

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİNAMİK ORTAMLARDA ÖZDEŞ OLMAYAN
KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARI İÇİN HABERLEŞME
PROTOKOLÜ TASARIMI

Deniz DEMİRTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektronik Mühendisliği Programı

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Serkan KURT

Şubat, 2020

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİNAMİK ORTAMLARDA ÖZDEŞ OLMAYAN
KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARI İÇİN HABERLEŞME PROTOKOLÜ
TASARIMI

Deniz DEMİRTAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 13.02.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektronik Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğretim Üyesi Serkan KURT
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğretim Üyesi Serkan KURT, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Aysel ERSOY YILMAZ, Üye
İstanbul Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet SERBES, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Serkan KURT sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Dinamik Ortamlarda Özdeş Olmayan Kablosuz Algılayıcı Ağları İçin Haberleşme Protokolü Tasarımı başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Deniz DEMİRTAŞ

İmza



Biricik Anneme

ve

Eşime

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamın planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren Sayın hocam Dr. Öğretim Üyesi Serkan KURT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyen ve yüksek lisans yapmam için beni teşvik eden, beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren ve benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen bu hayattaki en büyük şansım olan canım annem Saadet EGE'ye sonsuz teşekkürler. Tez yazım süresi boyunca desteğini ve bana olan güvenini benden esirgemeyen hayatı paylaőtığım sevgili eşime tüm emekleri ve sabrı için çok teşekkür ederim.

Deniz DEMİRTAŞ

| | |
|---|-------------|
| KISALTMA LİSTESİ | viii |
| ŞEKİL LİSTESİ | ix |
| TABLO LİSTESİ | xi |
| ÖZET | xii |
| ABSTRACT | xiv |
| 1 Giriş | 1 |
| 1.1 Literatür Özeti | 1 |
| 1.2 Tezin Amacı | 3 |
| 1.3 Hipotez | 4 |
| 2 Kablosuz Algılayıcı Ağları | 5 |
| 2.1 Kablosuz Algılayıcı Ağları | 5 |
| 2.1.1 Kablosuz Algılayıcı Ağları Özellikleri | 7 |
| 2.2 Kablosuz Algılayıcı Ağlarının Gelişimi | 8 |
| 2.2.1 WINS | 9 |
| 2.2.2 Motes Ailesi | 9 |
| 2.2.3 Medusa | 11 |
| 2.2.4 PicoRadio..... | 12 |
| 2.3 Kablosuz Algılayıcı Ağlarının Kullanım Alanları | 13 |
| 2.4 Kablosuz Algılayıcı Düğümlerinin Yapısı | 14 |
| 2.4.1 Algılama Ünitesi..... | 15 |
| 2.4.2 Merkezi İşlem Ünitesi | 15 |
| 2.4.3 İletişim Ünitesi | 16 |
| 2.4.4 Bellek Ünitesi..... | 16 |
| 2.4.5 Güç Ünitesi | 17 |
| 2.5 Kablosuz Algılayıcı Düğümlerinin Kısıtları | 17 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.5.1 | Enerji | 18 |
| 2.5.2 | Hafıza | 18 |
| 2.5.3 | Anten | 19 |
| 2.5.4 | İşlemci | 21 |
| 2.6 | Kablosuz Algılayıcı Ağları İletişim Standartları | 22 |
| 2.6.1 | ZigBee IEEE 802.15.4 | 22 |
| 2.6.2 | IEEE 802.15.1&2 /Bluetooth | 23 |
| 2.6.3 | WirelessHART | 24 |
| 2.7 | Kablosuz Algılayıcı Ağ Mimarisi | 25 |
| 2.7.1 | Yıldız Ağ | 25 |
| 2.7.2 | Örgüsel Ağ | 26 |
| 2.7.3 | Yıldız-Örgüsel Hibrit Ağ | 27 |
| 3 | Yönlendirme Protokolleri | 28 |
| 3.1 | Yönlendirme Protokolü | 28 |
| 3.2 | Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Yönlendirme Protokolü Tasarım Zorlukları | 29 |
| 3.2.1 | Enerji Verimliliği | 29 |
| 3.2.2 | Karmaşıklık | 29 |
| 3.2.3 | Ölçeklendirilebilirlik | 30 |
| 3.2.4 | Gecikme | 30 |
| 3.2.5 | Dayanıklılık | 30 |
| 3.2.6 | Veri İletimi ve İletim Modeli | 30 |
| 3.2.7 | Algılayıcıların Konumu | 31 |
| 3.3 | Yönlendirme Protokollerinin Sınıflandırılması | 31 |
| 3.3.1 | Veri Merkezli Yönlendirme Protokolü | 31 |
| 3.3.2 | Hiyerarşik Yönlendirme Protokolü | 34 |
| 3.3.3 | Konum Bazlı Yönlendirme Protokolü | 37 |
| 3.3.4 | QoS Odaklı Yönlendirme Protokolü | 38 |
| 4 | Geliştirilen Yöntem | 39 |
| 4.1 | Kablosuz Algılayıcı Ağları İçin Tasarlanan Yönlendirme Protokolü | 39 |
| 4.1.1 | Yayın Algoritması | 42 |

| | |
|--|-----------|
| 4.1.2 Seçim ve Yönlendirme Algoritması | 47 |
| 4.2 Tasarlanan Sistemin Uygulanması | 49 |
| 5 Sonuç ve Öneriler | 55 |
| Kaynakça | 57 |
| Tezden Üretilmiş Yayınlar | 61 |



KISALTMA LİSTESİ

| | |
|---------|---|
| ADSID | Air Delivered Seismic Intrusion Detector |
| AWACS | Airborne Warning and Control System |
| CEC | Cooperative Engagement Capability |
| DD | Directed Diffusion |
| GEAR | Geographical and Energy Aware Routing |
| IoT | Internet of Things |
| IUSS | Integrated Undersea Surveillance System |
| KAA | Kablosuz Algılayıcı Ağ |
| LEACH | Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy |
| MAC | Media Access Control |
| PEGASIS | Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems |
| QoS | Quality of Service |
| RAM | Random Access Memory |
| SOSUS | Sound Surveillance System |
| SPIN | Sensor Protocol For Information Via Negotiation |
| UCLA | University of California |

ŞEKİL LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Şekil 2.1 Kablosuz Algılayıcı Ağ Yapısı | 6 |
| Şekil 2.2 WINS Düğümü, Rockwell Bilim Merkezi..... | 9 |
| Şekil 2.3 MOTES Düğümleri, Berkeley | 10 |
| Şekil 2.4 Medusa Algılayıcı Düğümü, UCLA | 12 |
| Şekil 2.5 PicoBeacon Düğümü, Berkeley..... | 12 |
| Şekil 2.6 Kablosuz Algılayıcı Ağlarının Kullanım Alanları..... | 13 |
| Şekil 2.7 Kablosuz Algılayıcı Düğümü Yapısı | 15 |
| Şekil 2.8 Anten Işıma Modeli | 20 |
| Şekil 2.9 IFA Antenlerinin Genel Yapısı..... | 20 |
| Şekil 2.10 WirelessHART Ağ Örneği..... | 25 |
| Şekil 2.11 Yıldız Ağ Mimarisi..... | 26 |
| Şekil 2.12 Örgüsel Ağ Mimarisi | 26 |
| Şekil 2.13 Yıldız-Örgüsel Hibrit Ağ Mimarisi | 27 |
| Şekil 3.1 Kablosuz Algılayıcı Ağ Yönlendirme Protokolü Sınıfları | 31 |
| Şekil 3.2 SPIN Protokolü | 33 |
| Şekil 3.3 DD Protokolü..... | 34 |
| Şekil 3.4 Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Tipik Bir Kümeleme Yapısı | 35 |
| Şekil 3.5 PEGASIS Zincir Modeli | 36 |
| Şekil 3.6 GEAR Özyinelemeli Coğrafi Yönlendirme Modeli | 37 |
| Şekil 4.1 Tasarlanan Haberleşme Algoritmasının Akış Şeması..... | 41 |
| Şekil 4.2 Baz İstasyonunun Yaptığı Yayın..... | 42 |
| Şekil 4.3 Tasarlanan Sistemde Baz İstasyonuyla Doğrudan Haberleşebilen Algılayıcılar | 43 |
| Şekil 4.4 Tasarlanan Sistemde $j=1$ Katmanlı Algılayıcılarının Yaptığı Yayın | 44 |
| Şekil 4.5 Tasarlanan Sistemde $j=1$ Katmanlı Algılayıcılarla Haberleşen Algılayıcılar, $j=2$ Katmanlı Algılayıcılar | 45 |
| Şekil 4.6 Tasarlanan Sistemde $j=2$ Katmanlı Algılayıcılarının Yaptığı Yayın | 45 |
| Şekil 4.7 Tasarlanan Sistemde $j=2$ Katmanlı Algılayıcılarla Haberleşen Algılayıcılar, $j=3$ Katmanlı Algılayıcılar | 46 |
| Şekil 4.8 Tasarlanan Sistemde Veri Yönlendirme | 48 |

| | |
|---|----|
| Şekil 4.9 MATLAB Simülasyonunda Algılayıcıların Ağ Alanına Rastgele Dağıtılması | 51 |
| Şekil 4.10 Tasarlanan Sisteme Göre S1 İndisini Alan Algılayıcılar | 52 |
| Şekil 4.11 Tasarlanan Sisteme Göre S2 İndisini Alan Algılayıcılar | 52 |
| Şekil 4.12 S2 Algılayıcısının Hangi S1 Üzerinden Baz İstasyonu ile Haberleşeceği Gösterimi | 53 |
| Şekil 4.13 Ağda Bulunan Algılayıcıların Tamamının İndislenmesi | 54 |



TABLO LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Tablo 2.1 Üç Tip Kısa Mesafe Antenin Karşılaştırılması..... | 19 |
| Tablo 2.2 Mevcut Bazı Mikrodenetleyicilere Ait İşlemci Parametrelerinin ve Metriklerinin Karşılaştırılması..... | 22 |
| Tablo 2.3 IEEE 802.15.4 Radyo Frekansları ve Veri Aktarım Hızları | 23 |
| Tablo 2.4 Bluetooth Fiziksel Özellikleri | 24 |
| Tablo 4.1 MATLAB Simülasyonunda Kullanılan Parametreler ve Değerleri..... | 50 |



Dinamik Ortamlarda Özdeş Olmayan Kablosuz Algılayıcı Ağları İçin Haberleşme Protokolü Tasarımı

Deniz DEMİRTAŞ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Serkan KURT

Günümüzde haberleşme ve batarya teknolojilerinin gelişmesi, donanımsal tasarımların boyutlarının küçülmesi kablosuz algılayıcı ağlarının uygulama alanlarının artmasına neden olmuştur. Bu teknoloji günlük yaşantımızda, düşük güç ihtiyacı, hızlı dağıtım ve kendini çabuk organize etme özellikleri nedeniyle, askeri, sağlık, tarım, enerji, akıllı otomasyon sistemleri, ekosistem izleme gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Kablolu algılayıcı ağları ve ad-hoc ağların uygulama ve bakım maliyetlerinin yüksek ve genişleyen yapı entegrasyonunun zor olması gibi sebeplerinden dolayı, bunların yerine günümüzde kablosuz algılayıcı ağları ciddi avantajları nedeniyle tercih edilmektedir. Ancak kablosuz algılayıcı ağlarının da tasarım ve haberleşme protokolleri bakımından zayıf olduğu noktalar vardır. Algılayıcıların boyutlarının küçük olmaları, üzerlerinde kablosuz haberleşme için tasarlanan antenin mesafesi ve enerji ihtiyaçları kablosuz algılayıcı ağlarında araştırma konusu olmuştur. Geleneksel kablosuz algılayıcı ağlarında genellikle özdeş algılayıcılar ve aynı tip algılayıcılar için çeşitli haberleşme ve enerji optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır. Günümüzde mobil algılayıcılardan oluşan dinamik kablosuz algılayıcı ağları vardır. Ancak dinamik yapıya farklı iletim

mesafesine sahip başka bir algılayıcı eklenmek istendiğinde geleneksel haberleşme algoritmaları yetersiz kalmaktadır. Bu temel sebeplerle de hem dinamik olan, hem de özdeş olmayan sistemlerde uygulanabilecek bir haberleşme algoritması ihtiyacı doğmaktadır.

Bu araştırmada aynı sınıfta ancak farklı iletim mesafesindeki algılayıcılar (örneğin sıcaklık algılayıcı) ile oluşturulmuş kablosuz algılayıcı ağ yapılarında farklı tip algılayıcı olma durumu ve yeni algılayıcı eklendiğinde haberleşmelerinin nasıl olabileceği üzerine yeni bir haberleşme protokolü tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemde algılayıcı düğümlerinin dinamik yani hareketli olma durumu da göz önüne alınıp, algoritmanın dinamik kablosuz algılayıcı ağları üzerinde de kullanılabileceği ve avantajları gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz algılayıcı ağları, özdeş olmayan kablosuz algılayıcı ağları, hareketli kablosuz algılayıcı ağları, yönlendirme protokolü

Communication Protocol Design with Non-Identical Wireless Sensor Networks in Dynamic Environments

Deniz DEMİRTAŞ

Department of Electronics and Communications Engineering

Master Thesis

Advisor: Dr. Serkan KURT

Today, the development of high-speed wireless communication and battery technologies, the reduction of computer dimensions and the advancement of sensor technology has led to an increase in the application areas in the field of wireless sensor networks. Wireless sensor networks are used to monitor physical and environmental conditions such as humidity, temperature, acceleration, vibration, pressure, motion, pollution and location according to the type of sensor used. This technology is used in many fields such as military, health, agriculture, energy, intelligent automation systems, ecosystem monitoring in our daily life due to its low power requirement, rapid distribution and self-organizing capabilities. Wireless sensor networks are preferred in different fields today due to the high cost of application and maintenance of wired sensor networks and ad-hoc networks which have the challenge of integrating an expanding structure. However, wireless sensor networks are also weak in design and communication protocols. The small size of the sensor structures, the distance of the antenna designed for wireless communication and the energy requirements have been the subject of research in

wireless sensor networks. Conventional wireless sensor networks often use a variety of communication and energy optimization algorithms for identical sensors and the same type of sensors. As the sensor technology and the used transmission distance of antennas evolve, also conventional wireless sensor networks are improved. Today, there are dynamic wireless sensor networks consisting of mobile sensors. However, when another sensor with different transmission distance is used in the dynamic structure, traditional communication algorithms are inadequate. For these basic reasons, there is a need for a communication algorithm that can be integrated into both dynamic and non-identical systems.

In this research, a new communication protocol has been designed on non-identical sensors which have different transmission distance in wireless sensor network structures and how they can communicate when a new sensor is added. Considering the dynamic (mobile) state of the sensor nodes in the designed system, it is showed that the algorithm can also be used on dynamic wireless sensor networks.

Keywords: Wireless sensor network, non-identical wireless sensor network, dynamic wireless sensor, routing protocol

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde Kablosuz Algılayıcı Ağları pek çok gözetim, takip, ev otomasyonu, endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Kullanılan teknolojilerin gelişmesi ve uygulama alanının çeşitli olması ağ yapısını geliştirmek için pek çok çalışmayı beraberinde getirmiştir. Bu çalışma alanları arasında kablosuz algılayıcı ağlar için çok sayıda yönlendirme protokolü çalışmaları da vardır. Yönlendirme protokolü, ağda bulunan algılayıcıların birbirleriyle nasıl iletişim kuracağını ve veriyi baz istasyonuna hangi yoldan ileteceğini belirler. Literatürde incelenen yönlendirme protokollerini veri merkezli, hiyerarşik yönlendirme, coğrafi yönlendirme ve servis kalitesi odaklı yönlendirme protokolü olarak temel olarak dört başlıkta sınıflayabiliriz.

Heinzelman ve ark. 1999 yılında hangi düğümlerin hangi verileri iletmesi gerektiğini müzakere etmek için veri adlarının kullanılması gerektiğini önerir. Bunun için “Görüşme Tabanlı Algılayıcı Protokolü- Sensor Protocol For Information Via Negotiation” olarak bilinen SPIN algoritmasını geliştirmişlerdir. SPIN algoritmasında “metadata” denilen verilerin özelliklerini içeren bir bölüm bulunur. SPIN algoritması ilk veri merkezli yönlendirme protokolü olarak literatürde geçmektedir [1].

Chalermek Intanagonwiwat ve ark. 2003 yılında kablosuz algılayıcı ağlarının enerji verimliliğine odaklanan veri merkezli yönlendirme protokolü olan “Doğrudan Yayılma- Directed Diffusion” algoritmasını geliştirmişlerdir [2]. Bu yönlendirme protokolünde, baz istasyonu ağdaki düğümlere istediği bilgi için yayın yapar ve sorguya cevap verecek düğümler sorgu sonucunu baz istasyonuna iletmek için en uygun yolu belirler [2].

Heinzelman ve ark. 2000 yılında ağdaki enerji verimliliğini arttırabilmek için kümetabanlı bir yönlendirme protokolü olan “Düşük Enerjili Adaptif kümeleme Hiyerarşisi - Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy” yönlendirme protokolünü sunmuştur. Ağdaki tüm algılayıcıların homojen olduğu ve sınırlı enerjiye sahip olduğu koşulu vardır [3]. Ağda bulunan tüm algılayıcı düğümler baz istasyonu ile haberleşemez. Rastgele seçilen küme başı elemanları ile baz istasyonuna veri gönderimi yapılmaktadır. Bu nedenle LEACH algoritması hiyerarşik yönlendirme kategorisinde sınıflandırılmıştır [4, 5].

S. Lindsey ve ark. 2002 yılında başka bir hiyerarşik yönlendirme protokolü olan “Enerji Verimli Algılayıcı Bilgi Sistemi - Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems” protokolünü geliştirmiştir. Bu protokol de LEACH protokolünde olduğu gibi ağdaki enerji verimliliğini arttırmak için geliştirilmiştir. Ancak LEACH protokolünden farklı olarak küme oluşturmaz, bunun yerine ağdaki düğümler sıralanmış durumdadır [6].

Y. Yu ve ark. 2001 yılında enerjiyi daha verimli kullanabilmek için kablosuz algılayıcı ağında konumları belirli olan düğümler için “Coğrafik ve Enerji Bilinçli Yönlendirme – Geographical and Energy Aware Routing” protokolünü sunmuştur. Algılanacak bölgenin bilinmesi durumunda sadece o bölgeye sorgu gönderilerek diğer düğümlerin boşuna enerji harcamasının önüne geçilmiş olmaktadır [7,8]. GEAR protokolü coğrafi yönlendirme protokolü kategorisinde sınıflandırılmıştır.

Kablosuz algılayıcı ağlarında yönlendirme protokollerinin çoğu yapılan sınıflandırmaya uysalar da bazı yönlendirme protokolleri servis kalitesi (QoS – Quality of Service) gibi farklı yaklaşımlar izleyebilmektedir [9].

R. Asokan ve ark. 2008 yılında gecikme ve enerji servis kalitesi metriklerini kullanarak QoS tabanlı yönlendirme protokolünü sunmuşlardır [10].

Q. Xue ve ark. 2003 yılında band genişliği ve gecikme servis kalitesi metriklerini kullanarak QoS tabanlı yönlendirme protokolünü geliştirmişlerdir [11].

L. Sanchez-Miquel ve ark. 2005 yılında gecikme ve enerji servis kalitesi metriklerini kullanarak QoS tabanlı yönlendirme protokolünü geliştirmişlerdir [12].

S. J. Lee and M. Gerla 2001 yılında gecikme ve çoklu yol (multipath) servis kalitesi metriklerini kullanarak QoS tabanlı yönlendirme protokolünü sunmuşlardır [13].

J. Boshoff and A. Helberg 2008 yılında gecikme ve çoklu yol (multipath) servis kalitesi metriklerini kullanarak QoS tabanlı yönlendirme protokolünü sunmuşlardır [14].

