



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

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR İLE HAVA KİRLİLİĞİ ÖLÇÜM  
VE GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİ UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS**

**ARAFAT ŞENTÜRK**

**ARALIK 2012**

**DÜZCE**

## **KABUL VE ONAY BELGESİ**

Arafat ŞENTÜRK tarafından hazırlanan “Kablosuz Algılayıcı Ağlar ile Hava Kirliliği Ölçüm ve Görüntüleme Sistemi Uygulaması” isimli lisansüstü tez çalışması, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 24.12.2012 tarih ve 2012469 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

(Tez Danışmanı)  
Doç. Dr. Resul KARA  
Düzce Üniversitesi

Üye  
Doç. Dr. Pakize ERDOĞMUŞ  
Düzce Üniversitesi

Üye  
Yrd. Doç. Dr. Ali ÇALHAN  
Düzce Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 16.01.2013

### **ONAY**

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Arafat ŞENTÜRK’ ün Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans derecesini almasını onamıştır.

Doç. Dr. Haldun MÜDERRİSOĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **BEYAN**

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

21 Aralık 2012

Arafat ŞENTÜRK

## **TEŐEKKÖR**

Tez çalıŐmamın her aşamasında bÖyÖk emekleri bulunan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Resul KARA'ya, sevgili eŐime ve desteklerinden ÖtÖrÖ her zaman yanımda olan sevgili aileme sonsuz teŐekkÖrler...

**21 Aralık 2012**

**Arafat ŐENTÖRK**

<b>TEŞEKKÜR SAYFASI .....</b>	<b>i</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>ii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ .....</b>	<b>v</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....</b>	<b>viii</b>
<b>ÖZET .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>EXTENDED ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>7</b>
<b>2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR İLE HAVA KİRLİLİĞİ ÖLÇÜMÜ .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN YAPISI.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1. Algılayıcı Birimi (Algılama Ünitesi).....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.2. Radyo Alıcı ve Vericisi (iletişim Ünitesi).....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.3. İşlem Birimi (Hesap Ünitesi).....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.4. Güç Kaynağı.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN MİMARİSİ.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN TASARIM KİSTASLARI.....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.1. Hata Toleransı .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.2. Ölçeklenebilirlik.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.3. Üretim Maliyeti.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.4. Donanım Kısıtları .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.5. Çevre Kısıtları. ....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.6. Ağ Topolojisi.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.7. Güç Tüketimi .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN AVANTAJLARI.....</b>	<b>23</b>
<b>2.4.1. Kullanım Kolaylığı.....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.2. Hataya Karşı Toleransı.....</b>	<b>24</b>

2.4.3. Geliştirilmiş Doğruluk Oranı .....	25
2.4.4. Düşük Maliyeti .....	25
<b>2.5. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN KULLANIM ALANLARI .....</b>	<b>25</b>
2.5.1. Askeri Uygulamalar .....	26
2.5.2. Çevre Algılaması ve İzleme .....	26
2.5.3. Felaketten Korunma ve Kurtarma .....	26
2.5.4. Tıbbi Hizmetler .....	27
2.5.5. Akıllı Ev .....	27
2.5.5.1. Uzaktan ölçüm .....	27
2.5.6. Akıllı Alanlar.....	27
2.5.7. Bilimsel Araştırmalar .....	27
2.5.8. Etkileşimli Çevreleme.....	27
2.5.9. Nezaret Gözetim Uygulaması .....	28
<b>2.6. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR YAŞAM SÜRESİ .....</b>	<b>28</b>
<b>2.7. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR'DA GÜVENLİK .....</b>	<b>29</b>
2.7.1. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Güvenlik Atakları .....	31
2.7.2. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Güvenlik Kriterleri .....	32
2.7.2.1. Düşman Saha .....	32
2.7.2.2. Kaynakların Sınırlılığı .....	33
2.7.2.3. Ağ İçinde İşlem Yapma .....	33
2.7.2.4. Uygulamaya Özel Mimari Yapısı .....	33
2.7.3. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Güvenlik Gereksinimleri .....	34
2.7.3.1. Dışarıdan Gelen Saldırlara Karşı Dayanıklılık.....	34
2.7.3.2. İç Krizlere Karşı Direnç.....	34
2.7.3.3. Güvenliğin Gerçekçi Seviyesi .....	34
2.7.3.4. Veri Gizliliği.....	35
2.7.3.5. Veri Doğrulama/Kimlik Denetimi.....	35
2.7.3.6. Veri Bütünlüğü.....	36
2.7.3.7. Verinin Tazeliği.....	36
2.7.3.8. Kullanılabilirlik.....	36
2.7.3.9. Hizmet Bütünlüğü.....	37
<b>2.8. GELENEKSEL HAVA KALİTESİ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>37</b>
2.8.1. Pasif Örnekleyiciler .....	37
2.8.2. Aktif Örnekleyiciler .....	38
2.8.3. Otomatik Analizörler .....	38
2.8.4. Uzaktan Algılayıcılar .....	39

<b>2.9. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR İLE HAVA KALİTESİNİN ÖLÇÜLMESİ VE GÖRNTÜLENMESİ .....</b>	<b>39</b>
<b>2.9.1. Kullanılan Donanımlar .....</b>	<b>40</b>
2.9.1.1. <i>Waspote Board</i> .....	40
2.9.1.2. <i>XBee ZB PRO Modülü</i> .....	42
2.9.1.3. <i>Alıcı ve Gönderici Ünitesi</i> .....	43
2.9.1.4. <i>Gaz Algılayıcısı Devresi</i> .....	44
2.9.1.5. <i>Gaz Algılayıcısı (TGS2600)</i> .....	45
<b>2.9.2. Waspote'un Programlanması.....</b>	<b>45</b>
<b>2.9.3. Algılayıcıların Yerleştirilmesi .....</b>	<b>46</b>
<b>2.9.4. Algılayıcıdan Alınan Verilerin İşlenmesi .....</b>	<b>48</b>
<b>2.9.5. Algılayıcıdan Alınan Verilerin Depolanması .....</b>	<b>49</b>
<b>2.9.6. Algılayıcıdan Alınan Verilerin Arayüz'e Aktarılması.....</b>	<b>52</b>
<b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>54</b>
<b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>57</b>
<b>5. KAYNAKLAR .....</b>	<b>58</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>61</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1.1. Habitat izleme için kullanılan örnek bir algılayıcı ağ mimarisi	9
Şekil 1.2. Giyilebilir kablosuz vücut/ kişisel ağları uygulaması	10
Şekil 1.3. Sulama ve gübreleme yönetiminde KAA kullanımı	11
Şekil 1.4. İklim koşullarının görüntülenmesinde KAA'ların kullanılması	11
Şekil 1.5. KAA ideal izleme sistemi örnek uygulama senaryosu	12
Şekil 1.6. Heterojen kablosuz algılayıcı ağ temelli sınır izleme sistemi	13
Şekil 1.7. Kablosuz algılayıcı ağ mimarisi	14
Şekil 1.8. Veri toplayan bir KAA	15
Şekil 2.1. Kablosuz algılayıcı ağ düzeneği	17
Şekil 2.2. Kablosuz algılayıcı düğüm yapısı	18
Şekil 2.3. Kablosuz algılayıcı ağ mimarisi	20
Şekil 2.4. Topolojiler	21
Şekil 2.5. KAA'ların Güneş Paneli	22
Şekil 2.6. Kablosuz algılayıcı ağ düğümleri	23
Şekil 2.7. Kablosuz algılayıcı ağların erişime bir örnek	25
Şekil 2.8. Kablosuz algılayıcı ağ haberleşme yapısı	30
Şekil 2.9. Waspote Board'un ön yüzü	41
Şekil 2.10. Waspote Board'un arka yüzü	41
Şekil 2.11. XBee ZB PRO	42
Şekil 2.12. Waspote ve XBee ZB PRO modülü	43
Şekil 2.13. Alıcı ve gönderici ünitesi	43
Şekil 2.14. Gaz algılayıcısı devresi	45
Şekil 2.15. Gaz algılayıcısı TGS2600	45
Şekil 2.16. Algılayıcılar ve Alıcı-Gönderici Ünitesinin Konumları	47
Şekil 2.17. Gaz algılayıcı grafiği	48
Şekil 2.18. Algılayıcıdan alınan verilerin metin dosyasında depolanması	50
Şekil 2.19. Veritabanı "kaa"	51
Şekil 2.20. "kaa"daki tablolar	51
Şekil 2.21. "rektorluk" tablosu	52



Şekil 2.22.	Kirlilik Derecelerini Gösteren Renk Değerleri	53
Şekil 3.1.	Ana Sayfa	54
Şekil 3.2.	Hava Kirlilik Derecesinin Haritadan İzlenmesi	55
Şekil 3.3.	Algılayıcıların Yerleştirildiği Bölgeler	55
Şekil 3.4.	Rektörlük Bölgesindeki Gaz Yoğunluk Değerleri Görünümü	56

## ÇİZELGE LİSTESİ

		<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 2.1	Geleneksel Ad-Hoc Ağlar (AHA) ve Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA) arasındaki farklar	31
Tablo 2.2	Atak ve saldırgan türlerinin karşılaştırılması	32
Tablo 2.3	Karbonmonoksit Gazının Yoğunluk Derecesi	52

## SİMGELER VE KISALTMALAR

KAAs	Kablosuz Algılayıcı Ağ
WSN	Wireless Sensor Network (Kablosuz Algılayıcı Ağ)
AD	Algılayıcı düğüm
MEMS	Mikro-Elektromekanik sistemler
GPS	Global position system (Küresel konumlandırma sistemi)
WWBAN	Giyilebilir Kablosuz Vücut/ Kişisel Ağları
MAC	Media Access kontrol (medya erişim kontrolü)
GTA	Gezgin tasarısız ağ
AHA	Ad-Hoc ağlar
DoS	Denial of Service
Mac	Message authentication code
SPINS	Security Protocols for Sensor Networks
HKİ	Hava Kalitesi İndeksi

## ÖZET

# KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR İLE HAVA KİRLİLİĞİ ÖLÇÜM VE GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİ UYGULAMASI

Arafat ŞENTÜRK

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Resul KARA

Aralık 2012, 73 sayfa

Sürekli artan nüfus, sürekli gelişen yaşam alanı ve bilgiye duyulan ihtiyaç, günümüz iletişim teknolojilerinin gelişmesini tetiklemiştir. Önceleri kablolu olarak sağlanan iletişimin yerini giderek kablosuz iletişim almaktadır. Kablosuz iletişim ile beraber kablosuz ağ teknolojileri de ilerlemiştir. Maliyetin yüksek olması sebebi ile öncelikle sadece askeri amaçlarla kullanılan kablosuz ağ teknolojileri maliyetin ucuzlaması ve insanların ihtiyaçları doğrultusunda artık pek çok alanda kullanılmaya başlamıştır. Kablosuz Algılayıcı Ağ'lar (KAA) doğa koşullarında kablolu iletişime göre daha uygun olması, güvenilir olması, esnek yapıya sahip olması, düşük maliyet ile çözüm üretmesi, kendi kendine organize olabilmesi, enerjisini ağ içinde dengeli bir şekilde kullanabilmesi ve kurulum kolaylığı sağlaması yaygınlaşmasını kolaylaştırmıştır. KAA amacı bilgiye her an, her yerden kolayca erişilmesini sağlamaktır. Bu işlevi veriyi toplayarak, işleyerek, çözümlenerek ve yayarak yerine getirir. Bu tez çalışmasında KAA'lar ile hava kirliliği ölçüm ve görüntüleme sistemi geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Metan (CH<sub>4</sub>), karbonmonoksit (CO), izobutan (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), etanol (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) ve hidrojen (H<sub>2</sub>) gazlarının yoğunluğunu ölçmek için programlanan algılayıcılar Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesi'nde planlanan beş bölgeye yerleştirilmiş ve her bir bölgeden bu gazların yoğunluğu alınmıştır. Alınan bu gaz yoğunluğu değerleri ile hava kirliliği belirlenmiştir. Algılayıcılardan alınan veriler MySQL veritabanına aktarılmıştır ve PHP web programlama dili kullanılarak geliştirilen görüntüleme arayüzüne taşınmıştır. Web arayüzünde yer alan harita üzerinden hava kirliliği değişiklikleri anlık olarak izlenebilir hale getirilmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Hava Kirliliği, Kablosuz algılayıcı ağ, ölçme ve görüntüleme

## **ABSTRACT**

### **AIR CONTAMINATION MEASUREMENT AND VISUALIZATION APPLICATION WITH WIRELESS SENSOR NETWORKS**

Arafat ŞENTÜRK

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical-  
Elektronical Engineer

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Resul KARA

December 2012, 73 pages

Today's communication technologies have been triggered by consistently increasing population, developing life area and the need for information. The place of the communication of yesterday as being cabled is now becoming wireless. Wireless network technologies have been progressed via wireless communication. Wireless network technologies that were used first by military purposes because of high cost are now started to be used in many fields towards the needs of human beings and the decrease in cost. The reasons of using this technology are being more suitable to natural conditions than the cabled one, its reliability, its flexible structure, producing a solution with low cost, self organization, using its energy balanced inside the network and providing easy establishment. The purpose of wireless sensor networks is to provide easy access to data at any moment. It performs this by collecting data, processing, analyzing and disseminating it. In this thesis, air contamination measurement and visualization system with WSN is developed and applied. Sensors which are programmed to quantify the density of Methane (CH<sub>4</sub>), carbon monoxide (CO), isobutene (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), ethanol (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) and hydrogen (H<sub>2</sub>) gases are placed into the planned regions in Duzce University Konuralp Campus and the density of each gas in every region has been taken. Air contamination is determined by these gas density values. Data taken by sensors has been transferred to MySQL database, and then it is transferred to the visualization interface that is prepared by PHP web programming language. Air contamination changes are shown instantly on a map given in the web interface.

**Keywords:** Air contamination, Wireless sensor network, measurement and visualization

# **EXTENDED ABSTRACT**

## **AIR CONTAMINATION MEASUREMENT AND VISUALIZATION APPLICATION WITH WIRELESS SENSOR NETWORKS**

Arafat ŞENTÜRK

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical-  
Elektronical Engineer

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Resul KARA

December 2012, 73 pages

### **1. INTRODUCTION:**

In this section, we will briefly review the importance of wireless sensor networks, the studies on this topic, and its applications.

Wireless network technology that we frequently hear nowadays develops rapidly and also the importance of Wireless Sensor Networks (WSN) increases with this improvement. Wireless technology and the applications of WSN have been spread to many of the fields according to the needs of people. The expectations about WSN have also been increased after the improvements in the technology. Of course, it is not the only expectation to eliminate the cabling. Besides, there must be many features of WSN such that accurate data gathering, reliability, flexibility, low cost, self-organized, balanced energy usage, establishment ease, etc. It surely provides several advantages with these properties when compared to cabled systems. However, it is required to design and implement WSN applications with respect to a complete network structure. The network feature brings major functions related to interaction-based data flow to WSNs.

Wireless sensor networks have been applied to variety of fields and it still goes on. The improvement of the WSN technology that is first used for military purposes become irrevocable in many fields with the necessities of people and with the decrease of its cost.

Some examples of these studies are the followings:

- Habitat monitoring, environmental observation, weather forecasting systems
- Health applications (patient-doctor control, patient monitoring (physiologic/psychologic), etc.)
- Energy provision and transfer systems (production, distribution, and consumption structures)
- Home and office applications (smart kindergarten, smart home, smart automobile, etc.)
- Location resolution of remote places (tornado motion, forest fire detection, weather contamination analysis, etc.)
- Monitoring of the traffic by placing sensors to the taxis in a wide metropolitan area and efficient route planning based on these observations
- Efficient usage of parking area by determining empty and full places with sensor networks
- Security in shopping centers, car garage, etc. with wireless surveillance sensor networks
- Military sensor networks for detecting enemy motion, finding and following it, and protection country borders
- Sensor networks that increase the awareness against terrorist attacks

## **2. AIR CONTAMINATION MEASUREMENT WITH WIRELESS SENSOR NETWORKS:**

Electronical devices that consume low energy and radios that provide short-distance communication, smart sensors are the most important technological factors that make the expansion of WSNs possible.

Wireless sensor networks exist as scattered randomly to the environment according to the system they are used. They can communicate each other wirelessly. WSNs may own sensors with different kind and properties.

If we mention briefly about the structure and the architecture of the wireless sensor networks, sensor nodes in WSNs are composed of 4 basic units which are sensor unit, radio receiver and transmitter, computation unit, and power supply. The main elements of WSN are sensor nodes with some properties like censoring, data processing, and

communications. Sensor nodes, without cabling, appear scattered into the environment where they collect or follow data.

Several factors are affected in the design of wireless sensor networks. They are error toleration, scalability, environmental constraints, network topology, communication context, and power consumption.

Wireless sensor networks can work in different areas in different conditions and they can organize their networks. WSN nodes can work in corporation, they are aware of each other, and each node has a computational capacity. There are some benefits and ease that WSNs provide like easy establishment, maintenance, low cost, being affected just a few by environmental factors, and using in different applications by programming again and again. These and even more will be discussed in the second section of the thesis.

Wireless sensor networks are used to transport wireless network access to any point in a big campus or metropolitan area. Usage areas of WSNs are military applications, environment detection and monitoring, protection against disasters and salvage, medical services, smart home, smart areas, scientific researches, interactive enclosure, and prison monitoring applications.

Wireless sensor networks can watch some physical situations such as temperature, moisture, light, pressure, object motions, soil components, noise level, existence of an object, mass, dimension, motion speed, its direction, and last location.

The biggest constraint in the development of wireless sensor networks is the energy. WSN must perform its main duties like data collection, data processing, and data transfer with consuming the least energy so that it has that much long life time. During the design of WSNs the usage of high energy must be diminished.

Wireless sensor networks have several transmitters. These transmitters are short-distant, low-power, and low-cost. They are mostly scattered randomly to an unreliable or hardly attained places according to the application.

Security and privacy are very important in WSNs as in other applications too. There are many security criterions and requirements in WSNs. These and the things need to be done for security in WSNs will be examined in detail in the second section.



In this thesis, development and application of air contamination measurement system has been realized. Air contamination index and the importance of air are mentioned. The traditional air contamination measurement methods are examined.

### **3. RESULTS AND DISCUSSIONS:**

In this thesis, development and application of air contamination measurement system has been realized. Air contamination index and the importance of air are mentioned. The traditional air contamination measurement methods are examined.

In the application section, sensors that is programmed to measure the density of Methane (CH<sub>4</sub>), carbon monoxide (CO), isobutene (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), ethanol (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) and hydrogen (H<sub>2</sub>) gases are located in the planned regions in Duzce University Konuralp Campus and gas densities have been taken in each region. To calculate the contamination of the air, equations of gas sensor have been set and their accuracies are determined. Gathered data has been collected via HyperTerminal which is a component of Windows Operating System. The data stored in HyperTerminal have been transferred to MySQL and an interface has been constituted with PHP web programming language. Thus, the developed application has been visualized and the air qualities have been shown on a map provided in the interface.

### **4. CONCLUSION AND OUTLOOK:**

In this study, WSNs have been used in the measurement of air contamination. It is understood that WSNs are more efficient for air contamination measurement when compared to other methods in terms of accuracy, reliability, flexibility, cost, and establishment ease.

# 1. GİRİŞ

Günümüzde sıkça duyduğumuz kablosuz ağ teknolojileri hızla gelişmektedir, bu gelişmeyle birlikte Kablosuz algılayıcı ağ'ların (KAA) önemi de giderek artmaktadır. Sistemlerde kabloların kullanılması enerji ihtiyacının fazla olması, donanım yapılarının fiziksel boyutlarının büyüklüğü, bazı ortamlarda kullanmanın yetersiz kaldığı veya uygulama imkânının olmadığı şartlarda kısıtlamalardan dolayı ihtiyaç olan alanlarda uygulamaların gerçekleştirilmesi oldukça zor olmaktadır. Bu zorlukları ve kablo kullanımının olumsuzluklarını ortadan kaldırmak için KAA'ların kullanımı gerekli ve hatta bazı durumlarda zorunlu olmaktadır. Kablosuz sistemler ve özellikle KAA teknolojileri geliştikçe, kullanım alanları da buna paralel olarak artmaktadır. Teknolojinin de gelişmesi ile birlikte KAA teknolojisi konusundaki beklentiler de artmıştır. Tabii ki KAA teknolojisinden beklenen tek özellik kablo kullanım sorununun ortadan kalkması değildir. Bunun yanında KAA teknolojisi doğa koşullarında kablolu iletişime göre daha uygun olması, güvenilir olması, esnek yapıya sahip olması, düşük maliyet ile çözüm üretmesi, kendi kendine organize olabilmesi, enerjisini ağ içinde dengeli bir şekilde kullanabilmesi ve kurulum kolaylığı sağlamasıdır. Muhakkak ki, bu özellikler ile birlikte kablolu sisteme göre birçok avantajlar sağlamaktadır. Fakat KAA uygulamalarının da tam bir ağ yapısına uygun olarak tasarlanması ve hayata geçirilmesi gerekmektedir. Yine kablolu sistemlerden farklı olarak, ağ özelliği, KAA'lara etkileşime dayalı bilgi akışına yönelik önemli işlevler kazandırmaktadır.

