



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



OTONOM ROBOTLAR İÇİN KABLOSUZ SENSÖR AĞI UYGULAMASI

YÜCEL YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mekatronik Mühendisliği
Anabilim Dalı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Mustafa Caner AKÜNER

İSTANBUL, 2019



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



OTONOM ROBOTLAR İÇİN KABLOSUZ SENSÖR AĞI UYGULAMASI

YÜCEL YILMAZ
(523516004)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mekatronik Mühendisliği
Anabilim Dalı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Mustafa Caner AKÜNER

İSTANBUL, 2019

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Yücel YILMAZ'ın "Otonom Robotlar için Kablosuz Sensör Ağı Uygulaması" başlıklı tez çalışması, 03/09/2019 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Mustafa Caner AKÜNER (Danışman)

Marmara Üniversitesi(İMZA).....

Doç.Dr. Tahir Çetin AKINCI (Üye)

İstanbul Teknik Üniversitesi(İMZA).....

Dr. Öğr. Üyesi Uğur KESEN (Üye)

Marmara Üniversitesi(İMZA).....

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 04.09.2019 tarih ve 2019/28.07 sayılı kararı ile Yücel YILMAZ'ın Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı Mekatronik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Bülent EKİCİ



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez süresi boyunca desteklerini ve danışmanlığını esirgemeyen saygı değer hocam Prof. Dr. Mustafa Caner AKÜNER'e;

Hayatımın her anında, maddi ve manevi destekleriyle beni onore eden canım aileme;

Tez süresince mentörlüğünü eksik etmeyen sevgili Dr. Tuğba ÖZBİLGİN'e;

Teşekkür ederim.

Ağustos 2019

Yücel YILMAZ

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
SEMBOLLER	v
KISALTMALAR	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Önem	2
1.2. Literatür Araştırması.....	3
2. KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI.....	7
2.1. Tarihçe	7
2.2. Kablosuz Sensör Ağları Topolojileri	8
2.2.1. Yıldız (Star) topolojisi.....	9
2.2.2. Ağaç (Tree) topolojisi.....	10
2.2.3. Örgü (Mesh) topolojisi.....	11
2.3. Kablosuz Sensör Ağları Haberleşme Protokolleri	12
2.3.1. Bluetooth ve BLE	12
2.3.2. Radyo frekansı ile tanımlama (RFID)	13
2.3.3. Zigbee	13
2.3.4. Mesaj kuyruklama telemetri taşımacılığı (MQTT)	14
2.4. Kablosuz Sensör Ağları Bileşenleri.....	16
2.4.1. Sensör düğümü.....	16
2.4.1.1. Mikrodenetleyici tabanlı kontrol birimi.....	17
2.4.1.2. Sensör.....	18
2.4.1.3. Batarya	19
2.4.2. Koordinatör düğüm	19

3. TASARIM VE GERÇEKLEME	21
3.1. Kullanılan Malzemeler	21
3.1.1. ESP8266 ve NodeMCU.....	21
3.1.1.1. NodeMCU güç gereksinimi	24
3.1.1.2. NodeMCU çevre birimleri	25
3.1.1.3. NodeMCU seri haberleşme arayüzü	25
3.1.1.4. NodeMCU ESP8266 pin yapısı	26
3.1.2. Raspberry Pi 3 Model B+	27
3.1.3. Waveshare 5 inç HDMI LCD dokunmatik ekran.....	29
3.1.4. DHT11 sıcaklık ve nem sensörü	30
3.1.5. PIR (Hareket) sensörü	31
3.1.6. Yağmur sensörü	31
3.1.7. HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü.....	32
3.2. Sistem Tasarımı	33
3.3. Yazılım Ortamlarının Kurulumu	37
3.3.1. MQTT aracı (broker) olarak Mosquitto kurulumu	37
3.3.2. Raspberry Pi üzerinde Qt Creator kurulumu	38
3.3.3. Arduino IDE üzerinde NodeMCU ESP8266 12E paket kurulumu.....	41
3.4. Tasarımın gerçekleştirilmesi ve test ortamı	41
3.4.1. Sensör düğümlerinin fiziksel gerçekleştirilmesi	43
3.4.2. KSA monitörleme yazılımı gerçekleştirilmesi	43
3.4.3. Koordinatör düğüm ve sensör düğümlerinin testi	45
4. SONUÇLAR	47
KAYNAKLAR.....	48
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

OTONOM ROBOTLAR İÇİN KABLOSUZ SENSÖR AĞI UYGULAMASI

Kablosuz Sensör Ağları(KSA), kablosuz bir ortam vasıtasıyla birbirine bağlanmış yüzlerce veya binlerce sensör düğümünden oluşabilmektedir. Sensör düğümleri; dahili batarya, RF adaptörü, mikrodenetleyici ve sensör birimi ile tümleşik bir yapı oluşturur. Kablosuz sensör ağları nem, sıcaklık, ışık, basınç, toprak bileşimi gibi çevresel koşulları izlemenin yanında; nesne hareketi, gürültü seviyesi, ağırlık, boyut, hareket hızı, yönü ve son konumu gibi fiziksel durumları inceleyebilme özelliklerine de sahiptirler.

Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen çevresel koşulları ve fiziksel durumları izlemek için öncelikle otonom robotlarda kullanılacak bir sensör düğüm tasarımı yapılarak MQTT tabanlı bir KSA tasarımı ve gerçekleştirilmesi üzerinde çalışılmıştır. KSA bünyesinde yer alan sensör düğümlerinin fiziksel gerçekleştirilmesi de yapılmıştır. Test ortamı kurularak tasarımı ve fiziksel gerçekleştirilmesi sağlanan sensör düğümleri test edilmişlerdir. Ayrıca tasarımı yapılan KSA için, sensör düğümleri tarafından toplanan verileri uzaktan izlemek için gömülü bir sistem üzerinde çalışan monitörleme yazılımı da geliştirilmiştir.

ABSTRACT

APPLICATION OF WIRELESS SENSOR NETWORK FOR AUTONOMOUS ROBOTS

An ordinary Wireless Sensor Network, or WSN for short, may consist of hundreds or thousands of sensor nodes connected to each other via a wireless environment. Sensor nodes form an integrated structure in a film canister with its own battery-RF adapter, microcontroller and sensor board. WSNs are utilized to monitor the environmental conditions such as humidity, temperature, light, pressure, soil composition; and physical properties such as object movements, noise level, weight, size, movement speed, direction, end position.

In this work we aim to design and establish a WSN based on MQTT protocol that can be used primarily in autonomous robots equipped with sensors in order to monitor the above environmental and physical conditions. Physical realization of the sensor nodes within the WSN is also performed. Sensor nodes, which were designed and physically implemented by establishing a test environment, were tested. For this designed WSN we also develop a monitoring software on an embedded system to monitor the collected sensor datas remotely.

SEMBOLLER

t : Gidiş-dönüş toplam zaman

s : Mesafe

v : Ses hızı

μ s : Mikrosaniye



KISALTMALAR

IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
WSN	: Wireless Sensor Network
KSA	: Kablosuz Sensör Ağı
EPK	: Elektronik Prototipleme Kartı
EGK	: Elektronik Geliştirme Kartı
RF	: Radio Frequency
MQTT	: Message Queuing Telemetry Transport
MCU	: Microcontroller Unit
DSN	: Distributed Sensor Network
WAN	: Wide Area Network
BLE	: Bluetooth Low Energy
RFID	: Radio-Frequency Identification
SoC	: System-on-Chip
ADC	: Analog-Digital Converter
DAC	: Digital-Analog Converter
GPIO	: General-Purpose Input/Output
PIR	: Passive InfraRed
IDE	: Integrated Development Environment
GUI	: Graphical User Interface

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. MQTT tabanlı akıllı su dağıtım sistemi	5
Şekil 2.1. Temel kablosuz sensör ağı topolojileri	9
Şekil 2.2. Yıldız (Star) topolojisi	9
Şekil 2.3. Ağaç (Tree) topolojisi	10
Şekil 2.4. Örgü (Mesh) topolojisi.....	11
Şekil 2.5. MQTT genel çalışma prensibi	15
Şekil 2.6. Basit bir sensör düğümü	17
Şekil 2.7. Mikrodenetleyici tabanlı kontrol birimi.....	18
Şekil 2.8. Koordinatör birimi ve KSA ile ilişkisi.....	20
Şekil 3.1. NodeMCU genel yapısı	24
Şekil 3.2. NodeMCU regülatör çıkışları	24
Şekil 3.3. NodeMCU kartı üzerindeki LED ve butonların yerleşimi.....	25
Şekil 3.4. CP2102 USB – TTL dönüştürücü.....	26
Şekil 3.5. NodeMCU V3 LoLin pin yapısı	26
Şekil 3.6. Raspberry Pi 3 Model B+ genel yapısı	28
Şekil 3.7. Raspberry Pi dokunmatik ekranı.....	30
Şekil 3.8. DHT11 sıcaklık ve nem sensörü	30
Şekil 3.9. PIR sensörü genel yapısı.....	31
Şekil 3.10. Yağmur sensörü genel yapısı	32
Şekil 3.11. HC-SR04 ultrasonik mesafe ölçme sensörü	32
Şekil 3.12. Ultrasonik mesafe sensörü zaman diyagramı	33
Şekil 3.13. Sistemdeki kablosuz sensör ağı yapısı.....	34
Şekil 3.14. Otonom araç KSA ve KSA veri izleme sistemi.....	34
Şekil 3.15. NodeMCU V3 ve DHT11 sensörü bağlantısı	35
Şekil 3.16. NodeMCU V3 ve PIR sensörü bağlantısı	35
Şekil 3.17. NodeMCU V3 ve yağmur sensörü bağlantısı	36
Şekil 3.18. NodeMCU V3 ve HC-SR04 sensörü bağlantısı	36
Şekil 3.19. Mosquitto sistem durum kontrolü.....	38
Şekil 3.20. Qt Creator GL kütüphanesi hatası	39
Şekil 3.21. Qt Creator üzerinde QWidget uygulama çalıştırılması.....	40
Şekil 3.22. NodeMCU kartının Arduino IDE üzerinde aktif hale getirilmesi	41
Şekil 3.23. Yazılım geliştirme, koordinatör düğüm ve test ortamı	42

Şekil 3.24. NodeMCU DHT11 Sensör Düğümü.....	43
Şekil 3.25. KSA monitörlleme yazılımı	44
Şekil 3.26. KSA monitörlleme yazılımında sensör düğümü aktiflik durumu	44
Şekil 3.27. Koordinatör düğüm ve dokunmatik ekran tümleştirmesi	45
Şekil 3.28. İki sensör düğümünün test işlemi	46



TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. Bluetooth ve BLE karşılaştırması	12
Tablo 2.2. MQTT ve HTTP karşılaştırması	15
Tablo 3.1. ESP8266 modülleri karşılaştırma tablosu	21
Tablo 3.2. ESP12 tabanlı elektronik geliştirme kartları	22
Tablo 3.3. Raspberry Pi 3 Model B+ temel özellikler	28
Tablo 3.4. Temel olarak Arduino ve Raspberry Pi karşılaştırması.....	29



1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca insanlar gündelik hayatını idame ettirebilmek amacıyla üretimde aktif olarak bulunmuşlardır. Üretimde buldukları sürede de üretimi geliştirme ve yenileştirme çalışmalarında öncü rol almışlardır. Bu çalışmalar sonucunda da hayatın her alanında kendilerine yardımcı olabilecek, işlerini daha da kolay hale getirecek araç ve gereçler geliştirmişlerdir. Robotları insanlık tarafından geliştirilmiş en üst düzey karmaşıklığa sahip, insanlığın kendini mekatroniksel bir kopyalamaya uğrattığı araç olarak tanımlamanın doğru olabileceği görülmektedir. Sahip oldukları mikroişlemci yapısıyla insan beynini, üzerlerinde barındırdıkları algılayıcılarla insan duyu organlarını, görüntü işleme yapısıyla nesneyi görme ve algılama yapısı ile yukarıda bahsedilen mekatroniksel bir kopyalama tanımını doğrular niteliktedir. Robotların büyük bir çoğunluğu çevre ile etkileşim halindedir. Çevreden algılayıcılar aracılığıyla verileri toplayıp, mikroişlemci/mikrodenetleyici gibi bir işleme biriminde anlamlandırdıktan sonra eyleyiciler yardımıyla harekete geçen robotlar otonom robot olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, otonom robotlar öncelik olmak üzere arama-kurtarma robotları, sürü robotları gibi kolektif çalışmaya uygun robotlar için örnek temel bir kablosuz sensör ağı uygulaması gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

Sensör ya da Türkçe olarak Algılayıcı, fiziksel dünya ile etkileşimde bulunmak amacıyla kullanılan elemandır. Fiziksel dünyadan aldığı verileri bir karar verme birimine ileterek görevini gerçekleştirmektedir. Bu karar sonucu da eyleyici ya da eyleyicilere iletilerek istenilen, önceden belirlenen bir görev tamamlanmaktadır. Sensörler bir araya gelerek ağ oluşturabilme yapısına sahiptirler. Kablosuz sensör ağları; kablosuz olarak birbirleriyle bilgi alışverişi yapan sensörler ve bunların bir merkezden izlenmesini sağlayan ağlardır [1,2]. Sıradan bir Kablosuz Sensör Ağ(Wireless Sensor Network ya da kısaca WSN) kablosuz bir ortam vasıtasıyla birbirine bağlanmış yüzlerce veya binlerce sensör düğümünden oluşabilmektedir. Sensör düğümleri bir film teneke kutu içerisinde kendi pili, RF adaptörü, mikrodenetleyici ve sensör panosu (board) ile tümleşik bir yapı oluşturur [3]. Kablosuz sensör ağları genel olarak; nem, sıcaklık, ışık, basınç, nesne hareketleri, toprak bileşimi, gürültü seviyesi, bir nesnenin varlığının tespiti, belirli bir nesnenin; ağırlık, boyut, hareket hızı, yönü, son konumu gibi fiziksel durumlarını izleyebilme özelliklerine sahiptirler.

Kablosuz sensör ağlarının uygulama alanları; çevresel uygulamalar başlığı altında orman yangını, sel, deprem gibi doğal afetlerin ölçümlendirilmiş olarak hızlı bir şekilde ihbar edilmesinde, hava kirliliği tespiti ve ayrıntılı rapor alınmasında, doğal yaşamın gözlenmesinde kullanılabilmektedir. Askeri Uygulamalar kısmında; dost kuvvetlerin teçhizat ve cephanesinin

izlenmesi, savaş alanının gözlenmesi, arazi hakkında keşifte bulunma, hedefin konumu, sürati gibi hedef bilgilerinin tespiti, düşmana verdirilen hasar miktarının tespit edilmesi, nükleer, biyolojik ve kimyasal (NBC) saldırı ihbarının alınması ya da keşfi gibi durumlarda kendine yer bulmaktadır [4].

Örnek vermek gerekirse; Zigbee uyumlu haberleşme modülleri ve yazılım ile noktadan noktaya kablosuz haberleşme aracılığıyla domuzlara implant edilmiş olan sensörlerden kalp ile alakalı aortik ventriküler basınç ve sıcaklık verileri okunmuştur. Kullanılan haberleşme protokolü yazılımı ile IEEE 802.15.4 standardının alt seviye özellikleri in-vivo isimli veri izleme programında doğrulanmış ve böylece Zigbee'nin minimal bir türevi elde edilmiştir [5,6].

Diğer bir örnekte; Büyük Ördek adası Projesi (Great Duck Island- GDI), isimli Intel laboratuvarları ve Atlantis koleji ile birlikte gerçekleştirilmiştir. İlgili çalışma ile fırtına kuşu gibi bir deniz kuşunun, yuva seçimi, mikro iklimsel faktörlerin deniz kuşlarının yaşam alanı seçimi üzerindeki etkileri, ya da daha özel olarak kuşların yuvada bulunma sürelerinin izlenmesi, üreme sezonu boyunca gerçekleşen çevresel değişiklikler ve bu durumların hiçbiri ile ilişkili olarak deniz kuşlarının davranışlarını nasıl değiştirdiği gibi durumları izlemek için gerçekleştirilmiş bir projedir [7-9].

Kolombiya Nehri çevresel gözlem ve tahmin sistemi (Environmental observation and forecasting system kısaca EOFS) Oregon enstitüsündeki kıyı ve arazi araştırma merkezi tarafından yaptırılmıştır. Kolombiya Nehri'nin içinde ya da çevresinde özellikle de denize döküldüğü yerde toplam 23 adet sabit istasyon kurulmuştur. Kablosuz sensörlerden alınan bilgiler ile gemilerin aktif olarak kontrolü, arama-kurtarma, ekosistem araştırması ve yönetimi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca algılayıcı bilgileri ORBCOMM LEO uydusu tarafından alınmaktadır ve internet ortamından gerçek zamanlı olarak aktarılmaktadır [7,10].

1.1. Amaç ve Önem

Teknoloji'nin gelişmesiyle birlikte ihtiyaç duyulan fiziksel verilerin sensörler aracılığıyla işlenerek eyleyiciler yardımıyla harekete geçen otonom robotlar, gün geçtikçe daha da önem arz etmektedir. Hayatın her alanında kendine yer bulan otonom robotlar bir takım algılayıcılarla donatılmışlardır. Algılayıcılar genellikle kablolu olarak bir karar verme birimine bağlıdır. Algılayıcı (Sensör) sayısı artmasıyla birlikte sensörler üzerinde bulunan gerilim ve sinyal uçları sistem içerisinde kablo karmaşıklığını da aynı oranda artmaktadır. Bu sebeple sistemin yani otonom robotun mümkün olduğunca karmaşıklıktan uzak, modüler bir

yapıda tasarlanması arzulanmaktadır. Sistem karmaşıklığını olabildiğince minimuma indirmek için bu çalışmada kablosuz bir sensör ağının kurulması büyük bir önem arz etmektedir. Sensörlerin kablolardan arındırılmasıyla birlikte kablolu ağların çalışmasının imkanının olmadığı ya da kullanılamayacağı durumlarda kullanılabilirler.

Bu projenin temel amacı; öncelikli olarak otonom robotlarda kullanılacak sensör düğümleri tasarlanılarak, kablosuz sensör ağının oluşturulmasıdır. Oluşturulacak kablosuz sensör ağı diğer uygulama alanlarında da kendine yer bularak öncü olması planlanmaktadır. Özellikle son zamanlarda revaçta olan nesnelerin interneti gibi teknolojiler geliştikçe kablosuz sensör ağlarının önemi de artmaktadır.

Yapılan çalışmada oluşturulmuş uzaktan izleme paneli yazılımını hem Windows hem de Linux işletim sistemleri üzerinde çalışabilmektedir. Cross-platform olarak isimlendirilen bu yapı ile iki ana işletim sistemi üzerinde de çalışan bir yazılım uygulanabilirlik ve kendine yer edinebilirlik açısından önemli bir olay arz etmektedir. Sensör olarak sıcaklık, nem, ultrasonik mesafe ölçer ve yağmur sensörü gibi bileşenler içermektedir. Bu sensörler, gündelik hayatta hem sık karşılaşılan hem de temini kolay olmaları sebebiyle seçilmişlerdir. Kablosuz haberleşme protokolü olarak da MQTT kullanılmıştır. Proje'nin açık kaynak olması amaçlandığından dolayı da hem taşınabilirlik hem de uygulanabilirliği kolay, güç tasarrufu olarak da kullanıcıyı tatmin eden ESP8266 tabanlı NodeMCU ürünleri sensör tarafında, uzaktan izleme panel yazılımının yer alacağı, sensörden gelen verilerin işlenip kullanıcıya aktarılacağı kısımda ise Raspberry Pi 3 modeli kullanılmaktadır.

