T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ

BİNA İÇİ KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR İÇİN ENERJİ VERİMLİ YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Abdullah Erdal TÜMER

DOKTORA TEZİ

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan-2011
KONYA

TEZ KABUL VE ONAYI

Abdullah Erdal TÜMER tarafından hazırlanan "Bina içi Kablosuz Algılayıcı Ağlar için Enerji Verimli Yönlendirme Protokollerinin Geliştirilmesi" adlı tez çalışması 13/04/2011... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ	.....
Danışman Yrd. Doç Dr. Mesut GÜNDÜZ	.....
Üye Prof. Dr. Ahmet ARSLAN	.....
Üye Yrd. Doç. Dr. Süleyman TOSUN	.....
Üye Yrd. Doç Dr. Ömer Kaan BAYKAN	.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Bayram SADE
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinatörlüğü tarafından 09101011 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

İmza

Abdullah Erdal TÜMER

Tarih:

ÖZET

DOKTORA TEZİ

BİNA İÇİ KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR İÇİN ENERJİ VERİMLİ YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Abdullah Erdal TÜMER

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç Dr. Mesut GÜNDÜZ

2011, 94 Sayfa

Jüri
Yrd. Doç. Dr. Mesut GÜNDÜZ
Prof. Dr. Ahmet ARSLAN
Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ
Yrd. Doç. Dr. Süleyman TOSUN
Yrd. Doç. Dr. Ömer Kaan BAYKAN

Bu tez çalışmasında, bina içi kapalı ortamlarda kullanılan kablosuz algılayıcılar için metan gaz (CH_4) izleme sistem tasarımı ve enerji verimli yönlendirme protokolleri sunulmuştur.

Kablosuz algılayıcı izleme sistem tasarımı için metan gazının olası sızıntılarından haberdar olmak için algılayıcı bir düğüm tasarlanmıştır. Metan gazı, son yıllarda kullanımı oldukça artan doğalgazın ana bileşenidir. Tasarlanan kablosuz algılayıcı düğümler ile kapalı alanlarda bir ağ oluşturularak, herhangi bir nedenle oluşabilecek metan gaz sızıntılarının algılanması ve baz istasyonuna gönderilmesi sağlanmıştır. Baz istasyonuna gelen veriler, izleme yazılımı sayesinde PC aracılığıyla izleme ve değerlendirme imkânı sunulmuştur.

Algılayıcı düğümlerin birbirleri ile iletişim içinde bulunabilmeleri için pil güçleri dikkate alınarak yönlendirme protokollerine ihtiyaç vardır. Metan gaz izlemesi gibi kritik uygulamalar için literatürdeki LEACH protokolüne dayalı, enerji verimli 3 yönlendirme protokolü geliştirilmiştir. Bu protokoller, R-EERP, S-EERP ve RE-EERP olarak adlandırılmıştır. Her 3 protokolde alt ve kritik sınırları belirlenmiş eşik değerler kullanılmıştır. R-EERP de düğümler bir alana rastgele yerleştirilir. S-EERP ve RE-EERP de ise bir binanın katlarındaki odalara sıralı yerleştirilir. Küme değişim zamanında kümeyi oluşturan düğümler değişmez, sadece küme başları değişir. S-EERP ve R-EERP de küme başları rastgele belirlenirken, RE-EERP de baz istasyonu tarafından kalan enerjisi en fazla olan düğüm olarak belirlenmiştir. Ayrıca birbirine yakın düğümlerin algıladığı aynı verinin baz istasyonuna gönderilmesini engellemek için küme başlarındaki veriler XOR işleminden geçirilmiştir.

Simülasyon sonuçları her 3 protokolün LEACH den daha iyi performansa sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: gaz sızıntısı izleme; kablosuz algılayıcı ağlar; XOR; yönlendirme protokolleri.

ABSTRACT

Ph.D THESIS

DEVELOPMENT OF ENERGY EFFICIENT ROUTING PROTOCOLS FOR INDOOR WIRELESS SENSOR NETWORKS

Abdullah Erdal TÜMER

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN COMPUTER ENGINEERING

Advisor: Asst. Prof. Dr. Mesut GÜNDÜZ

2011, 94 Pages

Jury
Yrd. Doç. Dr. Mesut GÜNDÜZ
Prof. Dr. Ahmet ARSLAN
Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ
Yrd. Doç. Dr. Süleyman TOSUN
Yrd. Doç. Dr. Ömer Kaan BAYKAN

In this thesis, design of a wireless methane gas (CH_4) monitoring system is developed and energy-efficient routing protocols are presented.

A sensor node is designed for design of a wireless methane gas monitoring system. Methane gaz is the basic component of natural gas which its using is increasing in recent years. By the help of designed sensor prototypes, by establishing wireless sensor networks in indoors, it is supplied that methane gas leaks can be detected and sent to the base stations. Data received by base station is monitored by a software on a computer, which is connected to the base station.

There is a need for certain routing protocols by taking into consideration battery powers to establish a communication between sensor nodes. Three energy-efficient routing protocols are developed, based on LEACH protocol, for the critic applications like methane gas tracking and these protocols are named as R-EERP, S-EERP and RE-EERP

In each three protocols, base and critic values are used. In R-EERP, sensor nodes are deployed randomly in a field. S-EERP is deployed sequentially in the rooms of flats of a building. Nodes forming the cluster do not change during cluster change time; only the cluster heads change. Furthermore, an XOR operation was performed on the data in order to prevent the sending of the same data sensed by the nodes close to each other.

Simulation results show that improved protocols are more energy-efficient than conventional LEACH.

Keywords: Gas leak monitoring; routing protocols; wireless sensor networks; xor; threshold value

ÖNSÖZ

Çalışmada, kablosuz algılayıcı ağların tanıtılması, ev, işyerleri gibi kapalı ortamlarda gittikçe kullanımı yaygınlaşan doğal gaz sızıntılarını algılamak için bir algılayıcı düğüm tasarımı ve izleme yazılımı geliştirilerek, insanların mal ve can kayıplarını önlemek amaçlanmıştır.

Kablosuz algılayıcı ağlar konusunda Selçuk Üniversitesi'nde bir ilk olan bu doktora tezimin, lisans ve lisansüstü öğrencilerin Kablosuz Algılayıcı Ağlar için yönlendirme protokolleri geliştirme ile ilgili çalışmalarına bir ışık olması en büyük arzumdur.

Çalışmamda bilgi ve becerilerini paylaşan, her türlü destek ve anlayışını esirgemeyen, yönlendirmeleri ile tezimin tamamlanmasına yardımcı olan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Mesut GÜNDÜZ Bey'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez izleme toplantılarında jüri olarak görev alan Sayın Prof. Dr. Ahmet ARSLAN ve Sayın Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ hocalarıma, değerli katkı ve önerilerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tez konusunu bulmam ve bu konuda ilerlemem için, hoca-öğrenci arasında olabilecek tüm mesafeleri kaldıran, kilometrelerce yol kat etmekten çekinmeyerek pek çok fedakârlıklarda bulunan Prof. Dr. İbrahim USLU Bey'e minnettarım.

Doktora öğrenciliğime başladığım günden beri tüm taslak çalışmalarımı okuyarak öneri ve düzeltmeleri ile zamanını, bilgilerini, tecrübelerini esirgemeden paylaşan Doç. Dr. İbrahim KÖRPEOĞLU'na en içten şükranlarımı arz ederim.

Teknik ve programlama bilgilerinden yararlandığım çok kıymetli mesai arkadaşım Halil İbrahim ÖZER Bey'e ve Botaş Boru Hattı mühendislerinden Mustafa Fevzi YILDIRIM Bey'e değerli katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Beni bugünlere kadar hiç desteksiz, sevgisiz ve duasız bırakmayan anneme ve babama şükranlarımı sunuyorum.

Ve beni hiç unutmayan ama doktora boyunca hep unuttuğum, ihmal ettiğim biricik ailem. Eşim SELMA, kızım SERRA, oğullarım SUHEYB ve SEVBAN. Sizlere özel bir teşekkür ederek, doktora çalışmam boyunca, büyük bir sabırla, maddi ve manevi desteklerinizi karşılıksız olarak verdiğiniz için bu tezi sizlere ithaf ediyorum.

Abdullah Erdal TÜMER
KONYA-2011

İÇİNDEKİLER

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

AD	:Algılayıcı Düğüm
ADC	:Analog-Digital Converter-Analog-Sayısal Dönüştürücü
APTEEN	:A hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information-Verimli Yönlendirme ve kapsamlı bilgi için hibrit protokol
ARGO	:Array for Real-Time Geostrophic Observations-Gerçek Zamanlı Geostrophic Gözlem için Düzenlemeler
CH4	:Metan Gazı
CO_2	:Karbondioksit
CHEF	:Cluster Head Election Mechanism Using Fuzzy Logic-Bulanık Mantık kullanarak Küme başı eleme Mekanızması
DoS	:Denial of Service – Hizmet Aksatma Servisi
DSDV	:Destination-Sequenced Distance-Vector routing-Hedef-Ardışık Mesafe- Vektör Yönlendirme
DSR	:The Dynamic Source Routing Protocol-Dinamik Kaynak Yönlendirme Protokolü
EAP	:Energy-Aware Protocol-Enerji Farkında Protokol
EEHC	:Energy efficient heterogeneous clustered scheme-Enerji Verimli Heterejon Kümeleme Planı
EKG	:Elektrokardiyograf
FND	:First Node Died -Ölen İlk Düğüm
GAF	:Geographic Adaptive Fidelity-Coğrafik Uyarlamalı Aitlik
GPS	:Global Positioning System-Küresel Yer Belirleme Sistemi
GSM	:Global System for Mobile Cominatation-Mobil iletişim için Küresel Sistem
GY	:Direct Diffusion-Güdümlü yayılım
HCR	:Hierarchical Clustering Routing-Hiyerarşik Kümeleme Yönlendirmesi
HHMSM	:Heterogeneous Hierarchical Mine Safety Monitoring-Heterojen Hiyerarşik güvenli Maden Ocağı İzleme
HND	:Half Node Died-Ölen Orta Düğüm
ID	:Identification-Kimlik bilgisi
IEEE	:The Institute of Electrical and Electronics Engineers-Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
KAA	:Kablosuz Algılayıcı Ağlar
LEACH	:Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy-Düşük Enerjili adaptif Kümeleme
MAC	:Medium access control – Ortam Erişim Denetimi
MEMS	:Microelectromechanical System-Mikro Elektromekanik Sistemler
MTS-WSN	:Message Transformation Services for Wireless Sensor Networks-Kablosuz Algılayıcı Ağlar için Mesaj Dönüşüm Servisi
OLSR	:Optimized Link State Routing-Optimize edilmiş Link Durum Yönlendirmesi
QoS	:Quality of Service-Servis Kalitesi
PDA	:Personel Digital Assistant-Kişisel Sayısal Yardımcı
Ppm	: Part per million-Milyonda bir parçacık-