Kablosuz algılayıcı ağlar genellikle belirli bir coğrafi bölge üzerinde fiziksel olguları (gaz, sıcaklık, nem, basınç, hız, ışık, gürültü vb.) gerçek zamanlı olarak gözetlemek üzere bir araya getirilmiş çok sayıda düşük maliyetli algılayıcı düğümden (AD) oluşan mikro-elektromekanik sistemler (MEMS) olarak tanımlanabilir. Askeri, endüstriyel, güvenlik ve tıp alanında uygulamalarının yanında tarım ve hayvancılıkta ortam koşullarının görüntülenmesi için KAA'lar yaygın olarak kullanılmaktadır. Başta ortam koşulları görüntüleme olmak üzere pek çok uygulamada algılama ve haberleşme işlemlerinin yerine getirilmesinde çalışma sahasına rastgele dağıtılan AD'lerin coğrafi konumlarının bilinmesine ihtiyaç duyulur. AD üzerinde bulunan GPS modülü yardımıyla konum bilgisi kolayca elde edilebilir [1].

Günümüzde insanların ihtiyacı doğrultusunda KAA'lar ve kullanım alanlarının önemi

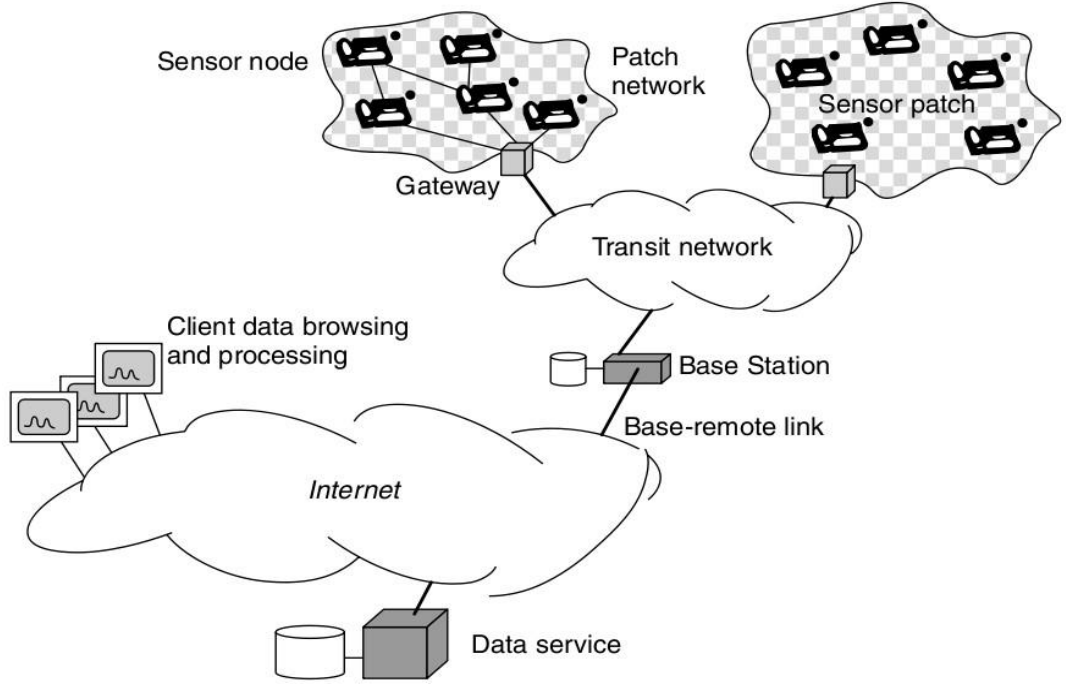
giderek artmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle ve yaşam alanlarının genişlemesiyle beraber kablosuz sistemlere ve özellikle KAA teknolojilerine önemli derecede ihtiyaç duyulmaktadır. KAA uygulamalarında sistemin kablosuz olması ve tam bir ağ yapısını içermesi gerekmektedir.

Kablosuz algılayıcı ağlar (Wireless Sensor Network, WSN) kavramı ilk kez 1980'lerin başlarında karşımıza çıkmıştır. Mikro elektro-mekanik (MEMS) sistemlerdeki gelişmeler ve kablosuz haberleşme sistemlerindeki ilerlemelerle birlikte 1990'lı yıllarda önemli bir araştırma alanı haline gelmeye başlamıştır [1].

Kablosuz algılayıcı ağlar, çok değişik alanlara uygulanmış ve halen uygulanmaktadır. İlk başlarda sadece askeri alanda kullanılan KAA teknolojinin gelişmesi, insanların gereksinimleri ve özellikle maliyetinin azalması ile beraber birçok alanda vazgeçilmez olmuştur.

Aşağıda bu çalışmalardan bazı örnekler incelenebilir:

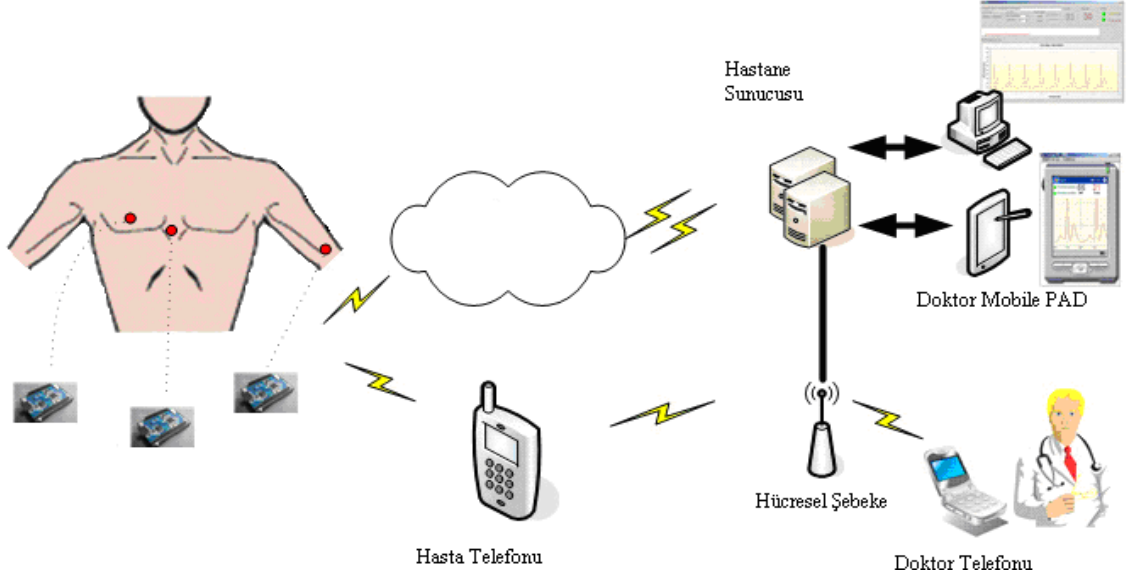
- Habitat (bitki, hayvan) izleme ve çevresel gözlem, hava durumu tahmin etme sistemleri (bkz. Şekil 1.1.)
- Sağlık uygulamaları (hasta, doktor takibi, hasta fizyolojik psikolojik durum izleme, vb.)
- Enerji tedarik ve aktarma sistemleri (üretim, dağıtım, tüketim yapılarında)
- Ev ve ofis uygulamaları (zeki anaokulu, akıllı ev, akıllı araç, vb.)
- Uzak yerlerin, konumların çözümlenmesi (tornado hareketi, orman yangın tespiti, hava kirliliği analizi, vb.)
- Geniş bir metropol alanındaki taksilere algılayıcılar yerleştirilerek trafiğin gözlenmesi ve bu gözlemlere dayanarak rotaların etkin planlanması
- Bir park yerindeki boş ve dolu alanların algılayıcı ağlarla belirlenmesi ve bu şekilde park alanının daha verimli kullanılmasını sağlama
- Kablosuz gözetim algılayıcı ağlarla alışveriş merkezi, araba garajı veya benzeri tesislerde güvenlik sağlama
- Düşman hareketlerini belirleme, bulmak, izlemek ülke sınırlarını korumak veya için askeri algılayıcı ağlar
- Terörist saldırılara karşı tetikteliği arttıran algılayıcı ağlar.



**Şekil 1.1.** Habitat izleme için kullanılan örnek bir algılayıcı ağ mimarisi [1]

Medikal bilişimde, doktorlar gerektiği durumlarda uzakta olan hastanın üzerine yerleştirilen çeşitli algılayıcılar yardımıyla fizyolojik verileri takip edebilir ve bu uygulamalar için otomatik olarak elektronik kayıtlar oluşturulur ve bunlar veritabanına kaydedilebilir. İnternet sağlayıcı herhangi bir cihaz yardımı ile verilere erişim sağlanabilir. Bunun yanı sıra veri analizi sonrası öneriler, tanı teşhisi ve uygulanacak tıbbi programlar geri bildirilebilir. Fiziksel bilginin gerçek zamanlı iletimini sağlayan Zigbee tabanlı KAA kullanan sistemler veri işlemede ve veri iletiminde veritabanı uygulamaları ve kablosuz internet ile desteklenmiştir. Bu sayede daha fazla kitleye sağlık hizmeti sağlanabilir.

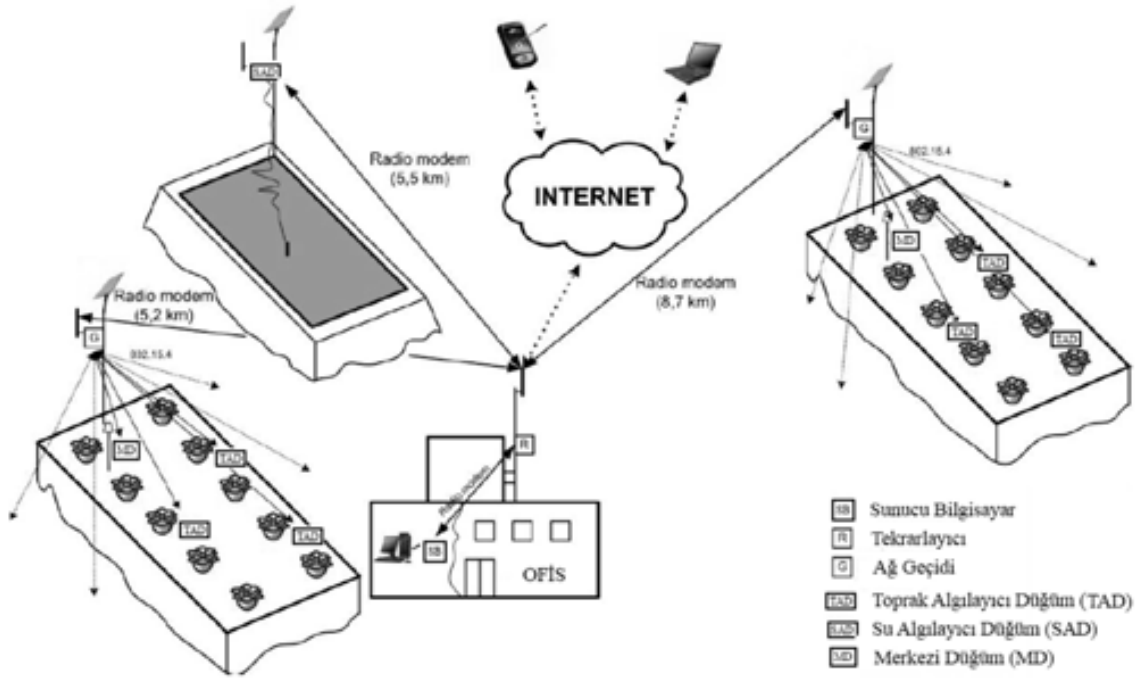
Bu konuda A. Aleksandar ve ark. “Kablosuz Algılayıcı Ağlar ile İnsan Sağlığını İzleme: Sorunlar ve bir Uygulama” isimli çalışmalarını hazırlamışlardır. Çalışmanın ilk olarak KAA ile ilgili genel bilgiler verilerek daha sonra tıbbi alanda KAA kullanılarak bir uygulama geliştirilmiştir. [2]. A. Aleksandar ve ark. KAA’ları sağlık alanında kullanırken giyilebilir kablosuz vücut/kişisel ağları (giyilebilir kablosuz gövde/kişisel alan ağı, WWBAN) uygulamasını geliştirmişlerdir (bkz. Şekil 1.2.).



**Şekil 1.2.** Giyilebilir kablosuz vücut/ kişisel ağları uygulaması [2]

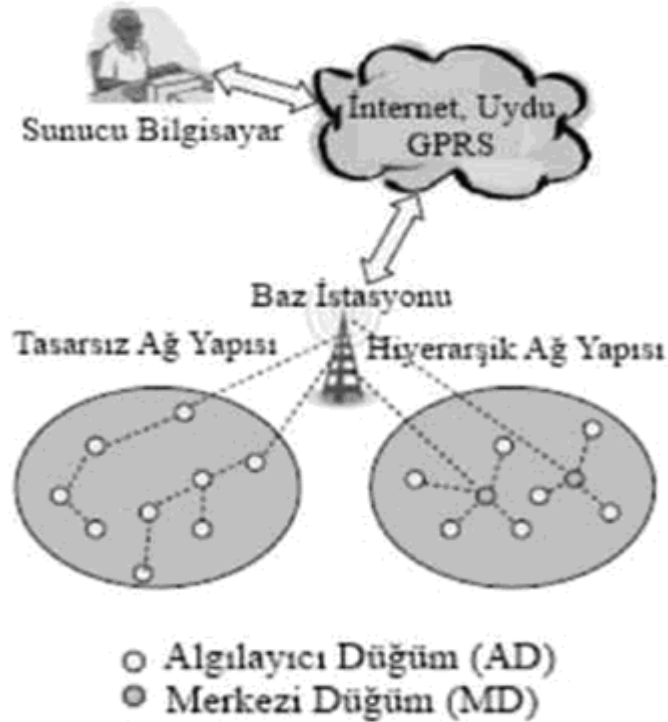
Bu uygulama sayesinde tıbbi uygulamalar alanında çeşitli teknik, ekonomik ve sosyal sorunlar güvenilir ve esnek bir şekilde çözüme ulaşmıştır. Uygulama tam olarak, hastanın vücudunun belirli yerlerine yerleştirilen kablosuz algılayıcılar sayesinde cep telefonu ve/veya bilgisayara alınan hasta bilgileri (hastalık durumuna göre değişen veriler) internet aracılığı ile hemşire ve/veya doktorlara ulaşmaktadır ve depolanmaktadır. Bu bilgiler işlenerek hasta hakkında anlık olarak veya hastanın genel durumu hakkında fikir edinen hemşire ve/veya doktorlar bu sayede, gerektiğinde hastaya ani müdahalede bulunabilirler ve genel olarak hasta hakkında bilgi edinerek hastaya da ulaşabilirler.

Kablosuz algılayıcı ağların sağlık alanında sağladığı faydaların yanı sıra tarım alanında da etkili olmuştur. Bu alanda literatürde yer alan çalışmalardan biri olan ve Y.Dilay ve ark. tarafından yapılan “Hassas Tarımda Kablosuz Algılayıcı Ağların Kullanımı ve Uygulama Alanlarının İncelenmesi” isimli çalışmada hassas tarımda KAA ile ilgili şu bilgileri içermektedir: Topraktan etkili veri toplamak ve işlemek, bitki verimini maksimum düzeye çıkarmak ve üretimde kullanılan kimyasalların çevre üzerindeki zararlı etkisini en aza indirmek için, kaynakların etkin kullanımı önemli bir gerekliliktir. Günümüzde hassas tarımda KAA’ların kullanımı çok dikkat çeken önemli bir uygulama alanıdır. Hassas tarım, kalitesini artırmak, üretimi geliştirmek ve çevreyi korumak için doğru zamanda ve doğru yerde doğru miktarda sulama, gübreleme, pestisit, vb. gereksinimler gerekmektedir. Bu gereksinimleri sağlamak amacıyla KAA’ların sulama ve gübrenme uygulamaları geliştirilmiştir (bkz. Şekil 1.3.) [3].



Şekil 1.3. Sulama ve gübreleme yönetiminde KAA kullanımı [3]

Bu şekilde KAA yardımıyla üretim miktarı ve ürün kalitesinin artırılması sağlanarak doğaya zarar vermeden insanların ihtiyacı olan ürünlerin tedarik edilebileceği ileri sürülmektedir. Ayrıca, bu çalışmada iklim koşullarının görüntülenmesinde de KAA'ların kullanıldığından bahsedilmiştir (bkz. Şekil 1.4.)[3].



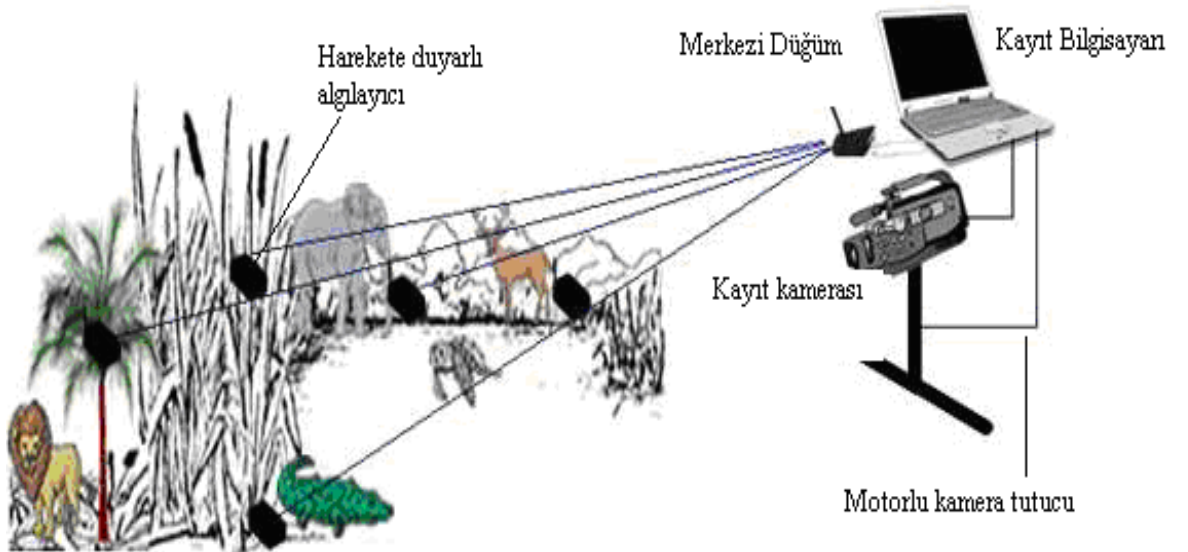
Şekil 1.4. İklim koşullarının görüntülenmesinde KAA'ların kullanılması [4]

Bir diğerk çalışmada KAA'lar sadece tarım alanında değıl ortam koşullarını görüntüleyerek insanların ve canlıların deprem, sel gibi doğal afetlerden etkilenmemesi için yapılan çalışmalarda ve hayvanları izleyerek hayvanların üremelerini artırmak ve üremelerinin dengelemek amacı ile kullanılmıştır. Ayrıca, vahşi hayatın nasıl devam ettiğini merak eden insanlar için merak duygusunu gidermek amacıyla da kullanıldığı üzerinde durulmuştur [4].

Diğerk bir çalışma ise, Y. Zhu ve ark. tarafından yapılan “Kablosuz Algılayıcı Ağlar ile Tarımsal Çevre İzleme Uygulamaları”dır. Bu çalışmada diğerk çalışmaya ek olarak KAA ile yapılan tarımsal çevre izleme uygulamalarının nasıl geliştirilmesi gerektiğı, yapılan uygulamalarda sistem mimarisinin donanımsal özelliklerinin uygun olmasının önemi, bu uygulamaların daha uzun ömürlü olması için düşük enerji tüketiminin gerektiğinden bahsedilmiştir. Ayrıca, KAA kullanılmadan tarımsal çevre izleme uygulamalarının zorluğundan ve maliyet fazlalığından bahsedilmiştir [5].

Bir başka alan ise ideal izlemedir. İdeal izlemede vahşi hayatı izleme, sınır güvenliğı kullanımında ve gereksinimlere göre daha birçok alanda kullanılmaktadır.

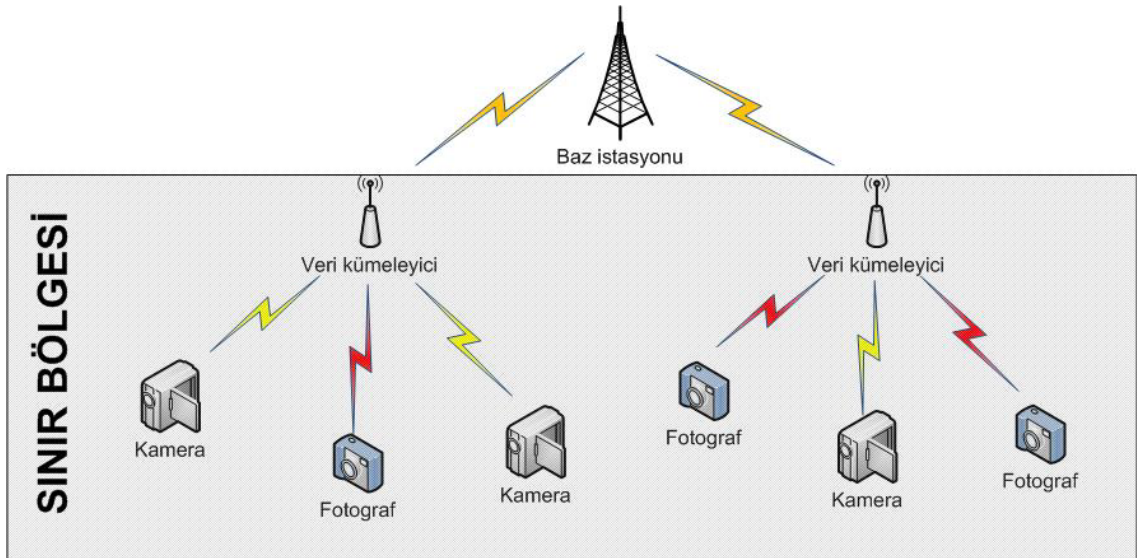
Z.Okçuoğlu ve ark. tarafından hazırlanan çalışma “Kablosuz Ağ Uygulaması: İdeal İzleme”dir [4]. Bu çalışmada, KAA'ların ideal izlemedeki öneminden bahsedilerek, KAA'lar ile “doğal (vahşi) hayatının gözlenmesi” uygulaması geliştirilmiştir (bkz. Şekil 1.5).