1.2. Literatür Araştırması

Bir bölge içerisindeki sıcaklık, nem, ışık, ses, basınç, ortam kirliliği, gürültü seviyesi, titreşim, nesne hareketi vb. gibi verilerin uyumlu ve imcece usulü ile izlenmek üzere sensörler aracılığıyla kablosuz olarak uzaktaki bir izleme birimine iletildiği sistemler kablosuz sensör ağı olarak adlandırılmaktadırlar. Son yıllarda özellikle nesnelerin interneti teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, bir bölgeden toplama ihtiyacı duyulan verilerin, kablo yığınınan kurtulmak amacıyla kablosuz sensör ağlarında kullanılan bir takım iletişim protokollerinin yeşermesine sebep olmuştur. Bu yüksek lisans tez çalışmasında da kablosuz sensör ağı iletişim/mesajlaşma protokolü olarak MQTT(Message Queuing Telemetry Transport) kullanılmıştır. Öncelikli olarak MQTT tabanlı oluşturulmuş kablosuz sensör ağlarının literatür taraması yapılmış ve aşağıdaki kısımlarda verilmiştir.

T.Caho-hoang ve C.N.Duy 2017 yılında bir konferansda sundukları bildiride, MQTT mesajlaşma protokolünü kullanarak kablosuz sensör ağı oluşturup tarımsal uygulamalarda kullanılabilecek bir çevresel monitörleme sistemi geliştirmeyi başardıklarından bahsetmişlerdir. Geliştirdikleri sistemde iki sensör düğümü ve bir gateway kullanmışlardır. Gateway tarafında üzerinde Linux işletim sistemi koşturabildikleri bir Raspberry Pi elektronik prototipleme kartını tercih etmişlerdir. Sensör düğümlerinden aldıkları verileri de Raspberry Pi üzerinden Cloud (Bulut) tabanlı bir sunucuya göndermeyi başarmışlardır [11].

Fares M. A. Taha, Abdalla A. Osman, Sally Dfaallah Awadalkareem, Mysoon S.A. Omer ve Razan S.M. Saadaldeen 2018 yılında yaptıkları çalışmada bir sera sistemi için nesnelere interneti konseptine uygun bir uzaktan sera monitörleme ve kontrol sisteminin tasarımını yapmışlardır. Sera içerisinde çeşitli konumlara yerleştirilmiş sensör düğümleri; sıcaklık, nem ve ışık şiddeti gibi verileri kablosuz olarak sunucu bazlı kullanılan Raspberry Pi elektronik prototipleme kartına iletmektedirler. Bu veriler de Raspberry Pi üzerinden bulut tabanlı bir uzak ortama aktarılmaktadır. Sensör düğümlerinden toplanan veriler olan sıcaklık, nem ve ışık şiddeti gibi veriler grafiksel olarak bir yapıya dökülmüşlerdir [12].

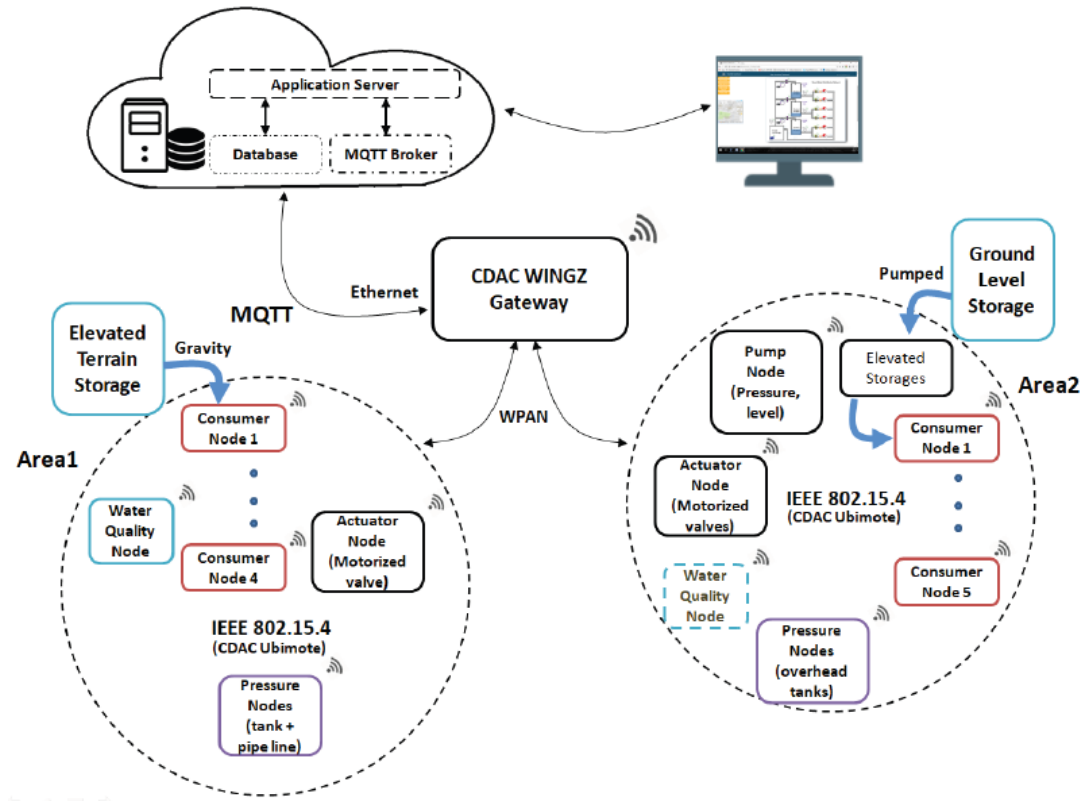
R.K.Kodali ve S.Soratal MQTT mesajlaşma protokolünü ESP8266 tabanlı bir elektronik prototipleme kartına implementasyonunu gerçekleştirerek ev otomasyon sistemi tasarlamışlardır [13].

W.Choi, D. Hwang, J.Kim ve J.Lee gerçekleştirdikleri çalışmada nesnelere interneti tabanlı bir toz ölçüm izleme sistemi oluşturmuşlardır. PM2.5, diğer bir deyişle, 2.5 mikrometreden küçük toz partiküllerini ölçerek ortamdaki hava kirliliğini monitörize eden bir sistem kurmuşlardır. Bu çalışmayı da Arduino elektronik prototipleme kartı, ESP8266 mikro kontrol ünitesi ve toz ölçüm sensörü ile gerçekleştirmişlerdir. MQTT ile sensörden alınan partikül verileri bilgisayar üzerinde bir arayüz üzerinde gösterilmiştir [14].

J.Abeßer, R.Grafe, C.Kühn, T.Clauß, H.Lukashevich, M.Götze ve S.Kühnlitz akıllı şehir uygulamalarında kullanılabilecek, gürültü kirliliğinin seviyesini ve gürültü kaynakları hakkında da kestirimler sağlayabilen bir sistem üzerinde çalışmışlardır. Bu sistemi Almanya'da Jena şehrinde bir sensör ağı kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Sensör düğümleri MQTT mesajlaşma protokolü üzerinden aldıkları gürültü ölçümlerini merkezdeki bir sunucuya yollamışlardır. Bu projeyi gerçekleştiren ekip, hazırladıkları bir web uygulamasında harita üzerinde sokaklara yerleştirdikleri sensör düğümlerinden gelen verileri görsel hale getirmişlerdir[15].

R.K.Kodali ve S.Yerroju yaptıkları çalışmada yangın tehlikelerine karşı akıllı acil uyarı sistemi tasarlamışlardır. Sistemde kullanılan duman ve yanıcı gaz detektörleri gibi sensörlerden elde edilen veriler MQTT mesajlaşma protokolüyle yangın ihbar istasyonuna iletilmektedir. Sensör düğümlerine bağlı bir GPS modülü ile de lokasyon bilgisi de gönderilen veriler arasında yer almaktadır. Bu kablosuz sensör ağı ile birlikte herhangi bir olağandışı veri tespitinde ilgili birimin bilgi edinmesi ve müdahale etme hızı artmaktadır [16].

D.Ghosh, A.Angrawal, N.Prakash ve P.Goyal hastalara takılan serum seviyesini ölçebilecekleri ve uzaktaki bir MQTT aracısına(broker) iletebilecekleri bir sistemi gerçekleştirmişlerdir. Serum seviyesi gözetimi önemli bir konudur. Çünkü serum seviyesi ciddi derecede azalan bir hastanın kanı şişeye doğru akmaya başlayacaktır. Teknik olarak yapılan çalışmayı özetlemek gerekirse, bu sistemde bir yük sensörü kullanılarak serumun ağırlığı belli aralıklarla ESP32 tabanlı bir MQTT aracısına iletmektedir. MQTT aracısından da akıllı telefon, akıllı saat, tablet vb. MQTT istemcilerine ilgili verilerin iletimini sağlamışlardır [17].



Şekil 1.1. MQTT tabanlı akıllı su dağıtım sistemi

V.Mohanasundaram, A.Joyce, K.S. Naresh, G.Gokulkrishnan, A.Kale, T.Dwarakanath ve P.Haribabu yayınladıkları çalışmada akıllı şehirler için Hindistan bölgesi baz alınarak oluşturulmuş bir senaryo'da akıllı su dağıtım sisteminde MQTT mesajlaşma protokolünü kullanmışlardır. Sensörlerden gelen veriler MQTT aracılığıyla Gateway'e iletilmiştir[18]. Yapılan çalışmanın veri akış mimarisi Şekil 1.1.'de verilmiştir.

Y.Upadhyay, A.Borole ve D.Dileepan MQTT mesajlaşma protokolü tabanlı güvenli bir ev otomasyon sisteminin tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada ev içerisinde çeşitli noktalara konuşlandırılmış sıcaklık ve nem sensörleri ile aldıkları verileri gömülü web server olarak kullandıkları Raspberry Pi elektronik prototipleme kartı aracılığıyla MQTT aracısına(broker) ilettikten sonra oluşturdukları ACL(access control list) kontrol mekanizması yapısı ile dış dünyaya verilen çıktının güvenli bir şekilde paylaşılmasını başarmışlardır[19].

2. KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI

Bu bölümde önce kablosuz sensör ağlarının tarihçesinden bahsedilecek, ardından KSA topolojileri konusunda bilgiler verilecektir.

2.1. Tarihçe

Filizlenmeye başlayan hemen hemen her teknolojinin içerisinde askeri bir amacın parmağı olduğu gibi, kablosuz sensör ağlarının temelinde de askeri bir amaç yatmaktadır. 1980'li yılların başlarında, Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı, kısaca uluslararası ismiyle DARPA olarak bilinen kuruluşun Dağıtık Sensör Ağları(DSN) ve Sensör Bilgi Teknolojisi (SensIT) programlarıyla temelini oluşturmuştur.

O zamanlarda İleri Araştırma Projeleri Araştırma Ağı, uluslararası ismiyle (ARPANET) olarak isimlendirilen yapı, 200'e yakın üniversite ve araştırma enstitülerinde kullanılmaktaydı [20]. DSN oluşumu, mekansal olarak dağıtılmış düşük maliyetli otonom işlem yapabilen sensör düğümlerini barındıran ve bu sensör düğümlerinin birbirleriyle etkileşimli çalışabildiği bir yapı olarak tasarlanmıştır. O zamanın şartlarına göre oldukça iddialı bir programdı. Kişisel bilgisayar ve iş istasyonlarının olmadığı, matematiksel işlemlerin minibilgisayar benzeri makinalarda gerçekleştirildiği ve Ethernet'in henüz popülerleşmeye başladığı zamanlardı. Bu sebeplerden dolayı DSN oluşumunun gelişmesi için biraz daha zaman gerekmektedir. DSN yapısı teknolojik bileşenler olarak 1978 yılında yapılan Dağıtık Sensör Ağı çalıştayında tanımlanmıştır. Bu çalışmalara ek olarak, Carnegie Mellon Üniversitesi (CMU) bünyesinde çalışan bir takım araştırmacı, DSN için Accent isimli iletişim-odaklı işletim sistemi geliştirmişlerdir [21].

DSN sisteminin ilk kendini kanıtlayan uygulaması helikopter takip sistemiydi [22]. Massachusetts Teknoloji Enstitüsünde yapılan bu çalışmada, dağıtık olarak konumlanmış akustik mikrofonlar kullanılarak, sinyal eşleştirme ve ayırma gibi işlemler gerçekleştirilmiş. DSN konusunda geçmiş yıllarda birçok araştırma ve geliştirme yapılmasına rağmen, o günün şartları teknolojik olarak bu tarz bir altyapıyı kaldırabilecek yapıya sahip değildi. Teknolojik yetersizliğin yanısıra bir takım zorluklar da bulunmaktaydı. Bu zorluklardan bir tanesi, sensörlerin boyutlarıydı. Sensör boyutları sebebiyle ortaya çıkarılabilecek çalışmalar kısıtlıydı. Tek kısıt sensör boyutları olmayıp, DSN konusunda da kablosuz bağlantı ile alakalı eksiklikler mevcuttu. Haberleşme, bilgisayar, yazılım, elektronik ve mikroeletromekanik teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte Kablosuz Sensör Ağı (KSA), kendisine literatürde yer

bulmaya başlamıştı.

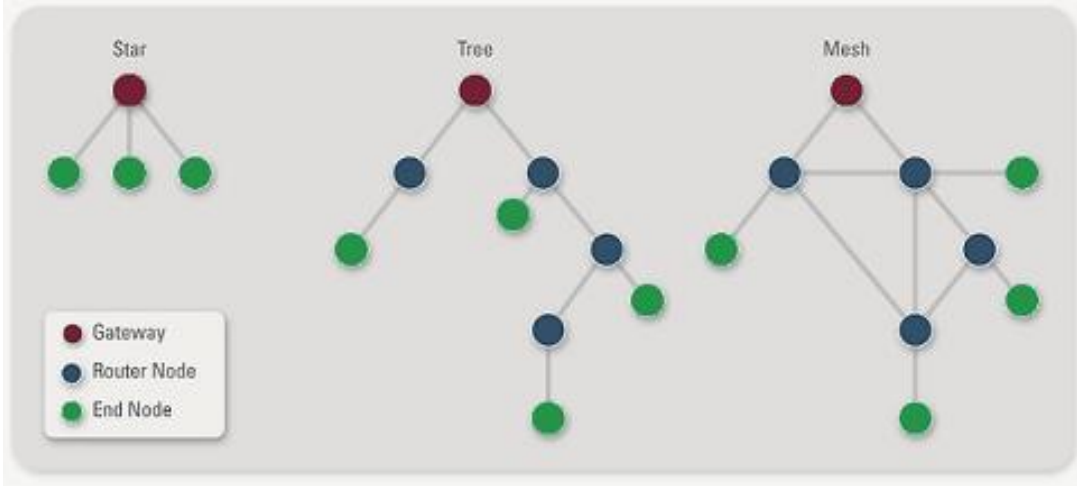
Kablosuz sensör ağları konusunda ilk araştırma tohumları 1998 yıllarında atıldı ve günden güne uluslararası teknik arenada popülaritesini arttırmaktadır. Günümüzde kablosuz sensör ağı üzerine yapılan çalışmalarda haberleşme teknikleri açısından zengin, ağ içerisinde bilginin kriptolu dağıtımı, kısıtlı kaynaklar altında çalışabilen sensör düğümleri gibi konular bulunmaktadır. Özellikle sensör düğümlerinin küçülmesi ve maliyet olarak erişimin kolaylaşmasıyla, sivil uygulamalara yönelik, örneğin çevresel izleme sistemleri, araç sensör ağı ve vücut sensör ağı gibi konuların ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Uluslararası teknik bir kuruluş olan Institute of Electrical and Electronics Engineers ya da kısaca IEEE, IEEE 802.15.4 numaralı düşük veri hızına sahip kablosuz kişisel alan ağları için standart tanımlamıştır. Zigbee Alliance şirketler grubu, Zigbee ismini verdiği IEEE 802.15.4 tabanlı, kablosuz sensör ağlarında kullanılacak bir yüksek seviye haberleşme protokolünü dünyaya duyurmuştur. Kablosuz Sensör Ağı(WSN) ya da Türkçe kısaltmasıyla KSA, 21.yüzyılın dikkat çeken teknolojileri arasına girmeyi başarmıştır. Örneğin, Çin devleti bu konuyu ciddiye alarak ulusal stratejik planı içerisine kablosuz sensör ağlarını dahil etmiştir [23].

Bu konuda Türkiye’de, TÜBİTAK’ın yayınlamış olduğu 2018-2022 Stratejik Planı içerisinde TÜBİTAK BİLGEM’in kablolu ve kablosuz sensör sistemleri üzerine uğraşı içerisinde olduğu görülmektedir [24].

2.2. Kablosuz Sensör Ağları Topolojileri

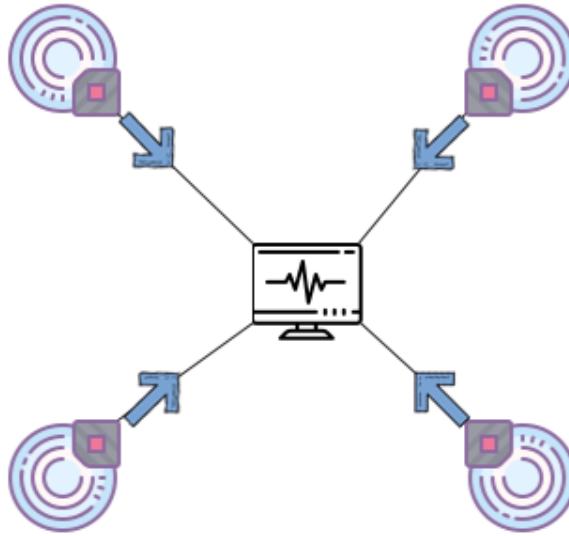
Kablosuz sensör ağları tasarlanırken belli bir topoloji baz alınarak oluşturulmaktadır. KSA dahilinde sensör düğümleri, koordinatör ve yönlendirici bulunmaktadır. Kablosuz sensör ağında görev almakta olan sensör düğümleri, birbirleriyle, koordinatör veya yönlendirici diye isimlendirilen yapılar ile iletişim halinde olabilmektedir. Bu iletişim yöntemlerinin üç temel çeşidi Yıldız (Star), Ağaç (Tree) ve Örgü (Mesh) olarak isimlendirilmişlerdir. İlgili temel topolojilerin yapısı Şekil 2.1. ’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Temel kablosuz sensör ağı topolojileri

2.2.1. Yıldız (Star) topolojisi

Bu tip bir topolojide end node diye isimlendiren tüm sensör düğümler merkezi bir noktadaki koordinatör'e (gateway) bağlıdır. Merkez konumunda bulunan koordinatör, tüm sensör düğümlerinden gelen verileri işlemekle yükümlüdür. Yıldız topolojisinin genel yapısı Şekil 2.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Yıldız (Star) topolojisi

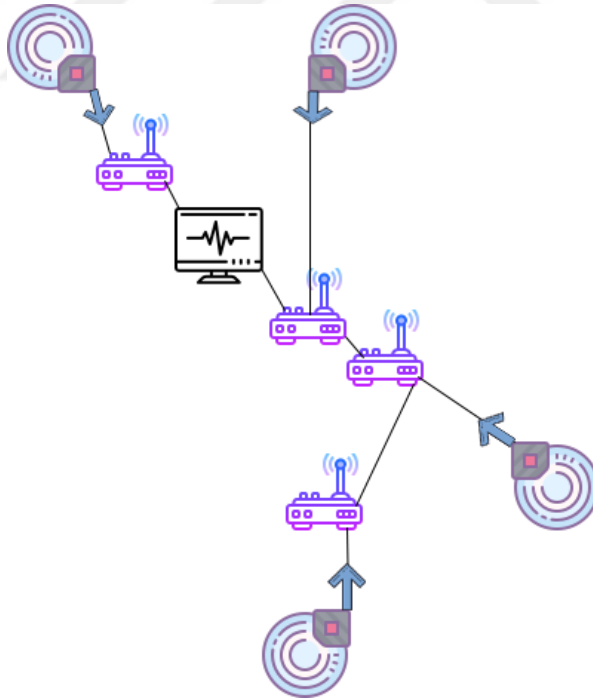
Yıldız topolojisinin en büyük avantajı tüm kablosuz sensör ağını tek bir noktadan yönetebilme imkanı vermesidir. Kablosuz sensör ağı içerisinde bulunan herhangi bir sensör düğümünün hata durumuna düşmesi diğer sensör düğümlerini etkilemez. Oluşturulan ağ hayatta kalmaya devam eder. Ayrıca sensör düğümlerinin birbirini etkilememesi sayesinde

kablosuz sensör ağını çevrimdışı durumuna getirmeden herhangi yeni bir sensör düğümü de kablosuz sensör ağı içine dahil edilebilmektedir.

