

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

**ZİGBEE TEMELLİ KABLOSUZ SENSÖR AĞ TOPOLOJİLERİNİN
PERFORMANS ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sercan VANÇİN

(131129101)

Anabilim Dalı: Bilgisayar Mühendisliği

Programı: Donanım

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ebubekir ERDEM

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 21 NİSAN 2016

NİSAN-2016

ÖNSÖZ

Bu tezde, araç tanıma sistemleri tasarlanarak, akıllı ulaşım sistemleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Böylece yüksek maliyet ve kurulum zorluğu olan video kamera ve görüntü işleme teknikleriyle yapılabilen trafik izleme, araç tespiti gibi uygulamalar sensörler yardımıyla geliştirilmiştir. Manyetik sensörler kullanılarak araç tespiti yapılmış ve farklı uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bu bakımdan, uygun algoritmalar önerilerek daha önceki çalışmalardan daha doğru ve performanslı sonuçlar elde edilmiştir. Kullanılan sensör düğümleri ve diğer donanımsal cihazlar, ÖYP (Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı) ödeneğiyle satın alınmıştır. Bu tez çalışmasıyla, çok büyük bütçeler gerektiren trafik gözetimi ve araç tanıma sistemlerine eldeki imkânları kullanarak geliştirilmeye açık yöntemler sunulduğunu düşünmekteyim. Yapılan çalışmanın konuyla ilgilenenlere bir yön vermesini diliyorum. Akademik hayatım boyunca bilgi ve önerileriyle beni yönlendiren, maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen danışman hocam, Yrd. Doç. Dr. Ebubekir ERDEM' e teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmasında ve düzenlemesinde yardımlarından ötürü değerli meslektaşlarım Canan TAŞTİMUR'a ve Hasan YETİŞ' e teşekkür ederim.

Sercan VANÇİN

ELAZIĞ-2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
KISALTMALAR.....	X
SEMBOLLER.....	XI
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı ve Yöntemi.....	1
1.2. Tezin Kapsamı.....	3
2. KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI.....	4
2.1. Sensörler.....	4
2.2. Kablosuz Haberleşme.....	5
2.3. Kablosuz Bağlantı Teknolojileri.....	6
2.3.1. IEEE 802.11x.....	6
2.3.2. IEEE 802.15.1&2 / Bluetooth.....	6
2.3.3. IEEE 802.15.4 ve Zigbee Standardı.....	6
2.3.3.1. IEEE 802.15.4 Standardının Teknik Alt Yapısı.....	7
2.3.3.2. Zigbee Standardının Teknik Alt Yapısı.....	7
2.3.4. Başka Kablosuz Sensör Ağ Teknolojileri ile ZigBee'nin Karşılaştırılması.....	9
2.4. Zigbee Ağ Bileşenleri.....	11
2.5. Kablosuz Sensör Düğümleri ve Özellikleri.....	11
2.6. Kablosuz Sensör Ağlarında Konumlandırma Yöntemleri.....	14
2.6.1. Kapsama Alanı Temelli Teknikler.....	14
2.6.1.1. Alınan Sinyalin Güç Seviyesine Bakarak Konum Bulma (RSSI).....	14
2.6.1.2. Gelen Sinyalin Açısıyla Konum Bulma.....	15
2.6.1.3. Sinyalin Geliş Süresinden Yararlanarak Konum Bulma.....	15

2.6.1.4. Sinyalin Geliş Süresi Farkından Yararlanarak Konum Bulma.....	15
2.6.1.5. Üçgenlere Bölme Yöntemiyle Konum Bulma.....	16
2.6.2. Kapsama Alanı Bağımsız Konum Bulma.....	16
2.6.2.1. Merkezi Konum Bulma.....	16
2.7. Kablosuz Sensör Ağları İçin Simülatörler.....	16
3. KABLOSUZ SENSÖR AĞ TOPOLOJİLERİNİN PERFORMANS ANALİZİ.....	19
3.1. Senaryo 1.....	21
3.2. Senaryo 2.....	23
3.3. Senaryo 3.....	24
4. KABLOSUZ MANYETİK SENSÖRLER KULLANARAK TRAFİK İZLEME SİSTEMİNİN TASARIMI.....	26
5. KABLOSUZ MANYETİK SENSÖRLER KULLANARAK TRAFİK İZLEME SİSTEMLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	33
5.1. Trafik Sıkışıklığının Tespiti.....	33
5.2. Araç Sınıflandırması.....	41
5.3. Araç Yönünün Bulunması.....	52
6. SONUÇLAR.....	56
KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	62

ÖZET

Kablosuz sensör ağları kullanarak akıllı ulaşım sistemleri (Intelligent Transportation Systems, ITS) tasarlamak, hem maliyet hem de enerji verimliliği açısından avantajlı olup herhangi bir yolun trafiğini gözlemlemek, o yol hakkında trafik bilgisi edinmek veya sadece araçları tespit edip tipleri ve hızlarını saptamak son zamanlarda araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. Bu çalışmada araç tespit sistemleri geliştirip anlık, gerçek zamanlı ve yenilikçi çözüm sunmak adına araç sayma, tespit, sınıflandırma, yön tayini yapma, yol trafik durumu izleme gibi çeşitli uygulamalar geliştirilmiştir. Bu uygulamaları gerçekleştirmek için sensör düğümü, manyetometre, güç kartı ve pilden oluşan ve diğer çalışmalarda kullanılan düğümlerden daha doğru ve anlaşılır veriler sunabilen bir sensör devresi kullanılmıştır. Bu sensör devresi yardımıyla araç tespit senaryoları 3 adet uygulamayla gerçekleştirilmesi için lojiksel algoritma önerilmiştir. Belirli bir yolun anlık trafik durum bilgisi; trafik yok, trafik az, trafik yoğun ve trafik çok yoğun olmak üzere 4 seviyede kategorize edilmiştir. Ayrıca aynı yolun sonuna koyulan 3. Düğüm (Node 3) sayesinde günlük olarak saat başına düşen araç sayısı tespit edilip yolun trafik analizi yapılmıştır. Daha sonra yoldan geçen araçlar, önerilen algoritma ve *MİU (Manyetik İmza Uzunluğu)* parametresine göre otomobil, minibus, otobüs ve kamyon olarak sınıflandırılmıştır. En son uygulamada ise yoldaki araçların yönü x ekseninde soldan sağa veya sağdan sola olmak üzere tayin edilmiştir. Bu sayede trafikteki sürücülerin bu yol hakkındaki trafik durumunu bilmesi amaçlanmıştır. Dolayısıyla bu bilgiler internet ortamında yayınlanarak bu amaç gerçekleştirilebilir. Tasarlanan ve kullanılan sensör düğümü ve devresi ile bileşenlerinin donanım maliyetinin az oluşu, haberleşme sisteminin düşük güç tüketmesi ve araç varlığının tespiti için kullanılan algoritmanın karmaşık matematiksel hesaplama yöntemlerinden uzak ve basit oluşu ise tasarlanan bu sistemin üstünlüğünü göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz Sensör Ağları, Manyetik sensör, Trafik Sıkışıklığı, Araç Tespiti, Manyetik İmza Uzunluğu

SUMMARY

Performance Analysis of the Wireless Sensor Network Topologies Based on Zigbee Standard

The design of Intelligent Transportation Systems (ITS) using wireless sensor networks to observe any road traffic, get road information, or just identify vehicles, their speed and types has recently become an interesting and popular research topic due to its advantages in cost and energy efficiency. In this thesis, vehicle detection systems with a variety of applications such as road traffic monitoring, vehicle counting, recognition and classification, making the determination of the direction of vehicles, are developed in order to provide real-time, instant and novel solutions. To perform these applications, sensor circuit consisting of sensor node, magnetometer, power board and battery, is used. This sensor structure presents more accurate and intelligible results than sensor nodes used in other studies. The logical algorithm is proposed to carry out three applications with vehicle detection scenarios thanks to this sensor circuit. The traffic jam status of a specific part of a single lane road is monitored by using magnetic sensors connected to a multi-purpose sensor node. The instantaneous traffic information of the road in question is categorized into four levels: no traffic, low traffic, heavy traffic and very heavy traffic. Additionally, traffic jam situation in 24 hours, is detected with respect to number of vehicles passed on the same road by every hour. Then, vehicles passing by the road are classified as cars, minibuses, buses and trucks according to the proposed algorithm and *MSL (Magnetic Signature Length)* parameters. Finally, vehicle direction on the x axis is determined from left to right or from right to left. As a result, drivers could then be informed of the road traffic state. This goal can be accomplished by publishing the information on the internet. The low cost of sensor node components and sensor circuit designed and used, the low power consumption of the communication systems and the simple design of the traffic detection algorithm without complex mathematical computations make it superior to other systems.

Keywords: Wireless Sensor Networks, Magnetic Sensor, Vehicle Detection, Traffic Congestion, Magnetic Signature Length

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Kablosuz sensör ağı.....	4
Şekil 2.2. Farklı türlerde sensörler.....	5
Şekil 2.3. Zigbee topolojileri.....	8
Şekil 2.4. Kablosuz teknolojiler içerisinde ZigBee'nin yeri.....	10
Şekil 2.5. Sensör düğümü mimarisi.....	12
Şekil 2.6. MicaZ düğümü.....	13
Şekil 3.1. Object palette tree.....	20
Şekil 3.2. Zigbee koordinatör konfigürasyonu.....	20
Şekil 3.3. Topoloji yapıları a) yıldız b) ağaç c) örgü.....	20
Şekil 3.4. Yıldız, ağaç ve örgü topolojilerinin performans analizi a) end-to-end delay b) throughput c) Mac load d) traffic received.....	22
Şekil 3.5. Çift ZC ile ağaç topolojisinin yapısı.....	23
Şekil 3.6. Farklı PAN'lara sahip ağlarda performans analizi a) end-to-end delay b) throughput c) Mac load d) traffic received.....	24
Şekil 3.7. Senaryo 3'ün ağ topolojisi.....	25
Şekil 3.8. Sabit düğümler ile hareketli düğümün analizi a) end-to-end delay b) traffic recieved by destination.....	25
Şekil 4.1. Geleneksel sensör ve manyetik algılama.....	27
Şekil 4.2. a) Manyetik sensör devresi b) HMC5983L Manyetik sensör entegrasyonu.....	27
Şekil 4.3. AMR transfer eğrisi.....	28
Şekil 4.4. Araç tespiti için sensör devresi.....	31
Şekil 4.5. Sensör devresinin blok şeması.....	31
Şekil 5.1. Manyetik okuma.....	34
Şekil 5.2. Araç tespiti ile trafik sıkışıklığının belirlenmesi için önerilen algoritma.....	35
Şekil 5.3. 1 sn aralıklarla manyetik okuma(hw.c).....	36
Şekil 5.4. Kablosuz sensör ağ yapısı.....	37
Şekil 5.5. Tera Term'de izlenen veriler.....	38
Şekil 5.6. Aracın sensöre yaklaşması.....	38
Şekil 5.7. Düğümlerden gelen değerler.....	40
Şekil 5.8. Saat aralıklarına göre araç sayısı-zaman grafiği.....	41
Şekil 5.9. Code Composer Studio ile manyetik okuma.....	42
Şekil 5.10. Araç sınıflandırması için belirlenen algoritmanın akış diyagramı.....	43
Şekil 5.11. Otomobilin sensör devresine yaklaşması.....	44
Şekil 5.12. Manyetik sensörün donanım(hw.c) kodunda yazılan kod parçası.....	44
Şekil 5.13. Manyetik bileşke kuvvet-zaman grafiği(otomobil için).....	45
Şekil 5.14. Tera Term seri yazılımında elde edilmiş veriler(otomobil için).....	46
Şekil 5.15. Minibüsün sensör devresine yaklaşması.....	47
Şekil 5.16. Manyetik bileşke kuvvet-zaman grafiği(minibüs için).....	47
Şekil 5.17. Otobüsün sensör devresine yaklaşması.....	48
Şekil 5.18. Manyetik bileşke kuvvet-zaman grafiği(otobüs için).....	49
Şekil 5.19. Kamyonun sensör devresine yaklaşması.....	50

Şekil 5.20. Manyetik bileşke kuvvet-zaman grafiği(kamyon için)	50
Şekil 5.21. Yön tespit senaryosu	52
Şekil 5.22. Aracın sensör devrelerine yaklaşması	53
Şekil 5.23. Araç yönünün tespiti için belirlenen algoritmanın akış diyagramı	53
Şekil 5.24. Araç yönünün sağdan sola tespiti (manyetik bileşke kuvvet değeri(MBK)-zaman grafiği).....	54
Şekil 5.25. Araç yönünün sağdan sola tespiti (manyetik bileşke kuvvet değeri(MBK)-zaman grafiği)).....	54
Şekil 5.26. Tera Term’de alınan veriler(aracın yön tespiti)	55

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. ZigBee ve bazı kablosuz teknolojilerin özelliklerinin karşılaştırılması.....	10
Tablo 5.1. Sensörlerden gelen değerlere göre trafik durumları.....	39
Tablo 5.2. Araç tiplerine ait elde edilen sonuçlar.....	56
Tablo 5.3. Önerilen araç sınıflandırma algoritmasına göre doğruluk sonuçları.....	56
Tablo 5.4. Önerilen araç yönü tespit algoritmasına göre doğruluk sonuçları.....	60

KISALTMALAR

WSN	: Kablosuz Sönsör Ağı
ITS	: Akıllı Ulaşım Sistemleri
RSSI	: Alınan Sinyal Gücü Göstergesi
RF	: Radyo Frekansı
ADC	: Analog Dijital Dönüştürücü
RAM	: Rastgele erişimli hafıza
DPM	: Devingen güç yönetimi
DVS	: Devingen voltaj yönetimi
MAC	: Ortam Erişim Yönetimi
QoS	: Hizmet Kalitesi
CSMA	: Çarpışma Algılayıcıyla Taşıyıcı Dinleyen Çoklu erişim
TDMA	: Zaman Bölmeli Çoklu Erişim
FDMA	: Frekans Bölmeli Çoklu Erişim
FEC	: İleri Yönlü Hata Kontrolü
ARQ	: Otomatik Tekrar İsteği
UDP	: Kullanıcı Datagram Protokolü
TCP	: İletim Kontrol Protokolü
IP	: İnternet Protokolü
ISM	: Endüstriyel, bilim ve medikal radyo bandı
ZC	: Zigbee Kordinatör
ZR	: Zigbee Router
ZED	: Zigbee Uç Cihaz
LR_WPAN	: Düşük Oranlı geniş kişisel ağlar

SEMBOLLER LİSTESİ

V : Volt
W : Watt
J : Joule
mW : Mili Watt
bps : Saniyedeki bit iletimi
Hz : Frekans Birimi (Hertz)
KHz : Bin Hertz
MHz : Milyon Hertz
GHz : Milyar Hertz
KB : Kilobayt
MB : Megabayt

1. GİRİŞ

Günümüzde trafik sıkışıklığı ve kazaları gibi sıkıntılarla birçok insan karşı karşıya gelmektedir. Bir yolun trafiğini izlemek, trafik durumu hakkında bilgiler edinmek veya bu bilgileri trafikteki sürücülere bildirmek adına akıllı ulaşım sistemleri (ITS) tasarlanmaktadır [1]. Bu sistemler, bazen yoldaki araç sayısını saymakla, aracın hızını belirlemekle; bazen de video kameralarla aracın görüntüsünün elde edilmesiyle ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla yoldaki trafik analiz edilip veya önceden tahmin edilerek trafik sıkışıklığını azaltma yoluna başvurulabilir [2].

Daha önceki çalışmalarda, OPNET Modeler programı kullanılarak farklı koordinatörlere sahip PAN' ların davranışı, bir koordinatörün arızası durumunda düğümlerin diğer koordinatöre bağlanması simüle edilmiş ve *uçtan uca gecikme* (end-to-end delay), *atlama sayısı* (number of hops), *verimlilik* (throughput) gibi kalite parametrelerince Zigbee topolojilerin performans kıyası yapılmıştır [3,4].

Yapılan birçok çalışmada kablosuz sensör ağları ile araç tanıma sistemleri geliştirilmiştir. Anisotropik manyetik sensör (AMR) ve mikrofon sensörü kullanarak herhangi bir yolun trafik durumu incelenmiştir [5]. Bunlara ilaveten akustik sensör [6], ultrasonik sensör [7] ve video kamera analiz sistemleri veya arial görüntüler [8] kullanarak kablosuz sensör ağ teknolojisiyle araç tespiti yapılmıştır. Bir başka çalışmada ise manyetometre sensör kullanılmış [9] belirli bir eşik değerin üzerinde algılanan manyetik alan sinyali şeklinde zaman ekseninde ölçülmüş ve bu sayede araç tespiti yapıp uygulamalar geliştirilmiştir. İncelenen diğer bir çalışma da kablosuz sensör ağları kullanarak gerçek zamanlı trafik kontrol sistemi [10] tasarlanmıştır. Bir çalışmada ise trafik izleme sistemi, mobil veri görüntüleme ve yönetme ile bütünleşik bir sistem şeklinde önerilmiştir [11]. Kablosuz sensör ağları ile çoklu sensörler kullanarak araç tespit çalışması yapılmıştır [12]. Araçlar hafif, orta ve ağır araçlar olarak sınıflandırılmıştır.

1.1. Tezin Amacı ve Yöntemi

Bu tez çalışmasının amacı, herhangi bir yolun trafik durumunu gözlemlemek, yoldaki araçlar hakkında bilgiler edinmek, araç tespit sistemleri geliştirip anlık, gerçek zamanlı ve yenilikçi çözüm sunmak adına araç tespit etme, sayma, sınıflandırma, yön tayini yapma, yol

trafik durumu izleme gibi çeşitli uygulamalar geliştirebilmektir. Bu amaç doğrultusunda geliştirilen sistemler ve edinilen bilgiler, internet ortamında trafikteki sürücülere sunulup trafik kazaları, trafik sıkışıklığı gibi birçok problemten kurtulma yoluna gidilebilir.

Kablosuz sensör ağlarda gerçek ortamda uygulama geliştirmenin daha verimli olması için tasarlanacak ağ sistemin test edilmesi, modellenmesi ve eksikliklerinin önceden görülmesi hususu önem arz etmektedir. Bu konuda çeşitli ağ simülatörleri yardımıyla birbirinden farklı standartla ağ sisteminin tasarlanması mümkündür. Bu tez çalışmasında kablosuz ağları simülasyonunu gerçekleştirmek adına ilk olarak; batarya kullanımı, düşük güç tüketimi gibi parametreler bakımından diğer kablosuz haberleşme standartlarından daha avantajlı olan ve kısa mesafe algılayıcılarda güçlü performans sunmasının yanı sıra dünyada 3 farklı bant frekansı kullanımını mümkün kılan IEEE 802.15.4/Zigbee kablosuz iletişim standardı kullanılmıştır. Ayrıca gerçek sistemin davranışını belirleyebilmek adına doğru sonuçlar ve analizler yapabilen RIVERBED (OPNET) Academic Edition 17.5 simülatörü kullanılmıştır. Bu simülatör programı ile Zigbee standardının desteklediği yıldız, ağaç ve örgü topolojilerinin *uçtan uca gecikme* (end-to-end delay), *verimlilik* (throughput), *mac yükü* (mac load) ve *elde edilen trafik* (traffic received) parametrelerine göre performansları kıyaslanmıştır. Daha sonra tek ve çift Zigbee koordinatör kullanılarak farklı PAN (Kişisel Alan Ağları)'larda performans analizleri yapılmıştır. Son olarak ise sabit ve hareketli düğümün ağdaki davranışı, *end-to-end delay* ve *hedeften alınan trafik* (traffic received by destination) kalite parametreleri bakımından kıyas edilmiştir.

Bu çalışmada birçok amaca uyumlu bir şekilde çalışabilen sensör düğümleri ve üzerine yerleştirilen manyetik sensörler (HMC5983L) kullanarak sensör devresi kurulmuştur. Bu sensör düğümleri, TelosB veya MicaZ gibi piyasadaki düğümlerden daha az maliyetli olarak tasarlanıp kullanılmıştır. Bu sensör devreleri yardımıyla 3 farklı uygulama geliştirilmiştir. İlk uygulama olarak tek şeritli yolun 4 seviyeli anlık trafik bilgisi gerçek zamanlı olarak çoklu sensör düğümleri kullanarak saptanmıştır. Bu durumlar; trafik yok, trafik az yoğun, trafik orta yoğun ve trafik çok yoğun şeklindedir. Önerilen lojikel değerler bulma algoritmasıyla yolun söz konusu sıkışıklık durumu elde edilmiştir. Bu yöntemin diğer yöntemlere [5] göre en büyük avantajları, çoklu sensör düğümlerinin kullanılması, sensör düğümlerinin seri iletişimle haberleşip analog veri ölçüm hatalarının minimize edebilmesi, kurulan sistem bileşenlerinin maliyetinin az oluşu ve performansının yüksek olması olarak sıralanabilir. Ayrıca bu uygulama kapsamında yolun sonuna yerleştirilen düğüm (Düğüm 3) sayesinde yolun 24 saatlik trafik bilgisi her saat için gözlemlenmiştir. İkinci uygulamada ise

yoldan geçen herhangi bir aracın tipi otomobil, minibüs, otobüs ve kamyon olmak üzere sınıflandırılmıştır. Daha önceki çalışmalarda araç sınıflandırması için indükleyici (inductive) loop detector'ler kullanarak model tanıma (pattern recognition) [13] ve manyetik sensörler kullanarak vadi ve tepe (valley and hill pattern) [14] modelleri önerilmiştir. Bu çalışmada ise sınıflandırma problemine yeni bir çözüm sunmak adına *manyetik imza uzunluğu (MIU)* kavramı tanımlanmış ve önerilmiştir. *MIU*, geliştirilen algoritmayla birlikte araç sınıflandırma problemine çözümler sunmuş ve doğru sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamıştır. Son olarak ise söz konusu sensör devreleri kullanılarak araçların x eksenindeki hareket yönü belirlenmiştir. Bu tespit yapılırken sadece 2 adet sensör düğümünün kullanılması ve düşünülen yön tespit algoritmasının performansının yüksek olması bu çalışmanın yapılan önceki çalışmalardan üstün olduğunu göstermektedir. Aracın yönü 50 araç yoldan geçirilerek soldan sağa ve sağdan sola olmak üzere tespit doğruluğu yüzdelik olarak incelenmiştir. Bu çalışmanın yapılan önceki çalışmadan [12] daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Sistemin düşük maliyetli donanım cihazlarıyla gerçekleştirilebilir olması ise tasarlanan kablosuz sensör ağı yapısından ileri gelmektedir. Tasarlanan bu kablosuz sensör ağı yapısı, kullanılan manyetometre ve sensör düğümlerinin kolay programlanabilir olması ve yıldız topolojisiyle toplayıcı (coordinator) düğüme gerekli bilgileri iletilmesiyle üstünlüğünü gösterebilmektedir. Karmaşık hesaplamalardan kaçınmak, daha doğru bilgi edinebilmek için sensör düğümleri ve manyetometre (manyetik sensör) seri iletişimle birbirine bağlanmıştır. Elde edilen trafik durumu, araç tipi veya yönü gibi bilgiler trafik sıkışıklığını önlemek için gerçek zamanlı olarak internet yayını ile çalışma yapılan yola girmek isteyen sürücülere gönderilebilir.

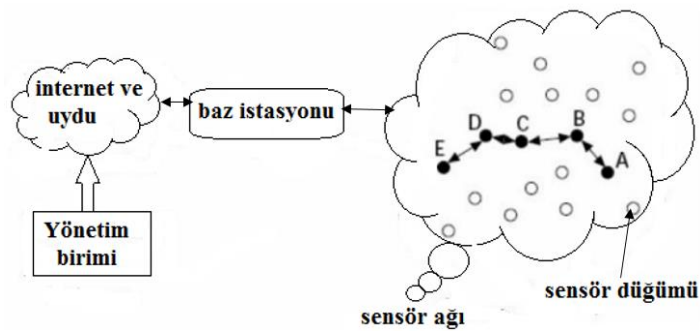
1.2. Tezin Kapsamı

Bu tez çalışması Bölüm 1 dahil olmak üzere altı bölüm olarak düzenlenmiştir. Bölüm 1.1'de verilen amaç ve yöntemlere uygun olarak; **Bölüm 2'de**, kablosuz sensör ağları konusu anlatılmıştır. **Bölüm 3'de**, Zigbee standardı kullanılarak kablosuz ağı topolojilerinin performans analizi yapılmıştır. **Bölüm 4**, manyetik sensörler konusunu ve düşünülen senaryoyu açıklayarak sistem gerçekleştirimini detaylı şekilde anlatmaktadır. Deneysel uygulamalar ve sistem analizi ise 3 ayrı alt bölüm olarak **Bölüm 5'de** sunulmuştur. Son olarak bu çalışmanın sonuçları ve çalışma hakkındaki öneriler **Bölüm 6'da** anlatılıp tartışılmıştır.

