ENERJİ HASADI İLE NESNELERİN İNTERNETİ UYGULAMASI

Esra Öztürk
171405103
Orcid: 0000-0002-9482-825X

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatma Sarıca

İstanbul
T.C. Maltepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Haziran, 2021



JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Bu belge, Yükseköğretim Kurulutarafından 19.01.2021 tarihli *"Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge"* ile bildirilen 6689 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu kapsamında gizlenmiştir.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI

Bu belge, Yükseköğretim Kurulutarafından 19.01.2021 tarihli *"Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge"* ile bildirilen 6689 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu kapsamında gizlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bilgi ve tecrübesi ile beni destekleyen ve yardımcı olan değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Fatma Sarıca'ya teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca maddi ve manevi beni destekleyen aileme ve nişanlıma sevgi ve saygılarımı sunarım.

Esra Öztürk

Haziran, 2021

ÖZ

ENERJİ HASADI İLE NESNELERİN İNTERNETİ UYGULAMASI

Esra Öztürk
Yüksek Lisans Tezi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatma Sarıca
Maltepe Üniversitesi Yüksek Lisans Eğitim Enstitüsü, 2021

Nesnelerin İnterneti (IoT, Internet of Things), günümüz teknolojisinde gündelik hayatımızda ve endüstriyel alanda en çok karşılaştığımız kavramlardan bir tanesi haline gelmiştir. Nesnelerin İnterneti uygulamaları akıllı ev sistemleri, sağlık hizmetleri ve hasta takibi, endüstriyel otomasyon, tarım ve hayvancılık, giyilebilir teknolojiler, lojistik gibi hemen hemen her sektörde kullanılabilmektedir. Bu uygulamalar içerisinde karşılaşılan en büyük zorluklardan bir tanesi de IoT nesnelerin enerji ihtiyaçlarının karşılanmasıdır. Yaygın olarak bu enerji pil kullanımı ile elde edilir. Enerji ihtiyacında sınırlı bir kaynağının kullanımı ise uygulama içerisinde pek çok kısıtlamalara sebep olmaktadır. Gelişen teknoloji ile yenilikçi ve alternatif çözüm olarak IoT uygulamalarda enerji hasadı yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Enerji hasadı yöntemlerinin IoT sistemler içerisinde kullanılan düşük güç tüketimli elektronik cihazlara adaptasyonu sayesinde kendi enerjilerini ortam kaynaklarından elde edebilen yapıların kurulmasına olanak sağlanmıştır. Bu çalışma içerisinde radyo dalgalarından elde edilebilecek enerji ile çalıştırılan bir IoT uygulama geliştirilmiştir. Radyo frekansından (RF) enerji elde edebilmek için ticari bir RF hasatlayıcı kullanılmıştır. RF Enerji hasatlayıcıdan elde edilen enerji ile düşük güç tüketimli beacon cihazının çalıştırılması, beacon üzerinden yayımlanan Bluetooth Düşük Enerji (BLE, Bluetooth Low Energy) mesajının geliştirilen iOS (iPhone Operating System) mobil uygulama üzerinden alınması, alınan mesajın içeriğinin geliştirilen arka uç uygulamasına iletilmesi, iletilen mesajın veritabanı üzerinde saklanması ve saklanan verilerin arka uç uygulaması ile istemcilere iletilmesi sağlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: RF Enerji Hasadı; Nesnelerin İnterneti; Beacon; Bluetooth Düşük Enerji; BLE iOS Mobil Uygulama; MQTT.

ABSTRACT

APPLICATION OF ENERGY HARVESTING WITH INTERNET OF THINGS

Esra Öztürk
Master Thesis
Department of Electrical and Electronics Engineering
Electrical and Electronics Engineering Programme
Thesis Advisor: Asst. Prof. Fatma Sarıca
Maltepe University Graduate School, 2021

In today's technology the Internet of Things has become one of the most common concepts that we encounter in our daily life and in industrial field. Internet of Things applications can be used in almost every sector such as smart home systems, healthcare and patient tracking, industrial automation, agriculture and animal husbandry, wearable technologies,logistics. One of the biggest challenges faced in Internet of Things applications is to provide the needful energy of IoT objects to function. Generally, batteries are used for this energy requirement. The use of a limited resource in energy needs causes many restrictions in application. With the developing technology, as an innovative and alternative solution, energy harvesting methods have started to be used in IoT applications. With the adaptation of energy harvesting methods to low-power electronic IoT devices, it has been possible to establish structures that can obtain their energy from ambient environmental sources.In this study, an IoT application that can be operated with energy obtained from radio waves has been developed.A commercial RF harvester is used to extract energy from radio waves. With the DC energy obtained through RF energy harvester, the low power consumption beacon device was operated.In this study, the BLE message broadcasts over the Beacon device was received via the developed iOS mobile application, the content of the received message was transmitted to the developed backend application. In next step, the transmitted message was stored on the database, and the stored data was transmitted to the clients with the backend application.

Keywords: RF Energy Harvesting; Internet of Things; Beacon; Bluetooth Low Energy ; BLE iOS Mobile Application; MQTT.

İÇİNDEKİLER

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI ii
ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI iii
TEŞEKKÜR iv
ÖZ v
ABSTRACT vi
İÇİNDEKİLER vii
TABLOLAR LİSTESİ viii
ŞEKİLLER LİSTESİ ix
KISALTMALAR xi
ÖZGEÇMİŞ xiii
BÖLÜM 1. GİRİŞ 1
BÖLÜM 2. NESNELERİN İNTERNETİ 6
2.1. Nesnelerin İnterneti Bileşenleri 7
2.2. Nesnelerin İnterneti Mimarisi 9
2.3. Haberleşme Teknolojileri ve Veri İletim Protokolleri 10
2.3.1. MQTT Haberleşme Protokolü 11
2.4. Haberleşme Modelleri 19
BÖLÜM 3. ENERJİ HASADI 23
3.1. Kablosuz Enerji Transferi 27
3.2. RF Enerji Hasadı 30
BÖLÜM 4. BEACON 35
4.1. BLE Teknolojisi 38
4.2. iBeacon 40
4.3. Eddystone 42
BÖLÜM 5. YÖNTEM 43
5.1. TPS61032 DC/DC Gerilim Yükseltici 43
5.2. POWERCAST Enerji Hasadı Geliştirme Kiti ve 915 MHz Verici Modülü 45
5.3. nRF51822 ve iBeacon Tasarımı 49
5.4. iOS Mobil Uygulama – Enerji Hasadı Beacon Uygulaması 52
5.5. Uzak Sunucu Bileşenleri 54
5.5.1. MQTT Broker Sunucusu 54
5.5.2 Veritabanı 55
5.5.3. Arka Uç Uygulaması 56
BÖLÜM 6. BULGULAR VE YORUMLAR 59
6.1. Sisteme Genel Bakış 59
6.2. Sistemin Analizi & Ölçümleri 61
BÖLÜM 7. SONUÇLAR 64
EKLER 66
KAYNAKÇA 67

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Nesnelerin İnterneti Kullanım Alanları 3

Tablo 2.1. MQTT CONNACK Mesaj Paketi Cevap Kodu Değerleri 15

Tablo 2.2. '+' Karakter Kullanımı : Örnek Konu = "Bina1/Kat1/+/Sıcaklık" 17

Tablo 2.3. '#' Karakter Kullanımı : Örnek Konu= "Bina1/Kat1/#" 17

Tablo 3.1. Enerji Kaynakları ve Elde Edilen Güç Miktarları 17

Tablo 3.2. Kablosuz Enerji Transferi Karakteristik Özellikleri 30

Tablo 3.3. Frekans Band Tanımları 31

Tablo 3.4. RF Kaynaklar 32

Tablo 4.1. Bluetooth Özellikleri 39

Tablo 4.2. Uygulama Geliştirme Arayüzü ile Sağlanan Yakınlık Durumları 41

Tablo 5.1. Enerji Hasadı Geliştirme Kartı Anten Özellikleri 45

Tablo 5.2. nRF51822 Entegre Özellikleri 50

Tablo 6.1. Baz İstasyonları Ölçüm Değerleri 61

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Nesnelerin İnterneti Konsepti 6

Şekil 2.2. Nesnelerin İnterneti Mimarisi 10

Şekil 2.3. CONNECT-CONNACK Mesaj Paketi Yapıları 14

Şekil 2.4. PUBLISH Mesaj Paketi Yapısı 16

Şekil 2.5. SUBSCRIBE Mesaj Paketi Yapısı 16

Şekil 2.6. SUBACK Mesaj Paketi Yapısı 18

Şekil 2.7. UNSUBSCRIBE-UNSUBACK Mesaj Paketi Yapısı 18

Şekil 2.8. Nesnelerin İnternetinde Nesne - Nesne Bağlantısı 19

Şekil 2.9. Nesnelerin İnternetinde Nesne - Uzak Sunucu Bağlantısı 20

Şekil 2.10. Nesnelerin İnternetinde Nesne - Ağ Geçidi Bağlantısı 21

Şekil 2.11. Nesnelerin İnternetinde Nesne - Arka Uç Uygulaması Bağlantısı 22

Şekil 3.1. Enerji Hasadı Blok Diyagramı 24

Şekil 3.2.Wardenclyffee Kulesi 28

Şekil 3.3. W.C Brown Mikrodalga Helikopteri 29

Şekil 3.4. RF Enerji Hasadı Blok Diyagramı 33

Şekil 4.1. Örnek Beacon Modelleri 36

Şekil 4.2. Beacon Sosyal Mesafe Uygulaması 37

Şekil 5.1. TPS61032 DC/DC Gerilim Yükseltici 44

Şekil 5.2. DC/DC Gerilim Yükseltici Kartı 44

Şekil 5.3. P2110 Pin Konfigurasyonu 46

Şekil 5.4. P2110-EVB Geliştirme Kartı 46

Şekil 5.5.915 MHz Verici USB Modül 47

Şekil 5.6.C# Seri Port Veri Gönderme Kaynak Kodu 48

Şekil 5.7. nRF51822 Beacon Tasarımı 51

Şekil 5.8. Beacon Kartı Ön ve Arka Yüzü 52

Şekil 5.9. iOS Mobil Uygulama – Beacon Ekranı 53

Şekil 5.10. iOS Mobil Uygulama – Veriler Ekranı 54

Şekil 5.11. Messages Tablosu Sütun Bilgileri 55

Şekil 5.12. Messages Tablosu Verileri 56

Şekil 5.13. Java MQTT Yardımcı Sınıf Kodları 57

Şekil 5.14. İstemcilere İletilen REST API İstek Örneği 58

Şekil 6.1. Enerji Hasadı ile IoT Uygulaması Akış Şeması 60

Şekil 6.2. Çalışmanın Genel Görüntüsü 60

Şekil 6.3. P2110B DC/DC Yükseltici Çıkış İndikatörü 63

KISALTMALAR

IoT : Internet of Things, Nesnelerin İnterneti

IIoT : Industrial Internet of Things, Endüstriyel Nesnelerin İnterneti

BLE : Bluetooth Low Energy, Bluetooth Düşük Enerji

iOS : iPhone Operating System

ITU : International Telecommunication Union

PIR : Passive Infrared Sensor

AWS : Amazon Web Services

CoAP : Constrained Application Protocol

XMPP : Extensinle Messaging and Presence Protocol

DDS : Data Distribution Service

AMQP : Advanced Message Queuing Protocol

TCP/IP : Transmission Control Protocol / Internet Protocol

TLS : Transport Layer Security

LWT : Last Will and Testament

WSN : Wireless Sensor Network

MQTT : Message Queue Telemetry Transport

RF : Radyo Frekansı

ISM : Industrial Scientific Medical Band

IC : Integrated Circuit, Tümleşik Devre

MOSFET : Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

GFSK : Gaussian Frequency-Shift Keying

SPI : Serial Port Interface

UART : Universal Asynchronous Receiver Transmitter

ADC : Analog to Digital Converter

RTC : Real Time Clock

LDO : Low Drop Out

CPU : Central Processing Unit

REST : Representational State Transfer

API : Application Programming Interface

ÖZGEÇMİŞ

Esra Öztürk

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Eğitim

Y.Ls.	2017	Maltepe Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Ls.	2010	Girne Amerikan Üniversitesi, Mimarlık & Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği
Lise	2006	Özel Marmara Koleji

İş/İstihdam

2017 Elektrik – Elektronik Mühendisi, Emisan Otomasyon

2016 – 2017 Teknik Servis Mühendisi, Metsis Medikal

Mesleki Birlik/Dernek Üyelikleri

2015 - Üye: Google Geliştiriciler Grubu, İstanbul

Alınan Burs ve Ödüller

2010 Girne Amerikan Üniversitesi Eğitim Bursu

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Nesnelerin İnterneti, verinin elde edilmesi,iletilmesi ve alınması gibi işlemlerin gerçekleştirilmesi için gerekli elektronik donanım, yazılım, ağ bağlantısı özelliklerini bulunduran cihazların bağlı olarak bulunduğu bir ağ olarak tanımlanabilir. Nesnelerin İnterneti teknolojisi ile amaçlanan tüm fiziksel nesnelerin birbirleriyle ve internetle bağlantılı olduğu sistemler kurarak veri toplamak, elde edilen verilerin anlamlı, kullanılabilir bilgilere dönüştürülmesi, ağ üzerinden verilerin alınması/iletilmesi ve tüm bu süreç içerisinde insan müdahalesi gereksinimlerini minimuma indirmektir. Algılamanın yanı sıra sistem içerisinde aynı zamanda belli görevlerin, eylemlerin yerine getirilmesi de sağlanmaktadır. Böylelikle Nesnelerin İnterneti ile uzaktan izleme ve kontrol yapıları kurarak karar verme mekanizmalarıyla gerekli eylemlerin gerçekleştirilmesi sağlanabilmektedir. Nesnelerin birbirleriyle iletişim halinde olabildiği sistemler pek çok alanda kullanılabilir hale gelmiştir. Bu teknoloji aynı zamanda gündelik hayatı yaşama şeklimizi de yeniden şekillendirmeye başlamıştır. Gelişen üretim teknolojileriyle elektronik cihazların boyutlarının küçülmesi sayesinde giyilebilir teknolojiler hayatımıza dahil olmuştur. İnsanların hareketli doğasına hiçbir sınırlama getirmeden hareket halindeyken veri toplayabilen, elde ettiği verileri kablosuz haberleşme yöntemleri ile diğer cihazlara iletebilen/veri alabilen cihazlar hayatımıza entegre olmuştur. Kalp atış hızını, günlük aktivileri, kandaki oksijen düzeyini takip edebilen akıllı saatler bu teknolojinin günlük hayatımızda yer alışının bir örneğidir. Nesnelerin İnternetinin en çok kullanıldığı alanlardan bir tanesi akıllı ev uygulamalarıdır. Kurulan akıllı ev sistemleri ile ısıtma/soğutma elemanlarının, aydınlatma sistemlerinin, buzdolabı, kahve makinesi gibi elektronik ekipmanların, güvenlik ve emniyet sistemlerinin kontrol edilmesinden enerji, su, doğalgaz kullanımının izlenmesi ve optimizasyonuna kadar pek çok işlev gerçekleştirilebilir. Nesneler, adaptif öğrenme ile kullanıcının davranışlarını öğrenerek kullanıcının ihtiyaçlarını otomatik olarak karşılayabilmektedir. Örneğin akıllı bir termostat, adaptif öğrenme ile kullanıcının alışkanlıklarını öğrenerek oda ısılarının ayarlanmasını otomatikleştirebilmektedir.

Bireysel ve daha küçük ölçekli uygulamaların yanında IoT tabanlı uygulamalar endüstri alanında da oldukça geniş bir yer tutmaya başlamıştır. Endüstriyel alanlarda halihazırda kullanılan sensör, otomasyon, büyük veri, makine öğrenimi gibi teknolojilerinin birlikte çalışabilirliğinin sağlanması ile üretim ve sanayi sektörlerinin farklı alanlarında IoT yapılar için ticari yatırımlar yapılmaktadır. Endüstri 4.0 uygulamalarındaki makineleşme, otomasyon ve dijitalleşme gerekliliklerinde IoT yapıların yer almasıyla Endüstriyel IoT (IIoT) terimi ortaya çıkmıştır. Endüstri 4.0 ve IoT kavramlarından türeyen Endüstriyel IoT ile amaçlanan operasyonel süreçlerde verimliliği arttırmaktır. Buna örnek olarak sisteme ait makinaların/parçaların uzaktan izlenebilmesiyle oluşan arızaların gerçek zamanlı olarak fark edilebilmesi böylelikle arızanın sisteme etkisini ve arızaya müdahale süresinin minimize edilmesine olanak sağlanabilmesi gösterilerebilir. Gerçek zamanlı izlemeye ek olarak daha büyük verilerin analiz edilebilmesi ve tahmine dayalı modelleme sayesinde sistem içerisinde yer alan kritik makinelerinin bakımında proaktif bir rol alarak zaman ve maliyet tasarrufu sağlanabilir. Personel ve bina güvenliğinin sağlanması için kullanılabilecek IoT bağlantılı cihazlar ile üretim tesisleri içerisinde güvenli çalışma ortamları yaratılabilmektedir. Sistem içerisinde algılanacak bir kaçak durumunda çalışanların uyarılmasından, personel konumunu takip ederek sadece yetkili personelin girebileceği alanların korunmasına, tehlikeli ve kullanımında azami dikkat gerektiren makinaların operatör davranışlarını izleyerek anormal bir durum ile karşılaşıldığında anında müdahale için yakındaki ilgili birimlerin bilgilendirilmesine kadar pek çok alanda fayda sağlanabilmektedir. Bu örneklerle sınırlı kalmamakla birlikte Nesnelerin İnterneti teknolojisinin kullanıldığı diğer alanlara örnek olarak ofis ortamları, tarım ve hayvancılık, üretim tesisleri, fabrikalar, tedarik zinciri, lojistik, perakende, sağlık uygulamaları ve hasta takip sistemleri, akıllı şehirler (altyapı-trafik-sokak aydınlatma-atık-hava yönetimi), enerji yönetimi uygulamaları gösterilebilir. Tablo 1.1'de Nesnelerin İnterneti kullanım alanlarına ve yöntemlerine ait örnekler görülebilir.

Tablo 1.1. Nesnelerin İnterneti Kullanım Alanları (Manyika, ve diğerleri, 2015)

Kullanım Ortamı	Örnek
İnsan	• Giyilebilir teknoloji ve sindirilebilen sensörler • İnsan sağlığının takibi ve korunması, hastalık yönetimi, verimlilik
Ev	• Kontrol sistemleri ve güvenlik
Perakende	• Mağazalar, bankalar, restoranlar, satış alanları • Kendin Öde sistemleri, envanter yönetimi
Ofis	• Enerji yönetimi, güvenlik, verimlilik arttırma
İmalathane	• İşletme verimliliği, ekipman kullanımı, envanter optimizasyonu
Çalışma Sahası	• Madencilik, petrol ve gaz, inşaat • İşletme verimliliği, tahmini bakım, sağlık ve güvenlik
Araç	• Araba, kamyon, gemi, uçak, tren • Bakım, dizayn, satış öncesi analitik
Şehir	• Kamusal alanlar ve altyapı • Adaptif trafik kontrolü, akıllı sayaçlar, çevre izleme, kaynak yönetimi
Şehirlerarası	• Demiryolu hattı, otonom araçlar, uçuş navigasyonu • Gerçek zamanlı yönlendirme, navigasyon, gönderi takibi

Tüm bu uygulama alanlarında kurulan IoT sistemler içerisinde en önemli konulardan biri de IoT nesnelerin ihtiyaç duyduğu enerjinin karşılanmasıdır. Cisco tarafından yayınlanan rapora göre 2030 yılına kadar 500 milyar IoT nesnenin olacağı düşünülmektedir [2]. IoT'nin, bireysel kullanımdan öte daha büyük kapsamlı kompleks uygulamalarda da benimsenmesiyle ortaya çıkan enerji ihtiyacı daha da artmaktadır. Bu ihtiyacın karşılanabilemesi için sistem tasarımına getirilecek çözümler ve güç yönetimi en önemli parametrelerden biridir.