Şekil 1.5. KAA ideal izleme sistemi örnek uygulama senaryosu [4]

Bu uygulama sayesinde insanlara vahşi yaşamda neler olup bittiğini net bir şekilde ve

anlık olarak izleme imkânı sunuluyor ve ayrıca çalışmada KAA'ların daha birçok alanlarda kullanıldığından bahsedilmiştir. Çalışmaya göre; gelişen dünyada, gerek güvenlik ve gözlem gerekse değişik araştırmalar için "izleme", giderek önemi artan konular arasındadır. Güvenlik kameralarının kullanımı her geçen gün yaygınlaşmakta, askeri birimler gece görüş kameralarını geliştirmekte ve sınır güvenliği için KAA'lar ile uygulamalar yapmaktadır (bkz. 1.6.) istihbarat servisleri uydudan aldıkları görüntüleri kullanmakta ve hastanelerde hastalar bu yöntemle gözlem altında tutulmaktadır. Bütün bu ve benzeri izleme ihtiyaçlarının KAA'lar ile sağlanabilmesi, şüphesiz çekimleri ve elde edilen verilerin "gerekli detaylar" ile saklanmasını ve işlenmesini daha da nitelikli hale getirmektedir. Sıra dışı doğa olaylarında ya da yalnız istenen bazı durumlarda kamera ile çekim yapılması gerekliliği, KAA'ların etkin şekilde kullanımıyla çözülebilir. Bu alanda, Z.Okçuoğlu ve ark.'nın hazırladığı çalışmada KAA uygulaması ile ideal izlemeye önemli bir örnek olmuştur.



**Şekil 1.6.** Heterojen kablosuz algılayıcı ağ temelli sınır izleme sistemi [4]

Algılayıcılara dayalı izleme, günümüzde kullanılan bir yöntem olsa da sınırlı bir alanda kalmaktadır. Bu sistemde, izlemeye neden olacak algının oluşmasıyla başlayan ve bu algının ortadan kalkmasıyla duran kayıt işlemi esas alınmaktadır. Bu kayıt başlatma/durdurma sebebini oluşturabilecek algılama örnekleri şunlardır;

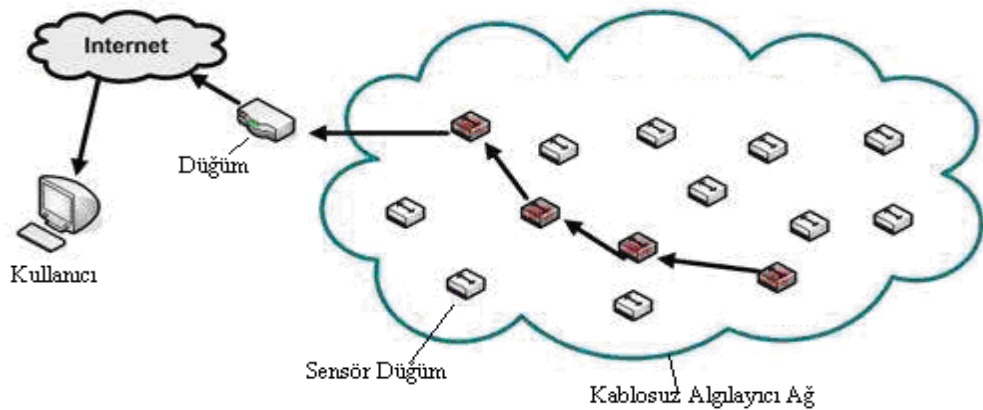
- Hareket olduğunda (izinsiz sınır geçenler, fabrikanın bahçesindeki davetsiz misafir, vahşi hayvanlar),
- Sıcaklık yükseldiğinde (orman yangınları, uzaktaki cihaz sıcaklığı, deniz suyu sıcaklıkları),



- Titreşim olduğunda (deprem ve tsunami gibi felaketler, savaşlarda tank gibi ağır cihazların hareketleri),
- Su seviyesi yükseldiğinde (baraj su seviyesi, sel felaketleri, su ya da benzeri sıvı tanklarının seviyeleri).

Bu örnekler gibi daha pek çok durum “izleme” gerekçesini oluşturabilir. Sunulan çalışmada “sıcaklık değişimi” referans alınarak KAA yazılım/donanım bileşenleri yapılandırılmıştır. Diğer bir ifadeyle, algılayıcı düğüm sıcaklık değeri belirlenen aralığın dışına çıktığında, kamera çekim/kayıt işlemi başlamaktadır ve normal seviyesine gelinceye kadar bu işlem devam etmektedir. Bu şekildeki uygulamada gerçekleştirilen maliyet-etkin yaklaşım, KAA kullanımının daha geniş alanlara yayılmasını sağlayarak daha işlevsel hale dönüşmesini mümkün kılmaktadır.

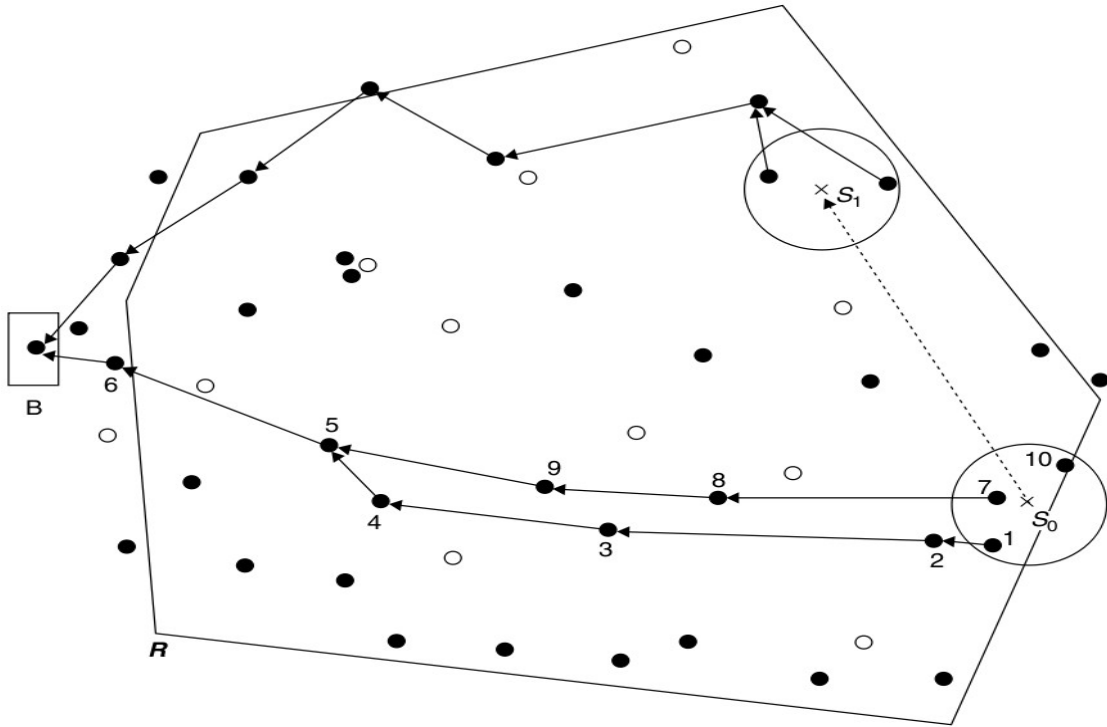
Başka bir çalışmada ise M.F. Othman ve ark. tarafından yapılan “Kablosuz Algılayıcı Ağlar ile Çevre İzleme Sistemleri”dir. Bu çalışmada M.F. Othman ve ark KAA’ların mimarisini inceleyerek (bkz. Şekil1.7.), KAA’lar kullanarak sıcaklık, nem, ışık ve basınç gibi çevre parametrelerini izleme ve kontrol etme sistemlerinin üzerinde durmuşlardır ve KAA’ların çevre izlemede çok önemini faydalar sağlayacağını vurgulamışlardır. KAA’ların kullanımın avantajları olan güvenilirlik, sağlamlık, esneklik ve özerklikten bahsetmişlerdir [7]. Ayrıca, KAA kullanılarak tarımsal alanları izleme, yaşam alanlarının gözlenmesi, kapalı ortamların gözlenmesi, seraların izlenmesi, iklimlerin izlenerek takip edilmesi ve çeşitli amaçlar için ormanların izlenmesidir.



**Şekil 1.7.** Kablosuz algılayıcı ağ mimarisini [7]

Sayılan çalışmalardan görüldüğü üzere KAA’ların uygulama alanları her geçen gün

genişlemekte dolayısıyla kullanımı da giderek artmaktadır. Kablolu klasik algılayıcı ağların yetersiz kaldığı veya uygulama alanlarının olmadığı zamanlarda, kablo kullanım zorluğunu ortadan kaldıran KAA çözümleri gerekli hatta bazı durumlarda zorunludur. KAA'ların kullanım alanlarını inceleyen T.Kalaycı, çalışmasının bir bölümünü şu şekilde tamamlamıştır; ortam kirliliklerinin belirlenmesi, uzak yerlerin gözlenmesi ve hatta müşteri davranışlarının izlenmesi, algılayıcı ağlarının uygulamaları arasında sayılabilir. Bu işlemler yapılırken tabii ki okunan verilerin toplanması (bkz. Şekil 1.8.) ve işlenmesi gerekmektedir [8]. Araştırmacılar algılayıcı ağ teknolojilerini, geleneksel kablosuz ağlarla çözülmesi zor olan problemlere uyarlamaya çalışmaktadır. Bu sayede maliyet, esneklik ve kurulum kolaylığı gibi birçok avantaj sağlamışlardır.



**Şekil 1.8.** Veri toplayan bir KAA [8]

Kablosuz algılayıcı ağlar ile ilgili daha birçok geliştirilen uygulama sunulabilir. Önemli olan uygulama geliştirilirken dikkat edilmesi gereken en önemli husus, sistemin kablosuz olması ve tam bir ağ yapısı içermesidir. Kablolu ağlardan üstünlük olarak, ağ özelliği, doğruluk, güvenilirlik, esneklik, maliyet verimliliği ve kurulum kolaylığı, KAA'lara etkileşime dayalı bilgi akışına yönelik önemli işlevler kazandırmaktadır. Dolayısıyla, önerilecek ve gerçekleştirilecek KAA uygulamalarında bu özelliklerin tamamı göz önüne alınmalıdır.

Bu tez çalışması kapsamında kablosuz algılayıcı ağlar kullanılarak hava kirliliği ölçüm

sisteminin geliştirilmesi ve uygulanması yapılmıştır. Tezin ikinci bölümünde, KAA'lar ile ilgili genel bilgiler verilerek, KAA'ların yapısı, mimarisi, kullanım alanları, avantajları, yaşam süresi ve güvenliği açıklanmıştır. Akabinde ise havanın kirliliğini ölçmek için kullanılan algılayıcılar ve gerekli olan ekipmanlar hakkında teknik ve genel bilgi verilmiştir. Daha sonra programlanan algılayıcılar önceden planlanan beş farklı yere yerleştirilerek hem veri alınması hem de alınan veriyi istenen merkeze iletmeleri sağlanmıştır (alınan veri havadaki metan ( $\text{CH}_4$ ), karbonmonoksit ( $\text{CO}$ ), izobutan ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), etanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) ve hidrojen ( $\text{H}_2$ ) gazlarını yoğunluğudur). Alınan bu gaz yoğunluğu değeri ile havanın kirliliği hesaplanmıştır. Havanın kalitesini hesaplamak için gaz algılayıcılarının denklemleri oluşturulmuş ve doğruluğu saptanmıştır. Windows işletim sisteminin bileşeni olan HyperTerminal aracılığı ile alınan veriler depolanmıştır. HyperTerminal'de depolanan veriler MySql'e aktararak, PHP web programlama dili yardımı ile bir arayüz oluşturulmuştur. Bu sayede yapıla uygulama görselleştirilerek, arayüzde sağlanan harita ile hava kirlilik dereceleri gösterilmiştir.

## 2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR İLE HAVA KİRLİLİĞİ ÖLÇÜMÜ

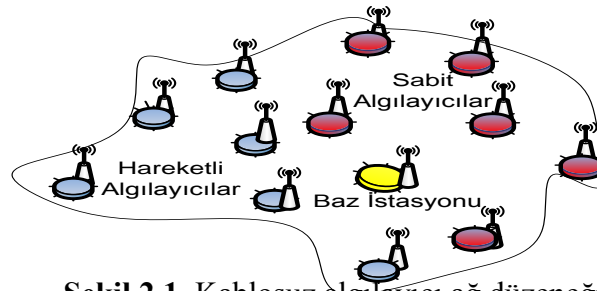
Bu bölümde, kablosuz algılayıcı ağ'ların (KAA) yapısı, mimarisi, tasarım kısıtları, faydaları, kullanım alanları, yaşam süresi ve güvenliği ile ilgili araştırmalar yapılarak bilgiler sunulmuştur, ayrıca kullandığımız algılayıcılar ve ekipmanlar hakkında bilgi verilerek KAA'lar ile hava kirliliği ölçüm sistemi geliştirilmiş ve uygulanmıştır.

### 2.1. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN YAPISI

Kablosuz iletişim ve elektronikteki ilerlemeler ucuz, az enerji harcayan ve fonksiyonel kablosuz algılayıcı düğümlerinin üretilmesini sağlamıştır. Algılayıcı düğümler veri toplama, veri işleme ve haberleşme gibi görevleri yerine getirmektedirler ve bunun sayesinde fiziksel bir takip edilmesini mümkün kılmaktadırlar. Algılayıcı düğümler sayesinde belirli bir alandaki sıcaklık, basınç, nem, hareket gibi veriler toplanmaktadır. Farklı ortam ve alanlara dağılan ve fiziksel olayları gözlemleyen birçok algılayıcı düğümü ise kablosuz algılayıcı ağlar kavramını oluşturmaktadır [1].

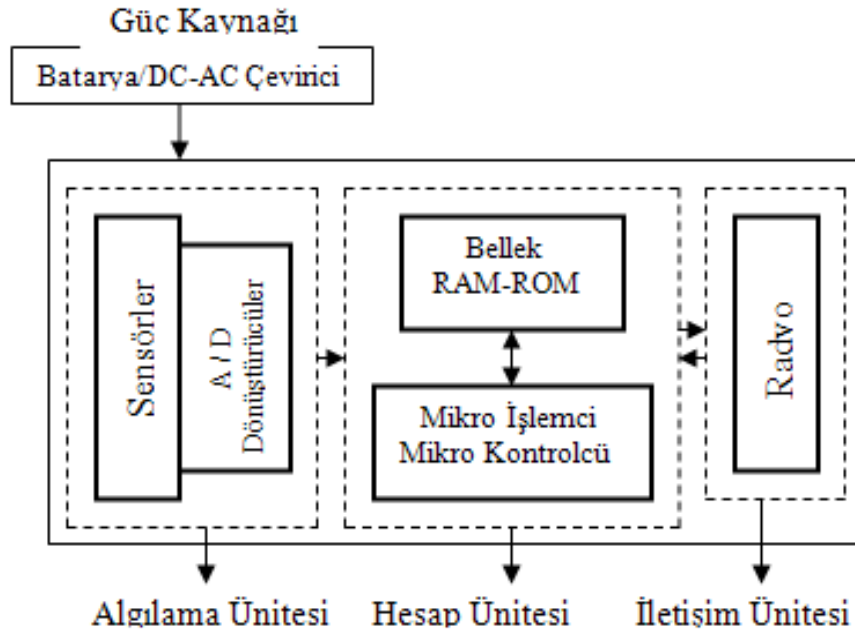
Kablosuz algılayıcı ağlar, düşük güç tüketen elektronik cihazlar ve kısa mesafe haberleşme sağlayan radyolar, akıllı algılayıcıların geliştirilmesi, KAA'ların yayılmasını olası kılan en önemli teknolojik etkenlerdir [8].

Kablosuz algılayıcı ağlar kullanıldıkları sisteme göre ortama rastgele saçılmış halde bulunurlar. Kendi aralarında kablosuz iletişim kurabilirler. KAA'lar bünyesinde farklı tür ve özelliklerde algılayıcılar barındırabilirler (bkz. Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Kablosuz algılayıcı ağ düzeni [8]

Kablosuz algılayıcı ağ'lardaki algılayıcı düğümleri algılayıcı birimi (algılama ünitesi), radyo alıcı ve vericisi (iletişim birimi), işlem birimi (hesap ünitesi) ve güç kaynağı olmak üzere dört temel birimden oluşmaktadır (bkz. Şekil 2.2.) [1].



**Şekil 2.2.** Kablosuz algılayıcı düğüm yapısı [1]

Kısa bir şekilde bir KAA bileşenlerinin işlevlerini, katkılarını ve mimari yapısını inceleyecek olursak;

### 2.1.1. Algılayıcı Birimi (Algılama Ünitesi)

Algılayıcı ağ düğümlerinin amacı, hesaplama, analiz ya da haberleşme değildir, algılamaktır. Algılayıcı olarak kullanılan düğümlerin ilerlemesindeki en büyük engellerden birisi, algılama bileşeninin yarı iletkenlerdeki hızlı ilerlemeyle paralellik sağlayamaması aynı hızla ilerleme kaydedememesidir. Kavramsal sınırlamalar algılayıcılar için işlemci ya da depolama ünitelerinden daha belirgin bir öneme sahiptir.

### 2.1.2. Radyo Alıcı ve Vericisi (İletişim Ünitesi)

Kısa mesafe radyolarının iletişim bileşeni olarak kullanımını son derece önemlidir çünkü enerji sarfiyatında mesaj alma verme – alıcı/verici işlemleri toplam sarfiyat üstünde en etkin kalemlerin başında gelir. Radyonun tasarım ve seçim aşamasında en az 3 farklı katman dikkate alınmalıdır; Fiziki, MAC ve Network. Fiziki katman diğer alıcı/verici ya da alıcılarla fiziki bağlantıyı kurmakla yükümlüdür. Bu seviyedeki ana görevler; sinyal kipleme (modülasyon) ve verinin şifrelenerek iletişimin, kanal gürültüsü ve sinyal karışmasından korunmasıdır. Band genişliğini etkin bir biçimde kullanmak ve geliştirme maliyetini azaltmak için yapılması gereken standart uygulama; birden çok radyonun aynı ortamı (birbirine bağlı) paylaşmasıdır. Ortamın paylaşımı (zaman veya frekans)

MAC katmanı tarafından kolaylaştırılmıştır. Son olarak Network katmanı bir mesajın kaynaktan hedefe transfer edilebilmesi için izlemesi gereken yolun tespitinden sorumludur.

### **2.1.3. İşlem Birimi (Hesap Ünitesi)**

İşlem birimi düşük enerji seviyelerinde paralelliği sağlayarak, ayarlanabilen bus'ı sayesinde, bellek haritası çıkarılmış uyduları ayarlayabilir, bununla birlikte iki çift I/O portunu kullanıp, uydunun yardımcı işlemcisiyle veri iletimini direkt bellek okuma/yazma işlemlerini uygulayıp sağlar.

### **2.1.4. Güç Kaynağı**

Kablosuz algılayıcı ağların gelişimindeki en büyük kısıtlamanın enerji olduğu bilinmektedir. Enerji kaynağı olarak iki kavram şu anda mevcut durumdadır;

- Algılayıcı düğümünü enerji kaynağı (şarj edilebilir) ile donatmak. Bu şekilde kullanım için iki seçenek mevcut:

- a) Yüksek yoğunluklu batarya hücreleri ile donatım
- b) Dolu batarya kullanımı.

Dolu batarya daha temiz ve yüksek yoğunluklu bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Ancak KAA'lar da kullanılacak fiziksel yapıya sahip değildir.

- Doğal kaynaklardan enerji üretimi; güneş enerjisi ile dolan hücreler yaygın olarak saat, hesap makinesi gibi cihazlarda kullanılmaktadır. Bunun yanında titreşimi enerjiye çeviren kaynaklarda kullanılabilir. Ortamın sıcaklığını enerji kaynağı olarak kullanabilen güç kaynakları üretilmiştir.

