bölünmüşse, 25 radyo kanalına sahip bir hücrenin  $20 \times 8 \times 25 = 4000$  adet aboneye hizmet verebilir olduğu sonucuna çıkmaktadır.

Bu hücreli iletişim sistem tipinde de, iki çeşit kanal türü bulunmaktadır. Birincisi mobil cihazların sistem kontrol bilgisini almalarını ve erişim işlemlerini yerine getirmelerini sağlayan kontrol kanal tipi, ikincisi ise ses iletişimiyle beraber veri iletişimini de sağlayan ses kanal tipidir. Kontrol kanalı da genellikle alt kanallardan biridir. Sayısal sistemler kontrol kanalıyla birlikte, bir veya daha fazla ses kanalını tek bir radyo kanalında birleştirebilmektedir.

2G hücreli sayısal sistemlerde de, telefon ilk açıldığında öncelikle kontrol kanalını tarar ve en güçlü sinyale kendini ayarlar. Başlangıç aşamasında sistem kurulum ve yapılandırma ile ilgili bilgileri toplamaya çalışır. Analog sistemlere nazaran daha fazla kontrol ve iletişim kanalı olması sebebiyle, tarama işlemi biraz daha uzun sürmektedir.

Bazı sistemlerde en son bağlandığı kanal bilgisini hafızada tutmaya çalışmak gibi yöntemlerle bu süre kısaltılmaya çalışılmaktadır.

Başarılı bir şekilde kendini tanıtmaya işlemi sonrası mobil cihaz kendini bekleme kipine alarak, kontrol kanalından gelecek kendisini ilgilendiren uyarı mesajlarını dinlemeye başlar. Mobil cihaza bir çağrı geldiğinde veya mobil cihazdan bir arama yapma isteği geldiğinde, mobil kontrol kanalı vasıtasıyla erişim kipine geçerek sisteme erişim yapmaya çalışır. Erişim isteği anlaşıldığında, uygun bir iletişim kanalına ait kanal bilgisi yine kontrol kanalı tarafından gönderilir. Bu iletişim kanalı aynı frekanstaki bir zaman diliminde, ya da farklı bir frekansta da olabilir. Mobil telefon bu bilgiyi alır almaz konuşma kipine geçer. Konuşma kipinde, bilgi iletişimi faz modülasyonu (PM) yöntemi ile sağlanır. Analog hücresel iletişime göre erişim sırasındaki kimlik doğrulama işlemleri daha güvenli bir şekilde gerçekleşmektedir. Doğrulamanın başarılı bir şekilde gerçekleşmesinin ardından, sistem mobil telefona yeni bir iletişim kanalına geçişi bildiren kanal atama mesajını göndermekte ve ardından konuşma başlamaktadır.

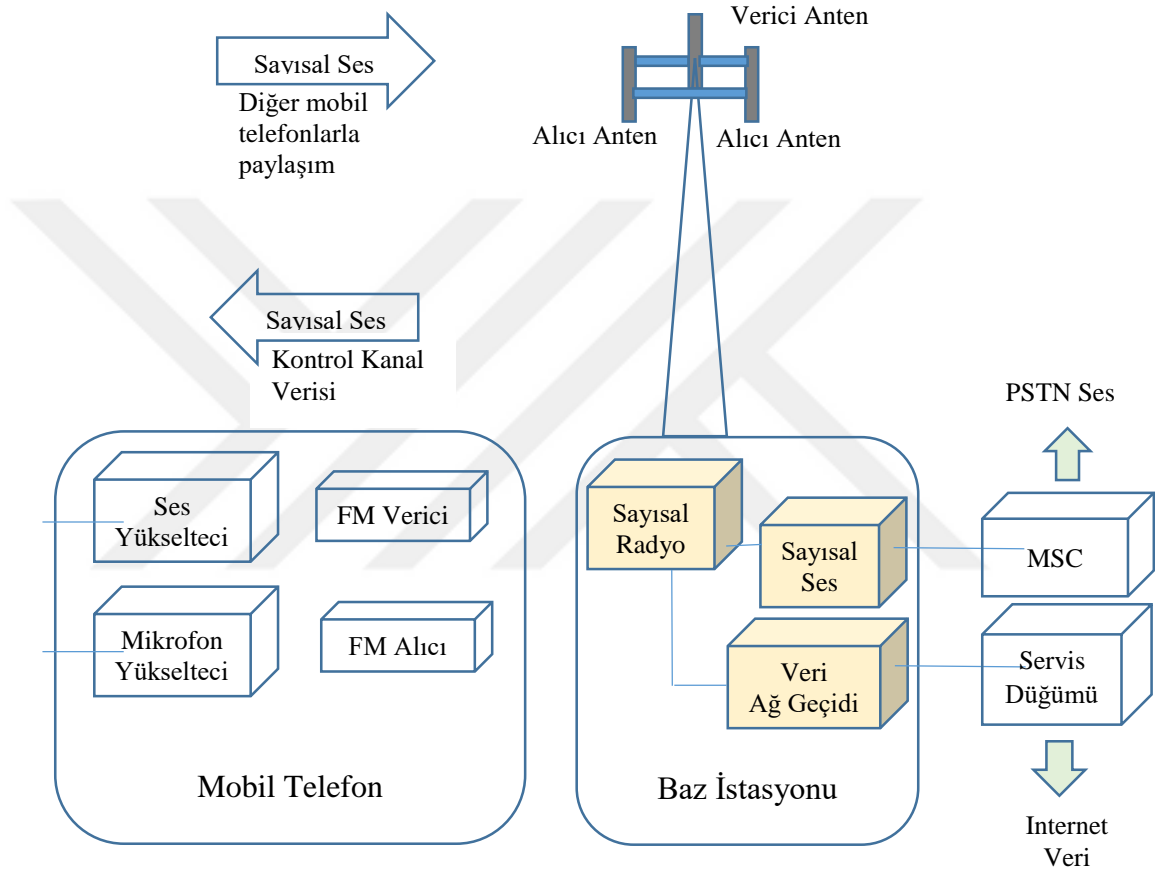
Mobil telefona bir ses kanalını ayarlama talimatı verildikten sonra, sayısallaştırılmış ses veya diğer müşteri verileri gönderilir. Periyodik olarak, baz istasyonu ile mobil telefon arasında kontrol mesajları gönderilebilir. Kontrol mesajları cep telefonuna güç seviyesini ayarlama, frekansları değiştirme veya özel bir servis talep etme komutlarından oluşabilir. Dijital mobil telefon dijital sesi aktarırken kontrol mesajları seri bir şekilde gönderebildiği gibi, sayısallaştırılmış ses sinyalleri ile birlikte de gönderebilmektedir.

Birçok mobil telefon sadece iletim anında gücü yüksek kapasiteyle kullandığından pil tasarrufu konusunda hassas tasarlanmıştır. Ayrıca iletişimin olmadığı durumlarda ya da bekleme anlarında kesintili iletişim yöntemiyle telefon vericisinin gerektiğinde iletim yapması ve ancak konuşma başladığında tam kapasiteyle çalışması sayesinde 2 ila 5 kat civarında pil tasarrufu sağlanabilmektedir.

Hücresel sistemler eğer PSTN sistemlerde kullanılan 64 Kbps veri kapasitesi ile kullanılacak olsaydı, bu kadar yüksek kapasite nedeniyle çok az sayıda abonenin aynı anda görüşme yapması mümkün olabilecekti. Bu sebeple, sesin biçiminden ziyade ses frekansı spektrum içeriği ile konuşma kanallarının çok daha efektif kullanılmaları mümkün olabilmektedir. Ses kodlayıcının genel çalışma şekli, giriş sinyalini karakterize



edecek sayısal modelleri temsil edecek kod defteri tablosundaki en yakın deseni seçmesi prensibine dayanır. Dolayısıyla kullanılan yöntemle göre sıkıştırma miktarı da değişmektedir. CDMA için konuşma etkinliğine bağlı olarak 8:1 ile 64:1 arasında değişmektedir. GSM sistemleri sesi 5:1 oranında sıkıştırmaktadır. Sayısal hücreli iletişim sistemi Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3. Sayısal hücreli iletişim sistemi (2G).

2G sayısal hücreli iletişim sistemlerinin en bilinenlerinden biri GSM (Global System for Mobile Communication) sistemidir. İlk defa ticari olarak 1991 yılında devreye girmiştir, ancak analog sistemlerle uyumlu olarak tasarlanmamıştır. Sistem, 900 MHz, 1800 MHz ve 1900 MHz frekans bantlarını desteklemekte ve Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA) teknolojisini kullanmaktadır (M. Adnan, Hilles, & Yafooz, 2017). 8 adet

mobil kullanıcının tek bir 200 kHz bant genişliğindeki radyo kanalını paylaşabilirler. İki yönlü çalışma için 2 adet 200 kHz genişliğindeki dalga formu kullanılmaktadır. GSM sisteminde de, sistem ve çağrı bilgilerinin taşınmasını sağlayan kontrol kanalları bulunmaktadır. Analog kontrol kanallarına göre daha esnektir ve daha fazla özelliğe sahiptir.

Tam kapasiteli bir GSM kanalı, iki farklı radyo frekansında 8 zaman aralığına sahip çerçevelere bölünür. Bunlardan bir tanesi mobil cihazın veri gönderimi için, bir tanesi mobil cihazın alıcı işlemleri için kullanılır ve 6 tanesi boşta kalır. Bu boşta kalan 6 zaman dilimi hücre taşıyıcı frekanslarının sinyal gücünü ölçmek için kullanılır.

Genel Paket Radyo Servisi (GPRS), GSM sistemin veri paketi sağlayan bir parçasıdır (Kalra & Chauhan, 2014). GPRS sistemi, GSM sistemindeki yeni paket kanallarını ve anahtarlama düğümlerini ekler. GPRS sisteminde teorik olarak 172 kbps'ye kadar olan veri aktarım hızları desteklenir.

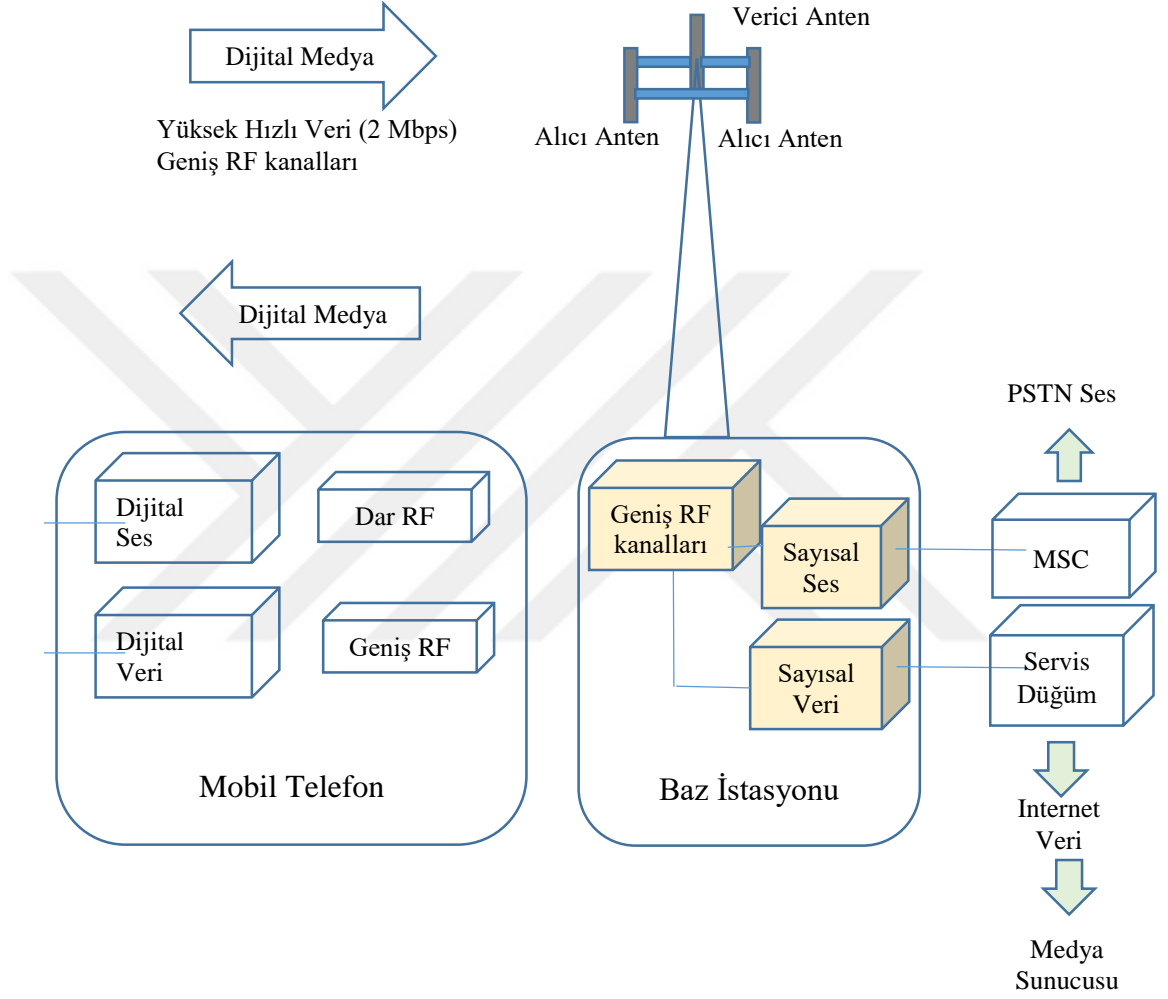
Gelişmiş Veri Hızları (Enhanced Data Rates for Global Evolution); GSM kanalı için global sistemin gelişmiş yüksek hızlı veri hizmeti sağlamak için yeni faz modülasyonu ve paket iletimi kullanan geliştirilmiş bir versiyonudur (Neog & Bera, 2017). EDGE sistemi, 8 Seviye Faz Kaydırma Anahtarlama (8PSK) kullanır. Bu, ilk nesil GSM sistemi tarafından kullanılan standart 2 seviyeli Gauss Minimum Kaydırmalı Anahtarlama (GMSK) sinyali tarafından aktarılan bilgi miktarının 3 katıdır. Bu, 604.8 kbps'lik bir radyo kanalı ile 384 kbps net maksimum teorik veri iletim hızı sağlamaktadır.

### **2.1.3. Üçüncü Nesil Hücrel İletişim Sistemleri (3G)**

Üçüncü nesil kablosuz haberleşme standardının gereklilikleri Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tarafından geliştirilen "IMT-2000" projesinde tanımlanmıştır (Mshvidobadze, 2012). Yapılan tanımlamalarda, İnternet Protokolü (IP) tabanlı servisler, küresel dolaşım ve multimedya haberleşmesi yer almaktadır. Çok sayıda iletişim önerisinin alındığı projede, Geniş Bant Kod Bölmeli Çoklu Erişim (WCDMA) ve Kod Bölmeli Çoklu Erişim 2000 (CDMA2000) sistemleri kabul edilmiştir (Harjula, Kassinen, & Ylianttila, 2012).

Şekil 2.4'de yer alan Geniş bant sayısal hücrel sistemlerinde, yüksek kapasiteli radyo kanallarının kullanımı durumunda, çok yüksek veri hızlarına çıkabildiği

görülmektedir. Bu sistemde kullanılan radyo kanallarının, ikinci nesilde kullanılan radyo kanallarına nazaran onlarca katı oranında olduğu görülmektedir. Bu da yüksek hızlarda veri iletişimine imkân verdiği, ancak ikinci nesil ile aynı ses ağı sistemlerini kullandığı görülmektedir.



Şekil 2.4. Geniş bant sayısal hücreli iletişim sistemi (3G).

## WCDMA

GSM veya IS-95 CDMA gibi ikinci nesil sayısal hücreli sistemlerden daha geniş bant genişliği kullanımına imkân veren ve üçüncü nesil hücreli sistemlerden biri olan, ayrıca 5 MHz kanal planı için geliştirilen sistem WCDMA olarak adlandırılır.

3. nesil üye projesi (3GPP), söz konusu sistemin endüstriyel standardını oluşturmuştur. Standart belirlendiğinde, mevcut GSM operatörlerinin var olan ağlarından WCDMA standardına geçişleri için gerekli 3G radyo malzemelerini belirlemede rol oynamıştır. Bu işlem ile uluslararası 3G kapsama alanı oluşturmak mümkün olmuştur.

### **CDMA2000**

IS-95 CDMA ile aynı aileden türetilmiş yüksek veri iletim protokolüdür. IS-95 CDMA ile geriye dönük uyumluluğu bulunmakta ve aynı radyo kanal kapasitesi olan 1,25 MHz değerini kullanmaktadır.

#### **2.1.4. Dördüncü Nesil Hücrel İletişim Sistemleri (4G)**

4G teknolojisi, mevcut 3G teknolojisi ile kablosuz yerel ağ teknolojisini sorunsuz bir internet için bir araya getirerek daha fazla bant genişliği ve ekstra servislerin sunulabildiği dördüncü nesil hücrel iletişim sistemidir (Anitha, 2015). Mekândan ve kullanıcı aygıtlarından bağımsız olarak, ses, veri multimedya gibi birleştirilmiş hizmetleri 100 Mbps gibi hızlarda sunabilmek için tasarlanmıştır.

Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tarafından belirlenen 4G standartlarında, hareketli kullanıcıların iletişimi için 100 Mbps, az hareketli ya da hareketsiz kullanıcılar için 1Gbps üst veri hızı sınırı belirlenmiştir. İlk nesil hücrel iletişim sistemlerindeki geleneksel telefon servisi desteği yerine IP telefon desteği getirilmiştir. Sistemin IP çekirdek ağı, ileride ihtiyaç olabilecek yüksek veri hızları ve gelişmiş uygulama servis desteğine cevap verebilecek biçimde tasarlanmıştır. Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (OFDMA) modülasyon tipinin ve akıllı anten dizilerinin kullanılmaya başlamasıyla yüksek veri hızlarına ulaşmak mümkün olmuştur. 4G ağlarında kullanıcılar için mimaride büyük oranda iyileştirme sağlamıştır. Yaygın olarak kullanılan mevcut 4G sistemleri, Gelişmiş Yüksek Hızlı Paket Erişimi (HSPA +), WiMAX ve LTE'dir.

Güvenlik ve ölçeklenebilirlik konusunda önemli gelişmeler sağlanabilmişken, e-posta ve web taramalarının oldukça yüksek hızda gerçekleştirilmesini sağlamıştır. Online uydu haritalama gibi veri yoğunluğu yüksek servisler çok daha hızlı yüklenmesini sağlayabilmişken, konum tabanlı servislerin desteği ile geliştirilen ve yine yüksek veri kullanımına ihtiyaç duyulan uygulamalarda avantaj sağlamıştır. Tıp bilişimi alanında

örneğin bir hastayı izlerken aynı zamanda hastaya video izletilmesi gibi yine ek veri yükü getirebilen uygulamalar mümkün hale gelmiştir.

4G teknolojisinde, 2G teknolojisindeki geleneksel mobil anahtarlama merkezi olarak kullanılan sistem kaldırılmış, bunun yerine tüm ses paketleri baz istasyonlarında paket verisi olarak kabul görmeye başlamıştır. Ses üzerinden veri iletimi (VOIP) teknolojisi kullanılarak IP omurgası kullanılarak geriye dönük uyum korunmuş, aynı zamanda VOIP Ağ Geçidi kullanılarak sistemin geleneksel PSTN sistemleriyle irtibatı sağlanmıştır.

Kablosuz yerel ağların entegrasyonu da, yine 4G teknolojisi ile gelen en önemli geliştirmelerden biridir. Yine herhangi bir kablosuz ağın, herhangi bir kablolu bağlantıya ya da entegrasyona gerek duymadan sisteme dâhil olabilecek duruma gelmiştir.

4G teknolojisi yüksek kalitede hizmet ve yüksek güvenlik sağlamasının yanında yüksek frekans sebepli sinyal düşmeleri ve pil tüketiminin yüksekliği dezavantaj oluşturur. Ayrıca karmaşık bir donanıma ve fazla sayıda baz istasyonuna ihtiyaç duyması da olumsuz özellikler arasında sayılabilir (Patel, Purohit, & Shah, 2018).

### **2.1.5. Beşinci Nesil Hücrel İletişim Sistemleri (5G)**

Aslında dördüncü nesil sunulduğunda, önceki üç nesle göre evrim niteliği taşımasına ve çoğu kullanıcı için tatmin edici sayılabilecek sonuçlar elde edilmesine rağmen, yine de beşinci neslin temelleri atılmaya başlamıştı. Beşinci nesil diğer 4 neslin devamından ziyade, mobil iletişimde geleceğin teknolojisi olarak düşünölmeye başlanmıştır (Fettweis, 2016). 5G devreye girdiğinde, herhangi bir yerdeki her hangi bir nesneyi (buzdolabı, derin dondurucu, akıllı telefon, araba, sayaç sistemleri gibi) internete ve gerekirse nesnelere birbirlerine bağlayabilen baskın bir teknoloji olacağı ön görölmektedir (Beenish & Fahad, 2019).

5G, kayda değer ölçüde geliştirilmiş mobil veri bant genişliği, yüksek güvenilirlik, oldukça düşük gecikme süreleri ve Nesnelere İnterneti (IoT) ile etkileşimli bir haberleşme sistemi getirecektir (Latif, Qadir, Farooq, & Imran, 2017). Sadece yüksek kapasiteli erişim değil, uzak algılayıcılarla iletişim ve veri aktarımı gibi düşük veri hızı gerektiren IoT uygulamaları için de yenilikler getirecektir. Verimlilik ve servis kalitesi dâhil olmak üzere radyo kaynağı tahsisinin temel bileşenlerinin tamamen yeni ve benzeri

görülmemiş seviyelere çıkarmasıyla ilgili önemli iyileştirmeler beklenmektedir. 5G ile beklenen bir diğer önemli konu ise, hücrel merkezlikten cihaz merkezliğine geçiştir (M. Maier, Chowdhury, Bhaskar Prasad, & Dung Pham, 2016). Ağ alt yapısı kullanmaksızın iletişimin mümkün olduğu durumlarda, cihazların bir birleri ile haberleşmesinin mümkün olabilmesidir.

5G teknolojisinde önceki nesillerde eksik kalan ya da problem yaşanan kapsama alanı eksiklikleri veya hücrel kapsama alanlarının kenar kısımlarında yaşanan performans düşüklükleri ve düşen çağrılar gibi konulara çözüm sunması beklenmektedir. ITU tarafından tanımlanmış olan IMT2020 programında sistemin kapasite sınırları belirlenmiştir. Bunlar arasında her bir mobil baz istasyonunun 10 Gbps yükleme ve 20 Gbps indirme kapasitesine sahip olması gerektiği belirtilmiştir. Bu değer, Uzun Dönemli Evrim (LTE) teknolojisinin 20 katına karşılık gelmektedir. IoT desteği dâhil kilometrekare başına 1 milyon bağlı cihaz planlanmıştır. 500 km/s hızla gidebilen araçlarda erişim desteği belirlenmiştir. Çalışma anında sistem yükte iken radyo arabiriminde enerji verimliliği ve sistemin yükte olmadığı ya da kullanım dışı olduğu zamanlarında düşük enerji kipine geçişinin sağlanması gerektiği bildirilmiştir. Ayrıca ideal durumlarda maksimum 4 ms gecikme süresi değerlerine sahip olması gerektiği belirlenmiştir.

## **2.2. Kablosuz Yerel Alan Ağları / Kişisel Alan Ağları Bağlantı Yöntemleri**

Mobil cihazlar hücrel ağ bağlantı yöntemlerinden farklı olarak, kablosuz yerel alan ağları ve kişisel alan ağları olarak adlandırılan yöntemlerle iletişim yapabilmektedir. Maliyet ve ihtiyaç duyulan hıza göre kullanıcılar ilgili seçenek üzerinden bağlantı tercihini yapabilmektedir. Yerel ya da kişisel alan ağı kullanmak istemeleri durumunda, mobil cihazları ilgili bağlantı yöntemini destekleyecek bir donanıma sahip olmalı ve ortamda bu donanım üzerinden hizmet alabilecekleri bir erişim noktası/cihazı bulunmalıdır. Bazı kaynaklarda Kablosuz Yerel Alan Ağları (WLAN) ve Kişisel Alan Ağları (PAN) olarak iki ayrı kategoride incelenmekte olup, bu çalışmada mobil cihazlarda kullanılan ağ bağlantı yöntemlerine dikkat çekilmek istenmesi sebebiyle aynı alt başlık altında incelenecektir.

### 2.2.1. Wi-Fi

Wi-Fi, akıllı telefonların yanı sıra bilgisayarlar, tabletler, televizyonlar, kameralar gibi birçok cihaz için haberleşmelerinin temel unsurlarından biri olmuş ve günlük yaşamın yerleşik kablosuz bağlantı yöntemi haline gelmiş bir yerel alan ağı standardıdır. Evlerde ve ofislerde kullanılmasının yanı sıra hava alanlarında, bankalarda, kafeteryalarda, alışveriş merkezlerinde ve daha birçok yerde Wi-Fi erişimi sunulur hale gelmiştir (Song & Issac, 2014).

IEEE 802.11 olarak isimlendirilen ilk sürüm 1997 de çıkmış ve frekans atlamalı veya doğrudan dizi yayma spektrumu kullanarak 1 Mbps veya 2 Mbps hızında veri aktaran bir sistem için sunulmuştu. 1999'da çıkarılan 802.11b sürümü ile 11 Mbps ham veri oranı sağladı. 2.4 GHz ISM bandını kullanan bu sürüm 150 metre menzile kadar çalışabiliyordu. Nadiren kullanımına rastlanan eşler arası topoloji desteğine rağmen, eşler arası ve yıldız topoloji desteği bulunuyordu (Friedman, Kogan, & Krivolapov, 2013). İlk zamanlar büyüme çok hızlı gerçekleşmemiş olsa da, birçok diz üstü bilgisayarın 802.11b kablosuz kartı kullanılarak satışa sunulması, şirket ve üniversitelerin erişim noktaları kurmasıyla ünü sonradan hızla artmıştı.

802.11a ile yayınlanan diğer sürüm ise OFDM dalga formunu kullanıyordu ve verileri 1.5 Mbps ile 54 Mbps arasında aktarabiliyordu. Çıkarılan bu standart 5 GHz bandını kullanıyor ve çok taşıyıcı modülasyona dayanıyordu. 802.11b'den daha fazla bant genişliğine ve dolayısıyla daha fazla kanala sahip olduğundan, daha yüksek veri hızlarında daha fazla kullanıcıyı destekleyebiliyordu. Getirdiği bu avantajlar, 802.11b sistemine nazaran daha pahalı olacağına dair kaygıları da beraberinde getirmişti. Ancak fiyat konusunda oldukça rekabetçi geldiği için düşünüldüğü gibi olmamıştı. Diğer standart olan 802.11g ise, çok taşıyıcı modülasyon kullanan ve 54 Mbps'e kadar hızlarla 2,4 GHz ve 5 GHz bantlarında kullanılabilen diğer bir sürümdür. Sonrasında 802.11g'yi geliştirmek için MIMO olarak adlandırılan çoklu sinyal ve anten teknolojisine dayanan ve 300 Mbps hızı destekleyen sürüm olan 802.11n duyuruldu. Bu sürüm dış sinyal etkenlerine karşı daha dayanıklıydı ve daha yüksek hız sunuyordu. Ancak diğer sürümlere göre maliyeti biraz daha yüksekti. Ardından 2.4 GHz ve 5 GHz desteği sunan 802.11ac sürümü duyuruldu. Bu sürüm de çift bant desteğinden dolayı yüksek maliyete sahip olmasına rağmen, 2.4 GHz için 450 Mbps ve 5 GHz bandı için de 1300 Mbps hız

sunabilmektedir. Birçok kablosuz LAN kartı ve özellikle birçok erişim noktası, uyumsuzlukları önlemek adına önceki sürümleri destekleyecek biçimde üretilmektedir.

Wi-Fi terimi aslında marka adını ifade etmekte olup, 2.4 GHz ve 5 GHz bantlarında lisans ücreti ödemeksizin herkesin kullanımına imkân tanınmıştır. Bu bandın kullanımının aynı zamanda diğer kullanıcılara açık olması, parazitleri ve güvenlik risklerini de beraberinde getirir.

Bir Wi-Fi sistemi temel iki sınıftan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi sistemin çekirdeği niteliğindeki Wi-Fi özellikli cihazlarla iletişim kuran Erişim Noktası (AP), diğeri ise erişim noktasından hizmet alacak olan istasyon ya da istemcidir (Y. Q. Zhang & Sampalli, 2010). Erişim Noktası genelde geleneksel kablolu ağ ile köprü vazifesi gören bir baz istasyonu niteliğindedir. Kablosuz ortamdan gelen verilerin daha sonra kablolu Ethernet ya da DSL üzerinden bağlantı sağlanan internet üzerine yönlendirilmesinden sorumludur. Kablosuz yerel ağlar, kapsama alanı boyunca yerleştirilmiş kablosuz erişim noktaları veya hub cihazlarından oluşan bir yıldız mimarisine sahip olabileceği gibi, kablosuz terminallerin bir ağda toplandığı eşler arası mimariye de sahip olabilir.

802.11 standardı ve uzantıları, TCP modelinde 802.3 (Ethernet) ile tanımlandığı gibi fiziksel katman ve veri bağlantı katmanı olarak iki katman tanımlar: Veri bağlantı katmanı (DLL) aslında ortam erişim kontrolü (MAC) ve mantıksal bağlantı kontrolü (LLC) olmak üzere iki katmandan oluşur. TCP modeline ait katman yapısı Şekil 2.5’de yer almaktadır.

Uygulama Katmanı		
Aktarım Katmanı		
Ağ Katmanı		
Veri Bağlantı Katmanı	Mantıksal Bağlantı Kontrolü Medya Erişim Kontrolü	IEEE 802 Ağlarında Belirtilen; 802.2 – Mantıksal Bağlantı Kontrolü (LL) 802.3 – Ethernet olarak bilinen Fiziksel ve MAC katmanı 802.11 – Fiziksel ve MAC, Wi-Fi
Fiziksel Katman		

Şekil 2.5. Wi-Fi TCP katman yapısı.



Fiziksel katman; modülasyon yöntemlerinden, kodlama şemasından ve boşlukta radyo sinyallerinin iletilmesinden sorumludur. 802.11 MAC katmanı, aslında veri bağlantı katmanının alt katmanıdır. Veri aktarımını kontrol eden, varsa kablolu bir omurga ile etkileşimi sağlayan ve fiziksel katmanın üzerine çalışır. MAC katmanı ayrıca radyo ve hareketlilik yönetimi ile ilgili hizmetleri de sağlar. Veri paketlerini paylaşılan bir kanalda taşımak için, çarpışmaların oluşmadan önce önlenmesini sağlayan Taşıyıcı Algılamalı Çoklu Erişim / Çarpışma Önleme (CSMA/CA) özelliğini kullanır. 802.11 MAC katmanı, bir IEEE 802 LAN olarak mantıksal bağlantı denetimi (LLC) katmanına görünmesi için Wi-Fi ve Ethernet ile aynı biçimde benzersiz 6 oktet MAC adreslerini kullanır.

Wi-Fi ağlarında, 14 kanala sahip 802.11b,g gibi sürümlerin çalıştığı 2,4 GHz bandı ve 802.11a gibi sürümlerin çalıştığı 13 kanala sahip 5 GHz bandı olmak üzere iki adet sinyal frekansı bulunmaktadır. Elektromanyetik dalgaların yayılımı düşünüldüğünde, düşük olan frekans bandı diğerine göre engellere karşı (duvar, kapı, bina, vb.) daha başarılıdır.

Wi-Fi için önemli konulardan biri de güvenlidir. Neticede kontrolsüz bir ortama, bir bilginin kablosuz olarak gönderiminin söz konusu olduğu bir sistemde öncelikle doğrulanmış kullanıcıların erişebileceği bir doğrulama sisteminin olması gerekmektedir. Ardından gizliliğe sahip iletişim ortamının sağlanması ve veri bütünlüğünün korunabilmesi ile ilgili gerekli önlemler alınmalıdır.

Kimlik doğrulamanın amacı, istemcinin ve erişim noktasının karşılıklı bir şekilde kendi söylediklerinden emin olmasını sağlamaktır. Neticede erişim noktası, diğer ağ kaynaklarına erişim için giriş denetiminden birinci derecede sorumludur ve kaynağın önemine bakılmaksızın bu kaynağın erişimini kontrol etmekle yükümlüdür. Aynı zamanda, erişim noktasının da saldırıya açık bir ortamda kendini bir şekilde kanıtlayabilmesi ve servis dışı bırakma ataklarına karşı kendini ve istemcilerini koruyabilmesi için böyle bir doğrulama mekanizmasına ihtiyacı vardır. Gizlilik ise, güçlü şifreleme algoritmaları ve dinamik anahtar türetme stratejileri kullanarak, herkesin erişebildiği böylesine açık ortamda bilgi gönderme zorluğunu güvenli bir şekilde

sağlamaktır. Bütünlüğün amacı ise, alıcı tarafa ulaşan verinin sağlam, doğru, bütün ve değiştirilmemiş olmasını temin etmektir.

IEEE 802.11 protokolündeki güvenlik stratejisi olan WEP ile ilgili kısa zamanda güvenlik zafiyetleri ve açıklıklar bildirildiği için başka çözümler arandı (Sebbar, Boulahya, Mezzour, & Boulmalf, 2016). Wi-Fi Alliance tarafından sunulan sertifika programlarından olan WPA ve WPA2 olarak bilinen güvenlik stratejilerinin her ikisi de IEEE 802.11i özellik belirtimine dayanmaktadır (A. H. Adnan vd., 2015). Her geçen gün bu ikisi ile ilgili açıklıklar araştırılıp ortaya çıkarılmaya çalışılsa da, bir süre WEP'e göre daha güvenli bulunarak kullanıldı. Ardından 2018 yılında Wi-Fi Alliance tarafından geliştirilmiş olan WPA3 algoritması duyuruldu. Tabii ki bu protokoldeki amaçlardan biri de, WPA2 ve öncesindeki protokollerde açığa çıkarılan güvenlik açıklarına karşı koruma sağlamaktı. WPA3 protokolünde kişisel mod için 128 bit, kurumsal mod için ise 192 bit şifreleme tercih edilerek, tahmin yoluyla zayıf şifre kullanılmasının önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca halka açık alanlarda bulunan Wi-Fi bağlantılarında veriler üzerine getirilen ek gizlilikle, şifrelenmiş bir iletinin korsanlar tarafından ele geçirilmesi halinde de verilere erişimleri zorlaştırılmıştır.

IEEE 802.11 protokolünde, Wi-Fi ağlarında dinamik veri iletimi için sürekli uyanık mod (CA) ve güç koruma kipi (PSM) olarak 2 mekanizma önerilmiştir. CA kipinde Wi-Fi arabiriminin sürekli olarak aktif durumda olması sebebiyle daha fazla güç harcar. PSM kipi ise, güç koruma durumuna geçerek belirli zaman aralıklarında erişim noktasından gönderilecek paketleri almak için uyanır. Eğer herhangi bir paket yoksa tekrar uyku kipine geçer. Bu sebeple PSM kipinde daha az güç tüketilmektedir. (Chen vd., 2017).

Wi-Fi Direct, kablosuz bir erişim noktası gerektirmeksizin yakındaki cihazlar arasında geçici iletişim sağlayan bir Wi-Fi standardıdır (Naik & DrSouza, 2019). IEEE 802.11 a/b/g/n altyapı kipini kullanır ve 2,4 GHz veya 5 GHz bantlarında iletim yapılabilir. İletişim başlatılırken roller inşa edilmekle birlikte, aygıtlardan biri Grup Sahibi (GO) ve diğerlerinin de Grup Üyesi (GM) olduğu bir grup oluşturulur (Demir, Tapparello, & Heinzelman, 2017).

### 2.2.2. Kızılötesi Bağlantı (IrDA)

Kablosuz kızılötesi iletişim, kızılötesine yakın bantta ışık dalgalarının kullanılması temeline dayanan bir iletişim yöntemidir (Vitsas, Barker, & Boucouvalas, 2003). İki taşınabilir cihaz arasında olabileceği gibi, biri taşınabilir diğeri kızılötesi erişim noktası olarak adlandırılan sabit cihaz arasında da olabilir. Bazı durumlarda optik spektrumun diğere bölgelerinin kullanılması nedeniyle kablosuz optik iletişim olarak da anıldığı olur.

Bir grup büyük cihaz üreticisi tarafından kızılötesi bağlantı tasarımlarının geliştirilmesini teşvik etmek amacıyla 1993 yılında Kızılötesi Veri Birliği (IrDA) kuruldu (Williams, 2000). IrDA; 1-3 metre mesafelerinde bas ve çek prensipleri kullanarak kablosuz veri aktarımına imkân tanır. Güvenli veri transferi ve görüş hattı menziline düşük bit hata oranına sahip olması verimliliği artıran özellikleridir. Tüketici elektroniğinde, otomobillerde, bilgisayarlarda, tıbbi cihazlarda, ev aletlerinde, ticari hizmetlerde bir süre ucuz ve yaygın olarak benimsenmiştir.

İlk sürümlerinden olan IrDA SIR sürümünde 9,6 – 115,2 Kbps hız sunarken, IrDA MIR sürümünde 0,576 – 1,152 Mbps hız sunabilmekteydi (Barker, Boucouvalas, & Vitsas, 2000). Ardından çıkarılan IrDA FIR sürümünde 4 Mbps, IrDA VFIR sürümünde 16 Mbps, IrDA UFIR sürümünde 96 Mbps ve IrDA GigaIR sürümünde 512 Mbps hızları sunulmuştu.

IrDA 1990'lı yıllarda ve 2000'li yılların başlarında oldukça popülerdi ve piyasaya sürülen birçok üründe standart donanım olarak yer alıyordu. Ancak Wi-Fi ve Bluetooth teknolojilerinin yaygın olarak kullanılmaya başlamasıyla ve görüş alanındaki doğrudan iletişime olan ihtiyacın azalmasıyla tercih edilmemeye başladı. Şu anda, ortamdaki başka sistemlerden kaynaklı girişimin radyo tabanlı kablosuz teknolojileri kullanılamaz hale getirdiği durumlarda kullanılmaktadır.

Günümüzde Samsung ve Apple gibi akıllı cep telefonu üreticilerinin ürünlerinde genellikle IrDA teknolojisine yer vermedikleri görülmektedir. Genellikle Çin Halk Cumhuriyeti menşei bazı üreticilerin piyasaya sürdüğü mobil telefonlarda IrDA desteği sundukları görülmektedir.

### 2.2.3. Yakın Alan Ağı İletişimi (NFC)

Yakın Alan İletişimi (NFC), 4-5 cm'ye kadar birbirine yakın mesafedeki cihazların aralarında temassız bir biçimde kablosuz olarak iletişim kurmasını sağlayan protokole verilen isimdir (El Madhoun & Pujolle, 2016). Kullanıcılar tarafından kurulum gerektirmeden basit bir şekilde iletişim gerçekleştirilebilir. Elektromanyetik indüksiyon yöntemiyle radyo spektrumunun HF kısmında 13,56 MHz frekansı kullanılarak bilgi alışverişinde bulunulur. İletişim kurulacak olan nesne bir cihaz olabileceği gibi, etiket veya NFC etiketi olabilmekle birlikte 106-424 Kbps veri hızına sahip olabilir.

NFC yöntemi kullanılarak 3 değişik şekilde haberleşme mümkün olmaktadır. Birinci yöntem olan kart öykünmesi (Card Emulation) yönteminde, Apple Mobil Ödeme (Apple Pay) veya Android Mobil Ödemede (Android Pay) kullanıldığı gibi cihazın akıllı kart olarak davranması sağlanır. Bir cihazın NFC etiketlerinden veri okuyup, NFC etiketlerine veri yazabilesini sağlayan Okuma/Yazma yöntemi ise ikinci kullanım şeklini oluşturur. Geçici olarak cihazlar arası bilgi alışverişinin kolaylaştırıldığı eşler arası kip (Peer-to-peer) ise son kullanım şeklini oluşturmaktadır (Saminger, Grunberger, & Langer, 2013).

NFC, son zamanlarda mobil ödeme çözümlerine olan ilginin de artmasıyla geniş bir kullanıma sahip olmaya başlamıştır. Netice bir telefonla etiket veya cihaz arasında, güvenli veri alışverişi gerektiren uygulamalar için uygun bir kullanım alanı oluşturulabilir (Jorda vd., 2018).

Çalışmasının ve başarısının anahtarı olan kısa menzil özelliği sayesinde güvenli iletişim yapılması gereken diğer birçok alanda da kullanım imkânına sahip olmuştur. Akıllı mobil telefonların yanı sıra birçok farklı cihaza da dâhil edilebilme özelliğine sahiptir. Fiziksel ya da elektriksel temas yapılması gerekmediğinden, temaslı okuyucu cihaz kullanımının ya da kullanıcıların temas problemleriyle uğraşmasının önüne geçilebilir. Fiziksel temas gerektiren sistemlerde yaşanan kontak aşınması, korozyon ve kir sorunlarının da önüne geçilebilir.

NFC, RFID'nin değişik bir biçimi olup, kendi çalışmasını ve ara yüzünü düzenleyen belirli standartlar kümesine sahiptir (Zhou vd., 2016). Bu da NFC'nin, çeşitli üreticiler tarafından çıkarılan ürünlerde birlikte kullanılabilmesini sağlar. NFC standartları sadece temassız çalışma ortamını değil aynı zamanda veri formatlarını ve veri

aktarım hızlarını da kapsar. NFC teknolojisi uzun menzilli teknolojiler için gerekli olan karmaşık kurulum, bağlantı başlatma ve uzun güvenlik işlem aşamalarından kaçınılmasını sağlayacaktır.

Ödeme kartları, bilet sistemleri, cep telefonları, tabletler, çeşitli giriş ve turnike sistemleri, satış noktası donanımları, otomatik satış makineleri, park sistemleri, ATM sistemleri uygulamaları, garaj sistemleri, büro ve ev odaklı uygulamalar NFC'nin kullanıldığı çeşitli alanlardır. Ayrıca iki kablosuz cihaz arasındaki Wi-Fi ve Bluetooth bağlantılarını yapılandırmak için de kullanılabilir. Normalde Wi-Fi veya Bluetooth üzerinden çalıştırılması gereken cihazların, ilk satın alma veya tekrar yapılandırma işlemleri NFC kullanarak gerçekleştirmek mümkün olmaktadır (Pomak & Limpiyakom, 2018).

