



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ZIGBEE - IEEE 802.15.4 TEMELLİ
KABLOSUZ SENSÖR AĞI KONTROL
SİSTEMİ VE SİSTEM PERFORMANSI İÇİN
BİR MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI,
SİMÜLASYONU VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

Emrah BAKIRCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Emrah BAKIRCI tarafından hazırlanan “Zigbee - IEEE 802.15.4 Temelli Kablosuz Sensör Ağı Kontrol Sistemi ve Sistem Performansı İçin Bir Mikroşerit Anten Tasarımı, Simülasyonu ve Gerçekleştirilmesi” adlı tez çalışması 19.08.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Fahri ÜNLERŞEN


Danışman

Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Dilek UZER

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.


Emrah BAKIRCI
19/08/2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZIGBEE - IEEE 802.15.4 Temelli Kablosuz Sensör Ağı Kontrol Sistemi ve Sistem Performansı İçin Bir Mikroşerit Anten Tasarımı, Simülasyonu ve Gerçekleştirilmesi

Emrah BAKIRCI

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. S. Sinan GÜLTEKİN

2019, 125 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN

Dr. Öğrt. Üyesi Dilek UZER

Dr. Öğrt. Üyesi Muhammed Fahri ÜNLERŞEN

Zigbee, özellikle uzaktan kontrol, izleme, otomasyon ve sensör ağları için oluşturulmuş bir kablosuz iletişim protokolüdür. Zigbee, IEEE 802.15.4 koduyla, kablosuz kişisel alan ağlarında (LR-WPAN) düşük güç harcaması ve düşük veri hızı standardını içerir.

Kablosuz Sensör Ağları (KSA), sıcaklık, ses, titreşim, basınç, hareketlilik veya kirlenici olarak fiziksel veya çevre koşulları, izlemek ve ana üniteye ağ üzerinden veri aktarmak için ortama dağıtılan otonom sensörlerden oluşur. Kablosuz sensör ağları ile ilgili yapılan çalışmalarda görülmüştür ki Zigbee standardı; uzaktan izleme, kontrol ve algılama ağları uygulamalarının gereksinimlerini belirleyen önde gelen teknoloji esaslı standarttır. Zigbee, bina-ev otomasyonundan hasta izlemeye, güvenlik sistemlerinden çevresel gözlemlere kadar oldukça geniş uygulama alanına sahiptir. Kablosuz Sensör Ağları (KSA) esneklik, kurulum kolaylığı, uzaktan bakım ve düşük maliyet sayesinde Akıllı Ulaşım Sistemleri'nin (ITS) önemli unsurlarından olan trafik algılama sistemleri, trafik yoğunluğu ölçümü, trafik uyumlu sinyal kontrolü gibi birçok gelişmiş trafik sisteminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Zigbee'nin düşük güç harcaması, kablosuz sensör düğümlerinin uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır. Ancak genellikle pille çalışan bu sistemler için alıcı – verici biriminde güç kısıtlamasına yol açmaktadır. Ayrıca ITS uygulamalarının pek çoğunda, kablosuz sensör düğümlerinin yere gömülü olması sinyal kayıplarına neden olmakta ve iletişim mesafesi olumsuz etkilemektedir. Bu nedenlerle kablosuz iletişimde, aynı çıkış gücüyle güvenli şekilde yüksek menzile ulaşmak için anten performansı ön plana çıkmaktadır. Bir kablosuz sensör düğümüne monte edilebilecek antenin mümkün olduğunca küçük boyutta ve tasarım gereksinimlerini karşılayacak verim, kazanç ve band genişliğine sahip olması beklenmektedir.

Bu tez çalışmasında, Zigbee tabanlı XBee modüller kullanılarak bir Kablosuz Sensör Ağı kurulmuş olup sinyalle bir kavşak modeli üzerinde trafik izleme ve kontrol uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, Akıllı Ulaşım Sistemleri'nin (ITS) bir bileşeni olan Adaptif Trafik Kontrol Sistemi tasarlanarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sistem performansına uyumlu ve XBee modüllerdeki standart PCB antenlerin yerine kullanılacak bir mikroşerit anten tasarlanarak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan uygulama ve test çalışmaları sonucunda uygun mesafeye yerleştirilmiş olan Sensör Düğümleri ile Ana Kontrol Ünitesi arasında her iki yönde kablosuz iletişimin sorunsuz ve güvenli şekilde sağlandığı, tasarlanan antenin sistemle uyumlu ve yeterli performansa sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz Sensör Ağları, WSN, ITS, Anten, XBee, Zigbee.

ABSTRACT

MS THESIS

ZIGBEE - IEEE 802.15.4 Based Wireless Sensor Network Control System and System Application for a Microstrip Antenna Design, Simulation and Implementation

Emrah BAKIRCI

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Electric and Electronic Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN

2019, 125 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN

Assist. Prof. Dilek UZER

Assist. Prof. Muhammed Fahri ÜNLERŞEN

Zigbee, especially remote control, monitoring, automation, and is an established protocol for wireless sensor networks. Zigbee, IEEE 802.15.4 with code in a wireless personal area network (LR-WPAN) low power consumption and low data rate includes the standard.

Wireless Sensor Networks, temperature, sound, vibration, pressure, physical or environmental conditions or pollutants in mobility, distributed environment to monitor and to transfer data over the network to the main unit is composed of autonomous sensors. Wireless sensor networks have been observed in studies on the Zigbee standard; remote monitoring, control and sensing networks that determine the requirements of the application are based on leading technology standards. ZigBee building automation-home monitoring of patients, has a very wide range of applications to environmental monitoring of the security system. At the same time the Intelligent Transportation Systems (ITS) traffic detection systems, which are important elements, traffic measurement, widely used in many advanced traffic signal control systems, such as traffic-induced. Wireless sensor networks are flexibility, ease of installation, thanks to remote maintenance and low cost scalable everywhere in traffic control systems and has deployable structures.

Zigbee low power consumption, ensures the longevity of the wireless sensor node. But usually battery-powered receiver for these systems - leads to power restrictions on the transmitter unit. In addition, many of ITS applications, wireless sensor causes the signal to be buried in the place of the missing node and adversely affect the communication distance. For these reasons, wireless communication, safe way to achieve high antenna performance with the same output power range comes to the fore. As possible to the antenna can be mounted on a wireless sensor node and small gain to meet the design requirements and is expected to have a bandwidth.

In this study, using a Zigbee-based wireless sensor XBee modules Network (WSN) is founded on a signalized intersection traffic monitoring and control applications of the model was carried out. In this context, Intelligent Transportation Systems (ITS) has been designed as a component of Adaptive Traffic Control System. Also it designed a microstrip antenna increases the communication distance based on system performance and standards-compliant antenna was conducted.

The applications and the test sensor is placed in a convenient distance from the result of the study with the main control unit in which, is easily and securely wireless communication in both directions has been found to have a consistent and satisfactory performance with the system of the designed antenna.

Keywords: Antenna, ITS, XBee, Wireless Sensor Networks (WSN), Zigbee.

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı'nda yapılan bir çalışmadır. “Zigbee - IEEE 802.15.4 Temelli Kablosuz Sensör Ağı Kontrol Sistemi ve Sistem Performansı İçin Bir Mikroşerit Anten Tasarımı, Simülasyonu ve Gerçekleştirilmesi” konulu bu çalışmada, Kablosuz Algılayıcı Ağları (KSA) kablosuz algılayıcı ağı standardı olan Zigbee tabanlı XBee modüller kullanılarak Akıllı Ulaşım Sistemleri'nin bir uygulaması olan Adaptif Trafik Kontrol Sistemi ve bu sistem ile uyumlu bir mikroşerit anten tasarlanarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamda danışmanlığımı üstlenerek konu seçiminde ve çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli Hocam Sayın Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN'e teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmamda yardım ve desteğini esirgemeyen değerli mesai arkadaşım İzzet AKDAĞ'a da ayrıca teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında maddi manevi desteklerini esirgemeyen sevgili Anneme ve Babama, çalışmalarım boyunca gösterdiği sabır ve özveriden dolayı sevgili Eşime ve Evlatlarıma teşekkür ederim.

Yüce Allah'ın en güzel lütfu olan, varlıklarıyla bana güç veren sevgili evlatlarım Sinem Sude, Ömer Kayra ve Berkay'a...

Emrah BAKIRCI
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ ve KAYNAK TARAMASI.....	1
2. KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI (KSA).....	8
2.1. Kablosuz Sensör Ağlarının Kullanım Alanları.....	10
2.2. Trafik Kontrol Sistemlerinde KSA Uygulamaları.....	10
2.3. Kablosuz Sensör Sistemlerinin Yapısı ve Bileşenleri.....	12
2.3.1. Kablosuz Sensör Düğümünün Yapısı.....	13
2.3.1.1. İşlem Birimi.....	14
2.3.1.2. Bellek Birimi.....	15
2.3.1.3. İletişim Birimi.....	15
2.3.1.4. Algılama Birimi.....	17
2.3.2. Trafik Uyarımlı (Adaptif) Kontrol Sistemleri.....	17
2.3.3. Araç Algılama ve İzleme Teknolojileri.....	18
2.3.3.1. Manyetik Sensörler (GMR).....	20
2.3.3.2. Manyetik Sensörle Araç Algılama ve İzleme.....	22
2.4. Kablosuz Sensör Ağlarında Kablosuz İletişim Protokolleri.....	23
2.5. Zigbee/ IEEE 802.15.4 Teknolojisi.....	26
2.5.1. Zigbee'nin Kullanım Alanları.....	27
2.5.2. Zigbee Mimarisi.....	28
2.5.3. Zigbee'de Düşük Güç Tüketimi.....	29
2.5.4. Zigbee'de Aygıt Tipleri.....	29
2.5.5. Zigbee Ağ Bileşenleri.....	30
2.5.6. Zigbee'de Ağ Topolojileri.....	31
2.6. Mikroşerit Antenler.....	32
2.6.1. Mikroşerit Antenlerin Yapısı.....	33
2.6.2. Mikroşerit Anten Tasarımı İçin Performans Parametreleri.....	34
2.6.2.1. Yansıma Katsayısı ve Karakteristik Empedans.....	34
2.6.2.2. Duran Dalga Oranı (VSWR).....	35
2.6.2.3. Geri Dönüş Kaybı (Return Loss, RL).....	36
2.6.2.4. S-parametreleri.....	37
2.6.2.5. Yönlendirilebilirlik, Kazanç ve Işıma verimi.....	38
2.6.2.6. Band Genişliği.....	39
3. SİSTEM TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	40
3.1. Zigbee - Adaptif Trafik Kontrol Sisteminin Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi	40
3.1.1. Sistemin Donanım Tasarımı.....	41
3.1.1.1. Ana Kontrol Ünitesinin Donanım Tasarımı.....	41

3.1.1.1.1. PIC16F877A Mikrodenetleyici	42
3.1.1.1.2. LCD Ekran	44
3.1.1.1.3. XBee S2 Modüller.....	45
3.1.1.1.4. XBee Regüle Kartı	47
3.1.1.1.5. Ana Kontrol Ünitesi Baskı Devre Kartının Yapımı	47
3.1.1.2. Sensör Düğümlerinin Donanım Tasarımı	49
3.1.1.2.1. PIC16F88 Mikrodenetleyici	49
3.1.1.2.2. AA002 GMR Sensör	50
3.1.1.2.3. LM358 OPAMP	52
3.1.1.2.4. Sensör Düğümü Baskı Devre Kartının Yapımı.....	53
3.1.2. Sistemin Yazılım Tasarımı	55
3.1.2.1. XBee S2 Modüllerin Yapılandırılması	55
3.1.2.1.1. Xbee Explorer USB Bağdaştırıcı	56
3.1.2.1.2. X-CTU Yazılımı ile XBee Modüllerin Programlanması	57
3.1.2.1.3. Koordinatörün (C) Yapılandırılması	60
3.1.2.1.4. Yönlendiricinin (Router – R) Yapılandırılması	62
3.1.2.1.5. XBee Kablosuz Bağlantı Testi	64
3.1.2.1.6. Mesafe Test İşlemi ve Sinyal Alış Gücü.....	67
3.1.2.2. Ana Kontrol Ünitesinin Yazılımı.....	69
3.1.2.2.1. PIC16F877A – Tanımlamalar	71
3.1.2.2.2. PIC16F877A – Ana Program.....	72
3.1.2.2.3. Kablosuz Veri Alma Alt Programı	73
3.1.2.2.4. Kablosuz Bağlantı Test Alt Programı	73
3.1.2.2.5. Buton Kontrol Alt Programları	74
3.1.2.2.6. Flaş Çalışma Modu Alt Programı	74
3.1.2.2.7. Sabit Zamanlı Mod Alt Programı	75
3.1.2.2.8. Araç Algılama/Sayma Alt Programı	76
3.1.2.2.9. Araç Yoğunluğu Alt Programı.....	77
3.1.2.2.10. Adaptif Mod Seçme Alt Programı	77
3.1.2.2.11. Adaptif Flaş Modu Alt Programı	77
3.1.2.2.12. Adaptif Çalışma Modu Alt Programı.....	78
3.1.2.3. Sensör Düğümlerinin Yazılımı	79
3.1.2.3.1. PIC16F88 – Tanımlamalar.....	80
3.1.2.3.2. PIC16F88 – Ana program	80
3.1.2.3.3. Kablosuz Veri Alma Alt Programı.....	82
3.1.2.3.4. Kablosuz Bağlantı Test Alt Programı	82
3.1.2.3.5. Araç Var/Yok/Say Alt Programı.....	82
3.2. Mikroşerit Antenin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi.....	83
3.2.1. Anten Tasarımı İçin Fiziksel Parametreler.....	83
3.2.2. Antenin Simülasyonu	85
3.2.3. Antenin Üretim Süreci.....	87
4. UYGULAMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	89
4.1. Antenin Ölçüm Sonuçları	89
4.2. Antenin Mesafe Testi.....	90
4.3. Sistemin Başarım Testi	92
4.4. Tartışma	94

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	96
5.1. Sonuçlar	96
5.2. Öneriler	96
KAYNAKLAR	98
EKLER.....	100
EK-1 PIC16F877A KODLARI – TANIMLAMALAR.....	100
EK-2 PIC16F877A KODLARI – ANA PROGRAM.....	102
EK-3 PIC16F877A KODLARI – ALT PROGRAMLAR.....	104
EK-4 SENSÖR DÜĞÜMÜ – PIC16F88 KODLARI - TANIMLAMALAR.....	119
EK-5 SENSÖR DÜĞÜMÜ – PIC16F88 KODLARI – ANA PROGRAM.....	120
EK-6 SENSÖR DÜĞÜMÜ – PIC16F88 KODLARI – ALT PROGRAMLAR	122
ÖZGEÇMİŞ	125

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

h : Yükseklik (mm)

L : Uzunluk (mm)

W : Genişlik (mm)

λ_0 : Dalgaboyu (mm)

ϵ_r : Dielektrik sabiti

Kısaltmalar

MHz: Megahertz

MHz: Gigahertz

dB: Desibell

MMIC: Mikrodalga Entegre Devre Tekniği

WSN: Wireless Sensor Network

ITS: Intelligent Traffic Systems

MEMS: Mikro Elektro Mekanik Sistem

RF: Radyo Frekans

IVC: Araçlar Arası İletişim

RVC: Yol – Araç İletişimi

DSRC: Tahsisli Kısa Mesafeli Radyo Haberleşmesi

TMC: Trafik Yönetim Merkezi

RAM: Random Access Memory

ROM: Read Only Memory

EEPROM: Electrically Eraseble ROM

ISM: Industrial Sceintfy Medical

SPVD: Kendinden Beslemeli Araç Sensörleri

GMR: Giant Magneto Resistive

LR-WPAN: Low Rate Wireless Personal Area Network

MAC: Medium Access Control

Kpbs: kilobit per second

RSSI: Receive Signal Strength Indication

1. GİRİŞ ve KAYNAK TARAMASI

Kablosuz Sensör Ağları (KSA) endüstride kullanılan, günümüzün en etkileyici teknolojilerinden biridir. Bu teknoloji, donanım birimlerinde ve kablosuz iletişim teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde kablosuz cihazların mekândan bağımsız olarak her yerde iletişim kurabileceği ve aktif olarak akıllı ortamların yaratılmasına katkıda bulunabileceği önemli teknolojik gelişmelerdendir.

Kablosuz Sensör Ağları temel olarak, akıllı ortam uygulamalarından olan, özel amaçlı hazırlanan birbirinden bağımsız sınıflandırılmış cihazların algılayıcılar yardımıyla fiziksel ve çevresel koşulları izlemeye yarayan kablosuz ağlardır. Kablosuz Sensör Ağları, fiziksel ortamla ilgili durumsal değişimleri izleyebilecek yapıda örneğin ışığa, ısıya, harekete, titreşime vb. duyarlı farklı algılayıcılar barındırabilir. Bir veya daha çok algılayıcı sistemlerde, algılayıcı ağındaki her düğüm bir radyo alıcı-vericisi veya başka bir kablosuz iletişim cihazı, küçük bir mikroişlemci ve genellikle batarya olmak üzere bir enerji kaynağı içerir. Buna göre algılayıcı düğümü çok küçük ölçekli (birkaç cihazın bağlantıda olduğu) olabileceği gibi, büyük ölçekli (pek çok cihazın bağlantı halinde olduğu) de olabilir. Aynı şekilde algılayıcı düğümlerinin maliyetleri de çok değişkendir. Algılayıcı ağının büyüklüğüne ve karmaşıklığına bağlı olarak birkaç sentten yüzlerce dolara kadar değişiklik gösterebilir. Bu ağlar esneklik, güvenilirlik, etkin-maliyet ve kurulum kolaylığı gibi özelliklerinden dolayı geniş uygulama alanları bulmaktadır.

Araştırmaların başlarında kablosuz algılayıcı ağlarının ana motivasyon noktası askeri uygulamalar olmuştur. Güvenlik üzerine yapılan ilk projeler uygulama şekillerine karar vermişler ve çok büyük ölçülerde algılayıcı ağlarının (binlerce düğümlü, geniş coğrafik alanları kapsayan) kurulumuna öncülük etmişlerdir. Daha sonraları çevresel gözleme ve görüntüleme, ev ve bina otomasyonu, tarımsal takip, üretim ve dağıtım işlemleri, sağlık sektörü gibi konular da algılayıcı ağlarının uygulama alanları haline gelmişlerdir.

Kablosuz Sensör Ağları üzerine ilk araştırmalar, 1990'lı yıllardan itibaren Wi-Fi ve Bluetooth gibi kablosuz haberleşme tekniklerinin bazı endüstriyel uygulamalara elverişli olmamalarından dolayı başlamıştır. Bu çalışmalarda asıl hedeflenen düşük maliyetli, enerji tasarruflu, güvenilirliği yüksek, izleme ve kontrol amaçlı ağlar kurmaya elverişli ürünler ortaya çıkarmak olmuştur. Bu çalışmalardan biri de Zigbee

teknolojisidir. Zigbee teknolojisi, küçük boyutlarda veri alışverişi yeterli olan uygulamalarda düşük maliyetli özelliği, minimum güç tüketme prensibi ile uzun pil ömrünü sağlayabilmesi, kurulumunun oldukça kolay ve esnek olması açısından ön plana çıkmaktadır.

Zigbee teknolojisi personal (küçük) alan ağlarında kullanılan cihazlar arasında belirli miktar veri transferi için kullanılması, ağ ile yapılan ölçüm, tespit, izleme ve uygulamaların kontrol edilmesi ile ilgilenir. Fakat WiFi veya Bluetooth gibi büyük boyutlu dosya transferi için elverişli değildir. ZigBee, WiFi veya Bluetooth'un, birden çok cihazlar arasındaki iletişim yaklaşımına benzemeyen bir biçimde, basit ağlar üzerinden daha az güç tüketimi ve maliyet oluşturacak bir biçimde çalışarak, daha az band genişliği istekleri ile iletişim sağlayabilmektedir.

Son yıllarda, pek çok ülkede şehirleşme ve araç sayısındaki artış, gittikçe büyüyen bir trafik sorununu beraberinde getirmiştir. Trafik sıkışıklığı, ulaşım taleplerindeki artış ve sınırlı ulaşım olanakları yüzünden hızla büyüyen bir problemdir. Bu problemi çözmek için iki seçenek öngörülmektedir. Birinci seçenek yeni ulaşım olanakları oluşturmak ki bu daha fazla yol inşa etmek ve daha fazla kaynak ayırmak anlamına gelmektedir. Bu çözümü sınırlı kaynak kullanımı kısıtlamaktadır. İkinci seçenek ise, mevcut ulaşım sisteminin etkinliğinin, verimliliğinin, kapasitesinin artırılmasını sağlamak ve toplu taşıma sistemlerinin kullanımını teşvik için alternatifler geliştirmektir. Bu seçenek, Akıllı Ulaşım Sistemleri (ITS) altyapısına yatırım yaparken daha az şeritli yolların yapımını kapsamaktadır.

Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler çözüm konusunda öncelikli olarak Akıllı Ulaşım Sistemlerini (ITS) değerlendirmektedirler. Trafik probleminin çözümünde bir alternatif olarak görülen Akıllı Ulaşım Sistemlerinin hedefleri arasında; karayolu güvenliğinin artırılması, trafik sıkışıklığının azaltılması, trafik ve yol bilgilerine erişimin kolaylaştırılması, nakliyeciler, seyahat firmaları, özel ve devlet kurumları için maliyetlerin düşürülmesi ve çevreye zararlı etkilerin azaltılmasının sağlanması sayılabilir. ITS vasıtasıyla bir şehrin ulaşım sorunu en aza indirgenecek, güvenlik maksimum düzeye çıkarken gereksiz zaman ve maddi kayıplar önlenecektir. Özellikle büyük şehirlerdeki trafik sıkışıklığının sosyal yaşama olumsuz etkisi en aza inecek, insanların stresten uzak, huzurlu bir şekilde yolculuk etmeleri sağlanacaktır.

ITS alanında en gelişmiş yönetim sistemleri ve teknolojileri, trafik ağındaki mevcut durumu yansıtan gerçek zamanlı trafik verilerine ihtiyaç duyar. Trafik algılama sistemleri, trafik uyarımlı sinyal kontrolü gibi birçok gelişmiş trafik sistemleri, trafik yoğunluğu ölçümü ve karayolu kontrolü ile karayolu olay algılama sistemlerinin kritik bir parçasıdır. Kablosuz Sensör Ağları esneklik, kurulum kolaylığı, uzaktan bakım ve düşük maliyet sayesinde trafik kontrol sistemleri içerisinde her yerde ölçeklenebilir ve konuşlandırılabilir yapıya sahiptir.

Kablosuz iletişim sistemleri uygulamalarında artan talep, mikroşerit antenlere olan ilgiyi artırmıştır. Mikroşerit yama antenlerin düzlemsel ve düzlemsel olmayan yüzeylerde rahatlıkla kullanılabilmesi, mekanik olarak sağlam, hafif ve küçük yapılı, modern baskılı devre teknolojisi kullanılarak ucuz olarak üretilebilmesi, çeşitli uygulamalar için çok yönlü yama şekli ve modu seçilerek istenilen frekans, polarizasyon, ışınma deseni ve empedans karakteristiklerine sahip olmaları nedeniyle daha çok tercih edilmektedir.

Bir kablosuz sensör düğümü üzerine monte edilebilecek antenin, mümkün olduğunca küçük boyutta olması arzu edilir. Genel olarak açık ortamlarda kullanılan sensörlerdeki antenler, toprak düzleminde bulunmaktadır. Tasarım gereksinimleri karşılamak için yapılması gereken anten boyutu ve yerleşimi maksimum elde edilebilir kazanç ve bant genişliğini etkileyecek unsurlardır.

Mikroşerit antenlerin dar bant genişliği, düşük kazanç gibi bazı dezavantajları vardır. Dar empedans bant genişliği ve düşük kazanç problemini aşmak için taban malzemesinin kalitesi, besleme biçiminin optimizasyonu ve dizi antenler gibi birçok teknik önerilmiştir. Ancak, ışınma verimini artırma, bant genişliği geliştirme ve boyut küçültme çalışmaları diğer anten parametrelerinin bozulmasına da neden olabilmektedir. Bu nedenle anten optimizasyonu mikroşerit antenlerin pratik uygulamaları için önemli tasarım konuları haline gelmektedir.

Zigbee tabanlı Kablosuz Sensör Ağları (KSA) ile Akıllı Trafik Sistemlerindeki uygulamaları ve mikroşerit antenler konularında ulusal ve uluslararası kaynakların taranması sonucu elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

Sing-Yiu Cheung and P. Varaiya (2007), (UC, Berkeley) "Traffic Surveillance by Wireless Sensor Networks: Final Report for PATH TO 5301" isimli çalışmaları, Akıllı Ulaşım Sistemleri'ne (ITS) veri sağlayan Trafik İzleme Sistemleri için endüktif

loop dedektörlere alternatif ve düşük maliyetli sistem araştırmalarını kapsamaktadır. Yayınladıkları bu raporda, akustik ve manyetik sensörler kullanılarak, trafik izleme sistemlerinde kullanılacak kablosuz sensör ağı (IEEE 802.14.5 uyumlu) için TrafficDot ismi verilen prototipin tasarımını, analizini ve performansını kapsayan projeyi ele almışlardır. Projede, sensörlerden elde edilen sinyaller için gerçek zamanlı araç algılama algoritması geliştirilmiştir. Manyetik sensörlerle % 97'nin üzerinde algılama oranları elde edilmiş ve akustik sensörlere göre çok daha üstün olduklarını ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada ayrıca araç tanımlama ve sınıflandırması için yeni şemalar ile düşük maliyetli düşük güç platformları geliştirilmiş ve test edilmiştir. Test sonuçlarında algoritmalar için daha düşük işlem gücü ile yüksek doğrulukta sınıflandırma oranları elde etmişlerdir.

Taek Mu Kwon ve Ryan Weidemann (2008), (University of Minnesota) "Portable Cellular Wireless Mesh Sensor Network for Vehicle Tracking in an Intersection Final Report" isimli araştırma projesinde bir kavşaktan geçen araçları sayabilecek, güvenli, otomatik, taşınabilir bir araç izleme sistemi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bunun için bir kablosuz sensör ağı kullanarak şeritlerin ortasına yerleştirilen kablosuz sensör düğümlerinden gelen verileri başarılı biçimde toplamışlardır. Projede, her bir düğüm araçları tespit etmek için bir AMR sensör, Zigbee tabanlı PAN4570 radyo iletişim modülü ile li-ion şarj edilebilen pil içermektedir. Ağ koordinatörü ise sensör düğümlerinin gönderdiği verileri kullanarak geliştirilmiş araç izleme algoritmaları ile araçların yönlerini ve sayılarını kaydetmektedir. Yapılan uygulamalarla, AMR manyetik sensörlerin her türlü hava koşulunda görevlerini tam olarak yaptığı, güç tüketimini azaltılmasında ve pil boyutunun küçültülmesinde Zigbee teknolojisinin doğru bir seçim olduğu sonucuna varmışlardır.

Dargie ve Poellabauer (2010), Vassar Street üzerinde, Cambridge ve Massachusetts'de bir prototip konuşlandırılmıştır. Sistem, AMR (Anisotropic Magnetoresistance) manyetik algılayıcılar ve yol durumu izlemek için (karlı, buzlu veya yağmurlu olması durumları) bir sıcaklık algılayıcı düğüm ile verileri aktardıkları bir alıcıdan oluşmaktadır.

Delibaşoğlu, İ. ve ark. (2011), "GMR Sensörler İle Gerçek Zamanlı Trafik Verilerinin Elde Edilmesi İçin Bir Gömülü Sistem Tasarımı" isimli bildiri sunmuşlardır. Çalışmalarında, GMR sensörler ile trafik yoğunluğnu ve araçların hareketlerini tespit ederek verileri gerçek zamanlı iletmeyi mümkün kılan bir sistem tasarlamışlardır. Bu

sistem GMR sensörlerden sinyal değişimleri dijital sinyallere dönüştürülerek çeşitli algoritmalarla yorumlanabilecek veriler elde edilebilmiştir. Gerçekleştirilen uygulama ile bu verilerden yola çıkılarak hızı ve araç uzunluğu hesaplama yöntemi gösterilmiştir.

Haoui, A. ve arkadaşları, (2007) Elsevier dergisinde yayınlanan “Wireless Magnetic Sensors For Traffic Surveillance” isimli makalelerinde verimli karayolu taşımacılığı yönetimi için gerekli stratejiler üzerinde durmuşlar, trafik verilerini hızlı ve doğru ölçebilen sensör sistemlerinin bu stratejilerin en önemli temeli olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca Akıllı Ulaşım Sistemleri içerisinde araç sensör uygulamaları üzerine yapılan örnekler vermişlerdir. Karayolları, bağlantı yolları ve kavşaklarda sinyal kontrolü, araç sayma, hız ve kuyruk uzunluğu vb. uygulamalar ile şehir içi araç park rehberi uygulamalarında kablosuz sensör yerleşimleri üzerinde stratejileri ve sonuçlarını yayınlamışlardır.

Mirchandani ve (2001) “A real-time traffic signal control system, architecture, algorithms and analysis” (Transportation Research dergisi) isimli makalesinde adaptif sinyal kontrolü için ölçülmesi gereken parametreleri üzerinde durmuştur. Karayollarında ve bağlantılarında akış hızı, kuyruk deşarj hızı, kavşaklarda kuyruk uzunluğu ve trafik yoğunluğu vb. parametrelerin hızlı ve güvenilir şekilde ölçülmesi gerektiğini belirtmiştir.

Ramy A. El-adl ve arkadaşları (2012), “An arrow shaped printed antenna for ZigBee applications” isimli makalesinde 2,4 GHz ISM bandı uygulamaları için ok şeklindeki bir anten tasarımı sunulmuştur. Bu antenin uygulamaları arasında ZigBee, Bluetooth, WLAN ve WiBree bulunur. Önerilen anten, 2,4 GHz ISM bandını kapsayacak şekilde uygulanmıştır. Anten, 25×50 mm² boyutlarında FR4 dielektrik substrat üzerinde imal edilmiştir. Ölçüm ile benzetim sonuçların oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

Raja Rashidul Hasan ve arkadaşlarının (2015), “Designing and Analysis of Microstrip Patch Antenna for Wi-Fi Communication System Using Different Dielectric Materials” isimli çalışmalarında Wi-Fi iletişimi için mikro şerit yama anteninin tasarımı ve analizi için Taconic RF35P, FR-4, RT Duroid5880, Arlon Di522, , Bakalit ve Dupont 950 gibi farklı dielektrik malzemeler kullanılmıştır. Altı farklı dielektrik malzemenin tümü için tasarlanmış mikroşerit yama antenin performansını analiz ederek, FR4 için 2,4 GHz rezonans frekansında daha iyi performans gözlemişlerdir. Geri dönüş

kayıbı değeri, toplam verim ve radyasyon verimi ayrıca FR4 için daha yüksek olduğunu dolayısıyla FR4, Wi-Fi uygulaması için bu tip bir antenin tasarlanması için çok uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

G. Sharma ve arkadaşlarının (2012), “An Approach to Design and Optimization of WLAN Patch Antennas for Wi-Fi Applications” isimli çalışmalarında mikroşerit kenar beslemeli ve gömülü (inset) beslemeli dikdörtgen mikroşerit anten tasarımı ve optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Gömülü beslemeli mikroşerit antenin geri dönüş kaybı ve kazanç değerlerinin diğer besleme tipine göre daha yüksek performans gösterdiğini tespitle Wifi uygulamaları için uygun olduğunu Zigbee ve Bluetooth bantlarında da ticari olarak önerilebileceğini belirtmişlerdir.

S. Srivastava, D. Somwanshi (2016), “Design and Analysis of Rectangular Microstrip Patch Antenna for ZigBee Applications” isimli makalalarında, ZigBee teknolojisini olgunlaştırmak için üstesinden gelmesi gereken birçok zorluktan biri olan, teknolojinin gereksinimlerini karşılayabilecek ZigBee antenlerini tasarlamak olduğundan bahisle, anten tasarımında karşılaşılan en büyük zorluğun, yüksek ışıma verimliliğini korurken dar empedans bant genişliğini elde etmek olduğu tespitini yapmışlardır. Yüksek radyasyon verimi elde etmek için 10 dB'den daha büyük bir geri dönüş kaybı gerekli olduğu, ZigBee veri iletiminde çok düşük güç kullanması nedeniyle yüksek hassasiyete sahip olması gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında dikdörtgen bir yama kullanılarak 902-928 MHz bandında (ISM) çalışan dikdörtgen mikroşerit yama anteni önerilmiştir. Tasarlanan anten 2'den az VSWR değerine ve 60x30 mm boyutlarına sahiptir. Önerilen anten, kablosuz sensör ağlarında sensör düğüm modüllerinde kullanılabilir kompakt bir boyuta sahiptir.

Bu tez çalışmasında, Zigbee tabanlı bir Kablosuz Sensör Ağı (KSA) kurularak Akıllı Ulaşım Sistemlerinin (ITS) bir bileşeni olan sinyalizasyon kavşaklarında kullanıma uygun Adaptif Trafik Kontrol Sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem, trafik verilerinin toplanmasında önemli bileşenlerinden olan araç algılama ve gözetleme teknolojilerinden biri olan manyetik sensörler kullanılmıştır. Sistem, bir adet Ana Kontrol Ünitesi ile dört adet Kablosuz Sensör Düğümü'nden oluşmaktadır. Taşınabilir ve batarya ile çalışan sensör düğümlerinden gelen veriler, Ana Kontrol Ünite'sine aktarılarak burada toplanmış ve bu verilerin değerlendirilmesiyle elde edilen sinyalizasyon verileri tekrardan Sensör Düğümleri'ne iletilmiştir. Bu şekilde izleme ve kontrol işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Zigbee uyumlu bir mikroşerit anten

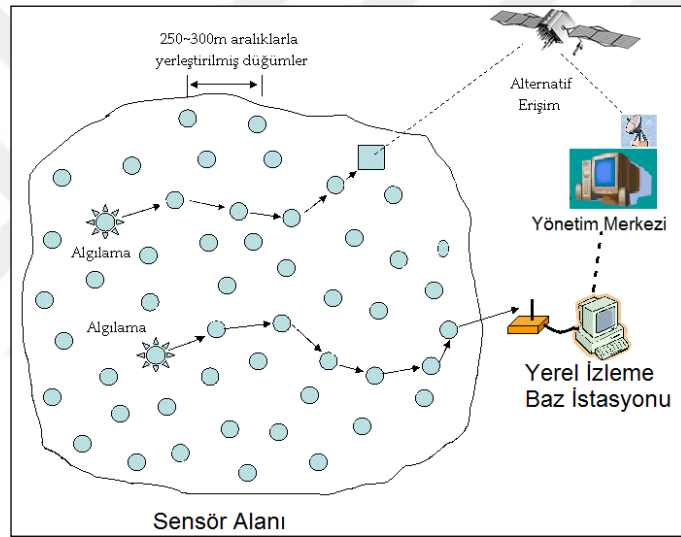
tasarlanarak sensör düğümlerinin alıcı-verici biriminin çalışma menziline artırılması sağlanmıştır.

Bu tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır. 1. Bölümde, çalışmanın temelini oluşturan konular anlatılmış, literatür taraması ile tezin amacı ve önemi vurgulanmıştır. 2. Bölümde, Kablosuz Sensör Ağları (KSA) konusu detaylı biçimde ele alınmış, trafik kontrol sistemleri, Zigbee teknolojisi ve mikroşerit antenler hakkında temel bilgiler verilmiştir. 3. Bölümde Zigbee tabanlı Adaptif Trafik Kontrol Sistemi'nin tasarımı ile sistemle uyumlu bir mikroşerit anten tasarım ve gerçekleştirilmesi ayrıntılı olarak ele alınmıştır. 4. Bölümde uygulama sonuçları ve tartışma, 5. Bölümde çalışmanın sonuçları ve öneriler sunulmuştur.



2. KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI (KSA)

Kablosuz Sensör Ağları (Wireless Sensor Network - WSN), sensör düğümlerinin kendi aralarında ve merkezi birim ile kablosuz iletişime geçerek fiziksel dünyayı algılamak için veri toplayan sistemlerdir. Mikroelektronik Sistemler (MEMS) ve kablosuz haberleşme sistemlerindeki gelişmeler düşük güçlü, düşük maliyetli, ağ sistemlerinde kullanılabilen mikro algılayıcıların üretilmesini sağlamıştır. Şekil 2.1’de verilen örnekte görüldüğü gibi KSA ortamdaki fiziksel olaylar, değişimler vb. verileri toplamak için onlarca sensör birimi kullanılmak suretiyle geniş alanlar gözlemlenebilmektedir.



Şekil 2.1. Kablosuz sensör ağları (KSA)

Günümüze kadar pek çok teknolojik gelişmede yaşandığı gibi sensör ağlarının gelişim süreci de askeri alandaki araştırmalarla başlamıştır. 1950’li yıllarda Atlantik okyanusundaki derin havzalarında, Ses Gözetim Sistemi (*Sound Surveillance Systems - SOSUS*) adı verilen uzun mesafeli akustik sensörler (hydrophones), deniz altının izlenmesi amacıyla konumlandırılmıştır.

1980’ler ve 1990’larda CEC (*Cooperative Engagement Capability*) savaş sahasında bulunan çoklu radar düzenekleri arasında kurulacak bağlantı askeri sensör ağı olarak geliştirdi.

Geliştirilen diğer bir kablosuz sensör sistem ise Amerikan Hava Kuvvetleri tarafından Vietnam savaşında kullanılan Air Delivered Seismic Intrusion Detector

(ADSID) sistemidir. Yol boyunca yerleştirilen bu düğümler hassas sismometreler ile donatılmış olup hareket eden herhangi bir araç veya personelin titreşimini, eşsiz bir frekanstan doğrudan alıcı uçağa iletmekteydi. Oldukça yüksek güç tüketen ve büyük boyutlara sahip olan bu ilk kablosuz sensör düğümü örnekleri oldukça başarılı olmasına karşın ömrü sadece birkaç hafta ile sınırlıydı.

1996 yılında düşük güçlü entegre kablosuz mikro sensörlerin (*LWIMs*) UC Los Angeles ve Rockwell Bilim Merkezi tarafından üretilmesiyle, kablosuz sensörler ticari alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Düşük maliyetli CMOS fabrikasyon ile çok sayıda sensör, elektronik arayüz, kontrol ve iletişim birimleri tek küçük bir aygıtta toplanmıştır. LWIM 1mW verici ile 10 metrelik bir alanda 100 Kbps kablosuz iletişimi desteklemekteydi. 1998 yılında yine aynı takım, ikinci nesil sensör düğümü olan Entegre Kablosuz Ağ Sensörlerini (*Wireless Integrated Network Sensors - WINS*) üretti. Rockwell tarafından üretilen ticari kullanım amaçlı WINS, 100Kbps kablosuz iletişimi destekleyen bir radyo kartı ve bir sensör kartı barındırmaktaydı. İşleciminin aktif güç tüketimi 200mW seviyesindeyken uyku halinde güç tüketimi 0.8mW civarındaydı.

1999 yılında UC Berkeley'de geliştirilen Smart Dust projesi ile üretilen WeC adı verilen ilk sensör düğümü piyasaya sürüldü. WeC, 10Kbps hızında kablosuz veri iletişimini 36mW verici ve 9mW alıcı güç tüketimi ile desteklemekteydi. Bu süreçte, Mica, Mica2, Mica2Dot ve MicaZ'yi bünyesinde barındıran Mica ailesi 2001 yılında piyasaya sürüldü. Mica Mote mimarisi, birden fazla değişik türevde sensör, veri erişim kartı veya ağ ara yüz kartı monte edilmesine izin veriyordu.

2002 yılında Mica2 ve Mica2Dot düğümleri, 33mW aktif ve 75 μ W pasif güç tüketimine sahip, ATmega128L mikrodenetleyicisi ile piyasaya sürüldü. Radyo modülünü de daha geniş frekans seçeneği sunan ve FSK modülasyonu kullanarak gürültü düzeyini düşüren Chipcon CC1000 modülü ile değiştirildi. Bundan bir yıl sonra MicaZ, 802.15.4/ZigBee protokolü destekleyen, 250Kbps üzeri kablosuz veri iletişimi sağlayan Chipcon CC2420 geniş band modülüyle piyasaya sürüldü. Bu modül aynı zamanda tümleşik olarak şifreleme ve kimlik doğrulamayı da destekliyordu.

Kablosuz düğümlerin en kritik sorunu enerji tüketimi konusudur. Geniş saha kullanımlarında sık denetim ve yenileme ihtiyacı yüzünden bakım maliyeti sorunu ortaya çıkarmaktadır. 2003 yılında Berkley Kablosuz Araştırma Merkezi (BWRC)

gücünü güneşten ve titreşim sinyallerinden alan ilk kablosuz verici olan PicoBeacon'u piyasa sürdü. Entegre edilen RF modülü 400 μ W'tan daha az güç tüketmekteydi.