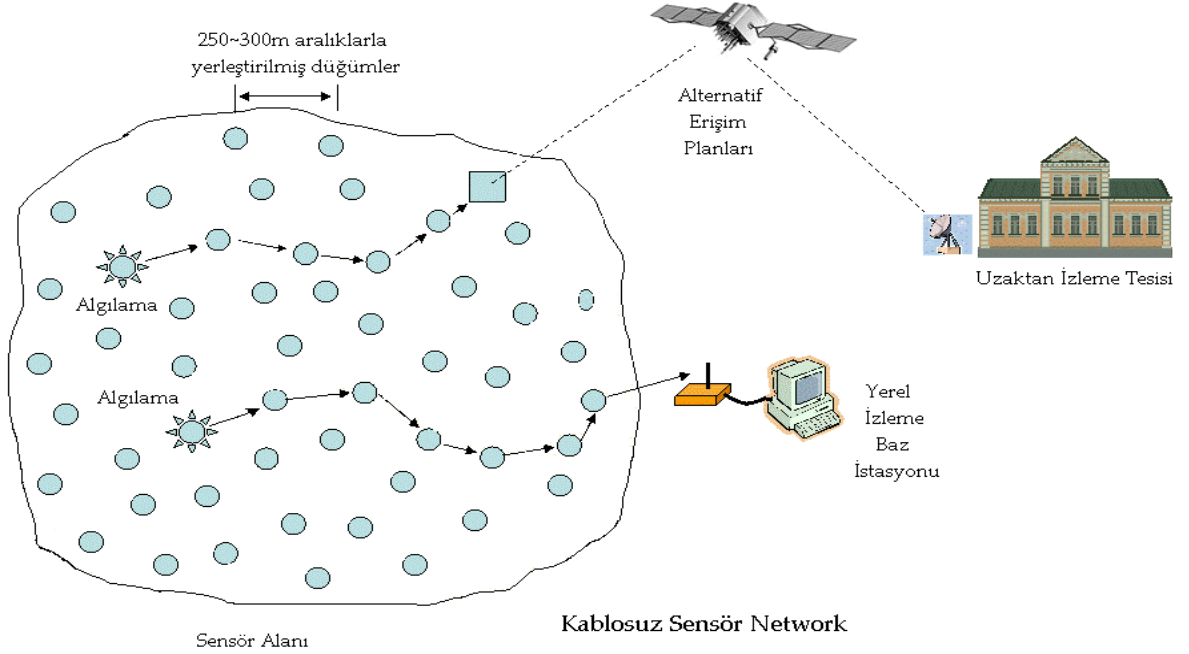
## **2.2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN MİMARİSİ**

Kablosuz algılayıcı ağlar temel elemanları algılama, veri işleme ve haberleşme özelliğine sahip algılayıcı düğümlerdir. Bilindiği gibi algılayıcı düğümler, herhangi bir kablo olmaksızın, izleyecekleri veya veri toplayacakları ortama rastgele saçılmış halde bulunurlar (bkz. Şekil 2.3.). İzlemenin veya veri toplamanın yapıldığı ortamdan alınan veri genelde üç seviyede işlenilir.

1. İzlenilecek veya veri toplanılacak ortamdaki olaylar, algılayıcı düğümler tarafından algılanır. Her bir algılayıcı düğüm elde ettiği veriyi ayrı ayrı işlemektedir.

2. İkinci seviye de her düğüm algılayıp, işledikleri veriyi komşularına yollamaktadır.
3. Algılayıcı ağ haberleşmesinde ki en üst katman, işlenmiş verinin baz (base) olarak adlandırılan merkeze yollanmasıdır.

Baza gönderilen veri eğer başka kıstaslar eşliğinde tekrar analiz edilecekse ya da başka amaçlar için kullanılacaksa bu işlemlerin yapılacağı sistemlere yada merkezlere iletimi sağlanır.



Şekil 2.3. Kablosuz algılayıcı ağ mimarisi [8]

## 2.3. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN TASARIM KİSTASLARI

Kablosuz algılayıcı ağların tasarımlarını oluşturulurken bir takım faktörler etkilidir. Bunlar; hata toleransı, ölçeklenebilirlik, çevre kısıtları, ağ topolojisi, haberleşme ortamı ve güç tüketimidir. Bu faktörleri kısaca inceleyecek olursak;

### 2.3.1. Hata Toleransı

Hata toleransı, kurulan ağda herhangi bir yerdeki algılayıcı düğümünün arızalanması veya başka bir sebepten dolayı devre dışı kalması halinde bile ağın faaliyetinin devam etmesidir.

### 2.3.2. Ölçeklenebilirlik

Kablosuz algılayıcı ağlar kullanıldığı alan ve uygulamanın içeriğine göre birçok

düğümünden oluşabileceği için KAA'ların oluşturulan yapısı ölçülenebilir olmalıdır.

### 2.3.3. Üretim Maliyeti

Kablosuz algılayıcı ağlar da algılayıcı düğümlerinin birim maliyeti ağın toplam maliyetini kabul edebilir düzeyde tutmalıdır. Mikrosensör düğümlerinin toplam maliyetleri aynı işlevi yapan makrosensörlerin maliyetlerini geçmeyecek şekilde ağ tasarımı yapılmalıdır. Bu şekilde ürün maliyeti kontrol altına alınacaktır.

### 2.3.4. Donanım Kısıtları

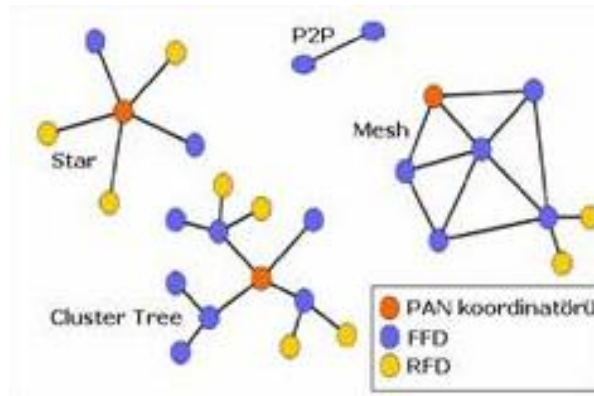
Kablosuz algılayıcı ağların donanımları hava şartlarına karşı her türlü alana adapte olabilen, zor şartlarda çalışabilen ve düşük maliyetli olmalıdır.

### 2.3.5. Çevre Kısıtları

Kablosuz algılayıcı ağlar kullanılacakları uygulamalara göre her türlü ortam da bulunacakları için bakım gerektirmeden ilk günkü programlandığı gibi çalışabilecek bir yapıya sahip olması gerekir.

### 2.3.6. Ağ Topolojisi

Kablosuz algılayıcı ağlar kullanılacağı uygulamanın kaplayacağı alana göre yüzlerce veya binlerce algılayıcıdan oluşabilir. Bu algılayıcılardan herhangi birinin arızalanması veya oluşabilecek herhangi bir değişiklik söz konusu olduğunda sistemde aksama olmaması göz önüne alınarak ağ topolojisinin tasarlanması gerekir. Şekil 2.4. de topolojilere örnek verilmiştir.



Şekil 2.4. Topolojiler [8]

### 2.3.7. Güç Tüketimi

Kablosuz algılayıcı ağların en önemli sorunlarından biride güç kaynağıdır. Daha önce



belirttiğimiz gibi KAA'ların donanımları hava şartlarına karşı her türlü alana adapte olabilen, zor şartlarda çalışabilen sistemlerdir. KAA'ların güç sorununun çözümlerinden biri KAA'ların uygun alanlara yerleştirilerek güneş panelleri kullanmaktır (bkz. Şekil 2.5.). Bu sayede güç kaynakları yenilenecektir. Aksi halde, KAA'lar güç kaynaklarını en verimli şekilde kullanılmalıdır ve güç tüketimi en iyi şekilde ayarlanmalıdır. Bu çalışmada kullanılan AD'ler güneş panelleri ile güçlerini üretmektedir.



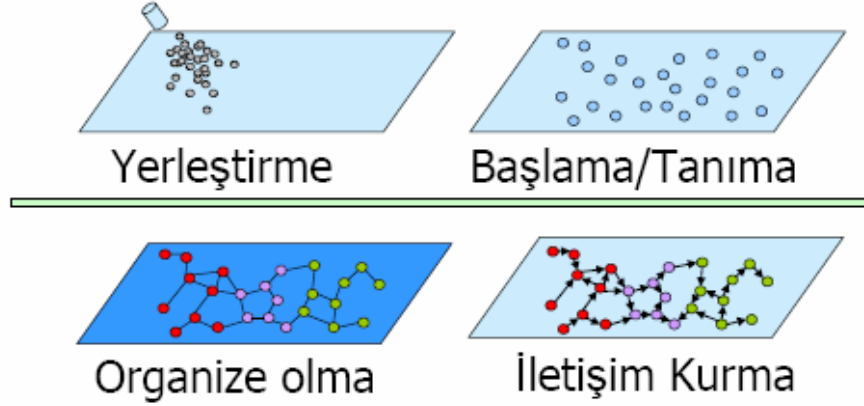
**Şekil 2.5.** KAA'ların Güneş Paneli [15]

Kablosuz algılayıcı ağların sahip oldukları özelliklere bakarsak KAA uygulamalarında kablosuz gezgin tasarısız ağ (GTA) tekniklerinin kullanıldığını görürüz, fakat kablosuz tasarısız gezgin ağlar için önerilmiş birçok teknik KAA'ların kendisine has özellikleri yüzünden kullanılmamaktadır. KAA'lar ve tasarısız gezgin ağlar arasında temel farklılıklar ise şöyle sıralanabilir:

- Kablosuz algılayıcı ağlarda algılayıcı düğümü sayısı tasarısız gezgin ağlardaki düğüm sayısından defalarca fazla olabilir.
- Algılayıcı düğümleri yoğun bir biçimde yerleştirilmiştir.
- Algılayıcı düğümleri hataya yatkındırlar.
- Algılayıcı ağının topolojisi sık değişmektedir.
- Algılayıcı düğümleri kısıtlı güç kaynaklarına, kısıtlı bellek ve işlem kapasitesine sahiptir.
- Tasarısız gezgin ağlar noktadan noktaya haberleşme yöntemi kullanırken algılayıcı düğümleri tüme gönderim haberleşme sistemi kullanırlar [9].

## 2.4. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN AVANTAJLARI

Kablosuz algılayıcı ağlar farklı alanlarda ve değişik koşullarda çalışabilir ve kendi ağlarını organize edebilirler. KAA düğümleri iş birliği içinde çalışırlar, bir birleri ile haberdardırlar ve her düğüm işlemsel kapasiteye sahiptir (bkz. Şekil 2.6.).



Şekil 2.6. Kablosuz algılayıcı ağ düğümleri [9]

Kablosuz algılayıcı ağlar'ın sağladığı birçok yararlar ve kolaylıklar vardır. Bunlardan bazıları;

- Geniş bir alana dağıtılmış olan KAA kendi aralarında organize olma özelliği sayesinde düğümle oluşturarak yayıldıkları tüm alanı kapsarlar.
- Kablosuz algılayıcı ağlar da kablo kullanılmadığı ve enerji alt yapısı gerektirmediği için kolay kurulum, bakım ve düşük maliyete sahiptirler.
- Kablosuz algılayıcı ağlar çevresel faktörlerden çok fazla etkilenmezler ve insanların ulaşamadıkları veya yaşam tehlikesi olan alanlara bırakabilir bu sebepten her zaman her yerde kullanılabilirler.
- Kablosuz algılayıcı ağlar'ın kullanım amacı fiziksel bir olayı takip etmek, veriyi toplamak ve gereken yere iletmektir. Dolayısıyla herhangi bir KAA defalarca programlanarak farklı uygulamalarda kullanılabilirler.
- Kablolü sistemlerde hata oluştuğu takdirde bulunduğu alandaki görevi olumsuz bir şekilde etkilerken, KAA'da bir algılayıcıda oluşan hata herhangi bir tanesini etkilemeyeceği için o alanda ve sistemde herhangi bir sorun olmayacaktır.
- Kablosuz algılayıcı ağlar kullanıldığı alana çok yoğun bir şekilde yerleştirildiği için aynı veriyi toplayan ve ileten birden başka algılayıcı bulunmaktadır. Bu algılayıcıların ilettikleri veriler birbiri ile ilişkili olacağından sistemin herhangi

bir bölgesinde oluşacak hatayı düzeltmesi kablolu sisteme göre çok daha kolay olacaktır.

Daha geniş bir şekilde inceleyecek olursak;

#### **2.4.1. Kullanım Kolaylığı**

Kablosuz algılayıcı ağların en büyük avantajlarında biri kurulumunun kolay bir şekilde olmasıdır. Mevcut makrosensör düğümlerinin kapsamı, maliyet kıstasları ve kurulum (plana göre yerleşim yapılan kurulum) sebepleriyle belirli fiziksel alanlarda dar olarak sınırlıdır.

Buna zıt bir şekilde KAA'nın insan bakımına gereksinim duymayan fiziksel olarak ayrılmış pek çok düğüm içerebilir. Düğüm bazında bakıldığında tek bir düğümün kapsamı küçük de olsa, yoğun olarak dağıtılmış düğümler eş zamanlı ve iş birliği prensipleriyle çalışabilir, böylece tüm ağın kapsamı genişletilmiş olur. Ayrıca algılayıcı düğümleri yaşam tehlikesinin olduğu alanlara bırakılabilir ve dört mevsim işlem yapabilir, bu yüzden bu düğümler algılama görevlerini her an ve her ortamda yürütebilirler [10].

#### **2.4.2. Hataya Karşı Toleransı**

Bu kazanım kablosuz algılayıcı düğümlerinin yoğun biçimde yerleştirilmesi sonucu sağlanmıştır. Aynı alan içerisinde komşu düğümlerden birbiriyle ilişkili veri alınması sonucunda sistemin hatayı tolere etme şansı, tek başına bulunan bir makrosensöre kıyasla çok daha büyüktür. Eğer bir makrosensör düğümü hata verir ya da işlemi durur ise; sistem, fonksiyonunu algılayıcının bulunduğu alanda tamamen yitirir [10].

Bu durumun tam tersi olarak KAA da eğer mikrosensör düğümlerinin küçük bir kısmı hata verirse, KAA kabul edilebilir derecede bilgi üretmeye devam edebilir, çünkü çıkarılan veri gereğinden fazladır. Bundan başka alternatif haberleşme yolları (route), herhangi bir yönlendirme hatası olduğu takdirde kullanılabilir.

Kablosuz bir sitemde eğer herhangi bir sebepten algılayıcılardan biri görevini yerine getiremiyorsa bu durumu çözmek kablolu sistemden daha kolay olacaktır. Kablolu sistemde oluşan bu sorun çok ciddi uğraşlarla sonuçlanabilir ve hatta sistemin tamamen çalışmamasına sebep olabilir.

#### **2.4.3. Geliştirilmiş Doğruluk Oranı**

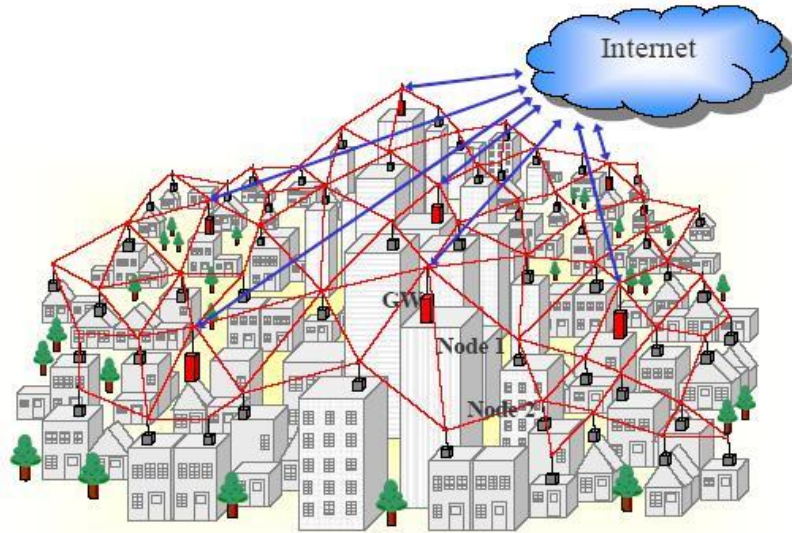
Tek başına bir makrosensör düğümü tek bir mikrosensör düğümünden daha doğru bir ölçüm yapsa bile, çok sayıda mikro düğümün topladığı verinin tek parça haline getirilmesi ile oluşan veri gerçekten dünyanın gerçekliğinden daha fazlasını yansıtabilir. Buna ek olarak; bu veri, uygun algoritmalar eşliğinde işlenir ve ilişkilendirilir ve/veya kümelenirse genel sinyal geliştirilebilir ve ilişkisiz parazit bir kısmı temizlenerek daha doğru sonuç elde edilir[10].

#### 2.4.4. Düşük Maliyeti

Kablosuz algılayıcı ağların en büyük avantajlarında biri düşük maliyettir. KAA'nın makrosensörlü sistemdeki eşlerinden (karşıtlarından) daha düşük maliyetli olması beklenmektedir, bu beklentinin sebepleri; küçültülmüş boyutları, düşük fiyatları ve bunlarla birlikte yerleşim/kurulum aşamasının kolaylığı ve kullanım alanlarının genişliği olarak gösterilebilir [10].

### 2.5. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN KULLANIM ALANLARI

Kablosuz algılayıcı ağlar büyük kampüs ve metropollerde kablosuz ağ erişimini her noktaya ulaştırmak için kullanılır (bkz. Şekil 2.7.).



Şekil 2.7. Kablosuz algılayıcı ağların erişime bir örnek [7]

Kablosuz algılayıcı ağlar;

- Sıcaklık,
- Nem,
- Işık,

- Basınç,
- Nesne hareketleri,
- Toprak bileşimi,
- Gürültü seviyesi,
- Bir nesnenin mevcudiyeti,
- Belirli bir nesnenin; ağırlık, boyut, hareket hızı, yönü ve son konumu gibi fiziksel durumları izleyebilirler (bkz. Şekil 2.7.).

Kablosuz algılayıcı ağların güvenilirlik, kendini organize etme, esneklik ve kurulum kolaylıkları sebebiyle mevcut ve olası uygulamaları geniş bir çeşitlilik kazanmaktadır. Aynı zamanda neredeyse tüm çevre ortamlarında uygulanabilirler, özellikle mevcut kablolu ağların çalışmasının imkânsız olduğu ya da kullanılamayacağı durumlarda kullanılabilirler, örnek olarak; savaş alanları, atmosferin dışı, derin okyanuslar ve benzeri ortamlarda kullanılması gereken uygulamalar. KAA aynı zamanda kurulum kolaylığı sağlarlar. Kablosuz algılayıcı ağlar için bazı uygulamaları incelersek;

#### **2.5.1. Askeri Uygulamalar**

Kablosuz algılayıcı ağlar askeri alanda komuta, kontrol, iletişim, hesaplama, istihbarat, nezaret, keşif ve hedef tespit (C4ISRT) sistemlerinin ayrılmaz bir parçası olmaya başlamıştır [10].

#### **2.5.2. Çevre Algılaması ve İzleme**

Belirli bir coğrafi alana yayılan yüzlerce ya da binlerce, ufak, ucuz ve kendini ayarlayabilir kablosuz algılayıcılar çevre izleme ya da çevre kontrolü işlemlerinde geniş yelpazeli uygulamalarda kullanılabilir [10].

#### **2.5.3. Felaketten Korunma ve Kurtarma**

Kablosuz algılayıcı ağlar belki de acil durumlarda ya da felaket durumlarında yerleştirildikleri afet alanlarında etkili olabileceklerdir. Dağıtılmış KAA aracılığı ile yapılan doğru ve zamanında yer tespiti, kurtarma operasyonlarında hayati önem taşır, yer tespitinin yanında ölü sayısı, potansiyel tehlikeler ya da acil durumun kaynağı, kimlik tespit işlemleri ve kurtarılmayı bekleyen insanların tespiti de çok önemli verilerdir [10].

#### **2.5.4. Tıbbi Hizmetler**

Kablosuz algılayıcı ağlar çeşitli geliştirilen uygulamalarla birlikte zamanında ve etkin sağlık hizmetlerinin sağlanması ile insanlık için daha sağlıklı bir çevrenin oluşturulmasında oldukça yardımcıdır [10].

### **2.5.5. Akıllı Ev**

Kablosuz Algılayıcı Ağlar tüm insanlık için daha rahat ve akıllı yaşam alanlarının oluşturulmasında rol alabilir. Bu tür uygulamalara örnek verirsek;

#### *2.5.5.1. Uzaktan ölçüm*

Kablosuz Algılayıcı Ağlar gaz, elektrik, oda sıcaklığı gibi verileri kablosuz ağ aracılığı ile istenen noktaya iletebilir. Ya da parkmetrenin süresinin dolmak üzere olduğunu araç sahibine iletebilir [10].

### **2.5.6. Akıllı Alanlar**

Son zamanlarda teknolojideki gelişmeler sonrasında, çeşitli kablosuz algılayıcıların kişisel mobilya ya da araçlara iliştilmesi mümkün kılınmıştır, bu sayede otonom bir ağ oluşturulabilir. Örnek olarak, akıllı bir buzdolabı ailenin doktordan alınan diyet programına göre buzdolabının envanterini tutup, alışveriş listesini tutan kişisel dijital asistana alınacaklar listesini gönderebilir [10].

### **2.5.7. Bilimsel Araştırmalar**

Etkin bir şekilde yerleştirilmiş ve otomatik işlem yapabilen KAA bilimsel araştırmaların daha yüksek, ileri ve derin ortamlara (uzayın ve okyanusun derinlikleri gibi) açılan yeni kapısıdır [10].

