

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI İLE YANGIN UYARI SİSTEMİ

MURAT YAZAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRONİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. HERMAN SEDEF**

İSTANBUL, 2015

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI İLE YANGIN UYARI SİSTEMİ

MURAT YAZAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRONİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. HERMAN SEDEF**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI İLE YANGIN UYARI SİSTEMİ

Murat YAZAR tarafından hazırlanan tez çalışması 11.05.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Herman SEDEF
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Herman SEDEF
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Aktül KAVAS
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet SAĞBAŞ
İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, orman yangınlarının erken tespiti ve önlenmesi amaçlanmıştır. Bunu sağlarken günümüzün en popüler konularından biri olan kablosuz haberleşmenin imkânlarından yararlanılmıştır. Orman yangınlarının erken tespiti kablosuz sensör ağları ve makineler arası iletişim uygulamalarından sadece bir tanesidir ve her geçen gün uygulama çeşitliliği ülkemizde ve dünyada hızla artmaktadır. Çalışmamın bu alanda yapılacak çalışmalara fayda sağlamasını ümit ediyorum.

Tez çalışmam boyunca bilgi birikimi ve tecrübelerinden faydalandığım ve bana yol gösterirken göstermiş olduğu sabır ve hoşgöründen dolayı değerli tez danışmanım Prof. Dr. Herman Sedef'e,

Tezimde kullandığım ekipmanların satın alma sürecinde verdiği sponsorluk desteğinden dolayı Netaş Telekomünikasyon A.Ş.'e ve bu sürecin başlamasına önayak olan Netaş'daki değerli yöneticilerim Öner Tekin ve Gülşah Bayram Çetin'e desteklerinden dolayı,

Son olarak desteklerini hep hissettiğim aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2015

Murat YAZAR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTIMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez	7
BÖLÜM 2	
KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI	8
2.1 Kablosuz Sensör Ağlarının Özellikleri	9
2.2 Kablosuz Sensör Ağlarının Uygulama Alanları.....	10
2.3 Kablosuz Sensör Ağlarının Mimarisi	10
2.4 Kablosuz Sensör Ağlarında Kullanılan Haberleşme Teknolojileri.....	11
2.4.1 Bluetooth	12
2.4.2 WiMedia	13
2.4.3 ZigBee	14

BÖLÜM 3

GERÇEKLEŞTİRİLEN SİSTEMİN DONANIMI	19
3.1 Sensör Düğümü	20
3.1.1 Arduino UNO R3 Geliştirme Kartı	22
3.1.2 Sıcaklık Sensörü	23
3.1.3 Mikrodenetleyici	25
3.1.4 Kablosuz Haberleşme Birimi	27
3.1.5 GPS (Global Positioning System)	28
3.1.6 GSM/GPRS Modül	31
3.1.6.1 Güç Kaynağı ve Diğer Özellikleri	33
3.2 Ağ Geçidi (Gateway)	34
3.2.1 Kablosuz Haberleşme Birimi	35
3.3 Donanımsal Platform	35
3.3.1 PIC 16F877 Mikrodenetleyicisi	37
3.3.2 MAX232	40
3.3.3 LM7805 Entegresi	42
3.3.4 LCD Ekran	42
3.3.5 Kristal Osilatör	43
3.3.6 Simülasyon	44

BÖLÜM 4

GERÇEKLEŞTİRİLEN SİSTEMİN YAZILIMI	48
4.1 Mikrodenetleyici Yazılımı	48
4.2 Kullanıcı Arayüzü	53
4.3 Donanımsal Platform	60

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER	65
-------------------------	----

EK-A

IEEE 802.15.4	71
A-1 OSI Modeli	71
A-2 IEEE 802.15.4 Standardı	76

SİMGE LİSTESİ

FC	Kanalların merkez frekansı
TC	Chip hızının tersi
dt	Her uydu ile alıcı arasındaki ortak saat offseti
PRn	Offset değeri varken uydu ile uydu alıcısı arasındaki mesafeler (pseudorange)
Xr,Yr,Zr	Dünya üzerindeki konumumuzu belirten

KISALTMA LİSTESİ

CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
FPGA	Field Programmable Gate Array
GSM	Global System for Mobile
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
SMS	Short Message Service
LCD	Liquid-Crystal Display
USB	Universal Serial Bus
PWM	Pulse-Width Modulation
FTDI	Future Technology Devices International
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
TTL	Transistor–Transistor Logic
I2C	Inter-Integrated Circuit
SPI	Serial Peripheral Interface
SRAM	Static Random-Access Memory
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
DC	Direct Current
RISC	Reduced Instruction Set Computing
ISP	Internet Service Provider
USART	Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
OSI	Open Systems Interconnection
ISO	International Organization for Standardization
TCP	Transmission Control Protocol
HTTP	Hyper-Text Transfer Protocol
MAC	Media Access Control
LLC	Logical Link Control
CRC	Cyclic Redundancy Check
SAP	Service Access Point
IP	Internet Protocol Address
SPX	Sequenced Packet Exchange
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
DOS	Disk Operating System
GIF	Graphics Interchange Format

API	Application Programming Interface
OEM	Original Equipment Manufacturer
RF	Radio Frequency
FFD	Full Function Device
RFID	Reduce Function Device
CSMA-CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
PHY	Physical Layer
LSB	Least Significant Bit
PPDU	Presentation Protocol Data Unit
SHR	Synchronization Header
PHR	PHY Header
SFD	Start-of-Frame Delimiter
PSDU	Physical Layer Service Data Unit
MPDU	MAC Protocol Data Unit
O-QPSK	Offset Quadrature Phase-Shift Keying
PER	Packet Error Rate
CCA	Clear Channel Assessment
PAN	Personal Area Network
GTS	Guaranteed Time Slot
MHR	MAC Header
MFR	MAC Footer
BSN	Beacon Sequence Number
DSN	Data Sequence Number
ITU	International Telecommunication Union
CRC	Cyclic Redundancy Check
FCS	Frame Check Sequence
CAP	Contention Access Period
ID	Identification
LR-WPAN	Low-Rate Wireless Personal Area Network
WI-FI	Wireless Fidelity
ZC	ZigBee Coordinator
ZR	ZigBee Router
AES	Advanced Encryption Standard
VCC	Power-Supply Pin
GND	Ground
3G	Third Generation
M2M	Machine to Machine
CPU	Central Processing Unit
ALU	Arithmetic And Logic Unit
W	Working Register
SFR	Special Function Register
RAM	Random Access Memory
ROM	Read-only Memory
TMR	Timer
SSP	Synchronous Serial Port
SPI	Serial Peripheral Interface
BOR	Brown Out Reset

PCB	Printed Circuit Board
ANSI C	American National Standards Institute for the C
LTE	Long Term Evolution
IMEI	The International Mobile Station Equipment Identity
WPAN	Wireless Personal Area Network
ISM	Industrial Scientific Medical band

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 1 Hedeflenen kablosuz sensör ağının yapısı	5
Şekil 2. 1 Örnek bir sensör ağı.....	11
Şekil 2. 2 Örnek bir Kablosuz kişisel alan ağı.....	11
Şekil 2. 3 Örnek bir Bluetooth kablosuz kişisel alan ağı.....	13
Şekil 2. 4 ZigBee standardının OSI katman modelinde karşılığı	16
Şekil 3. 1 SquidBee sensör düğümü	19
Şekil 3. 2 Sensör düğümünün iç yapısı	20
Şekil 3. 3 Sensör düğümünün iç görünümü	21
Şekil 3. 4 Üstten Arduino UNO R3 görünümü.....	22
Şekil 3. 5 LM35 Sıcaklık sensörü.....	24
Şekil 3. 6 LM35 Sıcaklık sensörünün iç yapısı.....	24
Şekil 3. 7 Atmega328 mikrodenetleyicisi	25
Şekil 3. 8 Atmega328 blok diyagramı.....	26
Şekil 3. 9 Arduino geliştirme kartı için geliştirilen XBee haberleşme modülü	27
Şekil 3. 10 GPS yörüngeleri ve uyduları	29
Şekil 3. 11 İki boyutlu trilaterasyon	30
Şekil 3. 12 Üç boyutlu trilaterasyon	30
Şekil 3. 13 GSM/GPRS modül	32
Şekil 3. 14 HiLo SAGEM GSM/GPRS haberleşme modülü.....	32
Şekil 3. 15 GSM/GPRS modül diagramı.....	34
Şekil 3. 16 Squidbee Ağ Geçidi (Gateway)	34
Şekil 3. 17 XBee kablosuz haberleşme birimi.....	35
Şekil 3. 18 Donanımsal Platform	36
Şekil 3. 19 Harvard mimarisi	37
Şekil 3. 20 Merkezi işlem biriminin içyapısı	37
Şekil 3. 21 PIC 16F877 pin diyagramı	40
Şekil 3. 22 MAX232 entegresi	41
Şekil 3. 23 MAX232 entegre devresi	41
Şekil 3. 24 LM7805 entegresi.....	42
Şekil 3. 25 LM7805 entegre devresi.....	42
Şekil 3. 26 20x4 LCD ekran	43
Şekil 3. 27 Kristal Osilatör	43
Şekil 3. 28 ISIS’de oluşturulan devrenin simülasyonu	45
Şekil 3. 29 ARES’de devrenin baskı devre çizimi	46

Şekil 3. 30 Çizilen devrenin baskı devresi	46
Şekil 3. 31 Devrenin 3 boyutlu olarak üstten görünümü	47
Şekil 3. 32 Devrenin 3 boyutlu olarak yandan görünümü	47
Şekil 4. 1 Örnek bir GPS çıktısı	49
Şekil 4. 2 Örnek bir GPRMC cümlecığı	49
Şekil 4. 3 Mikrodenetleyici üzerindeki yazılımda SMS gönderme algoritması	51
Şekil 4. 4 Sensör düğümünden gönderilen veri paketi örneği	51
Şekil 4. 5 Mikrodenetleyici üzerinde çalışan yazılımın algoritması	53
Şekil 4. 6 Bilgisayar tarafında alınan örnek veri paketi	54
Şekil 4. 7 Arayüz programından bir kesit	55
Şekil 4. 8 Gelen verilerin saklandığı veri tabanı	56
Şekil 4. 9 Tablo görseli ile arayüz programının tam görünümü	57
Şekil 4. 10 Grafik görseli ile arayüz programının tam görünümü	58
Şekil 4. 11 Arayüz programının algoritması	59
Şekil 4. 12 Donanımsal Platform ile birlikte sistemin çalışma diyagramı	61
Şekil 4. 13 Donanımsal platform tarafında alınan veri paketi	61
Şekil 4. 14 Donanımsal platform	62
Şekil 4. 15 Mikrodenetleyici yazılım algoritması	64
Şekil A. 1 OSI katman yapısı ve protokoller	72
Şekil A. 2 IEEE 802.15.4 protokol yapısı	77
Şekil A. 3 IEEE 802.15.4 yıldız ve noktadan-noktaya topolojileri	78
Şekil A. 4 Aktif-beacon ağı içerisinde koordinatör ile veri iletişimi	80
Şekil A. 5 Pasif-beacon ağı içerisinde koordinatörle ile iletişim	80
Şekil A. 6 Aktif beacon ağı içerisinde koordinatörden veri iletişimi	81
Şekil A. 7 Pasif-beacon ağlarda koordinatörden veri iletişimi	81
Şekil A. 8 Fiziksel Katman Protokol Veri Birimi (PPDU) Yapısı	83
Şekil A. 9 SFD alanı veri yapısı	84
Şekil A. 10 Modülasyon ve yayılma fonksiyonları	85
Şekil A. 11 O-QPSK chip kaymaları	87
Şekil A. 12 Darbe şekli ile temel band chip dizisi	87
Şekil A. 13 Genel MAC çerçeve yapısı	90
Şekil A. 14 Çerçeve kontrol alanının yapısı	90
Şekil A. 15 Tipik FCS uygulaması	94
Şekil A. 16 Beacon çerçevesi veri yapısı	95
Şekil A. 17 GTS bilgi alanının yapısı	95
Şekil A. 18 Bekleyen adres bilgi alanının yapısı	95
Şekil A. 19 Süper çerçeve tanımları alanı yapısı	96
Şekil A. 20 Veri çerçevesi yapısı	96
Şekil A. 21 Onaylama çerçevesi yapısı	97
Şekil A. 22 MAC komut çerçevesi yapısı	98

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Frekans bantları ve veri hızları	15
Çizelge 2. 2 ZigBee'nin diğer kablosuz kişisel alan ağı teknolojileri ile karşılaştırılması .	18
Çizelge 3. 1 Arduino UNO R3'un sahip olduğu teknik özellikler	23
Çizelge 3. 2 SMS göndermek için kullanılan AT komutları	33
Çizelge 4. 1 GPRMC cümlecığının içeriği	50
Çizelge 4. 2 Gönderilen veri paketinin içeriği	52
Çizelge 4. 3 Veri paketi içeriği ve içinde kullanılan belirteçler	63
Çizelge 5. 1 Maliyet Analiz Tablosu	67
Çizelge A. 1 Frekans bantları ve veri hızları	82
Çizelge A. 2 Çerçeve uzunluğu değerleri	84
Çizelge A. 3 Sembol-Chip Eşleşmesi	86
Çizelge A. 4 İzgesel güç yoğunluğu sınırları	88
Çizelge A. 5 Alıcı duyarlılığı tanımları	88
Çizelge A. 6 2.4 GHz PHY için minimum alıcı frekans bozulma direnci gereksinimleri ...	88
Çizelge A. 7 Çerçeve tipi alt alanının değerleri	91
Çizelge A. 8 Varış ve kaynak adresleme modu alt alanlarının değerleri	92
Çizelge A. 9 MAC Komut çerçeveleri	99

KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI İLE YANGIN UYARI SİSTEMİ

Murat YAZAR

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Herman SEDEF

Bu çalışmada, kablosuz sensör ağları ile orman yangınlarının tespitini amaçlayan erken uyarı sistemi kurulmuştur. Günümüzde kablosuz sensör ağlarının enerji tüketiminin ve maliyetinin az olmasından dolayı oldukça büyük sensör ağları kurulabilmesi olasıdır. Bu durum coğrafi olarak geniş alanları etkileyen çevresel sorunların izlenmesine olanak sağlamaktadır.

Gerçekleştirilen sistemin yapısı, ormanlık alanlara rasgele yerleştirilmiş sıcaklık algılayıcılarını barındıran mikrodenetleyicili kablosuz sensör düğümlerinden oluşmaktadır. Sistemin çalışmasında ilk olarak, sıcaklık sensörüne sahip düğümler ortamın sıcaklık değerlerini periyodik olarak ölçerler. Ortam parametreleri sensörler vasıtasıyla ölçüldükten sonra mikrodenetleyici yardımıyla dijital verilere dönüştürülür ardından GPS modülünden alınan konum ve zaman gibi verilerle birlikte veri paketleri haline getirilerek ağ geçidi olarak adlandırılan, bilgisayara bağlı özel bir düğüme ZigBee kablosuz haberleşme protokolü kullanılarak gönderilir. Ağ geçidi tarafından bilgisayara gönderilen veriler, bilgisayar üzerinde çalışan bir uygulama yazılımı ile görselleştirilerek ortamın sıcaklığı ve konumu hakkında bilgiler kullanıcıya iletilir. Bilgisayara iletilen ortam parametreleri aynı zamanda bilgisayarda oluşturulan bir veri tabanında sürekli olarak depolanır. Sensör düğümünün tüm bu ana fonksiyonlarının yanı sıra üzerinde bulunan GSM/GPRS modül vasıtasıyla kritik ve alarm durumlarında belirlenmiş bir GSM numarasına uyarı SMS'i gönderilmesi sağlanmıştır. Bu durum sensör düğümünün ZigBee kablosuz haberleşmesinin kopması durumunda alternatif bir bilgilendirme

sağlamaktadır. Bunlara ek olarak bu tezde tasarımı ve gerçekleştirilmesi tamamı orijinal olan bir donanımsal gözlem ve uyarı platformu yapılmıştır. Bu platformda bulunan sıvı kristalli gösterge (LCD) üzerinde ortamın sıcaklığı ve sensör düğümünün tam koordinatları gösterilmektedir. Bu sayede bilgisayar üzerinde çalışan yazılıma alternatif bir bilgilendirme kanalı oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz sensör ağları, sensör düğümü, kablosuz haberleşme, orman yangınlarının erken tespiti, GSM/GPRS, ZigBee

FIRE WARNING SYSTEM WITH WIRELESS SENSOR NETWORKS

Murat YAZAR

Department of Electronics and Communications Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Herman SEDEF

In this study, early warning system that aims detecting forest fires using Wireless Sensor Networks has been founded. Nowadays it can be possible to install quite large Wireless Sensor Networks as they have low energy consumption and cost. This situation has allowed tracking environmental issues which influence wide geographical regions.

The structure of the applied system includes lots of randomly distributed wireless sensor nodes which contain microcontroller and temperature sensors. First of all in this system, the environment temperature has been measured periodically by wireless sensor nodes which contain temperature sensors. After the environment parameters have been measured by sensors, they have been converted to digital data in microprocessor, and afterwards these digital environment data together with location and time information which taken by GPS module build data packages. These data packages have been sent to the gateway which has a direct connection to the computer by using wireless communication protocol ZigBee. The data of environment temperature, location and time information, sent by the gateway, are visualized by software program. The information also has been stored on a database in the computer. Moreover, GSM/GPRS module in the sensor node sends a warning SMS to a particular GSM number if critical situation or alarming situation occurs. This situation provides an alternative notification channel in case there is a failure in ZigBee wireless communication. Furthermore, whole processes of the hardware platform of warning

and observation from its design, implementation to final product are completely done throughout the research. LCD in this platform illustrates the environment temperature and accurate coordinates of the sensor node, so another alternative notification channel addition to software in the computer has been found.

Keywords: Wireless sensor networks, sensor node, wireless communication, early detection of forest fires, GSM/GPRS, ZigBee

GİRİŞ

Son zamanlarda kablosuz haberleşme ve mikro sistemlerdeki gelişmeler Kablosuz Sensör Ağları konusunu cazip kılmaya başlamıştır. Kablosuz sensör ağları çok sayıda sensör düğümünden oluşmaktadır. Sensör düğümü, çevredeki değişimleri ve fiziksel büyüklükleri algılayabilen sensörü, mikrodenetleyiciyi, kablosuz haberleşme birimini ve güç birimini bünyesinde barındıran ve düşük maliyetiyle çok sayıda üretilebilmeye müsait birimlerdir. Farklı birçok sensör tipinin olması uygulama alanlarının da çok geniş olmasını sağlamıştır. Günümüzde çoğunlukla araştırma yapılan başlıca uygulama alanları: askeri uygulamalar, çevresel uygulamalar, sağlık uygulamaları, ev ve ofis uygulamaları.

1.1 Literatür Özeti

Bautel vd. [1] yapmış olduğu çalışmada sensör ağları için donanım ve yazılım platformu tasarlamışlardır. Platformu test etmek amacıyla nesne izleme ve ürün görüntüleme uygulamaları yapılmıştır. Tasarlanan bu platformda kablosuz haberleşme sağlamak amacıyla Bluetooth kullanılmıştır. Bluetooth'un tercih edilmesi kullanımının yaygın olması açısından bir fayda sağlamaktadır fakat geniş band aralığı kullanıyor olmasından dolayı enerji ihtiyacının fazla olması enerji verimliliği açısından sorun teşkil etmektedir. Bautel vd. tasarım alanında farklı bir bakış açısı keşfettiler ve daha güçlü bir mikrodenetleyici, daha fazla hafıza ve Bluetooth radyo frekansı kullanarak programlama konforu ve birlikte çalışabilirliği açısından optimize edilmiş Btnode'u geliştirdiler. Onlar tercihlerini fonksiyonel ve çok yönlü çalışabilen bir hızlı prototipleme platformu oluşturabilmek adına düşük güçte çalışan cihaz teknolojisini

kullanmamaktan yana yaptılar. Bu projede geliştirilen donanım sayesinde çeşitli sensör tipleri kullanılarak birçok uygulama geliştirilebilir [1].

Mainwaring vd. [2] yaptıkları çalışmada kablosuz sensör ağları ile gerçek hayattaki doğal ortamların izlenmesini amaçlamışlardır. Projede deniz kuşlarının yuvalarındaki davranışları ve ortamı izlenmiştir. Maine sahili açıklarındaki küçük bir adada kurulan sistem, mimari olarak 32 sensör düğümünden oluşur ve gerekli bilgiler canlı olarak web ortamına aktarılır. Çalışma gerçek bir doğal ortamda olduğu için en önemli etkenlerin başında enerji verimliliği gelmektedir. Doğal ortam izleme gibi dış ortamlarda gerçekleşen çalışmalarda enerji verimliliğini arttırmak için veri işleme ve filtreleme gibi işlemler yapılabilmektedir. Bunların yanı sıra kablosuz haberleşme sağlamak için düşük güç tüketimine sahip radyo frekansında haberleşen cihazlar kullanılabilir. Projenin sonuçlarını ele alırsak, enerji verimliliği açısından başarı sağlayan projede tasarlanan sensör düğümlerinin yaklaşık yedi aylık kesintisiz yaşam süresine sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen veriler biyologlar tarafından doğrulanmıştır. Canlı veri akışı Java uygulaması ile sağlanmış ve adada bulunan veri tabanı Berkeley'de Intel Research Laboratory'de çoğaltılmıştır.

Kablosuz Sensör Ağlarında son yıllarda teorik ve pratik gelişmeler sayesinde araştırma sayısında artış görülmüştür. Bu artan ilgi çoğunlukla fiziksel ortamdan toplanan bilginin küçük sensörlerden oluşan geniş kapsamlı ağlarda işlenmesi ve uzaktaki bir birime iletimi üzerine olmuştur. Günümüzde kablosuz sensör ağlarının büyük bir bölümü sıcaklık, basınç, nem ya da bir nesnenin yeri gibi skaler fiziksel olayları ele alıyor. Bu uygulamaların çoğunda düşük bant haberleşme yeterlidir ve çoğunlukla gecikmeye karşı toleranslıdırlar. Bu nedenler kurulan kablosuz sensör ağının maliyetinin daha düşük olmasını sağlar. Son zamanlarda CMOS kameralar ve mikrofonlar gibi pahalı donanımların gelişmesiyle, ortamdan video, ses, fotoğraf ve skaler sensör verisi alabilen sistemler geliştirilmeye başlanmıştır. Bu sistemler genel olarak Kablosuz Multimedya Sensör Ağları olarak adlandırılırlar. Donanımdaki hızlı gelişme ve minyatürleştirme sayesinde tek bir sensör cihazı video ve ses verilerini toplayabilmektedir. Multimedya uygulamalarda enerji tüketimi önemli bir sorundur. Multimedya uygulamalarda veri hacmi yüksek olduğu için yüksek hızlı iletme ve veri

işlemeye ihtiyaç vardır. Bu işlemler enerji tüketimini artırmaktadır ve dolayısıyla kurulmak istenen sistemin maliyeti artmaktadır [3].

Römer'in [4] yaptığı çalışmada "Smart Dust" olarak adlandırdığı cihaz sayesinde algılama, hesaplama ve kablosuz haberleşme özelliklerini bağımsız, toz zerresi boyutunda bir cihazda birleştirmeyi öngörmüştür. Çalışmasında uygulama olarak gerçek dünya olaylarını takip edebilecek (örneğin; uzaktan kumandalı oyuncak araba) bir prototip geliştirmiş ve sunmuştur. Sistem düğüm lokalizasyonu, zaman senkronizasyonu ve minik Smart Dust'lardan oluşan büyük ağlarda mesaj düzenlenmesinde yeni teknikler içermektedir. Nesne takibinde en önemli etkenlerin başında farklı sensörlerden gelen verilerin birleştirilip nesnenin yerini tespit edebilmek için, ağdaki tüm sensörler için ortak bir zaman ve uzay referans sistemi gerekmektedir. Fakat Römer'in kullandığı Smart Dust cihazı henüz bu yeterliliğe sahip değildir. Bundan dolayı düğüm lokalizasyonu işleminde sensörlerin lokasyonları tahmin edilmek zorundadır. Zaman senkronizasyonunun çözümü olarak ortak bir zaman skalası oluşturmak için tüm Smart Dust cihazlarının darbe hızlarının senkron olması gerekmektedir. Enerji, boyut, maliyet gibi kısıtlamalar Smart Dust'ı GPS benzeri bir lokalizasyon ve zaman altyapısı ile donatmayı engellemektedir. Bu kısıtlamalara rağmen minik ve enerji verimli sensör düğümleri ile kısmen de olsa takip işlemi yapılabilmektedir.

Kablosuz sensör düğümlerinden oluşan büyük ağlarla su ve toprak gibi çevresel izleme yapılabilmesi için, düğümlerin küçük, hafif, kontrolü az ve basit olması gerekmektedir. Bu tür çevresel uygulamalarda lokalizasyon problemi yani ağdaki sensör düğümünün fiziksel olarak yerinin hesaplanması son derece önemli bir konudur. Bulusu vd. [5] yapmış oldukları çalışmada, konum tespit tekniklerini gözden geçirmiş ve dış çevrede bulunan cihazların konum tespiti için çok basit bağlantı-metrik lokalizasyon tekniğinin etkinliği değerlendirilmiştir. Çalışmada, ağın bütün alanını kapsayan sabit sayıdaki referans noktaları periyodik işaret sinyalleri gönderirler. Düğümler referans noktalarına yakınlıklarını belirlerler ve kendilerine yakın referans noktalarına göre bir ağırlık merkezinde kendi konumlarını belirlerler. Konum tespitinin doğruluğu iki komşu referans noktası arasındaki mesafeye ve bu ikisi arasındaki iletişim uzaklığına bağlıdır.

Çalışmada belirtildiğine göre, ilk deneysel sonuçlar %90'lık doğruluğa ulaştığını göstermektedir.

Vij ve Mehra'nın [6] yayınladıkları çalışmada, kablosuz sensör ağlarındaki sensörlerin ölçümleri üzerindeki gürültünün azaltılması amaçlanmıştır. Sistemde filtrelemeyi sağlamak amacıyla FPGA tabanlı Kalman Filtresi kullanılmıştır. Çalışmada uygulama olarak hedef takibi uygulaması üzerinde çalışılmıştır. Kalman Filtresi sensör ölçümlerindeki gürültüyü azaltan bir metot sağlar ve böylece hedefin gelecekte izleyeceği yol hakkında daha doğru bir tahmin yapılabilmesi sağlar. Deneysel çalışmada bir Xilinx Virtex-4 FPGA kullanılmış ve Kalman filtre modülleri 87 MHz saat frekansına ulaşmıştır. Çalışmadaki filtreleme sayesinde diğer sistemlere nazaran cihaz kullanımında %47,2'lik azalma sağlanmıştır. Bu durum sistemin tükettiği enerjiyi de azaltmaktadır. Düşük cihaz kullanımlı bu tasarım metodolojisi çok küçük cihazlar için oldukça uyumludur.

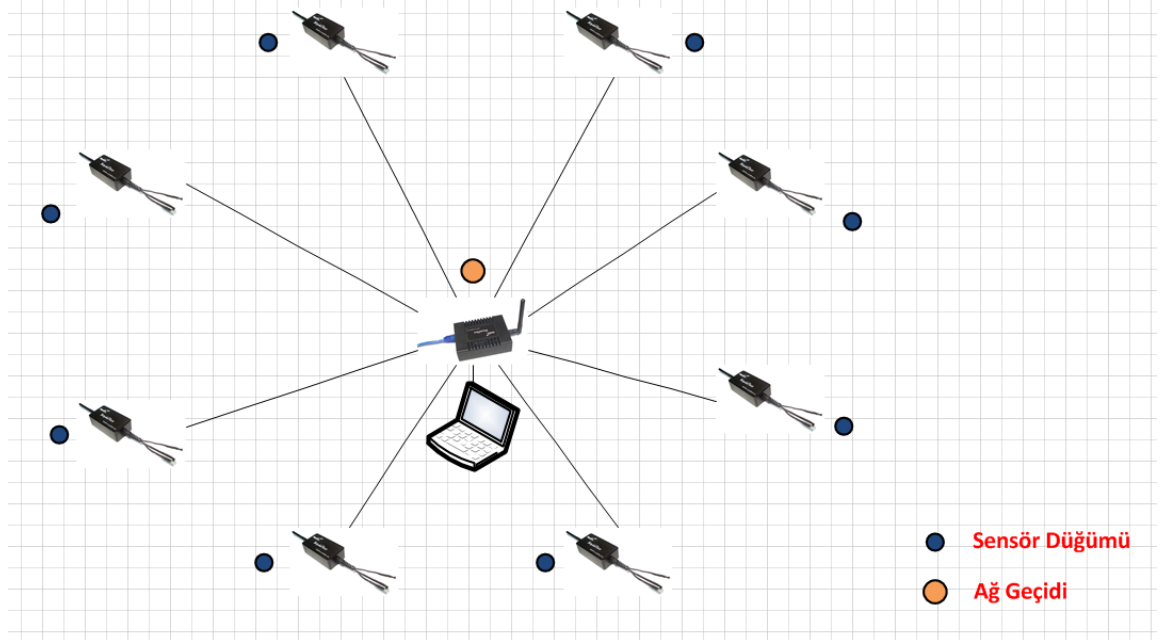
1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, kablosuz sensör ağları ile orman yangınlarının tespitini amaçlayan erken uyarı sistemi kurulacaktır. Günümüzde kablosuz sensör ağlarının enerji tüketiminin ve maliyetinin az olmasından dolayı oldukça büyük sensör ağları kurulabilmesi olasıdır. Bu durum coğrafi olarak geniş alanları etkileyen çevresel sorunların izlenmesine olanak sağlamaktadır. Uygulama kapsam bakımından çevresel değişkenlerin izlenmesi olduğu için; sensör düğümlerinin enerji tüketimleri, küçüklüğü ve düşük maliyetli olmaları büyük önem taşımaktadır.

Projede amaçlanan sistemin çalışma şekli bu ve ilerleyen paragraflarda ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır. Gerçekleştirilecek olan sistemin yapısı, ormanlık alanlara belirli aralıklarla yerleştirilmiş sıcaklık algılayıcılarını barındıran kablosuz sensör düğümlerinden oluşmaktadır. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi uygulanacak çalışmada 8 adet sensör düğümü ve 1 ağ geçidi kullanılarak yıldız topolojisine sahip bir kablosuz sensör ağları kurulması hedeflenmiştir. Kullanılan kablosuz haberleşmenin sağladığı maksimum iletişim mesafesi ormanlık alan gibi açık alanlarda yaklaşık olarak 100 metredir. Bu sayede merkezinde ağ geçidi olan yarıçapı 100 metre olan bir kablosuz

sensör ağı alanı oluşmaktadır. Eşitlik 1.1'de belirtildiği üzere kablosuz sensör ağı kurulduğunda yaklaşık olarak maksimum 31,400 m²lik bir alanda hizmet verebilecektir.

$$A = \pi r^2 = 3,14 \cdot 100^2 = 31,400 \text{ m}^2 \quad (1.1)$$



Şekil 1. 1 Hedeflenen kablosuz sensör ağının yapısı

Sistemin çalışmasında ilk olarak sıcaklık sensörüne sahip düğümler ortamın sıcaklık değerlerini periyodik olarak ölçerler. Ortam parametreleri sensörler vasıtasıyla ölçüldükten sonra mikrodenetleyici yardımıyla sayısal verilere dönüştürülür ardından GPS modülünden alınan konum ve zaman gibi verilerle birlikte veri paketleri haline getirilerek ağ geçidi olarak adlandırılan, bilgisayara bağlı özel bir düğüme kablosuz veri iletişimi kullanılarak gönderilir. Ağ geçidi tarafından bilgisayara gönderilen veriler, bilgisayar üzerinde çalışacak bir uygulama yazılımı ile görselleştirilerek ortamın sıcaklığı ve konumu hakkında bilgiler kullanıcıya iletilmiş olacaktır. Bilgisayara iletilecek olan ortam parametreleri aynı zamanda bilgisayarda oluşturulan bir veri tabanında sürekli olarak depolanır.

Bu tezde, sistemin yukarıda anlatılan kısmına ek olarak donanımsal bir gözlem ve uyarı platformu tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Ağ geçidinin bilgisayara ilettiği veri paketlerinin aynı zamanda bu platforma gönderilmesi sağlanmaktadır. Bu sayede bilgisayardaki arayüz uygulamasının yanı sıra platformdan da sistem takip edilebilecektir.

Bir bölgede yangın olduğunun en temel ve net belirtilerinden birisi ortam sıcaklığıdır. Sensörlerden alınan ortamın sıcaklık değeri, o bölgedeki yangın varlığı veya yangın çıkma olasılığı hakkında fikir edinmemizi büyük ölçüde sağlar. Bunun için erken uyarı sistemi üç ana durumda incelenmektedir. Bunlar;

- **Normal Durum** : Ortam sıcaklığının 40 °C' e kadar olduğu durumları kapsar. Durum koşulları açısından uyarı sistemlerinin çalıştırılmasına gerek yoktur.
- **Kritik Durum** : Ortam sıcaklığının 40 °C' den büyük fakat 60 °C'den küçük olduğu durumları kapsar. Durum koşulları açısından erken uyarı sistemleri çalıştırılmalıdır. Bu durumda sıcaklık değerinin geldiği bölgenin yetkililer aracılığıyla kontrol edilmesi tavsiye edilir.
- **Alarm Durumu** : Ortam sıcaklığının 60 °C'den yüksek durumları kapsar. Durum koşulları açısından erken uyarı sistemleri çalıştırılmalıdır ve yetkililerin acilen bölgeye ulaşmaları gerektiği bildirilmelidir.