1.2 Tezin Amacı

Algılayıcı ve dönüştürücülerin çeşitlerinin artması, kablosuz iletişim teknolojisinin gelişmesi ile birlikte Kablosuz Algılayıcı Ağları uygulamaları artmıştır. Daha küçük ve fazla sayıda algılayıcı, haberleşme mesafesinin yüksek ve enerji verimliliğinin düşük olması yapılan uygulamalarda Kablosuz Algılayıcı Ağlarından beklenen ölçütler olmuştur. Ancak algılayıcıların boyutlarının küçülmesi, algılayıcı üzerinde bulunan antenin de boyutunun küçülmesi anlamına gelmektedir. Bu nedenle iletim mesafesi de doğrudan etkilenmektedir. Haberleşmeyi etkin kılmak ve ağ ömrünü uzatmak için veri yönlendirmesi konusunda pek çok çalışmalar yapılmıştır. Literatür taramasında Kablosuz Algılayıcı Ağları için geliştirilen yönlendirme protokolleri incelenmiştir. Geliştirilen yönlendirme protokollerinde ağ yapısının özdeş algılayıcılardan ve enerji seviyelerinden oluşturulduğu tespit edilmiştir. Ayrıca uygulama alanının algılayıcıların yerlerini değiştirebileceği ve algılayıcıların konumlarının değişimi nedeniyle veri iletiminin nasıl olabileceğine dair bir çalışmaya rastlanmamıştır. Örneğin çevresel izleme sistemleri için kullanılan ve okyanus ortamına yerleştirilen kablosuz algılayıcı ağ uygulamasında, okyanus akıntıları nedeniyle algılayıcı düğümlerin konumu sabit kalmayacaktır. Bu temel sebeplerle algılayıcı ve batarya teknolojilerinin gelişmesi nedeniyle kablosuz ağ uygulamalarında özdeş olmayan algılayıcıların bulunması, bu algılayıcıların da ortam koşulları nedeniyle konumları değişse bile ortam verilerini iletebilecek bir haberleşme protokolü ihtiyacı olduğu düşünülmüştür. Bu tez çalışmasında da farklı iletim mesafelerine sahip özdeş olmayan kablosuz algılayıcı düğümleri kullanılarak bir haberleşme protokolü tasarlanmıştır. Tasarlanan protokol ile ortam koşulları nedeniyle kablosuz algılayıcıların yerleri değişse de iletişimin kesilmemesi planlanmıştır. Algılayıcı düğümler üzerinde bulunan antenin boyutlarının da küçük

olması nedeniyle iletim mesafesinden maksimum derecede faydalanmak amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Yapılan çalışmada farklı iletim mesafelerine sahip özdeş olmayan kablosuz algılayıcılar ile oluşturulan ağda algılayıcıların anten iletim mesafelerinden maksimum seviyede faydalanarak, ortam koşulları değişse bile iletişimin kesilmemesi için yeni bir yönlendirme protokolü tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem ile kablosuz algılayıcı ağlarında özdeş olmayan algılayıcıların haberleşmesi sağlanacak ve özdeş algılayıcı kullanımı bağımlılığı ortadan kalkacaktır. Ayrıca dinamik ortamlarda da algılayıcı düğümler ile iletişim kesilmeyeceği için algılanan verinin doğruluğu artmış olacaktır.

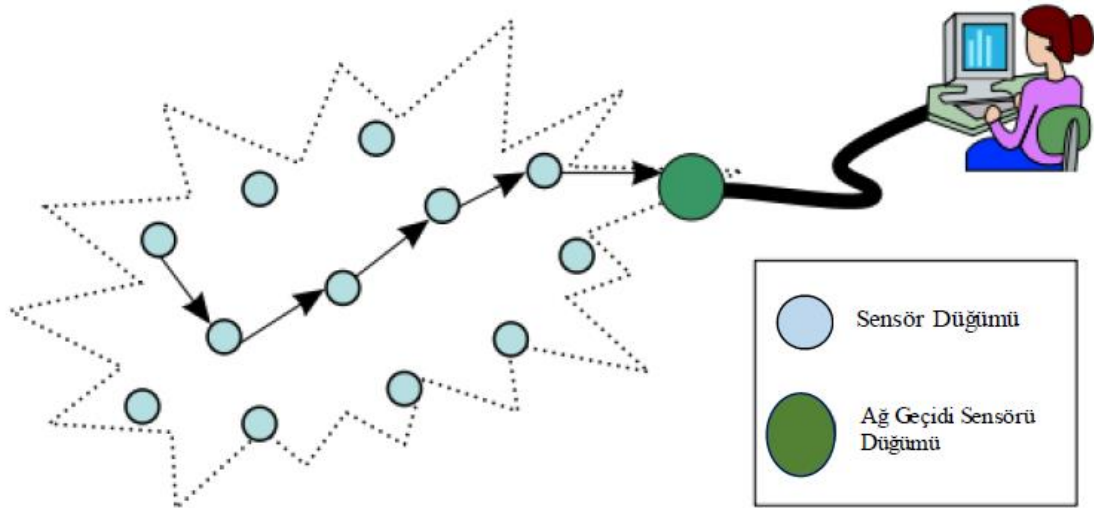
2.1 Kablosuz Algılayıcı Ağları

Günümüzde pek çok alanda algılayıcı ve dönüştürücüler ile oluşturulan ağlar kullanılmaktadır, ancak yüksek hızlı kablosuz iletişim teknolojilerinin gelişmesi, bilgisayar boyutlarının küçülmesi ve algılayıcı teknolojisinin ilerlemesi, algılayıcı ağlarını kablosuz yapıya doğru evirmiştir. Kablosuz algılayıcı ağları günümüzde pek çok araştırma ve uygulama alanı açmış, çevresel şartları gözlemlemek, takip etmek ve ortam verisini algılayarak iletilmesini sağlamak için yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır [15].

Kablolu algılayıcı ağları ve ad-hoc ağların uygulama ve bakım maliyetlerinin çok olmaları, genişleyen bir yapı entegrasyonunun zor olmaları gibi sebeplerden dolayı günümüzde farklı alanlarda kablosuz algılayıcı ağları tercih edilmektedir. Ad hoc ağları, birbiriyle doğrudan iletişim kuran ayrı cihazlardan oluşan ağdır. Ad-hoc algılayıcı ağlarında merkezi bir yönetime ya da desteğe ihtiyaç duyulmaksızın geçici bir ağ oluşturan algılayıcılar tarafından oluşturulan bir ağdır. Ad hoc ağlarında sabit bir altyapı ihtiyacı bulunmaz. Ağda bulunan algılayıcılar birbirleriyle genellikle kablosuz radyo frekansı (RF) ile multi hop haberleşirler. Ağdaki tüm algılayıcılar yönlendirici görevindedir ve komşu düğümlere veri iletimini sağlarlar. Ad hoc ağlarında sabit olmayan altyapı nedeniyle ağda bulunan algılayıcıların değişimlerini takip edilmelidir. Bu durum algılayıcıların hata toleransından ve ölü veya kayıp düğümlerin yerlerini tutmak veya ağ alanını genişletmek için gereklidir. Ad hoc ağlarında bulunan algılayıcı düğümlerin hata toleransı ve geniş alanlarda doğru sonuç verme gibi nedenler ile kablosuz algılayıcı ağları daha avantajlıdır. Ayrıca kablosuz algılayıcı ağlarında internet, geniş alan ağlar gibi başka ağlar ile bağlantı kurması uzaktan erişim olasılığını da artırır. Böylelikle insan müdahalesi ve yönetimi de azaltılmış olur.

Kablosuz algılayıcı ağı teknolojisi günlük yaşantımızda, düşük güç ihtiyacı, hızlı dağıtım ve kendini çabuk organize etme özellikleri nedeniyle, askeri, sağlık, tarım, enerji, akıllı otomasyon sistemleri, ekosistem izleme gibi pek çok alanda kullanılmaktadır [16]. Ancak kablosuz algılayıcı ağlarının da tasarım ve haberleşme protokolleri bakımından zayıf olduğu noktalar vardır. Algılayıcı yapılarının küçük olmaları, üzerlerinde kablosuz haberleşme için tasarlanan antenin mesafesi ve enerji ihtiyaçları kablosuz algılayıcı ağlarında araştırma konusu olmuştur [17].

Kablosuz algılayıcı ağları kullanılan algılayıcı çeşitlerine göre; nem, sıcaklık, ivme, titreşim, basınç, hareket, kirlilik ve konum gibi fiziksel ve çevresel koşulları izlemek için kullanılmaktadır. Kablosuz algılayıcı ağları, birbirlerine kablosuz olarak bağlı, birbirleriyle bilgi alışverişi yapan sayısı yüzlerce ve hatta bazı uygulamalarda binlerce olabilen algılayıcı düğümlerinden oluşur. Kablosuz algılayıcıların algıladığı bu veriler iletim yolu ile bir ağ geçidi üzerinden iletilir. Bu dağıtılmış ve ağa bağlı algılayıcılar, bir algılama ağı oluşturmak için işbirliği içinde çalışırlar ve bilgiye her zaman diliminde ve her yerden kolayca ulaşılmasını sağlarlar. Kablosuz algılayıcı ağının yapısı Şekil 2.1' de gösterilmiştir.



Geleneksel algılayıcılar, kablosuz algılayıcı ağlarında kullanılan algılayıcı düğümlerinden pek çok nokta bakımından farklılık gösterirler. Bunlardan bazıları;

- Geleneksel algılayıcılar rastgele bir şekilde dağıtılmazlar ve genelde belirli bir alanın, nesnenin çevresine ya da içine yerleştirilirler. Ancak kablosuz algılayıcı ağlarında yüzlerce hatta binlerce algılayıcının dağıtılmasıyla çok geniş alanların kapsanması sağlanabilir.
- Geleneksel algılayıcılar da kablosuz algılayıcı ağları gibi kablosuz olarak çalışabilmektedir ancak kablosuz algılayıcılardan farklı olarak ortamdan algıladıkları verileri doğrudan bir merkeze, görüntüleme birimine veya bir depolama birimine aktarırlar.
- Geleneksel algılayıcıların sayıları kablosuz algılayıcı düğümleri kadar çok değildir çoğu uygulamada bir kaç tane bulunur.
- Geleneksel algılayıcılar yapıları itibariyle çok fazla işlem gücü gerektiren ve karmaşık işlemler yapabilirler. Kablosuz algılayıcı ağlarındaki gibi kablosuz iletişim kurabilirlerse de yüksek güç gereksinimleri nedeniyle güçlerini batarya ya da akülerden karşılayamazlar.

Yukarıdaki farklılıklar göz önüne alındığında geleneksel algılayıcılar ile algılayıcı düğümleri, temelde ortam verisini algılama işlemi yaparlar ancak kablosuz algılayıcı ağları ve bu ağ yapısı için üretilen algılayıcı düğümlerinin geleneksel algılayıcılardan tamamen farklı ve yeni bir teknoloji ürünü olduğu söylenebilir.

2.1.1 Kablosuz Algılayıcı Ağları Özellikleri

Kablosuz algılayıcı ağları farklı kullanım alanlarında tercih edilmektedir. Kablosuz algılayıcı ağlarının tercih edilmesinin nedeni aşağıdaki özelliklere sahip olmasıdır.

- Esneklik
- Doğruluk
- Güvenilirlik
- Kolay kurulum
- Maliyet verimliliği

- Düşük güç tüketimi

Kablosuz algılayıcı ağları neredeyse tüm çevresel ortamlarda ve yapısal kablolanmanın yapılmasının pek mümkün olmadığı çevresel koşullarda uygulanabilir. Aynı zamanda ormanlık alanlar, okyanuslar, atmosfer dışı gibi insan yaşamını tehlikeye sokabilecek yerlerde de kullanılabilir.

2.2 Kablosuz Algılayıcı Ağlarının Gelişimi

İnsanların fiziksel dünyayı gözlemlemesi algılamamanın uzun bir geçmişi vardır. Birçok teknolojiye olduğu gibi, algılayıcı ağlarının geliştirilmesi büyük ölçüde savunma uygulamaları ve araştırmaları nedeniyle başlamıştır. 1950'li yıllarda su altı tehditlerini tespit edebilmek ve bulmak için Atlantik ve Pasifik okyanuslarında akustik algılayıcılar ile oluşturulan Ses Gözetleme Sistemi (SOSUS) adı verilen sistem kullanılmaya başlandı. Son zamanlarda SOSUS sisteminin yerini daha karmaşık yapıda bulunan Entegre Denizaltı Gözlem Sistemi (IUSS) almıştır. Hava savunmasında için de hava savunma radar ağları savunma uygulamalarında uzun menzilli kablosuz algılayıcı ağlarına örnek olarak gösterilebilir. Hem yer tabanlı radar sistemleri hem de Havadan Uyarı ve Kontrol Sistemi (AWACS) uçakları, tüm hava koşullarını gözlem, komut, kontrol ve iletişim sağlama için kablosuz algılayıcı ağlarına entegre edilmiştir. 1980 ve 1990'lı yıllarda Kooperatif Katılım Yeteneği (CEC) sistemi, savaş alanlarının tutarlı görünümünü elde etmek ve radarlar tarafından toplanan bilgilerin tüm sistemde paylaşılmasını sağlamak için askeri algılayıcı ağı olarak geliştirilmiştir. Geliştirilen diğer bir kablosuz algılayıcı sistem ise hassas sismometreler ile tasarlanmış ortamdaki hareketi algılamak için Amerikan Hava Kuvvetleri tarafından Vietnam savaşı sırasında kullanılan Air Delivered Seismic Intrusion Detector (ADSID) sistemidir [18].

1990'ların sonlarından günümüze kadar algılayıcı teknolojisinin gelişmesi ticari uygulamaların da önünü açmış ve kablosuz algılayıcı ağları ticari amaçlarla da kullanılmaya başlanmıştır.

2.2.1. WINS – University of California, Los Angeles

1996 yılında Rockwell Bilim Merkezi ve UCLA düşük güç ile çalışan kablosuz mikro algılayıcılar (LWIMs) üretmeye başlamıştır. LWIM'ler, çoklu algılayıcıları, elektronik arayüzleri, kontrolü ve iletişimi tek bir cihaza entegre etme yeteneğini göstermiştir. LWIM, 1 mW verici kullanarak 10 metrelik bir mesafeden 100 Kbps'den fazla kablosuz iletişimi sağlamıştır. 1998'de, aynı ekip Kablosuz Tümlşik Ağ Algılayıcıları (WINS) adı verilen ikinci nesil bir algılayıcı düğümü geliştirdi. WINS algılayıcı düğümü ticari amaçla üretilmiştir. WINS algılayıcı düğümünde, Intel Strong ARM SA1100 işlemci, 1 ile 100mW arasında değişebilen ve ayarlanabilen güç tüketimine, kablosuz iletişi için radyo ve algılayıcı kartı bulunuyordu. Algılayıcı üzerindeki Intel işlemci 32 bitlik, 1 MB SRAM'e ve 4 MB flash belleğe sahipti. Algılayıcı düğümdeki radyo kartı 100Kbps iletişim hızını destekliyordu. WINS algılayıcı düğümünde bulunan işlemcisinin aktif güç tüketimi seviyesi 200mW ve uyku halindeki pasif güç tüketimi değeri 0.8mW seviyelerindeydi [18].



a)WINS işlemci kartı



b)WINS Ranyo kartı

Şekil 2.2 WINS Düğümü, Rockwell Bilim Merkezi

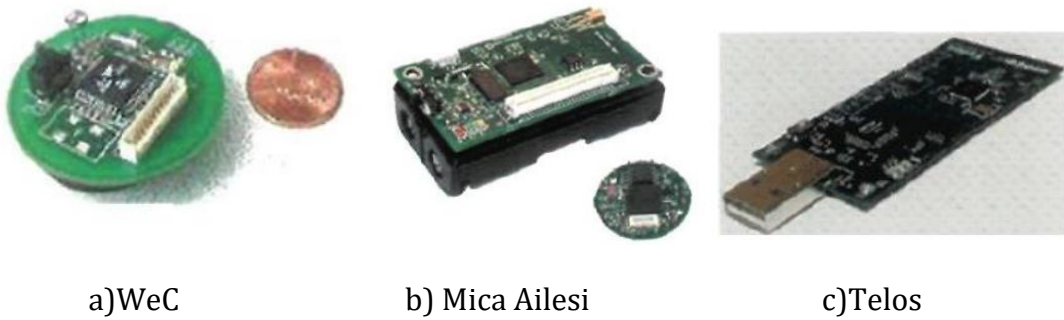
2.2.2. Motes Ailesi – University of California, Berkeley

Smart Dust projesi ile 1992 yılında UC Berkeley'de UCLA, WeC adını verdikleri ilk algılayıcı düğümü piyasaya sürdü. Bu algılayıcı düğüm üzerinde 4 MHz hıza sahip, 8 bit , aktif güç tüketim değeri 15mW ve pasif güç tüketim değeri 45µW sahip olan Atmel mikrodenetleyicisi bulunmaktaydı. Ayrıca bu mikro denetleyicisi 512b Ram

ve 8Kb Flash belleğe sahipti. WeC algılayıcı düğümünün verici güç tüketimi 36mW ve alıcı güç tüketimi 9mW ile 10Kbs hızında veri iletişimini sağlamaktaydı.

2001 yılında, Mica ailesi piyasaya sürüldü. Mica, Mica2, Mica2Dot ve MicaZ algılayıcı düğümleri Mica ailesi üyeleri idi. Mica algılayıcı düğümü, 8 bit 4 MHz'lik bir mikrodenetleyici (ATmegal03L) kullanırken, önceki ürünlere kıyasla bellek ve radyo açısından gelişmiş yetenekler sundu. Mica, 4 KB Ram, 128 KB flaş ve WeC'deki radyo modülü ile neredeyse aynı güç tüketimiyle 40 Kbps'ye kadar destekleyen RFM TR1000 kullanan basit bir bit seviyesi radyo ile tasarlanmıştır. Mote mimarisi, ana işlemci kartına birden çok ve değişik türlerde algılayıcı, ağ arayüz veya veri erişim kartı entegre edilmesini desteklemekteydi.

2002 yılında Mica2 ve Mica2Dot algılayıcı düğümleri bekleme akımını (33 mW aktif güç ve 75 / xW uyku gücü) azaltan bir ATmegal28L mikrodenetleyici ile piyasaya çıktı. Ayrıca frekans aralığı için daha fazla seçenek içeren geliştirilmiş radyo modülleri (Chipcon CC1000) ve FSK modülasyonunu kullanarak gürültüye karşı daha fazla esneklik sağladılar. 2003 yılında, MicaZ, 802.15.4 ve ZigBee protokollerini destekleyen ve 250 Kbps'ye kadar veri hızına sahip bir Chipcon CC2420 geniş bant modülü ile üretildi. Bu modülü ayrıca veri şifreleme ve kimlik doğrulamasını da destekledi.



Şekil 2.3 MOTES Düğümleri, Berkeley

Motes ailesinin son üyesi Telos 2004 yılında piyasaya çıktı. Telos algılayıcı düğümünde, 3mW aktif, 15µW pasif güç tüketimine sahip bir mikrodenetleyici,

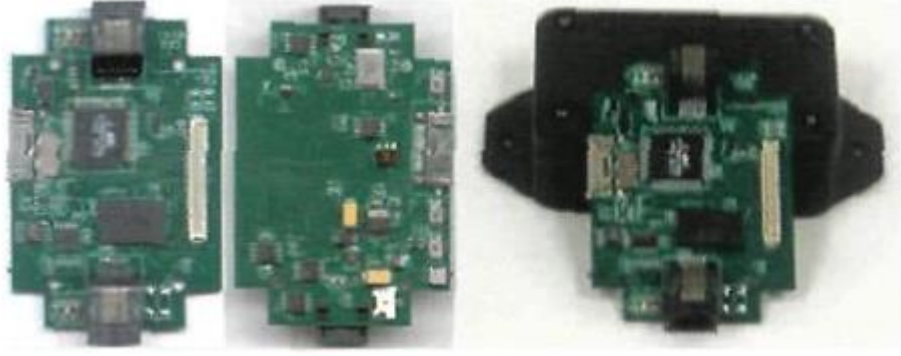
maliyeti azaltmak için karta entegre edilmiş dahili anten, bilgisayar arayüzü için kart üzerinde USB, nem, sıcaklık ve ışık algılayıcıları ve benzersiz düğüm tanımlaması için 64-bit MAC adresleme gibi yeni özellikleri bulunmaktaydı [18].

Entegre RAM ve flash bellek mimarisi Mote ailesinin tasarımını oldukça basitleştirdi. Bunun yanı sıra algılayıcı düğümlerinde işletim sistemi gerekliliği vardı. UC Berkeley TinyOS işletim sistemini geliştirdi ve Mote gibi küçük gömülü cihazlarda programlamaya uygun bir mimariye sahipti. Hala TinyOS modeli pek çok kablosuz algılayıcılarde işletim sistemi olarak kullanılmaktadır.