Yıldız topolojisinin en büyük dezavantajlarından birisi eğer koordinatör cihaz hata durumuna düşüp işlevini yerine getiremezse, yani sensör düğümleri üzerinden akan veri akışını kontrol edemez ve işleyemezse, tüm kablosuz sensör ağı işlevsiz hale gelecektir. Bu sebeple koordinatör cihazın elektroniksel sağlık durumu yakından takip edilmelidir. Kablosuz sensör ağının performansı da koordinatör cihazın konfigürasyon ve sahip olduğu yetkinlik/yeteneklere bağlıdır.

2.2.2. Ağaç (Tree) topolojisi

Topolojinin isminden de anlaşılacağı üzere ağ yapısı dallanmış kısımları ile bir ağacı andırmaktadır. Merkezi koordinatörden çıkan dallanma yönlendirici düğümlere (router node) uğramaktadır. Bu topolojide doğrudan merkezi koordinatöre bağlı sensör düğümleri de olabilmektedir. Ağaç Topolojisinin genel yapısı Şekil 2.3.'te gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Ağaç (Tree) topolojisi

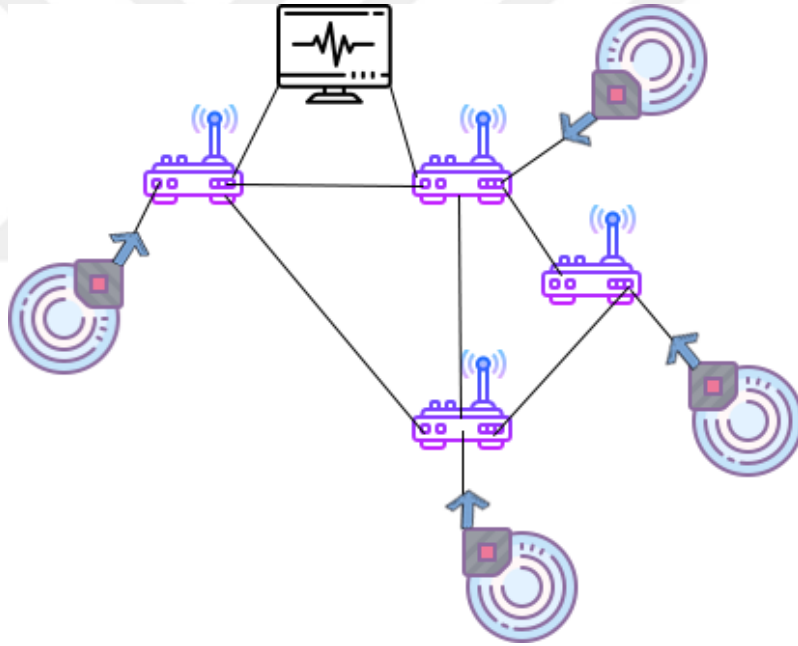
Avantajları arasında ağın genişletilmesinin kolaylığı, sorun tespit ve bakımı, ağ yönetimi ve kablosuz sensör ağı içerisinde sensör düğümünde oluşacak bir sorunun diğer bir sensör

düğümünü etkilememesi gibi durumlar sayılabilir.

Dezavantajları arasında sensör düğümleri ve yönlendirici düğüm arasındaki dallanmaların artmasıyla bakımın ve yönetimin zorlaşması gösterilebilir. Ayrıca ağaç topolojisi ile oluşturulmuş bir kablosuz sensör ağında yönlendirici düğümde oluşabilecek bir arıza birçok sensör düğümünün işlevsiz hale gelmesine sebep olabilmektedir.

2.2.3. Örgü (Mesh) topolojisi

Örgü topolojisinde, kablosuz sensör ağı içerisinde bulunan her bir sensör düğümünün aynı zamanda bir yönlendirici düğüm olarak da görevi bulunmaktadır. Diğer bir deyişle, kablosuz sensör ağında bulunan bir düğüm diğer düğümlerle iletişim halindedir. Örgü ağ topolojisinin en iyi örneği olarak WAN (Wide Area Network) gösterilebilir. Örgü topolojisinin genel yapısı Şekil 2.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Örgü (Mesh) topolojisi

Kablosuz sensör ağı teknolojisinde önemli bir yere sahip, IEEE 802.15.4 altyapısını kullanan Zigbee, örgü topolojisinde bayrağı taşıyan kablosuz ağ standardı olarak nitelendirilebilir. Bu kablosuz sensör ağı topolojisinde herhangi bir sensör düğümünün bağlı olduğu hatta sorun oluşması durumunda sensör düğümünün iletişimi kesilmez ve veri akışı devamlılığını koruyabilmektedir. Her sensör düğümünün birbiriyle iletişim halinde olması veri iletim hızını da yüksek kılmaktadır.

Yıldız topolojisinde olduğu gibi örgü topolojisinde de kablosuz sensör ağına yeni sensör düğümleri eklemek diğer sensör düğümlerinin bağlantılarını etkilemeden yapılabilir. Örgü topolojisinin dezavantajları arasında da veri akışının fazlalığı ve bağlantı sayısının çokluğu sayılabilir. Böyle bir yapıyı koordineli bir şekilde çalışırılığını sağlamak ciddi bir tasarım yüküdür.

2.3. Kablosuz Sensör Ağları Haberleşme Protokolleri

KSA alanında kullanılan birçok haberleşme protokolü bulunmaktadır. Bu kısımda sıkça kullanılan haberleşme protokolleri ilgili başlıklar altında incelenmiştir.

2.3.1. Bluetooth ve BLE

Kablosuz sensör ağlarında adından sıkça bahsedilen, kısa mesafeler için optimum çözüm olan bir haberleşme protokolüdür. Özellikle nesnelerin interneti uğraşı alanının gelişmesiyle birlikte, Bluetooth 4.0 standardı olarak 2011’de karşımıza çıkan, daha düşük enerji tüketimiyle daha etkin mesafelerde rol alabilen bir versiyon olan BLE (Bluetooth Low Energy) diğer cihazlarla hızlı bir sürede düşük enerji tüketimiyle ön plana çıkmaktadır. Mobil cihazlar üzerinde kullanımı günden güne artan BLE ile düşük boyutlu dosya transferleri hızlı bir şekilde yapılabilir. Etkin menzil olarak 50-150m olarak belirtilmiştir. 1Mbps gibi hız oranına sahiptir. Tablo 2.1.’de Bluetooth ile BLE karşılaştırması verilmiştir.

Tablo 1.1. Bluetooth ve BLE karşılaştırması

Özellik	Bluetooth	BLE
Topoloji	Scatternet	Star
Enerji Tüketimi	< 30mA	< 15 mA
Hız	700 Kbps	1 Mbps
Etkin Menzil	< 30 metre	50 metre açık alan 150 metre kapalı alan

Frekans Bandı	2400 MHz	2400 MHz
Frekans kanalı	79 kanal	40 kanal
Gecikme süresi	100ms	3ms

Standart Bluetooth, veri akışının devamlı olabileceği bir şekilde düşünülmüştür. Fakat BLE, uzun aralıklarla ani veri akışını sağlayabilecek bir yapı olarak tasarlanmıştır.

Bu sebeple BLE ile birlikte nesnelerin interneti alanında kullanılan cihazlardaki enerji tüketiminde bir azalma olmuştur.

2.3.2. Radyo frekansı ile tanımlama (RFID)

RFID(Radio-Frequency Identification), kablosuz haberleşme teknolojisinde gündelik hayatta sıkça kullanılan bir teknolojidir. Elektromanyetik alanın özelliğini kullanarak kapsamı içerisine giren nesnelere tanıma özelliğine sahiptir. Kısa mesafeli iletişim için kullanılan RFID'nin etkin menzili 10 cm civarındadır. Etkin menzil arttırım çalışmalarıyla 200mm'e kadar yükseltilebilir. Günlük hayatta ulaşım kartlarında, öğrenci kimlik kartlarında, telefonlarda, ödeme sistemleri, personel takip sistemleri gibi alanlarda kullanımı mevcuttur.

2.3.3. Zigbee

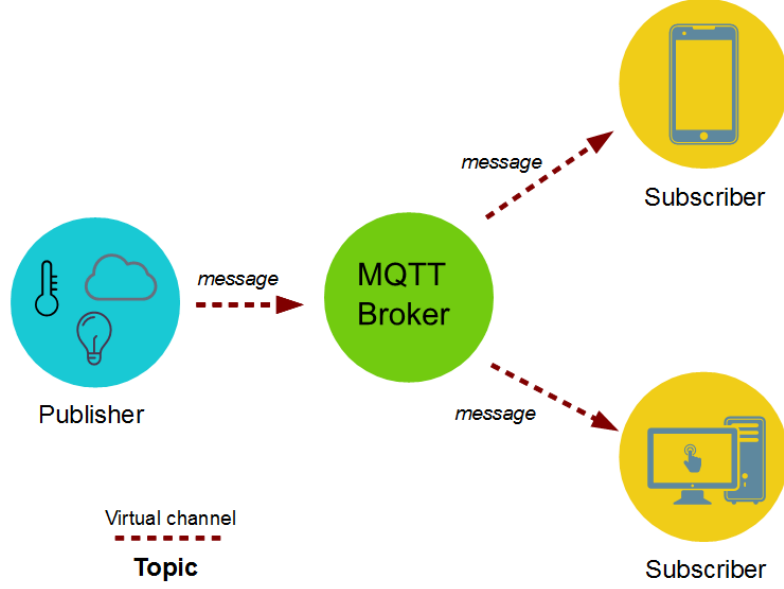
Endüstriyel kullanım amaçlı tasarlanan Zigbee, düşük güç tüketimi ile ön plana çıkmaktadır. Düşük güç tüketmesinin sebebi, veri alışverişi yapmadığı zamanlarda uyku moduna geçerek enerji tüketim durumunu minimize etmektedir. IEEE 802.15.4 standart tabanlı bir haberleşme protokolüdür. Etkin menzili 10-100m arasındadır. Topoloji olarak örgü topolojisine uygun bir haberleşme altyapısı bulunmaktadır. Çok sayıda sensör düğümleri için bile ölçeklenebilir bir çözüm sunabilmektedir. Zigbee'yi öne çıkaran özellikler olarak; güvenilir, çok sayıda sensör düğüm desteği, düşük güç tüketimi, endüstriyel standartlara uyumluluk gibi örnekler sayılabilir. Kullanım alanları olarak da akıllı ev ve bina sistemleri, medikal, otomasyon, bankacılık gibi örnekler sayılabilir.

2.3.4. Mesaj kuyruklama telemetri taşımacılığı (MQTT)

MQTT, 1999 yılında Andy-Stanford Clark ve Arlen Nipper tarafından tasarlanmıştır. Tasarlanırken en büyük amaçlarından biri kaynakları efektif bir şekilde kullanması olarak düşünülmüştür. Türkçe ismiyle Mesaj Kuyruklama Telemetri Taşımacılığı, İngilizce olarak MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), kelimelerinin baş harflerini alarak kısaltmasını oluşturduğu, yayıncı (publisher), abone (subscriber) ve aracı(broker) gibi öğeleri barındıran, OASIS Teknik Komite tarafından standardizasyon işlemleri yapılmış kablosuz mesajlaşma protokolüdür. MQTT ile cihazın çeşidi (PLC,Arduino,PC vb.), işletim sistemi ve platform fark etmeksizin nesnelerin interneti alanında kullanılan cihazlarla kolayca iletişim kurulabilmektedir. Düşük kaynak tüketimiyle ilgi çeken MQTT, özellikle nesnelerin interneti kavramının gelişmesiyle birlikte son zamanlarda adı sıkça duyulur hale gelmiştir. Büyük bir topluluk tarafından kullanılan facebook messenger da bir MQTT ürünüdür.

Bu haberleşme trafiğindeki aktörler; yayıncı (publisher), abone (subscriber) ve aracı(broker) olarak MQTT içerisinde kendilerine yer bulmuşlardır. Aracı olarak nitelendirilen kısım haberleşme trafiğini kontrol eden birimdir. Trafik üzerindeki tüm mesajlar aracı üzerinden kontrol edilmektedir. Aracı, kendisine gelen tüm istekleri yanıtlama görevini üstlenmektedir. Yayıncı kısım ilgili mesajı aracı birime iletmekle görevlidir. Örneğin bu mesaj bir sensörden gelen sıcaklık verisi ya da bir röleyi tetikleyebilecek bir komut olabilmektedir.

Mesajın içeriği uygulamanın amacına göre değişmektedir. Mesajlar topic diye adlandırılan bir yapı altında bulunurlar. Mesajın içeriğine göre MQTT ağı içerisinde kendilerine deyim yerindeyse ilgili konu ile alakalı başlık açarlar. Bu başlıklara da abone olarak isimlendirilen kısım, yayıncı tarafından yayınlanan mesajları aracı kısımdan talep edebilmektedir. Yayıncı kısımdan gelen bir sıcaklık verisine aracı vasıtasıyla abone olan birim bu sıcaklık verisini kullanıcılarına sunabilmektedir. Ya da yukarıdaki kısımda örneği de verilen yayıncı kısımdan gelen röle tetikleme komutu ile abone kısımda yer alan röleye bağlı bir motor sürülebilmektedir. MQTT genel çalışma prensibi Şekil 2.5. 'te gösterilmektedir.



Şekil 6.5. MQTT genel çalışma prensibi

Nesnelerin interneti dünyasında MQTT zamanla kendine iyi bir yer bulsa da halihazırda HTTP ile yapılan uygulamalar çoğunluğunu korumaktadır. 90'lı yılların başlarında bilim insanları sadece verinin taşınabilmesine yönelik ilkel bir protokol geliştirmişti.

O yıllardan beri gelen birikim ile HTTP evrilerek daha güvenli ve hızlı bir hal almıştır. Tablo 2.2.'de nesnelerin interneti için iki önemli protokol olan HTTP ve MQTT'nin karşılaştırması verilmiştir.

Tablo 2.2. MQTT ve HTTP karşılaştırması

Özellik	MQTT	HTTP
Tasarım Metodolojisi	Veri merkezli	Doküman merkezli
Mimari	Yayıncı/Abone temelli bir mimari. Cihazlar herhangi bir konuda yayın yapabilir ve herhangi bir konu için abone olabilir.	İstek/Cevap semantiği mevcuttur.
Karmaşıklık	Basit	Daha Karmaşık
Veri güvenliği	Güçlü	Zayıf, veri güvenliği için

		HTTPS kullanılır.
Ulaşım Katmanı	TCP	UDP
Mesaj Boyutu	Az, 2 byte header	Çok, ASCII format
Kütüphaneler	30Kb C, 100Kb Java	Boyut olarak fazla
Veri dağıtımı	1'den 0/1/N	1 - 1

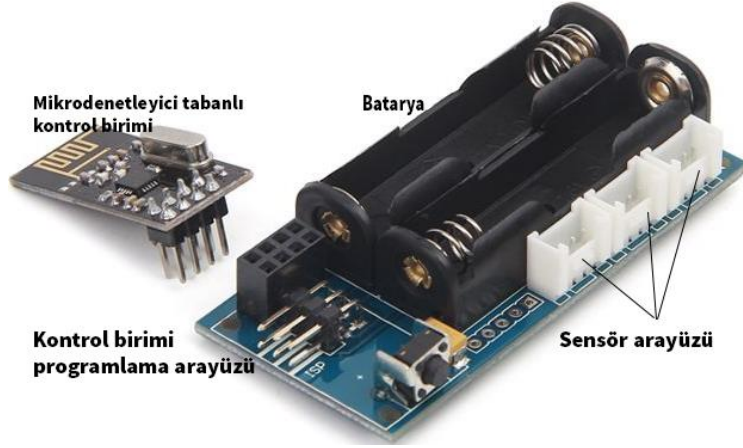
HTTP'nin istemci-sunucu altyapısı ve istek-cevap semantiği sebebiyle işlem gücü mobil cihazlar için optimize edebilme yeteneği MQTT'ye göre zayıftır. Tablo 2.2'de de bahsedilmiş olan, MQTT'nin verileri byte dizileri şeklinde transferi ve yayıncı-abone semantik modeli sayesinde kısıtlı kaynaklara sahip cihazlarda enerji tüketimi konusunda oldukça avantajlı bir durumdadır. MQTT'nin diğer avantajlı olduğu kısımlardan birisi de Intel çalışanı tarafından yayınlanan bir yazıda 3G ağlardan alınan ölçümlere göre MQTT ağlardaki veri akışı HTTP ağlara göre 93 kat daha hızlı gerçekleşmektedir [25]. HTTP ve MQTT protokollerinin birlikte kullanım senaryoları da mevcuttur. Bu çalışmada ana protokol olarak MQTT, yardımcı protokol olarak HTTP 'den faydalanılmıştır.

2.4. Kablosuz Sensör Ağları Bileşenleri

Kablosuz sensör ağını oluşturan bileşenler; sensör düğümü, sensör düğüm alt bileşenleri ve koordinatör düğüm olarak ilgili başlıklara ayrılmıştır.

2.4.1. Sensör düğümü

Sensör düğümleri, kablosuz sensör ağlarında çevresel koşulları izleme ve fiziksel durumları inceleme gibi görevleri yerine getiren kontrolör tabanlı bir yapıdır. Temel bir sensör düğümü Şekil 2.6.'da gösterilen bileşenleri içermektedir.

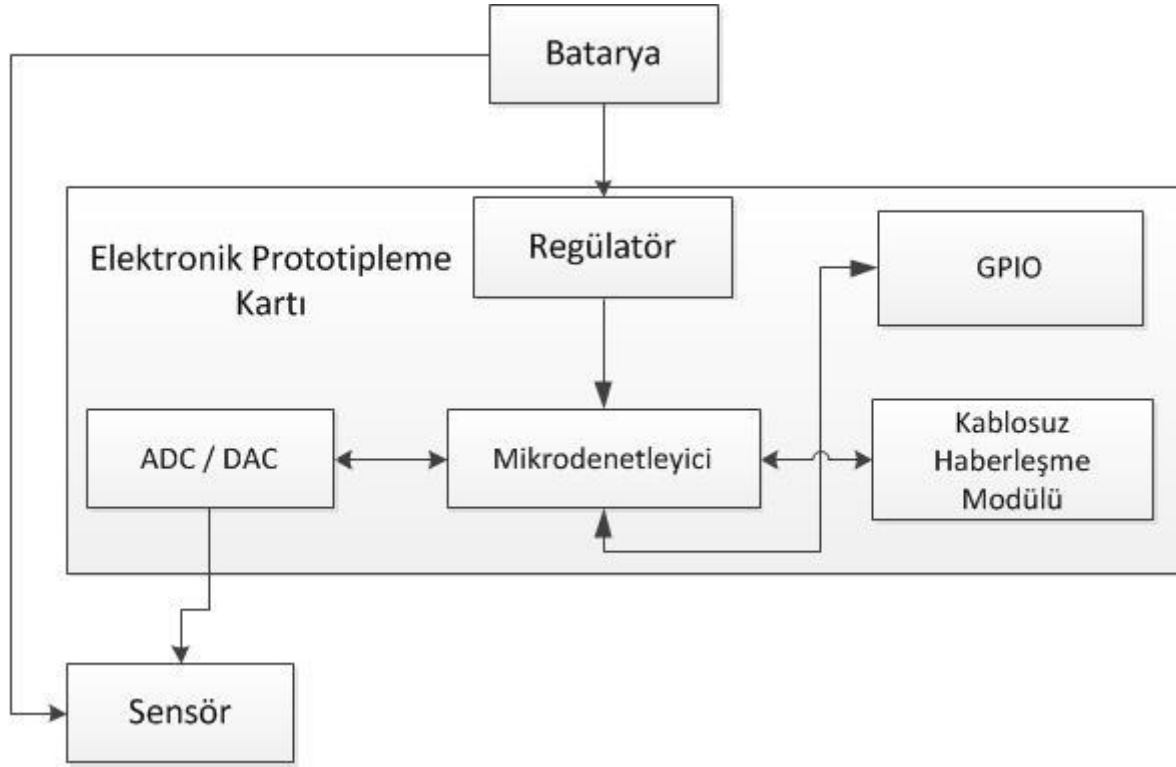


Şekil 7.6. Basit bir sensör düğümü

2.4.1.1. Mikrodenetleyici tabanlı kontrol birimi

Sensör düğümlerinde genellikle mikrodenetleyici tabanlı yapılar kullanılmaktadır. İlgili başlığın mikrodenetleyici tabanlı kontrol birimi ismini almasının sebebi; gerek bu çalışmada gerekse literatürde yer alan çalışmalarda, sensör düğümü tarafında mikrodenetleyici içeren bir elektronik prototipleme kartının(EPK) kullanılmasıdır. Mikrodenetleyici tabanlı EPK kullanımı hem yapılan deneysel çalışma hızlarını arttırmakta hem de EPK programlanması düşük seviye yazılım dili gerektiren kartlara göre daha kolay olmaktadır. Mikrodenetleyici ile birlikte sensör düğümünün kablosuz haberleşme yapabilmesi için gerekli olan entegre modüller de EPK üzerinde yer almaktadır. Bu çalışmada da sensör düğümü tarafında mikrodenetleyici tabanlı EPK olarak NodeMCU kullanılmıştır.