NFC teknolojisinin çalıştığı 13,56 MHz frekans bandı lisans gerektirmez ve verici-alıcı işlemleri için aynı kanal kullanılır. Aygıtlar verici işlemlerini başlatma öncesinde, başka aygıtların iletim yapmadığını kontrol etmek için önce dinleme yaparlar. İki cihaz arasındaki bağlantı 4 cm'den yakına getirildiğinde başlatıldığı için iki aygıtı ilişkilendirmek zor olmaz.

NFC teknolojisinde, bağlantıyı başlatan ve veri değişimini kontrol eden Bağlantı Başlatıcı (Initiator) ve bağlantı başlatıcının taleplerine yanıt veren Hedef (Target) olmak üzere 2 adet cihaz tipi bulunmaktadır (Jin & Zeng, 2018). Ayrıca NFC standardında aktif iletişim kipi ve pasif iletişim kipi olmak üzere iki adet işletim biçimi tanımı yer alır. Aktif iletişim kipinde her iki cihaz veri taşıma için RF sinyali üretmesine karşın, pasif iletişim kipinde sadece bir cihaz RF alanı üretir. Hedef tipindeki diğer pasif cihaz ise, bağlantı başlatıcı cihaza doğru yük modülasyonu yöntemini kullanarak geriye doğru veri transferinde bulunur.

NFC radyo arabirimi; basit, güç tüketimini azaltan, güvenli iletişim sağlayan ve aktif -pasif cihazlar arasındaki iletişimi karşılıklı gerçekleştirecek biçimde tasarlanmıştır (Roland & Langer, 2010). 106 Kbps, 212 Kbps ve 424 Kbps olmak üzere 3 değişik hızda sinyal kodlaması yöntemi sunulmaktadır. NFC Veri Değişim Biçimi (NDEF) adı altında, tüm iletişimde bulunacak aktif veya pasif aygıtlar tarafından veri aktarımı için kullanılabilen bir format tanımlanmıştır. NDEF formatı basit ve etkili bir yapıya sahip

olup, düşük veri hızlarının korunmasını sağlayarak güç tasarrufuna katkıda bulunur (Baek & Youm, 2015).

#### **2.2.4. Bluetooth ve Düşük Enerjili Bluetooth**

Mobil cihazlarda kullanılan en önemli teknolojilerden biri de Bluetooth teknolojisi ve devamında geliştirilen Düşük Enerjili Bluetooth teknolojisidir. Düşük Enerjili Bluetooth teknolojisi bu tez çalışmasının temelini oluşturduğundan dolayı, Bluetooth ve Düşük Enerjili Bluetooth teknolojisi ile ilgili konulara 3. bölümde ayrı bir ana başlık altında yer verilmiştir.



## BÖLÜM 3

### 3. DÜŞÜK ENERJİLİ BLUETOOTH TEKNOLOJİSİ

#### 3.1. Düşük Enerjili Bluetooth Teknolojisinin Tarihçesi

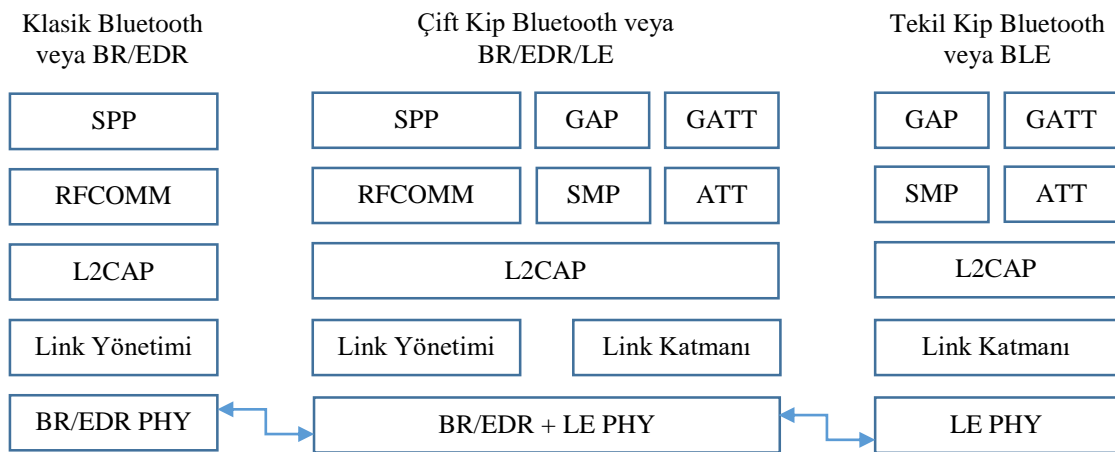
Düşük Enerjili Bluetooth (Bluetooth Low Energy - BLE) teknolojisi anlatılmaya başlamadan önce kısaca Klasik Bluetooth hakkında bilgilendirme yapılacaktır. Klasik Bluetooth ilk olarak 1994 yılında RS232'ye alternatif olarak sabit ve hareketli cihazların kısa mesafede haberleşmesini sağlayan kablosuz bir teknoloji olarak Ericsson tarafından keşfedilmiştir. 2.4 GHz (2400 – 2483.5 MHz) bandında küresel olarak lisanslanmamış Endüstriyel, Bilimsel ve Medikal (Industrial, Scientific, Medical - ISM) alan için ayrılmış radyo frekans bandında çalışmaktadır. Klasik Bluetooth keşfedildikten 4 yıl sonra Ericsson, Nokia, IBM, Toshiba ve Intel tarafından Bluetooth Özel İlgi Grubu (SIG) kurulmuş, ardından diğer büyük üreticiler bu gruba katılmıştır. Bluetooth SIG grubu, kalite programının yönetimi ve özelliklerin gelişiminin yanı sıra, markanın korunmasıyla ilgili gerekli denetim ve yönetim işlemlerini yürütmekten de sorumludur. 1999 yılı, ilk Bluetooth protokolünün piyasaya sürüldüğü yıl olmuş, 2000 yılında ise Ericsson tarafından Bluetooth kulaklık ilk olarak pazara sürülmüştür (Ferro & Potorti, 2005). Kulaklıklı mikrofonlardaki ses akışı uygulamalarından uçtan uca veri paylaşım uygulamalarına kadar çok çeşitli kısa mesafe uygulamalar için etkin bir şekilde kullanılmış, günümüzde halen de kullanılmaya devam etmektedir (Pyles vd., 2015).

Aradan geçen yıllarda Klasik Bluetooth ile ilgili çeşitli sürüm ve güncellemeler çıkmış olmasına rağmen, 2010 yılında ilk olarak Bluetooth SIG tarafından günümüzde Düşük Enerjili Bluetooth olarak bilinen 4.0 sürümü piyasaya sürülmüştür. İlk birkaç yıl üreticilerin bu yeni teknolojiyi anlaması ve kısmen ürünlerinde kullanmaya başlamasıyla

geçmesine rağmen, ancak 2013 yılının sonlarına doğru ilk ciddi güncelleme 4.1 sürümü ile duyurulmuştur. Ardından 2014 yılının yine sonlarına doğru 4.2 sürümü ve 2016 yılının ortalarında ise 5.0 sürümü duyurulmuştur (Specification, 2017). Bluetooth 5; hız, menzil ve yayın kapasitesiyle önceki sürümlere kıyasla önemli performans iyileştirmeleri sunmayı amaçlamış ve bu konularda gelişme kat etmiştir (Collotta, Pau, Talty, & Tonguz, 2018). Son olarak 2019 yılının ocak ayında 5.1 sürümü duyurulmuştur (Specification, 2019).

### 3.2. BLE Desteklenen Özellikler

BR/EDR (Basic Rate/Enhanced Data Rate); Bluetooth 1.0 versiyonu sonrası 4.0 versiyonu öncesi çıkan cihazları kapsayan kablosuz standardını ifade eder. Bluetooth 4.0 öncesi kullanılan Klasik Bluetooth destekli cihazlar BLE'yi desteklemez iken, Akıllı Bluetooth olarak adlandırılan 4.x ve sonrası çıkan cihazlar BLE'yi destekleyip Klasik Bluetooth desteği sunmazlar. Ancak tekil kip BLE (single mode) olarak kullanıma giren cihazlar sadece BLE desteği sağlayabilirken, ara çözüm olarak sunulan çift kip (dual mode) cihazlar hem BR/EDR, hem de BLE desteği sunarlar. Her iki sürüm desteğini sağlayan Bluetooth cihazlar aynı zamanda Akıllı Bluetooth'a hazır (Smart Ready Bluetooth) olarak da adlandırılırlar. Bahsi geçen klasik, çift kip ve tekil kip cihazlara ait sürümler arası yapılandırma farkları Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

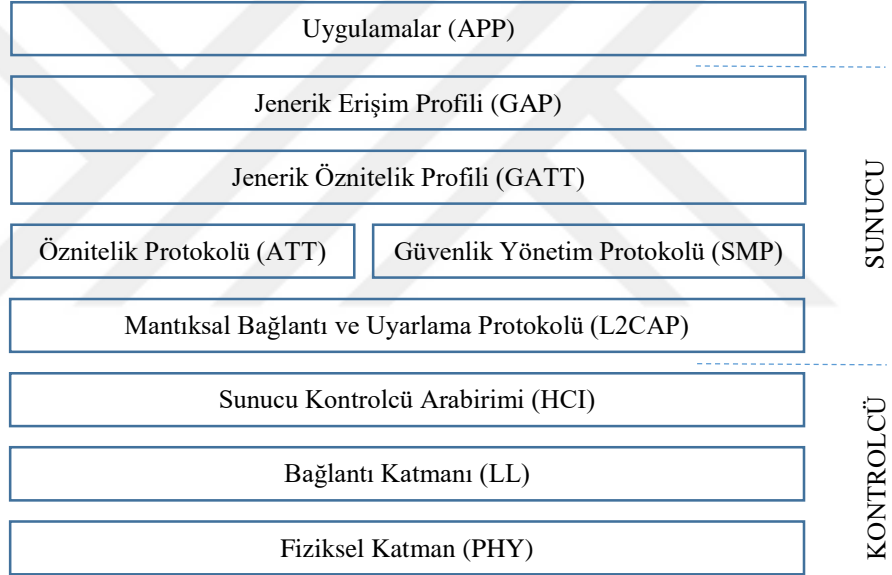


Şekil 3.1. Bluetooth sürümleri arası yapılandırma farkları.



### 3.3. BLE Protokol Yığının Mimarisi

Bir Bluetooth cihazı Uygulama (Application), Sunucu (Host) ve Kontrolcü (Controller) olmak üzere 3 temel yapıdan (block) oluşmaktadır. Uygulama bloğu adından anlaşılacağı gibi belirli bir kullanım durumunu kapsayacak biçimde Bluetooth protokol yığını ile iletişimin sağlandığı bloktur. Sunucu blokta yığının üst katmanları, kontrolcü blokta ise radyo iletişiminin de bulunduğu yığının alt katmanları yer alır (Mikhaylov, 2014). Tüm bunlara ek olarak farklı üreticilerin ürünleri arasında birlikteliğin sağlanması amacıyla ve sunucu blok ile kontrolcü blok arasında iletişimi sağlayan Sunucu Kontrolcü Arabirimi (Host Controller Interface – HCI) yer alır (Gentili, Sannino, & Petracca, 2016). Şekil 3.2’de BLE yığın mimarisi gösterilmektedir.



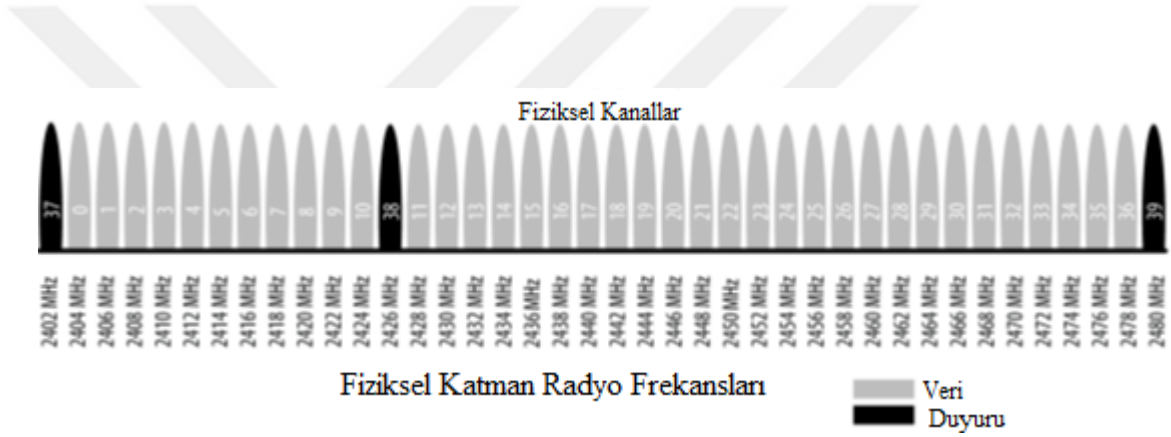
Şekil 3.2. BLE yığın mimarisi.

#### 3.3.1. BLE Mimarisi - Kontrolcü Blok

Kontrolcü blok mimarinin en alt katmanında yer almakta olup; Fiziksel Katman, Link Katmanı ve bir üst katmanla iletişimin sağlandığı Sunucu Kontrolcü arabirimini barındırır.

### 3.3.1.1. Fiziksel Katman

Fiziksel katman (Physical Layer) kontrolcü bloğun en altında yer almakta olup, çip üzerindeki radyoyu kullanarak bitlerin alımından ve gönderiminden sorumludur. Gauss frekans kaydırmalı anahtarlama (GFSK) yöntemi ile modüle edip demodüle edebilen ve bunları dijital sembollere dönüştüren analog iletişim devreleri de yine bu katmanda barındırılır ve sembol hızı 1 Mbps hızı destekler (de Cerio, Hernandez, Valenzuela, & Valdovinos, 2017). 2.4000 GHz ile 2.4835 GHz arasındaki ISM bandı her biri 2 MHz boşluklu 40 kanala ayrılır. Şekil 3.3'de gösterildiği gibi, 37, 38 ve 39. kanallar duyuru paketleri ve servis keşfi için ayrılmış olup, geriye kalan 37 kanal veri transferi için kullanılmaktadır (Corbellini, Mangold, & Schmid, 2015).



Şekil 3.3. Fiziksel katman radyo frekansları.

Duyuru kanalları; duyuru verilerini yayınlamak, bağlantıları başlatmak ve hızlı paket değişimlerini yönetmek için kullanılır. Veri kanalları ise yalnızca iki cihaz arasında uçtan uca (peer-to-peer) bir bağlantı kurduğunda kullanılır. Duyuru kanal sayısı 3 adet olarak belirlenmiş ve veri kanalları arasında yayılmıştır. 2.4 GHz ISM bandının gerek Klasik Bluetooth gerekse Wi-Fi gibi diğer kablosuz teknolojiler tarafından da kullanılması sebebiyle karışmaları önlemek için bir takım yöntemler uygulanmaktadır. Atlamalı yayılma spektrumu olarak adlandırılan ve her bir bağlantı olayında kanallar arasında (3.1) formülü kullanarak atlamalı bir teknik kullanır:

$$\text{kanal} = (\text{mevcut\_kanal} + \text{hop}) \bmod 37 \quad (3.1)$$

Hop değeri bağlantı kurulduğunda iletildiğinden her yeni kurulan bağlantı için farklıdır. Bu teknik, ISM bandında potansiyel olarak güçlü iletim gücüne sahip cihazların yakınındakileri etkileme potansiyeli sebebiyle, etkiyi en aza indirmede yardımcı olmaktadır (Townsend, Cufi, Akiba, & Davidson, 2014).

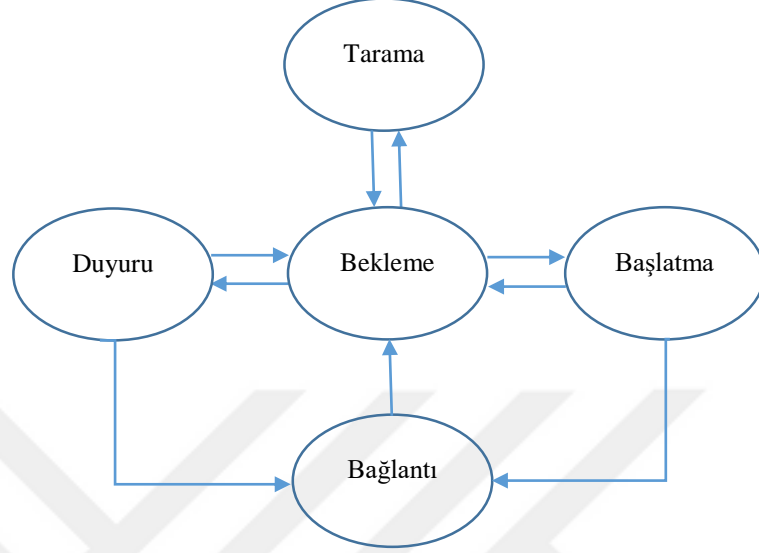
### **3.3.1.2. Bağlantı Katmanı**

Bağlantı Katmanı (Link Layer); fiziksel katmanın üzerinde yer almakta ve radyo iletişimini kontrol etmesi sebebiyle BLE'nin kalbini oluşturmaktadır. Başka bir ifadeyle özel donanım ve yazılımının kombinasyonu olarak doğrudan fiziksel katman ile arabirim oluşturan kısımdır (Labib, Ghalwash, Abdulkader, & Elgazzar, 2019). Ayrıca, çekirdek özelliklerinde tanımlanan ve zamanlama gereksinimlerinin hepsine uymakla sorumlu olması sebebiyle tüm protokol yığınının gerçek zamanlı zorlayıcı tek katmanıdır. Yığın içindeki tüm yazılım katmanlarının çalıştırılmasından işlemcinin sorumlu olması sebebiyle, işlemcinin aşırı yüklenmesini önlemek adına donanımsal olarak bir takım işlemlerin yerine getirilmesi gerekmektedir. İşte donanımsal olarak sağlanan bu fonksiyonellikler arasında; giriş, erişim adresi ve boşluk ortam (hava) protokolü çerçevelemesi, CRC üretimi ve doğrulaması, veri beyazlatma (whitening), rasgele sayı üretme ve AES şifreleme gibi işlemler yer alır.

BLE cihazının çalışacağı bölgede birçok başka BLE cihazı bulunabileceğinden, ya da güvenlik gerekçesiyle ana cihaz ya da bağımlı cihazların önceden bildiği cihazlar ile ilgilenmesi gereken durumlar için bağlantı katmanı tarafından beyaz liste (White list) özelliği mevcuttur. İlgilenilen duyuru ya da tarama rolündeki cihazın adresi dikkate alınır. Beyaz liste bir filtreden ziyade, talepte bulunan cihazların bağlantı isteklerini değerlendiren bir anahtar gibi davranarak açık kapatmaya yarayan bir uygulamadır. Eğer cihaz tarayıcı ise beyaz listesinde olmayan ortamdaki duyuru cihazlardan gelen paketleri, ya da duyuru rolündeki cihaz ise beyaz listesinde olmayan tarayıcı cihazdan gelebilecek bağlantı isteklerini düşürür.

Bağlantı Katmanı yazılımının yarısı, cihazın diğer cihazlara nasıl bağlandığını gösteren radyonun bağlantı durumunu (state) yönetir. Bağlantı katmanı genellikle bekleme (standby), duyuru (advertising), tarama (scanning), bağlantı başlatma (initiating) ve bağlantı (connection) şeklinde 5 farklı durumda olabilen bir durum makinesi olarak

modellenebilir (Liendo, Morche, Guizzetti, & Rousseau, 2018). Bahsi geçen durum makinesi Şekil 3.4’de gösterilmektedir.

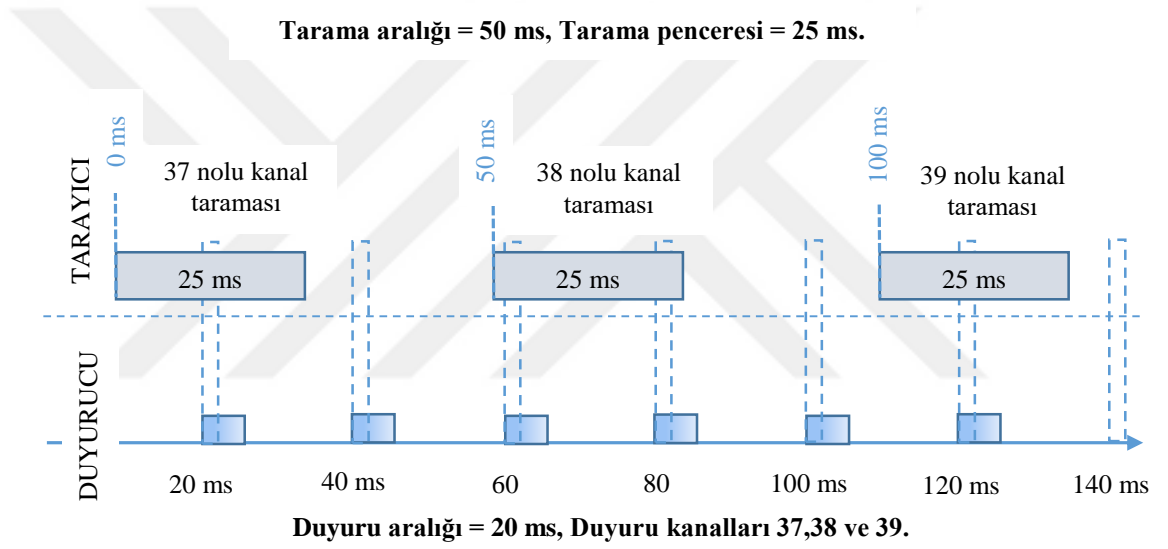


Şekil 3.4. Link katmanı durum makinesi.

Burada bekleme durumu; adından da anlaşılacağı gibi alıcının ve vericinin uykuda olduğu ve herhangi bir diğer durumdan bu duruma geçebilmenin mümkün olduğu bekleme durumunu ifade eder.

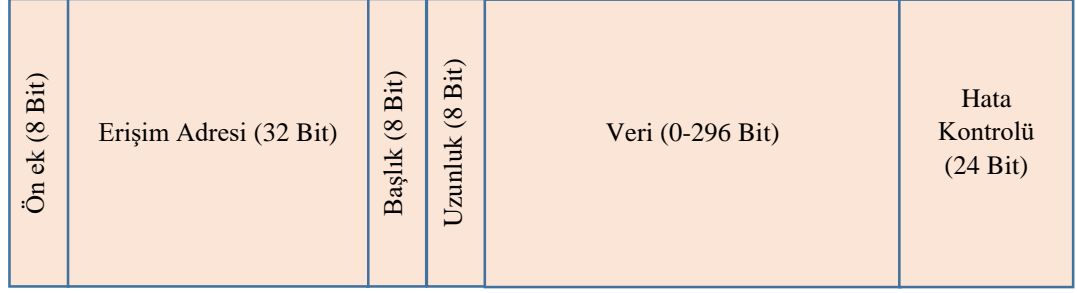
Duyuru durumu; bağlantı kurulmaksızın küçük veri iletiminin gerektiği durumlarda kullanılır. Gönderildi bilgisi olmaksızın yapılacak iletimlerde, küçük paket değişimlerine ve verinin yayınlanmasına imkân tanınır. Ayrıca bu durumda yayın yapan cihazla ilgili gerektiğinde bağlantı yapılabilir / yapılamaz olarak durum bilgisi gönderebilme imkânı tanınır. Cihaz bu durumuna ancak bekleme durumundan geçiş yapabilir ve bu durumdaki cihaza duyuru (advertiser) ve gönderilen veriye de duyuru paketi (advertising packet) adı verilir. Aslında BLE teknolojisinde duyuru ve veri paketi olarak 2 paket çeşidi olmasına rağmen paket formatı tek çeşit olarak nitelendirilir. Duyuru paketleri tam bağlantı kurulmasını gerektirmeyen ve yayın yöntemiyle haberleşmenin yeterli olduğu uygulamalarda, birden fazla alıcıya aynı anda veri gönderilmesini gerektiren uygulamalarda ve bağlantı başlatabilmek için bağımlı cihazların keşfi için kullanılmaktadır.

Her bir duyuru paketinde temel başlık bilgisiyle birlikte 31 byte büyüklüğünde veri taşınabilir. 20 ms ile 10,24 sn arasında değişen aralıklarda duyuru gönderilebilmekle birlikte, doğal olarak aralık uzadıkça yayınlanma sıklığı azalacağından gönderici tarafından harcanan güç azalmaktadır (Liu, Chen, Ma, & Xu, 2013). Ancak aralığın kısa tutulması durumunda tüketilecek gücü artırmakla birlikte, duyuru verisinin tarayıcı tarafından alınma ihtimalini yükseltir. Duyuru için sadece 37, 38 ve 39. kanallar olmak üzere en fazla 3 adet kanal kullanıldığından, herhangi bir eş zamanlama işlemi yapılmaması durumunda sadece rastgele örtüşme anında başarılı bir şekilde alım gerçekleşecektir. Bu durum Şekil 3.5’de gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Duyuru ve tarama.

Duyuru paketleri cihazları keşfetmek, uçtan uca bağlantı öncesi duyuru ve veri yayınlamak amaçlı kullanılmaktadır. Veri paketleri ise iki cihaz arasında başlatılmış bir bağlantı sonrası veri değişimini içermektedir. BLE'de kullanılan duyuru ya da veri paketlerinin genel yapıları benzemekle birlikte, en ayırt edici farklılığı gönderildiği kanal bilgisidir. Bir BLE paketinin genel yapısı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. BLE paket yapısı.

Ön ek; alıcının frekans zamanlama ve kazanç kontrolünün ayarlanmasında kullanılmakta olup paketin ilk 8 bitinde yer alır. Erişim adresi ise, ortamdaki BLE cihazlarının aynı kanalı kullanma durumuna karşılık, verilerin doğru sırayla doğru yerde kullanılmasını sağlayan ve ayırt edici nitelik kazandıran önemli kısımlarından biridir. Başlık bölümünde, duyuru paketleri için genel veya gelişigüzel erişim adresine sahip olma durumu ve duyuru paket tip bilgisi yer alır. Yine başlık bölümünde veri paketleri için ise az güç tüketilmesi, iletişim ve veri yükünün gidiş yoluna ait veri bitleri barındırılır. Uzunluk (Length) bilgisi ise, bu alandan sonra gelen veri yükü alanına ait boyut bilgisini ifade eder. Buradaki 296 bit'lik alan 37 byte'a karşılık gelmekte ve BLE duyuru paketlerinde maksimum 31 byte veri taşıma kapasitesi düşünüldüğünde, 6 byte'lık fark ortaya çıkmaktadır. Bu fark, her duyuru paketinin veri yüküne eklenen 6 byte'lık duyuru adres bilgisini ifade etmektedir. Veri yükü (Data) alanı ise gerçekte iletilecek verilerin bulunduğu kısımdır. Paketin son 24 bitlik kısmı ise hata ayıklama işlemi ile ilgili veriler barındırır (Heydon, 2013).

Duyuru paket tipleri; bağlanılabilirlik (connectability), taranabilirlik (scannability) ve yönlendirilebilirlik (directability) olmak üzere 3 farklı özelliğine göre sınıflandırılır.

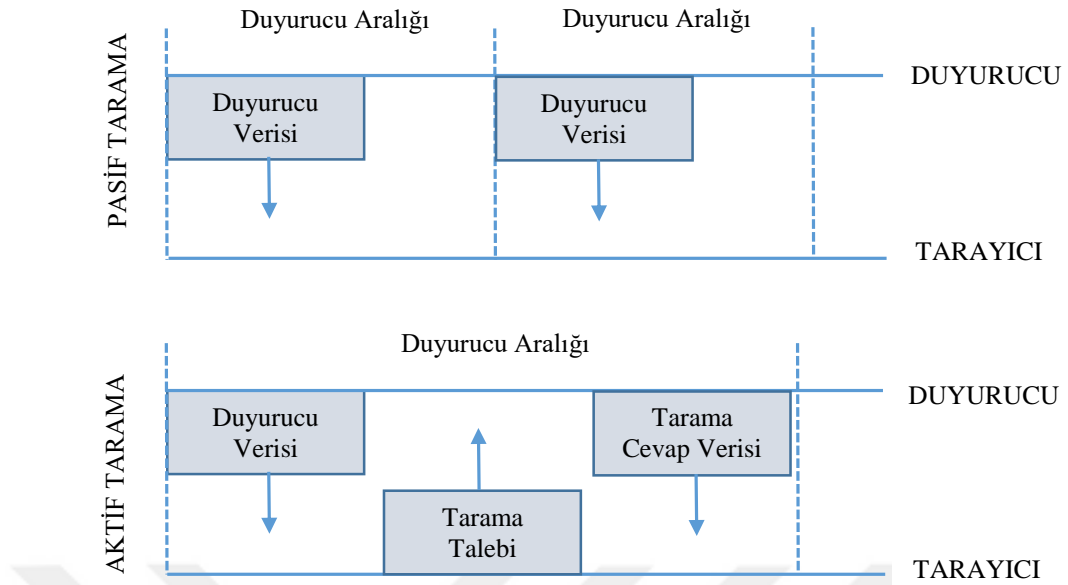
Bağlanılabilirlik sınıfında; tarayıcının, duyuru paketinin alımının ardından bağlantıyı başlatabilmesi bağlanılabilir (Connectable) olarak tanımlanır. Ayrıca duyuru paketinin sadece yayın veya bilgilendirme gönderme amacı taşıması gereken durumlar için tarayıcının bağlantıyı gerçekleştirememesi durumu için bağlanılamaz (non-connectable) seçeneği mevcuttur.

Taranabilirlik sınıfında; tarayıcının, duyuru paketinin alınımının ardından tarama isteği gönderebilmesi taranabilir (scannable) olarak tanımlanır. Ya da duyuru paketinin alınımının ardından tarama isteği gönderememesi durumu için taranamaz (non-scannable) seçeneği mevcuttur.

Yönlendirilebilirlik sınıfında; duyuru paketinin içerisinde duyurucu ve hedef tarafın Bluetooth adreslerinin bulunması ve başka kullanıcı verisine müsaade edilmemesi yönlendirilmiş (Directed) olarak tanımlanır. Bu sebeple tüm yönlendirilmiş paketler bağlanılabildir. Ayrıca duyuru paketinde herhangi bir tarayıcının hedeflenmediği durumlar için yönlendirilmemiş (undirected) seçeneği mevcuttur.

Tarama durumu, yine bağlantısız bir şekilde duyuru yapan cihazları tarama görevinin yerine getirildiği durumdur. Tarama durumundayken bir duyuru paketi alındığında tarama yapan cihaz duyuru yapan cihaza bağlantı isteği göndererek bağlantı başlatılabilmektedir. Tarama durumundaki cihaz tarayıcı (scanner) olarak adlandırılır ve bu duruma ancak bekleme durumundan geçiş yapabilir.

BLE çekirdek özelliklerinde Aktif Tarama (Active Scanning) ve Pasif Tarama (Passive Scanning) olmak üzere 2 temel tarama tipi tanımlanmıştır. Tarama aralığı (scan interval) ve tarama penceresi (scan window) parametreleriyle, potansiyel duyuru paketlerinin ne sıklıkta ve ne süre boyunca tarayıcı cihaz tarafından dinleneceği ile ilgili tanımlar yapılır. Aktif taramada, tarayıcı tarafından duyuru paketleri alındığında tarama isteği (scan request) olarak adlandırılan bir paket gönderilir. Duyurucu da bu paketi alır almaz tarama cevabı (scan response) olarak adlandırılan cevap paketini gönderir. Bu yöntem ek duyuru paketi gereken uygulamalar için ya da 31 byte veri yükünün yetmediği uygulamalarda kapasiteyi iki katı olan 62 byte'a çıkararak alternatif bir çözüm sağlar. Pasif tarama ise tarayıcının duyuru yapan tarafla ilgili asla herhangi bir paketin tarayıcı tarafından alınıp alınmadığını bilmeksizin duyuru paketlerini basitçe dinlemesi durumudur. Her iki tarama Şekil 3.7'de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Pasif ve aktif tarama.

Duyuru paket tipleri 3 farklı özelliğine göre sınıflandırılabilir;

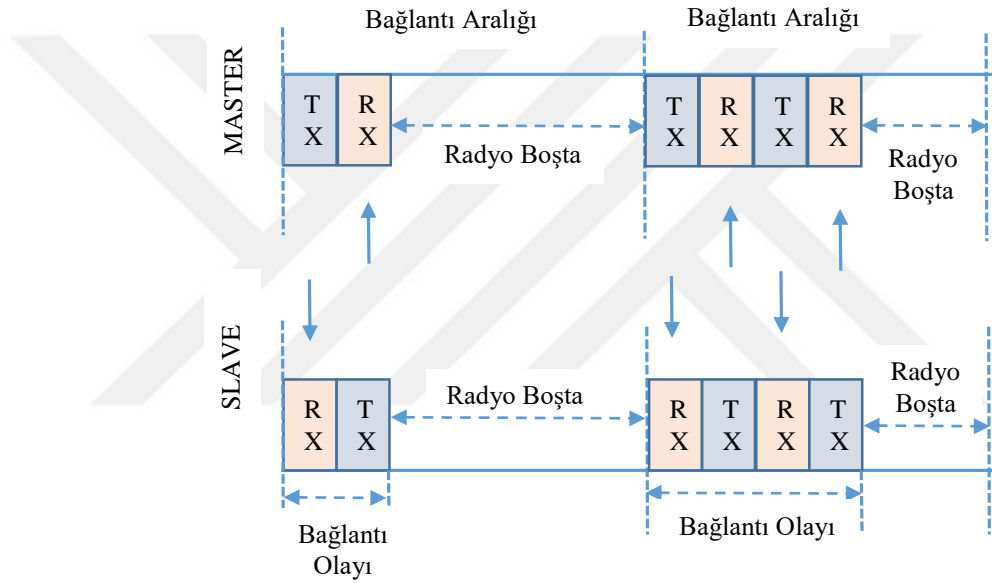
Başlatma durumu, veri bağlantısını başlatmak için duyuru yapan cihaza bağlantı kurma isteğinin iletildiği durumu ifade eder ve bu duruma sadece bekleme durumundan geçilebilir. Ancak öncelikle tarama anında bağlantı yapılabilir paket alınmalıdır. Ardından yanıt olarak bağlantı başlatma paketi (initiating packet) gönderilmelidir. Duyuru yapan cihaz tarafında alınacak bu paket ile bağlantı isteği kabul edilebilir ya da bağlantı reddedilebilir. Duyurucu cihazın bağlantı isteğini reddetmesi başlatma durumundaki cihaz tarafından geri dönüşte bilgi eksikliği olarak bilinecektir.

Bağlantı durumu ise bağlantı kurma isteğinin kabul edilmesinin ardından iki uç arasında kurulmuş olan bir bağlantı durumu gösterir. Bağlantı isteğini kabul eden duyuru yapan cihaz bağımlı (slave), bağlantıyı başlatan cihaz da ana (master) olarak adlandırılır (Bronzi, Frank, Castignani, & Engel, 2016). Bağlantı durumuna geçildiğinde ana ve bağımlı cihaz arasındaki zamanlama (timing) ve kanal bilgileri ile ilgili değişim de aynı zamanda aktarılmış olur. Bağlantı isteği paketinde, bağlantı süresince ana cihaz ve bağımlı cihaz tarafından takip edilen atlama (hop) sırasını belirleyen frekans atlama artışı bilgisi bulunur. Bu atlama artış bilgisini hem ana cihaz, hem de bağımlı cihaz bağlantının



yaşam süresi boyunca takip eder. Aslında bu bilgi başlatma paketinde yer alır. İlk bağlantı olayı, başlatıcının seçeceği veri kanalında oluşur.

Bir ana cihaz birden fazla bağımlı cihaza, aynı şekilde bir bağımlı cihaz da birden fazla ana cihaza bağlantı kurabilirler. Genellikle akıllı telefonlar ya da tabletler ana cihaz rolünde olurlar. Tek başına çalışan algılayıcılar ile daha küçük ve hafıza kısıtlı cihazlar ise bağımlı cihaz rolünü üstlenirler. Bağlantı, ana cihaz ve bağımlı cihaz arasındaki, önceden belirlenmiş aralıklarla veri değişim sırası olarak tanımlanabilir. Şekil 3.8’de gösterilen her veri değişiminden birine de bağlantı olayı (event) denir.



Şekil 3.8. Bağlantı anı olayları.

Ana cihaz tarafından bağlantının kurulma aşamasında 3 anahtar kavram iletilmektedir; Birinci anahtar kavram; iki ardışık bağlantı halinin başlangıçları arasındaki süreyi ifade eden bağlantı aralığı (Connection Interval) değeridir. Bu değer 7,5 ms ve 4 s arasında değişmektedir (Giovanelli, Milosevic, & Farella, 2015). 7,5 ms en fazla veri giriş çıkış hacmi ve en fazla güç tüketim değeri anlamına gelirken, 4 sn değeri ise en az veri giriş çıkış hacmi ve minimum güç tüketimini ifade eder. İkinci anahtar kavram; sistemin bağlantıyı kesmeden göz ardı edebileceği bağlantı olay sayısını ifade eden bağımlı gecikmesi (Slave Latency) değeridir. Üçüncü ve son anahtar kavram ise; Bağlantının

kesilmiş olarak değerlendirileceği iki geçerli paket arasındaki azami süreyi ifade eden bağlantı denetleme süre aşımı (Connection Supervision Timeout) değeridir.

Bağlantı katmanının diğer önemli bir özelliği ise güvenilir veri taşıyıcısı olarak hareket etmesidir. 27 byte veri yüküne sahip ana cihaz ve bağımlı cihaz arasındaki paketler protokoller için içine girdiğinde 20 byte'a sınırlanır. Bu paketlerin alımları 24 bitlik CRC'ye karşı kontrol edilir. İletim hatalarında, yeniden iletim istekleri için üst sınır yoktur ve alıcı tarafından onaylanıncaya kadar tekrar tekrar talep edilebilir.

### **3.3.1.3. Sunucu Kontrolcü Arabirimi**

Kontrolcü bloğun en üst katmanı olan Sunucu Kontrolcü Arabirimi (Host Controller Interface), sunucu ile kontrolcü blokları arasındaki iletişimi seri arabirim üzerinden gerçekleştiren standart bir protokoldür. Wi-Fi ve Ethernet teknolojilerinde kullanılan düşük seviyeli katmanların ayrı bir tümleşik devrede çalıştırıldıkları gibi, burada da kontrolcü UART veya USB üzerinden bağlanıp ayrı bir yonga üzerinde çalıştırılır. Kontrolcü ile sunucunun bir biri ile veri paket formatı ve akış kontrol irtibatının sağlanması için BLE özelliklerinde HCI için komut seti tanımlanmıştır. Özellikler ile UART, USB ve SDIO gibi özel fiziksel aktarımlar için HCI protokolleri tanımlanır.

Yarı iletken teknolojisindeki maliyetlerin düşmesi ile birlikte kontrolcü, sunucu ve uygulamayı tek bir paketin içinde barındıran sistemler daha fazla gün yüzüne çıkmaya başlamış ve çıkmaya da devam edecektir.

### **3.3.2. BLE Mimarisi - Sunucu Bloğu**

Sunucu (Host) bloğu BLE mimarisinin ortasında yer almaktadır. Bu blokta yer alan 5 katman sırasıyla açıklanacaktır.

#### **3.3.2.1. Mantıksal Bağlantı Kontrolü ve Uyarlama Protokolü**

Mantıksal Bağlantı Kontrolü ve Uyarlama Protokolü (Logical Link Control and Adaptation Protocol – L2CAP) sunucu bloğun en alt katmanı olup, verinin üst katmanlara doğru sondan sona mantıksal iletiminin sağlanması için kapsülleme (capsulation) servislerini sağlar. Basitçe ifadeyle TCP'ye benzetmek mümkündür. Üst katmanlardan

gelen geniş BLE paketlerini alarak gönderim tarafındaki maksimum 27 baytlık parçalara böler. Benzer şekilde alım tarafında da parçalanmış paketleri alarak üst katmanlardaki uygun öğeye birleştirir. L2CAP; Öznitelik Protokolü (Attribute Protocol - ATT) ve Güvenlik Yöneticisi Protokolü (Security Manager Protocol - SMP) olmak üzere iki ana protokolden sorumludur.