### **2.5.8. Etkileşimli Çevreleme**

Kablosuz algılayıcı ağlar mayın bilgisini toplama konusunda ümit vaat eden mekanizmalar üretmişlerdir. Ucuz ve ufak kablosuz algılayıcıların yayılması ile küçük yaştaki çocukların eğitimi güçlendirmek için “akıllı anaokulları” tasarlanabilir, çocukları izleme ve aktivitelerini yönlendirme işlemleri için KAA uygulamaları kullanılabilir [10].

### **2.5.9. Nezaret Gözetim Uygulaması**

Anlık ve uzaktan gözetim KAA’lardan esinlenerek geliştirilen önemli uygulamalardan biridir. Örnek olarak; çok sayıda akustik ağ algılayıcıları ile belirlenen hedeflerin tespiti

ve takibi belirli güvenlik kriterlerinin uygulandığı alanlarda kullanılabilir. KAA bu gibi amaçlarla binalara, yerleşim alanlarına, hava alanlarına, tren istasyonlarına ve bunlar gibi alanlara yerleştirilerek ziyaretçilerin tanınması ve anlık olarak ana komuta merkezine iletilmesi gibi görevleri yerine getirebilir. Benzer şekilde duman algılayıcıları evlere, otel odalarına, okullara yerleştirilerek olası kaza, yangın, doğal afetler ve felaketlerin fark edilerek en hızlı biçimde gerekli müdahalenin yapılmasını mümkün kılarlar [10].

## **2.6. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR YAŞAM SÜRESİ**

Kablosuz algılayıcı ağlar'ın gelişmesindeki en büyük kısıtlama enerjidir. KAA'nın temel görevleri olan veri toplama, veri işleme ve veri iletme işlemlerini en az enerji harcayarak yapması gerekmektedir ki KAA'nın ömrü o kadar uzun olsun. KAA'ları tasarlarırken yüksek enerji kullanımı azaltmak gerekmektedir.

Kablosuz algılayıcı ağlarda algılayıcı düğümünün enerji kullanımının büyük bir kısmı veri gönderimi ve alımı sırasında olmaktadır. Örneğin, skalar algılayıcı düğümleri (ısı ve titreşim gibi skalar veri toplayan düğümler) olan Telos, MicaZ algılayıcı düğümlerinde haberleşme için harcanan enerji toplam enerji kullanımının sırası ile %90'i ve %62'sidir [11].

Haberleşme için harcanan enerjinin optimize edilmesi ağ ömrünün belirgin şekilde uzatacaktır. Çokluortamlı KAA'da ise skalar algılayıcı ağların aksine enerjinin büyük bir kısmı veri işleme sırasında harcanmaktadır. Örneğin, MicrelEye [12] algılayıcı düğümünde haberleşme enerjisi toplam harcanan enerjinin %22'si kadardır. Skalar ve çokluortamlı algılayıcı düğümlerinde benzer radyolar kullanılırken (250 Kbps IEEE 802.15.4 uyumlu CC2420), skalar algılayıcı düğümlerinde 8 bitlik çokluortam algılayıcı düğümlerinde ise 32 bitlik işlemciler yer almaktadır.

Kablosuz algılayıcı ağlar, algılayıcı düğümlerin topladıkları veriyi bir baz istasyonuna göndermeleri ve gelen verileri de almaları şeklinde çalışır. Burada iki algoritma çeşidiyle karşılaşılmaktadır. Bunlar;

1. En az yaşam süresini en iyilemek,
2. Toplam enerji harcanışını en aza indirmek [13].

Kablosuz algılayıcı ağların farklı ortam koşullar altında, algılayıcıların güç kaynakları yenilenmeden uzun süre çalışması beklenmektedir. Yüzlerce veya binlerce düğümden oluşabilecek KAA'larda bu yüzden yaşam süresinin en uygun şekilde ayarlanması gerekmektedir. Ağ içindeki trafiğin dengeli bir şekilde yönlendirilmesi algılayıcıların enerjilerini uzun süre kullanabilmesi için önemli bir etkidir. [14].

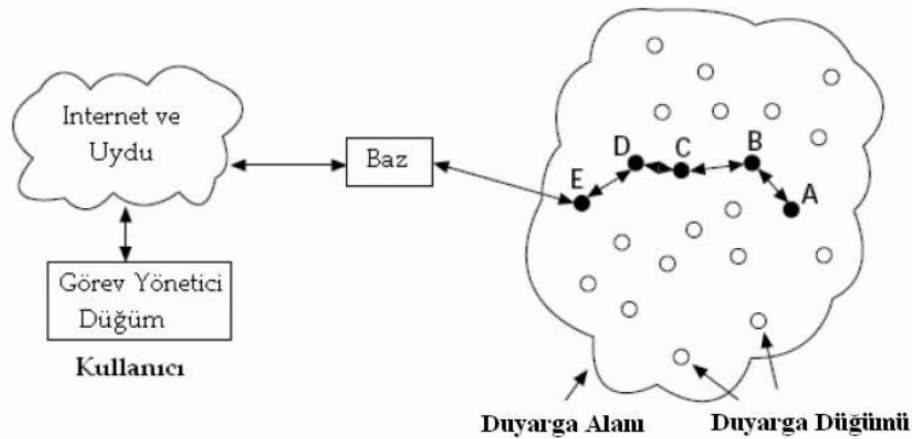
Algılayıcı düğümü enerji kaynağı (şarj edilebilir) ile donatmak gerekmektedir. Bu şekilde kullanım için iki seçenek mevcut:

1. Yüksek yoğunluklu batarya hücreleri ile donatım,
2. Dolu batarya kullanımı, dolu batarya daha temiz ve yüksek yoğunluklu bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Ancak algılayıcı ağ düğümlerinde kullanılacak fiziksel yapıya sahip değiller [15].

## 2.7. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR'DA GÜVENLİK

Kablosuz algılayıcı ağlar birçok vericiye sahiptir, bu vericiler kısa mesafeli, düşük güçlü ve düşük maliyetlidir. Kullanılan uygulamaya göre çoğu zaman kolayca erişilemeyen ve güvenilir olmayan bir ortama rastgele dağıtılırlar.

Sadece yaygın kullanım alanına sahip olmaları değil, özellikle de kritik uygulamalarda tercih edilmeleri sebebiyle KAA'da veri güvenliği ve gizliliği çok önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu cihazlar çok fonksiyonel olmalarına rağmen açık bir haberleşme yapısına sahiptirler (Bkz Şekil 2.8.) ve bu özelliklerinden ötürü bilinen güvenlik mekanizmaları, gizlilik, bütünlük, erişebilirlik vb. KAA'da veri güvenliğini yeterince sağlayamadıkları saptanmıştır [16–17].





## Şekil 2.8. Kablosuz algılayıcı ağ haberleşme yapısı [16]

Güvenlik ve gizlilik tüm uygulamalarda olduğu gibi KAA uygulamalarında da çok önemlidir.

Bu uygulamalardan bazıları; savaş alanlarında kullanılan hedef izleme ve takip sistemleri, kanun yaptırımı uygulamaları, otomotiv telemetrik uygulamaları, işyerlerinde odaların izlenmesi, benzin istasyonlarında sıcaklık ve basınç ölçümleri ve orman yangın tespit sistemleridir [18].

Tüm bu uygulamalar çok sayıda yarara sahiptir ve geliştirilme potansiyelleri yüksektir; ancak, algılayıcı bilgisi düzgün bir şekilde korunmaz ise, bilginin yanlış sonuçlara yol açacak şekilde tahrip edilmesi olasıdır.

Kablosuz algılayıcı ağ uygulamaları çok çeşitli fiziksel ortamlarda ve kısıtlamalar altında çalışmaktadır. KAA düğümünün etkin bir şekilde kullanılması için her uygulamaya farklı uyarlamalar ve tasarımlar gerekecektir. Çünkü güvenlik ve gizliliğin sağlanması önemli ölçüde hesaplama ve depolama kaynağının kullanılmasını gerektirir. Güvenliği sağlamak için gerekli mekanizmalar, hedef uygulamanın mimari yapısına ve içinde bulunduğu fiziksel çevreye uygun hale getirilmelidir.

Düşman hatlarının gözetlenmesi ya da sınır bölgelerinin gözetlenmesi gibi hassas KAA uygulamalarında, algılayıcılardan baz istasyonuna gizli veri aktarımını sağlayan güvenlik protokolleri mutlaka kullanılmalıdır. Ancak, algılayıcıların düşük işlemci ve radyo kapasiteleri geleneksel güvenlik protokollerinin KAA'larda uygulanmasına olanak tanımaz [19]. Dahası, algılayıcıların fiziksel güvenlikleri sağlanamadığından, algılayıcılar her an kötü niyetli kişilerce ele geçirilip, yeniden programlanabilir. Bu tip algılayıcılar “ele geçirilmiş algılayıcılar” (compromised nodes) olarak tanımlanır ve ağdaki diğer algılayıcılar genelde ele geçirilmiş algılayıcıları fark edemez [16].

Kablosuz ağlar için önerilen birçok güvenlik önerisi KAA'lara da uygulanabilir, ancak, kendine has özellikleri ile KAA'lar yeni güvenlik mekanizmalarının oluşturulmasını gerektirmektedir. Tablo 2.1. de KAA'lar ve geleneksel ad-hoc ağlar arasındaki farklardan kısaca bahsedilmiştir.

Kablosuz algılayıcı ağlar da kullanılacak olan güvenlik protokolleri bu ağların kendilerine has özellikleri ve “ele geçirilmiş algılayıcılar” göz önüne alınarak tasarlanmış olmalıdır.

	<b>AHA</b>	<b>KAA</b>
Açık anahtar altyapısı	Kullanılır	Kullanılmaz
Gizli anahtar altyapısı	Kullanılır	Kullanılır
Hareketlilik (Mobility)	Çoğunlukla	Bazen
İşbirlik ( Collaboration)	Az	Çok
Haberleşme topolojisi	One-to-one	Many-to-one One-to-many
Kaynak	Normal	Çok sınırlı

**Tablo 2.1.** Geleneksel Ad-Hoc Ağlar (AHA) ve Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA) arasındaki farklar

### 2.7.1. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Güvenlik Atakları

Kablosuz algılayıcı ağlarda ağ güvenliğine karşı saldırıları iki grupta sınıflandırabiliriz, bunlar;

1. İç ataklar
2. Dış ataklar

İç ataklarda saldırgan kişi bir ya da daha fazla algılayıcı düğümünü fiziksel olarak ele geçirir (node compromise). Dolayısı ile saldırgan bu algılayıcı düğümlerine ait tüm gizli anahtar bilgisine sahiptir ve ağın içinden saldırılar düzenleyebilir. Buna karşın dış ataklarda saldırgan ağdaki düğümlere ait gizli anahtar bilgisine sahip değildir ve sadece dışarıdan kendine ait algılayıcı düğümlerini kullanarak KAA’ların çalışmasını engellemeye çalışabilir. Atak tiplerinde olduğu gibi, KAA’larda saldırganları da işlem güçlerine göre iki gruba ayırmak mümkündür;

1. Laptop sınıfı saldırganlar
2. Algılayıcı düğüm sınıfı saldırganlar

Laptop sınıfı saldırganlar güçlü cihazlara, örneğin büyük batarya, güçlü işlemci, güçlü radyo veya daha hassas antene vb. sahiptirler. Ayrıca laptop sınıfı saldırgan yüksek bant genişliğine ve az gecikmeli iletişim yetisine sahiptirler [20]. Bir laptop sınıfı saldırgan

kaynaklarını kullanarak birden çok düğüm gibi davranabilir, iletim ortamını üstünlük sağlayabilir ve ağın her noktasına erişebilir. Buna karşın algılayıcı düğüm sınıfı saldırganlar sadece yakın çevresindeki düğümlere engel olabilir ve düşük işlem ve gücü ve bant genişliğine sahiptir. Bu sebeple laptop sınıfı saldırganlar her zaman algılayıcı düğüm sınıfı saldırganlara göre daha tehlikelidir. Tablo 2.2. atak ve saldırgan türlerini ve bunların zarar derecelerini özetlemektedir.

Saldırgan \ Atak	Dış Ataklar	İç Ataklar
Laptop Sınıfı	Orta Tehlikeli	Çok Tehlikeli
Algılayıcı Düğüm Sınıfı	Az Tehlikeli	Orta Tehlikeli

**Tablo 2.2.** Atak ve saldırgan türlerinin karşılaştırılması

Kablosuz algılayıcı ağlar da laptop ve algılayıcı düğümü sınıfı saldırganlar birçok iç ve dış atak çeşidi gerçekleştirebilirler. Ancak bu ataklardan en önemlisi ve tehlikelisi servis reddi (Denial of Service - DoS) ataklarıdır. Bu ataklar KAA'ların tamamını ya da bir bölümünü etkisiz hale getirmeyi amaçlamaktadırlar.

### 2.7.2. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Güvenlik Kriterleri

Kablosuz algılayıcı ağların güvenliği konusunda dikkat edilmesi gerek hususlar aşağıda sıralanmıştır;

#### 2.7.2.1. Düşman Saha

Kablosuz algılayıcı ağlar savaş alanları gibi düşman bölgelere yerleştirilebilir. Bu durumlarda düğümler fiziksel saldırıya karşı korunmasızdır. Güvenlik bilgisi, genelde kaybedilmesi (düşman tarafından tahrip edilmesi) muhtemel düğümlerden alınabilir. Kurcalanamayacak şekilde tasarlanan düğümler düşman sahalarda güvenliğin sağlanması için yapılması gereken işlemlerden biridir. Fakat yapılması gereken bu işlem basitlikten çok uzaktadır, bellek ve hesaplama gereksinimleri açısından kesinlikle pahalı bir işlemdir. Algılayıcı düğümlerinin fiziksel olarak erişiminin mümkün olmasından dolayı, KAA için güvenlik mekanizmaları bir ya da daha çok düğümün tehlikeye atıldığı durumlara ilgilidir [18].

#### 2.7.2.2. Kaynakların Sınırlılığı

Algılayıcı ağ düğümleri bütünleşik bir yapıda tasarlanmıştır bu yüzden boyut, enerji, hesaplama gücü ve depolama noktasında sınırlıdır. Sınırlı kaynaklar gerçekleştirilmek istenen güvenlik algoritmalarını ve protokollerini sınırlandırır. KAA için güvenlik çözümleri; güvenliğe harcanan kaynaklar ve elde edilen korunma arasından yapılan tercih tarafından tanımlı çözüm alanında işler. Sınırlı kaynaklar, düğümlerin yeni saldırı tiplerine karşı açık hale gelmesine sebebiyet verir.[18]

#### *2.7.2.3. Ağ İçinde İşlem Yapma*

Kablosuz algılayıcı ağların kullanılabilir enerjisinin büyük çoğunluğunu düğümler arasındaki haberleşme tüketir, enerjinin küçük bir kısmı algılama ve hesaplama için kullanılır. Bu sebepten dolayı KAA sınırlandırılmış işleme ve veri toplama gerçekleştirirler.

Bu tip iletişim tarzı için; uygun güvenlik mimarisi anlık komşuluk durumlarında bir grup anahtarının düğümler arasında paylaşılması ile oluşturulur. Ancak, düğümlerin yakalanmasının olası olduğu ortamlarda, gizli olarak atanmış paylaşılmış simetrik anahtar tehlike altındadır [18].

#### *2.7.2.4. Uygulamaya Özel Mimari Yapısı*

Yukarıda anlatılan özelliklerinden ötürü KAA uygulamaya göre değişen mimari yapıları sahiptirler. Genel amaçlı mimari yapının esnekliği kaynakların etkin kullanımını gerektirir.

Kablosuz algılayıcı ağlar neredeyse her yönden kaynakların tüketimini optimize etme ve performansı yükseltmek için uygulamanın özelliklerine göre ayarlanabilirler. Bu, ağı dizayn eden kişiye çeşitli güvenlik açıklarını tespit etme ve bu açıklara göre güvenlik mekanizmalarını düzenleme izni verir [18].

### **2.7.3 Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Güvenlik Gereksinimleri**

Kablosuz algılayıcı ağların güvenliği gereksinimleri konusunda dikkat edilmesi gerek hususlar şu şekilde sıralanmıştır;

#### *2.7.3.1. Dışarıdan Gelen Saldırlara Karşı Dayanıklılık*

Birçok uygulama dışarıdan gelen saldırılara karşı güvenlik gerektirir. Gizlice dinleme (eavesdropping) ya da Paket Enjeksiyonu (packet injection) gibi bilinen saldırılara karşı standart güvenlik tekniklerinin seviyesini yükseltmemiz gerekebilir; örnek olarak,

şifrelenmiş primitifler kullanarak orijinalliği ve iletişimin gizliliğini ağ içerisindeki düğümler arasında sağlayabiliriz.

Buna ek olarak, düğümlerde meydana gelebilecek hatalara karşı dayanıklı mekanizmalar dizayn etmemiz gereklidir. Bu dayanıklılığa erişmek için büyük miktarlarda düğüm kullanmak ve gerekenden fazla sayıda düğüm bulundurmak (fazlalık) gereklidir böylece birkaç düğümden oluşabilecek hata sonrası sistemin bütünü fazlaca etkilenmez. Ayrıca işlevini kaybeden düğümlerin yerine geçen düğümler dolayısıyla ağın topolojisinde değişim meydana gelecektir, bunu anında fark edip yeni topolojiye göre iletişimi sağlayacak protokollere ihtiyaç vardır [21].

#### *2.7.3.2. İç Krizlere Karşı Direnç*

Güvenlik-kritik algılayıcı ağlar, tehlike altındaki düğümleri göz önüne alan mekanizmaların üretilmesini gerektirir. İdeal olarak tehlike altındaki düğümleri saptayıp sahip oldukları kriptografik anahtarları geri alabilmeliyiz. Fakat pratikte bu her zaman mümkün değildir. Bu duruma alternatif tasarım yaklaşımı; düğüm kaybına yada tehlike altında bulunmasına dayanıklı mekanizmalar tasarlamaktır, böylece azar azar sistemin düğüm kaybetmesi sistemin tümünden kaybına değil de performansında küçük çaplı düşümlere neden olur [21].

#### *2.7.3.3. Güvenliğin Gerçekçi Seviyesi*

Genel olarak güvenliğin gereksinimleri tartışılırken, algılayıcı ağların uygulamadan uygulamaya güvenlik gereksinimlerinin değişim göstereceği unutulmamalıdır. Örnek olarak tıbbi gözlem cihazlarında insanın vücuduna yerleştirilmiş algılayıcı düğümlerinden hastanın sağlık durumu izlenir, bu durumda güvenliğin amacı hastanın mahremiyetini gizlemektir. Fakat okyanustaki balığın durumunun izlendiği bir uygulamada balığın mahremiyetini gizlemek için bu kadar zorunlu değildir [21].

#### *2.7.3.4. Veri Gizliliği*

Kablosuz algılayıcı ağlar kesinlikle algılayıcı bilgisini komşu ağlara sızdırmamalıdır. Birçok uygulamada düğümler çok önemli veri iletirler. Hassas bilginin gizlenmesindeki standart yaklaşım, veriyi sadece planlanan alıcının sahip olduğu gizli bir anahtarla şifreleyip yollamaktır, böylece gizliliğe ulaşılmış olunur. Gözlenen iletişim modellerinde, baz ve düğümler arasında güvenli kanallar kurulur ve gerekli olduğu durumlarda diğer güvenli kanallar sonradan (geç önyükleme) devreye sokulur.

Algılanan verinin gizliliğinin garanti altına alınması veriyi, eavesdropper (kulak misafiri) tipi saldırılardan korumak için önemlidir. Bunu sağlamak için standart şifreleme fonksiyonları kullanılabilir (AES blok şifreleme) yada gizli bir anahtar iletişim halindeki bölümler arasında kullanılabilir.

Ancak, şifreleme tek başına yeterli bir çözüm değildir, gizlice dinlenen alıcıya gönderilen şifreli anahtar üzerinde analiz yaparak, önemli veriye ulaşabilir. Şifrelemeye ek olarak algılanan verinin gizliliği, baz istasyonlarında yanlış kullanımının engellenmesi için erişim kontrol kurallarına ihtiyaç duyar. Mesela kişisel yer tespit uygulaması, kişinin yerini tespit eden algılayıcıların, algıladıkları veriyi bir Web Server'a yolladığını düşünelim, izlenen kişi, yerinin sadece kısıtlı bir grup tarafından bilinmesini isteyebilir, bu yüzden Web Server da erişim hakları kısıtlanması uygulanmalıdır[21- 22].

#### *2.7.3.5. Veri Doğrulama/Kimlik Denetimi*

Kablosuz algılayıcı ağlarda mesaj doğrulama birçok uygulama için önemlidir. KAA'nın tasarım kısmında, doğrulama birçok yönetici görevleri (ağın yeniden programlanması ya da algılayıcı düğümünün iş çevriminin kontrolü) için gereklidir. Aynı zamanda, muhalif ya da rakip kişiler kendi mesajlarını kolayca araya sokabilirler. Alıcıların, gelen mesajın yollandığı kaynağı veya göndereni doğrulaması gerekmektedir. Veri doğrulama, alıcının mesajın gerçekten belirtilen gönderenden gelip gelmediğini kontrol etmesine olanak verir [22].