2. KABLOSUZ SENSÖR AĞLARI

Kablosuz sensör ağı, bulunduğu ortamdan sahip olduğu yetenekler neticesinde veriler toplayan ve bu verileri işleyerek diğer sensör düğümleri üzerinden Şekil 2.1’ de de görüldüğü üzere merkez istasyona ileten sensör düğümlerinin oluşturduğu bir ağ yapısıdır [15,16].

Kablosuz iletişimdeki gelişmelerle birlikte işlemci kalitesi, hafıza kapasitesi, düşük güç tüketimi gibi konulardaki ilerlemeler, mikro elektromekaniksel sistemlerin önemini artırmıştır. Küçük boyuttaki cihazlarla kurulan sensör ağları az maliyetli olmuş sensörlerin birbiriyle haberleşmesi kolaylaşmıştır. Kablosuz sensör ağları çokça sensör düğümlerin birbiriyle kablosuz bağlantısıyla oluşan ağ sistemleridir. Sensör düğümleri değişik bölgelerde rastgele veya belli bir stratejiye göre yerleştirilerek çevresindeki belirlenen kriterlere göre değerleri algılama, toplama, hesaplama, yönlendirme gibi karmaşık işlemlere sahiptir. Bu şekilde ortamdaki değerleri doğru ve hassas bir şekilde elde edip çeşitli bilgiler elde edilmektedir. Bu anlamda sensörler farklı görevlere sahip olup bazıları ana sensör olarak diğer sensörlerden gelen ham verileri işleyerek belirli zamanlarda kullanılmak üzere geçici olarak dahili hafızalarında saklarlar. Kablosuz sensör ağlar, ev uygulamaları, endüstri, fiziksel çevre, askeri alan, hastane gibi hemen her yerde isteğe bağlı kullanılabilirler. Hatta insanın ulaşamayacağı yüksek dağ, tehlikeli bölge gibi yerlerde de kullanılabilirler [17,18].



Şekil 2.1. Kablosuz sensör ağı

2.1. Sensörler

Elektronik uygulamalarda algılama işlemini yapan sistem ya da elemanlara sensör denir. Ayrıca algılayıcı ya da duyarga olarak da bilinmektedir. Sensörler, fiziksel ortam ile

elektronik cihazları birbirine bağlayan bir köprü görevi görürler. Sistemdeki sensör veya sensör grupları yapısı hangi değişkene duyarlı ise sistem dışındaki değişkeni algılar ve elde ettiği değerleri sistemin karar verme birimine yollar [19].

Bazı bilimsel alanlar ve bu alanlarda algılanabilecek örnek fiziksel büyüklükler verilebilir. Mekanik olarak, uzunluk, alan, miktar, kütsel akış, kuvvet, basınç, hız, ivme; Termal olarak, sıcaklık, ısı transferi; Elektriksel olarak, voltaj, akım, direnç, endüktans, kapasitans, dielektrik katsayısı, polarizasyon, elektrik alanı ve frekans; Manyetik olarak, alan yoğunluğu, akı yoğunluğu, manyetik moment, geçirgenlik; kimyasal olarak, yoğunlaşma, içerik, oksidasyon/redaksiyon, reaksiyon hızı, pH miktarı verilebilir [20]. Bazı durumlarda aynı fiziksel büyüklük farklı yöntemlerle çalışan sensörlerle ölçülebilir. Şekil 2.2'de farklı türlerde sensörler görülmektedir [19].



Şekil 2.2. Farklı türlerde sensörler [19]

2.2. Kablosuz Haberleşme

Kablosuz haberleşme, bir vericiyle bir alıcının birbirleriyle herhangi bir kablo bağlantısı olmaksızın ışık veya elektromanyetik dalgalar vasıtasıyla iletişim kurmasıdır. Modern anlamda kablosuz haberleşmenin tarihi 19. yy'nin sonlarına dayanmaktadır. 1985 yılında Guglielmo Marconi, üç nokta morsa alfabesi ile kodlamış 'S' harfini elektromanyetik dalgaları kullanarak üç kilometre uzağa ileterek modern kablosuz haberleşmenin yolunu açmıştır. Bu başlangıçtan beri kablosuz haberleşme, modern dünyanın vazgeçilmezlerinden biri olmuştur. Uydu iletişimi, radyo ve televizyon yayınlarından cep telefonlarına kadar kablosuz haberleşme, iletişim yöntemleri arasında devrim yaratmıştır [21].

2.3. Kablosuz Bağlantı Teknolojileri

2.3.1. IEEE 802.11x

Yerel ağlarda bilgisayarlar veya diğer aygıtlar arasında yüksek bant genişliğinde veri transferi yapabilmek amacıyla geliştirilmiş ve IEEE tarafından 802.11 adı altında standartlaştırılmış bir iletişim protokolüdür. Veri aktarımına 1Mbps den 50 Mbps hızına kadar imkan sağlamaktadır. Standart bir anten ile 100 metre uzaklığına kadar veri aktarımı gerçekleştirebilir ancak yüksek güçlü bir anten ile çok daha uzak mesafelere veri iletimi gerçekleştirebilir. Atamalı frekans ve doğrudan sekans yayma spektrum modülasyonuna imkan tanımaktadır. Veri aktarım hızı kablosuz sensör uygulamaları için yeterli yükseklikte olsa da yüksek güç tüketim gereksinimleri kablosuz sensör uygulamalarında kullanılmalarının önüne geçmektedir [22].

2.3.2. IEEE 802.15.1&2 / Bluetooth

IEEE 802.11x standardından daha güçlü bir kişisel alan ağı standardıdır. Bilgisayarlar ile cep telefonu gibi aygıtlar arasında kısa mesafede veri aktarımı uygulamalarını kullanmak amacıyla geliştirilmiştir. Yıldız topolojisinde 7 düğümün bir merkez istasyonu ile iletişim kurmasını destekler. Bazı firmalar bluetooth teknolojisini kullanan kablosuz sensör geliştirmiş olsa da geniş çevreler tarafından bluetooth teknolojisinin kısıtlamaları sebebiyle kabul görmemiştir. Bluetooth teknolojisinin kablosuz sensör ağlarında kabul görmemesinin belli başlı sebeplerini şöyle sıralanabilir [21, 22];

- Kısa iletim mesafesi için yüksek güç tüketimi
- Bekleme modundan çıkıp tekrar sistem ile senkronize olmasının uzun sürmesi ve bu durumun ortalama sistem güç tüketimini arttırması
- Az sayıda düğüme imkân tanınması

2.3.3. IEEE 802.15.4 ve Zigbee Standardı

Kablosuz sensör ağları endüstride günümüzün en etkileyici teknolojilerinden biridir. ZigBee ismini, arıların çiçekten çiçeğe dolaşırken izledikleri zig-zag şeklindeki yoldan almıştır. Bu dolaşım sırasında, diğer arıların bu kaynaklara (çiçeklere) nasıl (nereden) ulaşmış oldukları bilgisiyle hareket ederler. Kablosuz bağlanabilirlik için yeni bir standart

olan ZigBee, IEEE tarafından duyurulan IEEE 802.15.4 standardını temel alır ve ZigBee Alliance (Birlikteliği) ilk genel standardını uygulamalarda kullanılmak üzere sağlamıştır. ZigBee Alliance; Ivensys, Honeywell, Mitsubishi Electric, Motorola ve Philips gibi 200 kadar firmadan oluşmaktadır [23,24].

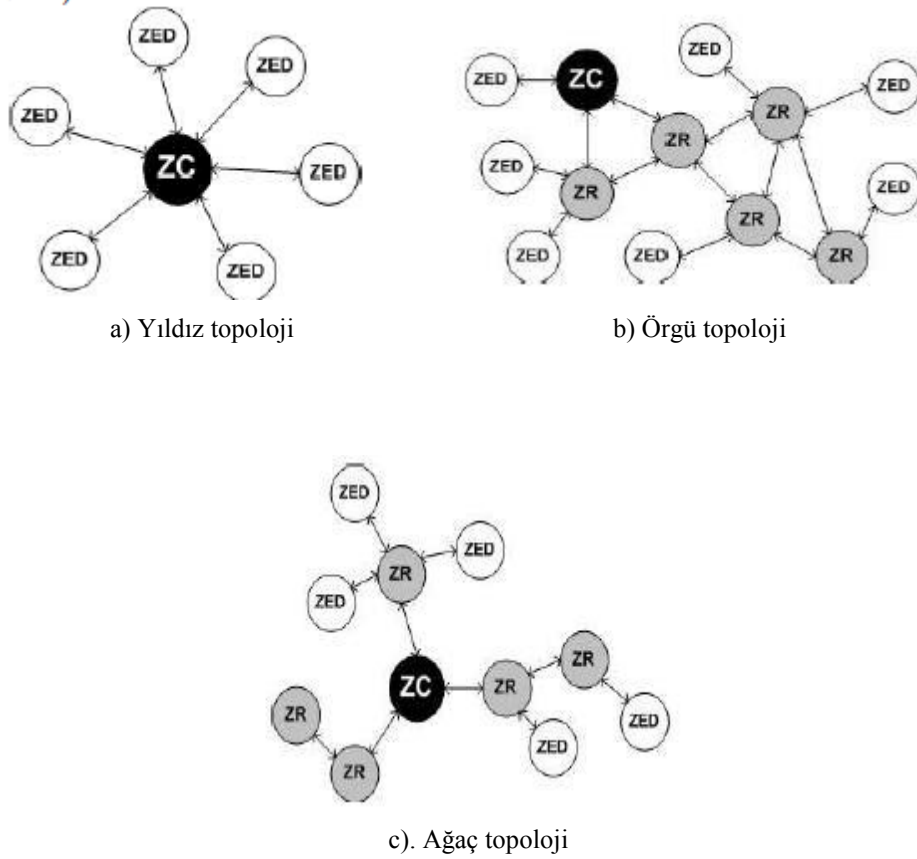
2.3.3.1. IEEE 802.15.4 Standardının Teknik Alt Yapısı

ZigBee, IEEE 802.15.4 standardı tarafından tanımlanan güçlü radyo (fiziksel katman, PHY) ve Ortam Erişim Kontrolü (Medium Attachment Control, MAC) katmanları üzerine kuruludur. Bu yüzden öncelikle IEEE 802.15.4 standardını incelemekte yarar vardır. IEEE 802.15.4-2003 standardı bir (PAN)'da ki radyo iletişimi ile ara-bağlantılandırılmış cihazları ve temel alınan protokolü tanımlar. Standart CSMA/CA ortam erişimi mekanizmasını kullanır ve star (yıldız), peer-to-peer (eşler arası) gibi topolojileri destekler. Bir IEEE 802.15.4 (ve ZigBee) ağı en azından bir tane tam fonksiyonlu cihaza ağ yöneticisi olarak ihtiyaç duyar, fakat end point (uç nokta) cihazları sistem maliyetini düşürmek için fonksiyonelliği azaltılmış cihazlar olabilmektedirler. IEEE 802.15.4, üç adet lisanssız frekans bandını tanımlamıştır. İlk bant, 2.4 GHz frekans bandını (Industrial, Scientific, Medical (ISM) bandı) kullanır ve 16 kanala sahiptir. İkinci bant, 902-928 MHz frekans bandını 10 kanalla kullanır. En sonuncusu ise 868-870 MHz frekans bandını sadece bir kanal ile kullanır. Bu frekans bantlarının kapasiteleri sırasıyla 250 kb/s, 40 kb/s, 20 kb/s 'dir [23,25-27]. Yukarıda da bahsedildiği gibi IEEE 802.15.4 standardı temel olarak iki katmanı (PHY ve MAC) tanımlamıştır. PHY katmanında üç farklı frekans bandında radyo iletişimi yapılabilmektedir. Uygulama için bunlardan sadece birinde çalışabilmesi yeterli olmaktadır. Bunlardan 2.4 GHz (2450 MHz) PHY bir onaltılı quasi-ortogonal modülasyon tekniği kullanır [26].

2.3.3.2. Zigbee Standardının Teknik Alt Yapısı

PAN'ler (Personal Area Networks) için geçtiğimiz senelere kadar iki ana teknoloji/standart bulunmaktaydı, bunlar: "Bluetooth" ve "WiFi" (yani IEEE 802.11.x) olarak adlandırılırlar. Endüstri de kullanılan uygulamaların ana görüşü, kablosuz iletişimin düşük bant genişliğinde daha az karmaşıklık ve birçok durumda pil ömrünün neden olduğu sorunlara çözüm getirmesiydi. Bununla beraber, eğer düğümler pil ile beslenir ise düşük güç

tüketimi mümkün olabilmekteydi [21,25]. WiFi ve Bluetooth bu istekleri karşılamakta zorlanmaktaydılar. 1999’da “FireFly” çalışma grubu, bugün ZigBee olarak bilinen teknolojiyi tasarlamaya başladı. Gelişim olarak, önce IEEE 802.15.4-2003 temel alınarak ve daha sonra ZigBee Alliance ’in Aralık 2004’te bu işe el atmasıyla süreç gelişti. Böylece ZigBee resmen PAN ağlarından birisi haline geldi [27-29]. ZigBee teknolojisi üç temel topolojiyi kullanır: Yıldız, Örgü ve Kümeli Ağaç. Bunlar Şekil 2.3 ’de görülebilmektedir.



Şekil 2.3. Zigbee topolojileri[3]

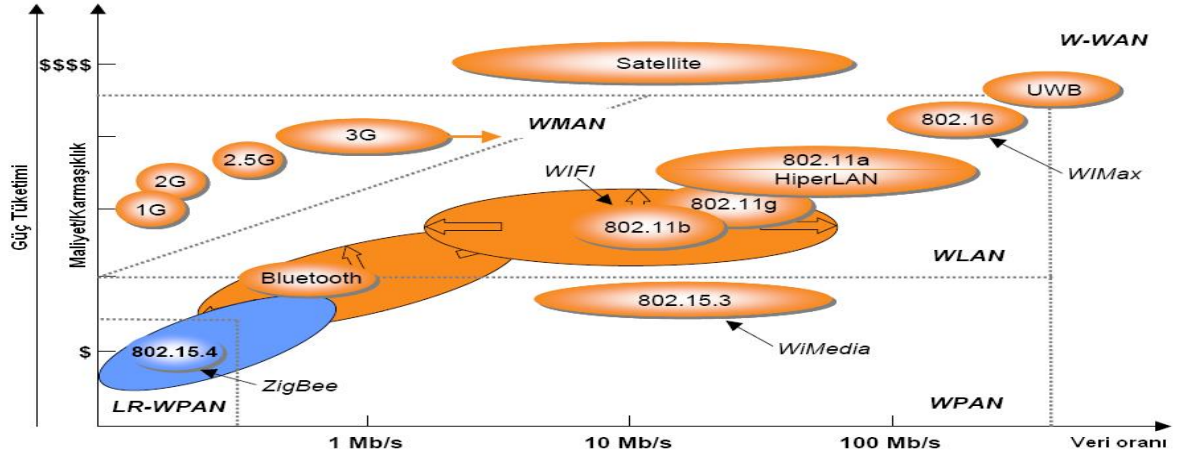
Yıldız topolojisi merkezileşmiş bir yönetim ve iletişime sahip bir yapısı vardır. Mimarisi merkezdeki düğüme dayanmaktadır. Uç düğümler(ZED) doğrudan birbirleri ile iletişime geçemeyip merkezdeki ZC(Zigbee Coordinator) aracılığıyla haberleşirler. ZC bir PAN ID tutar ve bu ID ortamdaki diğer hiçbir Zigbee ağda tanımlanmamış olur. Yıldız topolojisi merkeze yöneldiği için batarya kaynağını çabuk tüketir. Ayrıca büyük ölçekli ağları adreslerken Zigbee kümeleme işi sıkıntılı olmaktadır. Bu sebeple yıldız topolojisi geleneksel kablosuz sensör ağları için çok uygun bir topoloji değildir [3].

Örgü topolojisi yıldız topolojisi gibi merkezileşmemiş olup ağdaki herhangi bir düğüm başka bir düğüm ile iletişim kurup haberleşebilir. Bu çok büyük ölçüde ağ esnekliği sağladığı gibi uçtan uca haberleşme karmaşıklığını da beraberinde getirir. Örgü topolojisi düğümler arasında tek bir güzergâh belirlemediği için yıldız topolojisine göre güç verimliliği ve batarya kullanımını daha iyi yönetir [3].

Ağaç topolojisi düşük güç tüketimi ve maliyetiyle kablosuz sensör ağlar için çok uygun topolojidir. Güç koruma işlemi IEEE 802.15.4/Zigbee Mac frame yapısıyla sağlanır. Ağaç topolojisi kablosuz sensör ağlar için verimli olmasına rağmen topoloji kısıtlı yönlendirme (routing) işlemleri ve bant kullanımı ile ilgili sıkıntılara sahiptir. Ağaç topolojisinde herhangi bir bağlantı kopukluğu veri akışını erteler ve yeniden kurtarma işlemleri dolayısıyla oldukça iş yükü oluşur. Topoloji çoklu yollarını kullanmaz. Ağaç topolojisi hafıza kullanımı bakımından örgü topolojisine göre daha iyidir. Çünkü kaynak düğümden hedef düğüme tek bir rota kullandığı için hafızada fazla veri tutulmaz [3].

2.3.4. Başka Kablosuz Sensör Ağ Teknolojileri ile ZigBee'nin Karşılaştırılması

ZigBee, personel (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. Diğer low-rate WPAN (LR-WPAN) teknolojileri (Bluetooth vb.) ve diğer bazı kablosuz teknolojiler ile ZigBee teknolojisini [26] Şekil 2.4'de karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir. 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 bant genişliği ile iletişim sağlayabilmektedir. Tablo 2.1'de detaylar görülmektedir [21, 29].



Şekil 2.4. Kablosuz teknolojiler içerisinde ZigBee'nin yeri [30]

Tablo 2.1. ZigBee ve bazı kablosuz teknolojilerin özelliklerinin karşılaştırılması [23]

Özellik		ZigBee	
Odaklanma alanı		İzleme ve Kontrol	
Sistem Kaynağı		4-32 Kb	
Pil Ömrü (gün)		100- 1000+	
Ağ Boyutu		~ Sınırsız (2^{64})	
Ağ veri genişliği (kb/sn)		100- 1000+	
Kapsama Alanı (metre)		1 - 100+	
Başarı alanları		Dayanıklılık, maliyet, güç tüketimi	
Özellik	GPRS/ GSM	Wi-Fi	Bluetooth
Odaklanma alanı	Geniş alan ses ve veri	Web, email, Video	Kablo yerine
Sistem Kaynağı	16 Mb+	1 Mb+	250Kb+
Pil Ömrü (gün)	1-7 Gün	0.5-5	1-7
Ağ Boyutu	16 Mb+	32	7
Ağ veri genişliği (kb/sn)	64 - 128+	11000-54000	720
Kapsama Alanı (metre)	1000+	1-100	1-10+
Başarı alanları	Ulaşılabilirlik, kalite	Hız, esneklik	Maliyet, rahatlık

ZigBee, daha önceden PURLnet, RF-Lite, Firefly ve HomeRF Lite olarakta bilinmekteydi. HomeRF Lite, 2.4 GHz'de ISM radyo bandında, aynen IEEE 802.11b standartında belirtilen mikrodalga, Bluetooth ve diğer bazı cihazların da çalıştığı frekans

bandında çalışmaktadır. ZigBee teknolojisi, IEEE 802.11b (11 Mbps) ve Bluetooth (1 Mbps) 'den daha yavaştır, fakat “daha az güç” ile çalışmaktadır [23,26,31].

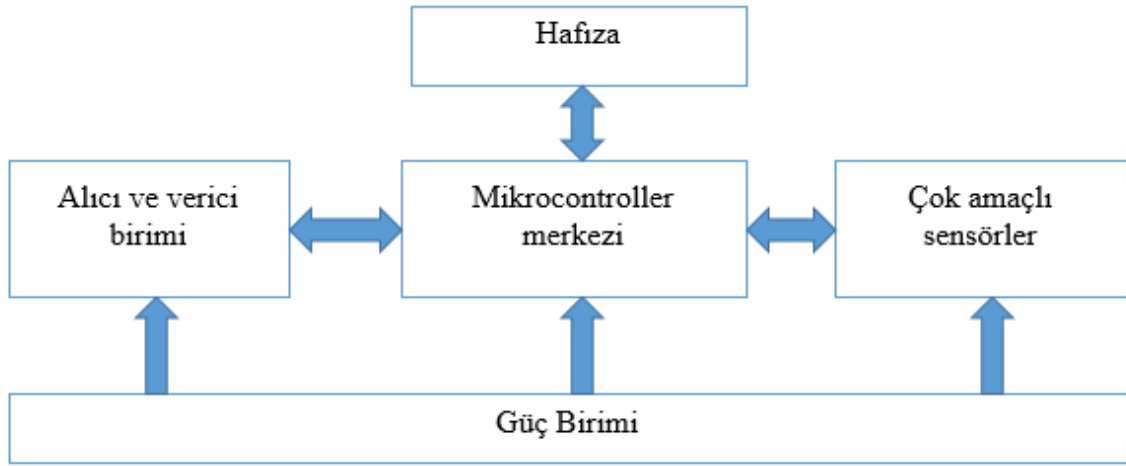
2.4. Zigbee Ağ Bileşenleri

Zigbee protokol'ü 3 tip düğüm tipini destekler: Coordinator, Router ve End Device [3,4]:

- **Zigbee Coordinator:** Zigbee kordinator ağı başlatır, korur ve ağ için gerekli kontrol fonksiyonlarını oluşturur. Ağ başlar başlamaz PAN Coordinator ZR gibi çalışır. Ağ mesaj (beacon)-aktif mod ile çalışıyorsa ZC ağın geri kalanı senkronize olması için periyodik olarak mesaj çerçeveleri gönderir. Kümeli ağaç topolojisinde bütün ZR'ler ebeveynlerinden mesaj alırlar ve kendi mesajlarını kümelerindeki düğümlere gönderirler [3].
- **Zigbee Router:** Router algılanan veriyi sink düğüme yönlendirme kapasitesine sahiptir. ZC ile veya daha önceden herhangi bir ZR ile ilişkili olup çok düğüm atlamalı rol oynar [4].
- **Zigbee End Device:** Herhangi bir yönlendirme vasfı olmayıp sadece normal düğüm görevi görürler [4].

2.5. Kablosuz Sensör Düğümleri ve Özellikleri

Sensör düğümleri ortamdaki verileri toplayan, topladığı verileri kısmen işleyen ve diğer düğümlere ileten kablosuz sensör ağların en küçük birimidir. Sensör düğümün ana bileşenleri mikrodenetleyici, bellek, alıcı-verici, güç kaynağı ve bir veya daha fazla olabilen sensör bileşenidir. Sensör düğümünün genel mimarisi Şekil 2.5'de gösterilmektedir [14,32,33].



Şekil 2.5. Sensör düğümü mimarisi

Mikro Denetleyici: Sensöre yüklenen programla belirlenen komutları işler, sensör düğümü üzerindeki diğer bileşenlerin işlevselliğini denetler [16,33-36].

Alıcı-Verici: Radyo dalgalarını kullanarak diğer düğümlere verileri ileten ve diğer düğümlerden gönderilen verileri alıp mikro denetleyiciye ileten sensörün iletişim birimidir. Sensör düğümleri aralarında haberleşmek için 433 Mhz ile 2.4 Ghz arasındaki iletişim frekansını kullanırlar [16,33,37].