Projemizde erken uyarı sistemi çok önemli bir rol oynamaktadır. Erken uyarı sistemi üç ana kısımdan oluşmaktadır. Öncelikle ilk uyarı sistemi Sensör Düğümü üzerindeyken çalışmaktadır. Ortamdan alınan sıcaklık değeri yukarıda belirtilen Kritik veya Alarm durumlarından birine karşı geliyorsa, sensör düğümüne entegre olarak çalışan GSM/GPRS modül sayesinde yetkili kişilere Uyarı SMS'i atılması hedeflenmiştir. Bu sayede sensör modülünün ağ geçidi ile olan kablosuz haberleşmesinde bir sorun olsa dahi uyarı mekanizması çalışacak ve gerekli mevkilere bilgilendirme sağlanacaktır. İkinci uyarı mekanizması ise donanımsal olarak hazırlanan platform tarafından yapılacaktır. Ortam sıcaklığı Kritik ve Alarm durumlarından birine karşı geliyorsa platform üzerinde bulunan LCD ile uyarı mesajları gösterilecektir. Son uyarı mekanizması ise bilgisayar ortamında çalışacak olan arayüz uygulamasında çalışacaktır. Bilgisayardaki arayüzde sensör düğümünden gelen sıcaklık değeri yukarıda belirtilen sıcaklık durumlarından hangisinde olursa olsun, sayısal 3 boyutlu harita üzerinde görselleştirilecektir. Bu görselleştirmede sensörün GPS'den alınan koordinatları kullanarak tam bir yer tespiti yapılmış ve arayüz uygulamasında çalışan sayısal 3 boyutlu harita üzerinde sensörün konumu gösterilerek yer bulma sorunu ortadan kaldırılmıştır. Uyarı sistemi ise Kritik ve

Alarm durumlarındaki sıcaklık değerlerinde arayüz programında UYARI pencereleri ile yapılmıştır.

1.3 Hipotez

Her yıl dünyada ve ülkemizde çok geniş alanları ve milyonlarca insanları etkileyen orman yangınlarının engellenebilmesi için erken uyarı sisteminin avantajı çok önemlidir. Günümüzde orman yangınlarının tespitinde gözetleme kuleleri, gezici korucular ve uydu görüntüleri kullanılmaktadır. Korucu ve gözetleme kuleleri dikkatsizlik, görevlilerin her zaman iş başında olamaması, tüm alanın gerçek zamanlı olarak izlenememesi gibi risklere sahiptir. Uydu izleme sistemlerinin dezavantajları tarama periyodunun yüksek oluşu ve uydu görüntülerinin düşük çözünürlüğe sahip olmasından dolayı yangınları belli bir büyüklüğe eriştikten sonra tespit edilmesine olanak vermektedir. Uydu ve yeryüzü arasına bulutların girmesi de açık ortamlarda yangın tespitini güçleştirecektir. Tüm bu nedenlerden dolayı orman yangını tespiti için en elverişli ve ucuz çözüm kablosuz algılayıcı ağlarıdır [7],[8].

Bu tezin, birinci bölümde ilk olarak kablosuz sensör ağları konusunda yapılmış olan akademik çalışmalar incelenmiş ve bu tezde tutulan yol belirlenmiştir.

İkinci bölümde, kablosuz sensör ağlarının genel tanımı, özellikleri, uygulama alanları ve kullanılacak haberleşme protokolleri açıklanmıştır. Ek olarak bu haberleşme protokolleri arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Üçüncü bölümde, çalışmada yapılacak olan uygulamanın donanımsal özellikleri ayrıntılı bir şekilde açıklanmış ve gerçekleştirilen sistemde kullanılan tüm donanımsal cihazların teknik özellikleri ve teknolojileri anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, gerçekleştirilen sistemin işleyişini denetleyen yazılımların akış diyagramları verilmiş ve algoritmaları açıklanmıştır.

Son olarak beşinci bölümde ise tez çalışmasının sonuçları ve tez çalışması süresince karşılaşılan zorlukları giderme konusunda kazanılan deneyimler verilmiş ve ileride bu konuda çalışma yapacak olan araştırmacılara katkı sağlayacak önerilerde bulunulmuştur.

BÖLÜM 2

KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI

Tez çalışmasının ana konusu olan kablosuz sensör ağları bu bölümde ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Kablosuz sensör ağlarının nasıl çalıştığı, özellikleri, hangi teknolojileri kullandığı ve başlıca kullanım alanları üzerinde durulmuştur. Tüm bunlara değinmeden önce kablosuz sensör ağlarının tanımının yapılması gerekmektedir. Farklı mekânlardaki sıcaklık, nem, ışık, ses, basınç, kirlilik, toprak bileşimi, gürültü seviyesi, titreşim, nesne hareketleri gibi ve fiziksel ya da çevresel koşulları kooperatif bir şekilde izlemek için sensör kullanan ve birbirinden bağımsız çalışan araçlar içeren kablosuz ağlara "Kablosuz Sensör Ağı" denir. Tipik bir kablosuz sensör ağ kablosuz bir ortam aracılığı ile birbirine bağlanmış ve birbirleriyle bilgi alışverişi yapan yüzlerce hatta binlerce sensör düğümünden oluşur. Donanım ve kablosuz sistemlerdeki gelişmeler düşük maliyetli, düşük güç tüketimli, çok işlevli minyatür algılama aygıtlarının üretilmesine olanak sağlamıştır. Bu aygıtlardan yüzlercesi, binlercesi yardımıyla dağıtılmış kablosuz ağ oluşturulabilmektedir. Örneğin bu aygıtlar geniş bir coğrafyaya dağıtılarak kablosuz dağıtılmış kablosuz bir ağ oluşturulabilir. Bu dağıtılan ve ağı oluşturan sensörler işbirliği yaparak bir algılama ağ sistemini oluşturmaktadır. Bir sensör ağı bilgiye her an, her yerden kolayca erişilmesini sağlar. Bu işlevi veriyi toplayarak, işleyerek, çözümleyerek ve yayarak yerine getirir. Böylece ağ, etkin bir şekilde zeki bir ortam oluşmasında rol oynamış olur [9].

2.1 Kablosuz Sensör Ağlarının Özellikleri

Kablosuz sensör ağlarının birçok yararlı özelliği bulunmaktadır. Güvenilirlik, doğruluk, esneklik, maliyet verimliliği, düşük güç tüketimi ve kurulum kolaylığı bu özelliklerin başında gelmektedir. Kablosuz sensör ağları insan bakımına gereksinim duymayan fiziksel olarak ayrılmış pek çok düğüm içerebilir. Düğüm bazında bakıldığında tek bir düğümün kapsamı küçük de olsa, yoğun olarak dağıtılmış düğümler eş zamanlı ve iş birliği prensipleriyle çalışabilir, böylece tüm ağın kapsamı genişletilmiş olur. Ayrıca sensör düğümleri yaşam tehlikesinin olduğu alanlara bırakılabilirler ve dört mevsim işlem yapabilirler, böylece bu düğümler algılama görevlerini her an yürütebilirler.

Kablosuz sensör ağları büyük makrosensörler kullanan ve kullanıcıya kadar kablolamaya ihtiyaç duyan geleneksel sensörlü sistemlerin aksine hem çok daha iyi bir performans gösterirler hem de hataya karşı daha fazla tolerans tanırırlar. Öyle ki; eğer bir makrosensör düğümü hata verir ya da işlemi durur ise; sistem, fonksiyonunu sensörün bulunduğu alanda tamamen yitirirken, aynı alan içerisinde bulunan kablosuz sensör ağlarında mikrosensör düğümlerinin küçük bir kısmı hata verirse, kablosuz sensör ağları kabul edilebilir derecede bilgi üretmeye devam edebilirler, çünkü üretilen veri çok sayıda sensör düğümünden alındığından oldukça fazladır. Ek olarak her sensör düğümü kablosuz iletişim yeteneğine ve sinyal işleme ile veri yaymaya yetecek donanıma sahip olarak üretilir. Sınırlı enerji, işlem gücü ve iletişim kaynaklarına sahip olması geniş bir alanda oldukça yüksek sayıda sensör düğümü kullanımını gerektirmektedir. Bu büyük sayıda sensör düğümü kullanımı sensör ağının hareket eden nesnenin gerçek hızı, yönü, boyutu ve özelliklerini, tek bir sensöre göre daha yüksek bir doğrulukta bildirmesini sağlar. Üstelik kablosuz sensör ağları makrosensörlü sistemdeki karşıtlarından küçültülmüş boyutları, düşük fiyatları ve yerleşim/kurulum aşamasındaki kolaylıkları ile daha düşük maliyete sahiptirler. Aynı zamanda neredeyse tüm çevre ortamlarında uygulanabilirler, özellikle mevcut kablolu ağların çalışmasının imkânsız olduğu ya da kullanılamayacağı ormanlık alanları, savaş alanları, atmosferin dışı, derin okyanuslar gibi yerlerde kullanılabilirler [9].

2.2 Kablosuz Sensör Ağlarının Uygulama Alanları

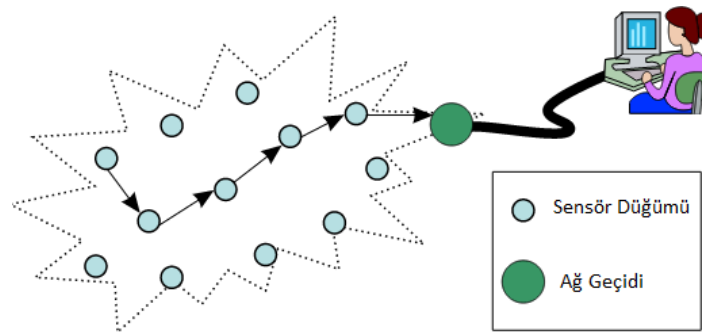
Kablosuz sensör ağlarının gelişiminin başlangıcı her ne kadar askeri uygulamalara dayansa da günümüzde, endüstriyel ve sivil uygulama alanlarında da kullanılmaktadır. Ortam kirliliklerinin belirlenmesi, uzak yerlerin gözlenmesi ve hatta müşteri davranışlarının izlenmesi, sensör ağlarının uygulamaları arasında sayılabilir. Araştırmacılar sensör ağları teknolojilerini, geleneksel kablosuz ağlarla çözülmesi zor olan problemlere uyarlamaya çalışmaktadır [9]. Aşağıda bu çalışmalardan bazı örnekler incelenebilir:

- Habitat (bitki, hayvan) izleme ve çevresel gözlem, hava durumu tahminleme sistemleri
- Sağlık uygulamaları (hasta, doktor takibi, hasta fizyolojik psikolojik durum izleme, vb.)
- Enerji tedarik ve aktarma sistemleri (üretim, dağıtım, tüketim yapılarında)
- Ev ve ofis uygulamaları (akıllı anaokulları)
- Geniş bir metropol alanındaki taksilere sensörler yerleştirilerek trafiğin gözlenmesi ve bu gözlemlere dayanarak rotaların etkin planlanması
- Bir otomobil park yerindeki boş ve dolu alanların sensör ağlarıyla belirlenmesi
- Kablosuz gözetim sensör ağlarıyla alışveriş merkezi, araba garajı veya benzeri tesislerde güvenlik sağlama
- Askeri uygulamalarda düşman hareketlerini belirleme, bulmak ve izlemek için askeri sensör ağlar
- Ormanların yangınlarının gözlenmesi ve nesli tükenmekte olan hayvanların izlenmesi

2.3 Kablosuz Sensör Ağlarının Mimarisi

Kablosuz sensör ağlarında çok sayıda sensör düğümü ve bu düğümlerin üzerinde bulunan bileşenler bulunur. Ağın temel elemanları algılama, veri işleme ve haberleşme özelliğine sahip sensör düğümleridir. Bilindiği gibi sensör düğümleri, herhangi bir kablo

olmaksızın, izleyecekleri ortama rastgele saçılmış halde bulunurlar. Sensör düğümünün ana bileşenleri mikrodenetleyici, alıcı-verici, bellek, güç kaynağı ve bir veya daha fazla sensördür. İzlemenin yapıldığı ortamda toplanan veri genelde 3 seviyede işlenir. Öncelikle; izlenilecek ortamdaki olaylar, sensör düğümleri tarafından algılanır. Her bir sensör düğümü elde ettiği veriyi ayrı ayrı işlemektedir. İkinci olarak; her sensör düğümü algılayıp işledikleri veriyi komşu sensör düğümüne yollamaktadır. Son olarak da işlenen bu verinin kablosuz haberleşme tekniği ile ağ geçidine iletilerek merkeze yollanmasıdır.



Şekil 2. 1 Örnek bir sensör ağı [10]

2.4 Kablosuz Sensör Ağlarında Kullanılan Haberleşme Teknolojileri

Kablosuz sensör ağları projelerinde kullanılan haberleşme teknolojileri genellikle Kablosuz Kişisel Alan Ağı (Wireless Personal Area Network) haberleşme standardını temel alan kablosuz haberleşme protokolleridir. Bu tez çalışmasında bu haberleşme protokollerinden ZigBee kablosuz haberleşme protokolü seçilmiştir. Diğer haberleşme teknolojilerine de bu başlık altında değinilmiştir.



Şekil 2. 2 Örnek bir Kablosuz kişisel alan ağı [11]

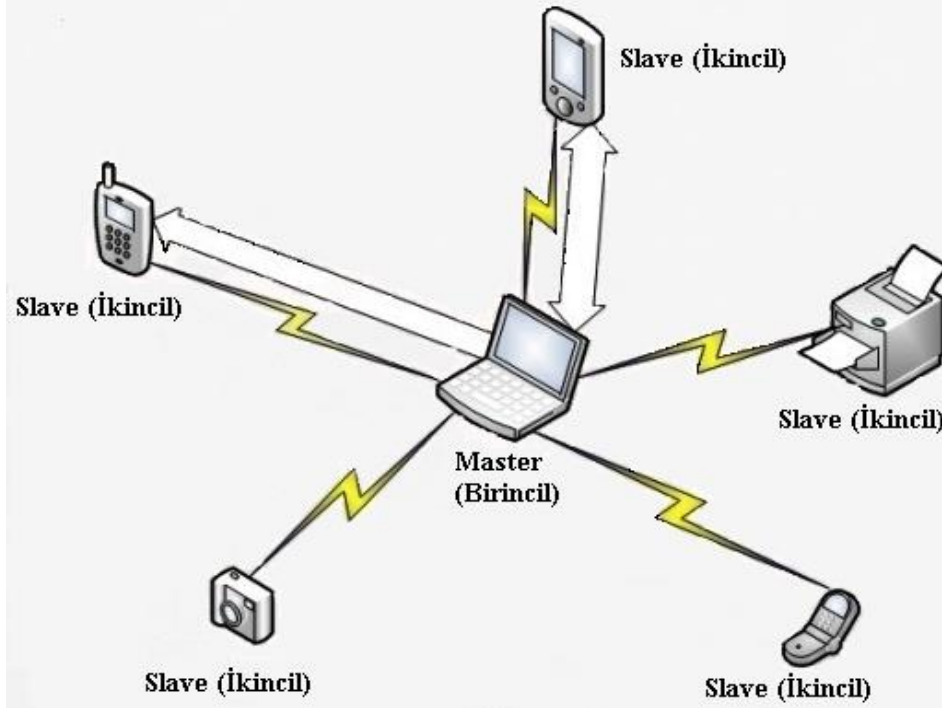
Kablosuz Kişisel Alan Ağı standardı kullanılarak kablosuz veri iletişimi Şekil 2.2'deki gibi gerçekleştirilebilir.

Kablosuz Kişisel Alan Ağı (Wireless Personal Area Network – WPAN) IEEE organizasyonunun veri iletişimi standartlarından biridir ve 802.15 standardı olarak bilinir. Kablosuz Kişisel Alan Ağı, temel olarak kablosuz bağlantı kullanılarak oluşturulan kablosuz kişisel alan ağıdır. IEEE 802.15 (WPAN) standardı tüm sıradan bilgisayar ve iletişim cihazlarının birbirlerine kablosuz olarak bağlanabilmesine olanak sağlar, buradaki temel nokta cihazlar arası uzaklığın yeterli olması ve cihazların aynı kablosuz kişisel ağda olmaları gerektiğidir. WPAN standardının kullanıldığı teknolojilerin önde gelenleri Bluetooth, ZigBee, WiMedia'dır [11].

2.4.1 Bluetooth

Bluetooth kısa mesafelerde güvenlik düzeyi yüksek olan kişisel alan ağları yaratarak sabit ve mobil cihazlar arasında veri alışverişi için kullanılan özel bir açık kablosuz teknoloji standardıdır. Bluetooth, kablo bağlantısını ortadan kaldıran kısa mesafe radyo frekansı (RF) teknolojisi esasına dayanır. IEEE 802.15.1 kablosuz haberleşme standardı temel alınarak geliştirilmiştir. Bluetooth; bilgisayar, çevre birimleri ve diğer cihazların birbirleri ile kablo bağlantısı olmadan görüş doğrultusu dışında bile olsalar haberleşmelerine olanak sağlar. Bluetooth teknolojisi 2.402-2.480 GHz ISM frekans bandında çalışmakta olup, ses ve veri iletimi yapabilmektedir. 720 kbps'a kadar veri aktarabilen Bluetooth destekli cihazların etkin olduğu mesafe yaklaşık 10 ile 100 metredir. Bluetooth teknolojisi ilk olarak 1994 yılında kullanılmıştır. Bluetooth teknolojisi başlangıçta kablosuz olarak RS-232 veri kablosuna alternatif olarak tasarlanmıştır. Bluetooth, frekans atlamalı yaygın spektrum denilen radyo dalga teknolojisini kullanır ve master-slave (birincil-ikincil) yapıya sahip paket tabanlı bir protokoldür [11].

Bluetooth uygulamaları Şekil 2.3'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 2. 3 Örnek bir Bluetooth kablosuz kişisel alan ağı [11]

2.4.2 WiMedia

WiMedia, kısa bir mesafe için frekans bandı çok geniş bir yelpaze üzerinden, düşük güç ile büyük miktarda dijital veri aktarımı için kullanılan kablosuz veri aktarım teknolojisidir. WiMedia Alliance tarafından geliştirilen WiMedia IEEE 802.15.3a haberleşme standardı üzerinde kurulmuştur. Bu haberleşme teknolojisi Bluetooth ve ZigBee'den oldukça farklıdır. Bluetooth ve ZigBee uzun periyotlarda ve küçük bant genişliğinde sinyaller yayarken, WiMedia bunun aksine nanosaniye veya pikosaniyeler gibi kısa periyotlarda büyük bant genişliğinde sinyaller yaymaktadır. Böylelikle WiMedia yüksek hızda veri transferi sağlayabilmektedir. Maksimum veri hızı 480 Mbps'dir. Düşük güç tüketimine sahiptirler. Ağ topolojisi olarak ZigBee kadar alternatifine sahip değildir sadece noktadan noktaya ağ topolojisini desteklemektedir. Maksimum iletişim mesafesi tam olarak bilinmemekle beraber düşük güç tüketimine sahip olduğundan Bluetooth ve ZigBee'den düşüktür. WiMedia 3.1 GHz ile 10.6 GHz frekans aralığını kullanmaktadır. Bu frekans aralığı her biri 528 MHz bant genişliğine sahip toplam 14 kanala bölünmüştür [12]. Uygulama alanı olarak kablo yerine yüksek hızlı veri iletişimi sağlayan projelerde yer bulabilir.

WiMedia yeterli ağ topolojisi sağlayamamasıyla, iletişim mesafesinin düşük olmasıyla ve ihtiyacımızdan çok fazla veri hızına sahip olması nedeniyle bu tezde çalışmaya uygun bir haberleşme teknolojisi değildir.

2.4.3 ZigBee

Tez çalışmasının konusunu oluşturan kablosuz izleme ve kontrol sistemleri tipik olarak çok sayıda nokta veya algılayıcı gerektirmektedir. Buna ek olarak pek çok algılayıcının düşük maliyetli bataryalar ile uzun zamanlar boyunca çalışması ve son derece düşük güç tüketimlerine sahip olması gerekir. Algılayıcılardan gönderilen veri miktarı tipik uygulamalar için sınırlıdır, bu nedenle iletişim bağlantıları düşük hızlı olabilir. Gerek duyulan bağlantılar güvenilir ve düşük maliyetli olmalıdır.

Günümüzde telsiz ve kontrol sistemleri için tescilli çözümler kullanılır. Sistem geliştiricileri için bunun önemli bir avantajı, uygulamalarını standart haline gelmiş ortam üzerine kurmalarındır. Detayları Ek-A'da verilen IEEE 802.15.4 LR-WPAN, telsiz izleme ve kontrol sistemleri için üretilmiş bir standarttır. ZigBee teknolojisi, IEEE 802.15.4 standardının ortam erişim kontrol katmanı (MAC) ve fiziksel katmanı (PHY) üzerinden ağ ve uygulama destek servislerinin işletilmesini sağlar. ZigBee, IEEE 802.15.4 standartları tarafından tanımlanan fiziksel ve MAC katmanları üzerine kurulmuştur. Fiziksel ve MAC katmanlarının üzerinde, ZigBee ağ topolojileri ile veri güvenlik özelliklerini ve uygulama profillerinin birlikte çalışmalarını tanımlar.

IEEE 802.15.4 standardı için üç adet lisanssız frekans bandı tanımlanmıştır. İlk band Avrupa için 868 MHz frekans aralığını sadece bir kanal için kullanır. İkinci band Kuzey Amerika için 915 MHz frekans aralığını 2003 yılında ilk yayınladığında 10 kanal için fakat 2006 yılında kanal sayısı 30'a çıkarılmıştır. Üçüncü band ise dünya geneli için 2.4 GHz frekans aralığını 16 kanal için kullanmaktadır [13]. Tez çalışmasında kullanılan kablosuz haberleşme birimi dünya çapında kullanıma ayrılan 2.4 GHz frekans bandını kullanmaktadır.

IEEE 802.15.4 standardına uyumlu cihazlar bir veya birden fazla frekans bandında Çizelge 2.1'de özetlenen modülasyon ve yayılma biçimlerini kullanarak işletilmelidir.

Çizelge 2. 1 Frekans bantları ve veri hızları

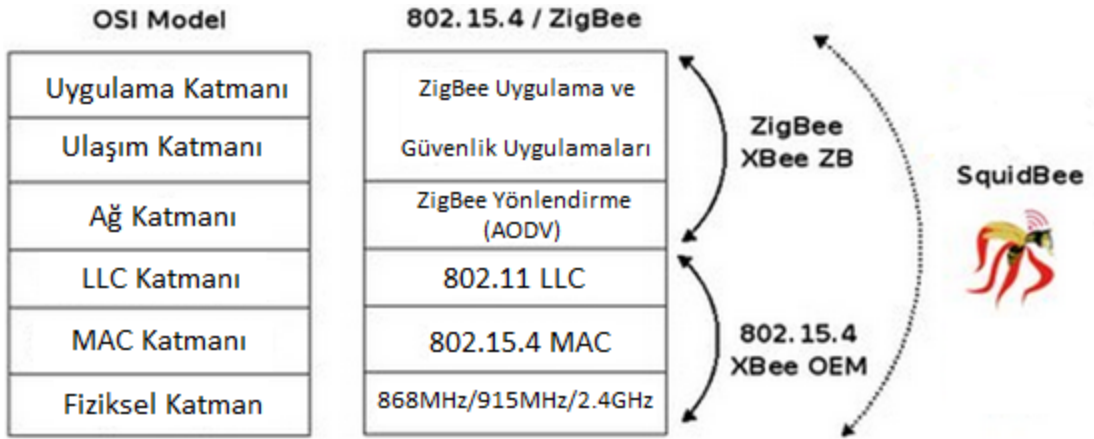
PHY (MHz)	Frekans Bandı (MHz)	Yayımlı Parametreleri		Veri Parametreleri		
		Chip Oranı (kchip/s)	Modülasyon	Bit Oranı (kb/s)	Sembol Oranı (ksymbol/s)	Semboller
868/915	868-868.6	300	BPSK	20	20	İkili
	902-928	600	BPSK	40	40	İkili
2450	2400-2483.5	2000	O-QPSK	250	62.5	16'lı Dikgen

Bluetooth ve WLAN gibi son derece duyulmuş standartlar kablosuz sensör ağları sistemleri için kullanışlı değildirler. Bu standartlar yüksek düğüm maliyetlerine, karmaşık yapıya ve fazla güç tüketen radyo frekans yongalarına sahiptir. Bu sebeplerden dolayı hem düğüm maliyeti yüksek olmaktadır hem de yüksek enerji ihtiyacı olacağından enerji verimli sistemler olmamaktadırlar. IEEE 802.15.4 – ZigBee protokolünün kontrol ve izleme uygulamaları için avantajları şunlardır:

- Gerekli telsiz çözümü için çok miktarda nokta veya algılayıcı bulundurabilmesi
- Düşük sistem maliyetleri,
- Düşük güç tüketen RF yongaları ve protokol sayesinde pahalı olmayan bataryalar ile yıllarca çalışabilmesi,
- Düğümler arasındaki bağlantıların güvenilir ve güvenli olması,
- Ağ kurulumunun basit olması,
- Algılayıcılardan gönderilecek verinin sınırlı olması nedeniyle iletişim bağlantılarının düşük hızlarda çalışması,
- Belirli aralıklarla veri akışı olacağı için zamanın büyük bölümünde güç tasarruf modunda bekleyebilmeleri.

ZigBee standardı OSI modelinde 3 ve üstü katmanları kapsamaktadır. Ana amacı belirli sayıdaki cihazın bir ağ topolojisi içerisinde haberleşmelerini sağlamaktır. Zigbee, 802.15.4'ün üzerine mantıksal ağ topolojisi kurma, güvenlik ve uygulama özelliklerini ekler. ZigBee standardı ZigBee Alliance şirketi tarafından oluşturulmuştur [14]. ZigBee radyo frekansı, düşük veri hızı, uzun pil ömrü ve güvenli ağ gerektiren uygulamalar

hedeflemiştir. Hedefinde bunlar olan ZigBee ormanlık alanlarda yangın tespitini amaçlayan bu çalışmada kullanmaya uygun bir platformdur.



Şekil 2. 4 ZigBee standardının OSI katman modelinde karşılığı [15]

ZigBee'de Düşük Güç Tüketimi

ZigBee'de düşük güç tüketimi ve düşük maliyet amaçlarını IEEE 802.15.4 standardı kullanarak başarabilmek için bazı etkenler bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibidir [15];

- Düşük boyutlarda veri iletimi,
- Düğümlerin kapsama alanlarının düşük olması,
- Kısa zamanlı görev çevrimi (duty cycle); yayın alma ve yayın verme sürelerinin çok kısa ve bu iki süreç arasındaki zaman aralığının uzun tutulmasıyla cihazın aktif çalışma zamanı kısılır, böylelikle daha az güç tüketilir,
- Diğer kablosuz haberleşme protokollerine oranla daha az karmaşık bir yapıya sahip olması,
- Veri iletimi olmadığı durumlarda uyku moduna alma gibi özellikler sayesinde güçlü bir güç yönetimine sahip olmasıdır.

ZigBee Araç Tipleri

ZigBee protokolünün kullandığı 3 tip araç vardır.

ZigBee Koordinatörü (ZC): ZigBee protokolünü kullanan araçların en yetenekli olanıdır. ZC aracı ağ bağlantılarını düzenler ve diğer ağlarla olan köprü kurmayı sağlar. ZigBee koordinatör ayrıca ağda bilgi depolayabilme özelliğine sahiptir. ZigBee koordinatörü

ağda bilgi depolayabilme özelliğinin yanı sıra güvenlik anahtarlarının da ağda yönetilmesi ile ilgili bilgileri depolayabilir.

ZigBee Yönlendirici (ZR): ZigBee’de uygulama çalıştığı zaman yönlendirici kendini ara yönlendirici olarak göstererek veri akışını sağlar. ZigBee sistemlerde geçiş aygıtı (gateway) olarak görev almaktadır.

ZigBee Son Cihaz: Bağlı diğer ZigBee Koordinatör ve ZigBee yönlendirici araçlarıyla iletişim kurmak için yeterli derecede özellik içermektedir. ZigBee Son Cihaz, diğer aygıtlardan veri yayını yapmaz. Ayrıca aradaki bu köprüleme durumu aradaki düğümlerin uyku durumuna geçmesiyle uzun ömürlü kullanıma olanak sağlamaktadır. Ayrıca ZigBee Son Cihazı az miktarda bellekle gerekli işlemleri yapabilmektedir. Bu da maliyetinin ZigBee Koordinatör ve ZigBee Router araçlarından daha az olmasını sağlamaktadır.

ZigBee Güvenlik Hizmetleri

ZigBee güçlü şifreleme tekniği olan AES-128 kullanmaktadır. Bu teknik son kullanıcıya yönelik yenilik sağlayarak, ağda oluşan her türlü farklı işlemi kontrol altında tutarak yapılan saldırıların tekrarlanmasını önleyebilmektedir. ZigBee ayrıca gelen ve giden olarak yenilik sayaçları sağlamaktadır. Oluşturulan bu sayaç her yeni anahtar oluştuğunda sıfırlanır ve böylece sistemin çok kısa periyodlar içinde anahtarlarını yenileyerek çalışmasını sürdürebilmesini sağlar.

Ayrıca ZigBee, sistemler arasındaki bütünlüğü sağlamaktadır. Sağlanan bütünlükten dolayı sistem saldırganın mesajını değiştirip farklı yerlere saldırmasını kolaylıkla önlemektedir. Bütünlük seçenekleri olarak 0, 32, 64, 128 bit kullanılacak seçenekler arasında bulunmaktadır. Fakat ZigBee sistemler varsayılan olarak 64 bit bütünlük seçeneğini kullanmaktadırlar. Ayrıca bu bütünlük seçeneği mesaj koruma ve mesaj değiştirme arasındaki yer değiştirmeyi de sağlamaktadır.

ZigBee sistemler asıllamayı (doğrulamayı) sağlayarak mesajın doğru yere erişip erişmediğini kontrol etmektedir. Ayrıca sistemlerde kullanılan yüksek güvenlik teknikleri ile saldırganın aygıtları başka aygıtmış gibi göstermesi önlenmektedir. Kullanılan bu asıllama aygıt düzeyinde kullanılabildiği gibi ağ düzeyinde de

kullanılabilmektedir. ZigBee sistemlerde kullanılan ağ seviyesindeki asıllama ortak ağ anahtarı kullanarak sağlanmaktadır, aygıt seviyesinde kullanılan asıllama ise yalnızca tek bağlantı anahtarı kullanılarak sağlanmaktadır. Bunların yanı sıra Zigbee şifrelemeyi destekleyerek saldırganın araya girip bağlantıyı dinlemesini önlemektedir ve sisteminde 128 bit AES şifreleme tekniğini kullanmaktadır. ZigBee sistemlerde şifreleme de asıllama gibi ağ seviyesinde ve aygıt seviyesinde kullanılabilmektedir. Ağ seviyesindeki şifrelemede ortak ağ anahtarı kullanılmaktadır, bu sayede çok az bellek kullanılarak saldırganın sisteme sızması önlenmektedir. Aygıt seviyesindeki şifrelemede ise ortak bağlantı anahtarı kullanılmaktadır [16].

Diğer Kablosuz Ağ Teknolojileri ile ZigBee'nin Karşılaştırılması

Çizelge 2.2'de görüldüğü üzere ZigBee kablosuz ağ platformu, pil ömrünün uzunluğu, istenildiği kadar ağ kurma avantajı, sistem kaynaklarını minimumda kullanması sayesinde izleme ve kontrol amaçlı uygulamalarda kullanılabilecek en uygun kablosuz ağ teknolojisidir. Diğer teknolojilere nazaran daha düşük boyutta veri iletimi sağlamasından dolayı bir dezavantaja sahiptir. Bundan dolayı ZigBee teknolojisi kullanılan ağlarda veri iletimi düşük olmalıdır. Ek olarak ZigBee lisans gerektirmeyen frekans bandını kullanır, kurulumu ucuz ve kolaydır.

Çizelge 2. 2 ZigBee'nin diğer kablosuz kişisel alan ağı teknolojileri ile karşılaştırılması

Özellik	Bluetooth	ZigBee	WiMedia
IEEE Standardı	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.3a
Odaklanma Alanı	Düşük veri hızında kablo yerine	İzleme ve kontrol	Yüksek veri hızında kablo yerine
Veri Hızı	720 kbps	20-250 kbps	480 Mbps
Bant Genişliği	2.4 GHz	868 MHz, 915 MHz, 2.4 GHz	3.1 GHz - 10.6 GHz
Anten Gücü	< 100 mW	> 1 mW	< 0.074 mW/GHz
Kapsama Alanı (metre)	1-10	1-100	< 10

GERÇEKLEŞTİRİLEN SİSTEMİN DONANIMI

Bu tez çalışmasında, yangın tespitini gerçekleştirebilmek adına üzerinde bir veya birden çok sensör barındırabilen Libelium şirketi tarafından eğitim ve araştırma amaçlı üretilen SquidBee sensör düğümleri kullanılmıştır. SquidBee, yardımlaşan nesne ve telsiz duyurga ağı fikirlerine dayanarak geliştirilen, geniş ormanlık alanlara kıyasla çok küçük hacimli olması özelliği ile kullanılması istenen bölgeye süratle yerleştirilerek (elle serpilerek, uçak veya helikopterden atılarak) kendi kendine duyurga ağı oluşturabilen yeni çok yönlü bir algılama, bilgi işleme, sınıflandırma ve haberleşme donanımdır.