2.2.3. Medusa – University of California, Los Angeles

2002 yılında CENS tarafından UCLA'da Medusa MK-2 algılayıcı düğümü geliştirildi. Bu algılayıcı düğümünün ortaya çıkış amacı; Motes ve WINS algılayıcı düğümlerinin arasında kalan gerekliliği gidermekti. Çünkü Motes algılayıcı düğümleri basit algılama işlemleri ve sinyal işlemesi amacıyla kullanılırken haberleşme ve işlem kapasitesi bakımından zayıf kalmıştı, WINS ise büyük hafıza gerekliliği ile yoğun işlemleri yapıyordu.

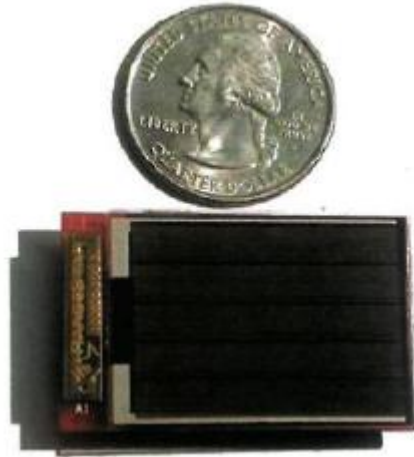
Medusa MK-2 üzerinde, ATmega128 ve AT91FR4081 mikrodenetleyicileri olmak üzere iki farklı mikrodenetleyici bulunmaktadır. MK-2 algılayıcı düğümünde bulunan ATmega128 mikrodenetleyicisi daha düşük işlemler için kapasite gerektiren, radyo bandı işleme ve örnekleme işlemlerini gerçekleştirmektedir. MK-2 üzerinde bulunan diğer mikrodenetleyici olan AT91FR4081 ise karmaşık işlemler için kullanılmaktaydı ve bu nedenle daha fazla güç gereksinimine ihtiyaç duymaktaydı. AT91FR4081 mikrodenetleyicisi 40 MHz frekansa, 1 Mb flash belleğe ve 136 Kb Ram kapasitesine sahipti. Kablosuz Algılayıcı Ağlarında işlem ve algılama için kullanılan farklı iki işlemcinin algılayıcı düğümde bulunması sayesinde yüksek hızlı işlemler ve uzun batarya ömrü ihtiyacı gerektiren ortamlar için daha esnek bir kullanım sağlamaktaydı [18].



Şekil 2.4 Medusa Algilayıcı Dügümü, UCLA

2.2.4. PicoRadio - University of California, Berkeley

2003 yılında Berkeley Kablosuz Araştırma Merkezi, kablosuz algılayıcı düğümlerinin en kritik sorunu olan enerji tüketimi için yeni bir araştırma yapmışlardır. Algılayıcı düğümün enerji ihtiyacı için gücünü güneş enerjisinden ve titreşim sinyallerinden alan bir kablosuz verici olan Pico Beacon'u üretmiştir. Pico Beacon, algılayıcı düğümüne entegre edilip ve daha az güç tüketiyordu. Tüketilen güç miktarı $400\mu\text{W}$ daha azdı. Beacon, yüksek ışık koşullarında %100 ve tipik ortam titreşim koşullarında %2,6 ya kadar çalışmaktaydı.



Şekil 2.5 PicoBeacon Düğümü, Berkeley

2.3. Kablosuz Algılayıcı Ağlarının Kullanım Alanları

Kablosuz algılayıcı ağlarının kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır. Ancak genel olarak bu uygulama alanlarını

- Askeri uygulama alanları
- Çevresel bilgileri izleme
- Endüstriyel uygulamalar
- Ev uygulamaları
- Sağlık uygulamaları

Olmak üzere beş kategoride sınıflandırabiliriz.



Şekil 2.6 Kablosuz Algılayıcı Ağların Kullanım Alanları

Askeri uygulama alanları için kullanılan kablosuz algılayıcı ağları; askeri keşif, kontrol, askeri haberleşme, kumanda, konum hesaplama, istihbarat sistemlerinde kullanılmaktadır. Askeri uygulamalarda kullanılacak olan ağ sisteminin hata toleransı, hızlı şekilde hedef alana yayılabilme ve kendi kendine organize olabilme gibi parametreleri önemlidir. Aynı zamanda algılayıcı düğümlerinden bazıları

düşmanlar tarafından ele geçirilme ve zarar görme gibi durumlarla karşılaşmaları sonucunda ağ yapısının doğru bilgi ilemesine ve askeri operasyonu etkilememesi bu kategoride kullanılacak olan ağ yapısı için aranan bir özelliktir.

Çevresel bilgilerin izlenmesi için kullanılan ağ yapıları çok çeşitli uygulama alanlarına sahiptir. Ormanların, okyanusların, uzayda gezegenlerin keşfinin, çeşitli hayvan türlerinin izlenmesinden tarım alanında sulamanın ve çevreyle etkileşiminin takip edilmesinde kullanılabilir. Bu geniş yelpazede kullanım alanlarından dolayı çeşitli algılayıcılar ile kurulacak ağ yapısı ile çevresel bilgilerin edinilmesi şu anda da pek çok projede kullanılmaktadır. Orman yangınları, sel baskınları, depremler gibi doğal afet olaylarının öçümlendirilip, hızlı bir şekilde aksiyon alınabilmesi için durumların ihbar edilmesinde kullanılabilir.

Endüstriyel alanda, bina otomasyonu, erişim kontrolü, endüstriyel algılama ve kontrol alanlarında kablolu ağ sistemleri kullanılmaktadır ancak bu sistemlerin entegrasyon ve bakım maliyetleri fazla olabilmektedir. Bu nedenle bu sistemler günümüzde yerlerini daha kolay kurulum sağlayan ve daha ekonomik yöntem olan kablosuz ağ sistemlerine yerini bırakmaktadır.

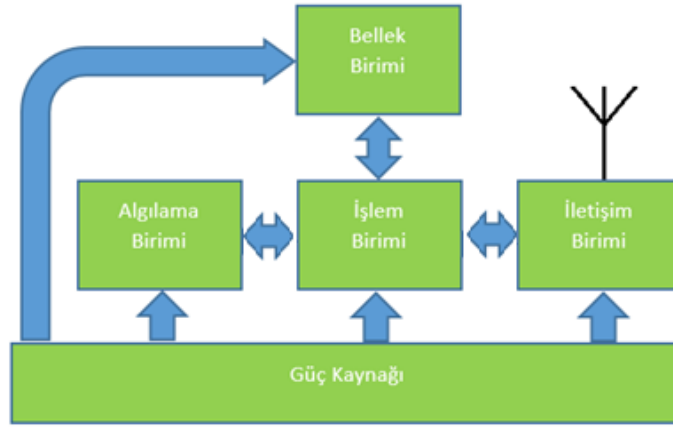
IoT (Nesnelerin interneti) sistemlerinin yaygınlaşması ve evimizde bulunan hemen hemen tüm elektronik sistemlere entegrasyonu sayesinde kablosuz algılayıcı ağları ev uygulamaları alanında kullanılmaktadır. Elektronik cihazların içindeki algılayıcılar ve çalıştırıcılar, internet aracılığı ile harici ağlarla ve uydularla haberleşebilirler. Bu sayede son kullanıcının da dahil olduğu uzaktan ev sisteminin yönetilmesini sağlar.

Sağlık uygulamalarında; biyomedikal alanındaki gelişmeler ve yenilikler, hastaya entegre sistemlerin sayesinde; hastanede hasta ve doktorların takibi ve izlenmesi, ilaç yönetimi, engelliler ve yaşlıların izlenmesi gibi alanlarda kablosuz algılayıcı ağları kullanımı yaygınlaşmaktadır.

2.4. Kablosuz Algılayıcı Düğümlerinin Yapısı

Şekil 2.7'de tipik bir kablosuz algılayıcı ağının yapısı gösterilmektedir. Kablosuz algılayıcı ağlarının yapısı; algılama ünitesi, işlem ünitesi, iletişim ünitesi, bellek

ünitesi ve güç ünitesi olarak dört bölüme ayrılır ancak bazı algılayıcı ağlarında farklı fonksiyonlar için ek üniteler de bulunabilir.



Şekil 2.7 Kablosuz Algılayıcı Düzümü Yapısı

2.4.1. Algılama Ünitesi

Çok sayıda algılayıcıdan ve fiziksel büyüklükleri işlemek için dijital işaretlere dönüştüren dönüştürücülerden (Analog Digital Converter) oluşur. Algılayıcılar, kullanım alanlarına göre basınç, hareket, sıcaklık, nem gibi çevresel faktörleri algılayan birimlerdir [19]. Bu üniteadaki ADC biriminde algılayıcılar ile çevreden alınan fiziksel büyüklükler dijital büyüklüğe çevrilip, işlem ünitesine aktarılır. Algılayıcı düğümlerinin boyutları küçük, enerji tüketimleri düşük olmalı, kendi kendilerine otonom bir şekilde ve insan faktörüne ihtiyaç duymadan çalışabilmeli, buldukları ortamlara uyum sağlayabilmelidir [20]. Kablosuz algılayıcı düğümleri sınırlı güç kaynağına sahip olduğu için mikro elektronik algılayıcı aygıtlarını kullanabilir. Algılayıcılar pasif ve aktif algılayıcılar olmak üzere iki kategoride sınıflandırılabilir [19].

2.4.2. Merkezi İşlem Ünitesi

İşlem ünitesi, düğüm davranışlarının belirlendiği ve yönetildiği, diğer bileşenlerin kontrol edildiği, kablosuz algılayıcı ağlarında bulunan işlemcilerin bulunduğu ünite. Kablosuz algılayıcı ağlarında enerji faktörü çok önemli olduğundan,

yüksek enerji tüketimi yapan yüksek performanslı işlemciler genel olarak tercih edilmezler. Bu mikroişlemciler yerine, üzerinde kendi bellek birimlerinin bulunduğu, enerji verimliliği için kendini uyku moduna alabilen ve diğer aygıtlarla haberleşebilme özelliği ve esnekliği bulunan işlemciler tercih edilmelidir. Intel Strong ARM, Texas Instruments MSP 430, Atmel Atmega kablosuz ağlarda kullanılabilen mikrodenetleyicilere örnek olarak verilebilir [3].

2.4.3. İletişim Ünitesi

Bir algılayıcı ağının düğümleri arasındaki iletişim genel olarak kablosuz olarak gerçekleşir. Kablosuz algılayıcı ağlarında iletişim optik, radyo frekansı, kızılötesi iletişim ortamlarıyla sağlanabilir. Bunun için bir alıcı-verici kullanılır. Veri aktarımı (Tx) sırasında enerji tüketimi fazla olur. Bu nedenle, algılayıcı ağı tasarımının amaçlarından biri, alıcı-vericiyi mümkün olduğunca az ve kısa bir süre için etkinleştirmektir. Bu nedenle, çoğu zaman alıcı-verici ya alma modunda (Receive mode - Rx) olmalı ya da devre dışı bırakılmalıdır. Kablosuz iletişimin kapsamı, alıcı-verici, anten ve ağ yapısının seçimi için gereklidir. İletim için gereken enerji düğümler arasındaki mesafeye bağlıdır [21,22]. Bu nedenle, ağda birbirleriyle iletişim kuran düğümler ve kullanılacak ağ topolojisi seçiminde mümkün olan en küçük mesafeye dikkat etmek önemlidir. Bir alıcı-vericinin enerji tüketimi daha da alt bölümlere ayrılabilir.

İletişim ünitesi, düğümler arasındaki veya düğümlerin merkez düğümlerle haberleşmesini sağlar. Haberleşme tek yönlü veya çift yönlü olabilir.

2.4.4. Bellek (Hafıza) Ünitesi

Algılayıcılardan gelen bilgiler ve işlem ünitesindeki işlemcinin işlem yapabilmesi için gerekli olan hafızayı bellek ünitesi sağlamaktadır. Enerjiyi daha düşük kullanması bakımından, en uygun bellek türleri mikro denetleyici çipi üzerinde bulunan bellekler ve FLASH belleklerdir [20]. Mikrodenetleyici çipi içinde bulunmayan RAM'ler nadiren kullanılmakta veya hiç kullanılmamaktadır. Bunların yerine depolama kapasiteleri ve maliyetinin uygun olması bakımından flash bellek

kullanılmaktadır. Algılayıcı düğümdeki bellek gereksinimleri algılayıcılardaki uygulamayla doğrudan ilişkilidir. Depolamanın çeşidine göre, kullanıcı belleği ve program belleği olarak iki farklı bellek türünden bahsedilebilir. Kullanıcı belleği; uygulamayla ilgili olan veya kişisel bilgileri saklamak için kullanılır. Program belleği ise, cihazın programlanması için kullanılır. Program belleği ayrıca eğer cihazın tanımlayıcı bilgileri varsa tanımlayıcı bilgileri de içerebilir [20].

2.4.5. Güç Ünitesi

Güç ünitesi, algılayıcıların ve diğer ünitelerin enerji ihtiyacını karşılayan ünite dir. Algılayıcı düğümünün önemli bileşenlerinden biri de enerjidir. Bir algılayıcı düğümünün çalışabileceği süre, mevcut enerjiye ve enerji tüketimine bağlıdır. Enerji kaynağının kapasitesi algılayıcı düğümünün ömrünü doğrudan etkiler. Algılayıcı düğümlerinde en basit ve en yaygın kullanılan enerji kaynağı bataryadır (pildir).

Algılayıcı düğümlerine enerji, şarj edilemez ve şarj edilebilir bataryalar ile sağlanabilir. Günümüzde güneş, titreşim, ısı enerjisi vb. gibi yenilenebilir kaynaklardan enerjilerini sağlayan batarya çeşitleri kullanılmaktadır.

2.5. Kablosuz Algılayıcı Düğümlerinin Kısıtları

Kablosuz algılayıcı ağları, kablosuz algılayıcı düğümlerinden oluşmaktadır ve kablolu ağ yapılarının uygun olmadığı alanlarda çok daha etkin bir şekilde kullanılabilir. Ancak kablosuz algılayıcı ağlarının en büyük dezavantajı algılayıcı düğümlerinde kullanılan enerjinin yenilenebilirliğinin zorluğu ve gönderme mesafesinin kısıtlı olmasıdır. Ayrıca algılayıcı düğümlerinin sınırlı hafıza, kısıtlı işlem yetenekleri ve bant genişliğine sahiptir. Bu kısıtlar, kablosuz algılayıcı ağlarının kullanılacağı uygulamaları da etkileyebilmektedir. Bu kısıtlamaları alt bölümlerde daha detaylı açıklanacaktır.

2.5.1. Enerji (Batarya)

Algılayıcı düğümündeki enerji tüketimi ortamdaki verileri algılama, birbirleriyle veya baz istasyonu ile iletişim ve topladıkları verileri işleme nedeniyle olmaktadır. Algılayıcı düğümünde diğer işlemlere göre veri iletişimi için daha çok enerji harcanmaktadır. Algılama işlemi ve veri işleme için tüketilen enerji daha azdır.

Enerji, sistemin kullanım ömrünü belirlerken algılayıcı sisteminin en önemli parçasıdır. Ağ ömrünü uzatmak için pil ömrünün uzatılması ve enerjinin verimli kullanılması gerekir. Ağ Ömrü, belirli bir veri toplama işlevinin veya görevinin, herhangi bir düğümün enerjisi tükenmeden gerçekleştirilebileceği maksimum sayı olarak tanımlanır. Ayrıca, ağdaki ilk düğümün enerjisinin tamamen tükenmesi ve ağdaki enerjinin korunma kabiliyeti ile sonlandırılması için geçen süre olarak da tanımlanır. Algılayıcılarda kullanılan pilin boyutunun mümkün olduğunca küçük olması ve aynı zamanda enerji tasarruflu olması gereklidir [16].

Kablosuz algılayıcı ağlarını oluşturan algılayıcıların küçük olması ve haberleşmenin yoğunluğu algılayıcıların pil kapasitesini olumsuz etkilemektedir. Algılayıcılar üzerindeki her uygulama ağına tümüne fazladan enerji ihtiyacı gerektirmektedir. Bu nedenle enerji kablosuz algılayıcı ağları için en önemli sorundur. Algılayıcılardaki enerjileri verimli kullanabilmek için pek çok yönlendirme protokolü geliştirilmiştir.

2.5.2. Hafıza (Bellek)

Algılayıcılardan gelen bilgiler ve işlem ünitesindeki işlemcinin işlem yapabilmesi için gerekli olan hafızayı bellek ünitesi sağlamaktadır. Enerjiyi daha düşük kullanması bakımından, en uygun bellek türleri mikro denetleyici çipi üzerinde bulunan bellekler ve FLASH belleklerdir [20]. Algılayıcı düğümündeki hafıza üzerinde çalışacak uygulamaya bağlıdır. Eğer çok yoğun veri depolaması ve karmaşık işlemler yapılması gerekiyorsa daha fazla hafıza tüketimine sebep olur. Bu nedenle algılayıcı üzerinde çalışacak uygulama ve işlemler göz önüne alınıp algılayıcı düğüm ve hafıza seçimi yapılmalıdır.

2.5.3. Anten

Antenler, kablosuz iletişim sistemlerinde elektromanyetik dalgaların iletilmesi ve alınması için gerekli olan metalik iletkenler sistemidir. Antenlerin maliyeti, performansı ve boyutu, kablosuz algılayıcı ağlarında anten seçiminde dikkat edilmesi gereken temel hususlardır. Günümüzde PCB baskı devre anteni, yonga entegre anteni ve çubuk antenler ortak olarak kullanılan üç tip kısa mesafe iletim antenidir. Tablo 2.1’de antenlerin avantajları ve dezavantajları karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.1 Üç tip kısa mesafe antenin karşılaştırılması [23]

| Anten Tipi | Avantajları | Dezavantajları |
|--------------------|---|--|
| PCB Anten | Düşük maliyetli Yüksek frekansta küçük boyut | Kompakt ve verimli bir PCB anteni tasarlamak zordur. Antenlerin boyutu düşük frekanslarda büyüktür. |
| Çubuk Anten | Daha iyi performans | Daha yüksek maliyet. Bu tip antenler, bazı uygulama ortamlarında kullanılabilir ve evrensel değildir |
| Yonga Anten | Küçük boyut | İşlev ve maliyette orta düzeyde performans |

Şekil 2.8’de gösterildiği gibi, ışıma ve ışıma verimliliği telin uzunluğu ve şekli ile yakından ilişkilidir. İki tel yakın konumda olduğunda, akım iki tel arasında sınırlandırılır ve ışıma çok zayıf olur. Antendeki tellerin açılmaya başladığında ışıma da kademeli olarak artar. Ayrıca, tel uzunluğu dalga boyundan çok daha küçük olduğunda, ışıma kapasitesi de zayıf olur. Ancak telin uzunluğu dalga boyu ile karşılaştırılabilir olduğunda, ışıma kapasitesi büyük ölçüde artar.

Algılayıcı boyutlarının küçük olması da üzerlerindeki anten tasarımlarını da olumsuz olarak etkilemektedir. Algılayıcılardaki enerji gereksinimlerinden dolayı kullanılan antenlerin çok fazla enerji tüketmemesi gerekir, bu nedenle kısa mesafelerde veri iletimi sağlayan antenler kullanılmaktadır.

Kablosuz algılayıcılarda anten ve algılayıcının boyutunu düşürmek için iletim frekansı düşük olmalıdır. Ancak yüksek frekanslarda çalışmak da yüksek yol kaybına ve daha fazla güç tüketime neden olmaktadır. Algılayıcı üzerindeki batarya boyutunu en üst düzeye çıkarmak için antenin toplam hacmi en aza indirilmelidir. Düşük RF güç seviyeleri (DC güç kısıtlamaları nedeniyle) göz önüne alındığında, alıcı-verici anteni mümkün olduğunca yüksek bir kazançta sahip olmalıdır. Ağ düğümlerinin rastgele dağıtıldığı ve birbirine göre hareket edebildiği düşünüldüğünde, çok yönlü bir ışıma modeli gereklidir.

2.5.4. İşlemci

Algılayıcı düğümlerinde mikrodenetleyici bulunur ve mikrodenetleyiciler toplanan verilerin işlenmesi, verilerin depolanması, ortam erişim protokolleri, veri yönlendirmesi gibi pek çok görevin yapıldığı yerdir. Mikrodenetleyiciler bu görevleri üzerlerine yüklenen veya yüklenmiş bir işletim sistemi vasıtasıyla yaparlar. Ayrıca algılayıcı düğümlerinin davranışları da mikrodenetleyiciler ile belirlenir. Ancak algılayıcı düğümlerinin sınırlı enerjiye sahip olmaları ve boyutlarının küçük olmasından dolayı tüm bileşenlerinde olduğu gibi mikrodenetleyicisinin de gücü ve boyutu sınırlıdır.