### 3.3.2.2. Öznitelik Protokolü

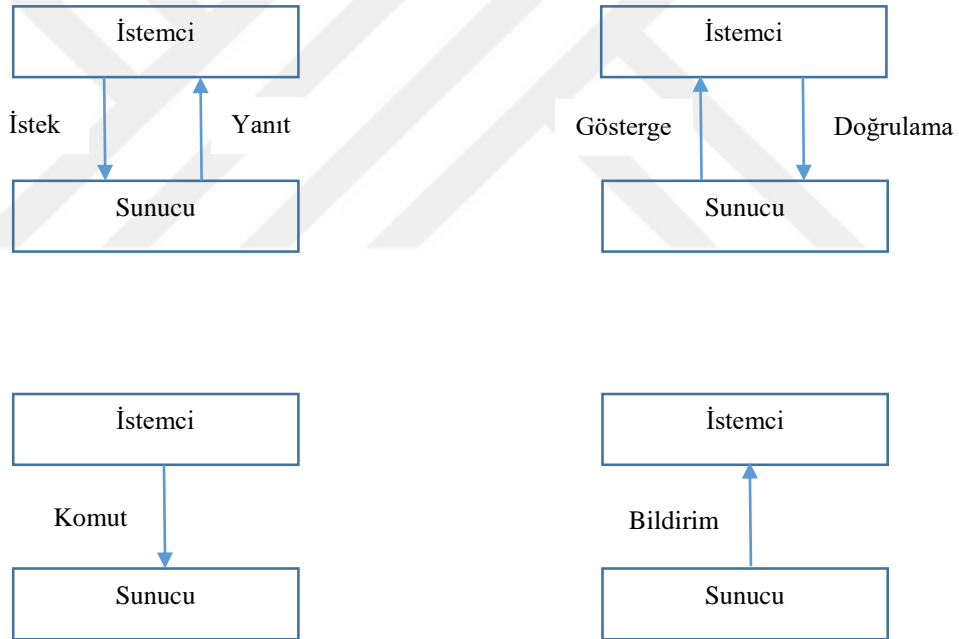
İki BLE cihaz arasında bir bağlantı gerçekleştiğinde, veri değişimi için kullanılan protokol Öznitelik Protokolü (Attribute Protocol - ATT) olarak tanımlanır. İstemcinin sunucudan bilgi talep etmesi ve sunucunun da bu bilgiyi göndermesi şeklinde çalışır. ATT protokolü bu veri alışverişinin sırayla gerçekleştirilmesinden sorumludur. Cihazın istemci ya da sunucu olmasından bağımsız bir şekilde istemci tarafından yapılan istek ve veri gönderimi sürüyorsa, ya da verinin istemciye iletildiğine dair bir bilgi yoksa alındı bilgisi gelene kadar yeni bir istek yapılmaz. Bağlantı katmanındaki ana ve bağımlı cihaz rollerinden bağımsız olarak istemci (client) ve sunucu (server) olarak 2 temel ATT rol tanımı mevcuttur ve bu rollerden en az biri seçilmelidir. Bağlantı katmanına göre ana olan cihaz ATT sunucu veya ATT istemci olabileceği gibi, bağlantı katmanına göre bağımlı olan cihaz aynı şekilde sunucu veya istemci ya da aynı anda her ikisi de olabilmektedir. Sunucu rolünde istemciden gelecek talepler dinlenip tutulmakla birlikte, istemci rolünde sunucu tarafına doğru yapılacak ya da sunucu tarafından yapılmış bilgi değişimleri için aktif bir şekilde eylem alınır. ATT'de veri değişimi komut (command), gösterme (indication), doğrulama (confirmation), bilgilendirme (notification), talep (request) ve cevap (response) olmak üzere 6 temel işlemde yapılır;

- **Komut** işlemi sunucuda belirli işlemlerin yerine getirilmesi amacıyla kullanılır. Veri kanalı üzerinden her hangi bir geribildirime ihtiyaç olmayan durumlarda kullanılır.
- Sunucu tarafından durum değişimleri ile ilgili bilginin gönderilmesi **gösterge** olarak anılır.
- İstemci tarafından da, sunucudan alınan gösterge bilgisine karşılık **doğrulama** olarak yanıt dönülür.

- Sunucunun doğrulama beklemeksizin gönderdiği durum değişikliği **bilgilendirme** olarak adlandırılır. Bu sebeple bilgilendirmeler komutlarla benzerlik gösterir.
- İstemci tarafından sunucuya **istek** mesajı gönderilerek talep başlatılır. Başlatılan herhangi bir istek yerine getirilmeden ikinci bir talep başlatılmaz.
- Sunucu tarafından alınan talep, **yanıt** yöntemiyle yerine getirilir.

Söz konusu ATT işlemleri ile ilgili diyagram Şekil 3.9’da gösterilmiştir.

ATT, sunucu üzerindeki özniteliklerin keşfi, okunması ve yazılması için kullanılmaktadır. Bir öznitelik, sunucunun o anki durumu ile ilgili bilgiyi barındıran tekil bir alandır. Aynı zamanda sunucu tarafından ölçülen sıcaklık, anlık iletim gücü gibi değerler de tutulabilir.



Şekil 3.9. ATT işlemleri.

### 3.3.2.3. Güvenlik Yöneticisi Protokolü

Güvenlik Yöneticisi Protokolü (Security Manager Protocol - SMP), bir BLE cihazından güvenli veri bağlantısı sağlamak için güvenlik anahtarları üretip değiş tokuş edebilmesi amacıyla tasarlanmış bir dizi güvenlik algoritması ve protokoldür. Bu sayede

eşlerin şifrelenmiş bir bağlantı üzerinden diğer cihazla güvenerek iletişim kurabilmesine imkân tanınmış olur. Böylece gerekirse Bluetooth adresi gizlenebilir ya da art niyetli kişilerce bir cihazın izlenebilmesinin önüne geçilebilir. İki cihaz arasındaki bağlantının şifrelenmesi anahtar değişim yaklaşımıyla gerçekleştirilmektedir. ATT katmanından tamamen bağımsızdır ancak, aynı üst ve alt katmanlara komşudur.

#### **3.3.2.4. Jenerik Öznitelik Profili (GATT)**

ATT katmanı bir BLE bağlantısında özniteliklerin değişimini tanımlarken, Jenerik Öznitelik Profili (Generic Attribute Profile - GATT) özniteliklerin organizasyonu ile ilgilidir. Verilerin uygulamalar arasında nasıl düzenlendiğini ve paylaşıldığını tanımlaması sebebiyle BLE veri aktarımının omurgası olarak düşünülebilir. Farklı satıcıların cihazları arasında birlikte çalışabilirliği sağlamak ve kesin kullanım durumları kapsamak için referans yapı sağlar. Tüm standart BLE profillerinin GATT'a dayanması ve doğru işlemesi için buna uymak zorunda olması, GATT profilinin BLE için önemli bir bölümünü teşkil ettiğini göstermektedir.

GATT cihazlar arasında veri aktarımı için taşıma protokolü olarak öznitelik protokolünü kullanır. GATT tabanlı profiller olarak bilinen çeşitli uygulama profilleri tarafından kullanılacak genel veri nesnelere tanımlar. ATT'de var olan aynı istemci ve sunucu mimarisini korur. Bu taşınan veri servis (service) olarak adlandırılan bölümlerde, karakteristik (characteristic) olarak adlandırılan kavramsal veri parçalarıyla hiyerarşik olarak organize edilir. Ancak veriler bir veya daha fazla karakteristik alanından oluşan servislerde saklanabilir. Her karakteristik, meta verilerle birlikte bir parça kullanıcı verisinin birleşmesi olarak düşünülebilir.

GATT'da diğer protokollerde olduğu gibi iletişimde olan cihazlar için istemci (client) ve sunucu (server) olarak bir rol seçimi yapılmalıdır. İstemci ATT istemciye karşılık gelmekte olup, sunucuya talep gönderip cevap alır. İlk başta sunucu özellikleriyle ilgili herhangi bir bilgiye sahip olmadığı için servis keşfi yaparak ilk talebi gönderir. Servis keşfinin tamamlanmasının ardından verilen yetkiler doğrultusunda okuma yazma işlemleri gerçekleştirilir ya da sunucu tarafındaki güncelleştirmeler alınır. Sunucu tarafındaki rol ise ATT sunucuya karşılık gelir. İstemciden istek alıp yanıt göndermekten, uygun olarak yapılandırıldığında güncelleme göndermekten, depolama yapmaktan ve istemci için verileri kullanılabilir hale getirmekten sorumludur.

Bir sunucu cihazda, öznitelik değerleri satırlar şeklinde büyük bir tabloda gösterilir. Her öznitelik 16 bit tutucu (handle) ve 16 bit – 128 bit arası UUID ile tanımlanan tip (type), izin (permission) ve değer (value) bilgisi ile ifade edilir. Genellikle daha yüksek seviyeli bir bağlamda niteliklere atıf yapılırken, özellik adres dizisi kullanılır.

Öznitelik tipi, bir öznitelikte anlamlı bir değer oluşturmak için kullanılan benzersiz bir tanımlayıcıdır. İzin ise, bir öznitelik ile ilişkilendirilir ve sunucuya özniteliklere nasıl erişilebileceğini gösterir. Bir öznitelik yetkisiz, okunabilir, yazılabilir, okunabilir ve yazılabilir olmak üzere 4 çeşit izne sahip olabilir. Öznitelik değeri herhangi bir veri türü içerebilen ve maksimum 512 byte ile sınırlı olan gerçek veriyi ifade eder.

GATT ayrıca belirli aygıtlar için servis tanımlamak için kullanılır. Servis, belirli bir amaç için faydalı öznitelikler içeren bir tutucu aralığıdır. Servis, birincil veya ikincil servis tipli bir servis öznitelik tanımıyla başlar. Servisler BLE profilleri için temel yapı taşlarıdır. Özniteliklerin düzenli kalmasının yanı sıra, GATT aynı zamanda bir dizi prosedürü de tanımlar. Prosedür, yüksek seviyeli bir ara yüz kullanarak belirli bir profil ile iletişim kurmanın bir yoludur. GATT, istemci tarafından başlatılan, keşfedilen ve sunucu tarafından başlatılan şekilde 3 çeşit prosedür türü tanımlar.

İstemci tarafından başlatılan prosedürler ATT kullanarak sunucu tarafına ya da sunucu tarafından olmak üzere öznitelik okuma ve yazma yapmak amaçlı kullanılır. İstemci tarafından keşif prosedürleri sunucudaki servisleri bulmak için çağrılabilir. Sunucu başlatmalı prosedürler bir istemciye gösterme ve bildirimler göndermek için kullanılır. GATT prosedürleri, GATT üzerine kurulan profiller için daha karmaşık eylemler oluşturmak üzere birleştirilebilir.

### **3.3.2.5. Genel Erişim Profili (GAP)**

Genel Erişim Profili; cihazların gerçek protokol yığını dışında, birbirleriyle daha düşük düzeyde nasıl etkileşime gireceğini belirler. BLE'nin en üst katmanı olarak düşünülebilir ve farklı üreticilerin sunduğu cihazlar arasında veri alışverişinin, işbirliğinin ve kontrol işlemlerinin gerçekleştirme şeklini belirler. Aynı zamanda da cihaz keşiflerinin yapılması, bağlantının kurulması ve güvenliğin sağlanmasından sorumludur. GAP, BLE cihazlarının birbirleriyle etkileşim sağlamasına zemin hazırlayan önemli bir mihenk taşı olup yukarıda bahsedilen işlemlerin yapılabilmesi için altyapı sağlar. BLE'de roller,

kipler, prosedürler ve güvenlik ile ilgili yaklaşımlarla cihaz etkileşimleri tanımlanır. Bir cihazın BLE ağına katılması sırasında, GAP bu roller arasındaki etkileşimi 4 temel rol tanımına göre belirler. Bunlar Yayıncı (Broadcaster), Gözlemci (Observer), Merkezi (Central) ve Uçbirim (Peripheral) rolleridir.

Yayıncı rolü bağlantı katmanının duyurma rolünü kullanır ve veri iletiminin belirli aralıklar ile duyurma verisi olarak gönderimini sağlar. Gözlemci rolü ise bağlantı katmanının tarayıcı rolünü kullanır ve duyuru paketi ile gönderilen verileri almak için tekrarlı bir şekilde belirlenmiş frekansların taranması temeline dayanır.

Bu iki roldeki en dikkat edici hususlardan biri yayıncı rolüne sahip cihaz tarafından gönderilen verilerin gözlemci rolündeki cihaz tarafından alınıp alınmadığını gösteren bir mekanizma bulunmamasıdır. Dolayısıyla gözlemci cihaz tarafından da verinin alınıp alınmadığına dair bir bilgi iletilmesi söz konusu olmamaktadır. Yayın rolünü kullanmak, ancak iletilecek verinin boyutunun küçük olması ve belirlenmiş zamanlarda veya birden fazla uca gönderilmesinin gerektiği durumlarda kolay ve kullanışlıdır. Ayrıca yayın rolünün olağan bağlantı yöntemiyle karşılaştırıldığında, güvenliğin veya özel bir provizyonun olmaması önemli bir zafiyet oluşturur. Bu da herhangi bir gözlemci cihazdan yayın rolü ile gönderilen verilerin dinlenebileceği anlamına gelmekte olup, hassasiyet ya da gizlilik gerektiren veriler için uygun değildir.

Merkezi rol bağlantı katmanının ana rolünü kullanır ve her zaman bağlantının başlatılması görevini üstlenir. Uçbirim rolü ise bağlantı katmanının bağımlı rolüne karşılık gelir. GAP rolleri genelde sabittir, daha fazla işlemci gücüne sahip olan, bağlantıyı başlatması gereken cihaz genelde merkezi olarak belirlenirken, tersi olarak daha az işlemci gücüne sahip olan ve daha az gayret sarf etmesi gereken cihaz uçbirim rolünde olur. Ancak GATT'da istemci / sunucu rolü, veri paketlerinin yönüne göre farklılık gösterebilir. Yani merkezi roldeki cihaz, duruma göre GATT istemcisi ya da sunucusu olabilirken, aynı şekilde uçbirim olarak GAP rolüne sahip cihaz da GATT istemcisi veya sunucusu olarak çalıştırılabilir.

Keşif kipi, ortamda bulunan diğer cihazlar tarafından uçbirim cihazların keşfedilme olma durumunu şekillendirir. Keşfedilme durumu belirlenirken cihazın batarya ve bağlantı performansını doğrudan etkileyebileceği dikkate alınarak belirlenir. Keşfedilemez kip, kısıtlı keşif kipi ve genel keşif kipi olmak üzere 3 adet kipte karşımıza çıkmaktadır. Keşfedilemez kipteki cihazlar hiçbir şekilde merkezi cihaz tarafından

bulunamaz. Kısıtlı keşif kipindeki cihaz belirli bir süre için merkezi cihaz tarafından görülebilir. Genel keşif kipi ise cihazın istenilen süre boyunca keşfedilebilir durumda olmasını ifade eder.

Merkezi cihazın uçbirim cihaza bağlantıyı başlatabilmesi için, uçbirim cihazın bağlanılabilir kipte (mode) olması gerekir. Uçbirim cihazlar farklı duyurma paketleri göndermek suretiyle bağlanılamayan kip, yönlendirilmiş bağlanılabilir kip ve yönlendirilmemiş bağlanılabilir kip olmak üzere 3 temel bağlantı kipine sahip olabilir. Bağlanılamayan kip, adından da anlaşılacağı gibi uçbirime herhangi bir şekilde bağlantı kurulmasının istenilmediği durumlar için geçerlidir. Bu kipte ya dışarıya duyuru verisi göndermezler, ya da ADV\_NONCONN\_IND ve ADV\_SCAN\_IND tipinde duyurma verileri göndererek merkezi cihazın uçbirim cihaza bağlanması mümkün olmaz. Yönlendirilmiş bağlanılabilir kipte ise, ilk etapta cihaz sık aralıklarla kullanıcı veri yükü barındırmayan ADV\_DIRECT\_IND şeklinde duyurma paketi gönderir. Bağlantı kurulduğunda hızlı bağlantı olarak adlandırılır. Son olarak yönlendirilmemiş bağlanılabilir kip ise cihazın kendini bağlantı kurulabilir duruma getirdiği standart kipin adıdır.

### **3.3.3. BLE Mimarisi - Uygulama Bloğu**

BLE uygulama bloğu; karakteristik, servis ve profil gibi kavramların barındırıldığı blok olarak düşünülebilir.

Karakteristikler; bağlantı sağlanmış bir cihazda oluşturulmuş okunabilen ve yazılabilen özellikli bilgi varlıklarının en alt kısımları olarak tanımlanabilir. Her karakteristik en az bir deklarasyondan ve bir değerden oluşmaktadır. İlave olarak karakteristiklerde zorunlu olmayan dizi tanımlayıcısı da yer alabilmektedir.

Deklarasyon karakteristiğin başlığı olup, erişim bilgilerini, karakteristik değerine referansı ve temsil ettiği veri türünü içerir. Tanımlayıcı, karakteristiğe kullanıcı metni veya sunum formatı gibi ekstra bilgi ilave edilmesi ve deklarasyona uymayan ilave ek erişim bilgilerinin verilmesi durumlarında da kullanılır. Karakteristik değeri aslında GATT içerisindeki öznitelik gibi temel olarak veri içeriği ile ilgili veri türüdür. Karakteristik değer öznitelikleri istemciler tarafından okunup bilgi alışverişi için yazabileceği gerçek kullanıcı verilerini içerir. Bir karakteristik değer özniteliğinin değeri hayal edilebilecek her türlü veriyi içerebilir. Bir karakteristik, gerçek veri gösterimi söz



konusu olduğunda bir dizi öznitelik olarak düşünülebilir. BLE uygulamaları yazılırken karşı cihaz verilerine erişim sağlayabilmenin en yaygın yöntemi, karakteristikleri ve servisleri listeleyebilecek bir GATT başvurusu sağlamaktır. Nesne yönelimli dillerle kolayca ilişkilendirilebilen bir soyutlamanın sağlanmasının bir yolu da bu şekilde verilere erişim ve veri yazmadır. Android Bluetooth uygulama kütüphanesinde bu yaklaşım seçilmiştir.

Servisler, belirli bir görevi yönetmek için oluşturulan birden çok karakteristik kümesidir. BLE'de birincil ve ikincil servisler şeklinde tanımlanmış iki tür servis çeşidi vardır. Bir sıcaklık veya nem bilgisi gibi karşı cihaz için yararlı olabilecek bir işlevi ortaya çıkarmaya yarayan servis çeşidi birincil servise örnek olarak gösterilebilir. İkincil servisin sadece başka bir servis tarafından yönlendirilmesi amaçlanır. Bu nedenle ikincil servisin içeriği, ona başvuran servisin bağlamı dışında veya ilgisiz olabilmektedir. İkincil servislerin kullanımı nadirdir. GATT'da bir servis, servis tanım özniteliği ile başlar ve bunu diğer servislerle ilgili tanımlamalar takip eder. Kavramsal olarak bir GATT servisi, modern nesneye dayalı bir dilde her hangi bir sınıf olarak düşünülebilir. Bir servis tanımı içerisinde kapsamlı tanım kullanarak başka servislere bir veya daha fazla başvuru eklemek mümkün olmaktadır. Kapsamlı servislerin kullanımında hem verilerin çoğaltılmasını önlemeye yardımcı olunur, hem de diğer servislere başvuru yöntemiyle hafızadan da tasarruf edilebilir.

Profiller ise, servislerin ve cihazların kullanım bağlamındaki etkileşimini tanımlar. Bir çok profil, raporlayıcı ve monitör gibi iki cihaz gerektirir. Raporlayıcı genelde bir veya daha fazla servis tanımlanarak monitör için veri temin eder. Raporlayıcı bu sebeple uçbirim, monitör de merkezi olarak davranır. Monitör sadece raporlayıcıdan gelecek bilgileri kullanıcıya gösterme işlemi yapacağından, herhangi bir servis tanımına ihtiyaç duymaz. GATT'da bazı istenilen servislerin erişimi için profiller tanımlanır. Örneğin bir nabız ölçer monitörünün, bir nabız ölçer profilini kontrol etmek istediğini düşünelim. Monitör tarafından nabız ölçer ve cihaz bilgi servisleri istenecektir. Eğer bu servisler varsa ve erişilebilir durumda ise, monitör algılayıcıyı nabız ölçer algılayıcı olarak kabul edecektir.

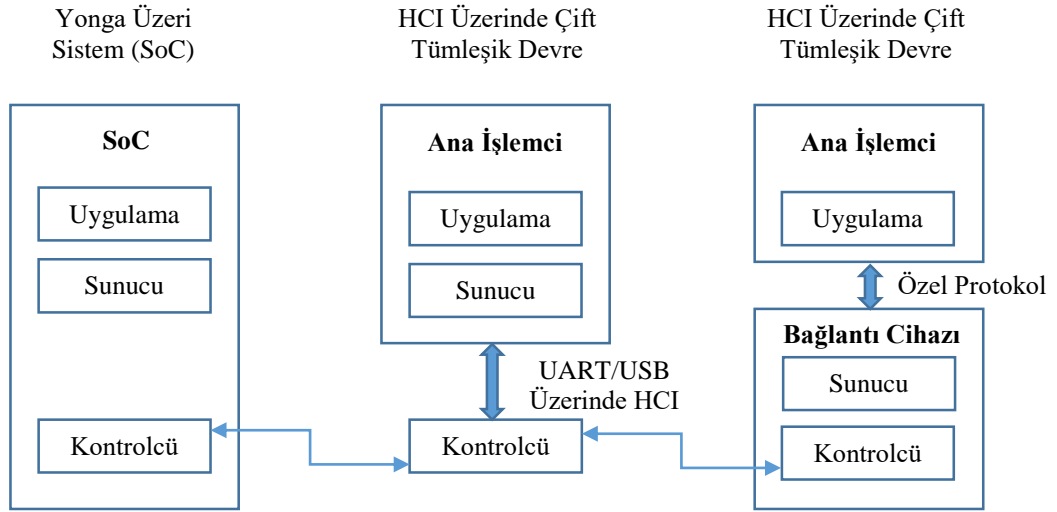
### 3.4. BLE Donanım Yapılandırmaları

BLE mimarisindeki tüm katmanlar tekil tümleşik devre (Integrated Circuit - IC) veya yonga olabileceği gibi her biri UART, USB, SPI gibi iletişim katmanlarından bağlanan bir birinden ayrı tümleşik devrelerden de oluşabilir. Piyasada ticari olarak her üç bloğun aynı yongada yer aldığı Yonga Üzerinde Sistem (SoC) mimarili yapı en çok kullanılan yapıdır. Tekil cihaz yapılandırması olarak da anılan bu seçenek; kontrolcünün, sunucunun, profillerin ve uygulamanın tek bir yonga üzerinde birleştirildiği en basit ve yaygın yapılandırma tipidir. Aynı zamanda düşük maliyet ve düşük güç tüketim özellikleriyle de öne çıkmaktadır.

Birinci tümleşik devrede uygulama ve sunucu bloğun çalıştırıldığı ve HCI kullanarak üzerinde kontrolcü blok çalışan diğer tümleşik devre ile haberleşmenin sağlandığı yapılandırmanın adı ise HCI Üzerinde Çift Tümleşik Devre (Dual IC Over HCI) olarak karşımıza çıkar. Akıllı telefonlar ve tabletler, doğası gereği güçlü işlemciye sahip oldukları için bu yapılandırma çeşidinin kullanıldığı görülmektedir.

Bağlantı Devresi ile Çift Tümleşik Devre (Dual IC Connectivity Device) ise birinci tümleşik devrede uygulamanın çalıştırıldığı, ikinci tümleşik devrede ise sunucu ve kontrolcü bloğu çalıştığı yapıdır. Ancak bu yapıda iki tümleşik devre arasındaki haberleşme uygun bir protokol ile sağlanır. Bu yapılandırma tipi, BLE bağlantısının tüm tasarımı elden geçirmeden eklenmesi gereken özel bir mikro denetleyiciye sahip olduğu kullanım durumlarında tercih edilir.

Bahsi geçen 3 adet yapılandırma çeşidinin şekilleri ve bir birleri arasındaki bağlantı ilişkisi Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. BLE donanım yapılandırması.

### 3.5. BLE Ne Değildir?

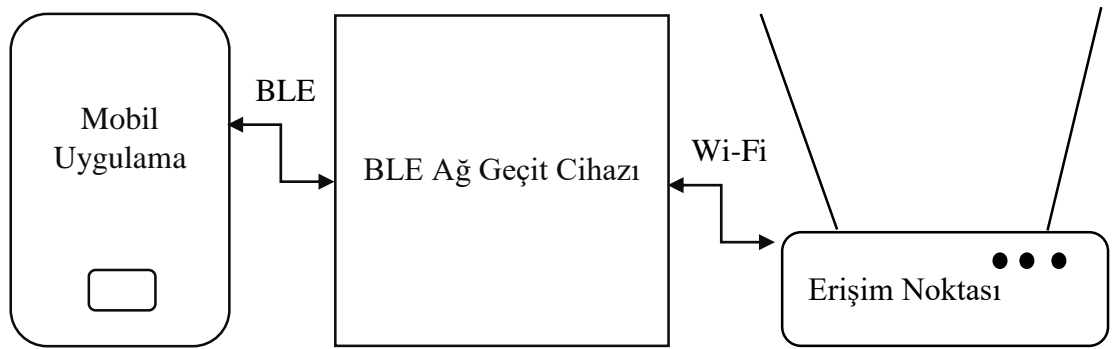
Bluetooth SIG grubu tarafından yapılmak istenen tasarımda, aslında kablosuz teknoloji alanında hali hazırda baskın olan Wi-Fi teknolojisini bir tarafa itme ya da rekabet etme düşüncesi olmadı. Veya yakın haberleşmede kullanılan NFC ya da RFID teknolojileri ile bir rekabet de söz konusu değildi. Neticede mühendislikte her tasarımında olduğu gibi kullanılacak teknoloji tarafından sunulan olanaklar değerlendirilmeli ve en uygun seçim yapılmalıdır. BLE teknolojisi de; maliyeti, piyasada bulunabilirliği, düşük enerji gereksinimi veya duyuru paketleri ile haberleşme avantajı ile yola çıkmıştır. Her ne kadar uçtan uca bağlantılar için sahip olduğu düşük veri iletim kapasitesi dezavantaj sağlasa da, tüm artıları ve eksileri göz önünde bulundurularak hedeflenen en uygun tasarım için iyi bir alternatif olarak seçenekler içinde yerini almıştır. Ayrıca veri modelinin kolay ve anlaşılır olması, çekirdek erişimi için ek ücret istememesi ve zorlayıcı lisanslama bedeli gerektirmemesi BLE'nin başarısında etken olmuştur (Townsend vd., 2014).

## BÖLÜM 4

### 4. BLE TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK GELİŞTİRİLEN YENİ MOBİL İLETİŞİM AĞI

#### 4.1. Ana Tasarım ve Sistem Bileşenleri

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında kurgulanan sistemin tasarımından ve geliştirilen uygulamadan bahsedilecektir. Öncelikle tez çalışmasının genel amaçlarından biri olan akıllı telefonlardaki şarj sonrası bataryanın daha uzun süre dayanması için geliştirilen iletişim sisteminin mimarisi ele alınacaktır. Şekil 4.1’de gösterildiği gibi tasarım temel olarak Mobil Uygulama ve BLE Ağ Geçit Cihazından oluşmaktadır. Ayrıca ortamdaki Wi-Fi üzerinden bağlanılabilecek herhangi bir erişim noktası, sistemin çalışması için bulunması gereken harici ekipmandır.



Şekil 4.1. Ana tasarım modeli.

Sistemin çalışma prensibi basit bir anlatımla; BLE Ağ Geçit Cihazının bir taraftan Wi-Fi aracılığı ile ortamdaki erişim noktasına (Access Point) bağlanıp internet tarafındaki yapması gereken işlemleri ve kontrolleri yapması, ardından akıllı mobil telefonlar için geliştirilen mobil uygulama ile BLE vasıtasıyla haberleşmesi olarak ifade edilebilir. Aynı şekilde tasarımın ikinci ana bileşeni olan Mobil Uygulama ise, BLE Ağ Geçit Cihazı tarafından gönderilen verileri yine BLE vasıtasıyla alacak ve kullanıcıyı bilgilendirme işlemini yerine getirecektir. Bahsi geçen ikinci bileşen bundan sonra “Mobil Uygulama” olarak anılacaktır.

Burada gerçekleştirilen tasarımın ana hedefine ulaşabilmesi ve internet tarafındaki kontrollerin sıkıntısız olarak yerine getirilmesi için kontrolü yapılacak olan ortak uygulama “e-posta hesap kontrolü” olarak belirlenmiştir.

İlk olarak BLE Ağ Geçit Cihazının donanımsal mimarisinden bahsedilecektir;

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi bir BLE Ağ Geçit cihazında, bir tarafında Wi-Fi üzerinden erişim sağlayabilen ve diğer tarafında ise BLE desteği sunabilen bir donanıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple bahsi geçen özellikleri tek bir yonga üzerinde barındıran ESP32 adlı mikro kontrolcünün kullanılmasına karar verilmiştir. ESP32 yongası, Espressif Systems firması tarafından üretilmiş ve 2016 yılı Eylül ayında piyasaya sürülmüş, içerisinde Wi-Fi ve BLE özelliklerini barındıran bir mikro kontrolcüdür (Singh & Kapoor, 2017).

ESP32 yongası yine aynı şirket tarafından piyasaya sürülmüş ve oldukça popüler olan Esp8266’ya göre başta BLE desteği olmak üzere oldukça farklılık göstermektedir (Skraba vd., 2019). ESP32’de temelde 48 pin bulunmakta olup, bu yonganın kullanıldığı farklı geliştirme kitlerinde farklı pin sayılarıyla üretilmiş donanımlara ve üreticilere rastlamak mümkündür. Bunlardan bazıları ESP32 Thing DB ile SparkFun, TTGO ile WeMoS, Huzzah32 ile Adafruit, ESP32 FireBeeatle ile DF Robot olarak sayılabilir (Babiuch, Foltynek, & Smutny, 2019). Bu çalışmada Şekil 4.2’de gösterilen ESP32 DEVKIT-V1 model geliştirme kiti kullanılmıştır.



Şekil 4.2. ESP32 mikro kontrolcü.

Nesnelerin interneti uygulamalarındaki artış, farklı kablosuz ağ özelliklerine sahip mikro kontrolcülere olan rağbeti her geçen gün artırmaktadır. Hele ki üzerinde Wi-Fi ve Bluetooth gibi iki farklı kablosuz ağ teknolojisini barındırması, ESP32'nin önemini ve tercih edilirliliğini daha da artırmıştır (Sarjerao & Prakasarao, 2018). Ayrıca güçlü bir işlemciye sahip olması, düşük güç tüketimi sunması ve uygun maliyeti de sağladığı avantajlar arasındadır. Cihazın boyutu ve ağırlığı da nesnelerin interneti uygulamaları için göz önünde bulundurulması gereken olumlu özellikler arasında sayılabilir.

ESP32, Harvard mimarisi Xtensa LX6 olarak 2 adet işlemcili ve çift çekirdekli bir yapıya sahip olup, tüm gömülü bellek, harici bellek ve çevre birimleri veri yolunda ve/veya bu CPU'ların komut seti yolunda bulunmaktadır (Atmajaya, Kurniati, Astuti, Salim, & Haris, 2018). Mikro kontrolcünün protokol ve uygulama için iki çekirdeği vardır.

ESP32 içinde yer alan 320 MHz lik PLL kristali ya da harici kristal ile kullanılabilmeyle birlikte, her iki CPU çekirdeği için ana (master) saat kaynağını (CPU\_CLK) üretebilmek için 2-40 MHz değerlerinde saat kaynağı olarak salınımlı devre kullanma imkânı mevcuttur. Bu saat yüksek performans gereksinimleri için 160 MHz olabileceği gibi, düşük enerji tüketimleri için daha düşük değerlere düşürülebilir. Çevre birimleri için olan APB\_CLK gibi diğer tüm saatler ana saatten türetilir (A. Maier, Sharp, & Vagapov, 2017). Ek olarak içsel 150 kHz frekansında RTC\_CLK gibi birkaç adet düşük güçlü saat ve derin uyku kipi için seçenek bulunmaktadır. Bunlardan başka 4 adet 64-bit genel amaçlı zamanlayıcı mevcuttur. Her zamanlayıcı genellikle 80 MHz'lik APB

saatini kullanmaktadır. Bu zamanlayıcılar aşağı ve yukarı yönde sayabilmekte ve ilgili olayların tetiklemesiyle dondurulabilmektedir. Her biri 4 adet zamanlayıcı tarafından sürülen 8 yüksek hızlı ve 8 adet düşük hızlı PWM kanalı bulunmaktadır (Systems, 2019a).

ESP32 mikro kontrolcünün yapısında TCP/IP, 802.11 b/g/n/e/i WLAN MAC ve Wi-Fi Direct özelliklerini destekleyen tasarım yer almaktadır. Mikro kontrolcü Temel Servis Seti (BSS) istasyonunu (STA) ve yazılım temelli erişim noktası (SoftAP) işlemlerini destekler. Ayrıca en son Wi-Fi P2P protokolü uyumlu uçtan uca P2P grup işlemleri yapabilme desteği bulunmaktadır. Böylece internete bağlanabilen bir istasyon ya da kullanıcıya hizmet verebilen bir erişim noktası arabirimi olarak çalıştırmak mümkündür.

Mikro kontrolcü hem Klasik Bluetooth (BR/EDR) desteği hem de 4.2 versiyonuna sahip BLE desteği sunmaktadır. Çipe ait radyonun çalıştığı aktif kip (active mode), Wi-Fi ve Bluetooth arabirimlerinin kapalı olduğu ancak işlemcinin tümüyle aktif olduğu modem uyku kipi (modem-sleep mode), her iki işlemcinin düşük performansta çalıştırıldığı derin uyku kipi (deep-sleep mode) ve tek işlemcinin düşük performansta çalıştırıldığı hafif uyku kipi (light-sleep mode) olmak üzere değişik güç kiplerini desteklemektedir. Genel amaçlı giriş çıkış arabirimleri arasında toplamda 18 kanal ile 2 adet 12 bit Analog Dijital Dönüştürücü (ADC) barındırmaktadır. Bunlar farklı giriş değerleri için 9 bit, 10 bit ve 12 bit çözünürlüğe sahip 0 dB, -6 dB veya -11 dB zayıflamalı değerler için yapılandırılabilir. Ayrıca 2 adet 8 bit Dijital Analog Dönüştürücü (DAC) de bulunmaktadır. Genel amaçlı giriş çıkış arabirimlerinin 10 adedi ile kapasitif değişkenler algılanabilmekte olup, dokunmatik algılayıcılarda kullanılması mümkündür.

Ayrıca, bir Ethernet MAC arabirimi, bir SD / SDIO / MMC denetleyicisi, 5 Mbps'ye kadar üç adet UART arabirimi, standart ve hızlı modlu iki I2C veri yolu arabirimi, 10 kHz'den 10 MHz'e kadar iki adet I2C arabirimi, 8 kanallı bir adet kızılötesi uzaktan kumanda ve 8 kanallı bir darbe sayacı bulunmaktadır. PWM kontrolcüsü, sayısal motorları sürmek veya dijital dalga formları üretmek için kullanılabilir. Üç adet SPI, bağımlı veya ana kipte 80 MHz'e kadar bir saat ile kullanılabilir.

ESP32'de kullanılan gerçek zamanlı işletim sistemi FreeRTOS'tur. Gömülü sistemler için tasarlanmış olup üst düzey uygulamalara temel fonksiyonlar sağlar ve açık kaynak kodlu bir yapıya sahiptir. Çekirdek fonksiyonları arasında hafıza yönetimi, görev

yönetimi ve API eş zamanlaması yer alır. ESP32'yi programlamanın olağan yolu, GitHub deposunda bulunan geliştirme çerçevesi olan ESP-IDF kullanmaktır (Systems, 2019b). ESP-IDF esasında Linux için geliştirilmiştir ve bu yüzden bash dosyalarını çalıştırmak için bir Linux terminali gerekmektedir. Ancak, Windows'ta da Linux terminali görevi gören MSYS2 kullanarak geliştirme yapmak mümkündür. Ayrıca, bir ESP32 projesini başarılı bir şekilde başlatabilmek için ESP-IDF şablonu kullanmak gereklidir. Başarılı bir derleme için ancak bu şablonun kullanımıyla ESP-IDF'e dâhil olmayan tüm dosyalar kolayca eklenebilir.

C programlama dili ESP32'yi programlamak için kullanılan ortak dildir ve çoğu API Kütüphanesi bu dil üzerinden sağlanır. Ancak, C++ ile de kolayca programlama yapmak mümkündür. C ve C++ kullanılabilmesinin yanı sıra, Java ve Python gibi dillerde de sunulan programlanabilme desteği sayesinde IoT uygulamaları için uygun bir ürün haline gelmiştir (Carducci, Monti, Schraven, Schumacher, & Mueller, 2019). Yapılan araştırma neticesinde Arduino IDE, LUA, JavaScript ile programlama gibi birçok yönteme rastlamak mümkündür. Bu çalışma kapsamında Arduino IDE ile programlama yöntemi tercih edilmiştir. Arduino IDE, kullanıcının farklı tür programlar hazırlamasını ve bunları Arduino mikro denetleyicisine yüklemesini sağlayan programlama ortamı olup Windows, MAC OS ve Linux işletim sistemlerinde çalışabilmektedir (Allafi & Iqbal, 2017).

Mobil Uygulama tarafı için yapılan bazı tercihlerden bahsedilecektir; Yazılacak mobil uygulama için öncelikle Android işletim sistemi temelli bir cihaz satın alınmıştır. Cihaz seçimi esnasında, performans testlerini kolaylaştırması için pilinin sökülebilir/değiştirilebilir özellikte olmasına ve ESP32 modülünde kullanılan BLE 4.2 ile aynı sürüme sahip olmasına dikkat edilmiştir. Bu özellikleri sağlayan General Mobile marka GM9 GO model cihazın satın alınmasına ve bu çalışmada kullanılmasına karar verilmiştir.

Yazılım geliştirme ortamı olarak Android Studio yazılımı tercih edilmiştir (Studio, 2019). Daha önceleri her ne kadar Eclipse ve Netbeans gibi geliştirme ortamlarında Android yazılımı geliştirmek mümkün olsa da, git gide bu ortamlara sunulan desteğin kaldırıldığı ve saf Android kullanımına yönelim olduğu görülmektedir.



Ayrıca tasarımın başlangıcında, geliştirilecek uygulamanın aynı anda birden fazla mobil cihaza hizmet verebilecek biçimde çalışabilmesine karar verilmiştir. Dolayısıyla kurgulanan sistem altyapısının, BLE Ağ Geçit Cihazı ve Mobil uygulama için kendi başlarına ya da birbirleri ile sağlıklı çalışabilmelerini sağlayacak bir tasarım gerçekleştirilmiştir.

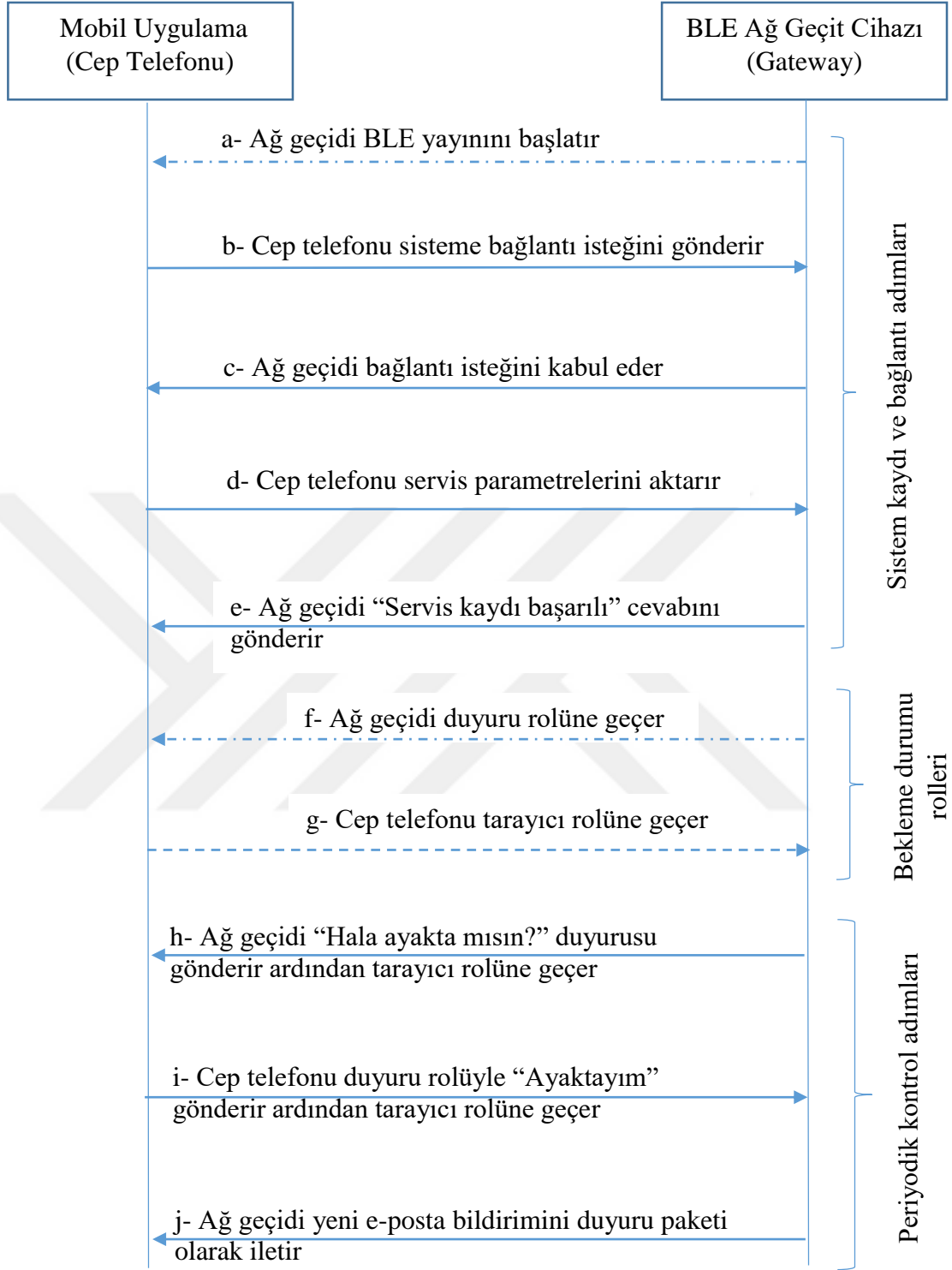
## **4.2. Geliştirilen Sistem**

Yeni mobil iletişim ağı sisteminin geliştirilmesi esnasında, Düşük Enerjili Bluetooth'un sunduğu haberleşme imkânları göz önüne alınarak iletişim biçimi belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, BLE Ağ Geçit Cihazı ve Mobil Uygulamanın tarayıcı, duyuru, GATT temelli ya da karma rolleri kullanılarak haberleşebilmelerini sağlayan 3 adet iletişim metodu belirlenmiştir. İletişim Metodu-1, İletişim Metodu-2 ve İletişim Metodu-3 olarak isimlendirilen bu metotlar temel alınarak geliştirilen sistemin çalışma biçiminin açıklanmasına ve verimlilik çalışmasının yapılmasına karar verilmiştir.

Her iletişim metodu temel olarak 3 temel gruba ayrılmıştır. Bunlar, sistem kaydı ve bağlantı adımları, bekleme durumu rolleri ve periyodik kontrol adımları olarak isimlendirilmiştir.

### **4.2.1. İletişim Metodu-1**

İletişim Metodu-1; Mobil Uygulamanın genel olarak tarayıcı rolünde, BLE Ağ Geçit Cihazının da duyuru rolünde çalıştığı metottur. İletişim Metodu-1'e ait temel protokol akışı Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. İletişim Metodu-1'e ait protokol akışı.