Şekil 3. 1 SquidBee sensör düğümü

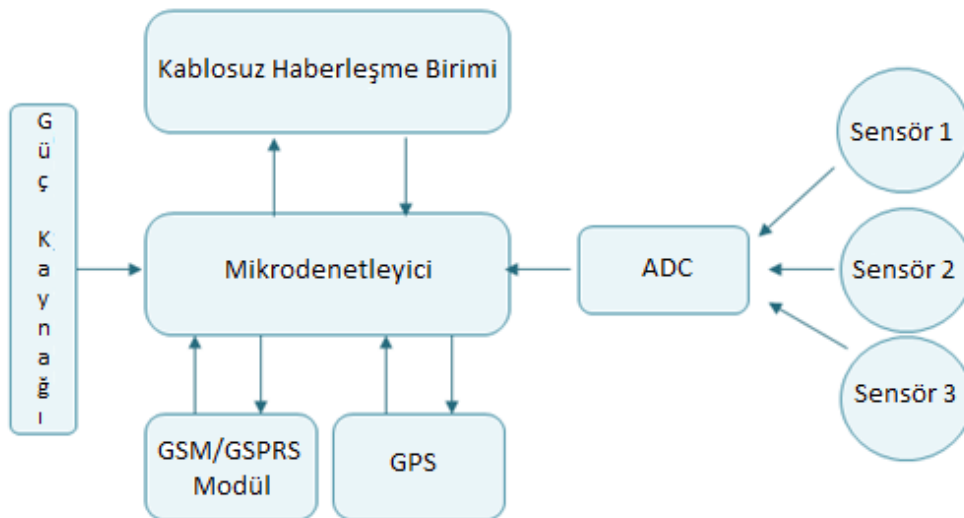
Sensör düğümleri genel yapı olarak mikrodenetleyici, alıcı-verici, bellek, güç kaynağı, bir veya birden fazla sensör gibi ana bileşenlerden oluşmaktadır. Her projenin kullanım amaçları doğrultusunda bu genel yapıya donanımsal bazı ekleme ve/veya çıkarımlar yapılabilmektedir. Gerçekleştirilen projede maliyet sorunları dolayısıyla tek bir sensör

düğümü kullanılmıştır. Bu durum beraberinde bazı kısıtlamalar getirmektedir. Örneğin; sistemde sadece bir tane sensör düğümü kullanıldığı için zaman ve lokasyon tanımlamasında GPS (Global Positioning System) modülü kullanılması gerekmiştir. Fakat birden fazla sensör düğümü kullanılan ağlarda, sensör düğümleri birbirleri ile haberleşebildiği için zaman ve lokasyon tahmininde bulunabilmektedirler. Bunu ağa yerleştirilen konumları bilinen referans noktalarından aldıkları düzenli sinyaller sayesinde yapabilmektedirler. Ayrıca projede maliyeti düşük tutabilme adına sensör düğümünde bellek birimi kullanılmamıştır.

Sensör düğümleri sahip oldukları mikrodenetleyici sayesinde çevreden aldığı ham veriyi sistemin gereksinimleri doğrultusunda işleyerek bir veri paketi halinde kablosuz haberleşme birimine iletir. Birden fazla sensör düğümünün olduğu ağlarda diğer sensör düğümleri ile haberleşerek veri paketini ağ geçidine iletirler. Projede bir tane sensör düğümü kullandığım için veri paketi kablosuz haberleşme vasıtasıyla direkt olarak ağ geçidine iletilmektedir.

3.1 Sensör Düğümü

Sensör Düğümü; ortamdaki sıcaklık değerini üzerindeki sıcaklık sensörü vasıtasıyla alan, aldığı bu sıcaklık değerini içindeki mikrodenetleyici ile sayısal bir veriye dönüştüren ve bunu harici GPS cihazından alınan konum ve zaman bilgisiyle birlikte kablosuz şekilde gönderme kabiliyetine sahip donanım birimidir.



Şekil 3. 2 Sensör düğümünün iç yapısı

Projede Squidbee sensör düğümünün kullanılmasının sebebi bu düğümün açık kaynak donanım ve yazılım kullanan sensör düğümleri olmasıdır. Açık kaynaklı ifadesinin anlamı; düğüm üzerindeki her bir komponent kolaylıkla erişilebilir ve kişisel isteklerimize göre geliştirilebilme yeteneğine sahiptir. Bu sayede sensör düğümüne istediğimiz şekilde donanımsal eklemeler ve çıkarmalarda bulunabilmekteyiz. Örneğin; projede kesin bir konum ve zaman belirlenmesi isteniliyorsa dahili GPS cihazı veya sensörlerden alınan değerleri SMS ve/veya GPRS ile gönderilmesi isteniyorsa GSM/GPRS modülü eklemeleri yapılabilir. Aynı zamanda projedeki ihtiyaçlara bağlı olarak birden fazla sensör tipi kullanılabilir. Bu durum yapmak istediğimiz projede amaçlarımızı yerine getirmede kolaylık sağlamaktadır.

Projede kullanılan sensör düğümü aşağıdaki komponentleri içermektedir.

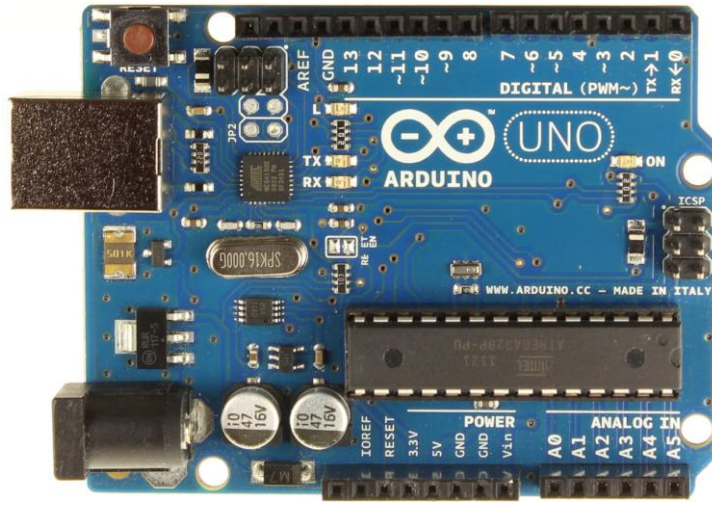
- ATmega328P-PU mikrodenetleyicili Arduino UNO R3 Geliştirme Kartı
- LM35 Sıcaklık Sensörü
- Kablosuz Haberleşmeyi sağlayan ZigBee Modülü
- GPS (Global Positioning System)
- GSM/GPRS Modül



Şekil 3. 3 Sensör düğümünün iç görünümü

3.1.1 Arduino UNO R3 Geliştirme Kartı

Arduino Uno'nun son sürümü olan R3, mikrodenetleyici tabanlı bir açık platform mikrodenetleyici geliştirme kartıdır. Üzerinde 14 dijital giriş-çıkış uçları (bunların 6 tanesi ile PWM sinyalleri üretilebilmektedir), 6 analog giriş, bir 16 MHz kristal osilatör ve bir USB bağlantısı bulunmaktadır. Üzerinde çalışma yapacak araştırmacının ihtiyaç duyacağı her şeyi içeren Arduino UNO R3, USB kablo aracılığıyla bilgisayarlara kolaylıkla bağlanabilir ve programlanabilir. USB üzerinden programlamayı ve haberleşmeyi sağlayan ATmega16U2 kullanılarak eski sürüm kartlara göre daha hızlı veri akışı sağlanmıştır [17].



Şekil 3. 4 Üstten Arduino UNO R3 görünümü [17]

Arduino UNO R3 USB bağlantısı ile veya harici güç girişi ile beslenebilmektedir. Güç kaynağı otomatik olarak seçilmektedir. Geliştirme kartının çalışma gerilimi 5V'dur ve 6-20 V gerilim aralığında harici güç kaynaklarını desteklemektedir. Tavsiye edilen harici giriş gerilimi 7-20V voltaj aralığındadır.

Arduino UNO R3 bir bilgisayarla, başka bir Arduino ile veya farklı bir mikrodenetleyici ile iletişim kurmada birçok imkâna sahiptir. Bu durum onu diğer geliştirme kartlarına göre daha güçlü kılmaktadır. Üzerindeki mikrodenetleyici ATmega328'in sağladığı UART (Universal Asynchronous Receiver / Transmitter) TTL seri haberleşme, geliştirme kartı üzerindeki RX ve TX uçları vasıtasıyla yapılmaktadır. ATmega16U2 çipi sayesinde bu seri haberleşme USB üzerinden yapılmaktadır ve bilgisayar tarafında bir sanal COM portu gibi görünmektedir. Seri haberleşmede ek olarak yazılımsal bir kütüphane ile

mikrodenetleyicinin dijital uçları vasıtasıyla birden fazla seri haberleşme yapılabilmektedir. Projede bu özellik yoğun olarak kullanılmıştır. Örneğin; uygulama çalışmasında kullanılan GPS ve GSM/GPRS modüllerinin mikrodenetleyici ile haberleşmesini bu bahsettiğimiz yazılımsal seri haberleşme ile sağlanmıştır. Ek olarak ATmega328 mikrodenetleyicisi I2C (Inter-Integrated Circuit) ve SPI (Serial Peripheral Interface) haberleşmesini de sağlamaktadır.

Arduino UNO, bilgisayarların USB portlarını kısa ve aşırı akımlara karşı korumak amacıyla resetlenebilir bir elektrik sigortasına sahiptir. Günümüz bilgisayarlarının birçoğunda bu çeşit bir koruma olmasına rağmen, kart üzerindeki sigorta ek bir koruma sağlamaktadır. USB porta 500 mA'den fazla akım uygulanması halinde sigorta bağlantıyı otomatik olarak aşırı akım ortadan kalkana kadar keser.

Çizelge 3. 1 Arduino UNO R3'un sahip olduğu teknik özellikler

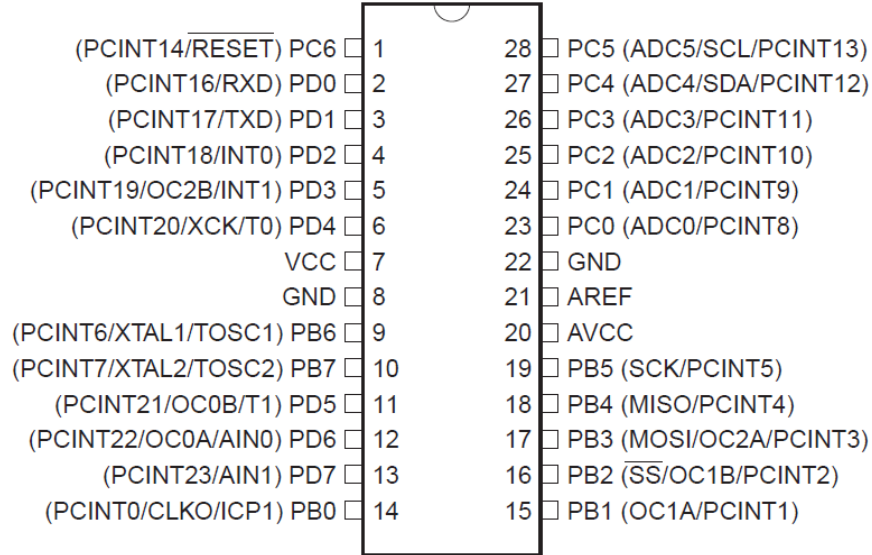
Mikrodenetleyici	ATmega328
Çalışma Gerilimi	5V
Giriş Gerilimi (Tavsiye Edilen)	7-12V
Giriş Gerilimi (Limitler)	6-20V
Dijital Giriş/Çıkış Uçları	14 (6 tanesi ile PWM sinyalleri sağlanabilir.)
Analog Giriş Uçları	6
Giriş/Çıkış Uçları başına DC akım	40 mA
3.3V ucu için DC akım	50 mA
Flash Hafıza	32 KB (ATmega328)
SRAM / EEPROM	2 KB (ATmega328) / 1 KB (ATmega328)
Saat Hızı	16 MHz

3.1.2 Sıcaklık Sensörü

Sensörler fiziksel ortam ile elektronik ortam arasında bir köprü görevi görürler. Bu cihazlar çevremizdeki mekanik (uzunluk, ağırlık, kuvvet, ivme vb.), termal, elektriksel,

3.1.3 Mikrodenetleyici

Arduino UNO R3 geliştirme kartı üzerine harici olarak konum ve zaman bilgisini kesin doğrulukta alabilmek için bir GPS cihazı, kablosuz ağ içinde haberleşmeyi sağlayabilmek için XBee modülü ayrıca kritik ve alarm durumlarında uyarı amaçlı SMS atmaya yarayan GSM/GPRS modül bulunmaktadır. Bu komponentlerin her birinin çalışma prensipleri ve aldıkları veya gönderdikleri verilerin yapıları çok farklıdır. Dolayısıyla geliştirme kartı üzerinde bu komponentlerin hepsini kontrol edebilmek ve onlardan alınan verileri istediğimiz şekilde yorumlayıp üzerinde değişiklik yaptıktan sonra yine bu komponentler vasıtasıyla istenilen birimlere iletilebilmesi için bir mikrodenetleyici ihtiyacı bulunmaktadır. Arduino geliştirme kartı üzerinde bu işlemleri yapılabilmesi için ATMEL firmasının ürettiği Atmega328 tipi mikrodenetleyici kullanılmıştır.



Şekil 3. 7 Atmega328 mikrodenetleyicisi [19]

Atmega328 mikrodenetleyicisi düşük güç tüketimine sahip RISC mimarisine sahip bir mikrodenetleyicidir. Düşük güç tüketimine sahip olması sensör düğümünün açık alanda herhangi bir güç kaynağı bulamayacağı göz önüne alındığında büyük önem taşımaktadır.

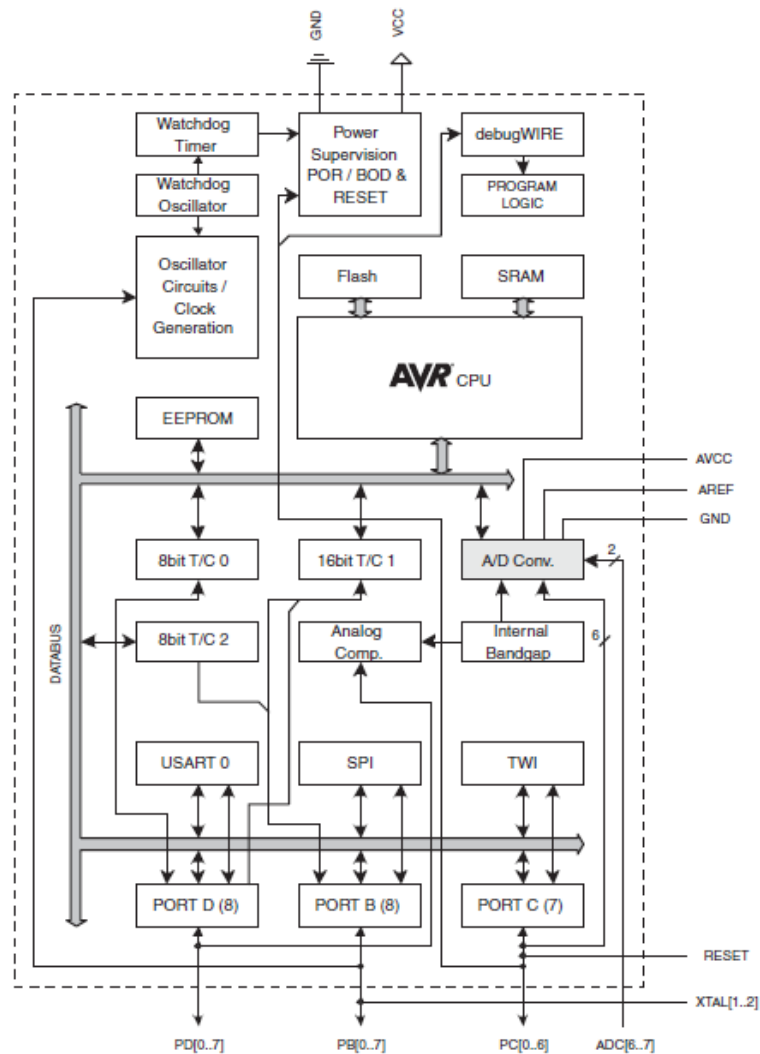
Atmega328 mikrodenetleyicisi hafıza açısından; 32 kB yazarken-okuma yeteneğine sahip ISP flash hafızasına, 1 kB EEPROM, 2 kB SRAM'a sahiptir [19]. Sensör düğümünde sensörden okunan sıcaklık değerleri ve GPS cihazından alınan konum ve zaman bilgileri

anlık olarak işlenip ağ geçidine gönderildiği için çok yüksek hafıza gereksinimi bulunmamaktadır.

Denetleyici haberleşme açısından; seri programlanabilir USART, bir byte tabanlı seri arayüz, SPI seri porta sahiptir [19]. Sensör düğümünde ağ geçidine gönderilecek veri paketi seri port aracılığıyla XBee modülüne iletilmektedir.

Ek olarak mikrodenetleyicimiz 23 adet genel amaçlı giriş-çıkış uçlarına, 32 adet genel amaçlı kaydedicilere, 3 adet zamanlayıcı/sayıcıya, dahili ve harici kesmelere ve bir adet 6 kanallı 10-bit Analog-Dijital dönüştürücüye sahiptir [19].

Çalışma gerilimi 1.8V ile 5V aralığına sahip mikrodenetleyicinin çalışma sıcaklığı aralığı ise -40 °C ile 85 °C aralığındadır. Oda sıcaklığında 1 MHz darbe hızında ve 1.8V giriş geriliminde 0.2 mA akım çekmektedir [19].



Şekil 3. 8 Atmega328 blok diyagramı [19]

3.1.4 Kablosuz Haberleşme Birimi

Sıcaklık sensöründen alınan sıcaklık verisi ile GPS'den alınan konum ve zaman bilgileri mikrodenetleyici tarafından işlenip veri paketi haline getirildikten sonra kablosuz haberleşme vasıtasıyla ağ geçidine iletilmektedir. Sensör düğümlerinin kablosuz haberleşmesini Zigbee protokolünü kullanarak Arduino XBee modülü gerçekleştirmektedir. Arduino XBee modülü Arduino işbirliği ile birlikte Arduino geliştirme kartlarında kullanılmak üzere yapılmıştır. Arduino Xbee modülünün haberleşme standardı olan IEEE 802.15.4 hakkında ayrıntılı bilgi Ek-A kısmında bulunmaktadır.

Arduino XBee Modülü

Projede ZigBee protokolü ile çalışan Maxstream XBee 2 serisi kablosuz haberleşme birimleri kullanılmıştır. Yapılan uygulamada kullanılan 2 adet Maxstream XBee modülden bir tanesi ağ geçidi (gateway) görevini üstlenmekte diğeri ise sensörden bilgi toplayan son cihaz üzerinde çalışmaktadır.



Şekil 3. 9 Arduino geliştirme kartı için geliştirilen XBee haberleşme modülü

XBee Modüllerinin Genel Özellikleri

Maxstream XBee 2 serisi RF modüllerinin genel özellikleri [20]:

- Kapalı alanda 30 metreye kadar haberleşme sağlar.

- Açık alanda 100 metreye kadar haberleşme sağlar.
- Verici gücü 0 dBm (1 mW), alıcı hassaslığı -92 dBm'dir.
- RF veri iletim hızı 250,000 bps'dir.
- Veri gönderirken (Tx) 45 mA, veri alırken (Rx) 50 mA ile çalışarak düşük güç tüketimini sağlar.
- AT komut modunu desteklidir.
- Noktadan noktaya, bir noktadan birçok noktaya, bir uç birimden diğer uç birime ve örgü topolojilerini destekler.
- ISM 2.4 GHz bandını kullanır.
- 16 farklı kanalda yayın yapabilme özelliğine sahiptir.
- -40 ila 85 °C aralığında çalışabilir.
- Besleme gerilimi 2,8 – 3,4 V aralığında olmalıdır.
- UART veri haberleşme bağlantıları, VCC, GND, yeniden başlatma, uyku modu, PWM, sayısal ve analog giriş/çıkışları olmak üzere toplam 20 adet bağlantı noktası vardır.

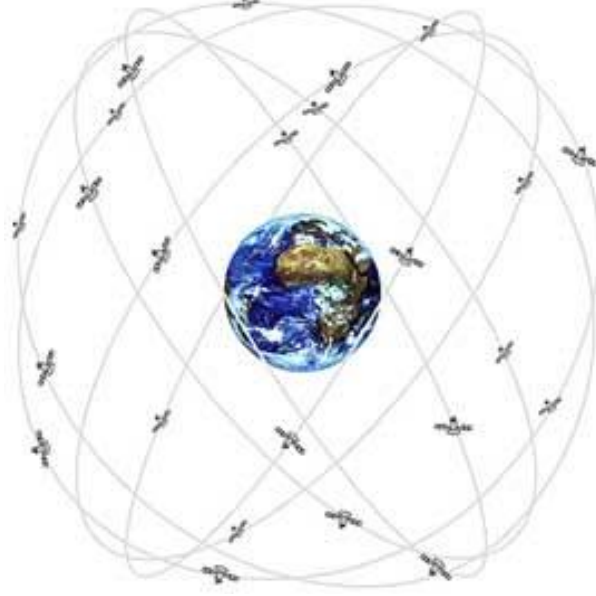
3.1.5 GPS (Global Positioning System)

Türkçe'ye Küresel Konumlama Sistemi olarak çevrilen GPS (Global Positioning System), herhangi bir yerde ve zamanda, her türlü hava koşullarında, ortak bir koordinat sisteminde konum ve zaman bilgisi elde etmeye olanak veren küresel bir konum belirleme sistemidir.

Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı tarafından kurulan ve işletilen bu sistem orta irtifa uydularına bir örnektir. Sistemin ilk kuruluş hedefi tamamen askeri amaçlardı. GPS alıcıları yön bulmakta, askeri çıkartmalarda ve roket atışlarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Ancak, 1980'lerden sonra GPS sivil amaçlar için kullanılmaya başlanmıştır.

Dünya'dan yaklaşık 18000 km uzaklıkta yörüngede sürekli dönen 24 uydudan oluşur. Yörüngedeki bu uydular radyo sinyalleri yayarlar ve dünya üzerindeki GPS alıcıları bu sinyalleri alarak konum ve zaman belirlenmesi mümkün olur. Bu sistem 6 yörüngede

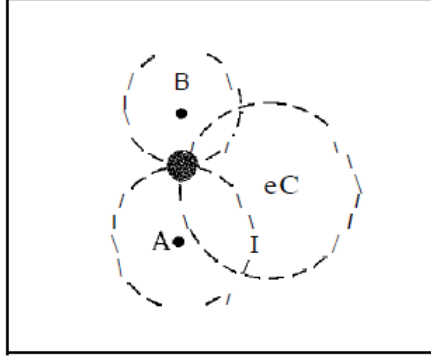
toplam 24 uydudan oluşur. Bu yörüngeler ve her bir yörüngedeki uyduların konumları, dünyanın herhangi bir noktasının herhangi bir zamanda 4 uydu tarafından görülebilir olması göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır [21].



Şekil 3. 10 GPS yörüngeleri ve uyduları

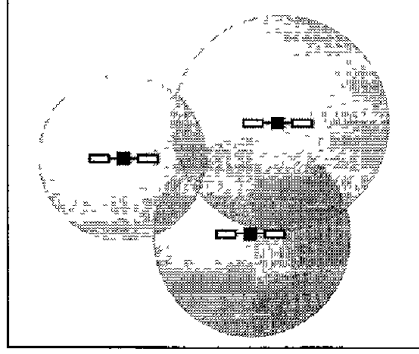
GPS ile konum hesaplanması trilaterasyon olarak bilinen temel bir matematik işlemine dayanır. Trilaterasyon yöntemi iki ya da daha fazla noktaya olan uzaklığı bilinen bir koordinatı bulma yöntemidir. Bilinen noktalar merkez, bilinen uzaklıklar ise yarıçap olarak alınarak çemberler çizilir. Bu çemberler kesiştirilerek istenilen koordinat bulunur. Eğer dünya üzerinde bulunduğumuz noktanın herhangi bir 3 noktaya olan uzaklığını biliyorsak, bulunduğumuz noktayı tam olarak bilebiliriz [21].

Örneğin; A noktasına olan uzaklığımız 10 km, B noktasına olan uzaklığımız 12 km ve C noktasına olan uzaklığımızın 15 km olduğunu varsayalım. Eğer A, B ve C noktalarını merkeze alarak belirtilen uzunluklar için daireler çizersek, bu dairelerin birleşme noktası tam olarak bizim bulunduğumuz nokta olur. Bu durum 2 boyutlu trilaterasyon için verilmiş bir örnektir [21].



Şekil 3. 11 İki boyutlu trilaterasyon

3 boyutlu uzayda durum biraz daha farklıdır. Şekil 3.12`de gösterildiği gibi 3 adet küre iki ayrı noktada kesişir. Bundan dolayı uzayda tam olarak yerimizi enlem, boylam ve yükseklik olarak tespit edebilmemiz için en az 4 adet küreye ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 3. 12 Üç boyutlu trilaterasyon

GPS ile temel bir konum hesaplaması yapabilmek için GPS alıcısı iki bilgiye ihtiyaç duyar. Bunlar; en az 3 uydunun konum bilgisi ve bulunan yer ile uydular arasındaki konum bilgisi. GPS alıcıları bu bilgileri GPS uydularından gelen düşük güçlü, yüksek frekanslı radyo dalgalarından analiz eder. Daha kaliteli ünitelerde çoklu alıcı kullanılır. Böylece daha fazla uydudan aynı anda sinyal alabilir. Radyo dalgaları elektromanyetik enerjilerdir. Yani ışık hızında hareket edebilirler. Alıcı sinyalin geliş zamanından ne kadar uzaktan geldiğini bulabilir [21].

GPS alıcıları GPS uyduları ile arasındaki mesafeyi sinyalin geliş süresinden hesaplamaktadır. Sinyalin uydudan alıcıya geliş arasında geçen gecikme sinyalin seyahat zamanıdır. Bu ölçümü yapabilmek için alıcı ve uydunun nanosaniyeler seviyesinde senkronize olmalıdır. Bu senkronizasyonu sağlamak için alıcı ve uyduda

atomik saat kullanılması gerekir. Ancak atomik saatler 50.000 ile 100.000 dolar arasında fiyata sahip oldukları için günlük kullanım için oldukça pahalıdır [21].

GPS bu senkronizasyon sorununa zekice ve uygun bir çözüm bulmuştur. Her uydu pahalı bir atomik saat içerir ancak alıcılarda klasik quartz saatler bulunmaktadır. Böylece her uydu ile alıcı arasındaki bilinmeyen bir offset değeri aynıdır. Bu durumda dünya üzerindeki tam konumumuzu bulmak için 4 değişkenin bilinmesine ihtiyaç vardır. Bunlar; dünya üzerindeki konumumuzu belirten X_r, Y_r, Z_r bilgileri ve her uydu ile alıcı arasındaki ortak saat offsetini belirten dt 'dir. Bu dört değişkeni bulabilmek için bizim en az 4 denkleme ihtiyacımız vardır. İhtiyacımız olan 4 adet denklemi offset değeri varken ölçülen uydu ile uydu alıcısı arasındaki mesafelerle (*pseudorange*) elde edebiliriz. Bunun için en az 4 adet uyduya ihtiyaç duyulmaktadır [21].

$$PR_1 = [(X_1 - X_r)^2 + (Y_1 - Y_r)^2 + (Z_1 - Z_r)^2]^{1/2} + c \cdot dt \quad (3.2)$$

$$PR_2 = [(X_2 - X_r)^2 + (Y_2 - Y_r)^2 + (Z_2 - Z_r)^2]^{1/2} + c \cdot dt \quad (3.3)$$

$$PR_3 = [(X_3 - X_r)^2 + (Y_3 - Y_r)^2 + (Z_3 - Z_r)^2]^{1/2} + c \cdot dt \quad (3.4)$$

$$PR_4 = [(X_4 - X_r)^2 + (Y_4 - Y_r)^2 + (Z_4 - Z_r)^2]^{1/2} + c \cdot dt \quad (3.5)$$

Alıcılar dört veya daha fazla uydudan alınan sinyale bakarak kendi hatasını bulabilir. Böylece alıcı gerçek zamanı bulabilecektir.

3.1.6 GSM/GPRS Modül

GSM/GPRS modül sayesinde sensörün bulunduğu düğüme geniş kapsamlı kablosuz haberleşme imkanları sağlanmıştır. Bu sayede sahadaki sensör düğümü ile ağ geçidi arasındaki bağlantı kopması durumunda kablosuz haberleşmeyi sağlayacak alternatif bir kanalımız bulunmaktadır. Tez çalışmasında GSM/GPRS kullanılmasının ana sebebi ek bir uyarı mekanizması olarak işlev görmesidir. Ormanlık alanda ortam sıcaklığı belirlenen değerleri aştığı anda yetkili kişilerin cep telefonlarına SMS gönderimiyle uyarı sistemi sağlanmış olmaktadır. Bu sayede sürekli olarak bilgisayar başında personel beklemesinin önüne geçilmekle beraber düğümler arasındaki ZigBee kablosuz haberleşmesi koptuğunda bu sistem varlığını sürdürecektir.

Çalışmada HiLo SAGEM marka GSM/GPRS modülü kullanılmıştır. Modül tam dört band (850/900/1800/1900 MHz) aralıklarını desteklemektedir. Kablosuz haberleşmenin kurulabilmesi için bir antene ihtiyaç duyulmaktadır. Dataların SMS yoluyla gönderilmesinin yanı sıra Arduino'dan herhangi bir cep telefonuna kayıp çağrı yapılmasında, iki farklı Arduino cihazını birbirine kablosuz olarak bağlanmasında veya GPRS özelliği sayesinde internet bağlantısı kurulmasında kullanılabilir. İnternet tabanlı projelerde 3G GSM modülleri kullanılabilir.



Şekil 3. 13 GSM/GPRS modül

Daha evvelde bahsedildiği üzere modül HiLo SAGEM firmasının ürettiği bir haberleşme modülünü kullanmaktadır. Bu haberleşme modülünün ana kullanım amacı makineler arası (M2M) uygulamalarda kullanılmasıdır. Piyasadaki makinalar arası uygulamalar için üretilen GSM/GPRS modülleri arasında en küçük boyutlu modül olması dolayısıyla projenin boyutlandırmasında rahatlık sağlamaktadır [22]. Aynı zamanda uygulamanın içeriğine uygun olarak hoparlör veya mikrofon gibi komponentler bu modüle bağlanabilmektedir. Projede kullanılan haberleşme modülü düşük güç tüketimi ile tüm GSM/GPRS haberleşme yeteneklerini yerine getirmektedir.



Şekil 3. 14 HiLo SAGEM GSM/GPRS haberleşme modülü

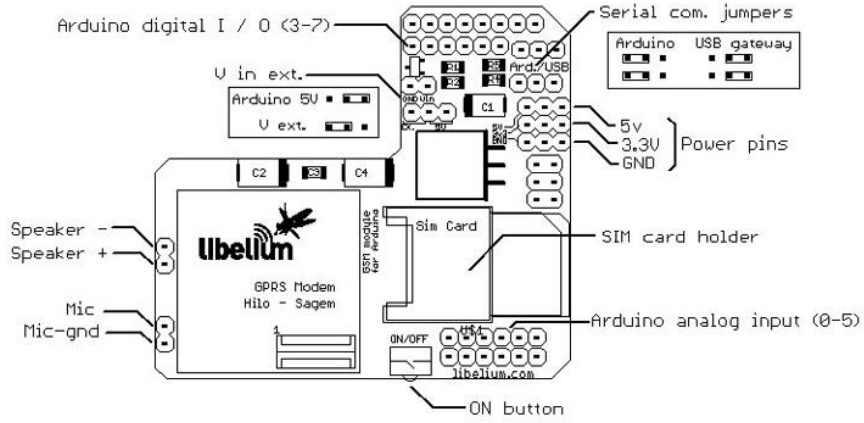
Modül AT komutları ile kontrol edilmektedir, AT komutları GSM haberleşmesinde modüllerin yığın (stack) yapısına göre değişen komutlar kümesidir. Bu komutlar sayesinde GSM/GPRS modülün çağrı alma/gönderme veya SMS alma/gönderme gibi tüm işlemleri yapmaları sağlanır. Projede haberleşme birimi Arduino modülü üzerinde çalıştığı için onun üzerindeki mikrodenetleyici tarafından AT komutları yönlendirilmektedir. Projede kullanılan SMS gönderme işleminin AT komutları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3. 2 SMS göndermek için kullanılan AT komutları [23]

Komut	Dönen Cevap	Açıklama
AT	OK	OK gelirse, modül ile olan iletişim çalışıyor demektir.
AT+CPIN="*****"	OK	SIM kart kilitliyse PIN numarası girilir.
AT+COPS?		Operatör bilgilerini getirir.
AT+CSCA?		SMS servis merkez numarasını getirir.
AT+CMGF=1		SMS formatı seçilir (1=text mode)
AT+CMGS="*****"		***** mesaj gönderilmek istenen cep telefonu numarası girilir.
.....		İstenilen mesaj yazılır
1A(hex)		Mesaj komutunun sonlandığını belirtir ve mesaj gönderilir.

3.1.6.1 Güç Kaynağı ve Diğer Özellikleri

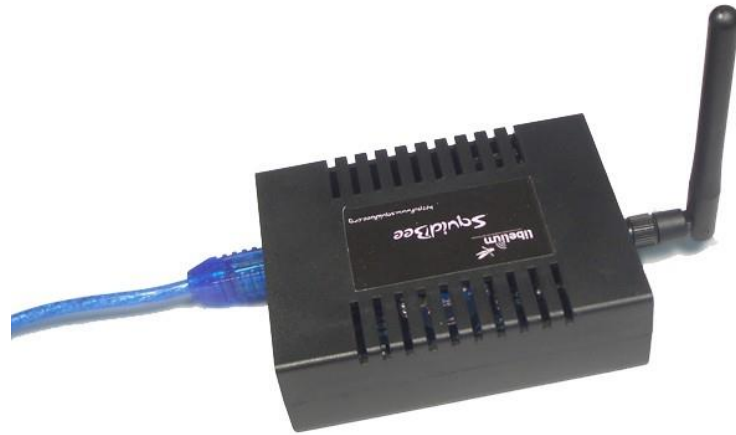
HiLo haberleşme modülü besleme gerilim aralığı 3.2-4.5V olan ve 2.2A akım verebilen bir batarya veya DC/DC dönüştürücü ile beslenebilir [22]. Yukarıda da bahsedildiği üzere kullanılan HiLo SAGEM haberleşme modülü makineler arası uygulamalar için geliştirilen bir modül olduğu için çok düşük güç tüketimine sahiptir. Bekleme modunda yani çağrı veya SMS alabilir durumda iken 1.5 mA'den az bir enerji tüketimine sahiptir.



Şekil 3. 15 GSM/GPRS modül diagramı [23]

3.2 Ağ Geçidi (Gateway)

Ağ geçidi (gateway) sahadaki sensör ağı ile bilgisayar arasında arayüz görevi görmektedir. Sensör düğümlerinden alınan ortam sıcaklığı, sensör kimlik bilgisi, sensörün konumu, tarih ve zaman bilgileri USB bağlantısı sayesinde bilgisayara aktarılmaktadır.