İki taraflı iletişim durumunda, veri doğrulama veya kimlik denetimi sadece simetrik bir mekanizmayla sağlanabilir: Gönderen ve alıcı gizli bir anahtarı paylaşır bu anahtar sayesinde tüm haberleşmede kullanılan verinin Mac (Message authentication code)'ı hesaplanır. Doğru Mac değerine sahip bir mesaj geldiğinde, "Alıcı" bu mesajın mesajda belirtilen "Gönderen" tarafından gönderildiğini anlar. Bu tarzda bir doğrulama sistemi çok daha kuvvetli güvenlik kriterleri ağ düğümlerine yerleştirilmediği müddetçe yayın ortamı (broadcast) tipindeki ağlara uygulanamaz [22].

Eğer güvenilir veri, karşılıklı olarak güvenin sağlanmadığı alıcılara yollanmak isteniyorsa, simetrik MAC kullanımı güvenli değildir. Alıcılardan Mac anahtarını bilen biri gerçek gönderen kimliğine bürünerek diğer alıcılara sahte mesajlar yollayabilir. Bu

yüzden asimetrik doğrulama yayın tipi ağlarda güvenliğin sağlanması için gerekli mekanizmadır.

#### *2.7.3.6. Veri Bütünlüğü*

Kablosuz algılayıcı ağlar da haberleşme veri bütünlüğü, alıcının aldığı verinin art niyetli kişilerce aktarım sırasında değiştirilmediğine karşı garanti verir. SPINS (Security Protocols for Sensor Networks) ile veri bütünlüğünü, veri doğrulama ile sağlayabiliriz, veri doğrulama daha güçlü bir özelliktir [22].

#### *2.7.3.7. Verinin Tazeliği*

Kablosuz algılayıcı ağlar anlık değişen verileri veya ölçümleri algılayıp işlediği için, sadece gizlilik ve güvenliğin sağlanması yeterli değildir aynı zamanda her mesajın tazeliğinin de koruması ve garanti edilmesi gerekir. Verinin tazeliği verinin yeni olduğunu belirtir ve bu sayede art niyetli kişilerin eski mesajları tekrar göndermediğini garanti eder.

İki tip tazelik tanımlanabilir: zayıf tazelik, kısmi mesaj sırası sağlar, fakat gecikme zamanı bilgisini taşımaz ve güçlü tazelik, istek-cevap çifti sırasının tamamını sağlar ve gecikme tahminine izin verir. Zayıf tazelik algılayıcı ölçümlerinde gereklidir, güçlü tazelik ise ağ içindeki zaman senkronizasyonu için kullanışlıdır [22].

#### *2.7.3.8. Kullanılabilirlik*

Kullanılabilirliği sağlamak, KAA'nın ömrü boyunca fonksiyonelliğini yitirmeden çalışması demektir. DoS (Denial of service) saldırıları sık sık sistemin kullanılabilirliğinde kayıplara yol açar. Pratikte kullanılabilirlikteki kayıp ciddi sonuçlar doğurabilir. Üretim gözleme uygulamasında meydana gelebilecek kullanılabilirlik kaybı potansiyel bir kazanın önüne geçilmesini engelleyebilir bu da finansal kayıplara yol açar; savaş alanındaki kayıplarda ise sonuç düşmanın bir arka kapı açmasıyla sonuçlanabilir [21].

Çeşitli saldırılar algılayıcı ağın kullanılabilirliğini tehlikeye atabilir. Kullanılabilirliğin sağlanması düşünülürken, düğüm kayıpları ya da hataları ile sistemin tümünden çökmesi engellenmeye çalışılmalıdır.

#### *2.7.3.9. Hizmet Bütünlüğü*

Ağ katmanının üzerinde, KAA genelde çeşitli uygulama seviyesinde hizmet verir. Veriyi toplama, veriyi iletme ve kümeleme KAA'daki en yaygın hizmetlerdendir. Veri toplama işleminde düğümler komşu düğümlerden veriyi alır, veriyi topladıktan sonra ya baz istasyonuna yada veri üzerinde işlem yapacak olan düğümler varsa o düğümlere iletir.

Güvenli veri toplama göreceli olarak gerçek dünya verilerinin ölçümünün doğru hesaplanmasını ve bozulmuş düğümlerden gelen verinin tespit edilip hesaplamalara katılmadan atılmasını sağlar.

Hizmet örneği olarak zaman senkronlama hizmeti de verilebilir. KAA için geçerli zaman senkronizasyon protokolleri güvenilir bir ortamın oluşturulmasını sağlar. Mevcut araştırma alanlarından birisi de kaybedilen düğümlerin varlığında zaman senkronizasyonu sağlayacak protokollerin geliştirilmesidir [21].

## **2.8. GELENEKSEL HAVA KİRLİLİĞİ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ**

Hava izleme yöntemleri; pasif örnekleyiciler, aktif örnekleyiciler, otomatik çevrimiçi analizörler ve uzaktan algılayıcılar olmak üzere dört başlık altında kısaca inceleyebiliriz;

### **2.8.1. Pasif Örnekleyiciler**

Ölçülecek olan kirletici, seçilen bir kimyasal ortamda absorpsiyon yöntemi ile toplanır. Uygun örneklem süresi boyunca maruziyetten sonra, örnekleyici laboratuara getirilir ve kirletici miktarı niceleyici olarak belirlenir.

Pasif örneklemin avantajı, kolaylığı ve başlangıçta bir örnekleyici için birkaç dolarlık bir harcama ile çalışmalara başlanabilmesidir. Sonuç olarak, çok sayıda ünite ile kirleticinin mekân içindeki dağılımı konusunda faydalı bilgileri sağlar. Ancak bu teknikle sadece bütünleşmiş ortalama kirletici konsantrasyonları hakkında bilgi sağlanacaktır.

Kolaylığı ve başlangıç yatırımının düşük olması nedeniyle, pek çok uygulama için pasif örneklem tekniği uygundur. Çok sayıda öncelikli kirletici parametreler için teknikler mevcuttur.



Pasif örnekleyiciler, özellikle temel araştırmalar, alan taraması veya indikatif izlemeler için faydalıdır. Pasif örnekleyiciler, coğrafik olarak geniş bir alanı kapsayan hava kirlilik verilerini sağlarken, diğerkomplike otomatik cihazlar ise günlük değişimleri, konsantrasyon piklerini içine alan zaman ağırlıklı bilgileri sağlar [24].

### **2.8.2. Aktif Örnekleyiciler**

Aktif örnekleyiciler, pasif örnekleyicilerin aksine, hava numunesinin bir pompa aracılığı ile kimyasal veya fiziksel bir ortamdan geçirilebilmesi için elektrik enerjisine ihtiyaç duyarlar. Örneklenen hava hacminin yüksek olması hassasiyeti arttırır. Şöyle ki günlük ortalama ölçümler elde edilebilir.

Gaz halindeki kirleticiler için aktif örnekleme teknikleri kullanılmaktadır. Aktif örnekleyicilerin bazıları, pasif örnekleyicilerden daha karmaşık ve daha pahalı olmalarına rağmen; işletilmesi daha kolay olur ve elde edilen sonuçlar güvenilirdir [24].

### **2.8.3. Otomatik Analizörler**

Örnekleyicilerin kullanım kolaylığı, düşük maliyeti gibi avantajları olmasına rağmen; saatler bazında veya daha kısa süreli ölçümler için otomatik cihazların kullanım zorunluluğu bulunmaktadır. Bu cihazlar, ölçülen gazın fiziksel ve kimyasal özelliklerinden yararlanarak sürekli tayinlerine olanak sağlarlar.

Örneklenen hava, ya gazın optik özelliğine göre doğrudan reaksiyon hücrelerine girer ya da kimyasal ışımaya veya floresans ışığı üreterek kimyasal reaksiyon oluşur. Işık detektörü, ölçülecek kirleticinin konsantrasyonu ile orantılı olarak elektriksel bir sinyal oluşturur.

Otomatik cihazların ilk yatırım maliyeti, işletme ve destek masrafları yüksektir. Örnekleyicilere göre daha çok teknik problemler yaşanır. Rutin işletme için deneyimli insanların çalışmasını gerektirir. Daha ayrıntılı kalite güvenilirliği yöntemlerine ihtiyaç duyar. Sürekli analizörler, çok fazla sayıda veri üretirler.

Çoğunlukla verilerin işlenebilmesi ve analizi için bilgisayar destekli telemetrik sistemlere ihtiyaç duyulur. Öncelikli kentsel hava kirleticileri için güvenilir olan sürekli analiz teknikleri bulunmaktadır. Ancak oldukça pahalıdır. İşletimlerdeki güçlükler nedeniyle gerekli destek altyapı ve eğitilmiş deneyimli insan gücünün bulunmadığı yerlerde kullanımları çok uygun değildir [24].

#### **2.8.4. Uzaktan Algılayıcılar**

Otomatik analizörler, bir noktada sadece bir kirletici ölçümüne imkân tanırken uzaktan algılayıcılar belirli bir hat boyunca çok bileşenli ölçümlerin yapılmasına olanak sağlar. Mobil sistemler kullanılarak, alan içindeki 3-D (DIAL teknikleri ile) kirletici konsantrasyon haritaları oluşturulabilir.

Uzaktan algılayıcılar, kaynak yakınındaki araştırmalar ve atmosferdeki dikey ölçümler için faydalıdır (troposferik ve stratosferik ozon dağılımı). Bu sistemleri başarılı bir şekilde işletmek ve güvenilir veri üretmek için çok dikkatli bir kalite kontrol programına ve deneyimli insan gücüne ihtiyaç vardır [24].

### **2.9. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR İLE HAVA KİRLİLİĞİNİN ÖLÇÜLMESİ VE GÜRÜNTÜLENMESİ**

Hava kalitesinin ölçülmesinde kullanılacak yöntem karar vermeden önce diğer tüm yöntemlerin analizi yapılmıştır. Bunlar;

Pasif örnekleyiciler çok düşük maliyetli, çok basit ve ilk başlangıç çalışmaları için kullanışlı olmasına rağmen, bazı hava kirleticileri için ispatlanmamıştır, genel olarak sadece aylık ve haftalık ortalamaları sağlarlar.

Aktif örnekleyiciler düşük maliyetli, işletilmesi kolay ve güvenilirdir, fakat sadece günlük ortalamaları sağlar ve her zaman laboratuvarda analiz edilmesi gerekir.

Otomatik analizörler ispatlanmışlardır, yüksek performanslıdır, saatlik veri alınır ve çevrimiçi bilgi verirler, ancak karmaşık oldukları için işçi maliyeti gerektirirler ve pahalıdır.

Bahsedilen bu yöntemlere göre uzaktan algılayıcı ağlar (KAA) önceki bölümlerde de üzerinde durulduğu üzere daha avantajlıdır. Ölçümler çevre koşullarından bağımsız olarak yapılabilen ve alınan veriler uzaktan takip edilebilmektedir. Diğer yöntemlerde havadaki maddelerin analizinin yapılması ancak laboratuvar ortamında çalışma gerektirmektedir. KAA'larla ise algılayıcılar havası incelenecek olan ortama bırakılıp daha sonra veriler kurulan ağ ile istenen ortamda değerlendirilebilmektedir. Ayrıca istenilen periyotlarla veri alımı gerçekleştirilebilmekte ve veri depolanabilmektedir. KAA'larla yapılan analizler hem analizi yapanlara sağladığı

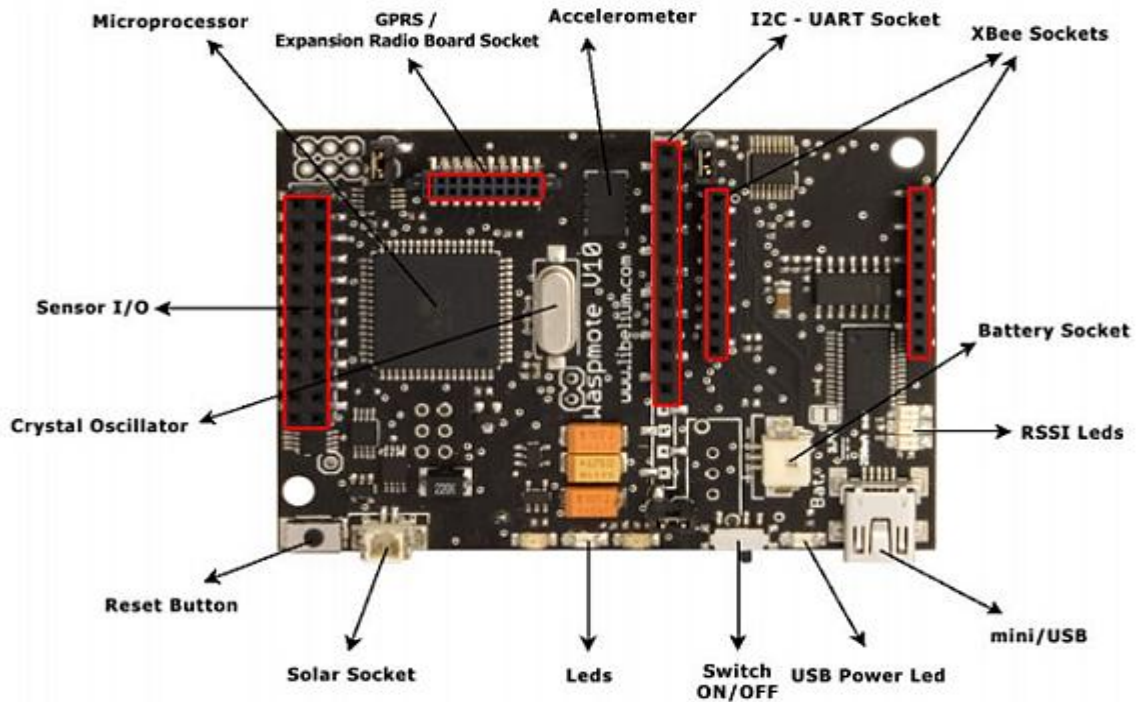
kolaylıklar, hem sürekli veri alımının gerçekleştirilmesi hem de aynı anda depolama yapabilme imkânı dolayısıyla tercih edilerek çevre biliminde bu anlamda kolaylık sağlamak amaçlanmıştır. Bu amaçla yönelik kullanılacak ekipmanlar araştırılıp karar verilmiştir.

## 2.9.1. Kullanılan Donanımlar

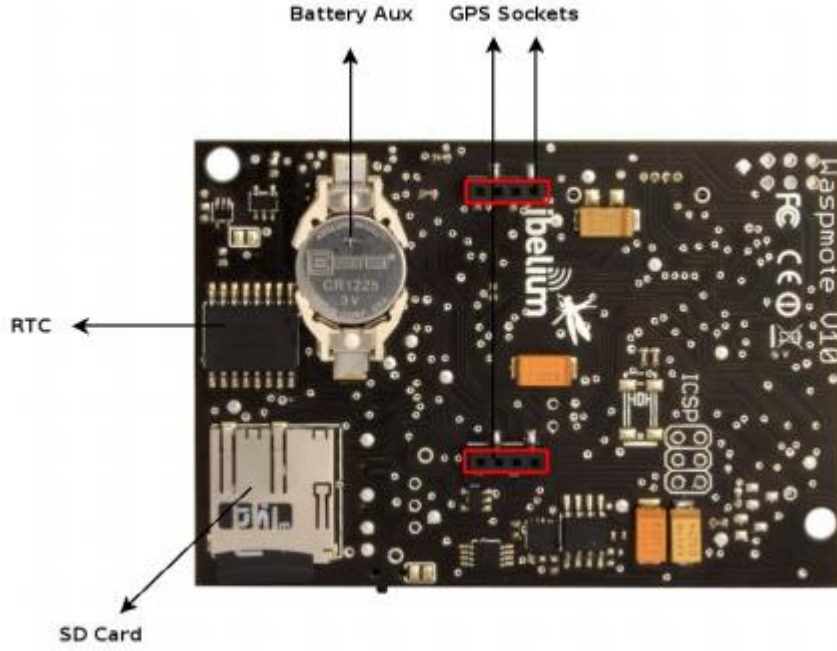
### 2.9.1.1. Wasmote Board

Wasmote Board, Libelium'un ürettiği algılayıcıdır. Şekil 2.9. de Wasmote Board'un ön yüzü ve Şekil 2.10. de Wasmote Board'un arka yüzü gösterilmiştir. Wasmote Board'nin teknik özellikleri;

- Mikrodenetleyici: ATmega1281
- Frekans: 8MHz
- SRAM: 8KB
- EEPROM: 4KB
- SD Kart: 2GB (Opsiyonel, bizim kartımızda bulunmamaktadır)
- Ağırlık: 20gr
- Boyut: 73.5 x 51 x 13 mm
- Sıcaklık aralığı: [-20°C, +65°C]'dir.



Şekil 2.9. Wasmote Board'un ön yüzü [26]



Şekil 2.10. Waspote Board'un arka yüzü [26]

Waspote Board modüler bir mimariye sahiptir. Yani hangi amaçta kullanılacaksa yalnızca gerekli modüller entegre edilerek sistem maliyetini optimize etmeyi amaçlamıştır. Ayrıca modüllüler sayesinde algılayıcılara birçok özellik kazandırılabilir. Bu modüller sıralayacak olursak;

- ZigBee/802.15.4 modüller (2.4GHz, 868MHz, 900MHz). Düşük ve yüksek güç
- GSM-3G/GPRS modüller(Dörtlü bant: 850MHz/900MHz/1800MHz/1900MHz)
- Algılayıcı modüller
- Depolama modülü (SD hafıza kartı)
- GPS modülü'dür.

Bu çalışmada ZigBee protokolünü kullanan XBee ZB PRO modülü kullanılmıştır

#### 2.9.1.2. XBee ZB PRO Modülü

XBee ZB PRO modülünün teknik özelliklerine bakacak olursak;

- 2,40 – 2,48GHz frekans,
- 50mW iletim gücü,
- -102dBm duyarlılık,
- 13 kanal sayısı,
- 7km uzaklıktan veri alıp-verme'dir.

Şekil 2.11.'da XBee ZB PRO modülü gösterilmiştir.



**Şekil 2.11.** XBee ZB PRO modülü [26]

Şekil 2.12.'de Waspote, XBee ZB PRO modülü yerleştirilerek gösterilmiştir.



**Şekil 2.12.** Waspote ve XBee ZB PRO modülü [26]

### 2.9.1.3. Alıcı ve Gönderici Ünitesi

Alıcı ve gönderici ünitesi, gönderilen verileri bilgisayar ortamına almak için kullanılır,

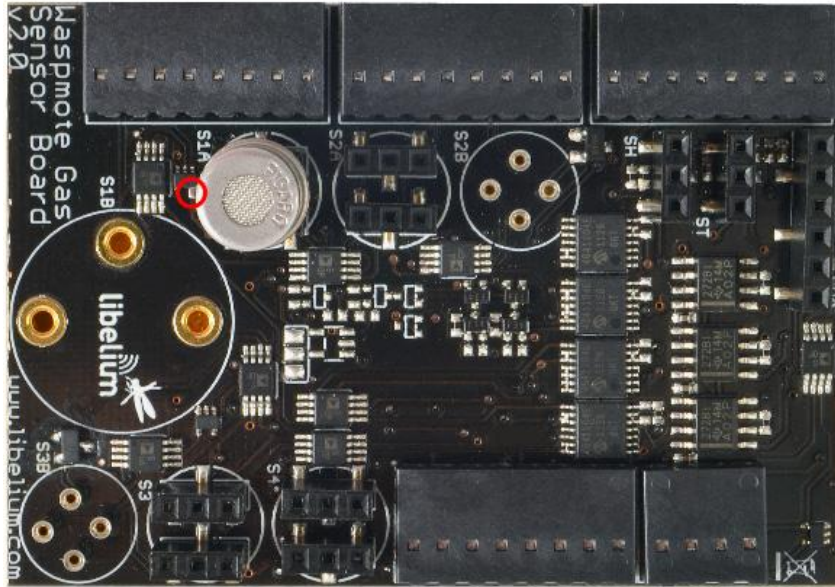
içerisinde XBee ZB PRO modülünü barındıran ve herhangi bir programlama gerektirmeden direk gönderilen veriyi alan sistemdir (bkz. Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Alıcı ve gönderici ünitesi [26]

#### 2.9.1.4. Gaz Algılayıcı Devresi

Gaz algılayıcı devresi olarak Libellium'un ürettiği gaz algılayıcı devresi kullanılmıştır (bkz. Şekil 2.14.).

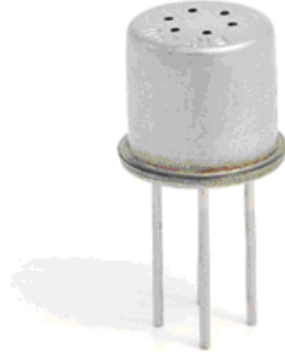


Şekil 2.14. Gaz algılayıcı devresi [26]

#### 2.10.1.5. Gaz Algılayıcısı (TGS2600)

TGS2600, Libellium'un ürettiği bir gaz algılayıcısıdır (bkz. Şekil 2.15.). Bu çalışmada kullanılmıştır Bu gaz algılayıcısı;

- Methan ( $\text{CH}_4$ ),
- Karbonmonoksit ( $\text{CO}$ ),
- İzobutan ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ),
- Etanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) ve
- Hidrojen ( $\text{H}_2$ ) gazlarını ölçmektedir.