Mikrodenetleyici'nin diğer bileşenlerle olan ilişkisi Şekil 2.7.'de verilmiştir.



Şekil 8.7. Mikrodenetleyici tabanlı kontrol birimi

İlgili sensör düğümünde mikrodenetleyici kullanılmasının sebebi, tek bir amaca yönelik çalışma prensibine sahip olmasıdır. Mikrodenetleyicilerin genel ve temel özellikleri arasında yer alan bu prensip, sensör düğümünde de kendisini göstermektedir. Tek görevi sensörden okuduğu verileri işleyip uzaktaki bir koordinatöre göndermekle yükümlü bir cihazda mikroişlemci kullanmak, maliyeti arttırmanın yanında optimum bir çözüm olmayabilir. Aynı zamanda sensör düğümü tarafında mikroişlemci kullanmak enerji tüketimini de arttıracaktır. Bu da kablosuz olarak çalışan, dahili bir bataryası bulunan mikroişlemci tabanlı sensör düğümlerinin, mikrodenetleyici tabanlı sensör düğümlerine nazaran daha kısa sürede bataryanın boşalmasına neden olacaktır.

2.4.1.2. Sensör

Sensör, sensör düğümünde çevresel koşulları ve fiziksel durumları inceleme görevini yerine getiren algılayıcıdır. Sensör tarafından algılanan veri fiziksel durumda meydana gelen değişimin ölçüsüdür. Bu ölçü analog veya dijital olarak kategorize edilebilir. Analog olarak kategorize edilmiş veriler mikrodenetleyiciye aktarılırken, mikrodenetleyici tarafından anlamlı bir veriye dönüştürülebilmeleri için ADC biriminden geçmeleri gerekmektedir.

Sensörler kendi arasında da işlevine göre ayrılmaktadırlar. Temel olarak aktif sensör ve pasif sensör olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Aktif sensörler, kendi bünyesinde sinyali üretip bu sinyalin ortam üzerindeki etkisini veya değişimini algılayabilecek yapıya sahiptirler. Ultrasonik, Kızılötesi gibi sensörler, aktif sensörler grubuna dahil olan sensör çeşitlerindedir. Pasif sensörlerde ise çevresel koşullardan veya fiziksel durumlardan alınan sinyaller kontrol edilip algılama işlemi yapılmaktadır. LDR, NTC/PTC gibi dirençler pasif sensörler kategorisine girmektedirler.

Sensör çeşitleri; mekanik, termal, elektriksel, manyetik, ışımaya ve kimyasal olarak ayrılmaktadırlar. Örnek vermek gerekirse, mekanik sensörler; Uzunluk, alan, miktar, kütleli akış, kuvvet, tork, basınç, hız, ivme, pozisyon, ses dalga boyu ve yoğunluğu gibi konuları kapsamaktadır. Elektriksel sensörler; Voltaj, akım, direnç, endüktans, kapasite farkı, dielektrik katsayısı, polarizasyon, elektrik alanı, frekans vb. durumları ele almaktadır.

2.4.1.3. Batarya

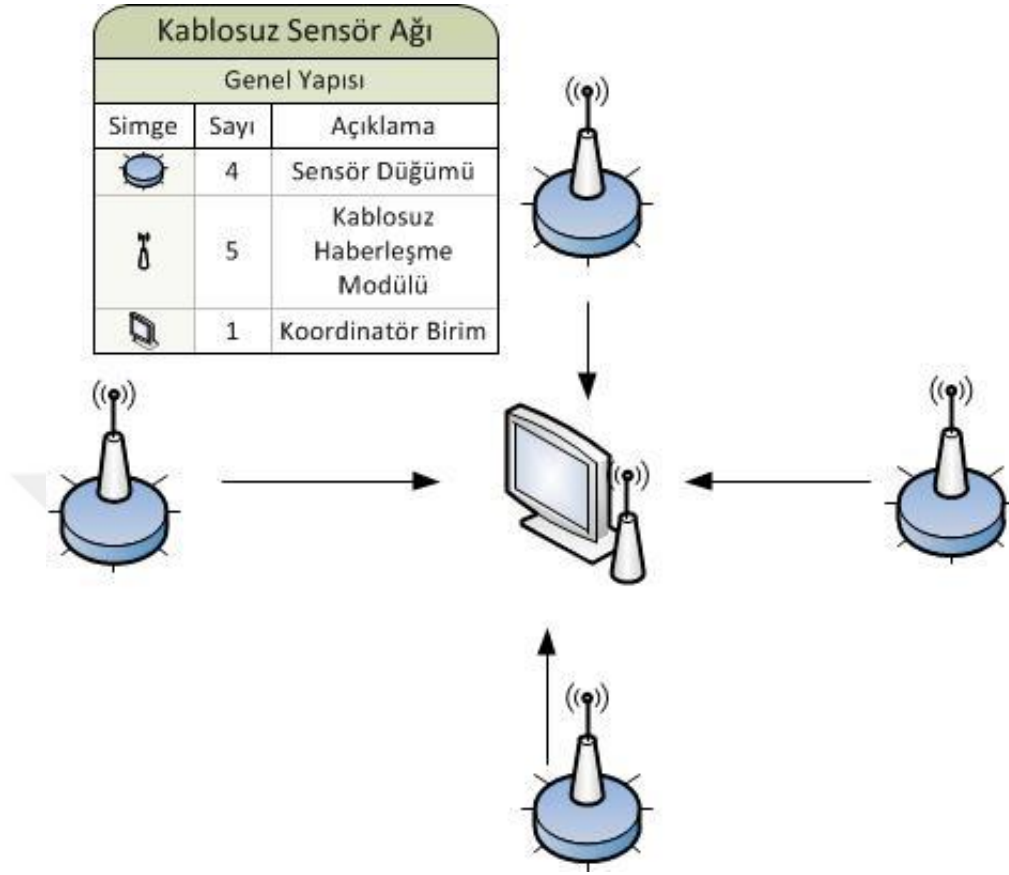
Sensör düğümlerinde enerji ihtiyacını karşılayan kısımdır. Sensör, mikrodenetleyici ve bileşenlerinin enerji ihtiyacı batarya tarafından karşılanmaktadır. Sensör düğümlerinde en fazla enerji tüketimi, veri iletimi ve dağıtım konusunda yaşanmaktadır. Çevresel koşul ve fiziksel durum değişikliği verisinin algılanması ve bu verinin işlenmesi için enerji tüketimi nispeten daha azdır.

Sensör düğümlerinde şarj edilebilir veya şarj edilemez piller kullanılmaktadır. Bu piller de kimyevi malzemesine göre sınıflandırılmaktadırlar. Başlıca sensör düğümlerinde kullanılan pil çeşitlerini sıralamak gerekirse; Nikel-Kadmiyum (NiCd), Nikel-Çinko (NiZn), Lityum-Polimer (LiPo), Lityum-İyon (Li-ion). Günümüz sensör düğümleri yenilenebilir enerji kaynaklarının nimetlerinden faydalanabileceği bir yapıyı da içerebilmektedir. Güneş enerjisi, titreşim, basınç, ısı, rüzgar vb. kaynakları kullanarak sensör düğümü, kendisine enerji üretebilecek yapıyı bünyesinde barındırabilmektedir.

2.4.2. Koordinatör düğüm

KSA sistemlerinde sensör düğümlerinden gelen veri setlerini işleyen ve bunun sonucunda da monitörleme, kontrol, iletim gibi işlevleri gerçekleştiren kısımdır. Bu kısım topladığı verileri uzaktaki bir sunucu bilgisayara atabilme ya da kendi bünyesinde gömülü bir sistemde çalışıp veri toplama merkezi gibi çalışabilme yetilerine sahip olabilmektedir. Koordinatör düğümün

kablosuz sensör ağı içerisindeki konumu ve işlevi Şekil 2.8.'de gösterilmektedir.



Şekil 9.8. Koordinatör birimi ve KSA ile ilişkisi

Koordinatör düğüm kısmında da sensör düğümde olduğu gibi mikrodenetleyici ya da mikroişlemci tabanlı bir kontrol birimi, kablosuz haberleşme modülü, batarya, regülatör, ADC/DAC, GPIO gibi bileşenleri barındıran bir EPK, bilgisayar veya mini bilgisayar olabilmektedir. Bu çalışmada koordinatör düğüm olarak Raspberry Pi 3 mini bilgisayarı kullanılmıştır.

3. TASARIM VE GERÇEKLEME

Bu bölüm kullanılan malzemeler, sistem tasarımı, tasarım gerçekleştirme ve gerçekleştirilen tasarımın test edilmesi gibi başlıklara ayrılmaktadır. Bu başlıklar altında da ilgili konularla alakalı çalışma kapsamında yürütülen bulgular verilmektedir.





3.1. Kullanılan Malzemeler

Bu başlık altında proje kapsamında kullanılan malzemeler verilmektedir. Kullanılan malzemeler ile ilgili başka malzemeler ile karşılaştırmalar yapılmış, optimum çözüm seçilmeye çalışılmıştır. Malzemeler hakkında teknik veriler sunulmuştur.

3.1.1. ESP8266 ve NodeMCU

ESP8266; Şangay merkezli Espressif System firması tarafından üretilen, nesnelerin interneti ve benzer projelerde kullanılabilecek düşük maliyetli bir WiFi tabanlı kablosuz haberleşme çip üzerinde sistemdir(SoC) [26]. Bu entegre bir PCB üzerine koyulup PCB breakout modeli tasarlanarak SMD modül olarak piyasaya sürülmektedir. ESP-01, ESP-05, ESP-12, ESP-201 gibi ESP8266 WiFi SoC (System-on-Chip) tabanlı WiFi modülleri bulunmaktadır. Bu modüllerin birbirleriyle olan karşılaştırmaları Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. ESP8266 modülleri karşılaştırma tablosu






Özellik	ESP-01	ESP-05	ESP-12	ESP-201
				
GPIO	2	-	11	11
ADC	-	-	1	1
Anten tipi	PCB	PCB	PCB	Harici / PCB
Breadboard ile	Orta	İyi	Kötü	İyi

kullanılabilirliği				
Boyut	Küçük	Küçük	Orta	Büyük
Ortalama Fiyat	1 \$	2 \$	2.5 \$	3 \$
Uygulama tipi(Kullanım)	Bağımsız ya da Arduino modülü	Wifi modülü	Bağımsız	Bağımsız

Tablo 3.1 incelenerek, projede kablosuz sensör ağını oluşturmak için sensör düğümü tarafında kullanılacak olan modül ESP-12 olarak seçilmiştir. Sensör düğümü tarafında çalışacak olan modülün isterleri arasında düşük maliyetli, elektronik prototipleme kartı tabanlı ve yazılım geliştirmesi hızlı, bağımsız çalışabilme, ADC, GPIO gibi seçeneklerin yer almasıydı. ESP-12 düşük maliyet, ADC, GPIO ve bağımsız çalışabilme isterlerini karşılamaktadır. Fakat elektronik prototiplemeye uygun bir yapıda değildir.

Bu sebeple ESP-12 modülü tabanlı elektronik prototipleme kartları araştırılmıştır. Piyasa araştırması sonucunda piyasada bulunan kartlar arasında bir karşılaştırma yapılmış ve bu karşılaştırmanın sonucu olarak Tablo 3.2. oluşturulmuştur [27].

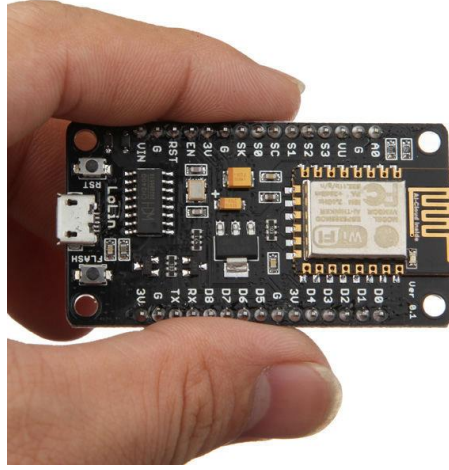
Tablo 4.2. ESP12 tabanlı elektronik geliştirme kartları

Özellik	NodeMCU V0.9	NodeMCU V1.0	Wemos D1 Mini	Wemos D1 R2	LoLin V3 NodeMCU Board
					
Üretici	NodeMCU	DOIT	Wemos	Wemos	LoLin
GPIO	11	11	11	11	11

ADC	1	1	1	1	1
Anten tipi	PCB	PCB	PCB	PCB	PCB
ESP8266 Modülü	ESP12 (AI-Thinker)	ESP12E (AIThinker)	ESP12E (Wemos)	ESP12E (Wemos)	ESP12E (AI-Thinker)
USB – Serial Dönüşümü	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Seri Dönüştürücü Entegre	CH340G	CP2102/CH340G	CH340G	CH340G	CH340G
Breadboard ile kullanılabilirliği	Kötü	Çok iyi	Çok iyi	Kötü (Arduino boyutlarında)	Kötü
Boyut	Büyük	Büyük	Orta	Çok büyük	Büyük
Ortalama Fiyat	1.5 \$	2.8 \$	2.5 \$	3 \$	2.5 \$

ESP-12/12E modül tabanlı geliştirme kartları arasında; fiyat/performans, kartın Türkiye’de ulaşılabilirliği, stok durumu, dokümantasyon zenginliği gibi sebeplerle NodeMCU V1.0 ve LoLin V3 NodeMCU modelleri seçilmiştir. Bu çalışmada ilgili modeller kullanılmıştır.

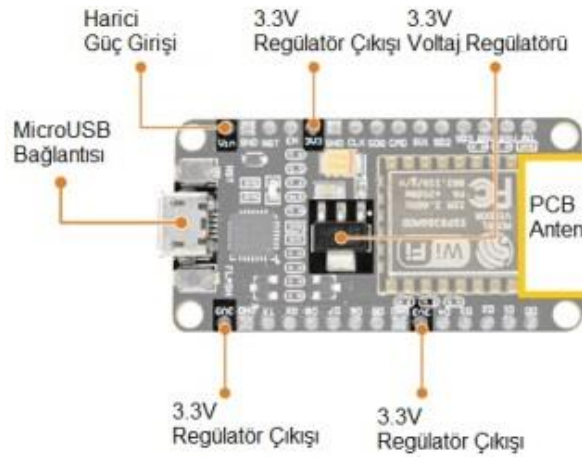
Seçilen NodeMCU kartının genel yapısı Şekil 3.1. ’de verilmiştir.



Şekil 10.1. NodeMCU genel yapısı

3.1.1.1. NodeMCU güç gereksinimi

NodeMCU kartının çalışma gerilimi 2.5V ile 3.6V arası değişmektedir. Board üzerinde LDO voltaj regülatörü bulunmaktadır. Voltaj regülatörü NodeMCU kartına verilen gerilimin 3.3V dolayında kararlı olmasını sağlamaktadır. Dahili regülatörden 600mA'e kadar akım çekilebilmektedir. ESP8266 RF iletişimi boyunca 80mA dolaylarında akım çekmektedir [28]. Dahili regülatör bu durum için yeterlidir. Şekil 3.2.'de NodeMCU üzerinde bulunan regülatör çıkışları gösterilmiştir.



Şekil 11.2. NodeMCU regülatör çıkışları

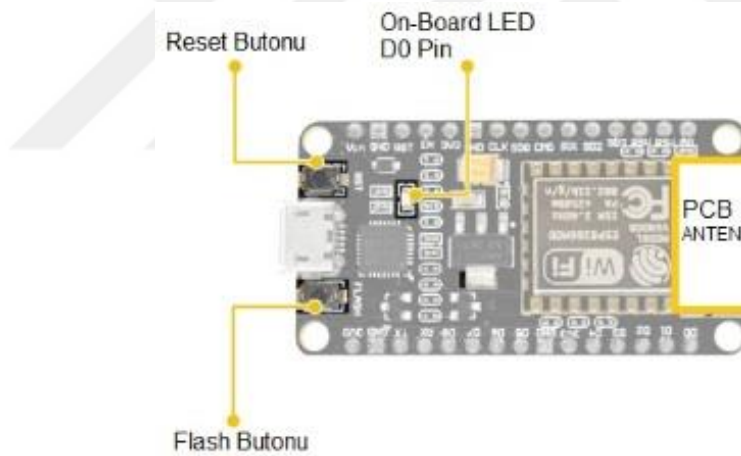
NodeMCU hem harici hem de MicroUSB üzerinden beslenebilmektedir. Harici bir kaynak VIN bacağı üzerinden NodeMCU'ya bağlanabilmektedir. NodeMCU tabanlı sensör düğümleri tarafında güç gereksinimi karşılayacak birim olarak 3.7V 26C 950 mAh LiPo

(Lityum-Polimer) bileşimli bir pil kullanılmıştır.

3.1.1.2. NodeMCU çevre birimleri

NodeMCU bünyesinde 17 GPIO(General-Purpose Input/Output) barındırmaktadır. Bu genel amaçlı giriş çıkışlar headerlar aracılığıyla kart üzerinde yerini almaktadır. Bu pinlere 10-bitlik bir ADC kanalı, UART arayüzü, PWM çıkışı, SPI, I2C gibi arayüzler atanabilmektedir. Çoklanmış Giriş/Çıkış pinlerinde 1 ADC kanalı, 2 UART arayüzü, 4 PWM çıkışı bulunmaktadır.