Sistem ihtiyacı ve tasarımına göre bu enerji ihtiyacı farklı yollarla karşılanabilir. IoT sistemindeki cihazlar sabit bir güç kaynağına kablo yardımıyla bağlanarak enerjilendirilebilir. Cihaz sayısının fazla olduğu, uygulama alanı daha geniş olan yapılarda veya dış ortam uygulamalarında bu yöntem çok da uygulanabilir olmamaktadır. Bu seçenek yalnızca cihaz sayısının az olduğu ve cihaz konumlarının sabit olduğu yapılarda uygulanabilir gözükmektedir. IoT uygulamalarda en yaygın kullanılan çözüm ise pil kullanımıdır. Özellikle ulaşılması zor alanlara konumlandırılmış nesneler için kısıtlı bir kaynak olan pil kullanımı sisteme pil değişimleri için ek bir maliyet ve süre olarak yansımaktadır. Sistem ihtiyacını yeterli, sürdürülebilir ve güvenli bir şekilde karşılamak için son zamanlarda Nesnelerin İnterneti uygulamalarında enerji hasadı teknolojilerinin kullanımı üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

Enerjinin elde edildiği yöntemler kadar enerjinin sistem içerisinde verimli bir şekilde kullanılması da enerji hasadı yöntemlerinin adapte edildiği IoT uygulamalarında önem taşımaktadır. Sistem içerisinde daha düşük güç tüketimli algılama birimlerinin kullanılması, düşük güç tüketimli kablosuz haberleşme teknolojilerinin tercih edilmesi, pil verimliliğinin arttırılması ve daha verimli pillerin tercih edilmesi; sensör, mikrodenetleyici, aktüatör gibi cihaz bileşenlerinin çalışma modlarında enerji tüketimlerinin azaltılması, algılama ve haberleşme için kullanılan birimlerin sürekli aktif çalışması yerine görev döngüsünün kullanımı ile aktif kalma ve uyku modu sürelerinin ayarlanarak birimlerin gerekli haller dışında uyku modunda tutulması ile enerji tasarfunun sağlanması ve enerji verimliğinin artırılması sağlanabilir.

Çalışmanın devamında 2. Bölüm içerisinde Nesnelerin İnterneti kavramı, sistem bileşenleri ve mimari genel olarak incelenmiştir. Nesnelerin İnterneti kavramının devamında ise verilerin iletimi için tercih edilmiş olan Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) haberleşme protokolünün çalışma prensibi, mesaj paketi yapıları ve kullanılabilecek haberleşme modellerine değinilmiştir. Bölüm 3 içerisinde çalışmanın ikinci kısmını oluşturan enerji hasadı kavramı ile birlikte RF enerji hasadı kavramları üzerinde durulmuştur. Çalışmanın 4. Bölümü IoT nesne olarak kullanılması planlanan Beacon tanıtılmasından önce Beacon ve BLE teknolojilerinin incelenmesine ayrılmıştır. 5. Bölüm içerisinde enerji hasadı ile Nesnelerin İnterneti uygulamasının uçtan uca tasarımı paylaşılmıştır. Tasarlanan DC/DC gerilim yükseltici elektronik kartı, kullanılan enerji hasatlayıcı geliştirme kiti, RF verici, RF vericinin yayın yapmasını sağlayan Windows masaüstü uygulaması, hasatlanan enerjinin kullanılması için düşük güç tüketimli iBeacon cihazı, iBeacon cihazı ile mobil cihazlar arasında mesafenin bulunmasını ve elde edilen verilerin MQTT sunucusuna gönderimini sağlayan iOS mobil uygulaması, MQTT sunucusuna iletilen verileri kaydetmek ve kaydedilen verileri iOS mobil uygulamaya iletmesini sağlayan arka uç uygulaması incelenmiştir. Bölüm 6 içerisinde sisteme ait genel bir bakış, sistem analizi ve ölçümleri paylaşılmış olup, 7. Bölüm içerisinde çalışmanın sonuçlar bölümüne yer verilmiştir.

BÖLÜM 2. NESNELERİN İNTERNETİ

Nesnelerin İnterneti kavramı 1999 yılında Procter & Gamble (P&G) firması için Kevin Ashton tarafından hazırlanan bir sunumun başlığında ortaya çıkmıştır. Firmanın tedarik zincirinde yaşadığı bazı problemlerin çözümü için sürdürülen çalışmalarda RFID teknolojisi ve internet kullanımının konu alınmasıyla Nesnelerin İnterneti kavramı hayatımıza girmiştir.

Nesnelerin İnterneti, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tanımıyla nesnelerin veya aygıtların zaman, mekan bağımlılığı olmadan birbirleriyle bağlantıda olabileceği teknolojidir.



Şekil 2.1. Nesnelerin İnterneti Konsepti (International Telecommunication Union, 2012)

İlerleyen teknoloji ile birlikte bilgisayarlar, tabletler, akıllı telefonlar dışında kablosuz haberleşme ve sensör teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde televizyon, saat, klima, buzdolabı, kahve makinesi gibi pek çok elektronik cihaz ve günlük hayatımızda kullandığımız nesneler akıllı hale getirilerek IoT ağına dahil edilmiştir.

Nesnelerin İnterneti teknolojisinde; nesnelere algılayıcılar/sensörler entegre edilerek bulundukları ortamdaki fiziksel parametreleri izleme ve bu parametreler hakkında veri toplama özelliği kazandırılabilir. Aynı zamanda nesnelere haberleşme entegrelerinin dahil edilmesiyle nesnelerin elde ettikleri kablolu/kablosuz haberleşme

özelliği sayesinde, veriler oluşturulan IoT ağı içerisinde diğer nesneler ile, uzak sunucu ile veya uzak sunucu aracılığı ile diğer IoT ağlar ile paylaşılabilmektedir.

2.1. Nesnelerin İnterneti Bileşenleri

Nesnelerin İnterneti ağını oluşturan bileşenleri şu şekildedir:

- Sensör /algılayıcı ve aktüatör
- Ağ geçidi
- Mikrodenetleyici ve işlemci
- Uzak sunucu

Sensörler/algılayıcılar entegre edildikleri nesne hakkında veya bulundukları ortamdaki fiziksel parametreleri algılarlar. Kullanım amaçlarına göre farklı parametrelerin algılanmasında ve takip edilmesinde kullanılan sensörler sistem için gerekli olan verilerin toplanmasında kullanılır. Sıcaklık sensörleri, nem sensörleri, pasif kızılötesi sensörleri (PIR), yakınlık sensörleri ve medikal sensörler kullanılan sensörlere örnek olarak gösterilebilir.

Aktüatörler sistemin kontrol tarafında yer alır; sensörler tarafından elde edilen verilen toplanması ve analiz edilmesine bağlı olarak mikrodenetleyici / işlemci tarafından sağlanacak alarm, bildirim vs. komutlarına göre bir formdaki enerjiyi mekanik bir harekete dönüştürür. Temel olarak doğrusal ve döner hareket sağlayan aktüatörler kullanıldıkları enerjinin kaynağına göre hidrolik, pnömatik, elektrikli olmak üzere kategorilendirilir.

Mikrodenetleyiciler ve işlemciler, sensörlerden elde edilen verilerin işlendiği, hesaplamaların yapıldığı sistem içerisinde yer alan aktüatörlere gerekli işlemlerin gerçekleştirilmesi için komutların gönderildiği birimdir. Mikrodenetleyici ve işlemci ünitesi nesnelerin beraber ve sistemin tasarlandığı şekilde çalışması için gereken ana ünitedir.

Nesnelerin İnterneti ağında ağ geçitleri, nesneler ile uzak sunucu arasında sağlanacak iletişimde köprü görevindedir. Nesnelerin uzak sunucu ile sağlayacağı bağlantı ve aralarında gerçekleşecek veri alışverişi için kullanılan ağ geçidi, Nesnelerin İnterneti ağına dahil olan cihazların/sensörlerin farklı iletişim protokollerini kullandığı durumlarda gerekli dönüşümleri sağlar.

Nesnelerin İnterneti ağına dahil olan nesnelerden düzenli olarak bir veri akışı gerçekleşmektedir. Uzak sunucu, elde edilen verilerin depolanması ve yönetilmesinde önemli bir rol oynar. Bulut tabanlı veri depolamanın benimsenmesi ile

- Fiziksel sunucu bulundurma maliyetinin ortadan kaldırılması,
- Genişleyen sistem gereksinimlerini daha hızlı karşılanması,
- İnternet erişiminin olduğu herhangi bir zamanda herhangi bir yerden sağlanan arayüz ile verilere gerçek zamanlı olarak uzaktan erişebilme ve ağ içerisinde bulunan cihazların bağlantı durumlarını kontrol edilmesi,
- Geçmişe yönelik tutulan kayıtlar ile belirli dönemlerde raporlama yapılabilmesi
- Zaman ile verilerin artmasından dolayı Büyük Veri kullanılarak geçmişe dönük kayıtlara çok hızlı erişim sağlanması,
- Belirli koşullar altında son kullanıcıya uyarı gönderilebilmesi,
- Güvenli ve hızlı veri paylaşımı yapılması,
- Bulut platformların sunduğu sunucusuz fonksiyonlar kullanılarak mikroişlemciler yerine bu hizmetler karar mekanizmalarında rol alarak mikrodenetleyicilerdeki iş yükünü azaltması sağlanır.

Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure, Google Cloud Platform Nesnelerin İnterneti sistemlerinde kullanılan bulut platformlarından birkaçıdır.

2.2. Nesnelerin İnterneti Mimarisi

Nesnelerin İnterneti uygulamalarında, uygulamanın amacına yönelik olarak gereksinimler ve kısıtlamalar dahilinde verilerin toplanması, işlenmesi, depolanması, karar verme mekanizmasının oluşturulması ve gerçekleştirilecek eylemler için farklı teknolojiler seçilerek uygulama içerisinde kullanılmaktadır. Bu çeşitlilik sebebiyle günümüzde her Nesnelerin İnterneti uygulamasında benimsenebilecek standart haline gelmiş tek bir mimari yapı bulunmamaktadır.

Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tarafından yürütülen standardizasyon çalışmaları kapsamında Nesnelerin İnterneti için önerilmiş olan, yönetim ve güvenlik özelliklerinin de dahil edilmesiyle oluşturulan referans modelde toplamda 4 katman bulunmaktadır. Bu katmanlar şu şekilde sıralanmıştır:

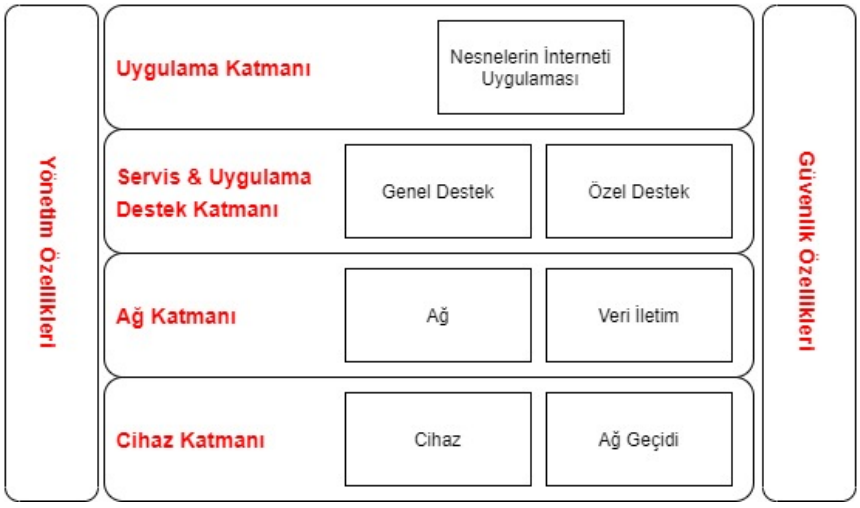
- Uygulama katmanı
- Servis ve uygulama destek katmanı
- Ağ katmanı
- Cihaz katmanı

Mimarinin en alt basamağını oluşturan cihaz katmanı fiziksel katmandır. Nesnelerin İnterneti uygulamasında yer alan nesneler, bu nesneler sayesinde elde edilecek veriler, cihaz katmanında ve ağ katmanında farklı protokollerin kullanılması durumda protokol dönüşümünü sağlayan ağ geçitlerinin kullanımı içerir.

İkinci basamakta ağ bağlantısı için doğrulama, yetkilendirme, izleme gibi ağ kaynaklarına erişimin güvenliği ile ilgili unsurların ve uygulama verilerinin taşınmasını içeren ağ katmanı bulunmaktadır.

Genel destek ve özel destek özellikleri olarak 2 grupta ele alınan Servis ve Uygulama Destek katmanında verilerin işlenmesi ve depolanması ile birlikte farklı Nesnelerin İnterneti uygulamalarında ortaya çıkabilecek farklı servis gerekliliklerine hizmet verebilecek şekilde uygulamaların yürütülmesi ele alınmaktadır.

Son basamakta yer alan uygulama katmanı ise son kullanıcıya sunulan arayüzü belirtmektedir. Son kullanıcı, bu katman sayesinde nesnelerine erişim sağlar; verilerini, alarmlarını, aktüatörlerin durumunu görüntüleyebilir. Bu katmanda diğer katmanların yaptığı işlemlerin anlamlı halde gösterilmesine olanak sağlar.



Şekil 2.2. Nesnelerin İnterneti Mimarisi (International Telecommunication Union, 2012)

2.3. Haberleşme Teknolojileri ve Veri İletim Protokolleri

Nesnelerin İnterneti teknolojisinde nesneler birbirleri ile kablolu / kablosuz haberleşme teknolojileri sayesinde veri alışverişinde bulunabilirler. Ağa dahil olan nesneler veri iletimini gerçekleştirmek için Wi-Fi veya 2G, 3G, 4G gibi mobil iletişim teknolojilerini kullanabilir. Bunların dışında Nesnelerin İnterneti uygulamaları içerisinde yaygın olarak Bluetooth , ZigBee , Z-Wave, NFC, SigFox, LoRaWan gibi daha düşük güç tüketimli farklı kablosuz haberleşme teknolojileri de kullanılmaktadır. Güç tüketimi, haberleşme menzili, verinin aktarım hızı,bant genişliği,çalışma frekansları, maliyet, güvenlik gibi parametreler uygulamada kullanılacak olan kablosuz haberleşme protokolünün seçiminde etkili olacaktır. Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), Constrained Application Protocol (CoAP), Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP), Data Distribution Service (DDS), Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) mesajlaşma protokolleri, nesne-uzak sunucu arası iletişimde yaygın

olarak kullanılan protokollerden bir kaçıdır. Çalışma içerisinde IoT cihazdan elde edilen verilerin uzak sunucuya iletilmesi için MQTT veri iletim protokolünün kullanılması tercih edilmiştir. Yöntem bölümünde MQTT protokolü detaylı olarak incelenmiş ve uygulama detayları paylaşılmıştır.

2.3.1. MQTT Haberleşme Protokolü

MQTT protokolü 1999 yılında sırasıyla IBM ve Arcom (Eurotech) firmalarında çalışan Dr. Andy Stanford-Clark ve Arlen Nipper tarafından icat edilmiştir. OASIS tarafından standartlaştırılan bu mesajlaşma protokolü, Nesnelerin İnterneti uygulamalarında haberleşme için kullanılır ve istemci/sunucu yapısında mesaj yayınlama/abone olma metodu ile çalışır. Açık kaynak kodlu bir protokol olan MQTT; uzak sunucu ile cihaz arasında çift yönlü iletişim sağlar.

MQTT yapısına ait birimler şu şekildedir :

- MQTT sunucu: Yayıncı tarafından sağlanan mesajların ulaştığı, bu mesajların konuya göre filtrelendiği ve filtrelenen mesajların ilgili konuya abone olan istemcilere ulaştırıldığı birimdir. Yayıncı ve abone arasındaki bağlantıyı sağlar.
- MQTT istemci: Belirli bir konu ile ilgili mesaj yayınlayan yayıncı ve ilgili konu başlığında mesaj almak üzere sunucuyla bağlantı kuran abone olmak üzere ikiye ayrılır.
    - Yayıncı: Konu bilgisi ile birlikte mesajı sunucuya iletir.
    - Abone: Belirli bir konuda mesaj alabilmek için sunucuya istenilen konu başlığına abone olan birimdir.

MQTT ağında nesne, mesaj almak istediği konu başlığında sunucuya abone olur ve birçok konu başlığında mesaj alması mümkündür. Konu ile ilgili mesajlar yayıncı istemci tarafından sağlanır. Bir konu başlığına birden fazla yayıncı mesaj iletebilir. Yayıncı, mesajları konu bilgisi ile birlikte sunucuya iletir. Konu bilgisine göre mesajları filtrelemek ve ilgili abonelere yönlendirmek sunucunun görevindedir. Bağlantı sunucu ile istemci arasında sağlanır, istemciler arasında direkt bir bağlantı kurulamamaktadır.

İstemci sunucuya gönderdiği CONNECT mesajı ile bağlanma talebini iletir ve sunucudan istemciye bağlantı talebinin başarılı olup olmadığı bilgisini içeren CONNACK mesajı ile geri bildirim sağlanır. Sunucu bu bağlantıyı istemci tarafından gönderilen DISCONNECT bağlantı kesme mesajı gelene kadar veya bağlantı kopana kadar açık tutar.

Bağlantının sağlanması ile artık istemci sunucuya mesajı iletebilecektir. Yayıncı, içerisinde konu bilgisi ve servis kalitesi seviyesinin de bulunduğu PUBLISH mesajını sunucuya iletir. Yayıncı, sunucuya mesajını ilettikten sonra konuya abone olan istemcilerin belirlenmesi ve abonelere mesajın iletilmesi sunucunun görevindedir. Konu ile ilgili mesajları alabilmek için abonenin sunucuya SUBSCRIBE mesajını iletmesi gerekmektedir. Her abonelik için gönderilecek SUBSCRIBE mesajına karşılık aboneliğin teyidi için sunucudan SUBACK geri bildirimi alınacaktır. Abonenin, aboneliği sonlandırmak istemesi durumunda abonenin sunucuya göndereceği UNSUBSCRIBE mesajı ile abonelik sonlandırılacaktır. Bu mesaja karşılık sunucu tarafından aboneliğin sonlandırılma onayı için UNSUBACK geri bildirimi alınacaktır.

Yayıncı ve abone arasında mesajların iletilebilmesi için istemcilerin aynı anda bağlantı sağlaması gerekmemektedir. MQTT asenkron bir protokol olduğundan istemcilerin üzerinde gerçekleşen işlemler mesajı yayınlama ve mesajı alma sırasında etkilenmez.

MQTT, Transmission Control Protocol / Internet Protocol (TCP/IP) protokolü üzerine kuruludur. Bu protokol ile mesaj paketleri internet üzerinden sıralı bir şekilde ulaştırılır. Transport Layer Security (TLS) sertifikasını desteklemesi ile sunucu ile istemci arasında güvenli bir bağlantı kurulmuş olur.

İstemci, sunucuya mesaj iletirken bu mesaj için servis kalitesinin seviyesini belirler. MQTT ağında mesaj iletiminde 3 farklı servis kalitesi seviyesi vardır. Bunlar:

QoS 0 (En fazla bir defa teslim): Mesajın sunucuya teslim edilmesinin garantisi yoktur. Sunucu tarafından mesajın alındığı teyit edilmez. Mesajın saklanmadığı ve tekrar gönderimin olmadığı seviyedir.

QoS 1 (En az bir kez teslim): Mesajın en azından bir kez teslim edilmesinin garanti edildiği seviyedir. Sunucu, mesajın alındığına dair onayı PUBACK mesaj paketi ile göndericiye iletir. Gönderici, bu geri bildirimi almadığı takdirde mesajı saklar ve onay paketi gelene kadar mesajı tekrar iletmeye devam eder. Bu seviyede mesajın sunucuya birden fazla gönderilmesi veya teslim edilebilmesi mümkündür. Gönderici, mesajın tekrar iletildiği durumda PUBLISH mesaj paketi içerisinde DUP bayrağı parametresini 1 (true) olarak ayarlar.

QoS 2 (Kesinlikle bir kez teslim): En üst, güvenli fakat en yavaş seviyedir. Her mesajın sunucu tarafından yalnızca bir kez teslim alınması garanti edilir. Sunucuya gönderilen her mesaj için sunucu tarafından mesajın alındığına dair onay cevabı yayıncıya iletilir. 4 aşamalı el-sıkışma yöntemiyle mesajın iletildiği doğrulanır. Sunucu, yayıncı tarafından iletilen PUBLISH mesajının aldığına dair onayı PUBREC mesaj paketi ile yayıncıya iletir. Yayıncı PUBREC mesajını alana kadar PUBLISH mesaj paketi içerisinde DUP bayrağı parametresini 1 (true) olarak ayarlayarak mesajı iletmeye devam eder. PUBREC mesaj paketinin yayıncıya ulaşmasıyla yayıncı PUBREL onay paketi ile sunucuya iletir. Son aşamada ise sunucu PUBCOMP mesaj paketini yayıncıya iletir.

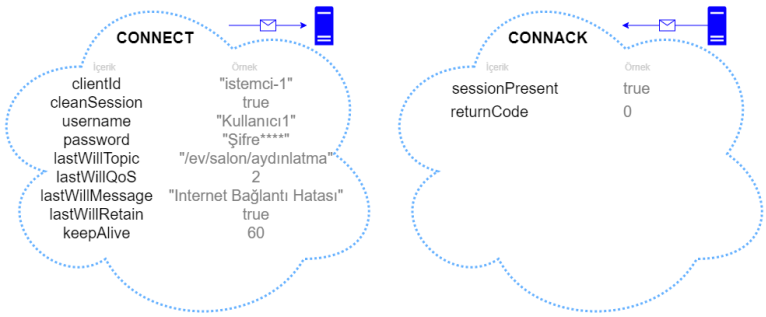
MQTT, sunucuya bağlanma, konulara abone olma, konu içerisinde mesaj yayınlama gibi bir çok mesaj yapısına sahiptir.