İlk olarak sistem kaydı ve bağlantı adımları grubundan bahsedilecektir. Bu grubun içerisindeki haberleşme 5 adım altında anlatılacaktır. Bunlar, ağ geçit cihazının BLE yayını başlatmasıyla başlayan, cep telefonunun ağ geçit cihazına bağlanarak kayıt olmasıyla devam eden ve ağ geçit cihazının servis kaydını onaylamasıyla son bulan adımlardır.

**a- Ağ geçidi BLE yayını başlatır** kısmında;

BLE Ağ Geçit Cihazının ilk çalıştırılma aşamasında, kullanıcı bilgileri, şifre bilgileri, Wi-Fi bilgileri ve BLE bilgilendirici adı bilgisi kalıcı hafızasından okunarak ilgili parametrelere aktarılır. Tabii ki, bu bilgilerin önceden kalıcı hafızasına yazılmış olması gerekmektedir. Bu işlem için *EK-A*'da ana ekran görüntüsüne yer verilmiş ve bu çalışma kapsamında geliştirilmiş olan mobil uygulama üzerinden, BLE Ağ Geçit Cihazının yapılandırmasıyla ilgili ayarlar yapılmalıdır. Bunun için “Yönetimsel Yapılandırma” butonu aracılığıyla açılan *EK-B*'de görüntüsü yer alan formun doldurulup, ayar bilgilerinin BLE Ağ Geçit Cihazı tarafına aktarımının sağlanması gerekmektedir.

Ardından, BLE Ağ Geçit Cihazının kalıcı hafızasından okunan BLE bilgilendirici adı bilgisiyle BLE yayını başlatması sağlanır. Bahsi geçen BLE yayınında, her hangi özel bir duyuru bilgisine yer verilmemiştir ve sadece bilgilendirici adından yararlanılmıştır.

**b- Cep telefonu sisteme bağlantı isteği gönderir** kısmında;

Mobil Uygulama aracılığıyla, “Cihazları Bul” isimli buton üzerinden *EK-C*'de görüntüsü yer alan “Taranan Cihazlar Formu” açılarak, öncelikle ortamdaki BLE yayını yapan cihazlar taranır. Ancak tarama esnasında, ortamda birden fazla yayın yapan cihaz bulunabileceğinden, önceden belirlenmiş olan “BLE bilgilendirici adı” ile filtreleme işlemi uygulanarak cihaz tespit edilir.

Tarama öncesi gerçekleştirilen önemli bir işlem ise cihazın sahip olduğu BLE donanımının kontrolüdür. Eğer mobil uygulamanın çalıştığı mobil telefonun üzerinde bulunan Bluetooth donanımsal olarak kapalı ise, açılması gerektiği ile ilgili kullanıcı uyarılır. Ayrıca Bluetooth donanımsal olarak açık ise, sürümü ile ilgili kontrol mekanizması eklenmiştir. Donanımsal olarak BLE desteği olmayan cihazlar için başka bir işlem yapılmasını önleyen gerekli kod bloğu oluşturulmuştur.

Mobil uygulama tarafında, eğer bu aşamaya gelinene kadar her şey yolunda gitmiş ise, BLE Ağ Geçit cihazının yayın ismiyle listede yer alması sağlanmış olacaktır. Mobil Uygulama kullanıcısı tarafından, doğru cihaz ismi görülüp onaylandıktan sonra BLE Ağ Geçit Cihazı tarafından sağlanan servislere ulaşım sağlanmış olacaktır. Şu ana kadar gelinen noktada, Mobil Uygulama tarafından BLE Ağ Geçit Cihazına bir bağlantı isteğinin gönderildiği duruma gelinmiştir.

**c- Ağ geçidi bağlantı isteğini kabul eder kısmında;**

BLE Ağ Geçit Cihazı tarafında veri değişimi için bir adet GATT servis ve altında karakteristik alanı tanımlanmıştır. Gelen bağlantı isteğinin kabul edilmesinin ardından oluşturulan servisin keşif sonucunun mobil uygulama tarafında yer alması sağlanacaktır.

Servisler formunun açılması, öncelikle mobil uygulama ve BLE Ağ Geçit Cihazı arasında uçtan uca bir bağlantı kurulduğu anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, kurulmuş olan bir bağlantının sonucu olarak, BLE Ağ Geçit Cihazı tarafından sunulan servislerin keşfi yapılmış ve listelenmesi sağlanmış olacaktır.

**d- Cep telefonu servis parametrelerini aktarır kısmında;**

BLE Ağ Geçit Cihazında, kontrolü yapılacak e-posta hesabına ait bilgiler kalıcı olarak tutulmamaktadır. Bu bilgiler kalıcı olarak sadece her kullanıcının mobil cihazı üzerinde tutulmakta, her aktif bağlantının kurulması aşamasında BLE Ağ Geçit Cihazına aktarılmaktadır. Bu bilgilerin, her kullanıcı tarafından mobil uygulamanın ana ekranı üzerindeki “Yapılandırma” butonu aracılığıyla açılan ve *EK-D*’de ekran görüntüsü yer alan “Kullanıcı Yapılandırma Formu” üzerinden doldurarak kaydetmeleri gerekmektedir. Doldurulacak bu bilgiler içerisinde, e-posta hesap bilgilerinin yanında, mobil uygulama kullanıcısına ait kullanıcı adı, şifre ve ID bilgileri de yer almaktadır.

Aktarımı sağlanacak bu bilgiler uygun bir JSON dizisine dönüştürülerek kullanıcıya gösterilir. Kullanıcı tarafından bir düğme aracılığı ile onay verilmesinin ardından BLE Ağ Geçit Cihazı tarafında oluşturulmuş olan GATT servisine, karakteristik değer yazma yöntemiyle aktarımı gerçekleştirilir. Tabii ki öncesinde, BLE Ağ Geçit Cihazı tarafının GATT sunucu, mobil uygulama tarafının ise GATT istemci olarak yapılandırılması sağlanmıştır.

**e- Ağ geçidi “Servis kaydı başarılı” cevabını gönderir** kısmında;

BLE Ağ Geçit Cihazı tarafında alınan değer dizisi işlenerek ilgili değişkenlere değer ataması yapılır. Alınan JSON dizisinin işlenmesi esnasında; gelen değer içindeki kullanıcı adı ve şifre bilgisi ikilisinin, daha önce yönetimsel yetkilendirme ile kalıcı hafızaya yazılmış olan kullanıcı adı / şifre bilgilerinden biri ile (birden fazla kullanıcıya ait bilgi yer alabilir) eşlenip eşleşmediği kontrol edilir. Eğer eşleşme varsa, yine önceden BLE Ağ Geçit Cihazındaki GATT sunucuya özellik olarak eklenmiş olan bilgilendirme (notify) yöntemi kullanılarak, bağlanan mobil uygulamanın kullanıcı adına karşılık gelen iletişim metodu bilgisi Mobil Uygulamaya geri gönderilir. Dolayısıyla Mobil Uygulama, iletişim metot bilgisini buradan elde etmiş olur ve sonraki işlemlerde bu temel bilgiyi baz alarak aksiyon alması sağlanır.

Buradaki geri değer bildirimini, aslında araya konulmuş olan bir kontrol mekanizmasıdır. Şöyle ki, mobil uygulama kullanıcısı tarafından BLE Ağ Geçit Cihazına gönderilen kullanıcı adı ve şifre bilgisinin örtüştüğünü ve bu bilgilerin BLE Ağ Geçit Cihazı tarafına aktarımında her hangi bir problem olmadığını göstermektedir. Bu kısımda gelinen noktada, BLE Ağ Geçit Cihazı ve Mobil Uygulama için farklı işlemlerin ve kontrollerin başlangıcını ifade eder. Bu duruma gelindiğinde, mobil uygulama tarafında *EK-E*'de ekran görüntüsü yer alan “Bilgilendirme Formu” açılmış olacaktır. Bundan sonraki bildirimler açılan bu form üzerinden takip edilecektir.

Bu adımın sonuna gelindiğinde, sistem kaydı ve bağlantı adımları grubundaki tüm süreç tamamlanmış olmaktadır. Bundan sonra bekleme durumu rolleri isimli ikinci temel gruptan bahsedilecektir.

Bekleme durumu rolleri isimli ikinci grupta, gerek ağ geçit cihazının, gerekse cep telefonunun bekleme durumunda iken duyuru ya da tarayıcı olmak üzere üstlendiği roller belirlenmektedir.

**f- Ağ geçidi duyuru rolüne geçer** kısmında;

BLE Ağ Geçit Cihazı tarafında, bağlanmış olan kullanıcı aktif olarak işaretlenir ve ilgili kullanıcı için 1 numaralı iletişim metot bilgisine göre, her kontrol döngüsünde e-posta hesap kontrol işlemleri yapılmaya başlanır.

Ancak kullanıcının aktif olması sonrası, BLE Ağ Geçit cihazının diğer mobil kullanıcılardan gelecek talepleri karşılayabilmesi için duyuru rolünde olması gerekmektedir. Ayrıca sadece kontrol zamanlarında kısa bir süreliğine rol değişimi yaparak, periyodik kontrol işlemlerini yerine getirme ve bildirim iletme süreçlerini tamamlamasının hemen ardından yeni bağlantı isteklerini beklemek üzere tekrar duyuru rolüne geri döner.

#### **g- Cep telefonu tarayıcı rolüne geçer kısmında;**

1 numaralı iletişim metodunda, mobil uygulama ve dolayısıyla cep telefonu standart bekleme durumunda tarama rolüne geçirilir. Bu rolde, aslında standart olarak kontrol başladığında ve kontrol sonucunda ayrı ayrı gelecek olan duyuru paketleri dinlenir ve gerekli aksiyon alınır. Bahsi geçen rol değişimlerinde mobil uygulama üzerinden servis çağırma yöntemi tercih edilmiştir.

Mobil uygulamalarda kullanılan Servis (service), kullanıcıdan bağımsız olarak arka planda çalışan ve herhangi bir ara yüze sahip olmayan bileşenlere verilen isimdir ve genellikle uzun süren işlemlerin arka planda çalışmasını sağlamak için geliştirilmiş olan bileşenlerdir (Babu, Raveendranath, Rajamani, & Datta, 2014). Dolayısıyla, mobil uygulama üzerinden tarama yapma ve GATT gibi işlemlerin çalıştırılıp durdurulmalarının gerekmesi sebebiyle servis çalıştırma yöntemi kullanılmıştır.

Burada tanımlanan önemli bir kontrol değişkeni ise, Mobil Uygulama tarafından BLE Ağ Geçit Cihazının hala kapsama alanında olup olmadığını anlamasına yarayacak olan “Cihaz ayakta değil” olarak isimlendirilen değişkendir. Bu değişkenin varsayılan maksimum değeri 5 (beş) olarak belirlenmiştir. Şöyle ki, mobil uygulama yönüne doğru, her kontrol zamanında ilgili kullanıcı için bir “Hala ayakta mısın?” kontrol bilgisi gelmemişse cihaz ayakta değil kontrol değeri +1 artırılır.

Mobil uygulama tarafına doğru bununla ilgili bir “Hala ayakta mısın?” kontrol yayını ulaştığında “Cihaz ayakta değil” kontrol değeri 0 (sıfır) olarak kaydedilir. Her kontrol döngüsünde Cihaz ayakta değil kontrol değerinin eşik değeri olarak belirlenen 5 (beş) sayısının üzerine çıkıp çıkmadığı kontrol edilir. Eşik değeri geçtiğinde Mobil Uygulama tarafından, BLE Ağ Geçit cihazından herhangi bir sinyal gelmediğiyle ilgili kullanıcı bilgilendirilir ve uygulama sonlandırılır.

Ancak mobil uygulamanın tarayıcı rolüne geçirilmesinin ardından Cihaz ayakta değil kontrolü için 3 dakikalık zamanlayıcı başlatılır ve “Hala ayakta mısın?” bilgisi için tarama yapmaya başlar. Bundan sonraki “Cihaz ayakta değil” kontrol değeri bu zamanlayıcı üzerinden takip edilir.

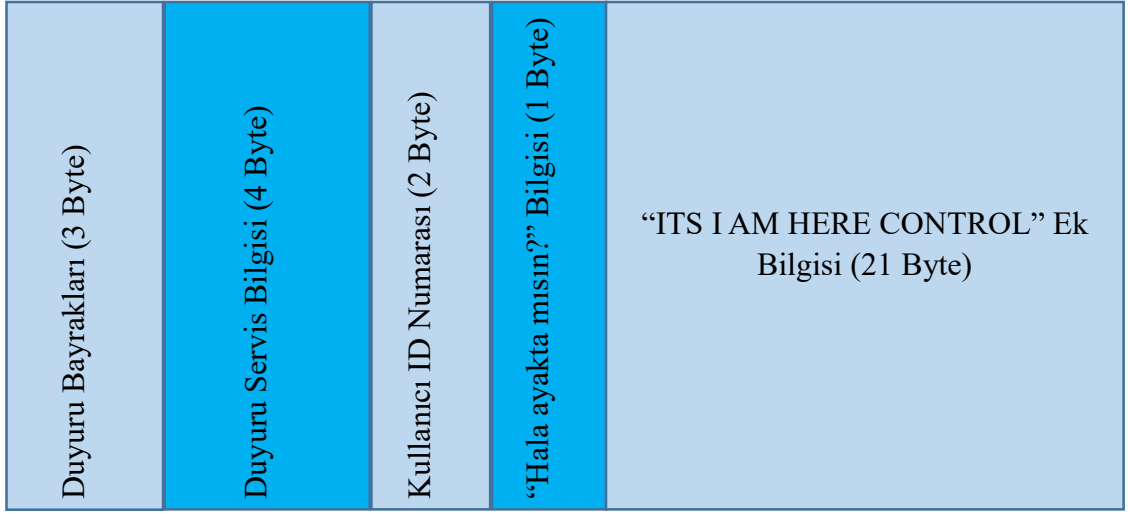
Bu adımın sonuna gelindiğinde, bekleme durumu rolleri grubundaki tüm süreç tamamlanmış olmaktadır. Bundan sonra periyodik kontrol adımları isimli üçüncü ve son temel gruptan bahsedilecektir.

Periyodik kontrol adımları isimli son grupta gerek ağ geçit cihazının, gerekse cep telefonunun periyodik kontrol zamanına ulaşıldığında yerine getirmekle yükümlü olduğu süreçler ve adımlar detaylandırılacaktır.

#### **h- Ağ geçidi “Hala ayakta mısın?” duyurusu gönderir ardından tarayıcı rolüne geçer kısmında;**

Her kontrol zamanında BLE Ağ Geçit Cihazı tarafında kullanıcının hala aktif veya kapsama alanında olup olmadığını anlayabilmesi için 3 saniye boyunca “Hala ayakta mısın?” içerikli bir duyuru paketi yayınlanır ve bu süre sonunda tarama rolüne geçer. Yayınlanan duyuru paketinin yapısı ve paket görüntüsü Şekil 4.4’de gösterilmiştir. 31 Byte uzunluğa sahip duyuru paketinin içeriği şu şekilde paylaştırılmıştır;

3 byte standart duyuru bayrakları (0x02, 0x01 ve 0x06) ve 4 byte değerinde içinde uzunluk bilgisinin de yer aldığı duyuru servis bilgisi, paketin veri yükü bölümünün ilk 7 byte’lık kısmını oluşturmaktadır. Ardından gelen 2 byte’lık kısım, BLE Ağ Geçit Cihazı ile mobil uygulama arasındaki her kullanıcı için farklı olarak belirlenmiş ve ortak kod olarak nitelendirilen kullanıcı ID numarasıdır. Sonrasında gelen 1 byte ise mobil uygulamadan talep edilecek “Hala ayakta mısın?” bilgi isteğini belirten kodu (0x48) ifade eder. Ardından gelen 21 Byte’lık kısım, içerisinde “ITS I AM HERE CONTROL” bilgisinin yazılı olarak yer aldığı ve tercihen ek bilgi olarak belirlenmiş kısmı ifade eder.



Şekil 4.4. Duyuru paketinin yapısı.

Duyuru paketinin içeriği ile ilgili paket görüntüsünü gösterebilmek için, Texas Instrument USB Paket yakalama (Sniffer) donanımı ve yine Texas Instrument’a ait paket yakalama amaçlı kullanılan “Texas Instrument SmartRF Packet Sniffer” yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım tarafından elde edilen duyuru paketinin görüntüsü Şekil 4.5’de yer almaktadır.

Texas Instruments SmartRF Packet Sniffer Bluetooth Low Energy

File Settings Help

Pnbr	Time (us)	Channel	Access Address	Adv PDU Type	Adv PDU Header			AdvA	AdvData	CRC	RSSI (dBm)	FCS
				Type	TxAdd	RxAdd	PDU-Length					
66	+42502 =395019	0x25	0x8E89BED6	ADV_IND	0	0	37	0x30AEA441788A	02 01 06 1B 16 AA FE 41 42 48 49 54 53 20 49 20 41 4D 20 48 45 52 45 20 43 4F 4E 54 52 4F 4C	0x83512E	-59	OK
67	+46252 =441271	0x25	0x8E89BED6	ADV_IND	0	0	37	0x30AEA441788A	02 01 06 1B 16 AA FE 41 42 48 49 54 53 20 49 20 41 4D 20 48 45 52 45 20 43 4F 4E 54 52 4F 4C	0x83512E	-58	OK

Şekil 4.5. Duyuru paketinin görüntüsü.

BLE Ağ Geçit Cihazının tarama rolüne geçmesinin ardından, gelen duyuruların dinlendiği süre 5 saniyedir ve bu süre içerisinde ortamdaki her yayın dinlenir. Yayın adındaki bilgidan o andaki aktif kullanıcılar tespit edilmeye çalışılır. Bu bekleme süresi boyunca tarama sonucunda uygun herhangi bir yayın gelmezse, işlem yapılan aktif kullanıcı için “Uygulama ayakta değil” kontrol değerine +1 eklenir. Bu değer, eşik değer limiti olan 5 sayısının üzerinde ise kullanıcının aktif olan bilgisi pasife çekilir. Eğer 5



saniyelik süre boyunca dinlenen yayınlar içerisinde aktif kullanıcıdan gelen yayın tespit edilirse, kullanıcıya ait “Uygulama ayakta değil” kontrol değeri 0 (sıfır) olarak kaydedilir.

**i- Cep Telefonu duyuru rolüyle “Ayaktayım” gönderir ardından tarayıcı rolüne geçer kısmında;**

Cep telefonu, BLE Ağ Geçit Cihazı tarafından duyuru olarak gönderilecek olan “Hala ayakta mısınız?” bilgisi için tarama yapmaya başlar. İşte bu noktada uygun paket alınır alınmaz öncelikle mobil uygulamadaki “Cihaz ayakta değil” kontrol değeri 0 (sıfır) olarak kaydedilir ve zamanlayıcı döngüsü de sıfırlanarak yeniden başlatılır. Ardından 7 saniyelik süre için duyuru durumuna geçer. Bu süre tamamlanır tamamlanmaz tekrar tarama konumuna geri döner. Duyuru rolünde paketin içerisinde herhangi bir duyuru verisi gönderilmeksizin uygun bir isimle yayın yapmaya başlar. Çünkü burada amaç sadece mobil uygulamanın ayakta ve kapsama alanında olduğunun gösterilmesidir.

Bu aşamadan itibaren gerek BLE Ağ Geçit Cihazının, gerekse mobil uygulamanın birbirlerinden haberleri vardır. Eğer mobil uygulama için gönderilmesi gereken duyuru var ise, BLE Ağ Geçit Cihazı tarafından bu duyuru uygun formatta gönderilecektir.

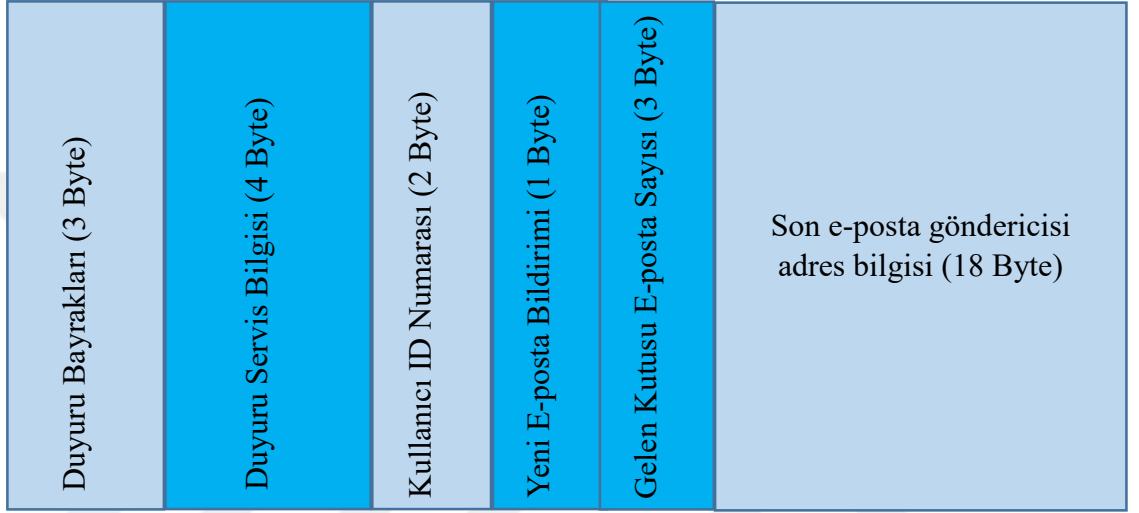
**j- Ağ geçidi yeni e-posta bildirimini duyuru paketi olarak iletir kısmında;**

Periyodik kontrolün ikinci adımı olan bu kısımda, e-posta kontrol süreci başlatılacaktır. E-posta kontrolünün yapılması esnasında, bağlantı parametrelerini aktar kısmıyla Ağ Geçit Cihazı tarafına aktarılmış bilgiler vasıtasıyla, e-posta sunucusuna telnet üzerinden bağlantı işlemi gerçekleştirilir. E-posta sunucusu tarafından sorulan kontrolü yapılacak e-posta hesabının kullanıcı adı ve şifre bilgisi girildikten sonra uygun sorgularla toplam e-posta sayısı bilgisi ve son e-posta göndericisi bilgisi kayıt altına alınır. Ardından kontrol başlama öncesi gelen kutusundaki toplam e-posta sayısı değeri ile karşılaştırma yapılır. Kontrol öncesi değer her zaman ilk kontrol için 0 (sıfır) olarak belirlenmiştir.

E-posta hesap kontrol işlemi sonunda hesaptaki e-posta sayısı, kontrol öncesi e-posta sayısından fazlaysa yeni bir e-posta geldiği tespit edilmiş olur ve duyuru paketi güncellenir.

Duyuru paketinin güncelleme esnasında, ilk 9 byte (7 byte ve 2 byte’den oluşan kısım) yukarıda “Hala ayakta mısınız?” amaçlı gönderilen duyuru paketi ile birebir aynıdır.

Bundan sonra gelen 1 byte'lık kısım, duyuru paketinin e-posta bilgisi içerdiğini işaret edecek biçimde "E" harfi olarak değiştirilir. Ardından gelen 3 byte'lık kısım ise gelen kutusundaki e-posta sayısını gösterecek biçimde düzenlenmiştir. Sonrasında gelen 18 byte'lık kısım ise son e-posta göndericisinin adres bilgisini ifade edecek biçimde düzenlenir. E-posta kontrolü sonrası bildirim için güncellenen duyuru paketinin yapısı Şekil 4.6'da gösterilmektedir.



Şekil 4.6. E-posta bildirim amaçlı duyuru paket yapısı.

Duyuru paketinin güncelleme işlemi sonrası Texas Instrument SmartRF Packet Sniffer yazılımından elde edilen örnek paket görüntüsü Şekil 4.7'de yer almaktadır.

Pnbr	Time (us)	Channel	Access Address	Adv PDU Type	Adv PDU Header	AdvA	AdvData	CRC	RSSI (dBm)	FCS
2441	+40002 =1063768	0x25	0x8E89BED6	ADV_IND	Type TxAdd RxAdd PDU-Length 0 0 0 36	0x30AER441788A	02 01 06 1A 16 AA FE 41 42 45 30 30 32 6D 75 73 74 61 66 61 63 65 74 69 6E 67 6F 7A 40 74	0x952761	-34	OK
2442	+40002 =1103770	0x25	0x8E89BED6	ADV_IND	Type TxAdd RxAdd PDU-Length 0 0 0 36	0x30AER441788A	02 01 06 1A 16 AA FE 41 42 45 30 30 32 6D 75 73 74 61 66 61 63 65 74 69 6E 67 6F 7A 40 74	0x952761	-34	OK

Şekil 4.7. E-posta bildirim amaçlı örnek duyuru paket görüntüsü.

E-posta bildirimini amaçlı güncellenip yayınlanan duyuru paketinin yayınlanma süresi 5 saniyedir. Bu süre sonunda varsa bir sonraki aktif kullanıcının periyodik kontrol işlemleri başlatılacaktır.

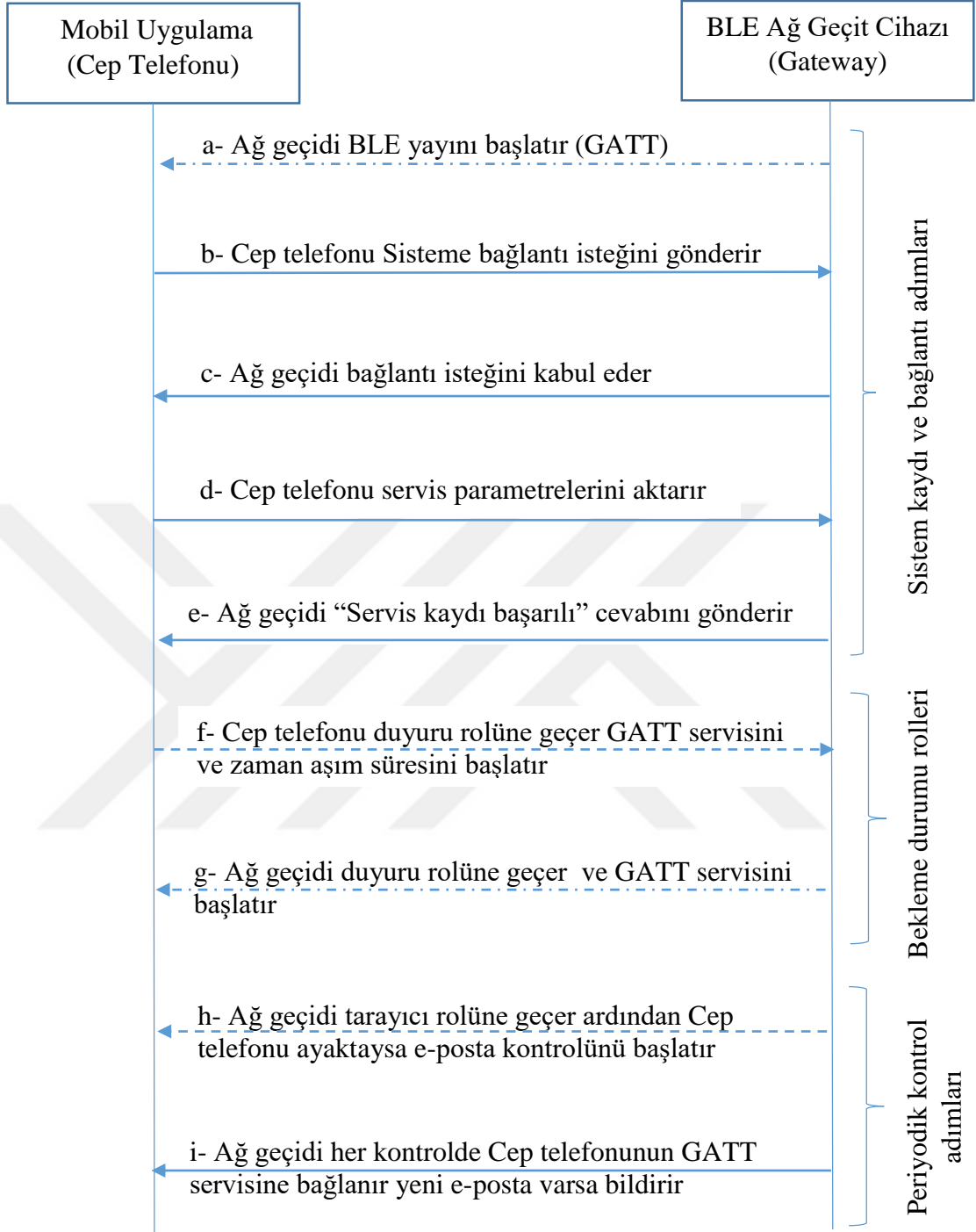
BLE Ağ Geçit Cihazı tarafından gönderilen duyuru paketinin içerisinde, e-posta kutusundaki toplam sayı değeri yer almaktadır. Tarama konumundaki Mobil Uygulama tarafından duyuru paketleri dinlenmeye devam ettiğinden, paketin içerisindeki e-posta kutusundaki toplam sayı değeri mevcut e-posta sayısından fazla olduğu tespit edilir edilmez kullanıcı bilgilendirilecektir. Ardından 3 dakikalık “Cihaz ayakta değil” kontrol değerinin takip edildiği zamanlayıcı sıfırlanarak yeniden başlatılacaktır.

Buraya kadar, periyodik kontrol adımlarının da detaylandırılmasıyla İletişim Metodu-1 isimli protokol akışının anlatımı tamamlanmıştır. Bundan sonraki kısımda tamamen ayrı bir metot olan İletişim Metodu-2’den bahsedilecektir.

#### **4.2.2. İletişim Metodu-2**

İletişim Metodu 2; Şekil 4.8’de yer alan protokol akışında görüldüğü üzere hem mobil uygulamanın, hem de BLE Ağ Geçit Cihazının bekleme durumunda duyuru rolünde çalıştıkları metottur. Bu metot da İletişim Metodu-1 isimli protokol akışında bahsedilen aynı isimli 3 temel grup adı altında incelenmiştir.

Bu protokol akışının başlangıcında da, ağ geçit cihazının BLE yayını başlatmasıyla başlayarak ağ geçit cihazının servis kaydını onaylanmasıyla son bulan ve beş adımdan oluşan sistem kaydı ve bağlantı adımları isimli grup yer almaktadır. Bu grup, İletişim Metodu-1’de bahsedilen ilk grup ile birebir aynıdır.



Şekil 4.8. İletişim Metodu-2 için temel protokol akışı.

Bu protokol akışının içindeki bekleme durumu rolleri isimli ikinci grupta da yine hem ağ geçit cihazının hem de cep telefonunun bekleme durumunda iken üstlendiği roller

belirlenmektedir. Protokol akışının bu grubundaki adımlar, İletişim Metodu-1'e göre bazı farklılıklar göstermektedir.

**f- Cep telefonu duyuru rolüne geçer GATT servisini ve zaman aşım süresini başlatır** kısmında;

Mobil uygulama üzerinden bir önceki grubun son adımındaki “Servis kaydı başarılı” bildirim alınır alınmaz, ilk önce GATT sunucu servisi ve ardından 3 dakikalık periyod için zaman aşımı süresi başlatılır. Bundan sonraki aşamada BLE Ağ Geçit Cihazı tarafından gerek yeni e-posta bildirim aktarımı için, gerekse Ağ Geçit Cihazı ve cep telefonunun birbirlerinden haberdar olmalarının sürdürülmesi için GATT bağlantısı gerçekleştirilir. Buradaki zaman aşım süresiyle, GATT bağlantısı gerçekleşmeme durumunun takibi yapılacaktır. Bu durum, 2 numaralı iletişim metodunun standart olarak bekleme durumunda bulunduğu rol tanımını ifade etmektedir.

Duyuru rolüne geçen cep telefonu tarafından yayınlanan paket için özel bir format belirlenmemiştir. Sadece bilgilendirici adının kullanıcı adıyla bağdaştırıldığı şekilde düzenleme yapılmıştır. Neticede BLE Ağ Geçit Cihazı tarafında, bağlantı sağlayarak kayıt adımları gerçekleştirilmiş aktif kullanıcıların hangi bilgilendirici adıyla yayın yapacağı bilinmiş olacaktır. Bu yöntemle duyuru yapan taraf da, tarama yapacak taraf da aynı bilgilendirici adı bilgisine sahip olacaktır.

2 numaralı iletişim metodunda, Ağ Geçit Cihazı tarafından gerçekleştirilen her periyodik kontrol işleminin sonucunda cep telefonundaki GATT sunucuya bir bağlantı gerçekleştirilmesi beklenir. Ancak olası bağlantı ya da kapsama alanı problemlerinde, cihazlar iletişim kaybı sebebiyle birbirlerinden haberdar olamayacağı için zaman aşımı süresi kontrolü üzerinden takip işlemi yapılmaktadır. Bu süre yine “Cihaz ayakta değil” kontrol değişkeni üzerinden takip edilecektir. Şöyle ki, her GATT bağlantısında hem zaman aşımı süresi sıfırlanır, hem de Cihaz ayakta değil değişkeni 0 (sıfır) olarak kaydedilir.

Ancak 3 dakikalık zaman aşımı süresi sonunda herhangi bir GATT bağlantısı gelmediği sonucuna varılacağı için, Cihaz ayakta değil kontrol değişkeninin değeri +1 artırıldıktan sonra zaman aşımı süresi yeniden başlatılır. Eğer Cihaz ayakta değil kontrol değişkeninin değeri 5 değerinin üzerine çıktıysa, “BLE Ağ Geçit Cihazından her hangi

bir sinyal gönderimi alınmamaktadır!” bilgisi ile kullanıcı uyarılır ve GATT servisi durdurulur.

**g- Ağ geçidi duyuru rolüne geçer ve GATT servisini başlatır** kısmında;

Periyodik kontrol döngüsünün başlaması öncesinde, Ağ Geçit Cihazının bekleme durumu için geçtiği rol duyuru rolüdür. Çünkü diğer mobil uygulama kullanıcılarının servis kayıt adımlarını tamamlayıp hizmet almaları, ancak bu rol üzerinden mümkün olabilmektedir. Tabii ki, bekleme durumundaki başlatılan diğer önemli servis GATT sunucu servisidir. Bu servis aracılığı ile de bahsi geçen diğer mobil uygulama kullanıcılarına hizmet sunulabilmesi mümkün olabilmektedir.

Bu adımın sonuna gelindiğinde, İletişim Metodu-2’de yer alan bekleme durumu rolleri grubundaki iki süreç tamamlanmış olmaktadır. Bundan sonra da bu protokol akışında yer alan ve yine periyodik kontrol adımları olarak isimlendirilen son temel gruptan bahsedilecektir. Bu protokol akışının son grubu olan ve gerek ağ geçit cihazının, gerekse cep telefonunun her periyodik kontrol döngüsünde yerine getirdikleri süreç ve adımlar detaylandırılacaktır.

**h- Ağ geçidi tarayıcı rolüne geçer ardından Cep telefonu ayaktaysa e-posta kontrolünü başlatır** kısmında;

Ağ Geçit Cihazı her kontrol döngüsüne ulaştığında, kullanıcının hala aktif olup olmadığını anlamak için tarama rolüne geçerek tarama işlemini başlatır. Tarama işlemine 5 saniyelik süre boyunca devam eder. Tarama sonucunda Mobil Uygulamanın aktif olup olmadığı bilgisine yine BLE bilgilendirici adına bakılarak karar verilir. Bu süre içerisinde aktif kullanıcıya ait her hangi bir duyuru ya da yayın ulaşmamış ise mobil uygulama kullanıcısı için “Uygulama ayakta değil” kontrol değeri +1 artırılır. Daha sonra eşik değeri olan 5 (beş) değeri ile karşılaştırılır. Elde edilen son değer eşik değerin üstünde ise kullanıcının aktif olan bilgisi pasif olarak değiştirilir. Eğer kontrol değeri eşik değere ulaşmamış ise, sıfırlanana ya da eşik değere ulaşana kadar kontrol döngüsü devam ettirilir.

Eğer 5 saniyelik süre boyunca aktif kullanıcıdan yayın gelmiş ve bilgisi doğrulanmış ise aktif kullanıcının yayın yaptığı adres bilgisi kayıt altına alınır. Mobil kullanıcı gerçek donanım adresi ile yayın yapmamakta olup, her defasında rastgele bir

adres ile yayın yapacak biçimde yapılandırılmıştır. Yayın adres bilgisi kayıt altına alındıktan sonra e-posta kontrol mekanizması başlatılır.

E-posta kontrolünün yapılması esnasında, bağlantı parametrelerini aktar kısmıyla Ağ Geçit Cihazı tarafına aktarılmış olan bilgilerle e-posta sunucusuna telnet üzerinden bağlantı işlemi gerçekleştirilir. E-posta sunucusu tarafından sorulan kontrolü yapılacak e-posta hesabının kullanıcı adı ve şifre bilgisi otomatik girildikten sonra uygun sorgularla toplam e-posta sayısı bilgisi ve son e-posta göndericisi bilgisi kayıt altına alınır. Ardından kontrole başlama öncesi gelen kutusundaki toplam e-posta sayısı değeri ile karşılaştırma yapılır. Kontrol öncesi değer her zaman ilk kontrol için 0 (sıfır) olarak belirlenmiştir.

**i- Ağ geçidi her kontrolde Cep telefonunun GATT servisine bağlanır yeni e-posta varsa bildirir** kısmında;

Eğer e-posta kontrolü sonrasında yeni bir e-posta tespit edilirse, mobil uygulama tarafına GATT bağlantısı gerçekleştirilir. Tabii ki öncesinde BLE Mobil Uygulama tarafında, GATT bağlantısının yapılacağı servis UUID ve karakteristik UUID bilgilerinin yazılabilir özellikte tanımlanmış olduğu varsayılmaktadır.

Neticede yeni e-posta bildirimini, Ağ Geçit Cihazı tarafından e-posta kontrolü sonucunun karakteristik değer güncellemesi yöntemiyle mobil uygulama tarafına aktarılmasının sağlanmasıyla olur. Bu değer, mobil uygulama için BLE Ağ Geçit Cihazının çalışır durumda olduğunu göstermek için gerekli olan ID değeri, ya da yeni e-posta göndericisine ait adres bilgisi değerinden sadece biri olabilir. Mobil uygulama tarafında, GATT bağlantısı gerçekleştiğinde karakteristik değeri kontrol edilir. Bu değer kullanıcıya ait ID değeri ile aynı ise, Ağ Geçit Cihazının ayakta olduğu bilgisi olarak kabul edilir. Ardından “Cihaz ayakta değil” kontrol değeri ve zamanlayıcı sıfırlanır.

Eğer bu kontrol sonucunda yazılmış olan karakteristik bilgisindeki değer ID değerinden farklı ise, bu yeni e-posta göndericisine ait bilgi olarak kabul edilir ve kullanıcı yeni e-posta geldiğine dair bilgilendirilir. Aynı zamanda yine “Cihaz ayakta değil” kontrol değeri ve zamanlayıcı sıfırlanır.

#### **4.2.3. İletişim Metodu-3**

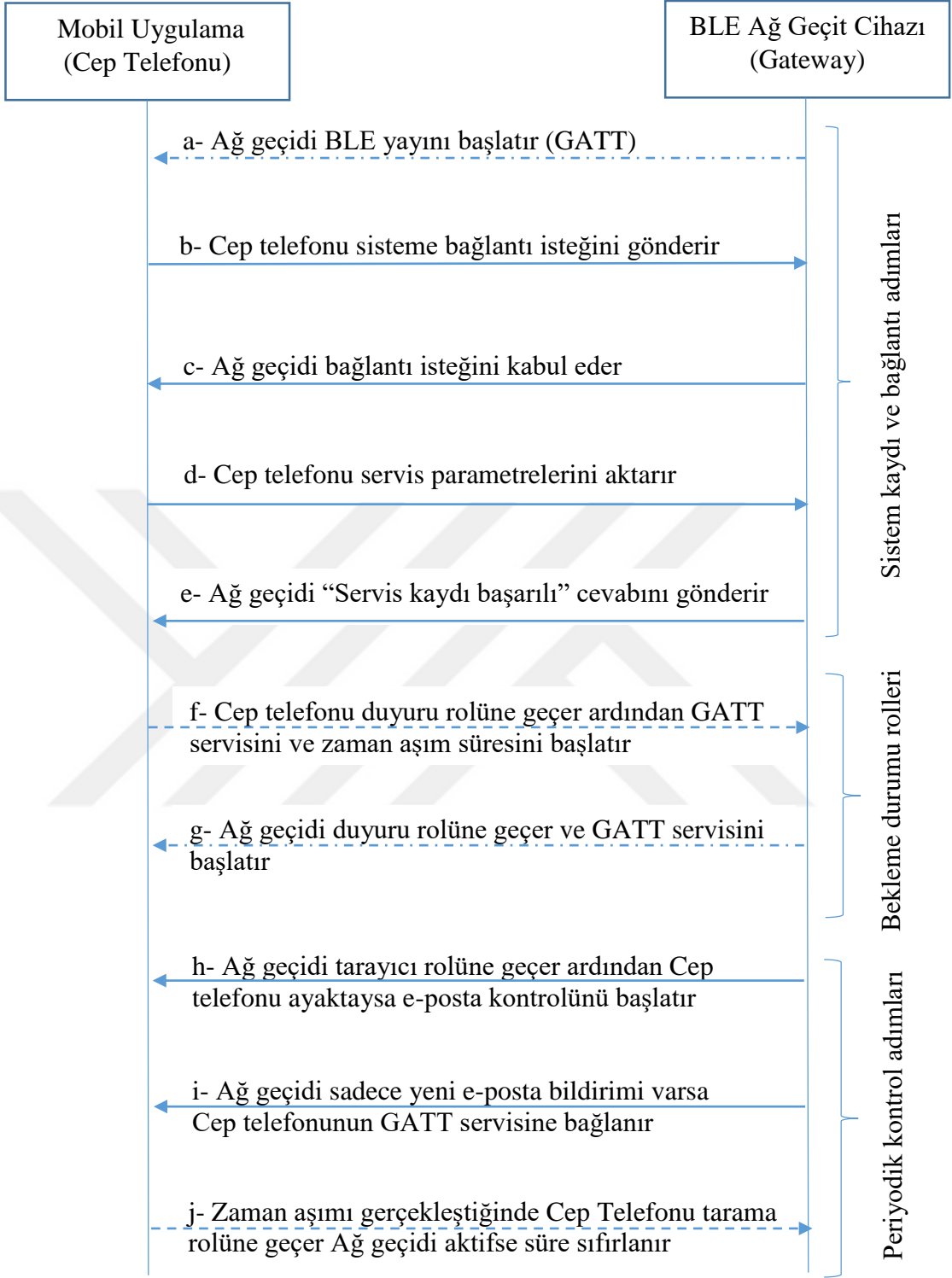
İletişim Metodu-3; İletişim Metodu-2 ile benzer şekilde, hem Ağ Geçit Cihazının hem de Mobil Uygulamanın bekleme durumunda duyuru rolünde çalıştıkları metottur.