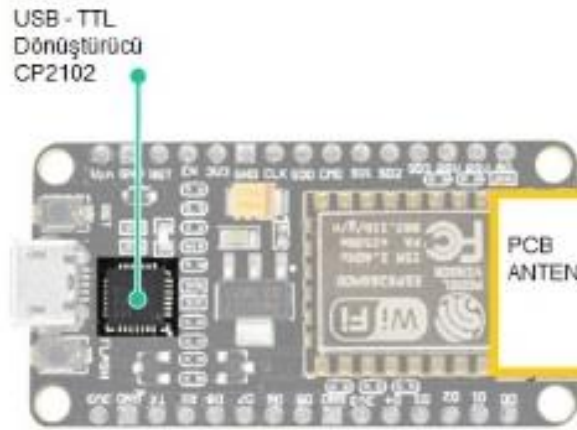
Ayrıca NodeMCU üzerinde iki buton bulunmaktadır. Bu butonlardan birisi RST olarak adlandırılmıştır. ESP8266 entegresinde reset işlemini gerçekleştirmektedir. FLASH olarak adlandırılan buton ise ESP8266 içerisinde yer alan donanım yazılımını (firmware) güncellemek için kullanılan bir butondur. Kart üzerinde on-board olarak bir adet de LED bulunmaktadır. D0 bacağında bulunan bu LED kullanıcı tarafından özel amaçlı olarak kullanılabilir. Buton ve LED'in kart üzerindeki konumları Şekil 3.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 12.3. NodeMCU kartı üzerindeki LED ve butonların yerleşimi

3.1.1.3. NodeMCU seri haberleşme arayüzü

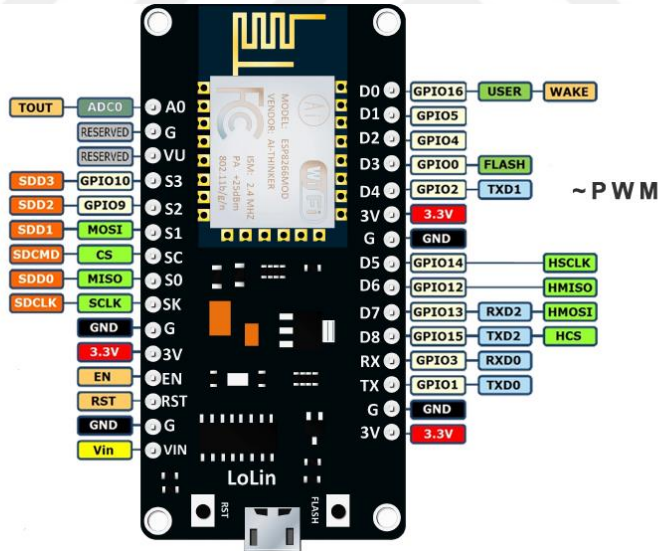
NodeMCU üzerinde Silicon Labs firması tarafından üretilen USB-UART dönüştürücüsü CP2102 entegresi bulunmaktadır. ESP8266 çip üstünde sistemi CP2102 entegresi aracılığıyla programlanabilmektedir. CP2102, USB sinyallerini seri sinyallere dönüştürme işlemini üstlenmektedir. NodeMCU V kartlarında CH340G entegresi de bulunmaktadır. CP2102 muadili bir entegredir. Bu çalışmada CH340G tabanlı NodeMCU V3 kartları da kullanılmıştır. CP2102 entegresinin NodeMCU kartı üzerindeki konumu Şekil 3.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 13.4. CP2102 USB – TTL dönüştürücü

3.1.1.4. NodeMCU ESP8266 pin yapısı

NodeMCU V3 (LoLin) kartının pin yapısı detaylı olarak Şekil 3.5.'te gösterilmiştir. Pin yapısının açıklamaları aşağıdaki kısımlarda verilmiştir.



Şekil 14.5. NodeMCU V3 LoLin pin yapısı

- **3.3V:** Dahili regülatörü sayesinde Micro USB veya VIN bacağından uygulanan gerilimi sabit 3.3V DC gerilime çevirmektedir. 3V bacağından da çıkış olarak 3.3V dış dünyaya verilebilmektedir.
- **MOSI, MISO, CS, SCLK, HSCLK, HMISO, HMOSI, HCS:** İlgili pinler üzerinden SPI ve HSPI haberleşme protokolleri kullanılabilir. ESP8266 çip

üstünde sisteminin getirdiği SPI, 4 standart modu da desteklemektedir. 80MHz'e kadar yükseltilebilmektedir. FIFO hafızası 64 byte'a kadar çıkarılabilmektedir.

- **SDD3, SDD2, SDD1, SDCMD, SDD0,SDCLK:** ESP8266'nın getirdiği bir özellik olan SDIO(Secure Digital Input/Output) arayüzü NodeMCU üzerinde bulunmaktadır. Bu arayüz ile doğrudan SD kart üzerinde veri okuma/yazma işlemleri yapılabilmektedir. SDIO için 4-bit 25 MHz ve 4-bit 50MHz seçenekleri mevcuttur.
- **GPIO Pinleri:** ESP8266 NodeMCU V3 17 adet giriş/çıkış olarak çeşitli amaçlar için konfigüre edilebilir genel amaçlı giriş/çıkış pinlerine sahiptir. I2C, I2S, UART, PWM, Infrared uzaktan kontrol, LED ve buton gibi arayüzler bu bacaklara atanabilmektedir.
- **ADC:** NodeMCU ile 10-bit çözünürlüğe sahip ADC kanalı da kullanılabilmektedir.
- **RX,TX Pinleri:** ESP8266 NodeMCU V3 üzerinde asenkron iletişimi sağlayan 2 UART arayüzü bulunmaktadır. 4.5 Mbps iletişim hızına çıkabilmektedir.

3.1.2. Raspberry Pi 3 Model B+

Birleşik Krallık merkezli Raspberry Pi Kuruluşu 2009 yılında okullarda bilgisayar bilimini öğretmek ve aynı zamanda Raspberry Pi isimli tek kartta bilgisayarı geliştirmek amaçlı kurulmuş bir kuruluştur [29]. Bu kuruluş Raspberry Pi'yi A ve B olarak iki model üzerinden piyasaya sürmektedir. B modeli üzerinde 2 adet USB, 1 adet Ethernet barındırmaktadır. A modeli ise sadece 1 adet USB arayüze sahiptir. Tek kartta bilgisayar olarak nitelendirilen Raspberry Pi ile 1080P videolar oynatılabilir, SD kartı sayesinde işletim sistemi imajı ile birlikte kartı taşınabilir kılmaktadır. Raspberry Pi 3 Model B+ Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 15.6. Raspberry Pi 3 Model B+ genel yapısı

Çalışmada kullanılmış olan Raspberry Pi 3 Model B+ genel özellikleri Tablo 3.3.'te verilmiştir.

Tablo 5.3. Raspberry Pi 3 Model B+ temel özellikler

Özellik	Açıklama
İşlemci	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz
RAM	1GB LPDDR2 SDRAM
LAN, BLE	2.4GHz ve 5GHz LAN, BLE
GPIO	40 pin
USB 2.0	4 adet
CSI(Kamera portu)	Var
DSI(Display portu)	Var
Güç	5V / 2.5A DC giriş

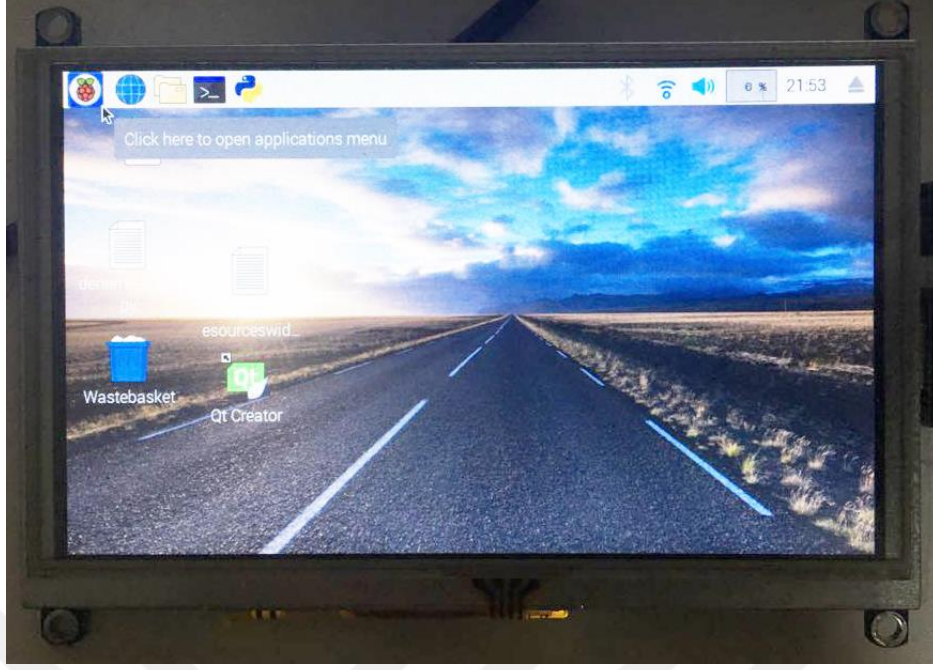
Bu çalışmada Raspberry Pi, koordinatör düğüm tarafında kullanılmaktadır. Piyasada sıkça koordinatör düğüm olarak kullanılabilen elektronik prototipleme kartı olan Arduino ile Raspberry Pi temel olarak karşılaştırması Tablo 3.4.'te verilmiştir.

Tablo 6.4. Temel olarak Arduino ve Raspberry Pi karşılaştırması

Özellik	Arduino	Raspberry Pi
Denetleyici / İşlemci	8- bit Atmega mikrodenetleyici	64-bit ARM mikroişlemci
Saat hızı	8-16 Mhz	1 / 1.4 / 1.5 GHz
RAM	2-8 Kb	512 / 1 Gb / 2 Gb / 4 Gb
GPU	Yok	Var
Ethernet, USB, Ses	Yok	Var
İşletim Sistemi	Yok	Var

3.1.3. Waveshare 5 inç HDMI LCD dokunmatik ekran

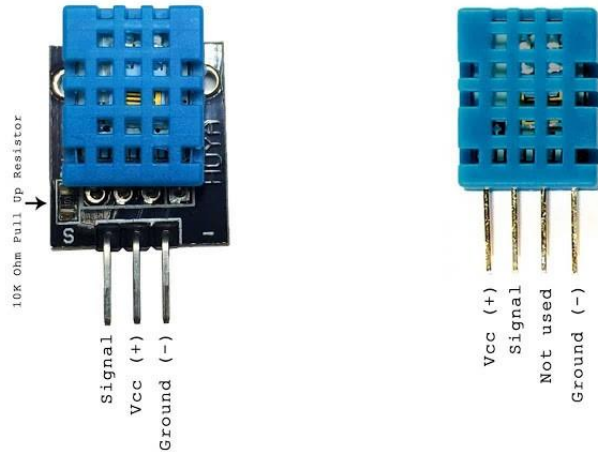
Raspberry Pi 3 Model B+ taşınabilir koordinatör düğüm tarafında programlanan monitörleme yazılımının gösterileceği ekran olarak 5 inç HDMI girişli bir LCD dokunmatik ekran kullanılmıştır. HDMI LCD ekran rezistif dokunmatik ekrana sahiptir. Çözünürlük olarak 800x480 pikseldir. USB üzerinden hem ekran beslenebilmekte hem de dokunmatik özelliği aktif hale getirilebilmektedir. İlgili 5 inç ekran Şekil 3.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 16.7. Raspberry Pi dokunmatik ekranı

3.1.4. DHT11 sıcaklık ve nem sensörü

DHT11 dijital sinyal çıkışı verebilen, sıcaklık ve nem ölçme yeteneğine sahip bir sensördür. Üzerinde 8 bitlik kontrolör bulunmaktadır. Sıcaklık aralığı 0-50 °C'dir. 2 °C sıcaklık ölçme hata payı bulunmaktadır [30]. DHT11 sıcaklık ve nem sensörünün genel yapısı Şekil 3.8.'de gösterilmiştir.



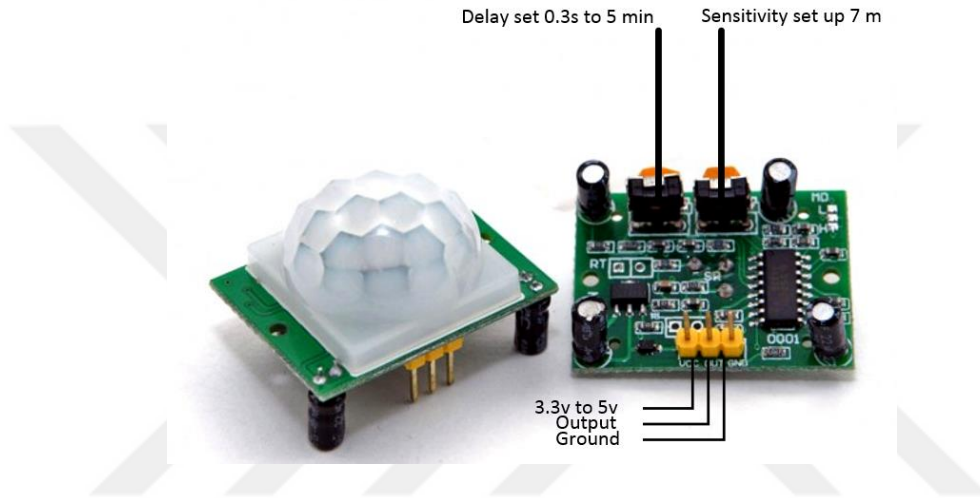
Şekil 17.8. DHT11 sıcaklık ve nem sensörü

Bu çalışmada DHT11 sıcaklık ve nem sensörü, sensör düğümü olarak otonom robot üzerinde yer alarak, otonom robotun bulunacağı ortamın sıcaklık ve nem bilgisini ölçme işlevini

gerçekleştirmektedir.

3.1.5. PIR (Hareket) sensörü

PIR (Passive Infra-RED); kızılötesi dalgalarla çalışan ve dalga değişimleri ile hareket olup olmadığını tespit edebilen hareket sensörüdür. PIR sensörü içerisinde fresnel lens bulunmaktadır. Ortamda bulunan nesnelere yansıyan ışınlar, sensörün odaklanmasını sağlamaktadır. Sensörün bulunduğu ortamda herhangi bir kızılötesi dalga değişimi olduğunda sensör algılama işlemini gerçekleştirir [31]. PIR sensörünün genel yapısı Şekil 3.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 18.9. PIR sensörü genel yapısı

Proje çalışmasında kullanılan PIR sensörü, sensör düğümü olarak otonom robot üzerine uygun noktaya yerleştirilerek, otonom aracın misyonuna göre ortamdaki hareket bilgisini işleme görevini üstlenmektedir.

3.1.6. Yağmur sensörü

İletken hatların birbirine paralel bağlanmasıyla oluşmuş bir sensör çeşididir. İletken hatlarda meydana gelen su teması ile sensör çıkış pini üzerinde analog bir değer üretmektedir. Bu analog değer de mikrokontrolör üzerinde işlenerek yağmurun olup olmadığını, yağmurun şiddeti gibi çıkarımlarda bulunabilmektedir. Aynı zamanda sensör modülü üzerinde dijital sinyal çıkışı da bulunmaktadır. Yağmurun yağıp yağmadığı bu pin üzerinden ölçülebilmektedir. Modül üzerinde yer alan trimpot ile hassasiyet ayarı da yapılabilmektedir. Yağmur sensörünün genel yapısı Şekil 3.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 19.10. Yağmur sensörü genel yapısı

Çalışmada otonom araç üzerine yerleştirilmesi planlanmış yağmur sensörü, otonom aracın bulunduğu ortamda yağmur durumu hakkında bilgi vermesi amaçlı kullanılmaktadır.

3.1.7. HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü

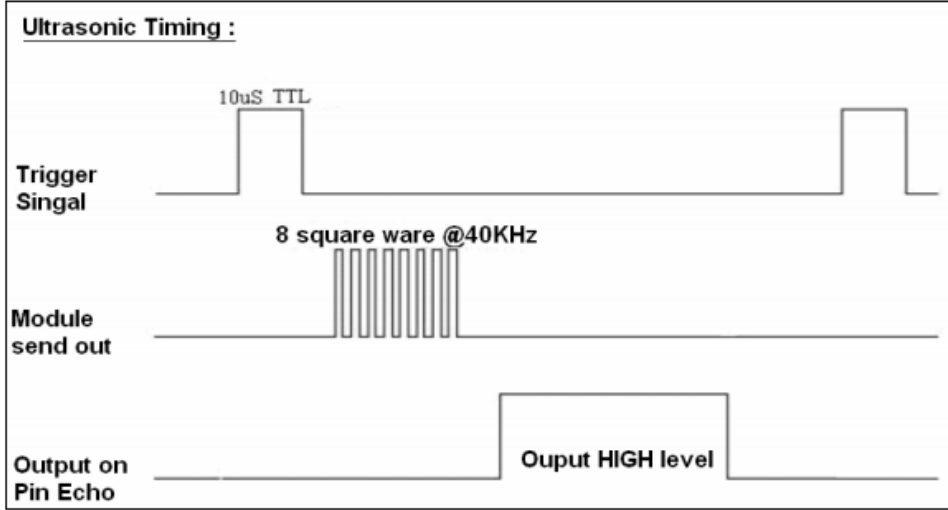
Otonom araç projelerinde sıkça kullanılan bir sensör olan HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü, 2 cm ile 400 cm arasını efektif bir şekilde ölçebilmektedir. HC-SR04 sensör modülünün genel yapısı Şekil 3.11.'de gösterilmiştir.



Şekil 20.11. HC-SR04 ultrasonik mesafe ölçme sensörü

Ölçümün başlayabilmesi için sensör üzerinde yer alan trig bacağı, en az 10 mikrosaniyede +5V'luk bir değer almalıdır. Böylece sensör üzerinden 40kHz'lik frekans bandında ses dalgası ortama iletilir ve ortamdan geriye sensöre yansımaları gerekmektedir. Ultrasonik mesafe sensörü, bu ses dalgasının yansımalarını aldıktan sonra Echo bacağı 0V seviyesinden

5V'a geçmektedir. 5V seviyesine geçtikten sonra ölçülen mesafeyle orantılı bir şekilde o kadar süre beklemektedir. Echo bacağındaki genişlik ölçülerek, mesafe elde edilebilmektedir [32]. Ultrasonik mesafe sensörünün zaman diyagramı Şekil 3.11.'de verilmiştir.



Şekil 21.12. Ultrasonik mesafe sensörü zaman diyagramı

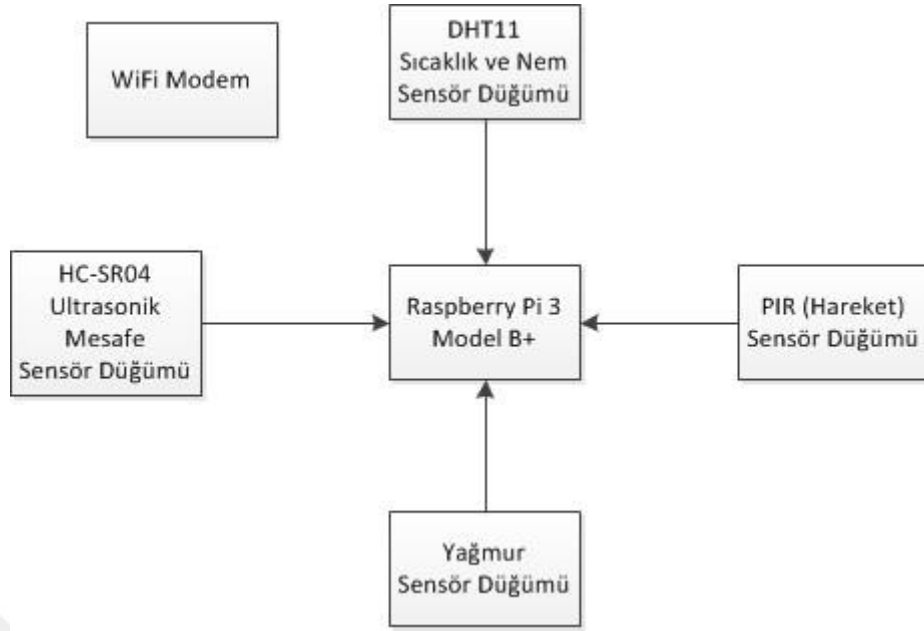
Ultrasonik mesafe ölçere ses dalgasının geri yansıma zamanı kullanılarak mesafe ölçümü yapılabilmektedir. Mesafe ölçüm işleminde sesin yayılma hızı yardımcı olmaktadır. Sesin yayılma hızı yaklaşık olarak 343.2 m/s(0.034 cm/ μ s)'dir. Ses, mesafe ve zaman arasındaki formül şöyle tanımlanmaktadır:

$$t = s / v$$

Formülde T zamanı, s mesafeyi v ise ses hızını temsil etmektedir. Formül üzerinden gidilecek olursa, HC-SR04 sensörü Echo bacağından alınan geri yansıma zamanı bize ses dalgasının gidiş-dönüş süresini vermektedir. Bu sebeple Echo bacağından elde edilen zaman 0.034 cm/ μ s değeri ile çarpılırsa toplam kat edilen yol ortaya çıkmaktadır. Toplam kat edilen yol ikiye bölündüğünde de uzaklık/mesafe elde edilmiş olur.