1. **CONNECT**: İstemci, CONNECT mesajı ile sunucuya bağlantı talebini iletir. Bu mesaj paketi içerisinde her istemcinin sahip olduğu ve sunucunun istemciyi tanımlamak için kullandığı özel kimlik kodu (ClientID), sunucu ile istemci arasındaki bağlantının herhangi bir nedenle kesilmesi durumunda bağlantının yeniden kurulmasıyla sunucunun oturum bilgilerini tekrar kullanıp kullanmayacağının seçildiği oturum bayrağı (cleanSession) ve değeri saniye cinsinden belirtilen ve istemci tarafından belirlenen maksimum aktif kalma zamanı (keepAlive) bilgileri bulunmaktadır. Kullanıcı adı ve şifresi istemci tarafından opsiyonel olarak belirtilebilir.

İstemci CONNECT mesaj paketi içerisinde, LWT parameterlerini de belirtebilir. Yayıncı bağlantısının beklenmedik bir şekilde kopması durumunda sunucu bu mesaj konu başlığına abone olan tüm istemcilere LWT mesajını ileterek istemcileri bu ağ hatası ile ilgili bilgilendirir. LWT içerisinde belirtilecek parametreler; konu bilgisi (lastWillTopic), mesaj içeriği(lastWillMessage),servis kalitesi seviyesi (lastWillQos) ve

LWT mesajının şu anda bağlı olmayan abonelere bağlantı sağlanınca iletilmesi için saklanmasını sağlayan LastWillRetain şeklindedir.

Sunucu tarafından gerçekleştirilen kimlik doğrulama ve yetkilendirme işlemlerinin ardından sunucu CONNACK mesaj paketini istemciye iletir. CONNACK paketi içerisinde mevcut oturum bilgisi ve bağlantının kabul edilip edilmediğinin bilgisi iletir.



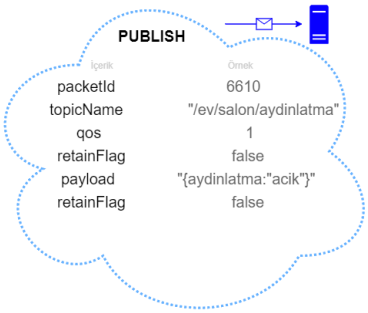
Şekil 2.3. CONNECT-CONNACK Mesaj Paketi Yapıları

KeepAlive süresi içerisinde aynı istemci birden fazla connect mesajını sunucuya iletilirse ve connect mesaj içeriğinde cleanSession bayrağı 1 (true) olarak ayarlanmış olursa, sunucu önceki bağlantıları temizler ve CONNACK mesaj içeriğinde sessionPresent bayrağını 1 (true) olarak gönderir.Dönüş kodu değeri (returnCode) ise istemciye bağlantı talebinin kabul/ret bilgisini iletir. Dönüş kodu değeri beş farklı şekilde olabilir. Dönüş kodu değerlerine göre açıklamaları Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. MQTT CONNACK Mesaj Paketi Cevap Kodu Değerleri

DEĞER	AÇIKLAMA
0	Kabul
1	Ret/MQTT protokol sürümü desteklenmiyor
2	Ret/Kimlik kodu(ClientID) kabul edilmedi
3	Ret/Ağ bağlantısı sağlandı,sunucu hizmet vermiyor
4	Ret/Kullanıcı adı ya da şifre hatası
5	Ret/Yetkisiz istemci

2. PUBLISH, SUBSCRIBE, SUBACK, UNSUBSCRIBE Paketleri: Publish paketi İstemci ve sunucu arasındaki bağlantının kurulmasının ardından istemci mesaj başlığına yayınlayacağı mesajı PUBLISH paketi ile sunucuya iletebilir. PUBLISH mesaj paketi içerisinde paket numarası (packetId), konu başlığı (topicName), tutma bayrağı (retainFlag), mesaj içeriği (payload) ve kopya bayrağı (dupFlag) parametreleri bulunur. Tutma bayrağı parametresinin 1 (true) olarak ayarlanması durumunda sunucu son yayınlanan mesajı saklayacak ve ilgili konuya abone olan istemcilere abone olmalarının hemen ardından bu mesajı iletecektir. Sunucu her konu başlığı için bir ileti saklar. Böylelikle yeni abone olan istemciler konu ile ilgili yayınlanan son mesaj bilgisini bir sonraki güncel mesajı beklemek zorunda kalmadan alacaklardır. Mesaj paketinin sunucuya iletilmesinin ardından mesajın ilgili abonelere iletilmesi sunucunun görevidir. Yayıncı, mesajın abonelere iletilip iletilmediği veya kaç aboneye iletildiği gibi konular için sunucudan herhangi bir geri bildirim almaz.



Şekil 2.4. PUBLISH Mesaj Paketi Yapısı

SUBSRIBE: İstemci bir veya daha fazla konuya abone olmak için sunucuya SUBSCRIBE mesajını iletir. Bu mesaj paketinde konu bilgisine ait liste, servis kalitesi seviyeleri ile birlikte iletilir.



Şekil 2.5. SUBSCRIBE Mesaj Paketi Yapısı

Konu, UTF-8 dizelerinden oluşur ve formatı bir veya daha fazla konu düzeyi veya alt başlıkları içerir. Konu düzeyleri ve alt başlıklar eğik çizgi "/" ile ayrılarak belirtilir. Konu bilgisini içeren dizelerde büyük küçük harf duyarlılığı vardır ve her konunun en az bir karakter içermesi gerekmektedir. Aynı anda birden fazla konuya abone olmak için "+" ve "#" karakterleri kullanılır. "#" karakterinin bağlı olduğu konu başlığının altında bulunan alt-konu başlıklarına aynı anda abone olunurken, '+' karakteri kullanılarak tek seviyede aynı alt konulara abone olunur. Karakterlerin kullanım örnekleri Tablo 2.2 ve Tablo 2.3 'de gösterilmiştir.

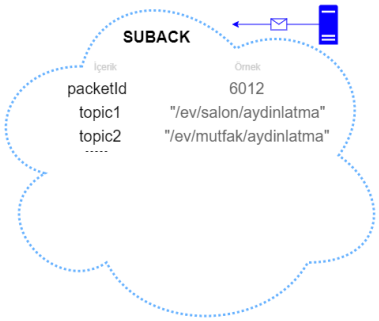
Tablo 2.2.‘+’ Karakter Kullanımı : Örnek Konu = “Bina1/Kat1/+/Sıcaklık”

Konu Başlığı	Abonelik Durumu
“Bina1/Kat1/Oda1/Sıcaklık”	√
“Bina1/Kat1/Oda2/Sıcaklık”	√
“Bina1/Kat1/Oda1/Nem”	X
“Bina1/Kat1/Oda1/Cihaz1/Sıcaklık”	X
“Bina1/Kat2/Oda1/Sıcaklık”	X

Tablo 2.3.‘#’ Karakter Kullanımı : Örnek Konu= “Bina1/Kat1/#”

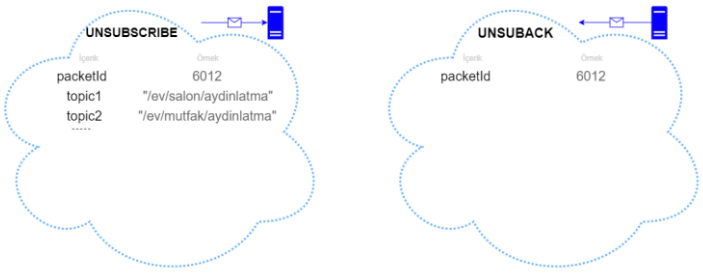
Konu Başlığı	Abonelik Durumu
“Bina1/Kat1/Oda1/Sıcaklık”	√
“Bina1/Kat1/Oda2/Sıcaklık”	√
“Bina1/Kat1/Oda1/Nem”	√
“Bina1/Kat2/Oda1/Sıcaklık”	X
“Bina1/Kat2/Oda1/Nem”	X

SUBACK: Sunucu, abonelik talebine karşılık onay bilgisini SUBACK mesajı ile istemciye iletir. SUBACK mesaj paketi içerisinde paket numarası (packetID) ve her bir konu aboneliği talebine karşılık dönüş kodu değerleri bulunur. Bu değer, abonelik talebinin onay bilgisini servis kalitesi seviyesi ile birlikte iletir.



Şekil 2.6. SUBACK Mesaj Paketi Yapısı

UNSUBSCRIBE: İstemci, oluşturulan konu aboneliklerinden çıkmak için UNSUBSCRIBE mesajını sunucuya gönderir. Tek mesaj ile birden fazla konu aboneliği iptal edilebilir. Mesaj paketi içerisinde paket numarası (packetId) ile birlikte iptal edilecek konu listesi bulunur. Sunucu, abonelikten çıkma talebine karşılık onayı UNSUBACK mesaj paketi ile istemciye iletir.



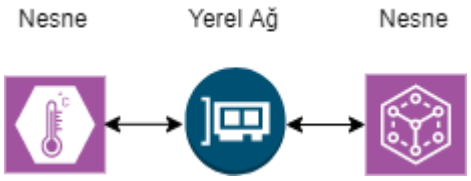
Şekil 2.7. UNSUBSCRIBE-UNSUBACK Mesaj Paketi Yapısı

2.4. Haberleşme Modelleri

Nesnelerin veri iletimini gerçekleştirebilmesi için dört farklı haberleşme modeli bulunmaktadır. Bu dört farklı haberleşme modeli şu şekilde sıralanabilir:

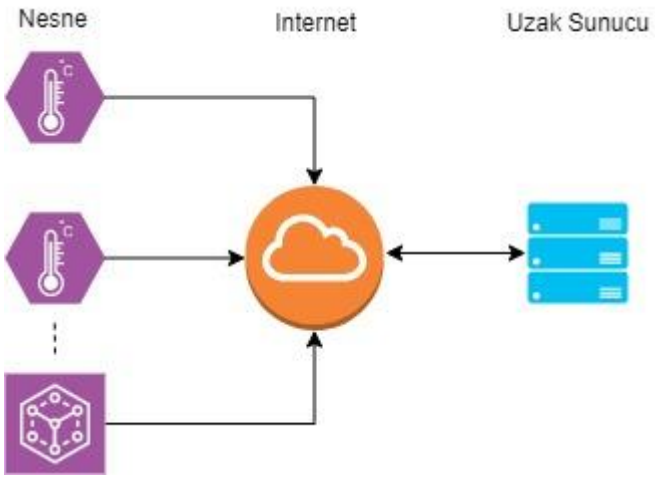
- Nesne-nesne bağlantısı
- Nesne-uzak sunucu
- Nesne-ağ geçidi
- Arka uç veri paylaşımı

Nesne-nesne bağlantısı aynı ağ içerisindeki iki veya daha fazla IoT nesnenin doğrudan bağlantıda olduğu ve veri iletimini gerçekleştirdiği modeldir. Nesnelerden her birinin belirli ortak bir haberleşme protokolünü kullanması ile farklı üreticilerin geliştirip ürettiği cihazların birlikte çalışması, doğrudan iletişim kurması ve veri alışverişi yapması sağlanır.



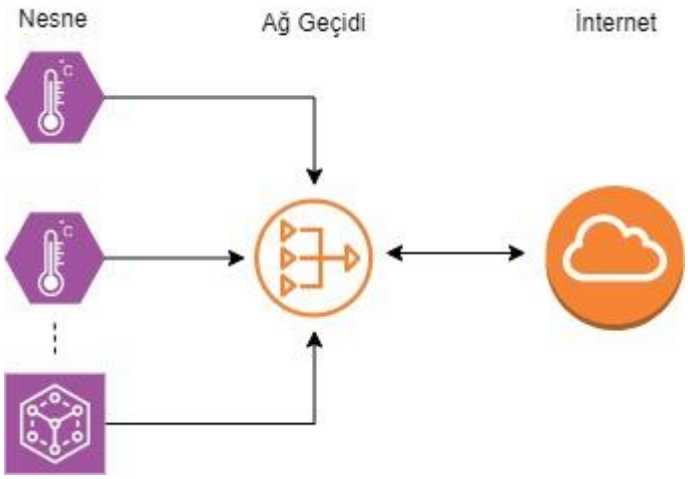
Şekil 2.8. Nesnelerin İnternetinde Nesne - Nesne Bağlantısı

Nesne - uzak sunucu bağlantı modelinde ise IoT nesne uzak sunucuya doğrudan erişim sağlayarak uzak sunucu hizmetine bağlanabilir. Uzak sunucu ile bağlantı Ethernet, Wi-Fi, Hücresel erişim ile sağlanabilir.



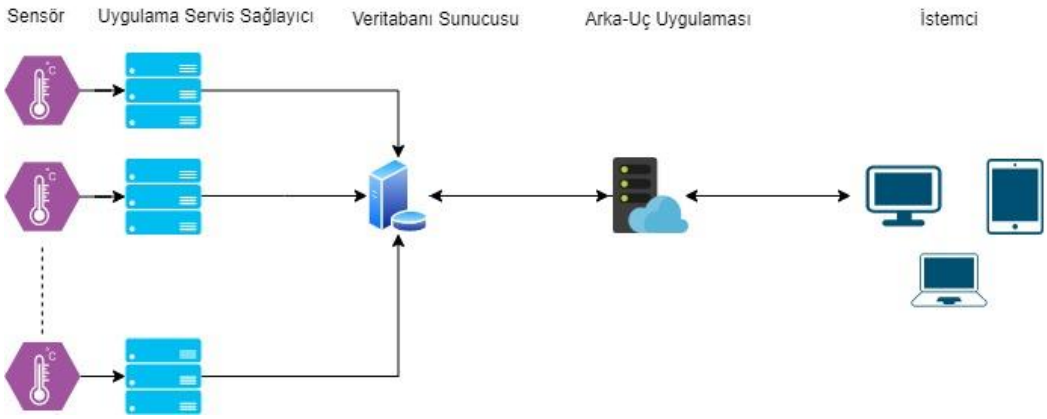
Şekil 2.9. Nesnelerin İnternetinde Nesne - Uzak Sunucu Bağlantısı

Bir başka haberleşme modelinde ise IoT nesne bulut tabanlı uzak sunucu ile kurulacak haberleşme bağlantısını bir ağ geçidi cihazı aracılığı ile sağlayabilir. Doğrudan uzak sunucuya bağlanma kabiliyetine sahip olmayan IoT nesneler cep telefonları içerisinde çalışan bir mobil uygulama yazılımı sayesinde bu erişimi sağlayabilir. Böyle bir senaryoda cep telefonu bir ağ geçit cihazı olarak kullanılabilir; ağ geçit cihazı temel olarak içerisinde bulunan bir mobil uygulama aracılığı ile IoT cihaz ile uzak sunucu arasında geçit görevi gören bir cihaz uygulaması olarak tanımlanabilir. Ağ geçidi farklı kablosuz haberleşme teknolojileri arasında geçit görevi görüp gerekli ağ ve güvenlik işlevlerini yerine getirir. Aynı zamanda yerel ağ içerisinde bulunan, normal şartlarda birlikte çalışmaya uygun olmayan çeşitli IoT nesnelerin kablosuz olarak bağlanması, birlikte çalışabilirliğinin sağlanması ve başka IoT nesnelerin ağa dahil edilmesinde kullanılacak Hub sayesinde hem IoT nesneler arasında hem de nesneler ile uzak sunucu arasında ağ geçidi görevi yerine getirebilir.



Şekil 2.10. Nesnelerin İnternetinde Nesne - Ağ Geçidi Bağlantısı

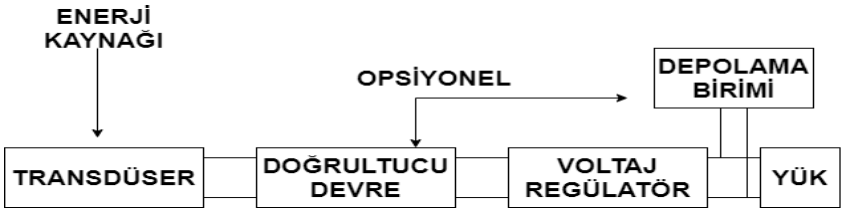
Arka uç veri paylaşımı modelinde ise nesne-uzak sunucu modelinde olduğu gibi nesneler ürettiği verileri belirlenen uygulama servisine iletir. Nesnelerin uygulama servisine ilettiği veriler servis tarafından veritabanına kaydedilir. Bu sayede bir veritabanı üzerinde birden fazla nesneye ait veriler saklanmış olur. Bütünleşmiş olan bu verileri analiz etmek, dışarı aktarmak için arka-uç uygulamasına ihtiyaç bulunmaktadır. Arka uç uygulaması istenilmesi durumunda RESTful uygulama programlama arayüzü kullanılarak 3. parti uygulamalara hizmet sağlaması için yetkilendirme, bütünleşmiş olan verileri direkt iletme ya da ayrıştırarak iletebilir. Arka uç uygulamasından istemcilere iletilecek olan verilerin hangi protokoller/mimariler kullanılarak iletileceğinin bir standardı yoktur üreticiler/geliştiriciler kendi mimarilerine uygun olan yapılarda arka uç uygulamaları ile veri paylaşımını yaparlar.



Şekil 2.11. Nesnelerin İnternetinde Nesne - Arka Uç Uygulaması Bağlantısı

BÖLÜM 3. ENERJİ HASADI

Enerji hasadının temelinde ortamda serbest olarak bulunan enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin düşük güç tüketimi olan elektronik cihazlar için kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştürülmesi vardır. Uzun yıllardır enerji ihtiyacını fosil yakıtlardan ziyade temiz enerji kaynaklarından elde etmek için güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji kaynaklarını kullanılarak büyük ölçekli yenilenebilir enerji üretim teknolojileri kullanılmaktadır. Enerji hasadında ise miliwatt (mW) seviyelerinde güç tüketimi olan elektronik cihazların, sensörlerin, kablosuz sensör ağlarının (WSN), IoT nesnelerin enerji ihtiyaçlarının karşılanması temel alınmaktadır. Bu cihazların çalışması için gerekli olan enerji yaygın olarak piller veya bataryalardan sağlanmaktadır. Sınırlı pil ömrü, sistem içerisinde bulunan pillerin periyodik olarak değiştirilmesi gerekliliği göz önüne alındığında cihazların kendi enerjisini sağlayarak fonksiyonlarını gerçekleştirmeye devam etmesi önem kazanmaktadır. Enerji hasadı ile amaçlanan, pil bağımsız sistemlerin kurulması veya sistem içerisinde kullanılan şarj edilebilir pillerin enerji hasadı ile elde edilecek elektrik enerjisi ile desteklenmesidir. Enerji hasadı teknolojilerinde kullanılan enerji kaynakları arasında mekanik enerji (hareket, titreşim, basınç), termal enerji, ışık enerjisi ve televizyon, radyo baz istasyonu, telsiz, cep telefonları gibi cihazlardan yayılan Radyo Frekansı (RF) gösterilebilir. Bu kaynaklardan enerji elde etmek için farklı hasatlayıcı teknolojileri ve mimarileri kullanılmaktadır. Hasatlama sistemlerinin tek bir mimarisi olmamakla birlikte sistemi oluşturan aşamaların genel şeması aşağıdaki gibidir:



Şekil 3.1. Enerji Hasadı Blok Diyagramı (Spies, Mateu, & Pollak, 2013)

Kaynak enerjisinin kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştürülmesinde enerji dönüştürücüler (transdüser) kullanılmaktadır. Isı enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için termoelektrik jeneratörler,ışık enerjisini dönüştürmek için güneş pili ve mekanik enerji hasadı için piezoelektrik malzemeler, elektrostatik ve elektrodinamik dönüştürücüler örnek olarak gösterilebilir (Spies, Mateu, & Pollak, 2013). Transdüser çıkışında elde edilen gerilimin AC gerilim olması durumunda sistemdeki yükleri besleyebilmek için DC gerilime dönüştürme işleminde doğrultucu devreye ihtiyaç duyulmaktadır. Elde edilen DC gerilimi belirli sabit bir değere ayarlamak ve bu değeri koruyabilmek adına DC-DC voltaj regülatörü sisteme dahil edilebilir. Enerji hasatlama sistemlerinde elde edilen elektrik enerjisi direkt olarak sistemi beslemek için kullanılabilir. Bu senaryoda elde edilen enerjinin sürekli olarak sistemin minimum enerji talebini karşılayabilmesi gerekir. Bu durumda hasat edilen enerjinin sistem için yeterli olmaması söz konusu olabilir. Başka bir yöntemde ise hasat edilen enerji şarj edilebilir pil veya süper kapasitör üzerinde enerji talebine karşılık kullanılmak üzere depolanabilir. Tüm bu yöntemlerin dışında hasat edilen enerjinin miktarı sistemin mevcut ihtiyacından daha fazla olduğu durumlarda da kalan enerji daha sonra kullanılmak üzere yine depolanabilir.