R-EERP	:Random-Energy Efficient Routing Protocol-Rastgele Enerji Verimi Yönlendirme Protokolü
RE-EERP	:Residual Energy- Energy Efficient Routing Protocol-Kalan enerjiye göre- Enerji Verimi Yönlendirme Protokolü
RF	:Radio Frequency-Radyo Frekans
SAP	:Service Access Point - Hizmet Erişim Noktası
SAR	:Sequential Assignment Routing – Sıra atamalı Yönlendirme
SCM	:Single Chip Microprocessor-Tek çipli mikroişlemci
S-EERP	:Sequentially- Energy Efficient Routing Protocol-Sıralı Enerji Verimi Yönlendirme Protokolü
SIA	:Secure Information Aggregation – Güvenli Bilgi Edinme
SPEED	:Stateless Protocol for End-to-End Delay-Uçtan uca gecikme için Protokol
SHPER	:Scaling Hierarchical Power Efficient Routing-Hiyerarşik Güç Verimli Yönlendirme Protokolü
SPIN	:Sensor protocols for information via negotiation-Görüşme tabanlı Algılayıcı protokol
TDMA	:Time Division Multiply Access-Zaman Bölümlü Çoklu Erişim
TEEN	:Threshold Sensitive Energy Efficient Network Protokol-Eşik Duyarlı Enerji Verimli Ağ Protokolü
TinyOS	:Tiny Operating System
UK	:United Kingdom- Birleşmiş Krallıktaki
Wi-Fi	:Wireless Fidelity-Kablosuz Aitlik
WSN	:Wireless Sensor Network-Kablosuz Algılayıcı Ağ

1. GİRİŞ

Mikro Elektromekanik Sistemler (MEMS) ve Radyo Frekanslarındaki (RF) hızlı gelişim; az güç tüketen, çok fonksiyonlu algılayıcı elemanların geliştirilmesini mümkün kılmıştır. Bu elemanlar, algılama, veri işleme, kendi aralarında haberleşme yapabilme ve bir araya gelerek Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA)'ı oluşturmaktadırlar. Kablosuz algılayıcı ağlar genellikle rasgele ve geniş bir alana yerleştirilmiş binlerce algılayıcı düğüm içerir (Akyıldız ve ark., 2002). Bu düğümlerin önemli özelliklerinden biri de birbirleriye işbirliği yaparak çalışmalarıdır. Kendi aralarında haberleşerek, sıcaklık, ışık, ses, basınç, ivme gibi çevresel değişimleri izleyip istenilen bir merkeze gönderebilirler. Algılayıcılardan gelen bilgilerin merkezi sisteme taşınabilmesi için iletişim ağının daha önceden özenle planlanması gereklidir.

Algılayıcı düğümün temel görevi, yerleştirildiği bölgedeki istenen veriyi baz istasyonuna göndermek için algılamak ve toplamaktır (Villalba ve ark., 2009). Algılanan verilerin değerlendirilmesi için, baz istasyonu verilerin işlendiği bir bilgisayara bağlanır. Kullanıcı/kullanıcılar toplanan verileri istediği zaman ya da periyodik olarak sorgulayabilir.

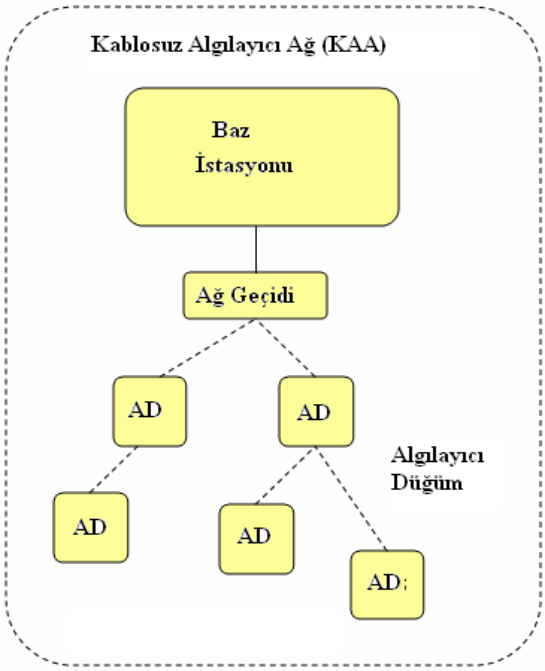
Algılayıcı düğümler pil ile beslenir. Uzaktan kontrol edilir. Yerleştirildikten sonra tekrar şarj edilebilmeleri ve güç kaynaklarının değiştirilmeleri zordur (Wei ve ark., 2008). Bu düğümler kendi ağlarını kendileri organize ederler, önceden programlanmış bir ağ topolojisi söz konusu değildir. Pil ömrüne bağlı kısıtlar yüzünden, algılayıcı düğümler çok büyük bir zamanı düşük güç tüketimi ile "uyku" modunda geçirirler. Bir algılayıcı ağ şekil 1.1 de görüldüğü gibi, kablosuz algılayıcı düğümler, seri ara yüz ünitesi (gateway-ağ geçidi) ve baz istasyonundan oluşur (Şekil 1.1). Harmankaya'nın (2007) yaptığı çalışmada, Perrig ve ark. (2004)'nı kaynak göstererek, izlemenin yapıldığı ortamda toplanan verinin genelde 3 seviyede işlendiğini belirmiştir.
• İzlenilecek ortamdaki olaylar, algılayıcı düğümler tarafından algılanır. Her bir algılayıcı düğüm elde ettiği veriyi ayrı ayrı işlemektedir.

• İkinci seviye de her düğüm algılayıp, işledikleri veriyi komşularına yollamaktadır.

• KAA haberleşmesindeki en üst katman, işlenmiş verinin Baz İstasyonu olarak adlandırılan merkeze yollanılmasıdır.

Baz istasyonu'na gönderilen veri eğer başka kıstaslar eşliğinde tekrar analiz edilecekse ya da başka amaçlar için kullanılacaksa bu işlemlerin yapılacağı sistemlere ya da merkezlere iletimi sağlanır.

Kablosuz algılayıcı ağların çok çeşitli uygulamaları olmakla beraber, yangın, zehirli ve patlayıcı gaz sızıntısı gibi kritik durumlara maruz kalmış fiziksel ortamları doğru bir şekilde izleme amacıyla giderek artan bir şekilde de kullanılmaktadır (Boukerchea ve ark., 2007). Patlayıcı özelliği olan gazlardan biri de doğal gazın ana bileşeni olan metan gazıdır (Liua ve ark., 2008). Birleşik Krallık ve Avrupa'da ki pek çok evde ortam ısıtması için oda radyatörlerine ve ev içi kullanımı için sıcak su sistemine, doğalgaz kullanarak-yakarak ısı sağlayan kazanlar kullanılmaktadır (Boait ve ark., 2009). Doğalgazın bu kadar yaygın kullanılması ve ana bileşeninin metan gazı olmasından dolayı metan gaz izlemesi diğer gazlarla beraber hem endüstriyel güvenlik hem de insan hayatı bakımından büyük öneme sahiptir.



Şekil 1.1. Kablosuz Algılayıcı Ağ Mimarisi

Metan gazı (CH_4), sulu ortamda biriken bitkisel maddeler ve bataklıklarda biriken bitkisel ve hayvansal organik maddelerin kimyasal bozunmaya maruz kalması sonucunda oluşan ve bataklık gazı da denilen bir gazdır. Havadan hafif, renksiz, kokusuz ve parlayıcı bir gazdır. Havaya oranla daha hafif olduğundan dolayı, bulunduğu kapalı ortamın tavan kısımlarında toplanır. Metan, havadaki konsantrasyonu

%5 – 15 arasında olduğu durumlarda patlayıcı özellik gösterir (Falzom, 1998). Hacimce %15'in üzerinde metan-hava karışımı alev verildiğinde yanmakta, fakat patlayıcılık göstermemektedir. Metan insan vücudunda uyuşukluk etkisi yapar. Özellikle % 50 konsantrasyonlarından sonra anastezik özelliği ortaya çıkmaktadır (Gönüllü, 1999). Metan, esas itibariyle zehirli bir gaz değildir. Dokular üzerinde bir etkisi yoktur. Ancak fazla miktarda metan bulunan havada oksijen oranı düşük olacağından, konsantrasyonun %10'u geçmesi durumunda oksijen yüzdesi %16'nın altına düşeceğinden, havasız (oksijensiz) kalma sonucu ölüm meydana gelebilir. Metanın esas tehlikesi, yanıcı ve patlayıcı bir gaz olmasıdır. Tam yanma, % 9 metan ve % 91 oranındaki hava karışımında olur. Ancak, patlamayı doğuran ısı kaynağının şiddeti ve süresi, basınç ve kapalı ortamın şekli de patlamayı etkilediğinden, metanın % 4-15 arasında tehlikeli olduğu kabul edilir ve bu oranda metan bulunan havaya madencilikte grizu adı verilir. % 4 metan konsantrasyonunun altında patlama olmaz. Fakat ortamda yüksek sıcaklık mevcutsa, metan gazı patlaması meydana gelebilir. % 15 oranın üzerinde ise metan gazı patlama özelliğini kaybeder.

Metan gazı, ısı, ışık, nem gibi verileri kapalı ortamlarda izleyen sistemlerde çoğunlukla kablo kullanılmaktadır. Bu tür kablolu ağlarda kablolar zamanla yıpranır ve yüksek hata sıklığına sahiptir. Ağın genişletilmesi yeni kurulum ve bakım maliyetlerine ihtiyaç duyar. Herhangi bir nedenle kablonun hasar görmesi durumunda arama, kurtarma ve olayların belirlenmesi için gerekli bilgi elde edilemeyecektir (Wei ve ark., 2007). Kablosuz algılayıcı ağlar (KAA) ise kabloya ihtiyaç göstermeyeceğinden hem kurulumu kolay hem de kurulum maliyeti azdır. Bundan dolayı ağ daha geniş ve farklı alanlara çabucak genişletilebilecektir. Algılayıcı düğümlerden biri pil yetersizliği ya da benzeri nedenle devre dışı kalsa bile iletişim ve izleme, diğer algılayıcılar aracılığı ile devam edecektir.