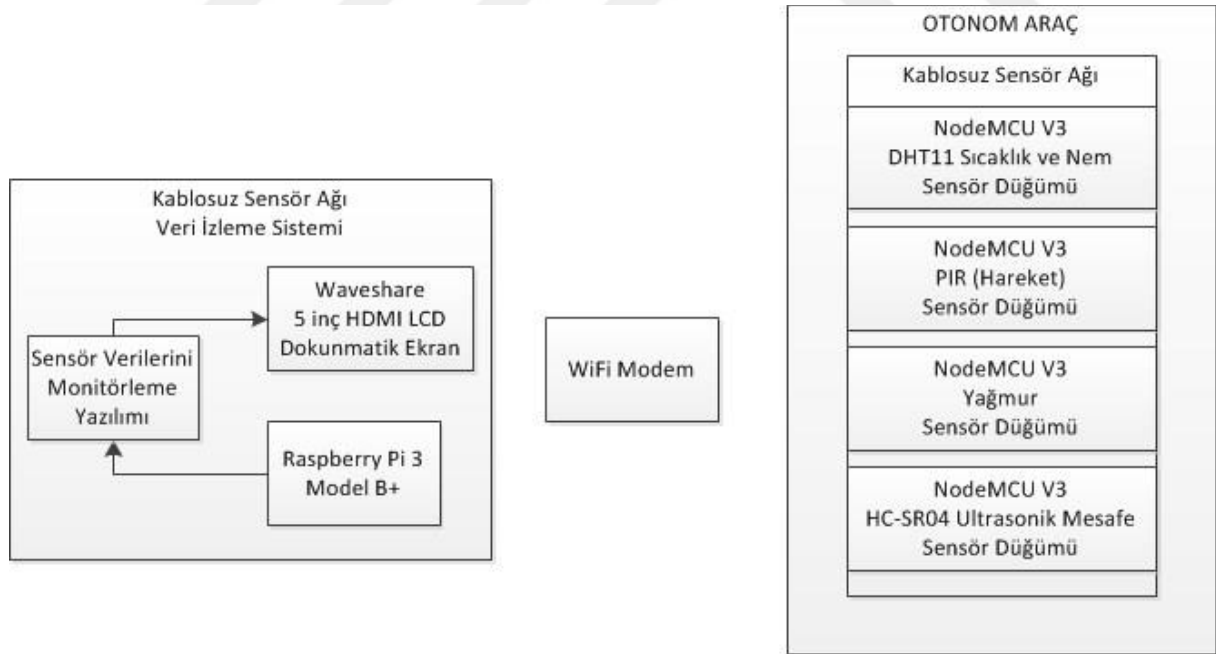
3.2. Sistem Tasarımı

KSA sisteminde sensör düğümleri ve koordinatör düğüm arasındaki haberleşme kısmında tek bir noktadan merkezi bir sistem tasarımı amacı güdüldüğünden dolayı yıldız topolojisi kullanılmıştır. Yıldız topolojisinin sisteme uyarlanmış hali Şekil 3.13.'te verilmiştir.



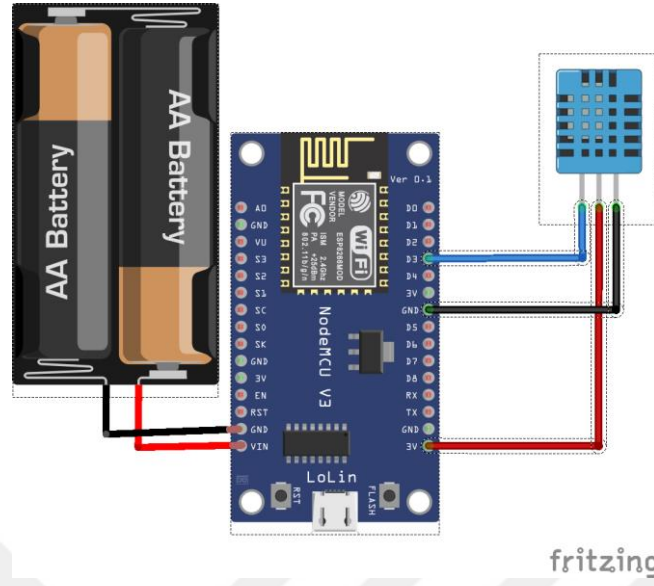
Şekil 22.13. Sistemdeki kablosuz sensör ağı yapısı

Çalışmada otonom bir araç üzerinde sensör düğümlerinin yerleşimi planlanmıştır. Her sensör düğümü otonom aracın belirli noktalarına yerleştirilerek sistemde rol almaktadır. Tasarımı yapılan sistemin genel yapısı Şekil 3.14.'te gösterilmiştir.



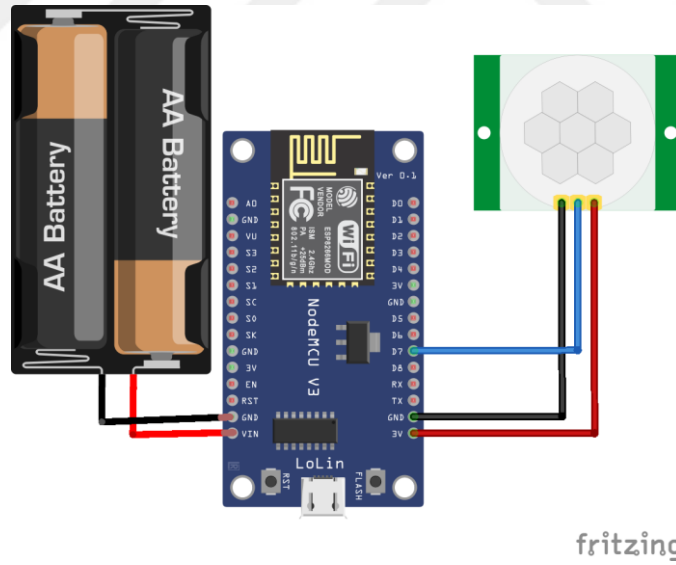
Şekil 23.14. Otonom araç KSA ve KSA veri izleme sistemi

Otonom araç üzerinde KSA sensör düğümü olarak bulunan DHT11 sıcaklık ve nem sensörünün NodeMCU V3 ile olan bağlantısı Şekil 3.15.'te gösterilmiştir.



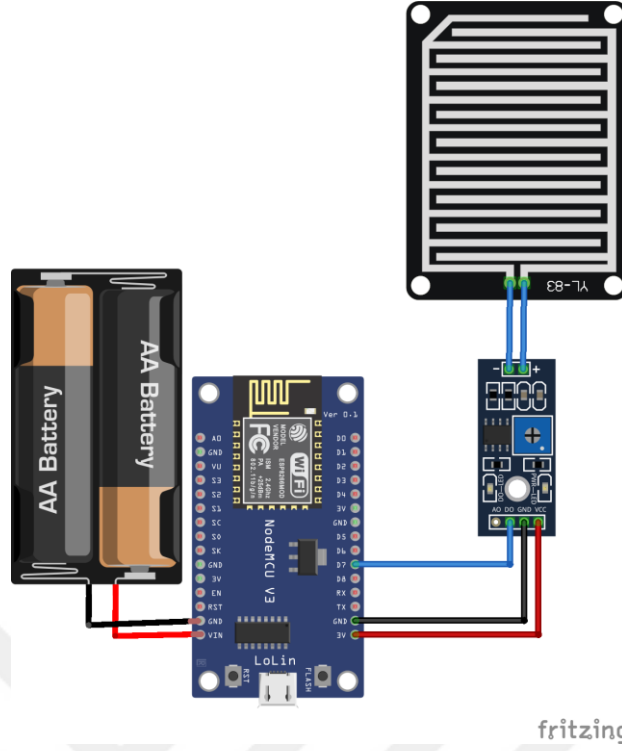
Şekil 24.15. NodeMCU V3 ve DHT11 sensörü bağlantısı

KSA sensör düğümü PIR hareket sensörünün NodeMCU V3 ile olan bağlantısı Şekil 3.16.'da verilmiştir.



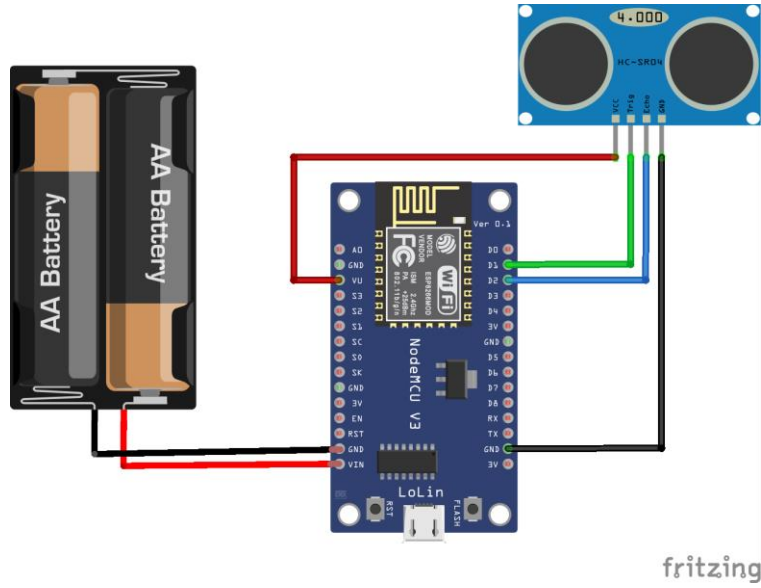
Şekil 25.16. NodeMCU V3 ve PIR sensörü bağlantısı

KSA sensör düğümü olarak kullanılan yağmur sensörünün NodeMCU V3 ile olan bağlantısı Şekil 3.17.'de verilmiştir.



Şekil 26.17. NodeMCU V3 ve yağmur sensörü bağlantısı

Diğer bir sensör düğümü olan HC-SR04 ultrasonik mesafe ölçme sensörünün NodeMCU V3 ile olan bağlantısı Şekil 3.18.'de gösterilmektedir. HC-SR04 modülü NodeMCU V3 tarafında VU pini üzerinden 5V ile beslenmektedir. Diğer sensör düğümlerinde kullanılan sensörler 3V ile çalışabilme toleransına sahiptirler.



Şekil 27.18. NodeMCU V3 ve HC-SR04 sensörü bağlantısı

Sensör düğümünün işlevlerini gerçekleştirecek ilgili kodların bir kısmı Ek 1’de verilmiştir.

3.3. Yazılım Ortamlarının Kurulumu

Bu başlık altında KSA bünyesinde koordinatör düğüm olarak kullanılan Raspberry Pi üzerinde koşacak MQTT aracı(broker) mosquitto yazılımının kurulumu ve devreye alınması anlatılmıştır. Monitörleme yazılımının yazılacağı Qt çatısının kurulumu adım adım anlatılmış ve olası hataların çözümüne yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sensör düğümü tarafında ise NodeMCU V3 için Arduino IDE tarafında kodların yazılablmesini sağlamak amacıyla gerekli ortamın hazırlanması anlatılmıştır.

3.3.1. MQTT aracı (broker) olarak Mosquitto kurulumu

Mosquitto, MQTT 3.1.0, 3.1.1 ve 5.0 versiyonları temel alınarak, Eclipse kuruluşunda çalışmakta olan Roger Light ve ekibi tarafından C programlama dili kullanılarak yazılmış minimal açık kaynak bir MQTT aracı(broker) yazılımıdır. Bu çalışmada kullanılan Mosquitto MQTT aracı yazılımının, Raspberry Pi 3 üzerinde kurulumu anlatılmıştır.

Raspberry Pi üzerinde kurulu olan Raspbian işletim sisteminde sırasıyla terminal üzerinden aşağıdaki komutlar işletilerek Mosquitto isimli açık kaynak MQTT Aracı (Broker) yazılımı kurulmuştur.

Komut setleri sırasıyla; Raspbian depoyu güncellemeyi, MQTT aracı paketi, MQTT istemci paketlerini ve MQTT istemci için geliştirici kütüphanelerini yüklemektedir.

- yucel@raspberrypi:~ \$ sudo apt-get update
- yucel@raspberrypi:~ \$ sudo apt-get install -y mosquitto
- yucel@raspberrypi:~ \$ sudo apt-get install -y mosquitto-clients
- yucel@raspberrypi:~ \$ sudo apt-get install -y libmosquitto-dev

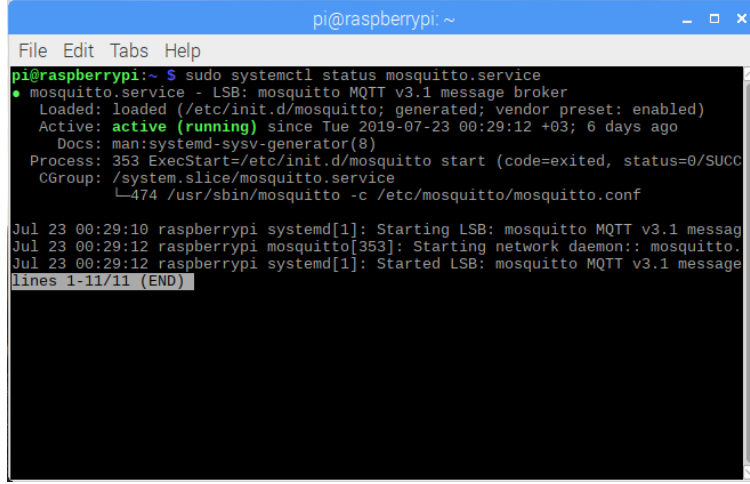
İlgili işlemler gerçekleştirildikten sonra aşağıdaki komut seti ile Mosquitto yazılımının sistem durumu sorgulanmaktadır.

- yucel@raspberrypi:~ \$ sudo systemctl status mosquitto.service

Yukarıdaki komut seti çalıştırıldıktan sonra eğer sistem durumu aktif değilse aşağıdaki komut seti ile Mosquitto yazılımı aktif hale getirilmelidir. Mosquitto yazılımı varsayılan olarak 1883 numaralı port üzerinde kendisine gelen verileri dinlemeye başlayacaktır.

Sistem durumunun aktif olduğuna dair çıktı Şekil 3.19.’da gösterilen çıktıya benzer olmalıdır.

- yucel@raspberrypi:~ \$ sudo systemctl enable mosquitto



```
pi@raspberrypi: ~  
File Edit Tabs Help  
pi@raspberrypi:~$ sudo systemctl status mosquitto.service  
● mosquitto.service - LSB: mosquitto MQTT v3.1 message broker  
   Loaded: loaded (/etc/init.d/mosquitto; generated; vendor preset: enabled)  
   Active: active (running) since Tue 2019-07-23 00:29:12 +03; 6 days ago  
     Docs: man:systemd-sysv-generator(8)  
  Process: 353 ExecStart=/etc/init.d/mosquitto start (code=exited, status=0/SUCCESS)  
   CGroup: /system.slice/mosquitto.service  
           └─474 /usr/sbin/mosquitto -c /etc/mosquitto/mosquitto.conf  
  
Jul 23 00:29:10 raspberrypi systemd[1]: Starting LSB: mosquitto MQTT v3.1 message broker:  
Jul 23 00:29:12 raspberrypi mosquitto[353]: Starting network daemon:: mosquitto.  
Jul 23 00:29:12 raspberrypi systemd[1]: Started LSB: mosquitto MQTT v3.1 message broker.  
lines 1-11/11 (END)
```

Şekil 28.19. Mosquitto sistem durum kontrolü

3.3.2. Raspberry Pi üzerinde Qt Creator kurulumu

1990'lı yıllarda Haavard Nord ve Eirik Chambe-Eng tarafından Norveç'te temelleri atılan Qt'nin, 1995 yılına geldiğinde Troll Tech firma ismiyle ilk sürümü çıkmıştır. Gelişimini hızlıca tamamlayan Qt, Nokia tarafından satın alındıktan sonra LGPL lisansı ile dağıtımına çıkmış ve ticari yazılımlarda para ödenmeksizin kullanılabilmeye imkan sağlamıştır. Linux, Mac, Windows, ARM gibi platformlar üzerinde destekleri mevcuttur. 2011'li yıllardan sonra Helsinki merkezli Digia firması Qt'nin tüm haklarını Nokia'dan satın almıştır ve Digia grubuna bağlı bir şirket olarak Qt Company ismiyle devam etmektedir. Qt'nin en büyük avantajı C++ dilinin performansını, grafiksel kullanıcı arabirimi tasarımı için görsel bileşenlerle entegrasyonunu başarılı bir şekilde sağlamasıdır.

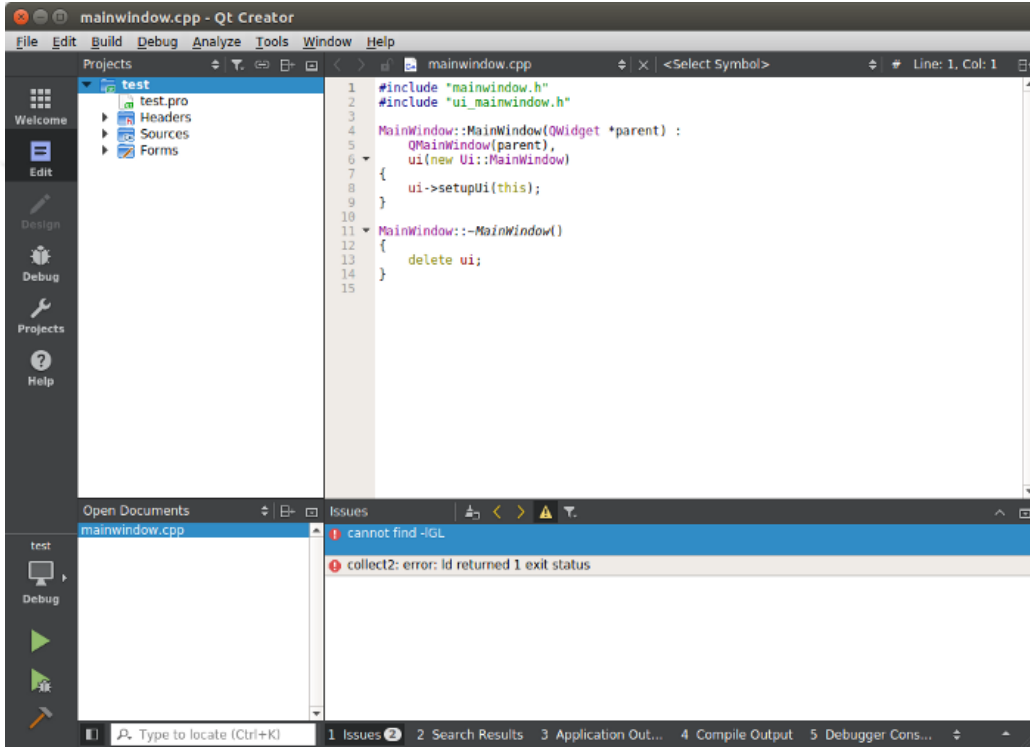
Uzaktan izleme yazılımı Qt çatısı altında C++ ile geliştirilmiştir. Qt çatısının seçilmesinin sebebi yazılan yazılımın farklı platformlar ve işletim sistemleri üzerinde de çalışabilmesidir. Projede gömülü bir çözüm olarak hem yazılım geliştirmesi hem de yazılımın çalıştırılması için Raspberry Pi 3 kullanılmıştır. Fakat platform değişse bile benzer donanımsal arayüzlere ve işletim sistemine sahip bir platform üzerinde de Qt çatısı altında yazılan yazılımın ufak değişiklikler dahilinde çalışması mümkündür.

Bu çalışmada Qt5 üzerinde geliştirmeler yapılmıştır. Raspberry Pi depoları üzerinden Qt Creator kurulmak istendiği takdirde Qt4 indirilmektedir. Gerek Qt5 güncel kütüphane araçları gerekse Qt4 bünyesinde yer alan yazılımsal hatalar nedeniyle Qt5 seçeneğinde karar kılınmıştır. Bu sebeple ilgili Qt yazılımı FTP sunucusu üzerinden indirilmesi tavsiye edilmektedir. <https://download.qt.io/archive/qt/5.7/5.7.1/> adresi üzerinden Qt 5.7 versiyonu indirilebilmektedir.

İndirilen .run uzantılı dosya yetkilendirme yapılarak kurulum için çalıştırılabilir hale getirilmelidir. Aşağıdaki komut ilgili işlevi gerçekleştirmektedir.