Kablosuz algılayıcı ağları için işlemci seçiminde hafıza yapısı ve programlama, uyanma zamanı, giriş-çıkış birimleri, komut kümesi karmaşıklığı, frekans ölçeklenebilirliği gibi parametreler göz önüne alınarak değerlendirilmelidir. Buna ilişkin bir karşılaştırmayı Tablo 2.2 de gösterilmiştir [24].

Algılayıcı düğümlerde kullanılan işlemciler genelde kablolu ya da ad-hoc algılayıcı düğümleri kadar güçlü değildir. Çoğu kablosuz algılayıcı ağ teknolojileri çoklu işlem yürütme yeteneklerine sahip olsa da, yine de karmaşık yapıdaki algoritma

uygulamalarında kısıtlı işlemci yeteneklerinden dolayı çalışma performansları olumsuz etkilebilmektedir.

Tablo 2.2 Mevcut bazı mikrodenetleyicilere ait işlemci parametrelerinin ve metriklerinin karşılaştırması

| | AVR | PIC16 | PIC18 | MSP | 8051 |
|---------------|------------|-------------|-------------|--------------|------------|
| Kelime Boyutu | 8 bit | 8 bit | 8 bit | 16 bit | 8 bit |
| 3V'ta Maks. F | 8Mhz | 10Mhz | 20Mhz | 6Mhz | 6.3Mhz |
| Kapalı İken | 8 μ A | 20 μ A | 2.6 μ A | 1.8 μ A | 21 μ A |
| Boşta(1MHz) | 0.5mA | 220 μ A | 120 μ A | 55 μ A | n/a |
| Boşta(8MHz) | 4mA | 1.5mA | 843 μ A | 440 μ A | n/a |
| Aktif(32k) | 88 μ A | n/a | 35 μ A | 19.2 μ A | 2.78mA |
| Aktif(1M) | 2mA | 220 μ A | 480 μ A | 240 μ A | 4.05mA |
| Aktif(8M) | 8mA | 1.5mA | 2.4mA | 1.9mA | 13.3mA |
| Uyanma Zamanı | 2ms | 102 μ s | 10 μ s | 6 μ s | 20 μ s |

2.6. Kablosuz Algılayıcı Ağları İletişim Standartları

2.6.1. ZigBee IEEE 802.15.4

ZigBee, IEEE 802.15.4 altyapısında kurulan kısa mesafe kablosuz ağ standardı olarak tanımlanır [25]. Zigbee protokolünün güvenilirlik, düşük maliyet ve enerji tasarrufu gibi avantajları göz önünde bulundurulduğunda algılayıcı ve yönetim ürünlerinin kablosuz bağlantıları için kullanılabilir. ZigBee, kablosuz iletişim kanallarının otomatik olarak aranmasına ve çok sayıda kablosuz ağın bir arada var olmasına imkân tanımaktadır. ZigBee'yi farklı bir tanımla açıklamak gerekirse; küçük ve düşük güçlü radyolar için protokollerin özelleştirilmesidir [25]. Bluetooth gibi teknolojilerde sağlanan veri hızlarını gerektirmeyen fakat uzun batarya ömrü gerektiren cihazlara düşük maliyetli düşük güçlü bağlanabilirlik sunmayı amaçlar. Ek olarak ZigBee Bluetooth'un aksine geniş ağlara adapte olabilmektedir.

ZigBee standartları, IEEE 802.15.4 global standardının içine bulunan ortam erişim yönetimi ("MAC" Medium Access Control) katmanının üzerine uygulama profil tabakası, güvenlik ve ağ tabakaları eklenerek belirlenmiştir. ZigBee IEEE 802.15.4 standardının özelliğini kullanarak güvenilir, düşük güçlü izleme ve kontrol

ürünlerinin telsiz iletişimini sağlamaktadır. IEEE 802.15.4 ve 802.15 standartlarının bir parçasını ve kişisel yerel ağ ("PAN" Personal-Area Network) teknolojisini desteklemektedir. Protokolün amacı düşük maliyetli, uzun süreli (senelik) pil kullanan algılayıcıların kullanılmasını desteklemektir [25].

ZigBee'nin diğer IEEE standartlarına göre ayırt edici özellikleri; [26]

- 10 ile 115.2Kbps arasında düşük veri hızı
- Standart bir batarya ile birkaç yıl süren düşük güç tüketimi
- Çoklu izleme ve uygulama kontrolü sağlayan ağ topolojisi
- Düşük maliyet, basit ve kolay kullanım
- Yüksek güvenlik

Tablo 2.3 IEEE 802.15.4 Radyo frekansları ve veri aktarım hızları

| Band | Etki Sahası | Kanal | Veri Hızı |
|----------------|--------------------|--------------|------------------|
| 2.4 GHz | Dünya geneli | 16 kanal | 250 kbps |
| 915 MHz | Amerika | 10 kanal | 40 kbps |
| 868 MHz | Avrupa | 1 kanal | 20 kbps |

2.6.2. IEEE 802.15.1 & 2 / Bluetooth

Bluetooth standardı, IEEE 802.11x standardından daha güçlü olan bir kişisel alan ağı standardıdır. Bluetooth standardı; cep telefonları ile bilgisayarlar gibi aygıtlar arasında ses iletimi ve özel uygulamaya yönelik ağlarda dosya transferi için kısa mesafede kablosuz olarak veri aktarımı amacıyla geliştirilmiştir. Bu nedenle yapısı daha karmaşıktır. Firmalar bluetooth teknolojisi kullanan kablosuz algılayıcılar geliştirmiş olsa da kablosuz algılayıcı ağları uygulamalarında bluetooth teknolojisinin kısıtlamaları sebebiyle yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bluetooth teknolojisi; kısa iletim mesafelerinde harcadığı yüksek güç tüketimi, bekleme

modundan çıkıp sistem ile tekrar eşzamanlama süresinin uzun olması ve az sayıda algılayıcı düğümüne imkan tanınması sebeplerinden dolayı kablosuz algılayıcı ağlarında tercih edilmemektedir [27,28].

Tablo 2.4 Bluetooth Fiziksel Özellikleri

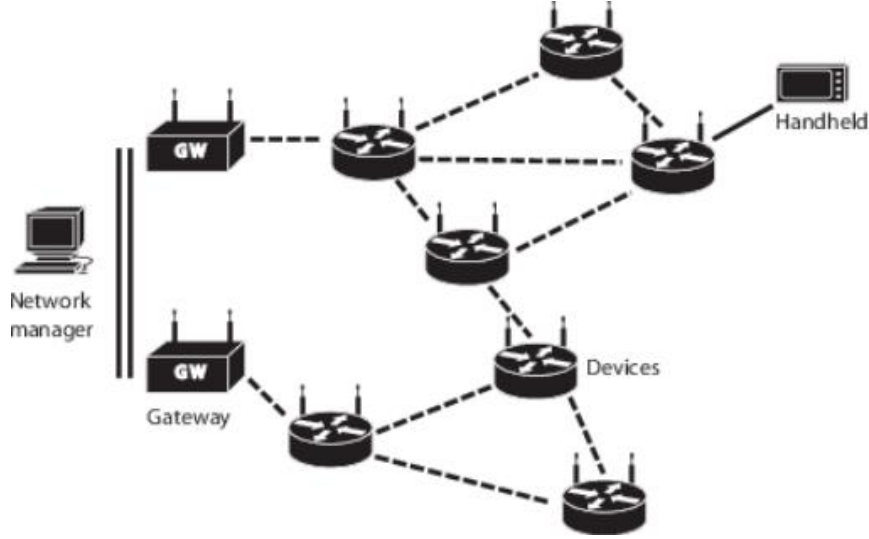
| | |
|-----------------------------|--|
| Frekans Aralığı | 2402-2480 MHz |
| Veri Oranı | 1 Mbps (fiziksel) |
| Kanal Bant Genişliği | 1 MHz |
| Kanal Sayısı | 79 |
| Mesafe | 10-100 m |
| RF Atlama | 1600 kez |
| Şifreleme | Cihaz ID leri ve 0/40/64 bit anahtar uzunlukları |
| Tx Çıkış Gücü | Azami 20 dbm (0.1MW) |

2.6.3. WirelessHART

WirelessHART standardı, IEEE 802.15.4 altyapısında kurulan kablosuz algılayıcı ağı sistemidir. WirelessHART standartının; basit, kendini organize edebilen ve onaran, esnek (farklı uygulamaları destekleyen), ölçeklenebilir (hem küçük hem de büyük alanlar için kullanılabilen), güvenilir, güvenli ve mevcut HART teknolojisini (HART komutları, yapılandırma araçları) detseklemesi gibi özellikleri bulunmaktadır [29].

WirelessHART, Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA) tabanlı bir protokoldür. Tüm algılayıcılar zamana göre senkronize edilir ve önceden programlanmış sabit uzunluklu zaman aralıklarında iletişim kurarlar. TDMA sayesinde çarpışmalar en aza indirilir ve algılayıcıların güç tüketimini azaltılır.

WirelessHART standardı daha çok endüstriyel alanlarda kullanılmak için tasarlanmıştır. HART özellikli cihazlara, araçlara, uygulamalara için kullanımı ve kurulumu kolaydır, ana sistemlerle uyumludur [30].



Şekil 2.10 WirelessHART Ağ Örneği

ZigBee teknolojisi endüstriyel uygulamalar için yeteri kadar uygun olmadığı için WirelessHART protokolü ihtiyacı doğmuştur. Bu nedenle kablosuz endüstriyel uygulamalarda WirelessHART standardı kullanılmaktadır.

2.7. Kablosuz Algılayıcı Ağ Mimarisi

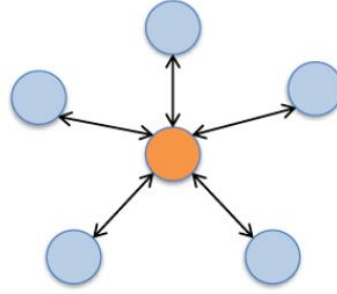
Kablosuz ağ yapılarının pek çok farklı kullanım alanı bulunur. Kablosuz ağ tasarımlarında uygulama ihtiyacına göre genellikle, yıldız, Örgüsel (mesh), yıldız-mesh mimarileri kullanılır.

2.7.1 Yıldız Ağ

Yıldız ağları, iletişim topolojilerinin en basit ve yaygın biçimlerinden biridir. Ağın merkezinde baz istasyonu ya da baz istasyonu ile iletme geçebilecek bir algılayıcı düğümü olabilir. Merkezin çevresindeki algılayıcılar sadece merkezle veri alışverişini yaparlar, kendi aralarında veri aktarımı yapamazlar.

Düğüm ve baz istasyonu doğrudan haberleştiği için bu mimaride gecikme oldukça azdır. Aynı zamanda düğümlerin güç tüketimleri bu yapı ile kolaylıkla

kontrol altına alınabilir. Yapıdaki tüm algılayıcıların baz istasyonunun kapsama alanında bulunması gerekliliği bu mimari için dezavantaj olarak söylenebilir [31].

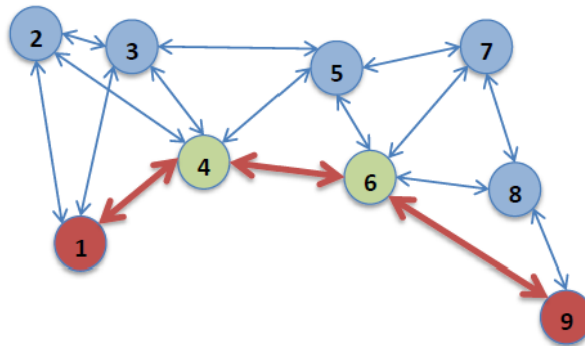


Şekil 2.11 Yıldız Ağ Mimarisi

2.7.2. Örgüsel (Mesh) Ağ

Örgüsel ağ mimari yapısı, yıldız ağ mimarisinden farklı olarak; algılayıcılar sadece merkez düğümle değil birbirleri ile de iletişim kurabilirler. Doğrudan iletişim kuramayan iki algılayıcı, aralarında bulunan komşu algılayıcılar ile birbirlerine veri aktarımı yapabilirler. Geniş alanlarda uygulanacak ağ yapılarında oldukça tercih edilen bir yöntemdir. Örgüsel ağ mimarisi ile sisteme kolaylıkla yeni düğüm eklenip, ağ yapısı genişletilebilir. Bu mimari yapı ile kablosuz algılayıcı ağ alanlarında geniş mesafelerde daha düşük güç tüketimi ile iletişim kurmak mümkündür [31].

Algılayıcı düğümlerinin algıladıkları veriyi iletmelerine ilave olarak düğümler veri iletişimi de yaptıklarından dolayı ağdaki enerji tüketimi yıldız ağ mimarisine göre fazla olmaktadır [32].

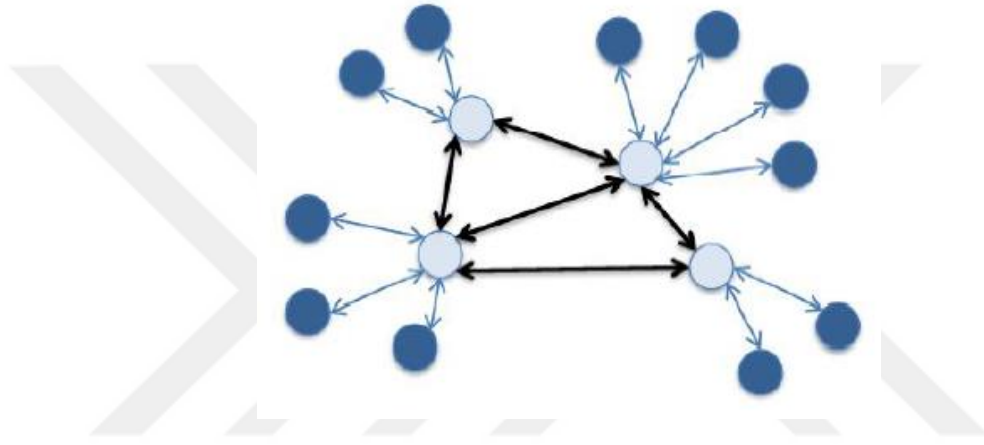


Şekil 2.12 Örgüsel Ağ Mimarisi

2.7.3. Yıldız - Örgüsel Hibrit Ağ

Yıldız ağı ile örgüsel ağın yapısını birlikte kullanarak oluşturulmuş ağıdır. Yıldız - örgüsel ağ yapısında maksimum kapsama alanı sağlanarak minimum enerji tüketimi amaçlanmaktadır [33].

Yıldız - örgüsel hibrit ağ mimarisinde düşük güçlü düğümler, kendi algıladıkları verilerin iletilmesi dışında başka düğümlerin kendileri üzerinden bağlantı kurmasına izin vermezler. Yüksek güçlü bir düğüm üzerinden erişmek istedikleri başka düğüm ile doğrudan bağlantı kurup veri iletimi yaparlar.



Şekil 2.13 Yıldız-Örgüsel Hibrit Ağ Mimarisi

3.1 Yönlendirme Protokolü

Yönlendirme protokolü, verilerin kaynaktan hedefe iletilmesi için uygun yolu seçme işlemidir. Bu işlem, ağ türüne, kanal özelliklerine ve performans ölçütlerine bağlıdır ve iletim yolunu seçerken çeşitli zorluklarla karşılaşır.

Kablosuz algılayıcı ağındaki algılayıcı düğümleri tarafından algılanan veriler; toplanmak, analiz edilmek ve işlenmek için diğer algılayıcıların de bağlı olduğu baz istasyonuna gönderilir.

Algılayıcı düğümleri ve baz istasyonunun doğrudan iletişim kurabilecekleri kadar küçük ağ yapılarında birbirleriyle tek atlama iletişimi (single-hop) kurabilirler. Ancak çoğu zaman kablosuz algılayıcı ağ yapısı çok fazla düğümden oluşur ve bu düğümler baz istasyonunun yakınında olmayabilir. Uzaktaki düğümler baz istasyonu ile başka bir algılayıcı düğüm üzerinden iletişim kurarlar. Bu durumda baz istasyonu ile çoklu atlama iletişimi (multi-hop) kurarlar. Tek atlama iletişimine (single-hop) doğrudan haberleşme, çoklu atlama işlemine (multi-hop) dolaylı haberleşme adı verilir [34].

Dolaylı iletişimde, algılayıcı düğümleri yalnızca veri iletimi gerçekleştirmez, aynı zamanda diğer algılayıcı düğümleri için baz istasyonuna doğru bir yol görevi görür. Kaynak düğümden hedef düğüme uygun yolu bulma sürecine yönlendirme denir ve bu ağ katmanının birincil sorumluluğudur [34].

Kablosuz algılayıcı ağlarındaki yönlendirme protokolleri, geleneksel kablolu algılayıcı ağlarından farklı olan yapı özellikleri sebebiyle daha zordur. Ağ yapısında çok sayıda algılayıcı düğümleri olduğundan evrensel tanımlayıcı şeması tanımlanması oldukça zordur, bu nedenle klasik IP tabanlı protokolleri kullanamazlar. Kablosuz algılayıcı ağlarında veri iletimi, algılayıcılardan baz istasyonuna doğrudur ancak konvensiyonel ağlarda bu tip bir iletişim gerçekleşmez.

Ağda, algılayıcılardan algılanan ortam verisi dışında algılayıcıların iletişim verisi de bulunur. Bu veri trafiği ağda fazladan yüke neden olur. Bu nedenle, fazladan yükü yönlendirme protokolü yardımı ile azaltmak, enerji ve band genişliğini daha verimli kullanmak önemlidir. Kablosuz algılayıcı ağlarında bulunan enerji ve band genişliği kısıtları, kapasite ve depolama problemleri bulunmaktadır. Bu sorunların önüne geçebilmek ve veri iletimi için yeni yönlendirme protokolleri geliştirilmiştir.

3.2. Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Yönlendirme Protokolü Tasarımı Zorlukları

Kablosuz algılayıcı ağlarında bulunan enerji, hafıza, işlemci ve band genişliği kısıtlarından dolayı ağ tasarımında bazı zorluklar bulunmaktadır. Yeni bir ağ yönlendirme protokolü tasarlarırken aşağıdaki zorluklar göz önünde bulundurulmalıdır.

3.2.1. Enerji Verimliliği

Kablosuz algılayıcı ağlarında bulunan algılayıcılar enerjilerini genelde üzerlerinde bulunan bataryalardan karşılarlar. Enerji verimsizliği ağ ömrünün daha çabuk bitmesine ve pek çok algılayıcıdan gerekli verileri alamamasına neden olur. Algılayıcıların enerjileri, belirlenmiş kritik seviyenin altına düştüğünde ağdaki tüm enerji verimliliği bu durumdan olumsuz olarak etkilenir. Algılayıcılarda bulunan kısıtlı enerjilerinden dolayı yönlendirme protokolleri enerji verimliliği için doğru seçilmelidir [35].

3.2.2. Karmaşıklık

Kablosuz algılayıcı ağlarında bulunan algılayıcı sayısının fazlalığı, donanımın yeterince güçlü olmaması ve enerji kısıtları nedenlerinden dolayı, ağda kullanılan yönlendirme protokollünün karmaşıklığı tüm ağın performansını olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle ağ tasarımında seçilen yönlendirme protokolü ve optimizasyon algoritmaları önemlidir.

3.2.3. Ölçeklendirilebilirlik

Kablosuz algılayıcı ağları kullanılan ortamlara göre yüzlerce hatta binlerce algılayıcı düğümlerinden oluşabilmektedir. Teknolojinin ilerlemesi ve gelişmesi ile birlikte de bu durum günümüzde çok daha kolay hale gelmekte ve bir ağa oldukça fazla algılayıcı düğümü yerleştirilebilmektedir. Kullanım alanının genişlemesi ile birlikte de ağa yeni algılayıcı ekleme ihtiyacı olabilir. Bu nedenle seçilen yönlendirme protokolleri ağın genişlemesini, ölçeklendirilebilir olmasını desteklemelidir. Ağ tasarımında yönlendirme protokolünü seçerken ağın genişleme durumu ve seçilen protokolün bunu desteklemesi göz önüne alınmalıdır.

3.2.4. Gecikme

Bazı alanlarda kullanılan kablosuz algılayıcı ağları, algıladıkları veriyi anında ve gecikme olmadan iletmelidir. Örneğin alarm izleme uygulamalarında algılayıcılardan gelecek olan verinin gecikmeye uğramadan veya minimum gecikme ile iletilmesi gerekir. Bu nedenle uygulama alanı çok iyi analiz edilip, tasarlanan ya da seçilen protokolün ağın ihtiyacına göre gecikme süresi parametresinin de değerlendirilmesi gerekir.