**Şekil 2.15.** Gaz algılayıcısı TGS2600 [26]

Oluşturulacak olan sistemin ekipmanlarına karar verdikten sonra sistemin gereksimine göre bu ekipmanlar hakkında gerekli bilgiler edinmek için araştırmalar yapıldı. Gerekli olan bilgiler şunlardır;

1. Algılayıcılar arasında ağ kurulması
2. Birbirleri ile iletişimi sağlaması
3. Gerekli programların geliştirilmesi
4. Geliştirilen programın algılayıcıya entegre edilmesi
5. Alınan verinin işlenmesi için tasarım oluşturulmasıdır.

### **2.9.2. Waspote'un Programlanması**

Algılayıcılar hakkında yeterince bilgi edindikten sonra algılayıcıları programlamak için kullanılacak olan NesC programlama dili öğrenildi ve gerekli program geliştirildi. Geliştirilen programın işlevi şu şekildedir;

- Waspote üzerine yerleştirilen gaz algılayıcı devresinin waspote'a tanıtılması,
- Gaz algılayıcı devresinin üzerine yerleştirilen gaz algılayıcısının tanıtılması,
- Algılayıcıların birbiri ile arasında iletişim kurması ve gaz algılayıcısından elde edilen veriyi istenilen yere, baz istasyonu veya bir başka algılayıcıya, iletmesi (bu sayede bir kablosuz ağ oluşturulmuş oldu),

Algılayıcılara yüklenen program kodları aşağıda verilmiştir;

```

int data;
packetXBee* dataPacket;
void setup()
{
  xbeeZB.init(ZIGBEE,FREQ2_4G,NORMAL);
  xbeeZB.ON();
  delay(1000);
}
void loop()
{
  dataPacket=(packetXBee*) calloc(1,sizeof(packetXBee));
  dataPacket->mode=UNICAST;
  dataPacket->packetID=0xFF;
  xbeeZB.setOriginParams(dataPacket,      "0013A2004064AB42",
MY_TYPE);
  xbeeZB.setDestinationParams(dataPacket,
"0013A2004049AEE4", data, MY_TYPE, DATA_ABSOLUTE);
  xbeeZB.sendXBee(dataPacket);
  free(dataPacket);
  dataPacket=NULL;
  delay(5000);
}

```

Program waspmote-IDE 01 derleyici aracılığı ile yazıldı ve yine waspmote-IDE 01 derleyici ve Waspmate Board'un USB portu aracılığı ile algılayıcılara entegre edildi. Bu işlemler Windows-XP işletim sisteminde gerçekleştirildi. Waspmate'un üzerine XBee ZB PRO modülünü ve gaz algılayıcısı takılmış gaz algılayıcı devresini monte ettikten sonra algılayıcı hazır hale gelmekte ve çalışmada planlanan konuma yerleştirmek gerekmektedir.

### 2.9.3. Algılayıcıların Yerleştirilmesi

Bu çalışmada programlanan modülü ve algılayıcıları monte edilen waspmote'lar Düzce Üniversitesi Konuralp Kampüsü'nün beş ayrı bölgesine yerleştirildi. Bu bölgeler;

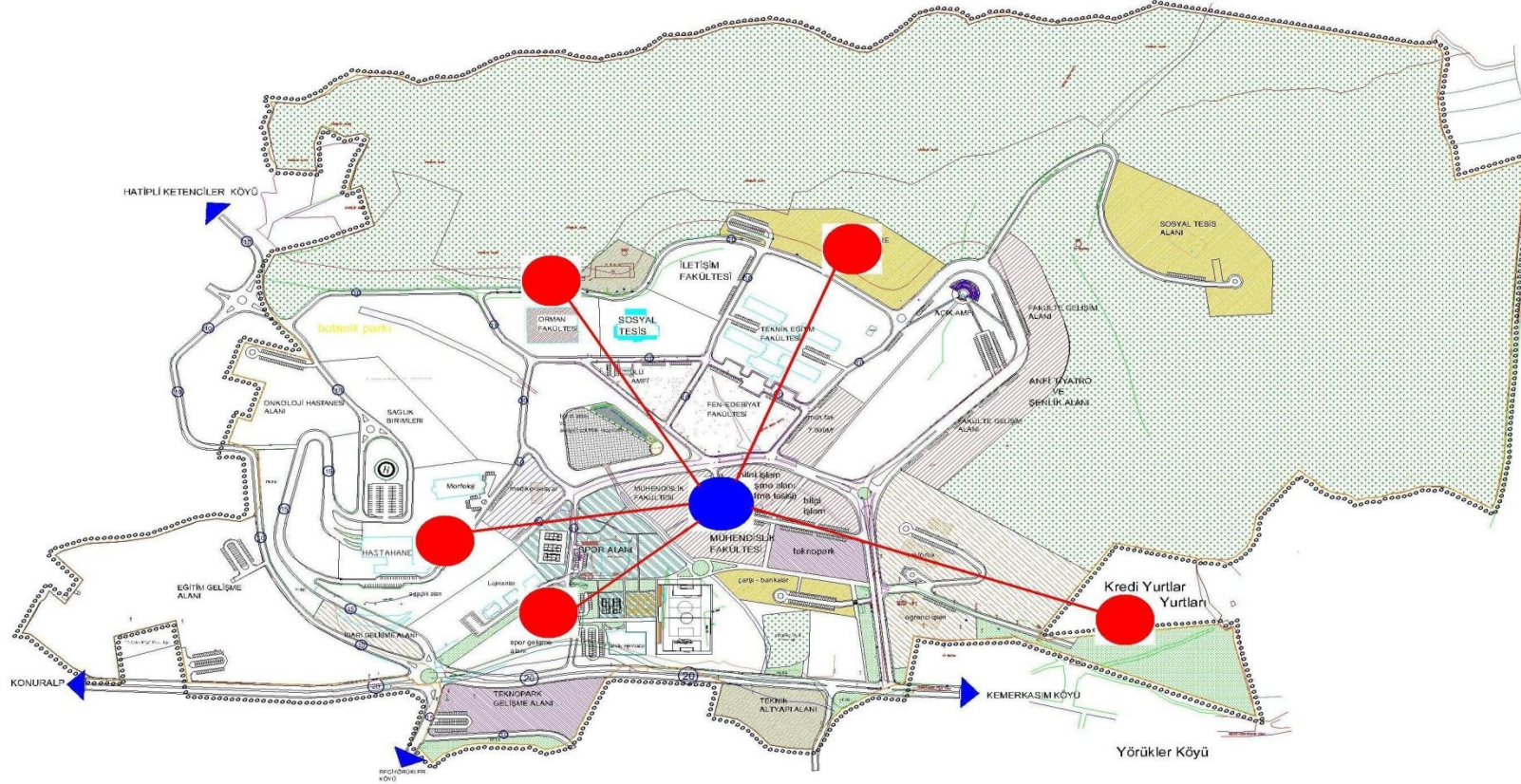
- Rektörlük binası
- Orman Fakültesi binası
- Tıp Fakültesi binası
- Spor Salonu binası
- Yurt binası

Alıcı ve gönderici ünitesi ise, merkez olarak mühendislik fakültesine yerleştirilerek verilerin alınması ve işlenmesi buradan sağlandı. Şekil 2.16'de algılayıcılar ve alıcı - gönderici ünitesinin konumları gösterilmiştir.





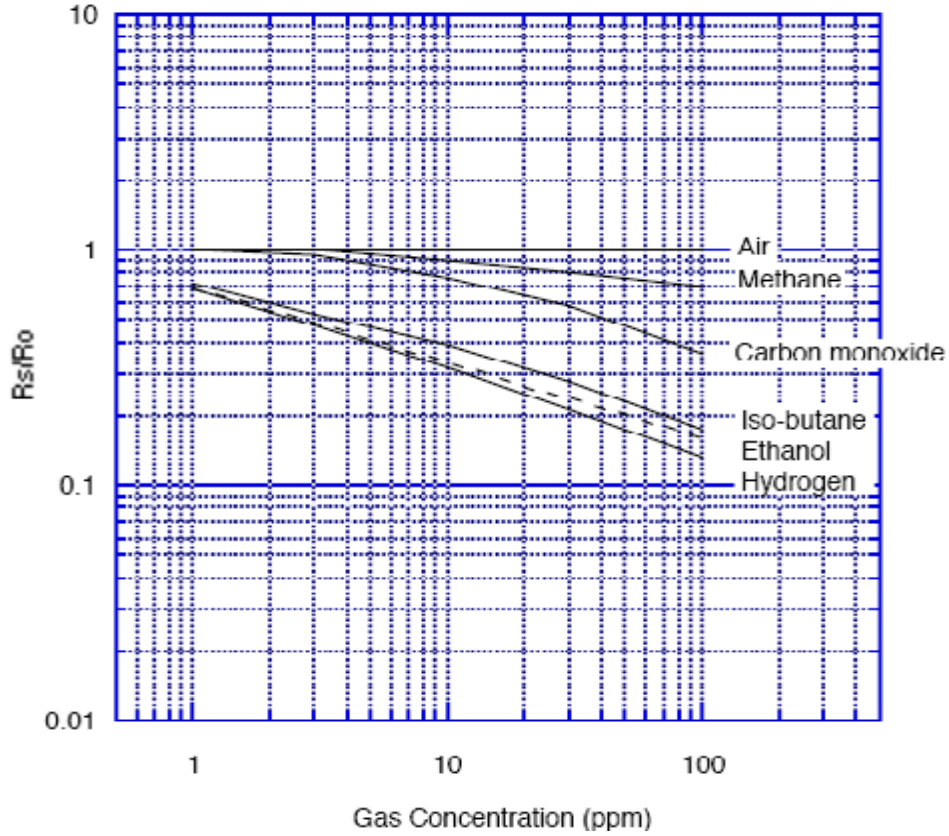
## DÜZCE ÜNİVERSİTESİ KONURALP YERLEŞKESİ VAZİYET PLANI



Şekil 2.16. Algılayıcılar ve Alıcı-Gönderici Ünitesinin Konumları

#### 2.9.4. Algılayıcıdan Alınan Verilerin İşlenmesi

Algılayıcıların her birinden gaz algılayıcı aracılığıyla algılayıcının ismi, gaz yoğunluk değeri (koddaki data değeri) ve zaman bilgisi alındı. Gaz yoğunluk değeri gaz algılayıcının kullanım kılavuzunda yer alan grafiğe (bkz. 2.17.) yerleştirilerek havadaki gazların (methan, karbonmonoksit, izobutan, etanol ve hidrojen) yoğunluğu hesaplandı. Hesaplama işini daha kolay yapmak için bu eğrilerden matlab aracılığı ile eğri uydurma yöntemi kullanılarak beşinci dereceden eğri uydurulup denklemler ve katsayılar elde edildi. Bu fonksiyonlar 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5’de verilmiştir Bu çalışmada havanın kirliliğini hesaplamak için karbonmonoksit (CO) kullanılmıştır.



Şekil 2.17. Gaz algılayıcı grafiği

Methan için;

$$y = p1*x^5 + p2*x^4 + p3*x^3 + p4*x^2 + p5*x + p6,$$

p1 = 4.665e-08  
p2 = -9.3765e-06  
p3 = 0.00063603  
p4 = -0.018734  
p5 = 0.23165

$$p6 = 0 \quad (2.1)$$

Karbonmonoksit için;

$$y = p1*x^5 + p2*x^4 + p3*x^3 + p4*x^2 + p5*x + p6,$$

$$p1 = 2.0361e-06$$

$$p2 = -0.0001888$$

$$p3 = 0.0061546$$

$$p4 = -0.086393$$

$$p5 = 0.49191$$

$$p6 = 0 \quad (2.2)$$

İzobutan için;

$$y = p1*x^5 + p2*x^4 + p3*x^3 + p4*x^2 + p5*x + p6,$$

$$p1 = 5.9492e-06$$

$$p2 = -0.00065222$$

$$p3 = 0.019012$$

$$p4 = -0.18402$$

$$p5 = 0.59712$$

$$p6 = 0 \quad (2.3)$$

Etanol için;

$$y = p1*x^5 + p2*x^4 + p3*x^3 + p4*x^2 + p5*x + p6,$$

$$p1 = 4.3561e-07$$

$$p2 = -5.1819e-05$$

$$p3 = 0.0019017$$

$$p4 = -0.020196$$

$$p5 = 0$$

$$p6 = 0.71835 \quad (2.4)$$

Hidrojen için;

$$y = p1*x^5 + p2*x^4 + p3*x^3 + p4*x^2 + p5*x + p6,$$

$$p1 = 4.3561e-07$$

$$p2 = -5.1819e-05$$

$$p3 = 0.0019017$$

$$p4 = -0.020196$$

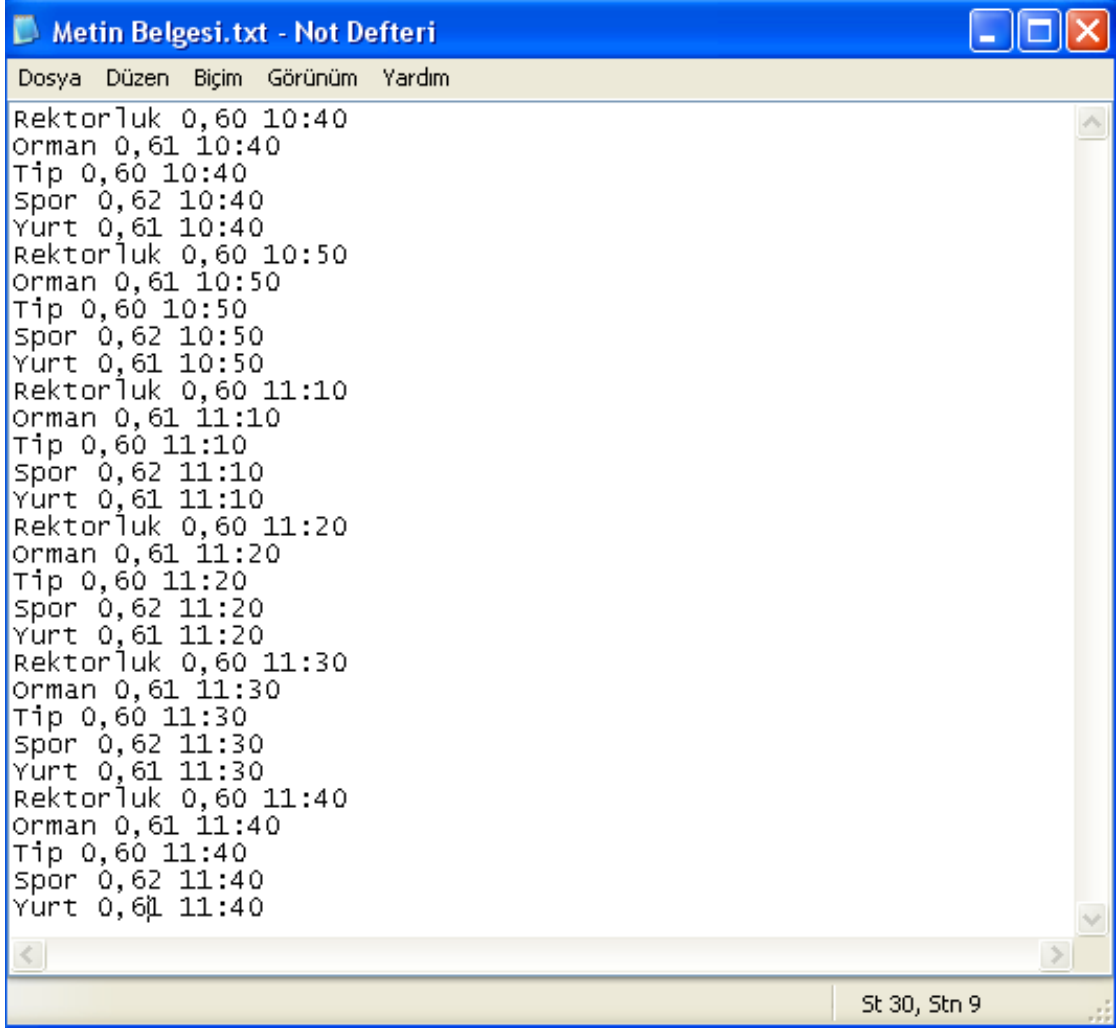
$$p5 = 0$$

$$p6 = 0.71835 \quad (2.5)$$

### 2.9.5. Algılayıcıdan Alınan Verilerin Depolanması

Algılayıcılardan alınan veriler sadece anlık olarak kullanılmamış aynı zamanda veri tabanında saklanmıştır. Depolama işleminin birinci adımını Windows işletim sisteminin

HyperTerminal bileşeni ile metin belgesine alma işlemi oluşturmaktadır. Metin belgesine her on dakika ara ile beş algılayıcıdan algılayıcının ismi, algılayıcının gaz yoğunluk değeri ve zaman bilgisi kaydedilmektedir. (bkz. Şekil 2.18).

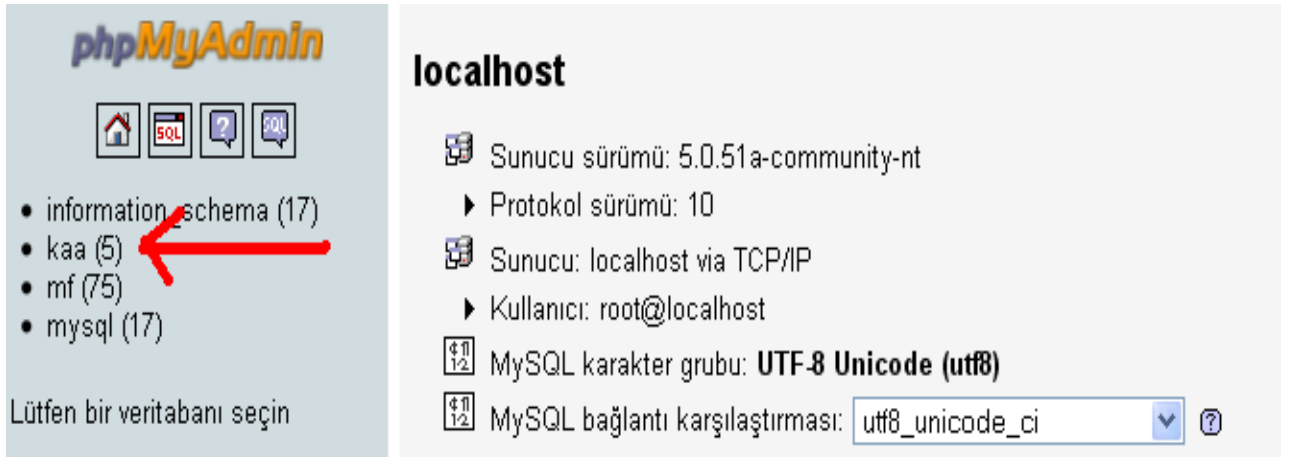


**Şekil 2.18.** Algılayıcıdan alınan verilerin metin dosyasında depolanması

Depolama işleminin ikinci adımını metin dosyasındaki verilerin veritabanına kaydedilmesi oluşturmaktadır. Veritabanı yönetim sistemi olarak açık kaynak kodlu olmasından dolayı MySql seçilmiştir. MySql’de “kaa” isimli bir veritabanı oluşturulmuş (bkz Şekil 2.19.) ve metin dosyasındaki verilerin tablolarda saklanabilmesi için PHP programlama dili kullanılarak oluşturulan ara yüz aracılığı ile aktarılmıştır. Gaz yoğunluğu olarak dönen değer olarak Bölüm 2.9.4.’deki denklemler kullanılarak metan, karbonmonoksit, izobutan, etanol ve hidrojen gazlarının her birinin yoğunlukları ayrı ayrı hesaplanmış ve veritabanına kaydedilmiştir. Bu işlemi şu şekilde

gerçekleşmiştir;

1. Veritabanına algılayıcıların isimleri ile tablolar oluşturulmuştur (rektorluk, orman, tip, spor, yurt)(bkz Şekil 2.20.).
2. Algılayıcının gönderdiği değerler kullanılarak metan, karbonmonoksit, izobutan, etanol ve hidrojen'in yoğunlukları hesaplanmış (Bölüm 2.9.4.'de elde edilen denklemler aracılığı ile) ve gönderilen zaman bilgisi ile birlikte bu değerler tablolara eklenmiştir. Örnek olarak "rektorluk" tablosu gösterilmiştir (bkz Şekil 2.21.).



Şekil 2.19. Veritabanı "kaa"



Şekil 2.20. "kaa"daki tablolar



	←T→	methan	karbonmonoksit	izobuton	etanol	hidrojen	time
☐ ✎ ✖		129	28.8	2	1.7	1.3	10:40:00
☐ ✎ ✖		132	29	1.95	1.76	1.32	10:50:00
☐ ✎ ✖		132	29	1.95	1.76	1.32	11:00:00
☐ ✎ ✖		129	28.8	2	1.7	1.3	11:10:00
☐ ✎ ✖		132	29	1.95	1.76	1.32	11:20:00
☐ ✎ ✖		132	28.8	1.95	1.76	1.32	11:30:00
☐ ✎ ✖		132	29	1.95	1.7	1.32	11:40:00
☐ ✎ ✖		132	29	1.95	1.7	1.32	11:50:00
☐ ✎ ✖		129	28.8	2	1.76	1.3	12:00:00
☐ ✎ ✖		132	29	1.95	1.7	1.32	12:10:00

Şekil 2.21. “rektorluk” tablosu

### 2.9.6. Algılayıcıdan Alınan Verilerin Ara yüz’e Aktarılması

Veritabanına alınan karbonmonoksit gazının yoğunluk bilgisi kullanıldı hava kirliliği derecesi hesaplandı. Hava kirliliğinin derecesi T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından açıklanan değerlerden elde edildi. Bu değerler Tablo 2.3.’de verilmiştir.