Bellek: Mikro denetleyici üzerindeki bellek, enerji kullanımı açısından en uygun bellektir. Bunun dışında maliyetinin az olması ve depolama kapasitesinin mikro denetleyici üzerindeki belleğe göre daha büyük olmasından Flash bellekler kullanılmaktadır. İhtiyaç duyulan bellek gereksinimleri uygulamadan uygulamaya değişmektedir [16,33,37].

Güç kaynağı: Sensör düğümünde gerçekleşen veri toplama, işleme ve düğümler arası iletişim nedeniyle güç kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Sensör düğümleri mobil aygıtlar olduğu için üzerlerinde bulunan güç kaynakları sınırlı enerji ye sahiptir. Sensör düğümünde en fazla enerji tüketen bileşen alıcı-verici bileşenidir. Veri toplama ve işleme için enerji tüketimi daha azdır. Gelişen enerji teknolojisiyle birlikte sensörler güneş enerjisi, ısı enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını da kullanabilecek yetenekte geliştirilmektedirler [16,33,37].

Sensörler: Sensörler sıcaklık, nem, basınç gibi fiziksel değerleri ölçüp sayısal ya da analog olarak ölçüm sonucunu üreten bileşenlerdir. Alıcı-verici bileşeninden sonra en çok enerji tüketen bileşendir [16,33].

Günümüzde mica2, micaZ, TelosA, TelosB, eMote, IMote2, Sensenode gibi birçok düğüm modeli bulunmaktadır [34,35]. Kablosuz sensör ağlarında kullanılan düğüm

teknolojileri üzerlerinde barındıkları işlemci, radyo devresi, anten yapısı, ADC yapısı, hafıza miktarı gibi birçok etkene bağlıdır. Enerji farkındalığına sahip düğümlerin kullanılması sistem açısından hayati öneme sahiptir. Düğümlerin diğer ayırt edici özelliklerinden biride anten yapısıdır. Ortalama mesafe 30 metre ile 70 metre civarında olmasına rağmen Mica2 gibi sensör düğümleri 300 metreye kadar ulaşabilir ki bu durum beraberinde fazladan güç tüketimini getirir. Düğümlerde kullanılan mikro denetleyici ve diğer yardımcı birimler (ADC, SPI, UART vb.) açısından bakıldığında ise, kullanılan saat frekansı 4-8 Mhz arasında değişmektedir. Mikro denetleyicilerin komut başına harcadıkları enerji önemli bir değerdir.

MEMSIC firmasına ait MicaZ düğümünün resmi Şekil 2.6'da görülmektedir.



Şekil 2.6. MicaZ düğümü

Bu düğümün özellikleri aşağıdadır.

- IEEE 802.15.4/ZigBee uyumlu RF alıcı,
- 2.3 - 2.4835 GHz, global olarak uyumlu ISM bandı
- 250 kbps data oranı
- Tümlşik onboard anten
- 10 kB RAM'li 8 MHz TI MSP430 mikrokontrolör
- Düşük akım tüketimi
- Data loglama için 1 MB harici flash
- Tümlşik ışık, sıcaklık ve nem sensörünü içeren (TPR2420) opsiyonel sensör takımı
- TinyOS 1.1.10 veya üst sürümlerini çalıştırma

Bu platform 16- bit low-power MSP430 [35] mikro denetleyicisini içermektedir. Mikro denetleyici 10kB RAM, 48kB program flash ve 1024kB harici (external) flash belleğe

sahiptir. Platformda bulunan Chipcon CC2420 [36] haberleşme yongası 2.4 GHz frekansta çalışmaktadır ve 250kbps veri iletim hızına sahiptir [37].

2.6. Kablosuz Sensör Ağlarında Konumlandırma Yöntemleri

Konum bulma, kablosuz algılayıcı ağlarında düğümün konumunu bulmak için yapılan uygulamadır. Konum bulma işlemi için literatürde birçok metot vardır. Fakat bu metotların etkinliği gerçekleştirilen uygulamanın senaryosuna ve yapısına sıkı sıkıya bağlıdır. Bu yüzden her algılayıcı ağı konum bulma konusunda kendine has bir karakteristiğe sahiptir [38,39].

Konum bulma işlemi iki temel şekilde yapılır. Bunlardan ilki GPS yardımıyla mutlak koordinatlarını hesaplayarak direk olarak düğüme elle yüklemektir. Bu teknikte düğüm elle yerleştirilirken GPS uydularından alınan veri direk olarak düğüme yüklenir. Böylece her düğümün koordinatı kesin bir şekilde kendine bildirilir [38,39].

İkinci yöntem ise düğümün kendi koordinatını kendinin yerel olarak hesaplamasıdır. Bu yöntemde belli Çapa düğümler seçilir ve bu düğümlere programlanma sürecinde kendi koordinatları bildirilir. Sistem kurulduktan sonra bu düğümler düzenli olarak kendi koordinatlarını bildiren mesajlar yollayarak diğer algılayıcı düğümlerinin kendi koordinatlarını hesaplamaları için gereken konum bilgilerini kendilerine bildirir. Daha sonra algılayıcı düğümler çeşitli metotlar kullanarak bu bilgiler ile kendi koordinatlarını hesaplarlar [38,39].

Konum Bulma teknikleri genel olarak iki sınıfa ayrılır. Bunlar;

- Kapsama alanı temelli
- Kapsama alanından bağımsız tekniklerdir.

2.6.1. Kapsama Alanı Temelli Teknikler

2.6.1.1. Alınan Sinyalin Güç Seviyesine Bakarak Konum Bulma (RSSI)

Bu teknikte gelen mesajın sinyal gücü ölçülür ve temel uzaklık oranları ile hesaplanarak mesajı yollayan düğüm ile mesajı alan düğümün arasındaki uzaklık ölçülmeye çalışılır. Herhangi bir ek donanıma ihtiyaç duyulmaması bu tekniğin en güçlü yanıdır. Fakat bazı bu

tekniki gerçekleştirmede bazı glklerle karşılaşılır. Çoklu sinyal yayılımı, sinyal gücünün havadaki iletimi esnasında değişmesi ve sinyallerin karışması tekniğin uygulanması sırasında ciddi problemlere yol açmaktadır [38,39].

2.6.1.2. Gelen Sinyalin Açısıyla Konum Bulma

Bu teknikte konum, gelen sinyalin aı bilgisi ile hesaplanır. apa düğümler kendi yakınlarında bulunan çapa düğümlerle olan açıları ve bu çapa düğümlere olan uzaklıklarını mesaj ile yollayarak bu mesajları alan düğümlerin uzaklık ve aı bilgilerini kullanarak kendi konumlarını hesaplamasına yardımcı olur. En az iki çapa düğümden bilgi gelmesi gereklidir ve bu teknik için özel donanımlara ihtiyaç vardır [38,39].

2.6.1.3. Sinyalin Geliş Süresinden Yararlanarak Konum Bulma

Bu teknikte sinyalin yol alma süresi bilgisinden yola çıkılarak konumlar hesaplanır. Sinyal bir düğümden yollandıktan sonra sinyali alan düğüm mesajı alır almaz karşı mesaj yollar. Geçen süre ile sinyalin birim zamanda gittiği yol bilgilerinden aradaki uzaklık hesaplanır. Bu teknik için en az üç doğrusal olmayan düğüm gereklidir. Bu tekniğin en temel dezavantajı düğümlerin saat frekansları eşzaman olmadığından hesaplamalarda düğümler arasında hataların olmasıdır [38,39].

2.6.1.4. Sinyalin Geliş Süresi Farkından Yararlanarak Konum Bulma

Bu teknikte sinyalin geliş süresi tekniğinden farklı olarak, iki farklı sinyal türünün geliş zamanlarındaki farktan yararlanarak konum bulmaya çalışılır. Örneğin iki düğüm arasında ses ve ışık sinyalleri kullanarak mesajlaşılır ve bu mesajların alınma ve iletim hızındaki farklardan yararlanılarak konum hesaplanır. Bu teknikte de en az üç düğüme ihtiyaç vardır ve bunlar lineer olarak konumlandırılmamalıdır [38,39].

2.6.1.5. Üçgenlere Bölme Yöntemiyle Konum Bulma

Bir düğümün konumu bir düzlem üzerinde ve koordinatları x ve y olacak şekilde tanımlanabilir. Bu düğümlerin konumlarını bulmak için koordinat sistemine dayanan birden fazla teknik vardır. Konumu hesaplamak için düğüm ile konumu bilinen (anchor) düğümü arasındaki uzaklığı bilmek gereklidir. Bu uzaklığı öğrenmek için de Alınan Sinyalin Güç Seviyesi veya uçuş zamanı gibi yöntemler kullanılabilir [38,39].

2.6.2. Kapsama Alanı Bağımsız Konum Bulma

Bu teknikler uzaklık veya açı bilgilerine ihtiyaç duymaksızın koordinat hesaplayabilir. Bunun yerine diğer metrik bilgilerde düğümün konumunu hesaplamada kullanılırlar.

2.6.2.1. Merkezi Konum Bulma

Bu teknik en basit ve temel kapsama alanı bağımsız konum bulma metodudur. Kendi apsis ve ordinat bilgilerini sürekli olarak yayan çapa düğümler kullanılarak diğer düğümlerin konumlarını bulması mantığına dayanır. K tane çapa düğümden gelen koordinat bilgileri denklem 2.1'deki formülle hesaplanarak düğümün koordinatları bulunur.

$$(x_{est}, y_{est}) = \left(\frac{x_1 + \dots + x_n}{k}, \frac{y_1 + \dots + y_n}{k} \right) \quad (2.1)$$

Referans olan çapa düğümlerin sayısı arttıkça bulunan konumun doğruluk oranı da artar [38,39].

2.7. Kablosuz Sensör Ağları İçin Simülatörler

Kablosuz sensör ağları için birçok simülasyon metotları vardır. Bunlardan kısaca bahsetmek gerekirse;

- **Network Simulator(NS-2)** genelde ağ araştırmalarında ve uygulamalarında geniş çaplı kullanılan C++ programlama kombinasyonu ile oluşturulmuş ayrık olay tabanlı

simulatördür. Bu simulatörün en büyük avantajı genişletilebilir modül yapısına sahip olmasıdır. Örneğin *phenomenon* denilen özellik ile sensör ağı tasarlarken fiziksel bir olay tetiklenir ve kimyasal bulut veya hareket eden bir araç sensör düğümlerin yakınından izlenebilir. NS-2, simülasyonu TCP/IP protokol desteğine göre oluşturur [35,40].

- **J-Sim** diğer bir nesne tabanlı bileşen sayesinde ağ simülasyonu çerçeve çatısı ile Java'da geliştirilmiştir. Modüller eklenebilir veya silinebilir. J-Sim, gerçek sensör cihazlarını iç içe, kullanışlı bir biçimde simülasyonunu yapabilir. Bu çerçeve çatısı, sensör ve sink düğümler, sensör kanalları, kablosuz iletişim kanalları, fiziksel ortam, sismik kanal, güç modelleri ve enerji modellerini oluşturur [28,40].
- **GloMoSim ve QualNet**, PARSEC simülasyon ortamında geliştirilen simülasyon aracıdır. Bu araç da C tabanlı dilde geliştirilmiştir. GloMoSim çok çeşit yapıda protokol katmanını destekler. Örneğin CSMA ve MACAW(MAC katmanı), taşıma, ağ katmanı, TCP ve UDP. Ayrıca düğümlerin hareketlilik modlarını da destekler [28].
- **JIST/SWANS**, java programlama diliyle geliştirilmiş ayrık olay simülasyon aracıdır. Simülasyonları verimli ve şeffaf olarak gerçekler. Verimlilik, simülasyon programını, hesaplama, kaynaklarını konfigüre ederken paralel bir biçimde çalıştırmasını tanımlar. Şeffaflık özelliği ise kullanıcı veya programcı müdahalesi olmaksızın simülasyon zamanını ayarlayıp geçiş yapabilen, tutarlı ve tekrar konfigüre edilebilen protokollerle çalışabilmesi anlamına gelir. JIST/SWANS, NS-2 ve GloMoSim' e göre özellik ve yetenek bakımından kıyaslanabilir. Ancak çok geniş çaplı ağ simülasyonlarında oldukça daha başarılıdır [35,40].
- **OMNET++**, çok işlemciler, çeşitli dağıtık sistemler, ağ iletişimi gibi birçok özelliğe sahip simülasyon aracıdır. C++ tabanlı açık kaynaklı bileşenlere sahiptir. Modüller birbiriyle mesaj yoluyla haberleşebilir. OMNET++'de kullanıcı topoloji tanımlama dili olan NED kullanarak modül yapıları tanımlanabilir. Diğer simulatörlerden eksiği ise protokol modellerine sahip olmayışıdır [40].
- **TOSSIM**, TinyOS tabanlı kablosuz sensör ağları için bir simulatördür. TinyOS bileşenlerini kullanarak sensör düğümlerindeki kodları çalıştırarak simülasyonu gerçekleştirir. Ayrıca görsel simülasyon modelini de kullanıcıya sunar [40].
- **OPNET Modeler**, ağları modellemek ve simüle etmek için C++ dil yapısına sahip güçlü hesaplama yeteneği olan simulatördür. OPNET Modeler, ağ iletişimi, dağıtık

sistemler tasarlamak için kapsamlı gelişmiş bir ortam sunar. Hem ağın davranışı hem de performansı ayrık olay simülasyonları sayesinde analiz edilebilir. Olaylar sonlu durum makineleri mekanizması şeklinde çalıştırılır. OPNET Modeler, Zigbee ağlarının çeşitli kalite servis parametrelerince kapsamlı performans analizi sunduğu için ağ tasarımcıların ilgisini çekmektedir [35,40].

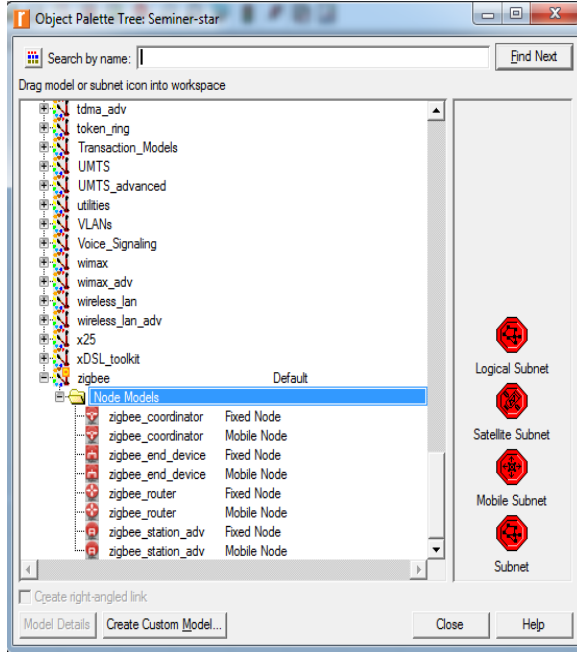
- RIVERBED teknoloji, genel merkezi San Francisco ve Kaliforniya olan ağ uygulamalarını, ağ performansını geliştirmek için çözümler üretmeyi hedeflemiş bir şirkettir. Şirket birçok organizasyon değişikliği yaşamış olup en son OPNET teknolojiyi 2012 yılında 1 milyon dolara satın almıştır. RIVERBED' in ürettiği ve ilgilendiği bazı konular arasında WAN optimizasyonu, ağ izleme ve yönetme, bulut ürünleri geliştirme yer alır [41].
- Riverbed Modeler ayrık olay-simülasyon motoru ağ iletişimi, tasarımı ve analizi için geliştirilmiş hızlı ve güvenilir simülasyon aracıdır. Birçok karmaşık simülasyon protokol aracını içerir [40,41].
- EmStar, Avrora ve SensorSim diğer simülasyon araçları içerisinde yer alır.

3. KABLOSUZ SENSÖR AĞ TOPOLOJİLERİNİN PERFORMANS ANALİZİ

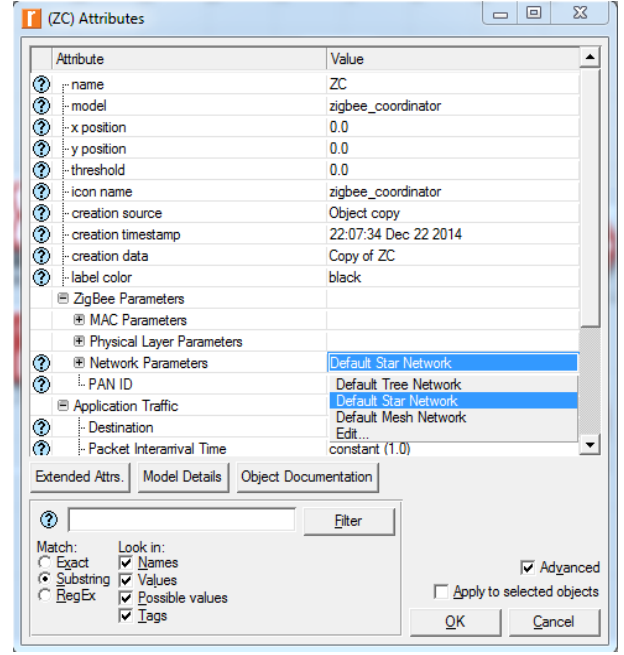
Bu çalışmada farklı Zigbee topolojileri oluşturularak kablosuz sensör ağ sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemin, değerlendirilmesini ve analizini simüle etmek ve gerçek sistem üzerinde doğru sonuçlar verip vermeyeceğini öngörebilmek için bu çalışmada simülasyon aracı olarak RİVERBED(OPNET) Modeler Academic Edition 17.5 kullanılmıştır. Riverbed, Opnet şirketini satın alan bir şirkettir. Bu program versiyonu güçlü ağ iletişimini ve değişik sistem modelini geliştirmeye olanak sağlamakla birlikte haberleşmeyi merkez yönetici, PAN koordinatör, routerlar ile end device(uç cihaz)'lar arasında gerçekleştirmeyi mümkün kılar [35].

Bu çalışmada Zigbee standardı kullanılarak kablosuz sensör ağ topolojilerinin performans analizi yapılmıştır. Bu çalışma için 3 farklı senaryo düşünülmüştür. İlk olarak yıldız, ağaç ve mesh (örgü) topolojileri *end-to-end delay*, *throughput*, *Mac load* ve *traffic received* ölçütlerine göre birbiri ile kıyaslanmıştır. Daha sonra, tek bir ZC' li ve 2 ZC 'li iki farklı ağaç topolojisine sahip Zigbee ağları, ilk senaryoda kullanılan 4 parametreye göre kıyaslanmıştır. Son olarak ise Zigbee ağdaki mobil düğüm ile sabit herhangi bir düğümün, *end-to-end delay* ve *traffic recieved by destination* ölçütlerine göre performans analizi yapılmıştır. Bütün senaryolarda ve ağ topolojilerinde birer tanesi hareketli, diğerleri statik olmak üzere 5 adet ZR ve 5 adet ZED, ilk ve son senaryoda 1 adet ZC, ikinci senaryoda ise 2 adet ZC kullanılmıştır.

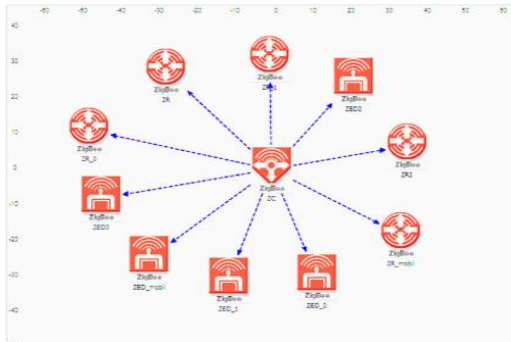
Topolojiler oluşturulurken Şekil 3.1' de görülen RİVERBED(OPNET) programının bileşen kütüphanesi olan **Object Palette Tree**' den 1 adet ZC, 5 adet ZR ve 5 adet ZED seçilip kablosuz sensör ağ ortamına rastgele dağıtılmıştır. Seçilen Zigbee koordinatörün özelliklerini belirlemek üzere koordinatörün üzerine sağ tıklayıp **Edit Attributes** kısmından Şekil 3.2' deki gibi ayarlamalar yapılmıştır.



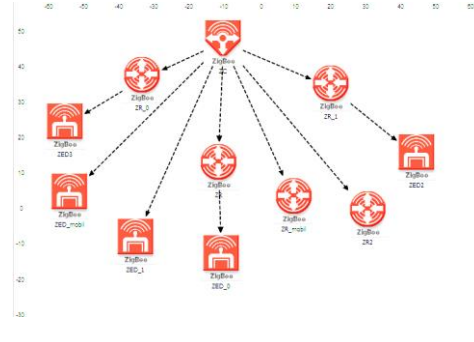
Şekil 3.1. Object palette tree



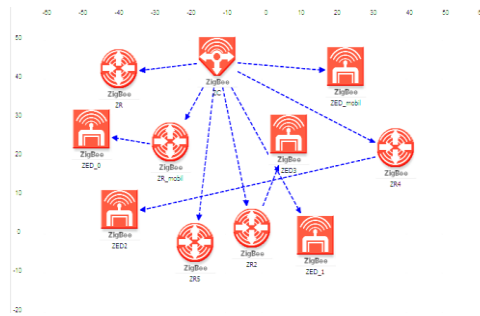
Şekil 3.2. Zigbee koordinatör konfigürasyonu



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.3. Topoloji yapıları a) yıldız b) ağaç c) örgü

Şekil 3.2'den de görüldüğü üzere yıldız topolojisi oluşturulurken ağ yapısı **Default Star Network** seçilmiştir. Diğer topolojilerde ise ağaç için **Default Tree Network**, örgü için

Default Mesh Network seçildi. Ayrıca diğer koordinatör nitelikleri ve ağ cihaz sayısı aynıdır. Şekil 3.3.a, Şekil 3.3.b ve Şekil 3.3.c sırasıyla yıldız, ağaç ve örgü topolojilerini göstermektedir. Ağaç ve örgü topolojilerinin ağ yapıları aynıdır fakat örgü topolojisi kendisinde routing tablosu tutarak alternatif yolların rotalarını belirleyebilir. Simülasyonda ağaç ve yıldız topolojileri için **mesh routing** pasif edilmiştir fakat örgü topolojisinde aktif edildi. Simülasyon süresi bir saat olarak ayarlanmıştır. Gönderilecek veri paketlerinin boyutu 1024 bayt belirlenmiş ve hedef ise rastgele seçilmiştir. Riverbed Modeler’ da simülasyon ilk önce sensör düğümlerinin çevrelerinden bilgi toplamaları için çalıştırılmıştır. Bu sayede sensörler bilgi mesajları birbirine göndererek haberleşmiş ve simülasyon için gerekli veriler elde edilmiştir. Daha sonra simülasyonda kullanılmak istenen global ve object istatistik değerleri seçilmiş, ağ simülasyonu 1 saat için çalıştırılmış ve sonuçlar grafiksel olarak incelenmiştir.