3.2.5. Dayanıklılık (Sağlamlık)

Kablosuz algılayıcı ağlarında algılayıcı kaybı göz önüne alınmalıdır. Algılayıcı düğümünün enerjisinin bitmesi veya ortamdaki kaybolması gibi durumlarda, ağın hala doğru ve tutarlı veriyi iletilmesi gerekir. Bu nedenle seçilen yönlendirme protokolü bu duruma uyum sağlamalı ve işlevsel olmalıdır [36].

3.2.6. Veri İletimi ve İletim Modeli

Kablosuz algılayıcı ağlardaki uygulamalara bağlı olarak, sorgu odaklı, olaya dayalı ve sürekli tip ve hibrit tip olmak üzere dört veri iletim modu vardır [37].

Bir algılayıcı düğümü; sorgu odaklı modelde, baz istasyonundan gelen sorgu sonucunda, olaya dayalı modelde bir olay meydana geldiğinde iletme geçmeye

başlar. Sürekli tip modelde ise belirli bir periyoda göre iletim yapar. Yönlendirme protokolünün performansının ağ boyutu ve iletim ortamı ile doğrudan, yani ağdaki iletim ortamı iyi olduğunda ağın performansı artmaktadır.

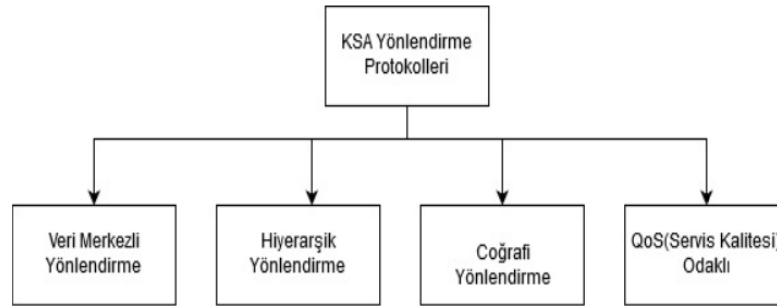
3.2.7. Algılayıcıların Konumu

Algılayıcıların konumlandırılması, ağ tasarımında oldukça önemlidir. Ağda bulunan algılayıcıların iletim, enerji, işlemci ve depolama gibi özelliklerini daha iyi kullanmak için baz istasyonuna veya birbirlerine olan konumlarının efektif kullanılması önemlidir.

3.3. Yönlendirme Protokollerinin Sınıflandırılması

Yönlendirme protokolleri ağda bulunan algılayıcıların birbirleri ile nasıl iletişim kuracağını ve veriyi baz istasyonuna hangi yoldan ileteceğini belirler.

Yönlendirme protokollerini veri merkezli, hiyerarşik yönlendirme, coğrafi yönlendirme ve servis kalitesi odaklı yönlendirme protokolü olarak temelde 4 başlıkta sınıflandırabiliriz.



Şekil 3.1 Kablosuz Algılayıcı Ağları Yönlendirme Protokolleri Sınıfları

3.3.1. Veri Merkezli Yönlendirme Protokolü

Kablosuz algılayıcı ağlarında konumlandırılan algılayıcı düğümlerinin sayısının fazla olması nedeniyle her bir düğüm için genel bir tanımlayıcı atamak mümkün

değildir. Algılayıcı düğümlerinin ağ alanına rastgele dağıtılması ile genel bir tanımlayıcının olmaması, sorgulanacak belli bir algılayıcı veya algılayıcı kümesinin seçilmesini zorlaştırmaktadır. Ağdaki algılayıcıların algıladıkları verilerinin yanı sıra birbirleriyle olan iletişim verilerinin de olması ağ üzerinde genellikle fazla bilginin olmasına, bu durum da ağdaki enerjinin ve band genişliğinin verimli kullanılmamasına neden olmaktadır. Bu nedenlerle ağda bulunan algılayıcılardan bir dizi algılayıcı düğümü seçebilecek ve verilerin aktarılması sırasında veri toplanmasını kullanabilecek yönlendirme protokolleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu değerlendirme, iletişim yığınının ağ katmanında yönetilen adreslenebilir düğümler arasında rotaların oluşturulduğu geleneksel adrese dayalı yönlendirmeden farklı olan veri merkezli yönlendirmeye yol açmıştır [38].

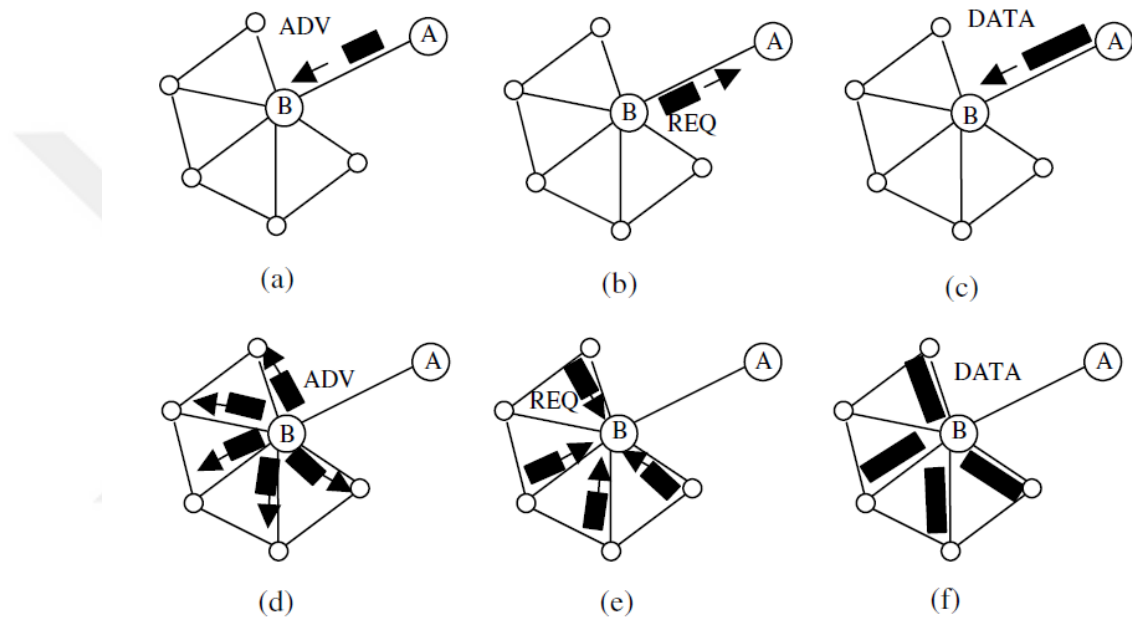
Veri merkezli yönlendirmede protokolünde, baz istasyonu belirli bölgelere sorgular gönderir ve düğümlerin bu sorgulara verdikleri cevapları bekler. Veri sorgulardan istendiği için, verilerin özelliklerini belirlemek için özellik tabanlı adlandırma sağlamak gerekir. Veriler bu sorgu alanında bulunan her algılayıcıdan baz istasyonuna iletilir. Bu yönlendirme protokolü, enerji tüketim verimsizliğinin yanında fazla verinin de iletilmesine neden olur. SPIN, DD, Enerji bilinçli yönlendirme (Energy-aware routing) gibi pek çok algoritma geliştirilmiştir [39]. Bunlardan SPIN ve DD protokolleri alt kısımda daha detaylı olarak bahsedilecektir.

3.3.1.1. SPIN (Görüşme Tabanlı Algılayıcı Protokolü - Sensor Protocol For Information Via Negotiation)

Heinzelman ve ark. 1999 yılında hangi düğümlerin hangi verileri iletmesi gerektiğini müzakere etmek için veri adlarının kullanılması gerektiğini önerir. Bunun için “Görüşme Tabanlı Algılayıcı Protokolü- Sensor Protocol For Information Via Negotiation” olarak bilinen SPIN algoritmasını geliştirmişlerdir.[39] SPIN protokolü veri merkezli protokoldür. SPIN protokolünde, her noktadan alınan veri ağ üzerinde bulunan tüm noktalara yayılır. Bu nedenle istenilen bilgi için herhangi bir noktadan sorgu yapılarak ulaşılabilir. Bu protokolde ağlarda bulunan noktalarda “metadata” denilen verilerin özelliklerini içeren bir bölüm bulunur. Enerji verimliliğinin sağlanabilmesi için bir veri alınmadan önce metadatası kontrol edilir [40,16].

SPIN protokolünde düğümler arası haberleşmede 3 adet işlem yürütülmektedir.

- Ağda yeni bir veri algılandığında algılayıcı düğüm reklam (ADV) paketi yayınlamaktadır.
- Herhangi bir veriye sahip olmayan düğümler gelen reklam paketini kabul etmek için bir istek (REQ) paketi gönderir.
- İstek paketi ile veri talebinde bulunan düğümlere, algılayıcı düğümler DATA paketi ile algıladıkları verileri gönderilir.



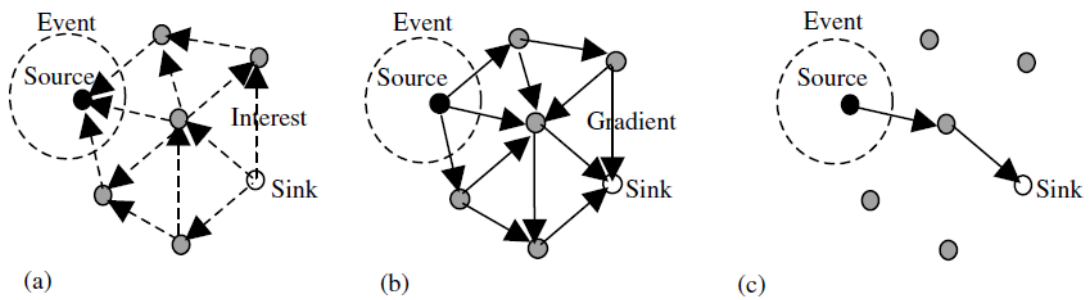
Şekil 3.2 SPIN Protokolü

a) A düğümü B düğümüne reklam paketi gönderir b) B düğümü A düğümünün gönderme isteğine cevap gönderir c) A düğümü B düğümüne asıl bilgiyi gönderir d) B düğümü komşu düğümlerine reklam paketi gönderir e) Komşu düğümlerden B düğümüne istek paketleri gönderilir f) B düğümü komşu düğümlerine veriyi gönderir

3.3.1.2. DD (Directed Diffusion-Doğrudan Yayılma)

Chalermek I. ve ark. 2003 yılında kablosuz algılayıcı ağlarının enerji verimliliğine odaklanan veri merkezli yönlendirme protokolü olan "Doğrudan Yayılma- Directed Diffusion" algoritmasını geliştirmişlerdir [2]. DD protokolü ağların enerji

verimliliğine odaklanan veri merkezli bir protokoldür. Bu yönlendirme protokolünde, baz istasyonu ağıdaki düğümlere istediği bilgi için yayın yapar ve sorguya cevap verecek düğümler sorgu sonucunu baz istasyonuna iletmek için en uygun yolu belirler. Baz istasyonu, gelen cevaplar için en uygun iletim yolunu belirler ve yolu güçlendirir (reinforcement). Baz istasyonunun belirlediği düğümler üzerinde bazı durumlarda sorgu kalitesinin düşebilir. Bu durumda baz istasyonu düğümü değiştirilebilir ve bu durum negatif kuvvetlendirme (negative reinforcement) olarak isimlendirilir [2].

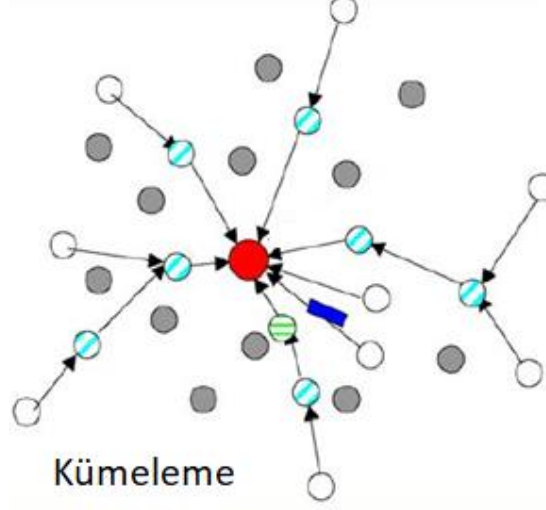


Şekil 3.3 DD Protokolü

a) İlgili yayılımı b) başlangıç düğüm belirlenmesi c) belirlenen yol boyunca veri gönderimi

3.3.2. Hiyerarşik Yönlendirme Protokolü

Algılayıcı ağlarının tasarım parametrelerinde önemli olan parametrelerden biri de ölçeklendirilebilirliktir. Tek katmanlı bir ağ yapısı algılayıcı yoğunluğu arttığında ağ geçidinin aşırı yüklenmesine ve bu durum da iletişimde gecikmeye neden olabilir. Ek olarak, tek ağ geçidi mimarisi daha geniş bir ilgi alanını kapsayan daha büyük bir algılayıcı seti için ölçeklendirilemez, çünkü algılayıcılar tipik olarak uzun mesafeli iletişim kuramaz. Sistemin ağda oluşan fazlalık yükü karşılayabilmesi ve hizmeti bozmadan iletimi sağlayabilmesi için yönlendirme protokolü yaklaşımlarında ağ kümelemesi gerçekleştirilmiştir [4].



Şekil 3.4 Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Tipik Bir Kümeleme Yapısı

Hiyerarşik yönlendirmenin temel amacı, belirli küme içerisindeki algılayıcı düğümlerinin çoklu atlama iletişimine katılarak alıcıya gönderdiği mesaj sayısını azaltıp enerji verimliliğini arttırmaktır. Küme yapısı algılayıcıların enerji seviyelerine ve algılayıcıların küme başlarına olan yakınlığına göre oluşturulur. LEACH protokolü algılayıcı ağlarında ilk hiyerarşik yönlendirme yaklaşımlarından biridir [41,42].

Hiyerarşik yönlendirme protokolü olarak LEACH ve PEGASIS algoritmaları alt kısımda daha detaylı olarak incelenecektir.

3.3.2.1. LEACH (Düşük Enerjili Adaptif kümeleme Hiyerarşisi Low - Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

Heinzelman ve ark. 2000 yılında ağdaki enerji verimliliğini arttırabilmek için kümetabanlı bir yönlendirme protokolü olan “Düşük Enerjili Adaptif kümeleme Hiyerarşisi - Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy” yönlendirme protokolünü sunmuştur. Ağdaki tüm algılayıcıların homojen olduğu ve sınırlı enerjiye sahip olduğu koşulu vardır [3]. LEACH protokolü, dağıtılmış algılayıcı düğümler içeren kümetabanlı bir protokoldür. LEACH protokolünde küme başı elemanları rastgele seçilir ve ağdaki algılayıcıların enerji seviyelerine göre küme başları değişir. Ağdaki

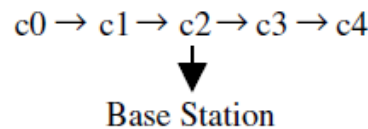
küme başı düğümleri veri işleme ve yürütme işlemlerini yürütmektedir. Küme başları, küme içerisindeki gönderim zamanını ve kodunu seçer. Küme içindeki ve kümeler arasındaki iletişimdeki çakışmaların azaltılması için küme içerisinde TDMA kullanılır. Kümeler arası iletişimde kullanılacak kod için CDMA kullanılır. Bu protokol ağdaki enerji verimliliğini artırmak için tasarlanmıştır.

LEACH protokolünün diğer protokollere göre dezantajı, küme başı dağılımı rastgele yapıldığından düzensiz küme başı seçilebilir. Küme başı seçiminin düzensiz olması algılanan verinin güvenilir olmamasına sebep olabilir. Buradaki düzensiz seçim ve yerleşim, düğümlerin gereksiz iletişimine neden olabilir. Gereksiz iletişim ağdaki enerji tüketimine sebep olarak ağ ömrünü kısaltabilir [4,5].

3.3.2.2. PEGASIS (Enerji Verimli Algılayıcı Bilgi Sistemi - Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems)

S. Lindsey ve ark. 2002 yılında başka bir hiyerarşik yönlendirme protokolü olan "Enerji Verimli Algılayıcı Bilgi Sistemi - Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems" protokolünü geliştirmiştir. Bu protokol de LEACH protokolünde olduğu gibi ağdaki enerji verimliliğini arttırmak için geliştirilmiştir. Ancak LEACH protokolünden farklı olarak küme oluşturmaz bunun yerine sıralanmış durumdadır [6]. Ağdaki düğümler, aralarındaki mesafeye göre sadece en yakın düğüm ile haberleşebilmektedir. SINK'e veri gönderimi sadece rastgele seçilen tek bir düğüm ile yapılmaktadır.

Bu protokoldeki ana problem veri iletimindeki gecikmedir. Ancak sadece birbirine yakın düğümler iletişim kurduğundan ağdaki yaşam süresi artmaktadır. Bu protokol de LEACH protokolünde olduğu gibi enerji verimliliğini artırmaktadır [6].



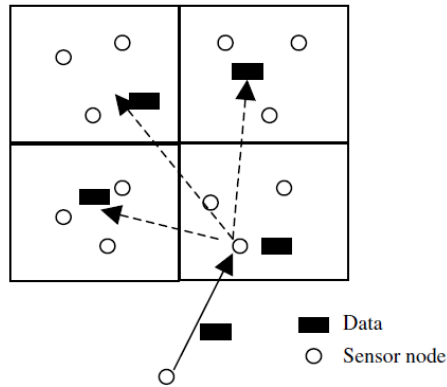
Şekil 3.5 PEGASIS Zincir Modeli

3.3.3. Konum Bazlı Yönlendirme Protokolü

Algılayıcı ağlarında yönlendirme protokolleri çoğu zaman ağdaki algılayıcıların konum bilgilerine ihtiyaç duyarlar. Enerji tüketimini tahmin edebilmek için çoğunlukla ağdaki belirli iki algılayıcı arasındaki mesafenin hesaplanması gerekir. Bu durumda da algılayıcıların konum bilgilerine ihtiyaç vardır. Enerjiyi daha verimli kullanabilmek için yönlendirme protokollerinde yaklaşım olarak konum bilgisi kullanılabilir. Örneğin, algılama yapılacak bölge biliniyor ise, o bölgedeki algılayıcılara sorgu yapılabilir. Bu da ağdaki enerji kaybının ve bilgi fazlalığının önüne geçebilir. Bu protokol önce mobil algılayıcı ağları için tasarlanmıştır ancak hareketsiz ağ yapılarında da enerji verimliliğini arttırmak için uygulanabilir. MECN ve SMECN, GAF, GEAR konum bazlı protokollerdendir. GEAR protokolü konum bazlı yönlendirme protokolünde daha detaylı bahsedeceğimiz protokoldür [43,44].

3.3.3.1. GEAR (Coğrafik ve Enerji Bilinçli Yönlendirme - Geographical and Energy Aware Routing)

Y. Yu ve ark. 2001 yılında enerjiyi daha verimli kullanabilmek için kablosuz algılayıcı ağında konumları belirli olan düğümler için “Coğrafik ve Enerji Bilinçli Yönlendirme – Geographical and Energy Aware Routing” protokolünü sunmuştur. Algılanacak bölgenin bilinmesi durumunda sadece o bölgeye sorgu gönderilerek diğer düğümlerin boşuna enerji harcamasının önüne geçilmiş olmaktadır [7,8]. GEAR protokolünde her düğüm kendi enerji seviyesi ve konumunu ayrıca komşuların enerji seviyeleri ve konumlarını bildiği koşulu vardır.



Şekil 3.6 GEAR Özyinelemeli Coğrafi Yönlendirme Modeli

GEAR protokolünde sorgu-yanıt prensibi kullanılır. GEAR, veri iletişimi için paketi hedef bölgeler içinde yaymak için tekrarlı bir coğrafi iletme algoritması kullanır. Ayrıca, bir paketi hedefine doğru yönlendirecek algılayıcıları seçmek için coğrafi bilgilere dayanan enerji duyarlı sezgileri kullanır [7,8].

3.3.4. QoS (Servis Kalitesi Odaklı) Yönlendirme Protokolleri

Algılayıcı ağları için önerilen yönlendirme protokollerinin çoğu sınıflandırmasına uysa da, bazıları QoS gibi biraz farklı bir yaklaşım izlemektedir.