2.1. Kablosuz Sensör Ağlarının Kullanım Alanları

2000'li yıllardan itibaren kablosuz sensör teknolojisi ile geniş bir alanı kontrol etmek ve veri akışı sağlamak oldukça esnek ve basit bir yapı haline gelmiştir. Sağlamış olduğu bu kolaylıklar sayesinde endüstri, sağlık, çevre bilimleri ve askeri alanlar gibi birçok alanda kendine kullanım yeri bulmuştur. Uygulama alanlarının bazı örnekleri şu şekilde sıralanabilir:

- Doğa izleme gözlem,
- Meteorolojik hava tahmin sistemleri,
- Ev ve ofis uygulamaları,
- Dış ve iç mekân güvenliği,
- Enerji üretim ve dağıtım merkezleri,
- Sağlık alanında çeşitli uygulamalar (hasta takibi vb.)
- Trafik kontrol sistemleri (araç algılama ve trafik parametrelerinin elde edilmesi vb.)
- Mayınlı alanlarda konum tespit ve uyarı sistemleri
- Oto parklarda dolu-boş yerlerin tespit edilmesi
- Askeri alanda, düşman unsurlarının hareketlerinin izlenmesi
- Kimyasal ve biyolojik kirlilik riski olan ortamların gözlemlenmesi ve kontrolü.

2.2. Trafik Kontrol Sistemlerinde KSA Uygulamaları

Trafik verilerini toplamak için kullanılan araç algılama ve izleme teknolojileri Akıllı Ulaşım Sistemleri'nin ayrılmaz bir parçasıdır. Araç algılama ve izleme teknolojileri araç varlığı algılama, hız tespiti, araç sayımı, ağırlık ve yükseklik ölçümü, araç sınıflandırılması vb. verileri sağlamak üzere sürekli olarak geliştirilmektedir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda kablosuz sensör ağları, klasik algılama sistemleri kadar iyi algılama doğruluğu ile bir trafik algılama ve izleme sistemi olarak

geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Kablosuz Sensör ağları esneklik, kurulum kolaylığı, uzaktan bakım ve düşük maliyet sayesinde trafik sistemleri içerisinde her yerde ölçeklenebilir ve konuşlandırılabilir yapıya sahiptir.

Araç algılama ve izleme sistemleri ile doğru ve güvenilir gerçek zamanlı trafik verilerinin sağlanması tüm Akıllı Trafik Sistemlerinin (ITS) etkin ve başarılı yürütülmesi için elzemdir. Örneğin, seyahat bilgi sistemleri, otoyol ve arteriyel yönetim sistemleri, acil durum yönetimi ve park yönetimi vb. sistemlerde gerçek zamanlı trafik bilgilerinin kapsamı ve güvenilirliği önemlidir. Tüm bu ITS uygulamaları, tüm önemli otoyollardan sokaklara trafik denetimleri büyük ölçekli dağıtım ve azami faydayı sağlamak için geliştirilmiştir. Trafik izleme ve kontrol teknolojilerinde kolay uygulanabilir, güvenilir ve maliyet verimliliğine sahip alternatif sistem araştırma arayışının ürünü olarak kablosuz sensör teknolojileri geliştirilmiştir. Bu teknolojiler yaygın olarak kullanılan endüktif loop dedektörlerle aynı doğruluk düzeyinde veri sağlar, yol kaplamasının bozulmasını en aza indirerek kurulum-bakım sırasında maliyet ve zaman kayıplarını düşürür. Kablosuz sensör ağları, trafik gözetleme ve kontrol sektöründe devrim potansiyeline sahiptir.

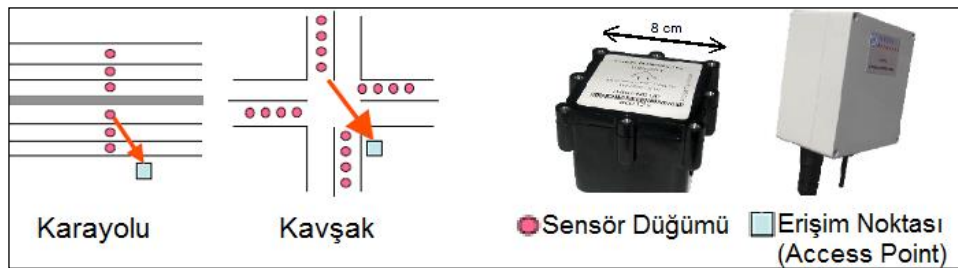
Trafik kontrol sistemlerinde kullanılan KSA'ların diğer teknolojilere göre ön plana çıkan üstünlükleri şunlardır:

- **Esneklik:** Kablosuz duyurga ağlarının dağıtım yapılandırma esnekliği yüksek düzeydedir. Algılayıcı düğümlerin iletişim kapsama alanı içinde olduğu sürece karayolunun hemen her yerinden yerleştirilebilir. Farklı uygulamalar ve ortamlar için kolayca entegre edilebilir. Bu benzersiz özellik, tüm diğer algılama ve izleme teknolojileri üzerinde büyük bir avantajdır.
- **Çok Fonksiyonellik:** Mevcut sensör düğümü platformları yapılarına birçok fonksiyon ve diğer algılama yöntemleri eklenerek geliştirilebilir. Sıcaklık sensörleri buz ve kar tespit etmek için ilave edilebilir; nem sensörleri yağmur ve sis tespit etmek için ilave edilebilir; ivme sensörleri köprü ve kaplama yapılarını izlemek için ilave edilebilir. Bu çok fonksiyonlu özellik daha da gelişmiş ITS uygulamalarında kullanabilme imkânı tanır.
- **Kablosuz İletişim Yeteneği:** Trafik güvenlik kontrolünde araştırmalar araçlar arası iletişim (IVC) ve yol-araç iletişimi (RVC) uygulamalarında aktif olarak yürütülmektedir. Sensör düğümleri sadece IEEE 802.11p ve Tahsisli Kısa

Mesafeli Radyo Haberleşmesi (DSRC) gibi standart protokolü kullanarak IVC ve RVC teknolojilerinde iletişim ağlarını genişletmek için kullanılabilir. Bu özellik, trafik ışıkları ve uyarı işaretleri önceden kontrol edilebilir sahadaki güvenlik denetiminin artırılması son derece yararlıdır. Tüm bu üstün özelliklerin yanı sıra, kablosuz sensör ağlarının aynı zamanda algılama doğruluğu da endüktif loop dedektörler kadar yüksek olduğunu göstermektedir. Araç sınıflandırma ve yeniden tanımlama aynı donanım platformu ile elde edilebilir.

2.3. Kablosuz Sensör Sistemlerinin Yapısı ve Bileşenleri

Kablosuz sensör ağı yapısı, tek bir erişim noktası (access point) ile çok sayıda sensör düğümünden (sensor node) oluşur. Şekil 2.2’de verilen örnekte, bir kablosuz sensör ağı düzeni gösterilmiştir. Erişim noktası üstün hesaplama kaynakları, gelişmiş telsiz haberleşme ve sınırsız bir güç kaynağına sahiptir. Genel olarak, bazı çevre koşulları mekânsal bir yoğunluğa sahip ve uygulama tarafından belirlenen bir örnekleme hızında konuşlandırılmış sensörü düğümleri tarafından ölçülür. Ham sensör sinyalleri, ilk olarak bazı verileri elde etmek için sensör düğümü işlemcisi tarafından işlenir. Bu veriler çoklu-atlama iletişim ile diğer sensör düğümleri arasında veya doğrudan iletişim yoluyla erişim noktasına aktarılır. Sonunda, erişim noktası daha fazla bilgi almak için ağ içindeki tüm sensörlerden toplanan verileri işler bu bilgileri bazı anlamlı biçime dönüştürür ve son kullanıcı veya başka bir kontrol sistemine gönderir.



Şekil 2.2. Trafik izleme sistemlerinde kullanılan bir kablosuz sensör ağ düzeni.
(VSN240, Sensys Network Co.,)

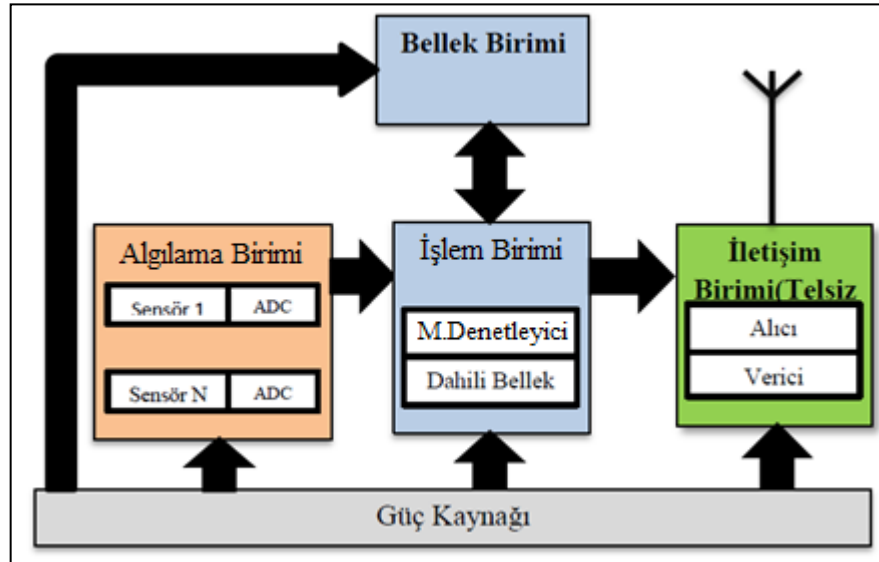
Trafik izleme uygulaması olarak, yol üzerindeki bilinen yerlerine yerleştirilmiş manyetik sensörler, üzerinden geçen araçlara ait “manyetik imza” denilen sinyaller

üretir ve araç algılama algoritması ile işlenir. Algılama olayları ardından erişim noktasına aktarılır. Bu senkronize sensör düğümlerinden erişim noktasına gelen veriler kullanılarak trafik sayımları, yoğunluk, doluluk ve hız hesaplanabilir, diğer veriler sentezlenebilir. Son olarak, bu gerçek zamanlı trafik bilgileri Trafik Yönetim Merkezi (TMC) veya trafik izleme ve sinyal kontrolü gibi uygulamalar için yerel kontrol ünitesine iletilir.

2.3.1. Kablosuz Sensör Düğümünün Yapısı

Bir kablosuz sensör düğümü temel olarak beş bileşenden oluşmaktadır. Algılama birimi, işlem birimi (mikroişlemci), bellek birimi, iletişim birimi ve güç kaynağı. Bu bileşenler aşağıdaki bölümde açıklanmıştır.

Şekil 2.3’de tipik bir kablosuz sensör mimarisi görülmektedir. Algılayıcı birim çok çeşitli ve sayıda sensör ile analog-dijital dönüştürücüden oluşur. Sensörler, izlenen ortamın sıcaklık, nem oranı, hareket vb. verileri algılayan donanım birimleridir. Bu sayede toplanan analog veriler analog-dijital çeviricide sayısal verilere dönüştürülür ve işlem birimine gönderilir.



Şekil 2.3. Kablosuz sensör düğümünün blok diyagramı

İşlem biriminde bir mikrodenetleyici ile dâhili bellek bulunur. İşlem birimi, gelen verileri işlemek ve sensör düğümündeki diğer birimler arasında yürütülen işlemlerin kontrolünü ve koordinasyonu sağlamakla görevlidir. İletişim birimini görevi

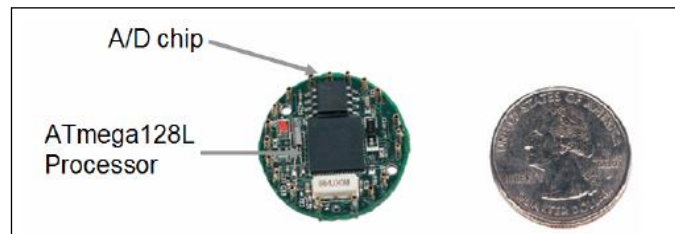
ise bir kablosuz sensör ile diğer sensör düğümleri arasında bağlantı kurmaktır. İletişim birimi iki yönlü olarak alıcı ve verici görevlerini yürütür. Kablosuz veri iletimi için radyo frekans (RF) veya kızılötesi teknikleri kullanılabilir.

Kablosuz sensör düğümleri geniş sahalarda kullanıldıklarından enerji harcama miktarları önemlidir. Şekil 2.3.'de gösterilen kablosuz sensör düğümü mimarisinde, diğer birimlere göre en çok enerji tüketimi yapan birim, iletişim birimidir. Bu nedenle iletişim biriminin tasarımında minimum güç tüketimi prensibi ön planda yer almaktadır.

2.3.1.1. İşlem Birimi

İşlem birimi, sensör düğümünün merkezi kontrol birimidir. Algılayıcı birimden gönderilen veriyi toplayarak hangi birimlere ve ne zaman göndereceğine karar verir. Diğer sensör düğümlerinden de veri alarak sistemin çalışma biçimine karar verir.

İşlem biriminin tasarımında seçilecek olan donanımın öncelikli olarak, esnek yapıda olması, yüksek enerji verimliliği ve düşük maliyete sahip olması beklenmektedir. Bu özelliklere sahip işlemciler arasında, mikrodenetleyici olarak bilinen daha basit yapıda ve gömülü sistemlerde kullanılmak üzere uygun işlemciler piyasada mevcuttur. Şekil 2.4'de kablosuz sensör düğümüne ait örnek bir işlem birimi görülmektedir. Çeşitli uygulamalarda gösterdiği esneklik, sinyal işleme için yeterli sayılabilecek komut seti, düşük enerji tüketimi ve dahili bellek birimine sahip olmalarının yanında mikrodenetleyiciler, uyku durumunda güç tüketimlerini minimum seviyede tutmayı başardığı için kablosuz sensör ağlarında tercih edilen bir donanım birimi olmuştur.



Şekil 2.4. Kablosuz Sensör düğümünün işlem birimi (MICA2, Crossbow Technology, UC Berkeley)

2.3.1.2. Bellek Birimi

Kablosuz sensör ağlarında kullanılan bellek birimi, rastgele erişimli bellek (RAM) biçimidir. Bellek birimi sensörlerden iletilen bilgileri depolar, diğer düğümlerden gelen paketleri saklar. Program kodları ise ROM bellek veya EEPROM türü bellekte saklanır.

Kablosuz sensör ağının kullanım alanına göre veri depolama şekli de değişkenlik gösterir. Örneğin toplanan veriyi anlık olarak iletmesi gereken sistemlerde kullanılacak belleğin kapasitesi ile veriyi uzun zaman aralıkları sonrasında transfer eden sistemlerin bellek gereksinimleri birbirinden farklıdır. Bellek seçiminde ilk seçenek giderek azalan maliyetleri ve yüksek kapasiteleri ile flash belleklerdir.

2.3.1.3. İletişim Birimi

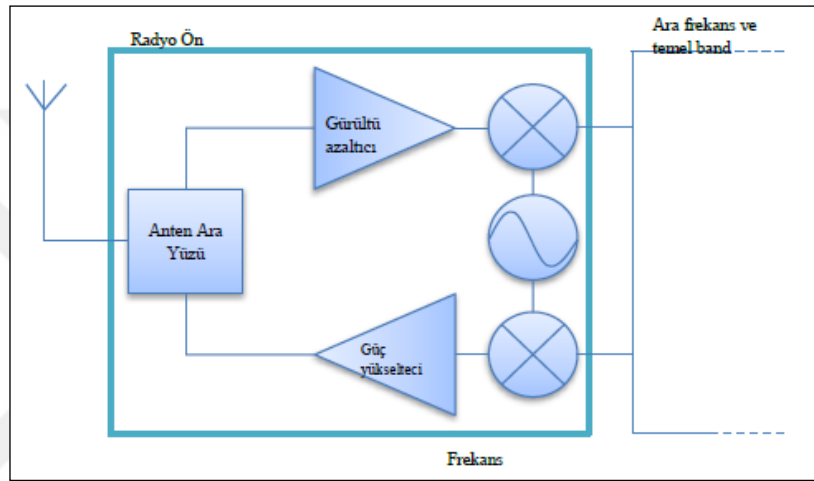
İletişim birimi, ağda bulunan diğer sensör düğümleri arasında veri transferi yapan birimdir. Radyo frekansı, optik iletişim vb. yöntemler genel olarak kullanılan iletişim biçimleridir. Bu tekniklerde radyo frekans tabanlı iletişim türü, kablosuz sensör ağ sistemlerinde kullanılabilir en uygun iletişim biçimidir. Radyo frekans tekniği ile iletişim;

- Alıcı ve verici arasında uzun mesafe olmasına olanak tanır,
- Düşük enerji tüketir,
- Yüksek hızlı veri iletimi sağlar,
- Kabul edilebilir seviyede düşük hata düzeyi sunar,
- Alıcı ile verici arasında kablolamaya gerek yoktur.
- Kablosuz sensör ağları iletişim birimi genellikle 433MHz ile 2.4GHz frekansları aralığında veri iletişimi gerçekleştirir.

Sensör düğümünde kullanılan iletişim birimleri, hem alıcı hem de verici olarak çalışmaktadır. Esas görevi mikrodenetleyiciden gelen sayısal verileri radyo sinyallerine, ortamdaki radyo dalgalarını da sayısal verilere çevirmektir. Sensör ihtiyaçlarına cevap verebilecek iletişim biriminin bu iki işlemi de aynı anda yapması gerekmektedir.

Şekil 2.5.'te radyo alıcı-vericisinin ön birimi görülmektedir. Bu birim geçerli radyo frekans bandında analog sinyali işlemekle görevlidir. Ara frekans ve temel bant işleme birimi ise dijital platformda sinyal işleme ve sensör düğümünün işlemcisi veya diğer dijital devre birimi ile iletişimi sağlamakla görevlidir. Güç yükselteci birimi dönüştürülmüş sinyali yükselterek antene iletir. Gürültü azaltıcı yükselteç ise sinyalin gürültü seviyesini düşürüp işaret seviyesini artırarak işlenmek üzere ilgili birime iletir.

Osilatör ve karıştırıcı birimleri ise sinyali RF spektrumundan orta düzey frekansa veya temel bant frekansına dönüştürme işlemlerinde kullanılır.

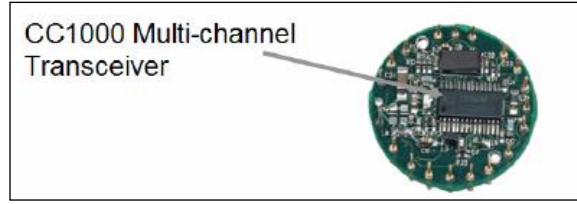


Şekil 2.5. Alıcı-verici ön birimin blok şeması

Yeni nesil iletişim sistemleri genelde aşağıdaki dört işlem durumuna sahiptir ve bu durumlara otomatik olarak geçmektedir.

- Aktif iletim ; verici kısmının aktif olduğu ve antenden enerji yayılan durumdur.
- Alıcı durumu; alıcı kısmın aktiftir.
- Bekleme durumu; veri almaya hazır olduğu ancak veri almanın aktif olarak başlamadığı durumdur.
- Uyku durumu; birçok önemli biriminin pasif halde beklediği durumdur.

Kablosuz sensör ağları için kullanılacak alıcı-verici birimleri birçok firma tarafından piyasaya sürülmüştür. En yaygın olarak kullanılan birimler arasında RFM TR 1001, Inineon TDA525x ailesi ve Şekil 2.6'da verilen Chipcon CC 1000 & CC2420 (ilk IEEE 802.15.4 uyumlu modellerden biri) ve sayılabilir. Kablosuz sensörlerin geniş sahada düşük güç tüketerek iletişim sağlaması için en uygun iletişim protokolü Zigbee Alliance tarafından geliştirilen IEEE 802.15.4 standardıdır.



Şekil 2.6. Zigbee uyumlu Chipcon CC1000 alıcı-verici birimi

2.3.1.4. Algılama Birimi

Bir algılayıcı, bir dijital işlemci tarafından ölçülen fiziksel büyüklüğü elektrik sinyaline dönüştürür. Trafik yoğunluğu, sıcaklık, nem, kirlilik, titreşim (ivmeölçer) gözetleme, aydınlanma koşulları vb. bir çok veri sensörler yardımıyla toplanabilir. Bu sensörlerin kombinasyonu ile yol koşulları ve trafik akışının detaylı bir görüntüsü elde etmek mümkündür. Mikro-Elektro-Mekanik Sistemlerdeki (MEMS) gelişmeler sayesinde çok düşük bir güç tüketimine sahip bir çok sensörü, nispeten düşük maliyetle entegre etmek artık mümkündür. MEMS sensörleri, geçmişte mümkün olmayan birçok yeni nesil sensör ağ uygulamalarını mümkün kılmıştır. Örneğin, KSA ile vahşi yaşam izleme ve orman yangın algılama gibi çevresel uygulamalar geliştirilmiştir.

2.3.2. Trafik Uyarımlı (Adaptif) Kontrol Sistemleri

Günümüzde şehirleşme ve araç sayısındaki hızlı artış, şehiriçi ve şehirlerarası yolların düzenlenmesini etkileyen çeşitli faktörleri iyileştirmek amacı ile kurulan trafik kontrol sistemlerinin önemini daha da artırmaktadır. Gelişen algılama, izleme, kontrol ve haberleşme teknolojilerine paralel olarak trafik kontrol sistemleri de yenilenmekte ve sağladığı kolaylıklar her geçen gün biraz daha artmaktadır.

1920'li yıllarda trafik sinyalizasyonun el ile yapılmasından, belli zamanlar tespit edilerek tasarlanmış otomatik cihazlarla yapılmasına doğru bir geçiş vardır. Ama bu sistemlerdeki zamanlama problemlerinden dolayı trafik polislerinin deneyimlerinden elde edilecek verilerin toplanıp buna göre bir sistem tasarlanması gereği ortaya çıkmıştır.

Trafik kontrol sistemlerinin en yoğun olarak kullanıldığı yerler kavşaklardır. Kavşakların kontrolünde ise çoğunlukla izole sinyalizasyon sistemleri kullanılır. Bu sinyalizasyon sistemi, yakınında kavşaklarda kurulu olan diğer sistemler ile her hangi

bir bağlantısı olmayan ve diğer kontrol sistemlerini etkilemeyen sistemlerdir. Trafik sinyalizasyon sistemleri şu dört farklı şekilde gerçekleştirilebilir:

- El ile Kumandalı Kontrol Sistemi
- Sabit Zamanlı Kontrol Sistemi
- Trafik Uyarımlı Sinyalizasyon Sistemi

El İle Kumandalı Sinyalizasyon Sistemi'nde trafik kontrolü, herhangi bir kavşaktaki tüm ışıklı sinyal gruplarının dışarıdan yönetilmesi ile sağlanmaktadır.

Sabit Zamanlı Sinyalizasyon Sistemi, sinyalizasyon kavşağına yaklaşan taşıt ve yaya trafiğine önceden hazırlanmış zaman programlarına uygun olarak sıra ile geçiş hakkı verilir. Sabit zamanlı sinyalizasyon sisteminin en büyük sakıncası kavşaklarda gereksiz bekleme sürelerine yol açmasıdır.

Trafik Uyarımlı Sinyalizasyon Sistemlerinde taşıtların geçiş hakkı sırası ve süreleri algılayıcılar (dedektörler) tarafından saptanan trafik akış ve yoğunluklarına göre düzenlenir. Kavşak yaklaşım kollarının hepsinden sürekli olarak uyarı alınır ve geçiş hakkı sıra ve süreleri uyarı alınan yaklaşım kollarındaki trafik yoğunluklarına göre değiştirilerek otomatik olarak düzenlenir. Tam trafik uyarımlı sistemler, trafik yoğunluklarının hemen hemen gerçek değerlerine göre geçiş hakkı sağladıklarından, toplam gecikmeleri minimuma indiren en ideal sistemlerdir.

Son yıllarda gelişmiş olan sensör, iletişim ve mikrokontrol teknolojilerine bağlı olarak gelişen ileri trafik yönetim sistemi "adaptif trafik yönetimi"dir. Bu sistemde sensörlerden gelen veriler çeşitli algoritmalarla değerlendirilir ve kavşaktaki geçiş hakkı ve süreleri, değişken süreler ile kontrol edilir. Bu sistemin en önemli avantajı trafik akışındaki değişimlere hızlı cevap verebilmesidir.

2.3.3. Araç Algılama ve İzleme Teknolojileri

Akıllı Ulaşım Sistemleri, trafik verimliliği artırmak için farklı düzeylerde gelişmiş teknolojiler içerir ki bunlar sensörler, iletişim teknolojileri ve trafik kontrol teknolojileridir. Trafik algılama ve izleme sistemleri, sadece geleneksel nakliye yönetiminde değil, aynı zamanda gelişmiş ulaşım yönetim sistemlerinde önemli rol

oynamaktadır. Trafik algılama sistemleri, ulaşım alanlarında farklı ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli verilerin toplanmasını sağlar.

Bu konuda çalışan karayolu sinyalizasyon mühendisi olan Henry A. Haugh, Karayolları için iki metal plakanın elektrik kontağı gibi kullanıldığı bir basınç duyarlı algılayıcı yapmıştır. Algılayıcının üzerinden bir araç geçtiğinde plakalar birbirine değiyor ve böylece algılama yapılmıştır. Bu çalışma, araç algılama sistemlerinin ilk adımını oluşturmuştur. Daha sonra kontaklar ile yüzey arasındaki mekanik problemin ortadan kaldırılması için elektro-pnömatik algılayıcıların geliştirilmesi yönünde çalışmalar yapılmıştır. Geliştirilen bu algılayıcılar bazı yerlerde kullanım alanı bulsalar da kurulum maliyetlerinin oldukça fazla ve sadece geçiş yönünde algılama yapabilmektedir. Araç sayısını tespit etme doğruluğu da basınçlı havanın hareket ettirdiği kontak sisteminin kabiliyetiyle sınırlıdır.

Tüm bu metotlarda sistemin hem kurulumu hem de bakımı oldukça maliyetlidir. Ayrıca kar yağması gibi durumlarda sistem kullanılmaz hale gelmektedir. Bu gibi problemlerin varlığı araştırmacıları daha akıllıca algılama yapabilecek metotlar geliştirmeye yöneltmiştir. Bu konuda çalışma yapanlar şu prensipler üzerinde yoğunlaşmışlardır.

- Ses (akustik algılayıcılar),
- Optik (optik ve infrared algılayıcılar, sinyal ve görüntü işleme),
- Yerin manyetik alanı (manyetik algılayıcılar, manyetometreler),
- Gönderilen enerjiyi yansıtma (infrared lazer radarlar, ultrasonik algılayıcılar, mikrodalga radarlar),
- Elektromanyetik indüksiyon (endüktif döngü sistemleri) vb.

Manyetik algılayıcılar, görüntü işleme, mikrodalga ve lazer radar sistemleri, ultrasonik, optik, akustik ve pasif infrared algılayıcılar her geçen gün daha da geliştirilerek kullanılsalar da günümüzde trafik yönetim uygulamalarında en geniş uygulama alanı bulan yöntem endüktif döngü sistemleridir.

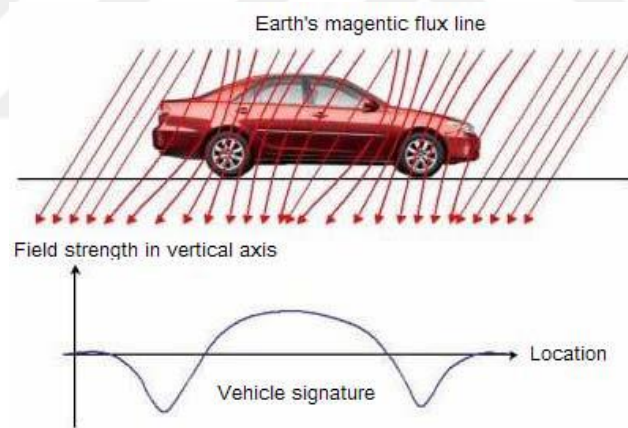
1990'lı yılların başlarında, Kendinden Beslemeli Araç Sensörleri (SPVD) geliştirilmiştir. SPVD, kendine yeten bir pil ile çalışan kablosuz veri iletebilen, çift veya üç eksenli manyetometrelerdir. Karayolunda bir delik açılarak içine yerleştirilir. Bir SPVD gömülme derinliği ve zemin koşullarına bağlı olarak belli aralık içinde bir alıcı

araç varlığını algılayabilir. Günümüzde yapılan çalışmalarda manyetik sensörlerin, endüktif döngü sistemleri kadar doğru ve güvenilir sonuçlar alınmıştır.

2.3.3.1. Manyetik Sensörler (GMR)

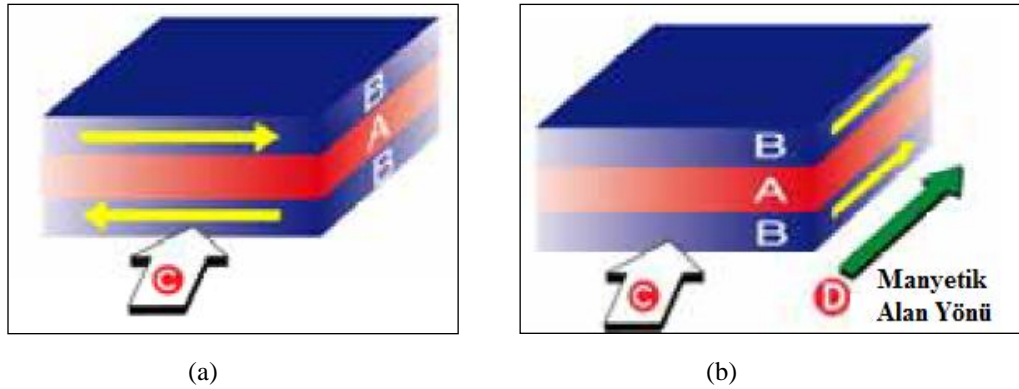
Manyetik sensörler, metal cisimlerin yeryüzünün manyetik alanında meydana getirdiği değişikliği algılayabilen sensörlerdir. Dünya'nın manyetik alanının bir araca nüfuz eden manyetik akı çizgilerinin bozulması Şekil 2.7'de görülmektedir. Dünya'nın manyetik alanındaki bu değişim, yüksek hassasiyetli manyetik sensör ile elektriksel değişimlere dönüştürmek mümkündür.

Günümüzde, araçların sensör üzerinden geçerken yerin manyetik alanında oluşan çok küçük değişimleri algılayabilen GMR (Giant Magneto Resistive) adı verilen sensörler geliştirilmiştir. Bu sensörler yüksek hassasiyetli (1V/gauss), küçük boyutlu ve düşük güç tüketimine sahip olmaları nedeniyle kablosuz sensör düğümlerinde kullanıma çok uygundur.



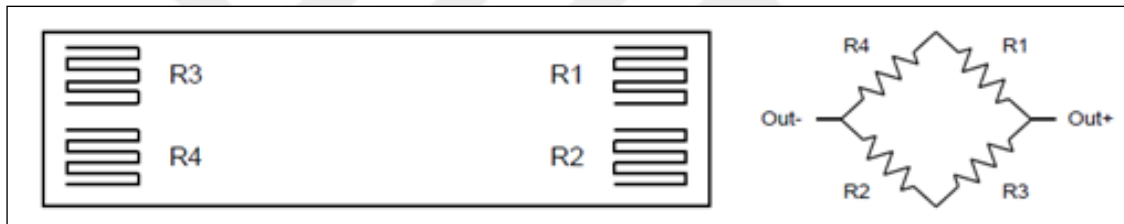
Şekil 2.7. Bir aracın, yerin manyetik alanında oluşturduğu bozulmalar ve manyetik imza.

GMR elemanı, Şekil 2.8'de görüldüğü gibi iki tane ferromanyetik (B) katman arasına manyetik olmayan (A) bir malzemenin konulmasıyla elde edilmiştir. Yapısında ferromanyetik malzeme olarak demir, krom vb. elementler ile nonmanyetik olarak da bakır, nikel vb. elementler kullanılmaktadır.



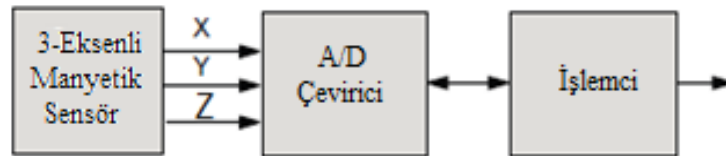
Şekil 2.8. GMR elemanın yapısı ve manyetik alan değişimine tepkisi. (a) Manyetik alan yok iken, (b) Manyetik alan var iken

Belli yöndeki manyetik değişimler direnç değişimine ve GMR sensör çıkışında bir gerilim değişimine neden olur. Temel olarak, GMR sensörü Şekil 2.9'da gösterildiği gibi bir Wheatstone köprüsü yapısına sahiptir.



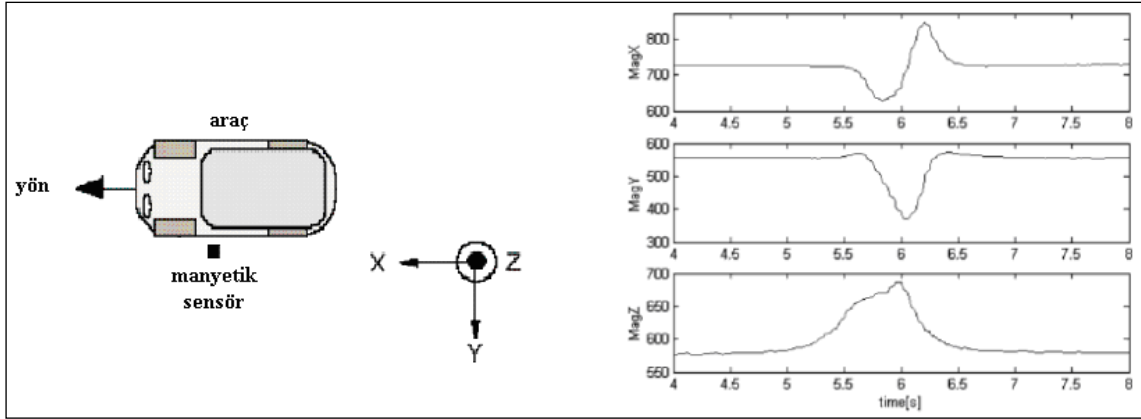
Şekil 2.9. GMR sensörünün elektriksel eşdeğeri

GMR sensörü, ITS uygulamalarında araç algılamada amacıyla sensör düğümleri için kullanmak oldukça iyi bir seçimdir. Şekil 2.10'da 3-eksenli GMR sensörler kullanılarak oluşturulan manyetik sensör devresinin blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.10. 3-eksenli manyetik sensör blok diyagramı

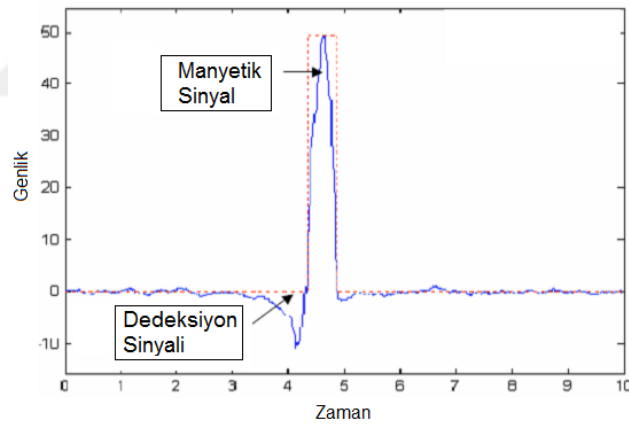
Aracın yapısına bağlı olarak sensör çıkışlarında x, y, z yönlerine ait manyetik imza olarak ifade edilen sinyaller elde edilir. Bu sinyaller sayısallaştırılarak işlemci birimine aktarılır. Şekil 2.11.'de bir araca ait sinyaller görülmektedir.



Şekil 2.11. Bir araca ait örnek manyetik imza

2.3.3.2. Manyetik Sensörle Araç Algılama ve İzleme

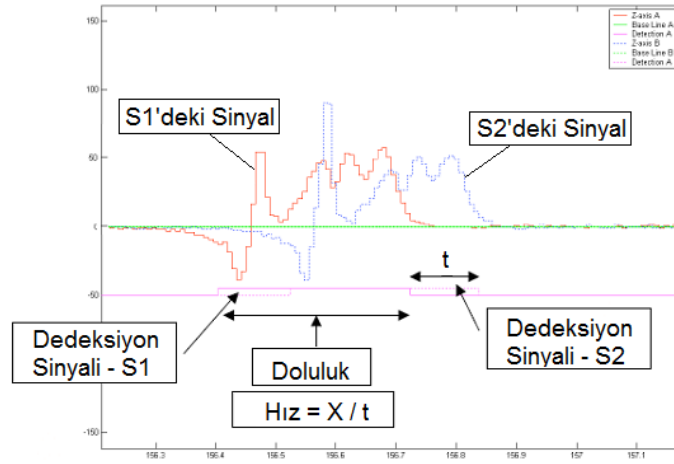
Sensör üzerinden geçen aracın oluşturduğu sinyalin seviyesi, dedeksiyon eşik değerini aştığında araç algılanmış olur. Şekil 2.12’de gösterilen örnekte olduğu gibi bu sinyaller kullanılarak geçen araçların varlığı ve sayısı tespit edilir.



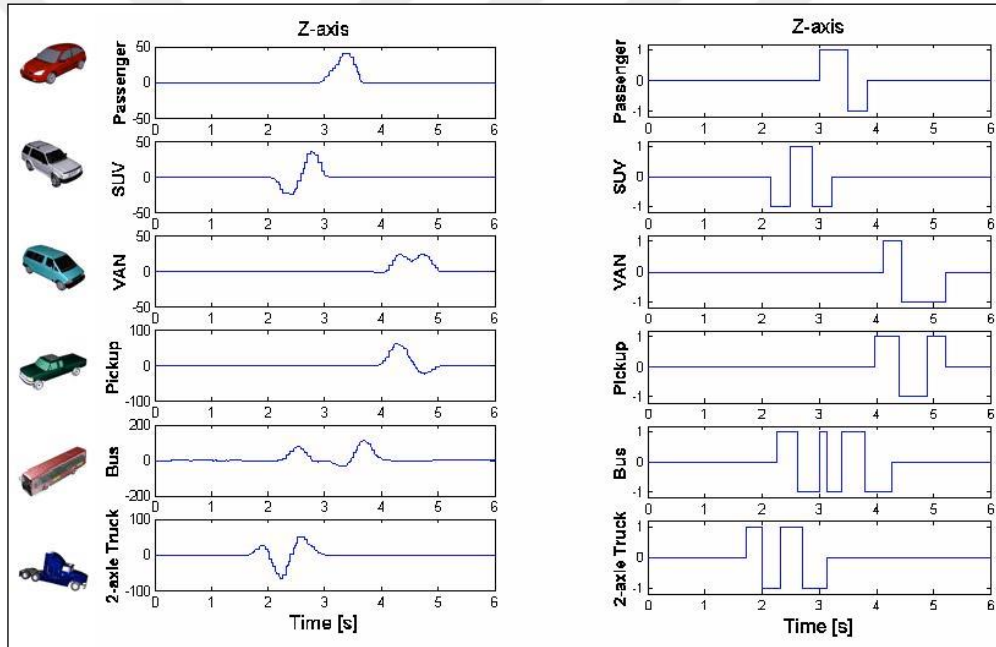
Şekil 2.12. Bir aracın manyetik sensör tarafından algılanması

Manyetik sensör çifti kullanılarak araçların hızı ve doluluk oranı izlenebilir. Şekil 2.13’de gösterildiği gibi öncelikle araçların algılandığı zaman aralığı ölçülür. Elde edilen veriler kullanılarak araçların hızı ve doluluk oranı hesaplanır.

Şekil 2.14’de görüldüğü üzere manyetik sensör çıkışında elde edilen sinyaller her araç için aynı değildir. Geçen aracın uzunluğuna, genişliğine ve çeşitli özelliklerine göre manyetik imzaları farklı olacaktır. z-ekseni yönündeki manyetik imzalar karşılaştırılarak sınıflandırma işlemi yapılır.