3.1. Senaryo 1

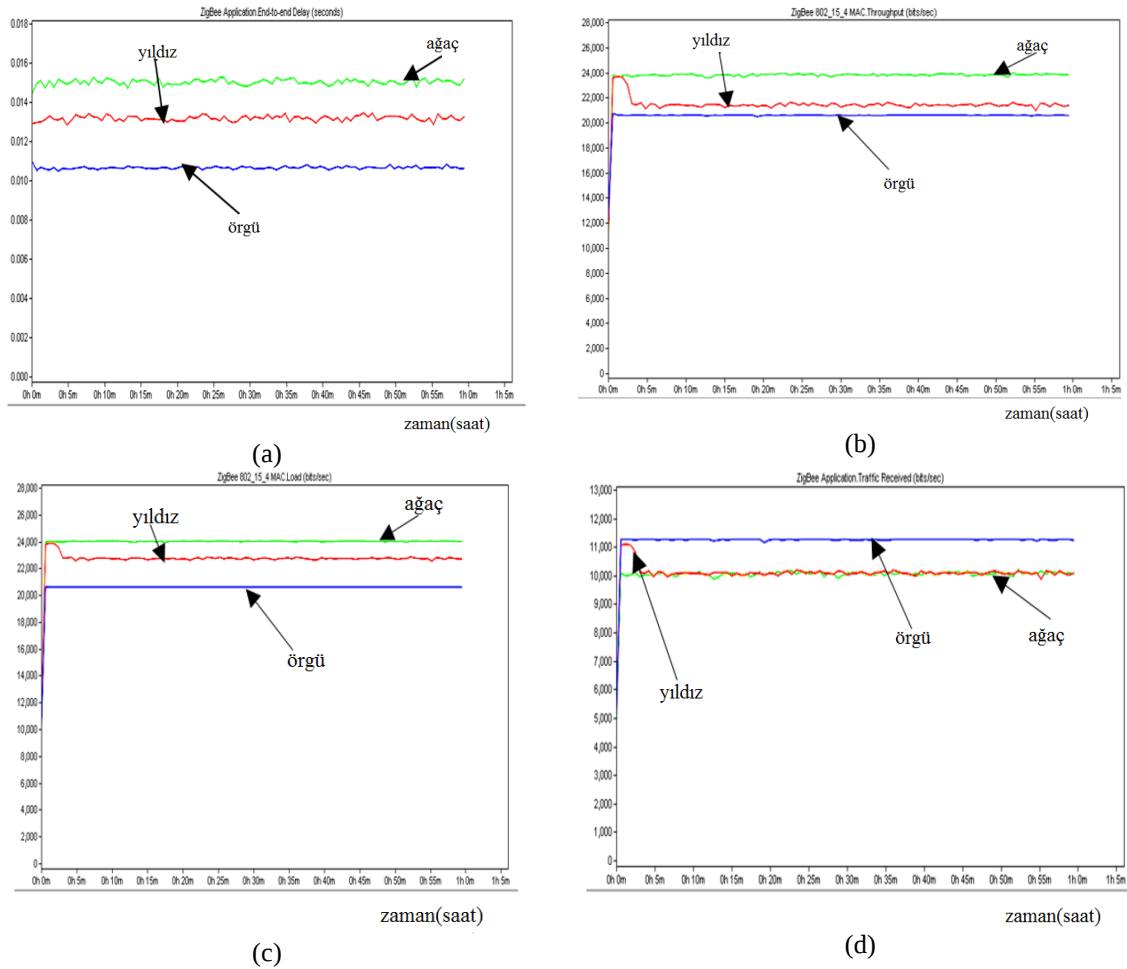
Bu senaryoda yıldız, ağaç ve mesh(örgü) topolojileri *end-to-end delay*, *throughput*, *Mac load* ve *traffic received* ölçütlerine göre birbiri ile kıyaslanmıştır. Şekil 3.4.a, Şekil 3.4.b, Şekil 3.4.c, Şekil 3.4.d, sırasıyla *end-to-end delay*, *throughput*, *Mac load* ve *traffic received* parametrelerine göre söz konusu 3 topoloji için analiz sonucunu göstermektedir.

End-to-end delay, bir paketin ağ gecikmelerinin ölçümüdür. Bir mesajın kuyruğa girdiği andan itibaren son bitinin hedef düğüme varıncaya kadar geçen süredir. Şekil 3.4.a’da görüldüğü gibi örgü topolojisine sahip ağda *end-to-end delay* süresi en düşük olup simülasyon süresi boyunca yaklaşık 0.011 saniyelerde, en fazla ise ağaç topolojisine sahip ağın gecikmeye sebep olduğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni, örgü ağlarda yapısı gereği routing tablosu tutulduğu için değişik alternatif yolları belirleyebilmesidir ve bir mesajın uçtan uca geçişi daha az zaman almasıdır.

Throughput, belirli bir zamanda veriyi doğru olarak kaynaktan hedefe ulaştırabilme gücü olarak tanımlanırsa bir kalite servis parametresi olduğu anlaşılabılır. Kullanıcı müdahalesi sonucu veya sensörler arasında paket sıkışmaları ve çarpışmaları sonucu verimlilik düşer. Şekil 3.4.b, söz konusu 3 topoloji için *throughput* parametresine göre analiz sonucunu göstermektedir. Ağaç topolojisinde simülasyonun başlamasından kısa süre içerisinde saniyede yaklaşık 24,000 bit veri hedef düğüme ulaştırabildiği ancak örgü ve yıldız topolojisinin birbirine benzer olup 20,000 bitin biraz üzerinde seyrettiği görülmektedir.

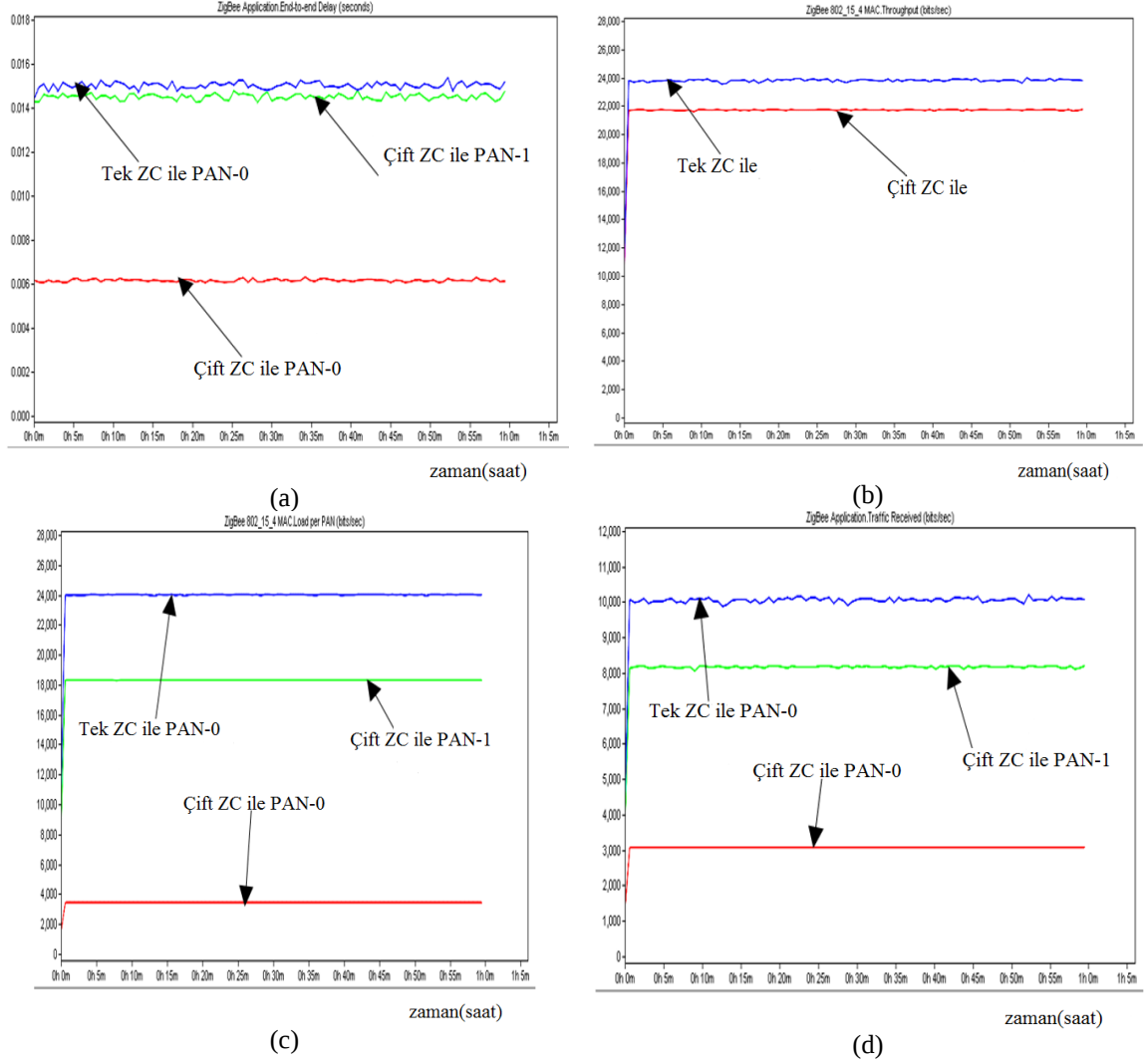
Bunun nedeni ağaç topolojisinin PAN koordinatörle ve ZR' ler ile haberleşebilmesidir. ZR'ler ile haberleşip daha az uç cihazlarla haberleşmesi ve kendine bir rota belirleyip daha az düğümden dolaşması, çarpışmaları azalttı ve sonuç olarak daha iyi bir çıktı verimi elde edilmiştir.

Mac load, her PAN için paketlerin üst katmanlar tarafından IEEE 802.15.4 Mac katmanına yani fiziksel katmana iletme yüküdür. Şekil 3.4.c'de görüldüğü üzere *Mac load* performansı *throughput* performansına benzer sonuçlar doğurmuştur. Yani bu sonuç, fiziksel katmandaki yük ne kadar hızlı üst katmanlara iletilebiliyorsa o kadar da ağ verimlidir yargısını doğrulamaktadır.



Şekil 3.4. Yıldız, ağaç ve örgü topolojilerinin performans analizi a) end-to-end delay b) throughput c) Mac load d) traffic received

Traffic received performans kriteri, ağ üzerinden geçen yoğunluğu ifade etmektedir. Senaryoda saniyedeki bit sayısı gözlemlenmektedir. Şekil 3.4.d, söz konusu 3 topoloji için

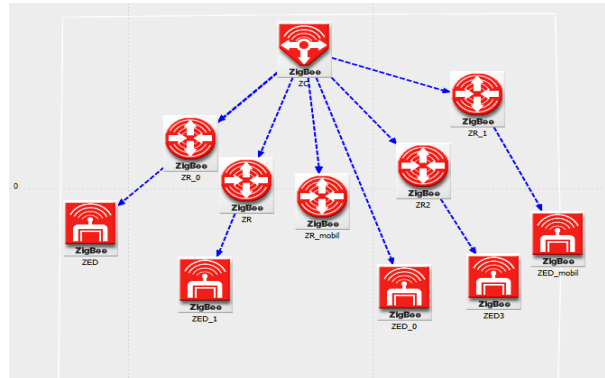


Şekil 3.6. Farklı PAN' lara sahip ağlarda performans analizi a) end-to-end delay b) throughput c) Mac load d) traffic received

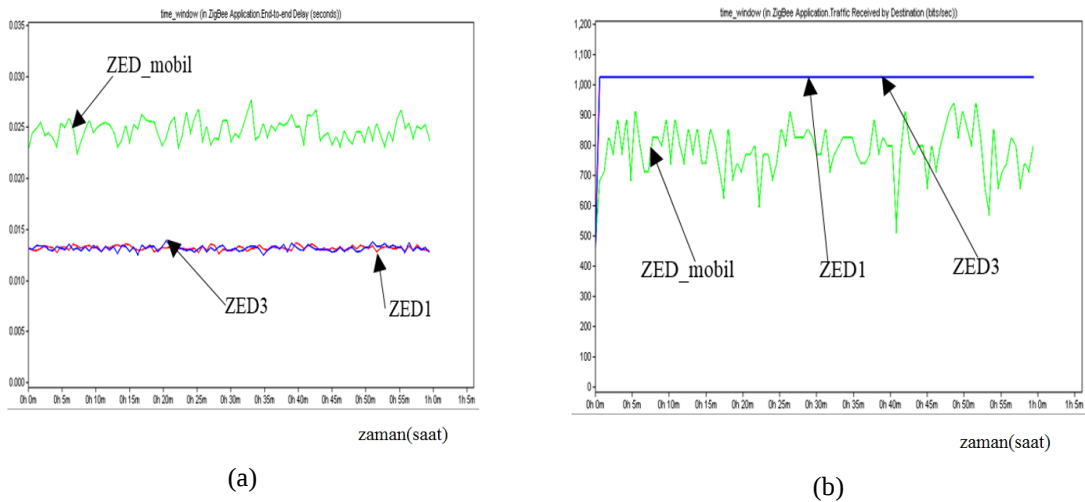
3.3. Senaryo 3

Bu senaryoda sabit uç düğüm ile hareketli uç düğümün *end-to-end delay* ve *traffic received by destination* performans kriterine göre kıyas analizi yapılmıştır. Şekil 3.7 oluşturulan ağın topolojisini göstermektedir. Ağdaki hareketli uç düğümün yörüngesi Şekil 3.7'de görülmektedir. Ağdaki cihazların yerleştirilmesi ve konfigüre edilmesi diğer senaryolardaki işlemlerle benzerdir. Simülasyon 1 saat için çalıştırıldı ve Riverbed program menüsü olan view results kısmından söz konusu parametrelere göre sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 3.7'de de görüldüğü üzere ZED_1, ZR sayesinde, ZED3, ZR2 sayesinde, ZED_mobil ise ZR_1 sayesinde hedefleri olan ZC' ye erişebilmektedir. Ağdaki tüm Zigbee router'lar özdeştir. İlk olarak Zigbee ağın Şekil 3.8.a'da gösterilen *end-to-end delay* parametresine

göre kıyası, ZED_1, ZED3 ve ZED_mobil uç düğümleri üzerinden yapılmıştır. Farklı router'lara haberleşmelerine rağmen sabit düğümlerin gecikme sürelerinin benzer olduğunu fakat hareketli düğümün daha fazla gecikme oluşturduğunu göstermektedir. Bunun sebebi hareketli düğümün yörüngesi gereği bütün ağ cihazların etrafında belli bir hızda hareketli olduğudur ve paket akış yoğunluğuna neden olduğudur. Ayrıca hareketli düğümün gecikme süresindeki dalgalanmalar, daha kararsız olduğu görülmektedir. Son olarak ise aynı düğümlerin ZC cihazını hedef alan *traffic received by destination* kriteri analiz edilmiştir. Bunun amacı düğümlerin ZC tarafından aldıkları trafik yoğunluğunun farkını görebilmektir. Şekil 3.8.b'de görüldüğü üzere sabit düğümlerin aldıkları trafik miktarı aynı ve hareketli düğümün aldığı trafik yoğunluğundan fazladır. Simülasyon başlangıcında sabit düğümlerin trafiğine eşit olmasına rağmen hareketli olduğu için ilettiği paketler daha hızlı hedeften dönmektedir.



Şekil 3.7. Senaryo 3'ün ağ topolojisi



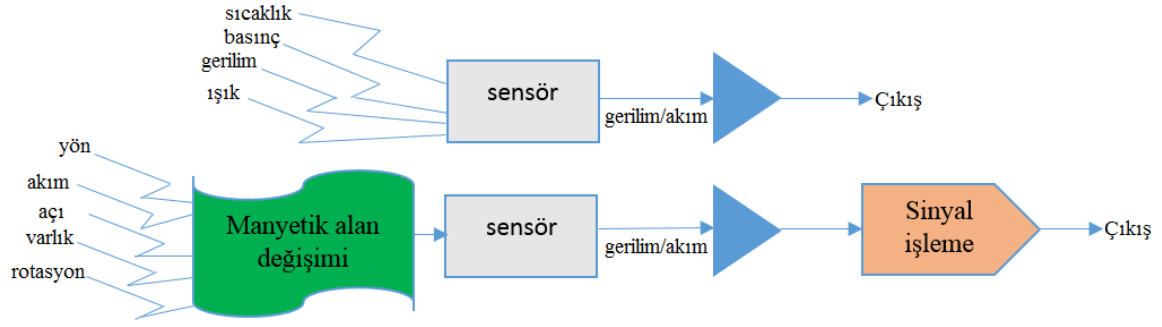
Şekil 3.8. Sabit düğümler ile hareketli düğümün analizi a) end-to-end delay b) traffic received by destination

4. KABLOSUZ MANYETİK SENSÖRLER KULLANARAK TRAFİK İZLEME SİSTEMİNİN TASARIMI

Manyetik sensörler çok uzun süredir kullanılmaktadır. Önce yapılan çalışmalar basit şekilde yön bulma ve navigasyon uygulamaları olmasına karşın günümüzde daha karmaşık ve amaca uygun uygulamalar geliştirilmiştir. Daha hassas ve doğru ölçüm yapabilen manyetik sensörler tümleşik devrelerle uyumlu çalışabilecek düzeye gelmiştir. Hem boyut hem de donanım maliyeti açısından avantajlı hale getirilip yerin manyetik alanını uygun değer şekilde algılayan Anisotropik Magnetoresistive sensörler (AMR) geliştirilmiştir [9,42].

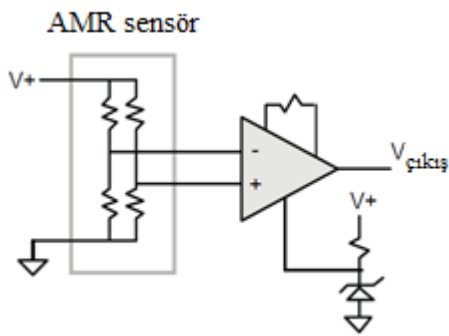
Manyetik sensörleri kullanmanın esas amacı sadece manyetik alanı ölçmek değildir. Araç tespiti yapmak, aracın hızını bulmak veya manyetik arkın varlığını tespit etmek gibi birçok amacı da bulunmaktadır. Bu amaçları gerçekleştirebilmek için doğrudan ölçüm yapılamaz veya belirli parametrelerle doğru sonuca erişilemez. Ancak bu bilgiler manyetik alandaki bozulmalar ya da değişimler yoluyla çıkarılabilir. Şekil 4.1’de de görüldüğü üzere sıcaklık, basınç, ışık ve gerilim gibi geleneksel sensörler istenilen parametreyi doğrudan orantılı gerilime veya akım çıkışına dönüştürebilir. Bununla birlikte, manyetik sensörler yön, açı veya elektriksel akımları doğrudan tespit edemezler. İlk öncelikle, uygulanan giriş ile oluşan veya değişen manyetik alan söz konusu olur [45,46,47]. Bakır telin içerisindeki akım veya demir türevi nesne, yerin manyetik alanında değişim farkına sebep olur. Manyetik sensör manyetik alan değişimleri algıladığında çıkış sinyalinin istenilen parametre değerine dönüşmesi için sinyal işleme sürecinden geçmesini gerektirir. Bu işlem manyetik sensörün birçok uygulamada kullanılmasını zorlaştıran aşamadır. Fakat bu değişim etkilerinin iyi anlaşılması, doğru ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini kolaylaştırır [47].

1856’da William Thompson ve Lord Kelvin [7] ferromanyetik metallere magnetoresistive etkiyi ilk olarak gözlemledi. Bu keşif, ince film teknolojisinin pratik sensör teknolojisine dönüşmesi için 100 yılın üzerinde askıda kalmıştır. Magnetoresistive(MR) sensörlerin şekil ve boyutunda değişiklik meydana gelmiştir. Yeni pazardaki MR sensörler tape ve disk sürücülerini okuma anlamında yüksek hassasiyete sahiptir [9].

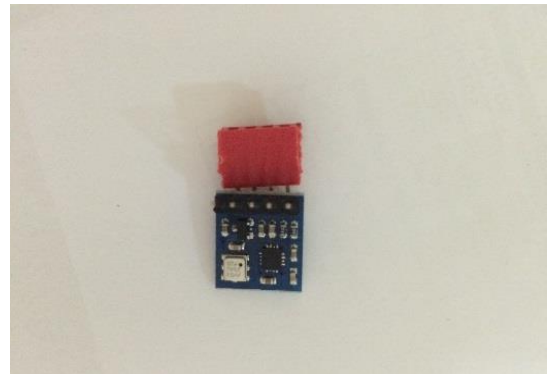


Şekil 4.1. Geleneksel sensör ve manyetik algılama

AMR sensörler manyetik alanın yönü ve şiddetinin yanı sıra statik alanları da algılayabilir. Bu sensörler dirençli şerit (resistive strip) olarak modellenen silikon ince film olan nikel-demir(Permalloy) karışımından yapılmıştır. AMR sensörün ince film olma özelliği manyetik alanın varlığında %2-3'lük direnç değişimine sebep olur. Şekil 4.2.a'da da görüldüğü üzere 4 adet direnç Wheatstone köprüsüne bağlanmıştır. Bu sayede tek eksendeki hem manyetik alanın yönü hem de şiddeti ölçülebilir. Ortak köprü direnci $1k\Omega$ 'dur. Tipik AMR sensörlerin bant genişliği 1-5 Mhz aralığındadır. AMR sensörlerin en büyük avantajı, silikon devre levhalarında (silicon wafer) üretilmesi ve ticari olarak bütünleşik devre paketleri şeklinde monte edilmesidir. Bu özellik, manyetik sensörlerin diğer devre ve sistem bileşenleriyle çalışabilmesine olanak sağlar [9].



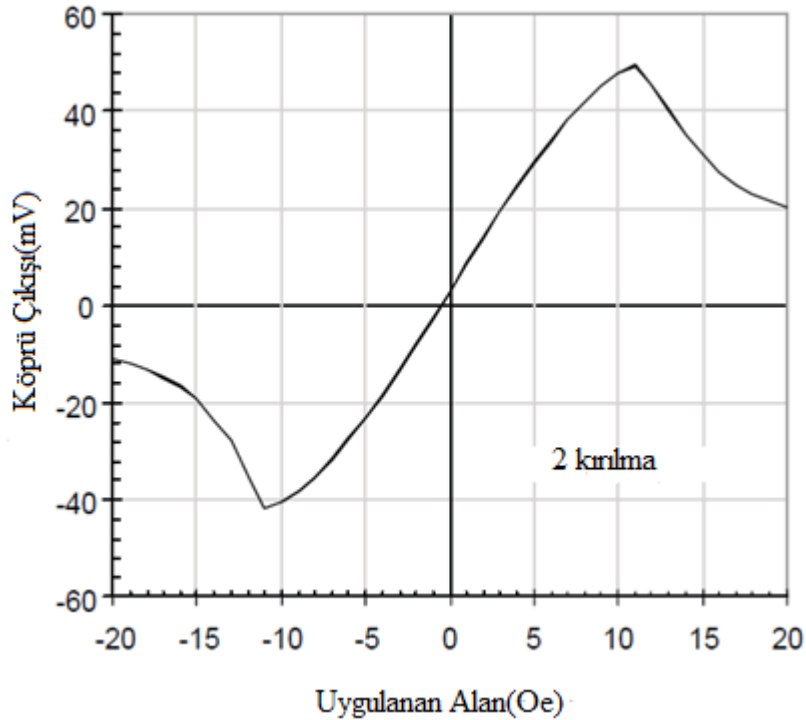
(a)



(b)

Şekil 4.2. a) Manyetik sensör devresi [9] b) HMC5983L Manyetik sensör entegresi

Permalloy film özelliği, uygulanan manyetik alanda değişikliğe maruz kaldığında direncini değiştirmesidir. Bu yüzden ismi magnetoresistive olarak anılmaktadır. Şekil 4.3’de gösterilen transfer eğrisinde, gerilim çıkışında eşdeğer değişime neden olur. Köprünün hassasiyeti $mV/V/Oe$ ile ifade edilir. Bu birimin orta terimi(middle term) köprü gerilimini yansıtır. Köprü gerilimi(V_b) 5 Volta ayarlanırsa ve hassasiyet(S) $3mV/V/Oe$ olursa(applied field), çıkış kazancı(output gain) $15mV/Oe$ olacaktır. Köprü yükselticisinin uygun seçilmesiyle çıkış seviyesi 1 microvolt olarak görülecektir. Eğer köprü çıkışı(bridge output) 67 kazancı ile yükseltileseydi, toplam çıktı $1V/gauss(=67 \times 15mV/gauss)$ olarak sonuçlanacaktı. Eğer -2 ile +2 gauss aralığı istenirse, 4 volt çıkışı yani 2.5volt köprü merkez değeri ima edilmiş olunur. Bu sinyal seviyesi birçok A/D dönüştürücüler için uygundur [9]. Piyasada kullanılan Honeywell firmasının ürettiği birçok sensör çeşidi mevcuttur. HMC1001,1002,2003,5983L bunlardan sadece birkaçıdır. Bunlar tek, çift veya üç eksenle ölçüm yapabilenler olarak birbirinden ayrılmaktadır.