Ayrıca kablosuz algılayıcı ağ sistemleri bant genişliği, mobil veri iletişimi, personel yönlendirme, gerçek zamanlı izleme gibi anahtar sorunları da çözebilir (Li-min ve ark., 2008). Kapalı atmosfer koşullarının izlenmesi ve kontrolü, uygun çalışma ve insanlara yaşam alanları sağlamak amacı ile önemli bir görevi temsil eder (Chunga ve ark., 2006). Çünkü özellikle metan gazı gibi patlama özelliği olan bir gazın açığa çıkabileceği ortamlarda çalışan personelin bu platformu kolayca taşıyabilmesi, gaz kaçağını hızlı bir şekilde haber alacağını bilmesi ve diğer çalışanların da bulundukları yerde gaz sızıntısı olmasa bile taşıdıkları ya da uygun bir yere yerleştirilen algılayıcı

düğüm sayesinde olası bir tehlikeden haberinin olması, çalışanların güvenlik ve motivasyonunu artıracaktır.

Bu tezde sunulan çalışmanın bir bölümü, doğal gaz sızıntılarının olabileceği kapalı alanlarda yaşayan ya da çalışanların, bu gazın ana bileşeni CH_4 den olumsuz etkilenmemeleri ve herhangi bir patlama durumu oluşmadan önce gaz seviyesinin izlenmesi için tasarlanan algılayıcı düğüm ve geliştirilen yazılım ile ilgilidir. Algılayıcı düğüm Crossbow un 2.4 GHz MICAz kablosuz modülü ile Figaro'nun NGM2611 CH_4 algılayıcısının entegrasyonu ile tasarlanmıştır. Yazılım ise tasarlanan algılayıcı düğümün algıladığı gaz verilerinin baz istasyonu aracılığı ile seri porttan bilgisayara iletildikten sonra gerçek zamanlı olarak izlenmesi için yazılmıştır. Yazılım, verilerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi ile beraber verileri kaydederek daha sonra da geriye dönük izlemeye de imkân sağlamaktadır. Ayrıca fiziksel ortamdaki CH_4 konsantrasyonlarının tehlikeli sınırlara gelmeden önce doğru ve güvenilir bir şekilde bilinmesi suretiyle:

(i) Bu ortamlarda yaşayan/çalışanların can ve mal kaybını önler,

(ii) Kurtarma ekibinin çevrede ne olup bittiğini kolayca anlamalarını sağlar ve

(iii) O çevrede kurtarma çalışması için en acil önlemlerin alınmasını mümkün kılar.

Bu tez çalışmasında sunulan diğer bir konu da; kapalı ortamlarda (ev, ofis, fabrika, laboratuar vb.) doğal gaz ya da diğer zehirli/patlayıcı gazların bulunma ihtimali olan ortamlara kurulacak olan kablosuz algılayıcı ağlar için tasarlanan yönlendirme protokolleridir. Bu protokoller LEACH algoritmasını temel almıştır, enerji verimlidir ve adları R-EERP (Random-Energy Efficient Routing Protocol), S-EERP (Sequentially-Energy Efficient Routing Protocol) ve RE-EERP (Residual Energy-Energy Efficient Routing Protocol) olarak belirlenmiştir. Bu protokollerde küme başları R-EERP ve S-EERP de LEACH'deki gibi rasgele seçilir. RE-EERP de ise enerjisi en fazla olan düğüm küme başı olarak belirlenir. Kümeleme mekanizması R-EERP de LEACH ile aynıdır. S-EERP ve RE-EERP de bir binanın katlarındaki odalara manüel olarak yerleştirilen ve küme değişim zamanlarında küme üyelerinin değişmediği bir küme yapısı vardır. Ayrıca TEEN algoritmasına benzer 2 eşik değer vardır. TEEN de kullanılan eşik değerler katı eşik (Hard Threshold) ve esnek eşik (Soft Threshold) olarak ifade edilmiştir. Bu eşik değerle ile ilgili bilgiler kaynak araştırması bölümünde ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Geliştirilen protokollerde kullanılan eşik değerler ise TEEN algoritmasından tamamen farklıdır. Protokollerde kullanılan eşik değerler ilk kez

bu tez çalışmasında kullanılmıştır. Geliştirilen protokollerdeki eşik isimleri alt eşik ve kritik eşik olarak isimlendirilmiştir.

Alt eşik: Algılanması istenen en düşük veridir. Altındaki değerler dikkate alınmaz.

Kritik eşik: Bu ve üzerindeki değerler küme başlarına geldiğinde veriler acil önlem alınması için bekletilmeden baz istasyonuna gönderilir.

Enerji verimliliği ve ağın yaşam süresini uzatmak bakımından:

(i) alt ve kritik eşik değerleri arasındaki veriler baz istasyonuna gönderilmek için küme başlarında bekletilir.

(ii) baz istasyonuna gönderilecek bilgi miktarını azaltmak üzere veriler küme başlarına geldikçe daha önceki verilerle XOR işlemi uygulanarak, farklı küme elamanlarından gelen tekrarlı verinin sadece 1 kere baz istasyonuna gönderilmesi sağlanır.

Tezin geri kalan kısmı ise şu şekilde organize edilmiştir:

2. bölümde kablosuz algılayıcı ağlarla ilgili temel bilgiler, donanım yapısı, uygulama alanları, avantaj/dezavantajları ve güvenlik gibi konularla ilgili geniş bir bilgi verilmiştir.

3. bölümde kaynak araştırmasına yer verilmiştir.

4. bölümde CH_4 (metan gazı) izleme sistemi, ve

5. bölümde geliştirilen yönlendirme protokolleri anlatılmıştır.

6. bölümde araştırma sonuçları ve tartışmaya yer verilmiştir.

7. bölümde ise sonuçlar ve öneriler açıklanmıştır.

2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR

2.1. Giriş

Kablosuz algılayıcı ağlar 21. yüzyılın en önemli teknolojilerinden biri olarak tanımlanmaktadır. Bu teknolojiyi oluşturan algılayıcı düğümler sınırlı mikroişlemci ve bellek kapasitelerine sahip, kısa mesafede kablosuz ortam üzerinden haberleşebilen düşük güçlü, düşük maliyetli ve çok işlevli algılayıcı düğümlerden meydana gelmektedir (Akyıldız ve ark., 2002). Kurulum öncesi yerleştirildiği ortamlarda herhangi bir altyapı istememeleri, kurulum sonrası ise sorunsuz çalışabilmeleri, ek bakım gerektirmemeleri ve çok çeşitli uygulama alanlarına sahip olmalarından dolayı KAA'ların kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

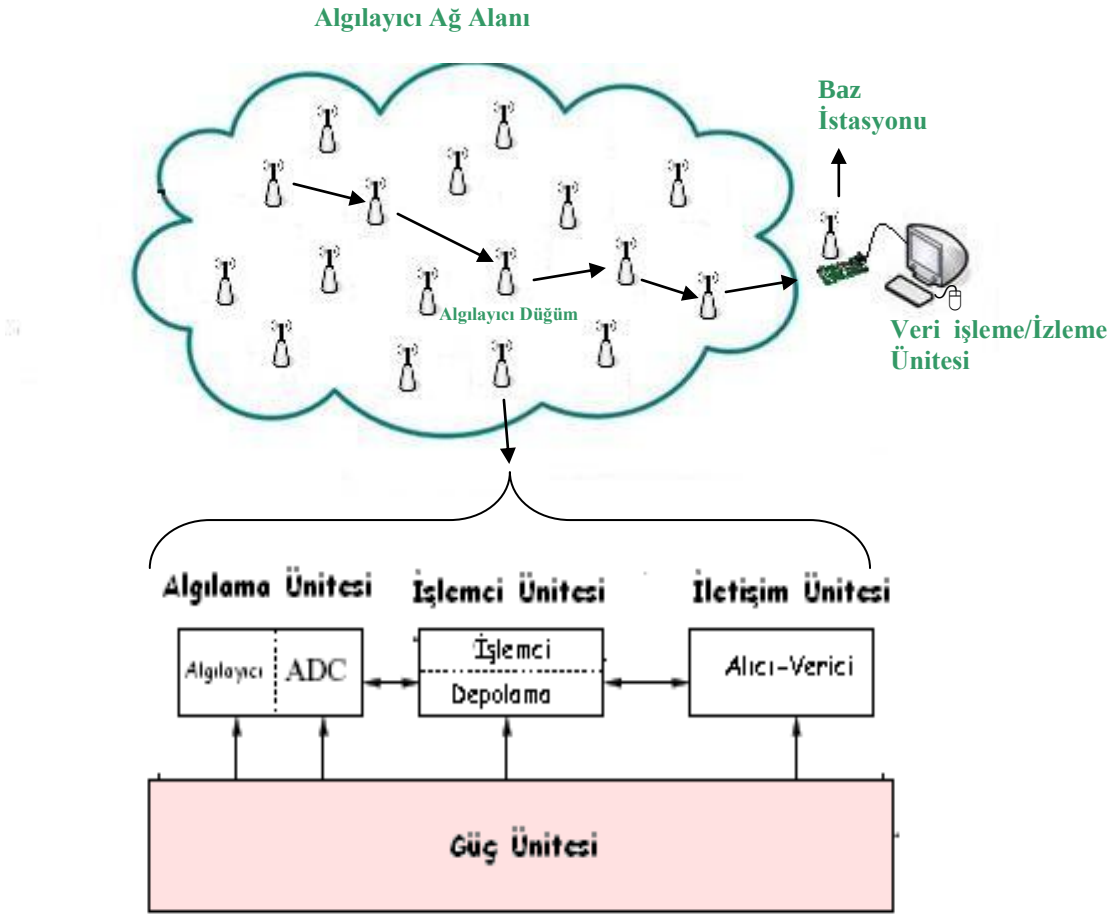
KAA için diğer geleneksel tasarsız (ad hoc) ağlarda olduğu gibi birçok protokol ve algoritma önerilmiş olsa da kablosuz algılayıcı ağların bazı farklı karakteristikleri ve uygulama gereksinimlerini karşılamak amacıyla tasarsız ağlar için bahsedilen teknikler uygun değillerdir. Kablosuz algılayıcı ağlar ve tasarsız ağlar arasındaki farkları Akyıldız ve ark. (2002)'ı şu şekilde özetlemişlerdir:

- ✓ Algılayıcı ağlarda düğüm adedi tasarsız ağlardan çok daha fazladır.
- ✓ Algılayıcı ağ düğümlerinin arızalanma eğilimi tasarsız ağlara göre daha fazladır.
- ✓ Algılayıcı ağ mimarisi sıklıkla değişebilirken tasarsız ağlarınki değişmez.
- ✓ Algılayıcı ağ düğümleri genel olarak yayın haberleşmesini kullanırken, tasarsız ağ düğümleri noktadan noktaya haberleşir.
- ✓ Algılayıcı ağ düğümleri pille beslendiklerinden dolayı hem sınırlı enerjileri vardır hem de güç kaynaklarının değiştirilmeleri/yenilenmeleri her zaman mümkün değildir.
- ✓ Düşük belleklerinden dolayı sınırlı hesaplama kapasitesine sahiptirler.
- ✓ Algılayıcı ağ düğümleri için evrensel kimlik belirlemek zordur.
- ✓ Algılayıcı ağların çalışması için çeşitli protokol ve algoritmalara ihtiyaç vardır. Tasarsız ağlar için buna ihtiyaç yoktur.

Bu bölümün amacı, KAA'ları oluşturan düğümlerin mimarisini, uygulama alanlarını, kullanılan protokol çeşitlerini, avantaj/dezavantajlarını ve güvenlik konusunu incelemektir.

2.2. Algılayıcı Düğüm Mimarisi

Şekil 2.1 algılayıcı düğüm bileşenlerinin şematik diyagramını ve haberleşme mimarisini gösterir. Temel olarak, her bir algılayıcı düğüm algılama, işleme, iletişim ve güç ünitelerinden oluşur. Bu üniteler aşağıda detaylandırılmıştır:



Şekil 2.1 Kablosuz Algılayıcı Ağ ve Algılayıcı Düğüm Bileşenleri

Algılama Ünitesi: Algılayıcılar ve ADC (Anolog/Digital Converter-Analog/Sayısal Çevirici)'lerden meydana gelen algılama birimi ısı, ışık, hareket, nem v.b. fiziksel büyüklüklerin ortamdan elde edilmesi ve bu büyüklüklerin işlem birimi tarafından işlenebilecek forma getirilmesinden sorumludur.

İşlemci Ünitesi: Kablosuz algılayıcı düğümlerin küçük boyutlarda oldukları ve enerji ihtiyaçlarının karşılanması için de pil kullanıldığı göz önüne alındığında, algılayıcı düğümleri oluşturan tüm birimlerin güç tüketiminin en az seviyede olması gerekmektedir. Bu birimlerin başında düğümün çekirdeğini oluşturan işlemci birimi gelmektedir. Bir kablosuz algılayıcı düğümde kullanılacak işlemcinin, kablosuz

algılayıcı ağların çalışma yapısına uygun özelliklere sahip olması gerekmektedir (Lynch, 2005). Mikro denetleyici ve depolama birimlerinden oluşan işlemci birimi, kod bellekte yüklü olan ve düğümlerin ağ içerisinde yapmakla yükümlü olduğu görev komutlarının işlenmesinden sorumludur.

Kablosuz algılayıcı düğümlerinde algılama, veri işleme, gönderme/alma gibi sürekli kullanılan yordamların tanımlanmış olduğu ve daha kolay uygulama geliştirebilmeye imkân sağlayan gerçek zamanlı bir işletim sisteminden faydalanılır. TinyOS (Tiny Operating System), kablosuz algılayıcı ağlarda en yaygın biçimde kullanılan işletim sistemlerinden birisidir ve kaynakları sınırlı olan algılayıcı düğümlerine uygun olarak küçük boyutludur.

İletişim Ünitesi: Bir düğümü ağ içerisindeki diğer düğümlere bağlayan iletişim ünitesi, düşük güçlü RF alıcı/vericiden meydana gelmiştir. Algılayıcı düğümlerinde kullanılan alıcı/verici birimleri genellikle gönderme, alma ve uyku olmak üzere üç çalışma moduna sahiptir. Düğüm içerisinde alıcı/vericinin en fazla güç tüketen birim olduğu ve alıcı/vericide en fazla gücün sırasıyla gönderme, alma ve uyuma modlarında harcandığı düşünüldüğünde, iletişim biriminin düğüm yaşam süresinin belirlenmesinde büyük önem taşıdığı anlaşılmaktadır. Bu sebeple, geliştirilen protokollerde alıcı/verici mümkün olduğu kadar uyuma modunda tutulmaya çalışılır.

Güç Ünitesi: Güç birimi, dolaylı olarak tüm ağın ömrünü belirlemesi sebebiyle algılayıcı düğümlerinin en önemli birimidir. Boyut sınırlaması nedeniyle algılayıcı düğümlerde genellikle standart AA piller veya kristal hücreler başlıca kullanılan güç kaynaklarındandır. Enerji kaynağı olarak iki kavram şu anda mevcut durumdadır;

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

a.) Yüksek yoğunluklu batarya düğümleri ile donatım

b.) Dolu batarya kullanımı. Dolu batarya daha temiz ve yüksek yoğunluklu bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Ancak KAA düğümlerinde kullanılabilecek fiziksel yapıya sahip değiller.

• Doğal kaynaklardan enerji üretimi: Bunun için güneş panellerinden yararlanılabilir. Kullanılan bu paneller düğümün pillerini şarj ederek düğümün çalışma ömrünü arttırabilir. Ancak güneş panellerinin kullanımı bazı dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Örneğin güneş panellerinin boyutları düğümün boyutunun artmasına neden olacaktır. Bir diğer problem ise düğümlerin, üzerlerindeki güneş

panellerinin güneş ışığı görebilecek şekilde yerleştirilmesine gerek duyulmasıdır. Bu tür bir yerleştirme her uygulamada mümkün olmayacaktır.

Bunun yanında titreşimi enerjiye çeviren kaynaklarda kullanılabilir. Ortamın sıcaklığını enerji kaynağı olarak kullanabilen güç kaynakları da üretilmiştir.

2.3. Kullanım Alanları

Kablosuz Algılayıcı ağlar, akustik, kızılötesi, termal, ivme, manyetik ve benzeri algılayıcılar kullanarak ısı, nem, araç hareketi, ışık, basınç, ses, ivme değişiklikleri, toprak ve sıvı özellikleri, nesneler üzerindeki gerilimler ve burulmalar, nesnelerin hız, istikamet ve hacim özellikleri, nesnelerin tespiti gibi algılamalar yapabilmektedir. Algılayıcıların kablosuz olarak haberleşmeleri kavramı ve algılayıcılardaki çeşitlilik, kablosuz algılayıcı ağlarına çok çeşitli uygulama alanları sunmaktadır. Bunlara örnek olarak; uzay, askeri, çevre, ticari, kimyasal işlem, ev, doğal afet gibi uygulama alanları verilebilir. Algılayıcı ağları, bir canlının üzerine, bir binaya, bir nehire, hızla hareket eden bir aracın üzerine, bir okyanusun dibine, bir fırtınanın içine, makinelerin içine, bir savaş alanında düşman hatlarının gerisine, biyolojik veya kimyasal kirlilik bölgelerine yerleştirilmek veya atılmak suretiyle çalışabilmelidirler.

Erboral'ın (2008) çalışmasında, kablosuz algılayıcı ağlarının uygulama alanları 4 temel başlıkta incelemiştir. Bunlar, güvenlik, çevresel koşulları izleme, belirli bir alanda bir nesneyi veya canlıyı takip etmeyi amaçlama ve bu bahsedilen amaçların birden fazlasını içeren karma durumlardır.

Çevresel koşulları izleme uygulaması, temel olarak bir araştırmacının belirli bir bölgeye yayılmış çeşitli algılayıcıların verilerini belirli periyotlarla toplamak istemesi ihtiyacına cevaben ortaya çıkmıştır. Araştırmacı, yüzlerce farklı noktadan çeşitli algılayıcı verilerini tek bir merkezde toplar ve bunları gerçek zamanlı veya depolayarak belirli aralıklarla inceler (Cerpa ve ark., 2001; Mainwarin ve ark., 2002). Tarım, sulama, seracılık, hava durumu ve hayvancılık alanları çevresel koşul izleme uygulamalarına örnek olarak verilebilir.

Bir diğer uygulama alanı güvenlik uygulamalarıdır. Güvenlik uygulamasında, kablosuz algılayıcı ağı oluşturan düğümler, devamlı olarak etraflarındaki normal dışı durumları algılamak amacıyla belirli noktalara sabitlenmiştir. Çevresel koşulları izleme uygulamaları ile güvenlik uygulamaları arasındaki temel fark, güvenlik uygulamalarında verilerin depolanmak için toplanmamasıdır. Her bir düğüm, düzenli

aralıklarla algılayıcılarından örnekler alır. Fakat bunların verilerini direk olarak aktarmaz, anormal bir durum var ise bir rapor halinde bildirir. Bu tip raporlar alarm mesajı olarak adlandırılır ve ağın en önemli özelliği bu alarm mesajlarının öncelikli olarak iletilebilmesi ve gideceği yere ulaşmasıdır. Daha çok askeri uygulamalarda kullanılmaktadır.

Takip ve izleme uygulamaları, kablosuz algılayıcı ağları ile donatılmış bir bölgeye giren bir canlı veya nesnenin tespit ve takip edilmesidir. Düşman kuvvetlerinin izlenmesi için oldukça uygundur.

Karma durumlar ise genelde, pratik uygulamalar ve yukarıda sayılan diğer uygulama alanlarından bir veya daha fazlasını içerirler. Örnek olarak, belirli bir alandan geçen araçları sayan bir kablosuz algılayıcı ağda, ağ kimi zaman algılayıcılarından gelen verileri analiz ederek araç mı yoksa başka bir şey mi geçtiğini inceleyip kendi başına karar verirken, kimi zaman ise sadece bir alarm üretebilir. Uygulama alanlarının çeşitliliğinden dolayı, uygulama geliştirilme aşamasında kablosuz algılayıcı ağlarının algoritmalarının ve donanımlarının gerektiğinde her bir uygulama alanında çalışabilecek şekilde modüler olması amaçlanır.