Şekil 2.13. Manyetik sensörlerle hız ve doluluk oranı ölçümü



Şekil 2.14. Çeşitli araçlara ait manyetik imzalar

2.4. Kablosuz Sensör Ağlarında Kablosuz İletişim Protokolleri

Günümüzde çok sayıda kablosuz iletişim standardı arasında ZigBee ve Bluetooth, KSA'lar için kullanılacak uygun teknolojilerdir. Her ikisi de dünya çapında uyumlu, 2,4 GHz frekansında lisans gerektirmeyen ISM (Endüstriyel-Bilimsel-Tıbbi) bant içinde çalışırlar. Genel olarak, frekans arttıkça yüksek veri hızları için bant genişliği de artar ancak bu güç harcamasını artırmaktadır. İletişim mesafeleri ise oldukça kısadır. Geleneksel noktadan noktaya iletişime göre daha az güç tüketen ISM

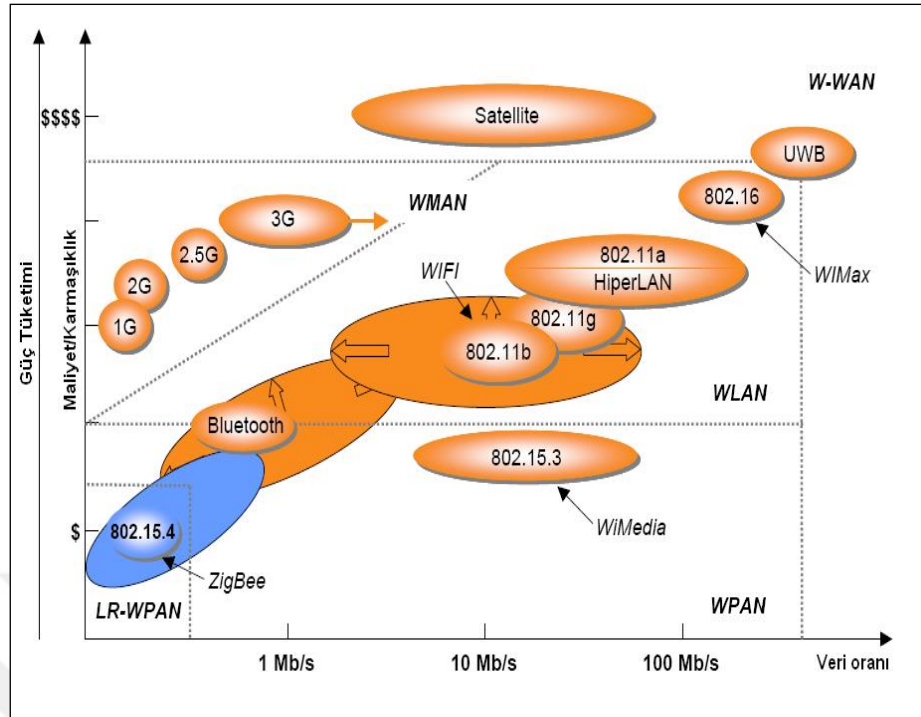
bandı üzerinde çoklu (multi-hop) iletişim teknolojileri, daha özellikli KSA'ları mümkün kılmaktadır.

Zigbee teknolojisi, Bluetooth ve Wi-fi'den farklı olarak çok sayıdaki cihaz arasında iletişim kurarken ağ üzerinde daha az güç tüketerek ve maliyeti azaltacak şekilde çalışır ve daha düşük band genişliği gereksinimi ile iletişim sağlamaktadır.

Bluetooth (IEEE 802.15.1), mobil cihazlar için kablo yerine kablosuz kişisel alan ağlarında (PAN) kısa menzilli iletişim için bir kablosuz protokol olarak geliştirilmiştir. Bu protokol 868 ve 915 MHz ve 2,4 GHz radyo bantlarını kullanır ve en fazla yedi cihaz arasında 1 Mbps hızında iletişim kurulabilir. Bluetooth esas olarak öz örgütlenme işlevselliğini en üst düzeye çıkarmak için tasarlanmıştır. Genel kullanım işlevlerine örnek olarak PDA (kişisel dijital asistan) ile bir bilgisayar arasında verileri senkronize etme, kablosuz ağ erişimi ve internet bağlantısı kurma işlevleri verilebilir. Farklı zaman aralıklarında farklı frekanslarda üzerinden veri gönderir frekans atlamalı yayılma spektrumlu (FHSS) iletişimi kullanır. Bluetooth master-slave tabanlı MAC (Ortam Erişim Kontrolü) protokolünü kullanır.

Wi-Fi (IEEE 802.11) kullanarak da KSA oluşturmak mümkündür. Fakat bu protokol genellikle PC tabanlı sistemlerde kablolu ağın yerine ve ağı genişletmek amacıyla kullanılmaktadır. Wi-fi'in güç tüketiminin oldukça yüksek olması nedeniyle güç kaynağı ömrünün kısa olması önemli bir dezavantajdır.

Zigbee, kişisel ağa dahil olan cihazlar arasında veri iletimi için kullanılması, sensör ağları ile ölçüm, izleme ve tespit gibi uygulamaların kontrolünde sıkça kullanılır. Ancak WiFi ve Bluetooth teknolojilerinde olduğu gibi büyük boyutlu veri iletimi için uygun değildir. Şekil 2.15'de Zigbee'nin diğer teknolojiler içindeki konumu görülmektedir.



Şekil 2.15. Kablosuz iletişim teknolojileri içerisinde Zigbee'nin yeri

Çizelge 2.1.'de, Zigbee teknolojisinin kişisel alan ağ teknolojileri ve diğer bazı kablosuz teknolojiler ile karşılaştırılması olarak gösterimi verilmiştir.

Çizelge 2.1. Zigbee teknolojisi ile diğer kablosuz teknolojilerin karşılaştırılması

Teknoloji Adı	ZigBee	Bluetooth	Wi-Fi	GPRS/GSM
Özellikler	802.15.4	802.15.1	802.11/a-n	--
Kullanım Alanı	İzleme ve Kontrol	Kablo yerine	İnternet Erişimi	Ses ve data iletimi
Sistem Özelliği	4-32 Kb	250 Kb+	1 Mb+	16 Mb+
Pil Ömrü (gün)	100-1000+	1-7	0.5 - 5	1-7
Ağıdaki Düğüm Sayısı	~ 65000 (2 16)	7	32	16 milyon
Max. İletim Hızı (kb/sn)	20 - 250	720	10000+	350 - 760+
Kapsama Alanı (metre)	10 - 100+	1-10+	100+	1000+
Başarı Alanları	Güç tüketimi, maliyet	Maliyet, rahatlık	Hız, esneklik	Ulaşılabilirlik, kalite

Günümüzde Bluetooth teknolojisi kullanılarak kablosuz sensör geliştirilmiş olsa da Bluetooth teknolojisindeki bazı kısıtlamalar sebebiyle geniş çevrelerce kabul görmemiştir. Bunun belli başlı sebeplerini şöyle sıralayabiliriz;

- Ağa bağlanabilecek düğüm sayısının az sayıda olması.
- Kısa iletim mesafesi ve güç tüketiminin yüksek olması
- Düğümlerin uyku modundan çıkması ve yeniden ağ sistemine bağlanmasının uzun sürmesi ve bu durumda ortalama güç tüketiminin artması.

2.5. Zigbee/ IEEE 802.15.4 Teknolojisi

Zigbee benzeri ağlar üzerinde çalışmalar 1990'lı yıllarda başlamıştır. Zigbee teknolojisinin geliştirilmesine yönelik olarak 2002 yılında Zigbee Alliance kurulmuştur. Zigbee Alliance, Zigbee teknolojisi standartlarını belirleyen dünya genelinde bir yapı olarak Philips, Mitsubishi Electric, Honeywell, Motorola, Sharp, Ivensys gibi 25 kadar firmanın biraraya gelmesiyle oluşmuştur. 2003 yılı mayıs ayında IEEE tarafından 802.15.4 standardının tamamlanmasıyla Zigbee 1.0'ın kurulumu gerçekleşmiştir. 14 Aralık 2004 tarihinde ZigBee özellikleri onaylanmıştır. Zigbee ilk olarak, Haziran 2005 tarihinde kullanılmaya başlamıştır. Zigbee, yeni teknolojik özellikleriyle 30 Eylül 2007'de kullanıma sunulmuştur. 2 Kasım 2007'de ilk kez ZigBee ev otomasyonu piyasaya sürülmüştür.

Zigbee, Kablosuz iletişim teknolojileri arasında IEEE tarafından 802.15.4 adıyla standartlaştırılmış bir protokoldür. Kablosuz, düşük hızlı, kişisel yerel ağ (LR-WPAN, Low Rate Wireless Personal Area Network) haberleşmesi olarak bilinen Zigbee protokolü, birbirinden çok farklı cihazların senkron çalışabilecek şekilde bağlantı kurmasını sağlamaktadır. Küçük boyutlu veri alışverişi ile çalışan uygulamalarda, farklı RF uygulamalarının kullanılmasına olanak sağlaması, kolay kullanımı, çok düşük güç tüketme prensibi ve düşük kurulum maliyeti ile ön plana çıkmaktadır. Zigbee teknolojisi ile karmaşık yapıya sahip ağlar kurmak ve genişletmek ve mümkündür.

Zigbee'nin diğer iletişim standartlarına göre ayırt edici özellikleri şunlardır:

- Çoklu gözetleme ve uygulama denetimi sağlayan ağ topolojisini destekler.
- Düşük maliyetli ve pratik ağ kurulumuna sahiptir.
- Veri iletim hızı 20 - 250 Kbps arasındadır. (Çizelge 3.2.)

- Düşük güç tüketimi sayesinde standart bir pil ile birkaç yıl süren pil ömrü vardır.
- Yüksek güvenilirlikli haberleşme sağlar.

Çizelge 2.2 Zigbee - IEEE 802.15.4 frekans değerleri ile veri iletim hızları

FREKANS	BÖLGE	KANAL	VERİ HIZI
868 MHz	Avrupa	1	20 kbps
915 MHz	Amerika	10	40 kbps
2.4 GHz	Dünyada	16	250 kbps

2.5.1. Zigbee'nin Kullanım Alanları

Güvenilirliği, düşük maliyetli olması, uzun pil ömrü ve enerji tasarrufu gibi özellikleri nedeniyle Zigbee, birçok sektörde haberleşme, kontrol ve izleme sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.



Şekil 2.16. ZigBee Kullanım Alanları

Yukarıda Şekil 2.16'da belirtildiği üzere Zigbee teknolojisinin başlıca kullanım alanları:

- Bina ve Ev Otomasyonu: HVAC (Isınma, Havalandırma ve Klima Sistemlerinde), aydınlatma kontrolü, güvenlik kontrollerinde, ev otomasyonunda müzik ve sinema sistemlerinin kontrolünde, bina giriş – çıkış kontrollerinde kullanılmaktadır.
- Trafik Sistemleri: Araçların algılama, izleme ve kontrol sistemlerinde kullanılır.

- Otomotiv Sektörü: Araçlarda, hareketli parçaların kontrolünde özellikle de kablolu yapılamayan kısımlarda örneğin, lastiklerin hava basıncını izlemede kullanılır.
- Güvenlik Sistemleri: Güvenlik, gaz, yangın, su algılama sistemlerinde, alarm ve güvenlik kontrol noktalarında kullanılır.
- Sağlık Sektörü: Hasta takibinde, tansiyon, nabız ve diğer sağlık bilgilerinin izlenmesinde kullanılır.
- Tarım ve Hayvancılık: Topraktaki nem, ısı, kimyasal durumu vb. gibi verilerin izlenmesinde ve ürün yetiştirme optimizasyonu sağlar. Besi hayvanlarının vb. uzaktan izlenmesinde kullanılır.
- Endüstriyel alanda: Proses kontrolü, enerji-aydınlatma yönetimi, endüstriyel cihazların kontrolünde kullanılır.

2.5.2. Zigbee Mimarisi

Yapısal olarak üç katmandan oluşan ZigBee mimarisi diğer ağ sistemleriyle benzerlik göstermektedir. Şekil 2.17’de Zigbee protokolü ile IEEE 802.15.4 standardı arasındaki bağlantı gösterilmektedir. Bu standart, ZigBee’nin en alttaki fiziksel katmanını oluşturur. Bu katman da kendi içinde MAC (Medium Access Control) ve PHY (Physical) katmanlarından oluşmaktadır. ZigBee ise daha üstteki ağ ve uygulama katmanlarını tanımlamaktadır. ZigBee sistemlerde kullanılacak aygıt tanımlarını içeren standart olarak sunulan profiller ise ZigBee Alliance tarafından tanımlanmaktadır. Bu yapıda bulunan en üst katman ise kullanıcı uygulamaları için ayrılmıştır.

Zigbee mimarisindeki bu katmanların görevleri şunlardır:

PHY Katman: Radyo frekans haberleşmesini yapar.

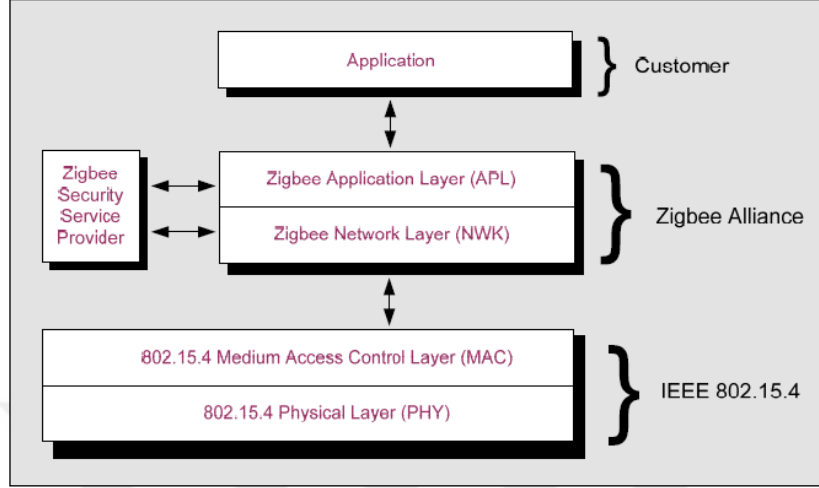
MAC Katmanı: İki düğüm arasındaki güvenilir haberleşmeyi sağlar.

Ağ Katmanı: Kompleks ağ topolojilerinde haberleşme düzenini oluşturur.

Uygulama Katmanı: Ağ yönetim fonksiyonlarını, mesaj formatlarını, güvenlik uygulamalarını belirler.

Zigbee, IEEE 802.15.4 standardı üzerine ağ topolojisi kurma, güvenlik ve uygulama özelliklerini eklemektedir. Zigbee ve IEEE 802.15.4 standardının amacı düşük

enerji tüketimi, düşük maliyet, geniş mantıksal topolojileri sağlamak ve uygulamaya yönelik olarak esnek protokolleri oluşturmaktır.



Şekil 2.17. Zigbee protokolü ile IEEE 802.15.4 standardı arasındaki bağlantı diyagramı

2.5.3. Zigbee’de Düşük Güç Tüketimi

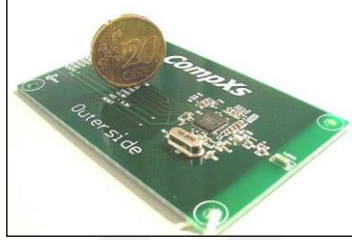
Zigbee teknolojisinde düşük güç tüketimini sağlayan temel etkenler şunlardır:

- Düşük boyutlarda veri aktarımının olması.
- Veri alışverişi yapmadığı zamanlarda yönlendirici ve koordinatör dışındaki aygıtların uyku modu (sleep mode) durumunda kalmaları.
- Zigbee’de diğer teknolojilere göre daha küçük cihazların kullanılması.
- Kısa süreli görev çevrimi (Low duty cycle); veri alma ve veri gönderme sürelerinin çok kısa olması ve bu iki süreç arasındaki zaman aralığının uzun tutularak cihazın aktif çalışma zamanı kısılması ve böylece daha az güç tüketilmesi.
- O-QPSK ve BPSK modülasyon türlerinin düşük güç tüketmeleri.

2.5.4. Zigbee’de Aygıt Tipleri

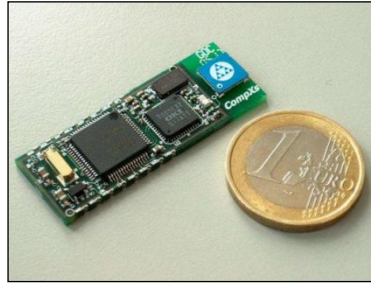
Zigbee ağ yapısında, İndirgenmiş Fonksiyonlu Aygıt ve Tam Fonksiyonlu Aygıt olmak üzere iki tip aygıt tanımlanmıştır:

- **İndirgenmiş Fonksiyonlu Aygıt (Reduced Function Devices – RFD):** Sistem maliyetini düşürmek için özellikleri kısıtlanmış hafıza, işlem ve güç kapasitesi bakımından sınırlandırılmış düğümlerdir. Ağda sadece uç aygıt olarak görev yapabilirler. Bu aygıtlar yönlendirici (router) veya koordinatör (coordinator) olamazlar. Sadece bir ağ yönlendirici veya koordinatörü ile iletişim kurabilirler ve yalnızca yıldız topolojisinde çalışabilirler.



Şekil 2.18. Zigbee indirgenmiş fonksiyonlu aygıt örneği

- **Tam Fonksiyonlu Aygıtlar (Full Function Devices - FFD):** Ağ yapısında daha fazla işlem ve güç kapasitesi gerektiren karmaşık işleri yapabilen aygıtlardır. Bunlar, koordinatör (coordinator), yönlendirici (router) ve uç aygıt (end device) yeteneğine sahiptir. Ağdaki tüm aygıtlarla iletişim kurabilen ve herhangi bir topolojide çalışabilen aygıtlardır. Örnek bir aygıt Şekil 2.19’da görülmektedir.



Şekil 2.19. Zigbee tam fonksiyonlu aygıt örneği

2.5.5. Zigbee Ağ Bileşenleri

Zigbee ağ yapısında kullanılan, yukarıdaki aygıt özelliklerini içeren ağ bileşenleri şunlardır:

- **Zigbee Ağ Geçidi (Zigbee Gateway) :** Farklı ağlar arasında bağlantı kurulmasını, geçiş yapılmasını sağlar. Bu geçiş Zigbee ağları veya bir Zigbee ağı

ile normal internet ağı arasında olabilir. Bu da Zigbee protokolü sayesinde kontrol ve izleme amaçlı edinilen bilgilerin internet aracılığıyla uzak yerlerden de gözlemlenebileceğini göstermektedir.

- **Zigbee Koordinatörü (Zigbee Coordinator):** PAN koordinatörü olarak da bilinir. Her Zigbee ağında yalnız bir tane bulunur. Görevleri; ağı başlatmak, ağdaki diğer aygıtlara ağ adını (PAN ID) atamak, ağ operasyonunu yürütmektir.
- **Zigbee Yönlendiricisi (Zigbee Router):** Ağdaki düğümler arasında yönlendirme yapmakla görevlidir ve kullanılan ağın kapsama alanını artırır.
- **Zigbee Son Aygıt (Zigbee End Device):** Ağ içerisindeki en zayıf elmandır. Görevi elde ettiği mesajı bir sonraki düğüme, yönlendirici ya da koordinatöre iletmektir. Diğer aygıtlara göre daha az enerji tüketirler.

2.5.6. Zigbee'de Ağ Topolojileri

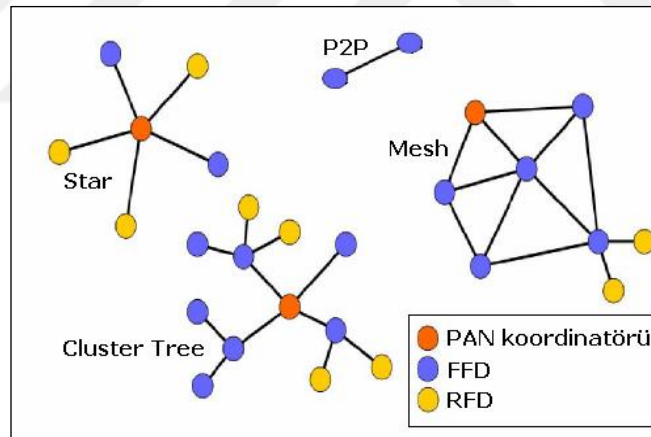
Kablosuz iletişimde pekçok ağ iletişim metodu mevcuttur. Kablosuz sensör ağlarının yapısında genellikle eşler arası, karmaşık, yıldız ve ağaç tipi ağ mimarileri kullanılmaktadır. Şekil 2.20'de gösterildiği gibi Zigbee teknolojisi de bu dört temel topolojiyi kullanır:

Eşler Arası Ağ Topolojisi (Peer-to-Peer) : Eş düzeydeki iki düğüm arasında geçerli olan bir haberleşme mimarisidir. İki düğüm arasında her iki yönde de mesaj alışverişi mümkündür.

Karmaşık Ağ Topolojisi (Mesh) : Bu ağ bağlantı türünde herhangi bir düğümün kapsama alanı içinde bulunan bir düğümün diğer bir düğüm ile iletişim kurabilmesine izin vermektedir. Geniş alan kablosuz sensör ağlarında oldukça tercih edilen bir yöntemdir. Eğer bir kablosuz sensör kapsama alanı dışında kalan diğer bir sensör ile bağlantı kurmak istiyorsa diğer sensör düğümlerini köprü olarak kullanır ve radyo dalgalarının kapsama alanı dışında kalan sensör düğümü ile iletişim kurar. Bu yöntem ile oldukça geniş mesafelerde düşük güç harcayarak iletişim kurmak mümkün olmaktadır. Bu ağ yöntemi ile sisteme kolaylıkla bir düğüm eklenebilir Olumsuz yönü ise düğüm noktalarının kendi verilerini gönderip almasının yanında birbirleriyle iletişim kurmaya çalışan diğer düğümler arasında da veri iletişimi yaptıkları için güç tüketimi yıldız ağ bağlantı tipine göre fazladır.

Yıldız Ağ Topolojisi (Star) : Bir merkez istasyonundan birçok düğüm kontrol noktasına mesaj göndermek veya mesaj almak biçiminde işleyen ağ bağlantı türüdür. Bu ağ bağlantı türünde, düğüm noktaları sadece merkez istasyon ile arasında veri aktarımı yapabilir. Her düğüm kendi arasında veri aktarımı yapamaz. Bu bağlantı türünün kablosuz sensör ağları için avantajı; düğümlerin güç tüketimlerini basit bir şekilde kontrol altında tutabilmesidir.

Ağaç Topolojisi (Cluster Tree) : Yıldız ağı ile Mesh ağının yapısını birlikte kullanarak kapsama alanının maksimum enerji tüketiminin de minimum seviyede tutulmasını amaçlayan kablosuz ağ bağlantı yöntemidir. Bu ağ topolojisinde düşük güçlü düğümlerin kendi veri aktarımı dışında diğer düğümlerin kendi üzerinden bağlantı kurmasına izin verilmez. Doğrudan yüksek güçlü diğer bir düğüm üzerinden erişmek istedikleri düğüm ile bağlantı kurarlar. Bu yöntem ile geniş bir alanda kurulan kablosuz sensör ağında kullanılan düğümlerin büyük oranda düşük güç tüketmesi sağlanır. Bu ağ topolojisi Zigbee topolojisi olarak da bilinmektedir.



Şekil 2.20. Zigbee'nin desteklediği ağ protokolleri

2.6. Mikroşerit Antenler

Mikroşerit antenler ilk olarak Deschamps tarafından 1953 yılında önerilmiştir, O zamandan sonra aradan yirmi yıla yakın bir süre geçtikten sonra ilk pratik mikroşerit anteni 1970 senesinde Munson ve Howell tarafından üretilmiştir. İlk olarak Howell mikroşerit anten tasarımını tanıtırken, Munson düşük profilli mikroşerit antenini roketlere ve füzelere monte edilmesi üzerine çalışıyordu. Ekim 1979'da, ilk uluslararası

toplantı mikroşerit antenlerin malzemesi, pratik tasarımları, düzen konfigürasyonları ve teorik modelleri hakkında New Mexico State Üniversitesinde ABD Askeri Araştırma Ofisi ve New Mexico State University's Physical Science Laboratory desteğiyle düzenlenmiştir. 1980 yılları sadece önemli araştırma yayımlarıyla olmamakla birlikte aynı zamanda pratikte mikroşerit antenlerin gerçekleştirilmesinin ve fabrikasyonunun da yapıtaşı yılları olmuştur.

Mikroşerit antenler son yıllarda uzay araçlarında, uçaklarda, radarlarda, uydu haberleşmesinde, güdümlü mermi gibi birçok askeri alanda, adaptif anten dizierinde, biomedikal uygulamalarda geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Yaklaşık olarak 100 MHz'den 60 GHz'e kadar geniş bir frekans aralığında kullanılan mikroşerit antenlerin bilinen mikrodalga antenlerine göre bazı üstünlükleri aşağıdaki biçimde sıralanabilir.

- Hafif ve küçük hacimli olması.
- Üretim maliyetinin düşük olması.
- Mikrodalga Entegre Devre (MMIC) tekniğine uygun olması sebebiyle yükselteçler, osilatörler, karıştırıcılar, modülatörler vb. yapılar eklenerek mikroşerit antenlerle birleşik sistemler geliştirilebilmesi.
- Düzlemsel ve çok ince yapılabilmesi nedeniyle kullanışlı yapıda olması.
- Besleme konumundaki değişikliklerle doğrusal ve dairesel kutuplanmış ışımaya yapabilmeleri.

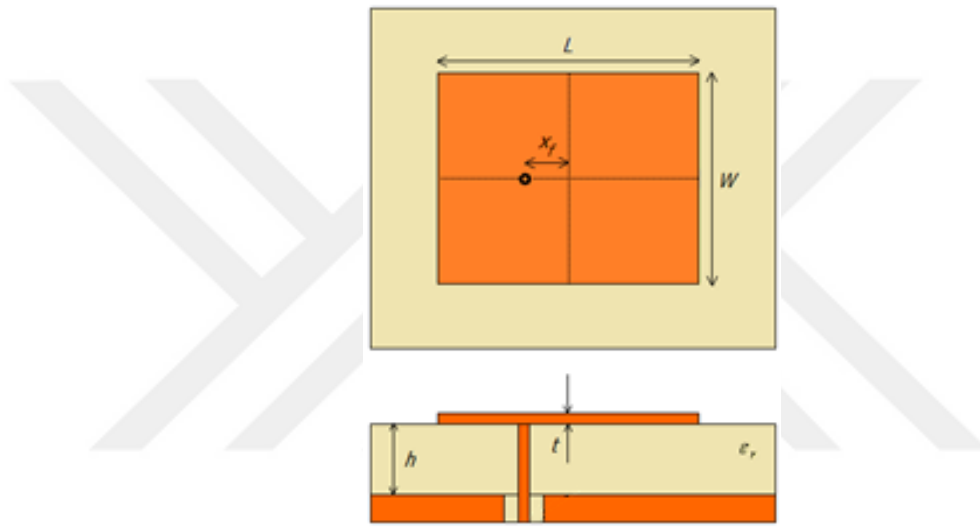
Mikroşerit antenlerin bazı dezavantajları da şöyle sıralanabilir:

- Band genişliğinin dar olması.
- Düşük güç kapasitesine sahip olmaları.
- Çeşitli kayıplar sonucu düşük kazançlı olmaları.
- Mikroşerit antenlerin çoğunun yarı düzlem içinde ışımaları.
- Yüzey dalgalarının uyarımının mümkün olması.
- 20 dB olan en üst kazancın elde edilmesinde pratik güçlükler olması.
- Besleyici ve ışımaya elemanı arasındaki zayıf yalıtım.

2.6.1. Mikroşerit Antenlerin Yapısı

Bir mikroşerit anten temel yapısı, Şekil 2.21'de görüldüğü gibi bir toprak düzlemi üzerinde aynı taban alanına ve h kalınlığına sahip bir yalıtkan (dielektrik)

gövde ve onun üzerinde bulunan t kalınlığında ince metal şerit yamadan (patch) meydana gelir. Mikroşerit antenlerin tasarımı için kullanılabilir çok sayıda malzeme vardır ve dielektrik sabitleri $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ aralığındadır. Mikroşerit antenin performansının yüksek olabilmesi için yalıtkan gövdeye ilişkin dielektrik sabiti $\epsilon_r, 10$ 'dan küçük olmalıdır ve yalıtkanın kalınlığı $0.03\lambda_0 \leq h \leq 0.05\lambda_0$ (λ_0 elektromanyetik dalganın boşluktaki dalgaboyu olmak üzere) aralığında olması istenir. Yüksek verimlilik ve daha büyük bant genişliği sağladığından dolayı nispeten kalın dielektrik malzemeler tercih edilir. Dikdörtgen bir yama için elemanın uzunluğu L , genellikle $\lambda_0/3 < L < \lambda_0/2$ seçilir.



Şekil 2.21. Dikdörtgen mikroşerit yama anten

Mikroşerit yama ideal iletken olup bakır veya altından yapılmıştır. Kare, dikdörtgen, dipol ve dairesel biçimli mikroşerit antenler, analiz ve imalat kolaylığı ile ışımaya karakteristikleri nedeniyle en çok tercih edilen anten biçimleridir. İyi anten performansını yakalayabilmek için, genellikle düşük dielektrik sabitine sahip olan kalın dielektrik zemin tercih edilir çünkü bu daha yüksek verimlilik getirmekle birlikte, daha geniş bant genişliği ve daha uygun bir ışımaya deseni sağlamaktadır.

2.6.2. Mikroşerit Anten Tasarımı İçin Performans Parametreleri

2.6.2.1. Yansıma Katsayısı ve Karakteristik Empedans

Yüksek frekans uygulamaları için yapılan tasarımlarda mikrodalga iletim hatlarında yansıma, önemli bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır.

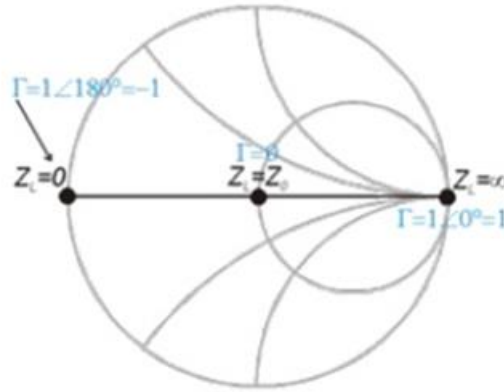
İletim hatlarının yapısına has bir karakteristik empedansı vardır. Bu empedans genellikle 50Ω olarak alınmaktadır. Hat bir Z_L yüküyle sona erdirilmek istenirse, hattın girişinden görünen empedansı artık eski değerinde olmayıp, yansıma olayı meydana gelebilmektedir. Bu durumun modellenebilmesi için bir yansıma katsayısı (Γ) tanımlanmıştır ve giden dalga gerilimiyle (V_0^-) dönen dalga gerilimlerinin (V_0^+) birbirine oranına eşittir;

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.1)$$

Yansıma katsayısı kompleks bir büyüklüktür ve frekansa bağlıdır. Yansıma katsayısının sanal kısmı sıfır iken;

- $\Gamma = 0$ ise yansıyan dalga yoktur ve iletim hattı idealdir.
- $\Gamma = 1$ ise iletim hattı açık devredir
- $\Gamma = -1$ ise iletim hattı kısa devredir.

Uygulamada yansıma katsayısının mutlak değeri alınır. Γ , 0 ile 1 arasında bir değere sahiptir. Yansıma katsayısının grafiksel gösterimi Şekil 2.22’de Smith abağında verilmiştir.



Şekil 2.22. Smith abağı

2.6.2.2. Duran Dalga Oranı (VSWR)

Sistemin uyumluluğunu gösteren bir başka parametre duran dalga oranıdır (VSWR). Bir iletim hattında giden sinyal ile yansıyan sinyalin genliklerinin, maksimum ve minimum noktalarının üst üste geldiği zaman aralıklarında bir duran dalga oluşur. Oluşan bu duran dalganın, maksimum ve minimum genlik seviyelerinin birbirlerine

oranlanması ile VSWR bulunur. VSWR, antenler için her zaman gerçek ve pozitif sayıdır. VSWR'nin küçük olması anten ile iletim hattı daha uyumlu olduğunu ve daha fazla gücün antene iletiildiğini gösterir. Yansıma katsayısı “0” olduğunda, VSWR en az “1” değerini alabilir. Bu durum, antenin ideal olduğunu ve yansıyan sinyalin olmadığını belirtir. Pratikte ise VSWR'nin 2'den küçük olması istenmektedir.

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.2)$$

Çizelge 2.3.'de yansıma katsayısı, yansıyan güç ve VSWR değişimleri ile ilgili çeşitli sayısal değerler gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. VSWR, yansıma katsayısı ile yansıyan güç ilişkisi.

VSWR	$ \Gamma $	Yansıyan Güç (%)	Yansıyan Güç (dB)
1.0	0.000	0.00	-
1.5	0.200	4.0	-14.0
2.0	0.333	11.1	-9.55
2.5	0.429	18.4	-7.36
3.0	0.500	25.0	-6.00
3.5	0.556	30.9	-5.10
4.0	0.600	36.0	-4.44
5.0	0.667	44.0	-3.52
6.0	0.714	51.0	-2.92
7.0	0.750	56.3	-2.50
8.0	0.778	60.5	-2.18
9.0	0.800	64.0	-1.94
10.0	0.818	66.9	-1.74
15.0	0.875	76.6	-1.16
20.0	0.905	81.9	-0.87
50.0	0.961	92.3	-0.35

2.6.2.3. Geri Dönüş Kaybı (Return Loss, RL)

Geri dönüş kaybı, empedans uyumunun ne kadar başarılı bir biçimde ortaya konduğuna dair karakteristik bir değerdir. Verici devre ile anten empedans değerleri uyuşmadığı zaman duran dalgalardan kaynaklanan kayıplar fazla olmaktadır. Geri

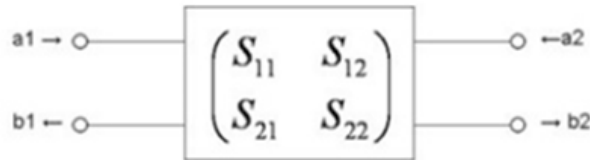
dönüş kaybı, yüke aktarılan, yansıma olarak gelmeyen güç miktarını göstermektedir ve dB cinsinden şu şekilde formüle edilebilmektedir;

$$RL_{dB} = -20\log|\Gamma| \quad (2.3)$$

Anten ve verici arasındaki empedans uyumunun mükemmel olabilmesi için $\Gamma = 0$ ve $RL = -\infty$ olmalıdır ki bu durumlarda yansıtılan gücün geri yansıma yapmadığı sonucuna varılmaktadır. Pratikte bu sonuçlara asla ulaşılamamaktadır. Antenin kullanım yerine ve istenen özelliklerine göre yansıma katsayısı ve dolayısıyla geri dönüş kaybı kabul edilebilir değerlere çekilmelidir. Geri dönüş kaybı ayrıca S-parametrelerinden S_{11} olarak da ifade edilmektedir.

2.6.2.4. S-parametreleri

Saçılma parametreleri olarak isimlendirilen S-parametreleri, bir düzlemsel elektromanyetik dalganın bir engelle karşılaştığında veya farklı dielektrik ortamlar arasında geçiş yaptığında görülen etkiyi tanımlar. S-parametreleri bir iletim hattında ilerlemekte olan RF dalgaların bir devreyle kesintiye uğraması sonucu karşılaştıkları süresizlikten etkilenmesi ile ifade edilir. Bu durum dalganın, hattın karakteristik empedansından farklı büyüklükte bir empedansla karşılaşmasına eşdeğerdir.



Şekil 3.37. 2-kapılı bir sistem için S-parametreleri matrisi

Her 2-kapılı sistem için S-parametreleri şunları ifade eder:

S_{11} : giriş kapısı gerilim yansıma katsayısı

S_{12} : geri yönde gerilim kazancı

S_{21} : ileri yönde gerilim kazancı

S_{22} : çıkış kapısı gerilim yansıma katsayısı

S-parametreleri bütün frekanslarda geçerli olsa da, daha çok sinyal güç ve enerjisinin, akım ve gerilimlerden daha kolay hesaplandığı, radyo frekansı (RF) ve mikrodalga frekanslarında çalışan devrelerde kullanılır. S-parametreleri frekansa bağlı

değerlerdir. Bu sebeple verilen herhangi bir S-parametresi değeri için, karakteristik empedans ve sistem empedansının yanında, parametrenin ölçüldüğü frekans değeri de belirtilmelidir. Bir RF sistem için S-parametreleri hesaplanabilir ya da bir network analizör ile ölçülebilir.

2.6.2.5. Yönlendirilebilirlik, Kazanç ve Işıma verimi

Antende yönlendirilebilirlik (D), ana lobdaki enerji yoğunluğuyla açıklanabilmektedir. Yani gücün ne kadarını ana loba aktarabilmiş iseniz anten o derece iyi yönlendirilmiş demektir ki bu ise izotropik antende verilen bir doğrultudaki ışımaya yoğunluğu oranına eşittir. Dikdörtgen yama için şu şekilde verilmektedir;

$$D = \frac{4(k_0 W)^2}{\pi \eta_0 Y_{in}} \quad (2.4)$$

Son ifadedeki Y_{in} antenin transmisyon hattı modeli devresinin giriş admitansı olup k_0 boltzman sabiti ve $\eta_0 = 120\pi$ ile verilir. İzotropik antenlerle kıyaslandığında izotropik antenler yönlendirilebilir olmadığından dolayı yönlendirilebilirlik her zaman pozitif çıkar.

Kazanç (G), antende meydana gelen kayıpları belirlemede önemli bir faktördür. Antenin gücünü bir açısal uzay bölgesine yoğunlaştırabilme yeteneği olarak geçmektedir .

$$G = e_r D \quad (2.5)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada e_r ışımaya verimidir. Işıma verimi toplam ışımaya gücü, giriş gücü, iletim kaybı ve yapıyla doğrudan alakalı olan dielektrik ve yüzey dalga kayıpları oranının bir ölçüsüdür.

$$e_r = \frac{P_r}{P_r + P_c + P_d + P_{sur}} \quad (2.6)$$

şeklinde verilmektedir. Az kayıplı bir dielektrik madde için iletim kaybı P_c ve dielektrik kaybı P_d ihmal edilebilmektedir. Dikdörtgen şekilli yama tipi mikroşerit anten için ışımaya gücü, h tabaka kalınlığı, k_0 boltzman sabiti olmak üzere;

$$P_r = 40k_0^2(k_0h)^2 \left(1 - \frac{1}{\epsilon_r} + \frac{2}{5\epsilon_r^2}\right) \quad (2.7)$$

2.6.2.6. Band Genişliği

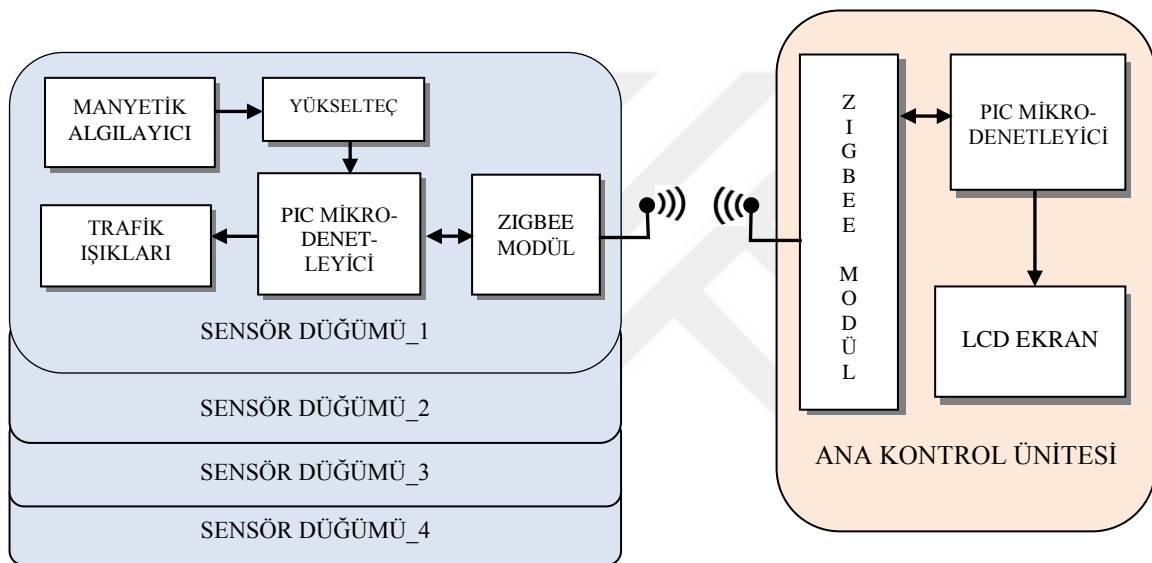
Antenin band genişliği, antenin belirli performans ve karakteristikleri sağladığı ulaşabildiği frekans aralığıdır. Bu tanıma ek olarak söylenmelidir ki band genişliği bir aralık olabilmesine karşın, giriş empedansı, ışıma karakteristiği, kazanç, lob genişliği gibi parametrelerin tayininde merkez frekans esas alınmaktadır. Empedans band genişliği ise, uygun empedans eşleşmesi olduğu frekans aralığı olarak tanımlanmaktadır. Mikroşerit antenlerin bandgenişlikleri, eşleşmenin kalitesine bağlı olarak genellikle % 1 - 5 arasındadır. Genel olarak mikroşerit antenin band genişliğini artırmak için birkaç yöntem tanımlanmıştır.

Dielektrik tabaka kalınlığı h 'yi artırmak düşük kalite faktörüne neden olmaktadır. Tabaka kalınlığı için üst sınır belirlenmiştir çünkü istenmeyen yüzey dalgaları uyartımı belirli bir değerden sonra üstel olarak artış göstermektedir fakat daha geniş bir band genişliğine yol açmaktadır. Düşük elektriksel geçirgenlikli madde kullanmak daha geniş bir band genişliğine yol açmaktadır. Bu ise anten boyutlarının büyümesine yol açmaktadır.