Şekil 4.3. AMR transfer eğrisi

Şekil 4.2.b’de görülen sensör ise 3 eksenle(x,y,z) ölçüm yapabilen ve veriyi seri iletişim yoluyla işlemciye aktarabilen HMC5983L manyetometredir. Bu sensör -8 ile +8 gauss aralığında manyetik alanı ölçebilme yeteneğine sahiptir. Bu sensörün iç yapısında 16 pin

bulunmakla birlikte dış yapısında ise kullanılabilen 4 adet pin bulunmaktadır. Bunlar SDA/SPI_SDI, SCL/SPI_SCK, GND ve VDD(2.16v-3.6v) pinleridir(Şekil 2.b). GND pini toprak bağlantısını sağlayabilmek, VDD pini ise güç bağlantısını yapabilmek için kullanılır. VDD için 3.3 voltluk gerilimle sensörü çalıştırabilmek için Şekil 4.4’de görülebilen güç kartı devresi ve güç kaynağı (AA pil) kullanılmıştır. Bu çalışmada bu sensörün kullanılmasının esas sebebi, bu pinler vasıtasıyla I^2C portuyla sensör düğümüne takılıp seri iletişim yapabilmesidir. Bu sayede sensör düğümünün işlemcisiyle SCL (Serial Clock) pini ile alınan her clock süre sonra data registerlarında (X, Y ve Z) manyetik bilgi ikilik tabanda kaydedilir. Manyetik sensörünün konfigürasyon A ve B registerları yoluyla ölçüm metodu normal ölçüm moduna göre ayarlanmıştır. Bunun anlamı her clock periyodunun yükselen kenarında ölçüm yapılır olması ve data registerlarındaki verilerin güncellenir olmasıdır. İstenildiğinde bu kaydedicilerdeki bilgiler kullanılabilir. Bu registerlarda oluşan bilgi, SDA(Serial Data) pini aracılığıyla seri olarak belirlenen frekansta(15 Hz) sensör düğümüne iletilmektedir. Clock frekansı ise konfigürasyon A registerındaki CRA4, CRA3 ve CRA2 bitleri sırasıyla lojik olarak “1”, “0” ve “0” yapılmıştır. Bu sayede hem daha hassas hem de daha doğru veri elde edilmiştir. Her 3 eksen için manyetik kuvvet, her bir X, Y ve Z data registerlarındaki 2 byte’lık manyetik değerin onluk tabandaki değere dönüştürülmesiyle oluşur. Sonuç olarak bileşke değer(C) ise denklem 4.1 yardımıyla hesaplanır.

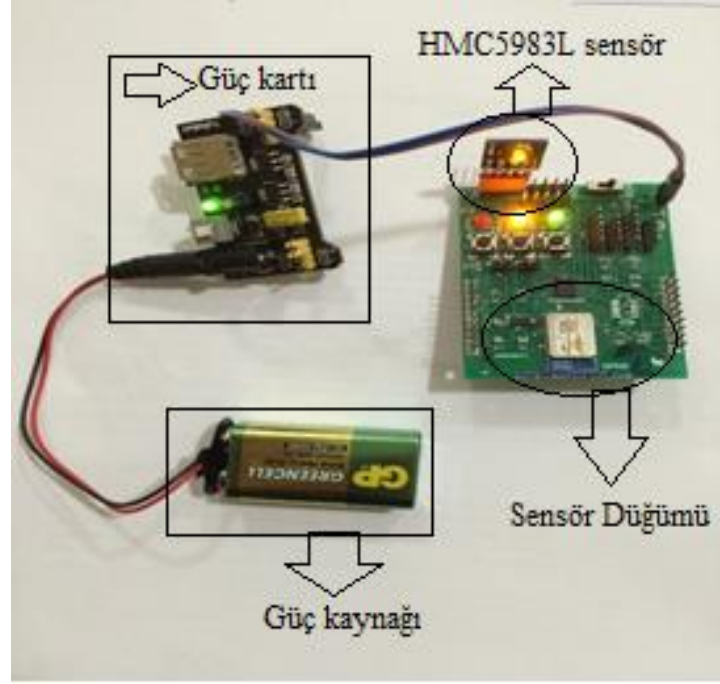
$$C=\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (4. 1)$$

Bu C değeri 256 değerine bölünürse gauss cinsinden manyetik alan değeri hesaplanmış olur. Örneğin C değeri 280 ise o yerin manyetik alanı yaklaşık 1.09 gauss anlamına gelir. Her üç eksenindeki manyetik değişim C değerinin değişmesine sebep olur. HMC5983L magnetometer ile araç tespiti yapılırken söz konusu C değeri esas alındı. Herhangi bir yolda araç yolun kenarına veya ortasına koyulan bu sensör devresinin yakınından geçerse, C değeri önceden belirlenen eşik değerin üzerinde ölçülür ve o anda yolda araç var anlamına gelir. Yani araç tespit edilmiş olur.

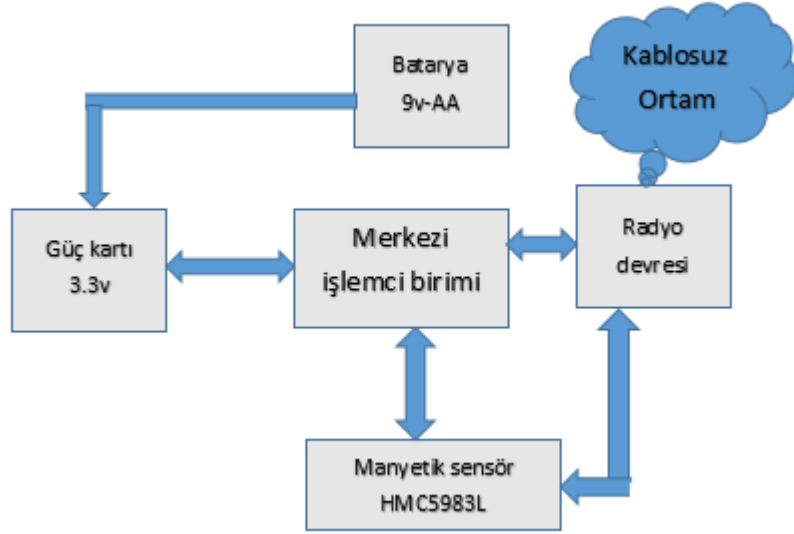
Bu tez çalışması süresince araç tespit sistemleri için kullanılmak üzere oluşturulan sensör devresi, güç kartı ve batarya ile bağlantılı yapısıyla birlikte Şekil 4.4’de, blok şeması ise Şekil 4.5’de gösterilmektedir. Sensör düğümü, Zigbee IEEE 802.15.4 standardında, 2,4GHz ISM bandında çalışan, küçük boyutta veri alışverişi sağlayan, düşük maliyetli ve çok düşük güç tüketen kablosuz sensör düğümüdür. Kablosuz Sensör Düğümü, Texas Instrument

tarafından üretilen Zigbee SoC (system-on-chip) entegresi CC2530 ve CC2591 PA/LNA tabanlıdır. Ayrıca, Texas Instrument tarafından üretilen, Ultra Low Power mikro denetleyici ailesi MSP430 kullanılarak güçlendirilmiştir. Bu sensör düğümünün devre elemanları şu şekilde sıralanabilir.

- 2.4 GHz IEEE 802.15.4 CC2530 ZigBee Modül
- MSP430G2553 İşlemci
- AT24C128 EEPROM
- SHT11 Sıcaklık-Nem Sensörü
- LED 1 Green (ZigBee GPIO1)
- LED 2 Yellow (MSP430 P1.0)
- LED 3 Red (MSP430 P2.6)
- Buton 1 (MSP430 S1 Reset)
- Buton 2 (MSP430 S2 P1.3)
- Buton 3 (ZigBee Reset)
- UART1 Konnektörü (SIM900 düğümü bağlantısı)
- UART2 Konnektörü (Seri port çıktısının izlenmesi)
- TEST Konnektörü (Programlama)
- AN1 Konnektörü (MSP430 ve ZigBee pin bağlantısı)
- I2C 1 Konnektörü (SCL, SDA, GND, VDD)
- I2C 2 Konnektörü (SDA, SCL, GND, VDD)
- I2C 3 Konnektörü (SDA, SCL, GND, VDD, P2.6)
- J1 Konnektörü (Batarya bağlantısı)
- J6 Konnektörü (EEPROM aktif edilmesi jumper)
- AIN/P1.4 (Analog giriş seçme konnektörü)
- On/Off Anahtarı (Batarya açıp, kapama anahtarı)



Şekil 4.4. Araç tespiti için sensör devresi



Şekil 4.5. Sensör devresinin blok şeması

Bu düğümün TelosB, micaZ gibi diğer sensör düğümlerinden farkı donanım bileşenlerinin isteğe bağlı oluşturulmasıdır. Bu sensör düğümü Türkiye’de yeniçağ teknolojileri adında bir firma tarafından üretilip araştırmacılara uygun şekilde sunulmaktadır. Bu sensör düğümü üzerinde SHT11 sıcaklık, nem sensörü, EEPROM ve çalışmalarda kolaylık sağlayacak birçok konnektör bulunmaktadır. Şekil 4.4’de de

görüldüğü üzere sensör düğümünün I^2C portuna doğrudan takılan HMC5983L sensörü 3 eksen pusula olarak kullanılabilir. Sensör devresi tasarımı yapılırken Şekil 4.5'deki gibi güç kartının 3.3 voltluk çıkışı sensör devresinin Vcc pinine kabloyla bağlanmıştır. 12-Bit ADC ile $1-2^\circ$ hassasiyet ile dünyanın manyetik kutuplarına göre olan açı bulunabilir. Ayrıca pusula sensörlerinin yakınına metal bir cisim yaklaştırıldığında eksenlerde ki sensör ile sensör düğümleri I^2C protokolü üzerinden haberleşmektedir. Sensörler programlanırken sensörün tüm eksenlerinin değerleri okunmakta, HMC5983L datasheetinde verilen formül ile bileşke değer (C) hesaplanmaktadır. Eğer sensörü pusula olarak değil, sadece manyetometrenin diğer cisimlerden etkilenmesi özelliği kullanılacaksa bileşke değer yeterli olmaktadır. Burada bileşke değer, her ortamda farklı olmakla birlikte, metal bir cisim yaklaştırıldığında değeri değişmektedir. Bu şekilde sensörün etrafında ki metal cisimler anlaşılabilir.

5. KABLOSUZ MANYETİK SENSÖRLER KULLANARAK TRAFİK İZLEME SİSTEMLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Deneyisel çalışma olarak 3 farklı uygulama gerçekleştirilmiş sonuçlar matlab yazılımı kullanarak incelenmiştir. İlk olarak sensör düğümleri üzerine yerleştirilen manyetik sensör ile araç tespiti yapıp tek şeritli yolun 4 seviyeli anlık trafik sıklık bilgisi saptanmıştır. Daha sonra yoldan geçen bir aracın tipi otomobil, minibüs, otobüs ve kamyon olmak üzere 4 kategoride sınıflandırılmıştır. Son uygulamada ise yoldan geçen herhangi bir aracın yönü soldan sağa veya sağdan sola olmak üzere tespit edilmiştir.

5.1. Trafik Sıklığının Tespiti

Bu çalışmada herhangi bir tek şeritli yoldaki trafik yoğunluğunu tespit edebilmek ve trafikteki sürücüleri bilgilendirmek adına yolun kenarına 50 metre aralıklarla 3 adet sensör düğümü yerleştirilmiştir. Amaç yolun 100 metrelik kısmının trafik bilgisini çıkarmaktır. Her bir sensör düğümünün I^2C portuna bağlı HMC5983L 3 eksenli magnetometer bağlıdır.

Bu çalışmada araç tespiti ile trafik sıklık durumunu belirlemek adına bir algoritma önerilmiştir. Bu algoritma ile deneyi gerçekleştirebilmek için 3 adet düğüm yolun kenarına belirli aralıklarla yerleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Düğüm 1, Düğüm 2 ve Düğüm 3'ün HMC5983L ile elde ettiği 3 eksenli M_x , M_y ve M_z manyetik değerlerin bileşkesi C denilen kuvvet olarak algılanmaktadır. Bu düğümlere araç yaklaştığı anda C değeri yükselmektedir. Çünkü araçlar bolca demir, nikel veya kobalt gibi metal içermektedir (ferrous mass) ve yerin ferromanyetik dalgasını değiştirmektedir. Normalde yerin manyetik alanı yaklaşık 500 mGauss olup araç manyetik sensörün 0.5-1 metre yakınından geçtiği anda bu değer yükselmektedir. Önceki çalışmalarda [9,14] sadece M_x veya M_z büyüklüğü esas alınıp araç tespiti [48,49] yapılmıştır. Ancak yerin manyetik kuvveti 3 boyutlu vektörel büyüklük olduğuna göre bu çalışmada 3 eksenli bileşke kuvvet esas alınıp araç tespiti yapılmıştır.

Yapılan çalışmada $C_{threshold}$ ilk başta 252 olarak belirlendi. Ancak bu değer farklı ortamlarda değişebilir. Çünkü Dünyanın farklı yerlerinde farklı manyetik alan değeri söz konusudur. Dolayısıyla araç tespiti için birçok deneysel uygulamalardan sonra bu $C_{threshold}$ değeri 255 olarak belirlendi. Bu değer altındaki değerler için “araç yoktur”, üstündeki

değerler için “araç vardır” kabul edildi (Şekil 5.1). Bunun sebebi kullanılan manyetik sensör ölçüm yaparken çevredeki diğer metallerden etkilenmiş olabilir düşüncesidir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, düğümlerin ölçtüğü C değeri sadece söz konusu eşik değerden büyükse aracın var olduğu bilgisi iletilmiş olduğudur. Yani aracın düğüm tarafından algılanmadığı saniyelerde edinilen bilgi dikkate alınmamıştır. Algoritmada da görüldüğü üzere, araç herhangi bir düğüm tarafından algılandığı andan itibaren $td(gecikme\ zamanı)$ sn boyunca tespit bayrağı($Nf(i)$) “1” olarak sabitlenmiş olarak düşünülmektedir. Çünkü bir araç maksimum V_{max} ile minimum V_{min} km/s arasında hızla hareket edebildiği için herhangi iki düğüm arası mesafeyi minimum t_{min} ile maksimum t_{max} sn’de geçmektedir. Dolayısıyla td , t_{min} ile t_{max} arasında olacağı düşünülmektedir. En uygun td süresinin tespit edilebilmesi için tanımlanan $C_{(t)}$ değeri, yüksek hızla hareket eden araçlar için düşük, yavaş hareket eden araçlar için yüksek çıkacağı düşünülmüştür. Çünkü daha hızlı olan araç yavaş olana nispeten, yerle etkileşim süresi ve manyetik sensörün kapsama alanındaki meşguliyet süresi kısa olur. Böylece kapsama alanında az süre için kalan bir aracın oluşturduğu manyetik değişim farkı daha az olup C değeri yavaş hızla giden bir aracın etkisine göre daha düşük olacaktır.

```
while(1)
{
    //sensor okuma
    hmc.c=HMC5983L_Read(&hmc,0);
    if(hmc.c!=-999){
        if(hmc.c>255){
            Tespit_bayrak=1;
            addZigBeeMsgString(ww.message,(char*)"Düğüm 1");
            addZigBeeMsgString(ww.message,(char*)"&");
            printf("Zaman: %s\r\n",__TIME__);
            addZigBeeMsgString(ww.message,(char*)"&");
            printf("\n\r C:%d ",(int)hmc.c);
            addZigBeeMsgString(ww.message,(char*)"&");
            addZigBeeMsgString(ww.message,(char*)"f");
            addZigBeeMsgString(ww.message,Tespit_bayrak);}}}
```

Şekil 5.1. Manyetik okuma

Trafik sıklığının belirlenmesi için düşünülen algoritma, Şekil 5.2’de ifade edilmiştir. Şekil 5.2’ye göre, $C_{(t)}$, belirli bir C değerinden büyükse, dengeleyici süre (t_{offset}), td süresine eklenir aksi halde t_{offset} süresi td süresinden çıkarılır. Ayrıca $td(i + 1)$ ile bir sonraki düğümün beklemesi gerektiği süre de ayarlanmış olur. Sensör düğümlerinin ölçüm zamanı olarak tanımlanan $tm(Ölçüm\ zamanı)$ ise $tm \geq td$ olmalıdır. Çünkü bekleme

zamanından daha fazla süre sonra tekrar ölçüm yapılması daha doğru sonuçlar alınmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca yapılan deneylerinden anlaşıldığı üzere C değeri aracın büyüklüğünden de etkilenmiştir. Fiziksel olarak daha büyük olan kamyon ve otobüs gibi ulaşım araçları, bünyesinde fazla miktarda metal barındırdığı için bu durum gerçekleşti yorumu yapılmıştır.

Algoritma: Araç tespiti ile trafik sıkışıklığının belirlenmesi()

Giriş:

V_{max} : Aracın maksimum hızı

V_{min} : Aracın minimum hızı

$C_{threshold}$: Manyetik biletke kuvvet için eşik değeri

D_n : İki sensör düğümü arasındaki mesafe

X : Manyetik veri kaydedicisindeki(output register) en önemli bit sayısı

Çıkış:

$Nf1...Nfn$, $n \leq 3$: Sırasıyla Node1,Node2 ve Node3 düğümleri için araç tespit bayrakları

Değişkenler:

C_{max} : Maksimum C değeri

$C_{(t)}$: Belirlenen bir C sınır değeri

t_{offset} : $C_{(t)}$ 'ye göre belirlenen dengelenme süresi

$Node(i)$: Sensör Düğümleri

t_{min} : Aracın iki düğüm arasından geçerken ki minimum süre

t_{max} : Aracın iki düğüm arasından geçerken ki maksimum süre

td : Sensörün tekrar manyetik okuma yapması için beklenen süre(gecikme süresi)

tm : Sensörün her ölçüm aralığı için beklediği süre

$Sc1...Scn$, $n \leq 3$: Sırasıyla Node1,Node2 ve Node3 düğümlerinin okuduğu C değerleri

Algoritma:

Ana Program:

Sensör düğümlerinin aktif edilip ölçüm için başlatılması,

$C_{threshold} \leftarrow 255$,

$D_n \leftarrow 50 \text{ metre}$

$X \leftarrow 8$

t_{max} , t_{min} , C_{max} hesapla

$td \leftarrow \frac{(t_{min} + t_{max})}{2}$,

$tm \geq td$,

while each (tm ve $Node(i)$, $i \leq 3$) **ve** $tm \leq 30 \text{ dakika}$

do
 if $Sc(i) > C_{threshold}$
 if $C_{(t)} \leq Sc(i) \leq C_{max}$
 then
 $td(i) \leftarrow td(i) + t_{offset}$
 $td(i+1) \leftarrow td(i+1) + t_{offset}$
 else
 then
 $td(i) \leftarrow td(i) - t_{offset}$
 $td(i+1) \leftarrow td(i+1) - t_{offset}$
 end
 $td \leftarrow td(i)$
 $Nf(i) \leftarrow 1$
 delay for td ,
 $Nf(i) \leftarrow 0$
 else then
 90ms için bekle,
 end
end

Şekil 5.2. Araç tespiti ile trafik sıkışıklığının belirlenmesi için önerilen algoritma

Bu çalışmada aracın metal etkisinden yola çıkarak araç tespiti yapılmıştır. Çünkü bilindiği üzere araç üzerinde veya içyapısında birçok metal bulunmaktadır. Tüm sensör düğümleri Code Composer Studio açık kaynak kodlu yazılımı ile C dili kullanılarak programlandı. Çalışmada kullanılan 3 düğüm End Device, diğer toplayıcı düğüm ise

coordinator olarak programlanmıştır. Aslında coordinator düğümün diğer düğümlerden farkı yoktur sadece düşünülen ağ topolojisi star topolojisi olduğundan 3 sensörden gelen manyetik verileri eş zamanlı almaktadır. Coordinator düğüm güç kartıyla çalıştırılınca ağ kurulumu başlatılmış olunur. Her Zigbee ağında bir tane coordinator düğüm olmak zorundadır. Bu düğüm programlanırken PAN ID atanmıştır. Genellikle bu ID 0x0000 olarak atanır. Bu işlem her ağın kimliğini yansıtan bir durumdur. End Device olan Node 1, Node 2 ve Node 3 sensör düğümleri güç kartıyla çalıştırılınca ise coordinator bu düğümlere ağa katılmaları için tanımlanan her *tm* süresinde bir istek gönderir. Bu şekilde *tm* aralıklarla manyetik bilgi okuma örnek olarak 1 sn için, sensörün donanım kodunda (hw.c) Şekil 5.3'deki kod parçası yazılarak gerçekleştirilmiştir.

```
int main(void)
{
    halInit();
    printf("\n\r HMC5983L_TEST \n\r");

    HMC5983LInit();
    hmc.c=-999;

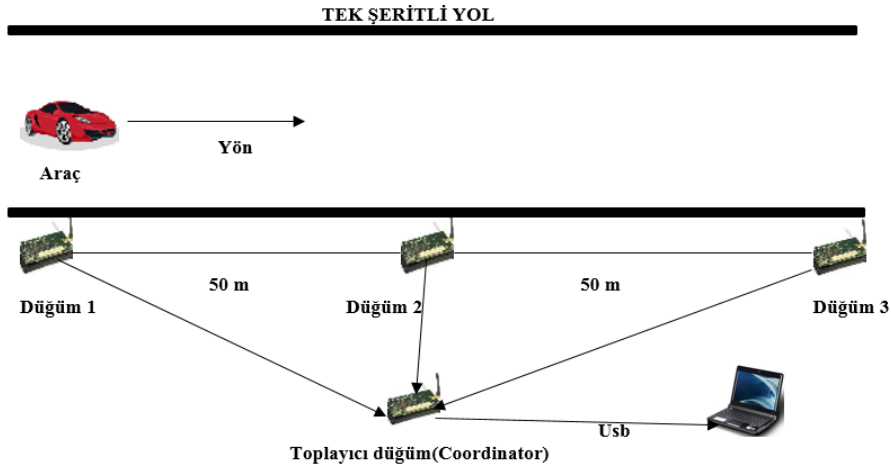
    while(1)
    {
        hmc.c=HMC5983L_Read(&hmc,0);
        if(hmc.c!=-999)
        {
            printf("\n\r C:%d ",(int)hmc.c);
        }
        else
        {
            printf("\n\r hata \n\r");
        }

        delayMs(1000);
    }
}
```

Şekil 5.3. 1 sn aralıklarla manyetik okuma(hw.c)

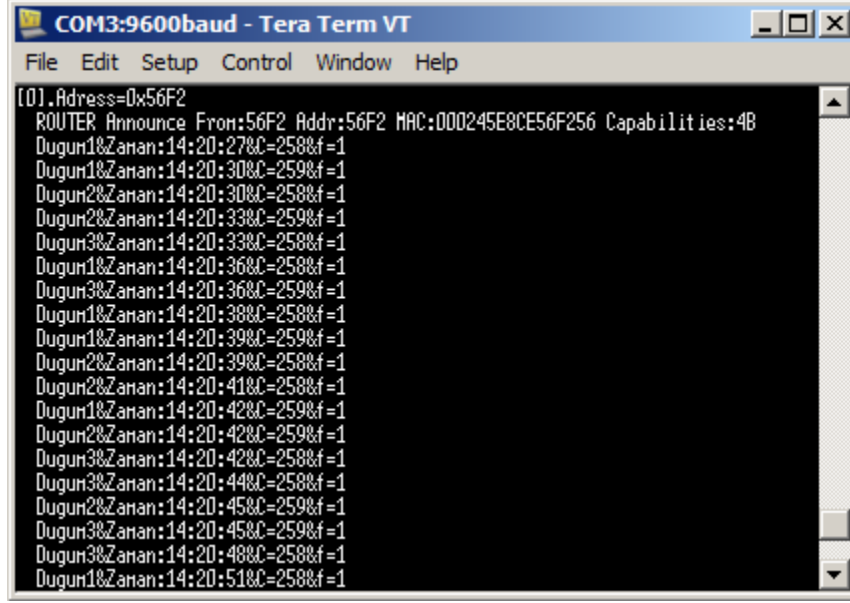
Coordinator düğüm lineer algoritmaya göre kodlanmıştır. Yani coordinator söz konusu End Device olan bu 3 düğüme eş zamanlı istek gönderir ve her *tm* süresi sonrası cevabı bekler. End Device olan düğümler ağa katılıp katılmadıkları düğüm üzerinde bulunan sarı ışığın yanıp yanmamasından anlaşılmıştır. End Device' lar ağa katıldıkları ve coordinator'e veri gönderdikleri zaman sarı ışığı yanıyor olacaktır. Coordinator düğüm ağa katılan End

Device düğümlere 16 bitlik Short Address atar. Bu adres her düğümün ağ adresidir ve düğümlerin birbirinden farkını ifade eder. End Device düğümler çevreden elde ettikleri manyetik verileri doğrudan coordinator düğüme RF (Radio Frequency) dalgalarıyla Zigbee haberleşme standardına göre iletir. Yani kullanılan ağ topolojisi star topolojisidir. Coordinator düğüm programlama kartıyla usb aracılığıyla bilgisayara bağlı olduğundan elde edilen veriler Tera Term seri port yazılımı ile bilgisayar ortamında incelenebilmektedir. Bu bilgiler Matlab yazılımında gerçekleştirilebilen serial communication özelliği ile Matlab workspace ortamına aktarılmıştır. Daha sonra gerekli parametreler kullanılarak sonuçlar grafiksel olarak çizdirilmiştir. Uygulamada 100 metrelik yolun trafik durumunu tespit edebilmek için 3 adet sensör düğümünü Şekil 5.4'deki biçimde yerleştirilerek kablosuz sensör ağ yapısı oluşturulmuştur.