Enerji hasatlama uygulamasının kullanılacağı ortam, ortamda var olan enerji kaynakları ve bu kaynaklardan elde edilebilecek güce bağlı olarak sistemin içerisinde kullanılacak kaynak enerji seçilebilir. Ortamda serbest formda bulunan ışık enerjisi, titreşim/hareket enerjisi, termal enerji ve RF gibi kullanılan farklı enerji kaynaklarından faydalanılarak enerji hasatlama sistemleri ile elde edilebilecek yaklaşık güç miktarları Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Enerji Kaynakları ve Elde Edilen Güç Miktarları (Raju & Grazier, 2010)

Kaynak Enerji	**Hasat Edilen Güç Miktarı**
Titreşim / Hareket	
İnsan	4 μW/cm²
Endüstri	100 μW/cm²
Termal Enerji	
İnsan	25 μW/cm²
Endüstri	1-10 μW/cm²
Işık Enerjisi	
Kapalı Ortam	10 μW/cm²
Dış Ortam	10 μW/cm²
RF	
GSM	0.1 μW/cm²
Wi-Fi	0.001 μW/cm²

Sistem içerisinde tek bir enerji kaynağından elde edilen enerjinin zamana ve çevre koşullarına olan bağımlılığı sebebiyle bu kısıtlamaya çözüm olarak birden fazla kaynaktan elektrik enerjisi elde edebilen hibrit tasarıma sahip sistemler de bulunmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmalara örnek olarak Jadhav ve Lambor tarafından sunulan çalışmada, ortam RF ve güneş enerjisi hasadı için hibrit devre tasarımı önerilmiştir. Hibrit enerji hasat modeli anten, güneş pili, DC birleştirici devre, depolama birimi ve invertör

olmak üzere 5 bölümden oluşmaktadır. RF enerji hasadı için 2.4 GHz Industrial Scientific Medical (ISM) frekansında çalışan mikroşerit yama anten tasarlanmıştır. Güneş ışığını elektrik enerjisine çevrilmesinde de ise Silikon güneş pillerinden faydalanılmıştır. Her iki sistemin çıkışı ise DC birleştirme devresinde birleştirilerek çıkış gücünün arttırılması ve tek bir kaynaktan elde edilen sistemlere göre daha yüksek verimliliğe sahip bir sistem elde etmek amaçlanmıştır. Elektromanyetik dalgaların ve güneş ışınlarının zamana bağlı değişimi sebebiyle gerilim dalgalanmalarını önleyebilmek için elde edilen gücün bir batarya üzerinde depolanacak şekilde tasarlanan sistem gösterilerek, hasatlama devrelerinin çıkışında toplamda maksimum 9W güç elde edildiği belirtilmiştir. (Jadhav & Lambor, 2017)

Hsieh ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise hibrit enerji hasadı için bir tümleşik devre tasarımı sunulmuştur. Önerilen tümleşik devre hem ortamdaki ışık hem de titreşim kaynaklarından enerji hasadı edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Enerji hasadı devrelerinin tek bir çip üzerine entegre edilmesiyle çip üzerinde ışık enerji ile elde edilecek DC enerji ile titreşim ile edilecek AC formdaki enerjinin işlenebildiği gösterilmiştir. Önerilen tümleşik devre için ölçüm sonuçları paylaşılarak, IoT uygulamalarda kullanılabilirliğinden bahsedilmiştir. (Hsieh, Fang, Su, Tsai, & Juang, 2016)

Sampe, Albrni ve Ali tarafından yapılan çalışmada ise cep telefonlarının şarj edilmesi için düşük güçlü hibrit enerji hasat sistem tasarımı önerilmiştir. Hasat sisteminde tek kaynaktan enerji eden sistemlerde yaşanan kısıtlamalara çözüm olmak ve sistem verimliliğin iyileştirmek için termal, titreşim, RF enerji olmak üzere üç farklı kaynak kullanılmıştır. Her üç kaynaktan elde edilecek enerji için ayrı ayrı hasat devreleri tasarımları , simülasyonu ve üç hasat devresinin de entegrasyonu gösterilmiştir. Seebeck etkisiyle termoelektrik jeneratör sayesinde ısı enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmiş ve çıkış voltajı yükseltici devre ile yükseltilmiştir. Titreşim hasat devresi ise AC gerilimi DC gerilime dönüştürmek için 4 MOSFET oluşan tam dalga doğrultucu kullanılmış ve DC gerilim seviyesi yükseltici devre ile yükseltilmiştir. RF enerji hasadında sunulan 4 katmanlı Dickson gerilim katlayıcı ile AC-DC dönüşümü ve çıkıştaki DC voltaj seviyesinin yükseltilmesi sağlanmıştır. Çalışma sonunda her bir hasat devresinin entegre

edilmesi ile tüm sistemde 4.2V civarında bir gerilim elde edildiği belirtilmiştir. (Sampe, Albrni, & Ali, 2019)

Bakytbekov ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada güç ihtiyacının kesintisiz olarak karşılanabilmesi için tek bir modüle entegre edilen ve eş zamanlı olarak termal ve RF kaynaklarından enerji hasadı yapabilen hibrit bir sistem tasarımı sunulmuştur. RF enerji hasadı GSM (900,1800 MHz) ve 3G (2100 MHz) bandlarında gerçekleştirilmiştir. Sunulan sistem içerisinde bir kaynağın devre dışı kalması durumda IoT sensörlerin çalışmasını devam edebilmesine sağlayacak şekilde diğer kaynaktan sağlanacak enerji hasadı ile yeterli enerjinin sağlanabildiğinden bahsedilmiş ve gerçek bir IoT uygulaması ile sıcaklık ve nem sensörlerinin hibrit hasat sistemi ile farklı test koşulları altında çalışabilirliği gösterilmiştir (Bakytbekov, ve diğerleri, 2020).

3.1. Kablosuz Enerji Transferi

Elektrik, insan hayatının en temel ihtiyaçlardan birisi olarak hayatımızda yer almaktadır. Ancak çoğu kaynak gibi elektrik de sınırlı bir kaynaktır. Elektriğin kablo ile iletimi kablo karmaşası, kablolar üzerinde kayıp yaşanması, elektrik çarpması gibi birçok soruna da yol açmaktadır. Başlıca bu sorunlara çözüm olmak için 1800'lü yılların sonlarında Nikola Tesla kablosuz güç aktarımı için çalışmalar yapmaya başlamış ve teknolojinin multi-disipliner bir alan olarak yönlendirilmesiyle birlikte bu konu önem kazanmıştır. Kablosuz enerji transferi elektrik enerjisinin herhangi bir fiziksel bağlantı olmaksızın bir güç kaynağından bir elektrik yüküne aktarılmasıdır. Kablosuz enerji transferinin temeli 1800'lü yılların sonuna doğru Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) tarafından İskoç fizikçi James Clerk Maxwell'in elektromanyetizma teorisinin doğruluğunu kanıtlamasına dayanmaktadır.Hertz yaptığı çalışmalarda radyo dalgalarının üretilmesinde ve toplanmasında Maxwell teorilerine uygulayarak radyo dalgalarının varlığını kanıtlamıştır.Devam eden yıllarda Nikola Tesla tüm dünyaya kablosuz olarak enerji sağlamanın bir yolunu bulmak için çalışmalar yürütmüş ve çeşitli deneyler yapmıştır. 1891 yılında Tesla en önemli icatlarından biri olan yüksek frekans ve yüksek gerilimlerde çalışan Tesla bobinini icat etmiştir. Tesla Bobini belirli bir gerilimdeki elektriği yüksek gerilimli, yüksek frekanslı düşük amper gücüne dönüştürebilen bir

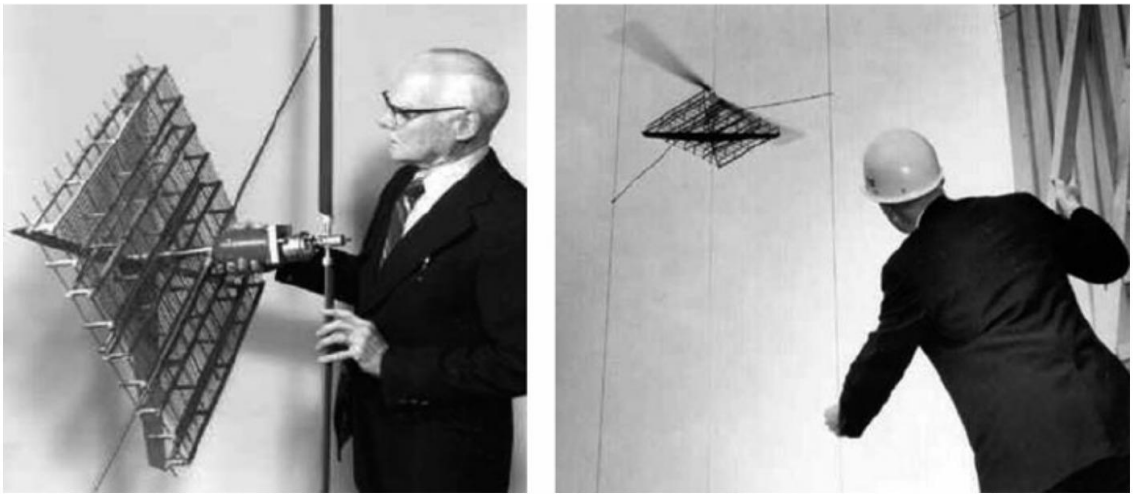
rezonans transformatör devresidir. 1899 yılında Nicolas Tesla, ekibi ile birlikte Colorado eyaletinin Colorado Spring şehrinde bulunan laboratuvarında düşük basınçlı havanın iletken doğasını incelemek, gerilim ve yüksek frekans deneyleri için çalışmalara başladı. Bu araştırmaların temeli 1891 yılında geliştirdiği Tesla Bobinini kullanarak kablosuz elektrik transferi sağlanmasıydı. Tesla'nın kablosuz enerji transferine yönelik çalışmalarını 1900'lü yılların başında yapımına başlanan "Wardenclyffe " kulesinin inşası izlemiştir. Mesaj ve faks görüntülerini iletmeyi amaçlamanın yanı sıra elektrik enerjisinin uzun mesafelere kablo kullanmadan iletilebileceğinin mümkün olduğunu gösterebilmek için Tesla tarafından inşasına başlanan kulede elektrik enerjisinin kaynağı olarak Niagara şelalerindeki santralin kullanılması planlanmıştı fakat borçlar ve projenin finanse edilmemesiyle karşılaşılan ekonomik sıkıntılar nedeniyle 1917 yılında kulenin yıkımı gerçekleşmiştir.



Şekil 3.2. Wardenclyffe Kulesi (Anonim, 1904)

İkinci Dünya Savaşından sonra ortaya çıkan yüksek güce sahip mikrodalga vericilerinin gelişmesiyle birlikte William Brown 1964 yılında uçuş gücünün tamamını

mikrodalga vericilerinden alan helikopter tasarlanmıştır. Bu çalışma, kablosuz güç transferi ile elde edilen DC güç ile çalışan ve bu konuda yapılan ilk çalışma olmuştur.



Şekil 3.3. W.C Brown Mikrodalga Helikopteri (Brown, 1966)

Kablosuz enerji transferi temel olarak yakın alan ve uzak alan olmak üzere iki kısımda ele alınır. Yakın alan kablosuz enerji transferi endüktif kuplaj ve rezonans kuplaj prensiplerine dayanan yöntemler ile gerçekleştirilir. Elektromanyetik indüksiyon temelli endüktif kuplaj yakın alan enerji transferi giyilebilir teknolojik cihazların, elektrikli diş fırçalarının, cep telefonu pillerinin kablosuz şarj edilebildiği çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Ev ve ofis gibi kapalı mekan uygulamaları için tercih edilen yakın alan enerji transferi yöntemlerinde, rezonans kuplaj prensibi ile daha uzun mesafelerde güç aktarımı gerçekleştirilebilir. Uzak alan kablosuz enerji transferinde gücün iletilmesi ve alınması antenler yardımıyla gerçekleşir. Bu sebeple uzak alan kablosuz enerji transferinde verici antenden yayılan RF enerjinin alınması ve kullanılması için anten ve doğrultucu devre elemanlarına ihtiyaç vardır (Saeed, Shoaib, Cheema, & Khan, 2018). Uzak alan kablosuz enerji transferi ışınımsal teknikler ile gerçekleştirilir; mikrodalga, RF, lazer buna örnek olarak gösterilebilir. Kablosuz enerji transferine ait karakteristik özellikler Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Kablosuz Enerji Transferi Karakteristik Özellikleri (Saeed, Shoaib, Cheema, & Khan, 2018)

Alıcı Özellikleri	Kablosuz Enerji Transferi	Rezonans Kuplaj	Endüktif Kuplaj
Alan	Elektromanyetik	Rezonans (Elektrik,Manyetik,EM)	Manyetik
Alıcı	Anten	Rezonatör	Bobin
Menzil	Uzun	Orta	Kısa

3.2. RF Enerji Hasadı

Kablosuz haberleşme teknolojilerindeki gelişmeler ve bu teknolojileri kullanan cihazların yaygınlaşmasıyla birlikte bulunduğumuz ortamlardaki RF kaynakları da günden güne artmaktadır. Radyo dalgalarının barındırdığı enerjinin hasat sistemlerinin antenleri tarafından alınarak DC güce çevrilmesi, elde edilen bu güç ile düşük güç tüketimli elektronik cihazların çalıştırılması ve bu sistemlerin verimlilikleri üzerine çalışmalar son yıllarda artış göstermektedir. Nesnelerin İnterneti teknolojisinin benimsendiği sistemlerde akıllı nesnelerin, sensörlerin düşük güç tüketimli yapıları nedeniyle RF enerji hasadı bu yapılar için alternatif bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. RF enerji hasadı ile Nesnelerin İnterneti sistemleri içerisinde tek kullanımlık piller ile enerji ihtiyacını karşılamak yerine kendi enerjisini üretebilen IoT nesneler, fiziksel ortam verilerini toplayarak uzaktan izlemeye imkân sağlayan kablosuz sensör ağ yapıları kurmak mümkün olabilmektedir. Bu bölüm içerisinde öncelikle RF spektrum ve hasat sistemlerinde kullanılabilecek RF enerji kaynak frekansları gösterilmiştir. Devamında RF enerji hasat sistemlerinin genel çalışma yapısı gösterilerek, sistem içerisinde yer alan birimler incelenmiştir.

Radyo dalgaları, elektromanyetik spektrum içerisinde 3 kHz ile 300 GHz frekans aralığında sınıflandırılmıştır ve dalga boyları 1 mm ile 100 km arasındadır. RF spektrumun sınırlı yapıya sahip olması sebebiyle bu kaynağın etkili kullanımının sağlanması devlet kurumlarının yetkili birimleri tarafından sağlanır. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Spektrum Yönetimi Dairesi Başkanlığı tarafından yayınlanan Milli Frekans Planı içerisinde spektrum planlanması ve yönetiminde farklı kablosuz haberleşme sistemlerine ayrılan frekans bandları görülebilir.Frekans Band tanımları Tablo 3.3 'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Frekans Band Tanımları

FREKANS BANDI	FREKANS ARALIĞI
VLF(Very Low Frequency-Çok Düşük Frekans)	3 kHz – 30 kHz
LF (Low Frequency-Düşük Frekans)	30 kHz – 300 kHz
MF(Medium Frequency -Orta Frekans)	300 kHz – 3000 kHz
HF(High Frequency -Yüksek Frekans)	3 MHz – 30 MHz
VHF(Very High Frequency-Çok Yüksek Frekans)	30 MHz – 300 MHz
UHF(Ultra High Frequency-Ultra Yüksek Frekans)	300 MHz – 3000 MHz
SHF(Super High Frequency-Süper Yüksek Frekans	3 GHz – 30 GHz
EHF(Extremely High Frequency-Aşırı Yüksek Frekans	30 GHz – 300 GHz

Radyo dalgalarını kullanarak kablosuz haberleşme teknolojisine dayalı çalışma prensibine sahip cihazların ve sistemlerin yeri hayatımızda vazgeçilmez bir noktadır. Televizyon (Örn. UHF), radyo kuleleri, baz istasyonları (Örn. GSM900, GSM1800, 3G, LTE) ve kablosuz internet (Örn. Wi-Fi) yayınları RF kaynaklardan bir kaçıdır. Radyo dalgalarını, antenler aracılığı ile alarak barındırdıkları enerjinin kullanılabilir DC gerilim

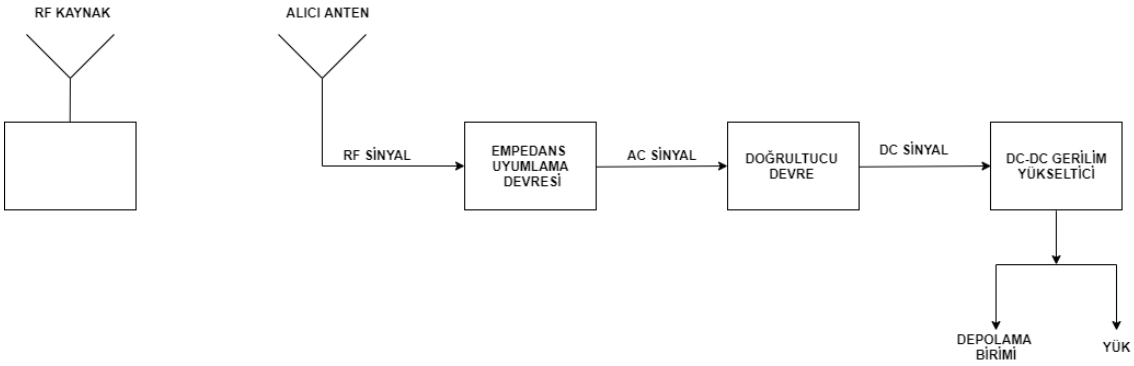
ve akıma çevrilmesinden önce; hasat sisteminin kullanılacağı ortamda var olan RF sinyallerin frekans bilgisi ve sinyallerin barındırdığı enerji miktarı tespit edilebilir. Spektrum analizörler ile gerçekleştirilebilecek bu ölçümler enerji hasat sisteminin çalışması ve sistemin yüklere kesintisiz güç sağlayabilmesi için önemlidir. Bir önceki bölümde bahsedildiği gibi diğer enerji hasadı kaynaklarına kıyasla RF sinyaller çevremizde daha düşük güç yoğunluğunda bulunmaktadır. Bu nedenle verici ile hasat sistemi arasındaki mesafe sistem çıkışında elde edilecek DC güç üzerinde etkili olan parametrelerden biridir. RF sinyallerin düşük güç yoğunluğu ve kaynaktan itibaren sinyallerin sahip olduğu enerjinin kat edilen mesafe ile düşmesi nedeniyle elde edilmek istenen sabit DC gücün dönüşümde ve güç yönetiminde daha verimli hasat sistem tasarımı gerekmektedir. Hasat sisteminin konumlandırıldığı ortamda RF güç yoğunluğunun yeterli olmaması ve sistem girişindeki minimum ihtiyacın karşılanamaması durumunda başka bir seçenek olarak sabit güç sağlayan bir RF verici de kullanılabilir. Böylelikle hasat sistemin çıkışında elde edilecek güç daha öngörülebilir ve kontrol edilebilir olmakla birlikte, bu durum sisteme ekstra bir donanım eklemeyi de gerektirmektedir. Tablo 3.4 ’de sabit ve ortam RF kaynaklarına örnekler verilmiştir.

Tablo 3.4. RF Kaynaklar

Sabit Kaynaklar	**Ortam Kaynakları**
➢ Dinamik veya sabit frekansta yayın yapan RF alıcı – verici devreleri (Örn. RF uzaktan kumandalar, drone kumandaları vb)	• Statik Kaynak ➢ TV ve Radyo Kuleleri ➢ GSM Baz İstasyonları vb. • Dinamik Kaynak ➢ Wi-Fi Erişim Noktaları ➢ Cep Telefonları vb.

RF enerji hasat sisteminin çalışma prensibi ve sistem içerisindeki birimler incelenmiştir. Şekil 3.4’de RF sinyallerin alınarak kullanılabilir DC güce çevrilmesi için kurulan sistemin genel yapısı gösterilmiştir. Genel olarak RF enerji hasadı oluşturan birimler şu şekildedir: RF sinyallerinin yayıldığı kaynak(lar), alıcı anten, empedans

uyumlama devresi, doğrultucu devre, DC-DC gerilim yükseltici depolama birimi veya DC yüktür.



Şekil 3.4. RF Enerji Hasadı Blok Diyagramı

RF kaynağın verici anteninden yayılan RF sinyaller sistemin girişindeki alıcı anten tarafından alınarak elektrik sinyaline dönüştürülür. Sistemin alıcı anteninin seçiminde antenin giriş empedansı, antenin kazancı, band genişliği, verimliliği, antenin boyutu, çalışma frekansı, verici antenin konumu önemli parametrelerden birkaçıdır. Mikroşerit, dipol, monopol, Yagi-Uda antenler RF enerji hasadında alıcı anten olarak kullanılan antenler arasındadır (Saeed, Shoaib, Cheema, & Khan, 2018).