3. SİSTEM TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

3.1. Zigbee - Adaptif Trafik Kontrol Sisteminin Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi

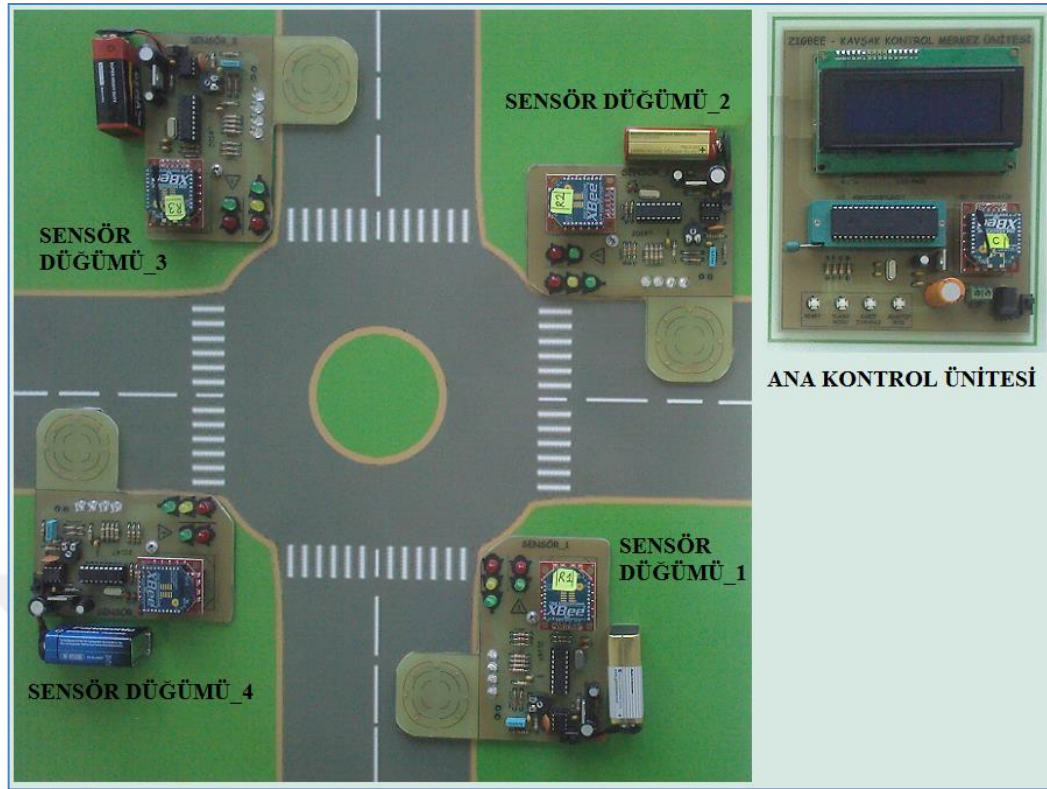
Bu çalışmada, Zigbee Tabanlı Adaptif Trafik Kontrol Sistemi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Adaptif Trafik Kontrol Sistemi, bir adet Ana Kontrol Ünitesi ile dört adet Sensör Dügümü'nden oluşmuştur. Ana Kontrol Ünitesi ile Sensör düğümleri arasında veri iletişimi kablosuz olarak sağlanmaktadır. Sistemin blok diyagramı Şekil.3.1.'de görülmektedir.



Şekil 3.1. Zigbee Tabanlı Adaptif Trafik Kontrol Sisteminin blok diyagramı

Sistem, gerçek zamanlı olarak toplanan trafik verilerini kullanarak sinyalizasyon bir kavşaktaki trafik ışıklarının yanma sürelerini araç yoğunluğuna göre dinamik olarak ayarlama prensibine göre tasarlanmıştır. Sensör düğümleri, manyetik algılayıcılar yardımıyla elde ettiği anlık trafik yoğunluğu bilgisini kablosuz olarak Ana Kontrol Ünitesine aktarırlar. Ana Kontrol Ünitesi bu verileri toplayarak kavşak kontrolü için gerekli olan en uygun trafik sinyalizasyon verilerini kablosuz olarak sensör düğümlerine iletir. Sensör düğümleri de gelen verilere göre trafik ışıklarını kumanda eder.

Tasarlanan kontrol sistemi için bir maket model oluşturularak sistem bileşenleri üzerine yerleştirilmiştir. Sistemin, maket üzerindeki yerleşimi Şekil 3.2.'de görülmektedir. Sistem bu model üzerinde ve açık alanda test edilmiştir.



Şekil 3.2. Zigbee Tabanlı Adaptif Trafik Kontrol Sisteminin maketi

3.1.1. Sistemin Donanım Tasarımı

Kontrol sisteminin donanım ve iletişim yapısını gösteren şema Şekil 3.3.'de verilmiştir. Şekilde Ana Kontrol Ünitesi ile bir adet Sensör Düğümü gösterilmiştir. Sistemde bulunan 4 adet Sensör Düğümü aynı donanım yapısına sahiptir.

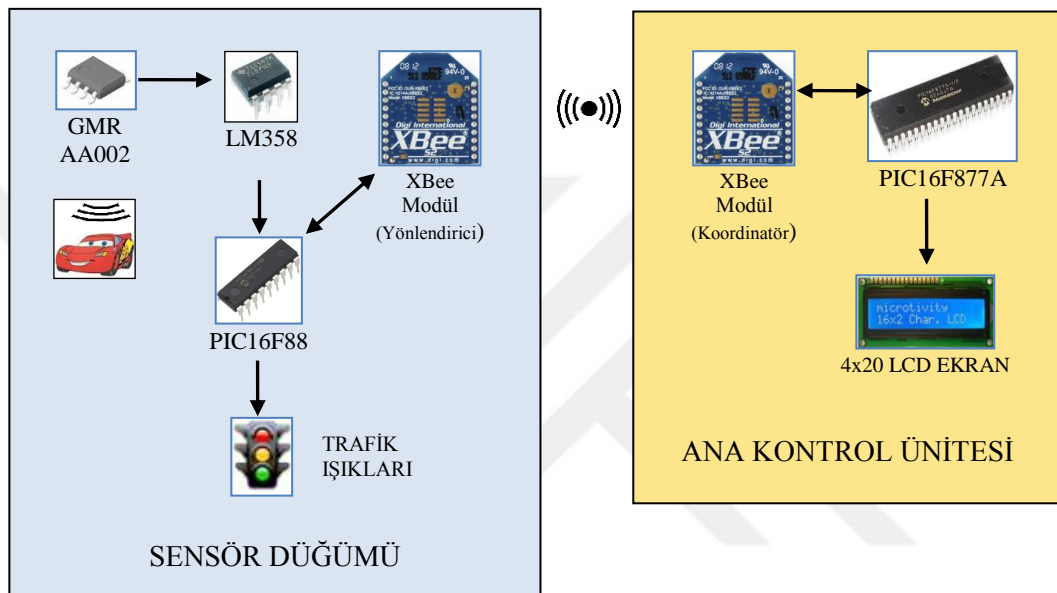
3.1.1.1. Ana Kontrol Ünitesinin Donanım Tasarımı

Tasarlanan Adaptif Trafik Kontrol Sistemi'nde, Ana Kontrol Ünitesi'nin işlevleri şunlardır:

- Sensör Düğümleri'nden XBee modül üzerinden kablosuz olarak gelen verileri toplamak.
- Flash modu, sabit zamanlı çalışma modu ve adaptif çalışma modlarından seçilen moda uygun trafik kontrol sinyallerini üretmek.
- Trafik kontrol sinyallerini XBee modül üzerinden kablosuz olarak Sensör Düğümlerine iletmek.

- Toplanan trafik verilerini, kablosuz bağlantı ile anlık durum bilgilerini LCD ekran üzerinde göstermektir.

Ana Kontrol Ünitesinin donanımı, yukarıdaki işlevleri gerçekleştirecek şekilde tasarlanmıştır. Sistemin bu ünitesinde, kontrol ve işlemci elemanı olarak 16F877A PIC mikro denetleyicisi, görüntüleme elemanı olarak 4x20 karakter LCD ekran ve kablosuz iletişim arabirimi olarak da Zigbee tabanlı XBee S2 modüller tercih edilmiştir.

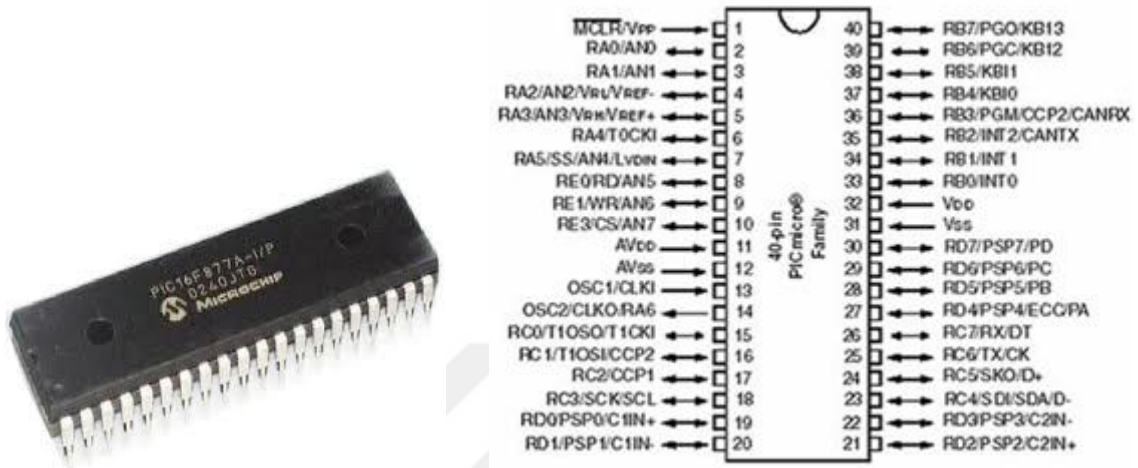


Şekil 3.3. Kontrol Sisteminin donanım yapısı ve bileşenleri

3.1.1.1.1. PIC16F877A Mikrodenetleyici

PIC, “Peripheral Interface Controller” yani “Çevre Üniteleri Kontrol edici Arabirim” anlamı taşıyan kelimelerin baş harflerinden oluşmuştur. Bir kontrol ve denetleme birimi içinde hafıza, giriş/çıkış ünitesi gibi elemanların CPU ile birlikte tek bir entegre içerisinde üretilmiş haline “mikrodenetleyici” denir. Böylece hem yer tasarrufu yapıp maliyet düşürülürken hem de tasarım kolaylaştırılmış ve programlama işlemi basitleştirilmiş olur. Mikrodenetleyiciler; Microchip, Intel, Motorola, SGS Thomson, Hitachi gibi birçokfirma tarafından üretilmektedir. Her üreticinin en az birkaç mikro denetleyicisi vardır. Örneğin microchip 12C508, 16C84, 16F84 ve 16F877 gibi farklı mikrodenetleyicilere sahiptir ve hemen hemen aynı komutlarla programlanırlar.

Ana Kontrol Ünitesi'nde, ücretsiz yazılım desteği, düşük maliyeti, seri haberleşme arayüzü (UART) özelliği ve hızlı olması nedeniyle Microchip tarafından üretilmiş olan PIC16F877A mikrodeneleyicisi kullanılmıştır. Şekil 3.4'de PIC16F877A mikrodeneleyici ve ayak bağlantıları görülmektedir.

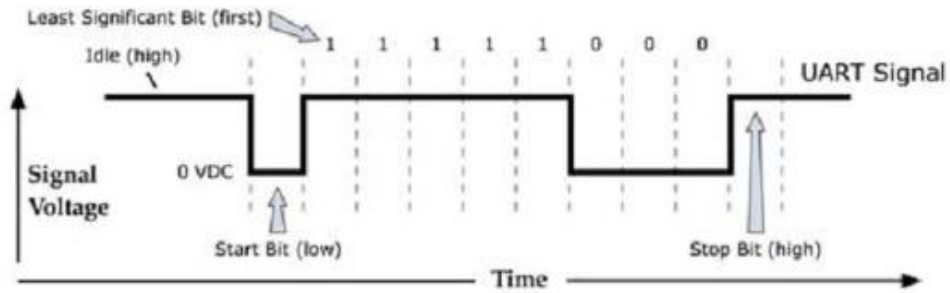


Şekil 3.4. PIC16F877A mikrodeneleyici, (a) Kılıf yapısı, (b) Ayak yapısı

PIC 16F877A mikrodeneleyicinin genel özellikleri şunlardır:

- 35 adet komut setine sahip yüksek hızlı RISC işlemciye sahiptir.
- İşlem hızı 20 Mhz'e kadar çıkabilir.
- Düşük voltajlı çalışma (3.65V – 5V)
- Düşük güç tüketimine sahiptir. (< 2 mA @ 5V, 4MHz)
- Uyku (SLEEP) modu enerji tasarrufu sağlar.
- Yüksek hızlı, düşük güçlü CMOSFLASH/EEPROM teknolojisi ile üretilmiştir.
- 9 bit adres saptamaya sahip UART protokolüne sahiptir. .
- Devre üzerinde seri programlama (ICSP),
- 8Kx14 word flash program belleği mevcuttur.
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) , üzerinde bulunan RC osilatör ile çalışan Watchdog Timer (WDT) bulunur.
- Timer0, Timer1, Timer2 zamanlayıcı/sayıcuya sahiptir.
- İki adet tutma, karşılaştırma, PWM modülüne sahiptir
- 200ns çözünürlükte 16 bitlik karşılaştırma özelliği mevcuttur.
- 10 bit 8-kanallı Analog-Dijital (A/D) çeviriciye sahiptir.
- Seri port ve I2C modülleri mevcuttur.

UART Protokolü XBee modüller ile kablosuz veri alışverişi yapabilmek için mikrodenetleyicinin UART (Evrensel Asenkron Alıcı / Verici) protokolünü desteklemesi nedeniyle özellikle tercih edilmiştir. UART protokolü, donanımlar arasındaki seri haberleşmeyi sağlayan haberleşme protokolü olup verinin bit bit tek hat üzerinden iletilip yine tek hat üzerinden alınmasını gerçekleştirir. Kaynak cihazda paralel oluşturulan veri, UART birimi vasıtasıyla hedef cihaza tek hat üzerinden belirlenen hızda bit bit aktarılır. UART birimi, dönüştürme esnasında iletilmek istenen verinin başına bir bitlik lojik 0 başlama bitini, sonuna ise durma bitini koyar. Bu şekilde alıcı cihaz veri aktarımının başladığını ve bittiğini anlar, başlama ve durma bitlerini atarak gerekli veriyi alır. Şekil 3.5'te 31 ondalık sayısının iletim halindeyken UART paket yapısında başlama, durma bitleri ile veri uzunluğu gösterilmiştir. Seçime bağlı olarak veri iletiminin doğru yapıp yapılmadığını kontrol amaçlı kontrol biti (parity) de eklenebilir.



Şekil 3.5. UART protokolüyle veri iletimi

Haberleşmenin olabilmesi için her iki donanım cihazında da aynı veri iletim hızı (baud rate), aynı uzunlukta durma biti kullanılmalı, aktarılacak veri uzunluğu da aynı olmalıdır. Tasarlanan sistemde cihazlar, 9600 bit/sn iletim hızına, 8 bit veri uzunluğuna ve 1 bit uzunluğunda durma bitlerine sahip UART paketleriyle haberleştirilmişlerdir.

3.1.1.1.2. LCD Ekran

Ana Kontrol Ünitesinin yaptığı tüm işlemler ve anlık durum bilgilerinin görüntülenmesi amacıyla 4x20 karakter LCD ekran kullanılmıştır. LCD ekran üzerinde açılış mesajları, kablosuz bağlantı durumu, çalışma modu seçenekleri, araç varlığı ve anlık trafik verileri, kavşağın her bir kolundan geçen araç sayısı vb. bilgiler

görüntülenmektedir. Şekil 3.6.'da sistem tasarımında kullanılan LCD ekran (4x20 karakter) görülmektedir.

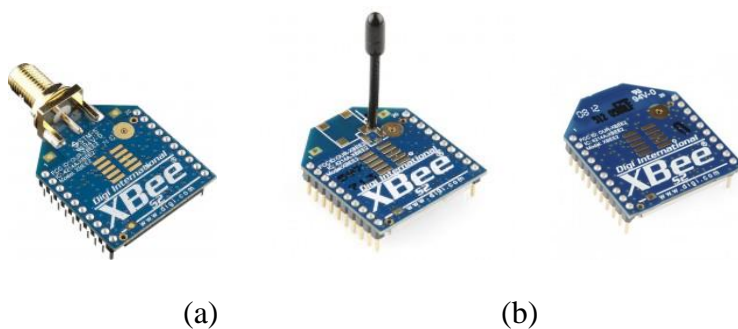


Şekil 3.6. 4x20 LCD ekran

3.1.1.1.3. XBee S2 Modüller

Digi International firması tarafından üretilmiş olan XBee modüller, kablosuz ağ sistemleri kurmada son zamanlarda oldukça popülerleşmiştir. XBee modüller, kablosuz veri iletiminde hem alıcı hem verici olarak çalışırlar. XBee modüllerin S1, S2 ve Pro serileri mevcuttur. XBee S1 modüller, noktadan noktaya ya da yıldız ağı için kullanışlıdır ve 1 mW anten çıkış gücüne sahiptir. Daha yüksek güç ve daha iyi alıcı duyarlılığı için ise 2 mW'tan 1 W'a kadar çeşitli çıkış gücü değerlerine sahip XBee S2 ve XBee Pro ürünleri piyasaya sürülmüştür. Bütün Xbee serileri aynı protokolü kullanır. Yalnızca XBee S1 modüller sadece kendi serisinden olan modüllerle haberleşebilirler. Xbee S2 modüllere örnekler Şekil 3.7'de görülmektedir.

Tasarlanan sistemde, kablosuz veri iletişimi için XBee S2 modüller tercih edilmiştir. Bu modüller, Zigbee örgü ağ yapılarında daha iyi performansa sahiptir ve diğer ağ yapıları ile tüm aygıt biçimlerini (koordinatör, router ve uç aygıt) desteklemektedir.

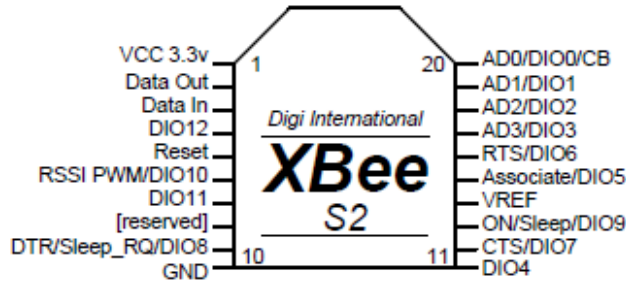


Şekil 3.7. Xbee S2 modüller, (a) Harici RP-SMA Çıkışlı, (b) Tel antenli, (c) PCB Antenli

XBee S2 modüllerin genel özellikleri şunlardır:

- Açık alanda 120 metre, kapalı alanda 40 metreye kadar haberleşme sağlar.
- ISM 2.4 GHz bandını kullanır ve 16 farklı kanalda yayın yapabilme özelliğine sahiptir.
- Verici gücü 2 mW (+3 dBm) , alıcı hassaslığı -95 dBm'dir.
- Tx, Rx yaklaşık 40 mA ile çalışarak düşük güç tüketimi yapar.
- 250 kbps'ye kadar veri iletim hızında haberleşme yapabilir.
- UART veri haberleşme protokolünü destekler.
- AT komut modunu desteklidir.
- -40 ila 85 °C aralığında çalışabilir.
- Besleme gerilim 2,8 – 3,4 V aralığında olmalıdır.

VCC, GND, yeniden başlatma, uyku modu, PWM, sayısal ve analog giriş/çıkışları olmak üzere toplam 20 adet bağlantı noktası vardır. Şekilde 3.8'de XBee modülün ayak bağlantı şeması ile alt ve üst görünüşleri görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.8. (a) XBee S2 Modülün bağlantı şeması, (b) Modülün ön yüz görünüşü, (c) Modülün arka yüz görünüşü ve seri no.

3.1.1.1.4. XBee Regüle Kartı

XBee modüller 3.3V gerilim altında çalıştıklarından regüle kartı ile birlikte kullanılarak daha yüksek besleme gerilimlerine uyumlu hale getirilirler. Bu amaçla Sparkfun Firması tarafından üretilmiş olan XBee Explorer regüle kartı, Şekil 3.9'da görülmektedir. XBee regüle kartı 3.3V voltaj regülasyonu, sinyal işleme ve temel aktivitelerin gösterilmesi (güç açık/kapalı, RSSI ve Data IN/OUT göstergesi) gibi işlemleri yapar. 5V besleme giriş gerilimini (max. 16V) 3.3V'a dönüştürür ve bu sayede 5V'luk (minimum 3.3V) gerilimle çalışan sistemlere XBee modüller bağlanabilmektedir. Bu kart, kablosuz boot yükleme ve USB tabanlı yapılandırma üzerinden direkt çalışma için uygun olarak tasarlanmıştır. Xbee regüle kartı Seri 1, Seri 2 ve pro versiyonlar dahil olmak üzere tüm XBee modülleri ile uyumludur. XBee modül karta yerleştirilerek seri programlama pinlerine direkt erişilebilir ve XBee modüllerinin 3.3V üzeri gerilimle beslemesi imkânı elde edilir.



Şekil 3.9. (a) XBee regüle kartı, (b) XBee modülün yerleştirilmiş hali.

3.1.1.1.5. Ana Kontrol Ünitesi Baskı Devre Kartının Yapımı

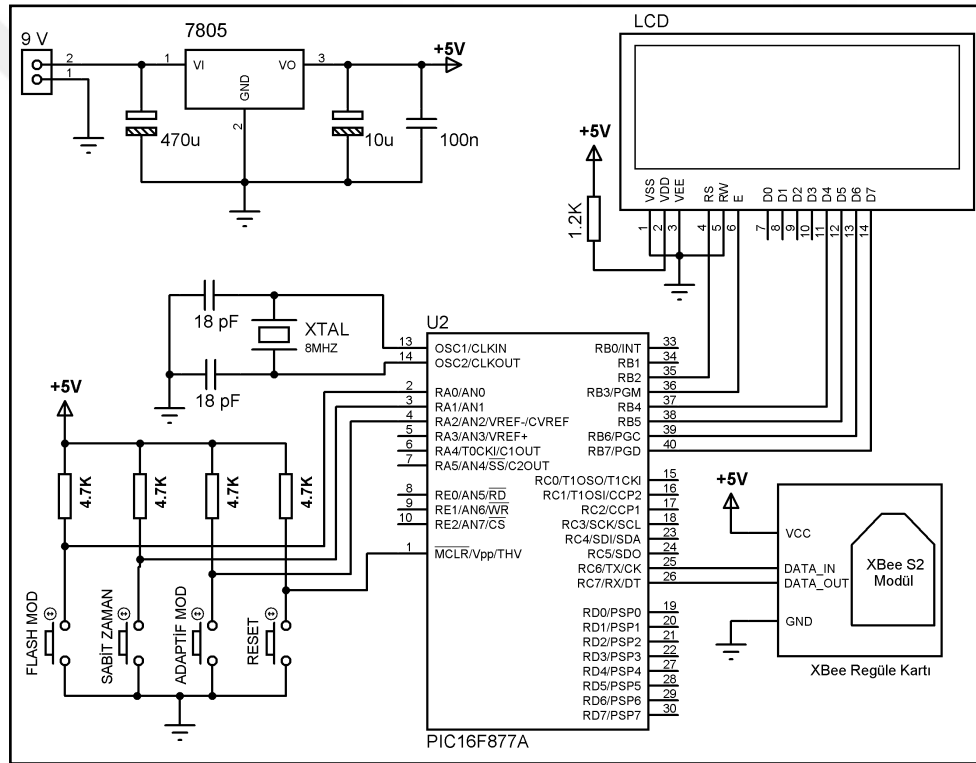
Ana Kontrol Ünitesinin devre tasarımı ve simülasyonu PROTEUS 8 yazılımı içinde yer alan ISIS programı kullanılarak yapılmıştır. Ana Kontrol Ünitesinin açık devre şeması Şekil 3.10'da verilmiştir.

Devrenin enerji ihtiyacı için 9-12V/200mA bir güç kaynağı gereklidir. 7805 regüle entegresi kullanılarak 5V'luk besleme katı oluşturulmuştur. Besleme katı, devredeki PIC16F877A entegresini, LCD ekranı, XBee regüle beslemektedir. XBee

modülünün ihtiyacı olan 3.3V'luk gerilim ise XBee regüle kartı tarafından elde edilmektedir.

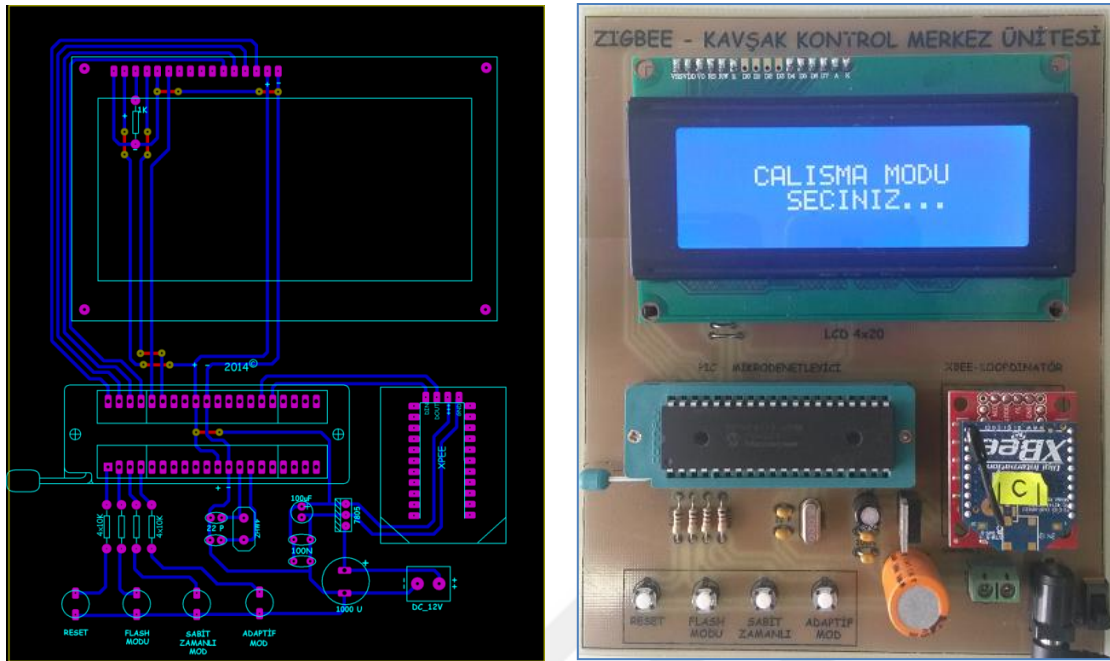
Veri haberleşmesi, XBee module ile 16F877A mikrodenetleyicinin UART özelliği kullanılarak RC7/RX ile RC6/TX pini üzerinden gerçekleştirilir. Ana Kontrol Ünitesinde toplanan veriler ve durum değişiklikleri LCD ekranda gösterilir. Sistemin çalışma modunun değiştirilmesi ve resetleme işlemi için butonlar konulmuştur.

Ana Kontrol Ünitesinin baskı devre kartı tasarımı PROTEUS 8 yazılımı içinde yer alan ARES programı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.11'de baskı devrenin yerleşim planı ile montajlanmış baskı devre kartı görülmektedir.



Şekil 3.10. Ana Kontrol Ünitesinin devre şeması

Ana Kontrol Ünitesinin baskı devre kartı, tasarlanan PCB pateni, bakır plakete aktarılarak asitle eritme, delme, lehimleme ve montaj aşamalarından geçirilerek üretilmiştir. Şekil 3.11'de baskı devre kartının montajlanmış nihai şekli görülmektedir.



Şekil 3.11. Ana Kontrol Ünitesinin baskı devre kartı

3.1.1.2. Sensör Düğümlerinin Donanım Tasarımı

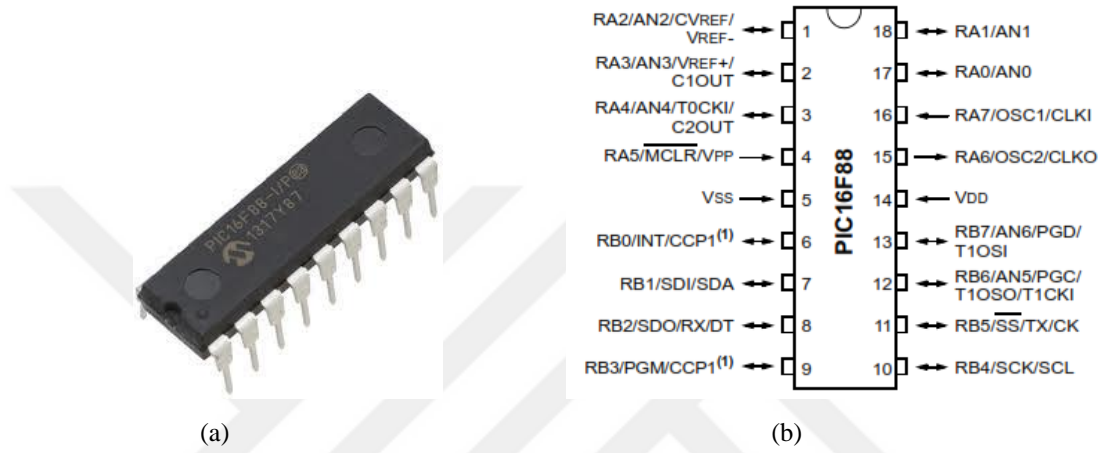
Sensör Düğümlerinin donanımı, sistemin çalışma düzeni içerisinde aşağıda verilen temel işlevleri gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır.

- Manyetik algılayıcılarla kavşağa giren araçların varlığını tespit etmek ve algılama seviyesini ledlerle göstermek.
- Elde edilen verileri anlık ve kablosuz olarak Ana Kontrol Ünitesi'ne iletmek
- Ana Kontrol Ünitesi'nden gelen verileri almak ve bu verilere göre araç ve yayalara ait trafik ışıklarını kontrol ve kumanda etmek.
- Kablosuz bağlantıyı sürekli kontrol ederek devre dışı olduğunda tüm trafik ışıklarını yakıp söndürerek uyarı vermek.

Sensör düğümlerinin donanımında algılayıcı birim olarak AA002 GMR manyetik sensörü, yükselteç olarak LM358 opamp entegresi, kontrol ve işlemci birim olarak PIC16F88 mikro denetleyicisi, kablosuz iletişim modülü olarak da Zigbee tabanlı XBee modüller tercih edilmiştir.

3.1.1.2.1. PIC16F88 Mikrodenetleyici

Sensör Düğümleri'nde ücretsiz yazılım desteği, düşük maliyeti, küçük boyutlu olması, 10-bit A/D çeviriciye sahip olması, seri haberleşme (UART) özelliği ve hızlı olması nedeniyle Microchip şirketi tarafından üretilmiş olan PIC16F88 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Şekil 3.12'de PIC16F88 mikrodenetleyicisi görülmektedir.



Şekil 3.12. PIC16F88 mikrodenetleyicisi, (a) Kılıf yapısı, (b) Ayak yapısı

PIC 16F88 mikrodenetleyicinin genel özellikleri şunlardır:

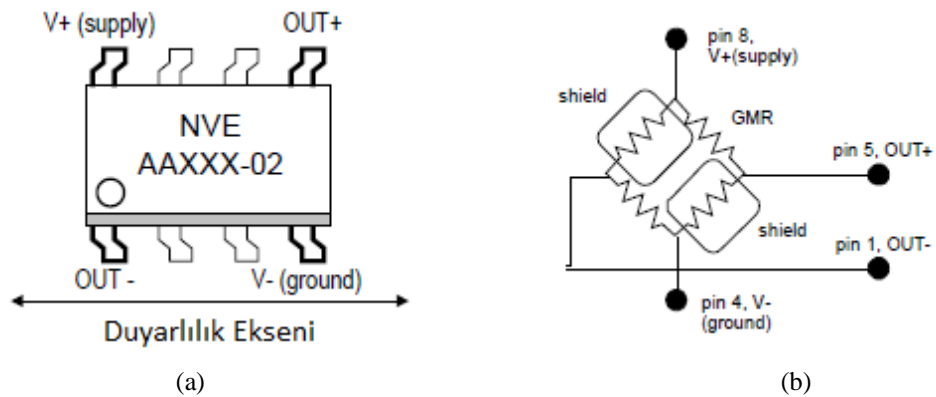
- 20 Mhz'ye kadar çalışma hızı vardır.
- Flash program bellek kapasitesi 4Kx14 word'dür.
- Düşük voltajlı çalışma (2V – 5V).
- Düşük güç harcaması (Nano power teknoloji).
- 10 bit 7-kanal Analog-Dijital çeviriciye sahiptir.
- 9 bit adres saptamaya sahip UART protokolüne sahiptir. .
- Uyku (SLEEP) modu enerji tasarrufu sağlamaktadır.
- Kart üzerinde seri programlama (ICSP) özelliğine sahiptir.
- Watchdog Timer (WDT), Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) mevcuttur.
- Timer0 / Timer1 8bit zamanlayıcı/sayıcı bulunur.
- Tutma, karşılaştırma, PWM modülüne sahiptir.
- Seri port ve I2C modülleri mevcuttur.

3.1.1.2.2. AA002 GMR Sensör

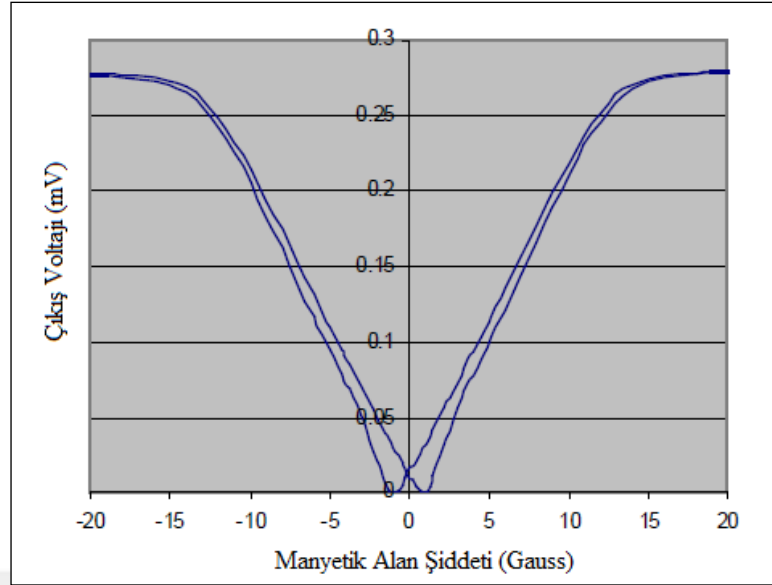
AA002 serisi sensörler, NVE firması tarafından üretilen yüksek hassasiyetli manyetik algılama yeteneğine sahip analog GMR sensörlerdir. Manyetik alan değişimleri ile orantılı olarak yüksek doğrusallıkta ve kararlılıkta büyük çıkış sinyali üretirler. Şekil 3.9’da görüldüğü üzere 5V besleme gerilimi ile 100 Gauss manyetik alan altında maksimum 250 mV çıkış vermektedir.

Bu sensörler, manyetik alanlara yüksek hassasiyet, iyi sıcaklık kararlılığı, düşük enerji tüketimi ve küçük boyut ile ön plana çıkmaktadırlar. Bu karakteristik özellikleri sayesinde pille çalışan sensörlerden vücuda yerleştirilen tıbbi cihazlara, endüstriyel ve otomotivde kullanılan sensörlere kadar geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Farklı amaçlar için AA, AL ve AH olmak üzere üç seride üretilmişlerdir. AA002 serisi sensörlerin temel özellikleri şunlardır:

- Düşük güçlüdür, çok düşük voltaj altında çalışma özelliğine sahiptir.(1–24VDC)
- Çok küçük boyutlu yüzey montajlı kılıf yapısında (SOIC8) imal edilmiştir. (Şekil 3.13.a)
- Sıcaklık dengelemesi sağlamak için Wheatstone köprüsü devre yapısında tasarlanmıştır. (Şekil 3.13.b.)
- Manyetik alan algılamada yüksek hassasiyete sahiptir. (18 mV/V-gauss)
- Şekil 3.14’da görüldüğü gibi geniş çalışma aralığına sahiptir. (0 - 20 Gauss)
- Sürekli çalışma sıcaklığı max 125°C’dir.



Şekil 3.13. AA002-02 GMR sensörü. (a) Ayak bağlantıları, (b) Blok yapısı



Şekil 3.14. AA002 GMR sensörünün çıkış karakteristiği

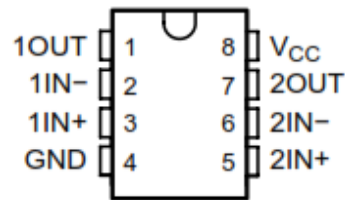
3.1.1.2.3. LM358 OPAMP

LM358, Texas Instrument şirketi tarafından üretilmiş yüksek kazançlı, dâhili frekans kompanzasyonlu, tek/çift kaynaktan geniş aralıklı besleme voltajına sahip bağımsız iki opamp devresi içeren bir işlemsel yükselteç entegresidir. Şekil 3.15'de kılıf yapısı ve ayak bağlantısı görülmektedir. TL071 opamp entegresinin temel özellikleri şunlardır:

- Geniş aralıklı besleme voltajına sahiptir. (3-32V)
- Çok düşük besleme akımına sahiptir. (<0.5 mA)
- Çok düşük giriş kutuplama ve ofset akımına sahiptir. (20nA)
- Açık çevrim kazancı çok yüksektir (100dB)
- Giriş empedansı çok yüksektir.



(a)



(b)

Şekil 3.15. LM358 opamp entegresi, (a) Kılıf yapısı, (b) Ayak bağlantısı.

3.1.1.2.4. Sensör Düğümü Baskı Devre Kartının Yapımı

Sensör düğümünün devre tasarımı ve simülasyonu PROTEUS 8 yazılımı içinde yer alan ISIS programı kullanılarak yapılmıştır. Sensör düğümünün açık devre şeması Şekil 3.16’de verilmiştir.

AA002 GMR sensör, metal cismi algıladığında 0 – 350mV arasında değişen DC fark gerilim üretir. Bu fark gerilim, LM358 opamp entegresi ile oluşturulmuş olan yükselteç katın girişlerine uygulanmıştır. Yükselteç çıkışında bu sinyal maksimum 4.5V’a kadar yükseltilir. Elde edilen bu algılama sinyali PIC16F88’in analog RB7 girişine verilmiştir. Bu analog sinyal PIC16F88’in ADC özelliği kullanılarak 10-bitlik dijital sinyale dönüştürülür ve yürütülen PIC programında belirlenmiş sınır değerleriyle kıyaslanarak araç algılanıp algılanmadığı belirlenir. Sinyalin büyüklüğüne göre algılama ledleri sırayla yakılarak algılama seviyesi gösterilir.

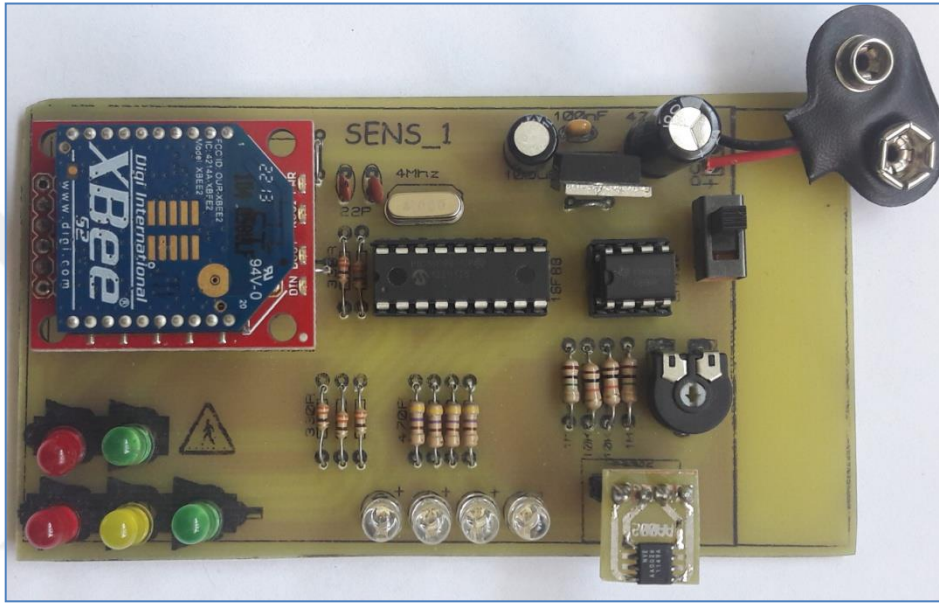
Araç algılandığı durumda PIC16F88’in UART özelliği kullanılarak RB5/TX pinine bağlı XBee modul üzerinden Ana Kontrol Ünitesi’ne “Araç Var” mesajı, araç algılanmadığı durumda da “Araç Yok” mesajı iletilir.

Ana Kontrol ünitesinden gelen veriler de XBee modülün bağlı olduğu RB2/RX pini üzerinden alınarak işleme konur. Ana Kontrol Ünitesi’nden gelen verilere uygun olarak trafik ışıklarını temsil eden ledlere gerekli sinyaller uygulanır.

Devrenin enerji ihtiyacı için 9V’luk piller kullanılmış olup 7805 regüle entegresi ile 5V’luk besleme katı oluşturulmuştur. Besleme katı, devredeki PIC16F88 entegresini, AA002 GMR sensörünü, LM358 opamp entegresini, XBee regüle kartını ve devredeki LED diyotları beslemektedir. XBee modülünün ihtiyacı olan 3.3V’luk gerilim ise XBee regüle kartı tarafından elde edilmektedir.