Şekil 5.4. Kablosuz sensör ağ yapısı

Şekil 5.5, Tera Term'de alınan verileri sunmaktadır. Şekil 5.6 ise aracın sensörün yanından geçerken ki görüntüsünü vermektedir. Gözlemlenen C değeri eşik değerin üzerinde ise aracın sensörün yakınında olduğu lojik 1 olarak kaydedilmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere herhangi bir sensör anlık olarak aracı tespit ettiği zaman kullanılan programda bu değer "1" olarak değerlendirilir. Araç tespit edilmezse "0" olarak algılanır. Trafik yoğunluğunu tespit etmek amacıyla geliştirilen algorithmada her bir sensörden gelen söz konusu manyetik bilgilerin "1" veya "0" dan yola çıkarak yorumlanması şeklindedir.



Şekil 5.5. Tera Term’de izlenen veriler



Şekil 5.6. Aracın sensöre yaklaşması

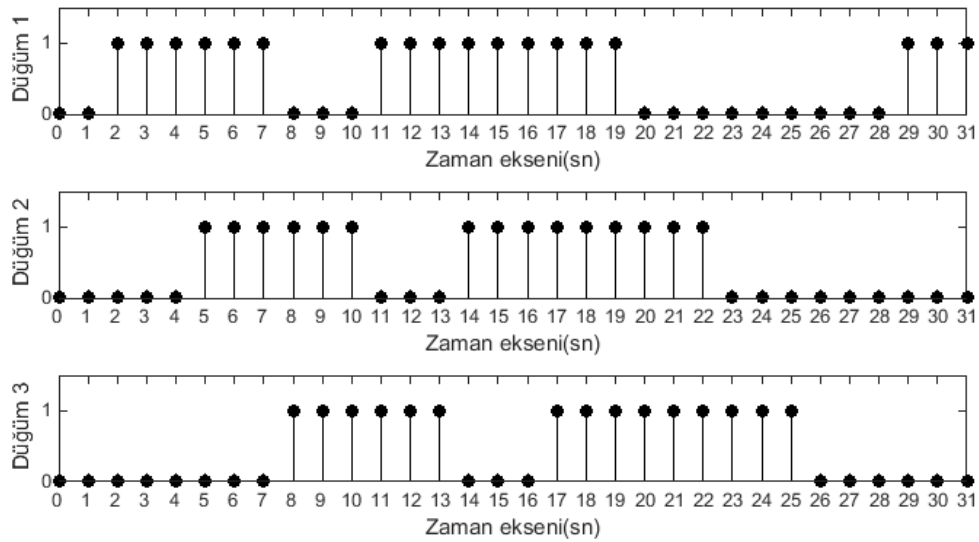
Trafik yoğunluğu 4 kategoride belirlendi. Örneğin tüm sensörden gelen değerler “1” ise “trafik çok yoğundur”, tüm sensörden gelen değerler “0” ise “trafik yoktur” diye saptanır. Tablo 5.1, olası tüm trafik yoğunluğu durumlarını ifade etmektedir.

Tablo 5.1. Sensörlerden gelen değerlere göre trafik durumları

Düğüm 1	Düğüm 2	Düğüm 3	Trafik Durumu
0	0	0	Trafik yok
0	0	1	Trafik az yoğun
0	1	0	Trafik az yoğun
0	1	1	Trafik orta yoğun
1	0	0	Trafik az yoğun
1	0	1	Trafik orta yoğun
1	1	0	Trafik orta yoğun
1	1	1	Trafik çok yoğun

Tablo 5.1’den de görülebileceği üzere eğer Düğüm1’den “0”, Düğüm 2’den “1”, Düğüm 3’den “1” değeri gelirse “trafik orta yoğunluktadır” bulunur. Ancak yapılan çalışmada Düğüm 1 yolun başlangıç kısmına Düğüm 3 ise bitiş kısmına yerleştirildiğinden bir araç Düğüm 1’den geçtikten sonra belli bir süre sonra Düğüm 2’ye daha sonra ise Düğüm 3’e ulaşmaktadır. Yolun tek şeritli ve araçların $V_{max} = 60 \text{ km/s}$ hızla gittiği düşünülürse 50 metrelik iki sensör düğümü mesafesi $t_{min} = 3 \text{ sn}$ ’de geçilir. Ayrıca $V_{min} = 40 \text{ km/s}$ hızla hareket eden bir araç $t_{max} = 4.5 \text{ sn}$ ’de iki sensör düğümü arasını geçtiği düşünülebilir. Dolayısıyla Algoritma’ya göre $t_d = 3.75 \text{ sn}$ olarak bulunabilir. Aynı zamanda t_m ise t_d süresinden büyük olması gerektiğinden ölçüm süresi (t_m) 4 sn olarak belirlenmiştir. Deneyler gerçekleştirilirken, $C_{(t)}$ sınır değeri 260 olduğu durumlarda t_{offset} değeri 0.25 sn olarak belirlenmiştir. Yani $C_{(t)} \geq 260$ ise t_d zamanına t_{offset} değeri eklenmiş diğer durumda ise çıkarılmıştır. Bu çalışmada 30 dakikalık trafik durumu izlenmiş ve Tera Term programında seri portla incelenirken veriler Matlab programına aktarılmıştır. Ancak örnekleme mantığıyla sadece 14:20:25 ile 14:20:56 arasındaki veriler için değerlendirme yapılmıştır. Yani 31 sn’lik anlık olarak trafik bilgisi kaydedilmiştir. Elde edilen bilgiler 14:20:25 zamanı 0. sn ve 14:20:56 zamanı 31. sn’ yi temsil ettiği düşünülerek Matlab programında grafiksel olarak çizdirilmiştir. Şekil 5.7, her saniyedeki Düğümlerden gelen bilgileri göstermektedir. Şekil 5.7’den de görüleceği üzere her saniyede düğümlerden ya “0” ya da “1” bilgisi gelmektedir. Örneğin 0. ve 1. saniyede Düğüm 1, Düğüm 2 ve Düğüm 3’den C değerleri 252 olup($252 < C_{threshold}$) ve “0” bilgisi geldiği için trafik yoktur

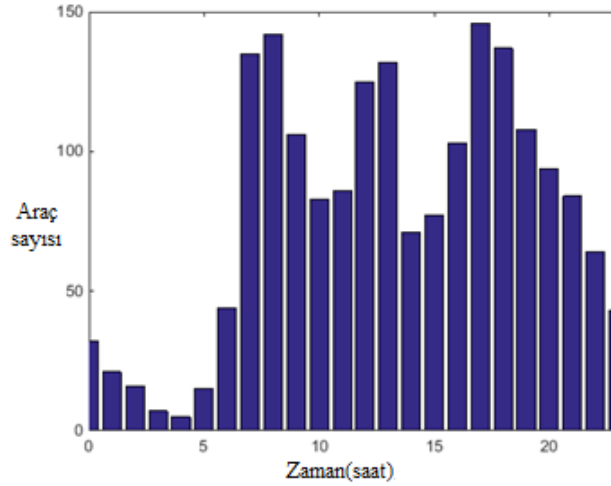
saptanmış olunur. Ancak 2. saniyede yola bir araç girmiştir ve Düğüm 1'in ölçtüğü C değeri 258 olup gönderdiği değer "1" olmuştur. Dikkat etmek gerekirse bu araç 5. saniyede Düğüm 2'nin yakınına ulaşmıştır. 6. sn anında Düğüm 1'den C değeri 259 ve gönderdiği lojik değer "1", Düğüm 2'den C değeri 258 ve gönderdiği lojik değer "1" ve Düğüm 3'den de C değeri 252 ve gönderdiği lojik değer "0" olduğu için trafik orta yoğundur denilir. Şekil 5.7'de görüldüğü üzere 17-19. sn aralığında trafik çok yoğundur çünkü tüm sensör düğümlerinden sırasıyla C değerleri 259, 258 ve 258 olup lojik "1" değeri gelmiştir. 26-28. sn aralığında ise trafik yoktur yani yolda herhangi araç bulunmamaktadır. Çünkü tüm sensörlerden gelen değerler "0" 'dır.



Şekil 5.7. Düşümlerden gelen değerler

Bu bölümde diğer bir uygulama olarak 100 metrelik yolun sonunda yola yerleştirilen Düşüm 3'ün yakınından geçen araçlar her saat için gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar 00:00 zamanı 0. saat ve 23:00 zamanı 23. saat'i temsil ettiği düşünülerek Matlab programında grafiksel olarak çizdirilmiştir. Şekil 5.8'den de görüldüğü üzere 17. ve 18. saat aralığında yoldan geçen araç sayısı diğer saat aralıklarındaki araç sayısından çok fazla(135) olduğu için trafik çok yoğundur denilebilir. Bununla birlikte, 4. ve 5. saatlerinde yoldan geçen araç sayısı diğer saat aralıklarındaki araç sayısından çok az (5) olduğu için trafik çok azdır söylenebilir. Ayrıca Şekil 5.8'e göre 7,8 ve 9. saatler sabah ve çalışma saatleri olduğundan ötürü trafik yoğunluğu fazladır. Diğer saatlerle kıyaslandığında 3,4 ve 5. saatler gece olduğu için trafik az yoğundur kanısına varılabilir. Bu sonuçları server(sunucu)

kurularak internet ortamında gösterebilmek için ayrıca SIM900 kablosuz sensor düğümü satın alınmıştır. Bu sayede Coordinator düğüm elde ettikleri verileri bilgisayara değil de bu SIM900 düğümünü kullanarak doğrudan oluşturulacak internet sayfasına ileterek trafik durum bilgisi ilgili sürücüler tarafından görülebilmesi sağlanabilir.



Şekil 5.8. Saat aralıklarına göre araç sayısı-zaman grafiği

5.2. Araç Sınıflandırması

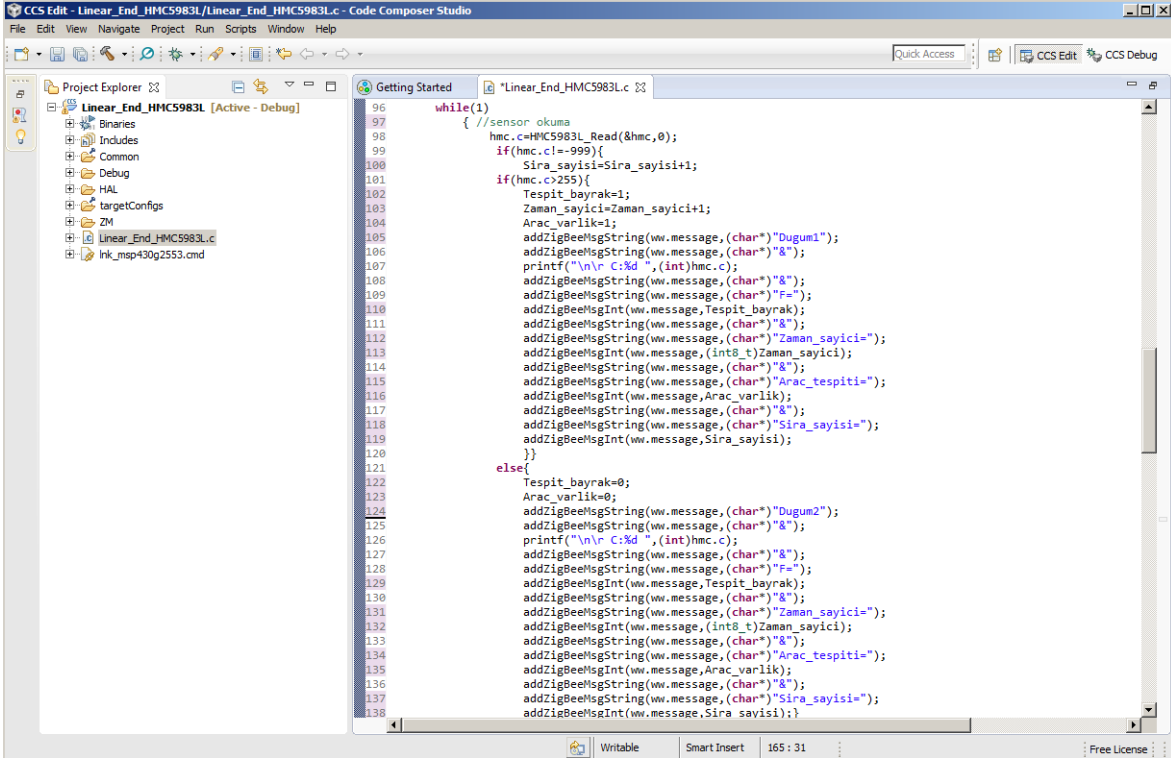
Bu bölümde, çalışma yapılan yolda geçen araçların cinsi otomobil, minibüs, otobüs ve kamyon olmak üzere 4 kategoride tespit edilmiştir. Bu tespiti yapmak amacıyla yolun ortasına 1 adet kablosuz sensör düğümü yerleştirilmiştir. Önceki bölümde kullanıldığı gibi bu çalışmada da manyetik bilgi ve manyetik bileşke kuvvet(C) değeri esas alınmıştır. Bilindiği üzere yolda yüklü miktarda metal kütlesi bulunmadığı sürece ölçülen C değeri 252 ile $C_{threshold}$ arasında değişmektedir. Ancak yoldan geçen herhangi bir araç sensör devresine yaklaştığı anda söz konusu C değeri bu aralığın dışına çıkmaktadır.

Bu çalışmada araç sınıflandırması yapmak için manyetik imza uzunluğu($M\dot{I}U$) tanımlanmıştır. $M\dot{I}U$, manyetik genlik farkı(ΔM) ve aracın sensörle olan meşguliyet süresi(Δt) ile denklem 5.1'deki gibi hesaplanır.

$$M\dot{I}U = \Delta M \times \Delta t \quad (5.1)$$

Manyetik genlik farkı, ölçülen manyetik bileşke kuvvet değeri ile belirlenen eşik değeri arasındaki farktır. Meşguliyet süresi ise aracın sensör devresinin kapsama alanında kaldığı süredir. Bu süre, sensör kodunda tanımlanan zaman_sayici değeri ile 90ms'nin çarpımından oluşmaktadır. Çünkü gecikme metodu olarak ölçüm, 90ms ayarlanmıştır. *MİU* büyüklüğüne göre aracın tipi otomobil, minibüs, otobüs ve kamyon olarak belirlenebilmektedir. Aracın uzunluğuna ve bünyesinde barındırdığı metal kütleline göre değişmektedir. Sayıları eşit ancak karışık olarak otomobil, minibüs, otobüs ve kamyon olmak üzere 100 adet araç, yoldaki sensörden geçirilmiş ve elde edilen sonuçlara göre *MİU* için sınır değerleri belirlenmiştir. Bu değerlerin belirlenmesinde önemli parametreler, manyetik sensorün 0,5 ile 0,75m aralığındaki kapsama mesafesi ve değişik tipteki araçların uzunluk farkı olmaktadır.

Şekil 5.9, Code Composer Studio yazılımında araç sınıflandırabilmek için yazılan kod parçasını göstermektedir.



```

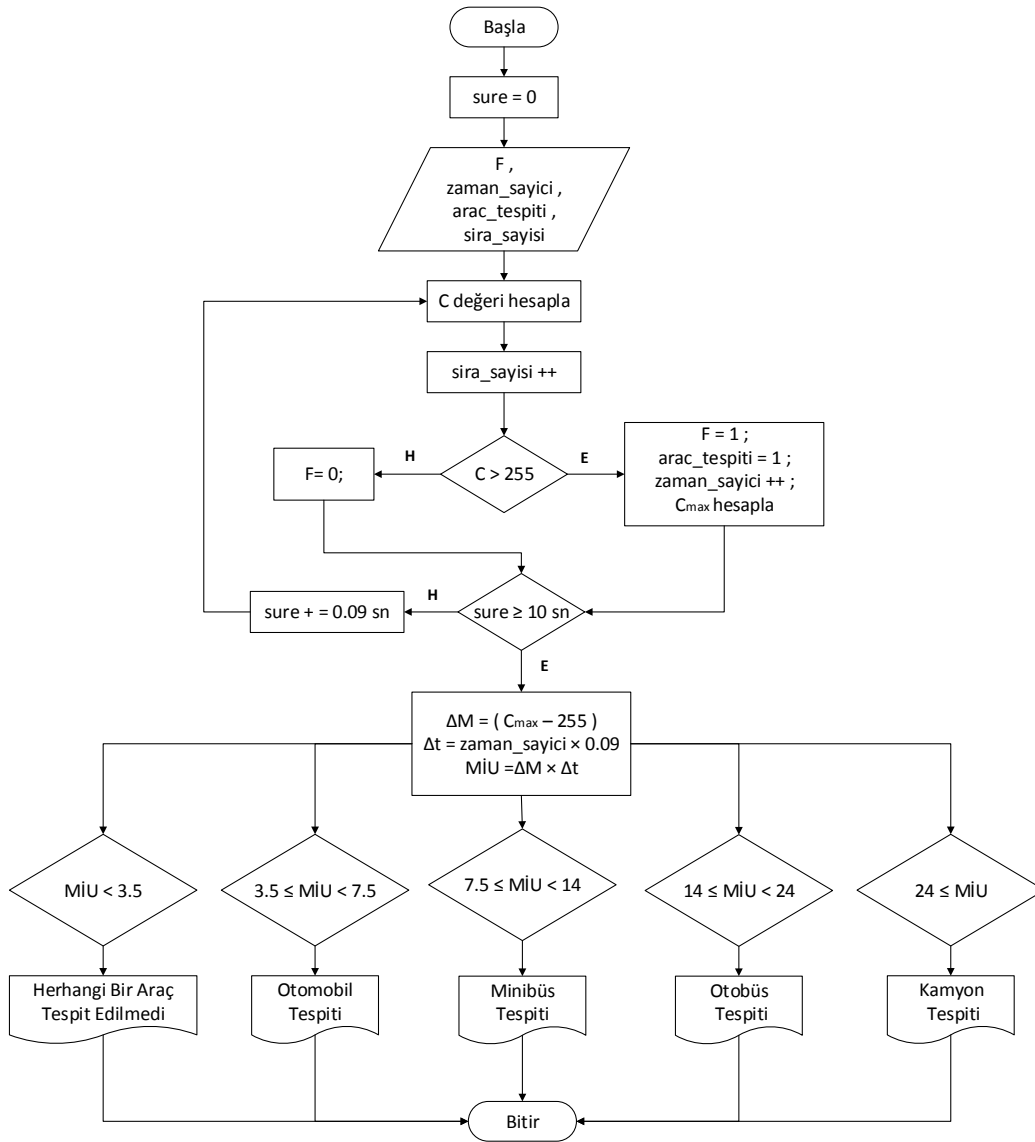
96  while(1)
97  { //sensor okuma
98      hmc.c=HMC5983L_Read(&hmc,0);
99      if(hmc.c!=999){
100          Sira_sayisi=Sira_sayisi+1;
101          if(hmc.c>255){
102              Tespit_bayrak=1;
103              Zaman_sayici=Zaman_sayici+1;
104              Arac_varlik=1;
105              addZigBeeMsgString(vw.message,(char*)"Dugum1");
106              addZigBeeMsgString(vw.message,(char*)"8");
107              printf("\n\r C:%d ",(int)hmc.c);
108              addZigBeeMsgString(vw.message,(char*)"8");
109              addZigBeeMsgString(vw.message,(char*)"F=");
110              addZigBeeMsgInt(vw.message,Tespit_bayrak);
111              addZigBeeMsgString(vw.message,(char*)"8");
112              addZigBeeMsgString(vw.message,(char*)"Zaman_sayici=");
113              addZigBeeMsgInt(vw.message,(int8_t)Zaman_sayici);
114              addZigBeeMsgString(vw.message,(char*)"8");
115              addZigBeeMsgString(vw.message,(char*)"Arac_tespiti=");
116              addZigBeeMsgInt(vw.message,Arac_varlik);
117              addZigBeeMsgString(vw.message,(char*)"8");
118              addZigBeeMsgString(vw.message,(char*)"Sira_sayisi=");
119              addZigBeeMsgInt(vw.message,Sira_sayisi);
120          }
121      }
122      else{
123          Tespit_bayrak=0;
124          Arac_varlik=0;
125          addZigBeeMsgString(vw.message,(char*)"Dugum2");
126          addZigBeeMsgString(vw.message,(char*)"8");
127          printf("\n\r C:%d ",(int)hmc.c);
128          addZigBeeMsgString(vw.message,(char*)"8");
129          addZigBeeMsgString(vw.message,(char*)"F=");
130          addZigBeeMsgInt(vw.message,Tespit_bayrak);
131          addZigBeeMsgString(vw.message,(char*)"8");
132          addZigBeeMsgString(vw.message,(char*)"Zaman_sayici=");
133          addZigBeeMsgInt(vw.message,(int8_t)Zaman_sayici);
134          addZigBeeMsgString(vw.message,(char*)"8");
135          addZigBeeMsgString(vw.message,(char*)"Arac_tespiti=");
136          addZigBeeMsgInt(vw.message,Arac_varlik);
137          addZigBeeMsgString(vw.message,(char*)"8");
138          addZigBeeMsgString(vw.message,(char*)"Sira_sayisi=");
139          addZigBeeMsgInt(vw.message,Sira_sayisi);
140      }
141  }

```

Şekil 5.9. Code Composer Studio ile manyetik okuma

Araç sınıflandırması uygulaması yapabilmek için yolun ortasına 1 adet sensör devresi yerleştirilmiştir. Manyetik sensör, sensör düğümünün I^2C portuna önceki uygulamadaki gibi

bağlanmıştır. Sensör devresi bir uç düğüm olarak düşünülürse elde ettiği manyetik veriyi toplayıcı düğüm olarak programlanan düğüme göndermektedir. Uç düğüm, 3 eksenindeki(x, y, z) manyetik bilgiyi oluşturulan yazılım sayesinde manyetik bileşke kuvvete çevirip bu değeri her 90ms’de toplayıcı düğüme iletmektedir. Yani toplayıcı düğüm, seri port yazılımı olan Tera Term terminaline her 0,09sn’de bir C değerini göndermektedir. C değeri $C_{threshold}$ ’den büyükse araç tespiti yapılmış anlamına gelmekle birlikte zaman_sayici değişkeninin değeri 1 artmaktadır. Araç tespiti yapıldığı anlamına gelen bayrak (F) değeri de “1” olarak kodlanmaktadır. Sıra_sayisi değişkeni ise kaçınıcı ölçüm yapıldığı bilgisini vermektedir. Şekil 5.10, araç tespiti için belirlenen algoritmanın akış diyagramını göstermektedir.



Şekil 5.10. Araç sınıflandırması için belirlenen algoritmanın akış diyagramı

Bu uygulamayı yapabilmek için ilk olarak yoldan 40km/s sabit hızla giden bir otomobil geçirilmiştir. Bilindiği üzere bir otomobilin uzunluğu 3,6-5,0 m arasında değişmektedir. Şekil 5.11, otomobilin yoldan geçerken ki durumunu göstermektedir.