İletişim Metodu-3'e ait protokol akışı Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Bu metod da İletişim Metodu-1 ve İletişim Metodu-2 isimli protokollerde bahsedilen aynı isimli 3 temel grup ismi altında incelenmiştir.

Bu protokol akışının ilk iki grubunu oluşturan sistem kaydı ve bağlantı adımları ile bekleme durumu rolleri isimli gruplar, İletişim Metodu-2'de bahsedilen ilk iki grup ile birebir aynıdır. Farklılık sadece periyodik kontrol adımları grubundadır.

Bu protokolde periyodik kontrol adımları grubu, İletişim Metodu-2'den farklı olarak 3 temel adım altında incelenmiştir. Ancak yine bu protokolün periyodik kontrol adımları grubunun ilk sırasında da "Ağ geçidi tarayıcı rolüne geçer ardından Cep telefonu ayaktaysa e-posta kontrolünü başlatır" adımı yer almaktadır. Bu adımın da, İletişim Metodu-2'nin periyodik kontrol adımları grubunun aynı isimli ilk adımı ile birebir aynı olması sebebiyle protokol akışına bir sonraki adımın anlatılmasıyla devam edilecektir.





Şekil 4.9. İletişim Metodu-3 için temel protokol akışı.

**i- Ağ geçidi sadece yeni e-posta bildirimini varsa Cep telefonunun GATT servisine bağlanır** kısmında;

Bu adımda da yine, eğer e-posta kontrolü sonrasında yeni bir e-posta tespit edilirse mobil uygulama tarafına GATT bağlantısı gerçekleştirilir. Tabii ki öncesinde yine Mobil Uygulama tarafında, GATT bağlantısının yapılacağı servis UUID ve karakteristik UUID bilgilerinin yazılabilir özellikte tanımlanmış olduğu varsayılmaktadır. Burada da aynı şekilde yeni e-posta bildirimini, ağ geçidi tarafından gerçekleştirilen e-posta kontrolü sonucunun, karakteristik değer güncellemesi yöntemiyle mobil uygulama tarafına aktarılmasıyla sağlanmış olur. Burada yazılan değer, mobil uygulama için Ağ Geçit Cihazının çalışır durumda olduğunu gösterir ve yalnızca yeni e-posta göndericisine ait adres bilgisi değerinden ibaret olabilir. Mobil Uygulama tarafında da, GATT bağlantısı gerçekleştiğinde “Cihaz ayakta değil” kontrol değeri ve zamanlayıcı sıfırlanmaktadır. Yine Mobil Uygulama tarafında gelen değer, yeni e-posta göndericisine ait bilgi olarak kabul edilir ve kullanıcı yeni bir e-posta geldiğine dair bilgilendirilir.

**j- Zaman aşımı gerçekleştiğinde Cep Telefonu tarama rolüne geçer Gateway aktifse süre sıfırlanır** kısmında;

İletişim Metodu-2’den farklı olarak, 3 dakikalık zamanlayıcı periyodu içerisinde yeni e-posta bildirimleri hariç herhangi bir GATT bağlantısı gerçekleşmeyecektir. Bu 3 dakikalık periyodun sonunda GATT servisi durdurulur ve mobil uygulama en fazla 7 saniyelik tarama konumuna geçirilir. Tarama başladığında BLE Ağ Geçit Cihazının yayın adı bilgisiyle eşleşen yayın aranır ve 7 saniyelik sürenin sonu beklenmeksizin “Cihaz ayakta değil” kontrol değeri ve zamanlayıcı sıfırlanır.

Eğer bu 7 saniye içerisinde BLE Ağ Geçit Cihazına ait herhangi bir yayın tespit edilemezse “Cihaz ayakta değil” kontrol değeri eşik değer olan 5 sayısına ulaşıncaya kadar +1 artırılır ve her defasında zamanlayıcı sıfırlanır. Eşik değeri aştığında GATT servisi durdurularak, BLE Ağ Geçit Cihazından sinyal gelmemesi ile ilgili durum hakkında kullanıcının bilgilendirilmesi sağlanır.

## BÖLÜM 5

### 5. VERİMLİLİĞİN ARAŞTIRILMASI

Tezin esas amacının mobil cihazlar üzerinde harcanan güç tüketimini düşürmek olması sebebiyle, verimlilik çalışması sadece mobil cihazlardaki güç tüketimi üzerine kurgulanmıştır. Dolayısıyla geliştirilen sistemin haberleşme sağlayabilmesi için donanımsal olarak Bluetooth açık iken, bekleme ve iletişim durumlarındaki çekilen akım değerlerinin tespiti ve şarj sonrası cihazın kullanım süresine olan katkısı tespit edilmeye çalışılmıştır.

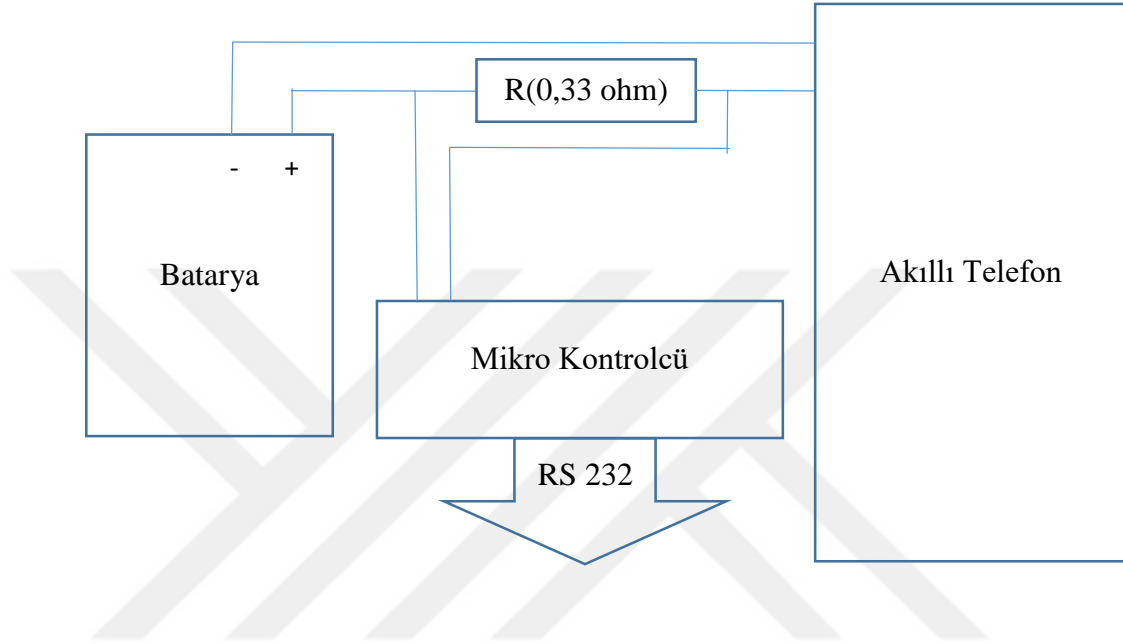
Test ortamında kullanılan General Mobile marka ve GM9 GO model mobil telefonun sahip olduğu sökülebilir batarya özelliği önemli bir tercih sebebi olmuştur. Telefonun orijinal bataryasının 3500 mAh değerinde olduğu görülmektedir (Mobile, 2019). Ayrıca test ortamı için bir adet osiloskop cihazından da faydalanılmıştır.

Bu bölümün ilk kısmında, öncelikle seçilen cep telefonunda çekilen akımı ölçmek için kurgulanan test ortamından bahsedilecektir. Ardından telefonun bekleme durumundayken kurgulanan test devresinden geçen akımın tespiti ve sonrasında mobil telefonda kullanımına karar verilen e-posta programının tek başına çalıştırılma durumu için çekilen akımın tespitine yönelik ölçümler yer almaktadır. Son olarak mobil telefon üzerinde, bu çalışma kapsamında geliştirilen mobil uygulamanın tek başına çalıştırılma durumu için devreden geçen akımın tespitine yönelik yapılan testlere yer verilmiştir.

#### 5.1. Kurgulanan Test Ortamı

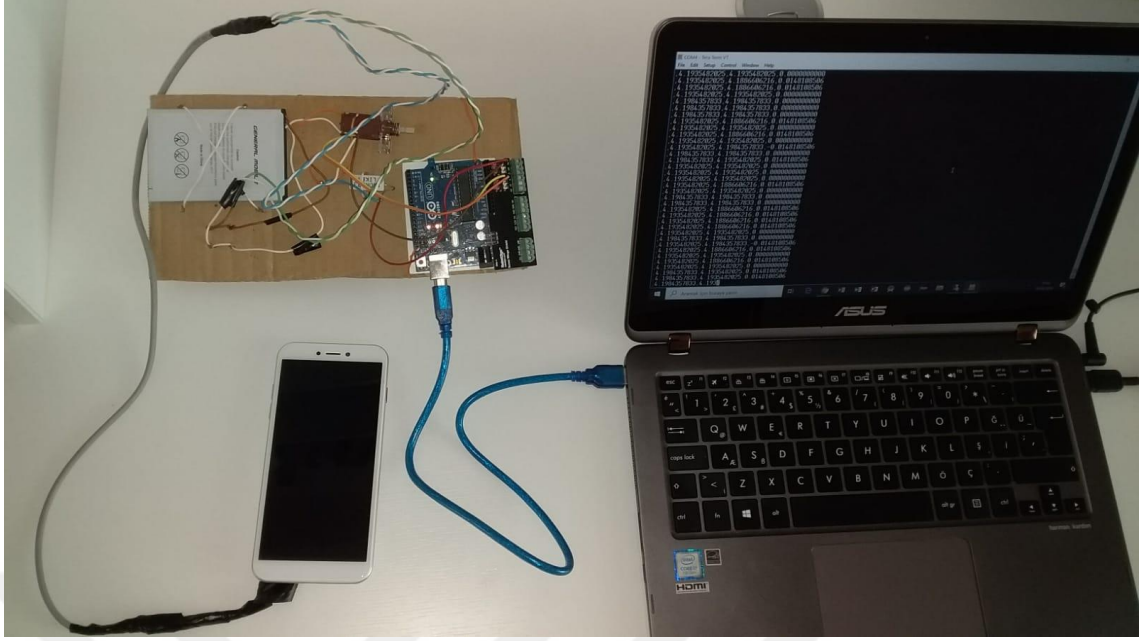
Test ortamı kurgulanırken sahip olunan mobil cihazın bataryası çıkarılmış, çıkarılan batarya ile mobil telefon arasına düşük değerli bir direnç elemanı yerleştirilmek suretiyle, telefonun çektiği akımın direnç üzerinden de geçirilmesi hedeflenmiştir.

Dolayısıyla değeri bilinen bir direnç üzerinden geçen akımın hesaplanmasıyla, aynı devrede seri bağlı olan mobil telefon üzerinden de geçen akımın hesaplanabilmesi mümkün olmuştur. Batarya ile mobil telefon arasına yerleştirilmiş olan direncin değeri 0.33 ohm olarak belirlenmiştir. Kurgulanan test ortamı Şekil 5.1’de gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Test ortamı.

Direnç elemanı üzerinden geçen akım değerinin tespiti için ayrı bir mikro kontrolcüden yararlanılmıştır. Bu mikro kontrolcü kullanılarak ana test ortamında araya yerleştirilen direncin iki ucundan analog olarak gerilim değerleri okunmakta ve aradaki gerilim farkından üzerinden geçen akımın değeri hesaplanmaktadır. Ardından, elde edilen akım değerlerinin seri port üzerinden bilgisayara aktarımı sağlanmaktadır. Ölçüm sisteminden gönderilen verinin formatında direnç elemanının başında okunan gerilim değeri, direnç elemanının çıkışında okunan gerilim değeri ve üzerinden geçen akım değeri (ohm kanunu uyarınca hesaplanan değer) bilgileri bulunmaktadır. Şekil 5.2’de Ölçüm sistemine ait görüntü yer almaktadır.



Şekil 5.2. Ölçüm sistemi.

Bilgisayar üzerinde seri portu dinleyen hazır bir uygulama vasıtasıyla da, gelen verilerin ilk sütununa zaman bilgisi eklenerek verilerin virgülle ayrılmış dosya (CSV) formatında kaydedilmeleri sağlanmıştır. Ardından oluşan dosyanın analiz edilmesi sonucu ortalama olarak devreden geçen akımın değeri tespit edilmeye çalışılmıştır.

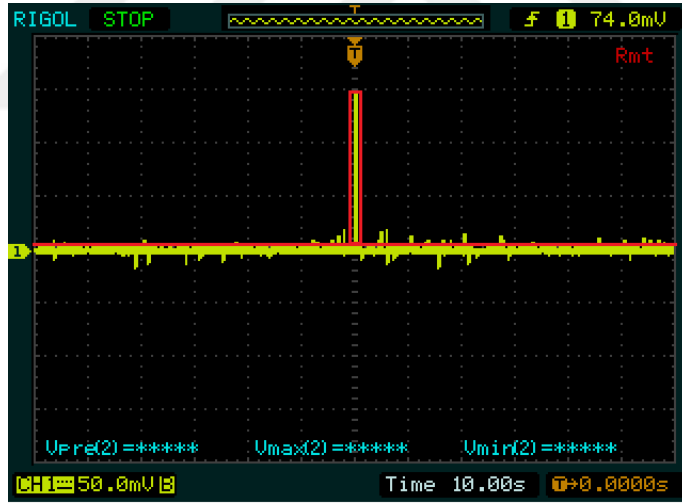
Ölçüm sistemini destekleyici olarak yine araya yerleştirilen direnç elemanının giriş ve çıkışı üzerinde gerçekleşen gerilim değişimleri osiloskop cihazı üzerinden de izlenerek kayıt altına alınmıştır.

Test çalışmalarına başlamadan önce, öncelikle GSM hizmetinin alındığı operatör üzerinden gereken veri haberleşme paketleri satın alınmış ve gerekli SIM kart değişikliği yapılmıştır. Testin ilk aşamasında mobil telefonun bekleme durumundaki tükettiği enerjinin tespitine yönelik bir çalışma yapılacaktır. Ardından e-posta yazılımı ve sonrasında ise bu çalışma kapsamında geliştirilen Mobil Uygulama için çekilen akım değerinin tespiti yapılacaktır.

## 5.2. Mobil Telefon Bekleme Durumu Testleri

Bekleme durumundaki çekilen akım değeri testlerine başlamadan önce, ilk olarak mobil telefondaki çalışan tüm uygulamalar kapatılmış ve arka planda interneti kullanan tüm uygulamaların mobil veri kullanma izinleri devre dışı bırakılmıştır. Cep telefonu sinyallerinin ortama göre değişkenlik gösterdiği ve buna göre pil tüketimini etkileyeceği bilinmektedir (Setyono, Nisadha, & Setiadi, 2018). Yapılacak testlerde bu husus da göz önünde bulundurulmuş ve testler aynı ortamda yapılmıştır.

İlk olarak GSM ve Bluetooth dâhil tüm donanımlar kapatılarak telefon uçuş kipine getirilmiştir. Ardından uçuş kipinde iken ortalama çekilen akım değeri tespit edilmeye çalışılmıştır. Şekil 5.3’de gösterilen grafikte görüldüğü üzere, osiloskop 10 saniye aralıklarla ve 50 mV gerilim değerine göre ayarlanmıştır. Oluşan grafiğin örüntüsünün yaklaşık 60 saniye uyuyan ve bir anda 150 Milivolt tepe değere ulaşan bir yapıda olduğu görülmektedir.



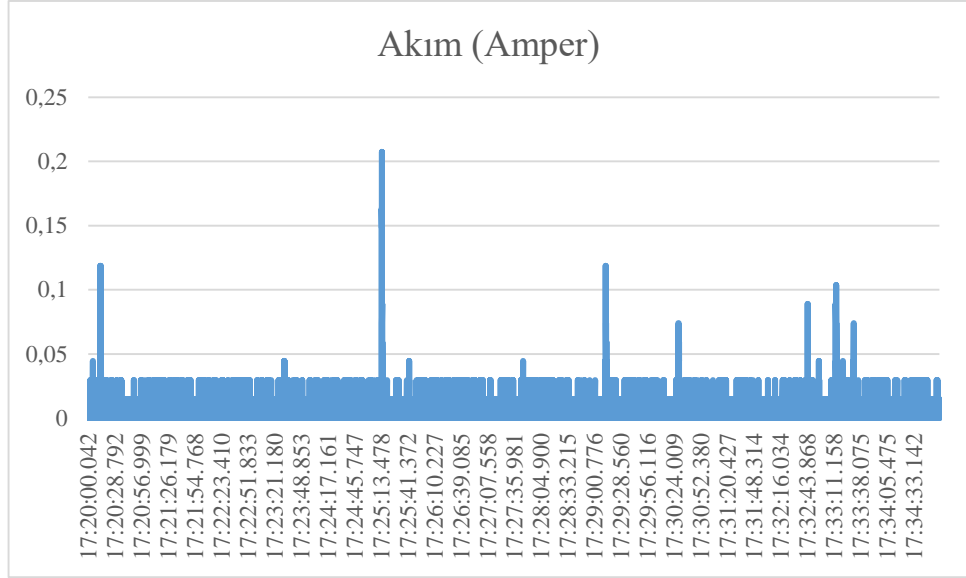
Şekil 5.3. Uçuş kipi devreden geçen akım (Osiloskop görüntüsü).

Bu görüntünün elde edilmesinin ardından, telefon uçuş kipindeyken kurgulanan ölçüm sistemi vasıtasıyla devreden geçen akım değeri tespit edilmeye çalışılmıştır. Bilgisayara aktarılan veri örneği Şekil 5.4’de gösterilmektedir.

```
[2019-10-21 17:23:23.870] ,4.2766375541,4.2717499732,0.0148108506
[2019-10-21 17:23:23.917] ,4.2766375541,4.2717499732,0.0148108506
[2019-10-21 17:23:23.979] ,4.2717499732,4.2717499732,0.0000000000
[2019-10-21 17:23:24.028] ,4.2717499732,4.2717499732,0.0000000000
[2019-10-21 17:23:24.075] ,4.2717499732,4.2717499732,0.0000000000
[2019-10-21 17:23:24.137] ,4.2717499732,4.2717499732,0.0000000000
[2019-10-21 17:23:24.184] ,4.2717499732,4.2717499732,0.0000000000
[2019-10-21 17:23:24.247] ,4.2717499732,4.2717499732,0.0000000000
[2019-10-21 17:23:24.296] ,4.2766375541,4.2717499732,0.0148108506
[2019-10-21 17:23:24.358] ,4.2717499732,4.2717499732,0.0000000000
[2019-10-21 17:23:24.405] ,4.2668623924,4.2717499732,-0.0148108506
[2019-10-21 17:23:24.453] ,4.2717499732,4.2717499732,0.0000000000
[2019-10-21 17:23:24.515] ,4.2717499732,4.2668623924,0.0148108506
[2019-10-21 17:23:24.562] ,4.2717499732,4.2717499732,0.0000000000
[2019-10-21 17:23:24.625] ,4.2766375541,4.2717499732,0.0148108506
[2019-10-21 17:23:24.671] ,4.2717499732,4.2717499732,0.0000000000
[2019-10-21 17:23:24.734] ,4.2717499732,4.2717499732,0.0000000000
[2019-10-21 17:23:24.781] ,4.2717499732,4.2717499732,0.0000000000
[2019-10-21 17:23:24.828] ,4.2717499732,4.2717499732,0.0000000000
[2019-10-21 17:23:24.890] ,4.2766375541,4.2717499732,0.0148108506
[2019-10-21 17:23:24.937] ,4.2668623924,4.2717499732,-0.0148108506
[2019-10-21 17:23:25.000] ,4.2766375541,4.2766375541,0.0000000000
[2019-10-21 17:23:25.047] ,4.2766375541,4.2766375541,0.0000000000
[2019-10-21 17:23:25.109] ,4.2717499732,4.2717499732,0.0000000000
[2019-10-21 17:23:25.156] ,4.2717499732,4.2619748115,0.0296217012
[2019-10-21 17:23:25.218] ,4.2717499732,4.2668623924,0.0148108506
[2019-10-21 17:23:25.265] ,4.2717499732,4.2717499732,0.0000000000
[2019-10-21 17:23:25.312] ,4.2668623924,4.2668623924,0.0000000000
[2019-10-21 17:23:25.375] ,4.2766375541,4.2717499732,0.0148108506
```

Şekil 5.4. Telefon uçuş kipindeyken bilgisayara aktarılan veri örneği.

Burada 15 dakikalık süre boyunca toplanan bilgiler analiz edilmiştir. Analiz esnasında negatif değerlere sahip akım bilgisiyle ilgili kayıtlar ölçüm hatası olarak değerlendirilerek veri listesinden çıkarılmıştır. Elde edilen verilerin grafiksel olarak görünümü Şekil 5.5’de yer almaktadır. Oluşan grafik incelendiğinde ara ara kısa sürelerle 0,2 A değerine kadar devreden akım geçtiği, ancak bu yükselmelerin kararlı bir süre aralığını temsil etmediği izlenmiştir.

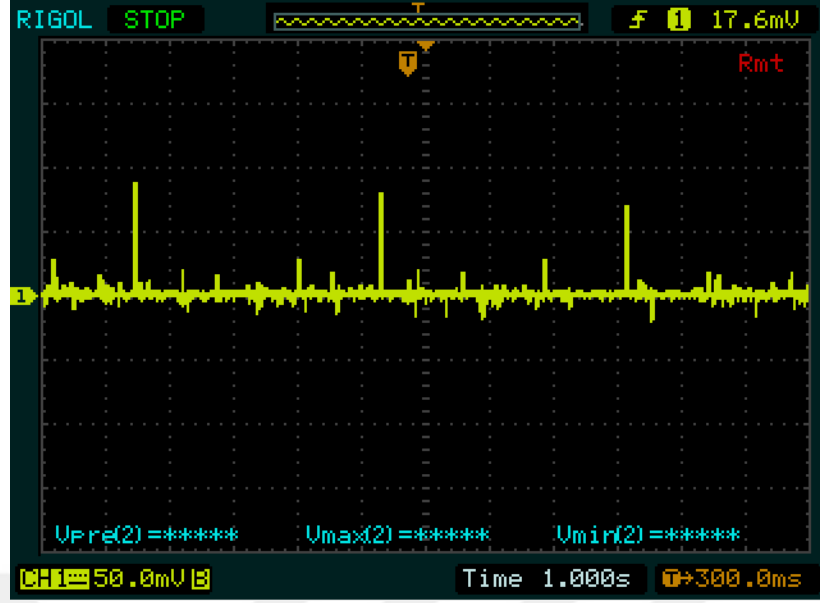


Şekil 5.5. Telefonun uçuş kipi bekleme durumu ölçüm grafiği.

Telefon uçuş kipindeyken yapılan değerlendirmede, ortalama olarak devreden 0,004859093 A (4,859093 mA) akım çekildiği tespit edilmiştir. Elde edilen bu değer ile 3500 mAh kapasiteye sahip batarya kullanılarak, başka hiçbir uygulamanın çalışmasına ve hiçbir işlemin yapılmasına izin verilmeksizin çalıştırılması durumunda  $3500 / 4,859093 = 720,2990$  saat (30,01 gün) boyunca telefonun açık kalabileceği görülmektedir. Ayrıca mobil telefonun ilk alındığı günlerde bataryası tam dolu bir şekilde uçuş kipine alınarak bir kenarda bekletilmiştir. Sadece bir kaç gün aralıklarla şarj durumunun ekran üzerinden takibini yapmak amacıyla telefona müdahalede bulunulmuş, ancak 29. günün sonunda telefonun şarjının bittiği görülmüştür. Bu bilginin de, test için gerçekleştirilen ölçüm sisteminde bir hata olup olmadığını doğrulama adına önemli bir kıstas sağladığı düşünülmektedir.

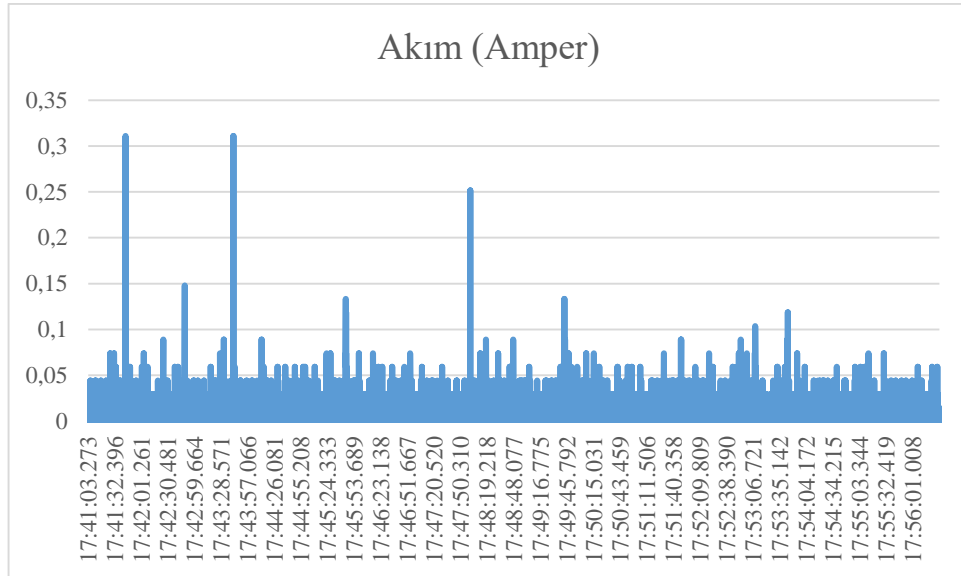
İkinci olarak sadece donanımsal olarak Bluetooth özelliği açılarak, gerek osiloskop cihazı ile gerekse ölçüm sistemi ile devreden ortalama geçen akım değeri tespit edilmeye çalışılmıştır. Burada gerçekleştirilen ölçüme ait osiloskop cihazından elde edilen grafik Şekil 5.6'da yer almaktadır.





Şekil 5.6. Telefonda sadece Bluetooth açık bekleme durumu (Osiloskop görüntüsü).

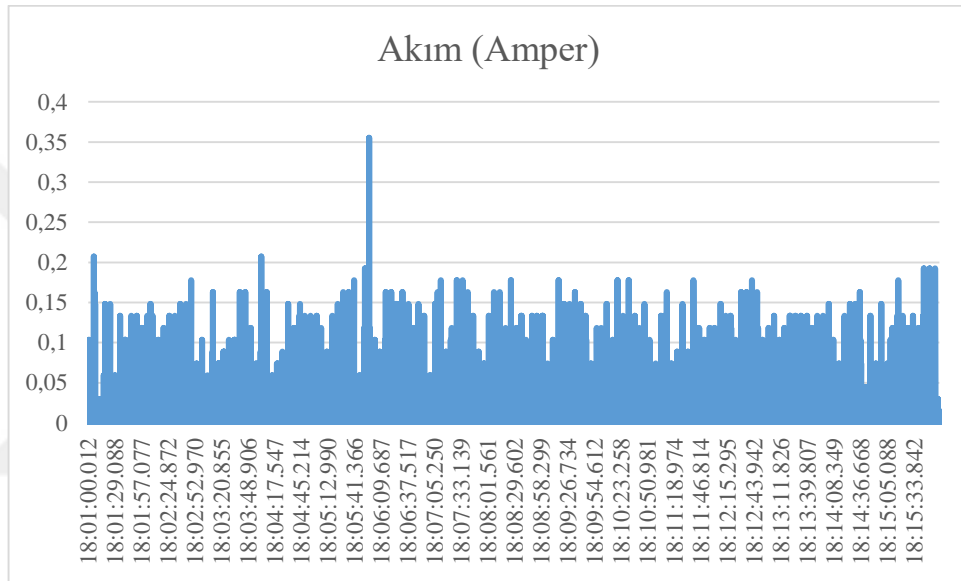
Ardından ölçüm sistemi ile de mobil cihazın aynı durumdaki devreden geçen akım değeri tespit edilmeye çalışılmıştır. Burada elde edilen sonuçlar işlendiğinde Şekil 5.7’de gösterilen grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.7. Telefonda sadece Bluetooth açık bekleme durumu ölçüm grafiği.

Telefonda donanımsal olarak sadece Bluetooth açık iken yapılan değerlendirmede, ortalama olarak 0,006696109 A (6,696109 mA) akım çekiminin gerçekleştiği tespit edilmiştir. Batarya kapasitesine göre yapılan hesaplama sonucunda 522,6916 saat (21,7788 gün) boyunca telefonun açık kalabileceği görülmektedir.

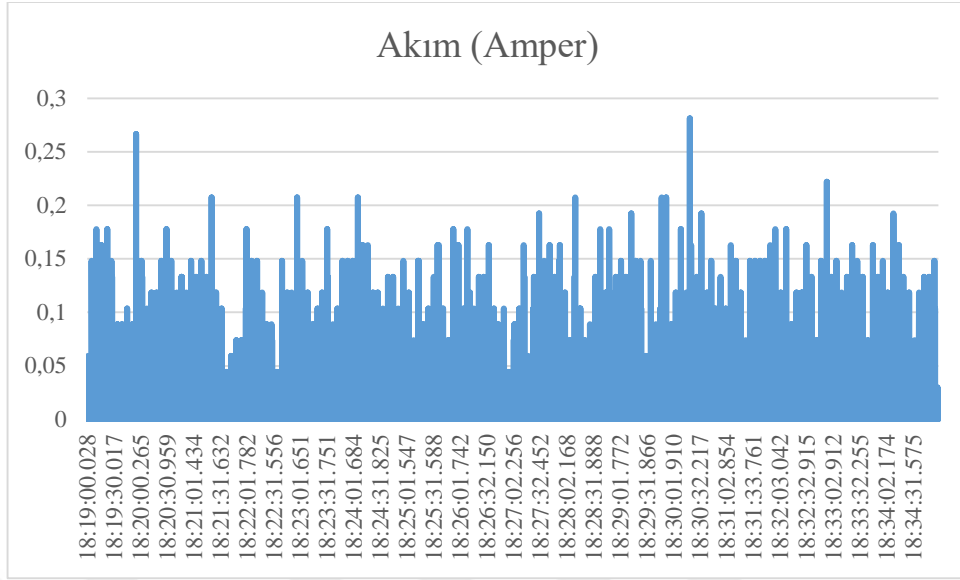
Üçüncü olarak mobil telefonun sadece GSM haberleşmesi özelliği açılmış ve ölçüm sistemi ile devreden geçen ortalama akım değeri elde edilmeye çalışılmıştır. Burada gerçekleştirilen ölçüme ait çekilen akım grafiği Şekil 5.8’de yer almaktadır.



Şekil 5.8. Telefonun sadece GSM açık bekleme durumu için ölçüm grafiği.

Telefonun sadece GSM hizmetinin açık olduğu durumun değerlendirmesinde ise, ortalama olarak devreden 0,007356712 A (7,356712 mA) akım çekildiği görülmüştür. Batarya kapasitesine göre yapılan hesaplama sonucunda da 475,7560 saat (19,8231 gün) boyunca telefonun açık kalabileceği görülmektedir. Tabii ki buradaki hesaplamalarda elde edilen değerler, telefonda başka hiçbir işlem yapılmaması kaydıyla geçerlidir.

Ardından GSM haberleşmesi özelliğinin yanı sıra donanımsal olarak Bluetooth özelliği devreye alınmış ve ölçüm sistemi ile devreden ortalama geçen akım değeri tespit edilmeye çalışılmıştır. Burada gerçekleştirilen ölçüme ait çekilen akım grafiği Şekil 5.9’de yer almaktadır.

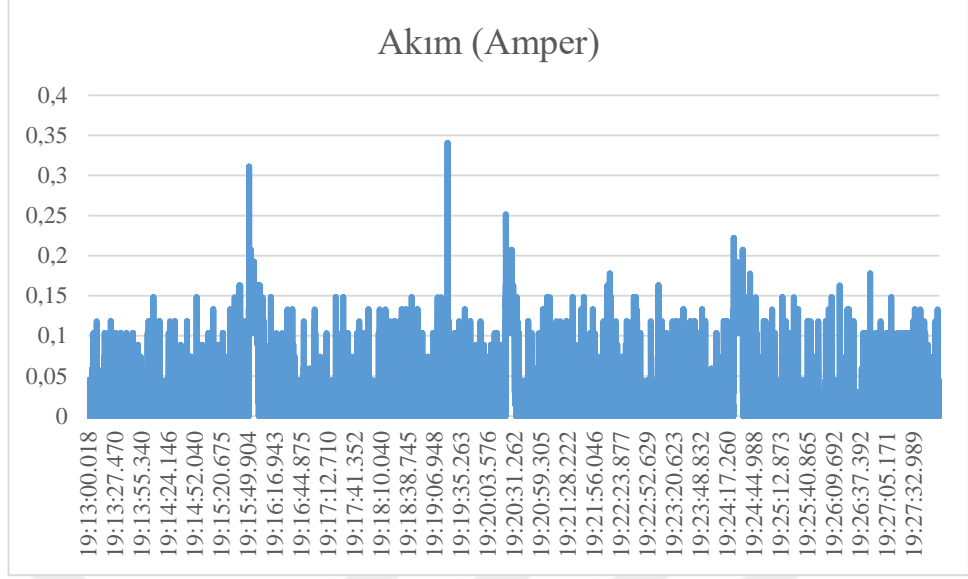


Şekil 5.9. Telefonda GSM ve Bluetooth açık bekleme durumu akım ölçüm grafiği.

Telefonda GSM hizmetinin ve donanımsal olarak Bluetooth özelliğinin açık olduğu durumun değerlendirmesinde, ortalama olarak devreden 0,007973625 A (7,973625 mA) akımın çekildiği görülmüştür. Batarya kapasitesine göre yapılan hesaplama sonucunda da 438,9471 saat (18,2894 gün) boyunca telefonun açık kalabileceği görülmektedir.

Buraya kadar yapılan testlerde, telefonun gerek uçuş kipi, gerekse donanımsal olarak Bluetooth ve GSM özelliklerinin açık olduğu anlarda çekilen akım değerleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu kısımdan itibaren ise, 3G, 4.5G ve Wi-Fi gibi internet erişiminde kullanılan donanımların açık olduğu, ancak her hangi bir veri haberleşmesine izin verilmediği durumlar için devreden geçen ortalama akım değerleri tespit edilmeye çalışılacaktır.

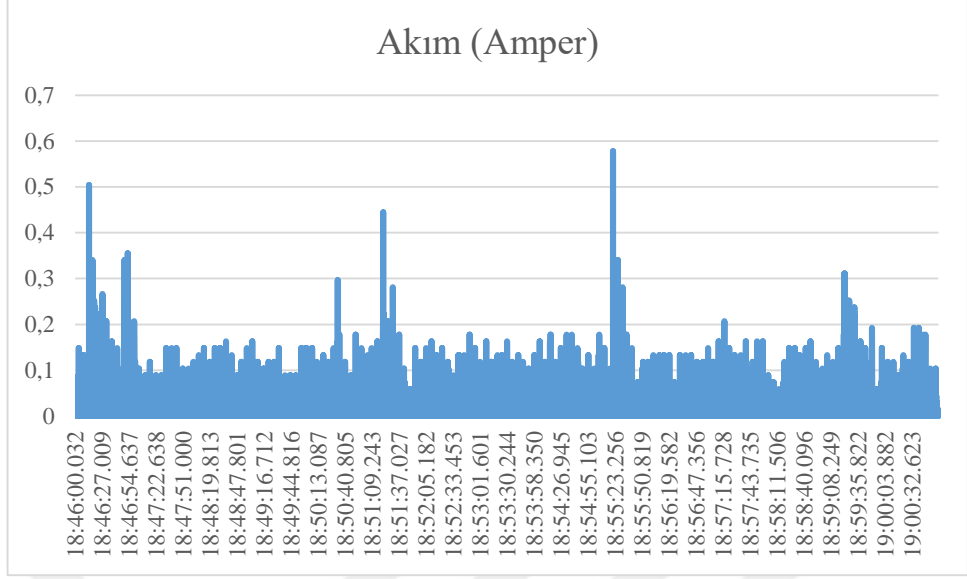
Bu testler için telefonda ilk olarak 3G mobil veri haberleşme özelliği açılmış ve ölçüm sistemi ile devreden geçen ortalama akım değeri elde edilmeye çalışılmıştır. Burada gerçekleştirilen ölçüme ait çekilen akım grafiği Şekil 5.10'de yer almaktadır



Şekil 5.10. Telefonda 3G açık bekleme durumu çekilen akım ölçüm grafiği.

Telefonda 3G mobil veri haberleşme özelliğinin açık olduğu durumun değerlendirilmesinde, devreden ortalama olarak 0,013488792 A (13,488792 mA) akım çekildiği görülmüştür. Batarya kapasitesine göre yapılan hesaplama sonucunda da 259,4746 saat (10,8114 gün) boyunca telefonun açık kalabilecektir.

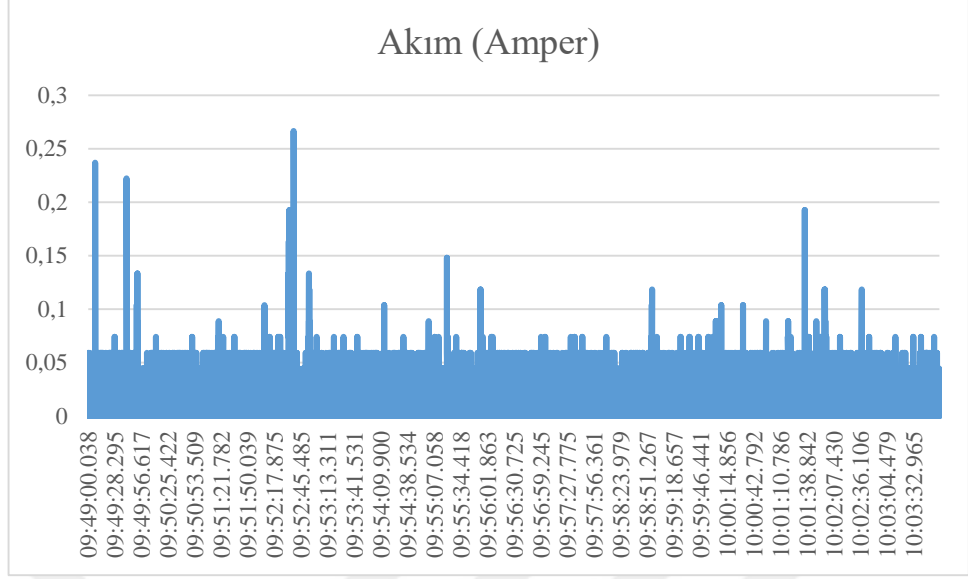
Ardından ikinci seçenek olarak 4,5G mobil veri haberleşme özelliği açılmış ve ölçüm sistemi ile devreden geçen ortalama akım değeri elde edilmeye çalışılmıştır. Burada gerçekleştirilen ölçüme ait elde edilen ölçüm grafiği Şekil 5.11’de yer almaktadır



Şekil 5.11. Telefonda 4.5G açık bekleme durumu ölçüm grafiği.

Telefonda 4,5G mobil veri haberleşme özelliğinin açık olduğu durumun değerlendirilmesinde, ortalama olarak devreden 0,012886903 A (12,886903 mA) akım çekildiği görülmüştür. Batarya kapasitesine göre yapılan hesaplama sonucunda, sadece bu kullanım şekliyle telefonun 271,5935 saat (11,31 gün) boyunca açık kalabileceği görülmektedir.

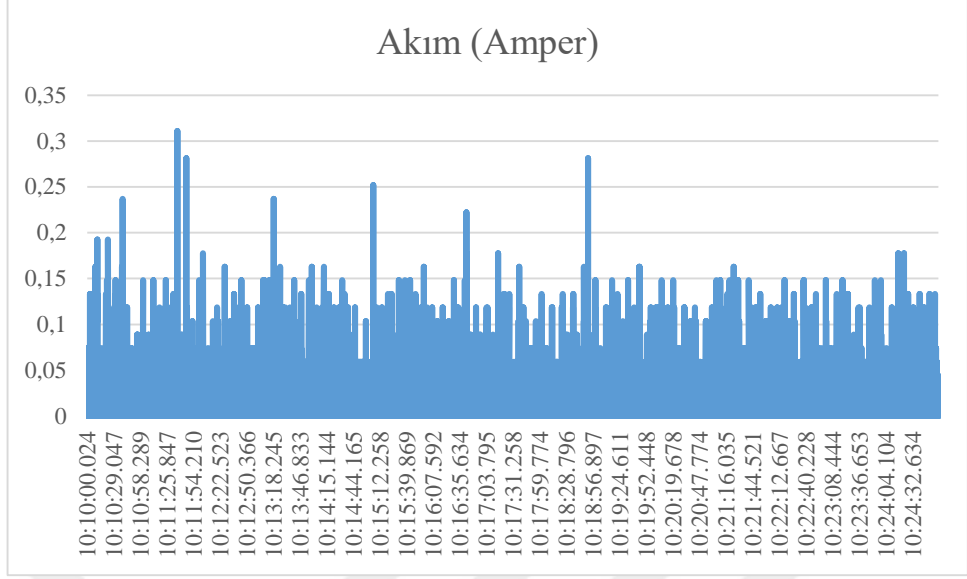
Bu kısımdaki üçüncü seçenek olan ortamdaki Wi-Fi ağı üzerinden veri haberleşme özelliği açılmış ve ölçüm sistemi ile devreden geçen ortalama akım değeri tespit edilmeye çalışılmıştır. Burada gerçekleştirilen ölçüme ait grafik Şekil 5.12’de yer almaktadır.



Şekil 5.12. Telefonda Wi-Fi açık bekleme durumu çekilen akım ölçüm grafiği.

Telefonda sadece Wi-Fi veri haberleşme özelliği açılmış ve ortamdaki erişim noktasına bağlanılmıştır. Bu erişim şeklinin değerlendirilmesinde, devreden ortalama olarak 0,008964006 A (8,964006 mA) akım çekildiği görülmüştür. Batarya kapasitesine göre yapılan hesaplama sonucunda da 390,4504 saat (16,2687 gün) boyunca telefon açık kalabilecektir.