Karma durumlara bir örnek olarak Great Duck adasındaki kuş gözlemi, ZebraNet, buzul gözlemi, sığır gütme, okyanus suyu gözlenmesi, üzüm bağı gözlenmesi ve keskin nişancı yeri belirlenmesi çalışmalarını gösterebiliriz (Romer, 2004).

Great Duck adasındaki kuş gözlemi uygulamasında bir çeşit kuş sürüsünün yumurtlama zamanlarının ve davranışlarının 7 ay boyunca gözlenebilmesi için KAA'ndan yararlanılmıştır. KAA'nın kullanılmasının en büyük nedeni bu kuş sürüsünün insan varlığından çok fazla etkilenmesidir. Follukların içine ve dışına yerleştirilen algılayıcılar sayesinde kuşların varlığını, nem, sıcaklık, ortam ışığı ve basınç değerleri ölçülmüştür. Düğümlerin dâhil olduğu kümelerin her birinde yönlü güçlü antenler kullanılarak ana istasyona bu bilgiler ulaştırılmıştır. Daha sonra uydu bağlantısı ile bu bilgiler veri tabanına aktarılmıştır (Mainwarin ve ark., 2002).

Kenya Mpala araştırma merkezinde yapılan ZebraNet ile vahşi hayvanların doğal ortamlarındaki davranışları gözlenmeye çalışılmıştır. Vahşi atlar, zebralar, aslanlar gibi hayvanlara yerleştirilen düğümler sayesinde bu hayvanların hareketlerinin hangi bölgelerde daha hızlı olduğu, farklı türlerin ne zaman karşılaştıkları gibi bilgiler toplanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, hayvanlara GPS sistemi olan, hayvanlarda baş hareketlerini sezebilen ve vücut sıcaklığını ölçebilen düğümler takılmıştır. Hayvanlar üzerindeki düğümler birbirlerinin alıcı verici alanına girdiklerinde bilgi transferi

yaparlar. Düğümlerde biriken bu bilgiler ya bir uçak ya da bir arazi aracı ile algılayıcı alanında dolaşılarak toplanır ve bir ana merkeze iletilmesi sağlanır (Juang ve ark., 2002).

Norveç'te buzulların hareketlerini, buzul tabakalarının içerik değişimlerini gözlemleyebilmek için GPS donanımlı algılayıcı düğümleri buzulların içerisine gömülmüştür. GSM altyapısını iletişim için kullanan bu ağ için başlıca problemlerden bir tanesi su ve buzun düğümlerdeki etkileri ve radyo dalgalarıyla haberleşmeyi zorlaştırmasıdır (Marshall ve ark., 2003).

Sığır gütme uygulamasında ise sığırlar için dinamik olarak değişen sanal çitler tanımlanmıştır. Hayvanlar çitlere yaklaştıklarında akustik uyarıcılar ile uyarılır ve hayvanların sanal bir çitin içinde kalması sağlanır. Bu amaçla hayvanlara GPS destekli PDA'lar takılmıştır. Bu uygulama ile çit kurulum maliyeti ortadan kalkmış ve hayvanlar farklı alanlarda otlatılmıştır (Butler ve ark., 2004)

Okyanus suyunun tuzluluğu ve sıcaklığı gibi değerlerini ölçerek üst okyanus suyunun hareketlerini, lokal ve mevsimsel değişikliklerini elde etmek için uygulanan projenin adı ARGO (Array for Real-Time Geostrophic Observations)'dur. Serbest yüzen düğümler 2000 m'ye 10 günlük periyotlarla otomatik dalar ve çıkarlar. Her yüzeye yaklaştıklarında uydu vasıtası ile topladıkları bilgileri aktarırlar.

Büyük üzüm bağlarında toprak nemliliği ve ortam sıcaklığı gibi bilgileri toplayabilmek için Oregon'da kurulmuş bir algılayıcı ağı mevcuttur. Düğümler atlamalı olarak haberleşirler ve bilgiler bir dizüstü bilgisayar vasıtası ile toplanır. Düğümler sadece veri toplama amacını değil aynı zamanda yönlendirme işlemini de gerçekleştirirler (Anonymous).

Keskin nişancı yeri saptama uygulamasında ise keskin nişancıların açtıkları ateş sırasında mermi, bir algılayıcı alanından geçtiği sırada akustik alıcılarla donatılmış düğümleri tetikler. Atlamalı iletişim kullanılarak düğümler merminin geçtiği yerdeki tetiklenen düğümleri ve ateş açılan noktayı, tetiklenme zamanından faydalanarak 1 m sapma ile hesaplayabilmiştir (Simon, 2004).

Ceylan (2008) çalışmasında KAA genel kullanım alanlarını şu başlıklar altında sıralamıştır:

Endüstriyel Otomasyon

- Süreç izleme ve kontrol
- Enerji hatlarının izlenmesi ve bütünlüğünün sağlanması
- Benzin-Gaz üretim ve taşımacılığı

- Titreşim izleme

Üretim, Depolama ve Taşımacılık

- Ürün takibi
- Trafik izleme
- Ürün yer tayini
- Güvenlik
- Akıllı taşıyıcılar

Yapı Otomasyonu

- İzleme ve kayıt
- Güvenlik
- Yer tayini (çalışan, malzeme, araç vs.)
- Işıklandırma kontrolü
- Yangın alarm sistemleri
- Akıllı evler

Çevresel Takip

- Tarım, sulama, seracılık
- Gıda Kalitesi
- Hava Durumu
- Deprem Tahmini
- Hayvancılık

Sağlık

- Hastaların sağlık parametrelerini izleme (ates, kan basıncı, nefes alma vb.)
- Yaşlıların ve özürlülerin durumlarının takibi

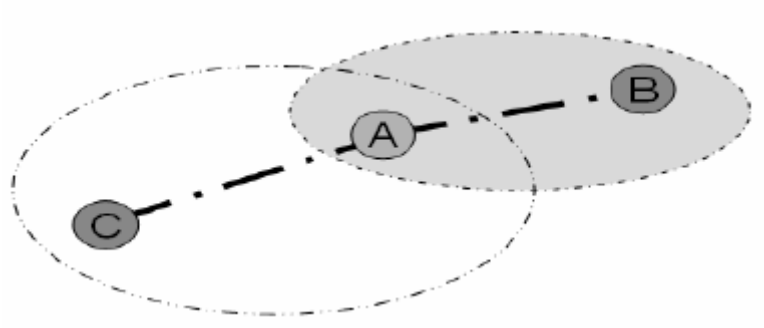
Askeri uygulamalar

- Gözetleme, kesif sistemleri
- Hedef alma sistemleri
- Haberlesme sistemleri.
- Kontrol ve haber alma sistemleri.

2.4. Yönlendirme Protokolleri

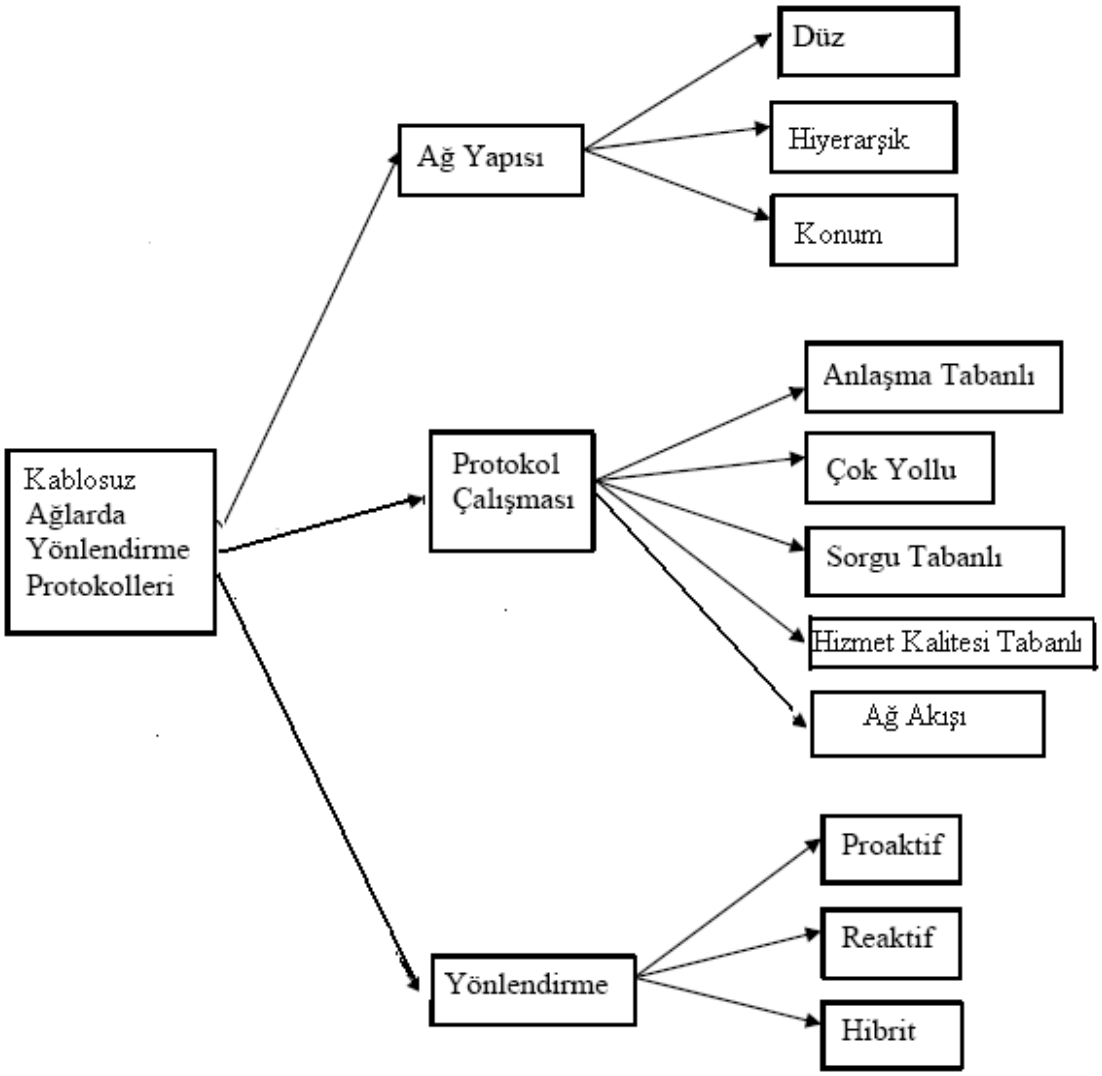
Algılayıcı düğümlerin birbirleri ile iletişim içinde bulunabilmeleri ve algılanan verilerin baz istasyonuna ulaştırılabilmesi için uygulama alanlarına göre yönlendirme

protokollerine ihtiyaç vardır (Estrin ve ark., 1999). Yönlendirme, veri paketlerinin kaynak düğümlerden hedef düğüme taşınması işlemi için gerekli yolların belirlenmesidir. Bir düğüm ancak kapsama alanı içindeki düğümle iletişim kurabilir. Şekil 2.2 de görüldüğü gibi C ve B düğümlerinin iletişim kurabilmesi için A düğümünün yönlendirme yapması gerekmektedir.