Şekil 5.11. Otomobilin sensör devresine yaklaşması

HMC5983L manyetik sensör, her 90ms’de aldığı verileri toplayıcı düğüme aktarmaktadır. Şekil 5.12’de manyetik sensörün donanım(hw.c) kodunda yazılan kod parçası görülmektedir.

```
int main(void)
{
    halInit();
    printf("\n\r HMC5983L_TEST \n\r");

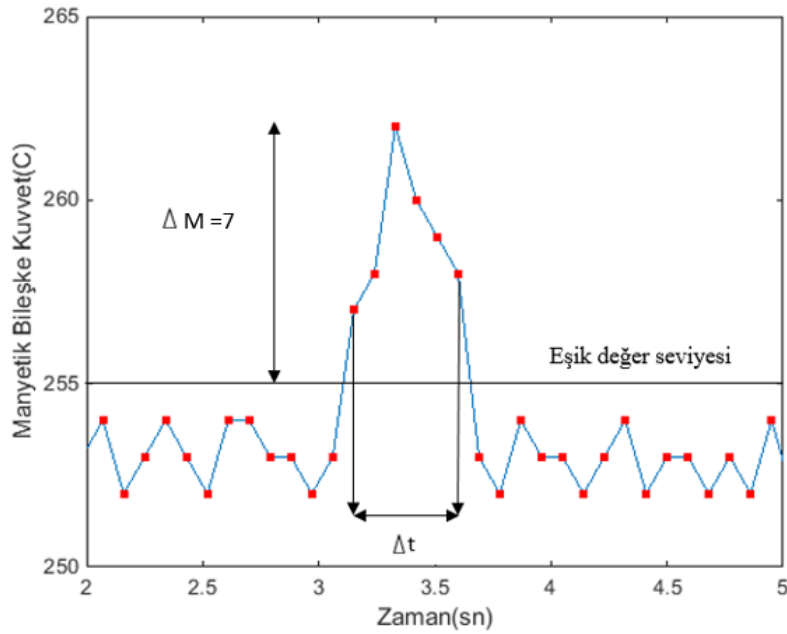
    HMC5983LInit();
    hmc.c=-999;

    while(1)
    {
        hmc.c=HMC5983L_Read(&hmc,0);
        if(hmc.c!=-999)
        {
            printf("\n\r C:%d ",(int)hmc.c);
        }
        else
        {
            printf("\n\r hata \n\r");
        }

        delayMs(90);
    }
}
```

Şekil 5.12. Manyetik sensörün donanım(hw.c) kodunda yazılan kod parçası

Bu sürenin azaltılması, manyetik verilerin örnekleme sayısının artacağı anlamına gelir. Söz konusu veriler Tera Term log kısmında tutulduğu için bu veriler Matlab programında veri çıkarma metodu ile veriler içerisinde sadece C değerleri bulunup bu değerler her 0,09sn için grafiksel olarak Şekil 5.13'deki gibi çizdirilmiştir. Ancak aracın tespit edildiği zaman dilimi ve C değerlerinin belirgin bir şekilde görülebilmesi açısından zaman ekseninde 2 ile 5. saniye arasındaki değerler çizdirilmiştir.



Şekil 5.13. Manyetik bileşke kuvvet-zaman grafiği (otomobil için)

Şekil 5.13'den de açıkça görüldüğü üzere Δt süresi boyunca araç tespiti 6 adet örnekleme ile kaydedilmiştir. Yani zaman_sayici değişkeninin değeri 6 olmuştur. Her 90ms'de bir örnekleme alındığına göre Şekil 5.10'daki algoritmaya göre; $\Delta t = 0,09 \times 6 = 0,54$ sn olduğu bulunabilir. Ayrıca otomobil sensör düğümünün yakınından geçerken en yüksek C değeri 262 ve $C_{threshold}$ de 255 olduğu bilindiğine göre; $\Delta M = 262 - 255 = 7$ olarak bulunur. Bu bilgilere istinaden bu otomobil için hesaplanan manyetik imza uzunluğu (MIU) Denklem 5.1' e göre; 3,78 olarak elde edilmiştir. Hesaplanan MIU değerinin birimi önemli olmamakla birlikte minibüs veya otobüs için bu değer yükselmektedir.



```
[0].Adress=0xCA91
ROUTER Announce From:CA91 Addr:CA91 MAC:000245EADFC91CA Capabilities:4B
Coordinator announced&Time=15:35:24
Dugun18C=2538F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=0
Dugun18C=2528F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=1
Dugun18C=2528F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=2
Dugun18C=2528F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=3
Dugun18C=2528F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=4
Dugun18C=2528F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=5
Dugun18C=2528F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=6
Dugun18C=2538F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=7
Dugun18C=2538F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=8
Dugun18C=2538F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=9
Dugun18C=2528F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=10
Dugun18C=2528F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=11
Dugun18C=2538F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=12
Dugun18C=2528F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=13
Dugun18C=2528F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=14
Dugun18C=2528F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=15
Dugun18C=2538F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=16
Dugun18C=2538F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=17
Dugun18C=2528F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=18
Dugun18C=2528F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=19
Dugun18C=2538F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=20
Dugun18C=2548F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=21
Dugun18C=2548F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=22
Dugun18C=2548F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=23
Dugun18C=2528F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=24
Dugun18C=2538F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=25
Dugun18C=2548F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=26
Dugun18C=2538F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=27
Dugun18C=2528F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=28
Dugun18C=2548F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=29
Dugun18C=2548F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=30
Dugun18C=2538F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=31
Dugun18C=2538F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=32
Dugun18C=2528F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=33
Dugun18C=2538F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=34
Dugun18C=2578F=18Zaman_sayici=18Arac_tespiti=18Sira_sayisi=35
Dugun18C=2588F=18Zaman_sayici=28Arac_tespiti=18Sira_sayisi=36
Dugun18C=2628F=18Zaman_sayici=38Arac_tespiti=18Sira_sayisi=37
Dugun18C=2608F=18Zaman_sayici=48Arac_tespiti=18Sira_sayisi=38
Dugun18C=2598F=18Zaman_sayici=58Arac_tespiti=18Sira_sayisi=39
Dugun18C=2588F=18Zaman_sayici=68Arac_tespiti=18Sira_sayisi=40
Dugun18C=2528F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=41
Dugun18C=2528F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=42
Dugun18C=2548F=08Zaman_sayici=08Arac_tespiti=08Sira_sayisi=43
```

Şekil 5.14. Tera Term seri yazılımında elde edilmiş veriler(otomobil için)

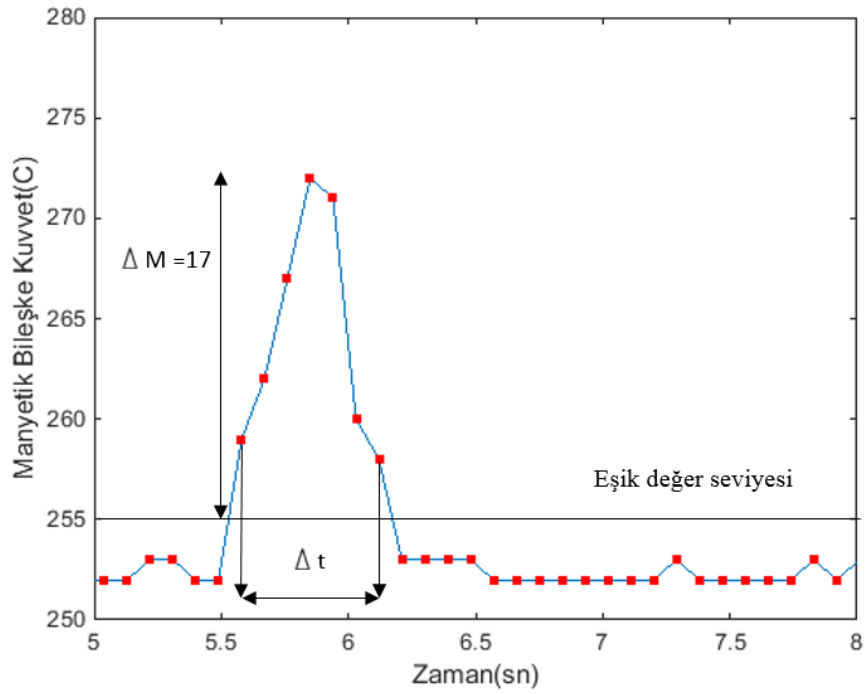
Şekil 5.14 ise otomobil için Tera Term seri yazılımında elde edilmiş verileri sunmaktadır. Bu program vasıtasıyla veriler incelenmiş ve sensörlerin güç kartları kapatılarak ölçümler sonlandırılmıştır.

İkinci uygulama olarak minibüs için ölçüm yapılmıştır. Şekil 5.15, minibüsün yolda sensör devresine yaklaştığı durumu göstermektedir. Şekil 5.16 ise elde edilen sonuçların matlab programında grafiksel olarak gösterimini sunmaktadır. Dikkat edilirse otomobil ve minibüs arasında araç uzunluğu açısından fazla fark olmadığı için araçların sensör devresinden geçerken oluşan meşguliyet süreleri benzer olmuştur. Ancak minibüs daha fazla

metal malzemesinden oluřtuđu dűřűnűlűrse manyetik genlik farkının otomobile nispeten daha yűksek olduđu sebebi anlařılabilir.



řekil 5.15. Minibűsűn sensűr devresine yaklařması



řekil 5.16. Manyetik bileřke kuvvet-zaman grafiđi(minibűs için)

Ancak aracın tespit edildiği zaman periyodu ve C değerlerinin belirgin bir şekilde görülebilmesi açısından zaman ekseninde 5 ile 8. saniye arasındaki değerler çizdirilmiştir. Şekil 5.16'dan da açıkça görüldüğü üzere Δt süresi boyunca araç tespiti 7 adet örnekleme ile kaydedilmiştir. Yani zaman_sayici değişkeninin değeri 7 olmuştur. Her 90ms'de bir örnekleme alındığına göre ve minibüs sensör düğümünün yakınından geçerken en yüksek C değeri 272 ve $C_{threshold}$ de 255 olduğu hatırlanırsa; bu minibüs için hesaplanan manyetik imza uzunluğu(MIU) Denklem 5.1'e göre 10,71 olarak bulunur.

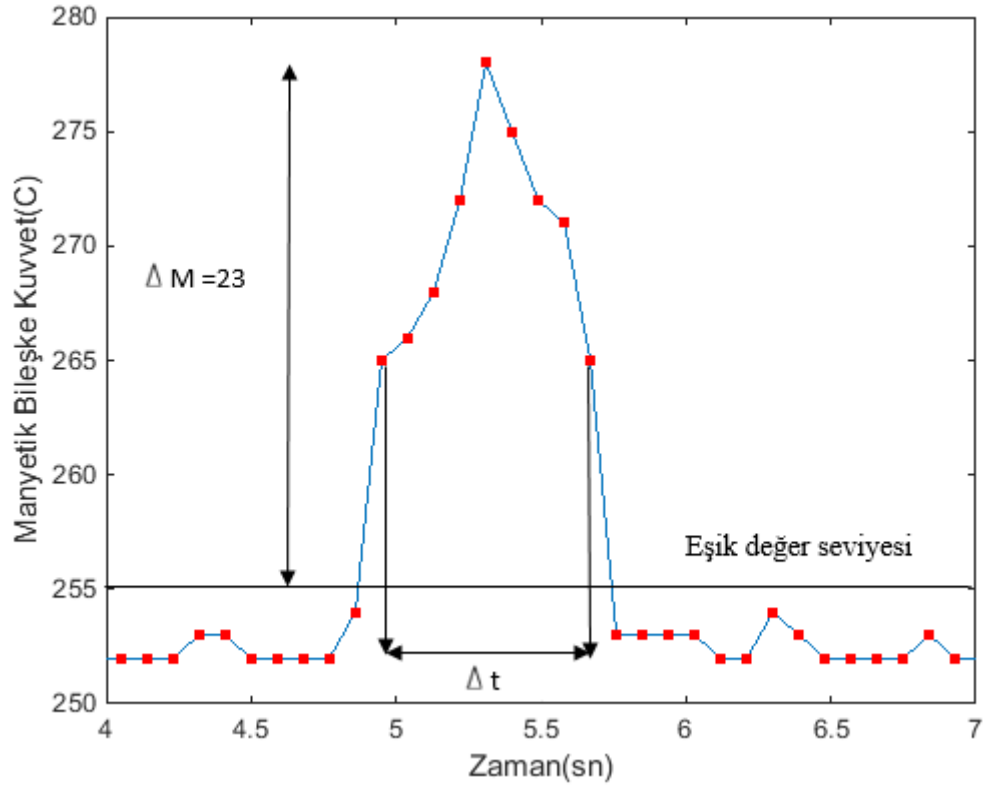
Üçüncü uygulama ise şehir-içi otobüs için araç tespitinin yapılmasıdır. Bu otobüs tiplerinin uzunluğu 7-9m arasında değiştiği düşünülürse elde edilen meşguliyet süresinin otomobil veya minibüse göre daha yüksek olmasının nedeni anlaşılabilir. Şekil 5.17 otobüsün sensör devresine yaklaştığı durumu göstermektedir. Şekil 5.18'de otobüs için elde edilen verilerin grafiksel gösterimi bulunmaktadır. Şekil 5.18'den de görüleceği üzere zaman_sayici değişkeninin değeri Tera Term seri port yazılımında 9 olarak elde edilmiştir. Yani meşguliyet süresi boyunca 9 adet örnekleme alınmıştır.



Şekil 5.17. Otobüsün sensör devresine yaklaşması

Fakat aracın tespit edildiği an ve C değerlerinin belirgin bir şekilde görülebilmesi için zaman ekseninde 4 ile 7. saniye arasındaki değerler çizdirilmiştir. Şekil 5.18'den de açıkça görüldüğü üzere Δt süresi boyunca araç tespiti 9 adet örnekleme ile kaydedilmiştir. Her

0,09sn’de bir örnekleme alındığına göre ve ayrıca otobüs sensör düğümünün yakınından geçerken en yüksek C değeri 278 ve $C_{threshold}$ de 255 olduğu tespit edildiğine göre; Bu bilgilere göre otobüs için hesaplanan manyetik imza uzunluğu(MIU); Denklem 5.1’e göre 18,63 olarak bulunmuş olur.



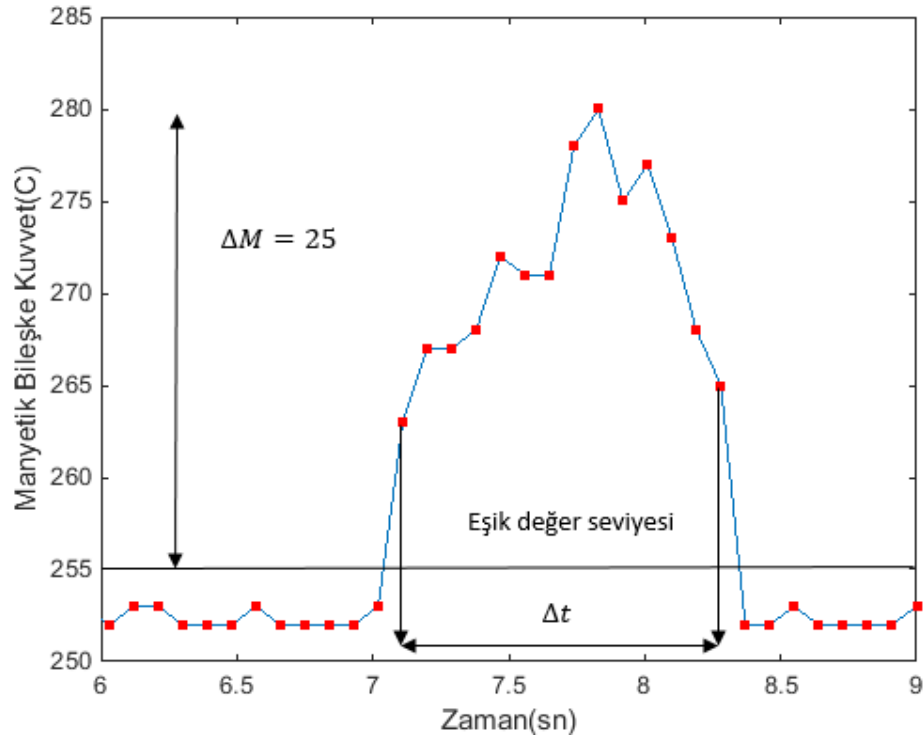
Şekil 5.18. Manyetik bileşke kuvvet-zaman grafiği(otobüs için)

Son olarak araç sınıflandırması için kamyon kullanılmıştır. Şekil 5.19, yolda sensör devresine yaklaşan kamyonun resmini göstermektedir. Burada elde edilen en önemli sonuç, kamyon ile otobüs ölçümlerindeki manyetik genlik farkının benzer ancak meşguliyet sürelerinin farklı oluşudur. Ölçüm yapılan kamyonun uzunluğu otobüsten daha uzun olduğu için aracın sensör düğümü kapsama alanındaki meşguliyet süresi kamyon için daha fazla olmuştur. Yapılan çalışmalarda birçok ölçüm örneği alınmıştır. Bunlardan sadece en belirgin olan sonuç, 6. ve 9. sn aralığında Şekil 5.20’ deki gibi çizdirilmiştir.



Şekil 5.19. Kamyonun sensör devresine yaklaşması

Şekil 5.20’den de görüldüğü üzere Δt süresi boyunca araç tespiti 14 kez elde edilmiş ve sonuçlar kaydedilmiştir.



Şekil 5.20. Manyetik bileşke kuvvet-zaman grafiği(kamyon için)

Zaman_sayici değişkeninin değeri 14 olmuştur. Her 90ms’de bir örnekleme alındığına göre ve ayrıca kamyonun sensör düğümünün yakınından geçerken en yüksek C değeri 280 ve $C_{threshold}$ de 255 olduğu bilgisine göre; kamyon için hesaplanan manyetik imza uzunluğu($MİU$); Denklem 5.1’ e göre 31,5 olarak bulunur. Tüm araç tiplerine ait elde edilen veriler Tablo 5.2’de özetlenmiştir.

Tablo 5.2. Araç tiplerine ait elde edilen sonuçlar

Araç Tipi	ΔM	$\Delta t(sn)$	$MİU$
Otomobil	7	0.54	3.78
Minibüs	17	0.63	10.71
Otobüs	23	0.81	18.63
Kamyon	25	1.26	31.5

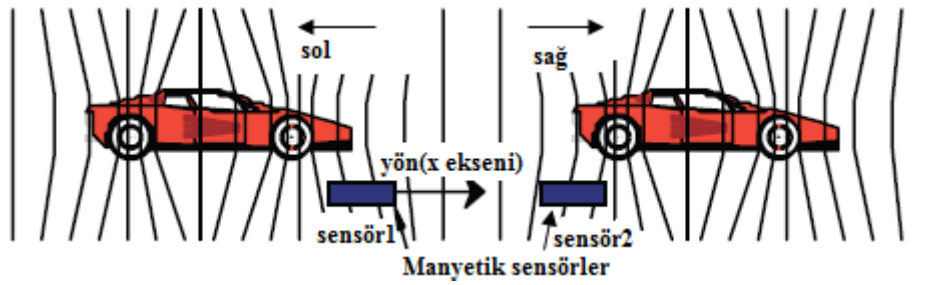
Ayrıca Tablo 5.3 ise farklı tipte 100 adet araç için sınıflandırma ve tanımanın önerilen sınıflandırma algoritması için doğruluk oranlarını göstermektedir. Tablo 5.3’ e göre, en yüksek doğruluk kamyonlarda en düşük doğruluk ise otomobilde olmak üzere sırasıyla %96 ve %84 olarak elde edilmiştir. Tablo 5.3’ den de görüldüğü üzere sadece 1 kamyon tespit edilemeyerek yanlış sonuç alınmıştır. Yapılan çalışmada, kamyon gibi hem boyuta büyük hem de metal bakımından zengin araçlarda daha belirgin, hassas ve doğru sonuçlar edinilmiştir. Ayrıca tüm araçlar göz önünde bulundurulduğunda ortalama olarak %89 gibi yüksek bir doğruluk oranıyla karşılaşıldığı söylenebilir.

Tablo 5.3. Önerilen araç sınıflandırma algoritmasına göre doğruluk sonuçları

Araç Tipi	Geçirilen araç sayısı	Tespit edilen araç sayısı				önerilen algoritmanın doğruluğu
		Otomobil	Minibüs	Otobüs	Kamyon	
Otomobil	25	22	3	0	0	%88
Minibüs	25	1	21	3	0	%84
Otobüs	25	0	1	22	2	%88
Kamyon	25	0	0	1	24	%96
Toplam araç sayısı	100	22	21	22	24	%89
					89	

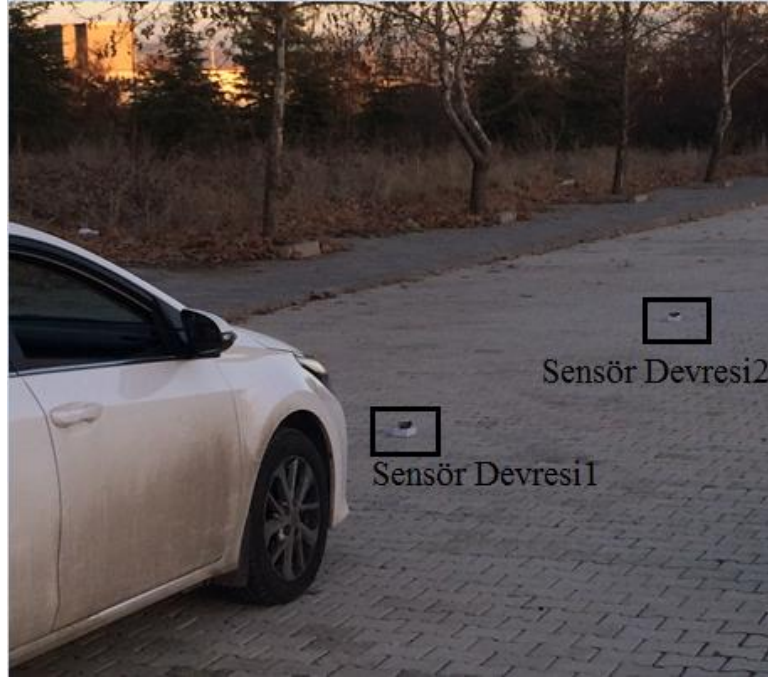
5.3. Araç Yönünün Bulunması

Bu bölümde yoldan geçen araçların yönü tespit edilmiştir. Araç yönünün bulunması sağdan sola veya soldan sağa doğru olmak üzere söz konusu araçların seyir durumları incelenebilir. Bu uygulama, birden fazla sensör kullanılarak araçların sensörlerden geçerken yerin manyetik alanında oluşan değişim farkı algılanıp bu fark sayesinde araçların tek eksendeki hareket yönü tespit edilebilir [9,45]. Şekil 5.21, araç yönünün tespiti uygulamasında düşünülen senaryoyu ortaya koymaktadır.



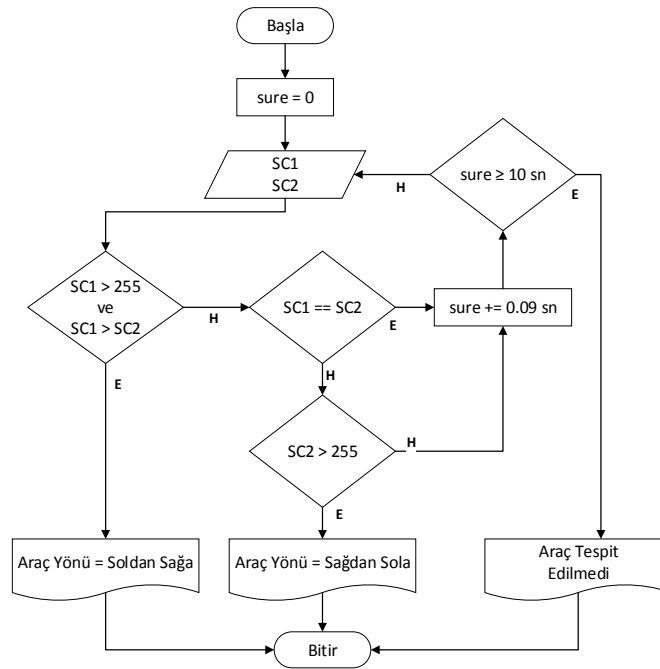
Şekil 5.21. Yön tespit senaryosu [9]

Bu uygulamada aracın yönünü tespit edebilmek amacıyla yolun ortasına 2 adet sensör devresi 5m aralıklarla yerleştirilmiştir. Buradaki amaç, aracın kısa mesafe aralıklarda bulunan düğümlerden geçerken oluşan manyetik dalga değişiminin benzer olup olmadığını gözlemlemektir. Ayrıca manyetik bileşke kuvvet(C) değeri hangi sensör düğümünden gelen bilgi ışığında $C_{threshold}$ 'u (255) ilk olarak aşıyorsa ve belirli bir süre sonra diğer düğümden gelen bilgi, araç varlığını ifade ediyorsa bu şekilde de aracın yönü tespit edilmiş olur. Bu uygulamayı gerçekleştirmek için bir otomobil 40km/s sabit hızla sensör devrelerinden Şekil 5.22'deki gibi geçirilmiştir. Yolun x eksenine göre sensör devresi 1'den sensör devresi 2'ye doğru aracın yönü soldan sağa, tam tersi olan durumda ise aracın yönü sağdan sola olduğu kabul edilmektedir.