Bu kısımdaki dördüncü seçenek olarak telefonun GSM haberleşmesiyle birlikte aynı anda ortamdaki Wi-Fi ağı üzerinden veri haberleşme özelliği açılmış ve ölçüm sistemi ile devreden geçen ortalama akım değeri tespit edilmeye çalışılmıştır. Burada gerçekleştirilen ölçüme ait çekilen akım grafiği Şekil 5.13’de yer almaktadır.



Şekil 5.13. Telefonda GSM ve Wi-Fi açık bekleme durumu ölçüm grafiği.

Telefonda GSM ve Wi-Fi ağına bağlantının sağlandığı durumun değerlendirilmesinde, devreden ortalama olarak 0,012210769 A (12,210769 mA) akım geçtiği görülmüştür. Batarya kapasitesine göre yapılan hesaplama sonucunda da 286,6322 saat (11,9430 gün) boyunca telefon açık kalabilecektir.

Şu ana kadar yapılan test işlemleri, telefonun bekleme durumundaki çekilen akımın tespitine yönelik çalışmalardır. Donanımsal olarak Bluetooth, GSM, Wi-Fi, 3G ve 4.5G özellikleri açık olarak yapılan test işlemleri için aktif veri hareketine ya da veri değişimine izin verilmemiş, sadece bekleme durumları için çekilen akım değerleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Test işlemlerinin bundan sonraki kısmında, e-posta uygulaması üzerinden aktif veri değişim özelliğine imkân sağlayan mobil veri kullanım özelliğinden yararlanılarak ilgili alternatif durumlar için çekilen akım değerleri araştırılacaktır.

### 5.3. E-posta Programı Testleri

E-posta ile ilgili değerlendirme yapılırken, ilk olarak telefonun üzerinde Android işletim sistemi ile birlikte gelen e-posta programından yararlanılmaya çalışılmış, ancak e-posta yazılımının periyodik kontrol aralığının varsayılan değerinin 15 dakika olduğu ve daha küçük bir değere değiştirme seçeneğinin bulunmadığı görülmüştür. Yapılan araştırmalar neticesinde açık kaynak kodlu “K-9 Mail” isimli yazılımın 1 dakikadan

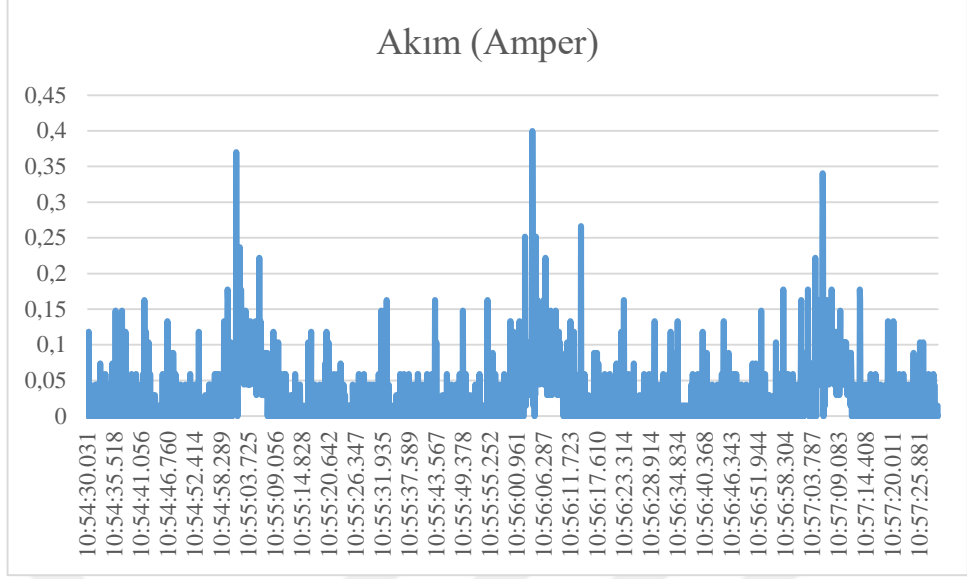
başlamak üzere 5 dakika 10 dakika gibi sürelerde periyodik kontrol aralığının değiştirilebildiği görülmüştür (Mail, 2019). Bu çalışma kapsamında geliştirilen iletişim altyapısını karşılaştırmak adına, K9-Mail isimli programı kullanmanın daha rasyonel bir seçim olacağına karar verilmiştir.

E-posta programının testlerine başlamadan önce, yine mobil telefondaki çalışan tüm uygulamalar kapatılmış ve arka planda interneti kullanan tüm uygulamaların mobil veri kullanma izinleri devre dışı bırakılmıştır. Sonrasında Android işletim sistemi üzerinde kullanılmasına karar verilen e-posta uygulamasının arka planda çalışabilmesi için gerekli ayarlamalar yapılmıştır. Mobil cihazın ve SIM kartın 3G ve 4.5G teknolojilerini desteklemesi sebebiyle her iki bağlantı yöntemi ve ilave olarak Wi-Fi üzerinden inceleme ve araştırma yapılmıştır.

Bu kısımda öncelikle seçilen e-posta yazılımı üzerinden, 1, 5 ve 10 dakika periyotlarında bir e-postanın gelip gelmediği kontrol edilecek ve bu kontroller esnasında çekilen akım belirlenmeye çalışılacaktır. Ancak bu kontrol aralıklarında test e-posta gönderimi yapılarak ve yapılmayarak olmak üzere 2 ayrı durum için devreden geçen akım değerleri belirlenmeye çalışılacaktır. Her iki durumun tespiti için belirlenen kontrol aralığının 3 katı oranındaki bir süre boyunca ölçüm işlemleri yapılacaktır. Ayrıca ölçüm anlarındaki çekilen akımın tepe noktalarını gösterebilmek için kontrol aralığı değerinin yarı değerinden önce ölçümün başlatılmasına karar verilmiştir. Böylece oluşan grafiklerde simetrik bir görünüm elde edilebilecektir.

Sonrasında test işlemlerine başlama öncesinde, e-posta programında hesap yapılandırma işlemleri yapılmış, e-posta alımındaki protokol POP3 olarak belirlenmiş ve kontrol aralığı ise ilk test için 1 dakika olarak ayarlanmıştır. Ardından 1 dakikalık periyodun ilk testinde bağlantı seçeneği GSM ve Wi-Fi olarak belirlendiği için, Wi-Fi üzerinden ortamdaki erişim noktasına bağlantı sağlanmıştır. Sonrasında 1 dakikalık aralıklar ile 3 adet e-posta gönderimi yapılmış ve ölçüm sistemi ile devreden ortalama geçen akım değeri elde edilmeye çalışılmıştır. Gerçekleştirilen ölçüme ait çekilen akım grafiği Şekil 5.14'de gösterilmektedir.

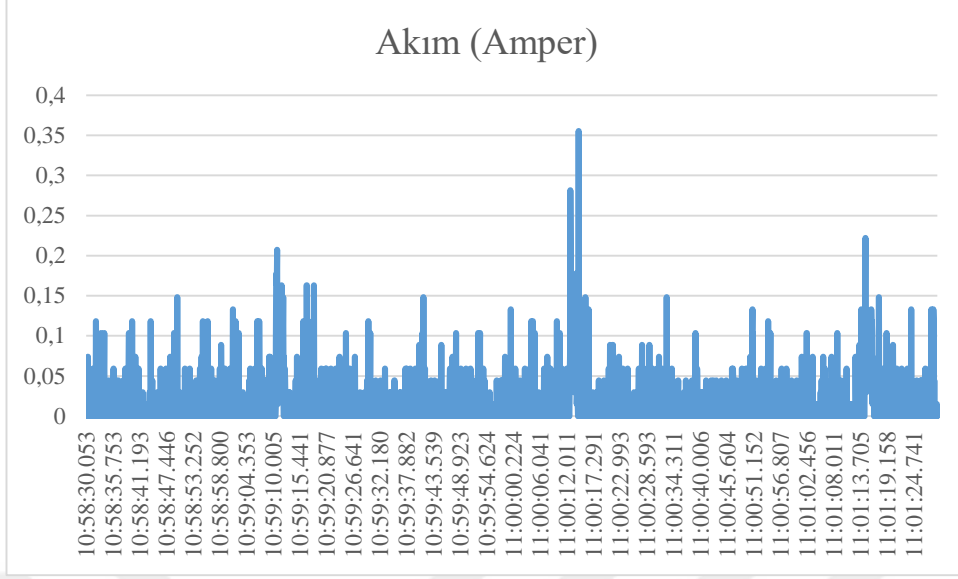




Şekil 5.14. E-posta programı GSM ve Wi-Fi açık 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durum için devreden geçen akım.

Bu erişim şeklinin değerlendirilmesinde, devreden ortalama olarak 0,022230571 A (22,230571 mA) akım geçtiği görülmüştür. Batarya kapasitesine göre yapılan hesaplama sonucunda da 157,440844 saat (6,560035 gün) boyunca telefon açık kalabilecektir. Ayrıca ölçümlerin yapılması esnasında, bildirimlerin sesli uyarı olarak geldiği zaman bilgisi not alınmıştır. Not alınan bildirim zamanları ile grafikteki tepe noktasına yükselme anlarının eşleştiği görülmüştür.

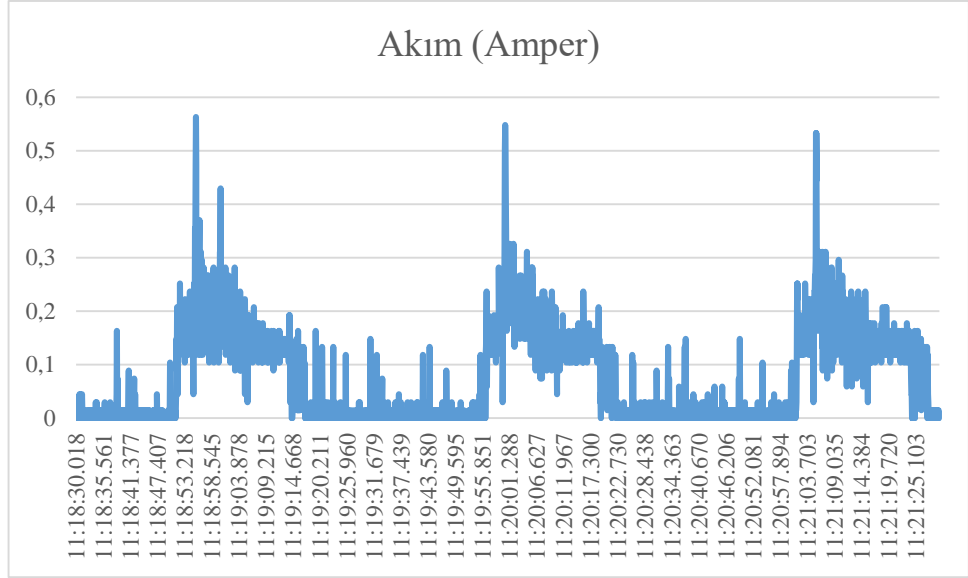
Sonrasında 1 dakikalık periyodun ikinci testinde bağlantı seçeneği yine GSM ve Wi-Fi olarak bırakılmış ve 3 dakika boyunca her hangi bir test e-postası gönderilmeksizin ölçüm yapılmış ve ölçüm sistemi ile devreden ortalama geçen akım değeri tespit edilmeye çalışılmıştır. Gerçekleştirilen ölçüme ait çekilen akım grafiği Şekil 5.15’de gösterilmektedir.



Şekil 5.15. E-posta programı GSM ve Wi-Fi açık 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durum için devreden geçen akım.

İkinci erişim şeklinin değerlendirilmesinde, devreden ortalama olarak 0,014676728 A (14,676728 mA) akım geçtiği görülmüştür. Batarya kapasitesine göre yapılan hesaplama sonucunda da 238,472771 saat (9,936365 gün) boyunca telefon, başka hiçbir programın açılmaması ya da çalıştırılmaması kaydıyla açık kalabilecektir.

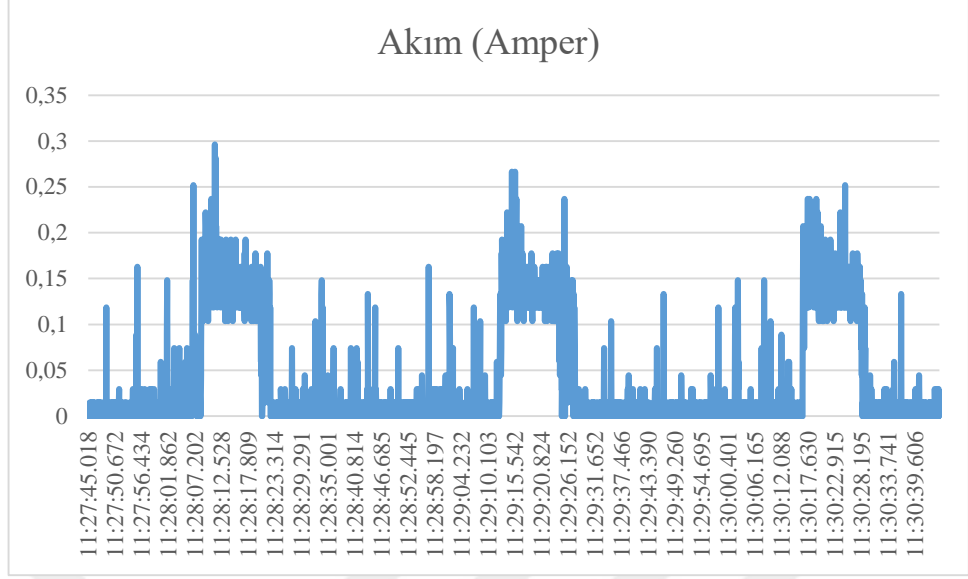
Ardından 1 dakikalık periyod ile bağlantı seçeneği 3G olarak belirlenmiştir. Sonrasında 1 dakika aralıklarla 3 adet e-posta gönderimi yapılmış ve ölçüm sistemi ile devreden ortalama geçen akım değeri tespit edilmeye çalışılmıştır. Gerçekleştirilen ölçüme ait devreden geçen akım grafiği Şekil 5.16'da gösterilmektedir.



Şekil 5.16. E-posta programı 3G açık 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durum için devreden geçen akım.

Bu erişim şeklinin değerlendirilmesinde de, devreden ortalama olarak 0,074035475 A (74,035475 mA) akım geçtiği görülmüştür. 3500 mAh değerindeki batarya kapasitesine göre yapılan hesaplama sonucunda da 47,274634 saat (1,969776 gün) boyunca telefon açık kalabilecektir. Ayrıca ölçümlerin yapılması esnasında yine, bildirimlerin sesli uyarı olarak geldiği zaman bilgisi not alınmış ve not alınan bildirim zamanları ile grafikteki tepe noktası yükselme anlarının eşleştiği görülmüştür.

Sonrasında e-posta gönderimi yapılmaksızın 3G bağlantı seçeneği ile test tekrarlanmış ve ölçüm sistemi ile devreden ortalama geçen akım değeri tespit edilmeye çalışılmıştır. Gerçekleştirilen ölçüme ait çekilen akım grafiği Şekil 5.17’de gösterilmektedir.



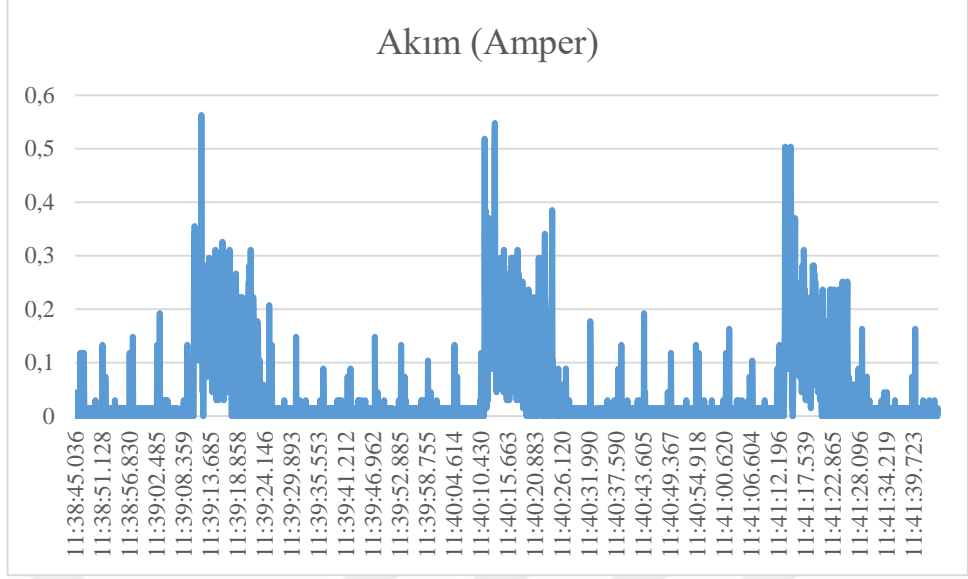
Şekil 5.17. E-posta programı 3G açık 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durum için devreden çekilen akım.

3G ile erişim kullanılarak ve e-posta gönderilmeksizin yapılan testin değerlendirilmesinde, devreden ortalama olarak 0,038537568 A (38,537568 mA) akım geçtiği görülmüştür. Batarya kapasitesine göre yapılan hesaplama sonucunda da 90,820469 saat (3,784186 gün) boyunca telefon açık kalabilecektir.

Sonrasında yapılan ölçümde;

- Bağlantı yöntemi: 4.5G,
- E-posta programı kontrol periyodu: 1 dakika,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,037761868 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.18).

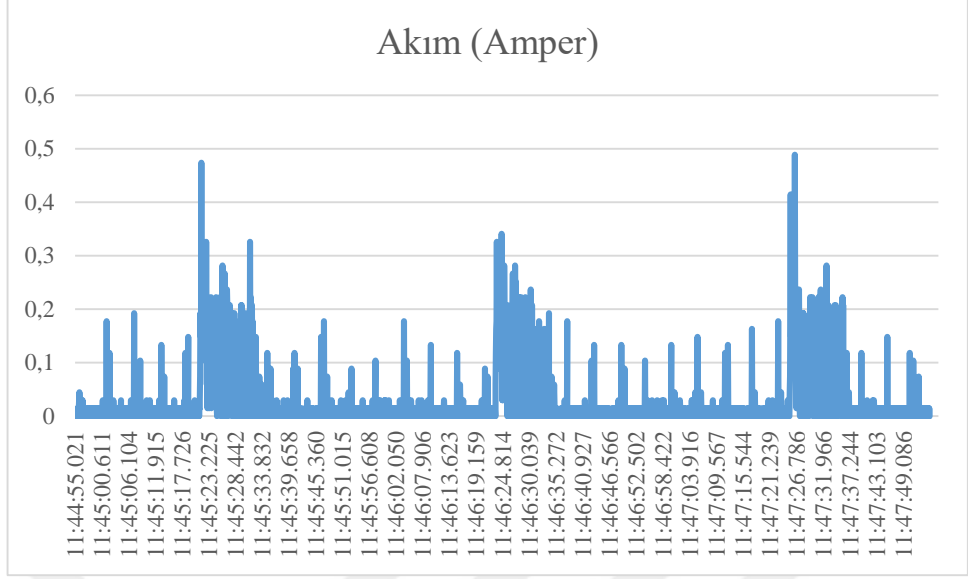


Şekil 5.18. E-posta programı 4.5G açık 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durum için devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Bağlantı yöntemi: 4.5G,
- E-posta programı kontrol periyodu: 1 dakika,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılmayarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,025074638 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.19).

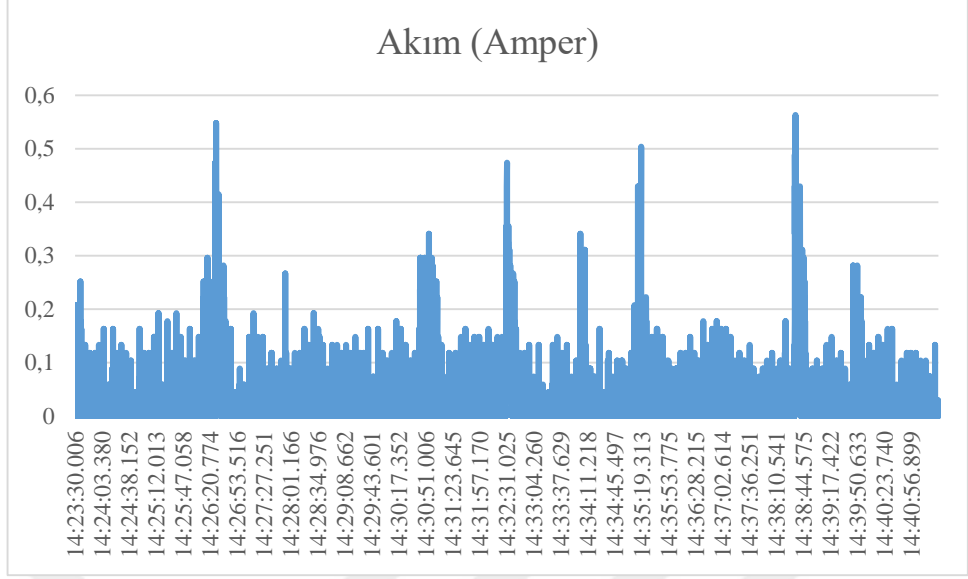


Şekil 5.19. E-posta programı 4.5G açık 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durum için devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Bağlantı yöntemi: 4.5G,
- E-posta programı kontrol periyodu: 5 dakika,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,015639176 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.20).

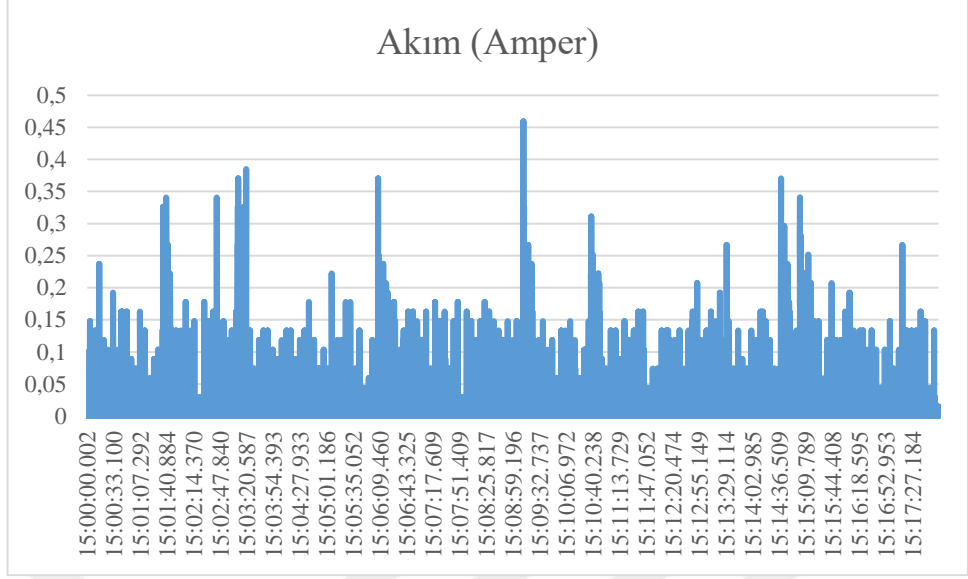


Şekil 5.20. E-posta programı 4.5G açık 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durum için devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Bağlantı yöntemi: 4.5G,
- E-posta programı kontrol periyodu: 5 dakika,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılmayarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,012091934 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.21).



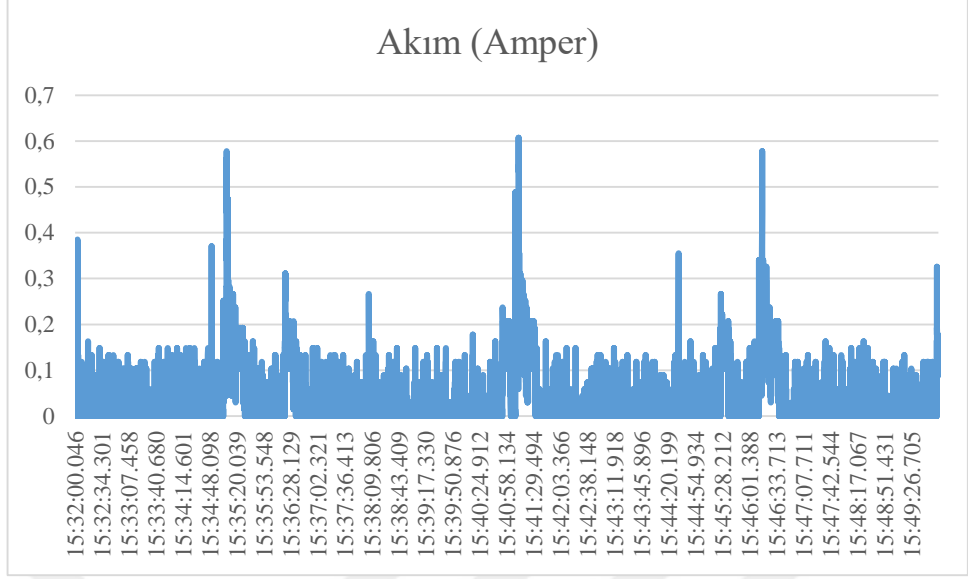
Şekil 5.21. E-posta programı 4.5G açık 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durum için devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Bağlantı yöntemi: 3G,
- E-posta programı kontrol periyodu: 5 dakika,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,024635719 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.22).



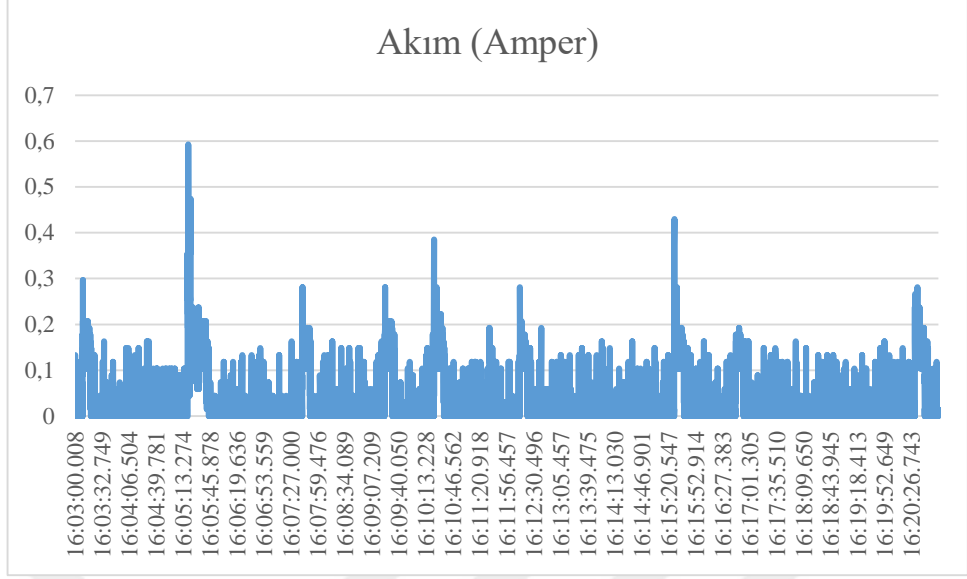


Şekil 5.22. E-posta programı 3G açık 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durum için devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Bağlantı yöntemi: 3G,
- E-posta programı kontrol periyodu: 5 dakika,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılmayarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,022754501 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.23).

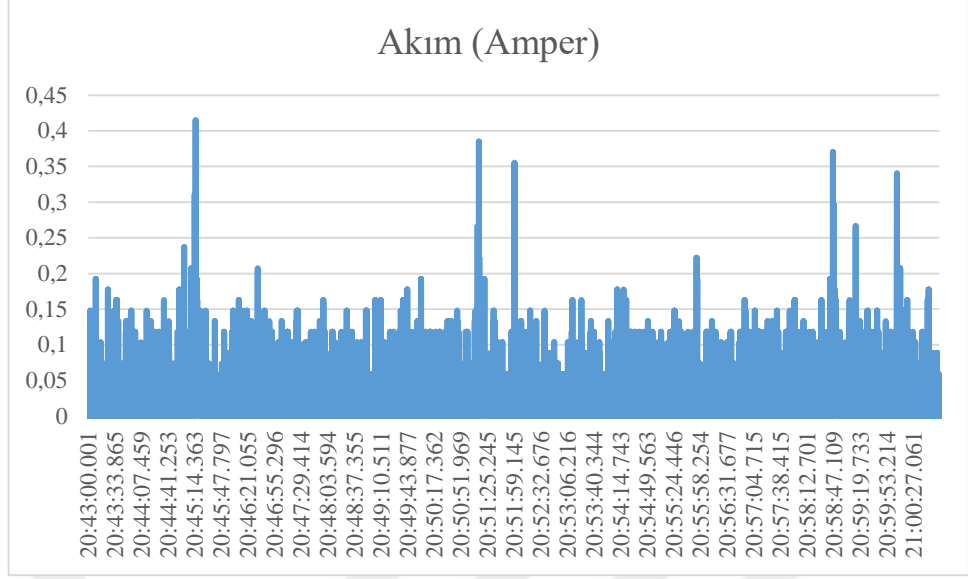


Şekil 5.23. E-posta programı 3G açık 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durum için devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Bağlantı yöntemi: GSM ve Wi-Fi,
- E-posta programı kontrol periyodu: 5 dakika,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,013876346 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.24).

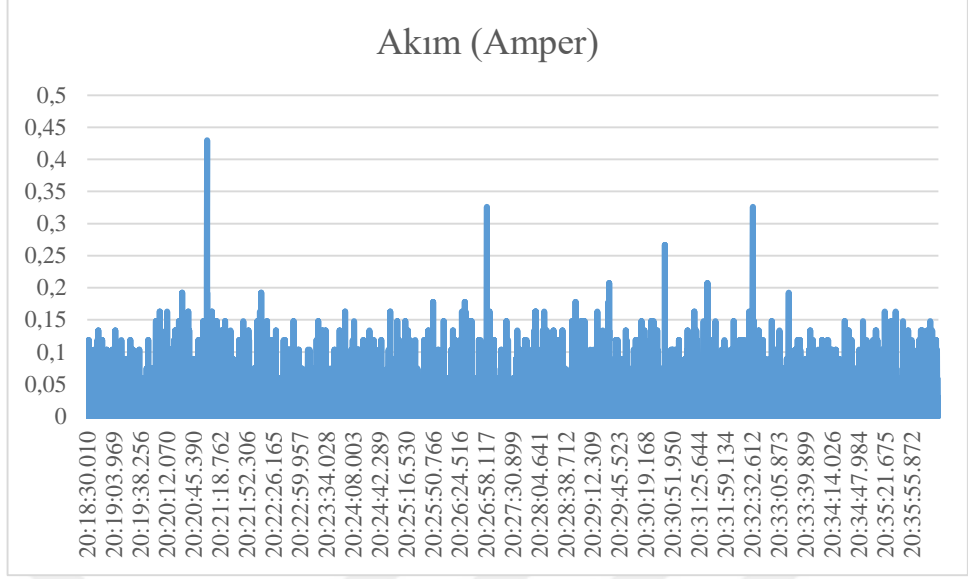


Şekil 5.24. E-posta programı GSM ve Wi-Fi açık 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durum için devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Bağlantı yöntemi: GSM ve Wi-Fi,
- E-posta programı kontrol periyodu: 5 dakika,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılmayarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,012796503 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.25).

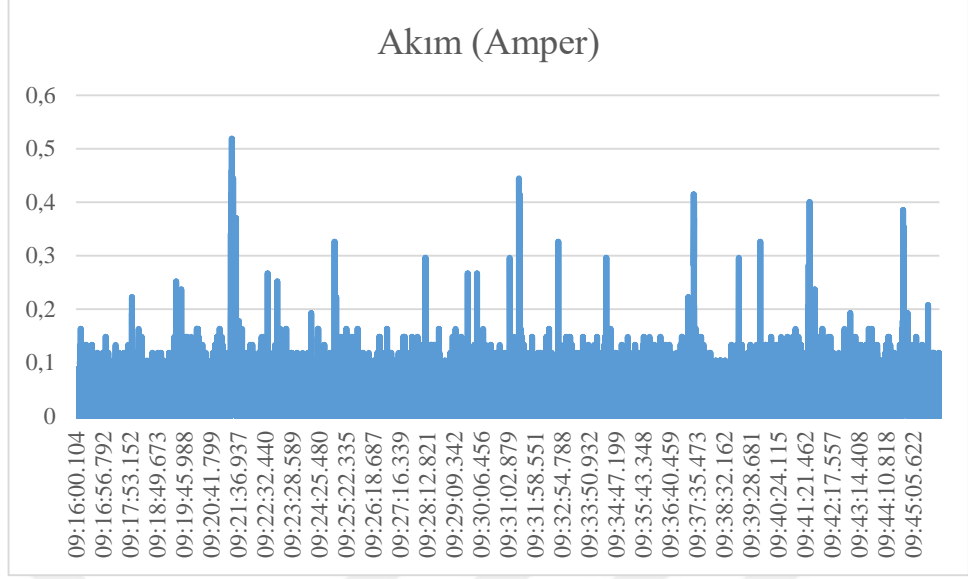


Şekil 5.25. E-posta programı GSM ve Wi-Fi açık 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durum için devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Bağlantı yöntemi: GSM ve Wi-Fi,
- E-posta programı kontrol periyodu: 10 dakika,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,013800491 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.26).

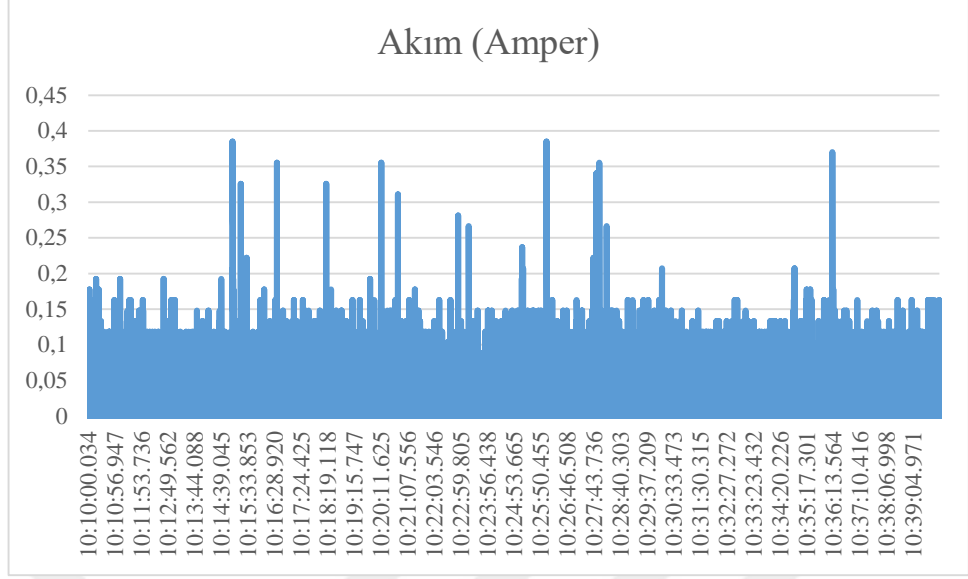


Şekil 5.26. E-posta programı GSM ve Wi-Fi açık 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durum için devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Bağlantı yöntemi: GSM ve Wi-Fi,
- E-posta programı kontrol periyodu: 10 dakika,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılmayarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,013004870 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.27).

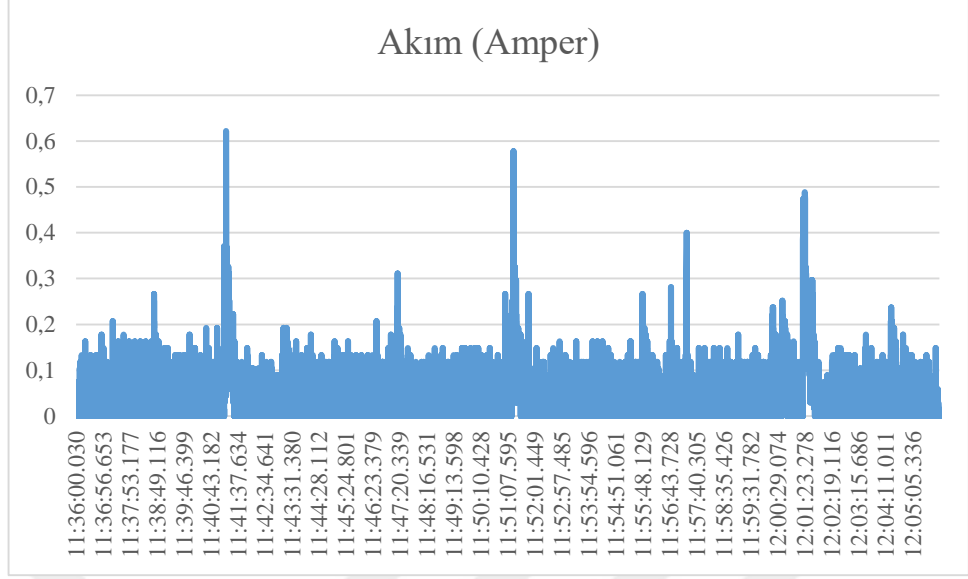


Şekil 5.27. E-posta programı GSM ve Wi-Fi açık 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durum için devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Bağlantı yöntemi: 3G,
- E-posta programı kontrol periyodu: 10 dakika,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,019501503 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.28).

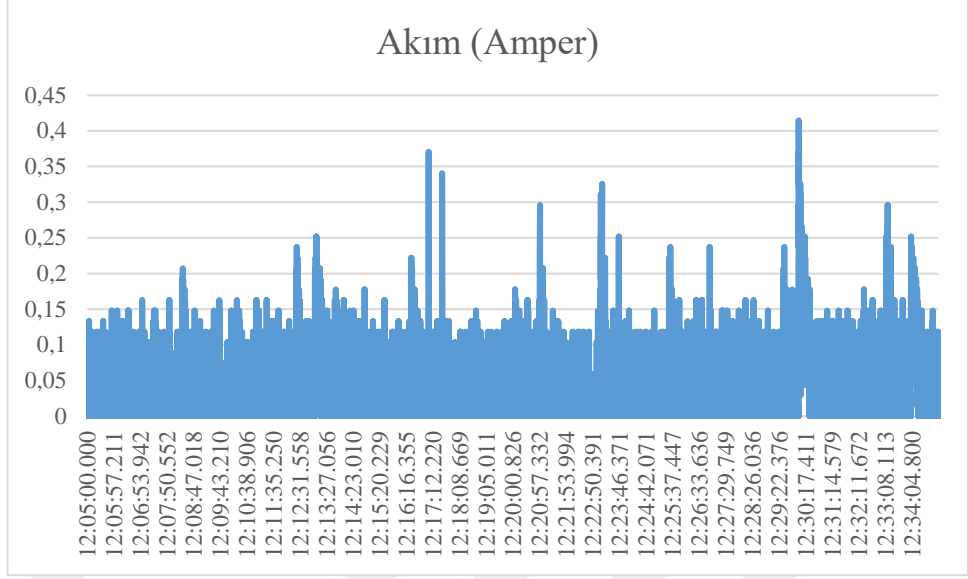


Şekil 5.28. E-posta programı 3G açık 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durum için devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Bağlantı yöntemi: 3G,
- E-posta programı kontrol periyodu: 10 dakika,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılmayarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,016689216 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.29).



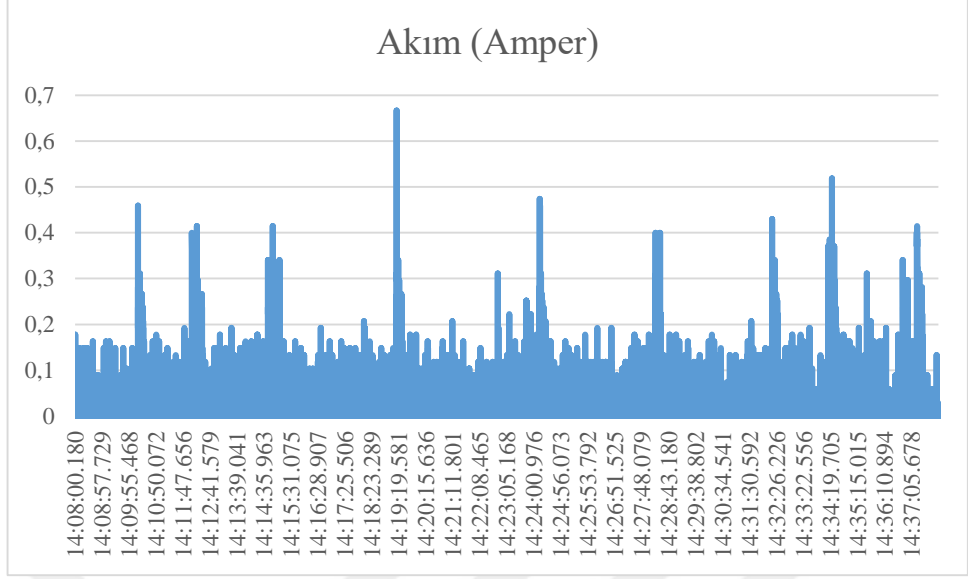
Şekil 5.29. E-posta programı 3G açık 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durum için devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Bağlantı yöntemi: 4.5G,
- E-posta programı kontrol periyodu: 10 dakika,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,014943463 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.30).