Enerji hasadı için tasarlanan sistem spesifik olarak belirlenen tek bir frekans bandındaki sinyalleri işleyerek DC güç sağlayabilir. Tek bant üzerinden RF enerji hasat uygulamaları ve devre tasarımlarının dışında, son zamanlarda sistem çıkışında daha yüksek bir güç elde etmek için farklı frekanslarda çalışan çift bant, üç bant uygulamaları ve geniş bant uygulamaları üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Birden fazla bant üzerinden çoklu frekanslarda yapılan RF enerji hasat sistemlerinden elde edilen DC güç, tek bant üzerinde çalışan sistemlere kıyasla daha fazladır.

Eltresy vd. tarafından yapılan çalışmada, 2.4 GHz ve 3.5 GHz frekanslarında yapılan çift bant enerji hasadı uygulaması için anten ve doğrultucu devre tasarımları yapılmış ve dönüşüm verimlilikleri incelenmiştir (Eltresy, Elsheakh, Abdallah, & Elhenawy, 2018).

B.L.Pham ve A.Pham tarafından sunulan çalışmada ise üç farklı frekans bandında çalışan RF enerji hasadı sistemi için anten tasarımı yapılmış ve yüksek verimli doğrultucu devre önerisinde bulunulmuştur. 900 MHz, 1900 MHz ve 2400 MHz bandında çalışan sistemde antenin rezonans frekansları 940 MHz, 1.95 GHz ve 2.44 GHz olarak belirtilmiştir ve çalışma sonucunda aynı anda üç band üzerinden elde edilen toplam gücün sadece 900MHz bandından elde edilecek gücün 6.6 katı olduğu ve her üç bant ile ayrı ayrı elde edilecek gücün toplamından 3.4 kat daha fazla olduğu gösterilmiştir (Pham & Pham, 2013).

Enerji hasadı sisteminin devamında anten ile doğrultucu devre arasına konumlandırılan empedans uyumlandırma devresi ile anten çıkışından hasat sistemine maksimum güç transferinin sağlanması , iletim hattındaki kayıpların azaltılması ve doğrultucu devre girişindeki gerilimin arttırılması amaçlanır. Devrenin alıcı anteni ile doğrultucu devre arasında empedans uyumsuzluğunun olması nedeniyle meydana gelecek yansımalar önlenerek sistem verimliliğin düşmesi engellenir. Empedans uyumlama devresinin çıkışındaki AC formdaki gerilim, doğrultucu devre ile DC gerilime dönüştürülür. Doğrultucu devre çıkışında elde edilen DC gerilimin seviyesi direkt olarak yükü beslemek için yeterli olmayabilir ve çıkış voltajının değerinde giriş gücüne bağlı olarak değişimler gözlenebilir. Bu durumda uygulamanın gerekliliklerine göre , DC-DC gerilim yükseltici devre ile DC gerilim istenilen seviyeye çıkartılıp sabit bir gerilim elde edilebilir. Elde edilen DC gerilim ve akım direkt olarak DC yükü beslemek için kullanılabilirken sisteme eklenecek bir şarj devresi ile şarj edilebilir pil üzerinde veya süper kapasitör üzerinde depolanabilir.

BÖLÜM 4. BEACON

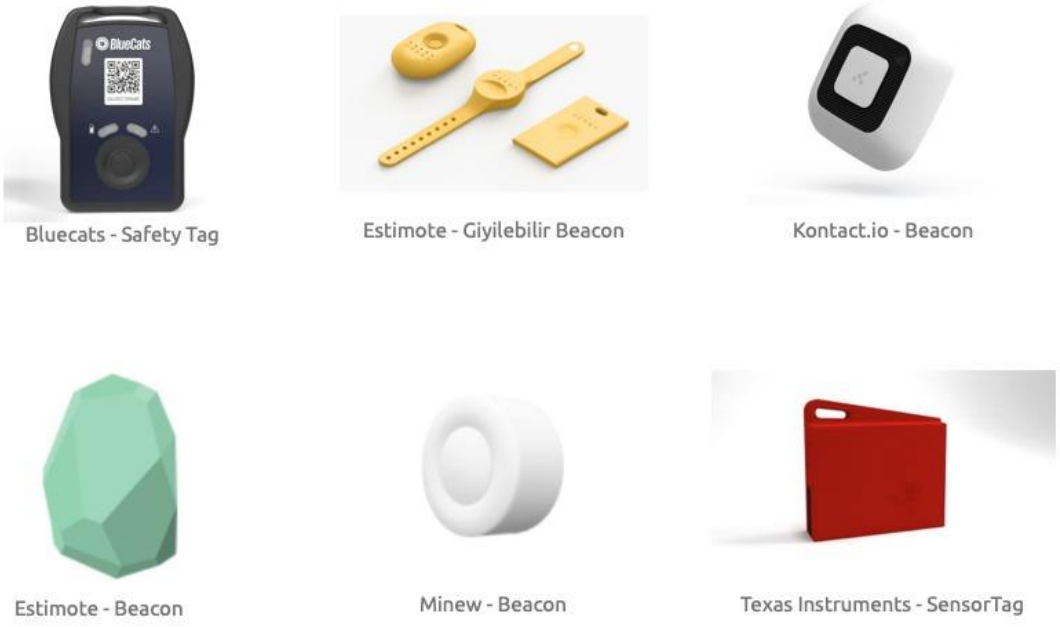
Nesnelerin İnterneti uygulamalarında kullanılan düşük güç tüketimli kablosuz cihazlar pek çok uygulamaların temelini oluşturmaktadır. Beacon cihazlar ise IoT uygulamalar içerisinde kullanılan düşük güç tüketim özellikli cihazlar arasında son yıllarda en çok dikkat çeken teknolojiler arasındadır. Beacon teknolojisine sahip cihaz, BLE kablosuz haberleşme altyapısına sahip olan ve belirlenen aralıklarla düzenli bir şekilde radyo sinyalleri yayan cihazlardır. Beacon cihazlar düşük güç gereksimi nedeniyle pil ile çalışır, küçük ve ucuz maliyetlidir.

BLE cihazları kablosuz tanıtım mesaj yayını yapan cihazlardır. Bu cihazlar genel olarak yakınlık tahmini ve konum takibi uygulamalarında kullanılmaktadır.

- Bluetooth ve konum servisi özellikli, iOS veya Android işletim sistemi ile çalışan mobil cihazlar, beaconlar tarafından yayın yapılan mesajları spesifik bir mobil uygulama ile dinler.
- Kapsama alanı içerisinde tanıtım mesajı yayınını alan mobil uygulama, yayın yapan beacon cihazına ait olan ID numarasını alır.
- ID numarası alınan beacon bilgisi mobil uygulama aracılığı ile uzak sunucuya iletilir.
- Uzak sunucu, kendisinde kayıtlı olan bu beacona ait aksiyon listesini son kullanıcıda bulunan mobil uygulamaya ileterek aksiyonları çalıştırır. (Push bildirim gönderimi, alarm tetikleme vs.)
- Bu sayede ticari kurumlar, son tüketiciler ile beaconlar aracılığıyla daha fazla iletişim kurabilirler.

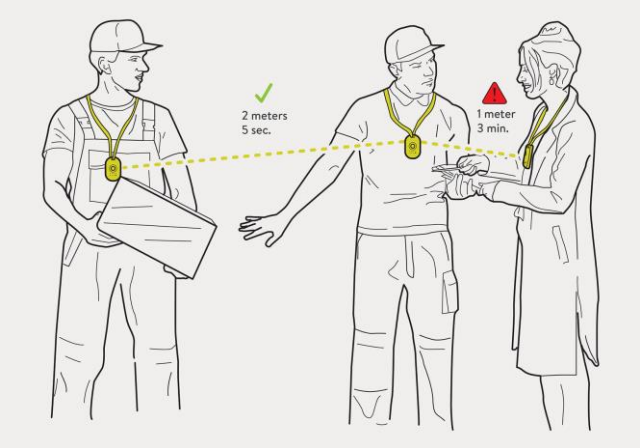
Beacon cihazı tarafından yayılan radyo dalgaları belirli bir formattaki veri paketlerini içermektedir. Bu veri paketinin formatını beaconın kullandığı protokol tanımlamaktadır. Günümüzde Beacon teknolojisinde iki temel iletişim protokolü bulunmaktadır. Bunlar iBeacon ve Eddystone'dur. Bölümün devamında her iki

protokolün incelemelerine yer verilmiştir. Bu çalışma içerisinde iBeacon teknolojisi tercih edilmiştir.



Şekil 4.1. Örnek Beacon Modelleri

Beacon cihazları günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Günümüzde en çok iş yerlerinde 2019 yılında ortaya çıkan Covid-19 önlemleri kapsamında Şekil 4.2 ’de gösterildiği gibi sosyal mesafe takibi yapabilmek için kullanılması örnek olarak gösterilebilir. Bu kullanımın dışında akademik alanda da beacon cihazları kullanılarak pek çok çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 4.2. Beacon Sosyal Mesafe Uygulaması (Estimote)

Beacon cihazlarının kullanım alanlarında ilk akla gelen mağazalar ve alışveriş merkezleridir. Beacon cihazlarının kullanıldığı bu yerlerde müşterilere alışveriş deneyimini daha verimli ve keyifli hale getirebilecek pazarlama yapıları kurulabilmektedir. Zaim ve Bellafkih tarafından yapılan çalışmada, beacon, akıllı telefon, sunucudan oluşan BLE tabanlı bir coğrafi pazarlama sistemi sunulmuştur. Önerilen sistemde kişinin alışveriş süresini minimize edilmesi, istenilen ürün lokasyonunun kolayca bulunmasına ve müşterinin akıllı telefonuna reklam ve e-kupon gibi kişiselleştirmiş promosyon mesajlarının iletilmesi sağlanabilmesinin yanı sıra mağaza yönetimine gerçek zamanlı izleme sağlanması amaçlanmıştır. Beacon cihazları sayesinde müşterinin mağaza içerisindeki yaklaşık konum bilgisi elde edilebilmektedir. Sistem içerisinde bilgiler merkezi bir sunucudaki veritabanında saklanabilmektedir. Mağaza içerisindeki koridorlara yerleştirilen beacon cihazları sayesinde müşterinin koridora giriş/çıkış bilgisi elde edilebilemektedir. Sunucu uygulamasının mevcut konuma göre akıllı telefon uygulamasına gönderdiği veriler ile akıllı telefon üzerinde çalışan mobil uygulama müşterileri indirimler ve promosyonlar ile bilgilendirirken müşteriler hareket halindeyken aynı zamanda müşterilere ürünlerin bulunmasında/seçilmesinde, ürün detayları, bilgilendirme gibi konularında yardımcı olunabilmektedir (Zaim & Bellafkıh, 2016).

Beaconların kullanıldığı bir başka uygulama alanına müze içerisinde rehberlik hizmeti sunulması gösterilebilir. Spachos ve Plataniotis tarafından yapılan çalışmada, BLE beaconların kullanıldığı IoT tabanlı akıllı müze uygulaması sunulmuştur. Geliştirilen mobil uygulama arka planda çalışarak ortamda bulunan beaconların sinyal gücü göstergesi değerine bakarak yaklaşık konumu tespit etmekte ve ziyaretçi o konumda gerçekleşen sergi ile ilgili bilgileri içeren bildirim almaktadır. Bu çalışma ile mobil uygulama belirli periyotlarda bulut servisine ziyaretçinin konum bilgisini göndererek müzede toplam geçirilen süre, ilgi duyduğu eserin veya sergide geçirdiği süre gibi analitik değerleri oluşturarak ilerleyen dönemlerdeki ziyaretleri için ziyaretçilere önerilerde bulunması sağlanmıştır (Spachos & Plataniotis, 2020).

Beacon cihazlarının aynı zamanda günlük hayatımıza entegre oluşuyla bireylerin günlük aktivilerine sağladığı yararlar pek çok alanda karşımıza çıkmaktadır. Buna örnek olarak görme engelli bireylerin kapalı iç mekanlarda herhangi iki nokta arasında yön bulmalarına yardımcı olmak için geliştirilen sistem gösterilebilir. Guidebeacon adı verilen sistem ile bireylerin kullandığı akıllı telefonlar yardımıyla kapalı mekan içerisine konumlandırılmış beaconlar ile haberleşilerek mekan içerisinde yön bulmaları sağlanması amaçlanmıştır (Cheraghi, Namboodiri, & Walker, 2017).

4.1. BLE Teknolojisi

Bluetooth, Ericson tarafından 1994 yılında hayata geçirilen kablosuz haberleşme teknolojisidir. Kısa mesafelerde Bluetooth destekli cihazlar arasında bağlantı kurulması, ses ve video gibi paylaşımlara olanak sağlanacak şekilde veri transferinin gerçekleştirilmesi için kullanılır. Veri iletimi radyo dalgaları aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. BLE teknolojisi ilk olarak 2010 yılında Bluetooth 4.0'ın bir parçası olarak tanıtılmıştır. BLE, Bluetooth teknolojisine dayalı yeni bir teknolojidir. Bluetooth ve BLE farklı amaçlarla kullanılan iki teknolojidir. Bluetooth daha fazla boyutta verinin iletilmesine olanak sağlarken güç tüketimi BLE'ye göre çok daha fazladır. BLE, Bluetooth ve Wi-Fi ile benzer olarak 2.4 GHz ISM bandında, daha düşük güç tüketiminin önemli olduğu IoT uygulamalar gibi alanlarda düşük boyutlarda verinin düşük veri aktarım hızlarında iletilmesi için kullanılmaktadır. BLE, bağlantının

başlatılması haricinde uyku modunda kalması ve bağlantı süresinin klasik Bluetooth bağlantısına göre daha kısa olması sayesinde ayrıca düşük aktarım hızı ve düşük boyutta veri aktarımı ile daha az güç tüketimi sağlamaktadır. Bluetooth 4.0, 2013 yılında Bluetooth 4.1 ve 2014 yılında Bluetooth 4.2 sürümleri ile geliştirilmeye devam etmiştir. 2016 yılında ise SIG tarafından 5.0 standardı tanıtılmıştır. Veri aktarım hızının ve mesafenin arttırılması gibi sağlanan yeniliklerle farklı Nesnelerin İnterneti uygulamalarında hayatımıza girmeye başlamıştır.Bluetooth versiyonlarının özellikleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Bluetooth Özellikleri

ÖZELLİK	**BLUETOOTH**	**BLUETOOTH 4.X**	**BLUETOOTH 5**
Frekans(MHz)	2400 – 2483.5	2400 – 2483.5	2400 – 2483.5
Mesafe(metre)	100 mt. kadar	100 mt. kadar	200 mt. kadar
Ortam Erişim Tekniği	Frekans Atlamalı	Frekans Atlamalı	Frekans Atlamalı
Veri Hızı(Mbps)	1-3	1	2
Gecikme(ms)	<100	<6	<3
Ağ Topolojisi	Piconet,Scatternet	Star-bus,Mesh	Star-bus,Mesh
Multi-Hop	Scatternet	Mevcut	Mevcut
Aktif Nod	7	Sınırsız	Sınırsız
Mesaj Boyutu(bytes)	358	31	255
Belgelendirme Kuruluşu	Bluetooth SIG	Bluetooth SIG	Bluetooth SIG

4.2. iBeacon

Apple, iBeacon teknolojisini iOS 7 sürümü ile tanıtmış ve hayata geçirmiştir. BLE altyapısı ile iBeacon cihazı etrafında oluşturulan kapsama alanı ile iOS/Android cihaz beacon kapsama alanına girdiğini/çıktığını algılayabilir ve algılanan beacon ile mobil cihaz arasındaki mesafenin tahmini yapılabilir. Yapılan konfigürasyonla mobil uygulamanın ortamdaki beacon cihazını algılaması ile son kullanıcıya anlık bildirim gönderilebilir.

iBeacon protokolünde beacon cihazının ilettiği veri paketi 3 bölüme ayrılmıştır.

- UUID
- Major
- Minor

Universally Unique Identifier (UUID) 128 bitlik sayıdan oluşan bir değerdir. Beacon cihazına özel olarak oluşturulur ve cihazın ait olduğu firma/kuruluş bilgisi gibi en genel bilgiler tanımlanabilir. 16 bitlik Major değeri, aynı UUID değerine sahip Beacon gruplarını ayırt etmek için kullanılır. Bütün bir ağ içerisinde bulunan UUID tarafından tanımlanan büyük bir bölge içindeki bir alt bölgeyi tanımlayabilir. Örneğin belirli bir binada, belirli bir katta veya belirli bir oda içerisinde bulunan Beacon cihazlarını tanımlanması ve ayırt edilmesi için kullanılır. 16 bit minor değeri ise aynı UUID ve major değerine sahip bir Beacon grubu içerisindeki belirli bir Beacon cihazını ayırt etmek için kullanılır.

Apple, sağlamış olduğu uygulama geliştirme arayüzü sayesinde konum servisleri kullanılarak etrafında bulunan iBeacon nesneleri tarayabilir. Sağlanan bu arayüz, tarama sonrasında beaconların listesini delege edilmiş bir fonksiyona iletir. İletilen beacon listesinde CLBeacon nesnesine ait yakınlık, minor, majör numara bilgileri bulunmaktadır. Bu bilgiler sayesinde beaconın yakınlık bilgisini yakın, orta uzaklıkta veya uzak olarak tanımlayabiliriz (Apple Inc., 2014). Geliştirme arayüzü ile sağlanan yakınlık durumları Tablo 4.2 ’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Uygulama Geliştirme Arayüzü ile Sağlanan Yakınlık Durumları (Apple Inc., 2014)

Yakınlık Durumu	Açıklama
Çok Yakın	Beacon cihazı fiziksel olarak mobil cihaza çok yakın olduğu durumdur. (<1m)
Yakın	Beacon cihaz ile mobil cihaz arasında 1-3m mesafe bulunması durumudur. Bu aralıkta olmasına rağmen engel olması durumunda yakın durumu mobil cihaza iletilemeyebilir.
Uzak	Beacon cihazın kapsama alanında olduğunu fakat Çok Yakın ve Yakın durumlarındaki doğruluğa sahip değildir. Uzak durumu mesafe olarak uzaklığı belirtmemektedir. Uzak durumunda kütüphanenin ilettiği "doğruluk" parametresi kullanılarak yakınlık tahmini yapılabilir.
Bilinmeyen	Yakınlığın belirlenemediği durumdur. Genellikle hesaplamanın yeni başladığı veya durumu belirlemek için yeterli ölçüm yapılamadığı durumdur.

4.3. Eddystone

Google tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu BLE Beacon standardıdır. Eddystone protokolünde 3 farklı paket tipi vardır. Bu paketler farklı uygulama alanlarında kullanılmak üzere geliştirilecek beaconlar için tek veya kombinasyon halinde kullanılabilir.

Paket türleri:

- Eddystone-UID
- Eddystone-URL
- Eddystone-TLM

Eddystone-UID: Bu mesaj paketi 16 byte uzuluğunda bir Beacon ID yayınlar ve “namespace” ve “instance “ olmak üzere 2 bölümden oluşmaktadır.”Namespace” 10 byte uzunluğunda belirli bir Beacon grubunu tanımlamak için kullanır ,”instance ID” ise 6 byte’lık kısmı oluşturur ve grup içerisindeki Beacon cihazlarınının tanımlanmasında kullanılır.

Eddystone-URL ile mesaj paketi içerisine kodlanmış sıkıştırılmış formatta bir URL yayınlanır. Eddystone-URL mesaj paketi yapısını destekleyen uygulama, sıkıştırılmış URL’i çözdüğünde internet erişimi olan son kullanıcılar bu URL‘i kullanabilir.

Eddystone-TLM mesaj paketi ile Beacon cihazına ait telemetri bilgileri (pil voltajı, sıcaklık, yayınlanan paket sayısı) yayınlanır. Bu mesaj paketi yapısı herhangi bir ID bilgisi içermediğinden Eddystone-UID ve Eddystone-URL paketleri ile birlikte eşleştirilerek birlikte yayınlanır (Alphabet Inc., 2016).

Çalışmada mesafe, RSSI, minör, majör bilgilerinin uzak sunucuya gönderilmesi öngörülmüştür. Bu nedenle beacon türü iBeacon seçilmiştir.

BÖLÜM 5. YÖNTEM

Bu bölümde enerji hasadı ile nesnelerin interneti uygulaması uçtan uca tasarlanmıştır. Çalışmada tasarlanan DC/DC gerilim yükseltici elektronik kartı, kullanılan enerji hasatlayıcı geliştirme kiti, RF verici, RF vericinin yayın yapmasını sağlayan Windows masaüstü uygulaması, hasatlanan enerjinin kullanılması için düşük güç tüketimli iBeacon cihazı, iBeacon cihazı ile mobil cihazlar arasında mesafenin bulunmasını ve elde edilen verilerin MQTT sunucusuna gönderimini sağlayan iOS mobil uygulaması, MQTT sunucusuna iletilen verileri kaydetmek ve kaydedilen verileri iOS mobil uygulamaya iletmesini sağlayan arka uç uygulaması incelenmiştir.