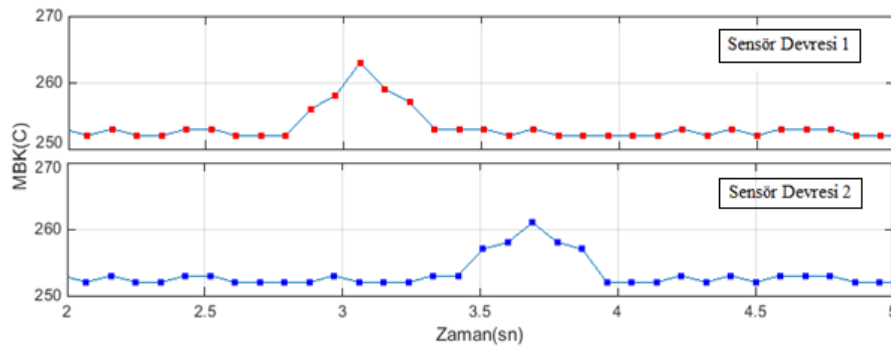
Şekil 5.22. Aracın sensör devrelerine yaklaşması

Bir önceki uygulamadaki gibi sensörlerin ölçüm zaman aralığı 90 ms olarak belirlenmiştir. Şekil 5.23, araç yönünün tespiti için oluşturulan algoritmanın akış diyagramını göstermektedir. Diyagramdaki SC1 ve SC2 değişkenleri, sırasıyla sensör 1 ve sensör 2’den okunan C değerlerini ifade etmektedir.



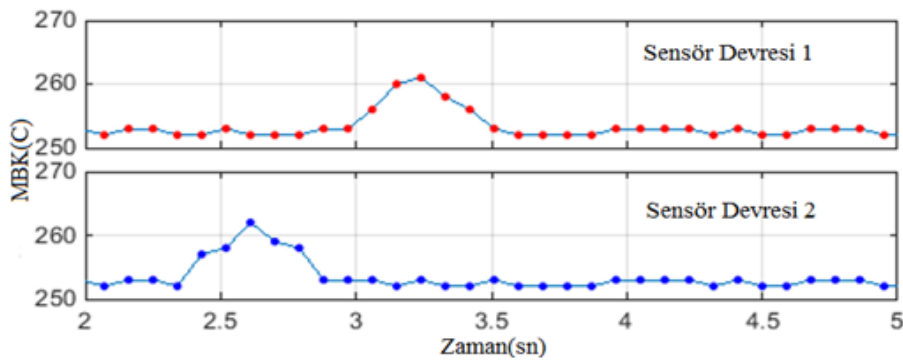
Şekil 5.23. Araç yönünün tespiti için belirlenen algoritmanın akış diyagramı

Sensörlerden her 90ms’de bir bilgi alınırken ilk olarak Düğüm 1(sensör devresi1) aracın var olduğunu bildirmiştir. Kısa süre sonra ise Düğüm 2(sensör devresi 2) aracın varlığını bildirmiştir. Yani belli bir süre Düğüm 1 lojik 1 değerini, Düğüm 2 ise lojik 0 değerini göndermiştir. Daha sonra ise Düğüm 1 lojik 0 değerini, Düğüm 2 ise lojik 1 değerini göndermiştir. Bu sonuçlar matlab programında Şekil 5.24’deki gibi çizdirilmiştir. Şekil 5.24’den de görüldüğü üzere araç ilk olarak sensör devresi 1’de daha sonra ise sensör devresi 2’de algılanmıştır. Örneğin sensör devresi 1’de algılanan en yüksek manyetik dalga değeri 263, sensör devresi 2’de ise 261 olmuştur. Sensör devresi kapsama alanındaki meşguliyet süreleri de birbirine yakın değerler çıkmıştır. Sensör düğümü 1’den sensör düğümü 2’ye doğru bir akış gözlemlendiğine göre aracın yönünün soldan sağa olduğu bulunmuş olunur. Bunlara ilaveten, sensör devrelerinde algılanan veriler ve elde edilen sonuçlar benzer olmuştur. Yani yoldan iki düğüm arasından geçen aracın aynı olduğu kanısına varılabilir. Araçların sağdan sola doğru hareket ettiğini gösteren grafik de Şekil 5.25’de verilmiştir. Görüldüğü üzere ilk olarak sensör düğümü 2’den daha sonra ise sensör düğümü 1’den araç algılandığı gözlemlenmiş ve bu sayede aracın sağdan sola doğru hareket ettiği belirlenmiştir.

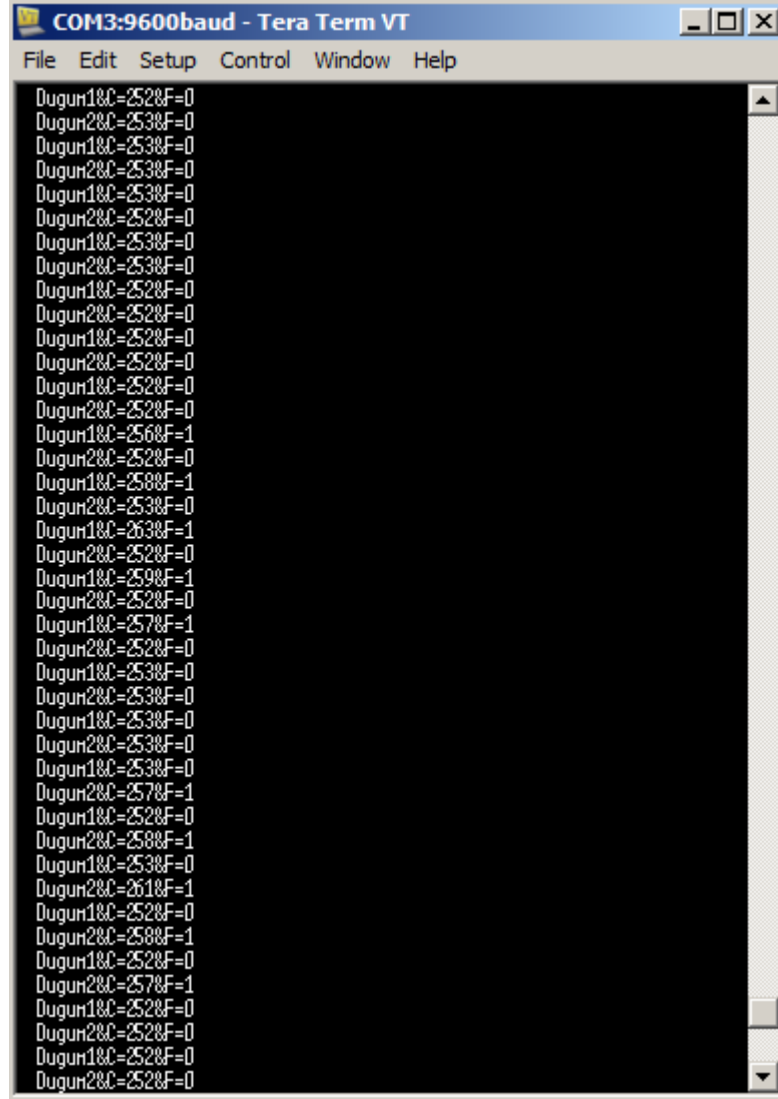


Şekil 5.24. Araç yönünün soldan sağa tespiti (manyetik bileşke kuvvet değer(MBK)-zaman grafiği)

Şekil 5.26, alınan verileri Tera Term seri port programında görüntülemektedir.



Şekil 5.25. Araç yönünün sağdan sola tespiti (manyetik bileşke kuvvet değer(MBK)-zaman grafiği)



Şekil 5.26. Tera Term’de alınan veriler(araç yön tespiti)

Daha sonra 28 adet soldan sağa, 22 adet sağdan sola olmak üzere 50 araç için araç yön tespit deneyi gerçekleştirilmiştir. Tablo 5.4’de de görüldüğü üzere soldan sağa doğru yoldan geçirilen araçlarda %92.9, sağdan sola olanlarda ise %95.4 doğruluk elde edilmiştir. Genel olarak sistemin doğruluk oranı %94 olarak bulunmuştur.

Tablo 5.4. Önerilen araç yönü tespit algoritmasına göre doğruluk sonuçları

Araç Yönü	Geçirilen araç sayısı	Tespit edilen araç sayısı		Önerilen algoritmanın doğruluğu
		Soldan sağa	Sağdan sola	
Soldan sağa	28	26	2	%92.9
Sağdan sola	22	1	1	%95.4
Toplam araç sayısı	50	26	21	%94

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında kablosuz manyetik sensörler kullanılarak araç tespiti ile 3 adet uygulama geliştirilmiş çeşitli yazılım araçları vasıtasıyla elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve analiz edilmiştir. Ayrıca Bölüm 3’de kablosuz ağ topolojileri belirli parametrelerce kıyaslanmıştır. Bu çalışmada alınan sonuçlara istinaden; karmaşık sensör ağlarda birçok alternatif rotaların route tablolarında tutulmasıyla hafıza kullanımı artmasına rağmen örgü (mesh) topolojisinin kullanılmasının avantajlı olabileceği ama az miktarda sensör düğümü içeren ağlarda, merkezi düğümü çok meşgul etmeden az bir gecikmeyle veriyi hedefe ulaştırabilen ağaç topolojisinin uygun olduğu söylenebilir. Ayrıca kablosuz sensör ağlarda küçük boyutta veriler iletildiği için olabildiğince az enerji tüketen Zigbee gibi haberleşme standartlarının kullanılmasının sensör ağ tasarımcılarına fayda sağlayabileceği söylenebilir.

Tez sürecinde manyetik sensörler ile yapılan ilk uygulamada, belirlenen tek şeritlik bir yolun 100 metrelik kısmının trafik durumu yarım saat boyunca analiz edilmiştir. Bu analizi yapabilmek için, güç kartı, manyetik sensör ve piliyle beraber 3 adet sensör düğümü kullanılmıştır. Buradaki amaç 50 metre aralıklarla 3 sensörün yola yerleştirilip 100 metrelik kısmının trafiğinin incelenmesidir. Belirlenen trafik durumu, sıklık oranına göre; trafik yok, trafik az yoğun, trafik orta yoğun ve trafik çok yoğun olarak sınıflandırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre her saniyedeki anlık trafik sıklık bilgisi görülebilmektedir. Bunlara ilaveten yolun son kısmına yerleştirilen Düğüm 3’den gelen veriler incelenerek o yoldan geçen araçlar günlük olarak sayılıp her saat için trafik analiz edilmiştir. Bu sayede yolun 24 saatlik trafik yoğunluk bilgisi dakikada geçen araç sayısına göre saptanmıştır. Daha sonra, yolda hareket eden bir araç otomobil, minibüs, otobüs ve kamyon olmak üzere 4 seviyede kategorize edilmiştir. Bu şekilde sınıflandırma işlemi yapılırken *MİU* parametresi önerilmiş ve kullanılmıştır. Son olarak ise yoldaki araçların yönü soldan sağa veya sağdan sola olmak üzere belirlenmiştir. Yolda çalışma yapılırken birçok araç üzerinde denemeler yapıp Tera Term yazılımında örneklemeler alınmış ve önerilen algoritmanın diğer çalışmalara nispeten daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bu gerçek zamanlı sonuçlar, trafikteki sürücülere internet ortamında anlık olarak verilebilir. Bu sayede sürücüler söz konusu yolun trafik durumu hakkında (araç sayısı, tipi veya yönü) bilgi edinebilir.

Yapılan bu çalışmanın en önemli özellikleri, araç tespit sisteminin basit, diğer çalışmalara nispeten daha dinamik olması,ve önerilen yöntem ve algoritmaların uygun sonuçlar doğurmasıdır. Ayrıca kullanılan malzemelerin donanım miktarının ve maliyetinin az olması, sensör düğümlerinin birbiriyle düşük güç tüketen Zigbee haberleşme standardına göre iletişim kurması da çalışmanın diğer özelliğini yansıtmaktadır.

Ancak sensör düğümü, güç kartı, manyetik sensör ve pil ile oluşan sensör devresi, bütünleşik yapıda tek bir elektronik ortamda tasarlanması daha mantıklı bir yaklaşım olacaktır. Bu sayede yola yerleştirilen bu devrenin herhangi bir problemten etkilenmesi önlenmiş olabilir. Ayrıca oluşturulacak sensör devresi plastik elyaf kılıfla saklanarak kötü hava koşullarından korunabilir. Daha fazla sensör düğümü kullanılarak daha uzun bir yolun veya çift şeritli yolun trafiği daha uzun bir süre için gözlemlenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Haoui, A., Kavalier, R. and Varaiya, P.,** 2008. Wireless magnetic sensors for traffic surveillance, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 16(3), 294-306.
- [2] **Lei, Z., Wang, R. and Cui, L.,** 2011. Real-time Traffic Monitoring with Magnetic Sensor Networks, *Journal of information science and engineering*, 27(4), 1473-1486.
- [3] **Nourildean, S. W.,** 2012. A Study of ZigBee Network Topologies for Wireless Sensor Network with One Coordinator and Multiple Coordinators, *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, December.
- [4] **Mihajlov, B. and Bogdanoski, M.,** 2011. Overview and Analysis of the Performances of ZigBeebased Wireless Sensor Networks, *International Journal of Computer Applications*, Macedonia, September.
- [5] **Gil Jimenez, V.P. and Fernandez, M. J.,** 2015. Simple Design of Wireless Sensor Networks for Traffic Jams Avoidance, *Journal of Sensor*, pp. 1-7.
- [6] **Nooralahiyan, A. Y., Kirby, H. R. and McKeown, D.,** 1998. Vehicle classification by acoustic signature, *Mathematical and Computer Modelling*, 27(9), 205–214.
- [7] **Jo, Y. and Jung, I.,** 2014. Analysis of vehicle detection with wsn-based ultrasonic sensors, *Sensors*, 14(8), 14050–14069.
- [8] **Leitloff, J., Rosenbaum, D., Kurz, F., Meynberg, O. and Reinartz, P.,** 2014. An operational system for estimating road traffic information from aerial images, *Remote Sensing*, 6(11), 11315– 11341.
- [9] **Michael, J. C. and Withanawasam, L. S.,** 1999. Vehicle detection and compass applications using AMR magnetic sensors, *Honeywell, SSEC, 12001 State Highway 55, Plymouth. MN USA 55441*.
- [10] **Chen, W. and Chen, L.,** 2005. A Realtime Dynamic Traffic Control System Based on Wireless Sensor Network, *In Proceedings of the 2005 International Conference on Parallel Processing Workshops (ICPPW'05)*, pp 258-264.
- [11] **Nadeem, T., Dashtinezhad, S., Liao, C. and Iftode, L.,** 2004. TrafficView: A Scalable Traffic Monitoring System, *IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM'04)*, pp 1-14.
- [12] **Ng, E. H., Tan, S. L. and Guzman, J. G.,** 2008. Road traffic monitoring using a wireless vehicle sensor network, *International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication System*, Bangkok, Thailand.
- [13] **Sun, C.,** 2000. An investigation in the use of inductive loop signatures for vehicle classification, California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2002-4.

- [14] **Cheung, S. Y., Coleri, S., Dundar, B., Ganesh, S., Tan, C.W. and Varaiya, P.,** 2004. Traffic Measurement and Vehicle Classification with a Single Magnetic Sensor, California PATH Research Report UCB-ITS-PWP-2004-7.
- [15] **Aslan, Ali U.,** 2006. The Effects Of Hierarchy On Mobile Wireless Sensor Network Coverage, *Yüksek Lisans Tezi*, Middle East Technical University, Ankara.
- [16] **Geren, Ö. M.,** 2010. Mobil sensör cihazları kullanılarak ısı ve nem değerlerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, M. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] **Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. and Çayirci, E.,** 2002. A Survey on Sensor Networks, *IEEE Communications Magazine*, 0163-6804/02, 103-114.
- [18] **Yuejun Dong, Shuqin Zhang, Zhiyong Dong and YanCui,** 2011. ZigBee based Energy Efficient Reliable Routing in Wireless Sensor Network: Study and Application, 978-1-61284-486-2/11 ©IEEE, pp 464 – 467.
- [19] <http://www.teknokoliker.com/2012/06/sensorler-ve-cesitleri.html>, Sensör ve sensör çeşitleri, 19 Haziran 2012.
- [20] **Özcan, Ö.,** 2011. Kablosuz sensör ağları için PIC tabanlı düğüm tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, S. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [21] **Gans, J. S., King, S. P. and Wright, J.,** 2005. Wireless communications, ISBN:0444514236, *Handbook of Telecommunications Economics*, Vol. 2.
- [22] **Baysal, K.,** 2011. Kablosuz sensörler, *Yüksek Lisans Tezi*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- [23] **Karasulu, B., Toker, L. ve Korukoğlu, S.,** 2009. ZigBee - IEEE 802.15.4 Standartı Temelli Kablosuz Algılayıcı Ağları, *inet-tr'09 - XIV. Türkiye'de İnternet Konferansı Bildirileri*, Bilgi Üniversitesi, İstanbul, Aralık 12-13.
- [24] IEEE, (2008), IEEE Wireless Standarts Zone, (<http://standards.ieee.org/wireless/overview.html>).
- [25] **Kahveci, S., Türk, K. ve Kaya, İ.,** 2004. IEEE 802.15.4 Zigbee Standardının 2.4 GHZ ISM Bandında Kapasite Analizi, *URSI (Union Radio Science Internationale) Türkiye Ulusal Komitesi, URSI-TÜRKİYE'2004 Bilimsel Kongresi*, P.170-172, Bilkent Üniversitesi-Ankara. Eylül 8-10.
- [26] (<http://standards.ieee.org/wireless/overview.html>), IEEE, IEEE Wireless Standarts Zone. 2008.
- [27] **Callaway, E., Gorday, P., Hester, L., Gutierrez, J. A., Naeve, M., Heile, B. and Bahl, V.,** 2002. Home networking with IEEE 802.15.4 : A developing Standard for

low-rate wireless Personal Area Networks, *Communication Magazine, IEEE*, Vol. 40, No. 8, August.

- [28] **Benkic, K., Planinsic, P. and Cucej, Z.**, 2007. Custom Wireless Sensor Network based on ZigBee, *49th International Symposium*, Slovenia, September 10-17.
- [29] ZigBee Birlikteliği (ZigBee Alliance) websitesi, (2008), (Çevrimiçi: <http://www.zigbee.org>)
- [30] **Kinney, P.**, 2003. ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works, *Technical-White Paper*, Kinney Consulting LLC, Chair of IEEE 802.15.4 Task Group, Secretary of ZigBee BoD, Chair of ZigBee Building Automation Profile WG, pat.kinney@ieee.org.
- [31] **Gutierrez, J. A.**, 2005. IEEE Std. 802.15.4. Enabling Pervasive Wireless Sensor Networks, *Eaton Corp., Graduate Seminar on Sensor Actuator Networks - Tutorial Slide on Berkeley Uni., Education presentation*.
- [32] **Safaric, S. and Malaric, K.**, 2006. ZigBee wireless standard, *48th International Symposium ELMAR-2006*, Zadar, Croatia, pp.259-262, June 07-09.
- [33] **Kalaycı, T. E.**, 2009. Kablosuz Sensör Ağlar Ve Uygulamaları, *Akademik Bilişim'09 - XI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Şubat.
- [34] **Yıldırım, G.**, 2012. Kablosuz sensör ağı ile konum belirleme ve izleme, *Yüksek Lisans Tezi*, F. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [35] **Vancin, S. and Erdem, E.**, 2015. Design and Simulation of Wireless Sensor Network Topologies Using ZigBee Standard, *International Computer Networks and Applications*. 2(3): 135-143.
- [36] <http://www.riverbed.com/products/performance-management-control/network-performance-management/network-simulation.html>, Riverbed Modeler, Ziyaret Tarihi: 08.12.2014.
- [37] **Döner, Ç., Şimşek, G., Yıldırım, K. S. ve Kantarcı, A.**, 2010. Kablosuz Algılayıcı Ağları ile Yangın Tespit Sistemi, Ege Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- [38] **Bekçibaşı, U. ve Tenruh, B.**, 2011. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Konum Saptama Teknikleri ve Mesafe Bağımlı Tekniklerde Dördüncü Çapa Yaklaşımı, *Muğla Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Muğla.
- [39] **Pekmezci, M.**, 2010. Kablosuz Sensör Ağlarında Lokalizasyon Problemleri, *Maltepe Üniversitesi, İstanbul*.
- [40] **Dargie, W. and Poellabauer, C.**, 1988. Fundamentals of wireless sensor networks theory and practice, USA.

- [41] Anonim, http://en.wikipedia.org/wiki/Riverbed_Technology, Riverbed Technology, Ziyaret Tarihi: 08.12.2014.
- [42] **Piecha, J.**, 2012. Digital Camera as a Data Source of its Solution in Traffic Control and Management, *Transport Problems*. 7 (4): 57-70.
- [43] **Bottero, M., Dalla, C. B. and Deflorio, F. P.**, 2013. Wireless sensor networks for traffic monitoring in a logistic centre, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 26: 99–124.
- [44] **Sifuentes, E., Casas, O. and Pallas-Areny, R.**, 2011. Wireless magnetic sensor node for vehicle detection with optical wake-up, *IEEE Sensors Journal*. 11(8):1669–1676.
- [45] **Zhou, J. C., Chen, L. P. and Chen L.**, 2013. A small-scale traffic monitoring system in urban wireless sensor networks, in *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC '13)*, pp. 4929–4934.
- [46] **Fernández, J., Calavia, L. and Baladrón, C., et al.**, 2013. An intelligent surveillance platform for large metropolitan areas with dense sensor deployment, *Sensors*, vol. 13, no. 6, pp. 7414–7442.
- [47] **Al-Nasser, F. A. and Mahmoud, M. S.**, 2012. Wireless sensors network application: a decentralized approach for traffic control and management, in *Wireless Sensor Networks: Technology and Applications*, chapter 16, pp. 347–374.
- [48] **Haijian L., Honghui D., Limin J. and Moyu R.**, 2014. Vehicle classification with single multi-functional magnetic sensor and optimal MNS-based CART, *Measurement*, Vol. 55, pp. 142-152.
- [49] **Collotta, M., Bello, L. L. and Pau, G.**, 2015. A novel approach for dynamic traffic lights management based on Wireless Sensor Networks and multiple fuzzy logic controllers, *Expert Systems with Applications*, Vol. 42, Issue 13, pp. 5403-5415.

ÖZGEÇMİŞ

1987-Elazığ doğumlu Sercan VANÇİN ilköğretim ve lise eğitimini Elazığ’ da tamamladı. Mehmet Akif Ersoy yabancı dil ağırlıklı lisesinden mezun olduktan sonra 2009 yılında girdiği Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünden 2013 yılında mezun oldu. 2013 yılında Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans yapmaya hak kazandı. Aynı yıl Bayburt Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığına Bilgisayar Mühendisi olarak atandı. 2014 yılında Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümüne ÖYP Araştırma Görevlisi olarak atandı. Şu anda, 2547 sayılı Yüksek Öğretim Kurumu yasasının 35. Maddesi gereği Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde ÖYP Araştırma Görevlisi olarak görevine devam etmektedir.