QoS, Servis Kalitesi, iletim hızlarının, hata oranlarının ve diğer özelliklerin ileri düzeyde garantili olduğu, bir dereceye kadar ölçülebildiği, geliştirildiği ve bir dereceye kadar garanti edilebileceği fikridir. Servis kalitesi, bir veri paketini kaynaktan hedefe doğru iletirken karşılanması gereken bir dizi hizmet gereksinimi olarak tanımlanır. Servis kalitesi odaklı yönlendirmesi, yükü sadece bant genişliği ve gecikme gibi servis kalitesi gereksinimlerini karşılayan farklı algılayıcı düğümleri arasında değil aynı zamanda sürekli değişen gereksinimlere hızlı bir şekilde cevap verebilmek için rota oluşturmaktır [9].

Bu yaklaşımlarda, algılayıcıların iletim yönleri bir ağ akış sorunu olarak modellenir ve çözülür. QoS uyumlu protokoller, algılayıcı ağındaki yolları ayarlarken uçtan uca gecikme gereksinimlerini dikkate alır.

4.1. Kablosuz Algılayıcı Ağları İçin Tasarlanan Yönlendirme Protokolü

Farklı alanlar ve ihtiyaçlara göre çeşitli kablosuz algılayıcı ağları tasarımları günümüzde çok sıklıkla kullanılmaktadır. Literatür taramalarında farklı haberleşme protokolleri araştırılmış ve incelenmiştir. İncelemeler sonucunda, kablosuz algılayıcı ağlarında kullanılan algılayıcıların farklı iletim mesafelerine sahip olması durumu için kullanılabilir bir haberleşme protokolüne rastlanmamıştır. İncelenen yöntemler ve uygulamalar aynı tip, özdeş algılayıcılar için oluşturulmuştur. Fakat uygulama alanlarının ve algılayıcı çeşitlerinin artması ile birlikte kablosuz algılayıcı ağları ihtiyaçları da artabilir. Daha önceden oluşturulan ağ alanını büyütmek veya farklı tip algılayıcılar kullanılmak istendiğinde geleneksel yöntemlerle oluşturulan kablosuz algılayıcı ağlarında kullanılan haberleşme yöntemleri yetersiz kalabilmektedir. İhtiyaçlara göre bu ağ alanı genişletmek veya yeni çıkmış farklı anten büyüklüğüne sahip başka bir algılayıcı, ağa ilave edilmek istenebilir. Yukarıdaki “2.5. Kablosuz Algılayıcı Düğümleri Kısıtları” bölümünde anten ve enerji kısıtlarından bahsedilmiştir. Bu nedenle kablosuz algılayıcıların anten iletim mesafesinden maksimum seviyede faydalanarak ağdaki iletişim verimliliğini artırmak için uygulanan yöntemlerin yetersiz olabileceği bu nedenle de özdeş olmayan algılayıcılar için oluşturulan ağda uygulanabilecek bir yönlendirme protokolü tasarlanmıştır. Ayrıca sadece iletim mesafesi değil, algılayıcı konumları ve konum değişiklikleri de önemli bir husustur. Algılayıcıların konumlarının önemi “3.2. Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Yönlendirme Protokolü Tasarımı Zorlukları” başlığı altında açıklanmıştır. Algılayıcıların konumu ağ içerisinde sabit olamayabilir. Örneğin; çevre araştırmalarında okyanusları incelemek için kablosuz algılayıcı ağları kullanılabilir. Algılayıcılar su altında kullanıldığı için de konumları sabit olmamaktadır. Bu nedenle ağdaki algılayıcılar haberleşmek için tekrar

kümelenmek, diğer algılayıcılarla ve baz istasyonu ile aralarındaki mesafeyi sürekli hesaplamak gibi gereksinimleri bulunurlar. Sürekli yapılan hesaplama nedeniyle algılayıcılar çok ciddi enerji kaybına uğrarlar. Bu durum da ağın verimliliğini ciddi anlamda düşürmektedir. Tüm bu durumlar göz önüne alındığında kablosuz algılayıcı ağlarında özdeş olmayan ve dinamik ortamlarda kullanılabilen bir haberleşme protokolü tasarlanmıştır.

Tasarlanan ağ alanı büyüktür ve ağda farklı iletim mesafelerine sahip özdeş olmayan algılayıcılar bulunmaktadır. Tasarlanan sistemin çalışma prensibi şu şekildedir. Baz istasyonu çevresindeki algılayıcılarla iletişime geçebilmek için yayın yapar. Ağdaki bazı algılayıcılar baz istasyonunun bu yayınına cevap verebilirken bazıları da buldukları konum veya enerji seviyeleri itibari ile doğrudan iletişime geçemeyip, diğer algılayıcılar üzerinden baz istasyonu ile iletişime geçerler. Baz istasyonu ile doğrudan haberleşebilen algılayıcılara atlamasız (doğrudan), haberleşemeyen algılayıcılara atlamalı (dolaylı) haberleşme için indisler atanmıştır. Başlangıçta algılayıcılar S ile, algılayıcıların indisleri i ile ve her algılayıcı katmanı j ile gösterilmektedir. Algılayıcıların sayısı n ile gösterilmektedir. Başlangıçta $j = 0$ dır. Yani başlangıçta algılayıcıların hiç katmanı yoktur.

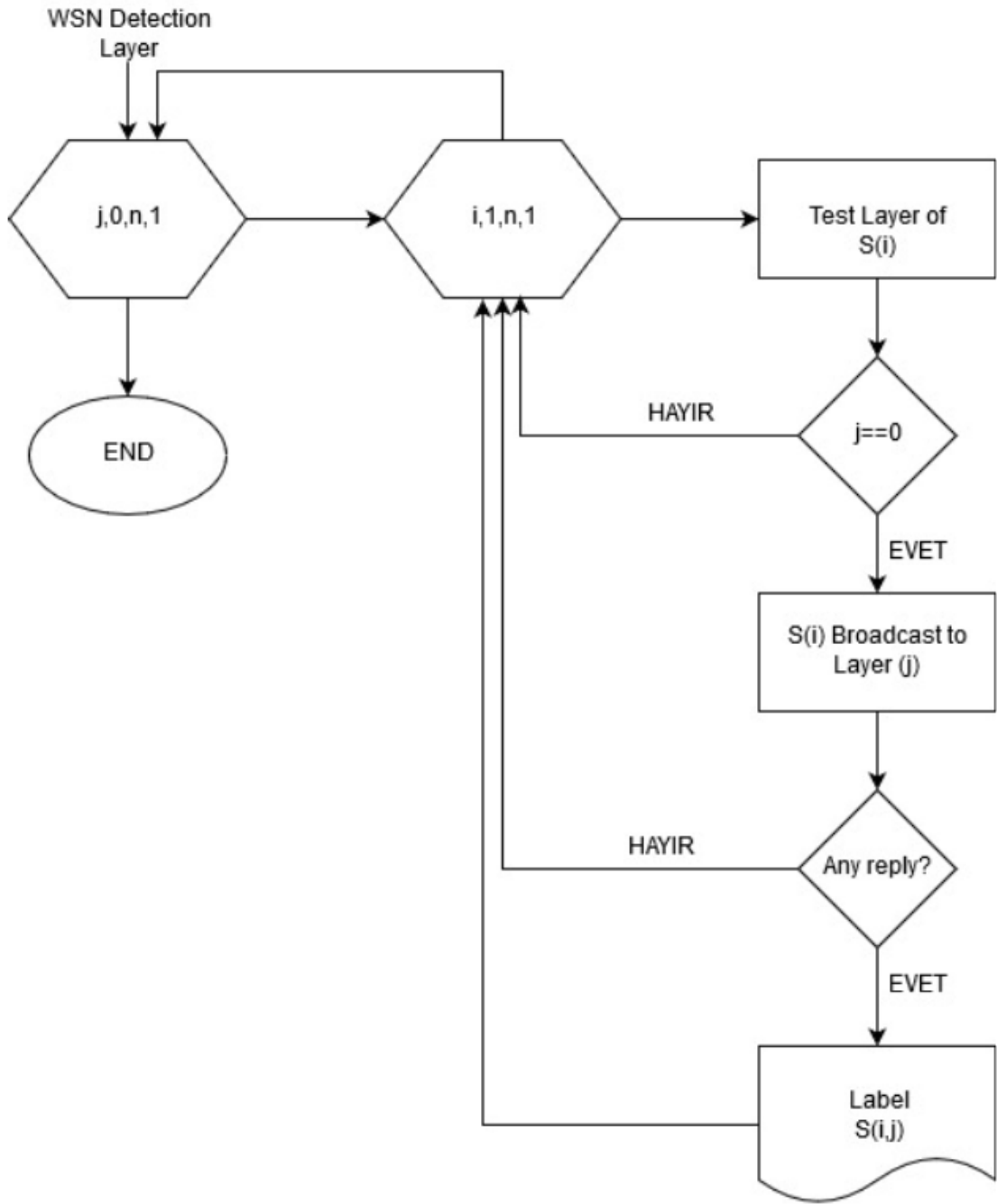
$S(0,0)$: Baz istasyonu (Merkez)

$S(i)$: i ninci sensör

$S(i, j)$: i ninci sensör j katmanı

n = Sensör sayısı

olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Tasarlanan Haberleşme Algoritmasının Akış Şeması

4.1.1. Yayın Algoritması

Yayın algoritmasında; haberleşecek algılayıcılar arasındaki mesafe, cevap verecek algılayıcının kapsama alanından küçükse iletim gerçekleşir. Aksi durumda yani mesafe kapsam alanından büyükse cevap iletilemez. Formülde $j - 1$ katmanında bulunan a nıncı algılayıcı, j katmanında bulunan b ninci algılayıcıya mesaj göndermektedir. b ninci algılayıcının yanıt verebilmesi için aralarındaki mesafenin b ninci algılayıcının kapsama mesafesinden küçük olması gerekmektedir.

Algoritmada kullanılan yayın alt fonksiyonunu da şu şekilde tanımlayabiliriz.

$$S(a, j - 1) = (x_1, y_1)$$

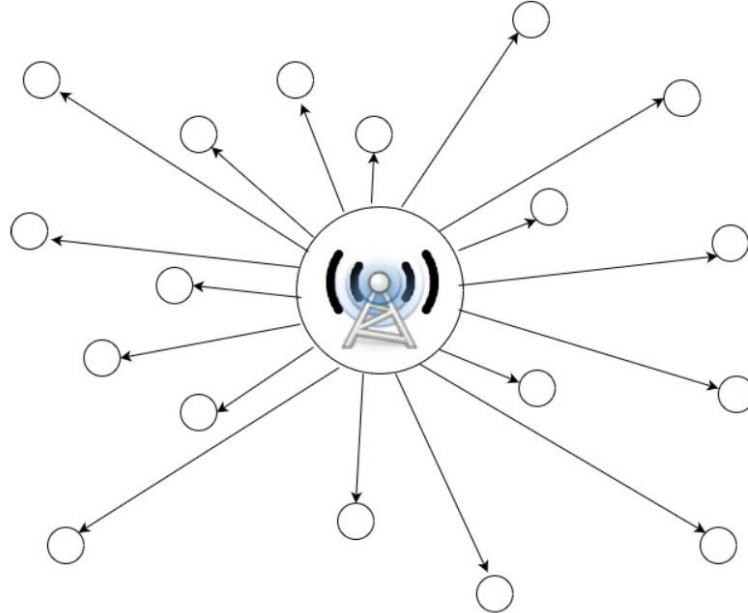
$$S(b, j) = (x_2, y_2)$$

C_a : a nıncı sensörün kapsama mesafesi

C_b : b ninci sensörün kapsama mesafesi

Yapılan yayınına yanıt koşulu;

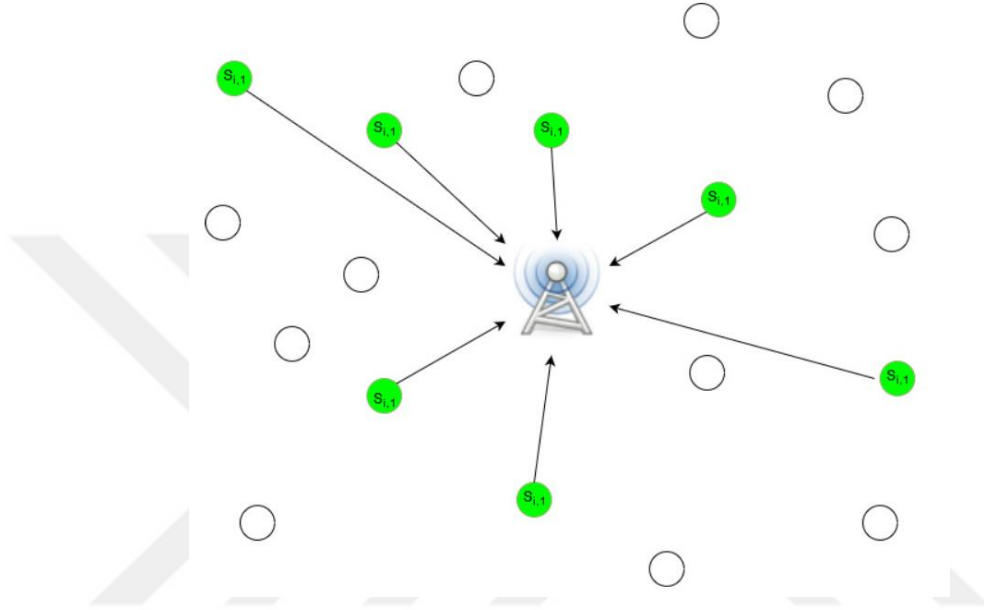
$$\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \leq C_b \text{ şeklindedir.}$$



Şekil 4.2 Baz İstasyonunun Yaptığı Yayın

Şekil 4.2'de baz istasyonu ağda bulunan tüm algılayıcılara yayın yapar ve iletişim kurmak için onların cevabı bekler. Başka bir deyişle baz istasyonu ağdaki düğümlere

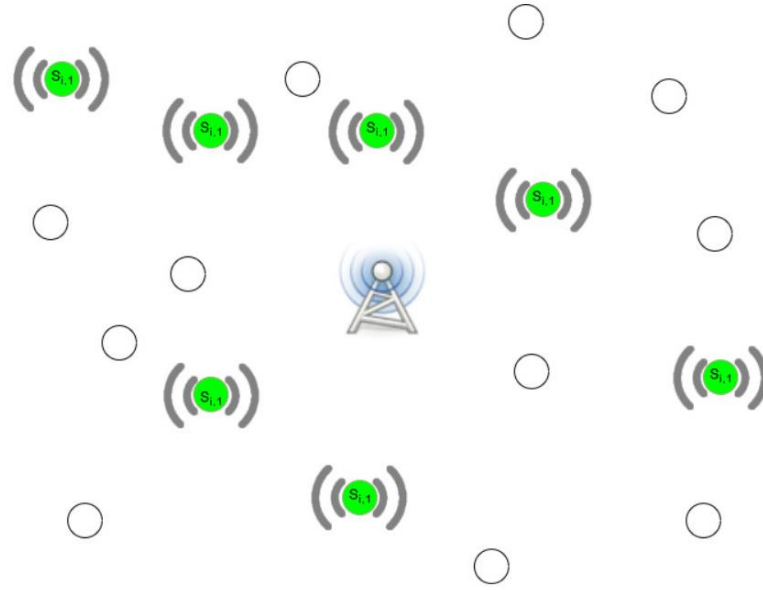
sorgu paketi gönderir ve görüşmenin başlayabilmesi için onların sorgu paketine uygun cevabını beklemektedir. Bu durum, başlangıç durumudur ve ağdaki algılayıcılar katmanlanmamıştır. Algoritmaya göre $j = 0$ durumudur. Başlangıç durumunun sonucunda cevap paketi gönderebilen düğümler baz istasyonu ile doğrudan haberleşebilen düğümler olarak işaretlenecekler yani $j = 1$ değerlerini alacaklardır.



Şekil 4.3 Tasarlanan Sistemde Baz İstasyonu İle Doğrudan Haberleşebilen Algılayıcılar

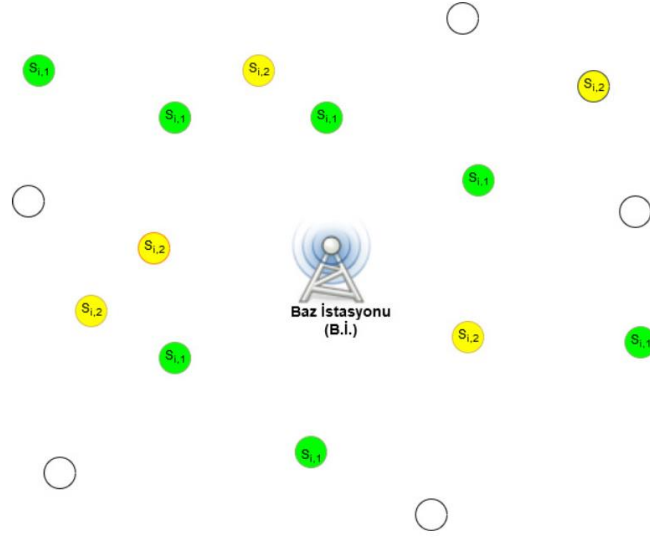
Baz istasyonunun yayın sorgusunu alabilen ve cevabı baz istasyonuna ulaştırabilen algılayıcılar katmanlarını $j = 1$ olarak alırlar. Bu durum Şekil 4.3'de gösterilmiştir. $j = 1$ değerini alan algılayıcılar diğer algılayıcıların algıladıkları verileri baz istasyonuna ulaştıracak algılayıcılardır. Şekil 4.3'de de görüleceği gibi bazı algılayıcılar baz istasyonuna yakın bazı algılayıcılar ise uzak olabilir. Bu durum özdeş olmayan algılayıcıların sahip olduğu iletim mesafesi ile ilgilidir. Uzaktaki bir algılayıcının iletim mesafesi baz istasyonuna yakın olan ancak çok daha az anten iletim mesafesine sahip olan başka bir algılayıcıdan büyük olabilir. Bu durumda uzakta olmasına rağmen baz istasyonunun sorgusuna cevap verebilir. Ağda bulunan

algılayıcılar üzerinde bulunan antenlerin iletim mesafeleri kapasiteleri sayesinde uzakta olsalar dahi baz istasyonu ile haberleşebilir ve $j = 1$ katmanını alabilirler.



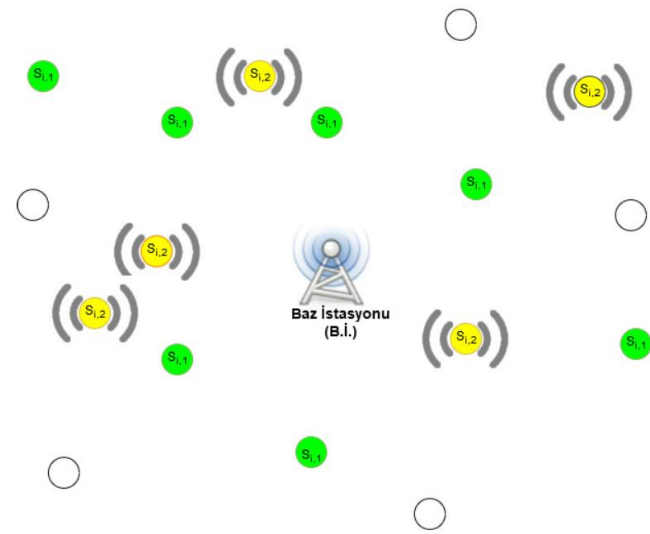
Şekil 4.4 Tasarlanan Sistemde $j=1$ Katmanlı Algılayıcılarının Yaptığı Yayın

Sonraki aşamada haberleşme yolunu tayin edebilmek için $j = 1$ katmanını alan algılayıcılar ağdaki kalan algılayıcıları katmanlamak ve baz istasyonu ile haberleşebilmek için diğer algılayıcılara yayın (sorgu paketi gönderimi) yaparlar. $j = 1$ katmanındaki S_1 algılayıcıları kalan düğümlere sorgu gönderir ve onları katmanlayabilmek için cevaplarını bekler. Şekil 4.4'de tasarlanan sisteme göre $j = 1$ katmanlı algılayıcıların geri kalan düğümlere yaptığı yayın gösterilmektedir. S_1 algılayıcının yaptığı yayınına kapsama alanında bulunan algılayıcılar cevaplarını gönderip $j = 2$ katmanını alabilirler. Şekil 4.5'de S_1 algılayıcılarının yaptığı yayınına cevap verebilen $j = 2$ katmanını alan algılayıcılar gösterilmiştir.