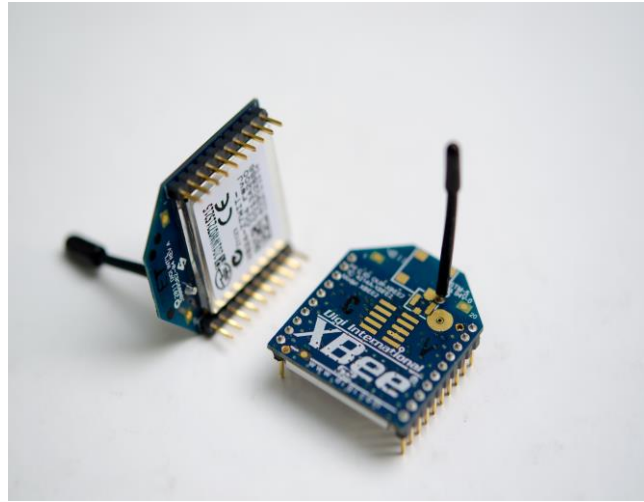
Şekil 3. 16 SquidBee Ağ Geçidi (Gateway)

Ağ geçidi de Arduino UNO R3 geliştirme kartı üzerinde bulunmaktadır fakat bunun sensör düğümlerindekinden farkı bu geliştirme kartı üzerinde herhangi bir mikrodenetleyici bulunmamaktadır. Arduino geliştirme kartı üzerinde sadece kablosuz haberleşmeyi sağlamak için XBee haberleşme modülü bulunmaktadır. Üzerinde mikrodenetleyici bulundurmadığından hafıza birimleri bulunmamaktadır böylelikle sensör düğümlerinden alınan veriler eş zamanlı olarak USB sayesinde

bilgisayara iletilmektedir. XBee haberleşme birimi sahadaki sensör düğümlerinin gönderdiği verileri kablosuz bir şekilde alırken, Arduino geliştirme kartının USB haberleşme birimi vasıtasıyla bilgisayara iletilmiş olur. Böylelikle sahadan alınan veriler anlık olarak bilgisayara yansımaktadır.

3.2.1 Kablosuz Haberleşme Birimi

Ağ geçidinin sensör düğümleri ile kablosuz haberleşmesi ZigBee protokolünü kullanan XBee haberleşme modülleri vasıtasıyla yapılmaktadır. Bu modül sensör düğümlerinde kullanılan ile aynıdır. Bu yüzden modülün içyapısı, IEEE 802.15.4 ve ZigBee protokolleri hakkında ayrıntılı bilgiler verildiği için bir daha bu konuya değinilmemiştir.



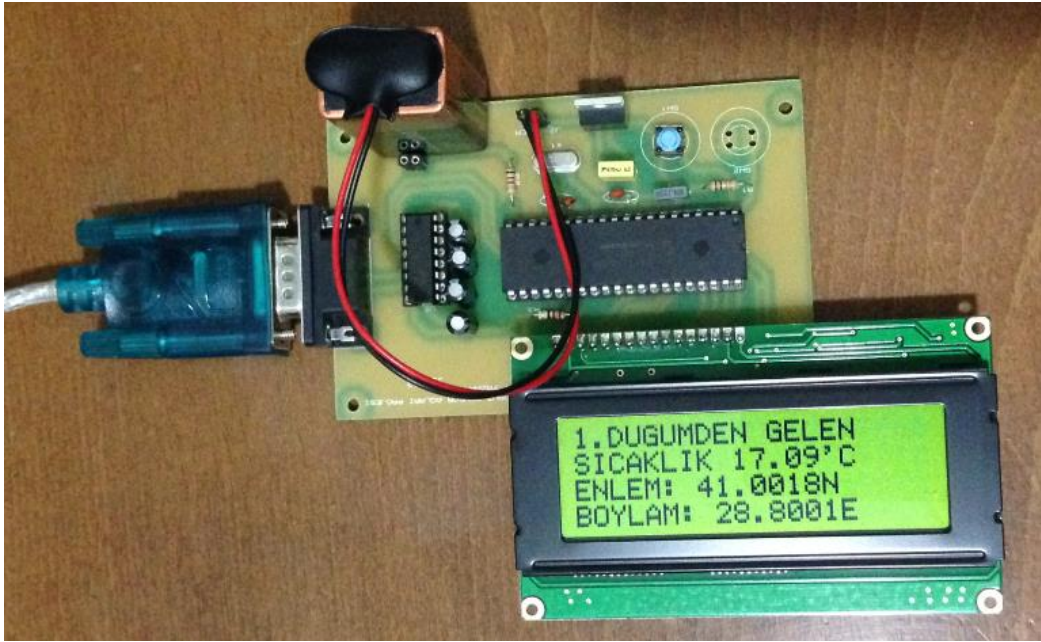
Şekil 3. 17 XBee kablosuz haberleşme birimi

3.3 Donanımsal Platform

Donanımsal Platform var olan sisteme alternatif olması amacıyla hazırlanmıştır. Devre tasarımı ve yazılımı tamamıyla benim tarafımdan hazırlanmıştır. Sisteme alternatif bir donanım platformu hazırlanmasının sebeplerinden ilki, ağ geçidi üzerinde herhangi bir mikrodenetleyici ve LCD vb. donanıma sahip olmadığı için sensör düğümünden gelen veriler hakkında görsel bir bilgi sunamaması. Bu durumda gelen verileri görselleştirebilmek için, ağ geçidine gelen tüm veriler mutlaka bilgisayar üzerinde hazırlanmış olduğum yazılıma ihtiyaç duymaktadır. Bu durum projeyi bilgisayar üzerinde çalışan bir yazılıma bağımlı kılmaktadır. Bu durumu engelleyebilmek ve sensör

düğümünden gelen verilerin farklı bir şekilde görselleştirilebilmesi adına donanımsal platform olarak adlandırılan tasarıma ihtiyaç duyulmuştur.

Bu platform, bilgisayar üzerinde çalışan arayüz yazılımı gibi ağ geçidine gelen veri paketlerini kullanarak çalışır. Ağ geçidi üzerinden bilgisayara gönderilen veri paketleri bilgisayar üzerindeki ek bir yazılımla aynen başka bir USB portuna iletilir ve bu porttan donanım platformuna veri akışı sağlanmış olur. Şekil 3.18'de de görüleceği üzere üzerindeki PIC 16F877 mikrodenetleyici sayesinde seri porttan aldığı veri paketlerini ayrıştırır ve önemli olanları üzerindeki 20x4 LCD ekran üzerinde görselleştirir.



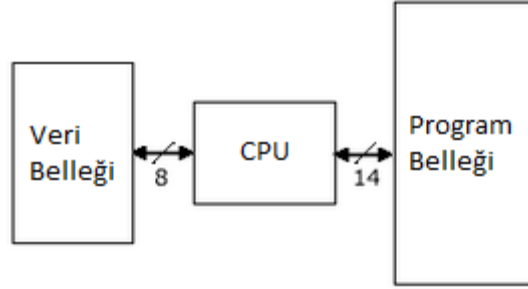
Şekil 3. 18 Donanımsal Platform

Donanımsal Platform, üzerinde birçok donanım ekipmanı barındırmaktadır. Bunlar;

- PIC 16F877 mikrodenetleyicisi
- Max232 entegresi
- LM7805 gerilim regülatörü
- 20x4 LCD ekran
- Kristal Osilatör

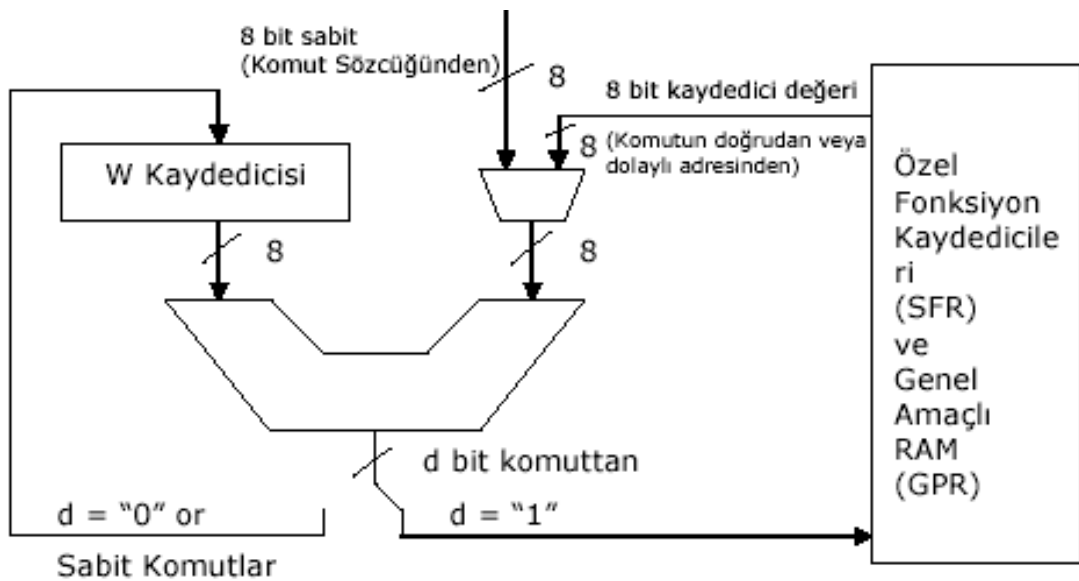
3.3.1 PIC 16F877 Mikrodenetleyicisi

Piyasadaki PIC uygulamalarında PIC 16F877 mikrodenetleyicisi oldukça yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bu mikrodenetleyici, veri belleği ve program belleğine erişimi farklı yollarla yapan Harvard mimarisi temel alınarak tasarlanmıştır. Veri belleğine 8 bit genişliğindeki çoklu yol (bus) ile erişilirken, program belleğine program yolu ya da adres yolu denilen 14 bit genişliğindeki bir yolla erişilir.



Şekil 3. 19 Harvard mimarisi

Merkezi işlem biriminin (CPU) en önemli alt birimlerinden biri, ALU (Aritmetik Logic Unit) olarak adlandırılan aritmetik mantık birimidir. ALU'nun görevi, kendisine yollanan veriler üzerinde, aritmetik ya da mantıksal işlemler yapmaktır. ALU'nun biri W (Working Register) ismi verilen kaydediciden olmak üzere, iki ana girişi vardır. ALU kendisine gelen iki veriyi (işleçler), toplayıp çıkarılabilir. Çeşitli mantık işlemleri yapabilir (AND, OR, XOR gibi).



Şekil 3. 20 Merkezi işlem biriminin iç yapısı

Mikrodenetleyicilerde en çok kullanılan kaydedici, “working register”dır. Bu kısaca W olarak adlandırılır. W, aritmetik ve mantık işlemlerinde, iki işlevi bir arada yürütür. İşlemden önce, işlenenlerden birini barındırır. İşlemden sonra ise işlem sonucunu saklar, PIC 16F87X serisi mikrodenetleyecilerde, komutun sonuna konan 1 veya 0 sayısı ile, sonucun W’de ya da başka bir kaydedicisinde tutulacağı mikrodenetleyiciye bildirilir.

PIC 16F877, 8 Kword büyüklüğünde belleğe sahiptir. Program belleği yonganın içerisinde dir.

PIC 18F877 mikrodenetleyecisi aşağıdaki temel özelliklere sahiptir [24].

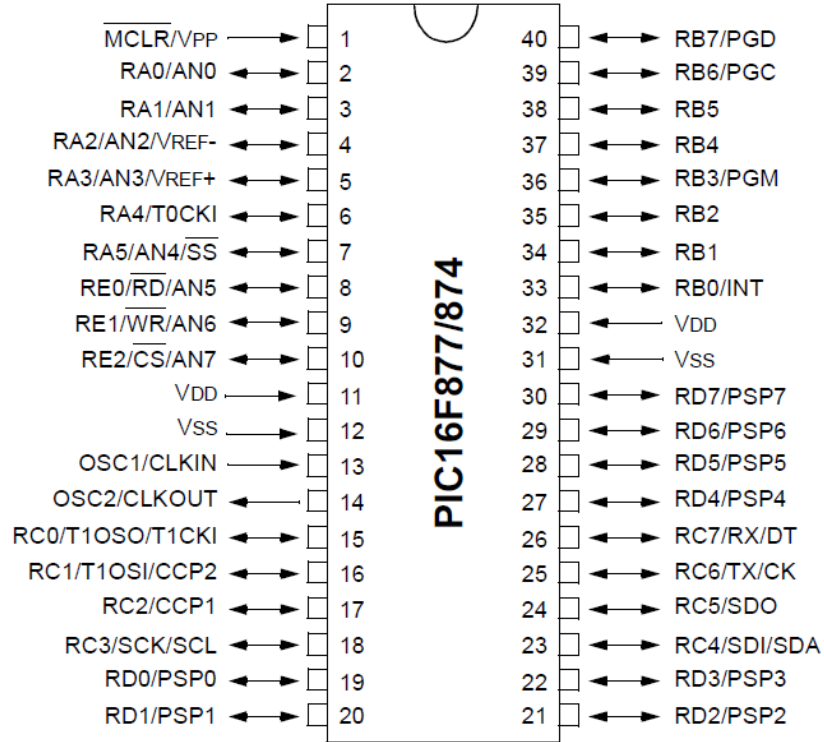
- CPU azaltılmış komut seti
- RISC temeline dayanır.
- Öğrenilecek 35 komut vardır ve her biri 14 bit uzunluktadır.
- Dallar komutları iki çevrim (cycle) sürede, diğerleri ise bir çevrimlik sürede uygulanır.
- İşlem hızı 16F877’de DC 20MHz’dir. (16F877’de bir komut DC 200ns hızında çalışır.)
- Veri yolu 8 bittir.
- 32 adet SFR (Special Function Register) olarak adlandırılan özel işlem kaydedicisi vardır ve bunlar statik RAM üzerindedir.
- 8 Kword’e kadar artan flash belleği 1 milyon kez programlanabilir.
- 368 Byte’a kadar artan veri belleği (RAM),
- 256 Byte’a kadar artan EEPROM veri belleği vardır.
- 14 kaynaktan kesme yapabilir.
- Doğrudan, dolaylı ve göreceli adresleme yapabilir.
- Enerji verildiğinde sistemi resetleme özelliği (Poweron Reset)
- Powerup zamanlayıcı (Powerup Timer)

- Osilatör başlatma zamanlayıcısı (Osilatör Startup Timer)
- Özel tip zamanlayıcı (Watchdog Timer), devre içi RC osilatör
- Programla kod güvenliğinin sağlanabilmesi özelliği
- Devre içi hata ayıklamakta kullanılabilecek modül (Debugger)
- Düşük gerilimli programlama
- Flash ROM program belleği (EEPROM özellikli program belleği)
- Enerji tasarrufu sağlayan, uyku –Sleep Modu
- Seçimli osilatör özellikleri
- Düşük güçle, yüksek hızla erişilebilen, CMOS Flash EEPROM teknoloji
- Tümüyle statik tasarım
- 2 pin ile programlanabilme özelliği
- Yalnız 5V girişle, devre içi seri programlanabilme özelliği
- İşlemcinin program belleğine, okuma/yazma özelliği ile erişimi
- 2.0 V – 5.0 V arasında değişen geniş işletim aralığı
- 25 mA'lik kaynak akımı
- Devre içi, iki pin ile hata ayıklama özelliği
- Geniş sıcaklık aralığında çalışabilme özelliği
- Düşük güçle çalışabilme özelliği

Çevresel özellikleri ise şöyle sıralanabilir:

- TMR0: 8 bitlik zamanlayıcı, 8 bit önbölücülü
- TMR1: Önbölücülü, 16 bit zamanlayıcı, uyuma modundayken dış kristal zamanlayıcıdan kontrolü arttırılabilir.
- TMR2: 8 bitlik zamanlayıcı, hem önbölücü hem de sonbölücü sabiti
- İki Capture / Compare / PWM modülü

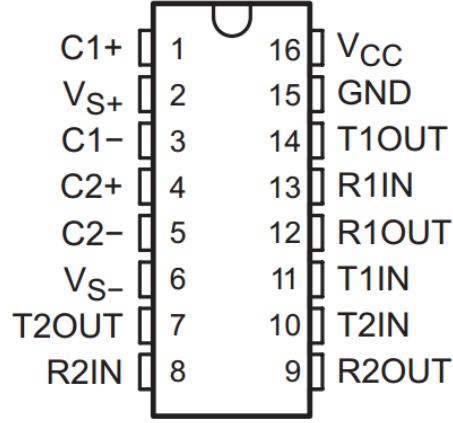
- 10 bit çok kanallı A/D çevirici
- Senkron seri port (SSP), SPI (Master mod) ve I 2 C (Master Slave) ile birlikte
- Paralel Slave Port, 8 bit genişlikte ve dış RD, WR, CS kontrolleri
- USART/SCI, 9 bit adres yakalamalı
- BOR Reset (Brown Out Reset) özelliği



Şekil 3. 21 PIC 16F877 pin diyagramı [24]

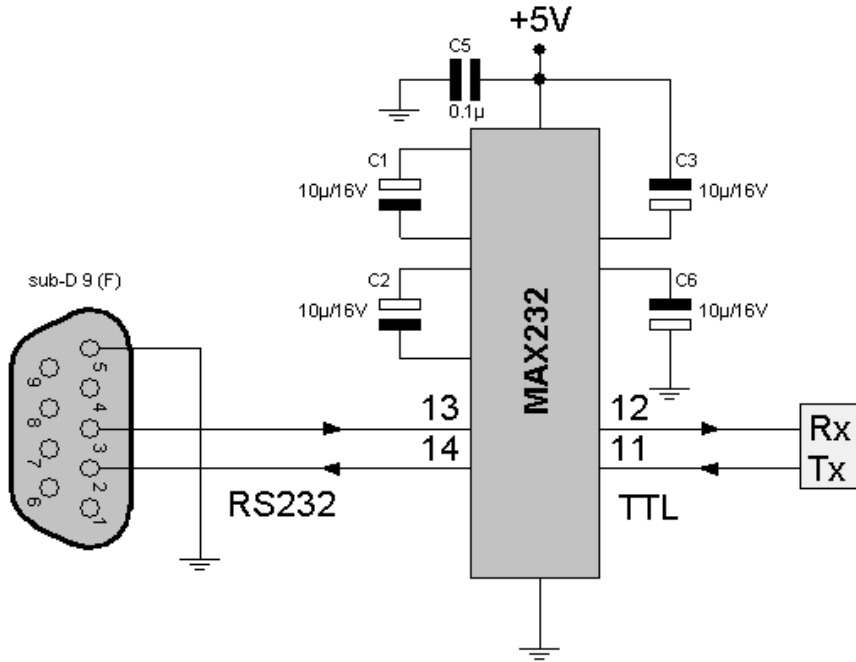
3.3.2 MAX232

Donanımsal platform devresinde seri port ile haberleşme yapılmaktadır. Bilgisayarın USB portundan alınan veriler USB-Seri port dönüştürücü kablosu vasıtasıyla platforma iletilir. Seri port kullanılan bu tarz devrelerde MAX232 entegresi kullanılması bir zorunluluktur. MAX232, seri port ile TTL devrelerin çalışabilmesini sağlayan bir entegredir.



Şekil 3. 22 MAX232 entegresi [25]

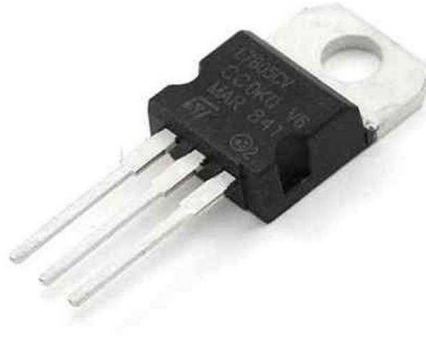
MAX232'in ana görevi, seri porttan TTL dijital devrelere gelen sinyallerin bu devrelere uyumlu hale dönüştürmek ve aynı zamanda TTL dijital devrelerinden seri porta giden sinyallerin seri port için uyumlu hale dönüştürülmesidir. Seri port gerilimi $\pm 12V$ civarında olduğundan mikrodenetleyici ile kullanılması uygun değildir. Mikrodenetleyicilerin kullandığı gerilimler +5V (high) ve 0V (low) olduğu için seri port gerilimi mikrodenetleyici ile arasında sağlıklı bir iletişim kurulmasını engellemektedir. Bu duruma çözüm olarak MAX232 devresi kullanılmaktadır. Bu entegre, $\pm 12V$ gerilimi lojik seviyeye indirgeyerek sorunu çözmektedir. Ek olarak MAX232 entegre devresi için 4 adet $10\mu F$ kutuplu kapasitör kullanılmıştır.



Şekil 3. 23 MAX232 entegre devresi

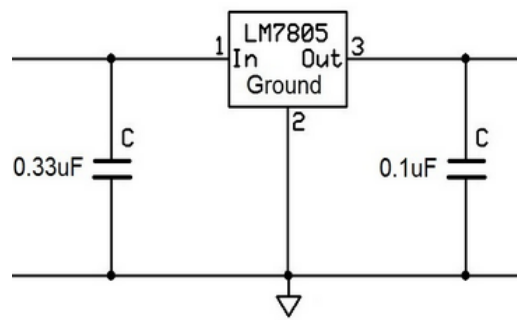
3.3.3 LM7805 Entegresi

LM7805 entegresi hemen hemen her dijital devrede kullanılmaktadır. Bu entegrenin amacı, devre beslemesi ne olursa olsun bu değeri sadece +5V'a çekmekle yükümlüdür. Bu sayede devre beslemesinde oluşabilecek gerilim değişiklikleri durumunda LM7805 vasıtasıyla sadece +5V'lık gerilim devreye besleme gerilimi verilmiş olacak.



Şekil 3. 24 LM7805 entegresi

LM7805 entegresi devremizde voltaj regülatörü görevi görmektedir. Bu entegre sayesinde devrelerde aşırı ısınma ve kısa devre önlemi almış oluruz ve daha güvenilir bir devre tasarlanmış olur. Bu tarz voltaj regülatörlerinin de regüle edebileceği bir maksimum giriş gerilimi vardır, devremde kullandığım LM7805 için 35V'dur ancak tavsiye edilen çalışma aralığı 7V ile 25V arasındadır [26]. Entegrenin verimli bir şekilde çalışabilmesi için 1 adet 0.33 μ F seramik kapasitör ve 1 adet 0.1 μ F seramik kapasitör kullanılmıştır.



Şekil 3. 25 LM7805 entegre devresi

3.3.4 LCD Ekran

Donanımsal platformda, alınan veri paketlerinin mikrodenetleyicide ayrıştırılmasından sonra bu veriler uygun bir şekilde görselleştirme ihtiyacı doğmuştur. Bu durumda

tercihimi, satır sayısının çokluğu ve genişliğinin 20 karaktere kadar olması dolayısıyla WINSTAR firmasının ürettiği 20x4 LCD ekran üzerinde yaptım.



Şekil 3. 26 20x4 LCD ekran

3.3.5 Kristal Osilatör

Kristal osilatör, piezoelektrik etkiyi kullanarak salınım yapan osilatör çeşididir. Osilatörler düzenli olarak elektrik sinyalleri üreten bir devredir. Mikrodenetleyiciler komutları işleyebilmek için saat sinyallerine ihtiyaç duyarlar. RC, LC, Wien köprü ve kristal gibi birçok osilatör çeşidi vardır. Bir PIC mikrodenetleyicisinin çalıştırılabilmesi için en uygun osilatör tipi kristal osilatördür. PIC gelen osilatör frekansını 4'e bölerek kullanır.



Şekil 3. 27 Kristal Osilatör

Osilatörlerde frekans kararlılığı çok önemlidir. Osilatörün sabit frekansını koruma özelliğine frekans kararlılığı denir. RC, LC tipi osilatörlerde frekans kararlılığı çok iyi değildir. Bundan dolayı özellikle mikrodenetleyicili devrelerde genellikle kristal osilatör

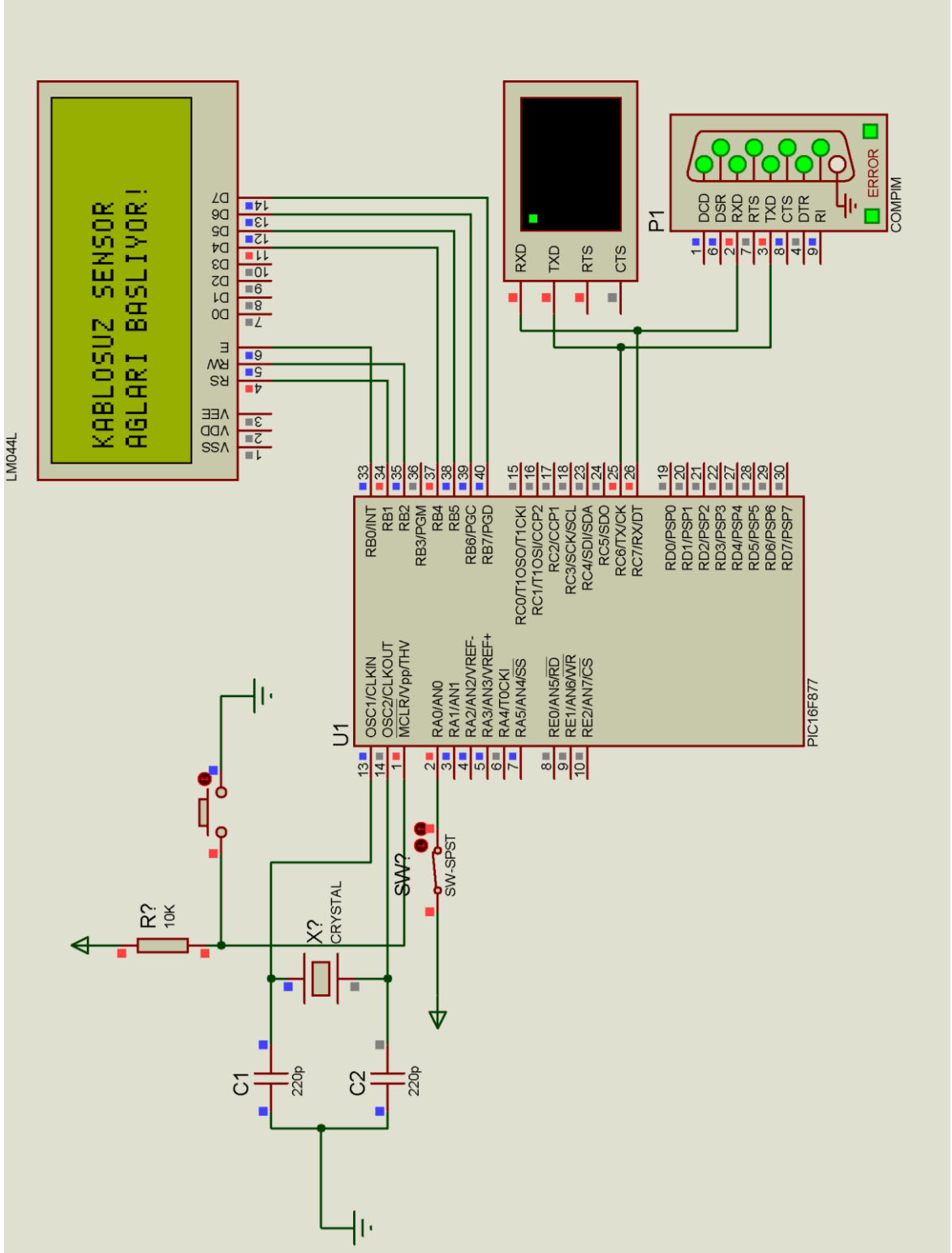
tercih edilmektedir. Bizim devremizde de PIC 16F877 mikrodenetleyicisi kullanıldığı için kristal osilatör tercih edilmiştir.

3.3.6 Simülasyon

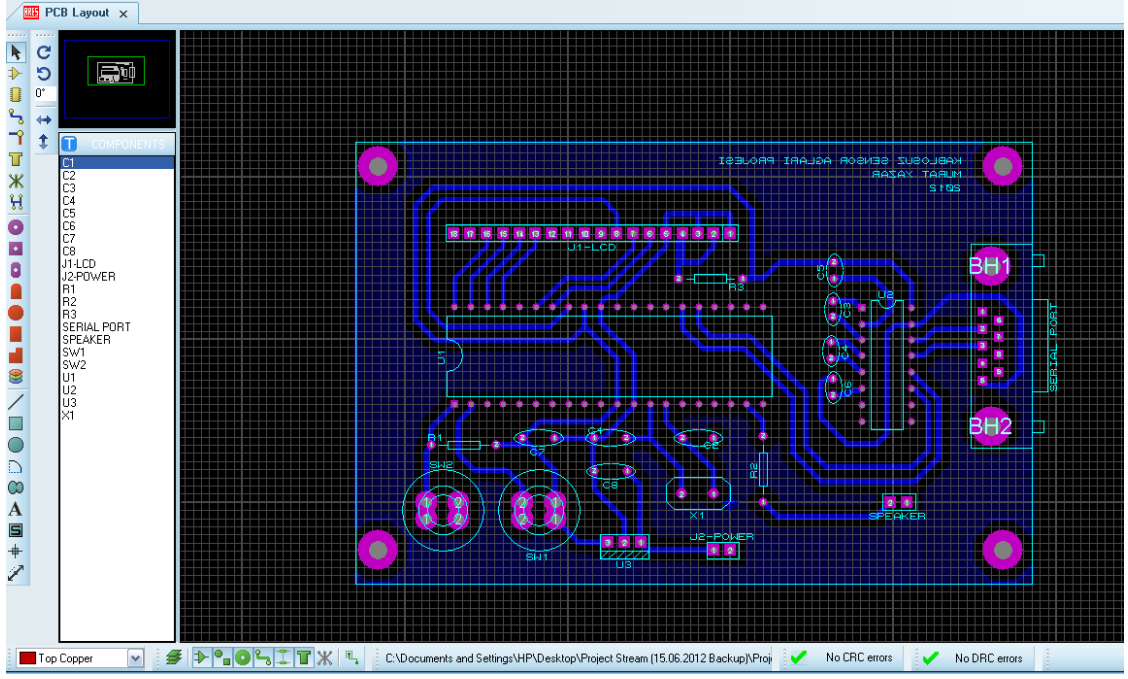
Donanımsal platformun fiziksel gerçekleştirilmesinden önce mutlaka bir simülasyon ortamında tasarlanması gerekmektedir. Bu sayede donanımın çalışabilirliği test edilebilmektedir. Donanımsal platformun simülasyonu Proteus programında yapılmıştır. Labcenter Electronic firmasının bir ürünü olan Proteus görsel olarak elektronik devrelerin simülasyonunu yapabilen yetenekli bir devre çizimi, simülasyonu, animasyonu ve PCB çizimi programıdır. Proteus'un projede simülasyon aracı olarak kullanılmasının en önemli nedenlerinden biri farklı mikrodenetleyicilere yüklenebilen .hex dosyalarını çalıştırabilmesidir. Böylelikle donanımsal platformda kullanılan PIC 16F877 mikrodenetleyicisinin yazılımını da Proteus sayesinde test etme şansı olmuştur. Proteus'un oldukça geniş model kütüphanesi bulunmaktadır.

Proteus tek bir program olarak çalışsa da aslında iki alt programdan oluşmaktadır. Bunlardan ilki yukarıda anlatıldığı üzere devre çizimi yapıp, elemanların değerlerini değiştirebildiğimiz ve çalışmasını gözlemleyebildiğimiz ISIS alt programıdır. Bir diğeri ise ISIS'de çizilen devrenin baskı devre çiziminin yapılabilmesi için ARES alt programıdır. Donanımsal platformunun tasarımı yapılırken önce ISIS'de devre çizimi yapılmış ardından mikrodenetleyici yazılımı ile birlikte çalışması gözlemlenmiştir (Şekil 3.28). Bunun ardından devrenin sorunsuz çalıştığı görüldüğünde Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'da görüldüğü gibi ARES'de baskı devre çizimi yapılmıştır.

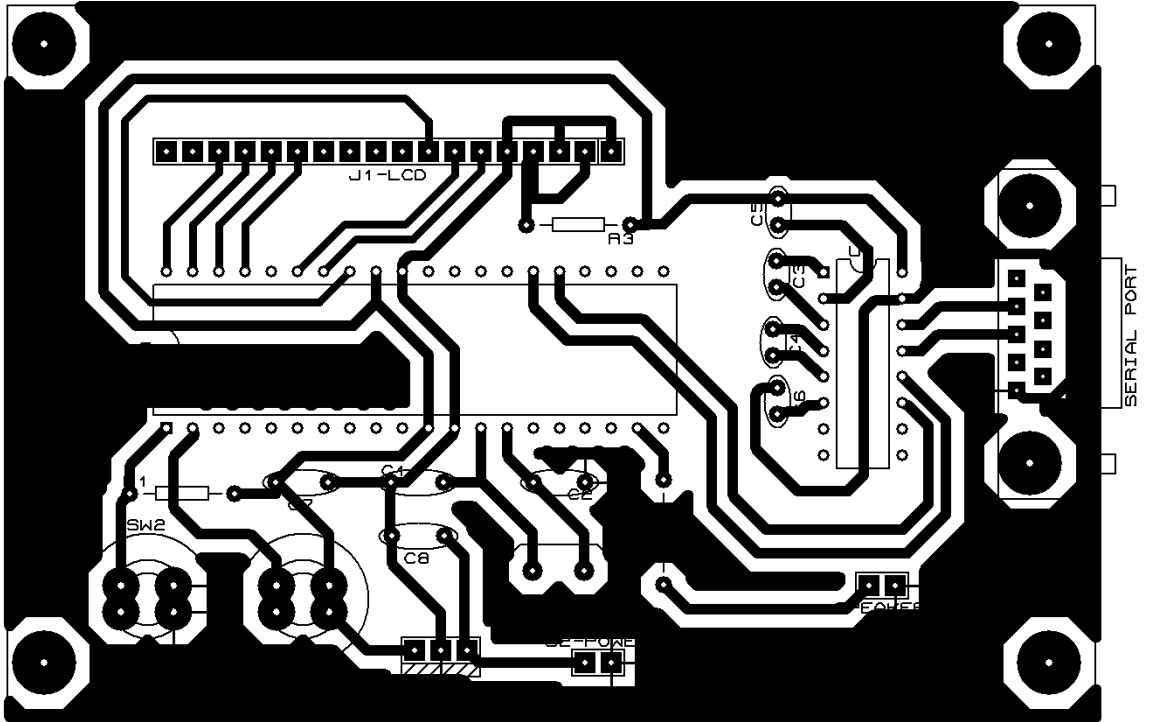
Proteus programı ISIS'de elektronik devre tasarımı ve simülasyonu, ARES'de PCB çizimi yapmasının yanı sıra; PCB çizimi yapılmış elektronik devrenin Şekil 3.31 ve Şekil 3.32'deki gibi 3 boyutlu bir gösterimini de bizlere sunmaktadır. Bu gösterimde devre elemanları da olduğu için, görsel açıdan devre montaj ve lehimlemesi bittikten sonra elektronik kartın nasıl görüneceği hakkında bizlere bilgi vermektedir. Bunun devre elemanlarının boyutları ve elektronik devrenin boyutları açısından bizlere önemli katkıları olmaktadır.