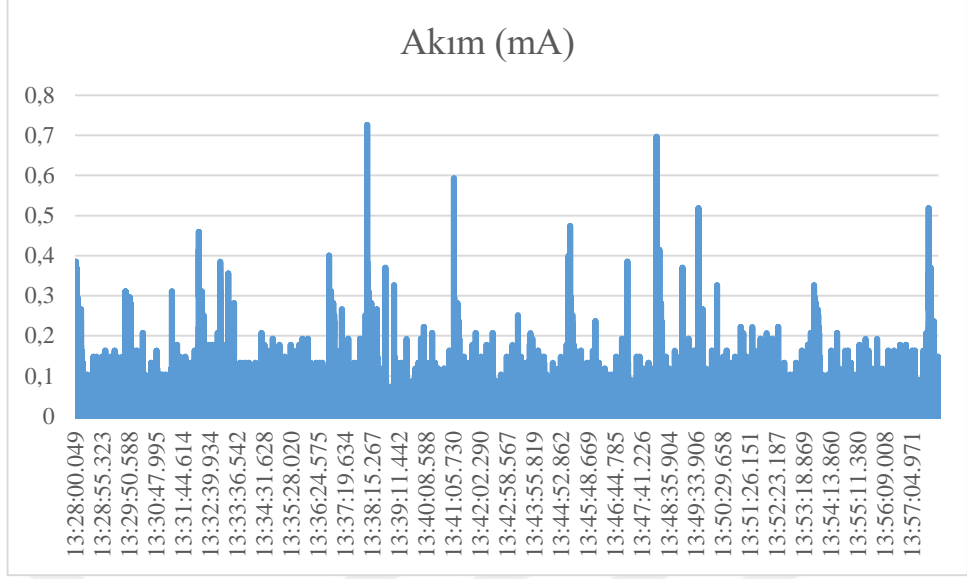


Şekil 5.30. E-posta programı 4.5G açık 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durum için devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Bağlantı yöntemi: 4.5G,
- E-posta programı kontrol periyodu: 10 dakika,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılmayarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,014490330 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.31).



Şekil 5.31. E-posta programı 4.5G açık 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durum için devreden geçen akım.

#### 5.4. Geliştirilen Mobil Uygulamanın Testleri

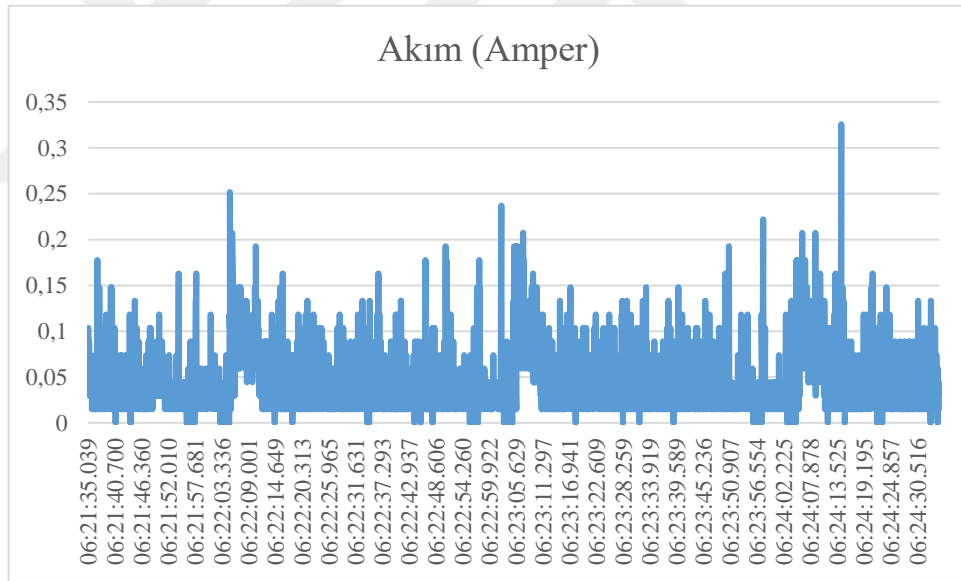
Verimlilik çalışmanın bu kısmında, geliştirilen Mobil Uygulamadaki enerji tüketimi araştırılacaktır. E-posta uygulamasının çalışabilmesi için 3G veya 4.5G üzerinden mobil veri hizmetleri aracılığıyla testler yapılmıştı. Sonrasında da GSM ve Wi-Fi üzerinden aynı testler tekrar edilmişti. Mobil Uygulama tamamen BLE üzerinden haberleştiği için, donanımsal olarak sadece GSM ve Bluetooth açık durumu için çekilen akım tespit edilmeye çalışılacaktır. Ancak Mobil Uygulama üzerinde, daha önce açıklamaları yapılan 3 adet iletişim metodunun her biri için bu testler tekrar edilecektir.

Test işlemlerine başlama öncesinde yine arka planda çalışan tüm uygulamalar kapatılmış ve uygulamaların veri kullanma izinleri kısıtlanmıştır. Android işletim sistemi üzerinde sadece geliştirilen Mobil Uygulamanın arka planda çalışabilmesi için gerekli ayarlamalar yapılmış ve donanımsal olarak Bluetooth aktif edilmiştir.

Ardından BLE Ağ Geçit Cihazındaki tüm ayarlamalar yapılarak e-posta kontrolüne hazır hale getirilmiştir. BLE Ağ Geçit Cihazının üzerinde yer alan fiziksel butona, ilgili test aşamasında periyodik kontrol döngüsünün manuel başlatılabilmesi ile ilgili gerekli kodlama yapılmıştır.

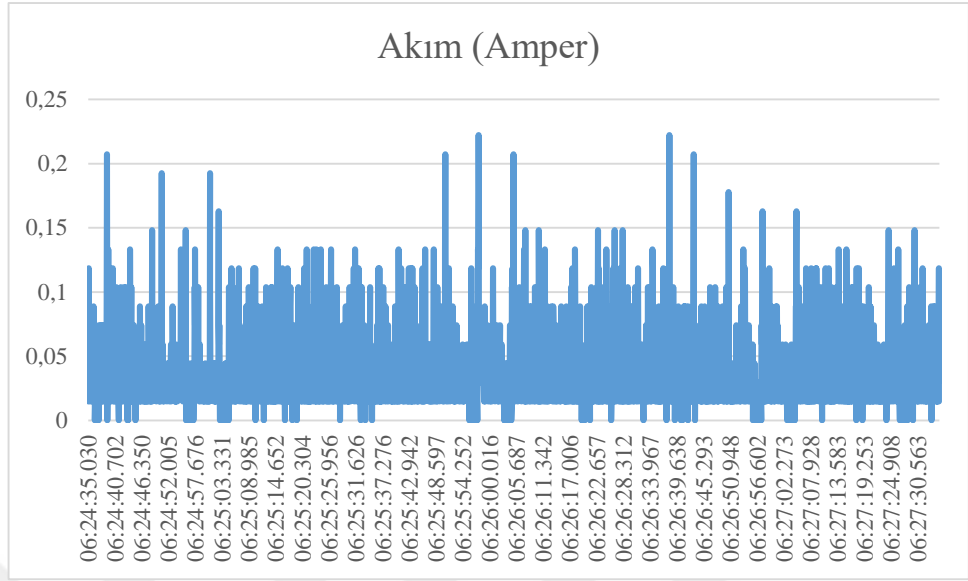
Sonrasında Mobil Uygulamanın yönetimsel yapılandırma formu üzerinden kullanıcıya ilk test için İletişim Metodu-1 değeri atanmış ve bu bilgilerin BLE Ağ Geçit Cihazına aktarılması sağlanmıştır. Daha sonra mobil uygulama üzerinden bildirimleri almak üzere BLE Ağ Geçit Cihazına bağlanılmış ve 1 dakika aralıklı test işlemi için e-posta gönderimine başlanmıştır. BLE Ağ Geçit Cihazı üzerinden de her 1 dakikada bir, fiziksel buton vasıtasıyla periyodik kontrol tetiklenmiştir.

İlk test sonucu elde edilen grafik Şekil 5.32’de gösterilmiştir. Her periyodik kontrol işleminin sonunda Mobil Uygulama üzerinden bildirim geldiği görülmüştür. Grafikte yer alan ve devreden geçen akım değerlerindeki tepe noktaları ile bildirim zamanlarının örtüştüğü gözlemlenmiştir. Mobil uygulamanın bu koşullar altında çalıştırılarak gerçekleştirilen ölçüm sonucunda, devreden ortalama olarak 0,045026762 A (45,026762 mA) akım geçtiği tespit edilmiştir.



Şekil 5.32. Mobil uygulama İletişim Metodu-1 için 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durumda devreden geçen akım.

Bu testin ardından, aynı koşullarda test e-postası gönderilmeksizin ölçüm işlemlerine devam edilmiştir. Yine her 1 dakikalık periyotta butona basılarak kontrol işlemleri devam etmiştir. Bu teste ait devreden geçen ortalama akım değeri 0,038182629 A (38,182629 mA) olarak tespit edilmiş ve sonuç grafiği Şekil 5.33’de gösterilmiştir.

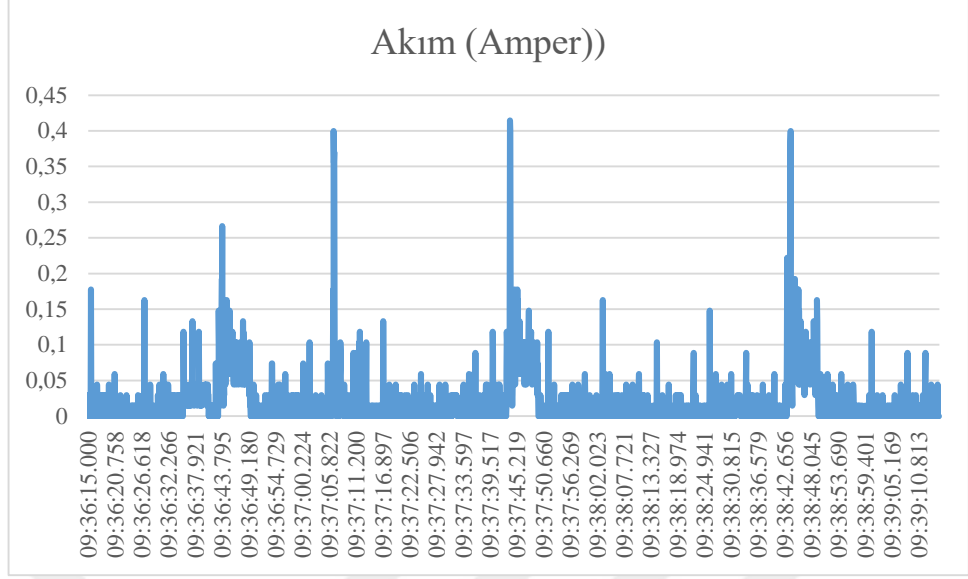


Şekil 5.33. Mobil uygulama İletişim Metodu-1 için 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durumda devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Mobil Uygulama kontrol aralığı: 1 dakika,
- Mobil Uygulama haberleşme yöntemi: İletişim Metodu-2,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,019049850 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.34).

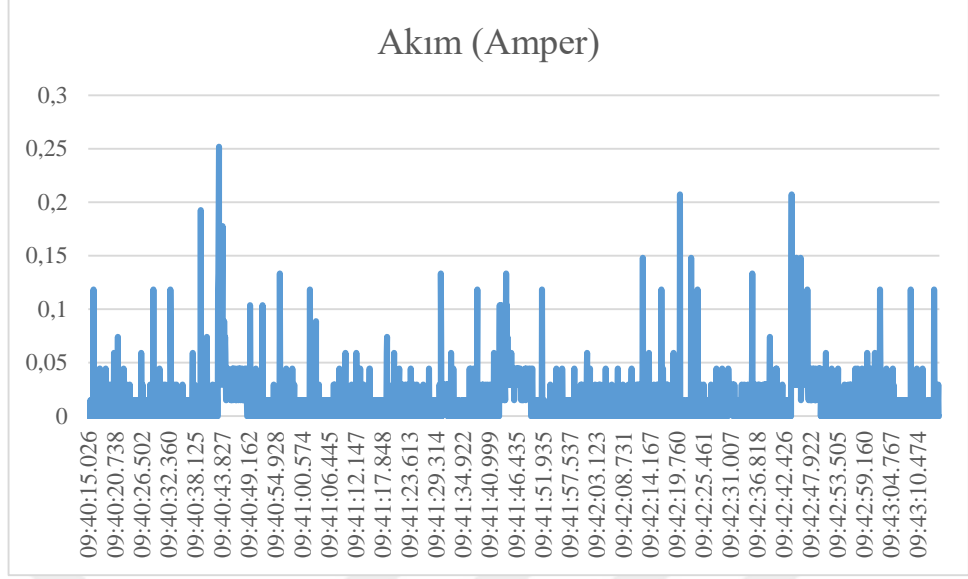


Şekil 5.34. Mobil uygulama İletişim Metodu-2 için 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durumda devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Mobil Uygulama kontrol aralığı: 1 dakika,
- Mobil Uygulama haberleşme yöntemi: İletişim Metodu-2,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılmayarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,012275744 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.35).

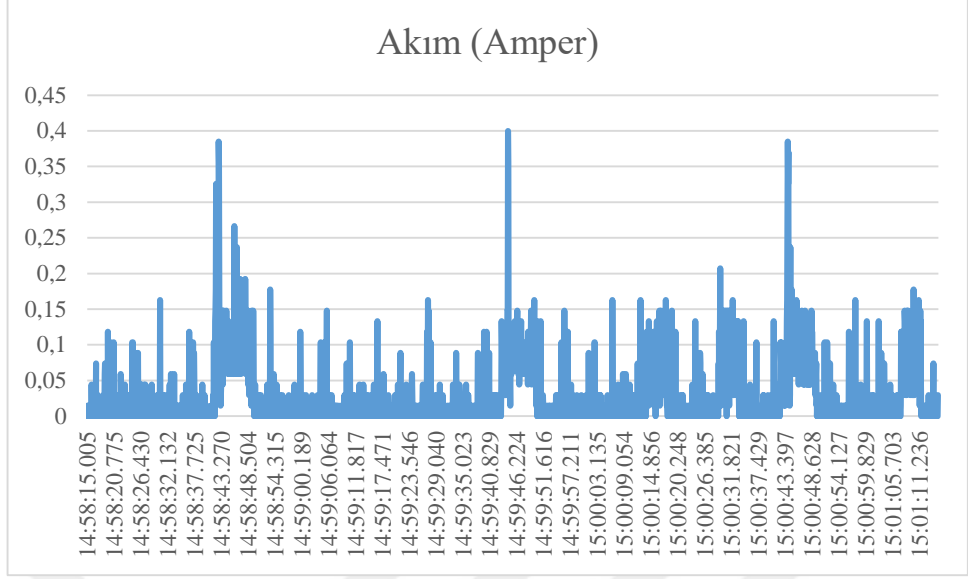


Şekil 5.35. Mobil uygulama İletişim Metodu-2 için 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durumda devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Mobil Uygulama kontrol aralığı: 1 dakika,
- Mobil Uygulama haberleşme yöntemi: İletişim Metodu-3,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,019049850 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.36).

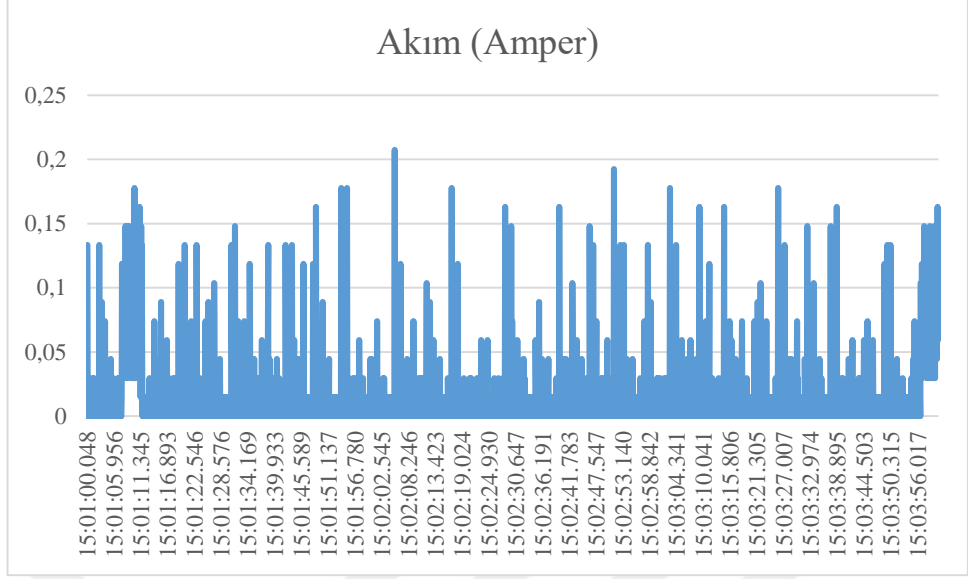


Şekil 5.36. Mobil uygulama İletişim Metodu-3 için 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durumda devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Mobil Uygulama kontrol aralığı: 1 dakika,
- Mobil Uygulama haberleşme yöntemi: İletişim Metodu-3,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılmayarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,012275744 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.37).



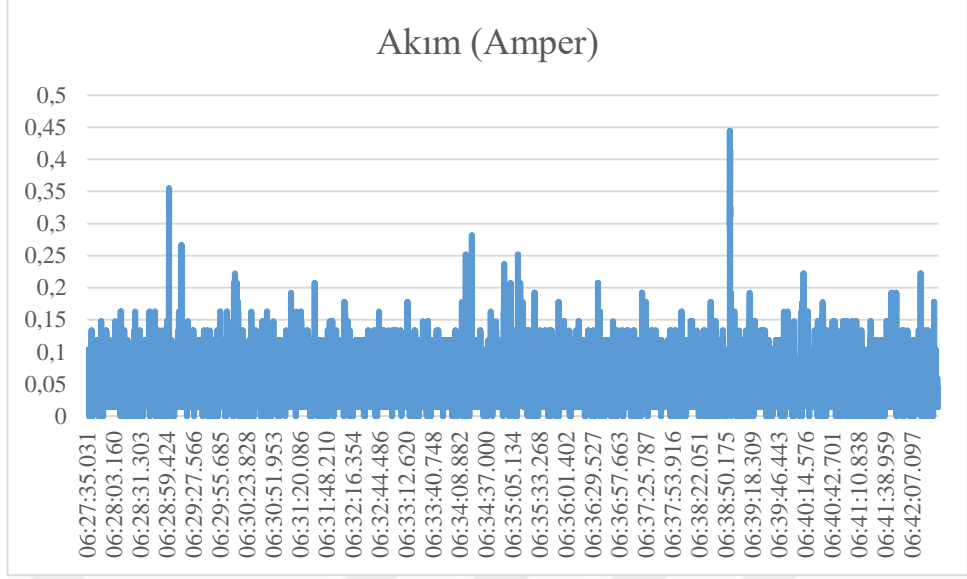
Şekil 5.37. Mobil uygulama İletişim Metodu-3 için 1 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durumda devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Mobil Uygulama kontrol aralığı: 5 dakika,
- Mobil Uygulama haberleşme yöntemi: İletişim Metodu-1,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,041013843 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.38).



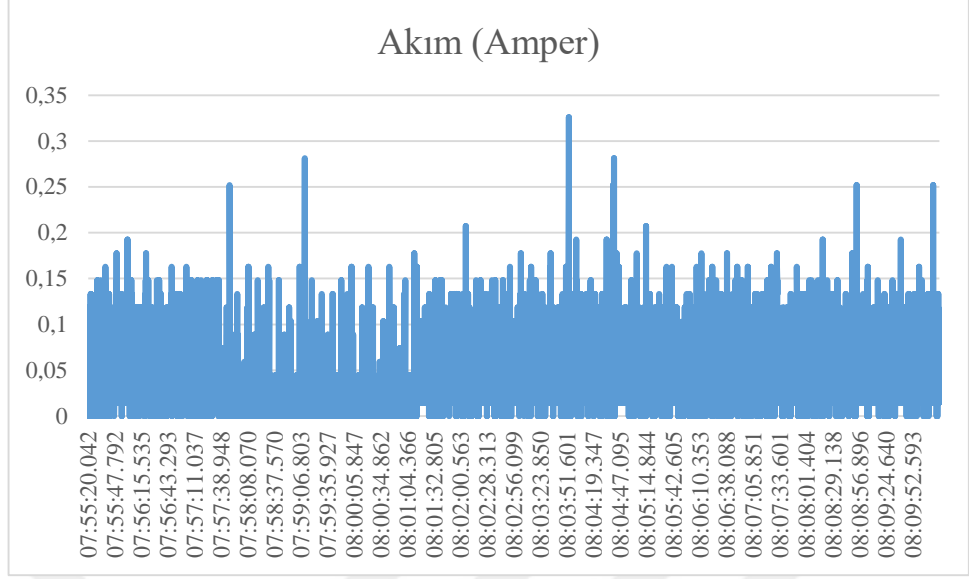


Şekil 5.38. Mobil uygulama İletişim Metodu-1 için 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durumda devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Mobil Uygulama kontrol aralığı: 5 dakika,
- Mobil Uygulama haberleşme yöntemi: İletişim Metodu-1,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılmayarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,033133199 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.39).

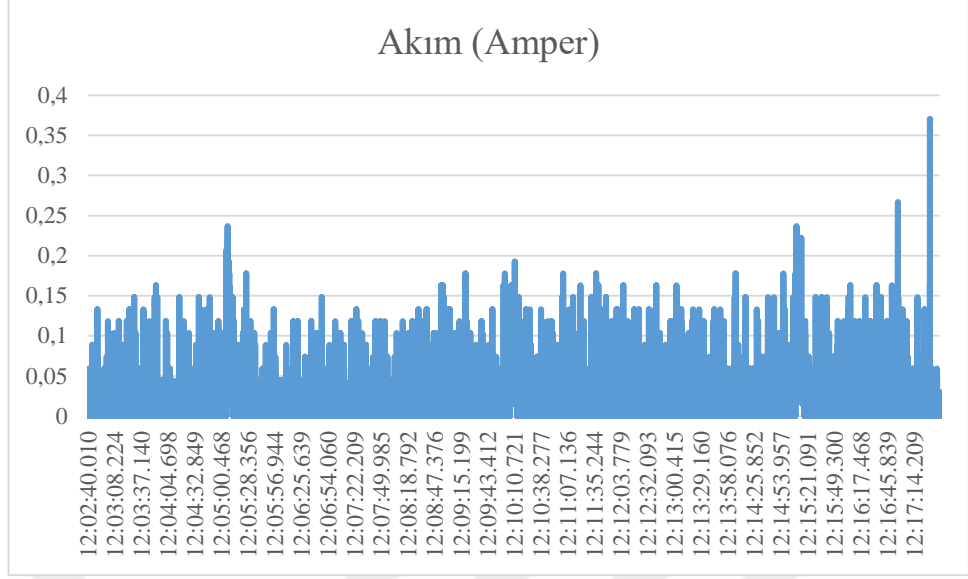


Şekil 5.39. Mobil uygulama İletişim Metodu-1 için 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durumda devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Mobil Uygulama kontrol aralığı: 5 dakika,
- Mobil Uygulama haberleşme yöntemi: İletişim Metodu-2,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,012171759 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.40).

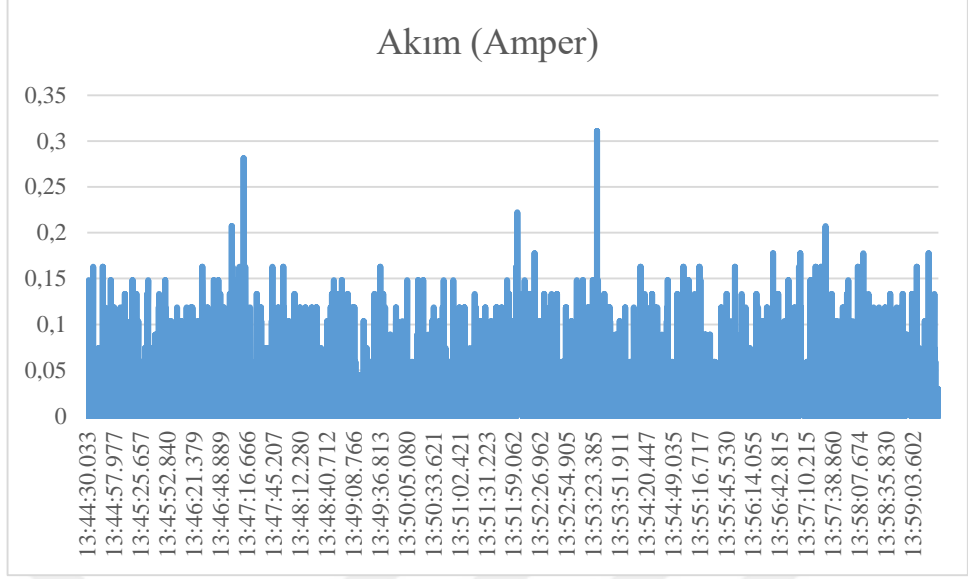


Şekil 5.40. Mobil uygulama İletişim Metodu-2 için 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durumda devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Mobil Uygulama kontrol aralığı: 5 dakika,
- Mobil Uygulama haberleşme yöntemi: İletişim Metodu-2,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılmayarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,011849846 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.41).

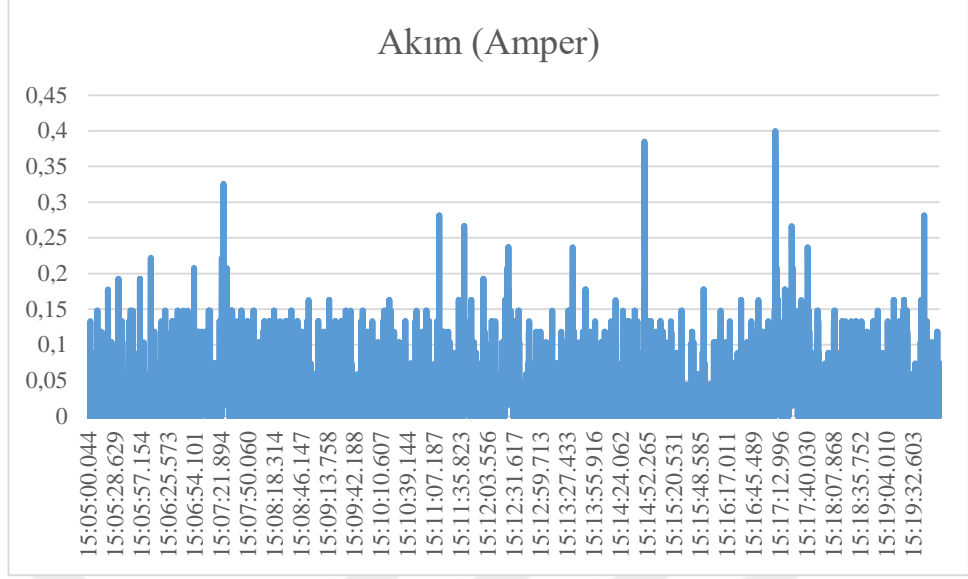


Şekil 5.41. Mobil uygulama İletişim Metodu-2 için 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durumda devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Mobil Uygulama kontrol aralığı: 5 dakika,
- Mobil Uygulama haberleşme yöntemi: İletişim Metodu-3,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,014299329 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.42).

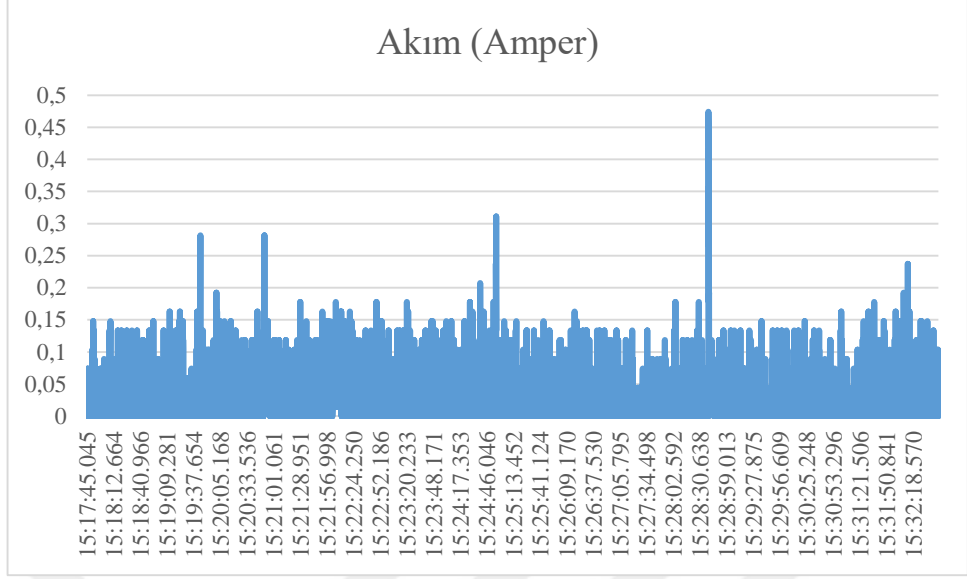


Şekil 5.42. Mobil uygulama İletişim Metodu-3 için 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durumda devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Mobil Uygulama kontrol aralığı: 5 dakika,
- Mobil Uygulama haberleşme yöntemi: İletişim Metodu-3,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılmayarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,013966905 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.43).

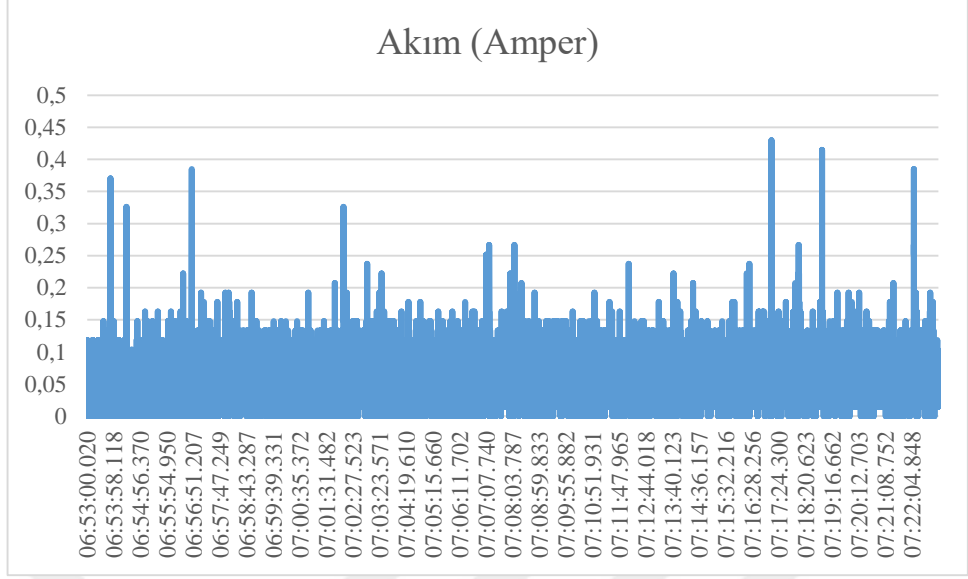


Şekil 5.43. Mobil uygulama İletişim Metodu-3 için 5 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durumda devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Mobil Uygulama kontrol aralığı: 10 dakika,
- Mobil Uygulama haberleşme yöntemi: İletişim Metodu-1,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,037160474 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.44).

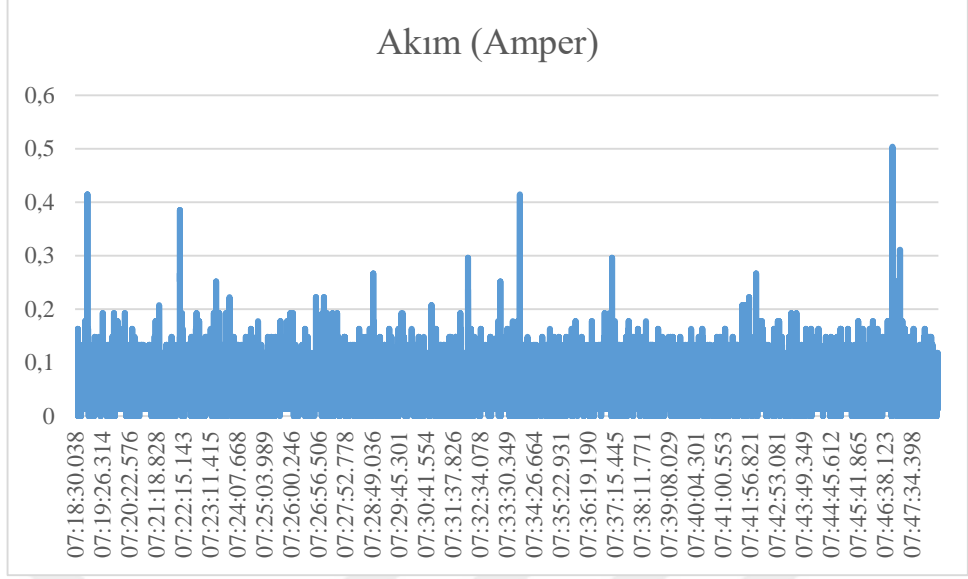


Şekil 5.44. Mobil uygulama İletişim Metodu-1 için 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durumda devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Mobil Uygulama kontrol aralığı: 10 dakika,
- Mobil Uygulama haberleşme yöntemi: İletişim Metodu-1,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılmayarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,040147218 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.45).



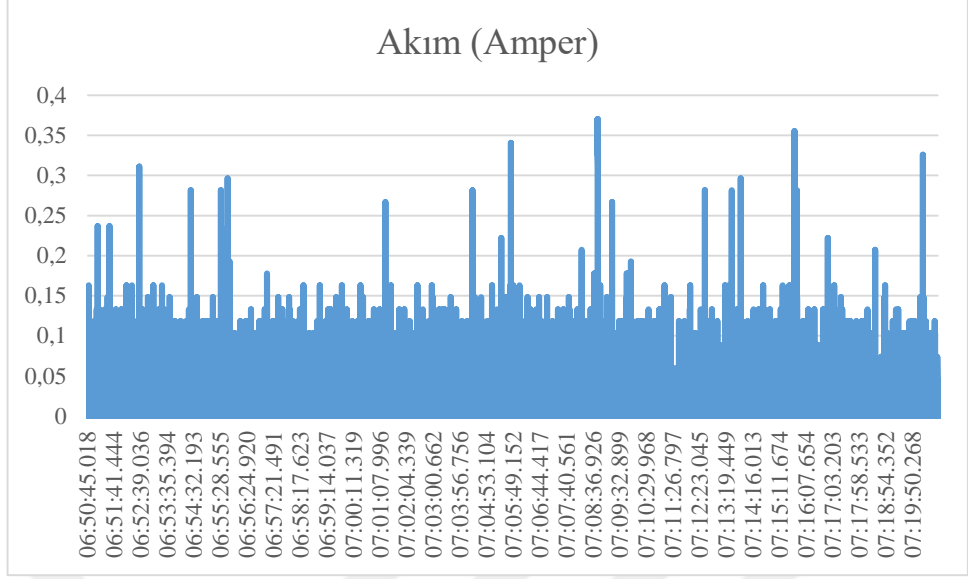
Şekil 5.45. Mobil uygulama İletişim Metodu-1 için 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durumda devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Mobil Uygulama kontrol aralığı: 10 dakika,
- Mobil Uygulama haberleşme yöntemi: İletişim Metodu-2,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,010802928 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.46).



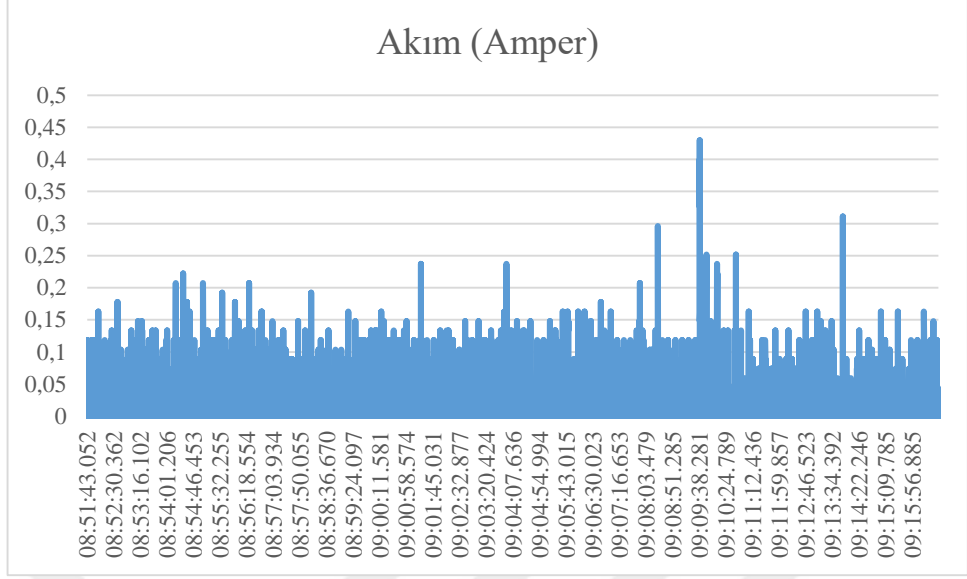


Şekil 5.46. Mobil uygulama İletişim Metodu-2 için 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durumda devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Mobil Uygulama kontrol aralığı: 10 dakika,
- Mobil Uygulama haberleşme yöntemi: İletişim Metodu-2,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılmayarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,010371193 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.47).

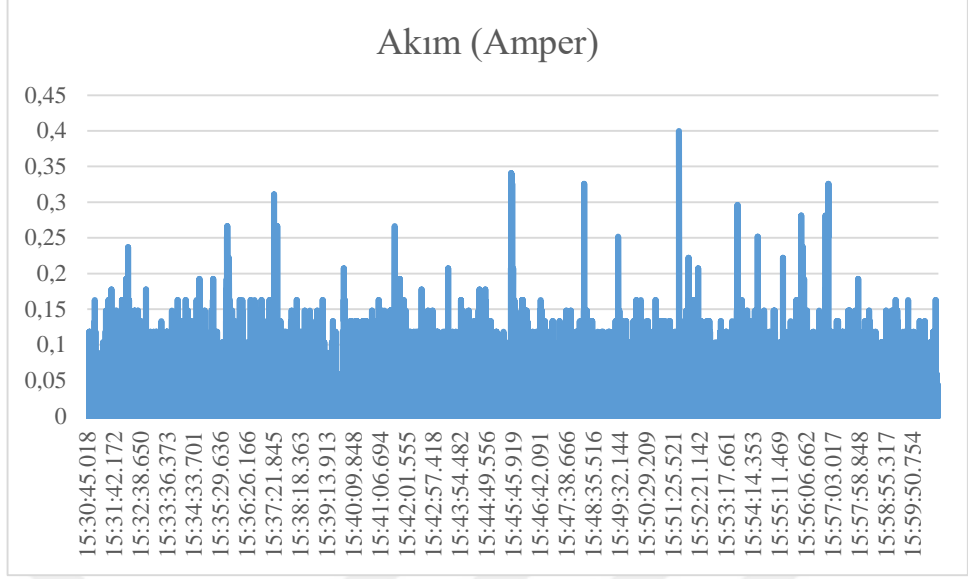


Şekil 5.47. Mobil uygulama İletişim Metodu-2 için 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durumda devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Mobil Uygulama kontrol aralığı: 10 dakika,
- Mobil Uygulama haberleşme yöntemi: İletişim Metodu-3,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,013557974 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.48).

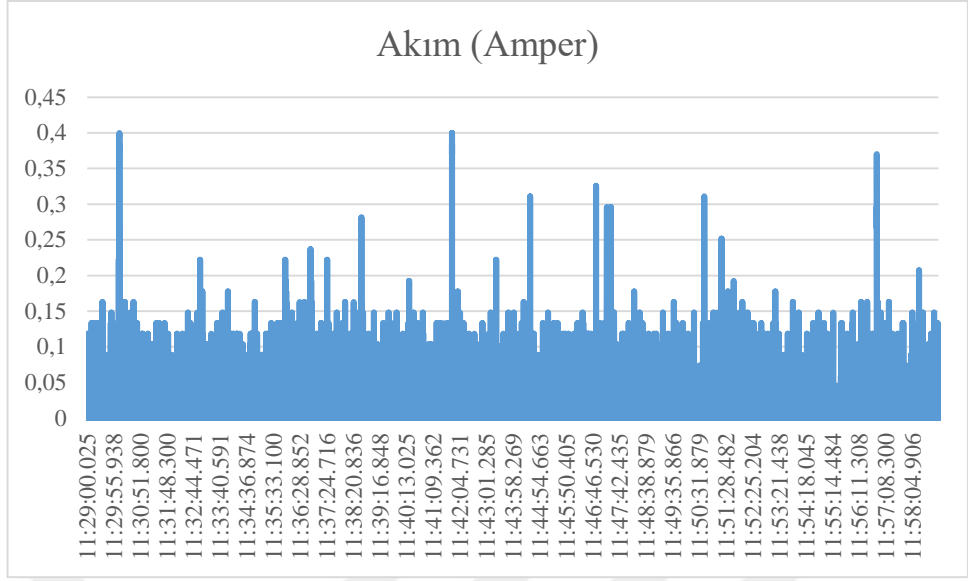


Şekil 5.48. Mobil uygulama İletişim Metodu-3 için 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilen durumda devreden geçen akım.

Yapılan diğer ölçümde;

- Mobil Uygulama kontrol aralığı: 10 dakika,
- Mobil Uygulama haberleşme yöntemi: İletişim Metodu-3,
- Ölçüm şekli: E-posta gönderimi yapılmayarak,
- Ölçüm sonucu devreden geçen ortalama akım: 0,009821869 A,

olarak elde edilmiştir (Şekil 5.49).



Şekil 5.49. Mobil uygulama İletişim Metodu-3 için 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeyen durumda devreden geçen akım.

## BÖLÜM 6

### 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, verimliliğin araştırılması kısmında elde edilen sonuçlar değerlendirilecek ve bundan sonra yapılacak çalışmalara yol göstermesi amacıyla tartışma bölümüne yer verilecektir.

#### 6.1. Elde Edilen Sonuçlar

Düşük Enerjili Bluetooth teknolojisini baz alarak önerilen iletişim modelinin enerji verimliliğini tespit çalışması üç kısımda gerçekleştirilmiştir. Ancak öncesinde mobil akıllı telefonlardaki enerji tüketiminin tespiti için bir ölçüm sistemi kurgulanmıştır. Testin ilk aşamasında mobil cihazın bekleme durumundaki enerji tüketimini anlayabilmek için, kurgulanan ölçüm sistemi üzerinden çekilen akım değerleri araştırılmıştır. Sonrasında kullanımına karar verilmiş olan e-posta programının 3G, 4.5G ve Wi-Fi üzerinden haberleşmesi durumunda devre üzerinden geçen akım değerleri araştırılmıştır. Son olarak geliştirilen Mobil Uygulama için test devresinden geçen akım tespit edilmeye çalışılmıştır.