Sensör düğümünün baskı devre kartı tasarımı PROTEUS 8 yazılımı içinde yer alan ARES programı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.18’de baskı devrenin yerleşim planı ve PCB tasarımı görülmektedir.

Tasarlanan baskı devre paterni bakır plakete aktarılarak asitle eritme, delme, lehimleme ve montaj aşamalarından geçirilerek üretilmiştir. Şekil 3.17’de baskı devre kartının montajlanmış son şekli görülmektedir.



Şekil 3.18. Sensör Düğümünün baskı devresi

3.1.2. Sistemin Yazılım Tasarımı

Tasarlanan sistemde, kablosuz iletişim için kullanılan Xbee modüller ve PIC mikrodenetleyicilerin Bölüm 3.1. ve Bölüm 3.2’de anlatılan çalışma düzeni içerisinde işlevlerini yerine getirebilmeleri için donanımsal tasarıma uyumlu olarak yapılandırılmaları ve programlanmaları sağlanmıştır.

3.1.2.1. Xbee S2 Modüllerin Yapılandırılması

Xbee modüllerin oluşturmak istenen ağ yapısında hangi görevi üstlenmesi isteniyorsa uygun konfigürasyonda yapılandırılması gerekir. Xbee modüllerin bu

yapılandırma ayarları için bir Xbee USB bağdaştırıcı ile X-CTU yazılımı (veya herhangi bir hyperterminal yazılımı) gereklidir.

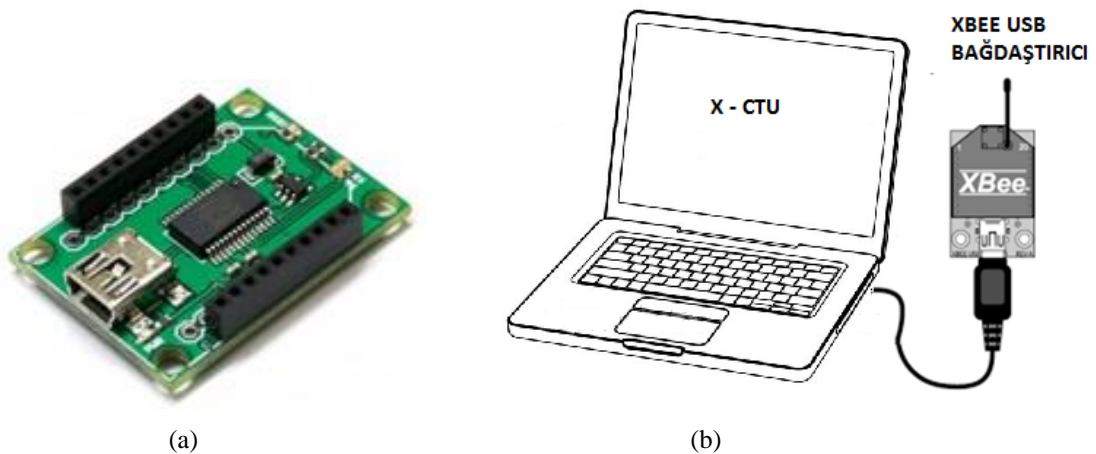
3.1.2.1.1. Xbee Explorer USB Bağdaştırıcı

Tasarlanan sistemde kullanılan XBee modülleri yapılandırmak için Sparkfun Firması tarafından üretilmiş olan XBee Explorer USB bağdaştırıcı kullanılmıştır.

XBee USB bağdaştırıcı kartı, USB'den Seri TTL'e dönüştürücü yapısına sahiptir. XBee modüller ile bilgisayarı haberleştirerek XBee modülleri programlamayı sağlayan bir ara bağlantı kartıdır. Xbee Explorer kartı Seri1, Seri2 ve Pro dahil tüm XBee modül serilerini destekler.

Kart üzerinde XBee modüllerin takılabileceği pinler bulunmaktadır. Bu pinler tüm Xbee modüllerin ayak bağlantısı ile uyumludur. XBee modül takılırken yönünün doğru olduğundan emin olunmalıdır. Yanlış takıldığı durumda, XBee modüllerde kalıcı hasar oluşma riski vardır.

Xbee Explorer USB kartı, Şekil 3.19'da görüldüğü gibi bilgisayara bir mini USB kablosu ile takıldıktan sonra sanal bir COM port oluşacaktır. XBee modüllerin programlanması, bu COM port üzerinden X-CTU programı ile mümkün olabilmektedir. Bu şekilde, hazırlanan bir program yardımıyla uzaktaki bir Xbee aygıt, bilgisayar ile kablosuz olarak haberleştirilebilir veya kontrol edilebilir.



Şekil 3.19. (a) XBee Explorer USB bağdaştırıcı, (b) Bilgisayar bağlantısı

3.1.2.1.2. X-CTU Yazılımı ile XBee Modüllerin Programlanması

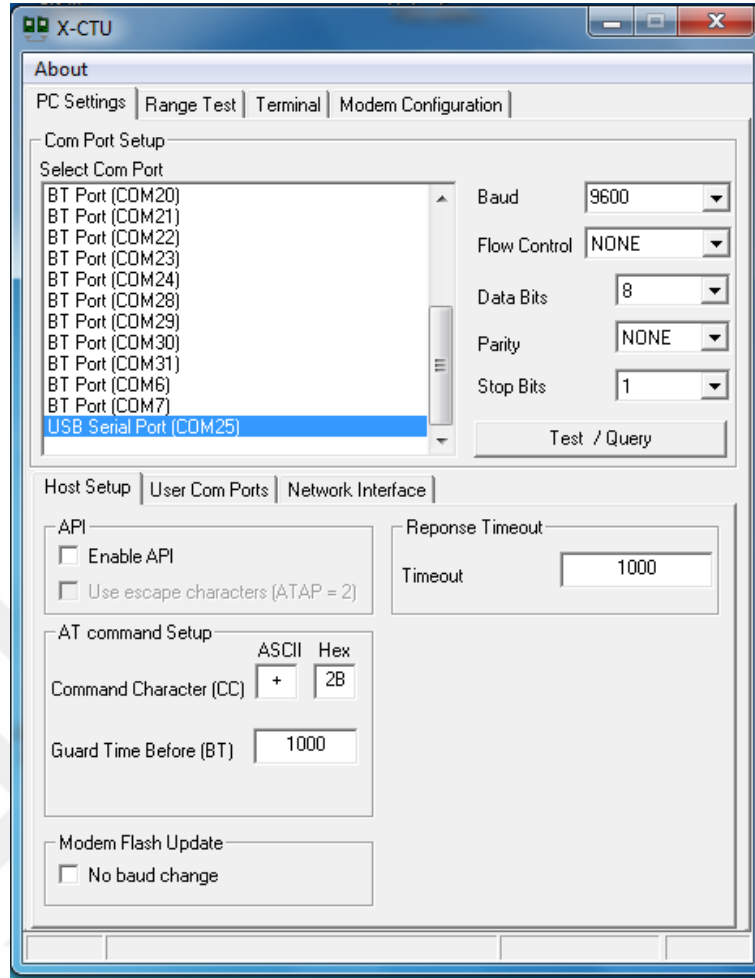
X-CTU, Digi International firması tarafından üretilmiş Windows tabanlı bir seri port izleme yazılımıdır. Bu yazılım ile kullanıcı Xbee modüller programlanabilir, modüller aracılığı ile USB port üzerinden bilgisayar ve diğer cihazlar haberleştirilebilir, iletişim parametreleri güncellenebilir, iletişim ve mesafe testi gerçekleştirilebilir. Yazılımın son sürümü ve gerekli sürücüler Digi International firmasının internet sitesinden ücretsiz olarak indirilebilmektedir.

X-CTU programı çalıştırıldığında Şekil 3.20'de görülen kullanıcı arayüzü ekrana gelir. X-CTU kullanıcı arayüzünde dört ana sekme bulunur:

PC Ayarları: XBee modüllerle veya seri port arabirimi kullanan diğer cihazlarla iletişim kurmak için bilgisayarın yapılandırılma ayarlarını içerir. Bu sekmede XBee modüllerin düzgün çalışıp çalışmadığını sınıama ve sorgulama yapılabilir.

Mesafe Testi: PC ayarları yapılandırıldıktan sonra XBee modül ile bağlantı kurulduktan sonra bu fonksiyon kullanılabilir. Bu sekme yapılan testler, veri gönderme/alma başarımları oranı ve alıcı/verici sinyal gücü hakkında fikir vermektedir.

Terminal: XBee modüller ya da diğer cihazlarla iletişim kurarak gönderilen/alınan verilerin görüntülediği ve AT komutlar kullanılarak modüllerin parametrelerinin yapılandırılmasını ya da güncellenmesini sağlayan sekmedir.

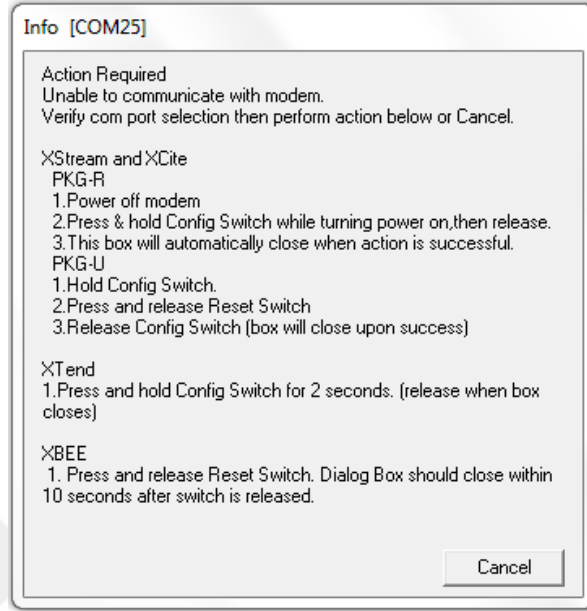


Şekil 3.20. X-CTU kullanıcı arayüzü

Modem Yapılandırma: XBee modüllerin modem tipi, fonksiyon seti gibi parametrelerini ayarlamak, modülleri programlamak, mevcut ayarları okumak ve güncellemek için kullanılan sekmedir.

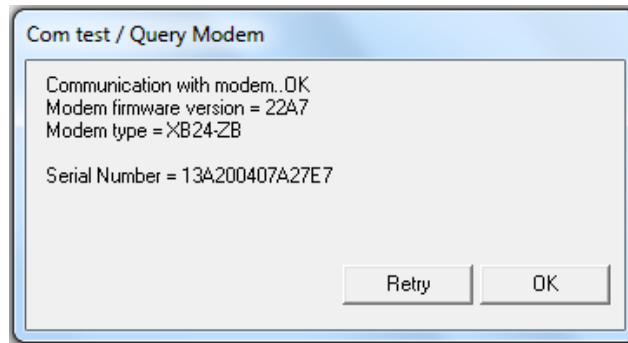
XBee modüllerin programlanması için öncelikle modül, XBee USB bağdaştırıcı karta yerleştirilerek bilgisayardaki USB portuna takılmış olmalıdır. X-CTU yazılımı çalıştırıldığında “PC Setting” sekmesi açılacaktır. Bu sekmede, XBee modülün X-CTU yazılımı tarafından tanınması için USB bağdaştırıcının bağlı olduğu “Com Port” seçilerek “Test/Query” butonu tıklanır. Başarılı bir iki yönlü iletişim için sekmedeki baud hızı, parity biti, start/stop biti ayarlarının XBee modülün önceki ayarları ile eşleşmesi gereklidir. Aksi takdirde Şekil 3.21’de görülen hata ekranı ve “Unable to communicate with modem” hata mesajı çıkacaktır. Eğer test sonucunda bir sorun varsa baud hızı değiştirilerek test işlemi yeniden yapılmalıdır. Modül doğru olarak tanınıncaya kadar bu test işlemi tekrarlanır. Bu hata mesajı, yanlış firmware seçimi ve

donanımsal bozukluklar nedeniyle de çıkabilir. Bu durumda uygun firmware seçilmeli ya da XBee modül ve USB bağdaştırıcı yenisiyle değiştirilmelidir.



Şekil 3.21. X-CTU yazılımında modül iletişim hatası

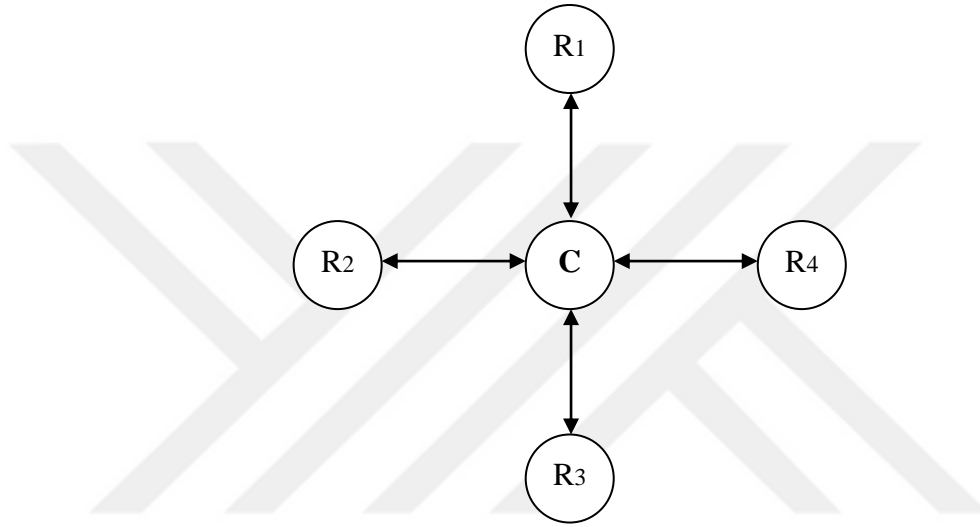
XBee modül, X-CTU yazılımı ile hatasız şekilde bağlantı kurulduğu takdirde ise Şekilde 3.22’de görülen mesaj ve onay ekranı gelecektir.



Şekil 3.22. X-CTU ile XBee modül arasında iletişim başarılı mesajı

Bu ekran onaylandıktan sonra “Modem Configuration” sekmesi tıklanır. XBee modülün tüm iletişim parametreleri bu sekmede ayarlanacaktır. Kurulmak istenen ağ yapısına uygun olarak XBee modülün ağdaki görev tanımına göre bu parametreler ayarlanır.

Tasarlanan Adaptif Trafik Kontrol Sistemi'nin ağ yapısı Şekil 3.23'de görülmektedir. Diyagramda görüleceği üzere kurulacak ağ yapısı 1 adet koordinatör aygıt ile 4 adet yönlendirici aygıttan oluşmaktadır. Bu yapıda, Ana Kontrol Ünitesinin iletişimini sağlayacak modül Koordinatör (Coordinator) olarak, Sensör Dğümlerinin iletişimini sağlayacak modüller ise yönlendirici (Router) olarak yapılandırılacaktır. Koordinatör (C) aygıt ağdaki tüm yönlendirici aygıtlara yayın yapmakta, bununla birlikte yönlendirici (R) aygıtlar da yalnızca koordinatöre veri yollayabilmektedir.

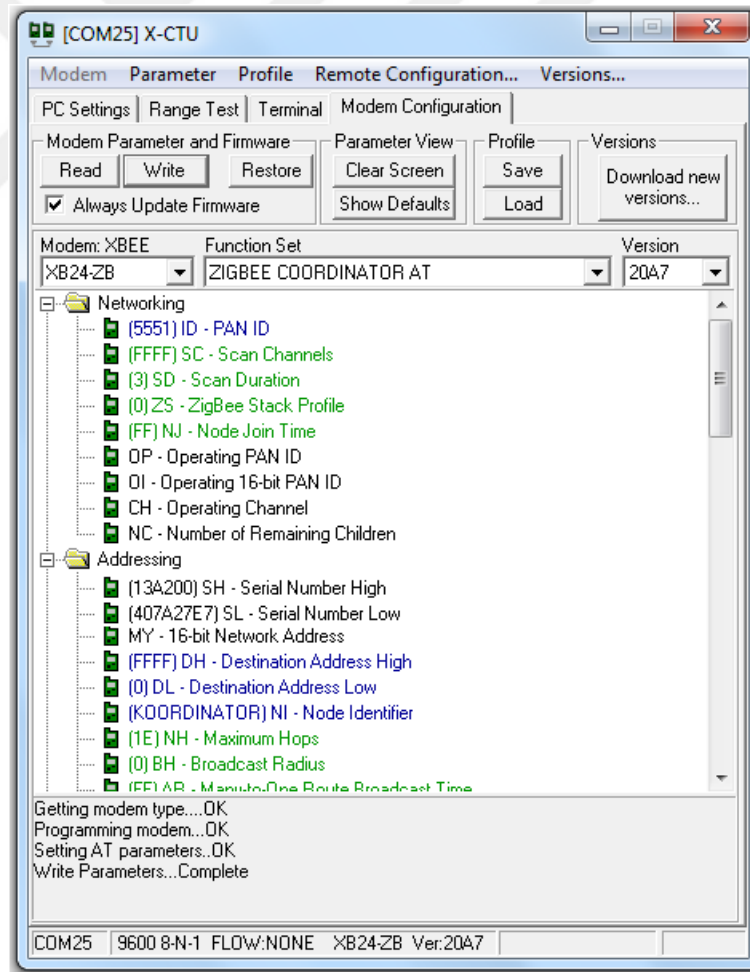


Şekil 3.23. Tasarlanan sistemin ağ yapısı

3.1.2.1.3. Koordinatörün (C) Yapılandırılması

Zigbee temelli kablosuz kişisel ağın (PAN – Personal Area Network)) kurulması, başlatılması ve yönetilmesinden koordinatör sorumludur. Her ağda mutlaka bir koordinatör bulunmalıdır. Koordinatör, haberleşme kanalını ve PAN ID değerini belirler. PAN'ı başlattıktan sonra yönlendirici ve uç aygıtların PAN'a katılmasına izin verebilir. Koordinatör ağdaki tüm aygıtlarla veri alışverişi yapabilir. Koordinatörün tüm ağı yönetmesinden dolayı pil ile beslenmesi ve/veya düşük güç modlarında çalıştırılması kesinlikle uygun değildir. Koordinatör sabit bir güç kaynağı ile beslenmeli ve “main power mode” denilen standart güç modunda çalıştırılmalıdır. Çünkü, Koordinatörün çalışması sırasında olumsuzluklar yaşanması ve işlevini kaybetmesi, tüm ağın çökmesi anlamına gelmektedir.

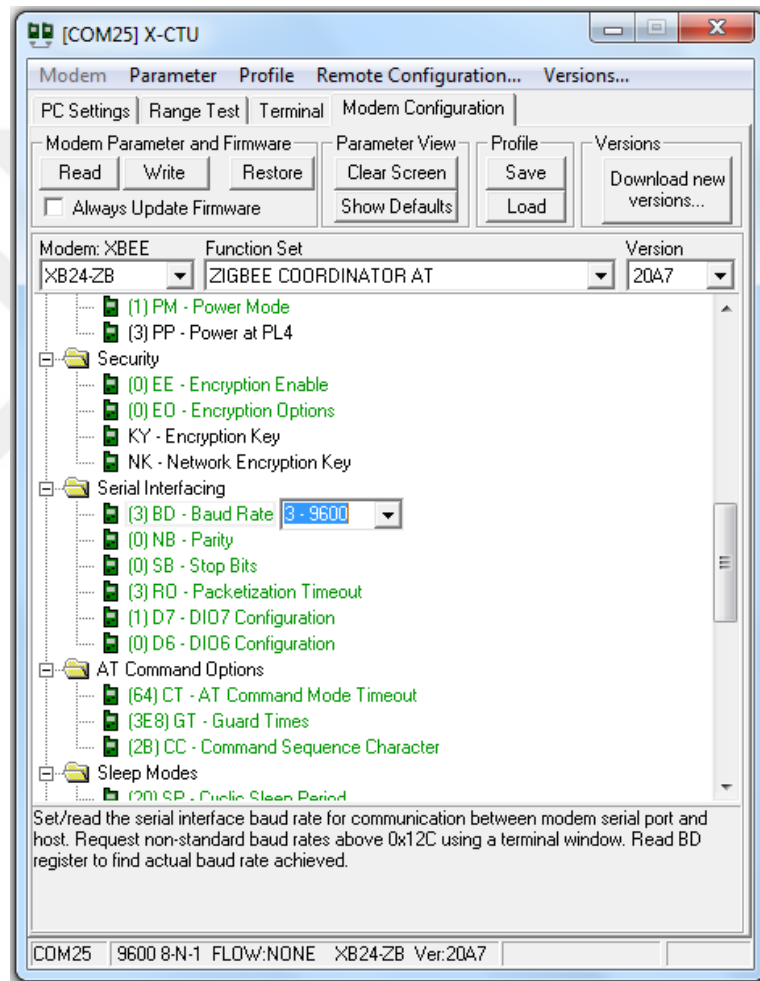
Koordinatör olarak seçilen XBee modülü, yukarıda tanımlanan görevler için yapılandırırken kullanılacak olan “Modem Configuration” sekmesi Şekil 3.24’de görülmektedir. Bu sekmede öncelikli olarak “Function Set” kısmında COORDINATOR AT seçimi yapılır. Sonrasında “Show Defaults” butonuna basılarak parametrelerin varsayılan değerlere ayarlanması sağlanır. Daha sonra ise Zigbee ağını tanımlayan ortak numara (PAN ID) seçilmelidir. PAN ID, oluşturulmak istenen ağı tanımlayan, ağdaki tüm aygıtlarda aynı olması gereken ve bu sayede eşleşmelerini sağlayan etikettir. PAN ID olarak 0000h – FFFFh arasında istenilen bir değer seçilebilir. Tasarlanan bu ağda PAN ID 5551h olarak belirlenmiştir. Koordinatör haberleşeceği hedef aygıtların adresleri “Destination Adress High” kısmına ağdaki tüm aygıtlarla haberleşmesi (broadcast) için FFFFh adresi, “Low” kısmına ise 0000h adresi girilmiştir. Opsiyonel olarak da düğüm adı “Node Identifier” kısmına KOORDINATOR adı girilmiştir.



Şekil 3.24. X-CTU arayüzünde koordinatörün yapılandırılması

Şekilde 3.25’de görüldüğü gibi XBee modülün PIC mikrodenetleyici ile UART protokolü üzerinden haberleşirken geçerli olacak veri iletişim parametreleri için baud hızı 9600, parity biti yok ve 1-bit stop bit olarak seçilmiştir.

Parametreler ayarlandıktan sonra “Write” butonu tıklanarak XBee modülün programlanması sağlanır. Programın yazılması hatasız olarak gerçekleştiğinde ekranın alt kısmında “Write Parameter Complete” mesajı belirecektir. Böylece koordinatör olarak XBee modül yapılandırılmış olur.



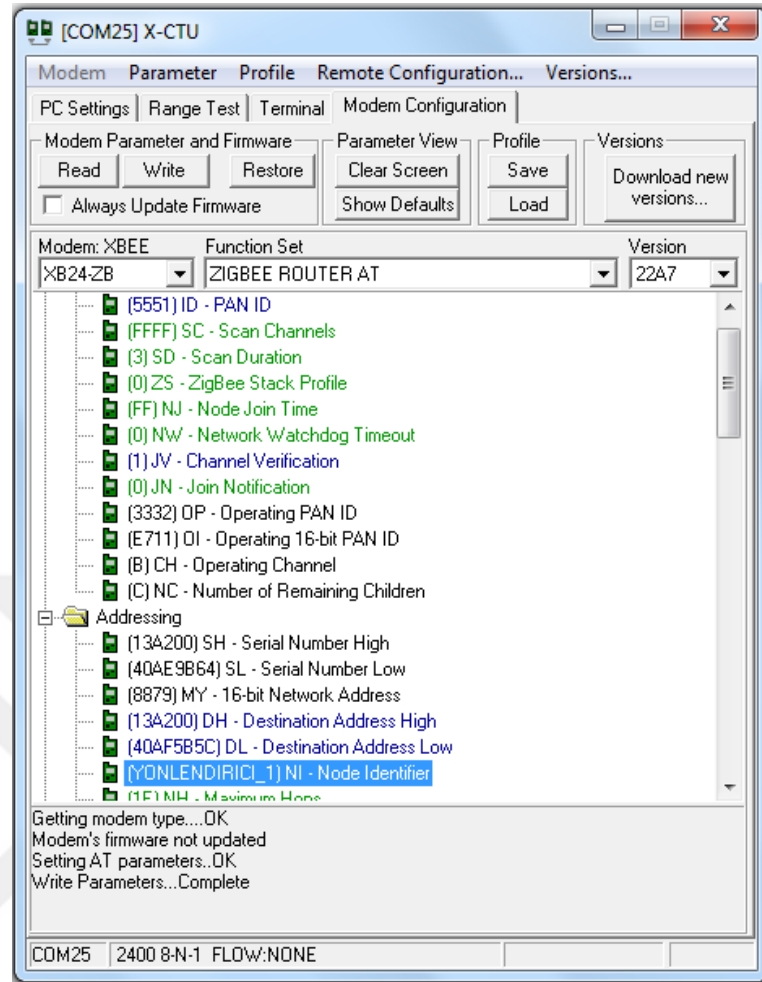
Şekil 3.25. X-CTU arayüzünde UART parametrelerinin konfigürasyonu

3.1.2.1.4. Yönlendiricinin (Router – R) Yapılandırılması

Bir yönlendiricinin çalışabilmesi için il koşul bir Zigbee ağına (PAN) dahil olması gerekir. Yönlendiricilerin PAN'a katılımından sonra başka yönlendiricilerin ve uç aygıtların PAN'a katılmasına olanak sağlar. Yönlendiriciler tüm ağ yapısına veri

gönderip alabilir ya da örgü ağ yapısı üzerinden veri transferi sağlayabilirler. Yönlendiriciler başka aygıtların PAN'a katılabilmesine izin verme işlevinden dolayı düşük güç modunda çalıştırılması uygun olmamaktadır.

Yönlendirici aygıtları konfigüre etmek için ise, Şekil 3.26'da görüldüğü gibi X-CTU programında fonksiyon seti kısmında “ROUTER/END DEVICE AT” seçilerek “Show Defaults” butonuna basılır. Sonra koordinatör yapılandırılmasında kullanılan ortak PAN ID etiketi girilir. Koordinatör aygıtta belirlenmiş olan 5551 kodu PAN ID olarak yönlendiricilerin hepsine girilmelidir. Tasarlanan ağda yönlendiriciler, yalnızca koordinatör aygıt ile haberleşeceği için “Destination Adress High” kısmına, koordinatör modülün seri numarasının “SH Serial High” yani yüksek anlamlı kısmında yazan 13A200 numarası, “Destination Adress Low” kısmına ise koordinatör modülün seri numarasının “SH Serial Low” yani düşük anlamlı kısmında yazan 407A27E7 numarası girilmiştir. XBee modüllerin seri numaraları, Şekil 3.8.(c)'de görüldüğü gibi arka yüzlerinde bulunmaktadır. Opsiyonel olarak, düğüm adı “Node Identifier” kısmına YONLENDIRICI_1 şeklinde düğüm adı girilmiştir. XBee modülün PIC mikrodenetleyici ile UART protokolü üzerinden haberleşme parametrleri ise baud hızı 9600, no parity ve 1-bit stop bit olarak seçilmiştir.



Şekil 3.26. X-CTU arayüzünde yönlendiricinin yapılandırılması

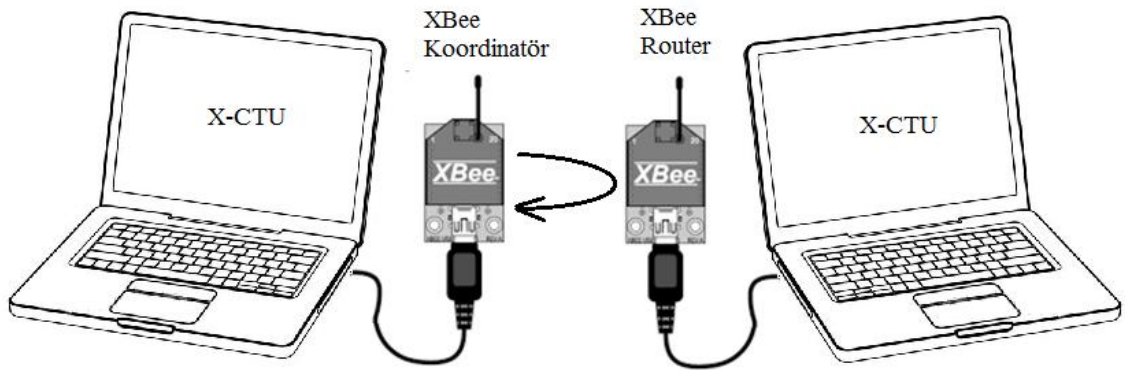
Parametreler bu şekilde ayarlandıktan sonra “Write” butonu tıklanarak XBee modülün programlanması sağlanır. Programlama işlemi hatasız olarak gerçekleştiğinde ekranın alt kısmında “Write Parameter Complete” mesajı görülecektir. Dört adet yönlendirici de aynı parametrelerle yapılandırılarak Sensör Düğümlerinde kullanılacak XBee modüller hazır hale getirilmiş olur.

3.1.2.1.5. XBee Kablosuz Bağlantı Testi

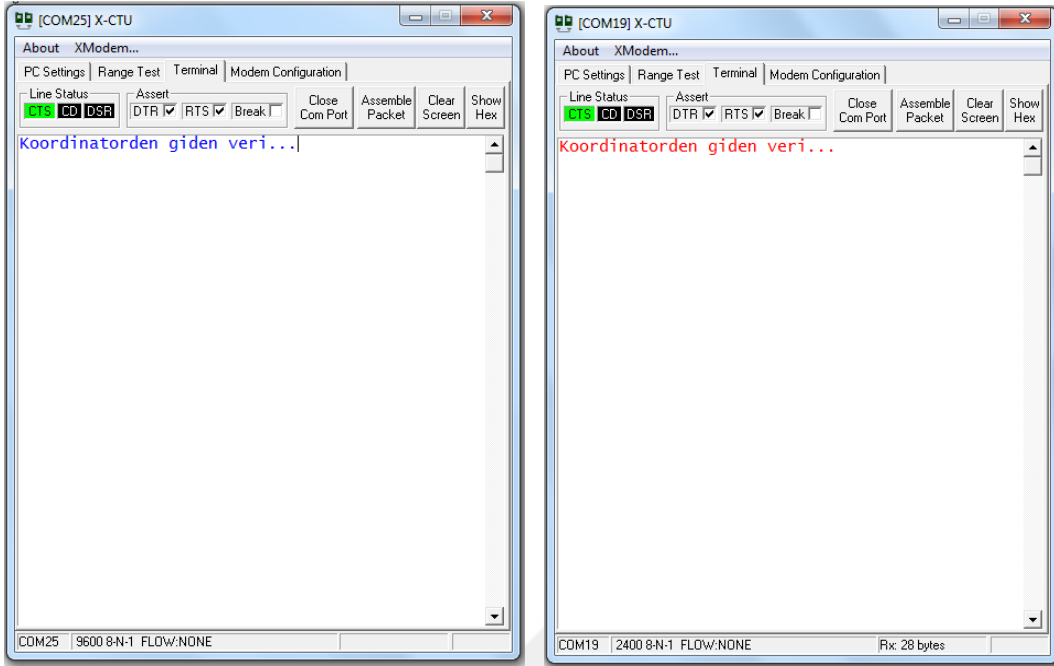
Zigbee kablosuz ağın kurulumunu ve ağdaki tüm aygıtların bağlantılarının sağlıklı olup olmadığı bir defaya mahsus test edilmelidir. Bağlantı test işlemi için önce koordinatör – yönlendirici arasında noktadan noktaya bağlantı testi, daha sonra ise koordinatörle diğer tüm aygıtlar arasında çoklu bağlantı testi yapılır.

Noktadan noktaya test işlemi için Şekil 3.27’de görüldüğü gibi 2 adet USB bağdaştırıcı bilgisayara USB girişlerine bağlanır. Bağdaştırıcılardan birine koordinatör modül diğerine ise yönlendirici takılır. Bilgisayarda her bir modül için ayrı ayrı X-CTU yazılımı çalıştırılarak “Terminal” sekmesi açılır. Koordinatör için açılan ekranda klavyeden “Koordinatörden giden veri...” mesajı yazılır. Şekil 3.28’de görüldüğü gibi bu mesaj mavi renkli olarak gözükür. Yönlendirici için açılan ekranda aynı mesaj (kırmızı renkli olarak) görüntülenir. Aynı şekilde; yönlendirici için açılan ekrana “Yönlendiriciden giden veri...” mesajı yazılır. Bu mesaj mavi renkli olarak gözükür. Koordinatör ekranında ise aynı mesaj (kırmızı renkli olarak) görüntülenir. Bu durumda koordinatör ile yönlendirici arasında her iki yönde de iletişimin sorunsuz sağlandığı anlaşılır. Diğer yönlendiriciler de sırayla test edilerek varsa bağlantı problemi tespit edilir.

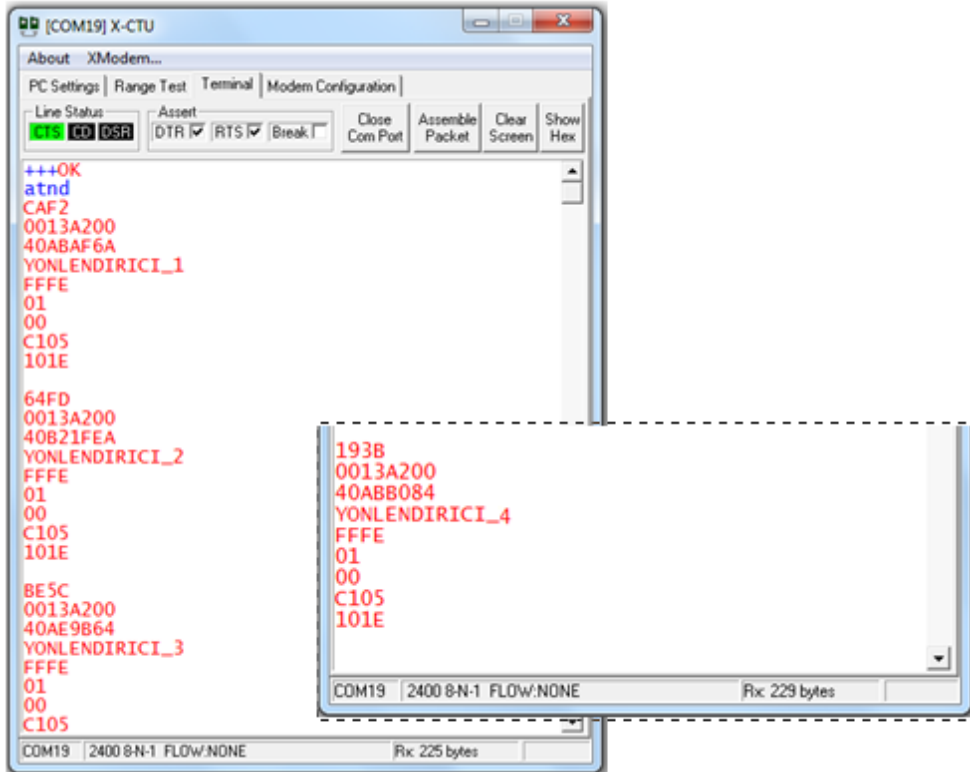
Çoklu bağlantı test işlemi için ağdaki tüm aygıtlar çalıştırılır. Koordinatör modül, USB bağdaştırıcı ile bilgisayara bağlanır. X-CTU yazılımı çalıştırılarak “Terminal” sekmesi açılır. Bu ekranda +++ komutu girilerek AT komut moduna geçilir. OK yanıtı alındıktan sonra klavyeden ATND komutu girilir. Bu komut, ağa bağlı olan tüm aygıtları görüntülemeyi sağlar. Şekilde 3.29’da görüldüğü gibi ağdaki tüm yönlendiriciler liste halinde görüntüleniyor ise bu aygıtların başarıyla ağa katıldığı ve ağın sorunsuz kurulduğu anlaşılır.



Şekil 3.27. Zigbee kablosuz ağ bağlantı testi için kurulan düzenek



Şekil 3.28. Koordinator ile yönlendirici arasında noktadan noktaya bağlantı testi



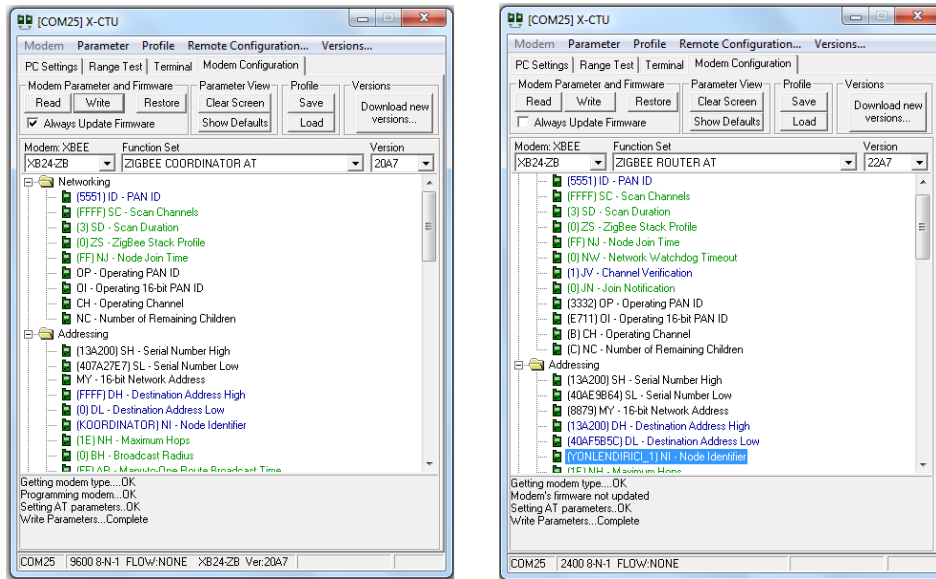
Şekil 3.29. Koordinator ile tüm yönlendiriciler arasında çoklu bağlantı testi

3.1.2.1.6. Mesafe Test İşlemi ve Sinyal Alış Gücü

Mesafe test (Range Test) işlemi, Zigbee kablosuz ağ kurulumunda, XBee modüller arasındaki haberleşme kesilmeksizin yerleştirilebilecekleri maksimum mesafeyi tespit etmek için yapılır. RSSI (Receive Signal Strength Indication – Sinyal Alış Gücü Göstergesi) değeri ve mesafe testi, kablosuz ağ bağlantısının kesintisiz sağlanması ve veri kayıplarının yaşanmaması için önemlidir.

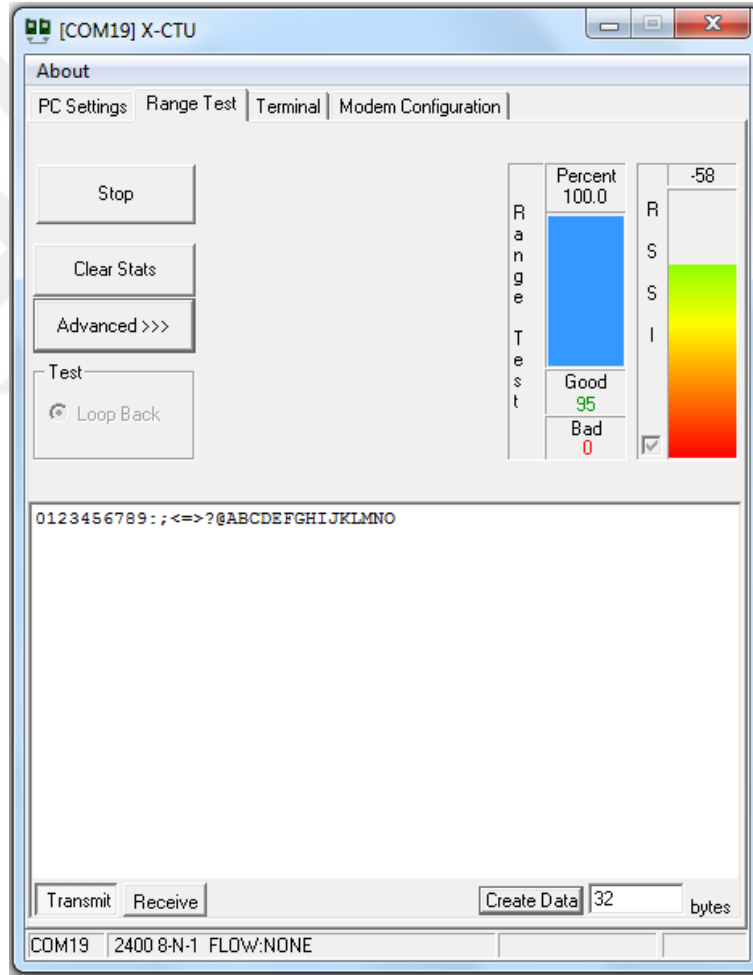
Bu test işleminde Şekil 3.27’deki düzenek kurulur. Bu düzenekte iki ayrı bilgisayara bağlı USB bağdaştırıcıya ve iki adet Xbee modüle ihtiyaç vardır. Test işlemi için modüllerden biri USB bağdaştırıcıya takılmış olup sabit tutulacaktır. Diğer modül ise taşınabilir durumda olması gerekmektedir.