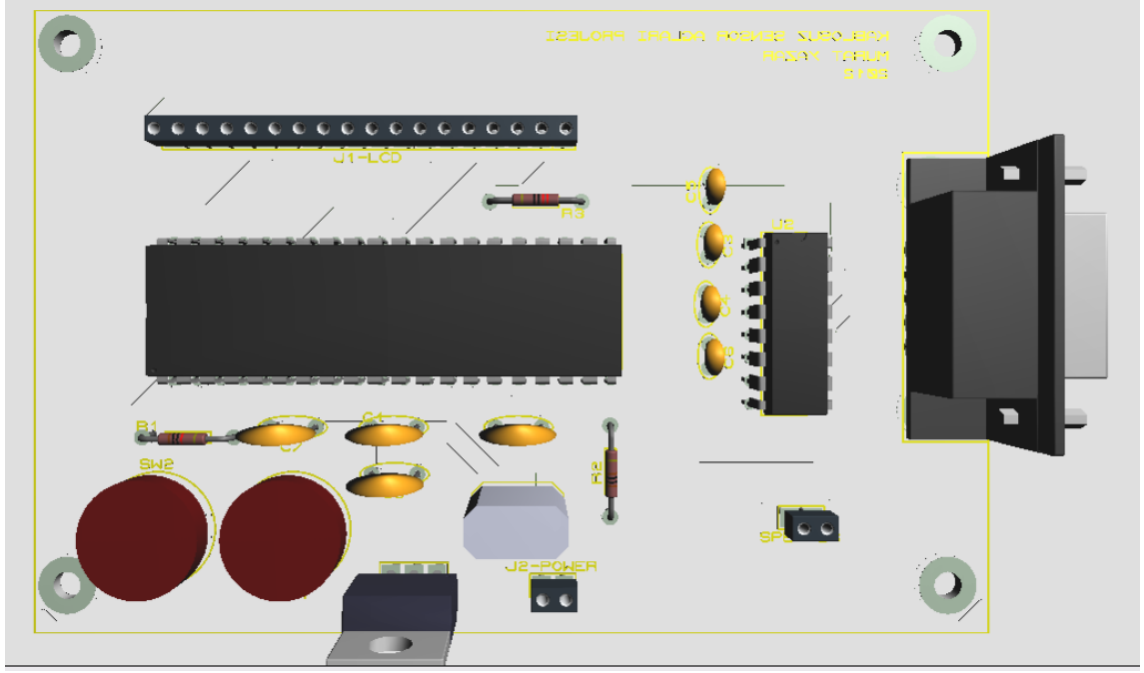
Şekil 3. 28 ISIS'de oluşturulan devrenin simülasyonu



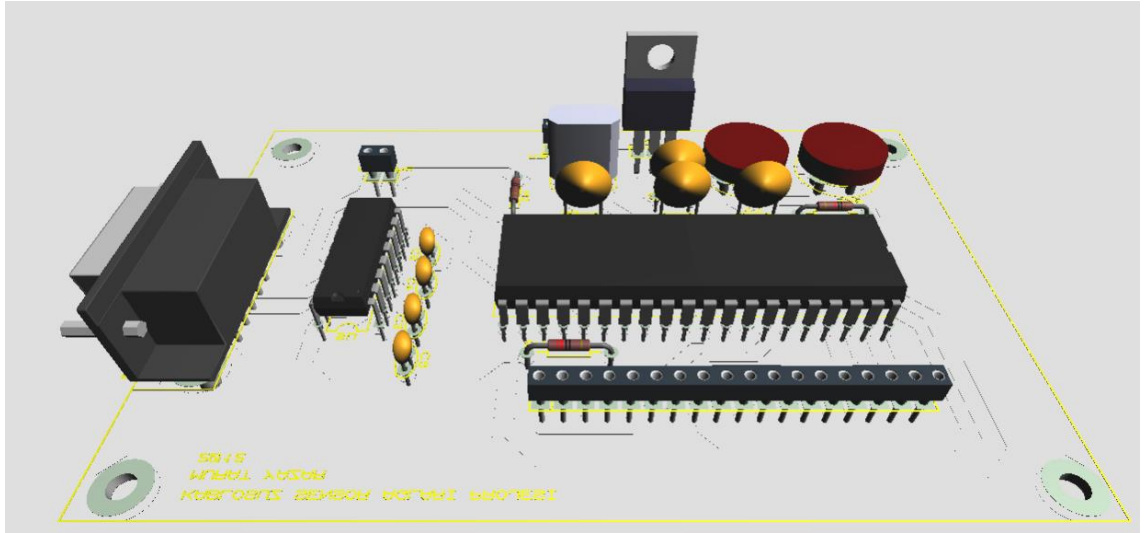
Şekil 3. 29 ARES'de devrenin baskı devre çizimi



Şekil 3. 30 Çizilen devrenin baskı devresi



Şekil 3. 31 Devrenin 3 boyutlu olarak üstten görünümü



Şekil 3. 32 Devrenin 3 boyutlu olarak yandan görünümü

GERÇEKLEŞTİRİLEN SİSTEMİN YAZILIMI

Projenin en önemli aşamalarından birisi de yazılım kısmıdır. Kullanılan tüm donanımlar yazılım sayesinde kontrol edilmektedir, kablosuz haberleşmede ve son noktada kullanıcı tarafından tüm sistemin görselleştirilmesi de donanımın yanı sıra yazılımla birlikte gerçekleşmektedir.

4.1 Mikrodenetleyici Yazılımı

İlk olarak sensör düğümlerinde bulunan Arduino UNO geliştirme kartı üzerinde çalışan ATmega328 mikrodenetleyicisinin yazılım bilgileri ve algoritması ele alınmalıdır. Bu mikrodenetleyicinin ilk görevi üzerindeki Analog-Dijital Dönüştürücü sayesinde sıcaklık sensöründen alınan analog sıcaklık bilgisini dijital bir veriye dönüştürmektir. Sıcaklık sensörünün, sıcaklık değişimine göre gerilim farkı oluşmasından faydalanarak bu gerçek ortam sıcaklığı hesaplanmaktadır.

Daha evvelde bahsedildiği üzere LM35 sıcaklık sensörü 1 °C'lik bir sıcaklık artışında veya azalmasında doğrusal olarak 10 mV'luk bir gerilim artışı veya azalması göstermektedir.

$$\text{Sıcaklık (}^{\circ}\text{C)} = V \text{ (volt)} / 0.01 \quad (4.1)$$

$$\text{Sıcaklık (}^{\circ}\text{C)} = (\text{analogRead}(0) * 5 / 1024.0) / 0.01 \quad (4.2)$$

Atmega328 mikrodenetleyicisinin en önemli görevlerinden bir tanesine de Arduino UNO R3 geliştirme kartı üzerindeki ekipmanların kontrolünü sağlamaktır. Bunların

başında sıcaklık sensörünün yanı sıra GSM/GPRS modül, GPS ve kablosuz haberleşmeyi sağlaması amacıyla XBee modülü gelmektedir. Bu donanımların hepsi Arduino UNO R3 geliştirme kartı üzerinde çalıştığı için Atmega328 üzerindeki yazılım sayesinde kontrol edilmektedir.

Sensör düğümünün konum ve zaman bilgisini elde etmek için kullanılan GPS tamamen Atmega328 mikrodenetleyicisi üzerindeki yazılım vasıtasıyla kontrol edilmektedir. GPS donanımı ile mikrodenetleyici seri port vasıtasıyla haberleşmektedir. Bu seri port haberleşmesi, GPS'in seri haberleşmesi 4800 baud rate'inde olduğu için bu değerde ayarlanmalıdır. Seri port haberleşmesi kurulduktan sonra mikrodenetleyiciye GPS verileri akmaya başlar. GPS'den mikrodenetleyiciye akan bu veriler aşağıdaki örnekte olduğu gibi birkaç çeşit GPS cümlecği tipi barındırmaktadır ve çok karışık bir yapıdadır.

```
$GPGGA,174233.551,4003.8861,N,10512.5838,W,1,04,5.8,1593.0,M,-20.7,M,,0000*51
$GPGSA,A,3,30,22,31,12,,,,,,,,,10.6,5.8,8.9*0B
$GPGSV,2,1,08,31,68,170,31,22,30,119,36,30,22,079,36,12,11,046,32*7D
$GPGSV,2,2,08,14,51,047,20,32,38,309,,11,28,285,,20,11,306,*73
$GPRMC,174233.551,A,4003.8861,N,10512.5838,W,0.07,84.92,200510,,,A*4A
$GPVTG,84.92,T,,M,0.07,N,0.1,K,A*3C
$GPGGA,174234.551,4003.8370,N,10512.6372,W,1,04,2.8,1285.8,M,-20.7,M,,0000*54
$GPGSA,A,3,30,22,31,12,,,,,,,,,4.1,2.8,3.0*3C
$GPRMC,174234.551,A,4003.8370,N,10512.6372,W,0.62,352.44,200510,,,A*70
```

Şekil 4. 1 Örnek bir GPS çıktısı

Bu karmaşık GPS cümlecikleriyle çalışmak çok zor olacağından bizim için yeterli bilgileri içinde barındıran GPRMC cümlecikleri yazılım sayesinde bu karmaşık yapıdan ayıklanmıştır. GPRMC cümlecikleri aşağıdaki tabloda daha ayrıntılı gösterilmekle birlikte, bizim için yeterli olan zaman ve konum bilgilerini barındırmaktadır.

Örnek bir GPRMC cümlecği;

```
$GPRMC,123519,A,4807.038,N,01131.000,E,022.4,084.4,230394,003.1,W*6A
```

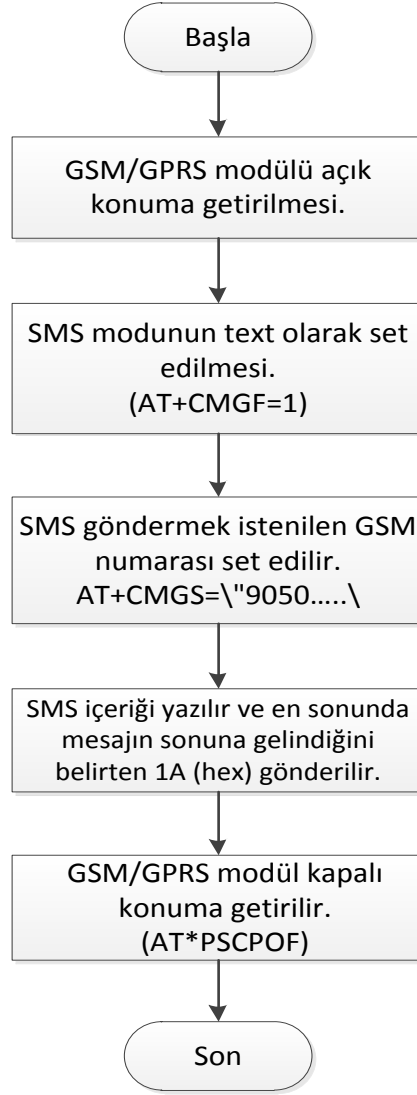
Şekil 4. 2 Örnek bir GPRMC cümlecği

Çizelge 4. 1 GPRMC cümlecığının içeriği

Data	Açıklama
123519	Saati belirtir. 12:35:19 UTC
A	Statu A=Aktif (gelen datanın doğruluğunu belirtir) V=Void (gelen datanın güvenilir olmadığını belirtir.)
4807.038,N	Enlem 48 deg 07.038' N (Kuzey)
01131.000,E	Boylam 11 deg 31.000' E (Doğu)
022.4	Hız (knots)
084.4	Derece bazında takip açısı
230394	Tarihi belirtir. 23 Mart 1994
003.1,W	Manyetik Varyasyon
*6A	Checksum verisi, her zaman * ile başlar

GPS'in yanı sıra GSM/GPRS modülün de kontrolü tamamen bu mikrodenetleyici üzerindeki yazılım sayesinde gerçekleşmektedir. Modül, GPS ve XBee modülleri gibi mikrodenetleyiciyle seri port ile haberleşmektedir. Fakat mikrodenetleyici üzerinde sadece bir tane seri port vardır. Bu sorunu çözebilmek için yazılımın bize sağladığı soft seri port imkânından faydalanılmıştır. Soft seri port, yazılım vasıtasıyla mikrodenetleyici üzerindeki boş pinleri kullanarak sanal seri portlar tanımlanmasıdır. Bu sayede farklı konfigürasyonlara sahip birden fazla seri port bağlantısı yapılabilmektedir. GSM modül ve mikrodenetleyici arasındaki seri port haberleşmesi 115200 baud rate'inde olmaktadır.

Modülün harcadığı enerjiyi minimumda tutmak adına, mikrodenetleyici yalnızca daha evvel kriterlerini verilen kritik ve alarm durumlarında GSM/GPRS modülü açık konuma getirir. Bu durumlarda modülün uyarı SMS'i gönderebilmesi için gerekli olan AT komutları peşi sıra seri port vasıtasıyla modüle iletilir. Modül SMS gönderimine hazır hale geldiğinde uyarı SMS'i daha önceden belirlenen bir GSM numarasına başarıyla gönderilmiş olur. İşlem başarıyla gerçekleştirildikten sonra enerji tüketimini minimumda tutmak için mikrodenetleyici GSM/GPRS modülünü kapalı konuma alır.



Şekil 4. 3 Mikrodenetleyici üzerindeki yazılımda SMS gönderme algoritması

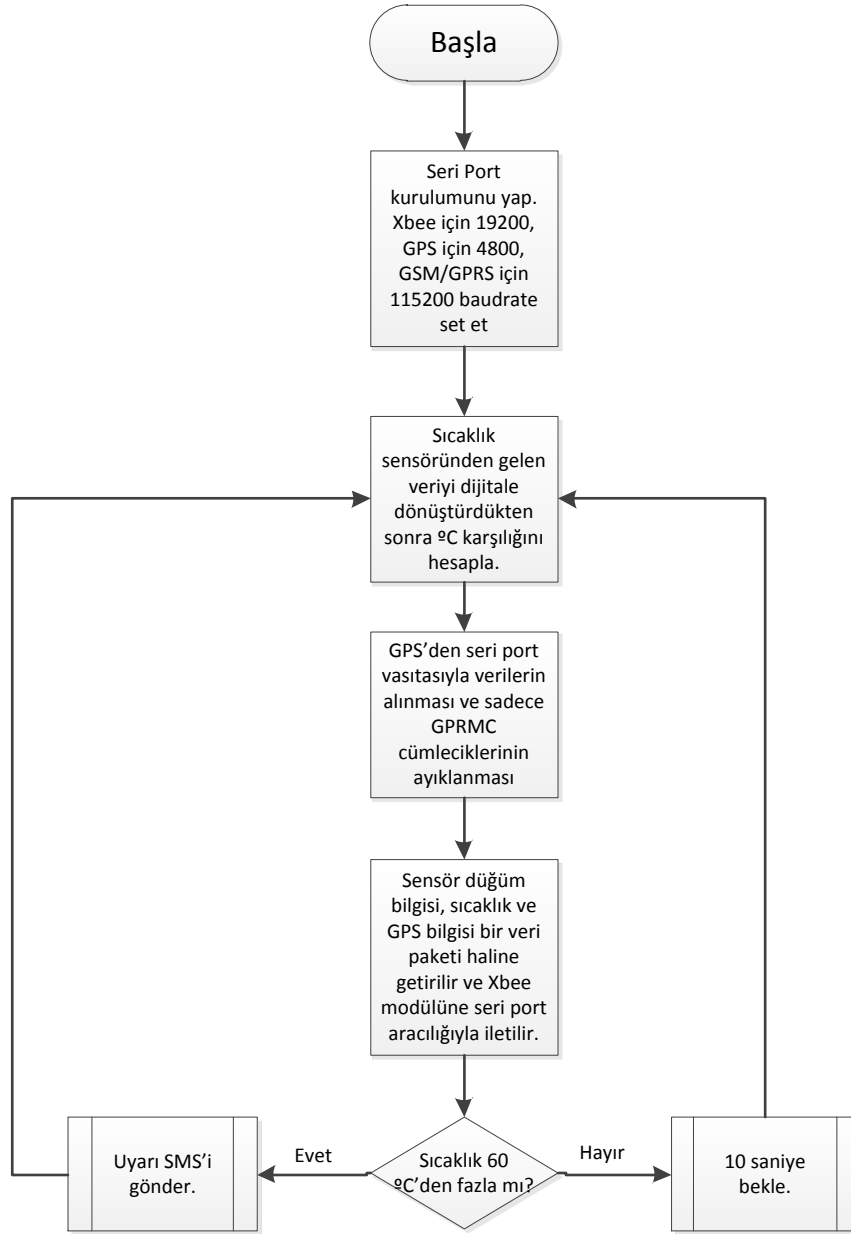
Sensör ve ağ geçidi arasındaki kablosuz iletişimi sağlayan XBee modülünde tamamen mikrodenetleyici ile uyumlu bir şekilde çalışır. Diğer tüm birimlerden (sıcaklık sensörü, GPS, GSM/GPRS modül) alınan veriler mikrodenetleyici üzerindeki yazılım vasıtasıyla bir paket haline getirilir ve bu data paketleri seri port vasıtasıyla XBee kablosuz haberleşme modülüne iletilir. Bu seri port haberleşmesinin baud rate'i 19200 olmalıdır. Aşağıda bir örneğini görebileceğiniz veri paketleri periyodik olarak 10 saniyede bir gönderilmektedir.

@5|t-34.78#\$GPRMC,034556,A,3749.000,N,03340.000,E,1546.4,084.4,211212,003.1,W*6A

Şekil 4. 4 Sensör düğümünden gönderilen veri paketi örneği

Çizelge 4. 2 Gönderilen veri paketinin içeriği

Data	Açıklama
@5	@ : Bütün veri paketinin başlangıcını ifade eder. 03 : Sensör düğümünün ağ yapısı içindeki numarası : Sensör düğüm numarasının bittiğini ifade eder.
t-34.78	t- : Bundan sonra gelecek verinin sıcaklık olduğunu ifade eder. 34.87 : Sensör düğümünden alınan sıcaklık verisi
#ŞGPRMC	GPRMC cümleciğinin başladığını ifade eder.
034556	Saati belirtir. 03:45:56 UTC
A	Statu A=Aktif (gelen verinin doğruluğunu belirtir) V=Void (gelen verinin güvenilir olmadığını belirtir.)
3749.000,N	Enlem 37 deg 49.038' N (Kuzey)
03340.000,E	Boylam 33 deg 40.000' E (Doğu)
1546.4	Hız (knots)
084.4	Derece bazında takip açısı
211212	Tarih 21 Aralık 2012
003.1,W	Manyetik Vasyasyon
*6A	Checksum verisi, her zaman * ile başlar



Şekil 4. 5 Mikrodenetleyici üzerinde çalışan yazılımın algoritması

XBee modülünün çalışma prensibi gereği seri porttan aldığı veriyi üzerinde hiçbir değişiklik yapmadan aynen Zigbee protokolü vasıtasıyla ağ geçidine iletir. Böylelikle projemiz için gerekli olan sıcaklık, konum ve zaman bilgisi bir veri paketi halinde bilgisayar ortamına iletilmiş olur.

4.2 Kullanıcı Arayüzü

Ormanlık alandan alınan sıcaklık verisi kablosuz sensör düğümleri ile merkezdeki bir bilgisayara ağ geçidi vasıtasıyla iletilmektedir. Merkezde bulunan bilgisayarda son

kullanıcıların sıcaklık, konum ve zaman bilgilerini görebilmeleri için bir arayüz programı tasarlanmıştır.

Arayüz programının tasarım kodu Microsoft Visual Studio platformunda C# yazılım dili yazılmıştır. C# yazılım dilini tercih edilmesi sebeplerinin başında öncelikle bu yazılım dilinin obje tabanlı bir yazılım dili olmasıdır. Program üzerinde birçok görsel öğe aynı anda çalışacağı için C# bu iş için en uygun yazılım dillerinden biridir. Bunun yanı sıra piyasada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır, bu durum ihtiyaç halinde bilgiye erişim konusunda büyük katkılar sağlamaktadır. Objeye tabanlı olması sebebiyle tanımlanan objelere olaylar (event) ekleyerek programlama açısından büyük kolaylık sağlamaktadır.

Tasarlanan arayüz programı içerisinde sayısal 3 boyutlu harita (Google Earth), sıcaklık veri tabanı tablosu ve sıcaklığın grafiksel gösterimi gibi birçok görsel öğe barındırmaktadır. Bu görselleri besleyen veriler ise ağ geçidi üzerinden alınan veri paketlerindedir. Bu veri paketlerinin yazılım üzerinde kullanılabilmesi için bir seri port objesi kullanılmaktadır ve bu seri port objesinin konfigürasyonu ağ geçidinin bilgisayara USB ile bağlı olduğu porta uygun bir şekilde yapılmıştır. Aynı zamanda seri port objesinin baud rate'i ağ geçidi ile uyumlu olması için 19200 olarak ayarlanmıştır. Seri port objesi tanımlandıktan sonra buna veri geldiğinde çalışacak bir event tanımlanarak gelen verileri bir diziye atan fonksiyon yazılmıştır. Böylelikle ağ geçidinin bilgisayara göndermiş olduğu her veri paketi yazılım üzerinde işlenebilir hale gelmektedir. Gönderilen bu veri paketleri sensör düğümünün ağ geçidine gönderdiği veri paketiyle aynıdır.

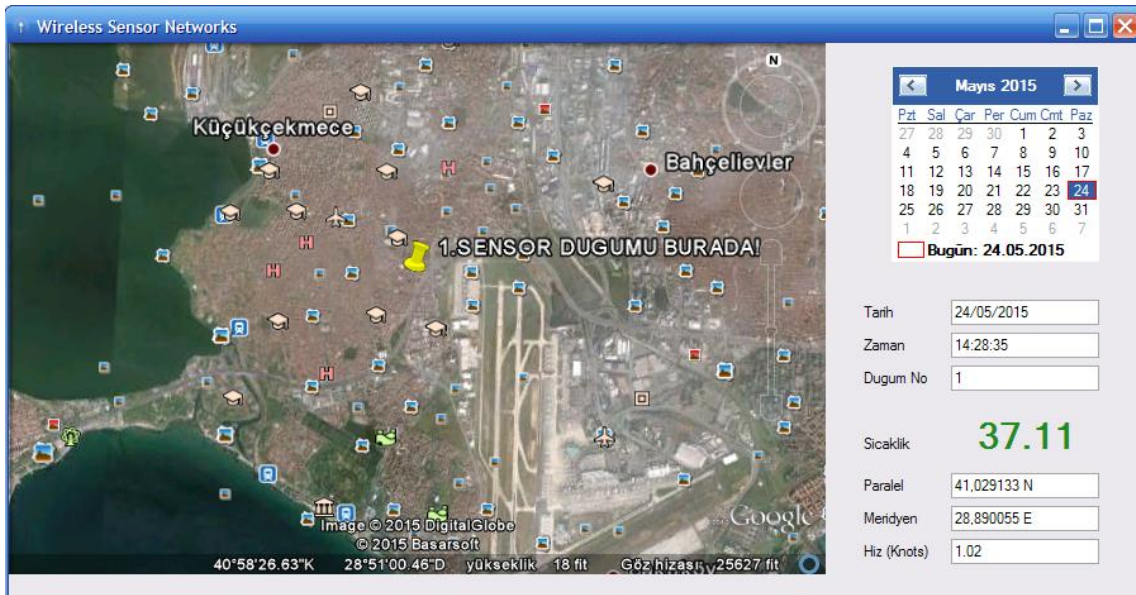
```
@5|t-34.78#SGPRMC,034556,A,3749.000,N,03340.000,E,1546.4,084.4,211200,003.1,W*6A
```

Şekil 4. 6 Bilgisayar tarafında alınan örnek veri paketi

Ağ geçidinden gönderilen ve bilgisayar tarafındaki program vasıtasıyla alınan veri paketi Şekil 4.6'daki gibidir. Yukarıda görüldüğü gibi alınan paket ham halindedir. Bunun içindeki verileri kullanabilmek için yazılım üzerinde bir ayrıştırma işlemi yapılması gerekmektedir. Bu ayrıştırma işlemi sonucunda sensör düğüm bilgisi, ortam sıcaklığı, konum ve zaman bilgileri elde edilmiş olur. Elde edilen bu değerler arayüz programı üzerinde gösterilmektedir. Bu ayrıştırma işlemi esnasında eğer GPS

cümlecığının statüsü 'V' ise yani geçerliliğı olmayan bir GPS cümlecığı ise bu veri paketi hiç ayrıştırma işlemine sokulmadan reddedilir ve ekranda bununla ilgili bir uyarı bilgisi gösterilir. Bu sayede programın geçersiz verilerle verimsiz çalışması önlenmiş olur.

Arayüz programının en önemli görsel öğesi kuşkusuz ki konum bilgilerinin sayısal 3 boyutlu harita üzerinde gösterilmesidir. C# yazılım dilinin obje tabanlı bir dil olması bunu sağlamada önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Sayısal 3 boyutlu haritayı programda bir obje gibi kullanabilmek için öncelikle çalışılacak bilgisayara sayısal 3 boyutlu harita yüklenmelidir ve bunun çalışabilmesi içinde internet bağlantısına ihtiyaç duyulmaktadır. Ardından C# projesine sayısal 3 boyutlu haritayı çalıştırmaya yarayan Earthlib kütüphanesi referans gösterilmelidir. Earthlib kütüphanesi sayesinde programımız içinde bir sayısal 3 boyutlu harita penceresi açılmaktadır ve sensör düğümündeki GPS'den alınan konum bilgileri kullanılarak sensör düğümünün dünya üzerindeki tam yeri sayısal 3 boyutlu harita haritası üzerinde gösterilmektedir. Bu durum projenin kullanılabilirliğini ve görselliğini arttırmaktadır.



Şekil 4. 7 Arayüz programından bir kesit

Programda en az sayısal 3 boyutlu harita görseli kadar önemli olan bir diğer görseli ise program tarafından alınan tüm verilerin saklandığı veri tabanının bir tablo şeklinde programda gösterilmesidir.

Bu tabloya değinmeden önce veri tabanı konusuna değinmemiz gerekmektedir. Projede veri tabanı olarak Microsoft Access ürünü tercih edilmiştir. Microsoft Access,

Microsoft'un ilişkisel veri tabanı yönetimi aracıdır. Veri tabanı yönetim sistemleri arasına Access çok sonradan girmiş olmasına rağmen bu alanda önemli ölçüde başarı sağlayarak küçük ölçekli veri tabanları için çok kullanılan bir paket haline gelmiştir. Bunda, Access'in yazılım araçlarının yüksek kullanıcı kolaylığına sahip olmasının etkisi büyüktür. Access'de veri tabanında bulunan nesnelerin birçoğu sihirbazlar yardımıyla kolayca hazırlanabilir. Çoğu zaman hiç tasarım ortamına girmeden, sadece sihirbazlar kullanılarak veri tabanı dosyaları hazırlanabilir. Bu durumda Microsoft Access'in kullanılabilirliğini arttırmaktadır.

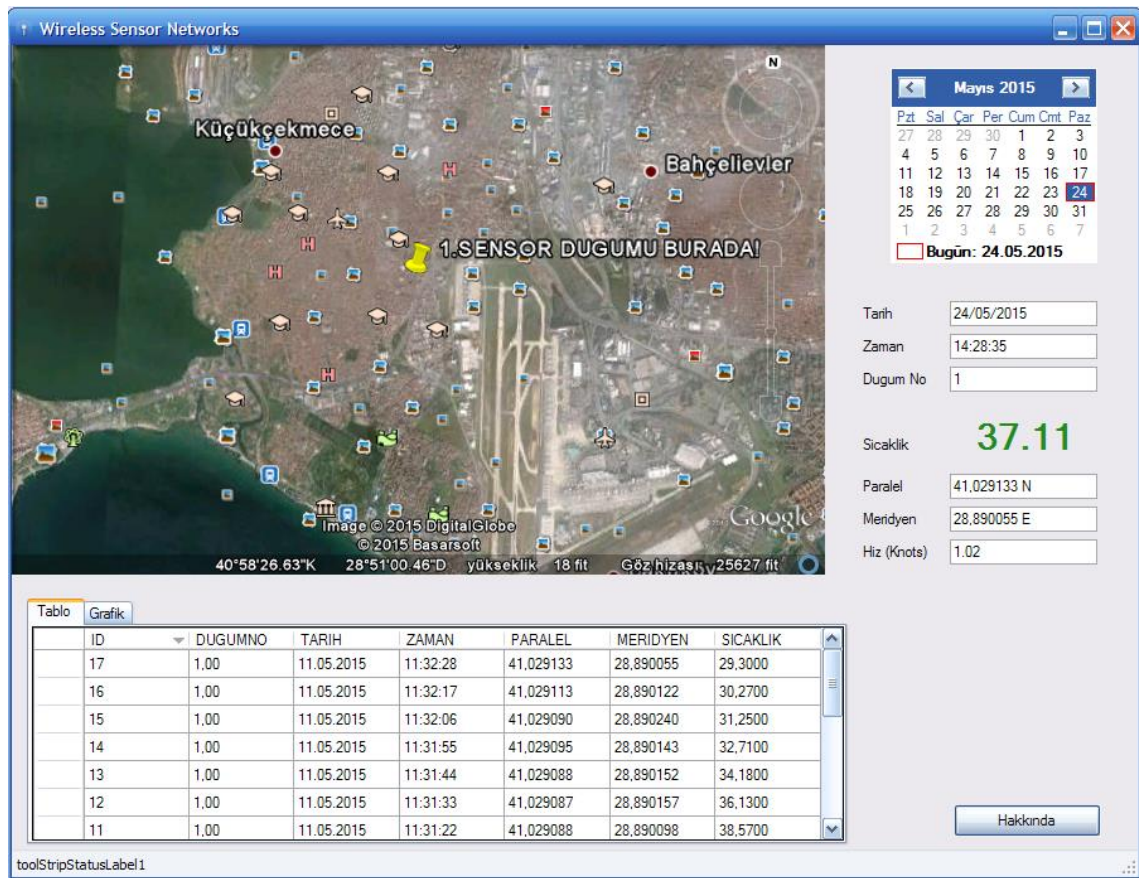
ID	DUGUMNO	TARİH	ZAMAN	PARALEL	MERİDYEN	SICAKLIK	Click to Add
1	12	11.11.2024	15:35:19	48,9673	11,51666667	51	
2	14	11.11.2024	15:35:19	39,61666667		44,8	14
3	1	06.11.2013	23:06:13	41,00151	28,800478333		14,16
4	1	06.11.2013	23:06:24	41,00146	28,800503333		18,07
5	1	06.11.2013	23:06:35	41,001501667	28,800486667		18,07
6	1	06.11.2013	23:06:46	41,001741667	28,800328333		17,58
7	1	06.11.2013	23:06:57	41,001796667	28,800283333		17,58
8	1	06.11.2013	23:07:08	41,001781667		28,800285	17,58
9	1	06.11.2013	23:07:19	41,001756667	28,800296667		19,04
10	1	06.11.2013	23:07:30	41,001418333	28,800538333		18,07
11	1	06.11.2013	23:07:41	41,001391667	28,800566667		16,11
12	1	06.11.2013	23:07:52	41,001326667	28,800613333		18,07
13	1	06.11.2013	23:08:03	41,001353333	28,800618333		17,58
14	1	06.11.2013	23:08:14	41,001341667	28,800656667		17,58
15	1	06.11.2013	23:08:25	41,00132	28,800673333		18,07
16	1	06.11.2013	23:08:36	41,00124	28,800726667		17,58
17	1	06.11.2013	23:08:47	41,001246667	28,800728333		17,09
18	1	06.11.2013	23:08:58	41,00126	28,800703333		17,58
19	1	06.11.2013	23:09:09	41,001351667		28,80064	18,07
20	1	06.11.2013	23:09:20	41,001216667		28,80073	17,09
21	1	06.11.2013	23:09:31	41,001268333	28,800696667		15,14
22	1	06.11.2013	23:25:39	41,0017	28,800291667		17,58
23	1	06.11.2013	23:25:50	41,0017		28,80028	19,53
24	1	06.11.2013	23:26:01	41,001618333	28,800353333		18,07
25	1	06.11.2013	23:28:13	41,001856667	28,800093333		13,67
*	(New)				0	0	0

Şekil 4. 8 Gelen verilerin saklandığı veri tabanı

Şekil 4.8'de de anlaşılacağı üzere oluşturulan veri tabanı 7 ayrı kolondan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla; gelen veri setinin sırasını belirten ID kolonu, sahadaki hangi sensör düğümünden veri seti geldiğini belirten DUGUMNO kolonu, veri setinin oluşturulduğu tarihi belirten TARİH kolonu, veri setinin oluşturulduğu saati belirten ZAMAN kolonu, sensör düğümünün koordinatlarını belirten PARALEL ve MERİDYEN kolonları ve en sonunda sensör düğümünün ölçtüğü ortamın sıcaklığını belirten SICAKLIK kolonu. Bilgisayara gelen geçerli her ver paketi içerisindeki bilgiler bu şekilde Microsoft Access içerisinde oluşturulan veri tabanı tablosunda saklanmaktadır.