Şekil 2.2. Yönlendirme

Kablosuz algılayıcı ağlar sınırlı enerjilerini veri toplayarak, hesaplama yaparak ve yönlendirme esnasında tüketirler. Buna rağmen çoğu uygulamada, her bir algılayıcı düğümün uzun zaman hayatta kalması beklenir (Gholamzadeh ve Nabovati, 2008). Bu yüzden algılayıcı ağlarda hem enerjinin verimli kullanılması hem de verimli yönlendirme şemaları çok önemlidir (Willalba ve ark., 2009). KAA larda yönlendirme problemi geniş bir araştırma konusudur. Manjeshwar ve Agrawal (2002) yaptıkları çalışmaya göre geleneksel mobil tasarsız ağlar için pek çok yönlendirme protokol ve algoritmaları önerilmiştir. Al-Karaki ve Kamal (2004)'a göre kablosuz algılayıcı ağlar da yönlendirme protokolleri genelde ağın yapısına, protokol çalışmasına ve yol bulmaya göre Şekil 2.3'de görüldüğü gibi 3 grupta toplanabilir.

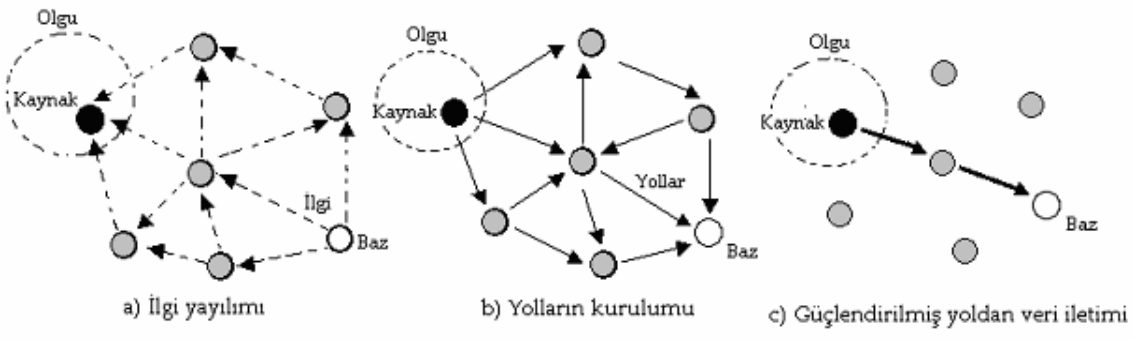


Şekil 2.3. Yönlendirme Protokollerinin sınıflandırılması

Ağın yapısına göre düz (flat-based) , hiyerarşik (hierarchical-base) ve konum (local-based) tabanlı olarak sınıflandırılır:

Düz yönlendirmede, bütün düğümler eşit rollere ve fonksiyonlara sahiptir. Tüm düğümler yönlendirici olarak görev yaparlar ve aldığı her paketi yayınlar. Ağ içinde farklılık gösteren düğümler ise verilerin toplanacağı merkez olan düğümlerdir. Verilerin toplandığı bu merkezler başka ağlara geçit noktası olarak kullanılabilecekleri için diğer düğümlerden daha farklı donanımlara sahip olmaları gerekmektedir. Düz yönlendirmeye ait bilinen en iyi metotlardan birisi Güdümlü Yayılım (Directed Diffusion) algoritmasıdır (Intanagonwiwat ve ark., 2003). Güdümlü yayılım (GY) algoritmasında veri merkezli bir yapıya sahiptir. Veri merkezliden anlaşılması gereken ağ üzerinde farklı merkezlerden gelen bilgilerin toplanarak gereksiz olan bilgilerin

ayıklanması ve bir merkeze yönlendirilmesidir. Bu algoritmada ana merkez, istenilen bilginin toplanması için ağa istediğini (ilgi) yollar (Şekil 2.4.a). Bu istek ağ üzerinde yayılırken geri dönüş yolları hesaplanır (Şekil 2.4.b). Her düğüm daha 5önceden algıladığı veriyi bir şekilde saklamış olur ve isteğin ağa dağılması esnasında düğümler arasında bağlantılar kurulur. Veri toplama işlemi başladığında, en etkin şekilde hesaplanmış düğümler arası bağlantıları kullanarak veriler toplanır (Şekil 2.4.c.). GY de sadece bir yol hesaplanmaz. Asıl amaç güzel bir veri toplama ağacı oluşturabilmek ve toplanan verileri veri ağacının ana dalları üzerinden merkeze ulaştırabilmektir. Merkez, veri toplama için ağa istek yollama prosedürünü periyodik olarak gerçekleştirir. Ağ dâhilindeki tüm düğümler uygulamanın gerektirdiklerinden haberdardır ve buna uygun olarak verileri birleştirirler. GY'ın performansı birçok değişkenden etkilenmektedir. Bu değişkenler, istenilen bilginin ağ içinde bulunduğu yer ve merkezin konumu, çeşitli verilerin sayısı ve ağ yapısıdır (Al-Karaki ve Kamal, 2004; Intanagonwiwat ve ark., 2003).



Şekil 2.4. Güdümlü Yayılım Çalışma Prensibi

Düz yönlendirmeye bir diğer örnek protokolde Kang ve ark.(2003)'nın geliştirdiği protokoldür. Bu protokol, GY ile aynı şekilde davransa da, ağ üzerinde yol hesaplanırken asıl parametre olarak enerjiden faydalanılır. Ağın yaşam süresinin uzun tutulması asıl istenilen özelliktir. Bu protokol, GY'ye göre %21 daha fazla enerji tasarrufu sağlar ve ağın yaşam süresini %44 uzatır (Fe, 2001). Verinin iletilebileceği olası yolların bir uçtan diğer uca hesaplanması için GY'na nazaran daha çok hafıza ve işlemci gücü gerekir. Ağ yaşam süresi denilince akla ilk gelmesi gereken ise, enerjisinin bitmesinden dolayı ağ içindeki bir düğümün iletişime son vermesidir (Kang, 2003).

Hiyerarşik yönlendirmede, düğümlere farklı roller tahsis edilmiştir. Düğümler küme oluştururlar. Her kümenin bir küme başı olur. Kümeler belirli periyotlarla farklı düğümler ve farklı küme başları ile yeniden oluşturulur. KAA için de enerji verimli bir yapıya sahiptir. Hiyerarşik yönlendirmenin asıl hedefi, algılayıcı düğümlerin, özel bir yığın içinde, çok adımlı iletişim sağlamada enerji tüketimlerini verimli şekilde sürdürmesidir. Küme başlarını, yani veri işleyen ve ileten düğümlerin seçimi, yöneticilerin ağ alanı içerisinde nerelerde duracakları ve oluşturulan kümeye ne kadar düğümün dâhil olacağı gibi değişkenler enerji kullanımı konusunda büyük kazançlar sağlayabilir. Kümeleme protokollerine örnek olarak yeni fikirlere yol açan Heinzelman ve ark. (2002)'nın geliştirdikleri LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) protokolü verilebilir. LEACH protokolünde, küme başları, kendine bağlı olan düğümlerin ne zaman iletişime geçeceğine karar verir. Ayrıca gelen verileri sıkıştırarak ana istasyona gönderilmesinden de sorumludur. Rastgele seçilen küme başları ile düğümlerde enerji kullanımı eşit dağıtılabilir. Her ne kadar LEACH protokolü ağın yaşam süresini önemli ölçüde uzatsa da, bu protokol için önceden kabul edilmiş durumların sağlanması oldukça zordur. Öncelikle, her düğümün ana istasyonla gerektiği anda iletişime geçecek gücünün var olduğu kabul edilir.

Konum tabanlı yönlendirme de ise algılayıcı düğümlerin kendi konumlarını bildikleri varsayılmıştır. Bu yerlere göre veri yönlendirmesi yapılır. Düğümler arasındaki mesafenin belirlenmesi ve yakın düğümlerin tespiti, genelde sinyal gücünden faydalanılarak yapılır. Xu ve ark. (2001)'nın geliştirdikleri GAF (Geographic Adaptive Fidelity) protokolü konum tabanlı bir protokoldür. Bu protokolde sanal alt alanlar oluşturulur ve bu alanların içindeki düğümler farklı roller oynarlar. Alt alanda seçilen bir düğüm uyanık kalarak baz istasyona veri yönlendirmesini yapar ve alanı sürekli olarak tarar. Protokolde, hareketli düğümlerin ağ içinde dolanabilmesini sağlamak için uyanık kalan düğüm ile yapılan haberleşmede, alt alana giren veya ayrılmak üzere olan bir düğümün bilgileri uyumakta olan düğümlere, uyanık düğüm tarafından aktarılır. Bu şekilde düğümlerin birçoğu uyur durumda tutularak enerji tasarrufu sağlanmış olur.

Yu ve ark. (2001)'nın geliştirdikleri ve konum tabanlı bir başka protokolde düğümler kendi bulundukları yeri ve etrafındaki komşu düğümlerde kalan enerji miktarını bilerek paket yönlendirmesi yaparlar. Baz istasyon sorgulama yaparken, GY' daki gibi ağın tümüne isteğin yollanması yerine sadece istenilen bölgeye yollayarak GY'ya göre enerji tasarrufu sağlanır. Her düğüm, tahmini ve öğrenilebilir baz istasyonuna ulaşma maliyetini bilerek yönlendirme yapar (Noyan, 2009).