Derecesi	Karbonmonoksit ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Çok İyi	0,0 – 1,9
İyi	2,0 – 7,9
Yeterli	8,0 – 10,9
Orta	11,0 – 13,9
Kötü	14,0 – 39,9
Çok Kötü	> 40,0

Tablo 2.3. Karbonmonoksit Gazının Yoğunluk Derecesi [25]

Daha sonra veritabanındaki karbonmonoksit yoğunluğu ve Tablo 2.3.’deki değerler karşılaştırılarak havanın kirlilik derecesi hesaplandı. Bu işlemler için PHP programlama dili kullanıldı. Şekil 2.15.’deki “Düzce Üniversitesi Vaziyet Planı”nda belirli beş alanda havanın kirlilik derecesini göstermek için renkler belirlendi ve belirlene renkler web arayüzünde kullanıldı (bkz. Şekil 2.22).

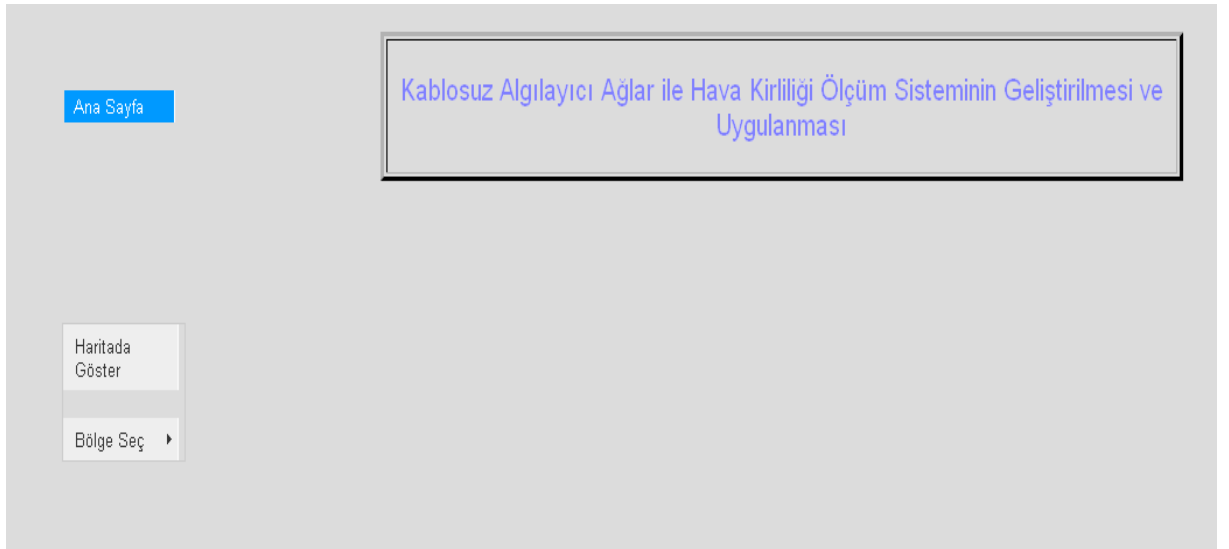


**Şekil 2.22.** Kirlilik Derecelerini Gösteren Renk Değerleri

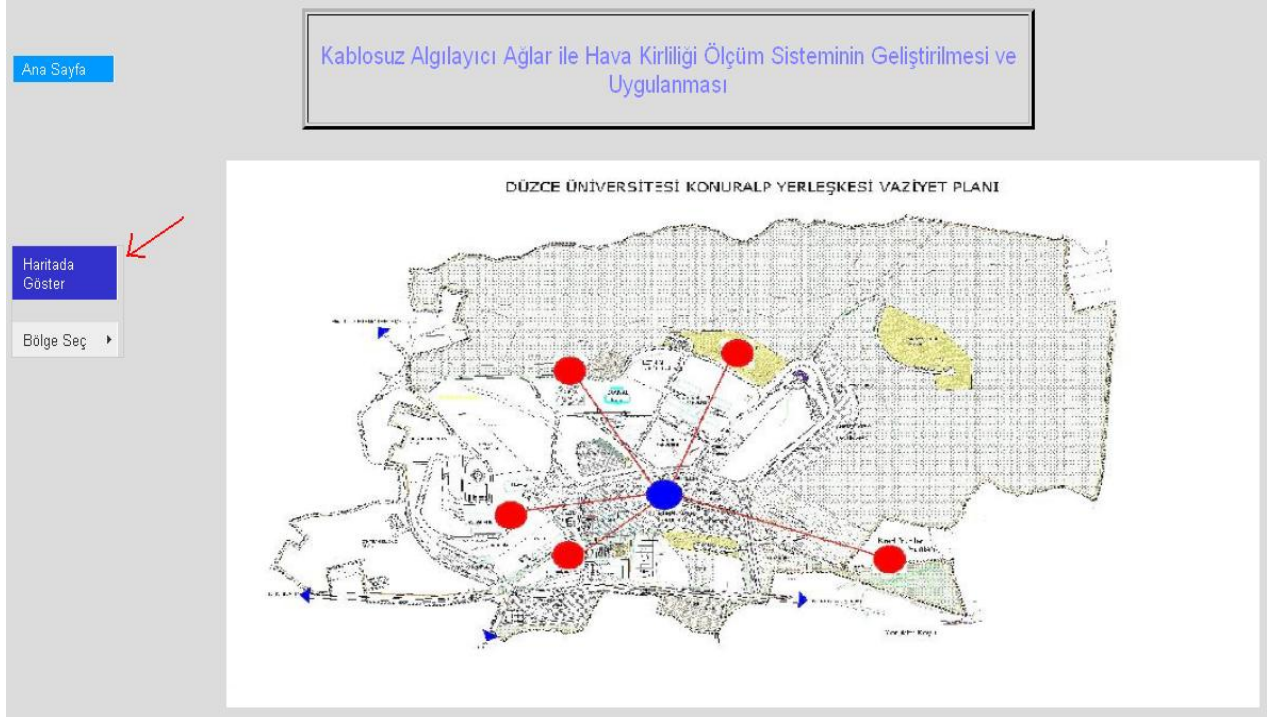


### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında KAA'lar Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesi'nde planlanan beş bölgeye yerleştirildikten sonra o bölgelerdeki metan (CH<sub>4</sub>), karbonmonoksit (CO), izobutan (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), etanol (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) ve hidrojen (H<sub>2</sub>) gazlarının yoğunluk değeri ölçüldü. Değerler HyperTerminal aracılığı ile depolandı ve daha sonra MySql'de "kaa" veritabanına aktarıldı. Aktarılan bu veriler karbon monoksit'in (CO) yoğunluğu, oluşturulan fonksiyonlar ve PHP programlama dili ile işlenerek havanın kirlilik derecesi hesaplandı ve oluşturulan arayüze aktarılarak sonuçlar görselleştirildi. Verilen arayüzde Şekil 3.1.' de "Haritada Göster" linkine tıklanıldığı zaman algılayıcıların yerleştirildiği beş farklı alan haritada gösterilecek ve bu alanlar her on dakikalık dilimde hava kirlilik derecesine göre bölüm 2.9.6.'da belirtilen renklere boyanacaktır (bkz. Şekil 3.2.).

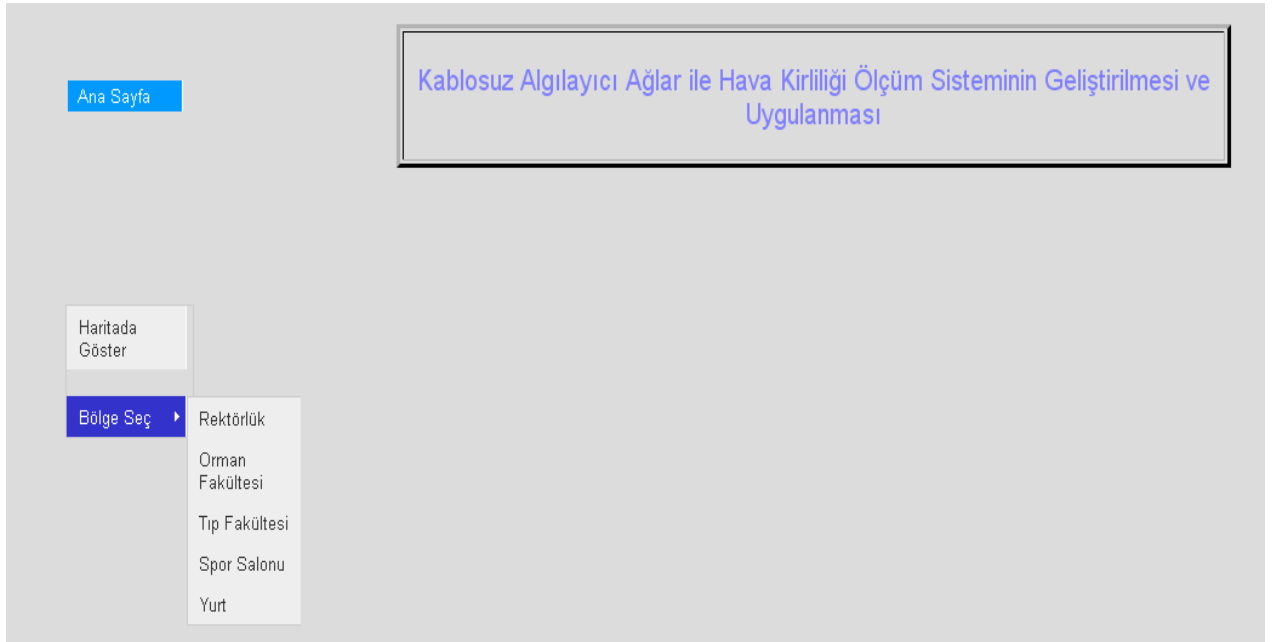


Şekil 3.1. Ana Sayfa



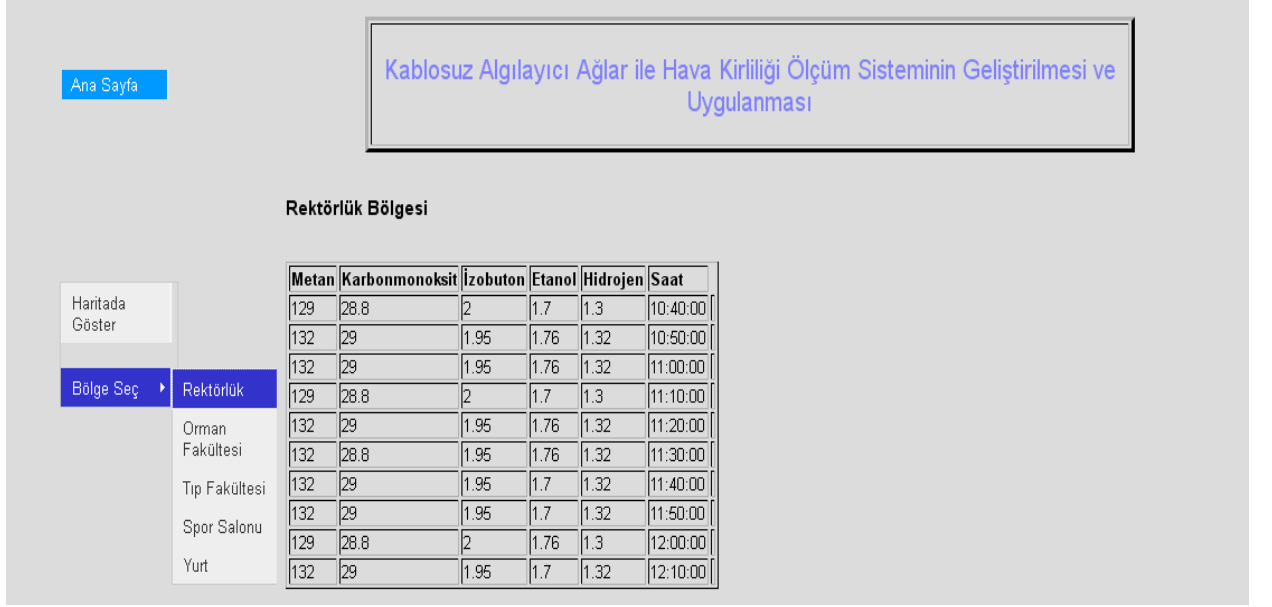
**Şekil 3.2.** Hava Kirlilik Derecesinin Haritadan İzlenmesi

Bölgeleri seç sekmesinin üzerine gelindiği zaman “Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesi”nde algılayıcıların yerleştirildiği beş bölgenin ismi görüntülenecektir (bkz. Şekil 3.3.).



**Şekil 3.3.** Algılayıcıların Yerleştirildiği Bölgeler

Rektörlük linkine tıklanarak “Rektörlük Bölgesi”ndeki metan (CH<sub>4</sub>), karbon monoksit (CO), izobutan (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), etanol (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) ve hidrojen (H<sub>2</sub>) gazlarının yoğunluk değerlerine ve yoğunluk değerlerinin ölçüldüğü zamana ulaşılabilir (bkz. Şekil 3.4.). Aynı şekilde “Orman Fakültesi Bölgesi”, “Tıp Fakültesi Bölgesi”, “Spor Salonu Bölgesi” ve “Yurt Bölgesi”ndeki gaz yoğunluk değerlerine ulaşılabilir.



Şekil 3.4. Rektörlük Bölgesindeki Gaz Yoğunluk Değerleri Görünümü

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, KAA'lar Düzce Üniversitesi Konuralp Kampüsü'nde hava kirliliğini ölçümünde kullanılmıştır. Hava kirlilik derecesi karbonmonoksit (CO) gazının yoğunluğu üzerinden hesaplanmıştır. KAA'ların doğruluk, güvenilirlik, esneklik, maliyet verimliliği ve kurulum kolaylığı özelliklerinden dolayı hava kirliliğinin ölçülmesi açısından diğer yöntemlere göre çok daha avantajlı ve verimli olduğu anlaşılmıştır.

Yoğunluğu ölçülen diğer gazlar (methan (CH<sub>4</sub>), izobutan (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), etanol (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) ve hidrojen (H<sub>2</sub>)) bu çalışmada değerlendirilmemiştir. Bu çalışmanın devamı olarak başka bu gazlara ait kirleticilik bilgilerinin görüntülenmesi çalışması yapılabilir. Farklı tür gazlara ait algılayıcılar kullanılarak değişik uygulamalar gerçekleştirilebilir. Örneğin konut ve siteler için doğalgaz kaçağı acil uyarı ve görüntüleme sistemi gibi. Bunun dışında, KAA'larda GSM modülü kullanılarak çok daha geniş alanlarda kablosuz ağ oluşturulabilir ve bilgi aktarımı gerçekleştirilebilir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan ZigBee protokolü ve GSM birlikte kullanılıp hibrit uygulamalar gerçekleştirilebilir.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] Akyildiz A., Su I.F., Sankarasubramaniam W., Cayirci E., A survey on sensor Networks, [IEEE Communications Magazine], vol.40, no.8, 2002, sy. 102–114.
- [2] Milenkovic A., Otto C, Jovanov E, Wireless sensor networks for personal health monitoring: Issues and an implementation, [Elsevier], 6 mart 2006.
- [3] Dilay Y., Soy H., Bayrak M., Hassas Tarımda Kablosuz Algılayıcı Ağların Kullanımı ve Uygulama Alanlarının İncelenmesi, [İğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der.], 2012, sy. 21-16.
- [4] Okçuoğlu Z., Ertürk İ., Karahan A., Kablosuz Algılayıcı Ağ Uygulaması: İdeal İzleme, *Yayınlanmamış Rapor (2008)*.
- [5] Zhu Y., Song J., Dong F., Applications of wireless sensor network in the agriculture environment monitoring, [Elsevier], 16, 2011, 608-614.
- [6] Othman M.F., Shazali K., Wireless Sensor Network Applications: A Study in Environment Monitoring System, [Elsevier], 41, 2012, 1204-1210.
- [7] Kalaycı T.E., Kablosuz Sensör Ağlar ve Uygulamaları, [Elektrik Mühendisleri Odası Yayınları],2 ,2009, 102-109.
- [8] Feng J., Koushanfar F., Potkonjak M., Handbook of Sensor Networks Compact Wireless and Wired Sensing Systems :Sensor Network Architecture, 12, 2009, 208-223.
- [9] Ceylan O., Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Yaşam Süresi Eniyilemesi için Veri işleme ve İletim Yöntemleri, Y.Lisans tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ağustos 2008.
- [10] Wang Q., Hassanein H., Xu K., A Practical Perspective on Wireless Sensor Networks, Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems, 2005.
- [11] Rahimi,M., Bear, R., Iroze, O. I., Garcia, J. C., Warrior, J., Estrin, D., Srivastava, M., Cyclops: In Situ Image Sensing and Interpretation in Wireless Sensor Networks, in Proc. 3rd International conference on Embedded networked sensor systems (SenSys), 2005, 192-204.

- [12] Kerhet,A., Mango,M., Leonardi,F., Boni,A., Benini,L., A low-power Wireless video sensor node for distributed object detection, *Journal of Real-Time Image Processing*, 2, 2007, 331-342.
- [13] Ergen S.C., Varaiya P., On Multi-hop Routing for Energy Efficiency, [*IEEE Communication Letters*], vol.9, no.10, 2005, 880-881.
- [14] Özçiloğlu M., Tavlı B., 3. Ağ ve Bilgi Güvenliği Ulusal Sempozyumu Bildirileri, 2010, 263-275.
- [15] Durukan-Odabaşı Ş., Tozan S., Kablosuz Algılayıcı Ağlar ve Güç Tüketiminin İncelenmesi, Akademik Bilişim'10 - XII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, Şubat 2010.
- [16] Zhou L., Haas Z., Securing ad hoc Networks, [*IEEE Network*], 13, 6, 1999, sayfa 24–30.
- [17] Perrig A., Szewczyk R., Tygar D., Wen V., Culler D., SPINS: security protocols for sensor Networks *Wireless Networks*, 8, . 5 , 2002, 521– 534.
- [18] Slijepcevic S., Wong J. L., Potkonjak M., Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems: Security and Privacy Protection in Wireless Sensor Networks, 2011.
- [19] Carman D.W., Krus P.S., Matt B.J., Constraints and approaches for distributed sensor network security, [Technical Report 00-010, NAI Labs, Network Associates, Inc., Glenwood], 2000.
- [20] Karlof C., Wagner D., Secure routing in wireless sensor networks: Attacks and countermeasures, [*Elsevier's Ad Hoc Network Journal, Special Issue on Sensor Network Applications and Protocols*], 2003, 293-315.
- [21] Shi E., Perrig A., Designing Secure Sensor Networks, Yayınlanmamış Rapor, (2011).
- [22] Perrig A., Szewczyk R., Wen V. , David Culler, J. D. Tygar, SPINS Security Protocols for Sensor Networks, 2, 2010, 151-157.
- [23] Anonim, <http://www.havaizleme.gov.tr/Default.ltr.aspx> (Erişim Tarihi: 4 Eylül 2012).
- [24] Yeşilyurt C., Akcan N., Hava Kaitesi İzleme Motodolojileri ve Örneklem

Kriterleri, T.C. Sağlık Bakanlığı Refik Saydam Hıfzıssıhha Merkezi Başkanlığı  
Çevre Sağlığı Araştırma M¼d¼rl¼ę¼, Ankara-T¼RKİYE, (2009).

[25] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Web Sitesi, Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı,  
<http://www.havaizleme.gov.tr/Default.ltr.aspx> (Erişim Tarihi: 1 Ekim 2012).

[26] Libelium Resmi Web Sitesi, [http://www.libelium.com/support/waspmote/waspmote-technical\\_guide\\_eng.pdf](http://www.libelium.com/support/waspmote/waspmote-technical_guide_eng.pdf) (Erişim Tarihi: 12 Haziran 2012)

## ÖZGEÇMİŞ

### ***Kişisel Bilgiler***

Soyadı, adı : ŞENTÜRK ARAFAT  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 20.08.1985 / ANKARA  
Telefon : (0507) 808 08 29  
Faks : (0380) 542 10 37  
E-posta : arafatsenturk@gmail.com

### ***Eğitim***

<b>Derece</b>	<b>Eğitim Birimi</b>	<b>Mezuniyet tarihi</b>
Lisans	Atılım Üniversitesi	2009
Lise	Yavuz Sultan Lisesi	2003

### ***İş Deneyimi***

<b>Yıl</b>	<b>Yer</b>	<b>Görev</b>
2011- ...	Düzce Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2010-2011	Düzce Atatürk Devlet Hastanesi	Sistem Yöneticisi

### ***Yabancı Dil***

İngilizce (ÜDS 57)  
(KPDS 55)

### ***Yayınlar***

1. Karapınar, Z.; Şentürk A.; Zavrak S.; Kara R.; Erdoğan P.; “A Game to Test Pointers: Path Finding” International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET), 2012 IEEE International Conference on Interactive Learning Modules, Istanbul, Turkey, 21-23 June 2012.
2. Karapınar, Z.; Zavrak S.; Şentürk A.; Kara R.; Erdoğan P.; “Binary Apple Tree: A Game Approach to Tree Traversal Algorithms” International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET), 2012 IEEE International Conference on Interactive Learning Modules, Istanbul, Turkey, 21-23



June 2012.