- yucel@raspberrypi:~ \$ sudo chmod +x ./qt-opensource-linux-x86-5.7.1.run
- yucel@raspberrypi:~ \$./qt-opensource-linux-c86-5.7.1.run

Qt 5.7 kurulum işlemi tamamlandıktan sonra Qt Creator açılarak derleyicinin yüklenip yüklenmediği kontrol edilmelidir. Örnek bir QWidget projesi açılarak derleme işlemi yapılmalıdır. Çalışmalar sırasında derleme işlemi sonrası Şekil 3.20.'deki gibi bir hata ortaya çıktığı görülmüştür.



Şekil 29.20. Qt Creator GL kütüphanesi hatası

Bu hatayı gidermek için aşağıdaki komut satırları işletilmiştir ve hatanın giderildiği görülmüştür.

- yucel@raspberrypi:~ \$ sudo apt-get upgrade
- yucel@raspberrypi:~ \$ sudo apt-get update
- yucel@raspberrypi:~ \$ sudo apt-get install libgl1-mesa-dev

İlgili hata farklı bir yöntemle muhtemel çözümü de mevcuttur. Terminal üzerinden aşağıdaki komut setleri sırasıyla çalıştırılmalıdır.

- yucel@raspberrypi:~ \$ sudo updatedb
- yucel@raspberrypi:~ \$ sudo locate libGL

Komut setleri çalıştırıldıktan sonra terminal üzerinde çıktı olarak /usr/lib/ dizini altında

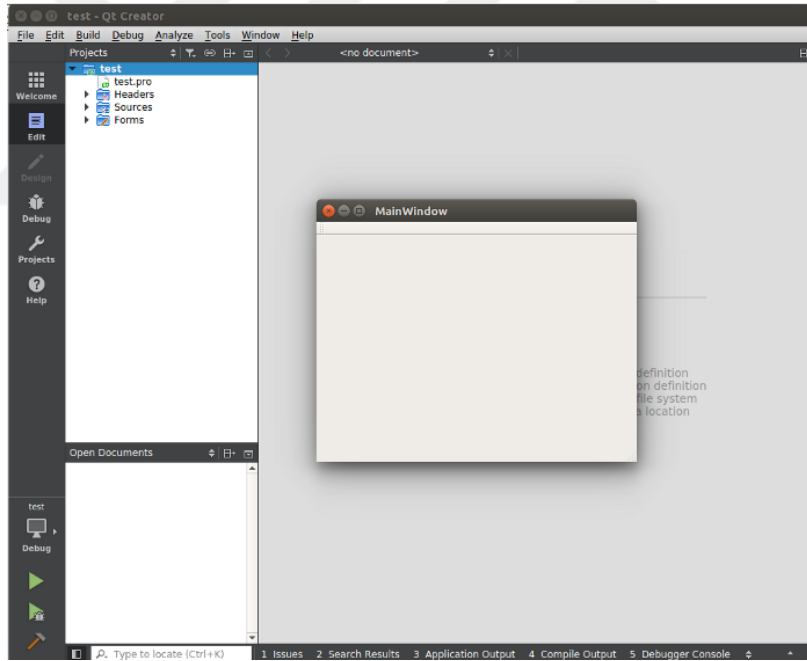
birtakım dosyalar çıkmaktadır. Bu dosyalar kütüphanenin halihazırda yüklü olduğunu göstermektedir. Çıktılar arasında yer alan .so (shared object) uzantılı derlenmiş kütüphane dosyasını libGL kütüphanesine bağlamak gerekmektedir. Aşağıdaki komut seti ile bu işlem gerçekleştirilebilmektedir.

- yucel@raspberrypi:~ \$ sudo ln -s /usr/lib/x86_64-linux-gnu/mesa/libGL.so.1 /usr/lib/libGL.so

Qt Creator altında yazılacak yazılımlara zemin hazırlamak amacıyla aşağıdaki paketlerin de opsiyonel olarak yüklenmesi öngörülmüştür.

- yucel@raspberrypi:~ \$ sudo apt-get install build-essential
- yucel@raspberrypi:~ \$ sudo apt-get install libcap-dev libxtst-dev libpulse-dev libudev-dev libpci-dev libasound2-dev
- yucel@raspberrypi:~ \$ sudo apt-get install libbz2-dev libgrypt11-dev libcups2-dev libgstreamer0.10-dev libgstreamer-plugins-base0.10-dev

İlgili komut satırları gerçekleştirildikten sonra derleme işlemi tekrar yapılmalıdır. Derleme işlemi sonucu örnek bir QWidget çıktısı Şekil 3.21.'de gösterilmiştir.



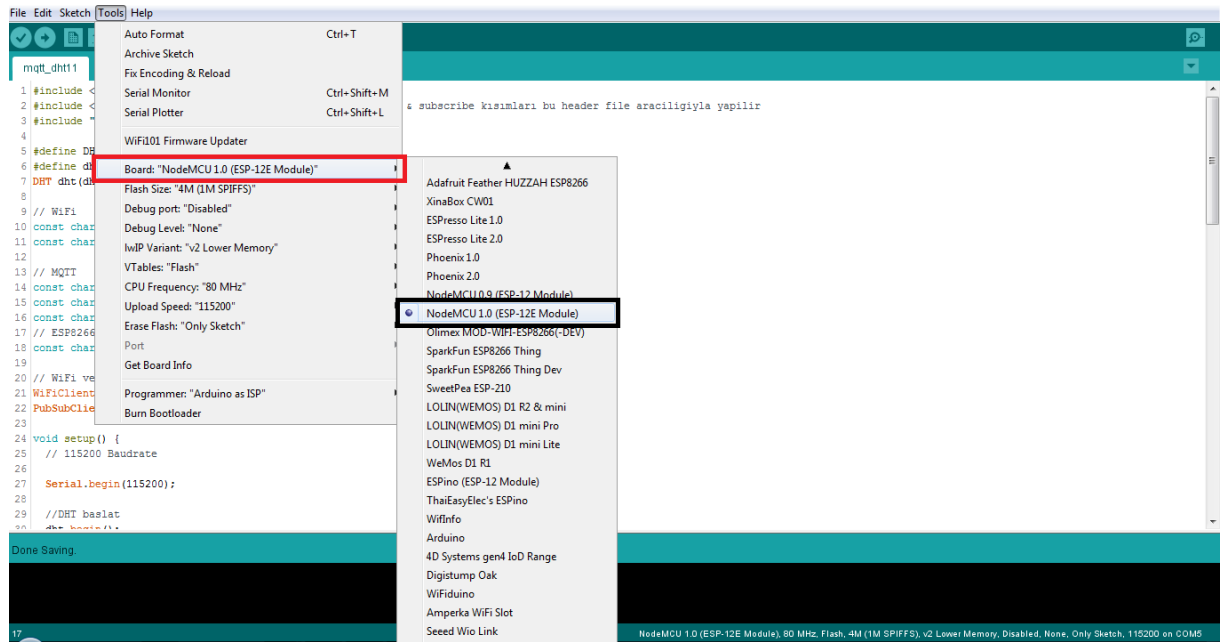
Şekil 30.21. Qt Creator üzerinde QWidget uygulama çalıştırılması

Qt Creator'ın, Raspberry Pi üzerinde çalışması sırasında bir takım yavaşlıklar olabilmektedir. Geliştirme ortamlarının gömülü kartlar üzerine yüklenmesi belleği kısıtlı olan bu tip mini bilgisayarlar için külfetli bir işittir. Bu çalışmada hem geliştirme hem de çalıştırma işlemi Raspberry Pi üzerinde yapılmıştır. Fakat nihai bir çözümde geliştirme ortamının bellek kapasitesi yüksek bir bilgisayar üzerinde yapılması önerilmektedir.

3.3.3. Arduino IDE üzerinde NodeMCU ESP8266 12E paket kurulumu

Sensör düğümü tarafında koşturulacak yazılım için Arduino IDE yazılım geliştirme ortamı kullanılmıştır. Arduino IDE yazılımı içerisinde NodeMCU EPK programlayabilmek için aşağıdaki işlemlerin yapılması gerekmektedir.

Arduino IDE / Tools / Board: Arduino Uno / Boards Manager bölümüne girilip arama kısmına ESP8266 yazılmalıdır. İlgili kısımdan ESP8266 paketi yüklenmelidir. Yükleme işlemi gerçekleştirildikten sonra Şekil 3.22.'de gösterilen kısım Arduino IDE tarafında gerçekleştirilmelidir.

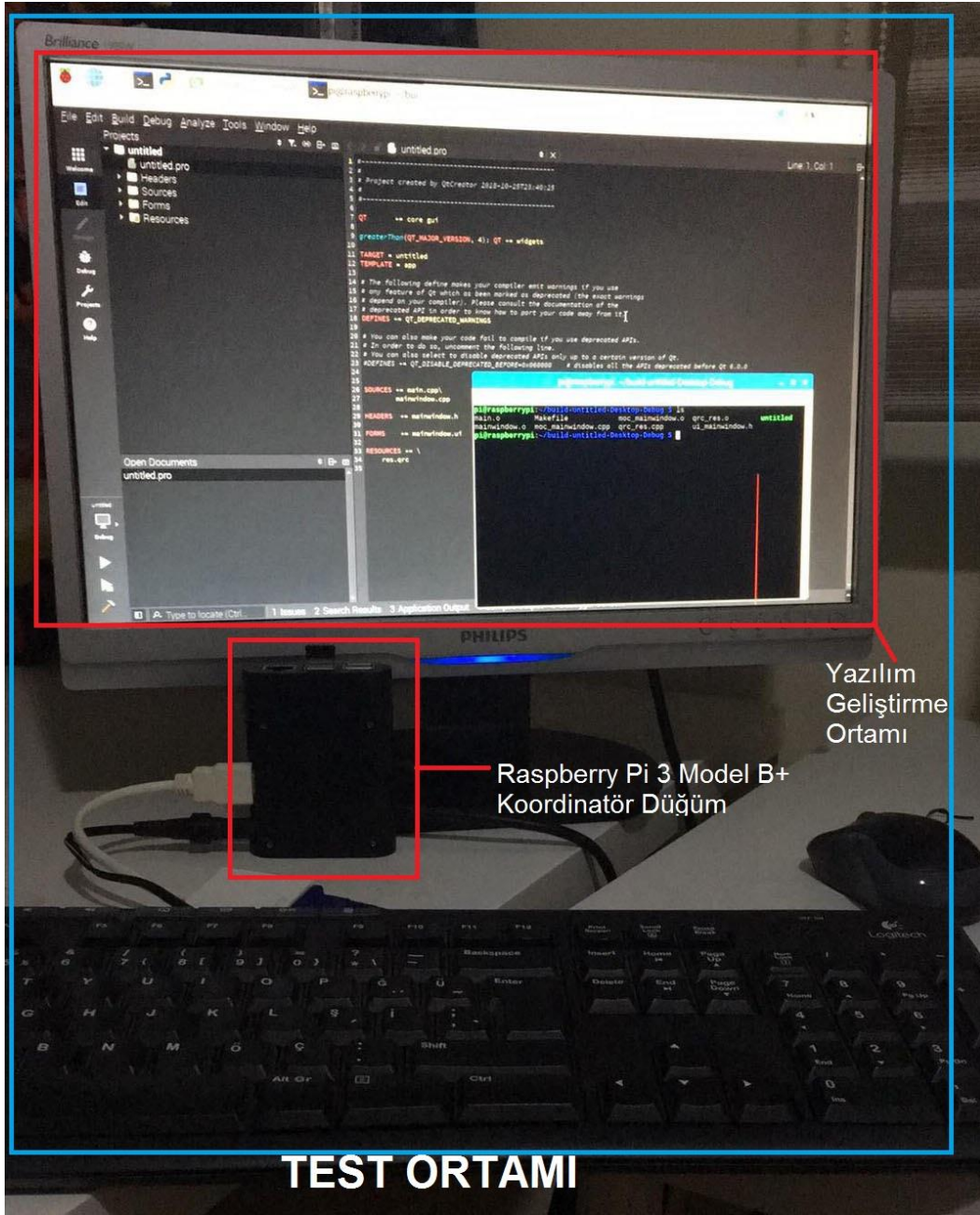


Şekil 31.22. NodeMCU kartının Arduino IDE üzerinde aktif hale getirilmesi

3.4. Tasarımın gerçekleşmesi ve test ortamı

Bu bölümde tasarımı yapılan sistemin gerçekleşmesi anlatılmıştır. Sensör düğümleri fiziksel olarak oluşturulmuş ve MQTT ağına dahil edilmiştir. Raspberry Pi 3 Model B+ koordinatör düğümü üzerinde koşan monitörleme yazılımı üzerinden anlık olarak belli periyotlarda sensör düğümlerinden gelen bağlantı durumları ve sensör verileri takip edilebilmektedir. Aşağıdaki başlıklarda yapılan test çalışmaları verilmiştir.

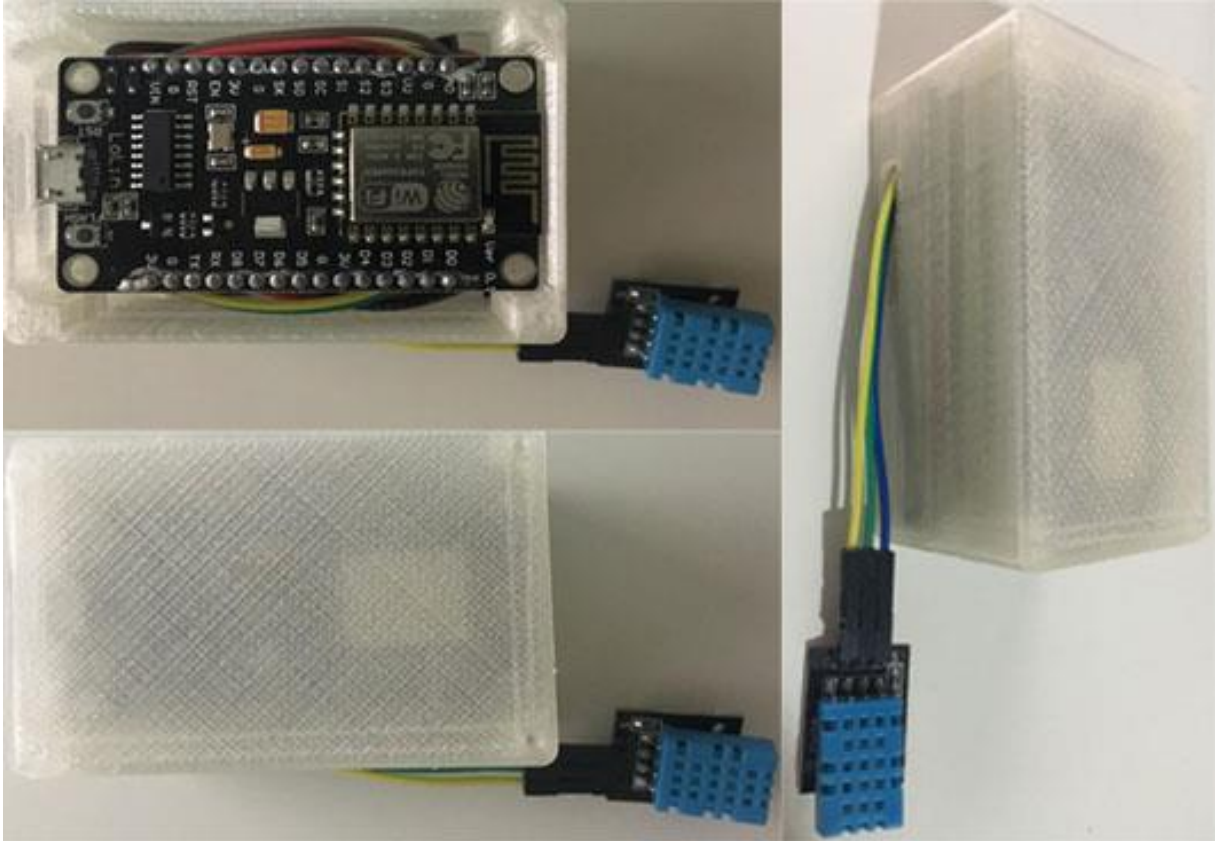
Yazılım geliştirme çalışmaları Raspberry Pi 3 Model B+ üzerinde yapılmıştır. Yazılım geliştirme, koordinatör düğüm ve test ortamı Şekil 3.23'te gösterilmiştir.



Şekil 32.23. Yazılım geliştirme, koordinatör düğüm ve test ortamı

3.4.1. Sensör düğümünün fiziksel gerçekleştirilmesi

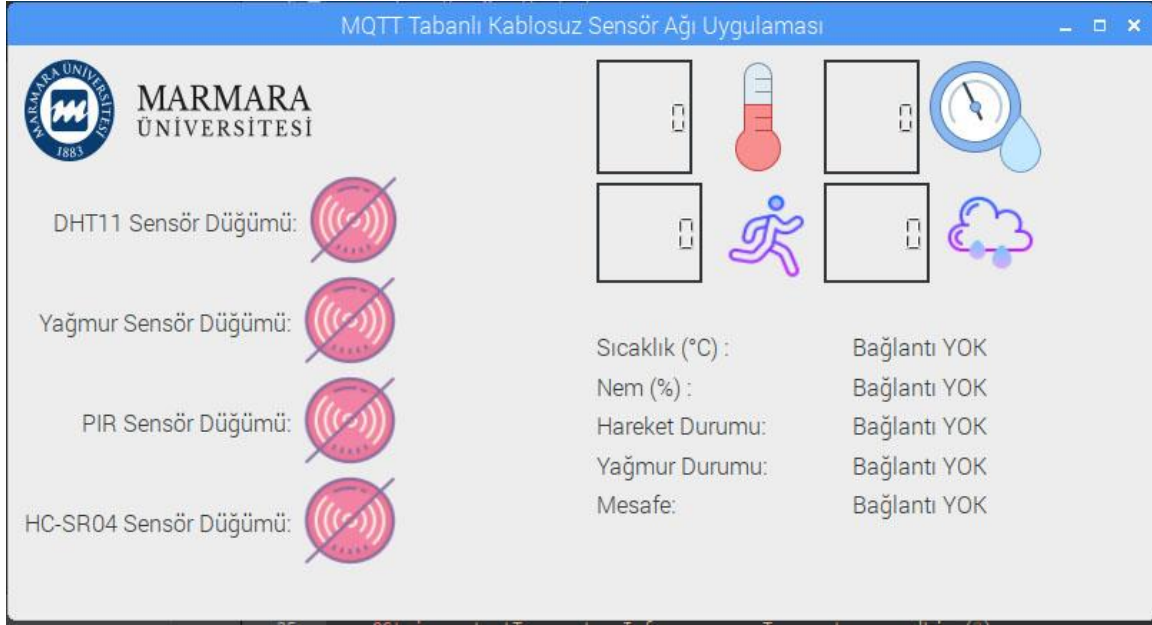
Sistem tasarımı bölümünde anlatılan sensör düğümünün fiziksel gerçekleştirilmesi bu bölümde anlatılmaktadır. NodeMCU V3, batarya 3D yazıcıda basılan bir kutu içerisine koyulmuş, sensör dışarıya alınmıştır. Fiziksel gerçekleştirilmesi yapılan örnek bir sensör düğümü Şekil 3.24.'te gösterilmiştir. Sistemde bu sensör düğümünden 4 adet bulunmaktadır.