Protokol çalışmasına göre anlaşma tabanlı (negotiation-based), çok yollu (multipad-based), sorgu (query-based), hizmet kalitesi tabanlı (QoS-Query of Service) ve ağ akış tabanlı (coherent-based) olmak üzere 5 sınıftır.

Anlaşmaya dayalı yönlendirme protokollerindeki asıl amaç düğümler arasında anlaşma sağlanarak gereksiz veri aktarımının önüne geçilmesi ve verilerin sıkıştırılarak iletilmesidir. Anlaşma tabanlı protokolde kaynak, hedefe veriye ihtiyacı olup olmadığını sorar. Bu mekanizma gereksiz yere veri gönderimini engeller. Bu şekilde de enerji tasarrufu sağlanır (Al-Karaki ve ark., 2004). Aynı veri mesajının çakışmış alt alanlarda tekrar iletilmesi de bu şekilde önlenmiş olur. Uzlaşma, mesajlarda ve veri transferinde yüksek katmanda veri tanıtıcıları kullanılarak yapılır. Kulik ve ark. (2002) önerdikleri SPIN (Sensor protocols for information via negotiation) protokol ailesi veri görüşmelerini (data negotiation) kullanan bir protokoldür.

Çok yollu yönlendirmede alıcıya veri göndermek için birden fazla yol kullanılır. Noyan (2009), Jae-Hwan (2004) ait bir makaleye göre ağ içinde hata düzeltmeye yönelik yollardan bir tanesi de yakın özelliklere sahip farklı yönlendirme yollarının ağ içinde bulunması olacağını söylemiştir. Farklı yolların hesaplanması ve tutulması ilave olarak mesajlaşma ve enerji tüketimine neden olmaktadır. Enerji tüketimi artmasına rağmen ağın güvenilirliliğinin sağlanması için istenilen bir yol olabilir. Ağ içerisinde farklı yollar tutulmasının hata düzeltmeye ek olarak bir yararı da eğer yeni bir düğümün ağ alanına eklenmesi ile daha verimli bir yol hesaplanırsa; o yolun kullanılması ile ağın yaşam süresinin artması sağlanabilir. Yaşam süresinin artması, ancak yol değiştirmenin maliyetinin, eski yolu kullanmaktan daha az olacağı kabul edilirse gerçekçi olacaktır. Çoklu yola dayalı yönlendirme yapan protokoller genelde ağın güvenilir olması istendiğinde kullanılmalıdır. Ayrıca çoklu yolu sadece tek bir verinin aktarımında farklı yollar bulundurulması olarak düşünmemek gerekir. Büyük bir veri parçalara bölünerek farklı yollardan da aktarılabilir. Böylelikle veri eksik gelmiş olsa da diğer yollardan ana istasyona ulaşan veriden sonuçlar çıkarılabilir. Rahul ve Rabaey (2002) önerdikleri "Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks" isimli çalışmaları çok yollu yönlendirme ile ilgilidir.

Sorgu tabanlı yönlendirmede alıcı düğüm tarafından belirli veri toplamak için düğüm sorgulanır. Bu sınıftaki yönlendirmelerde sorgulama yapacak olan düğüm ya da baz istasyon, yüksek seviyede bir açıklama ile almak istediği veriyi sorgular. Örneğin, baz istasyondan, algılayıcı herhangi bir X düğümüne sorgulama için mesaj yollanır ve mesajın içeriği "Şu an X düğümünün algılama alanında herhangi bir değişiklik oldu

mu?" olabilir. X düğümüne ulaşan bu sorgulamaya cevap olarak dönüş yolunun aynısı ya da en yakında bulunun bir ağ omurgası kullanılarak gerçekleştirilir. GY'nin sorgulama mekanizması buna örnek gösterilebilir. Braginsky ve Estrin (2001) "Rumor Routing Algorithm For Sensor Networks" isimli çalışması sorgu tabanlı bir yönlendirme protokolüdür.

*QoS tabanlı yönlendirme'*de enerji tüketimi ve veri kalitesi arasında bir denge gözetilmek zorundadır. Özellikle ağ, verinin baz istasyonuna gönderildiği zamanda, gecikme, enerji, bant genişliği vb. gibi belirli QoS ölçülerini sağlamak zorundadır. Bu protokol yolları kurarken noktadan noktaya gerekli gecikmeleri hesaba katar.

KAA, olay algılamasında veya hedef takibinde kullanılacak düğümlerden oluşur. Klasik kablosuz ağlarda uygulamalar, genelde iki düğüm arasında verinin iletimi ile ilgilenirken; KAA'ında bu yapı biraz daha farklıdır. KAA uçtan uça veri iletiminden çok, izlenilen verinin toplanabilmesi ile ilgilenir. Klasik anlamdaki servis kalitesi, uygulama ihtiyaçlarına göre vazgeçilebilecek unsurlardan bir tanesidir. Algılanan verinin ne kadar zamanda ana istasyona ulaştığı, ulaşan bilginin doğruluğu gibi birçok etkenle, ağ üzerinde enerji kullanımı arasında bir takas yapılabilir. He ve ark. (2003) geliştirdikleri SPEED (Stateless Protocol for End-to-End Delay) isimli protokol bu protokol için örnek gösterilir. Bu protokolde her bir düğüm komşu düğüm bilgilerini ister. Ayrıca protokol her uygulamada paketin hızı ile baz istasyonu arasındaki mesafeyi hesaplayarak bir uçtan diğer uca bir paketin gecikmesini tahmin edebilir ve böylece her bir paket için belirli bir hız sağlamaya çalışır.

Ağ akışı protokolünde veri baz istasyonuna minimum işlemden sonra gönderilir. Minimum işlemler tipik olarak zaman damgası (time stamping), tekrarın önlenmesi (duplicate suppression) gibi görevleri içerir. Yüksek trafik bulunan ağlarda, ağ akışı yönlendirmesinin kullanılması trafiğin azaltılması yönünde alınacak önemlerden bir tanesidir. Ağ akışı yönlendirmede, belirli yerel bölgede toplanan veri bir şekilde ağ içinde işlenir ve birleştirilir. Daha sonra ağda yönlendirilmesi yapılır. Sohrabi ve Pottie (2000) önerdikleri Sequential Assignment Routing (SAR) protokolü örnek bir protokoldür. Bu protokolde yönlendirme 3 faktöre bağlıdır. Bunlar enerji kaynakları, her bir yolda hizmet kalitesi ve her paketin öncelik düzeyidir.

Kaynağın hedefe nasıl bir yol takip ettiğine bağlı olan protokollerde proaktif, reaktif ve hibrid olarak 3 sınıfta toplanırlar. Proaktif yönlendirmede ihtiyaç olan tüm yollar hesaplanırken (örneğin LEACH), reaktif yönlendirmede sadece istek anında

yollar hesaplanır (örneğin TEEN). Hibrid protokol ise her 2 fikrin birleşiminden meydana gelir (örneğin APTEEN).

Ducatelle ve ark. (2008)'a göre kullanılan uygulamalara göre yönlendirme protokolleri farklı şekilde gruplandırılabilir. Ama genellikle ya proaktif ya da reaktif olarak sınıflandırılırlar.

Proaktif yönlendirmede düğümler periyodik olarak ortamdaki ilgili veriyi algılar ve gönderir. Böylece, düzenli aralıklarla konu ile ilgili parametrelerin anlık görüntüsü elde edilir. Bu çeşit algoritmalar periyodik izleme isteyen uygulamalar için oldukça uygundur. Literatürdeki Heinzelman ve ark. (2002)'nın geliştirdikleri LEACH (Low-EnergyAdaptive Clustering Hierarchy), Clausen ve ark. (2001)'nın geliştirdikleri OLSR (Optimized Link State Routing) ve Perkins ve ark. (1994)'nın geliştirdikleri DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector routing) protokolleri bu sınıfa aittir.

Reaktif yönlendirmede ise, düğümler ortamdaki ilgili verideki beklenmedik ve ani değişikliklere hızlıca tepki gösterirler. Bu yüzden düğümler bulundukları çevreyi sürekli olarak algılar. Bu protokol saldırı tespiti ya da patlama algılama gibi ani değişikliklerin önem arz ettiği kritik uygulamalar için oldukça uygundur. Manjeshwar ve Agrawal (2002) geliştirdikleri TEEN (Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol) ve Johnson ve ark. (2007) geliştirdiği DSR (The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks) protokolleri bu kategoriye örnektir.

Hibrit yonlendirme de, proaktif ve peaktif yönlendirmelerin her ikisi de desteklenir ve yönlendirilecek verinin gerektirdiklerine gore yönlendirme yapılır. Her iki yönlendirmenin desteklenmesi veri iletimi açısından artılar sağlasa da enerji tüketimini artırmaktadır. APTEEN protokolü bu tür bir yönlendirmenin tipik bir örneğidir.

2.5. KAA'ın Avantaj ve Dezavantajları

Harmankaya'nın (2007) çalışmasında, KAA'ların sahip oldukları avantajlar ve dezavantajlar sunulmaktadır.

2.5.1. KAA'ların avantajları

KAA'ların en önemli avantajları:

• Gezginlik, Özgürlük: Kablosuz haberleşen düğümler algılama alanında herhangi bir kısıtlama olmaksızın gezebilmektedir, bu ağ topolojisine sınırsız bir özgürlük ve dinamiklik kazandırmaktadır.

• Taşınabilirlik: Herhangi bir kablolama ve enerji altyapısı gerektirmediğinden mevcut ağın bir yerden başka bir yere taşınması çok kolay olabilmektedir.

• Yeniden Kullanılabilirlik: Düğümlerin temel amacının fiziksel dünyadan çeşitli verilerin algılanması olduğu düşünülürse bu düğümlerin defalarca çeşitli şekillerde ve farklı uygulamalarda yeniden kullanılabilecektir.

• Kolay Kullanım: Algılayıcı düğümler kendi aralarında dinamik bir biçimde organize olarak herhangi bir ayar gerektirmeksizin değişen koşullara ayak uydurarak çalışmalarını yürütebilirler. Bu özellikleri sayesinde kullanımları çok kolaydır.