X-CTU ile mesafe testi ve sinyal alış gücünü (RSSI) izleme için XBee modüllerin bir tanesi koordinatör olarak diğeri ise yönlendirici olarak yapılandırılır. Bilgisayara bağlı sabit tutulan modül koordinatör, diğeri ise yönlendirici olarak yapılandırılmıştır. Her iki modül için de PAN ID olarak 5551 olarak belirlenmiştir. Şekil 3.30’da görülen ekranlarda, koordinatör modülün “Destination Adress High/Low (DH/DL)” kısmına, diğeri modülün DH ve DL değeri girilmiştir. Benzer şekilde yönlendirici DH ve DL adresi olarak da koordinatör modülün DH ve DL değeri girilmiştir. Sonrasında “Write” (Yaz) butonuna basılarak yapılan değişiklikler XBee modüllere kaydedilir.



Şekil 3.30. Mesafe testi ve RSSI izleme için Xbee modüllerin DH – DL konfigürasyonu

XBee modüller programlandıktan sonra iki modül arasında bağlantı testi yapılarak iletişimin sağlıklı olup olmadığı kontrol edilir. Bağlantı testi sonucu başarılı olan XBee modüllerin sinyal alış gücü göstergesi (RSSI) ve mesafe testini yapmak için X-CTU yazılımında “Range Test” sekmesi kullanılır. “Range Test” sütununda gönderilen ve geri dönen paketlerin yüzde olarak değeri ile RSSI sütununda sinyal alış gücü dBm olarak gösterilmektedir. Maksimum değeri -40dBm olan RSSI değerinin -104 dBm altına düşmemesi gereklidir. Mesafe testi başlatıldığında modüller arasında iletişime cevap alınamadığı durumdaki uzaklık maksimum mesafeyi göstermektedir ve bu mesafe aşılmamalıdır.



Şekil 3.31. X-CTU ile mesafe testi ve RSSI izleme

Mesafe testini başlatmak için her iki bilgisayarda X-CTU çalıştırılır ve Şekil 3.31’de görülen “Range Test” sekmesinde “Start” butonu tıklanarak test başlatılır. RSSI izlemek isteniyorsa RSSI sütunu altındaki onay kutucuğu işaretlenir. Bu durumda

koordinatör ve yönlendirici modül karşılıklı olarak “01234...MNO” biçiminde 32 byte uzunluğunda veri paketi göndererek aynı veri paketini bekler ve cevap geldikten sonra tekrar aynı veri paketini geri gönderir. Bu şekilde sonsuz bir döngü içinde işlem sürer. Bu arada yönlendirici modülün bulunduğu set, diğer bilgisayara bağlı durumdaki koordinatör modülün bulunduğu setten uzaklaştırılarak ekrandan değerler izlenir. Veri iletişiminde cevap alınmadığı veya RSSI sinyal alışı gücünün -104 dBm’in altına düştüğü nokta tespit edilir. Bu durumda modüller arasındaki uzaklık, kablosuz ağ bağlantısının problemsiz sağlanabilmesi için aşılmaması gereken maksimum mesafedir. XBee modüllerin ağ düzeni içerisinde, bu mesafeden daha uzağa yerleştirilmesi, bağlantı hatalarına ve veri kayıplarına yol açabilecektir.

3.1.2.2. Ana Kontrol Ünitesinin Yazılımı

Ana Kontrol Ünitesinde bulunan PIC16F877A mikrodenetleyicisine ait kodların hazırlanmasında, CCS C PIC derleyicisi kullanılmıştır. PIC16F877A mikrodenetleyicisinin sistemin çalışma düzeni içerisinde gerçekleştirmesi gereken görevleri şunlardır:

- XBee modüllerle oluşturulmuş olan kablosuz sensör ağının tüm iletişimini kontrol ederek ağ yapısı içerisinde koordinasyonu sağlamak, oluşabilecek bağlantı hatalarını vb. tespit etmek ve ağ bütünlüğünün sürekliliğini sağlamak.
- Sensör Düğümlerinden gelen araç trafiği verilerini almak.
- Seçilen çalışma moduna bağlı olarak flash modu, sabit zamanlı çalışma modu ve adaptif çalışma modlarından seçilen moda uygun kontrol sinyallerini üretmek,
- Adaptif çalışma modunda sensör düğümlerinden gelen verilere göre trafik yoğunluğunu yorumlayarak, değişen trafik yoğunluğuna uygun trafik ışıklarının zamanlama verilerini oluşturmak.
- Trafik sinyalizasyonu için gerekli verilerini ilgili sensör düğümlerine iletmek

Sistemde gerçekleşen tüm işlemlere ait anlık durum bilgilerini, seçilen çalışma modunu, test sonuçlarını, bağlantı hata mesajlarını, sensör düğümlerindeki trafik ışıklarının durumlarını, kavşaktan geçen araç sayılarını LCD ekranda görüntülemek.

16F877A PIC mikrodenetleyicisi bu işlevleri gerçekleştirecek şekilde programlanmıştır. Ana Kontrol Ünitesi ile Sensör Düğümleri arasındaki kablosuz veri iletişiminde ve bağlantı test işlemlerinde PIC kodları içerisinde ASCII karakterlerden

oluşan bir “durum kod kümesi” oluşturularak özel bir kodlama yöntemine başvurulmuştur. Sensör Düğümlerinden Ana Kontrol Ünitesine veri gönderimi sırasında kullanılacak özel durum kodları ise Çizelge 3.1’de, Ana Kontrol Ünitesinden Sensör Düğümlerine veri gönderimi sırasında kullanılacak özel durum kodları ise Çizelge 3.2’de verilmiştir. Bu tablolarda görüldüğü gibi Sensör Düğümlerinin kablosuz bağlantı tanımlamaları, dört kollu bir kavşakta trafik kontrolü ile ilgili tüm veriler ve durumlar farklı bir ASCII karakter ile kodlanmıştır. Böylece sistemde yapılan tüm veri alışverişinin ve test-sorgulama işlemlerinin güvenli şekilde yürütülmesi sağlanmıştır. Örneğin, Ana Kontrol Ünitesi flaş modunda çalışma için 1 sn aralıklarla ASCII (90) ASCII (90) kodlarını periyodik olarak gönderir. ASCII (90) kodunu alan 1. ve 3. Sensör Düğümleri sarı ışıklarını, 2. ve 4. Sensör Düğümleri ise kırmızı ışıklarını yakmaktadır. ASCII (89) kodunu alan tüm sensör düğümleri tüm ışıklarını söndürmektedir.

PIC16F877A mikrodenetleyicisi için program kodları hazırlanırken karmaşıklığı en aza indirebilmek ve tekrarlanan işlemlerde kolaylık olması için altprogramlardan yararlanılmıştır. Mikrodenetleyicinin PIC program kodları tanımlamalar, ana program ve altprogramlardan oluşmaktadır.

Çizelge 3.1. Sensör Düğümünden gönderilen durum kodları

SENSÖRLERDEN GİDEN DURUM KODLARI				
SENSÖRLER	BAĞLANTI TEST KODU	ARAÇ SAY KODU	ARAÇ VAR KODU	ARAÇ YOK KODU
SENS_1	49 (1)	53 (5)	54 (6)	55 (7)
SENS_2	50 (2)	56 (8)	57 (9)	58 (:)
SENS_3	51 (3)	59 (;)	60 (<)	61 (=)
SENS_4	52 (4)	62 (>)	63 (?)	64 (@)

Çizelge 3.2. Ana Kontrol Ünitesinden gönderilen durum kodları

ANA KONTROL ÜNİTESİNDEN GÖNDERİLEN DURUM KODLARI						
DURUM	ASCII KOD	TRAFİK IŞIKLARININ DURUMU				
		SENS_1	SENS_2	SENS_3	SENS_4	YAYA
BAĞLANTI TEST	80 (P)	-	-	-	-	-
HEPSİ SÖNÜK	89 (Y)	Sönük	Sönük	Sönük	Sönük	Sönük
FLASH	90 (Z)	S	K	S	K	K
1	65 (A)	K	K	K	K	Y
2	66 (B)	K S	K	K	K	K
3	67 (C)	Y	K	K	K	K
4	68 (D)	S	K	K	K	K
5	69 (E)	K	K S	K	K	K
6	70 (F)	K	Y	K	K	K
7	71 (G)	K	S	K	K	K
8	72 (H)	K	K	K S	K	K
9	73 (I)	K	K	Y	K	K
10	74 (J)	K	K	S	K	K
11	75 (K)	K	K	K	K S	K
12	76 (L)	K	K	K	Y	K
13	77 (M)	K	K	K	S	K
14	78 (N)	K	K	K	K	K

S: Sarı Işık K: Kırmızı Işık K S: Kırmızı-Sarı Işık Birlikte Y:Yeşil Işık

3.1.2.2.1. PIC16F877A – Tanımlamalar

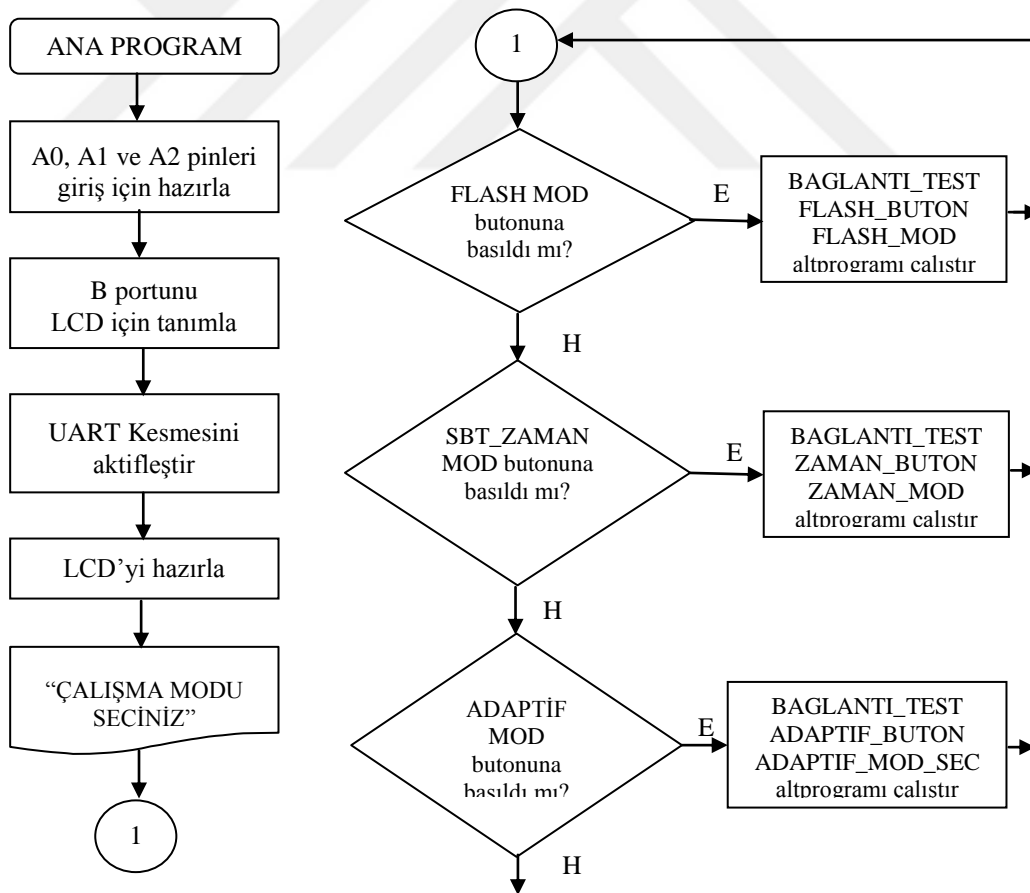
Programda 16F877A.h, string.h, lcd4x20.c kütüphanelerinden faydalanılmıştır. Kodların tanımlamalar bölümünde aygıt ayarları, UART haberleşme protokolüne ait konfigürasyonlar, LCD ve buton tanımlamaları ile program içerisinde kullanılan değişkenlere ait tanımlamalar yer almaktadır. Ana Kontrol Ünitesinin yazılımında tanımlamalar bölümüne ait PIC kodları Ek.1’de verilmiştir.

3.1.2.2.2. PIC16F877A – Ana Program

16F877A mikrodnetleyicine ait ana programın işlevleri şunlardır:

- XBee modül üzerinden haberleşmeyi sağlayacak UART protokolünü etkin hale getirerek TX ve RX pinleri üzerinden veri alış verişi sağlanmıştır.
- B – portu kullanılarak LCD ekrana veri iletimi gerçekleştirilmiştir.
- 16F877A mikrodnetleyicisinin A0, A1 ve A2 pinleri buton işlemleri için kullanılmış olup butonlar vasıtasıyla sistemin çalışma modunun seçimi sağlanmıştır.
- Ana program flaş, sabit zamanlı ve adaptif kontrol modlarından seçilen moda sonsuz döngü ile sürekli çalışmayı sağlamaktadır.

Ana programa ait akış diyagramı Şekil 3.32’de görülmektedir. PIC program kodları ise Ek.2’de verilmiştir.



Şekil 3.32. PIC16F877A Ana programın akış diyagramı

Ana program çalıştırıldığında oluşan LCD görüntüleri Şekil 3.33’de verilmiştir. LCD ekranda “ÇALIŞMA MODU SEÇİNİZ” mesajı belirdikten sonra butonlar yardımıyla istenilen çalışma modu seçilir.



Şekil 3.33. Ana Kontrol Ünitesinin açılışındaki ilk LCD ekran görüntüsü

3.1.2.2.3. Kablosuz Veri Alma Alt Programı

PIC16F877A’nın RX pinine bağlı olan XBee modülünün DOUT pini üzerinden veri gönderme işlemi başlar ise seri kesme fonksiyonu aktifleşerek veri alma işlemi gerçekleşir. Sensörlerden gelen bu veriler Çizelge 3.2.’de verilen durum kodlarıyla karşılaştırılarak hangi sensörden geldiği, hangi işlem ya da durumu belirttiği tespit edilerek ilgili işlemler yürütülür.

Kablosuz veri alma altprogramına ait kodlar Ek.3’de verilmiştir.

3.1.2.2.4. Kablosuz Bağlantı Test Alt Programı

Kablosuz iletişim sistemlerinde bağlantının sağlıklı olarak sağlanması veri iletiminin en başta gelen şartıdır. Tasarlanan trafik kontrol sisteminde düğümler arasındaki bağlantının kopukluğunun tespiti ve sistemin buna tepki vermesi sağlanmıştır. Sistemde bağlantı test işlemi hem Ana Kontrol Ünitesinde hem de Sensör Düğümlerinde yapılmaktadır.

Ana Kontrol Ünitesi, kablosuz bağlantı testi için tüm sensör düğümlerine ASCII (80) kodu gönderir. Dört adet sensör düğümünden bu koda cevap olarak sırasıyla ASCII (49), (50), (51), (52) gelmelidir. Bu cevaplama kodunu gönderemeyen Sensör Düğümü ile Ana Kontrol Ünitesi arasında kablosuz bağlantının koptuğu anlaşılır. Kontrol Ünitesi

test işlemi sonunda bağlantı hatası tespit edilen sensör düğümlerini, LCD ekranda “SNS_X DEVRE DIŞI” şeklinde göstermektedir. Kablosuz bağlantısı kopan sensör düğümü tarafında ise tüm trafik ışıkları flaş yaptırılarak sürücülerin uyarılması sağlanmıştır. Kablosuz bağlantı test alt programına ait PIC kodları Ek.3’de verilmiştir.

Kablosuz bağlantı test programı çalıştırıldığında oluşan LCD görünümlerine örnekler Şekil 3.34’de görülmektedir. Şekil 3.34.(a)’da teste başlama mesajı belirlemekte ve Şekil 3.34.(b)’de ise test işlemi sonucunda bağlantı kurulamayan sensör düğümleri “DEVRE DIŞI” olarak görüntülenmektedir.



Şekil 3.34. (a) Kablosuz bağlantı test ekran görünümü, (b) Bağlantı test sonucu ekran görünümü

3.1.2.2.5. Buton Kontrol Alt Programları

Sistemin çalışma modları flaş modu, sabit zamanlı çalışma modu ve adaptif çalışma modu olmak üzere üç adettir. Ana Kontrol Ünitesinde bu çalışma modlarını seçmek için üç adet buton kullanılmıştır. Butonlar, PIC16F877A’nın A0, A1 ve A2 pinlerine bağlanmıştır. Butonların kontrolüne ait alt program kodları Ek.3’de verilmiştir.

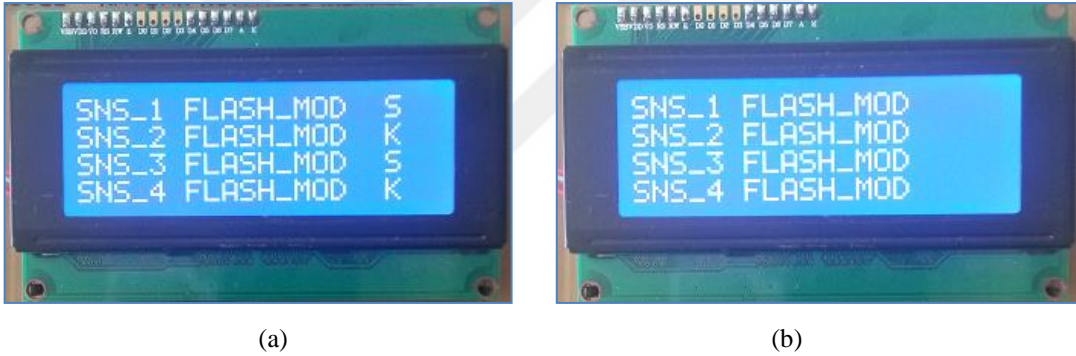
3.1.2.2.6. Flaş Çalışma Modu Alt Programı

Flaş çalışma modu, kavşağa yaklaşan sürücülerini dikkatli olmaları hususunda uyarıcı olarak kullanılır. Sarı flaş ve kırmızı flaş olmak üzere iki çeşittir. Sarı flaş durumunda, araç sürücülerinin yavaş ve dikkatli olmaları ve yayalara geçiş hakkı vermeleri yönünde uyarı için kullanılmaktadır. Kırmızı flaş durumunda araç

sürücülerinin durmaları ve diğer yönler üzerinden gelen araçlara yol vermeleri gerektiğine yönelik uyarı için kullanılmaktadır.

Tasarlanan sistem modelindeki dört kollu kavşakta, karşılıklı kollara kırmızı ve sarı flaş yapılmaktadır. Ana Kontrol Ünitesi 1 sn aralıklarla ASCII (90) kodu göndermektedir. Karşılıklı kollardaki Sensör Düğümleri sarı ve kırmızı trafik ışıklarını yakarlar. 1 sn sonunda ASCII (89) kodu göndererek tüm trafik ışıkları söndürülür. Bu işlem periyodik olarak tekrarlanmaktadır. Flaş modu alt programına ait kodlar Ek.3'de verilmiştir.

Flaş çalışma modu altprogramı çalıştırıldığında, oluşan LCD ekran görüntülerine örnekler Şekil 3.35.'de verilmektedir. Şekil 3.35.(a)'da "FLASH_MOD" mesajının yanında trafik ışıklarının durumu da S – sarı flaş ve K – kırmızı flaş olarak belirtilmektedir. Şekil 3.35.(b)'de trafik ışıklarının durumu boş gözükmekte yani sönmük olarak belirtilmektedir. Bu işlemler 1 sn aralıklarla tekrarlanmaktadır.



Şekil 3.35. Flaş çalışma moduna örnek LCD ekran görüntüleri

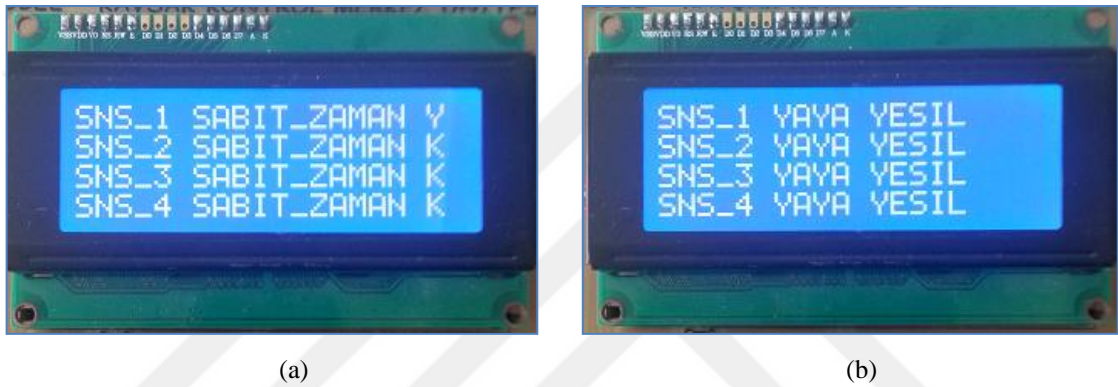
3.1.2.2.7. Sabit Zamanlı Mod Alt Programı

Sabit zamanlı sinyalizasyon sisteminde, kavşaktaki tüm kollara verilecek geçiş hakkı süreleri (yeşil süresi) sabittir ve geçiş hakkı sırayla tüm kollardaki taşıt ve yaya trafiğine verilir. Dolayısıyla bu çalışma modunda, standart trafik ışığı geçişleri döngüsü (kırmızı - kırmızı+sarı - yeşil - sarı - kırmızı) sabit zaman aralıkları ile uygulanmaktadır.

Tasarlanan sistem modelinde, "Sabit Zaman Butonu"na basıldığında, sabit zamanlı çalışma modu seçilir ve Çizelge 3.1.'de 1-17. satırlarda verilen durum kodları, Ana Kontrol Ünitesi tarafından sırayla ve ikişer saniye aralıklarla gönderilmeye başlanır. Durum kodlarını alan Sensör Düğümü, ilgili koda göre uygun trafik ışıklarını

yakar veya söndürür. Bu işlem periyodik olarak tekrarlanır. Sabit zamanlı çalışma modu alt programına ait kodlar Ek.3’de verilmiştir.

Sistem, sabit zamanlı çalışma modunda çalıştırıldığında oluşan LCD görünümlerine örnekler Şekil 3.36’da verilmiştir. Şekil 3.36.(a)’da “SABIT_ZAMAN” mesajı ile birlikte trafik ışıklarının durumu yeşil (Y), kırmızı – sarı (KS), sarı (S) ve kırmızı (K) olarak belirtilmektedir. Sabit çalışma modunda, tüm kollardaki araçlara sırayla yeşil geçiş hakkı verildikten sonra Şekil 3.36.(b)’de görüldüğü gibi tüm kollarda yayalara geçiş hakkı verilmektedir. Bu işlemler periyodik olarak tekrarlanmaktadır.



Şekil 3.36. Sabit zamanlı çalışma modunda örnek LCD ekran görüntüleri

3.1.2.2.8. Araç Algılama/Sayma Alt Programı

Adaptif çalışma modunda, kavşaktan geçiş yapan araçlar her bir kola yerleştirilmiş olan manyetik sensörler tarafından algılandığında gerçek zamanlı ve kablosuz olarak Ana Kontrol Ünitesine bildirilir. Her bir Sensör Düğümü, Çizelge 3.2.’de verilen “Araç Var” ve “Araç Say” verilerine ait durum kodlarını gönderir. Bu kodların karşılığı olarak LCD ekran üzerinde ilgili Sensör Düğümüne ait satırda, “ARAC_VAR” mesajı belirir. Ayrıca o koldan geçen araç sayısı bir artırılarak ilgili kısımda gösterilir. Araç algılanmadığı durumda ise “ARAC_YOK” mesajı belirir. LCD ekran görünümüne örnek Şekil 3.34.’de görülmektedir. Alt programa ait kodlar Ek.3’de verilmiştir.



Şekil 3.37. Adaptif modda araç algılama/sayma işlemine örnek LCD ekran görünümü

3.1.2.2.9. Araç Yoğunluğu Alt Programı

Adaptif çalışma modu seçildiğinde, Sensör Düğümlerinden anlık olarak gelen trafik verileri Ana Kontrol Ünitesinde değerlendirilir. Ana Kontrol Ünitesi bu verileri yaklaşık 2 sn aralıklarla yorumlar. Her değerlendirme anında, dört adet Sensör Düğümünden en az 3 tanesinden “Araç Yok” bilgisi alınmış ise trafik yoğunluğu düşük olarak yorumlanır. Eğer ikiden fazla Sensör Düğümü’nden “Araç Var” bilgisi alınmış ise trafik yoğunluğu yüksek olarak yorumlanır. Araç yoğunluğunu algılama alt programına ait PIC kodları Ek.3’de verilmiştir.

3.1.2.2.10. Adaptif Mod Seçme Alt Programı

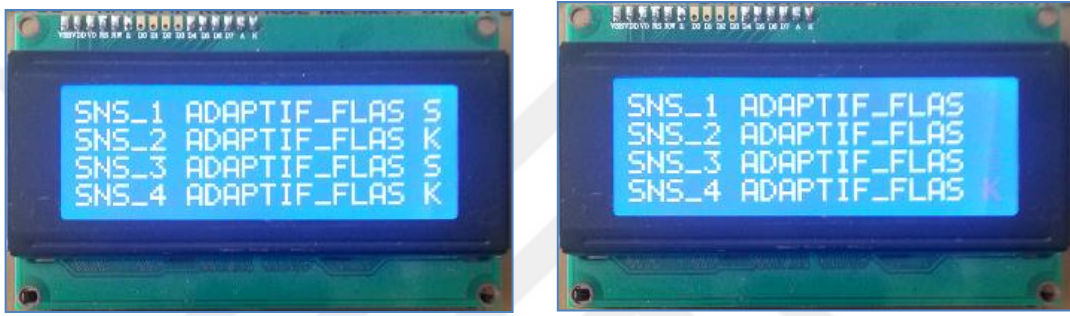
Tasarlanan sistem modelinde “Adaptif Mod Butonu”na basıldığında, adaptif çalışma modu seçilmiş olur. Kavşakta tüm kollarda araç yoğunluğu düşük ise sistem adaptif flaş modunda çalışmaya başlar. Eğer iki veya daha fazla kolda araç yoğunluğu yüksek otomatik olarak adaptif çalışma moduna geçilir. Başka bir çalışma modu seçilinceye kadar bu çalışma modu devam eder. Adaptif mod seçimi alt programına ait kodları Ek.3’de verilmiştir.

3.1.2.2.11. Adaptif Flaş Modu Alt Programı

Adaptif çalışma modunda kavşaktan geçiş yapan araç yoğunluğu düşük ise Adaptif Flaş Modu devreye girer. Karşılıklı kollarda sarı ve kırmızı flaş yapılır. Böylece yoğun olmayan trafikte araçların gereksiz beklemeleri engellenmiş olur. Eğer

kavşaktaki araç yoğunluğu yüksek ise otomatik olarak Adaptif Flaş Modu'ndan çıkılır ve Adaptif Mod'a geçilir.

Sistem Adaptif Flaş Modunda çalışır iken oluşan LCD görünümlerine ait örnekler Şekil 3.38'de verilmektedir. Şekil 3.38.(a)'da LCD ekran üzerinde "ADAPTIF_FLAS" mesajı ile birlikte trafik ışıklarının durumu sarı (S) ve kırmızı (K) biçiminde gösterilir. Şekil 3.38.(b)'de trafik ışıklarının durumu boş gözükmekte yani sönük olarak belirtilmektedir. Bu işlemler 1 sn aralıklarla tekrarlanmaktadır. Adaptif Flaş Modu alt programına ait PIC kodları Ek.3'de verilmiştir.



(a) (b)
Şekil 3.38. Adaptif flaş çalışma modunda örnek LCD ekran görüntüleri

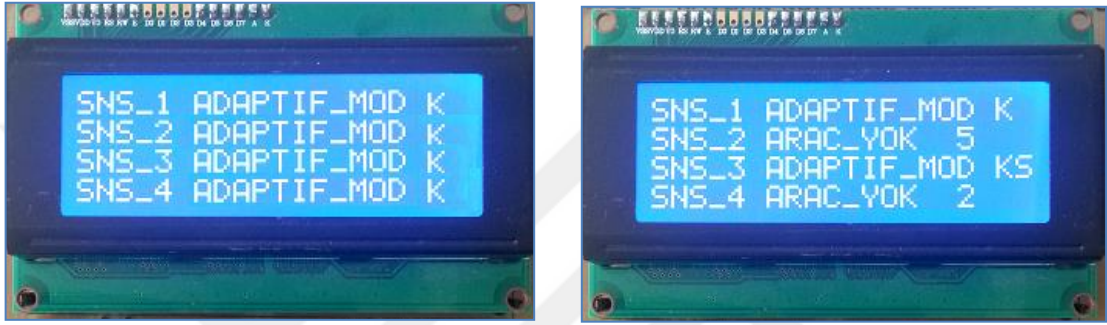
3.1.2.2.12. Adaptif Çalışma Modu Alt Programı

Tasarlanan sistem modeli üzerinde "Adaptif Mod" butonuna basıldığında adaptif çalışma moduna geçilir. Adaptif çalışma modunda, kavşaktaki tüm kollardan gelen araçlar algılanır ve araç yoğunluğuna göre geçiş hakkı verilir. Araç bulunmayan kollara geçiş hakkı verilmez. Sensörlerden gelen verilere göre kavşaktaki trafik ışıklarının zamanlaması sürekli olarak yeniden değerlendirilir. Geçiş hakkı verilen bir kolda, araç yoğunluğu devam ediyorsa yeşil süresi iki kez 3'er saniye olarak uygulanır. Bu durumda diğer kollara kırmızı ışık yakılır. Yeşil süresi sonunda sıradaki diğer kola geçiş hakkı verilir. Böylece istenmeyen, gereksiz bekleme ve gecikmelerin önüne geçilmiş olmaktadır.

Ana Kontrol Ünitesi, Çizelge 3.1.'de verilen 1.-17. satırlardaki, trafik ışıklarının kontrolü ile ilgili durum kodlarını tüm sensör düğümlerine iletir. Bu kodları alan sensör düğümleri ilgili trafik lambasını yakar ya da söndürür. Örneğin, ASCII (67) durum kodu gönderildiğinde 1.Sensör Düğümü'nün bulunduğu kola geçiş hakkı verilir ve yeşil ışık

yakılır. Diğer kollar ise kırmızı ışıklarını yakarlar. Tüm kollardaki araçlara geçiş hakkı verildikten sonra yayalara geçiş hakkı verilir.

Çalışma esnasında tüm işlemler ve durumlar LCD ekran üzerinde görüntülenir. Adaptif moda geçildiğinde LCD ekranda “ADAPTIF_MOD” mesajı ile birlikte trafik ışıklarının durumu ve geçen araç sayısı ilgili kısımda gösterilir. Bu çalışmaya ait örnek bir LCD ekran görünümü Şekil 3.39’da görülmektedir. Adaptif çalışma modu alt programına ait PIC kodları Ek.3’de verilmiştir.



Şekil 3.39. Adaptif Çalışma Modunda örnek LCD ekran görüntüleri

3.1.2.3. Sensör Düğümlerinin Yazılımı

Ana Kontrol Ünitesinde kontrol ve denetleme görevi üstlenen PIC16F88 mikrodenetleyicisine ait kodların hazırlanmasında CCS C PIC derleyicisi kullanılmıştır. PIC16F88 mikrodenetleyicisinin, sistemin çalışma düzeni içerisinde gerçekleştirmesi gereken görevler şunlardır:

- Ana Kontrol Ünitesi ile kurulu olan kablosuz ağ bağlantısını kontrol ederek oluşabilecek bağlantı hatalarını vb. tespit etmek ve ağ bağlantısının sürekliliğini sağlamak,
- Kavşağa giren araçların varlığını tespit eden manyetik algılayıcıdan gelen analog sinyali dijital veriye dönüştürmek,
- Araç varlığı ile ilgili verileri gerçek zamanlı olarak XBee modül üzerinden Ana Kontrol Ünitesi’ne iletmek
- Ana Kontrol Ünitesinden gönderilen trafik sinyalizasyonu için gerekli olan verileri XBee modül aracılığı ile almak

Gelen verilere göre araç ve yayalara ait trafik ışıklarını kontrol ve kumanda etmek.

Sensör düğümünde kullanılan PIC16F88 mikrodenetleyicisi bu temel işlevleri gerçekleştirecek şekilde programlanmıştır. Sensör Düğümleri ile Ana Kontrol Ünitesi arasındaki kablosuz veri iletişiminde ve bağlantı test işlemlerinde Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2.'de verilen ASCII karakterlerden oluşan “durum kod kümesi” kullanılmaktadır. Bu özel kodlar ile sistemde yapılan tüm veri alışverişinin ve test-sorgulama işlemlerinin güvenli şekilde yürütülmesi sağlanmıştır.

Tasarlanan sistemde bulunan dört adet Sensör Düğümünün PIC kodları aynı algoritmaya sahiptir. Ancak Sensör Düğümlerine ait program kodları oluşturulurken Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2.'de verilen her sensör düğümü için farklı ASCII durum kodları kullanılmaktadır.

PIC16F88 mikrodenetleyicisine ait program kodları tanımlamalar, ana program ve alt programlardan oluşmaktadır.

3.1.2.3.1. PIC16F88 – Tanımlamalar

PIC16F88 mikrodenetleyicisine ait PIC programında 16F88.h kütüphanesinden faydalanılmıştır. Tanımlamalar kısmında aygıt ayarları, UART haberleşme protokolüne ait yapılandırmalar, çıkış pinlerinin tanımlamaları ile program içerisinde kullanılan değişkenlere ait tanımlamalar yer almaktadır. Bu tanımlamalara ait PIC kodları Ek.4'de verilmiştir.

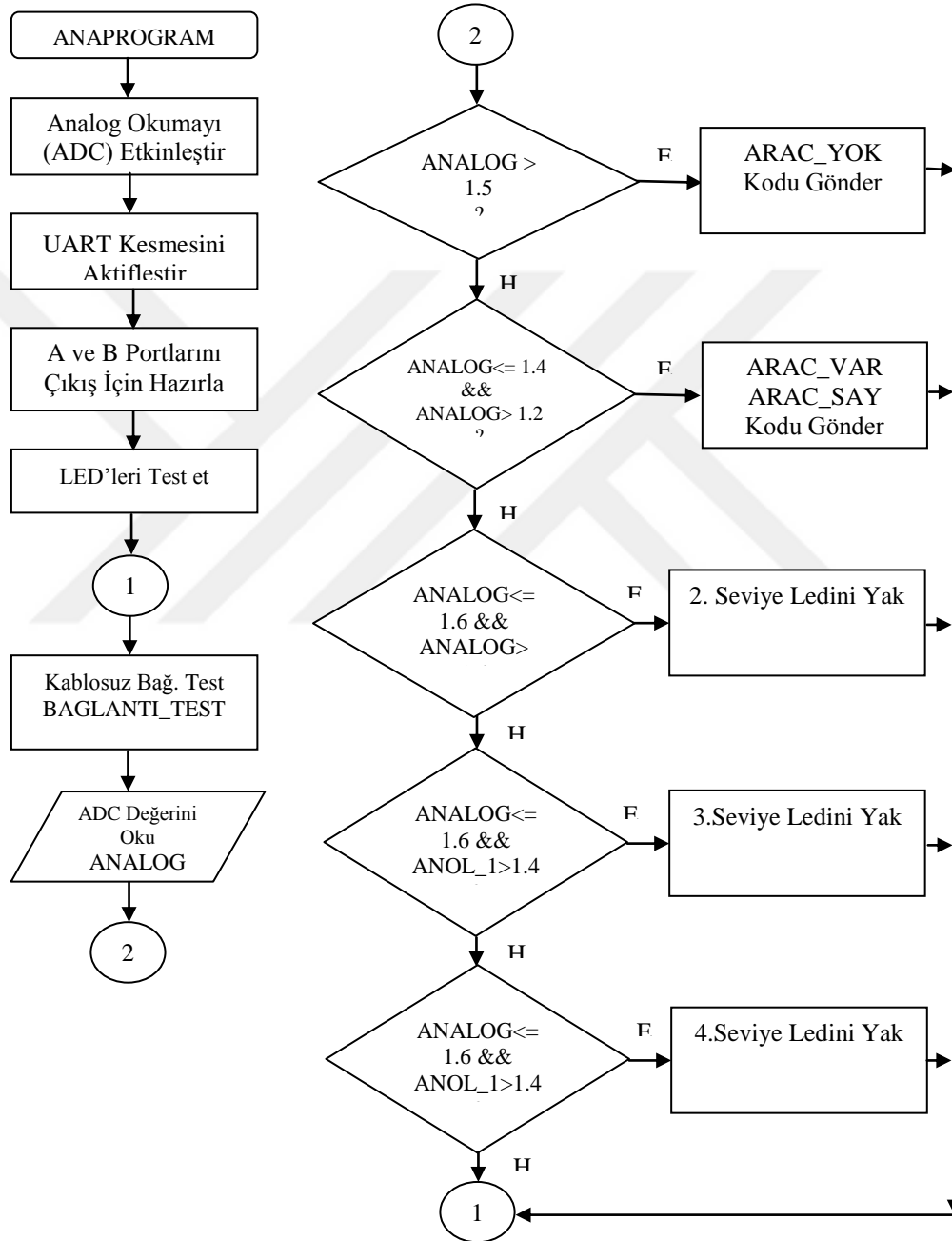
3.1.2.3.2. PIC16F88 – Ana program

PIC16F88 mikrodenetleyicisine ait ana programın işlevleri şunlardır:

- Ana Kontrol Ünitesinden gönderilen kodları Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2.'de verilen durum kodlarını çözümleyerek sistem içerisinde verilen komutları ve işlemleri yürütür.
- XBee modül ile veri alışverişi için UART protokolünü kullanarak RX ve TX pinleri üzerinden kablosuz haberleşmeyi sağlar.
- A – portu ve B0 pini kullanılarak trafik ışıklarını simgeleyen led gruplarının sürülmesi sağlanmıştır.

B – portu (B0 pini hariç) kullanılarak algılama seviye göstergesi olarak kullanılan led gruplarının sürülmesi sağlanmıştır.

Ana programa ait akış diyagramı Şekil 3.40’da, PIC program kodları ise Ek.5’te verilmiştir.



Şekil 3.40. PIC16F88'e ait ana programın akış diyagramı

3.1.2.3.3. Kablosuz Veri Alma Alt Programı

Kablosuz veri alma işlemi, PIC16F88'in RX pinine bağlı olan XBee modülünün DOUT pini üzerinden veri gelmeye başlar ise "seri kesme" aktifleşerek UART protokolü kullanılarak gerçekleşir. Ana Kontrol Ünitesinden gönderilen bu veriler, Çizelge 3.2.'de verilen durum kodlarıyla karşılaştırılarak Sensör Düğümünün hangi işlem yapılması gerektiği ya da hangi durumu belirttiği tespit edilir ve ilgili işlemler yürütülür.

Kablosuz veri alma altprogramına ait PIC kodları Ek.6'da verilmiştir.

3.1.2.3.4. Kablosuz Bağlantı Test Alt Programı

Tasarlanan trafik kontrol sisteminde düğümler arasındaki kablosuz bağlantı sorunlarının tespiti ve sistemin buna tepki vermesi sağlanmıştır. Sistemde bağlantı test işlemi hem Ana Kontrol Ünitesinde hem de Sensör Dğümlerinde yapılmaktadır. Sensör Dğümlerinde, bu test işlemi 5'er sn aralıklarla gerçekleştirilir. Eğer bu süre içerisinde Ana Kontrol Ünitesinden Sensör Dğümlerine bir veri gönderilememiş ya da veri alımı gerçekleştirilememiş ise kablosuz bağlantının koptuğu anlaşılmaktadır. Kablosuz veri iletişimde sorun olan Sensör Düğümünde tüm trafik ışıklarının sık aralıklarla flaş yaptırılarak sürücülerin ve yayaların uyarılması sağlanmıştır.

Kablosuz bağlantı test alt programına ait PIC kodları Ek.6'da verilmiştir.

3.1.2.3.5. Araç Var/Yok/Say Alt Programı

Kavşaktan geçiş yapan araçlar, her bir kola yerleştirilmiş olan manyetik sensörler tarafından algılandığında gerçek zamanlı ve kablosuz olarak Ana Kontrol Ünitesine bildirilir. Buna göre her araç geçişi sırasında her bir Sensör Düğümü Çizelge 3.2.'de verilen "Araç Var", "Araç Yok" ve "Araç Say" verilerine ait durum kodlarını gönderir. Örneğin; 1. Sensör Düğümü, araç tespit edilmiş ise ASCII (53) – Araç Say ve ASCII (54) – Araç Var kodlarını, araç tespit edilmemiş ise ASCII (55) – Araç Yok kodunu gönderir.