Programdaki önemli görsellerden biri olan tablo gösterimi, veri tabanındaki verilerin kullanılmasıyla oluşmaktadır. Buna veri tabanındaki tablonun eş zamanlı olarak arayüz programı üzerindeki bir sekmeye yansıtılması olarak görebiliriz. Bu işlemde önce

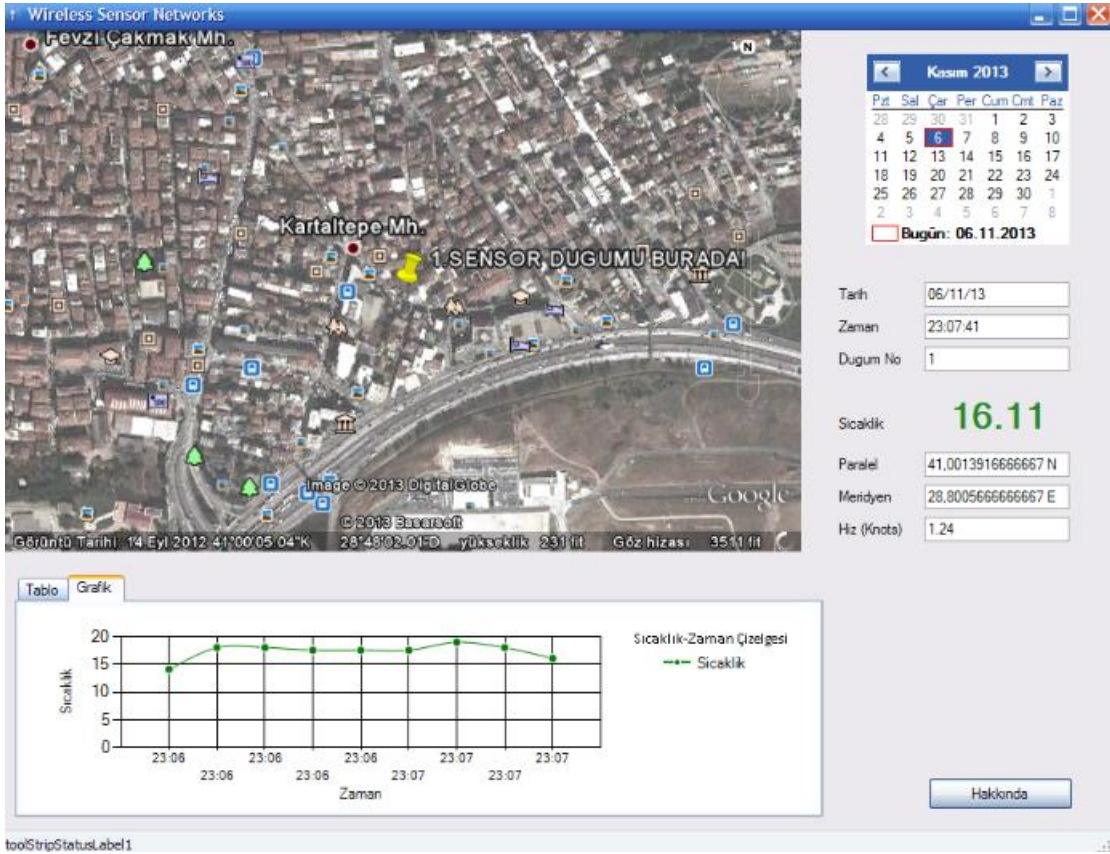
bilgisayara gelen geçerli veri paketleri ayrıştırılır ardından ayrıştırılan veriler veri tabanı üzerindeki tablodaki karşılık geldikleri kolonlara yazılır. Bu işlem gelen her bir veri paketi için uygulanır. Aynı zamanda arayüz programında bir tablo objesi tanımlanır ve tablo objesi ile veri tabanındaki tablo eşleştirilir. Böylelikle veri tabanındaki veriler aynen arayüz programı üzerindeki tabloda da gösterilmiş olur. Burada programa gelen verileri program üzerindeki bir tabloya direk yazmak yerine bu tablonun veri tabanı ile eş zamanlı çalışmasını sağlamakla programın verimli çalışması amaçlanmaktadır. Aynı zamanda programın daha evvelki çalışmalarında kaydetmiş olduğu verileri de arayüz programında görmek mümkün olmaktadır.



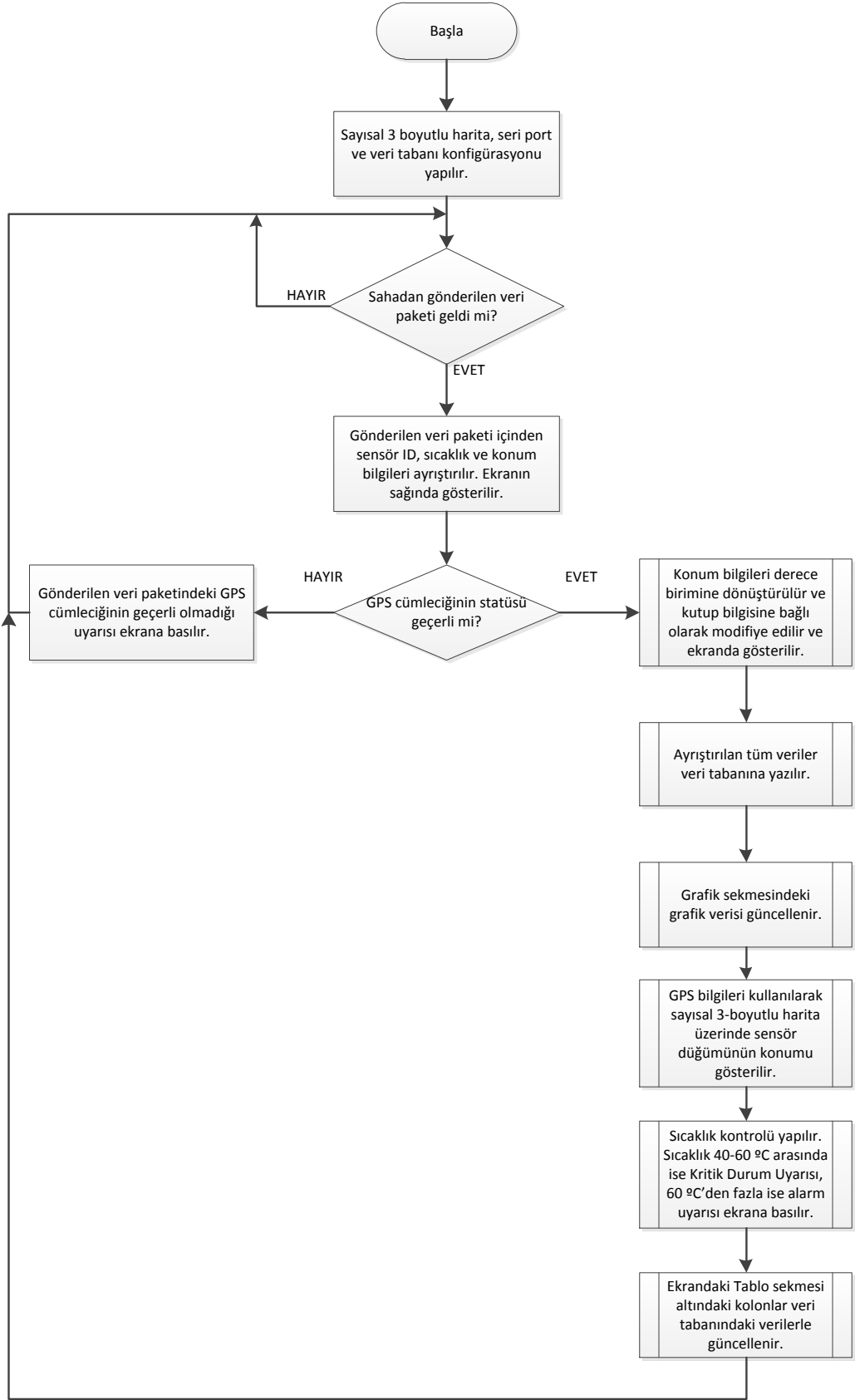
Şekil 4. 9 Tablo görseli ile arayüz programının tam görünümü

Arayüz programı üzerinde çalışan bir diğer önemli görsel obje ise sıcaklık değerlerinin grafiksel olarak ekrana yansıtılmasıdır. İki eksene sahip olan bu grafiğin x ekseninde sahadaki sensör düğümünden alınan sıcaklık değeri °C cinsinden, y ekseninde ise sıcaklık verisinin alındığı saat belirtilmektedir. Bu grafiksel gösterimle kullanıcıya ilave bir bilgi sunulmamaktadır. Çünkü burada kullanılan verilerin daha kapsamlısı tablo

gösteriminde zaten sunulmaktadır. Fakat günümüzde yazılan arayüz programların bu tarz alternatif sunumlar özellikle tercih edilmektedir. Bu sayede kullanıcının büyük ve karmaşık tablo verilerinde zaman harcaması yerine bu tarz grafiksel gösterimlerle zamana göre değişen sıcaklık verilerini görmesi daha kolay olmaktadır. Aynı zamanda kullanıcı açısından takibi kolaylaşmaktadır. Eğer kullanıcı daha ayrıntılı bir veri takibi isterse bunu tablo sekmesine tıklayarak rahatlıkla yapabilmektedir. Bu tarz alternatif yolların olması arayüz programının zenginliğini göstermektedir.



Şekil 4. 10 Grafik görseli ile arayüz programının tam görünümü



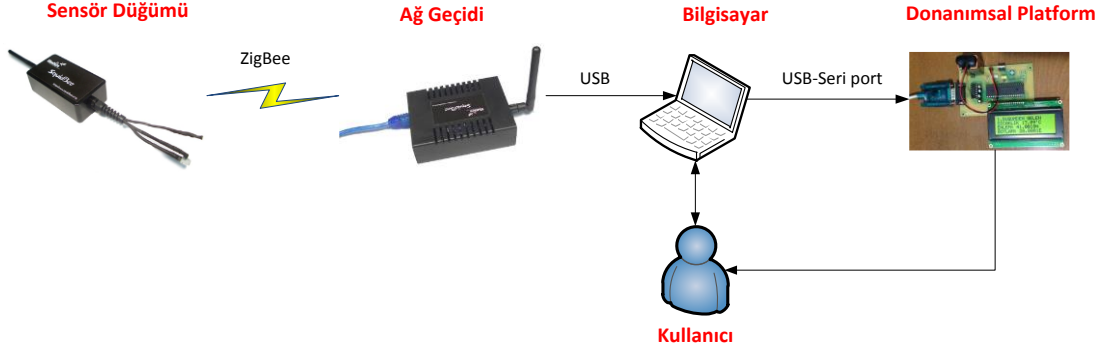
Şekil 4. 11 Arayüz programının algoritması

4.3 Donanımsal Platform

Donanımsal platforma daha evvel raporun donanım kısmında ayrıntılı olarak değinmiştim. Burada ise donanımsal platform üzerindeki PIC16F877 mikrodenetleyicisinin yazılımı konusuna ayrıntılı bir şekilde değinilecektir.

Elektronik alanında C yazılım dili vazgeçilmez bir yer edinmiştir bundan dolayı mikrodenetleyici yazılımında derleyici ve editör olarak CCS C kullanılmıştır. CCS C, CCS firması tarafından üretilmiş ve PIC mikro denetleyicilerinin C dili kullanılarak programlanmasına olanak tanıyan bir derleyici ve editördür. PIC ürünleri için mevcut olan C derleyicileri içinde, PIC ürünlerinin neredeyse tümünü destekleyen, büyük bir oranla ANSI C uyumlu, esnek ve çok kolay bir şekilde mikrodenetleyici programlanmasına izin veren, birçok iletişim protokolü ve çevresel ürünler için hazır kütüphane dosyaları (kontrol fonksiyonları) içeren CCS firması ürünü CCS C PIC C Compiler programı günümüzde oldukça popülerdir [27].

Donanımsal platformun yazılımı hakkında bilgi vermeden önce sensör düğümünden gönderilen veri paketlerinin donanımsal platforma nasıl gönderildiğine değinmemiz gerekmektedir. Çünkü donanımsal platform üzerinde herhangi bir kablosuz haberleşme birimi bulunmamaktadır dolayısıyla sensör düğümünden veya ağ geçidinden direk olarak veri paketlerini alma şansı yoktur. Bunun için yapılması gereken öncelikle sensör düğümünden veri paketlerini ağ geçidine ulaştırmak ve oradan da USB vasıtasıyla bilgisayar ortamına ulaştırmaktır. Aynı zamanda donanımsal platformu da seri port-USB dönüştürücü kablo ile bilgisayara bağlanması gerekmektedir. Bu durumda sadece bilgisayara gelen veri paketlerini donanımsal platformun bağlı olduğu USB portuna yönlendirmek kalmaktadır. Bunu yapabilmek içinse portlar arasında ayna görevi görebilecek bir küçük program yazmam gerekti. Ayna görevi gören bu programın tek işlevi ağ geçidinin bağlı olduğu USB portuna gelen veri paketlerini hiçbir değişikliğe uğratmadan aynen donanımsal platformun bağlı olduğu USB portuna göndermektir. Bu sayede bilgisayar bağımlıda olsa sahadaki sensör düğümü ile donanımsal platform arasında bağlantı sağlanmaktadır.



Şekil 4. 12 Donanımsal Platform ile birlikte sistemin çalışma diyagramı

Mikrodenetleyici yazılımının bir ana (main) fonksiyonu vardır. Bu fonksiyon içerisinde bir takım konfigürasyonlar yapılmalıdır. Örneğin; kullanılan LCD'nin başlatılması, seri port konfigürasyonunun yapılması, kullanılacak ise tipine göre kesmelere izin verilmesi gibi bir takım konfigürasyon ayarlamaları gerekmektedir. Örneğin; yazılan mikrodenetleyici kodunda zamanlayıcıları, Analog-Dijital dönüştürücüleri kullanmadığım için bunları geçersiz olarak tanımlanmıştır. Fakat kesmelerin kullanılması gerektiği için bunların kullanılmasına izin verilmiştir, aynı şekilde LCD'nin kullanılabilmesi içinde programın başında LCD'nin aktif hale getirilmesi gerekmektedir.

Veri paketleri donanımsal platforma seri port vasıtasıyla alınmaktadır. Bu noktada devreye PIC16F877 mikrodenetleyicisi üzerinde çalışan yazılım devreye girmektedir. Mikrodenetleyicilerde birçok çeşit kesme (interrupt) vardır. Bu kesmeler bir takım özel işlemlerin yapılmasında büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Örneğin; seri port kesmesi, mikrodenetleyicinin seri portuna veri geldiğinde devreye girer ve o durumda yapılması istenilen işlemler bu kesme altında yaptırılabilir. Seri port kesmesi özelliği donanımsal platformun yazılımında kullanılan bir kesmedir. Bir veri paketi geldiği anda seri port kesmesi çalıştırılır ve gelen veri paketinin tümü bir diziye atanır. Böylelikle bu dizi üzerinde rahatlıkla çalışma yapılabilir. Şekil 4.13'de seri porta gelen örnek bir veri paketini görebilirsiniz.

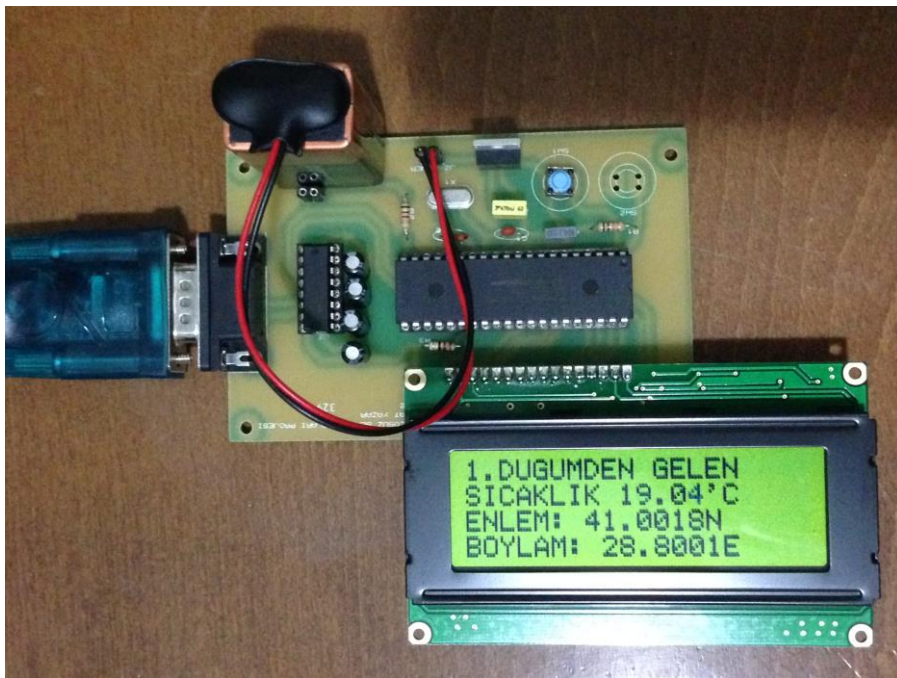
```
@5|t-34.78#$GPRMC,034556,A,3749.000,N,03340.000,E,1546.4,084.4,211200,003.1,W*6A
```

Şekil 4. 13 Donanımsal platform tarafında alınan veri paketi

Şekil 4.13'deki veri paketi cümleciğinden de anlaşılacağı üzere her bir paket mutlaka '@' karakteri ile başlamaktadır. Bu karakterler her bir veri paketini rahatlıkla ayırt

edebilmek için seçilmiştir. Seri port kesmesi çalıştığında öncelikle gelen karakterin '@' olup olmadığı kontrolü yapılmaktadır, bu sayede gelebilmesi muhtemel farklı verilerin işlenmesi önlenmiş olmaktadır. Eğer gelen karakter '@' ise ardından gelen karakterler daha önceden tanımlanmış bir diziye tek tek kaydedilir. Bu işlem '*' karakteri gelene kadar devam ettirilir. '*' karakterinin anlamı veri paketi cümlecığının sonu anlamına gelir yani anlamlı veriler taşıyan kısım '@' ile '*' karakterleri arasındaki kısımdır. Seri port kesmesi içinde anlamlı olan bu kısım bir diziye kaydedilmiş olur. Bu şekilde sensör düğümünün göndermiş olduğu veri paketi herhangi bir değişikliğe uğramadan aynı şekilde donanımsal platform tarafında da alınmış olur.

Veri paketi alınıp bir diziye atıldıktan sonra seri port kesmesinin işi biter ve program ana fonksiyon içinde kesme gelmeden önce nerede kaldıysa oradan çalışmasına devam eder. Artık veri paketi ana fonksiyon içerisinde bir dizi olarak kullanılabilir bir haldedir. Bunun içindeki sıcaklık, konum ve zaman bilgilerini kullanabilmemiz için veri paketinin aynı arayüz programında yapıldığı gibi bir ayrıştırılma işlemine tabii tutulması gerekmektedir. Ayrıştırma işleminin daha kolay ve sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için veri paketi içine bazı belirteçler yerleştirilmiştir. Bu belirteçler vasıtasıyla hem arayüz programında hem de mikrodenetleyici yazılımında ayrıştırma işlemi kolaylıkla yapılabilmektedir. Veri paketi içinde kullanılan belirteçler Çizelge 4.3'de verilmiştir.



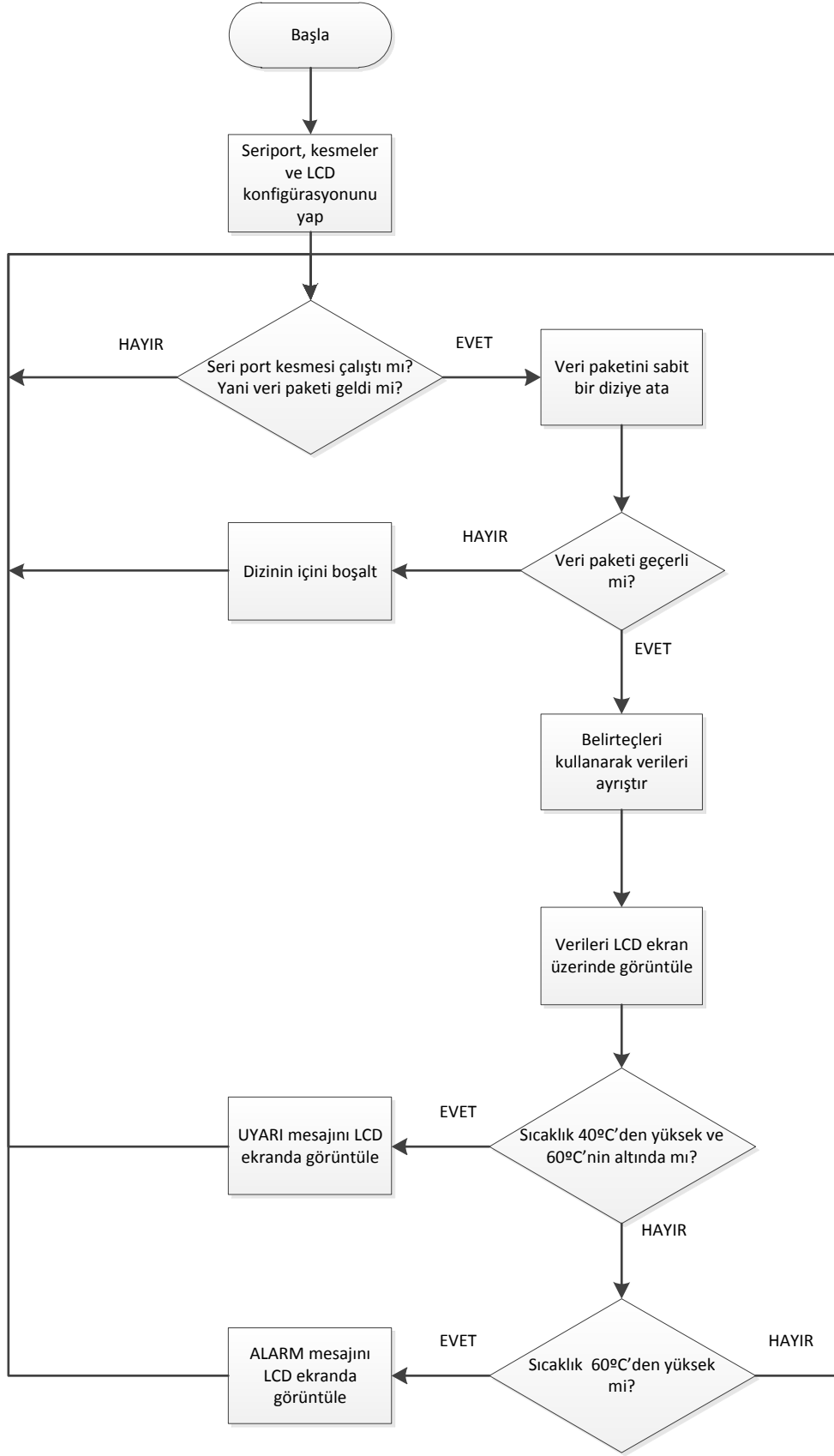
Şekil 4. 14 Donanımsal platform

Şekil 4.13'deki veri paketinin içeriği ve kullanılan belirteçler Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4. 3 Veri paketi içeriği ve içinde kullanılan belirteçler

Data	Açıklama
@5	1- '@' karakteri veri paketinin başlangıcını temsil eder. 2- '@' ile ' ' karakterleri arasındaki rakam sensör düğümünün kimliğini belirten bir rakamdır.
t-34.78#	1- 't' ifadesi sıcaklık değeri olduğunu ve takip eden değerlerin sıcaklık verisi olduğunu ifade eder. 2- '-' ile '#' karakterleri arasındaki ondalıklı sayılar sıcaklık verisini ifade eder.
\$GPRMC	1- '\$' karakteri GPS cümlecığının başlangıcını temsil eder. 2- 'GPRMC' karakterleri ise alınan GPS cümlecığının tipinin bir GPRMC cümlecığı olduğunu ifade eder.
,034556,	1- İki virgöl arasındaki rakamsal ifade saati ifade eder.
,A,	1- İki virgöl arasındaki ifade GPS cümlecığının statüsünü belirtir. 'A' ise geçerli bir GPS cümlecığıdır.
,3749.000,	1- İki virgöl arasındaki rakamsal ifade enlem bilgisini ifade eder. 37° 49.00'
,N,	1- İki virgöl arasındaki ifade kutup bilgisini verir. N ise Kuzey, S ise Güney.
,03340.000,	1- İki virgöl arasındaki rakamsal ifade boylam bilgisini ifade eder. 033° 40.00'
,E,	1- İki virgöl arasındaki ifade yön bilgisini ifade eder. E ise doğu, W ise batı.
,211200,	1- İki virgöl arasındaki rakamsal ifade tarih bilgisini ifade eder. 211200 ise 21 Aralık 2000 tarihini ifade eder.
*	1- '*' karakteri veri paketinin sonunu ifade eder.

Yukarıdaki tabloda belirtilen belirteçlerin vasıtasıyla ayrıştırma işlemi ana fonksiyon üzerinde yapılmaktadır. Ayrıştırma işlemi tamamlandıktan sonra artık elimizdeki verileri LCD üzerinde gösterebiliriz. Verilerin LCD üzerinde gösterilmesinin yanı sıra donanımsal platformun uyarı amaçlı kullanımı da söz konusudur. Alınan sıcaklık değeri eğer 40 °C'den düşük ise bu değer normal sınırlar içinde kabul edilir ve herhangi bir uyarı LCD ekrana basılmaz. Fakat sıcaklık değeri eğer 40-60 °C aralığında ise bu durum kritik durum olarak değerlendirilip kritik durum mesajı LCD ekrana basılır. Son olarak eğer sıcaklık 60 °C'den fazla ise bu durum alarm durumu olarak değerlendirilir ve LCD ekran üzerinde alarm durum mesajı basılır.



Şekil 4. 15 Mikrodenetleyici yazılım algoritması

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasının ana konusu olan Kablosuz Sensör Ağları her geçen gün önemini ve uygulama alanını arttırmaktadır. Özellikle son dönemlerdeki makineler arası iletişim teknolojisindeki olumlu gelişmeler Kablosuz Sensör Ağlarının gelişmesine olanak sağlamıştır. Örneğin; GSM sektöründeki 3G (Third Generation) ve ardından gelmesi planlanan LTE (Long Term Evaluation) teknolojileri ile Kablosuz Sensör Ağları daha da gelişecektir.

Tez amacı kısmında belirtilen 8 adet sensör düğümden ve 1 ağ geçidinden oluşan yıldız ağ topolojisine sahip kablosuz sensör ağı maliyet kısıtlarından dolayı kurulamamıştır. Bu tez çalışmasında 1 sensör düğümünden ve 1 ağ geçidinden oluşan ve noktadan noktaya ağ topolojisine sahip bir ağ kurulabilmiştir. Kurulan bu ağ hedeflenen büyük ağın sadece bir birimi gibi kabul edilebilir. Sensör düğüm sayısı arttırılarak hedeflenen büyük kablosuz sensör ağı kurulabilir.

Bu proje tek bir sensör düğümü üzerinde GPS, GSM/GPRS modülleri bulundurması nedeniyle diğer kablosuz sensör düğümleri projelerinden farklılaşmaktadır. GPS modülü kullanılmasıyla konum ve zaman belirlenmesinde tam ve net bilgiye erişilmektedir. GSM/GPRS modül kullanılmasıyla daha geniş kapsamda bir haberleşme ağını kullanımı sağlanmış olur. Ek olarak donanımsal platform kullanılması da projeyi benzeri projelerden ayırmaktadır. Donanımsal platform sayesinde verilerin görüntülenmesinde bilgisayara olan bağımlılık giderilmiştir.

Enerji tüketimi sensör düğümleri için hayati önem taşımaktadır. Çünkü sensör düğümleri sahada kablosuz bir şekilde çalışan cihazlardır. Dolayısıyla bunların enerji tüketimleri minimum seviyede olmalıdır. Sensör düğümünde kullanılan ekipmanlar enerji tüketimi açısından çok düşük tüketimlere sahip ürünlerdir. Özellikle Arduino geliştirme kartı üzerindeki mikrodenetleyici ve kablosuz haberleşme için kullanılan ZigBee teknolojisi minimum enerji tüketimleri ile sensör düğümünün sahadaki ömrünü uzatmaktadır. Bunlara ek olarak makineler arası (M2M) uygulamalarda kullanılmak üzere geliştirilen HiLo SAGEM marka GSM/GPRS modülü de düşük güç tüketimi ile öne çıkmaktadır. Kablosuz sensör ağları projelerinde güç tüketimi faktörü göz önünde bulundurulması gereken en önemli faktörler arasındadır.

Yapılmak istenen projenin ihtiyaçları doğrultusunda, sensör düğümü ve ağ geçidi tarafında bir takım geliştirmeler yapılabilir. Örneğin; sensör düğümü ile ağ geçidi arasındaki iletişim mesafesini arttırmak için daha profesyonel kullanımlar için üretilen XBee haberleşme modülleri veya daha güçlü antenler kullanılabilir. Bunlara ek olarak kötü hava koşullarında daha hızlı ve net konum-zaman bilgileri alabilmek için aynı anda daha fazla uydu ile iletişim kurabilen kaliteli GPS modülleri kullanılabilir.

Veri paketlerini görselleştirmeye yarayan bilgisayar programı son kullanıcı açısından oldukça kolay ve fonksiyonel olarak tasarlanmıştır. Program birçok veriye aynı anda görsel olarak erişebilmenin yanı sıra bunları birden çok ortamda ve farklı şekillerde gözlemleyebilme şansı sunmaktadır. Örneğin; konum bilgileri ekranın sağındaki alanda rakamsal formda görülebilirken ayrıca tamamen görsel formda sayısal 3 boyutlu harita üzerinde de görülebilmektedir. Bunun yanı sıra, alınan veri paketlerinde veriler ekranda gösterilmesine ek olarak bu veriler veri tabanında sıralı bir şekilde saklanabilmektedir. Bu tarz çeşitlilik ve kullanıcı için kolaylıklar programın kalitesini arttırmaktadır. Performans açısından çok yoğun bir veri paketi alımı olmadığı için program performansı oldukça iyi seviyelerdedir.

Proje boyunca yapılan çalışmaların maliyet analizi Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5. 1 Maliyet Analiz Tablosu

Alınan Ürün	Maliyet (TL)
Squidbee Sensör Dügümü	420
Squidbee Gateway	290
GPS Modül + Dahili GPS Anteni	135
GSM/GPRS Modül	190
Kargo Ücretleri	115
Gümrük Vergisi	210
Antrepo Hizmet Bedeli	110
Donanımsal Platform - Baskı Devresi	80
Donanımsal Platform - Devre Elemanları	50
TOPLAM	1600

İleride kablosuz sensör ağları üzerine yapılacak projelerde kapsama alanları içerisinde gerçekleştirilmesi durumunda 3G veya 4G kablosuz haberleşme teknolojileri kullanılarak video ve ses gibi yüksek kapasiteye sahip verilerde taşınabilir. Buna ek olarak düğümlerde kullanılan sensör çeşitliliği arttırılarak daha kesin sonuçlar elde edilebilir veya birden fazla amaç içinde bu düğümler kullanılabilir. Kesintisiz enerji ihtiyacı duyulan projeler için güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Beutel, J., Kasten, O., Mattern, F., Römer, K., Siegemund, F., ve Thiele, L., (2004). "Prototyping Wireless Sensor Network Applications with Btnodes", 1st European Workshop on Sensor Networks, 19-21 January 2004, Berlin, Germany.
- [2] Mainwaring, A., Polastre, J., Szewczyk, R., Culler, D. ve Anderson, J., (2002). "Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring", 1st ACM Int'l Workshop Wireless Sensor Networks and Applications, 28 September 2002, Atlanta, Georgia, USA.
- [3] Akyildiz, I.F., Melodia, T. ve Chowdhury, K.R., (2006). "A survey on wireless multimedia sensor networks", Computer Networks, 51:921-960.
- [4] Römer, K. (2004). "Tracking Real-World Phenomena with Smart Dust", InEWSN 2004, Berlin, Germany, January 2004
- [5] Bulusu, N., Heideman, J. ve Estrin, D., (2000). "GPS-less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices", IEEE Personal Communications, 7(5):28-34, October 2000.
- [6] Vij, V. ve Mehra, R. "FPGA Based Kalman Filter for Wireless Sensor Networks", International Journal of Computer Technology and Applications, 2(1):155-159.
- [7] Yu, L., Wang, N., ve Meng, X., (2005). "Real-Time Forest Fire Detection with Wireless Sensor Networks", Proceedings of Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 1214-1217.
- [8] Zhang, J., Li, W., Han, N. ve Kan, J., (2008). "Forest Fire Detection System Based on a Zigbee Wireless Sensor Network", Front. For. China, Springer Verlag, 369-374.
- [9] ODTÜ Bilgisayar Topluluğu Elektronik Dergisi, Kablosuz Sensör Ağları, <http://e-bergi.com/y/Kablosuz-Sensor-Aglari> , 18 Mayıs 2015.
- [10] Wikipedia, Wireless Sensor Networks, http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network , 18 Mayıs 2015.
- [11] İTÜ Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Wireless Personal Area Network, [http://bidb.itu.edu.tr/sevirdefteri/blog/2013/09/07/wpan-\(wireless-personal-](http://bidb.itu.edu.tr/sevirdefteri/blog/2013/09/07/wpan-(wireless-personal-)

- [area-network-kablosuz-ki%C5%9Fisel-alan-a%C4%9F%C4%B1-\),](#) 18 Mayıs 2015.
- [12] Hackmann, G., (2006), 802.15 Personal Area Networks, <http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/wpans/index.html>, 19 Mayıs 2015.
- [13] Wikipedia, IEEE 802.15.4, http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4#cite_ref-ISA100_1-0, 18 Mayıs 2015.
- [14] Libelium, Sensor Networks, <http://sensor-networks.org/index.php?page=0823123150>, 22 Mayıs 2012.
- [15] UCLA, ZigBee, <http://lecs.cs.ucla.edu/~adparker/EE202A/hw2/index.html>, 25 Mayıs 2012.
- [16] İTÜ Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, ZigBee, <http://www.bidb.itu.edu.tr/?d=484>, 21 Mayıs 2015.
- [17] Arduino, Arduino UNO, <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>, 18 Mayıs 2015.
- [18] Texas Instruments, LM35 Data Sheet, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>, 01 Mayıs 2015.
- [19] Atmel, ATmega328, http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf, 01 Mayıs 2015.
- [20] Cooking Hacks, Xbee, <http://www.cooking-hacks.com/skin/frontend/default/cooking/pdf/series2-digi.pdf>, 25 Mayıs 2012.
- [21] Forouzan, B.A., (2007). Data Communications and Networking, Fourth Edition, Mc Graw-Hill Book Co., New York
- [22] Sagemcom, Sagem Hilo GSM/GPRS, http://www.sagemcom.com/fileadmin/pdf/produits/modules/SAGEM_HiLo_da_tasheet_LR.pdf, 17 Eylül 2013.
- [23] Cooking Hacks, Documentation – GPRS Quadband Module for Arduino Tutorial, <http://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/arduino-gprs-quadband>, 19 Mayıs 2015.
- [24] Microchip, PIC16F87X Data Sheet, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292c.pdf>, 02 Mayıs 2015.
- [25] Texas Instruments, MAX 232 Data Sheet, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf>, 17 Mayıs 2015.
- [26] Sparkfun, LM7805 Data Sheet, <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>, 04 Kasım 2013.