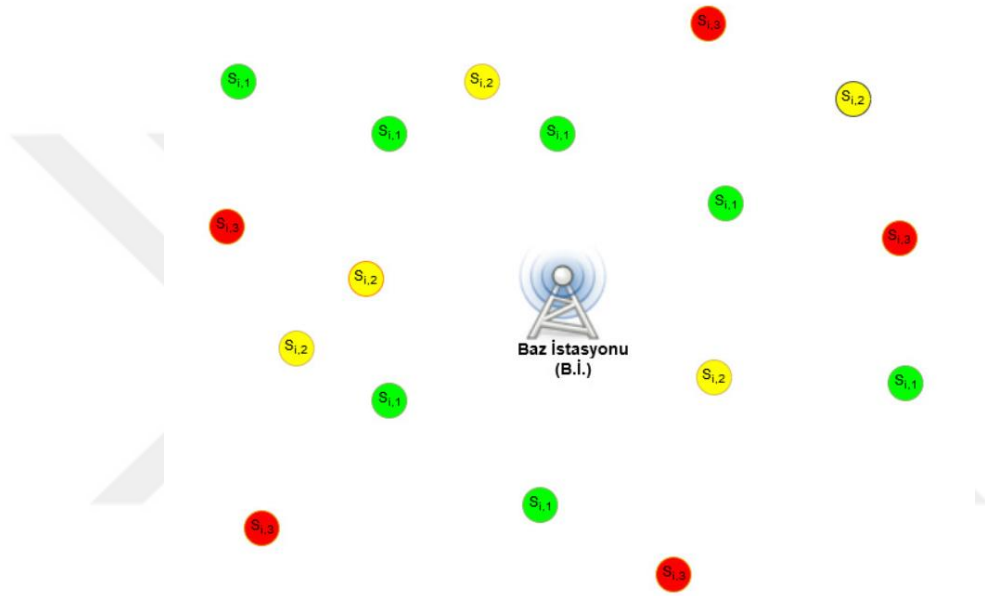
Şekil 4.5 Tasarlanan Sistemde $j=1$ Katmanlı Algılayıcılarla Haberleşen Algılayıcılar, $j=2$ Katmanlı Algılayıcılar

$j = 1$ katmanlı algılayıcıların gönderdiği sorguyu alıp cevap verebilen algılayıcılar $j = 2$ katmanını alırlar. Algıladıkları verileri baz istasyonuna $j = 1$ katmanlı algılayıcılar vasıtası ile iletirler. Ancak burada haberleşme yolunun tayin edilebilmesi için S2 algılayıcılarının hangi S1 algılayıcıları ile iletişim kuracağı da önemlidir. S2 algılayıcıları tüm S1 algılayıcıları ile iletişim kuramazlar sadece kendi kapsama mesafelerindeki S1 algılayıcıları ile haberleşebilirler.



Şekil 4.6 Tasarlanan Sistemde $j=2$ Katmanlı Algılayıcılarının Yaptığı Yayın

Ağ alanında henüz katmanlanmamış algılayıcılar bulunabilir. Algılayıcıları katmanlamak için $j = 2$ katmanlı algılayıcılar ağdaki kalan algılayıcılara sorgu gönderirler. Yapılan sorguya cevap verebilen algılayıcılar $j = 3$ katmanını alırlar. Şekil 4.7’de S2 algılayıcılarının yaptığı yayınına cevap verebilen $j = 3$ katmanını alan algılayıcılar gösterilmiştir. $j = 3$ katmanını alan S3 algılayıcıları için hangi S2 algılayıcısı ile iletişim kuracağı önemlidir. S3 algılayıcıları tüm S2 algılayıcıları ile iletişim kuramaz, sadece kendi kapsama alanlarında bulunan S2 algılayıcıları ile iletişim kurabilirler.



Şekil 4.7 Tasarlanan Sistemde $j=2$ Katmanlı Algılayıcılarla Haberleşen Algılayıcılar, $j=3$ Katmanlı Algılayıcılar

Ağdaki tüm algılayıcılar katmanlanana dek bu işlem bu şekilde devam eder. Algılayıcıdaki haberleşme ve veri yönlendirme kendi katman sayısından bir küçük katmanlı algılayıcılarla haberleşmeleri şeklindedir. Burada tasarlanan haberleşme algoritmasının akış şeması Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

Tasarlanan algoritma ile kümeleme için bir algoritmaya da ihtiyaç kalmamaktadır. Çünkü ağda bulunan uzak noktadaki $j = 1$ katmanlı algılayıcı doğrudan baz istasyonu ile haberleşebildiği için uç noktalarda bulunan algılayıcılar bir küme başı

düğüme ihtiyaç duymadan o algılayıcı aracılığı ile baz istasyonuna algıladıkları veriyi iletebilirler.

Ağıdaki algılayıcılar kendilerinden küçük katmanlı tüm algılayıcılarla haberleşme kuramazlar. Sadece kendilerinin iletim mesafelerindeki algılayıcılarla iletişim kurabilirler. Ancak enerjiyi daha verimli kullanabilmek için iletim mesafesi içinde kalan algılayıcı topluluğu içinden hangi algılayıcı ile iletişim kuracağı da önemlidir. Bu nedenle algılayıcılar, algıladıkları verileri iletmek için bir seçim ve yönlendirme algoritmasına ihtiyaç duyarlar. Bu ihtiyaç, kendilerinden bir önceki katmanda bulunan algılayıcıların enerji seviyesine göre seçtikleri ve haberleşme yolunu tayin ettikleri seçim algoritması ile giderilmesi amaçlanmıştır.

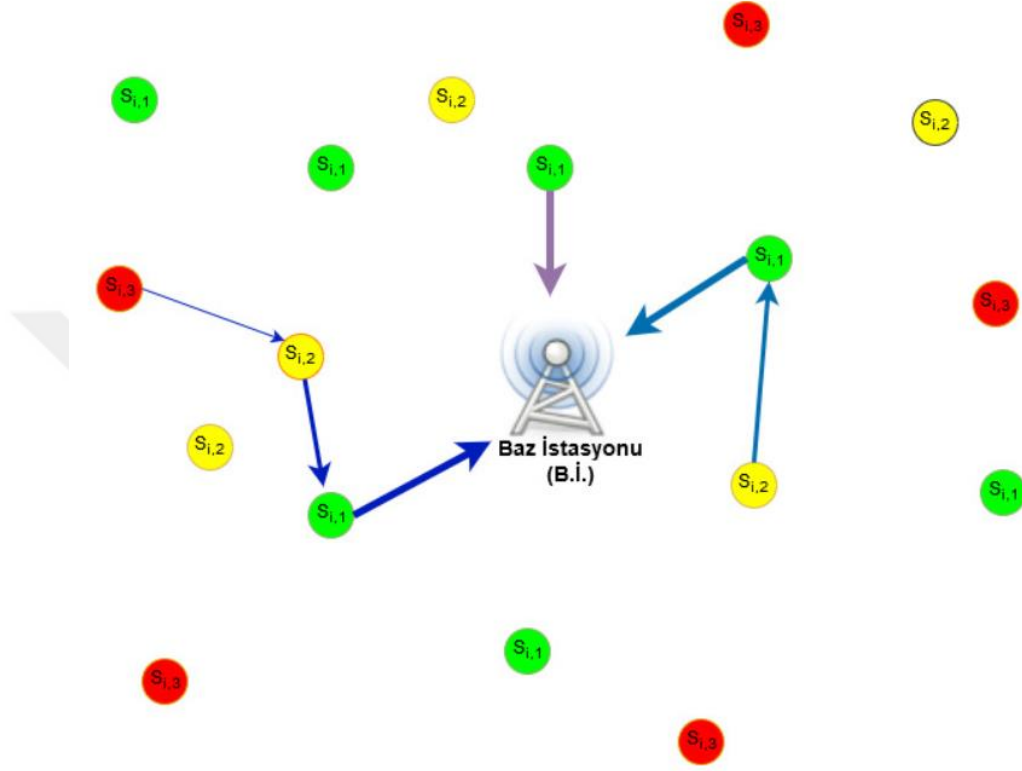
4.1.2. Seçim ve Yönlendirme Algoritması

Tasarlanan sistemde, bant genişliğini ve algılayıcıların enerjisini daha verimli kullanabilmek için seçim algoritması tasarlanmıştır. Seçim algoritmasında; doğrudan veri iletimi yapamayan algılayıcıların kendinden bir küçük katmanlı algılayıcılar ile veri iletimi yaptığı üst kısımda belirtilmiştir. s_j algılayıcı iletim için s_{j-1} indisli algılayıcıyı kullanır. Ancak ağıdaki verimliliğini artırmak için hangi s_{j-1} algılayıcıyı seçeceği de önemlidir. Bu nedenle bir seçim ve yönlendirme algoritmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Tasarlanan algoritmada, kendi indisinden küçük ve kapsama alanında olan yüksek enerji seviyeli algılayıcıyı tespit edip bilgilerini gönderir. İletim devam edip iletilen algılayıcının enerji seviyesi aynı iletim katmanında ve kapsama alanında bulunan başka bir algılayıcıdan düşük oluncaya kadar bu durum devam etmektedir. Böylelikle uç noktada bulunan algılayıcı, algıladığı verileri baz istasyonuna seçtiği algılayıcı üzerinden yönlendirir.

Seçim algoritması ile algılayıcıların yönlendirme yolu belirtilmiştir. Tasarlanan sistemde $j+1$ katmanındaki algılayıcılar j katmanındaki tüm algılayıcılar ile iletişim kuramazlar. Sadece kendi kapsama mesafeleri içindeki algılayıcı ile veri iletimi sağlayabilirler.

Şekil 4.8'de görüldüğü gibi katmanlardaki algılayıcılar kendinden bir önceki katmanlardaki algılayıcılar vasıtasıyla baz istasyonu ile haberleşirler.

$S_{i,3}$ algılayıcısının algıladığı veriyi $S_{i,2}$ 'ye oradan da $S_{i,1}$ üzerinden baz istasyonuna iletir. Ağdaki düğümlerin yerleri değişirse yani yapı dinamik olsa da bu katmanlı yapı kendini yeniden organize ederek veri yönlendirmesini yeni algılayıcılar üzerinden yapar.



Şekil 4.8 Tasarlanan Sistemde Veri Yönlendirme

Tasarlanan sistem algılayıcıların iletim kapasitelerini ve enerjilerini en yüksek oranda kullanmayı amaçlamıştır. Örneğin ağ alanında baz istasyonuna çok uzak mesafede bir algılayıcı olduğunu varsayalım. Bu algılayıcının anten iletim mesafesi yüksek ve baz istasyonu ile doğrudan haberleşebiliyorsa bu algılayıcı başka bir algılayıcı üzerinden veriyi iletip ağdaki enerjiyi tüketmemelidir. Bu nedenle kendi kapsama mesafelerinde bulunan bir küçük katmanlı algılayıcıların enerji seviyelerine göre iletişim yolunu tayin ederler. Örneğin ikinci katmanda bulunan $S_{x,2}$ algılayıcısı birinci katmanda bulunan $S_{y,1}$ ve $S_{z,1}$ algılayıcıları ile haberleşebilmektedir. $S_{y,1}$ algılayıcısının enerjisi $S_{z,1}$ algılayıcısından büyüktür. Bu

durumda $S_{x,2}$ algılayıcısı $S_{y,1}$ ile haberleşerek baz istasyonuna veri gönderimi yapacaktır. Ancak iletim $S_{y,1}$ üzerinden yapıldığı için zaman içerisinde enerji seviyesi düşecektir. $S_{y,1}$ algılayıcısının enerji seviyesi $S_{z,1}$ algılayıcısından düşük olduğu zaman $S_{x,2}$ algılayıcısı $S_{z,1}$ ile haberleşmeye başlayacak ve baz istasyonuna $S_{z,1}$ düğümü üzerinden veri gönderimi yapacaktır. Bu seçim algoritması ile ağdaki algılayıcıların da enerji seviyeleri verimli olarak kullanılabilir ve ağ ömrü uzayacaktır. Şekil 4.8'de katmanlanmış düğümlerin haberleşme yolunun tayin edildiği ve hangi düğümün hangi yol üzerinden baz istasyonu ile haberleştiği gösterilmektedir.

Tasarlanan sistemde ayrıca bir kümeleme algoritması kullanılmamıştır. Az önce bahsettiğimiz örnekte de görüldüğü gibi yine uç noktada bulunan fakat baz istasyonu ile haberleşebilen algılayıcı düğümünün kümeleme için tekrar hesaplamaya girip enerji tüketmesine gerek yoktur. $S_{i,1}$ katmanlı algılayıcılar tasarlanan bu sistem için küme başı düğümü olarak işlev görürler ve ağda bulunan algılayıcılar bu düğümler vasıtasıyla baz istasyonuna veri gönderirler.

4.2. Tasarlanan Sistemin Uygulaması

Yukarıda tasarlanan yönlendirme algoritmasının açıklaması doğrultusunda MATLAB'de tasarlanan haberleşme algoritması uygulanmıştır. MATLAB program versiyonu olarak R2015a kullanılmıştır.

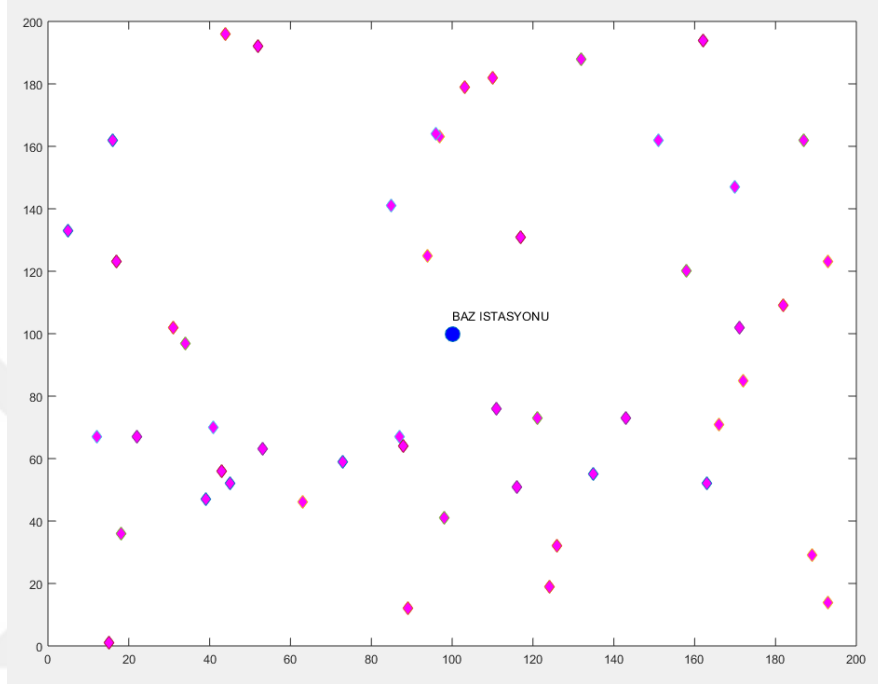
Tasarlanan algoritmanın simülasyonu için kablosuz algılayıcı ağ alanı 200×200 olarak belirlenmiştir. Belirlenen ağ alanı içerisinde 50 adet 3 farklı kapsama alanına sahip algılayıcılar kullanılmıştır. Baz istasyonu ağ alanının merkezine yerleştirilmiştir. Algılayıcılar; S1, S2 ve S3 olarak isimlendirilmiştir. S1 algılayıcısı baz istasyonu ile doğrudan haberleşebilmekte, S2 algılayıcısı S1 algılayıcısı üzerinden baz istasyonu ile haberleşebilmekte ve S3 algılayıcısı S2 ve S1 üzerinden baz istasyonu ile haberleşebilmektedir. Program çıktısı üzerinde daha anlaşılabilir olması için algılayıcılar için renk kodları kullanılmıştır. S1 algılayıcısı için yeşil, S2 algılayıcısı için sarı, S3 algılayıcısı için kırmızı renk kodları kullanılmıştır.

Algılayıcıların kapsama alanları C olarak tanımlanmıştır. Baz istasyonunun kapsama alanı 250 ($C_0=250$), S1 algılayıcısının kapsama alanı 100 ($C_1=100$), S2 algılayıcısının kapsama alanı 50 ($C_2=50$), S3 algılayıcısının kapsama alanı ise 25 ($C_3=25$) olarak programa girilmiştir. C1 kapsama alanına sahip 10 adet algılayıcı, C2 kapsama alanına sahip 20 adet algılayıcı ve C3 kapsama alanına sahip 20 adet algılayıcı tanımlanmıştır. Tablo 4.1’de MATLAB simülasyonunda kullanılan parametreler ve değerler gösterilmiştir.

Tablo 4.1 MATLAB Simülasyonunda Kullanılan Parametreler ve Değerleri

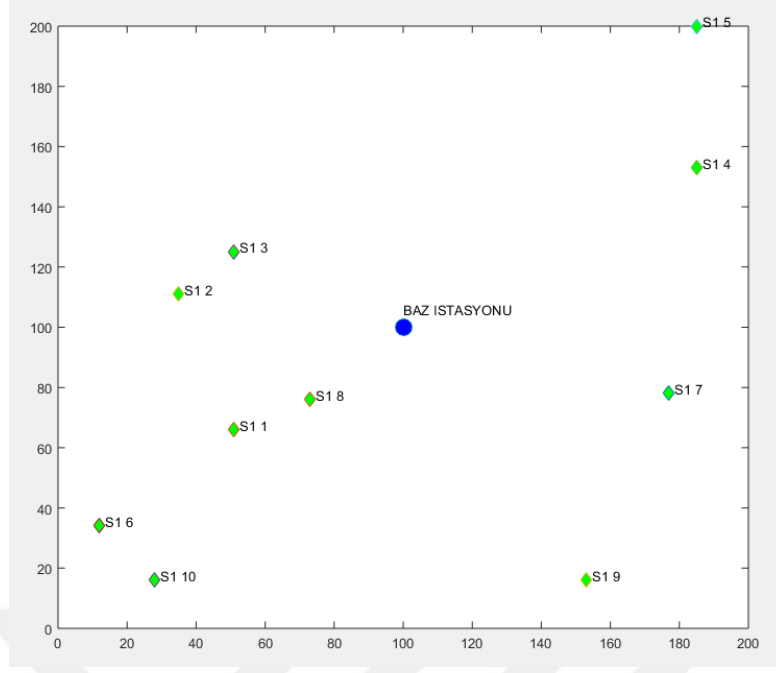
| Parametre | Değer |
|--|---------|
| Ağ alanı | 200x200 |
| C0 (Baz istasyonunun kapsama alanı) | 250 |
| C1 | 100 |
| C2 | 50 |
| C3 | 25 |
| Baz istasyonu sayısı | 1 adet |
| C1 kapsama alanına sahip algılayıcı sayısı | 10 adet |
| C2 kapsama alanına sahip algılayıcı sayısı | 20 adet |
| C3 kapsama alanına sahip algılayıcı sayısı | 20 adet |
| Toplam algılayıcı sayısı | 50 adet |
| Baz istasyonu koordinasyonu | 100x100 |
| S1 algılayıcısının renk kodu | Yeşil |
| S2 algılayıcısının renk kodu | Sarı |
| S3 algılayıcısının renk kodu | Kırmızı |

Başlangıçta 50 adet özdeş olmayan algılayıcılar ağa rastgele yerleştirilmişlerdir ve ne katman değerleri ne de renk kodları vardır. Şekil 4.9'da 50 adet algılayıcının değerleri önceden belirlenmiş ağ alanına rastgele dağıtılması gösterilmiştir. Rastgele dağıtılan algılayıcı düğümlerin renk kodları bulunmamaktadır.