Şekil 33.24. NodeMCU DHT11 Sensör Düğümü

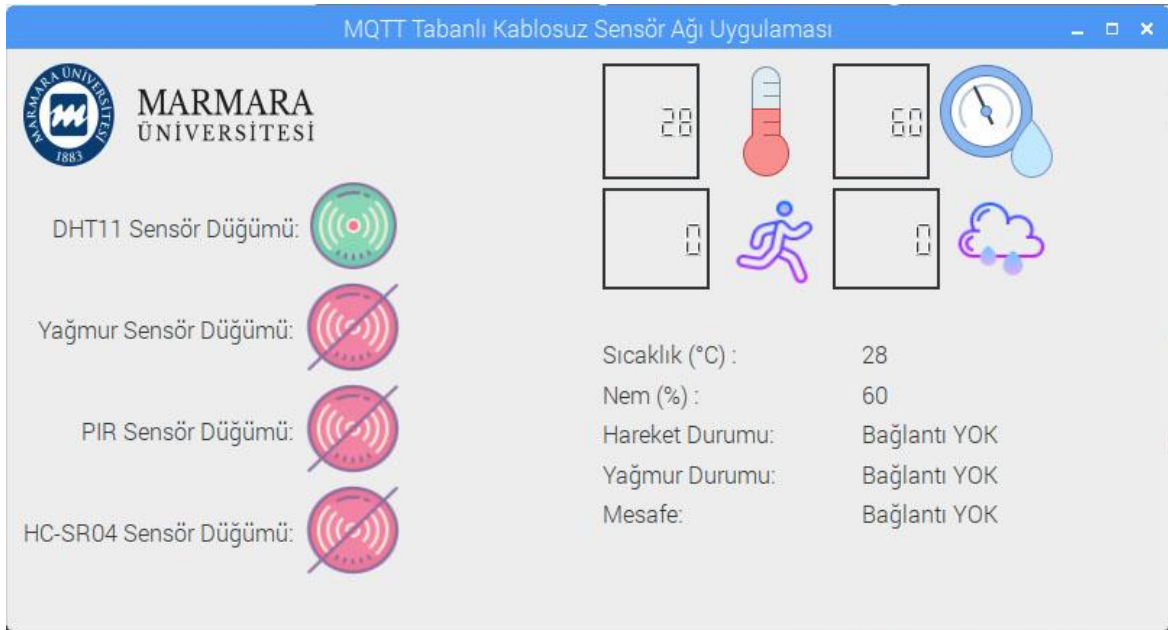
3.4.2. KSA monitörleme yazılımı gerçekleştirilmesi

Sensör düğümlerinden gelen verilerin monitörleneceği yazılım Qt Creator ile C++ dili kullanılarak yazılmıştır. Veri izleme yazılımı kapsamında kullanıcıyla etkileşime girecek grafiksel kullanıcı arayüzü tasarlanmış ve bu arayüz arkasında koçacak kodların tasarımı yapılarak gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. İlgili veri izleme ve monitörleme yazılımı Şekil 3.25.'te gösterilmiştir.



Şekil 34.25. KSA monitörleme yazılımı

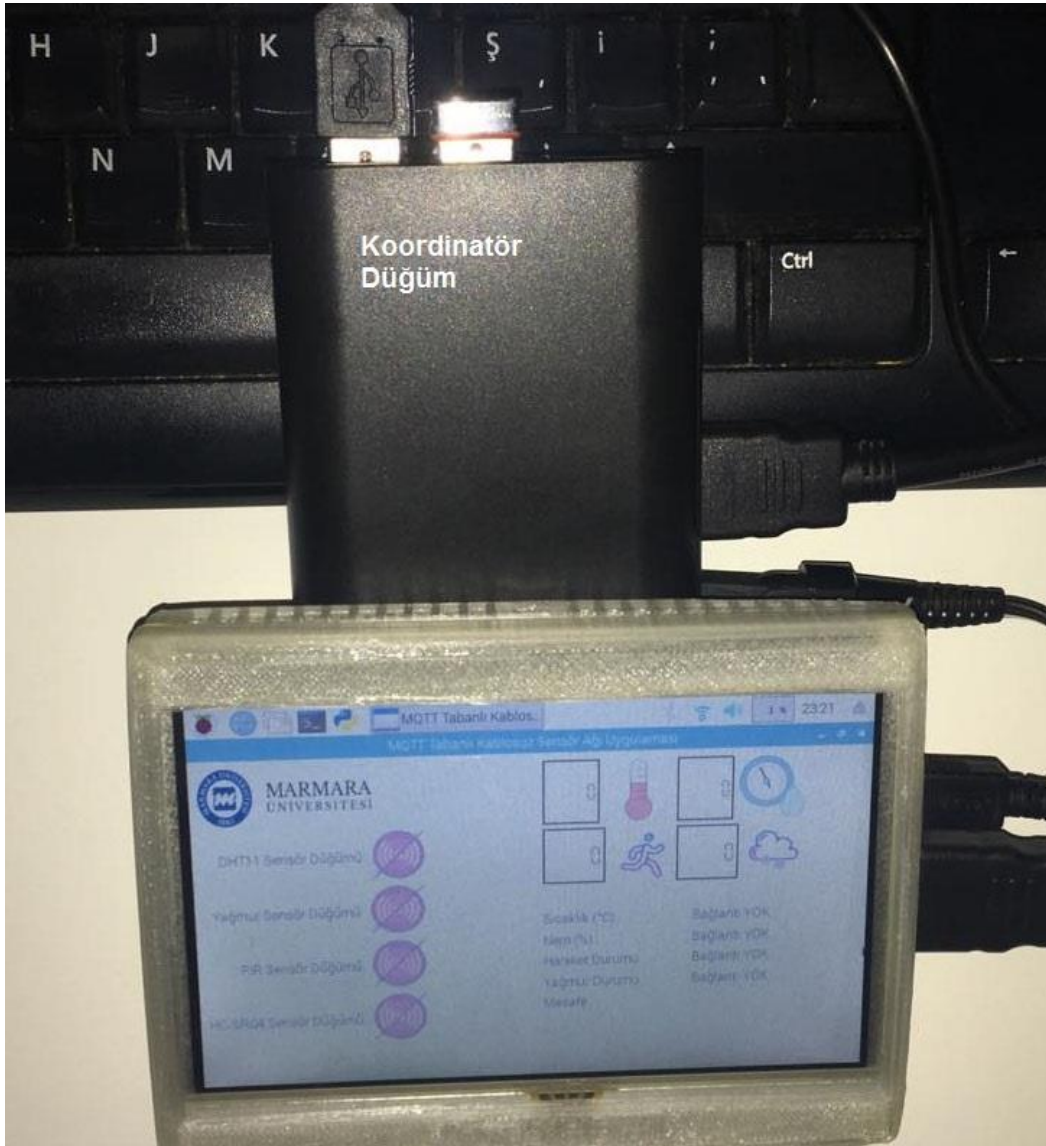
Veri izleme yazılımının sol tarafında yer alan simgeler, sensör düğümünün koordinatör düğüm ile olan bağlantı durumunu göstermektedir. Sensör düğümü koordinatör düğüm ile bağlantı kurduğunda Şekil 3.26.'daki gibi ilgili bağlı olan sensörün simgesel durumu yeşil renge dönmektedir. Sağ kısımda da ilgili sensör düğümünden gelen veriler gösterilmektedir. Örnek olarak DHT11 sensör düğümü aktif edilmiş ve sıcaklık ile nem değerleri elde edilmiştir. Testler oda şartlarında denenmiştir. Monitörlenilen veriler bu durumu doğrular niteliktedir.



Şekil 35.26. KSA monitörleme yazılımında sensör düğümü aktiflik durumu

3.4.3. Koordinatör düğüm ve sensör düğümlerinin testi

Monitör üzerinde yazılım geliştirmesi ve ilk sensör düğümlerinin koordinatör düğüm ile haberleşme testleri yapıldıktan sonra sistemin parçası olan koordinatör düğüm ve dokunmatik ekran tümleştirmesi bu kısımda yapılmıştır. Koordinatör düğüm; dokunmatik ekrana görüntü arabirimi için HDMI, dokunmatik ve güç arabirimi için ise USB üzerinden bağlanmaktadır. 5 inç dokunmatik ekran için 3D yazıcıdan ekran çerçevesi bastırılmıştır. Dokunmatik ekran ve koordinatör düğümün tümleştirilmiş son hali Şekil 3.27.'de gösterilmiştir.



Şekil 36.27. Koordinatör düğüm ve dokunmatik ekran tümleştirmesi

Tümleştirme işlemi tamamlandıktan sonra iki adet sensör düğümüyle test edilmiştir. Yağmur sensörünün çalışılırlığını test etmek için sensör üzerine birkaç damla su damlatılmıştır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada geliştirilen sensör düğümlerinde mikrodenetleyici tabanlı kontrol birimi olarak hızlı elektronik prototipleme amacıyla NodeMCU gibi hazır bir elektronik geliştirme kartı çözümüne gidilmiştir. NodeMCU üzerinde kullanılan ESP12E modülü baz alınarak kullanılacak sensör ve pil gibi bileşenler göz önünde bulundurularak PCB çizilebilir.

Tez çalışmasında kullanılan özellikle sıcaklık ve mesafe sensörleri yapılan çalışma için yeterli olup, profesyonel bir kullanım için yeterli değildir. Pt1000 RTD sıcaklık sensörü gibi daha hassas ve ölçüm kararlılığı yüksek ürünler seçilebilir.

Pil olarak 950mAh değeri yerine 2A-3A gibi Li-Po(Lityum-Polimer) ya da Li-ion(Lityum-İyon) sensör düğümlerine sığabilecek yüksek akıma sahip pil çözümlerine gidilerek sensör düğümlerinin daha uzun süre çevrimiçi olabilmesi sağlanabilir.

Monitörleme yazılımı ve sensör düğüm gömülü yazılım kısmında sensör düğümlerinden gidecek veri sıklığı ile monitörleme yazılımı tarafında alınacak veri sıklığı doğru ayarlanmalıdır. Aksi takdirde sensör düğümleri arasında senkronizasyon sağlanması sıkıntılı olabilmektedir.

Çoklu ve karmaşık KSA topolojisi senaryolarında MQTT kullanımını söz konusu ise MQTT SN(Sensor Network) çözümüne gidilebilir.

MQTT tabanlı kablosuz sensör ağı geliştirilirken koordinatör düğüm tarafında bulut tabanlı yenilikçi çalışmalar da geliştirilebilir.

Sonuç olarak bu yüksek lisans tezi kapsamında geliştirilen uygulamanın amacı, otonom robotlar üzerine yerleştirilebilir sensör düğümleri tasarlanarak MQTT tabanlı kablosuz bir sensör ağı geliştirme konusunda faydalı olmaktır. Yukarıda bahsedilen iyileştirme çalışmaları yapıldığı takdirde, bu çalışma sonucu çıkan uygulamanın daha stabil ve etkin kullanımı sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Q. Wang, K. Xu and H.S. Hassanein, "A Practical Perspective on Wireless Sensor Networks," Chapter 9, Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems (Ilyas/Mahgoub, Eds), CRC Press, July 2004 .
- [2] O.D. Şafak., Z.Halim., Kablosuz Sensör Ağlar ve Güvenlik Problemleri, Sayfa:1-2
- [3] Sensör düğümü, http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network
- [4] Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Güvenli Yönlendirme: Ataklar ve Karşı Önlemler, <https://web.cs.hacettepe.edu.tr/~abc/teaching/bil656/presentations/FatihSaglam.pdf>
- [5] Ç.E.Hüseyin, 2009, "Kablosuz Sensör Ağlarının MicaZ Tabanlı Biyomedikal Uygulaması", Sayfa: 20-21
- [6] Valdastrı, P., Rossi, S., Menciassi, A., Lionetti, V., Bernini, F., Recchia, F.A., and Dario, P., 2007, "An implantable ZigBeeready telemetric platform for in-vivo monitoring of physiological parameters", Elsevier.
- [7] A.Oğuz, B.H.Hasan, "Kablosuz Algılayıcıların Güncel Kullanım Alanları", İstanbul Arel Üniversitesi, İstanbul
- [8] Alan Mainwaring, David Culler, Joseph Polastre, Robert Szewczyk, and John Anderson, "Wireless sensor networks for habitat monitoring," in ACM WSNA'02, GA, USA, 2002.
- [9] Robert Szewczyk et al., "Application driven systems research: habitat monitoring with sensor networks," Communications of the ACM Special Issue on Sensor Networks, vol. 47, no. 6, pp. 34-40, 2004.
- [10] CORIE. [Online]. <http://www.ccalmr.ogi.edu/CORIE/>
- [11] Cao-Hoang, T., & Duy, C. N. (2017). Environment monitoring system for agricultural application based on wireless sensor network. In 7th International Conference on Information Science and Technology, ICIST 2017 - Proceedings (pp. 99–102).
- [12] Fares M.A.Taha, Abdalla A.Osman, Sally D.Awadalkareem, Mysoon S.A.Omer, Razan S.M.Saadaldeem."A Design of a Remote Greenhouse Monitoring and Controlling System Based on Internet of Things", IEEE International Conference on Computer, Control, Electrical and Electronics Engineering (ICCCEEE),1-6(2018)

- [13] Kodali R.K., Soratkal S."MQTT based home automation system using ESP8266", IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference(R10-HTC),1-5(2016)
- [14] Choi W., Hwang D., Kim J., Lee J.(2018) "Fine dust monitoring system based on Internet Of Things", International Conference on Information and Communication Technology Robotics(ICT-ROBOT),(pp. 1-4)
- [15] Jakob, A., Marco, G., Stephanie, K., Robert, G., Christian, K., Tobias, C., & Hanna, L. (2018). A Distributed Sensor Network for Monitoring Noise Level and Noise Sources in Urban Environments. In Proceedings - 2018 IEEE 6th International Conference on Future Internet of Things and Cloud, FiCloud 2018 (pp. 318–324).
- [16] Kodali, R. K., & Yerroju, S. (2018). IoT based smart emergency response system for fire hazards. In Proceedings of the 2017 3rd International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology, iCATccT 2017 (pp. 194–199).
- [17] Ghosh D., Agrawal A., Prakash N., Goyal P. "Smart Saline Level Monitoring System Using ESP32 and MQTT-S" 20th International Conference on e-Health Networking, Application and Services(Healthcom) pp.1-5(2018)
- [18] Mohanasundaram S.V., Joyce A., Naresh K. Sri, Gokulhrishnan G., Kale A., Dwarakanath T.(2018), Haribabu P."Smart water distribution network solution for smart cities: Indian scenario",Global Internet of Things Summit, pp.1-6
- [19] Upadhyay Y., Borole A., Dileepan D.(2016),"MQTT based secured home automation system" 2016 Symposium on Colossal Data Analysis and Networking(CDAN), (pp.1-4)
- [20] Chong, C.-Y.& Kumar, S. P. (2003). Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges,Proceedings of the IEEE 91(8): 1247–1254
- [21] Rashid, R. & Robertson, G. (1981). Accent: A communication oriented network operating system kernel, Proc. of the 8th Symposium on Operating System Principles, pp. 64 75.
- [22] Myers, C., Oppenheim, A., Davis, R. & Dove, W. (1984). Knowledge-based speech analysis and enhancement, Proc. of the International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing.
- [23] Neil Gross, "21 ideas for the 21 st century", Business Week, Aug. 30, 1999
- [24] https://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/2204/tubitak_2018-2022_stratejik_plani.pdf

- [25] M. TimJ, A comparison of IoT gateway protocols MQTT and Modbus, Intel Company
- [26] https://espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf
- [27] Comparison of ESP8266 based Development Boards
<https://blog.squix.org/2015/03/esp8266-module-comparison-esp-01-esp-05.html>
- [28] ESP8266 Datasheet, Espressif System
- [29] Raspberry Pi Foundation, <https://www.raspberrypi.org/about/>
- [30] Kodali, R. K., & Mahesh, K. S. (2016). Low cost ambient monitoring using ESP8266. In Proceedings of the 2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics, IC3I 2016 (pp. 779–782).
- [31] Yun, J., & Lee, S. S. (2014). Human movement detection and identification using pyroelectric infrared sensors. Sensors (Switzerland)
- [32] Idwan, S., Zubairi, J. A., & Mahmood, I. (2016). Smart solutions for smart cities: Using wireless sensor network for smart dumpster management. In Proceedings - 2016 International Conference on Collaboration Technologies and Systems, CTS 2016 (pp. 493–497).

EK 1

DHT 11 sensör düğüm kodları

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include "DHT.h"

#define DHTTYPE DHT11
#define dht_dpin 0

DHT dht(dht_dpin, DHTTYPE);

// WiFi
const char* ssid = "YY";
const char* wifi_password = "WIFI_SIFRESI";

// MQTT
const char* mqtt_server = "192.168.1.77";
const char* mqtt_topic1 = "sensor/sicaklik";
const char* mqtt_topic2 = "sensor/nem";
// ESP8266 cihazı tanımlayan ID
const char* clientID = "nodemcu_temp_humidity";

// WiFi ve MQTT Client initialize kısmı
WiFiClient wifiClient;
PubSubClient client(mqtt_server, 1883, wifiClient); // 1883 MQTT Broker için dinleme portu

void setup() {

    // 115200 Baudrate
    Serial.begin(115200);

    //DHT baslat
    dht.begin();
```

```

Serial.print("Baglaniliyor.. ");
Serial.println(ssid);

// WiFi agina baglan
WiFi.begin(ssid, wifi_password);

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(500);
  Serial.print(".");
}

Serial.println("WiFi baglandi !");
Serial.print("IP adresi: ");
Serial.println(WiFi.localIP());

// MQTT broker baglantisi
if (client.connect(clientID)) {
  Serial.println("MQTT broker'a baglanildi!");
}
else {
  Serial.println("MQTT broker'a baglanilamadi ??!");
}

}

void loop() {

  // MQTT Broker'a veri gonderme kısmi
  float temperatureDHT11 = dht.readTemperature();
  float humidityDHT11 = dht.readHumidity();

  char bufferTemperature[10];
  char bufferHumidity[10];

```

```
dtostrf(temperatureDHT11,0,0,bufferTemperature);
dtostrf(humidityDHT11,0,0,bufferHumidity);

if (client.publish(mqtt_topic1, bufferTemperature)) {
    delay(500);
    Serial.println("sicaklik: ");
    Serial.println(bufferTemperature);
}

if (client.publish(mqtt_topic2, bufferHumidity)) {
    delay(500);
    Serial.println("nem: ");
    Serial.println(bufferHumidity);
}

else {
    Serial.println("Veri gonderilemedi, MQTT Broker'a tekrar baglanilmaya calisiliyor...");
    client.connect(clientID);
    delay(10);
    client.publish(mqtt_topic1, bufferTemperature);
    client.publish(mqtt_topic2, bufferHumidity);
}
}
```

PIR sensör düğüm kodları

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>

const char* ssid = "YY";
const char* wifi_password = "WIFI_SIFRESI";
const char* mqtt_server = "192.168.1.77";
const char* mqtt_topic = "sensor/hareket";
const char* clientID = "nodemcu_pir";

WiFiClient wifiClient;
PubSubClient client(mqtt_server, 1883, wifiClient);

int pirSensor = 13; // digital pin D7
int statusOfPir = LOW;

void setup() {

  Serial.begin(115200);
  Serial.print("Baglaniliyor.. ");
  Serial.println(ssid);

  WiFi.begin(ssid, wifi_password);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }

  Serial.println("WiFi baglandi !");
  Serial.print("IP adresi: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
```

```

if (client.connect(clientID)) {
    Serial.println("MQTT Broker'a baglanildi !");
}
else {
    Serial.println("MQTT Broker'a baglanilamadi ??!");
}
pinMode(pirSensor,INPUT);
}

void loop() {
    statusOfPir = digitalRead(pirSensor);
    char bufferPir[10];
    dtostrf(statusOfPir,0,0,bufferPir);

if (client.publish(mqtt_topic, bufferPir)) {
    if(statusOfPir == HIGH){
        //delay(50);
        Serial.println("hareket algilandi !");
        Serial.println(bufferPir);
    }
    else {
        //delay(50);
        Serial.println("hareket yok ??");
        Serial.println(bufferPir);
    }
}
else {
    Serial.println("MQTT Broker'a tekrar baglanilmaya calisiliyor...");
    client.connect(clientID);
    delay(10);
    client.publish(mqtt_topic, bufferPir);
}
delay(25);
}

```

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yücel YILMAZ
Doğum Yeri / Yılı : İstanbul / 1993
Yabancı Dili : İngilizce, İspanyolca
E-posta : yilmazyucel@yandex.com

Öğrenim Durumu

Derece	Bölüm / Program	Okul	Mezuniyet Yılı
Lise	Elektrik-Elektronik	Denizyıldızları Anadolu Meslek Lisesi	2011
Lisans	Mekatronik Mühendisliği	Sakarya Üniversitesi	2016