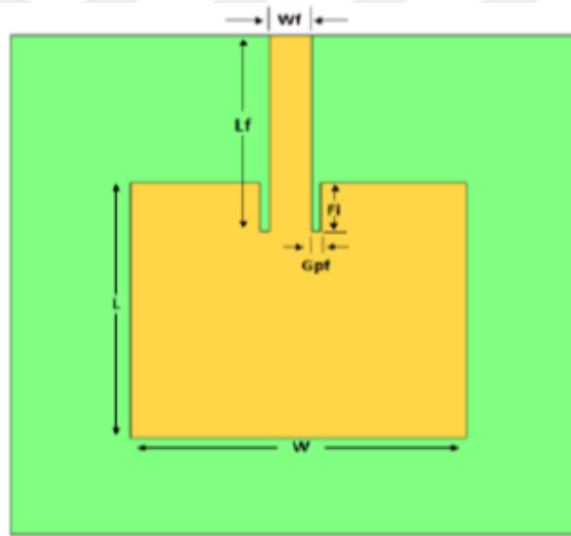
Araç algılama alt programına ait PIC kodları Ek.6'da verilmiştir.

3.2. Mikroşerit Antenin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi

Çalışmanın bu bölümünde Zigbee aygıtları ile uyumlu çalışabilecek bir mikroşerit anten tasarımı sunulacaktır. Antenin dikdörtgen yama boyutlarının, besleme hattının ve diğer parametrelerin optimize edilmesiyle en uygun tasarım yapılarak antenin üretimi gerçekleştirilecektir.

3.2.1. Anten Tasarımı İçin Fiziksel Parametreler

Tasarlanacak antenin geometrisi için gömülü (inset fed) mikroşerit beslemeli dikdörtgen yama formu seçilmiştir. Bu besleme tekniğinin ve antenin tasarımı ve üretim süreci oldukça kolaydır. Tasarlanan antenin yapısı Şekil 3.41’de görülmektedir.



Şekil 3.41. Tasarlanan antenin fiziksel parametreleri

Anten tasarımında öncelikle antenin rezonans frekansı ve antenin üretileceği dielektrik malzeme belirlenmelidir. Bu tasarım için antenin rezonans frekansı olarak $f_r = 2.44$ GHz olarak belirlenmiştir. Bu frekans Zigbee aygıtların çalışma bandı olan 2.40 – 2.48 GHz’nin orta bölgesidir. Dielektrik malzeme olarak FR4 seçilmiştir. Seçilen malzemenin dielektrik tanjant kaybı $\tan\delta = 0.019$, taban yüksekliği $h = 1.58$ mm ve dielektrik sabiti $\epsilon_r = 2.2$ ’dir. Bu değerler için tasarlanacak mikroşerit antenin fiziksel parametreleri, iletim hat modeli kullanılarak aşağıda verilen formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

Efektif dielektrik sabiti ϵ_{eff} , aşağıda verilen (3.1) formülü ile bulunur.

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} \quad (3.1)$$

Dikdörtgen yamanın genişliği W , aşağıda verilen (3.2) formülü ile bulunur.

$$W = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3.2)$$

Dikdörtgen yamanın uzunluğu L , aşağıda verilen (3.3) formülü ile bulunur.

$$L = L_{eff} - 2 \Delta L \quad (3.3)$$

Burada;

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.4)$$

$$\Delta L = 0.412 h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{eff} + 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (3.5)$$

Antenin toprak düzleminin uzunluğu L_g , aşağıda verilen (3.6) formülü ile bulunur.

$$L_g = 6h + L \quad (3.6)$$

Antenin toprak düzleminin uzunluğu W_g , aşağıda verilen (3.7) formülü ile bulunur.

$$W_g = 6h + W \quad (3.7)$$

Besleme hattının boyu L_f , aşağıda verilen (3.8) formülü ile bulunur.

$$L_f = \frac{\lambda_0}{4\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.8)$$

Besleme hattının genişliği W_f , aşağıda verilen (3.9) formülde $Z_f = 50 \Omega$ alınarak bulunur.

$$Z_f = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}} \left[\frac{W_f}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W_f}{h} + 1.444 \right) \right]} \quad (3.9)$$

Burada dalgaboyu;

$$\lambda = c/f_0 \quad (3.10)$$

olarak verilir.

G_{pf} , (3.11) formülü ile bulunur.

$$G_{pf} = \frac{4.65 \cdot 10^{-9} c}{f_0 \sqrt{2\epsilon_{eff}}} \quad (3.11)$$

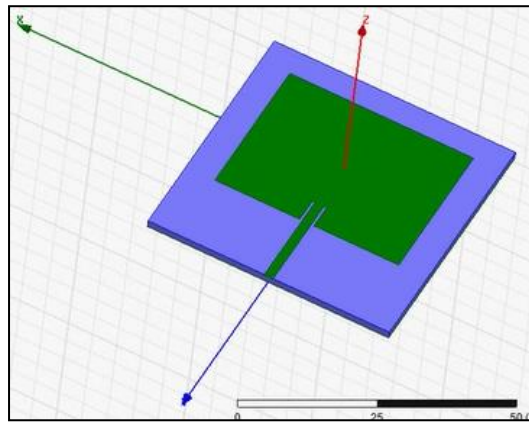
Antenin fiziksel parametre değerleri ile ilgili yapılan hesaplama sonuçları Çizelge 3.3.'de görülmektedir.

Çizelge 3.3. Antenin fiziksel parametreleri

Parametreler	Değer (mm)	Açıklama
W	32	Yamanın Genişliği
L	27	Yama Boyu
t	0.06	Bakır Kalınlığı
W_g	50	Toprak Düzlem Genişliği
L_g	53	Toprak Düzlem Boyu
W_f	2	Besleme Hattı Genişliği
L_f	20	Besleme Hattı Uzunluğu
F_i	4	Besleme Hattı Girintisi
G_{pf}	0,5	Besleme Hattı ile Yama Arasındaki Mesafe

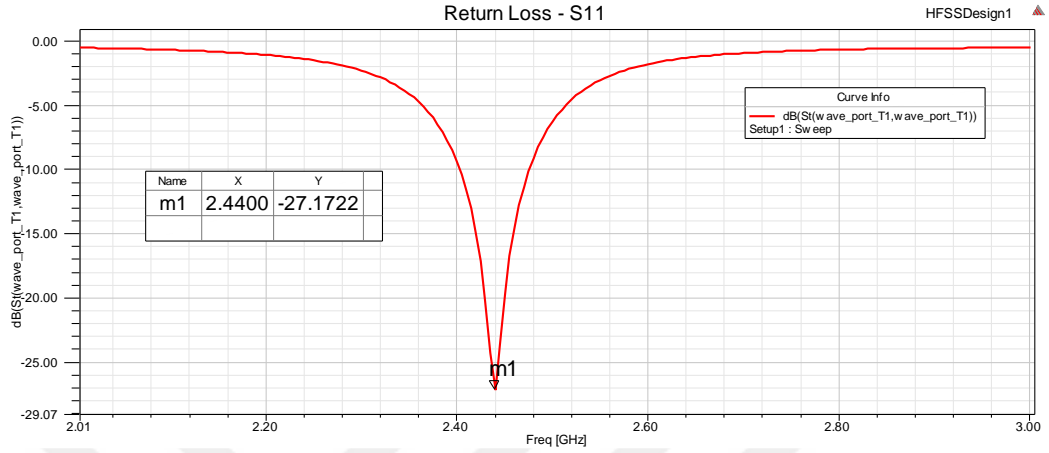
3.2.2. Antenin Simülasyonu

Antenin, Çizelge 3.3'de verilen fiziksel parametrelere uygun olarak HFSS yazılımında antenin dizaynı yapılmış ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Antenin HFSS tasarım çizimi Şekil 3.42'de gösterilmiştir.

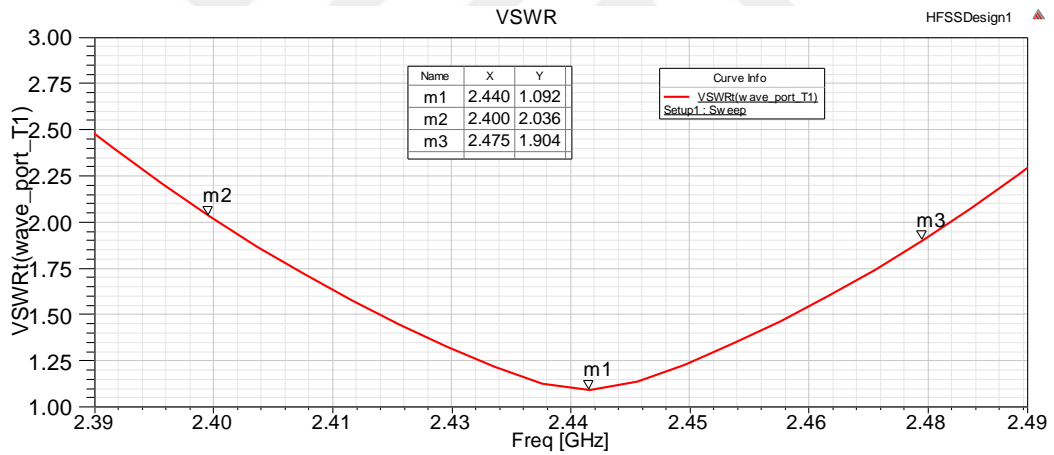


Şekil 3.42. Antenin HFSS yazılımında antenin tasarım görünümü

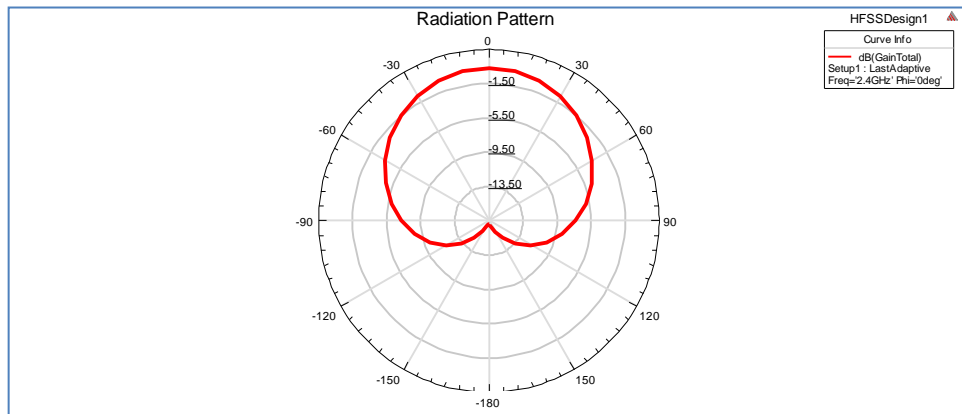
HFSS programında yapılan benzetim sonuçları Şekil 3.43 – 44 – 45 - 46'da görülmektedir. Simülasyon sonuçlarında, geri dönüş kaybı $S_{11} = -27,1$ dB ve duran dalga oranı $VSWR = 1,09$ olduğu görülmüştür.



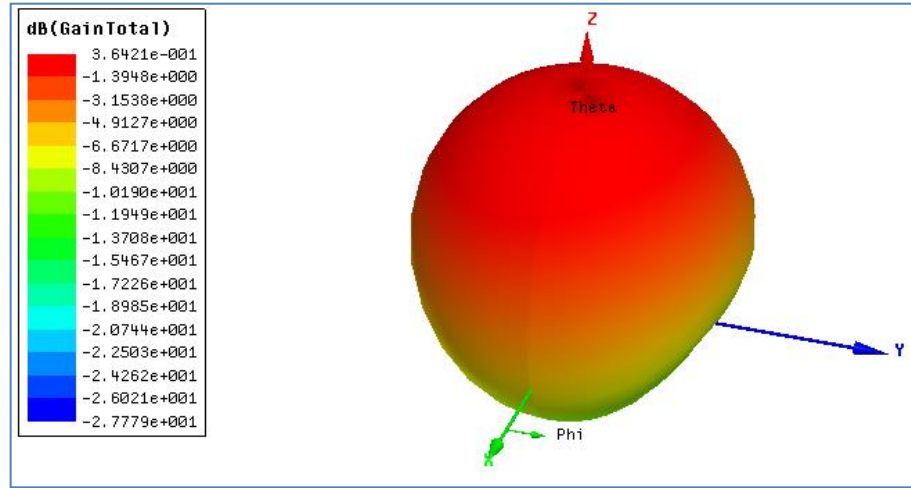
Şekil 3.43. Geri dönüş kaybı (S_{11})



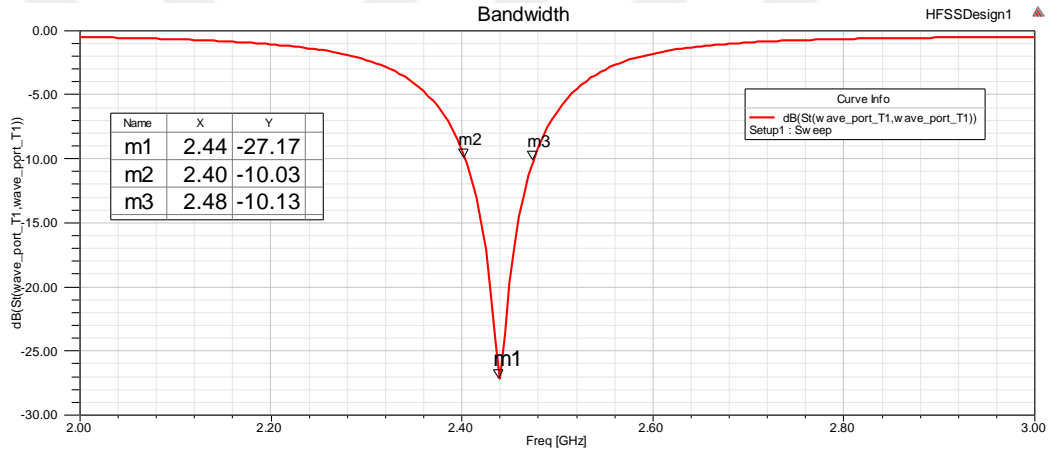
Şekil 3.44. VSWR grafiği



Şekil 3.45. Işıma deseni



Şekil 3.46. 3-D Kazanç grafiği



Şekil 3.47. Band genişliği

Tasarlanan antenin çalışma bandı Şekil 3.47’de görüldüğü gibi 2.40 - 2.48 GHz frekans aralığındadır. 80 megahertz değerindeki bu band genişliği Zigbee çalışma bandını kapsamaktadır.

3.2.3. Antenin Üretim Süreci

Mikroşerit yama antenin, hesaplanan boyutlara uygun olarak Autocad yardımıyla Şekil 3.48’de görülen üst görünüş paterni çizilmiştir. FR-4 malzemesi patern boyutlarına uygun olarak kesilmiştir. Patern, yüksek çözünürlüklü lazer yazıcıdan çıktısı alınarak ütüleme yöntemiyle FR4 üzerine aktarılmıştır.

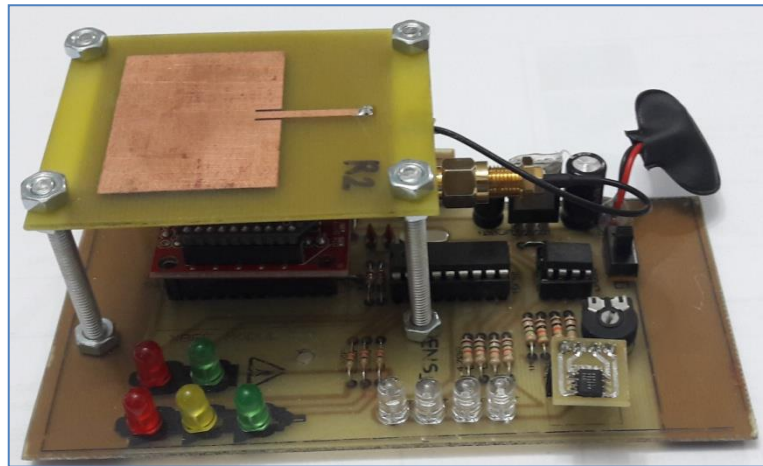


Şekil 3.48. Antenin üst görünüş paterni

Anten plakası, patern dışında kalan bakır bölgelerden arındırmak için asite konulmuştur ve uygun süre bekletilerek yama kısmı dışındaki bakır bölgeler eritilmiştir. Antenin besleme noktası, SMA-dişi konnektörle birleştirilerek anten üretimi tamamlanmıştır. Antenin son şekli Şekil 3.49'da, sensör düğümü üzerine yerleşimi de Şekil 3.50'de görülmektedir.



Şekil 3.49. Üretimi yapılan antenin üstten görünüşü



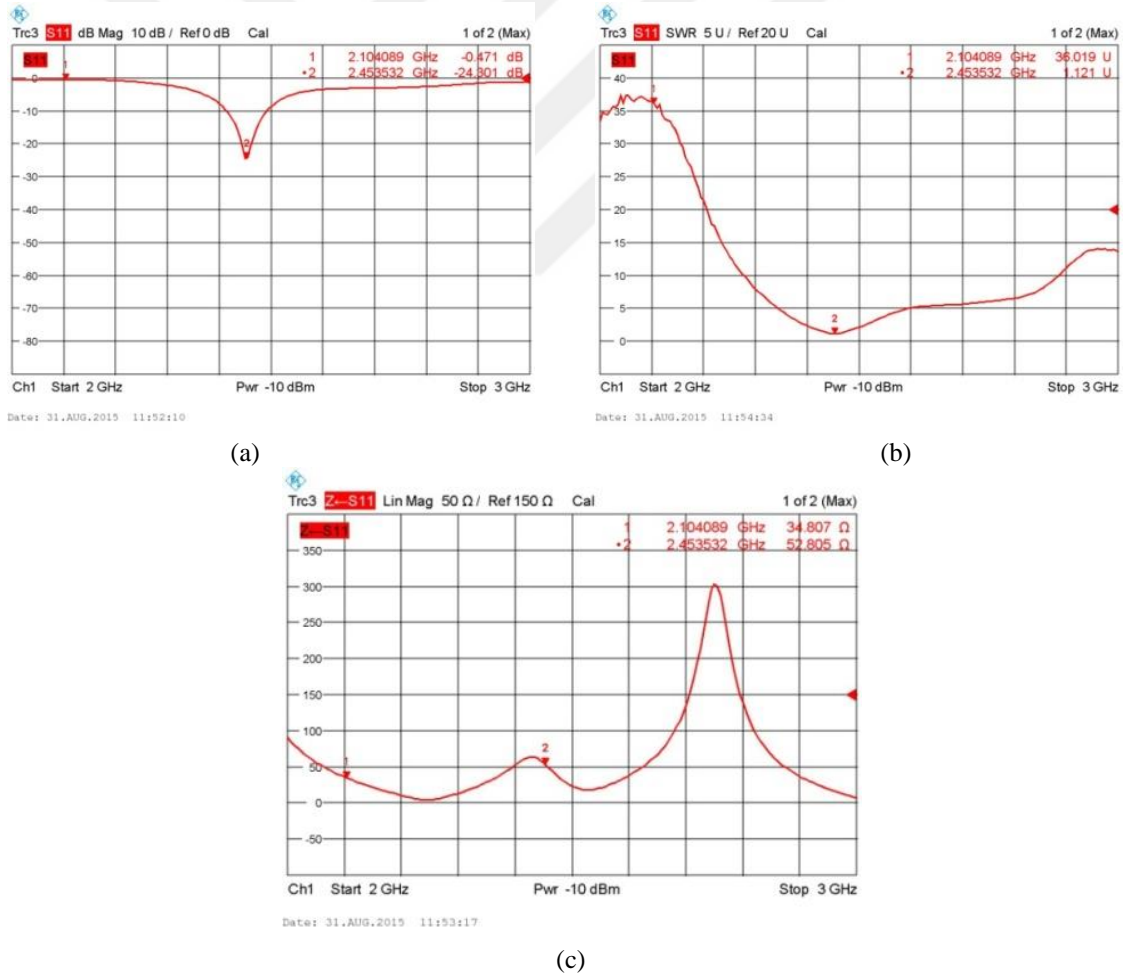
Şekil 3.49. Antenin sensör düğümü üzerine yerleşimi

4. UYGULAMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Antenin Ölçüm Sonuçları

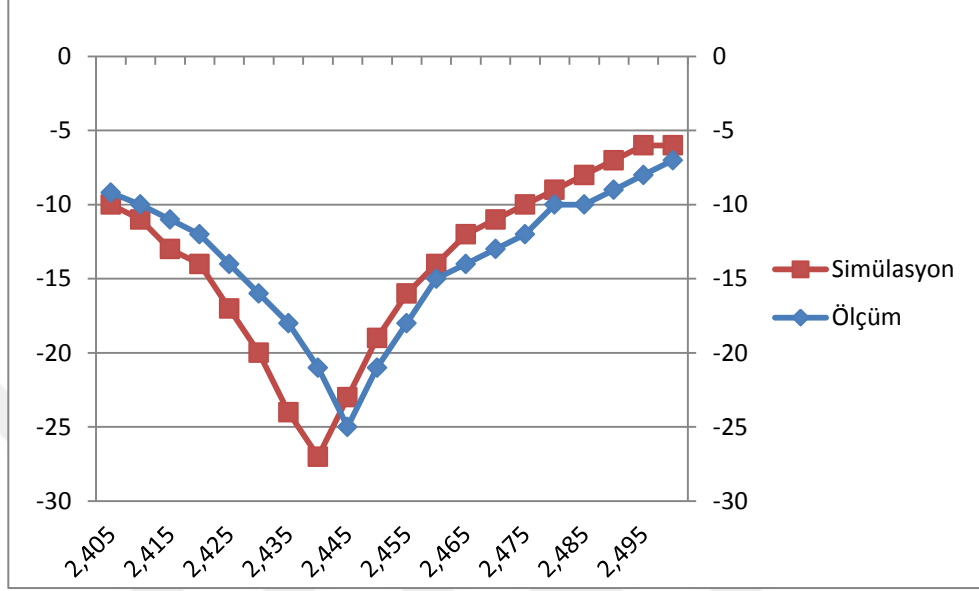
Network analizör cihazından alınan ölçüm sonuçlarına göre rezonans frekansının 2.45 GHz'de ve diğer parametrelerin de optimize olduğu görülmüştür. Ölçüm sonuçlarında, geri dönüş kaybı $S_{11} = -24.3$ dB, duran dalga oranı $VSWR = 1.121$ ve empedans $Z = 50 \Omega$ olduğu gözlenmiştir. Sonuç grafikler Şekil 4.1'de görülmektedir.

Tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiş olan gömülü beslemeli dikdörtgen mikroşerit antenin Zigbee için uygun olan 2.45 Ghz frekansında ışımaya yaptığı görülmüştür.



Şekil 4.1. Network analizör test sonuçları, (a) S_{11} , (b) VSWR, (c) Empedans

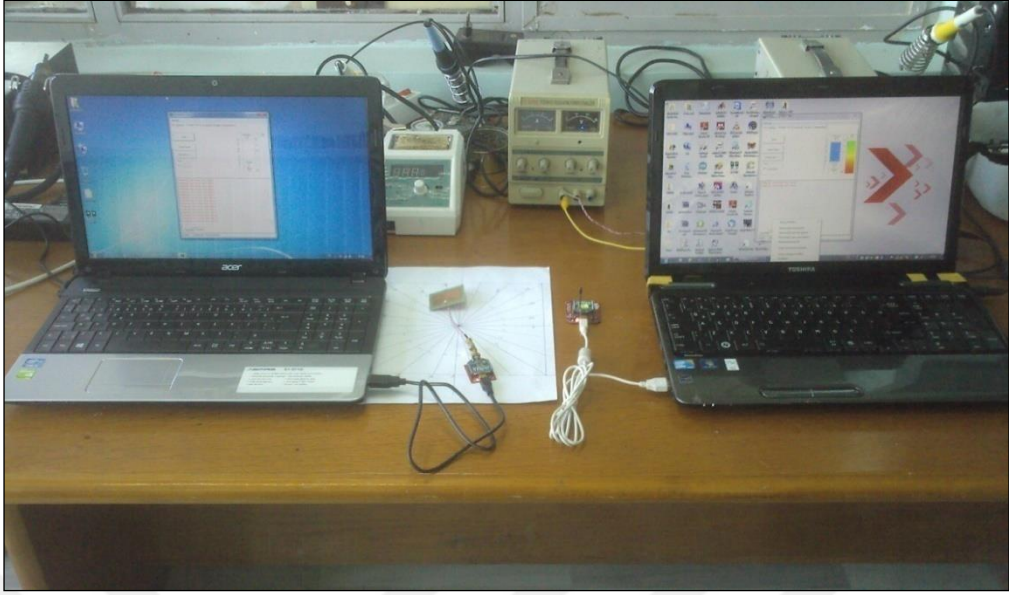
Geri dönüş kaybı S_{11} 'in test sonuçları ile simülasyondan elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında oldukça yakın sonuç elde edilmiştir. Bu durum Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2. Simülasyon ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması (S_{11})

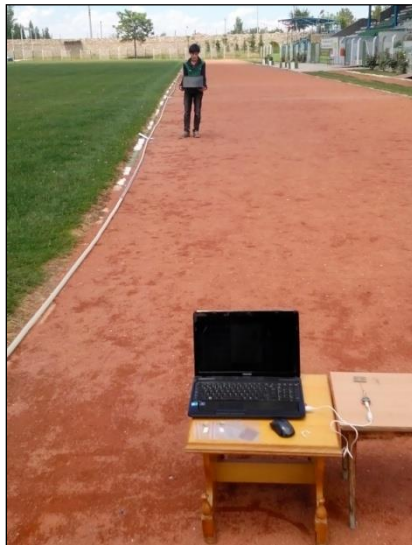
4.2. Antenin Mesafe Testi

Tasarlanan sistemde kullanılan XBee modüllerin mesafe test çalışmaları için Resim 4.1.'de görülen düzenek oluşturulmuştur. Test düzeneğinde iki adet dizüstü bilgisayar ile bunlara bağlı iki adet XBee USB bağdaştırıcı, bir adet tel antenli XBee modül, bir adet PCB antenli modül, bir adet SMA çıkışlı modül kullanılmıştır. Mesafe testinin yapılışı ile ilgili detaylar Bölüm 3.1.2.1.6'da verilmiştir.



Resim 4.1. Mesafe ölçümü için test düzeneği

Açık alanda yapılan test çalışmasında tel antenli XBee modülün bağlı olduğu dizüstü bilgisayar Çizelge 4.1’de verilen mesafelere sırayla konuşlandırılmıştır. Resim 4.2.’de görüldüğü gibi diğer dizüstü bilgisayar ise sabit tutulmuş olup PCB antenli XBee modül ile tasarlanmış olan mikroşerit antenler SMA çıkışlı modüle sırayla bağlanarak test işlemi gerçekleştirilmiştir. Dış ortamda yapılan bu test çalışmasında tasarlanmış olan mikroşerit anten ile Xbee modüle bütünleşik olan standart PCB anten karşılaştırılmıştır. Elde edilen mesafe testi verileri Çizelge 4.1’de verilmiştir.



Resim 4.2. Mesafe test çalışmaları

Anten için maksimum iletişim mesafesi 70 metre olarak ölçülmüştür. Bu mesafe aşıldığında kablosuz bağlantının kesildiği gözlemlenmiştir.

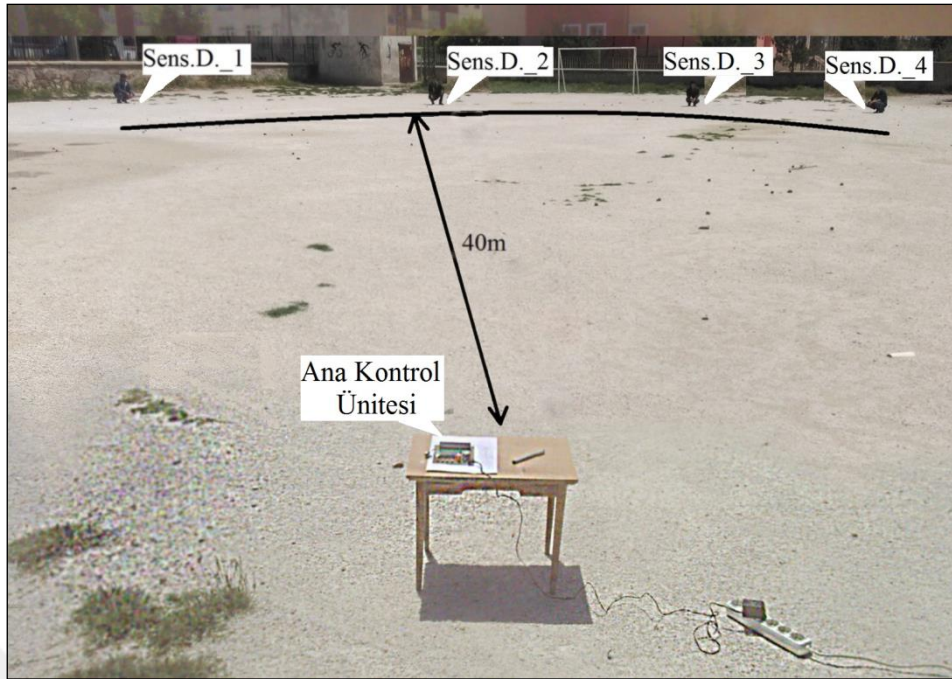
Çizelge 4.1. Mesafe test sonuçları

MESAFE (m)	RSSI (dBm)	
	Tasarlanan Anten	Standart PCB Anten
10	-73	-65
20	-70	-70
30	-84	-72
40	-86	-75
50	-91	-77
60	-92	-82
70	-93	-83
80	*	*
90	*	*
100	*	*

(*) Kablosuz bağlantı kesilmiştir.

4.3. Sistemin Başarım Testi

Açık alanda yapılan bu test çalışmasında, sistemin tüm çalışma modları denenmiş olup veri iletim başarımı ve manyetik araç algılama başarım testi gerçekleştirilmiştir. Resim 4.3’de görüldüğü gibi bu test için dört adet Sensör Düğümü, Ana Kontrol ünitesinden 40 metre uzaklığa konuşlandırılarak her bir üniteye bir kişi görevlendirilmiştir ve testte uygulanacak farklı senaryolar için Sensör Düğümlemleri gözlemlenmeleri istenmiştir.



Resim 4.3. Sistemin açık alanda başarımlı testi

Testin ilk aşamasında ve çalışma modları ve kablosuz bağlantı testi yapılmıştır. Bu amaçla test süresince görevli kişilerden, farklı çalışma modlarında trafik ışıklarını takip etmeleri ve uyumsuz çalışma durumlarını not etmeleri istenmiştir. Bu arada Ana Kontrol Ünitesi'nde görüntülenen ve iletilen veriler anlık olarak kontrol edilmiştir. Elde edilen veriler Çizelge 4.2'de verilmiştir. Test sonucunda hiçbir üniteye hatalı ve uyumsuz çalışma tespit edilmemiş ve %100 başarı ile sonuçlanmıştır.

Çizelge 4.2. Çalışma modları ve kablosuz bağlantı testi sonuçları

TESTLER	ANA KONTROL ÜNİTESİ	SENSÖR DÜĞÜMÜ_1	SENSÖR DÜĞÜMÜ_2	SENSÖR DÜĞÜMÜ_3	SENSÖR DÜĞÜMÜ_4
Bağlantı Testi	+	+	+	+	+
Flaş Modu	+	+	+	+	+
Sabit Zamanlı Mod	+	+	+	+	+
Adaptif Flaş Modu	+	+	+	+	+
Adaptif Mod	+	+	+	+	+

+ : Başarılı - : Başarısız

Testin ikinci aşamasında adaptif çalışma modunda 2 farklı senaryo uygulanmıştır. Trafikte bir kavşaktan geçen araçları sembolize etmek için metal cisimler kullanılarak, bir dakikalık süre içerisinde Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’de verilen sayılarda olmak üzere araçları manyetik sensörlere rastgele zaman aralıklarıyla yaklaştırılması istenmiştir. Farklı yoğunlukta araç geçişi senaryolarını gerçekleştirmek üzere farklı sayıda araç sayıları belirlenmiştir. Verilen süre sonunda Sensör Düğümlerinden gelen veriler Ana Kontrol Ünitesi üzerinden kontrol edilmiştir. Araçların algılanması ve verilerin Ana Kontrol Ünitesine iletilmesi ile ilgili test verileri Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’de görülmektedir.

Çizelge 4.3. Senaryo 1’de araçların algılanması ve verilerin iletilmesi ile ilgili test sonuçları

1. SENARYO	TEMSİLİ ARAÇ SAYISI	ALGILANAN ARAÇ SAYISI	ALGILAMA HATA ORANI (%)	GELEN VERİ (Araç Sayısı)	GELEN VERİ HATA ORANI (%)
SENSÖR DÜĞÜMÜ_1	10	10	0	10	0
SENSÖR DÜĞÜMÜ_2	20	20	0	20	0
SENSÖR DÜĞÜMÜ_3	0	0	0	0	0
SENSÖR DÜĞÜMÜ_4	25	25	0	25	0

Çizelge 4.4. Senaryo 2’de araçların algılanması ve iletilmesi ile ilgili test sonuçları

2. SENARYO	TEMSİLİ ARAÇ SAYISI	ALGILANAN ARAÇ SAYISI	ALGILAMA HATA ORANI (%)	GELEN VERİ (Araç Sayısı)	GELEN VERİ HATA ORANI (%)
SENSÖR DÜĞÜMÜ_1	20	20	0	20	0
SENSÖR DÜĞÜMÜ_2	5	5	0	5	0
SENSÖR DÜĞÜMÜ_3	15	15	0	15	0
SENSÖR DÜĞÜMÜ_4	35	35	0	35	0

4.4. Tartışma

Tasarlanan mikroşerit antenin HFSS’de yapılan simülasyon sonuçları ile laboratuvarında spektrum analizör ile elde edilen ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında

birbirlerine çok yakın oldukları gözlenmiştir. Tasarlanan antenin ölçüm ve simülasyon sonuçları; empedans, geri dönüş kaybı, bant genişliği ve kazanç değerleri açısından yeterli performansa sahip olduğu ve Zigbee aygıtları ile uyumlu olarak çalışabileceğini göstermektedir.

Antenin, mesafe testi sonucunda güvenli iletişim mesafesi 70 m civarında ölçülmüştür. Mikroşerit antenin performansının standart PCB anten performansına yakın olduğu görülmüştür. Bu mesafenin ise tasarlanan Adaptif Trafik Kontrol Sistemi için yeterli bir mesafe olduğu düşünülmektedir.

Tasarlanan Zigbee Tabanlı Adaptif Trafik Kontrol Sisteminin başarımm teslerinde 2 ayrı senaryo gerçekleştirilmiştir. Veriler değerlendirildiğinde tüm çalışma modlarında Ana Kontrol ünitesinin gönderdiği verilerin %100 doğrulukla Sensör Düğümlerine iletildiği tespit edilmiştir.

Adaptif çalışma modunda uzak noktalardaki sensörlerden gelen bilgiler başarıyla Ana Kontrol Ünitesine iletilmiş ve görüntülenmiştir. Toplanan bu verilere göre Sensör Düğümlerinin Ana Kontrol Ünitesinde kontrol edilebilmesi sağlanmıştır. Test içerisinde adaptif çalışma modunda farklı 2 adet senaryo uygulanmış olup araç algılama ve kablosuz veri aktarımının %100 doğrulukta gerçekleştiği görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Yapılan bu tez çalışmasında modern kablosuz iletişim teknolojileri, antenler, ağ teknolojileri, algılayıcılar ve mikrodenetleyiciler kullanılarak güncel bir probleme çözüm geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda Zigbee Tabanlı Kablosuz Sensör Ağı Sistemi kurularak bu altyapıyı kullanan Adaptif Trafik Kontrol Sistemi ile bu sistemle uyumlu bir mikroşerit anten tasarlanmış başarı ile gerçekleştirilmiştir.

Zigbee ağ bileşenleri arasında kablosuz veri aktarımı %100 başarı ile sağlanmıştır. Sensör Dğümlerinde kullanılan manyetik sensörlerle araç algılamada %100 başarı sağlanmıştır.

Zigbee tabanlı olarak tasarlanan bu sistemde Xbee modüllerin RF kapasitesi mesafesi içinde sisteme ek sensör dğümleri dâhil edilerek sistemin rahatlıkla genişletilebileceği ve ZigBee tabanlı kablosuz ağ sistemlerinde yeni cihaz ekle/çıkarmasının diğer teknolojilere göre oldukça kolay ve zahmetsiz olduğu görülmüştür. Etki alanı ve bu alanların genişletilmesi açısından alan içindeki cihaz sayısına bakıldığında Zigbee, diğer benzer teknolojilere göre daha tutarlı bir durum sergilediği görülmüştür. .

Ana Kontrol Ünitesi üzerinde bulunan LCD ekranda gerekli görüntüleme ve kontrol işlemleri yapılabilmektedir.

Tasarlanan mikroşerit anten Xbee modüle bağlanarak açık alanda test edilmiştir. Test sonucunda güvenli ve yüksek doğrulukla veri aktarımı yapılabilmek olup antenin Zigbee aygıtlarla uyumlu olduğu görülmüştür.

5.2. Öneriler

- Sensör dğümlerine daha fazla sayıda ve farklı algılayıcılar eklenerek ihtiyaç duyulan başka veriler toplanabilir.
- İşlevsel bir arayüz hazırlanarak gelen sensör bilgileri bilgi çeşidine veya bölgeye göre sınıflandırılıp, görüntüleme ve kontrol işlemleri daha görsel hale getirilebilir.

- Toplanan trafik verileri, çeşitli sinyal işleme teknikleri ve algoritmalar yardımıyla araçların hızı, sınıflandırılması vb. verilere dönüştürülebilir.
- Sisteme eklenecek Zigbee varsayılan ağ geçidi cihazı ile Zigbee modülleriyle alınan verilere internet ortamından da ulaşılabilir.
- Sensör düğümlerine farklı fonksiyonlar da eklenebilir. Örneğin, pil seviye bildirimi vb.
- Bu çalışmada güç harcamasına odaklanılmamıştır. Sadece led lambaların tükettiği enerji diğer bileşenlerin tükettiği enerjiden çok daha fazla olduğundan güç harcamasını düşürme üzerine özel çalışma yapılmamıştır. Ancak ledler dışındaki tüm elemanlar düşük güç harcamasına sahip elemanlardan seçilmişlerdir. Enerji verimliliği konusu başka bir çalışmanın konusu olabilir.
- Etki alanı ve bu alanların genişletilmesi açısından alan içindeki cihaz sayısına bakıldığında ZigBee, diğer benzer teknolojilere göre daha tutarlı bir durum sergilemektedir. Zigbee vb. teknolojilerin sağladığı avantajlarla kablosuz sensör ağları gelecekte daha etkin olarak karşımıza çıkacaktır. Bu konudaki araştırmalar ve çalışmalar hızlanarak devam edecektir.
- Erişilebilirliği, düşük maliyeti ve kullanım kolaylığı ile kullanıcıların ilgisini çekecek bir teknoloji olan kablosuz sensör ağları, gelecekte yenilenebilir enerji kaynakları ile daha uzun pil ömrü ve gelişen sensör teknikleri sayesinde, kendisine daha fazla kullanım alanı bularak gündelik hayatta ve endüstriyel alanlarda araştırmacı ve girişimcilerin dikkatini çekecektir.
- Dünyada pek çok ülke trafik sorunun çözümüne yönelik birincil yöntem olarak Akıllı Ulaşım Sistemlerinin yaygınlaştırılmasını gündemine almıştır. Bu da ancak tercih edilecek algılama ve izleme teknolojilerine bağlıdır. Önümüzdeki dönemde daha da önem kazanacak bu konu araştırmacılar için yeni ufuklar açacaktır.