- [27] Çiçek, S., (2007). CCS C ile PIC Programlama, Altaş Yayıncılık, İstanbul.
- [28] Wikipedia, OSI Modeli, http://tr.wikipedia.org/wiki/OSI_modeli, 21 Mayıs 2015.
- [29] İsak, S., (2007). IEEE 802.15.4 Standardına Uyumlu RF Haberleşme Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 kablosuz haberleşme protokolünü ve Zigbee protokolünü kullanan Arduino XBee modülünün içyapıları ve çalışma şekillerinin daha iyi anlaşılabilmesi için, OSI katman yapısı ve katmanların görevleri hakkında kısaca açıklama yapılması faydalı olacaktır.

A-1 OSI Modeli

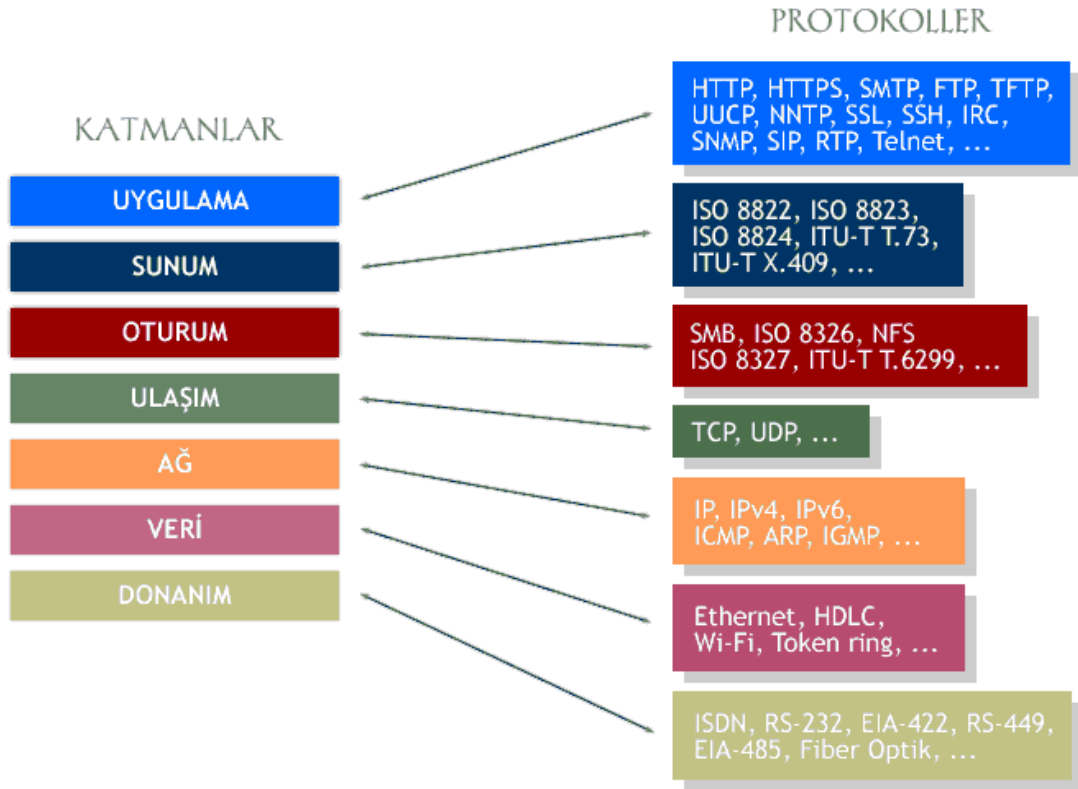
Open Systems Interconnection (OSI) modeli ISO (International Organization for Standardization) tarafından geliştirilmiştir. Amaç, iki bilgisayar arasındaki iletişimin nasıl olacağını tanımlamaktır.

İlk olarak 1978 yılında ortaya çıkarılan bu standart 1984 yılında yeni bir düzenlemeyle OSI başvuru modeli olarak yayımlanmıştır. Bu model kısa sürede kabul görerek yaygınlaşmış ve ağ işlemleri için bir kılavuz olmuştur.

OSI öncesindeki dönemde, yalnızca bilgisayar donanımı üreten kuruluşlara özgü ağlar vardı. Örneğin IBM'in SNA ile DEC'in DECnet'i gibi. Bu ağların özellikleri, çoğunlukla yalnızca o üreticinin donanımının kullanılmasına izin verecek (ya da en azından başka ürünlerin bağlanmasını zorlaştıracak) biçimde tanımlanmıştı. Onlardan ayrı olarak OSI, çeşitli üreticilerin ürünlerinin bağlanabileceği bir ağ için, bir sektör etkinliği olarak ortaya çıkmıştır.

OSI Modeli herhangi bir donanım ya da bilgisayar ağı tipine göre değişiklik göstermemektedir. OSI'nin amacı ağ mimarilerinin ve protokollerinin bir ağ ürünü bileşeni gibi kullanılmasını sağlamaktır.

ISO standartlarının ağ üzerindeki iletişimi sağlarken karmaşık bir yol izlediği bir gerçektir. ISO standardı yedi katmana (alt göreve) ayrılmıştır. OSI modeli olarak bilinen bu yedi katman aşağıda gösterilmiştir [28].



Şekil A. 1 OSI katman yapısı ve protokoller [28]

OSI Katmanları

OSI modeli verinin bir bilgisayar üzerinde bir programdan, ağ ortamından geçerek diğer bir bilgisayar üzerindeki diğer bir programa nasıl ulaşacağını tanımlar. Model bu süreci 7 katman halinde inceler.

Uygulama katmanı veriyi sunum katmanına sunum ise oturum katmanına aktarır. Bu şekilde veri fiziksel katmana kadar ulaşır. Veri alımında ise bu işlem tam tersi şekilde gerçekleşir.

OSI Modelinde her katman çözülmesi gereken problemleri tanımlar. Bu katmanda çalışan aygıt ve protokoller ise bu problemlere çözüm getirir.

7 katmanlı OSI modeli 2 bölümde incelenebilir: Uygulama Seti ve Veri aktarım seti. Uygulama seti uygulamalar yani programlarla ilgili konuları içerir. Genellikle sadece yazılımla ilgilidir. Modelin en üstündeki uygulama katmanı kullanıcıya en yakın katmandır.

Veri aktarım seti, veri iletişimi ile ilgili meseleleri tanımlar. Fiziksel ve veri aktarım katmanları hem yazılımsal hem de donanımsal olarak görevini yerine getirebilir. Fiziksel katman (en alt katman) fiziksel ağ ortamına en yakın katmandır ve esas olarak bilgiyi kablodan aktarmakla görevlidir.

Fiziksel (Donanım) Katman

1. katman veya fiziksel katman verinin kablo üzerinde alacağı fiziksel yapıyı tanımlar. Diğer katmanlar 1 ve 0 değerleriyle çalışırken, 1. katman 1 ve 0'ların nasıl elektrik, ışık veya radyo sinyallerine çevrileceğini ve aktarılacağını tanımlar. Gönderen tarafta 1. katman bir ve sıfırları elektrik sinyallerine çevirip kabloya yerleştirirken, alıcı tarafta 1. katman kablodan okuduğu bu sinyalleri tekrar bir ve sıfır haline getirir.

Fiziksel katman veri bitlerinin karşı tarafa, kullanılan medya (kablo, fiber optik, radyo sinyalleri) üzerinden nasıl gönderileceğini tanımlar. İki tarafta aynı kurallar üzerinde anlaşmamışsa veri iletimi mümkün değildir. Örneğin bir taraf sayısal 1 manasına gelen elektrik sinyalini +5 V ve 2 milisaniye süren bir elektrik sinyali olarak yolluyor, ama alıcı +7 V ve 5 milisaniyelik bir sinyali kabloda gördüğünde bunu 1 olarak anlıyorsa veri iletimi gerçekleşmez.

Fiziksel katman bu tip çözülmesi gereken problemleri tanımlamıştır. Üreticiler (örneğin ağ kartı üreticileri) bu problemleri göz önüne alarak aynı değerleri kullanan ağ kartları üretirler. Böylece farklı üreticilerin ağ kartları birbirleriyle sorunsuz çalışır.

Veri Bağlantısı Katmanı

Veri bağlantısı katmanı fiziksel katmana erişmek ve kullanmak ile ilgili kuralları belirler. Veri bağlantısı katmanının büyük bir bölümü ağ kartı içinde gerçekleşir. Veri bağlantısı

katmanı ağ üzerindeki diğer bilgisayarları tanımlama, kablonun o anda kim tarafından kullanıldığının tespiti ve fiziksel katmandan gelen verinin hatalara karşı kontrolü görevini yerine getirir.

Veri bağlantısı katmanı iki alt bölüme ayrılır: Media Access Control (MAC) ve Logical Link Control (LLC).

MAC alt katmanı veriyi hata kontrol kodu (CRC), alıcı ve gönderenin MAC adresleri ile beraber paketler ve fiziksel katmana aktarır. Alıcı tarafta da bu işlemleri tersine yapıp veriyi veri bağlantısı içindeki ikinci alt katman olan LLC'e aktarmak görevi yine MAC alt katmanına aittir.

LLC alt katmanı bir üst katman olan ağ katmanı (3. katman) için geçiş görevi görür. Protokole özel mantıksal portlar oluşturur (Service Access Points, SAPs). Böylece kaynak makinada ve hedef makinada aynı protokoller iletişime geçebilir (örneğin TCP/IP<-->TCP/IP). LLC ayrıca veri paketlerinden bozuk gidenlerin (veya karşı taraf için alınanların) tekrar gönderilmesinden sorumludur. Flow Control yani alıcının işleyebileceğinden fazla veri paketi gönderilerek boğulmasının engellenmesi de LLC'nin görevidir.

Ağ Katmanı

Ağ katmanı veri paketine farklı bir ağa gönderilmesi gerektiğinde yönlendiricilerin kullanacağı bilginin eklendiği katmandır. Örneğin IP protokolü bu katmanda görev yapar.

Taşıma (Ulaşım) Katmanı

Taşıma katmanı üst katmanlardan gelen veriyi ağ paketi boyutunda parçalara böler. NetBEUI, TCP ve SPX gibi protokoller bu katmanda çalışır. Bu protokoller hata kontrolü gibi görevleride yerine getirir.

Taşıma katmanı alt katmanlar (veri aktarım seti) ve üst katmanlar (uygulama seti) arasında geçit görevini görür. Alt katmanlar verinin ne olduğuna bakmandan karşı tarafa yollama işini yaparken üst katmanlarda kullanılan donanım ile ilgilenmeden verinin kendisi ile uğraşabilirler.

Oturum Katmanı

Oturum katmanı bir bilgisayar birden fazla bilgisayarla aynı anda iletişim içinde olduğunda, gerektiğinde doğru bilgisayarla konuşabilmesini sağlar. Örneğin A bilgisayarı B üzerindeki yazıcıya yazdırırken, C bilgisayarı B üzerindeki diske erişiyorsa, B hem A ile olan, hem de C ile olan iletişimini aynı anda sürdürmek zorundadır.

Bu katmanda çalışan NetBIOS ve Sockets gibi protokoller farklı bilgisayarlarla aynı anda olan bağlantıları yönetme imkânı sağlarlar.

Sunum Katmanı

Sunum katmanının en önemli görevi yollanan verinin karşı bilgisayar tarafından anlaşılabilir halde olmasını sağlamaktır. Böylece farklı programların birbirlerinin verisini kullanabilmesi mümkün olur.

Dos ve Windows 9x metin tipli veriyi 8 bit ASCII olarak kaydederken (örneğin A harfini 01000001 olarak), NT tabanlı işletim sistemleri 16 bit Unicode'u kullanır (A harfi için 000000001000001). Ancak kullanıcı tabiki sadece A harfiyle ilgilenir. Sunum katmanı bu gibi farklılıkları ortadan kaldırır.

Sunum katmanı günümüzde çoğunlukla ağ ile ilgili değil, programlarla ilgili hale gelmiştir. Örneğin eğer siz iki tarafta da GIF formatını açabilen bir resim gösterici kullanıyorsanız, bir makinanın diğeri üzerindeki bir GIF dosyayı açması esnasında sunum katmanına bir iş düşmez, daha doğrusu sunum katmanı olarak kastedilen şey, aynı dosyayı okuyabilen programları kullanmaktır.

Uygulama Katmanı

Uygulama katmanı programların ağı kullanabilmesi için araçlar sunar. Microsoft API'leri uygulama katmanında çalışır. Bu API'leri kullanarak program yazan bir programcı, örneğin bir ağ sürücüsüne erişmek gerektiğinde API içindeki hazır aracı alıp kendi programında kullanır. Alt katmanlarda gerçekleşen onlarca farklı işlemin hiçbirisiyle uğraşmak zorunda kalmaz.

Uygulama katmanı için bir diğerk örnek HHTP'dir. HTTP alıştırılan bir program değil bir protokoldür. Yani bir kurallar dizesidir. Bu kurallar dizesine göre çalışan bir Browser aynı protokolü kullanan bir Web sunucuya erişir.

A-2 IEEE 802.15.4 Standardı

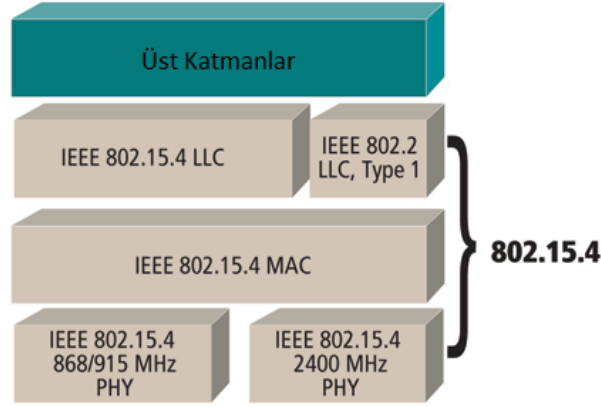
IEEE 802.15.4, OSI katmanının fiziksel katman ve MAC alt katmanından oluşan düşük hızlı kişisel kablosuz ağ standardıdır. IEEE 802.15 alışma grubu tarafından geliştirilmiş bir standarttır. Ana amacı iki cihaz arasındaki iletişimi sağlamak olan bu protokol, IEEE tarafından teknolojik gelişmelerin ortak kuralların olduğu bir platform üzerinde gelişmesi amacıyla oluşturulmuştur. Squidbee kablosuz sensör düğümlerinde bu standart Arduino geliştirme kartları için geliştirilmiş XBee 802.15.4 OEM modül ile kullanılmaktadır.

Temel olarak alt ağ katmanlarından oluşan IEEE 802.15.4 standardı iki cihaz arasındaki kablosuz haberleşmenin düşük-hız ve düşük-maliyet ile gerçekleştirilmesine odaklanmıştır. Komşu cihazlarla düşük maliyetli haberleşme ciddi bir altyapı kurulumu gerektirmeyeceğinden aynı zamanda bu standardı sağlayan cihazlar düşük güç tüketimeine sahip cihazlardır.

Protokol Mimarisi

IEEE 802.15.4 standardı OSI katman yapısında 2. Katmana denk gelen bir haberleşme katmanı tanımlar ve bunun adı Data Link katmanı olarak adlandırılır. Bu standartta yalnızca OSI modelinin alt iki katmanı tanımlıdır ağ katmanı gibi üst katmanlar ise OSI modelinde tanımlandığı gibidir. Bu standardın üst katmanlarla çalışmasında ise IEEE 802.2 Logical Link Control alt katmanı kullanılmaktadır [13].

Fiziksel katman veri iletim görevini yerine getirmektedir. Fiziksel katman RF alıcı-veri görevini yerine getirdiği gibi aynı zamanda kanal seçimi, enerji ve sinyal yönetimi fonksiyonlarını yerine getirir [13].



Şekil A. 2 IEEE 802.15.4 protokol yapısı

2,4 GHz frekansında 16 kanal ile 250 kbps, 915 MHz frekansında 10 kanal ile 40 kbps ve 868 MHz frekansında 1 kanal ile 20 kbps hızlarına erişilebilmektedir. Ürünlerin erişim mesafesi iletim gücü ve çevre etkilerine bağlı olarak 10 ile 100 metre arasında değişmektedir.

Media Access Control katmanı, fiziksel kanalı kullanarak MAC çerçevelerinin iletimini sağlamaktadır. Veri iletimine ek olarak fiziksel kanal ile ağ katmanına erişim konusunda bir arayüz görevi görmektedir [13].

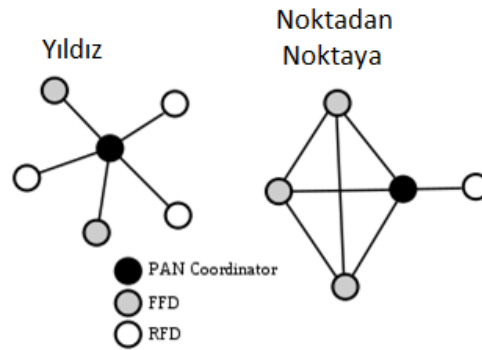
Daha öncede bahsedildiği gibi IEEE 802.15.4 standardında daha üst katmanlar tanımlı değildir fakat piyasada bu standardı temel olarak almış ve üst katmanları da içeren ZigBee gibi protokoller bulunmaktadır.

Ağ Modeli

IEEE tarafından iki fiziksel cihaz tipi tasarlanmıştır. Bunlardan ilki diğer cihazlarla konuşabilen, ağ koordinatörü yeteneğine sahip ve herhangi bir topolojide çalışabilen Full Function Device (FFD)'dir. Diğeri ise Reduce Function Device (RFD) olarak adlandırılan star topolojisi ile sınırlandırılmış ve koordinatör görevi göremeyen ve sadece bir ağ koordinatörü ile konuşabilen cihaz tipidir [13].

Ağ oluştururken noktadan noktaya ve yıldız topolojileri kullanılabilir fakat bütün ağlarda mutlaka en az bir tane FFD ağ koordinatörü olarak bulunmalıdır. Düğüm olarak

kullanılan cihazlar ise RFD olarak kullanılabilirler. Bu sayede ağ kurulumunun maliyeti azaltılabilir.



Şekil A. 3 IEEE 802.15.4 yıldız ve noktadan-noktaya topolojileri

Ağda kullanılan her bir cihaz 64-bit kimlik belirleyici bulunmaktadır ancak kısıtlı şartlar olduğundan bu 16-bit olarak kısaltılabilir.

Noktadan noktaya ağ topolojisinde kesin belirlenmiş bir bağlantı deseni bulunmamaktadır. Buradaki tek kriter her bir düğüm çifti arasındaki uzaklıktır. Bu topolojide ağ kendi yönetimini ve organizasyonunu yapabilen bir yapıya sahiptir. Standartta ağ katmanı tanımlı olmadığından yönlendirme (routing) direkt olarak desteklenmemektedir. Standardı temel olarak kullanan Zigbee protokolü sayesinde bu sorun çözüme ulaştırılmıştır. Bu yapı, birden fazla cluster tree ağı kullanılarak ve her bir cluster'da yerel bir FFD ağ koordinatörü ve genel bir koordinatör kullanılarak mesh ağ yapısına genişletilebilir.

Standartta star ağ topolojisi de desteklenmektedir. Bu topolojide ağın koordinatörü merkezi node olması şarttır. Bu sayede ağda bulunan bütün düğümler merkezde bulunan koordinatör ile bağlantı sağlamaktadır.

Veri İletim Mimarisi

Veri iletiminin temel birimleri çerçevelerdir ve bu çerçeveler veri, onay, beacon ve MAC komutu gibi 4 ana başlık altında toplanabilir. Bu çerçeveler basitlik ve sağlamlık arasında makul sayılabilecek bir düzeyde denge sağlamaktadır. Ek olarak koordinatör tarafından tanımlanan, iki beacon çerçevesi kendi sınırlarındayken ve diğer cihazlar

arasında senkronizasyonu ve konfigürasyon bilgisini sağlamak için süper çerçeveler kullanılabilir [13].

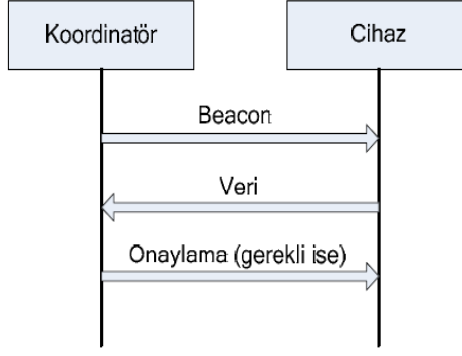
Süper çerçeveler içerisindeki sınırlar arasında bir çakışma meydana gelebilir. Bu durum CSMA/CA kullanılarak giderilmektedir. Her bir veri iletimi ikinci bir beacon çerçevesi gelmeden önce mutlaka sonlanmalıdır [13].

Veri aktarım modeli 3 ana kısım altında incelenebilir. Bunlardan ilki bir cihazdan koordinatöre gönderilen veriler, diğeri bu akışın tam tersi olan koordinatörden cihaza gönderilen veriler ve sonuncusu da cihazlar arasında gönderilen verilerdir. Star topolojiye sahip ağlardan bunlardan yalnız ilk ikisi kullanılmaktadır. Bunun sebebi star topolojide yalnızca koordinatör ve cihaz arasında veri iletişimi olmaktadır. Peer-to-peer topolojiye sahip ağlarda bu veri aktarım tiplerinden hepsi kullanılabilir.

Her veri aktarım tipinin mekanizması, ağın beacon çerçevelerinin iletimini destekleyip desteklemediğine bağlıdır. Bilgisayar çevre birimleri gibi düşük gecikme süresi ile veri aktarımını destekleyen cihazlar için aktif-beacon ağlar kullanılır. Eğer kurulacak ağ böyle cihazları desteklemeyecekse beacon çerçevesi normal veri aktarımları için elenebilir. Yine de, koordinatöre yeni bir cihazın bağlanma isteği geldiğinde beacon üretilmelidir.

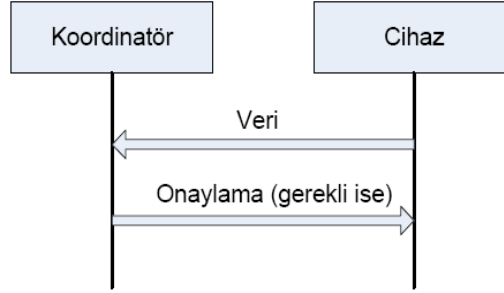
Koordinatöre Veri Aktarımı

Aktif-Beacon ağlarda bir cihaz, koordinatöre veri göndermek istediğinde, ilk önce ağın beacon çerçevesini yakalamaya çalışır. Bağlı olduğu ağın beacon çerçevesi bulunduğu anda cihaz süper çerçeve yapısına eş zamanlı hale gelir. Bu aşamadan sonra cihaz uygun bir noktada kendi veri çerçevesini slotlu CSMA-CA kullanarak koordinatöre iletir. Koordinatör iletilen verinin başarı ile alındığını seçimli onay çerçevesini ileterek onaylar. İşlem bu noktada tamamlanmış olur. Yapılan veri aktarımı Şekil A.4'de özetlenmiştir [29].



Şekil A. 4 Aktif-beacon ağı içerisinde koordinatör ile veri iletişimi

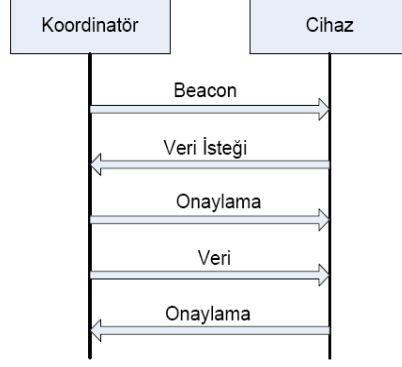
Pasif-Beacon ağlarda bir cihaz, koordinatöre veri göndermek istediğinde, basit olarak kendi veri çerçevesini slotsuz CSMA-CA kullanarak koordinatörüne gönderir. Koordinatör verinin başarı ile alındığını seçimli onay çerçevesi ileterek onaylar. İşlem bu noktada tamamlanmış olur. Bu aktarım işlemi Şekil A.5’de özetlenmiştir [29].



Şekil A. 5 Pasif-beacon ağı içerisinde koordinatörle ile iletişim

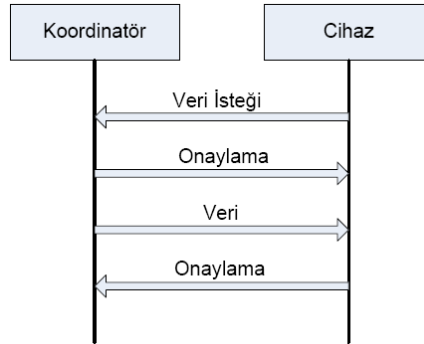
Koordinatörden Veri Aktarımı

Aktif-Beacon ağda koordinatör bir cihaza veri göndermek isterse, ağın beacon çerçevesi içinde veri mesajı beklediğini belirtir. Böyle ağlarda cihazlar periyodik olarak ağın beacon çerçevesini dinler. Eğer cihaz için bekleyen mesaj varsa, cihaz tarafından veri isteği komutu slotlu CSMA-CA mekanizması kullanılarak gönderilir. Koordinatör komutun alındığını onaylamak için seçimli onay çerçevesini iletir ve ardından slotlu CSMA-CA mekanizmasını kullanarak bekleyen veriyi gönderir. Cihaz, bekleyen veriyi aldığı zaman onay çerçevesi yollayarak alındıyı onaylar. İşlem bu noktada tamamlanmış olur. Onay çerçevesinin alınması üzerine mesaj, beacon içindeki bekleyen mesajlar listesinden silinir. Veri aktarım işlemi Şekil A.6’da özetlenmiştir [29].



Şekil A. 6 Aktif beacon ağı içerisinde koordinatörden veri iletişimi

Pasif-Beacon ağda koordinatör bir cihaza veri göndermek isterse, koordinatör gönderilecek veriyi, uygun cihaz koordinatör ile bağlantı kurana veya veri isteğinde bulunana kadar depolar. Cihaz uygulamada belirtilmiş aralıklarda veri isteği komutunu slotsuz CSMA-CA ile koordinatörüne göndererek, koordinatörü ile bağlantı kurabilir. Koordinatör veri isteğini komutunun başarı ile alındığını onaylamak için onay çevresi yollar. Cihaz için bekleyen veri mevcutsa, koordinatör slotsuz CSMA-CA kullanarak bekleyen veriyi gönderir. Veri mevcut değilse, koordinatör sıfır uzunluklu veri yükü ile veri çerçevesini gönderir. Bu cihaza bekleyen verinin olmadığı belirtir. Cihaz verinin başarı ile alındığını onaylamak için onay çerçevesini gönderir. İşlem bu noktada tamamlanmış olur. Veri aktarım işlemi Şekil A.7’de özetlenmiştir [29].



Şekil A. 7 Pasif-beacon ağlarda koordinatörden veri iletişimi

Cihazdan Cihaza Veri Aktarımı

Noktadan noktaya topolojisi ile kurulmuş ağlarda her bir cihaz kendi iletişim alanı içindeki başka bir cihaz ile iletişim kurabilir. Bunun etkin olarak sağlanabilmesi için ya

cihazlar diğ er alıcı cihazlar ile sürekli iletişim içinde olurlar ya da birbirleri ile eş zamanlı çalışma ihtiyacı duyarlar. İlk bahsedilen metotta cihaz verisini basitçe slotsuz CSMA-CA ile gönderir. İkinci metotta söylenen eş zamanlamanın sağlanabilmesi için değişik ölçülere gereksinim duyulur. Bu ölçüler standardın kapsamının ötesindedir ve uygulamaya bağlı nitelik gösterir [29].

IEEE 802.15.4 Fiziksel Katmanı Özellikleri

Bu bölümde IEEE 802.15.4 standardında tanımlı olan iki katmandan en altta bulunan Fiziksel Katmanı (PHY) üzerinde durulacaktır. Fiziksel katman aşağıda belirtilen görevlerden sorumludur;

- Radyo alıcı-vericisinin etkinleştirilmesi
- Güncel kanal için enerji sezimi (ED)
- Alınan paketler için bağlantı kalite bildirim (LQI)
- CSMA-CA için temiz kanal atanması (CCA)
- Kanal frekans seçimi
- Veri iletimi ve alımı

IEEE 802.15.4 standardına uyumlu cihazlar bir veya birden fazla frekans bandında Çizelge A.1’de özetlenen modülasyon ve yayılma biçimlerini kullanarak işletilmelidir.

Çizelge A. 1 Frekans bantları ve veri hızları

PHY (MHz)	Frekans Bandı (MHz)	Yayımlım Parametreleri		Veri Parametreleri		
		Chip Oranı (kchip/s)	Modülasyon	Bit Oranı (kb/s)	Sembol Oranı (ksymbol/s)	Semboller
868/915	868-868.6	300	BPSK	20	20	İkili
	902-928	600	BPSK	40	40	İkili
2450	2400-2483.5	2000	O-QPSK	250	62.5	16’lı Dikgen

Frekans bandında toplam 0'dan 26'ya kadar numaralandırılan 27 kanal mevcuttur. 2450 MHz bandında 16, 915 MHz bandında 10 kanal ve 868 MHz bandında 1 kanal mevcuttur. Bu kanalların merkez frekansları aşağıda tanımlanmıştır.

$$F_c = 868,3 \text{ [MHz]} \quad \rightarrow \quad k = 0 \quad (\text{A.1})$$

$$F_c = 906 + 2(k - 1) \text{ [MHz]} \quad \rightarrow \quad k = 1, 2, \dots, 10 \quad (\text{A.2})$$

$$F_c = 2405 + 5(k - 11) \text{ [MHz]} \quad \rightarrow \quad k = 11, 12, \dots, 26 \quad (\text{A.3})$$

Desteklenen her fiziksel katman için, uyumlu cihazlar işletildiği bölgede izin verilen tüm kanalları desteklemelidir.

Fiziksel Katman (PHY) Protokol Veri Birimi Yapısı

Standarda uygunluk için, sunulan PHY protokol veri birimi (PPDU) paket yapısında en solda yazılan alan ilk gönderilmeli ve alınmalıdır. Bütün çoklu byte alanlarında en düşük anlamlı byte ve her byte için en düşük anlamlı bit (LSB) önce gönderilmeli ve alınmalıdır. PHY ve MAC alt katmanları arasındaki veri aktarımı için de aynı şekilde iletim yapılmalıdır.

Her bir PPDU paketi aşağıda belirtilen temel bileşenleri içerir:

- SHR, alıcı cihazın eş zamanlamayı sağlamasını ve bit akımına kilitlenmesini sağlar.
- PHR, çerçeve uzunluğu bilgisini içerir.
- Değişken uzunluktaki veri yükü, MAC alt katmanı çerçevesini taşır.

Bayt: 4	1	1		Değişken
Başlangıç	SFD	Çerçeve Uzunluğu (7 bit)	Ayrılmış (1 bit)	PSDU
SHR		PHR		PHY veri yükü

Şekil A. 8 Fiziksel Katman Protokol Veri Birimi (PPDU) Yapısı

Başlangıç Alanı

Başlangıç alanı, alıcı-verici tarafından gelen mesajlarda chip ve sembol eşlemesini elde etmek için kullanılır. Alan 32 adet ikili sayıdan yani 8 byte'dan oluşur.

SFD Alanı

SFD alanı 8 bit boyutundadır. Bu alan, başlangıç alanının sonunu ve paket verisinin başlangıcını gösterir. SFD alanı Şekil A.9'da gösterildiği gibi olmalıdır.

Bit: 0	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	0	0	1	0	1

Şekil A. 9 SFD alanı veri yapısı

Çerçeve Uzunluğu Alanı

Çerçeve Uzunluk Alanı 8 bit boyutundadır ve PHY hizmet veri biriminin (PSDU) içerdiği byte'ların toplam sayısını belirler. Değeri 0 ile en büyük PHY paket boyutu arasında olabilir. Çizelge A.2'de veri yükünün tipine göre çerçeve uzunluk değeri özetlenmiştir.

Çizelge A. 2 Çerçeve uzunluğu değerleri

Çerçeve Uzunluk Değeri	Veri Yüğü
0-4	Ayrılmış
5	MPDU (Onaylama)
6-7	Ayrılmış
8- En Büyük Paket Boyutu	MPDU

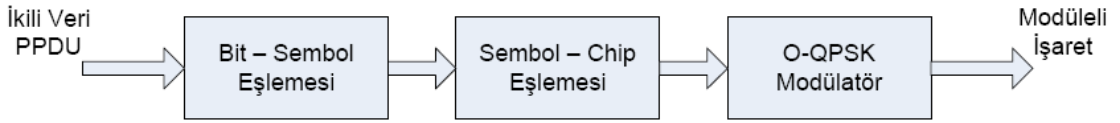
PSDU Alanı

PHY hizmet veri birimi (PSDU) alanı değişken uzunluğa sahiptir ve PHY paketinin verisini taşır. Tüm paket tipleri için çerçeve uzunluk değeri, 5 byte veya 7 byte'dan büyük olmalıdır. PSDU, MAC alt katmanı çerçevesini (MPDU) içerir.