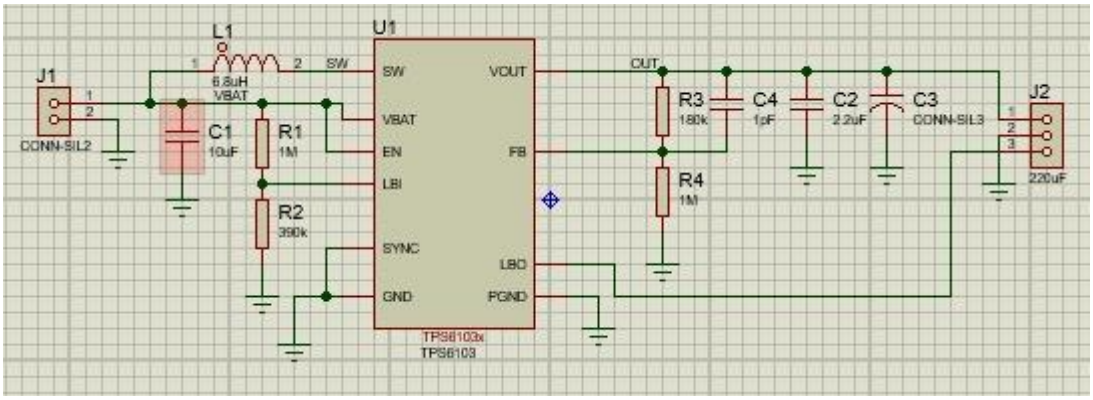
5.1. TPS61032 DC/DC Gerilim Yükseltici

Çalışmanın başında, ortamda bulunan 915 MHz frekansındaki RF dalgaların enerji hasadı geliştirme kiti üzerinde bulunan DC/DC gerilim yükselticinin çalışması için yeterli gerilim sağlayamaması nedeniyle harici DC/DC gerilim yükseltici elektronik baskı devre kartı tasarlanmıştır. Ortamda bulunan RF dalgaları ile geliştirme kiti üzerinde en fazla 1.8V çıkış gerilimi ölçülmüştür. Bu nedenle Texas Instruments firmasının üretmiş olduğu TPS61032 tümleşik entegresi ile gerilim yükseltici tasarlanmıştır.

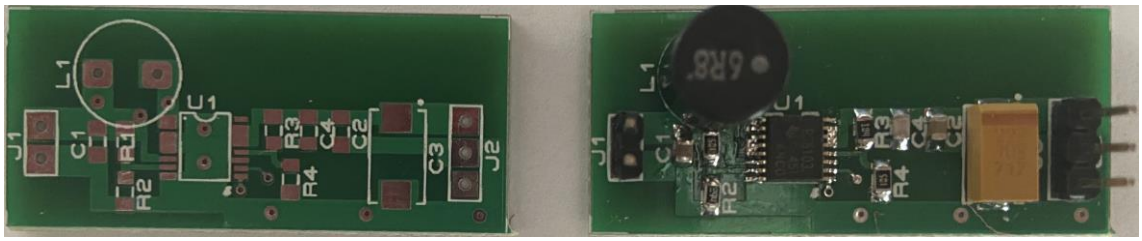
TPS61032 kullanılarak geliştirilen elektronik kartın şematiği Şekil 5.1' de, elektronik kartın üretim sonrası ve dizgi sonrası görüntüleri Şekil 5.2 'de gösterilmiştir. Devrenin tasarımında çıkış geriliminin 5V olması için R3, R4 dirençleri entegrenin veri kaynağında belirtilen

$$R3 = R4\ x\ \left(\frac{Vo}{Vfb} - 1\right) = 180\ k\Omega \text{ x } (\frac{\text{Vo}}{500\text{mV}} - 1)$$

formülü ile belirlenmiştir.



Şekil 5.1. TPS61032 DC/DC Gerilim Yükseltici



Şekil 5.2. DC/DC Gerilim Yükseltici Kartı

DC/DC gerilim yükseltici kartının dizgi sonrası kartın test edilmesi için ayarlanabilir güç kaynağı kullanılarak J1 pinleri üzerinden 1.8V gerilim uygulanarak J2 pinleri üzerinden yükseltilen gerilimin 5V olduğu gözlemlenmiştir. Kartın girişine uzun süre 1.8V uygulandığında herhangi bir ısınma veya gerilim dalgalanması gözlemlenmemiştir.

5.2. POWERCAST Enerji Hasadı Geliştirme Kiti ve 915 MHz Verici Modülü

RF enerji hasadı için Powercast firması tarafından üretilen P2110 Powerharvester geliştirme kartı kullanılmıştır. Geliştirme kiti içeriği şu şekildedir:

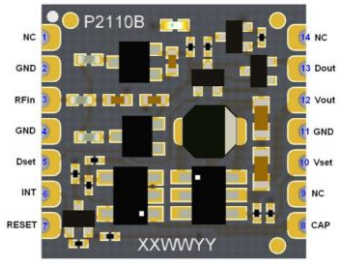
- P2110B Powerharvester alıcı modülü geliştirme kartı
- 915 MHz PCB dipol anten
- 915 MHz PCB patch anten

P2110B RF enerji hasadı modülü, 902- 928 MHz frekans bandı aralığında radyo dalgalarından DC güç elde etmek için kullanılmaktadır. RF sinyallerden elde edilen DC güç, kart üzerinde bulunan 50mF değerindeki kapasitör üzerinde depolanır. Kapasitör üzerinden şarj eşiğine ulaşılması ile DC-DC yükseltici gerilim değerini yükselterek DC çıkış gerilimi sağlanır. RF giriş gücü değerinin -12 dBm 'den az olması durumunda modül enerji hasadını gerçekleştiremeyecektir.

Modül, maksimum 5.5 V'a kadar çıkış gerilimi ve 50 mA'e kadar çıkış akımı sağlayabilir. P2110B modülüne ait pin konfigürasyonları Şekil 5.3 'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Enerji Hasadı Geliştirme Kartı Anten Özellikleri

ANTEN	KAZANÇ	IŞIMA AÇISI	EMPEDANS
915 MHz Dipol Anten (çok yönlü, dikey polarize)	1.25 (1 dBi)	360°	50 ohm
915 MHz Patch Anten (yönlü,dikey polarize	4.1 (6.1 dBi)	122° yatay, 68° dikey	50 ohm



Şekil 5.3. P2110 Pin Konfigurasyonu (Powercast)



Şekil 5.4. P2110-EVB Geliştirme Kartı

P2110-EVB kartının çalışması için ortamda 915 MHz frekansında yayın yapacak RF kaynak ihtiyacına karşın Şekil 5.5 ’de gösterilen 915 MHZ alıcı-verici USB modülü kullanılmıştır.



Şekil 5.5. 915 MHz Verici USB Modül

Modül, USB aracılığı ile seri port haberleşme kullanılarak yayın yapmaktadır. Geliştirilen ve kaynak kodu Şekil 5.6'da verilen C# masaüstü uygulaması ile seri port üzerinden rastgele karakterler üretilerek modülün 915 MHz frekansında sürekli yayın yapması sağlanmıştır. Rastgele karakter seçimi yaparak 915 MHz frekansında gönderim yapan masaüstü uygulamasına ait kaynak kodlar Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



```
public partial class SerialPortSender : Form
{

    const string chars= "ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ0123456789";

    private BackgroundWorker backgroundWorker = new BackgroundWorker();

    private bool isBwStopped = false;

    private SerialPort firstSerialPort;
    private SerialPort secondSerialPort;

    public Form1()
    {
        InitializeComponent();
        InitializeBackgroundWorker();
    }

    private void InitializeBackgroundWorker()
    {
        backgroundWorker.WorkerSupportsCancellation = true;
        backgroundWorker.WorkerReportsProgress = true;
        backgroundWorker.DoWork += BackgroundWorker_DoWork;
    }

    private void BackgroundWorker_DoWork(object sender, DoWorkEventArgs e)
    {
        while(!e.Cancel)
        {
            if(isBwStopped)
            {
                e.Cancel = true;
            }

            if(firstSerialPort.IsOpen)
            {
                firstSerialPort.Write(new String((Enumerable.Repeat(chars, 1500).Select(s => s[new
                    Random().Next(s.Length)]).ToArray()));
            }
        }
    }

    private void btnOpenPort_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        firstSerialPort = new SerialPort(cmbFirstCOM.SelectedItem.ToString(), 2400);
        firstSerialPort.Open();
    }

    private void btnSend_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        if(btnSend.Text == "Start Send")
        {
            isBwStopped = false;
            backgroundWorker.RunWorkerAsync();
            btnSend.Text = "Stop Send";
        } else
        {
            Console.WriteLine("Stop Send");
            isBwStopped = true;
            btnSend.Text = "Start Send";
        }
    }
}
```

Şekil 5.6. C# Seri Port Veri Gönderme Kaynak Kodu

Yayın yapılmaya başlandıktan sonra enerji hasadı geliştirme kiti üzerinde bulunan S2 anahtarının besleme gerilimi (Vcc) tarafının ayarlandığından emin olduktan sonra P2110 EVB modülü üzerinde bulunan gerilim yükselticiye ait çıkış gerilimi (Vout) değerinin 3.3V olduğu ve gerilim yükselticinin devrede olduğunu belirten yeşil ledin açık olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen çıkış gerilimi tasarlanan beacon cihazının besleme gerilimi olarak kullanılacaktır. Ekler bölümünde, projenin açık kaynak kodlarına ait bağlantı paylaşılmıştır.

5.3. nRF51822 ve iBeacon Tasarımı

nRF51822, Nordic Semiconductor firmasına ait kablosuz, ultra düşük güç tüketimli uygulamalarda kullanıma uygun çoklu protokol bir SoC tümleşik çipsetidir. BLE ve 2.4 GHz protokollerine destek sağlamaktadır. nRF51822 çipseti BLE uygulamaları, beaconlar, giyilebilir teknolojiler, spor-fitness sensörleri, sağlık sensörleri, oyuncak ve elektronik oyunlar gibi pek çok alandaki uygulamalar içerisinde kullanıbilir. Entegrenin temel donanım özellikleri aşağıdaki gibidir:

- 32-bit ARM Cortex M0 CPU
- 256kB/128kB dahili flash
- 32kB/16kB RAM

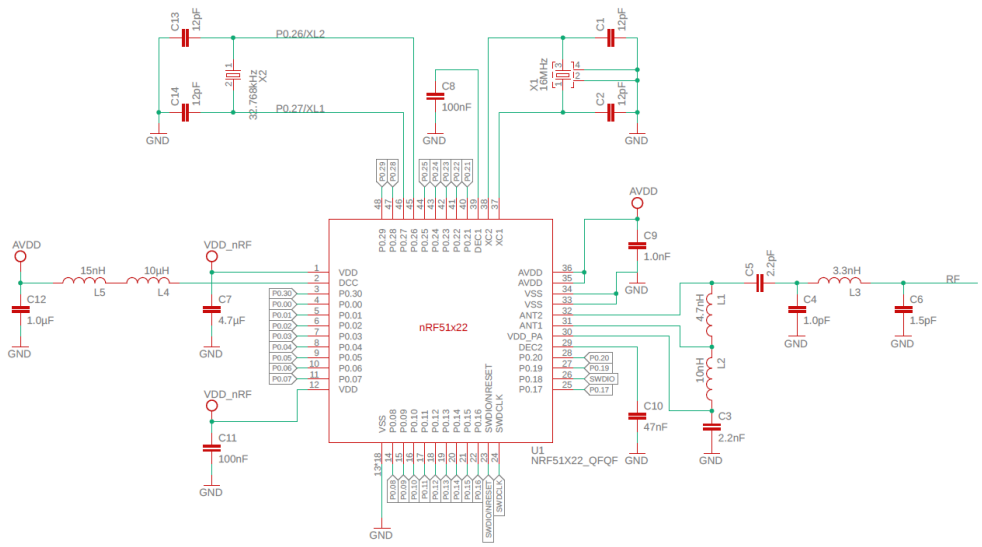
nRF51822 entegresi, desteklediği kablosuz arayüz ile derlenmiş kaynak kodlarının entegreye yüklenmesi için kablolu arayüz ihtiyacı olmadan kablosuz yüklemeye olanak sağlar.

Nordic Semiconductor, yazılım geliştirme ortamlarında geliştiricilere bir çok seçenek sağlamaktadır. Resmi olarak desteklenen geliştirme ortamları Segger Embedded Studio, Keil MDK, IAR Embedded Workbench kullanılarak C/C++ derleyicileri ile nRF51822 tümleşik çipsetleri programlanabilir.

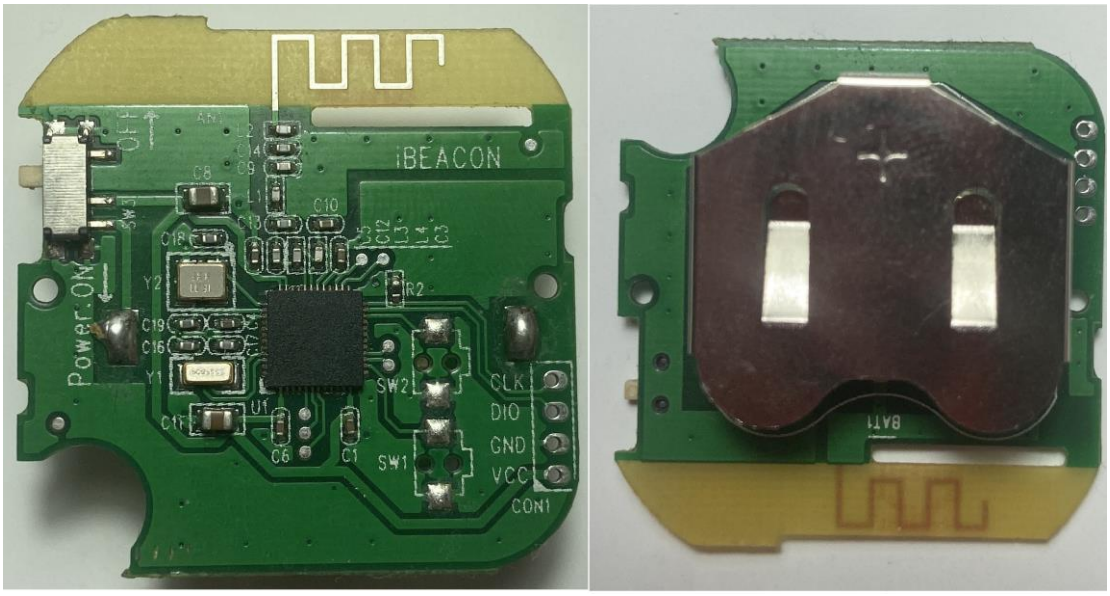
Tablo 5.2. nRF51822 Entegre Özellikleri (Nordic Semiconductor)

Frekans Bandı	2.4 GHz ISM (2.4 GHz – 2.4835 GHz)
Veri hızı	2 Mbps'e kadar
Modülasyon	GFSK
Çıkış Gücü	+4 dBm'den -20dBm'a kadar programlanabilir (4dB aralıklarla)
Hassasiyet	-93dBm BLE, -96dBm 250 kb, -90dBm 1Mbs, -85dBm 2Mbs
LDO 1.8V Akım Tüketimi	+4dBm çıkış gücü– TX 16 mA, 0 dBm çıkış gücü -TX 0.5mA, 1 Mbs RX-13 mA
DC-DC 3V Akım Tüketimi	+4dBm çıkış gücü– TX 10.5 mA, 0 dBm çıkış gücü -TX 8.06 mA, 1 Mbs RX-9.7 mA
Osilatör	16MHz kristal osilatör,16MHz RC osilatör,32kHz kristal osilatör, 32kHz RC osilatör (±250 ppm)
GPIO	31 konfigüre edilebilir pin
Dijital I/O	UART, SPI, Modülasyon Çözücü
Çevre Birimleri	ADC, RNG, Sıcaklık Sensörü, RTC
Voltaj Regülasyonu	LDO (1.8V – 3.6), LDO bypass (1.75V-1.95V),Buck DC/DC (2.1V-3.6V)
Zamanlayıcı	2 x 16 bit,1 x 24 bit , 2 x 24 bit, RTC

Çalışmada enerji hasadı geliştirme kitine yük olarak kullanılması için nRF51822 entegresi kullanılarak iBeacon tasarlanmıştır. Tasarım, entegreye ait donanım tasarımı referans kılavuzu baz alınarak yapılmıştır. Enerji hasadı geliştirme kiti üzerinde bulunan gerilim yükseltici katmanının sağlamış olduğu 3.3V gerilim, entegrenin beslenmesi için yeterli olacaktır. Bu nedenle entegrenin güç katında alçaltma/yükseltme işlemi için DC/DC dönüştürücü kullanılmamıştır. Kılavuzda giriş geriliminin filtre işlemleri için belirtilen komponentler kullanılmıştır. Entegrenin osilasyonu için XC1 ve XC2 pinleri arasında 16 MHz kristal osilatör kullanılmıştır. Donanımın en kritik katmanı olan anten katmanında ise kılavuzda belirtilen değerler ve komponentler kullanılmıştır. Tasarıma ait şematik Şekil 5.7 ’de, iBeacon kartının ön ve arka yüzleri ise Şekil 5.8 ’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. nRF51822 Beacon Tasarımı

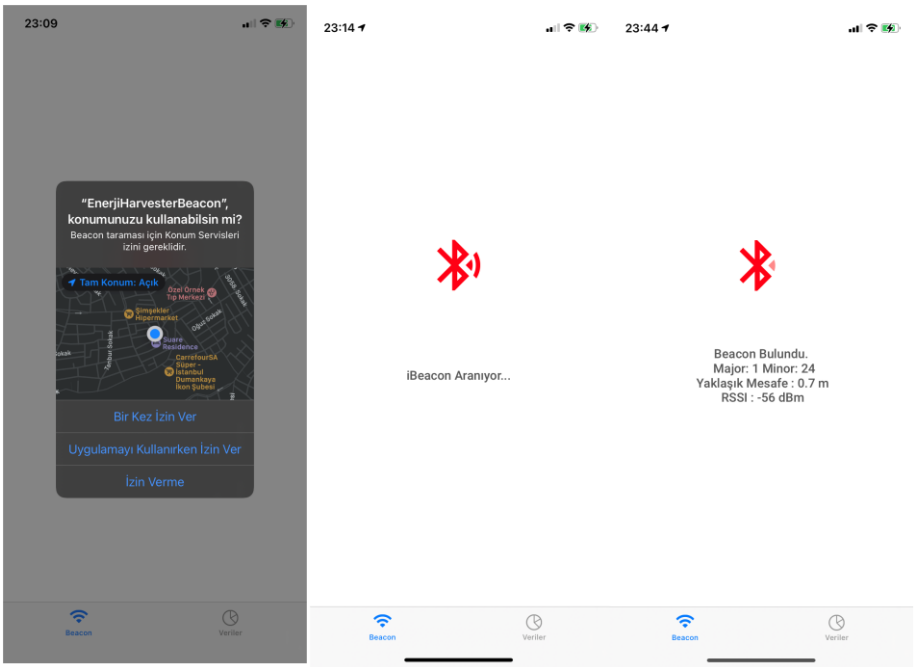


Şekil 5.8. Beacon Kartı Ön ve Arka Yüzü

5.4. iOS Mobil Uygulama – Enerji Hasadı Beacon Uygulaması

Tasarlanan beacon cihazının BLE mesajlarını alması, alınan mesajların MQTT sunucuya gönderilmesi için iOS platformunda Swift dili kullanılarak mobil uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulama ile beacon cihazlarının gönderdiği UID, minor, major, RSSI ve mesafe bilgileri MQTT sunucuya iletilmesi sağlanmıştır.

Aynı zamanda uygulamanın bir diğer özelliği sayesinde uygulama üzerinden gönderilen mesafe bilgilerinin grafik üzerinden görüntülenmesi sağlanmıştır. Uygulamaya ait beacon tarama sekmesi Şekil 5.9'da, beacon cihazından elde edilen ve saklanan verilere ait ekran görüntüsü Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Ekler bölümünde, projenin açık kaynak kodlarına ait bağlantı paylaşılmıştır.



Şekil 5.9. iOS Mobil Uygulama – Beacon Ekranı

Uygulama ilk açılışta beacon taraması yapabilmesi için ihtiyacı olan konum servislerinin kullanımı için son kullanıcıdan izin istemektedir. Konum servisleri izni verildikten sonra 5 saniyelik periyotlar ile ortamda bulunan iBeacon cihazlarının taraması sağlanmıştır. Bulunan iBeacon cihazlarına ait majör, minör, yaklaşık mesafe ve RSSI değerleri önyüzde gösterilmiştir. Aynı zamanda iBeacon cihazı bulunması ile MQTT sunucusunda bulunan “/devices/beacons” kanalı üzerinden JSON veri olacak şekilde gönderimi sağlanmıştır. Veri gönderimi sağlandıktan sonra tekrar tarama periyoduna geri dönmektedir.