KAYNAKLAR

- Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., Cayirci, E., Mart 2002, Wireless Sensor Networks-A Survey, *Elsevier Computer Networks*, Vol. 38, 393-422.
- Cheung S.Y.; Varaiya P., 2007, Traffic Surveillance by Wireless Sensor Networks: Final Report, UCB-ITS-PRR-2007-4, California PATH Research Report, *California Path Program Institute Of Transportation Studies University Of California*, Berkeley.
- Cheung, S.Y., Coleri, S., Dündar, B., Ganesh, S., Tan, C. and Varaiya, P., 2003, Traffic measurement and vehicle classification with a single magnetic sensor, *Journal of the Transportation Research Board*, CA 94720-1770, USA, 4-9.
- David Schrank, Tim Lomax, 2005 Urban Mobility Report, Texas Transportation Ins. The Texas A&M University System, 2005, <http://mobility.tamu.edu/ums/report/>
- E. Ferro and F. Potorti, Feb. 2005, Bluetooth and Wi-Fi wireless protocols: A survey and a comparison," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 12, no. 1, pp. 12-16.
- G. Sharma, D. Sharma and A. Katariya (2012) An Approach to Design and Optimization of WLAN Patch Antennas for Wi-Fi Applications. *IJECCT*,18-23.
- <http://pems.eecs.berkeley.edu/> [Ziyaret Tarihi: 10 Aralık 2012]
- <http://www.honeywell.com/magnetic/datasheet/magsen.pdf>, [Ziyaret Tarihi: 5 Ocak 2014]
- J. Palen, 1997, The Need For Surveillance in Intelligent Transportation Systems, Part II, *Intellimotion, Volume 6, Number 2*, California PATH,U.S.
- Karasulu, B.; Toker, L.; Korukoğlu, S., 2009, ZigBee - IEEE 802.15.4 Standartı Temelli Kablosuz Algılayıcı Ağları, *XIV. Türkiye'de İnternet Konferansı - Inet-tr'09*, İstanbul.
- Karl, H.; Willig, A., 2005, Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks, John Wiley & Sons Ltd., Sussex UK.
- Klein, L. A., 2001, Data Requirements and Sensor Technologies for ITS, *Artech House* Norwood, MA.
- Knaian, A.N, 2000, A wireless sensor network for smart roadbeds and intelligent transportation systems. M.S. thesis. *Department of Electrical Engineering and Computer Science, MIT*, Cambridge, MA.
- MacCarley C.A., S. Hockaday, D. Need, S. Taff, 1992, Evaluation of Video Image Processing Systems for Traffic Detection, *Transportation Research Record No. 1360, National Research Council*, Washington D.C.,

- MICA2DOT *Crossbow Technology*, , <http://www.xbow.com/>, [Ziyaret Tarihi: 14 Kasım 2014].
- Mirchandani, P., Head, L., 2001. A real-time traffic signal control system: architecture, algorithms and analysis. *Transportation Research Part C* 9, 415–432.
- National ITS Architecture Documents: Executive Summary; 2003, *U.S Department of Transportation*,” EDL #5388, U.S. Government Printing Office.
- Öztürk, N., 2006, Akıllı trafik sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 29-35.
- R. A. El-adl, ve ark. (2012), "An arrow shaped printed antenna for ZigBee applications," *Proceedings of the 2012 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation*, Chicago, IL, 2012, pp. 1-2.
doi: 10.1109/APS.2012.6349184
- Raja Rashidul Hasan ve ark. (2015), “Designing and Analysis of Microstrip Patch Antenna for Wi-Fi Communication System Using Different Dielectric Materials” *American Journal of Engineering Research (AJER)*, Volume-4, Issue-10, pp-118-126.
- S. Srivastava, D. Somwanshi (2016), “Design and Analysis of Rectangular Microstrip Patch Antenna for ZigBee Applications” , *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887), Volume 134 – No.6, January 2016.
- Sensys Networks, Inc., 2007, The Sensys wireless vehicle detection system, System Overview, Berkley, CA,.
- TL-4935 Data Sheet, *Tadiran U.S. Battery Division*, 2 Seaview Blvd., Port Washington, NY.
- Wilbur, A., 2006, Traffic detector handbook, Third Edition—Volume I, *Research, Development, and Technology Turner-Fairbank Highway Research Center*, U.S.
- Yılmaz, Ö., Ağustos 2012, Karayolu Ulaşımında Akıllı Ulaşım Sistemleri, Uzmanlık Tezi, *Bilgi Toplumu Dairesi, T.C. Kalkınma Bakanlığı*, Ankara.
- ZigBee Alliance, 2006,ZigBee Specification, *ZigBee Standards Organization*, San Ramon, CA.

EKLER**EK-1 PIC16F877A KODLARI – TANIMLAMALAR**

```

#include <16F877A.h>
#device ADC=10
#FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES NOBROWNOUT     //No brownout reset
#FUSES NOLVP           //No low voltage prgming, B3(PIC16) or B5(PIC18) used
for I/O
#use delay(crystal=8000000)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8,STOP=1)
#include <MERKEZ_1.h>
#include <string.h>
#use fast io(a)
//===== LCD Tanımlama =====
#define E    PIN_B3
#define RS   PIN_B2
#define D4   PIN_B4
#define D5   PIN_B5
#define D6   PIN_B6
#define D7   PIN_B7
#include <lcd4X20.c>
LCD_HAZIR();
//===== Buton Tanımlama =====
#define BUT_FLASH PIN_A0
#define BUT_ZAMAN PIN_A1
#define BUT_ADAPTIF PIN_A2
//===== Değişken Tanımlama =====
int data;
int SNS1_TEST=0;
int SNS2_TEST=0;
int SNS3_TEST=0;

```

```
int SNS4_TEST=0;
int BAGLANTI_BAK=0;
int16 SNS1_SAY=0;
int16 SNS2_SAY=0;
int16 SNS3_SAY=0;
int16 SNS4_SAY=0;
int SNS1_ARAC=0;
int SNS2_ARAC=0;
int SNS3_ARAC=0;
int SNS4_ARAC=0;
int ARAC_SAY=0;
int GOSTER=0;
int FLASH=0;
int ZAMAN=0;
int ADAPTIF=0;
```

EK-2 PIC16F877A KODLARI – ANA PROGRAM

```

void main() {
    set_tris_A(0b00000111);
    enable_interrupts(VERI_AL);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    LCD_HAZIR();
    KONUM(1,2); printf(lcd_putc,("SISTEM BASLATILYOR"));
    delay_ms(200);
    lcd_sil();
    KONUM(1,2); printf(lcd_putc,("  CALISMA MODU  "));
    KONUM(1,3); printf(lcd_putc,("  SECINIZ...  "));
    while(TRUE){
        if (!input(BUT_FLASH)) { // FLASH MODUNU GEÇ
            lcd_sil();
            FLASH=1;
            ZAMAN=0;
            ADAPTIF=0;
            BAGLANTI_BAK=0;
            BAGLANTI_TEST();
        }
        while (FLASH==1){
            FLASH_BUTON();
            FLASH_MOD();
        }
        if (!input(BUT_ZAMAN)) { // SABİT ZAMAN MODUNA GEÇ
            lcd_sil();
            FLASH=0;
            ZAMAN=1;
            ADAPTIF=0;
            BAGLANTI_BAK=0;
            BAGLANTI_TEST();
        }
    }
}

```



```
while (ZAMAN==1){
    ZAMAN_BUTON();
    ZAMAN_MOD();
}
if (!input (BUT_ADAPTIF)) { // ADAPTİF MODUNA GEÇ
    lcd_sil();
    FLASH=0;
    ZAMAN=0;
    ADAPTIF=1;
    BAGLANTI_BAK=0;
    BAGLANTI_TEST();
}
while (ADAPTIF==1){
    ADAPTIF_BUTON();
    ADAPTIF_MOD_SEC();
}
}
}
```

EK-3 PIC16F877A KODLARI – ALT PROGRAMLAR

/ ANA KONTROL ÜNİTESİ PIC16877A Veri Alma Alt Programı ****

```
#VERI_AL
void VERI_AL(void) {
data=getc();
if (data==49) SNS1_TEST=1;      // Sensör_1'den Veri Al
if (data==53) SNS1_SAY++ ;
if (data==54) SNS1_ARAC=1;
if (data==55) SNS1_ARAC=0;
if (data==50) SNS2_TEST=1;      // Sensör_2'den Veri Al
if (data==56) SNS2_SAY++ ;
if (data==57) SNS2_ARAC=1;
if (data==58) SNS2_ARAC=0;
if (data==51) SNS3_TEST=1;      // Sensör_3'den Veri Al
if (data==59) SNS3_SAY++ ;
if (data==60) SNS3_ARAC=1;
if (data==61) SNS3_ARAC=0;
if (data==52) SNS4_TEST=1;      // Sensör_4'den Veri Al
if (data==62) SNS4_SAY++ ;
if (data==63) SNS4_ARAC=1;
if (data==64) SNS4_ARAC=0
}
```

/ ANA KONTROL ÜNİTESİ PIC16877A Kablosuz Bağlantı Test Alt Prg.****

```
void BAGLANTI_TEST() {
if (BAGLANTI_BAK==0) {
    SNS1_TEST=0; SNS2_TEST=0; SNS3_TEST=0; SNS4_TEST=0;
    putc(80); delay_ms(500);
    lcd_sil();
}
```

```

KONUM(1,2);PRINTF(lcd_putc,(" KABLOSUZ BAGLANTI "));
KONUM(1,3);PRINTF(lcd_putc,(" TEST EDILİYOR... "));
delay_ms(500);
lcd_sil();
}
if (SNS1_TEST==0){KONUM(1,1);PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 DEVRE DISI "));}
if (SNS2_TEST==0){KONUM(1,2);PRINTF(lcd_putc,("SNS_2 DEVRE DISI "));}
if (SNS3_TEST==0){KONUM(1,3);PRINTF(lcd_putc,("SNS_3 DEVRE DISI "));}
if (SNS4_TEST==0){KONUM(1,4);PRINTF(lcd_putc,("SNS_4 DEVRE DISI "));}
}

/** ANA KONTROL ÜNİTESİ PIC16877A Buton Kontrol Alt Programı **

void FLASH_BUTON (){
  if (!input(BUT_ZAMAN)) {
    FLASH=0;
    ZAMAN=1;
    ADAPTIF=0;
  }
  if ( !input(BUT_ADAPTIF)){
    FLASH=0;
    ZAMAN=0;
    ADAPTIF=1;
  }
}

void ZAMAN_BUTON (){
  if (!input(BUT_FLASH)) {
    FLASH=1;
    ZAMAN=0;
    ADAPTIF=0;
  }
  if (!input(BUT_ADAPTIF)) {

```

```

FLASH=0;
ZAMAN=0;
ADAPTIF=1;
}
}
void ADAPTIF_BUTON (){
if (!input(BUT_FLASH)) {
FLASH=1;
ZAMAN=0;
ADAPTIF=0;
}
if (!input(BUT_ZAMAN)) {
FLASH=0;
ZAMAN=1;
ADAPTIF=0;
}
}
}

```

//// ANA KONTROL ÜNİTESİ- PIC16F877A Flaş Modu Alt Programı *****

```

void FLASH_MOD (){
BAGLANTI_BAK=1;
SNS1_TEST=0; SNS2_TEST=0; SNS3_TEST=0; SNS4_TEST=0;
putc(90); // Flaş ışıklarını yak
delay_ms(500); BAGLANTI_TEST(); FLASH_BUTON();
if (SNS1_TEST==1){
KONUM(1,1);PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 FLASH_MOD %S "),"S");}
if (SNS2_TEST==1){
KONUM(1,2);PRINTF(lcd_putc,("SNS_2 FLASH_MOD %S "),"K");}
if (SNS3_TEST==1){
KONUM(1,3);PRINTF(lcd_putc,("SNS_3 FLASH_MOD %S "),"S");}
if (SNS4_TEST==1){

```

```

        KONUM(1,4);PRINTF(lcd_putc,("SNS_4 FLASH_MOD %S "),"K");}
delay_ms(1000); FLASH_BUTON();
SNS1_TEST=0; SNS2_TEST=0; SNS3_TEST=0; SNS4_TEST=0;
putc(89); // Tüm ışıkları söndür
delay_ms(500); BAGLANTI_TEST(); FLASH_BUTON();
if (SNS1_TEST==1){
    KONUM(1,1);PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 FLASH_MOD %S ")," ");}
if (SNS2_TEST==1){
    KONUM(1,2);PRINTF(lcd_putc,("SNS_2 FLASH_MOD %S ")," ");}
if (SNS3_TEST==1){
    KONUM(1,3);PRINTF(lcd_putc,("SNS_3 FLASH_MOD %S ")," ");}
if (SNS4_TEST==1){
    KONUM(1,4);PRINTF(lcd_putc,("SNS_4 FLASH_MOD %S ")," ");}
delay_ms(1000); FLASH_BUTON();
}

```

****** ANA KONTROL ÜNİTESİ- PIC16F877A Sabit Zamanlı Mod Alt Programı**

```

void ZAMAN_MOD(){
    BAGLANTI_BAK=1;
    SNS1_TEST=0; SNS2_TEST=0; SNS3_TEST=0; SNS4_TEST=0;
// Tüm ışıklar kırmızı
    putc(78);
    delay_ms(500);
    BAGLANTI_TEST(); ZAMAN_BUTON();
    if (SNS1_TEST==1){
        KONUM(1,1);PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 SABIT_ZAMAN %S"),"K ");}
    if (SNS2_TEST==1){
        KONUM(1,2);PRINTF(lcd_putc,("SNS_2 SABIT_ZAMAN %S"),"K ");}
    if (SNS3_TEST==1){
        KONUM(1,3);PRINTF(lcd_putc,("SNS_3 SABIT_ZAMAN %S"),"K ");}

```

```

if (SNS4_TEST==1){
    KONUM(1,4);PRINTF(lcd_putc("SNS_4 SABIT_ZAMAN %S"),"K ");}
delay_ms(500); ZAMAN_BUTON();

// Tüm ışıklar kırmızı, yaya yeşil
SNS1_TEST=0; SNS2_TEST=0; SNS3_TEST=0; SNS4_TEST=0;
putc(65);
delay_ms(500); BAGLANTI_TEST(); ZAMAN_BUTON();
if (SNS1_TEST==1){KONUM(1,1);PRINTF(lcd_putc("SNS_1 YAYA YESIL
"));}
if (SNS2_TEST==1){KONUM(1,2);PRINTF(lcd_putc("SNS_2 YAYA YESIL
"));}
if (SNS3_TEST==1){KONUM(1,3);PRINTF(lcd_putc("SNS_3 YAYA YESIL
"));}
if (SNS4_TEST==1){KONUM(1,4);PRINTF(lcd_putc("SNS_4 YAYA YESIL
"));}
delay_ms(2500); ZAMAN_BUTON();
SNS1_TEST=0; SNS2_TEST=0; SNS3_TEST=0; SNS4_TEST=0;

// Tüm ışıklar kırmızı
putc(78);
delay_ms(500); BAGLANTI_TEST(); ZAMAN_BUTON();
if (SNS1_TEST==1){
    KONUM(1,1); PRINTF(lcd_putc("SNS_1 SABIT_ZAMAN %S"),"K ");}
if (SNS2_TEST==1){
    KONUM(1,2); PRINTF(lcd_putc("SNS_2 SABIT_ZAMAN %S"),"K ");}
if (SNS3_TEST==1){
    KONUM(1,3); PRINTF(lcd_putc("SNS_3 SABIT_ZAMAN %S"),"K ");}
if (SNS4_TEST==1){
    KONUM(1,4); PRINTF(lcd_putc("SNS_4 SABIT_ZAMAN %S"),"K ");}
delay_ms(500); ZAMAN_BUTON();

// Sensör_1 yeşil

```

```

if (SNS1_TEST==1){
    SNS1_TEST=0; SNS2_TEST=0; SNS3_TEST=0; SNS4_TEST=0;
    putc(66);
    delay_ms(500); BAGLANTI_TEST(); ZAMAN_BUTON();
    KONUM(1,1); PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 SABIT_ZAMAN %S"),"KS");
    delay_ms(2000); ZAMAN_BUTON();
    putc(67);
    KONUM(1,1); PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 SABIT_ZAMAN %S"),"Y ");
    delay_ms(2000); ZAMAN_BUTON();
    putc(68);
    KONUM(1,1); PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 SABIT_ZAMAN %S"),"S ");
    delay_ms(2000); ZAMAN_BUTON();
    KONUM(1,1); PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 SABIT_ZAMAN %S"),"K ");}
}

// Sensör_2 Yeşil
if (SNS2_TEST==1){
    SNS1_TEST=0; SNS2_TEST=0; SNS3_TEST=0; SNS4_TEST=0;
    putc(69);
    delay_ms(500); BAGLANTI_TEST(); ZAMAN_BUTON();
    if (SNS1_TEST==1){
        KONUM(1,1); PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 SABIT_ZAMAN %S"),"K
");}
    if (SNS3_TEST==1){
        KONUM(1,3); PRINTF(lcd_putc,("SNS_3 SABIT_ZAMAN %S"),"K
");}
    if (SNS4_TEST==1){
        KONUM(1,4); PRINTF(lcd_putc,("SNS_4 SABIT_ZAMAN %S"),"K
");}
    KONUM(1,2); PRINTF(lcd_putc,("SNS_2 SABIT_ZAMAN %S"),"KS");
    delay_ms(2000);
    ZAMAN_BUTON();
    putc(70);
}

```

```

KONUM(1,2); PRINTF(lcd_putc,("SNS_2 SABIT_ZAMAN %S"),"Y ");
delay_ms(2000); ZAMAN_BUTON();
putc(71);
KONUM(1,2); PRINTF(lcd_putc,("SNS_2 SABIT_ZAMAN %S"),"S ");
delay_ms(2000); ZAMAN_BUTON();
KONUM(1,2); PRINTF(lcd_putc,("SNS_2 SABIT_ZAMAN %S"),"K ");}
}

```

```
// Sensör_3 Yeşil
```

```

if (SNS3_TEST==1){
    SNS1_TEST=0; SNS2_TEST=0; SNS3_TEST=0; SNS4_TEST=0;
    putc(72);
    delay_ms(500); BAGLANTI_TEST(); ZAMAN_BUTON();
    if (SNS1_TEST==1){
        KONUM(1,1); PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 SABIT_ZAMAN %S"),"K
");}
    if (SNS2_TEST==1){
        KONUM(1,2); PRINTF(lcd_putc,("SNS_2 SABIT_ZAMAN %S"),"K
");}
    if (SNS4_TEST==1){
        KONUM(1,4); PRINTF(lcd_putc,("SNS_4 SABIT_ZAMAN %S"),"K
");}
    KONUM(1,3); PRINTF(lcd_putc,("SNS_3 SABIT_ZAMAN %S"),"KS");
    delay_ms(2000); ZAMAN_BUTON();
    putc(73);
    KONUM(1,3); PRINTF(lcd_putc,("SNS_3 SABIT_ZAMAN %S"),"Y ");
    delay_ms(2000); ZAMAN_BUTON();
    putc(74);
    KONUM(1,3); PRINTF(lcd_putc,("SNS_3 SABIT_ZAMAN %S"),"S ");
    delay_ms(2000); ZAMAN_BUTON();
    KONUM(1,3); PRINTF(lcd_putc,("SNS_3 SABIT_ZAMAN %S"),"K ");}
}

```



```

// Sensör_4 Yeşil
if (SNS4_TEST==1){
    SNS1_TEST=0; SNS2_TEST=0; SNS3_TEST=0; SNS4_TEST=0;
    putc(75); delay_ms(500); BAGLANTI_TEST(); ZAMAN_BUTON();
    if (SNS1_TEST==1){
        KONUM(1,1); PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 SABIT_ZAMAN %S"),"K
");}
    if (SNS2_TEST==1){
        KONUM(1,2); PRINTF(lcd_putc,("SNS_2 SABIT_ZAMAN %S"),"K
");}
    if (SNS3_TEST==1){
        KONUM(1,3); PRINTF(lcd_putc,("SNS_3 SABIT_ZAMAN %S"),"K
");}
    KONUM(1,4); PRINTF(lcd_putc,("SNS_4 SABIT_ZAMAN %S"),"KS");
    delay_ms(2000); ZAMAN_BUTON();
    putc(76);
    KONUM(1,4); PRINTF(lcd_putc,("SNS_4 SABIT_ZAMAN %S"),"Y ");
    delay_ms(2000); ZAMAN_BUTON();
    putc(77);
    KONUM(1,4); PRINTF(lcd_putc,("SNS_4 SABIT_ZAMAN %S"),"S ");
    delay_ms(2000); ZAMAN_BUTON();
    if (SNS4_TEST==1){
        KONUM(1,4); PRINTF(lcd_putc,("SNS_4 SABIT_ZAMAN %S"),"K
");}
    }
}

```

/ ANA KONTROL ÜNİTESİ-PIC16877A Araç Algılama/Sayma Alt Programı**

```

void ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA(){
    if (SNS1_SAY>999) SNS1_SAY=1;

```

```

if (SNS2_SAY>999) SNS2_SAY=1;
if (SNS3_SAY>999) SNS3_SAY=1;
if (SNS4_SAY>999) SNS4_SAY=1;
if (SNS1_TEST==1 && SNS1_ARAC==1 && GOSTER!=1){
    KONUM(1,1); PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 ARAC_VAR %ld "),SNS1_SAY);}
if (SNS1_TEST==1 && SNS1_ARAC==0 && GOSTER!=1){
    KONUM(1,1); PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 ARAC_YOK %ld
"),SNS1_SAY);}
if (SNS2_TEST==1 && SNS2_ARAC==1 && GOSTER!=2){
    KONUM(1,2); PRINTF(lcd_putc,("SNS_2 ARAC_VAR %ld "),SNS2_SAY);}
if (SNS2_TEST==1 && SNS2_ARAC==0 && GOSTER!=2){
    KONUM(1,2); PRINTF(lcd_putc,("SNS_2 ARAC_YOK %ld
"),SNS2_SAY);}
if (SNS3_TEST==1 && SNS3_ARAC==1 && GOSTER!=3){
    KONUM(1,3); PRINTF(lcd_putc,("SNS_3 ARAC_VAR %ld "),SNS3_SAY);}
if (SNS3_TEST==1 && SNS3_ARAC==0 && GOSTER!=3){
    KONUM(1,3); PRINTF(lcd_putc,("SNS_3 ARAC_YOK %ld
"),SNS3_SAY);}
if (SNS4_TEST==1 && SNS4_ARAC==1 && GOSTER!=4){
    KONUM(1,4); PRINTF(lcd_putc,("SNS_4 ARAC_VAR %ld "),SNS4_SAY);}
if (SNS4_TEST==1 && SNS4_ARAC==0 && GOSTER!=4){
    KONUM(1,4); PRINTF(lcd_putc,("SNS_4 ARAC_YOK %ld
"),SNS4_SAY);}
}

```

/ANA KONTROL ÜNİTESİ 16877A Araç Yoğunluğu Alt Program Kodları ****

```

void ADAPTIF_ARAC_YOGUNLUK(){
    ARAC_YOGUN=0;
    if (SNS1_TEST==1 && SNS1_ARAC==1) ARAC_YOGUN++;
    if (SNS2_TEST==1 && SNS2_ARAC==1) ARAC_YOGUN++;
    if (SNS3_TEST==1 && SNS3_ARAC==1) ARAC_YOGUN++;
}

```

```

    if (SNS4_TEST==1 && SNS4_ARAC==1) ARAC_YOGUN++;
}

```

/ANA KONTROL ÜNİTESİ PIC16877A Adaptif Mod Seçme Alt Program ****

```

void ADAPTIF_MOD_SEC(){
    BAGLANTI_BAK=1; GOSTER=0;
    ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
    ADAPTIF_ARAC_YOGUNLUK();
    while (ARAC_YOGUN<2){ // Adaptif Flaş Moda Geç
        ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
        ADAPTIF_ARAC_SAY();
        ADAPTIF_FLASH_MOD();
    }
    while (ARAC_YOGUN>=2){ // Adaptif Moda Geç
        ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
        ADAPTIF_ARAC_SAY();
        ADAPTIF_MOD();
    }
}

```

/ANA KONTROL ÜNİTESİ PIC 16877A Adaptif Flaş Modu Alt Program**

Kodları **

```

void ADAPTIF_FLASH_MOD (){
    SNS1_TEST=0; SNS2_TEST=0; SNS3_TEST=0; SNS4_TEST=0;
    putc(90); // Flaş ışıklarını yak
    delay_ms(500); BAGLANTI_TEST(); ADAPTIF_BUTON();
    if (SNS1_TEST==1){
        KONUM(1,1);PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 ADAPTIF_FLAS %S"),"S");}
    if (SNS2_TEST==1){

```

```

        KONUM(1,2);PRINTF(lcd_putc,("SNS_2 ADAPTIF_FLAS %S"),"K");}
if (SNS3_TEST==1){
        KONUM(1,3);PRINTF(lcd_putc,("SNS_3 ADAPTIF_FLAS %S"),"S");}
if (SNS4_TEST==1){
        KONUM(1,4);PRINTF(lcd_putc,("SNS_4 ADAPTIF_FLAS %S"),"K");}
delay_ms(1000); ADAPTIF_BUTON();
if (SNS1_TEST==1){
        KONUM(1,1);PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 ADAPTIF_FLAS %S")," ");}
if (SNS2_TEST==1){
        KONUM(1,2);PRINTF(lcd_putc,("SNS_2 ADAPTIF_FLAS %S")," ");}
if (SNS3_TEST==1){
        KONUM(1,3);PRINTF(lcd_putc,("SNS_3 ADAPTIF_FLAS %S")," ");}
if (SNS4_TEST==1){
        KONUM(1,4);PRINTF(lcd_putc,("SNS_4 ADAPTIF_FLAS %S")," ");}
SNS1_TEST=0; SNS2_TEST=0; SNS3_TEST=0; SNS4_TEST=0;
putc(89);           // Tüm ışıklar sömük
delay_ms(500); BAGLANTI_TEST(); ADAPTIF_BUTON();
ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
delay_ms(1000); ADAPTIF_BUTON();
}

```

/ ANA KONTROL ÜNİTESİ-PIC16F877A Adaptif Mod Alt Programı ****

```

void ADAPTIF_MOD(){
    if (SNS1_TEST==1){
        KONUM(1,1); PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 ADAPTIF_MOD %S"),"K ");}
    if (SNS2_TEST==1){
        KONUM(1,2); PRINTF(lcd_putc,("SNS_2 ADAPTIF_MOD %S"),"K ");}
    if (SNS3_TEST==1){
        KONUM(1,3); PRINTF(lcd_putc,("SNS_3 ADAPTIF_MOD %S"),"K ");}
    if (SNS4_TEST==1){
        KONUM(1,4); PRINTF(lcd_putc,("SNS_4 ADAPTIF_MOD %S"),"K ");}
}

```

```

// Sensör_1 Yeşil - Adaptif
if (SNS1_TEST==1 && SNS1_ARAC==1){
    SNS1_TEST=0; SNS2_TEST=0; SNS3_TEST=0; SNS4_TEST=0;
GOSTER=1;
    putc(66);
    delay_ms(500); BAGLANTI_TEST(); ADAPTIF_BUTON();
    KONUM(1,1);PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 ADAPTIF_MOD %S"),"KS");
    delay_ms(1500); ADAPTIF_BUTON(); ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
    KONUM(1,1);PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 ADAPTIF_MOD %S"),"Y ");
    putc(67);
    delay_ms(3000); ADAPTIF_BUTON(); ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
    if (SNS1_TEST==1 && SNS1_ARAC==1){
        KONUM(1,1);PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 ADAPTIF_MOD %S"),"Y ");
        putc(67);
        delay_ms(2000);
        ADAPTIF_BUTON(); ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
    }
    KONUM(1,1); PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 ADAPTIF_MOD %S"),"S ");
    putc(68);
    delay_ms(2000); ADAPTIF_BUTON();ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
    KONUM(1,1);PRINTF(lcd_putc,("SNS_1 ADAPTIF_MOD %S"),"K ");
    putc(78);
    delay_ms(2000); ADAPTIF_BUTON();ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
}

```

```

// Sensör_2 Yeşil – Adaptif
if (SNS2_TEST==1 && SNS2_ARAC==1){
    SNS1_TEST=0; SNS2_TEST=0; SNS3_TEST=0; SNS4_TEST=0;
GOSTER=2;
    putc(69);
    delay_ms(500); BAGLANTI_TEST(); ADAPTIF_BUTON();
    KONUM(1,2);PRINTF(lcd_putc,("SNS_2 ADAPTIF_MOD %S"),"KS");

```

```

delay_ms(1500); ADAPTIF_BUTON(); ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
KONUM(1,2);PRINTF(lcd_putc,("SNS_2 ADAPTIF_MOD %S"),"Y");
putc(70);
delay_ms(2000); ADAPTIF_BUTON();ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
    if (SNS2_TEST==1 && SNS2_ARAC==1){
        KONUM(1,2);PRINTF(lcd_putc,("SNS_2 ADAPTIF_MOD %S"),"Y ");
        putc(70);
        delay_ms(2000); ADAPTIF_BUTON();ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
    }
KONUM(1,2);PRINTF(lcd_putc,("SNS_2 ADAPTIF_MOD %S"),"S ");
putc(71);
delay_ms(2000); ADAPTIF_BUTON();ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
KONUM(1,2);PRINTF(lcd_putc,("SNS_2 ADAPTIF_MOD %S"),"K ");
putc(78);
delay_ms(2000); ADAPTIF_BUTON();ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
}

// Sensör_3 Yeşil – Adaptif
    if (SNS3_TEST==1 && SNS3_ARAC==1){
        SNS1_TEST=0; SNS2_TEST=0; SNS3_TEST=0; SNS4_TEST=0;
GOSTER=3;
        putc(72);
        delay_ms(500); BAGLANTI_TEST(); ADAPTIF_BUTON();
        KONUM(1,3);PRINTF(lcd_putc,("SNS_3 ADAPTIF_MOD %S"),"KS");
        delay_ms(1500); ADAPTIF_BUTON();ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
        KONUM(1,3);PRINTF(lcd_putc,("SNS_3 ADAPTIF_MOD %S"),"Y ");
        putc(73);
        delay_ms(2000); ADAPTIF_BUTON();ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
            if (SNS3_TEST==1 && SNS3_ARAC==1){
                KONUM(1,3);PRINTF(lcd_putc,("SNS_3 ADAPTIF_MOD %S"),"Y ");
                putc(73);
                delay_ms(2000); ADAPTIF_BUTON();ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
            }
    }

```

```

KONUM(1,3);PRINTF(lcd_putc,("SNS_3 ADAPTIF_MOD %S"),"S ");
putc(74);
delay_ms(2000); ADAPTIF_BUTON();ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
KONUM(1,3);PRINTF(lcd_putc,("SNS_3 ADAPTIF_MOD %S"),"K ");
putc(78);
delay_ms(2000); ADAPTIF_BUTON();ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
}

// Sensör_4 Yeşil – Adaptif
if (SNS4_TEST==1 && SNS4_ARAC==1){
SNS1_TEST=0; SNS2_TEST=0; SNS3_TEST=0; SNS4_TEST=0;
GOSTER=4;
putc(75);
delay_ms(500); BAGLANTI_TEST(); ADAPTIF_BUTON();
KONUM(1,4);PRINTF(lcd_putc,("SNS_4 ADAPTIF_MOD %S"),"KS");
delay_ms(1500); ADAPTIF_BUTON();
KONUM(1,4);PRINTF(lcd_putc,("SNS_4 ADAPTIF_MOD %S"),"Y ");
putc(76);
delay_ms(2000); ADAPTIF_BUTON();ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
if (SNS4_TEST==1 && SNS4_ARAC==1){
KONUM(1,4);PRINTF(lcd_putc,("SNS_4 ADAPTIF_MOD %S"),"Y ");
putc(76);
delay_ms(2000); ADAPTIF_BUTON();ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
}
KONUM(1,4);PRINTF(lcd_putc,("SNS_4 ADAPTIF_MOD %S"),"S ");
putc(77);
delay_ms(2000); ADAPTIF_BUTON();ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
KONUM(1,4);PRINTF(lcd_putc,("SNS_4 ADAPTIF_MOD %S"),"K ");
putc(78);
delay_ms(2000); ADAPTIF_BUTON();ADAPTIF_ARAC_ALGILAMA();
}

// Yaya Yeşil
SNS1_TEST=0; SNS2_TEST=0; SNS3_TEST=0; SNS4_TEST=0;

```

```
    putc(65);
    delay_ms(500); ZAMAN_BUTON();
    if (SNS1_TEST==1){KONUM(1,1);PRINTF(lcd_putc,"SNS_1 YAYA YESIL
");}
    if (SNS2_TEST==1){KONUM(1,2);PRINTF(lcd_putc,"SNS_2 YAYA YESIL
");}
    if (SNS3_TEST==1){KONUM(1,3);PRINTF(lcd_putc,"SNS_3 YAYA YESIL
");}
    if (SNS4_TEST==1){KONUM(1,4);PRINTF(lcd_putc,"SNS_4 YAYA YESIL
");}
    delay_ms(2500); BAGLANTI_TEST(); ZAMAN_BUTON();
}
```


EK-4 SENSÖR DÜĞÜMÜ – PIC16F88 KODLARI - TANIMLAMALAR

/ SENSÖR DÜĞÜMÜ-PIC16F88 – Tanımlamalar ****

```
#include <16F88.h>
#device ADC=10
#FUSES NOWDT           // Sigorta Tanımlamaları
#FUSES NOMCLR         //Master Clear pin used for I/O
#FUSES NOBROWNOUT     //No brownout reset
#FUSES NOLVP          //No low voltage prgming
#FUSES NOFCMEN        //Fail-safe clock monitor disabled
#FUSES NOIESO         //Internal External Switch Over mode disabled
#use delay(crystal=4000000)
#use rs232( baud=9600, parity=N, xmit=PIN_B5, rcv=PIN_B2, bits=8, STOP=1,
  stream =prt1)
#DEFINE SEV_1 PIN_B1   // Algılama Seviyesi Çıkış Pinlerini Tanımlama
#DEFINE SEV_2 PIN_B3
#DEFINE SEV_3 PIN_B4
#DEFINE SEV_4 PIN_B6
#DEFINE SNS1_KIR PIN_B0 // Trafik Işıkları Çıkış Pinlerini Tanımlama
#DEFINE SNS1_SAR PIN_A2
#DEFINE SNS1_YES PIN_A3
#DEFINE SNS1_YKIR PIN_A0
#DEFINE SNS1_YYES PIN_A1
int data_al;           // Değişkenleri Tanımlama
int16 veri_aralik = 0;
int baglan_test = 0;
int arac_yok = 0;
int arac_say = 0;
int arac_var = 0;
```

EK-5 SENSÖR DÜĞÜMÜ – PIC16F88 KODLARI – ANA PROGRAM

////// SENSÖR DÜĞÜMÜ PIC16F88 Kodları - Ana program ////

```

void main() {
    setup_adc_ports(sAN6);          // Analog Okumayı Etkinleştir
    setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_2);
    enable_interrupts(VERI_AL);     // Kesmeler Aktif
    enable_interrupts(GLOBAL);
    INT16 oku=0;
    FLOAT analog=0;
    output_high(SEV_4);delay_ms(100);output_low(SEV_4);    // Lamba Test İşlemi
    output_high(SEV_3);delay_ms(100);output_low(SEV_3);
    output_high(SEV_2);delay_ms(100);output_low(SEV_2);
    output_high(SEV_1);delay_ms(100);output_low(SEV_1);
    output_high(SNS1_YES);delay_ms(100);output_low(SNS1_YES);
    output_high(SNS1_SAR);delay_ms(100);output_low(SNS1_SAR);
    output_high(SNS1_KIR);delay_ms(100);output_low(SNS1_KIR);
    output_high(SNS1_YKIR);delay_ms(100);output_low(SNS1_YKIR);
    output_high(SNS1_YYES); delay_ms(100); output_low(SNS1_YYES);
    delay_ms(300);
    while (true){
        SET_ADC_CHANNEL(6), DELAY_US(20), OKU=READ_ADC();
        analog= oku*0.00489236;
        BAGLANTI_TEST();
        veri_aralik++;
        delay_ms(20);
        if (veri_aralik>300) veri_aralik=0;
        if (analog > 1.5) {          // Algılanan Araç Yok
            output_low(SEV_1); output_low(SEV_2);
            output_low(SEV_3); output_low(SEV_4);
            ARAC_VAR_YOK_SAY();
        }
    }
}

```

```
if (analog <= 1.4 && analog > 1.2){           // Araç Algılama 1. Seviye
    output_high(SEV_1); output_low(SEV_2);
    output_low(SEV_3); output_low(SEV_4);
    ARAC_VAR_YOK_SAY();
}
if (analog <= 1.2 && analog > 1.0){           // Araç Algılama 2. Seviye
    output_high(SEV_1); output_high(SEV_2);
    output_low(SEV_3); output_low(SEV_4);
    ARAC_VAR_YOK_SAY();
}
if (analog <= 1.0 && analog > 0.9) {           // Araç Algılama 3. Seviye
    output_high(SEV_1); output_high(SEV_2);
    output_high(SEV_3); output_low(SEV_4);
    ARAC_VAR_YOK_SAY();
}
if (analog <= 0.9 ) {                          // Araç Algılama 4. Seviye
    output_high(SEV_1);output_high(SEV_2);
    output_high(SEV_3); output_high(SEV_4);
    ARAC_VAR_YOK_SAY();
}
}
```

EK-6 SENSÖR DÜĞÜMÜ – PIC16F88 KODLARI – ALT PROGRAMLAR

/ SENSÖR DÜĞÜMÜ PIC16F88 Kablosuz Veri Alma Alt Program Kodları ****

```
#VERI_AL
void VERI_AL(void) {
baglan_test=0;
data_al=getc();
if (data_al==80 || data_al==89|| data_al==90) { // Test kodu gönder
    putc(49);
}
if (data_al==65||data_al==66||data_al==69||data_al==72||data_al==75||data_al==78 ){
    putc(49); // Test kodu gönder
}
if (data_al==89){ // Tüm trafik ışıkları sönmük
    output_low(SNS1_YKIR);
    output_low(SNS1_YYES);
    output_low(SNS1_KIR);
    output_low(SNS1_SAR);
    output_low(SNS1_YES);
}
if (!(data_al==66)||!(data_al==67)||!(data_al==68)||!(data_al==89)||!(data_al==90)){
    output_high(SNS1_YKIR); // Trafik ışıkları kırmızı
    output_low(SNS1_YYES);
    output_high(SNS1_KIR);
    output_low(SNS1_SAR);
    output_low(SNS1_YES);
}
if (data_al==65) { // Yayaalara yeşil
    output_low(SNS1_YKIR);
    output_high(SNS1_YYES);
    output_high(SNS1_KIR);
    output_low(SNS1_SAR);
}
```

```
    output_low(SNS1_YES);
  }
if (data_al==66) {                                // Trafik ışıkları kırmızı – sarı
    output_high(SNS1_YKIR);
    output_low(SNS1_YYES);
    output_high(SNS1_KIR);
    output_high(SNS1_SAR);
    output_low(SNS1_YES);
  }
if (data_al==67){                                // Trafik ışıkları yeşil
    output_high(SNS1_YKIR);
    output_low(SNS1_YYES);
    output_low(SNS1_KIR);
    output_low(SNS1_SAR);
    output_high(SNS1_YES);
  }
if (data_al==68){                                // Trafik ışıkları sarı
    output_high(SNS1_YKIR);
    output_low(SNS1_YYES);
    output_low(SNS1_KIR);
    output_high(SNS1_SAR);
    output_low(SNS1_YES);
  }
if (data_al==90){                                // Trafik ışıkları sarı flaş
    output_high(SNS1_YKIR);
    output_low(SNS1_YYES);
    output_low(SNS1_KIR);
    output_high(SNS1_SAR);
    output_low(SNS1_YES);
  }
if (data_al==78){                                // Trafik ışıkları kırmızı
    output_high(SNS1_YKIR);
    output_low(SNS1_YYES);
```

```

    output_high(SNS1_KIR);
    output_low(SNS1_SAR);
    output_low(SNS1_YES);
  }
}

```

/ SENSÖR DÜĞÜMÜ-PIC16F88 Kablosuz Bağlantı Test Alt Programı ****

```

void BAGLANTI_TEST(){
  baglan_test++;
  if (baglan_test>=250) {
    baglan_test=250;
    output_high(SNS1_KIR); output_high(SNS1_SAR); output_high(SNS1_YES);
    output_high(SNS1_YKIR); output_high(SNS1_YYES); delay_ms(200);
    output_low(SNS1_KIR); output_low(SNS1_SAR); output_low(SNS1_YES);
    output_low(SNS1_YKIR); output_low(SNS1_YYES); delay_ms(200);
  }
}

```

/ SENSÖR DÜĞÜMÜ-PIC16F88 Kablosuz Bağlantı Test Alt Programı ****

```

void BAGLANTI_TEST(){
  baglan_test++;
  if (baglan_test>=250) {
    baglan_test=250;
    output_high(SNS1_KIR); output_high(SNS1_SAR); output_high(SNS1_YES);
    output_high(SNS1_YKIR); output_high(SNS1_YYES); delay_ms(200);
    output_low(SNS1_KIR); output_low(SNS1_SAR); output_low(SNS1_YES);
    output_low(SNS1_YKIR); output_low(SNS1_YYES); delay_ms(200);
  }
}

```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emrah BAKIRCI
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Ereğli – 03/04/1974
Telefon : 0 506 307 39 77
Faks : -
E-mail : emrahbakirci@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Cumhuriyet Lisesi, Ereğli, KONYA	1991
Üniversite	: İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, İSTANBUL	1996
Yüksek Lisans :	Konya Teknik Üniversitesi, Elk. Eln. Müh. A.B.D., KONYA	Devam Ediyor

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
03/1996-06/1996	Baydemirler A.Ş. Brillant Güpür San., İstanbul	Mühendis
12/1996-11/2003	Konya Ereğli Mesleki Eğitim Merkezi	Öğretmen
11/2003-09/2016	Konya Ereğli Teknik ve End. Mes. Lis.	Öğretmen

YABANCI DİLLER: İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR:

- Emrah BAKIRCI, Özgür DÜNDAR, Dilek UZER ve S.Sinan GÜLTEKİN, “Mikroşerit Anten Parametrelerinin Visual Basic’te Hazırlanan Arayüz Kullanılarak Hesaplatılması”, 3. Tebliğ Günleri, 28/29 Nisan 2011, Selçuk Üniversitesi Ereğli Meslek Yüksek Okulu
- Emrah BAKIRCI, Seyfettin Sinan GÜLTEKİN, Ahmet AKSU, Akif DURDU, Bayram AKDEMİR, “Sinyalize Bir Trafik Kavşağı Sistemi İçin ZigBee-IIEEE 802.15.4 Temelli Kablosuz Sensör Ağı Uygulaması”, Rotrasa Ulusal Kongresi, Aralık 2015

PATENTLER:

- Faydalı Model Belgesi, (2010), Türk Patent Enstitüsü, “Akıllı Trafik Sinyalizasyon Sistemi”, Dosya No: 2010/01169