Verimlilik testinin ilk bölümünde, mobil telefonun bekleme durumunda olduğu ama herhangi bir veri iletişimine izin verilmediği durumlar için çekilen akım değerleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.1’de listelenmiştir.

Çizelge 6.1. Mobil cihazda bekleme durumu için ölçüm devresinden geçen ortalama akım değerleri.

<b>Donanımsal durum</b>	<b>Çekilen Ortalama Akım (mA)</b>
Uçuş Modu	4,859093
Bluetooth açık	6,696109
GSM açık	7,356712
GSM ve Bluetooth açık	7,973625
3G açık	13,488792
4.5G açık	12,886903
GSM ve Wi-Fi açık	12,210769
Wi-Fi açık	8,964006

Elde edilen sonuçlara göre, telefonun uçuş kipinde iken oldukça düşük akım çektiği görülmüştür. Donanımsal olarak sadece Bluetooth aktif edildiğinde tüketimin bir miktar arttığı görülmektedir. Mobil telefon üzerinde bulunan GSM aktif edildiğinde ise çekilen akımın hatırı sayılır derece arttığı görülmüştür. Sonrasında GSM hizmetinin yanında mobil veri haberleşmesi için 3G veya 4.5G aktif edildiğinde yine devreden geçen akımın oldukça arttığı görülmüştür. Donanımsal olarak sadece Wi-Fi aktif edildiğinde ise devreden geçen akımın Bluetooth aktif edilme durumuna göre biraz daha fazla arttığı görülmektedir.

Verimlilik araştırmasının ikinci aşaması olan e-posta program testleri; 1, 5 ve 10 dakikalık aralıklarla e-posta sunucusundaki gelen kutusunun kontrol edilmesi ve yeni e-posta gelme durumunda bildirim üretme temeline dayandırılmıştır. Benzer şekilde verimlilik araştırmasının üçüncü aşaması olan Mobil Uygulama testleri de yine 1, 5 ve 10 dakikalık aralıklarla e-posta kontrolü ve sonrasında varsa yeni iletiler için bildirim üretme

temeline dayandırılmıştır. Ancak gerek kullanımına karar verilen e-posta programında, gerekse geliştirilen Mobil Uygulamada test devresi üzerinden geçen akım değerlerinin kıyaslanabilmesi amacıyla periyodik kontrol süresi baz alınarak birlikte değerlendirilmesine karar verilmiştir. Öncelikle 1 dakikalık kontrol aralığı için yapılan testler Çizelge 6.2’de listelenmiştir.

Çizelge 6.2. E-posta Programı ve Mobil Uygulama için ölçüm devresinden geçen ortalama akım değerleri (1 dakika).

<b>İletişim Yöntemi ve Metodu</b>	<b>E-posta Programı Çekilen Ortalama Akım (mA)</b>	
	<b>E-posta Gönderimli</b>	<b>E-posta Gönderimsiz</b>
3G açık	74,035475	38,537568
4.5G açık	37,761868	25,074638
GSM & Wi-Fi	22,230571	14,676728
	<b>Mobil Uygulama Çekilen Ortalama Akım (mA)</b>	
GSM & BLE - İletişim Metodu-1	45,026763	38,18263
GSM & BLE - İletişim Metodu-2	19,04985	12,275745
GSM ve BLE - İletişim Metodu-3	27,121918	14,232985

Yapılan verimlilik testlerinde, 1 dakikalık aralıklarla kontrol yapılması ve e-posta gönderiminden haberdar olunması gerekiyorsa, 3G’nin 2 numaralı iletişim metoduna oranla 3,8 kat daha fazla akım çektiği görülmektedir. Sonrasında 4.5G bağlantısında ise

yaklaşık 2 kat daha fazla akım çekmektedir. En yakın değerlere sahip Wi-Fi ise 1,16 kat daha fazla akım çekmektedir. 1 dakika aralıklarla e-posta gönderilmeksizin yapılan kontrollerde, 3G'nin 3,14 kat daha fazla, 4.5G'nin 2,04 kat daha fazla ve Wi-Fi'nin ise 1,2 kat daha fazla akım çektiği görülmüştür. Ardından 5 dakikalık zaman aralığı için yapılan testler Çizelge 6.3'de listelenmiştir.

Çizelge 6.3. E-posta Programı ve Mobil Uygulama için ölçüm devresinden geçen ortalama akım değerleri (5 dakika).

İletişim Yöntemi ve Metodu	E-posta Programı Çekilen Ortalama Akım (mA)	
	E-posta Gönderimli	E-posta Gönderimsiz
3G açık	24,635719	22,7545011
4.5G açık	15,639176	12,091934
GSM & Wi-Fi	13,876346	12,796503
Mobil Uygulama Çekilen Ortalama Akım (mA)		
GSM & BLE - İletişim Metodu-1	41,013844	33,1332
GSM & BLE - İletişim Metodu-2	12,17176	11,849846
GSM ve BLE - İletişim Metodu-3	14,29933	13,966905

Verimlilik testlerinin 5 dakikalık aralıklarla kontrol yapılması ve e-posta gönderiminden haberdar olunması durumunda, 3G'nin 2 numaralı iletişim metoduna oranla 2 kat daha fazla akım çektiği görülmüştür. Sonrasında yapılan ölçümlerde



4.5G'nin yaklaşık 1,28 kat daha fazla akım çektiği görülmüştür. Wi-Fi ise ortalama 1,13 kat daha fazla çekilen akım değeri ile yine en yakın seçenek olarak görülmektedir. E-posta gönderilmeksizin 5 dakika aralıklı kontrol işlemlerinin ölçümlerinde, 3G'nin 1,92 kat daha fazla, 4.5G'nin 1,02 kat daha fazla ve Wi-Fi'nin ise 1,08 kat daha fazla akım çektiği görülmüştür.

Son olarak 10 dakikalık zaman aralığı için yapılan testler Çizelge 6.4'de listelenmiştir.

Çizelge 6.4. E-posta Programı ve Mobil Uygulama için ölçüm devresinden geçen ortalama akım değerleri (10 dakika).

<b>İletişim Yöntemi ve Metodu</b>	<b>E-posta Programı Çekilen Ortalama Akım (mA)</b>	
	<b>E-posta Gönderimli</b>	<b>E-posta Gönderimsiz</b>
3G açık	19,5015034	16,689216
4.5G açık	14,943463	14,490330
GSM & Wi-Fi	13,800491	13,004870
	<b>Mobil Uygulama Çekilen Ortalama Akım (mA)</b>	
GSM & BLE - İletişim Metodu-1	37,160474	40,147218
GSM & BLE - İletişim Metodu-2	10,802928	10,371193
GSM ve BLE - İletişim Metodu-3	13,557974	9,821869

Verimlilik testlerinin 10 dakika kontrol aralıklı ölçümlerinde, 3G'nin 2 numaralı iletişim metoduna oranla 1,8 kat daha fazla, 4.5G'nin ise yaklaşık 1,38 kat daha fazla akım çektiği görülmüştür. Wi-Fi ise 1,27 kat daha fazla ortalama akım çektiği görülmüştür. 10 dakika kontrol aralıklı ve test e-postası gönderilmeksizin yapılan ölçümlerde, 3G'nin 1,6 kat daha fazla, 4.5G'nin 1,39 kat daha fazla ve Wi-Fi'nin ise 1,25 kat daha fazla akım çektiği görülmüştür. 1, 5 ve 10 dakikalık kontrol aralığı için elde edilen tüm karşılaştırma değerleri ise Çizelge 6.5'de verilmiştir.

Çizelge 6.5. Mobil Uygulama için ölçüm devresinden geçen ortalama akım değerleri karşılaştırması (1, 5 ve 10 dakika).

İletişim Yöntemi ve Metodu	E-posta Gönderimli	E-posta Gönderimsiz
	<b>1 Dakika kontrol aralığı için Mobil Uygulama Çekilen Ortalama Akım (mA)</b>	
GSM & BLE - İletişim Metodu-1	45,026763	38,18263
GSM & BLE - İletişim Metodu-2	19,04985	12,275745
GSM ve BLE - İletişim Metodu-3	27,121918	14,232985
<b>5 Dakika kontrol aralığı için Mobil Uygulama Çekilen Ortalama Akım (mA)</b>		
GSM & BLE - İletişim Metodu-1	41,013844	33,1332
GSM & BLE - İletişim Metodu-2	12,17176	11,849846

GSM ve BLE - İletişim Metodu-3	14,29933	13,966905
<b>10 Dakika kontrol aralığı için Mobil Uygulama Çekilen Ortalama Akım (mA)</b>		
GSM & BLE - İletişim Metodu-1	37,160474	40,147218
GSM & BLE - İletişim Metodu-2	10,802928	10,371193
GSM ve BLE - İletişim Metodu-3	13,557974	9,821869

Bu çalışmada mobil akıllı telefonlarda Düşük Enerjili Bluetooth üzerinden çalışabilen yeni bir haberleşme metodu üzerine çalışma yapılmıştır. Önerilen sistemin kalbinde, bir tarafı Düşük Enerjili Bluetooth, diğer tarafı Wi-Fi olan ESP32 isimli mikro kontrolcü ünitesinden faydalanılmıştır. Bahsi geçen mikro kontrolcü ünitesi, internet tarafındaki kontrolleri Wi-Fi üzerinden yapmaktan ve iletilmesi gereken bildirimleri BLE üzerinden mobil cihaza göndermekten sorumlu tutulmuştur. Böylece sabit enerji beslemesiyle çalıştığı düşünülen mikro kontrolcü, mobil cihaz adına arka planda sık aralıklarla yapılması gereken kontrol işlemlerini yerine getirmekte, ancak aktarılması gereken bildirimleri son derece düşük enerji harcayarak BLE üzerinden iletebilmektedir.

Kurgulanan sistemin verimliliğini ortaya çıkarabilmek için ise bir ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem, pil ile mobil cihaz arasına yerleştirilen bir adet düşük kapasiteli direnç elemanının üzerinden geçen akımın tespit edilmesi temeline dayandırılmıştır. Ölçüm sisteminin merkezinde ise, direnç elemanının giriş ve çıkışından gerilim değerinin okunarak geçen akım değerinin hesaplanmasını sağlayan bir mikro kontrolcünden yararlanılmıştır. Sonrasında, okunan bu değerler seri port üzerinden bilgisayara aktarılmış ve çekilen akım değerleri hesaplanabilmiştir.

Yapılan ölçümlerde 2 numaralı iletişim metodunun diğerlerine göre daha başarılı tüketim sergilediği görülmektedir. 3 numaralı iletişim metodunun ise 2 numaralı iletişim metoduna yakın olmasına rağmen biraz daha fazla tüketime sebep olduğu görülmüştür. Düşük Enerjili Bluetooth'un tarama rolü kullanılarak tasarlanan 1 numaralı iletişim metodunun ise efektif olmadığı görülmüştür.

Günümüzde akıllı mobil telefonlarda kullanılan popüler uygulamaların birçoğu, güvenlik gerekçesiyle geliştiricilerine API sunma konusunda kısıtlama uygulamakta veya hiç API sunmamaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada e-posta uygulaması seçilerek önerilen yöntemin başarısı ortaya çıkarılmaya çalışılmış ve elde edilen verimlilik oranı gösterilmek istenmiştir. Sık aralıklarla yapılması gereken kontroller için önerilen sistemin kazanç sağladığı ya da hızlı enerji tüketim problemine önemli derecede katkı sağlayabildiği gösterilmiştir.

## **6.2. Tartışma**

İletişim ve elektronik alanlarında yaşanan teknolojik gelişmelerin, akıllı mobil cihazları da doğrudan etkilemeye devam edeceği muhtemeldir. Bu gelişmelere paralel olarak, kullanıcılar mobil cihazları iletişim ihtiyaçlarından fazlası için kullanacak ve sunulan yeniliklere kayıtsız kalamayacaktır. Mobil cihazların farklı alanlarda kullanım artışlarının etkisiyle, cihazların gün içinde kullanım süreleri de artmaya devam edecektir. Dolayısıyla mobil cihazlarda tam şarj sonrası yaşanan şarjın hızlı azalması sorununa da çeşitli çareler aranmaya devam edecektir.

Bu çalışmada, mobil cihazlardaki şarj tüketimine etkisi fazlaca olan ağ iletişimiyle ilgili enerji tüketim konusunda çalışma yapılmış, Düşük Enerjili Bluetooth kullanan yeni bir iletişim modeli önerisinde bulunulmuştur. Her ne kadar önerilen sistem, internet kullanımını baz alınarak yapılmış ve verimlilik testleri bu yönde gerçekleştirilmiş olsa da, GSM haberleşmesinin de bu yönteme dahil edilmesi mümkün olabilir. Şöyle ki, mobil veri ve GSM haberleşmeleri için gerekli olan SIM karta ait iş yükü, bu çalışmada önerilen ve sistemin kalbinde yer alan BLE Ağ Geçit Cihazına aktarılabilir. Yani uygun bir modül kullanımı ile SIM kart BLE Ağ Geçit Cihazına bağlanabilir ve SIM kartın çalıştırılabilmesi için ihtiyaç duyulan enerji sarfiyatından tasarruf edilebilir. Tabii ki böyle bir projede, gelen çağrılarının alınması veya bir çağrının başlatılması için gerekli olan alt yapı da düşünülerek uygun bir sistem tasarlanmalıdır. Böylece sadece BLE üzerinden

sağlanacak iletişim altyapısı ile enerji tüketimeinin daha fazla düşürülmesi mümkün olabilecektir.

Önerilen sistemde kullanılan BLE Ağ Geçit Cihazının BLE temelli olması, git gide artan nesnelere interneti (IoT) uygulamalarıyla birlikte çalışabilecek ve kolayca uyarlanabilecek tasarımların önünü açabilir. Örneğin bir akıllı ev uygulamasına kolayca entegre edilebilir ve diğer kullanıcılara bilgi aktarımı daha düşük maliyetle mümkün olabilir.

Yine bu çalışmada BLE Ağ Geçit Cihazında kullanılan mikro kontrolcü ünitesi yerine, yine BLE, Wi-Fi ve SIM kart modül desteği olan, hatta uygun bir ekran ve klavyeye sahip bir cihaz kullanarak farklı amaçlara da hizmet eden bir sistemin tasarımı mümkün olabilir. Neticede burada önerilen iletişim altyapısının, alışıl gelmiş ve sürekli veri kontrolü yapılması gereken her hangi bir iletişimin yerine kolayca uyarlanabilecek yapıda olduğu düşünölmektedir.

## KAYNAKLAR

- Abd El-Aziz, A. A., & Kannan, A. (2014). JSON Encryption. *2014 International Conference on Computer Communication and Informatics (Iccci)*.
- Adnan, A. H., Abdirazak, M., Sadi, A. B. M. S., Anam, T., Khan, S. Z., Rahman, M. M., & Omar, M. M. (2015). A comparative study of WLAN security protocols: WPA, WPA2. *2015 International Conference on Advances in Electrical Engineering (Icaee)*, 165-169.
- Adnan, M., Hilles, S. M. S., & Yafooz, W. M. S. (2017). An Evolution to Next Generation Heterogeneous Cellular Networks. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 17(4), 251-255.
- Allafi, I., & Iqbal, T. (2017). Design and Implementation of a Low Cost Web Server Using ESP32 for Real-Time Photovoltaic System Monitoring. *2017 Ieee Electrical Power and Energy Conference (Epec)*, 13-17.
- Andreev, P. I., & Aprahamian, B. R. (2018). Analytical Comparison of Bluetooth Low Energy Beacons. *2018 20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (Siela)*.
- Anitha, J. (2015). 4G Mobile Communications - Emerging Technologies. *International Journal of Multidisciplinary Approach and Studies*, 2, 109-114.
- Atmajaya, D., Kurniati, N., Astuti, W., Salim, Y., & Haris, A. (2018, 6-7 Nov. 2018). *Digital Scales System on Non-Organic Waste Types Based on Load Cell and ESP32*. Paper presented at the 2018 2nd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology (EIconCIT).
- Babiuch, M., Foltynnek, P., & Smutny, P. (2019). Using the ESP32 Microcontroller for Data Processing. *2019 20th International Carpathian Control Conference (Iccc)*, 88-93.
- Babu, A. J., Raveendranath, R., Rajamani, V., & Datta, S. K. (2014). Dissecting SMS Malwares in Android. *2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics (Ic3i)*, 1065-1069.
- Baek, J., & Youm, H. Y. (2015). Secure and Lightweight Authentication Protocol for NFC Tag Based Services. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) Conference Proceedings*, 63-68.
- Barker, P., Boucouvalas, A. C., & Vitsas, V. (2000). Performance modelling of the IrDA infrared wireless communications protocol. *International Journal of Communication Systems*, 13(7-8), 589-604. doi:Doi 10.1002/1099-1131(200011/12)13:7/8<589::Aid-Dac458>3.0.Co;2-N
- Beenish, H., & Fahad, M. (2019). 5g a Review on Existing Technologies. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) Conference Proceedings*, 1-6.
- Bello, O., Zeadally, S., & Badra, M. (2017). Network layer inter-operation of Device-to-Device communication technologies in Internet of Things (IoT). *Ad Hoc Networks*, 57, 52-62. doi:10.1016/j.adhoc.2016.06.010
- Bolla, R., Khan, R., Parra, X., & Repetto, M. (2014). Improving Smartphones Battery Life by Reducing Energy Waste of Background Applications. *2014 Eighth International Conference on Next Generation Mobile Apps, Services and Technologies (Ngmast)*, 123-130. doi:10.1109/Ngmast.2014.10

- Boualouache, A., Nouali, O., Moussaoui, S., & Derder, A. (2015). A BLE-based data collection system for IoT. *2015 First International Conference on New Technologies of Information and Communication (Ntic)*.
- Bronzi, W., Frank, R., Castignani, G., & Engel, T. (2016). Bluetooth Low Energy performance and robustness analysis for Inter-Vehicular Communications. *Ad Hoc Networks*, 37, 76-86. doi:10.1016/j.adhoc.2015.08.007
- Carducci, C. G. C., Monti, A., Schraven, M. H., Schumacher, M., & Mueller, D. (2019). Enabling ESP32-based IoT Applications in Building Automation Systems. *2019 Ieee International Workshop on Metrology for Industry 4.0 and Internet of Things (Metroind4.0&Iot)*, 306-311.
- Chen, B., Xi, J., Zhang, Y., Yu, W., Sun, D., Yao, W., & Cui, L. (2017, 17-20 Nov. 2017). *A low-power transmission approach of WiFi network in smartphone*. Paper presented at the 7th IET International Conference on Wireless, Mobile & Multimedia Networks (ICWMMN 2017).
- Collotta, M., Pau, G., Talty, T., & Tonguz, O. K. (2018). Bluetooth 5: A Concrete Step Forward toward the IoT. *Ieee Communications Magazine*, 56(7), 125-131. doi:10.1109/Mcom.2018.1700053
- Corbellini, G., Mangold, S., & Schmid, S. (2015, 2015 / 09 / 07 /). *Two-way communication protocol using bluetooth low energy advertisement frames*.
- de Cerio, D. D., Hernandez, A., Valenzuela, J. L., & Valdovinos, A. (2017). Analytical and Experimental Performance Evaluation of BLE Neighbor Discovery Process Including Non-Idealities of Real Chipsets. *Sensors*, 17(3). doi:ARTN 499  
10.3390/s17030499
- De Maso-Gentile, G., Baca, A., Ambrosini, L., Orcioni, S., & Conti, M. (2015). Design of CAN to Bluetooth gateway for a Battery Management System. *2015 12th International Workshop on Intelligent Solutions in Embedded Systems (Wises)*, 171-175.
- Demir, U., Tapparello, C., & Heinzelman, W. (2017). Maintaining Connectivity in Ad Hoc Networks Through WiFi Direct. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) Conference Proceedings*, 308-312.
- El Madhoun, N., & Pujolle, G. (2016). A Secure Cloud-Based NFC Payment Architecture for Small Traders. *2016 3rd Smart Cloud Networks & Systems (Scns)*.
- Elliot, J., Kor, a.-l., & Omotosho, O. (2017). *Energy Consumption in Smartphones: An Investigation of Battery and Energy Consumption of Media Related Applications on Android Smartphones*.
- Fallis, E., & Spachos, P. (2018). Power Consumption and Throughput of Wireless Communication Technologies for Smartphones. *2018 Global Information Infrastructure and Networking Symposium (Giis)*.
- Ferro, E., & Potorti, F. (2005). Bluetooth and Wi-Fi wireless protocols: A survey and a comparison. *Ieee Wireless Communications*, 12(1), 12-26. doi:Doi 10.1109/Mwc.2005.1404569
- Fettweis, G. P. (2016). 5G and the future of IoT. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) Conference Proceedings*, 21-24.
- Friedman, R., Kogan, A., & Krivolapov, Y. (2013). On Power and Throughput Tradeoffs of WiFi and Bluetooth in Smartphones. *Ieee Transactions on Mobile Computing*, 12(7), 1363-1376. doi:10.1109/Tmc.2012.117

- Garg, A. (2014). Digital Society from 1G to 5G: A Comparative Study. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management, Volume 3*, 186 to 193.
- Gentili, M., Sannino, R., & Petracca, M. (2016). BlueVoice: Voice communications over Bluetooth Low Energy in the Internet of Things scenario. *Computer Communications, 89-90*, 51-59. doi:10.1016/j.comcom.2016.03.004
- Giovanelli, D., Milosevic, B., & Farella, E. (2015). Bluetooth Low Energy for Data Streaming: Application-level Analysis and Recommendation. *2015 6th Ieee International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces (Iwasi)*, 216-221.
- Harjula, E., Kassinen, O., & Ylianttila, M. (2012). Energy Consumption Model for Mobile Devices in 3G and WLAN Networks. *2012 Ieee Consumer Communications and Networking Conference (Cncn)*, 532-537.
- Hawelikar, M., & Tamhankar, S. (2015). A design of Linux based ZigBee and Bluetooth Low Energy wireless gateway for remote parameter monitoring. *2015 International Conferenced on Circuits, Power and Computing Technologies (Iccpct-2015)*.
- Heydon, R. (2013). *Bluetooth Low Energy The Developer's Handbook*. <https://tssh2.osdn.jp/>. Tera Term Home Page. Retrieved from <https://tssh2.osdn.jp/index.html.en>
- Instruments, T. (2012). Measuring Bluetooth Low Energy Power Consumption Retrieved from <http://www.ti.com/lit/an/swra347a/swra347a.pdf>
- Jain, N., Fan, X., Leon-Salas, W. D., & Lucietto, A. M. (2018). Extending battery life of smartphones by overcoming idle power consumption using ambient light energy harvesting. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) Conference Proceedings*, 978-983.
- Jayasvasti, S., & Isarakorn, D. (2019). Indoor Positioning System on Identification of Neurodegenerative Disease: A Comparative Study of BLE versus RFID. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) Conference Proceedings*, 1-4.
- Jin, R., & Zeng, K. (2018). Secure Inductive-Coupled Near Field Communication at Physical Layer. *Ieee Transactions on Information Forensics and Security, 13*(12), 3078-3093. doi:10.1109/Tifs.2018.2832983
- Joh, H., & Ryoo, I. (2015). A hybrid Wi-Fi P2P with bluetooth low energy for optimizing smart device's communication property. *Peer-to-Peer Networking and Applications, 8*(4), 567-577. doi:10.1007/s12083-014-0276-0
- Jolly, B. (2019, 4-7 Aug. 2019). *The Last Thing IoT Device Engineers Think About: End of Battery Life Behavior for IoT Devices*. Paper presented at the 2019 IEEE 62nd International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS).
- Jorda, R. L., Coballes, J. R. A., Enriquez, L. A. C., Millan, M. L. S., Mora, A. J., Teodoro, M. N. G., . . . Tolentino, L. K. S. (2018). Comparative Evaluation of NFC Tags for the NFC-Controlled Door Lock with Automated Circuit Breaker. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) Conference Proceedings*, 1-6.
- Kalra, B., & Chauhan, D. (2014). A Comparative Study of Mobile Wireless Communication Network: 1G to 5G. *International Journal of Computer Science and Information Technology Research, 2*, 430-433.



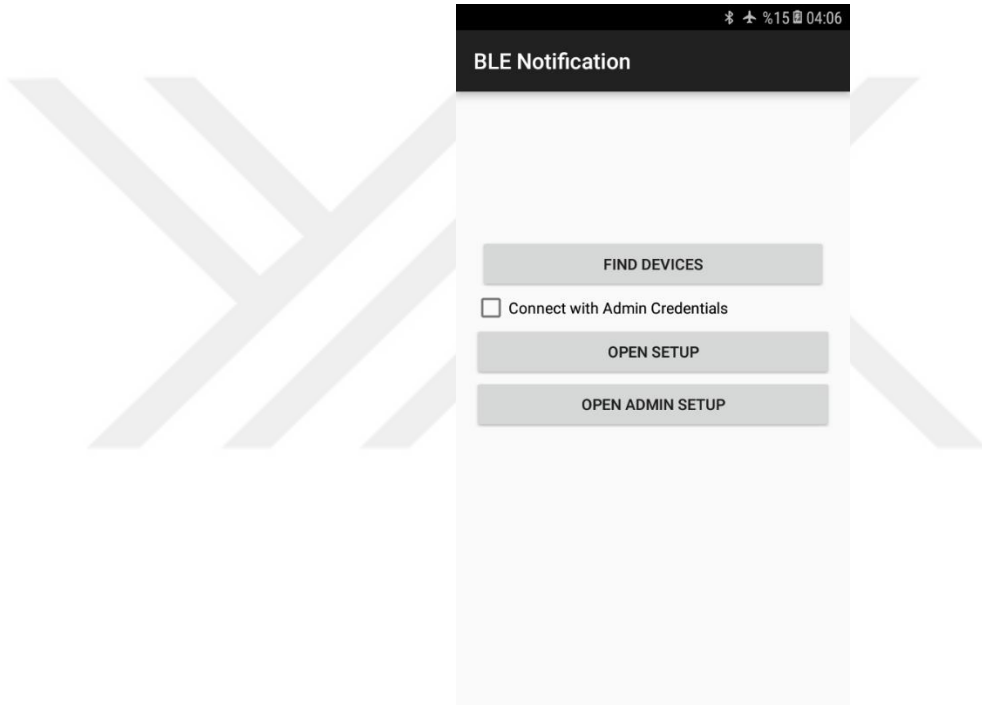
- Labib, M., Ghalwash, A., Abdulkader, S., & Elgazzar, M. (2019). Networking solutions for connecting bluetooth low energy devices - a comparison. *MATEC Web of Conferences*, 292, 02003. doi:10.1051/mateconf/201929202003
- Laine, T. H., Lee, C., & Suk, H. (2014). Mobile gateway for ubiquitous health care system using ZigBee and Bluetooth. *2014 Eighth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS)*, 139-145. doi:10.1109/Imis.2014.17
- Latif, S., Qadir, J., Farooq, S., & Imran, M. A. (2017). How 5G Wireless (and Concomitant Technologies) Will Revolutionize Healthcare? *Future Internet*, 9(4). doi:ARTN 93 10.3390/fi9040093
- Li, H., Liu, X., & Qiaozhu, M. (2018). Predicting Smartphone Battery Life based on Comprehensive and Real-time Usage Data. *arXiv.org*.
- Liendo, A., Morche, D., Guizzetti, R., & Rousseau, F. (2018). BLE Parameter Optimization for IoT Applications. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) Conference Proceedings*, 1-7.
- Liu, J., Chen, C. F., Ma, Y., & Xu, Y. (2013). Energy Analysis of Device Discovery for Bluetooth Low Energy. *2013 Ieee 78th Vehicular Technology Conference (Vtc Fall)*.
- Maier, A., Sharp, A., & Vagapov, Y. (2017). Comparative Analysis and Practical Implementation of the ESP32 Microcontroller Module for the Internet of Things. *Proceedings of the 2017 7th International Conference Internet Technologies and Applications (Ita)*, 143-148.
- Maier, M., Chowdhury, M., Bhaskar Prasad, R., & Dung Pham, V. (2016). The tactile internet: vision, recent progress, and open challenges. *Ieee Communications Magazine*, 54(5).
- Mail, K. (2019). K9 Mail. Retrieved from <https://github.com/k9mail/k-9>
- Mikhaylov, K. (2014). Simulation of Network-Level Performance for Bluetooth Low Energy. *2014 Ieee 25th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communication (Pimrc)*, 1259-1263.
- Mobile, G. (2019). General Mobile GM9 Go. Retrieved from <https://www.generalmobile.com/tr/urunler/gm9go>
- Mshvidobadze, T. (2012, 17-19 Oct. 2012). *Evolution mobile wireless communication and LTE networks*. Paper presented at the 2012 6th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT).
- Naik, S., & DrSouza, M. (2019). Efficient Power Saving Method for WiFi Direct Devices in IoT based on Hidden Markov Model. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) Conference Proceedings*, 565-567.
- Neog, P., & Bera, R. (2017). Multi-standard radio for 2G to 5G. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) Conference Proceedings*, 1-5.
- Ng, P. C., She, J., & Ran, R. (2019). A Compressive Sensing Approach to Detect the Proximity Between Smartphones and BLE Beacons. *Ieee Internet of Things Journal*, 6(4), 7162-7174. doi:10.1109/Jiot.2019.2914733
- Nitesh, G., & Kakkar, A. (2016). *Generations of Mobile Communication*.
- Patel, S., Purohit, H., & Shah, S. (2018). Review On 5G Wireless Technology. 3, 2456-3307.
- Pomak, W., & Limpiyakom, Y. (2018). Enterprise WiFi Hotspot Authentication with Hybrid Encryption on NFC- Enabled Smartphones. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) Conference Proceedings*, 247-250.

- Pyles, A., Nguyen, D. T., Qi, X., & Zhou, G. (2015). Bluesaver: A Multi-PHY Approach to Smartphone Energy Savings. *Ieee Transactions on Wireless Communications*, 14(6), 3367-3377. doi:10.1109/Twc.2015.2404843
- Roland, M., & Langer, J. (2010, 20-20 April 2010). *Digital Signature Records for the NFC Data Exchange Format*. Paper presented at the 2010 Second International Workshop on Near Field Communication.
- ru, C., & Gupta, R. (2015). A Comparative Study of Various Generations in Mobile Technology. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 28, 328-332. doi:10.14445/22315381/IJETT-V28P263
- Saminger, C., Grunberger, S., & Langer, J. (2013). An NFC Ticketing System with a new approach of an Inverse Reader Mode. *2013 5th International Workshop on near Field Communication (Nfc)*, 7-11.
- Sarjerao, B. S., & Prakasarao, A. (2018, 6-8 April 2018). *A Low Cost Smart Pollution Measurement System Using REST API and ESP32*. Paper presented at the 2018 3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT).
- Sebbar, A., Boulahya, S. E., Mezzour, G., & Boulmalf, M. (2016). An Empirical Study of WIFI Security and Performance in Morocco-WarDriving in Rabat. *2016 International Conference on Electrical and Information Technologies (Iceit)*, 362-367.
- Setyono, A., Nisadha, D. A., & Setiadi, D. R. I. M. (2018, 21-22 Sept. 2018). *Analysis of 4G Network and Chat Applications to Smartphone Battery Life*. Paper presented at the 2018 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication.
- Shahzad, K., & Oelmann, B. (2014). A Comparative Study of In-sensor Processing vs. Raw Data Transmission using ZigBee, BLE and Wi-Fi for Data Intensive Monitoring Applications. *2014 11th International Symposium on Wireless Communications Systems (Iswcs)*, 519-524.
- Siekkinen, M., Hienkari, M., Nurminen, J. K., & Nieminen, J. (2012). How Low Energy is Bluetooth Low Energy? Comparative Measurements with ZigBee/802.15.4. *2012 Ieee Wireless Communications and Networking Conference Workshops (Wcncw)*, 232-237.
- Singh, K. J., & Kapoor, D. S. (2017). A survey of IoT platforms Create Your Own Internet of Things. *Ieee Consumer Electronics Magazine*, 6(2), 57-68. doi:10.1109/Mce.2016.2640718
- Skraba, A., Kolozvari, A., Kofjac, D., Stojanovic, R., Semenkin, E., & Stanovov, V. (2019). Prototype of Group Heart Rate Monitoring with ESP32 Comparison to ESP8266. *2019 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (Meco)*, 700-703.
- Song, S., & Issac, B. (2014). Analysis of WiFi and WiMAX and Wireless Network Coexistence. *arXiv.org*.
- Specification, B. C. (2017). Bluetooth Core Specification. Retrieved from <https://www.bluetooth.com/specifications/bluetooth-core-specification>
- Specification, B. C. (2019). Bluetooth Core Specification v5.1 Feature Overview.
- Studio, A. (2019). Android Studio. Retrieved from <https://developer.android.com/studio>
- Systems, E. (2019a). ESP32 Technical Reference Manual. Retrieved from [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_technical\\_reference\\_manual\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf)

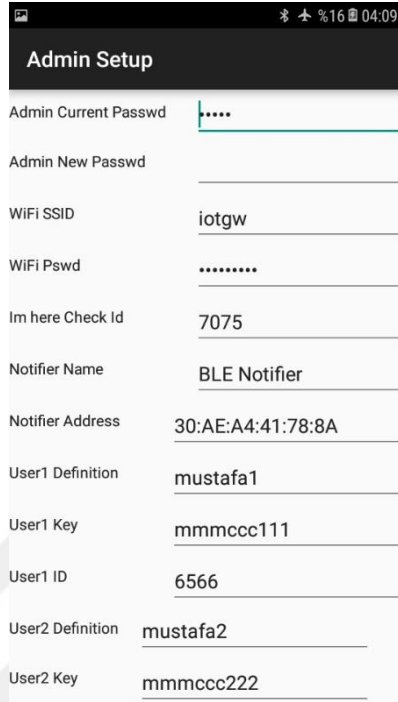
- Systems, E. (2019b). Espressif IoT Development Framework. Official development framework for ESP32. Retrieved from <https://github.com/espressif/esp-idf>
- Tayyaba, S. K., & Shah, M. A. (2019). Resource allocation in SDN based 5G cellular networks. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 12(2), 514-538.
- Townsend, K., Cufi, C., Akiba, & Davidson, R. (2014). *Getting Started with Bluetooth Low Energy : Tools and Techniques for Low-Power Networking* (Vol. First edition). Sebastopol, CA: O'Reilly Media.
- Ud Din Arshad, Q. K., Kashif, A. U., & Quershi, I. M. (2019). A Review on the Evolution of Cellular Technologies. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) Conference Proceedings*, 989-993.
- Vitsas, V., Barker, P., & Boucouvalas, A. C. (2003). IrDA infrared wireless communications: Protocol throughput optimization. *Ieee Wireless Communications*, 10(2), 22-29. doi:Doi 10.1109/Mwc.2003.1196399
- Wang, X., Li, J. L., Song, J., Wang, Y. S., & Chen, Z. H. (2016). Human Physiological Parameter Detection System Based on Android and Arduino. *2016 International Conference on Mechanics Design, Manufacturing and Automation (Mdm 2016)*, 535-540.
- Williams, S. (2000). IrDA: Past, present and future. *Ieee Personal Communications*, 7(1), 11-19. doi:Doi 10.1109/98.824566
- Wu, M. F., Ma, B. J., Liu, Z. Y., Xiu, L. Y., & Zhang, L. (2017). BLE-Horn: A Smartphone-based Bluetooth Low Energy Vehicle-to-Pedestrian Safety System. *2017 9th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (Wcsp)*.
- Xiaomeng, C., Ding, N., Jindal, A., Hu, Y., Gupta, M., & Vannithamby, R. (2015). Smartphone Energy Drain in the Wild. *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 43, 151-164. doi:10.1145/2796314.2745875
- Zachariah, T., Klugman, N., Campbell, B., Adkins, J., Jackson, N., & Dutta, P. (2015). *The internet of things has a gateway problem*. Paper presented at the Proceedings of the 16th International Workshop on Mobile Computing Systems and Applications.
- Zhang, L., Tiwana, B., Dick, R. P., Qian, Z., Mao, Z. M., Wang, Z., & Yang, L. (2010, 24-29 Oct. 2010). *Accurate online power estimation and automatic battery behavior based power model generation for smartphones*. Paper presented at the 2010 IEEE/ACM/IFIP International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis (CODES+ISSS).
- Zhang, Y. Q., & Sampalli, S. (2010). Client-based Intrusion Prevention System for 802.11 Wireless LANs. *2010 Ieee 6th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (Wimob)*, 100-107. doi:Doi 10.1109/Wimob.2010.5644978
- Zhou, C.-h., Qiao, D., Zhang, Y., Bai, W.-x., Dai, C., & Shuai, P.-j. (2016). Study on application of mobile phone NFC technology in ERP system. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (IEEE) Conference Proceedings*, 9535-9538.
- Zou, L. H., Javed, A., & Muntean, G. M. (2017). Smart Mobile Device Power Consumption Measurement for Video Streaming in Wireless Environments: WiFi vs. LTE. *2017 Ieee International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (Bmsb)*, 539-544.

## EKLER

### EK- A. Mobil Uygulama Ana Ekran Görüntüsü



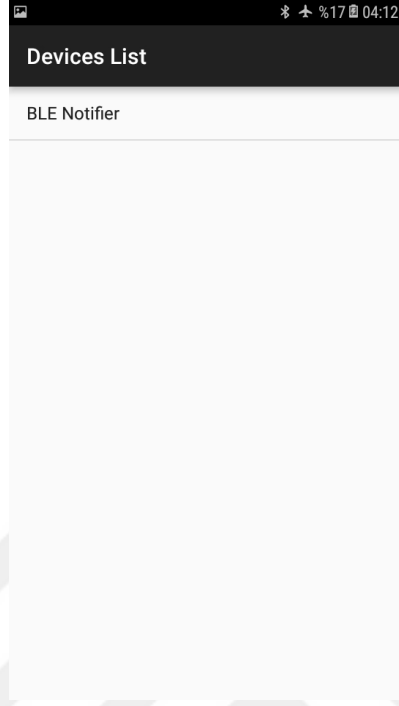
## EK- B. Mobil Uygulama Yönetimsel Yapılandırma Formu



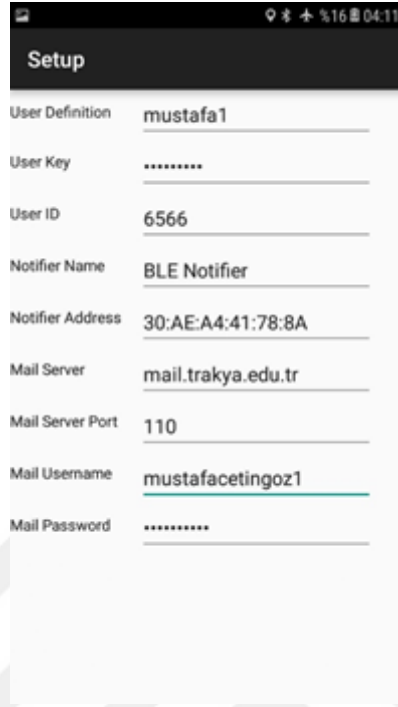
Admin Setup

Admin Current Passwd	.....
Admin New Passwd	
WiFi SSID	iotgw
WiFi Pswd	.....
Im here Check Id	7075
Notifier Name	BLE Notifier
Notifier Address	30:AE:A4:41:78:8A
User1 Definition	mustafa1
User1 Key	mmmccc111
User1 ID	6566
User2 Definition	mustafa2
User2 Key	mmmccc222

## EK- C. Mobil Uygulama Taranan Cihazlar Formu



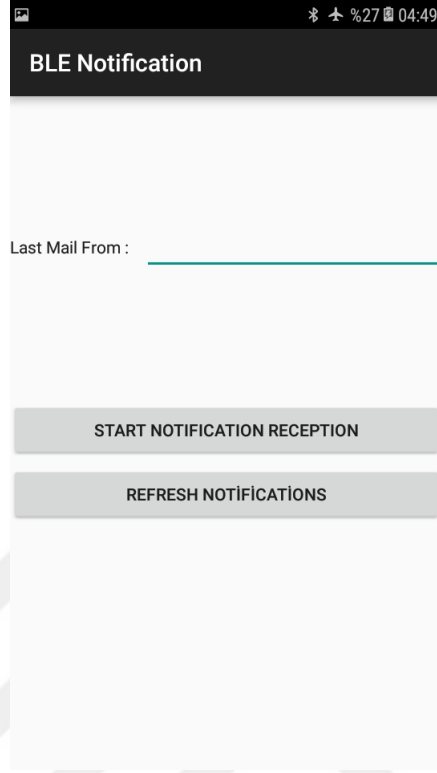
## EK- D. Mobil Uygulama Kullanıcı Yapılandırma Formu



The image shows a mobile application setup screen with the following fields and values:

Field	Value
User Definition	mustafa1
User Key	*****
User ID	6566
Notifier Name	BLE Notifier
Notifier Address	30;AE:A4:41:78:8A
Mail Server	mail.trakya.edu.tr
Mail Server Port	110
Mail Username	mustafacetingoz1
Mail Password	*****

## EK- E. Mobil Uygulama Bilgilendirme Formu



The screenshot shows a mobile application interface with a black header bar containing the text "BLE Notification". Below the header, there is a light gray area with the text "Last Mail From : " followed by a horizontal line. Below this, there are two gray buttons with white text: "START NOTIFICATION RECEPTION" and "REFRESH NOTIFICATIONS". The interface is overlaid on a background with a large, light gray 'X' shape.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa ÇETİNGÖZ  
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul - 1974  
Medeni Durumu : Evli  
e-posta : mustafacetingoz@trakya.edu.tr

### Eğitim Bilgileri

Lise : I. Murat Lisesi Merkez/Edirne, 1991  
Lisans : Elektrik Elektronik Mühendisliği, İstanbul Üniversitesi, İstanbul 1995  
Yüksek Lisans : Fen Bilimleri Ens. Bilgisayar Müh., Trakya Üniversitesi, Edirne 2011

### İş Deneyimleri

1997 – 2010 : Türk Telekomünikasyon A.Ş., Edirne, Mühendis, Müdür Yardımcısı  
2010 – : Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Trakya Üniversitesi, Mühendis

## TEZLE İLGİLİ BİLİMSEL FAALİYETLER

Taskin, D., & Cetingoz, M. (2019). Designing a Gateway Device for Internet of Things Applications. *Advances in Science and Technology-Research Journal*, 13(1), 79-87. doi:10.12913/22998624/103383