Şekil 5.10. iOS Mobil Uygulama – Veriler Ekranı

Veriler sekmesi ilk açıldığında uygulama, uzak sunucuya GET methodu ile HTTP çağrı yapmaktadır. Bu çağrı sonunda uzak sunucu, veritabanında bulunan son 100 veriyi JSON formatında mobil uygulamaya iletir. Veri içerisinde minör, majör, mesafe ve tarih bilgisi bulunmaktadır. Şekil 5.10'da belirtilen grafiğin dikey ekseninde mesafe bilgisi, yatay ekseninde ise gün ve saat bilgisi belirtilmiştir.

5.5. Uzak Sunucu Bileşenleri

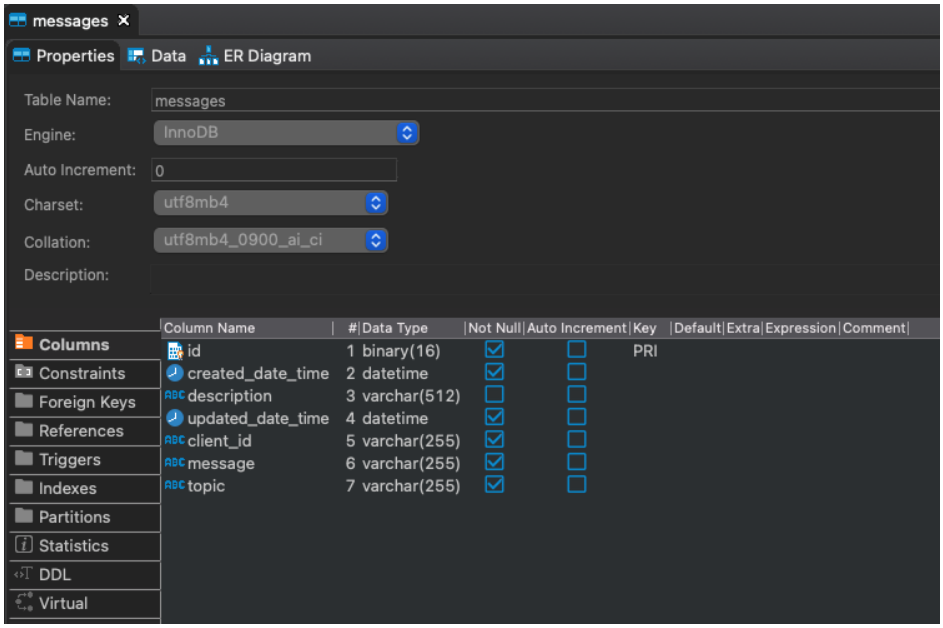
Bu bölümde Nesnelerin İnterneti uygulamasında "internet" kavramının olması için ihtiyacımız olan MQTT broker, veritabanı, arka-uç uygulaması bileşenleri incelenmiştir.

5.5.1. MQTT Broker Sunucusu

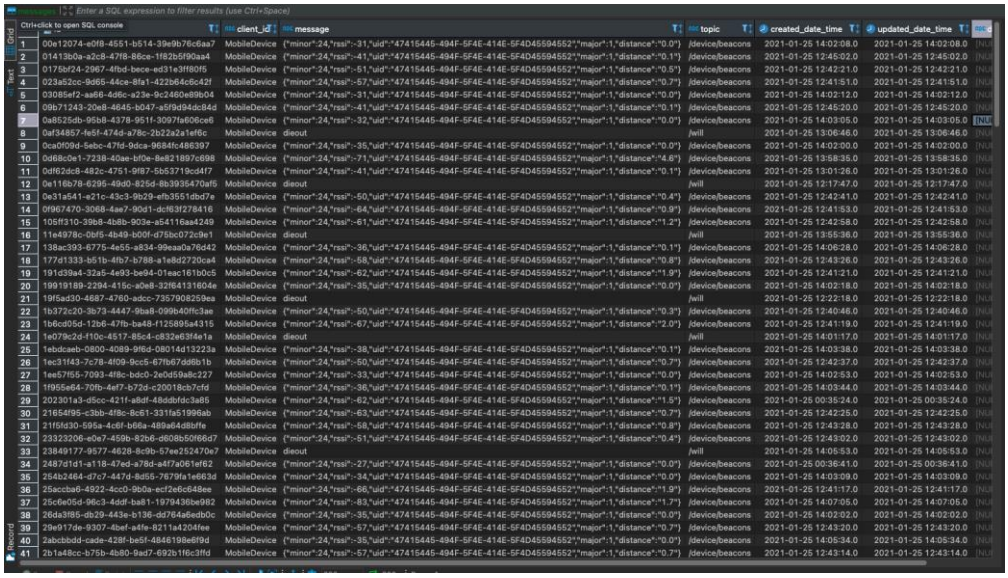
MQTT Broker hizmeti için Digitalocean servis sağlayıcısı tarafından kiralanan sunucu üzerinde Mosquitto MQTT uygulaması kurulmuştur. MQTT güvenliği için TLS sertifikası kurulmuş ve mqtt.esraozturk.me:8883 adresinden servis vermesi sağlanmıştır. MQTT broker hizmetinin kurulması ile nesneler bu sunucu aracılığı ile kanallara mesaj göndermesi mümkün olmuştur. Sunucu üzerinde çalışan MQTT Broker uygulamasına ait Java kodları Ekler bölümünde bulunan bağlantıda paylaşılmıştır.

5.5.2 Veritabanı

MQTT tarafından iletilen mesajların kayıt edilmesi için MySQL ilişkisel veritabanı sunucusu tercih edilmiştir. Kurulan MySQL veritabanı sunucusunun esraozturk.me:3306 adresinden hizmet vermesi sağlanmıştır. Kurulan veritabanı sunucusu üzerinde "IoTDatas" adında veritabanı ve "messages" adında tablo oluşturulmuştur. Tablonun sütun bilgisi Şekil 5.11'de gösterilmiştir aynı zamanda verilere ait ekran görüntüsü Şekil 5.12'da gösterilmişir.



Şekil 5.11. Messages Tablosu Sütun Bilgileri



	id	client_id	message	topic	created_date_time	updated_date_time
1	00e12074-e0f8-4551-b514-39e9b76c6aa7	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-31,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.0"}	/device/beacons	2021-01-25 14:02:08.0	2021-01-25 14:02:08.0
2	01413b0a-a2c8-47f8-86ce-1f82b5f90aa4	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-41,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.1"}	/device/beacons	2021-01-25 12:45:02.0	2021-01-25 12:45:02.0
3	0175bf24-2967-4fbd-bece-ed31e3ff80f5	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-51,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.5"}	/device/beacons	2021-01-25 12:42:21.0	2021-01-25 12:42:21.0
4	023a52cc-9d65-44ce-8fa1-422b64c6c42f	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-57,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.7"}	/device/beacons	2021-01-25 12:41:51.0	2021-01-25 12:41:51.0
5	03085ef2-aa66-4d6c-a23e-9c2460e89b04	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-31,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.0"}	/device/beacons	2021-01-25 14:02:12.0	2021-01-25 14:02:12.0
6	09b71243-20e8-4645-b047-a5f9d94dc84d	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-41,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.1"}	/device/beacons	2021-01-25 12:45:20.0	2021-01-25 12:45:20.0
7	0a8525db-95b8-4378-951f-3097fa606ce6	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-32,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.0"}	/device/beacons	2021-01-25 14:03:05.0	2021-01-25 14:03:05.0
8	0af34857-fe5f-474d-a78c-2b22a2a1ef6c	MobileDevice	dieout	/will	2021-01-25 13:06:46.0	2021-01-25 13:06:46.0
9	0ca0f09d-5ebc-47fd-9dca-9684fc486397	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-35,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.0"}	/device/beacons	2021-01-25 14:02:00.0	2021-01-25 14:02:00.0
10	0d68c0e1-7238-40ae-bf0e-8e821897c698	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-71,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"4.6"}	/device/beacons	2021-01-25 13:58:35.0	2021-01-25 13:58:35.0
11	0df62dc8-482c-4751-9f87-5b53719cd4f7	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-41,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.1"}	/device/beacons	2021-01-25 13:01:26.0	2021-01-25 13:01:26.0
12	0e116b79-6295-49d0-825d-8b3954370af6	MobileDevice	dieout	/will	2021-01-25 12:17:47.0	2021-01-25 12:17:47.0
13	0e31a541-e21c-43c3-9b29-efb3551dbd7e	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-50,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.4"}	/device/beacons	2021-01-25 12:42:41.0	2021-01-25 12:42:41.0
14	0f967470-3068-4ae7-90d1-dcf63f278416	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-64,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.9"}	/device/beacons	2021-01-25 12:41:53.0	2021-01-25 12:41:53.0
15	105ff310-39b8-4b8b-903e-a54116aa4249	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-61,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"1.2"}	/device/beacons	2021-01-25 12:42:58.0	2021-01-25 12:42:58.0
16	11e4978c-0bf5-4b49-b00f-d75bc072c9e1	MobileDevice	dieout	/will	2021-01-25 13:55:36.0	2021-01-25 13:55:36.0
17	138ac393-6775-4e55-a834-99eaa0a76d42	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-36,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.1"}	/device/beacons	2021-01-25 14:06:28.0	2021-01-25 14:06:28.0
18	177d1333-b51b-4fb7-b788-a1e8d2720ca4	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-68,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.8"}	/device/beacons	2021-01-25 12:43:26.0	2021-01-25 12:43:26.0
19	191d39a4-32a5-4e93-be94-01eac161b0c5	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-62,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"1.9"}	/device/beacons	2021-01-25 12:41:21.0	2021-01-25 12:41:21.0
20	19919189-2294-415c-a0e8-32f641316d4e	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-35,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.0"}	/device/beacons	2021-01-25 14:02:18.0	2021-01-25 14:02:18.0
21	19f5ad30-4687-4760-adcc-7357908259ea	MobileDevice	dieout	/will	2021-01-25 12:22:18.0	2021-01-25 12:22:18.0
22	1b372c20-3b73-4447-9ba8-099b40ffc3ae	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-50,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.3"}	/device/beacons	2021-01-25 12:40:46.0	2021-01-25 12:40:46.0
23	1b6cd05d-12b6-47fb-ba48-f125895a4315	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-67,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"2.0"}	/device/beacons	2021-01-25 12:41:19.0	2021-01-25 12:41:19.0
24	1e079c2d-f10c-4517-85c4-c832e63f4e1a	MobileDevice	dieout	/will	2021-01-25 14:01:17.0	2021-01-25 14:01:17.0
25	1ebdcaeb-0800-4089-9f6d-08014d13223a	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-38,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.1"}	/device/beacons	2021-01-25 14:03:38.0	2021-01-25 14:03:38.0
26	1ec31f43-7c78-4f09-9cc5-67fb67dd6b1b	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-50,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.7"}	/device/beacons	2021-01-25 12:42:37.0	2021-01-25 12:42:37.0
27	1ee57f55-7093-4f8c-bdc0-2e0d59a8c227	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-33,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.0"}	/device/beacons	2021-01-25 14:02:53.0	2021-01-25 14:02:53.0
28	1f955e64-70fb-4ef7-b72d-c20018cb7cfd	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-36,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.1"}	/device/beacons	2021-01-25 14:03:44.0	2021-01-25 14:03:44.0
29	202301a3-d5cc-421f-a8df-48ddbfdc3a86	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-62,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"1.5"}	/device/beacons	2021-01-25 00:35:24.0	2021-01-25 00:35:24.0
30	21654f95-c3bb-4f8c-8c61-331fa51996ab	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-63,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.7"}	/device/beacons	2021-01-25 12:42:25.0	2021-01-25 12:42:25.0
31	21f5fd30-595a-4c6f-b06a-489a64d8bffe	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-58,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.8"}	/device/beacons	2021-01-25 12:43:28.0	2021-01-25 12:43:28.0
32	23323206-e0e7-459b-82b6-d608b50f66d7	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-51,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.4"}	/device/beacons	2021-01-25 12:43:02.0	2021-01-25 12:43:02.0
33	23849177-9577-4628-8c9b-57ee252470e7	MobileDevice	dieout	/will	2021-01-25 14:05:53.0	2021-01-25 14:05:53.0
34	2487d1d1-a118-47ed-a78d-a4f7a061ef62	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-27,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.0"}	/device/beacons	2021-01-25 00:36:41.0	2021-01-25 00:36:41.0
35	254b2464-d7c7-447d-8d55-7679fa1e663d	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-34,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.0"}	/device/beacons	2021-01-25 14:03:09.0	2021-01-25 14:03:09.0
36	25accba6-4922-4cc0-9b0a-ecf2e6c648ee	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-66,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"1.9"}	/device/beacons	2021-01-25 12:41:17.0	2021-01-25 12:41:17.0
37	25c6e05d-96c3-4ddf-ba81-1979436be982	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-83,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"1.7"}	/device/beacons	2021-01-25 14:07:05.0	2021-01-25 14:07:05.0
38	26da3f85-db29-443e-b136-dd764a6edb0c	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-35,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.0"}	/device/beacons	2021-01-25 14:02:02.0	2021-01-25 14:02:02.0
39	29e917de-9307-4bef-a4fe-8211a4204fee	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-57,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.7"}	/device/beacons	2021-01-25 12:43:20.0	2021-01-25 12:43:20.0
40	2abcbbdd-cade-428f-be5f-4846198e6f9d	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-35,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.0"}	/device/beacons	2021-01-25 14:05:34.0	2021-01-25 14:05:34.0
41	2b1a48cc-b75b-4b80-9ad7-692b1f6c3ffd	MobileDevice	{"minor":24,"rssi":-57,"uid":"47415445-494F-5F4E-414E-5F4D45594552","major":1,"distance":"0.7"}	/device/beacons	2021-01-25 12:43:14.0	2021-01-25 12:43:14.0

Şekil 5.12. Messages Tablosu Verileri

5.5.3. Arka Uç Uygulaması

Arka uç uygulaması ile kurulan broker hizmetine bağlanıp, MQTT kanalları üzerinden iletilen tüm mesajların dinlenilmesi, veritabanına kayıt edilmesi sağlanmıştır.

Arka uç uygulaması Java dilinde Spring yapısı kullanılarak geliştirilmiş olup, MQTT erişimi için Eclipse firmasının açık kaynak dağıttığı Paho kütüphanesi kullanılmıştır.

Arka uç uygulamasının, MQTT sunucusu üzerinde "#" konu başlığını dinlemesi sağlanmıştır. "#" kanalı dinlenilerek, tüm başlıklara iletilen mesajların arka uç uygulaması tarafından alınması sağlanmıştır.

Alınan mesajların veritabanına yazılması için Hibernate nesne ilişkisel eşleme yapısı kullanılmıştır. Konulara mesajlar iletildikçe arka uç uygulamasında delege edilen fonksiyon ile veritabanına kayıt işlemi gerçekleştirilmiştir.

Arka uç uygulamasının MQTT sunucusuna bağlanmak için yazılmış olan Java yardımcı kodları Şekil 5.13'de gösterilmiştir. iOS mobil uygulamasına veritabanında kayıtlı olan verileri iletmek için REST API mimarisi kullanılmıştır. Mobil uygulamalar

veya diğer istemciler esraozturk.me:8080/api/v1/message uç noktasına GET methodunu çağırması halinde veritabanında bulunan son 100 veriyi istemciye iletmesi sağlanmıştır. İstemciye gönderilen cevap mesajı Şekil 5.14'de gösterilmiştir. Ekler bölümünde, projenin açık kaynak kodlarına ait bağlantı paylaşılmıştır.



```
public class MqttConnector implements MqttCallback {

    MessageService messageService;
    MqttClient client;

    private static MqttConnector instance = null;


    private String MQTT_USER_NAME     = "mqttuser";
    private String MQTT_USER_PASSWORD = "636492";
    private String LISTEN_TOPIC       = "#";
    private String BROKER_URL         = "ssl://mqtt.esraozturk.me:8883";
    private String CLIENT_ID          = "ListenerServer";

    private MemoryPersistence persistence = new MemoryPersistence();

    public MqttConnector() {
        try {
            this.client = new MqttClient(BROKER_URL, CLIENT_ID, persistence);
        } catch (MqttException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }

    public static MqttConnector getInstance(MessageService messageService) {
        if(instance == null) {
            instance = new MqttConnector();
            instance.messageService = messageService;
        }
        return instance;
    }

    private MqttConnectOptions getClientOptions () {
        MqttConnectOptions connOpts = new MqttConnectOptions();
        connOpts.setCleanSession(true);
        connOpts.setUserName(this.MQTT_USER_NAME);
        connOpts.setPassword(this.MQTT_USER_PASSWORD.toCharArray());
        return connOpts;
    }

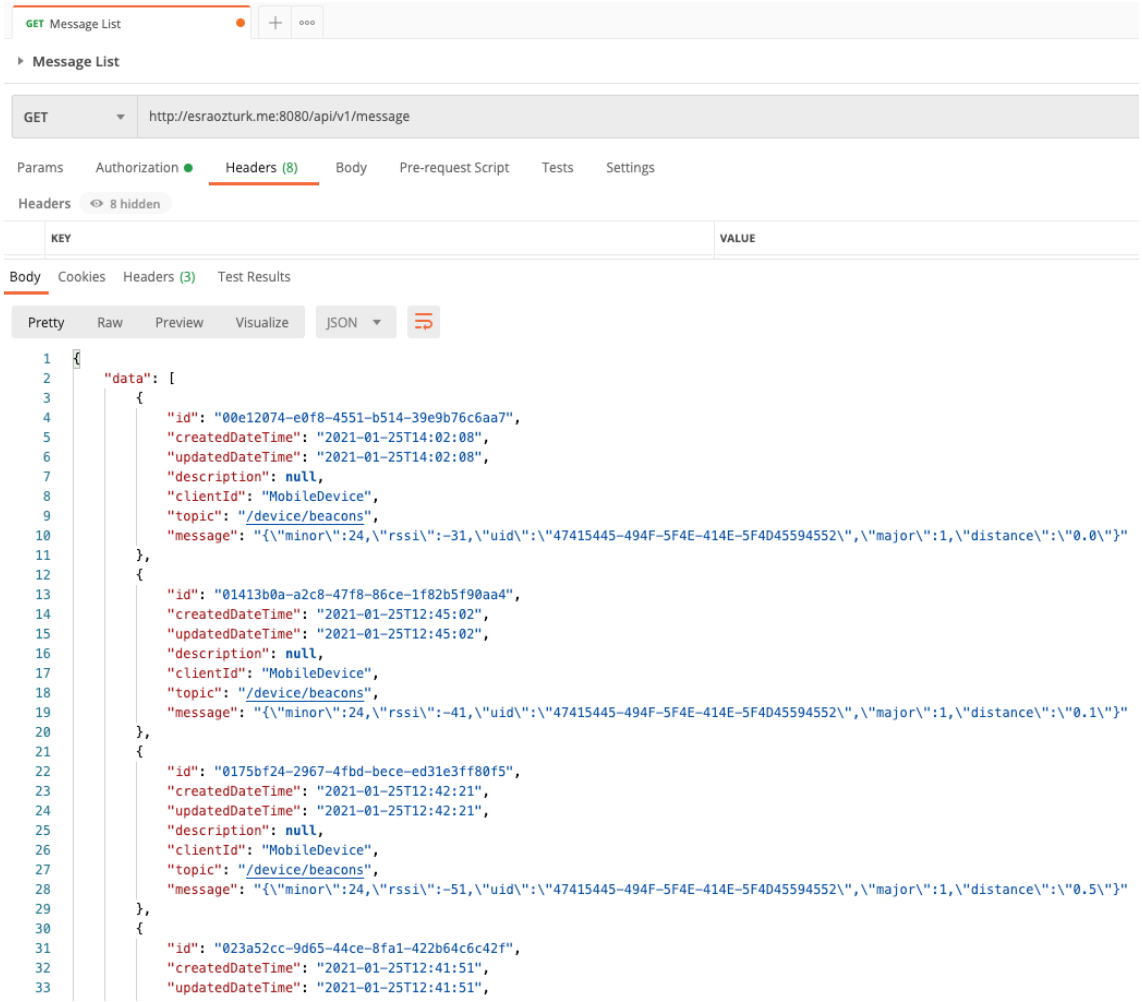
    public boolean connect() {
        boolean state = false;
        try {
            client.setCallback(this);
            client.connect(getClientOptions());
            if(Boolean.TRUE.equals(client.isConnected())) {
                state = true;
                client.subscribe(this.LISTEN_TOPIC);
            }
        } catch (MqttSecurityException e) {
            e.printStackTrace();
        } catch (MqttException e) {
            e.printStackTrace();
        }
        return state;
    }

    @Override
    public void connectionLost(Throwable throwable) { }

    @Override
    public void messageArrived(String topic, MqttMessage mqttMessage) {
        System.out.println(String.format("Incoming Message from topic: %s , message:
        %s",topic,mqttMessage.toString()));
        Message message = new Message();
        message.setTopic(topic);
        message.setMessage(mqttMessage.toString());
        message.setClientId("MobileDevice");
        messageService.save(message);
    }

    @Override
    public void deliveryComplete(IMqttDeliveryToken iMqttDeliveryToken) { }
}
```

Şekil 5.13. Java MQTT Yardımcı Sınıf Kodları



Şekil 5.14.İstemcilere İletilen REST API İstek Örneği İstemcilere İletilen REST A İstek Örneği

BÖLÜM 6. BULGULAR VE YORUMLAR

Bu bölüm içerisinde, Bölüm 5. Yöntem kısmında bahsedilmiş olan donanımsal ve yazılımsal uygulamaların enerji hasadı sistemi içerisinde kullanılabilirliğinden, sistemin genel çalışma prensibi ve akışından bahsedilmiştir. Aynı zamanda yine bu bölüm içerisinde geliştirme sırasında ortaya çıkan donanım, yazılım ihtiyaçlarından da bahsedilmiştir.