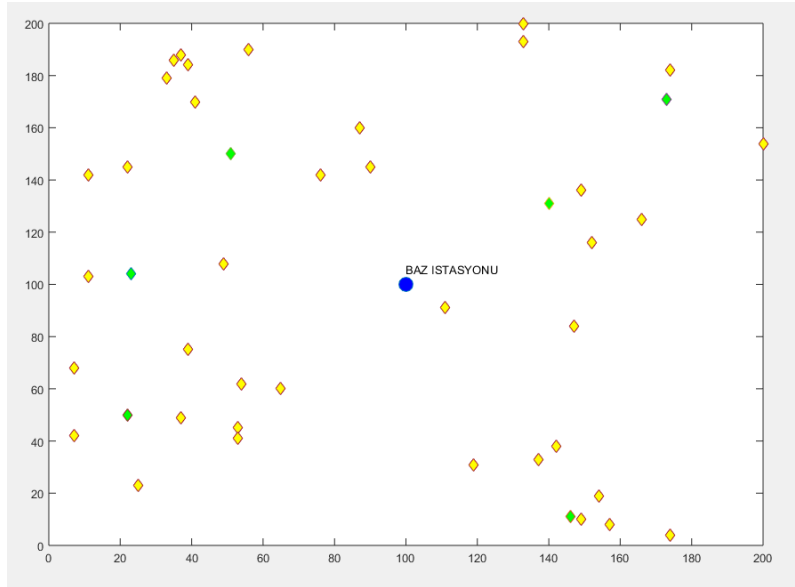
Şekil 4.9 MATLAB Simülasyonunda Algılayıcıların Ağ Alanına Rastgele Dağıtılması

Yukarıda açıklanan baz istasyonunun yaptığı yayın algoritması için baz istasyonu ile tüm düğümlerin arasındaki mesafeler hesaplanmıştır. Hesaplanan mesafe ile kapsama alanında bulunan algılayıcılar tespit edilmiştir. Bu algılayıcılar baz istasyonu ile doğrudan haberleşebildiği için S1 olarak adlandırılmış ve yeşil renk ile gösterilmiştir. Aynı zamanda algılayıcılar numaralandırılmıştır. Şekil 4.10'da S1 olarak adlandırılan algılayıcıların simülasyon çıktısı gösterilmektedir.



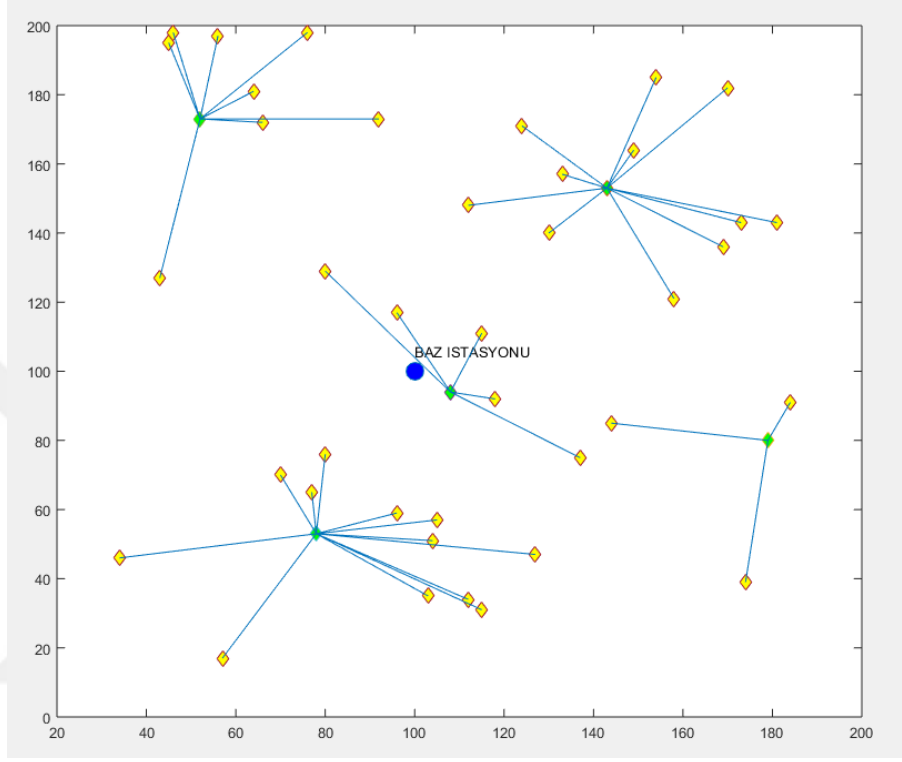
Şekil 4.10 Tasarlanan sisteme göre S1 indisini alan algılayıcılar

Baz istasyonu ile iletişim kuramayan algılayıcıların yayın algoritması için ağda bulunan tüm algılayıcıların birbirleri ile mesafeleri hesaplanmıştır. S1 indisli algılayıcılar ile haberleşebilen algılayıcılar belirlenmiş ve S2 indisini alıp sarı ile gösterilmiştir. Şekil 4.12'de S1 ile haberleşebilen tüm S2 düğümleri gösterilmektedir.



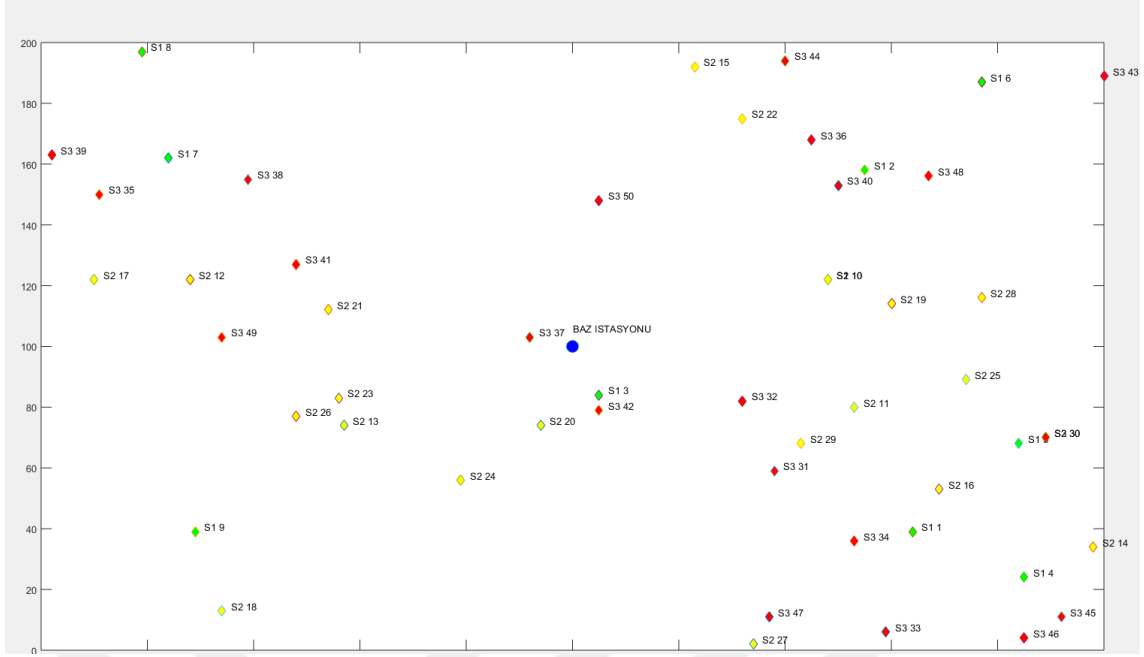
Şekil 4.11 Tasarlanan sisteme göre S2 indisini alan algılayıcılar

Ancak S2 algılayıcıları ağda bulunan tüm S1 algılayıcıları ile haberleşemezler, yalnızca kendi kapsama mesafelerinde bulunan S1 düğümleriyle haberleşebilirler. S2 algılayıcıların başlangıçta hangi S1 düğümü ile haberleşeceği önemlidir. Şekil 4.12’de S2 algılayıcıların başlangıç durumunda hangi S1 algılayıcısı üzerinden baz istasyonu ile haberleşeceği de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 S2 algılayıcısının hangi S1 üzerinden baz istasyonu ile haberleşeceği gösterimi

Ağda S1 ve S2 algılayıcılarının indislerini ve renk kodlarını aldıktan sonra, S2 algılayıcıları ile iletişime geçebilen S3 algılayıcıları da indislenmiştir. Tasarlanan sistemde Tablo 4.1’de belirlenen değerlere göre indis almamış algılayıcı bulunmamaktadır. Bu değerlere göre 200x200 lük bir ağ alanında, 3 farklı iletim mesafesine sahip toplam 50 adet algılayıcı düğüm 3 katmanlı bir yapı oluşturulmuş ve haberleşme yönü bu katmanlara göre tayin edilmiştir. Şekil 4.13’de ağ alanındaki tüm algılayıcı düğümlerin renk kodları ve katmanları gösterilmektedir. Hangi algılayıcıların kendilerinden bir önceki algılayıcı düğüme bağlanabileceği ve enerji durum değişimlerinde iletme hangi algılayıcı düğüm ile devam edebilecekleri belirlenmiştir.



Şekil 4.13 Ağda bulunan algılayıcıların tamamının indislenmesi

Ağda bulunan tüm algılayıcılar tasarlanan haberleşme algoritmasına göre indislerini alıp, hangi algılayıcılar vasıtası ile baz istasyonu ile haberleşeceğinin yolunu tayin edebilirler. Sistemde ilave olarak kümeleme algoritması kullanılmamıştır. Çünkü hangi algılayıcıların doğrudan baz istasyonu ile haberleşeceği belirlidir. S1 algılayıcısı onunla haberleşebilecek S2 algılayıcıları için bir küme başı düğümü görevini görmektedir. S2 algılayıcısı için kapsama alanında bulunan S1,x algılayıcısının enerji seviyesi kapsama alanındaki başka bir S1,y algılayıcısı değerinden küçük olana kadar iletim S1,x üzerinden devam etmektedir.

Tasarlanan bu sistemde literatürde bulunan farklı kapsama alanlarına sahip özdeş olmayan algılayıcıların anten iletim mesafesini daha verimli kullanarak haberleşmesi amaçlanmıştır. Ayrıca ortam koşulları nedeniyle konumları sürekli olarak sabit olmayan hareket edebilen algılayıcılardan oluşan kablosuz algılayıcı ağları için de kullanışlı bir algoritmadır.

Tasarlanan sistem; veri tabanlı bir haberleşme protokolüdür. Enerji ve katman bilgisini sorgulamak için algılayıcıdan bilgi alınması gerekmektedir. Kablosuz ve kablolu algılayıcı ağlarından farklı ve avantajlı olarak; özdeş olmayan kablosuz algılayıcı ağ yapılarında, izlenmek istenen ağ alanı çok büyük olduğu durumlarda ve hatta dinamik (hareketli) ağ yapılarında kullanılabilir. Bu tasarım yapısı ile birlikte algılayıcıların anten iletim mesafelerinden maksimum seviyede iletişim verimliliği de sağlanmış olmaktadır.

Ağ alanı büyütülmek istendiğinde ve farklı iletim mesafesine sahip algılayıcılar, tasarlanan protokol ile baz istasyonu ile iletişim kurabilirler.

Bu çalışmada aynı sınıfta ancak farklı haberleşme mesafesine ve batarya teknolojisine sahip algılayıcılar için ortak bir protokol hazırlanmıştır. Protokol, ağdaki algılayıcıların sadece statik durumlarına değil, dinamik durumları için de uygundur.

Değişen şartlara göre yapı sürekli kendini güncelleyerek daha verimli, daha güvenilir bir haberleşme ortamı hazırlanmıştır. Haberleşme her algılayıcıdan yapılacağı için bilgi kaybının kritik olduğu uygulamalarda tercih edilebilir. Örneğin; askeri uygulamalar.

Tüm algılayıcılar iletişimde olduğu için ağa yeni bir algılayıcı eklendiğinde veya çıkarıldığında, bu değişiklik bilgisi sistemde olacağı için ağ güvenliği artacaktır.

Algılayıcıların sürekli iletişim halinde olmalarından dolayı ağdaki enerji ömrünün daha kısa olması enerji verimli haberleşme protokollerine göre dezavantaj olarak söylenebilir.

Diğer yönlendirme protokolleri araştırma için referans alınmış olup, hareketli bir sistemde ve farklı iletim mesafelerine sahip algılayıcıların kullanıldığı bir ağ modelinde uygulanabilecek protokole rastlanmamıştır.

Tasarlanan sistem enerji optimizasyon algoritması değildir, ancak ileriki çalışmalarda hareketli ve özdeş olmayan algılayıcılar için tasarlanan protokole enerji optimizasyon algoritması geliştirilerek ağ ömrünün uzatılması ve ağdaki enerji verimliliğinin artması sağlanabilir.

Sonraki çalışmalarla önerilen yöntem ile sadece iletim mesafesi farklı olan algılayıcılar değil farklı tipteki kablosuz cihazlar ile de çalışma yapılabilir. Özdeş olmayan cihazlarda dinamik ortamlarda haberleşme tasarlanan haberleşme protokolü ile sağlanabilir.



- [1] W. R. Heinzelman, J. Kulik and H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the 5th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, ACM, Seattle, WA, Aug. 1999, pp. 174–185.
- [2] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann and F. Silva, "Directed diffusion for wireless sensor networking," in *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 11, no. 1, Feb. 2003, pp. 2-16.
- [3] Holger Karl and Andreas Willig, "*Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*", GERMANY: Wiley, 2005, pp. 20-21.
- [4] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," *Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, Maui, HI, USA, 2000, pp. 10.
- [5] A. A. Ahmed, H. Shi and Y. Shang, "A survey on network protocols for wireless sensor networks," *International Conference on Information Technology: Research and Education, 2003. Proceedings. ITRE2003.*, Newark, New Jersey, USA, 2003, pp. 301-305.
- [6] S. Lindsey and C. S. Raghavendra, "PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems," *Proceedings, IEEE Aerospace Conference*, Big Sky, MT, USA, 2002, pp. 3-3.
- [7] Y. Yu, R. Govindan, and D. Estrin, "Geographical and Energy Aware Routing: A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks," Technical Report UCLA/CSD-TR-01-0023, University of California at Los Angeles, May 2001, pp. 1-25.
- [8] R. A. Roseline, Dr. P. Sumathi, "Energy Efficient Routing Protocols and Algorithms for Wireless Sensor Networks – A Survey" in *Global Journal of Computer Science and Technology*, USA, 2011, pp. 1-8.
- [9] Z. S. Khosroabadi, B. Amirshahi, "An overview of some of the QoS routing protocols in wireless sensor networks," *International Conference on Knowledge-Based Engineering and Innovation (KBEI)*, Iran, 2015, pp. 1-7.
- [10] R. Asokan and A. Natarajan, "Performance Evaluation of Energy and Delay Aware Quality of Service (Qos) Routing Protocols in Wireless Sensor Networks." , *International Journal of Business Data Communiacations and Networking*, vol. 4, 2008, pp.52-63.
- [11] Q. Xue and A. Ganz, "Ad hoc Qos on-demand routing (AQOR)." *Journal of parallel and distributed computing*, vol. 63, 2003, pp. 154-165.
- [12] L. Sanchez-Miquel, N. Vesselinova-Vassileva, F. Barcelo and P. Carbajo-Flores, "Energy and delayconstrained routing in wireless sensor network: an initial

- approach," *Association for Computing Machinery*, New York, NY, USA, 2005, pp. 262–263.
- [13] S. -. Lee and M. Gerla, "Split multipath routing with maximally disjoint paths in ad hoc networks," *ICC 2001. IEEE International Conference on Communications*, Helsinki, Finland, 2001, vol 10, pp. 3201-3205.
- [14] J. Boshoff and A. Helberg, "Improving Qos for realtime multimedia traffic in Ad-Hoc networks with delay aware multi-path routing", *7th Annual Wireless Telecommunications Symposium, WTS*, 2008, pp. 1-8.
- [15] Merret, D. G., Tan, D. Y., (2010), "*Wireless Sensor Networks: Application-Centric Design*", India: InTech, 2010, pp. 59-65.
- [16] Akyildiz, I. F., W. Su, Y. S., & Cayirci, E., "*Wireless Sensor Networks A Survey*," Elsevier Science B.V, ISSN, 2002, pp. 1570-8705.
- [17] Yick, J., Mukherjee, B., Ghosal, D., "*Wireless Sensor Network Survey*", *Computer Networks*, vol. 52, Aug 2008, pp. 2292–2330.
- [18] Yang Yu, Prasanna V.K., Krishnamachari B., "*Information Processing and Routing in Wireless Sensor Networks*" World Scientific Publishing Co., USA, 2006, pp. 1-12.
- [19] http://www.robotiksystem.com/sensor_nedir_sensor_cesitleri.html, 2019
- [20] Kalaycı, T. E., "Kablosuz Sensör Ağlar ve Uygulamaları", *Akademik Bilişim*, Şanlıurfa, 2009, pp. 197.
- [21] S. Shakkottai, T. S. Rappaport and P. C. Karlsson, "Cross-layer design for wireless networks," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 41, no. 10, Oct. 2003, pp. 74-80.
- [22] M. Al Ameen, S. Islam, and K. Kwak, "Energy saving mechanisms for MAC protocols in wireless sensor networks," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Republic of Korea, 2010, pp. 1-16.
- [23] K.Bi, "Design and Implementation of the ZigBee Wireless Sensor Network Based on ARM," *International Journal of Online Engineering*, China, 2017, pp. 76-84.
- [24] Ö. Özcan, "Kablosuz Sensör Ağları İçin PIC Tabanlı Sensör Düğümü Tasarımı," Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye, 2011.
- [25] <https://bidb.itu.edu.tr/seyir-defteri/blog/2013/09/07/zigbee>, 2019
- [26] Chandra P., Dobkin D. M., Bensky A., Olexa R., Lide D. A., Dowla F., "Wireless Networking" Elsevier, USA, 2008, pp. 510.
- [27] N. Baker, "ZigBee and Bluetooth strengths and weaknesses for industrial applications," in *Computing & Control Engineering Journal*, vol. 16, no. 2, 2005, pp. 20-25.
- [28] Ergen, S., "ZigBee / IEEE 802.15.4 Summary," *UC Berkeley*, 2004, pp. 3.
- [29] T. Lennvall, S. Svensson and F. Hekland, "A comparison of WirelessHART and ZigBee for industrial applications," *2008 IEEE International Workshop on Factory Communication Systems*, Dresden, 2008, pp. 85-88.

- [30] <http://industrial.embedded-computing.com/news/wireless-hart-standard-approved-released/>, 2019
- [31] Faludi, R., *"Building Wireless Sensor Networks"*, USA, O'Reilly, ISBN, 2011, pp. 27-28.
- [32] S. Okdem and D. Karaboga, "Routing in Wireless Sensor Networks Using Ant Colony Optimization," *First NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems (AHS'06)*, Istanbul, 2006, pp. 401-404.
- [33] Figueiredo, C. M., Nakamura, E. F., F., L. A., "A Hybrid Adaptive Routing Algorithm for Event Driven Wireless Sensor Networks", *Sensors*, Basel, 2009, pp. 7287-7307.
- [34] Noman S., Syed Rizwan H., "Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," 10.5772/intechopen.70208, 2017 ,pp. 21-37.
- [35] G. Yin, G. Yang, W. Yang, B. Zhang and W. Jin, "An Energy-Efficient Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks," *2008 International Conference on Internet Computing in Science and Engineering*, Harbin, 2008, pp. 181-186.
- [36] Zhe Zang, J. Qi and Yong-Jie Cao, "A Robust Routing Protocol in wireless sensor network," *IET International Conference on Wireless Sensor Network 2010 (IET-WSN 2010)*, Beijing, 2010, pp. 276-279.
- [37] S. Ehsan and B. Hamdaoui, "A Survey on Energy-Efficient Routing Techniques with QoS Assurances for Wireless Multimedia Sensor Networks," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 14, no. 2, pp. 265-278, Second Quarter 2012.
- [38] Kemal Akkaya and Mohamed Younis, "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks", *Ad hoc networks* 3.3, 2005, pp. 325-349.
- [39] Kazem Sohraby, Daniel Minoli, TaiebZzati, *"Wireless Sensor Networks-Technology, Protocols, and Applications,"* Wiley, New Jersey, 2007, pp. 197-228.
- [40] Joanna Kulik, Wendi Heinzelman, and Hari Balakrishnan, "Negotiation-Based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks," in *5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, USA, 2002, pp. 169-180.
- [41] A. Buczak, V. Jamalabad, "Self-organization of a Heterogeneous Sensor Network by Genetic Algorithms," *Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural Networks*, vol. 8, ASME Press, New York, 1998, pp. 259–264.
- [42] C. R. Lin and M. Gerla, "Adaptive clustering for mobile wireless networks," in *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 15, no. 7, 1997, pp. 1265-1275.
- [43] Y. Xu, J. Heidemann, D. Estrin, "Geography-informed Energy Conservation for AdHoc Routing", in: *Proceedings of the 7th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom_01)*, Rome, Italy, July 2001, pp. 70-84.

- [44] L. Li, J. Y Halpern, "Minimum Energy Mobile Wireless Networks Revisited," in: *Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC_01)*, Helsinki, Finland, June 2001, pp. 278-283.



Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: atcdeniz@gmail.com

Konferans Bildirileri

1. Deniz Demirtaş, Dr. Öğretim Üyesi Serkan Kurt, “Dinamik Ortamlarda Özdeş Olmayan Kablosuz Algılayıcı Ağları İçin Haberleşme Protokolü Tasarımı,” 5. *Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, İstanbul, 2019