ISM 2.4 GHz Fiziksel Katman Tanımlamaları

IEEE 802.15.4 (2450 MHz) PHY' de 250Kb/s hızında veri aktarımı yapılır.

2450 MHz PHY 16'lı yarım - dikgen modülasyon tekniğini kullanır. Her veri sembol periyodu süresince, iletilecek 16 yaklaşık dikgen sözde-rasgele gürültü dizisinden birini seçmek için 4 bilgi biti kullanılır. Ardışık veri sembolleri için sözde-rasgele gürültü dizileri sıralanır ve toplam chip dizisi taşıyıcı üstüne kayma – dördün faz kaydırmalı anahtarlama kullanılarak (O-QPSK) modüle edilir.



Şekil A. 10 Modülasyon ve yayılma fonksiyonları

Şekil A.10'da gösterilen fonksiyonel blok diyagramı 2450 MHz PHY modülasyon ve yayılma fonksiyonları için referans sağlar.

Bit-Sembol Eşleşmesi

PPDU'nun tüm bitleri Şekil A.10'da gösterilen modülasyon ve yayılma fonksiyonları kullanılarak kodlanır. Bu alt bölümde veri sembolleri içindeki ikili bilginin nasıl eşleştirildiği tanımlanır. Her bir baytın 4 LSB' si (b0, b1, b2, b3) bir veri sembolü ve 4 MSB' si (b4, b5, b6, b7) bir sonraki veri sembolü ile eşlenir. PPDU'nun her bir baytı modülasyon ve yayılma fonksiyonları ile işleme tabi tutulur. İşlem, sıralı olarak başlangıç alanı ile başlar ve PSDU'nun son baytı ile biter. Bayt içindeki en düşük anlamlı sembol (b0, b1, b2, b3) önce işlenir.

Sembol-Chip Eşleşmesi

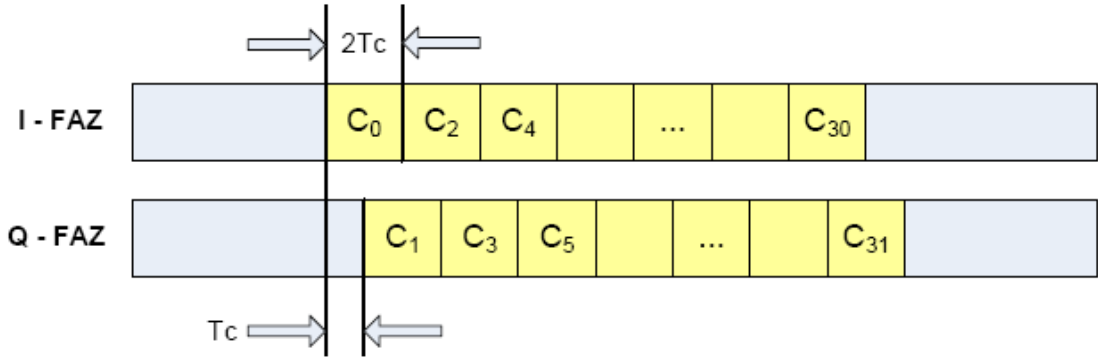
Her bir veri sembolü, Çizelge A.3'de gösterilen 32 – chip sözde-rasgele gürültü dizisi ile eşlenir. Sözde-rasgele gürültü dizileri içindeki en düşük anlamlı chip (c0) önce gönderilir.

Çizelge A. 3 Sembol-Chip Eşleşmesi

Sembol (Onlu)	Sembol (İkili) (b_0, b_1, b_2, b_3)	Chip Değerleri ($C_0, C_1, \dots, C_{30}, C_{31}$)
0	0000	11011001110000110101001000101110
1	1000	11101101100111000011010100100010
2	0100	00101110110110011100001101010010
3	1100	00100010111011011001110000110101
4	0010	01010010001011101101100111000011
5	1010	00110101001000101110110110011100
6	0110	11000011010100100010111011011001
7	1110	10011100001101010010001011101101
8	0001	10001100100101100000011101111011
9	1001	10111000110010010110000001110111
10	0101	01111011100011001001011000000111
11	1101	01110111101110001100100101100000
12	0011	00000111011110111000110010010110
13	1011	01100000011101111011100011001001
14	0111	10010110000001110111101110001100
15	1111	11001001011000000111011110111000

O-QPSK Modülasyonu

Her veri sembolünü temsil eden chip dizileri, yarım dalga sinüs darbe şeklini içeren O-QPSK modülasyonu kullanılarak taşıyıcı üstüne modüle edilir. Çift-indeksli chipler I faz taşıyıcısı üstüne ve tek-indeksli chipler Q-faz taşıyıcısı üstüne eklenir. Çünkü veri sembolleri 32 chip dizisi ile gösterilir, chip hızı (nominal 2,0Mchip/sn) sembol hızının 32 katıdır. I-faz ve Q-faz chip modülasyonu arasındaki kayma biçimi, Q-faz chipleri I-faz chiplerinden T_c kadar gecikmelidir, burada T_c chip hızının tersini gösterir.

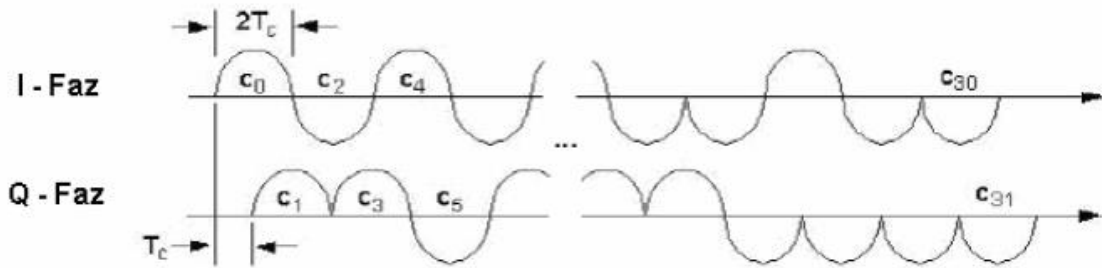


Şekil A. 11 O-QPSK chip kaymaları

Darbe Şekli

Temel band chip işaretini temsil eden yarım-sinüs darbe şekli aşağıda verilen eşitlik ile tanımlanır.

$$p(t) = \begin{cases} \sin(\pi \frac{t}{2T_c}), & 0 \leq t \leq 2T_c \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (\text{A.4})$$



Şekil A. 12 Darbe şekli ile temel band chip dizisi

Şekil A.12 örnek bir temel band chip dizisini yarım-sinüs darbe şekli ile gösterir.

ISM 2.4GHz Bandı Radyo Tanımlamaları

- İletilen izgesel bileşenler, Çizelge A.4'de belirtilen sınır değerlerden daha az olmalıdır. Bağlı ve kesin limitler, ortalama izgesel güç 100kHz çözünürlüklü band genişliği kullanılarak ölçülmelidir. Bağlı limit için, taşıyıcı frekansın + / - 1 MHz içinde en yüksek ortalama izgesel güç göz önünde bulundurularak referans düzeyi belirlenmelidir.

Çizelge A. 4 İzgesel güç yoğunluğu sınırları

Frekans	Bağlı Limit	Kesin Limit
$ f-f_c > 3.5$ MHz	-20 dB	-30 dBm

- 2.4 GHz PHY’de sembol hızı 62,5 ksymbol/s \pm 40 ppm olmalıdır.
- 2.4 GHz PHY’de alıcı duyarlılığında, Çizelge A.5’de belirtilen durumlara uyumlu cihazların -85dBm veya daha iyi duyarlılığı sağlayabilme yeteneği olmalıdır.

Çizelge A. 5 Alıcı duyarlılığı tanımları

Terim	Terimin Tanımı	Durumlar
Paket Hata Oranı (PER)	Paketlerin doğru şekilde tespit edilemeyen bölüm ortalaması	- Ortalama ölçümler rasgele PSDU verisi üzerinden yapılır.
Alıcı duyarlılığı	Giriş işaret gücü eşiği	- PSDU uzunluğu = 20 bayt - PER < %1 - Güç ölçümü antende - Karışma mevcut değil

- Minimum frekans bozulma direnci düzeyi çizelgede verilmiştir. Bitişik kanal, kullanılmak istenen kanalların her iki yanındaki kanala denir ve kullanılmak istenen frekansa en yakın frekansları kullanır. Alternatif kanallar ise bitişik kanalın diğer yanlarındaki kanallardır. Örneğin 13. kanal kullanılmak isteniyorsa, 12 ve 14. Kanallar bitişik kanallar ve 11 ile 15. kanallar alternatif kanallardır.

Çizelge A. 6 2.4 GHz PHY için minimum alıcı frekans bozulma direnci gereksinimleri

Bitişik Kanal Ayrımı	Alternatif Kanal Ayrımı
0 dB	30 dB

Bitişik kanal ayrımı ölçümü şu şekilde yapılır: İstenen sözde-rasgele veri sinyali 2.4 GHz IEEE 802.15.4 sinyali ile uyumlu olmalıdır. Alıcı girişindeki sinyal, alıcı duyarlılığının izin verdiği azami seviyeden 3 dB üzerinde olmalıdır.

Bitişik ve alternatif kanallarda, IEEE 802.15.4 uyumlu giriş sinyali bağlı düzeyi Çizelge A.6’da belirtilmiştir. Test sadece bir karıştırıcı sinyal mevcutken uygulanmalıdır. Çizelge A.6’da belirtilen durumlar oluştuğunda alıcı hata oranı kriteri ile karşılaşır.

- IEEE 802.15.4 PHY katmanı aşağıda listelenen 3 metottan en az birine göre temiz kanal ataması (CCA) uygulayabilme yeteneğine sahiptir.

CCA Mod 1: Eşik değeri üstünde enerji. Belirlenen eşik enerjisi üstünde enerji tespiti yapıldığı müddetçe kanal meşgul olarak değerlendirilir.

CCA Mod 2: Sadece taşıyıcı sezimi. IEEE 802.15.4 standardına uygun sinyal tespit edildiği müddetçe kanal meşgul olarak değerlendirilir. Bu sinyal eşik enerji değerinin üstünde veya altında olabilir.

CCA Mod 3: Taşıyıcı sezimi ile eşik değeri üstünde enerji: IEEE 802.15.4 standardına uygun sinyal tespit edildiğinde ve enerji eşik değerin üstünde ise kanal meşgul olarak değerlendirilir.

CCA tespit zamanı 8 sembol periyoduna eşit olmalıdır.

IEEE 802.15.4 MAC Alt Katmanı Özellikleri

Bu bölümde IEEE 802.15.4 standardının MAC alt katmanı tanımlanacaktır. MAC alt katmanı fiziksel radyo kanalına erişimden ve aşağıda listelenen görevlerden sorumludur:

- Ağın beacon çerçevesini üretmek (cihaz koordinatör ise)
- Beacon çerçevelerinin senkronize etmek
- PAN (Personal Area Network)'na bağlanma ve ayrılmayı desteklemek
- Cihaz güvenliği desteklemek
- Kanal erişimi için CSMA-CA mekanizmasını işletmek
- GTS mekanizmasının işletilmesi ve korunması
- 2 MAC varlığı arasındaki güvenilir bağlantıyı sağlamak

MAC Çerçeve Yapıları

Bu bölümde MAC çerçevesinin (MPDU) biçimi anlatılacaktır. Beacon, veri, onay, MAC komut çerçeveleri olmak üzere tanımlanmış 4 çerçeve yapısı mevcuttur. Her bir MAC çerçevesi aşağıda belirtilen temel bileşenleri içerir.

- MHR alanı; çerçeve kontrol, dizi numarası ve adres bilgilerini içerir.
- MAC verisi alanı; çerçeve tipine özgü değişken uzunluktaki bilgileri içerir. Onay çerçeveleri veri içermez
- MFR alanı; Çerçeve Kontrol Dizisi (FCS) alanını içerir.

Genel MAC Çerçeve Yapısı

MAC çerçevesi MHR, MAC veri yükü ve MFR alanlarından oluşur. MHR kısmı tüm çerçeveler için sabit gibi gözükse de adres alanı tüm çerçevelerde bulunmayabilir.

bayt: 2	1	0 / 2	0 / 2 / 8	0 / 2	0 / 2 / 8	Değişken	2
Çerçeve Kontrol Alanı	Dizi numarası	Varış PAN Belirteci	Varış Adresi	Kaynak PAN Belirteci	Kaynak Adresi	Çerçeve Yükü	Çerçeve Kontrol Dizisi
		Adres Alanları					
MHR						MAC Yükü	MFR

Şekil A. 13 Genel MAC çerçeve yapısı

Çerçeve Kontrol Alanı

Çerçeve kontrol alanı 16 bit uzunluğundadır. Bu alan, çerçeve tipi, adresleme alanları ve diğer kontrol bayrakları gibi tanımlanmış bilgileri içerir.

bit : 0-2	3	4	5	6	7 - 9	10 - 11	12 - 13	14 - 15
Çerçeve tipi	Güvenlik aktif	Bekleyen çerçeve	ACK isteği	İç - PAN	Ayrılmış	Varış Adresleme modu	Ayrılmış	Kaynak adresleme modu

Şekil A. 14 Çerçeve kontrol alanının yapısı

Çerçeve tipi alt alanı: Çerçeve tipi alt alanı 3 bit uzunluğundadır ve aşağıdaki Çizelge A.7' gösterilen değerlerden birini almalıdır.

Çizelge A. 7 Çerçeve tipi alt alanının değerleri

Çerçeve tipi değeri $b_2b_1b_0$	Açıklama
000	Beacon
001	Veri
010	Onaylama
011	MAC komutu
100-111	Ayrılmış

Güvenlik aktif alt alanı: Güvenlik aktif alt alanı 1 bit boyutundadır ve eğer çerçeve MAC alt katmanı tarafından şifreleme korunması ile korunmayacaksa sıfır olarak kurulmalıdır. Eğer güvenlik aktif alt alanı 1 olarak kurulursa, çerçeve kayıt edilmiş anahtar ile şifrelenerek korunur.

Bekleyen çerçeve alt alanı: Bekleyen çerçeve alt alanı 1 bit boyutundadır ve eğer çerçeve gönderen cihaz güncel aktarıma ilaveten veri gönderecekse bu bit 1 olarak kurulmalıdır. Eğer bekleyen veri varsa alıcı cihaz onları başka veri istek komutları göndererek istemelidir. Eğer çerçeve gönderen cihazın güncel aktarım için gönderecek daha fazla verisi yoksa bu alan 0 olarak kurulmalıdır.

Onaylama isteği alt alanı: Onay isteği alt alanı 1 bit boyutundadır. Bu alt alan veri veya MAC komut çerçevesini alan cihazdan onayın istenip istenmediğini belirtir. Eğer bu alt alan 1 olarak kurulmuşsa, alıcı cihaz çerçevenin geçerli olduğuna karar verdikten sonra onay çerçevesi göndermelidir. Eğer bu alan 0 olarak kurulmuşsa, alıcı cihaz alınan çerçevenin geçerli olduğuna karar verdikten sonra onay çerçevesi göndermez.

İç-PAN alt alanı: İç-PAN alt alanı 1 bit boyutundadır ve gönderilen MAC çerçevesinin aynı PAN veya farklı PAN'dan geldiğini tanımlar. Eğer bu alt alan 1 ise ve kaynak-variş adresleri mevcut ise çerçeve kaynak PAN belirteci alanı içermez. Eğer bu alan 0 olarak kurulmuş ve kaynak-variş adresleri mevcutsa, çerçeve kaynak ve variş PAN belirteci alanlarını içermelidir

Variş adresleme modu alt alanı: Variş adresleme modu alt alanı 2 bit boyutundadır ve Çizelge A.8'de listelenen değerlerden birini içermelidir. Eğer bu alt alan sıfıra eşit ve çerçeve tipi alt alanı onaylama çerçevesinden başka bir çerçeveyi işaret ediyorsa,

kaynak adresleme modu alt alanı sıfırdan farklı olacaktır. Bu durum çerçevenin doğrudan kaynak PAN belirteci ile belirlenmiş PAN belirtecine sahip koordinatöre gönderildiğini ifade eder.

Çizelge A. 8 Varış ve kaynak adresleme modu alt alanlarının değerleri

Adresleme modu değeri b_1b_0	Açıklama
00	PAN belirteci ve adres alanı sunulmaz
01	Ayrılmış
10	Adres alanı 16 bit kısa adres içerir
11	Adres alanı 64 bit genişletilmiş adres içerir

Kaynak adresleme modu alt alanı: Kaynak adresleme modu alt alanı 2 bit boyutundadır ve Çizelge A.8’de listelenen değerlerden birini içermelidir.

Eğer bu alt alan sıfıra eşit ve çerçeve tipi alt alanı onaylama çerçevesinden başka bir çerçeveyi işaret ediyorsa, varış adresleme modu alt alanı sıfırdan farklı olacaktır. Bu durum çerçevenin varış PAN belirteci ile belirlenmiş PAN belirtecine sahip koordinatör tarafından üretildiğini ifade eder.

Dizi Numarası Alanı

Dizi numarası alanı 8 bit boyutundadır ve çerçeve için tekil dizi kimliğini belirler. Beacon çerçevesi için bu alan beacon dizi numarasını (BSN) belirtir. Veri, onay ve MAC komut çerçeveleri için bu alan veri dizi numarasını (DSN) belirler. Bu alt alan, veri veya MAC komut çerçevelerinin onay çerçeveleri ile eşleştirilmesi için kullanılır. Haberleşmek isteyen her cihaz DSN’yi sağlamalıdır.

Varış PAN Belirteci Alanı

Varış PAN belirteci alanı, 16 bit uzunluğundadır ve çerçeve alıcının tekil PAN kimliğini belirler. Bu alanın (0xffff) değerinde olması kanalı dinleyen tüm cihazlar için geçerli kabul edilir ve yayımlanan çerçeve kanalı dinleyen tüm cihazlar tarafından kabul edilir.

Bu alan sadece çerçeve kontrol alanı içindeki adres modu alt alanı sıfır değilse MAC çerçevesi içinde bulunmalıdır.

Variş Adresi Alanı

Variş adresi alanı, çerçeve kontrol alanının variş adresleme modu alt alanı içindeki değere göre 16 bit veya 64 bit boyutundadır ve çerçeveyi alması istenen cihazın adresini belirtir. Bu alanın (0xffff) değerinde olması genel kısa adresin yayımını gösterir ve kanalı dinleyen her cihaz için geçerli bir kısa adres değeri olarak kabul edilir.

Bu alan sadece çerçeve kontrol alanı içindeki adres modu alanı sıfır değilse MAC çerçevesi içinde bulunmalıdır.

Kaynak PAN Belirteci Alanı

Kaynak PAN belirteci alanı, 16 bit uzunluğundadır ve çerçeve vericisinin tekil PAN kimliğini belirler. Bu alan sadece kaynak adres modu alt alanı sıfır dışı bir değere ve İç-Pan alt alanı sıfır değerine sahip ise MAC çerçevesi içinde bulunmalıdır.

Kaynak Adres Alanı

Kaynak adres alanı, çerçeve kontrol alanındaki kaynak adresleme modu alt alanı içindeki değere göre 16 bit veya 64 bit boyutundadır ve çerçeveyi gönderen cihazın adresini belirtir. Bu alan sadece çerçeve kontrol alanının kaynak adres modu alt alanı içindeki değer sıfır değilse MAC çerçevesi içinde bulunmalıdır.

Çerçeve Veri Alanı

Çerçeve veri alanı, değişken uzunluktadır ve değişik çerçeve tiplerine göre özel bilgiler içerir. Eğer çerçeve kontrol alanının güvenlik seçimi alt alanı 1 olarak kurulmuşsa, çerçeve yükü seçilen güvenlik ilkelerine göre korunmuş durumdadır.

Çerçeve Kontrol Dizisi Alanı

Çerçeve kontrol dizisi (FCS) alanı 16 bit uzunluğundadır ve 16 bit ITU-T periyodik artıklık testini (CRC) içerir. FCS, çerçevenin MHR ve MAC verisi parçaları üzerinden hesaplanır.

FCS, aşağıda verilen standart 16. dereceden üretici polinom kullanarak hesaplanır.

$$G_{16}(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1 \quad (\text{A.5})$$

FCS değeri iletim için aşağıdaki algoritma kullanılarak hesaplanabilir.

- Periyodik artıklık testi yapılacak bitler için verilen polinom oluşturulur.

$$M_x = b_0x^{k-1} + b_1x^{k-2} + \dots + b_{k-2}x + b_{k-1} \quad (\text{A.6})$$

- $M(x)$ ile x^{16} çarpılarak $x^{16} \cdot M(x)$ polinomu elde edilir.

- $x^{16} \cdot M(x)$ polinomu üretici polinom, $G_{16}(x)$, tarafından bölünür ve aşağıdaki polinom elde edilir.

$$R(x) = r_0x^{15} + r_1x^{14} + \dots + r_{14}x + r_{15} \quad (\text{A.7})$$

- $R(x)$ polinomunun katsayıları FCS alanını verir.

Örnek olarak, 3 bayt MHR alanı ve verisi olmayan onay çerçevesini ele alalım:

0100 0000 0000 0000 0101 0110

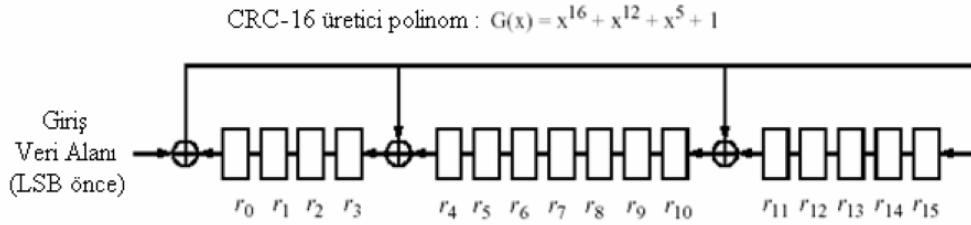
b_0 b_{23}

Bu şartlar altında FCS yukarıda verilen yöntemle göre hesaplanırsa aşağıdaki gibi olur,

0100 0111 1001 1110

r_0 r_{23} [en soldaki bit (r_0) önce gönderilir]

Tipik uygulama aşağıda belirtildiği gibidir.



Şekil A. 15 Tipik FCS uygulaması

1. Yazmaçları ($r_0 \dots r_{15}$) sıfır değer ile başlatılır.
2. MHR ve veri, bölücüye iletim sırası ile sokulur. (önce LSB)
3. Veri alanının son biti bölücüye girdikten sonra kalan yazmaçları FCS' yi içerir.
4. FCS veri alanını sonuna eklenir böylece r önce gönderilir.

Beacon Çerçevesi Yapısı

Beacon çerçevesi Şekil A.16'da gösterildiği biçimde olmalıdır.

Bayt: 2	1	4 / 10	2	Değişken	Değişken	Değişken	2
Çerçeve kontrol alanı	Dizi numarası	Adres alanları	Süper çerçeve tanımları	GTS alanları	Bekleyen adres alanları	Beacon yükü	FCS
MHR			MAC yükü				MFR

Şekil A. 16 Beacon çerçevesi veri yapısı

Beacon çerçevesinin alanlarının sırası Şekil A.13’de gösterilen genel MAC çerçeve yapısına uygundur.

GTS alanları Şekil A.17’de ve bekleyen adres alanları Şekil A.18’de belirtildiği gibi olmalıdır.

Bayt: 1	0 / 1	Değişken
GTS Tanımı	GTS Talimatları	GTS Listesi

Şekil A. 17 GTS bilgi alanının yapısı

Bayt: 1	değişken
Bekleyen Adres Tanımı	Adres Listesi

Şekil A. 18 Bekleyen adres bilgi alanının yapısı

Beacon Çerçevesi MHR Alanları

Beacon çerçevesi için MHR, çerçeve kontrol alanını, dizi numarası alanını, kaynak PAN belirteci alanını ve kaynak adresi alanlarını içermelidir.

Çerçeve kontrol alanı içinde çerçeve tipi alt alanı beacon çerçevesini belirtecek değerde seçilmelidir. Kaynak adres modu alt alanı, gönderilecek beacon çerçevesindeki koordinatör adresine uygun değerde kurulmalıdır. Beacon çerçevesi için güvenlik ilkesi uygulanacaksa güvenlik aktif alt alanı 1 yapılmalıdır. Bunların dışındaki tüm alanlar 0 yapılmalı ve çerçeve alımı sırasında ihmal edilmelidir.

Adres alanı sadece kaynak adres alanını içermelidir. Kaynak PAN belirteci ve kaynak adres alanı beaconu iletecek cihazın PAN belirteci ve adresi değerlerinde olmalıdır.

Süper Çerçeve Tanımları Alanı

Süper çerçeve tanımları alanı 16 bit boyutundadır ve Şekil A.19’da gösterildiği biçimde olmalıdır.

bit : 0 –3	4 - 7	8 - 11	12	13	14	15
Beacon Derecesi	Süper Çerçeve derecesi	Nihai CAP Slotları	Pil Ömrü Uzantısı	Ayrılmış	PAN Koordinatör	Bağlanma İzni

Şekil A. 19 Süper çerçeve tanımları alanı yapısı

Beacon derecesi alt alanı 4 bit uzunluğundadır ve beacon çerçevesinin iletim aralığını belirler.

Süper çerçeve derecesi alt alanı 4 bit uzunluğundadır ve süper çerçevenin aktif olduğu zaman uzunluğunu belirtir. Koordinatör kendi PAN’ ı ile sadece aktif süper çerçeve müddetince etkileşir.

Nihai CAP slotları 4 bit uzunluğundadır ve CAP tarafından kullanılan nihai süper çerçeve slotlarını tanımlar

PAN koordinatör alt alanı 1 bit uzunluğundadır ve beaconu gönderen cihaz PAN koordinatörü ise 1 olarak ayarlanmalıdır. Aksi durumda bu alan 0 olmalıdır.

Bağlanma izni alanı 1 bit uzunluğundadır ve koordinatörün ağa bağlanmaya izin verip vermediğini belirtir. Alan 0 ise, koordinatör kendi ağı içindeki bağlanma isteklerini kabul etmeyecektir.

Veri Çerçevesi Yapısı

Veri çerçevesi yapısı Şekil A.20’de gösterildiği gibi olmalıdır.

Bayt : 2	1	4 - 20	Değişken	2
Çerçeve kontrol	Dizi numarası	Adres alanları	Veri Yüğü	FCS
MHR			MAC yüğü	MFR

Şekil A. 20 Veri çerçevesi yapısı

Veri çerçevesi MHR alanı; çerçeve kontrol alanı, dizi numarası alanı, varış ve kaynak PAN belirteçleri ile adresleri alanlarını içerir.

Çerçeve kontrol alanı içindeki çerçeve tipi alt alanı veri çerçevesini belirtecek şekilde seçilmelidir. Diğer tüm alanlar kullanılacak veri çerçevesine uygun değerlerde ayarlanmalıdır.

Varış adresi alanı ve/veya kaynak adres alanını içeren adres alanları çerçeve kontrol alanı içindeki değerlere göre oluşturulmalıdır.

Onaylama Çerçevesi Yapısı

Onaylama çerçevesi yapısı Şekil A.21’de gösterildiği gibi olmalıdır.

Bayt: 2	1	2
Çerçeve kontrol	Dizi numarası	FCS
MHR		MFR

Şekil A. 21 Onaylama çerçevesi yapısı

Onaylama çerçevesi MHR alanı; çerçeve kontrol alanı, dizi numarası alanlarını içerir.

Çerçeve kontrol alanı içindeki çerçeve tipi alt alanı onaylama çerçevesini belirtecek şekilde seçilmelidir. Bekleyen çerçeve alt alanı onaylama çerçevesini alıcı cihaz için bekletilen daha fazla sayıda veri mevcutsa 1 olarak ayarlanmalıdır, aksi durumda 0 yapılmalıdır. Diğer tüm alanlar 0 yapılmalı ve alım sırasında ihmal edilmelidir.

Dizi numarası alanı, alındı onayı verilecek veri veya MAC komut çerçevesinin içerdiği dizi numarasını içermelidir.

MAC Komut Çerçevesi Yapısı

MAC komut çerçevesi yapısı Şekil A.22’de gösterildiği gibi olmalıdır.

Bayt: 2	1	4 - 20	1	Değişken	2
Çerçeve kontrol	Dizi numarası	Adres alanları	Komut çerçeve belirteci	Komut veri yükü	FCS
MHR			MAC yükü		MFR

Şekil A. 22 MAC komut çerçevesi yapısı

MAC Komut çerçevesi MHR alanı; çerçeve kontrol alanı, dizi numarası alanı, varış ve kaynak PAN belirteçleri ile adresleri alanlarını içerir.

Çerçeve kontrol alanı içindeki çerçeve tipi alt alanı MAC komut çerçevesini belirtecek şekilde seçilmelidir. Diğer tüm alanlar kullanılacak MAC komut çerçevesine uygun değerlerde ayarlanmalıdır.

Varış adresi alanı ve kaynak adresi alanını içeren adres alanları çerçeve kontrol alanı içindeki değerlere göre oluşturulmalıdır.

MAC Komut Çerçevesi

MAC alt katmanı tarafından tanımlanmış komut çerçevesi Çizelge A.9'da listelenmiştir. FFD'ler tüm komut çerçevesini iletip-alma yeteneğine sahip olmalıyken, RFD'ler için gerekli olanlar Çizelge A.9'da (♦) sembolü ile belirtilmiştir. MAC komutları aktif-beacon PAN içinde sadece CAP müddetince gönderilmelidir. Pasif-beacon PAN içinde ise her hangi bir zamanda gönderilebilir.

Çizelge A. 9 MAC Komut çerçeveleri

Komut Çerçevesi Belirteci	Komut İsmi	RFD	
		T _x	R _x
0 x 01	Bağlanma İsteği (Association request)	◆	
0 x 02	Bağlanma Yanıtı (Association response)		◆
0 x 03	Ayrılma Bildirimi (Disassociation notification)	◆	◆
0 x 04	Veri İsteği (Data request)	◆	
0 x 05	PAN ID Çakışma Bildirimi (PAN ID conflict notification)	◆	
0 x 06	Yetim Bildirimi (Orphan notification)	◆	
0 x 07	Beacon İsteği (Beacon request)		
0 x 08	Koordinatörün Yeniden Sıralaması (Coordinator realignment)		◆
0 x 09	GTS isteği (GTS request)		
0 x 0a – 0 x ff	Ayrılmış		

Bağlanma İsteği Komutu: Bağlanma isteği komutu cihazın bir koordinatöre bağlanmasına olanak sağlar. Bu komut sadece PAN ile bağlantı kurmak isteyen cihaz tarafından gönderilmelidir.

Bağlanma Yanıtı Komutu: Bağlanma yanıtı komutu, bağlanma isteğinde bulunan cihaz ile koordinatörün iletişimine olanak sağlar. Komut sadece koordinatör tarafından bağlanmayı deneyen cihaza gönderilir.

Ayrılma Bildirimi Komutu: Hem Koordinatör hem de ağa bağlanmış cihazlar ayrılma bildirimini komutunu gönderebilmelidir. Tüm cihazlara bu komut uygulanmalıdır.

Veri İsteği Komutu: Veri İsteği komutu, koordinatörden veri almak için cihaz tarafından üretilir.

PAN Id Çelişki Bildirimi Komutu: PAN Id Çelişki Bildirimi komutu, PAN belirtecinde çelişki tespit edildiği zaman cihaz tarafından PAN koordinatörüne gönderilir. Tüm cihazlar bu komutu iletme yeteneğine sahipken, RFD'lerin bu komutu alma yeteneğinin olması gerekmez.

Yetim Bildirimi Komutu: Yetim bildirim komutu, cihazın kendi koordinatörü ile eş zamanlılığı kaybettiği zaman cihaz tarafından üretilir. Tüm cihazlar bu komutu iletme yeteneğine sahipken, RFD'lerin bu komutu alma yeteneğinin olması gerekmez.

Beacon İsteği Komutu: Beacon İsteği Komutu, aktif tarama sırasında kendi POS' u içindeki tüm koordinatörleri tespit etmek için cihaz tarafından kullanılır. Bu komut RFD' ler için zorunlu değildir.

Koordinatörün Yeniden Sıralaması Komutu: Koordinatörün Yeniden Sıralaması komutu, PAN içinde tanınan bir cihazdan yetim bildirim komutu alındığında veya herhangi bir sebeple PAN yapılandırılması değiştiğinde koordinatör tarafından gönderilir.

GTS İsteği Komutu: GTS isteği komutu PAN'a bağlı bir cihaz tarafından, koordinatörden yeni GTS isteğinde bulunmak veya var olan GTS tahsisini kaldırmak için kullanılır.

CSMA-CA Algoritması

CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

Mekanizmasında, paket transfer etmek isteyen düğüm ilk olarak Clear Channel (Kanal temiz mi?) keşif prosedürünü uygular. Bunun için ortamı belli bir süreliğine dinler. Eğer medya temiz ve boş, herhangi bir veri transferi söz konusu değilse düğüm paketini iletir. Fakat başka bir düğüm tarafından veri iletimi var ise; düğüm veri iletiminden vazgeçer, belli bir süre bekler, tekrardan Clear Channel prosedürünü uygular. Ayrıca aynı anda 2 ya da daha fazla düğümün paketlerini iletmeleri durumunda veriler üst üste gelebilir, bu olay verilerin çarpışmasına (collision) ve paketlerin düşmesine yol açar. Eğer kayıpsız bir iletim isteniyorsa, bu çarpışmalar fark edilmeli ve düşen paketler yeniden iletilmelidir. CSMA-CA algoritması bu noktada oluşabilecek sorunları önler ve kayıpsız veri iletimini sağlar.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Murat YAZAR
Doğum Tarihi ve Yeri : 12.05.1986 – İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : murat.yazar.86@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Ege Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Bakırköy Lisesi	2003

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013-Devam Ediyor	Türk Hava Yolları	Yazılım Test Mühendisi
2013-2013	Vodafone Telekomünikasyon A.Ş.	Yazılım Test Mühendisi
2010-2012	Netaş Telekomünikasyon A.Ş.	Yazılım Test Mühendisi