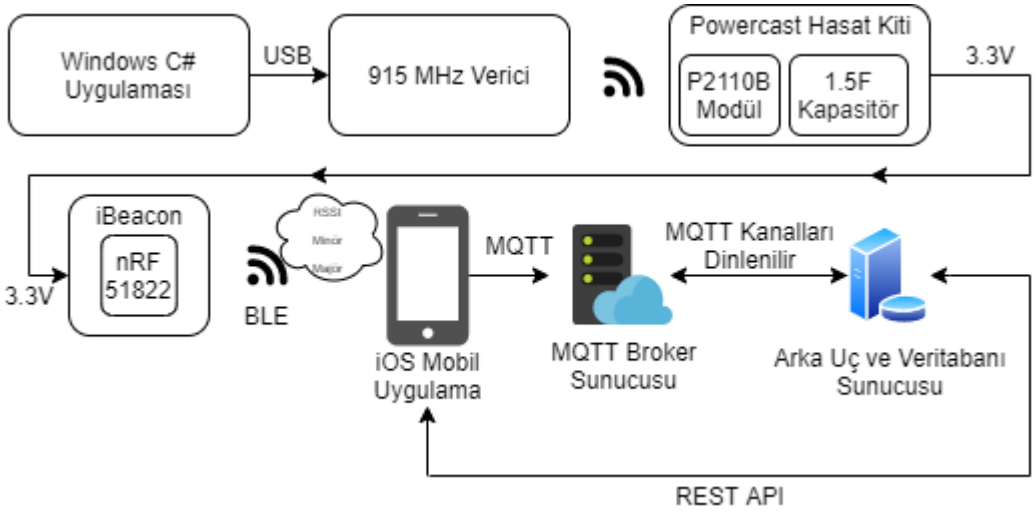
6.1. Sisteme Genel Bakış

915 MHz verici modülün sürekli yayın yapmasını sağlamak amacıyla geliştirilen C# uygulaması seri port kullanarak rastgele veri gönderimi yapması sağlanmıştır. 500 mW ve 915 MHz frekansında yayını, Powercast P2110-EVB geliştirme kiti ile RF-DC gerilim dönüşüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Kit üzerinde bulunan 50 mF değerinde kapasitöre ek olarak harici kapasitörler eklenmesi için C4 alanı bulunmaktadır. C4 alanına eklenen 1.5F değerinde süper kapasitörün şarj olması için JP1 üzerinde bulunan atlama noktası C4 olarak seçilmiştir. Kapasitör gerilimi 1.8V değerine ulaştığında P2110B modülünün led ışığının yandığı ve Vout geriliminin 3.3V değerine yükseltildiği gözlemlenmiştir.

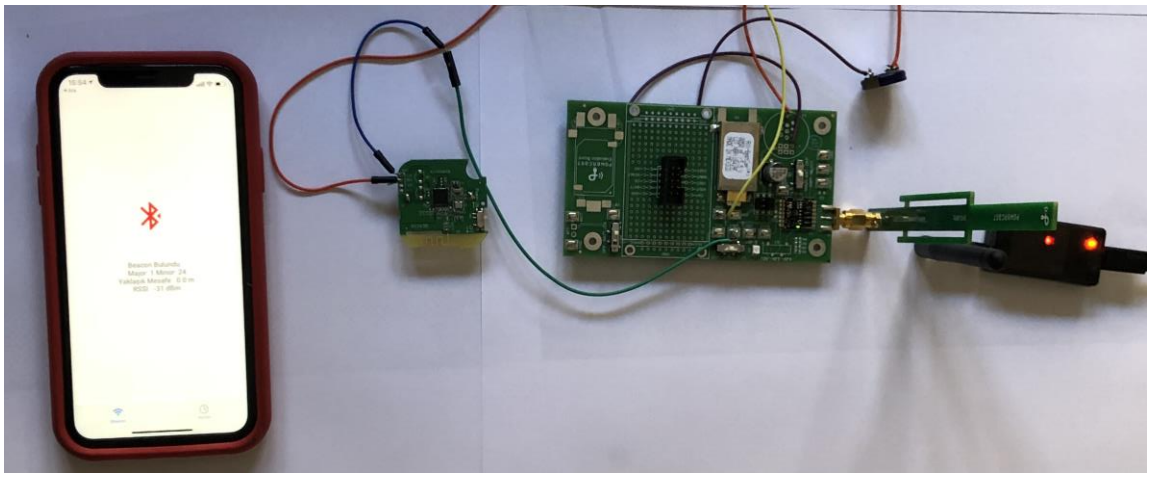
Gerilim yükselticiye ait çıkış gerilimi (Vout) kullanılarak, tasarlanan beacon devresinde bulunan besleme gerilimi (Vcc) ve toprak (GND) pinlerine gerilim uygulanarak beacon kartının çalışması sağlanmıştır. Kartın çalışabilirliğini test etmek, elde edilen değerleri görüntülemek ve verileri MQTT protokolü ile MQTT broker sunucusuna göndermek amacıyla iOS mobil uygulaması geliştirilmiştir.

MQTT broker sunucusunda bulunan başlıklara iletilen mesajları dinleyen arka uç uygulaması ile iletilen her mesaj veritabanına kaydedilmiştir. Arka uç uygulaması ile kaydedilen mesajların REST API kullanılarak istemcilere gönderilmesi sağlanmıştır.

Sistemin genel akış şeması Şekil 6.1'de ve çalışmaya ait verici, enerji hasat kartı, beacon ve iOS mobil uygulaması Şekil 6.2'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Enerji Hasadı ile IoT Uygulaması Akış Şeması



Şekil 6.2. Çalışmanın Genel Görüntüsü

6.2. Sistemin Analizi & Ölçümleri

Powercast firmasının üretmiş olduğu enerji hasatlayıcı geliştirme kartı üzerinde bulunan P2110B modülü minimum 902 MHz ve maksimum 928 MHz frekans aralığında ve minimum -12 dBm maksimum 10 dBm RF gücü olacak şekilde çalışmaktadır.

Uygulamanın geliştirilmesi sırasında bu frekans ve güç değerlerini sağlayabilecek 2G baz istasyonları, TV istasyonları ve harici olarak 915 MHz frekansında yayın yapan kaynaklar olması gerektiği belirlenmiştir.

Tüm kaynaklardan elde edilecek gerilim öncelikle herhangi bir kapasitör şarjı olmadan, geliştirme kartı üzerinde bulunan RF-DC gerilimi Vcc ve yükseltici devrenin çıkış gerilimi Vout ölçülerek yapılmıştır.

2G teknolojisi günümüzde kullanımı azalsada endüstride hala kullanımı mevcuttur, bu nedenle İstanbul / Türkiye konumunda 2G baz istasyonları araştırılmıştır. Baz istasyonlarına erişim ve yakın mesafeden ölçüm alabilmek için Kadıköy ve Çamlıca konumlarında bulunan baz istasyonları seçilmiştir. Bu baz istasyonlarından elde edilen gerilim değerleri Tablo 6.1'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. 2G Baz İstasyonları Ölçüm Değerleri

Konum	**RF-DC Ölçüm Değeri**
Kadıköy, İstanbul	0,56 V
Çamlıca, İstanbul	1,8 V

Ölçülen bu değerlerin geliştirme kartı üzerinde bulunan yükseltici devreyi çalıştırmadığı ve RF-DC geriliminin nesnenin enerji ihtiyacını karşılayamacağı tespit edilmiştir. Çamlıca konumunda elde edilen gerilimi yükseltmek amacıyla DC/DC gerilim yükseltici elektronik kart tasarlanmıştır.

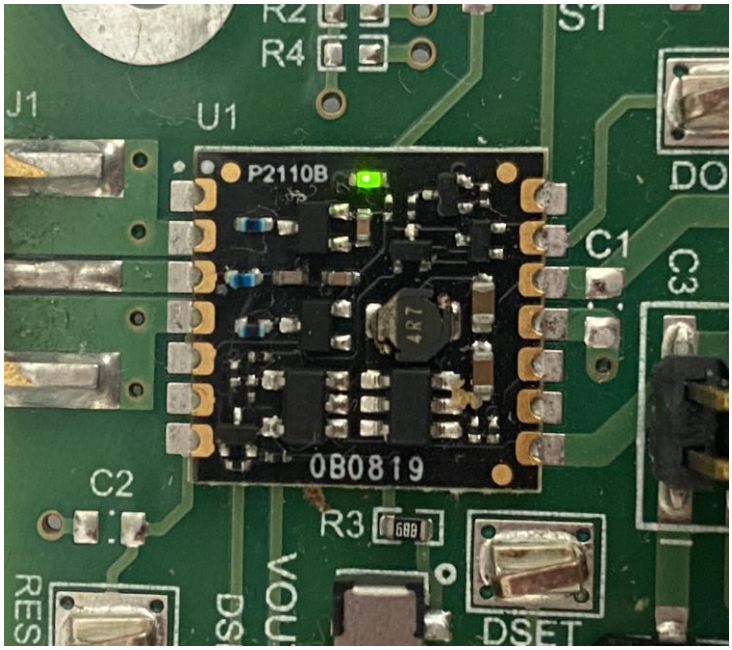
Bu elektronik kartın tasarımı sırasında kullanılacak tümleşik devre elemanının seçiminde minimum gerilim değerinin 1.8V, çıkış geriliminin ayarlanabilir olması ve maksimum çıkış akımının yüksek olması baz alınmıştır.

DC/DC gerilim yükseltmesi ile kapasitör kullanmadan Wi-Fi tabanlı bir nesne beslemek istenildiğinde Wi-Fi modülünün Wi-Fi ağına bağlantı sırasında fazla akım çekmesi nedeniyle enerji hasadı geliştirme kiti bu akımı karşılamadığı gözlemlenmiştir.

Konumda ölçümlenen değerlerin bir çok duruma göre (zaman, hava durumu vb.) farklılık göstermesi nedeniyle sabit bir RF kaynaktan yayın yapılıp ölçüm alınması sağlanmıştır.

500 mW, 915 MHz verici modül ile tekrar Wi-Fi modülünün çalışması denenmiş olup anma akımının karşılanmaması nedeniyle kit üzerinde bulunan C4 alanına ekstra kapasitör eklenilerek tekrar ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sonunda anma akımının bir kısmı karşılamış olsada 1,5 F ve 3F değerlere sahip kapasitörler ile en fazla 5-6 saniye süresince modüle gerekli enerji sağlanabilmiştir.

Sabit RF kaynaktan yapılan enerji hasadı ile geliştirme kartı üzerinde bulunan DC/DC gerilim yükseltici kullanımı sayesinde TPS61032 yükseltici ihtiyacı ortadan kalkmıştır. Kart üzerinde bulunan yükseltici ile Vout – GND arasında 3.3V ölçülmüş ve P2110B modülünün üzerinde bulunan yeşil ledin Şekil 34'de gösterildiği gibi yandığı gözlemlenmiştir. Wi-Fi modülünün testi sırasında kullanılan 1.5F değerindeki kapasitör şarj edilip daha düşük güç tüketimli yük ile ölçümler tekrar yapılmıştır.



Şekil 6.3. P2110B DC/DC Yükseltici Çıkış İndikatörü

Kapasitör şarj edilip beacon kartı yük olarak hasat geliştirme kartına bağlantıktan sonra kapasitörün gerilim değeri sürekli olarak izlenmiştir. Beacon kartının verimli çalışmasını gözlemleyebilmek için, sistemin tamamlayıcı uygulaması olarak geliştirilen iOS mobil uygulaması ile beacon varlığı sürekli izlenilmiştir.

BÖLÜM 7. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, Nesnelerin İnterneti konseptinin günümüzde yaygınlaşması ve son tüketiciler tarafından kullanımının artmasıyla, artan enerji ihtiyacına yönelik çözüm olarak uygulanan enerji hasadı yöntemiyle bu konseptin çalışılabilirliği araştırılıp, donanım seviyesinden başlanarak uzak sunucu ile iletişim kurulmasına kadar çalışan bir ekosistem kurulmuştur.

Kablosuz iletişim teknolojilerini kullanan cihazların artması ile birlikte RF yayın yapan baz istasyonu, televizyon istasyonları, tekrarlayıcılar (repeater), Wi-Fi vb. kaynakların kullanımı ile düşük güç tüketimli nesnelerin çalışabilirliği öngörülmüştür. Bu nedenle enerji hasat yöntemi olarak RF enerji hasadı seçilmiştir.

RF enerji hasadını sağlayan Powercast firmasının üretmiş olduğu P2110-EVB geliştirme kiti ile 915 MHz frekansında hasat yapılabilmektedir. Bu frekans kullanımının olduğu uygulamalar keşfedilmiştir. (2G baz istasyonları, ISM bandında drone uygulamaları vb.). Araştırılan 2G baz istasyonlarında elde edilen ölçüm değerlerine göre sabit kaynak seçimi yapılmış olup çalışmalara 915 MHz frekansında yayın yapan 500 mW gücünde kaynak kullanılmıştır.

Çalışmada, öncellikle yük olarak Wi-Fi arayüzü bulunan geliştirme kiti kullanılmıştır. 500 mW gücünde yayın kaynağı kullanılarak farklı kapasitörler ile karta gerilim uygulandığında ağa bağlantı sırasında anma akımının çok fazla olduğu tespit edilmiştir. Enerji hasadı geliştirme kiti üzerinde bulunan gerilim yükseltici katmanı kullanılmadan harici gerilim yükseltici tasarlanarak aynı kapasitör değerleri ile tekrar Wi-Fi arayüzü yük olarak kullanıldığında ortalama 5-6 saniye Wi-Fi kartının çalıştığı gözlemlenmiştir. 5-6 saniye içerisinde deşarj olan 1.5F ve 3F değerindeki kapasitörlerin tekrar şarj olması mümkün olmayacağı için tasarlanan nesnelerin interneti konseptine uygun olmayacağı tespit edilmiştir. Bu nedenle kullanım alanında yaygınlığı ve düşük güç tüketimi düşünüldüğünde beacon teknolojisi enerji hasatı uygulamasında yük olarak kullanılabilecek nesne olarak seçilmiştir. Kendi alanında en iyi tümleşik

entegreler üreten Nordic Semiconductor firmasının entegresi seçilip beacon tasarlanmıştır.

Nesnenin varlığının tespiti, mesafe ölçümü, alınan sinyal gücü değerleri gibi verileri analiz etmek için iOS platformu için mobil uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulama ile elde edilen verilerin analizi ve nesnenin sürekli çalışabilirliği test edilmiştir.

Aynı zamanda verilerin saklanması, saklanılan verilerin analizi, uzaktan erişim gibi konuların çözümü için MQTT Broker sunucusu, arka-uç uygulama sunucusu, veritabanı sunucusu kurulmuştur.

iOS mobil uygulama tarafından tespit edilen nesneler MQTT Broker sunucusu aracılığıyla verilerin gönterilmesi sağlanmış olup, iletilen veriler arka-uç uygulaması tarafından tespit edilip veritabanı üzerinde saklanması sağlanmıştır. Saklanılan verilerin analizi için REST API servisi geliştirilip mobil uygulama ile iletişimi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma ile 500 mW gücünde 915 MHz RF sabit kaynak kullanılarak enerji hasadı ile Nesnelerin İnterneti uygulaması başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

EKLER

1- Geliştirilen uygulamalara ait kaynak kodlar https://github.com/ozturkesra/ELK599

KAYNAKÇA

Alphabet Inc. (2016). Google - Eddystone README. Alphabet Inc. Şubat 14, 2021 tarihinde Google - Eddystone GitHub Readme: https://github.com/google/eddystone/blob/master/README.md adresinden alındı

Anonim. (1904). Wardenclyfee Kulesi. New York.

Apple Inc. (2014, Haziran 02). Getting Started with iBeacon. Apple Inc. Şubat 14, 2021 tarihinde Apple Web Sitesi: https://developer.apple.com/ibeacon/Getting-Started-with-iBeacon.pdf adresinden alındı

Bakytbekov, A., Nguyen, T. Q., Li, W., Cottrill, A. L., Zhang, G., Strano, M. S., . . . Shamim, A. (2020). Multi-source ambient energy harvester based on RF and thermal energy: Design, testing, and IoT application. doi:10.1002/ese3.784

Brown, W. (1966). The history of power transmission by radio waves. Burlington. doi:10.1080/00222739.1966.11688626

Cheraghi, S. A., Namboodiri, V., & Walker, L. (2017). GuideBeacon: Beacon-Based Indoor Wayfinding for the Blind, Visually Impaired, and Disoriented. *IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom).* Kona. doi:10.1109/PERCOM.2017.7917858

Cisco Systems. (2018). Cisco Edge-to-Enterprise IoT Analytics for Electric Utilities Solution Overview. https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/data-center-virtualization/big-data/solution-overview-c22-740248.html adresinden alındı

Eltresy, N., Elsheakh, D., Abdallah, E., & Elhenawy, H. (2018). RF Energy Harvesting Using Efficiency Dual Band Rectifier. *Asia-Pacific Microwave Conferance* . Kyoto. doi:10.23919/APMC.2018.8617347

Estimote. (tarih yok). Estimote Beacon Applications. Şubat 1, 2021 tarihinde Estimote: https://estimote.com/ adresinden alındı

Hsieh, Y.-T., Fang, C.-L., Su, C.-F., Tsai, H.-H., & Juang, Y.-Z. (2016). A hybrid ambient energy harvesting integrated chip (IC) for the Internet of Things (IoT) and portable applications. *19th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS).* Chiba: IEEE.

International Telecommunication Union. (2012). Overview of the Internet of Things.

Jadhav, S. B., & Lambor, S. M. (2017). Hybid Solar And Radio Frequency (RF) Energy Harvesting. *IEEE International Conferance On Power, Control, Signals And Instrumentation Engineering.*

Manyika, J., Chui, M., Bisson, P., Woetzel, J., Dobbs, R., Bughin, J., & Aharon, D. (2015). Unlocking the potential of the Internet of Things. McKinsey Global Institute. McKinsey Web Site: https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world# adresinden alındı

Nordic Semiconductor. (tarih yok). nRF51xxx Series Datasheet. Nordic Semiconductor.

Pham, B. L., & Pham, A.-V. (2013). Triple bands antenna and high efficiency rectifier design for RF energy harvesting at 900, 1900 and 2400 MHz. *2013 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest.* Seattle: IEEE. doi:10.1109/MWSYM.2013.6697364

Powercast. (tarih yok). P2110b Module Datasheet., (s. 1). https://www.powercastco.com/documentation/p2110b-module-datasheet/ adresinden alındı

Raju, M., & Grazier, M. (2010). ULP meets energy harvesting: A game-changing combination for design engineers. (s. 36). Texas Instruments. April 1, 2021 tarihinde Texas Instruments. adresinden alındı

Saeed, W., Shoaib, N., Cheema, H. M., & Khan, M. U. (2018). RF Energy Harvesting for Ubiquitous, Zero Power Wireless Sensors. (s. 2). Hindawi. doi:https://doi.org/10.1155/2018/8903139

Sampe, J., Albrni, M. A., & Ali, S. H. (2019). Design of a Low Power Hybrid Energy Harvester System Using Radio Frequency, Thermal and Vibration Inputs for Mobile Phone. *IEEE Regional Symposium on Micro and Nanoelectronics.* Pahang: IEEE.

Spachos, P., & Plataniotis, K. N. (2020). BLE Beacons for Indoor Positioning at an Interactive IoT-Based Smart Museum. IEEE. doi:10.1109/JSYST.2020.2969088

Spies, P., Mateu, L., & Pollak, M. (2013). Handbook of Energy Harvesting Power Supplies and Applications. (s. 3). IEEE.

Zaim, D., & Bellafkıh, M. (2016). Bluetooth Low Energy (BLE) based geomarketing system. *11th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications (SITA).* Mohammedia: IEEE.