• Ölçeklenebilirlik: Her hangi bir KAA'ına yeni düğümlerin veya bütün halindeki başka bir KAA'ının katılması kolaylıkla ve dinamik bir şekilde mümkün olabilmektedir.

• Düşük Maliyet: Günümüzde gelişen mikroişlemci teknolojisi sayesinde algılayıcı düğümler oldukça ucuzlamıştır. Kablosuz algılayıcı düğümler ile yapılan uygulamalar, kablolu uygulamalara oranla beşte bir oranla daha ucuz olabilmektedir.

2.5.2. KAA'ların dezavantajları

KAA'ların en önemli dezavantajlarını aşağıda sıralanan başlıklar altında inceleyebiliriz.

• Kısıtlı kaynaklar: Algılayıcı düğümlerin kısıtlı işlem ve bellek kapasiteleri yüzünden birçok işlem yüksek algoritmik gereksinimler yüzünden yapılması zorlaşmaktadır. Aynı zamanda sınırlı enerji kapasiteleri yüzünden topolojinin hayatta kalma süresi de sınırlı olmaktadır.

• Yönetim ve İzlenebilirlik Zorluğu: Uzaktan yönetim ve trafik mühendisliğinin yapılması için gereken algoritmalar KAA'lar için büyük ve kaynak israfına sebep olmaktadır çünkü düğümler ancak temel gereksinimleri yapabilmeleri öngörülerek tasarlanmıştır. Bu yüzden kablolu ağlara oranla yönetilebilirlikleri ve izlenebilirlikleri çok kısıtlı bir biçimde yapabilmektedir.

• Yüksek Hata Olasılığı: Yapılan algılama işlemleri fiziksel etkiler sebebiyle ve haberleşmede ise kablosuz haberleşmenin karakteristikleri yüzünden hata oranı kablolu sistemlere göre çok yüksek olmaktadır.

• Servis Kalitesi: Yüksek hata ve aşırı dinamik topoloji belirli bir servis kalitesini tutturmayı neredeyse imkânsız hale getirmektedir.

2.6. KAA'da Enerji Tüketimi

Algılayıcı düğümler pil ile beslenirler ve sahip oldukları enerjiyi, algılama yaparak, algılanan veriyi işleyerek ve gerektiğinde diğer algılayıcı düğümlere ya da baz istasyonuna göndererek tüketirler. Pek çok uygulamada algılayıcı düğümlerin pillerinin değiştirilmesi mümkün olmadığından, algılayıcı ağlar için enerji verimli güç yönetimi önemlidir. Bu nedenle araştırmacılar geliştirdikleri protokollerde bu durumu hep dikkate almışlardır. Güç tüketimini etkileyen faktörleri; algılama, iletişim ve hesaplama başlıkları altında inceleyebiliriz (Yesbek, 2008).

2.6.1. Algılama

Algılama için harcanan enerji, kullanılan algılayıcıya göre değişiklik göstermektedir. Algılamanın sürekli veya zaman aralıkları ile yapılması da güç tüketiminde önemli rol oynar. Bu yüzden algılamanın olay bazlı yapılması enerjinin verimli kullanılmasını sağlayacaktır. Sürekli algılama yerine belirli periyotlarla yapılan algılamalarda enerji önemli ölçüde tasarruf edilmiş olacaktır.

2.6.2. İletişim amaçlı enerji tüketimi

Kablosuz algılayıcı ağların genel çalışma prensibi, düğümlerin belirli aralıklarla çevrelerindeki fiziksel değişikliklerin, gerekli fiziksel büyüklükleri okumaları üzerine kuruludur. Bu süre elde edilecek bilginin hassasiyeti ve enerji tüketimi ile ters orantılıdır. Bekleme süresi ne kadar azalırsa elde edilen bilgi de o derece hassastır. Aynı şekilde bekleme süresinin artması enerji tüketimini de azaltacağı için düğümün ömrünü arttıracaktır.

Kablosuz algılayıcı düğümler üzerinde bulunan kablosuz iletişim birimleri sadece bilginin başka bir düğüm veya merkeze iletilmesi durumlarında etkin hale getirilir. Bu işlem sırasında bilgilerini aktaracak olan düğümün çevresinde iletişim birimi açık olarak bekleyen başka düğümlerin olması gerekmektedir. Bu yüzden

kullanılacak olan kablosuz iletişim birimleri herhangi bir t anında kapalı, pasif (Idle) veya iletişim (RX/TX) halinde bulunabilirler.

Düğümün yapısında bulunan kablosuz iletişim biriminin, düğümün çalışma zamanının çoğunda kapalı veya pasif halde olacağı göz önünde bulundurulduğunda bu çalışma seviyeleri için oldukça düşük güç tüketimine sahip olması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Ayrıca algılama işlemi gerçekleşince, algılanan veriyi belirlenen bir merkeze değerlendirilmesi için göndermek gerekmektedir. Bu durumda algılayıcı düğümün verici devresi çalışarak, paket büyüklüğüne ve veri aktarım hızına bağlı olarak belirli bir enerji harcanmaktadır. KAA'da düğümler arasında iletişim radyo dalgaları ile sağlandığında, her düğümün birbiri ile doğrudan haberleşmesi neredeyse imkânsız olacaktır. Bunun nedeni, birbirlerine uzak noktalarda bulunan duğumlerin haberleşme için cok fazla enerji harcamalarıdır. Bir düğümün algıladığını belirli merkeze gönderimi esnasında diğer düğümler üzerinden bir aktarma işlemi yapılacağından, düğümden düğüme atlamalar sırasında her bir düğüm aynı zamanda alıcı devresini de çalıştırmaktadır. Ağ içinde enerji kısıtlı olduğundan uzak mesafelerde iletişim yapılarak, zaten kısıtlı olan enerji kısa surede tüketilmemelidir. Atlamalı iletişimin kullanılmasının sağlayacağı diğer bir yarar ise saklı veya golgede kalan düğüm miktarını azaltmasıdır (Aboelaze ve ark., 2005).

Bu işlem için mesafe ile ters orantılı olan ve alıcı gücüne bağlı olan alıcı enerjisi harcanmaktadır. Çok atlamalı fakat atlama mesafelerinin daha kısa olduğu yollarda, güç tüketimi daha az olmaktadır. Örneğin; 1 metrelik 10 atlama yapan bir yoldaki güç tüketimi, 2 metrelik 5 atlama yapan bir yoldan çok daha düşük olmaktadır.

2.6.3. Hesaplama amaçlı enerji tüketimi

Bütün bu yukarıdaki işlemlerin gerçekleştirilmesi ve algoritmaları çalıştırılması için işlemci biriminin görev yapması gerekmektedir. İşlem amaçlı güç tüketimi, iletişim amaçlı güç tüketimi ile karşılaştırıldığında çok daha düşük olabilmektedir. Literatürde yapılan çalışmaların hemen hemen tamamında hesaplama amaçlı enerji tüketimi çok az olduğundan dikkate alınmamıştır.

2.7. IEEE 802.15.4

IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) enstitüsü tarafından, IEEE 802.15.4 ilk olarak 2003 yılında tanımlanmıştır. IEEE 802.15 çalışma grubunun kablosuz kişisel ağlar için özelleşmiş alt grubu protokolüdür. Protokol ilk çıktıktan sonra IEEE 802.15.4a ve IEEE 802.15.4b ile iyileştirmeler yapılmıştır. Düşük enerjili ağ kurulumunda kullanılmak üzerine özelleşmiştir. IEEE 802.15.4 standardı kişisel alan ağlarındaki radyo dalgaları ile iletişim kuran cihazlar için tanımlanmıştır.

IEEE 802.15.4 standardı, kurulacak ağın maliyetinin düşürülmesi, yüksek veri doğruluğunun sağlanması, uzaktan kumanda, otomasyon uygulamalarını hedefleyen ve ağda düşük enerji ile uzun süre iletişim sağlanabilmesi açısından, KAA için halen geliştirilmekte olan bir standarttır. Ağ içinde gözlem ve kontrol faaliyetlerinin sürdürülmesine yardımcı birçok tasarım parametresine sahiptir.

Bu teknoloji IEEE 802.15.4 LR-WPAN standardının üzerine inşa edilmiştir. Zigbee IEEE 802.15.4 standardının belirlediği Fiziksel ve Ortam Erişim katmanının üzerine Ağ katmanı ve Uygulama katmanını inşa eder. "ZigBee Alliance", bu teknoloji üzerine çalışmaya başlamadan kısa süre önce, IEEE 802.15.4 topluluğu da düşük veri transfer oranına sahip bir standart üzerinde çalışmaktaydı. ZigBee Alliance ve IEEE güçlerini birleştirerek bu teknolojiye ZigBee ticari ismini verdiler. ZigBee teknolojisinden beklenen, çok uzun süre pil değişimine gereksinim duymadan çalışabilecek cihazların bir ağ mantığı ile birbirine bağlanabilmesini sağlamasının yanında, düşük güç tüketimine sahip bir ağ oluşturabilmesidir. Çünkü kontrol ve kumanda amaçlı birçok uygulama için yüksek veri transfer oranlarının gerekmemesine karşın bu cihazların uzun pil ömrüne sahip olması hafif ve taşınabilir olması önem taşımaktadır.

Zigbee ismini yerel bir bal arısından almaktadır. Bal arılarının çok karmaşık işleri birbirleri ile uyum ve işbirliği içinde başarabilmeleri ve bunu yaparken havada zigzag yollar izlemeleri standart ismi için ilham kaynağı olmuştur. Bu standardın gelişmesinde birçok şirket birlikte çalışmaktadır ve ZigBee Alliance olarak adlandırılırlar. Bu şirketler birçok faklı alanda kullanılabilecek bir standardın ortaya çıkması için çalışmaktadır. Zigbee Alliance yarıiletken üreticileri, teknoloji sağlayıcıları, orijinal ekipman üreticilerinin oluşturduğu 200 den fazla üyesi olan büyük bir birliktir. Bu birlik sekiz büyük firma (Ember, Freescale, Honeywell, Invensys,

Mitsubishi, Philips, Motorola ve Samsung) tarafından 2004 yılında kurulmuş ve Siemens, Mitsubishi gibi firmaların katılımıyla büyümesini sürdürmektedir.

ZigBee teknolojisinden çok uzun süre pil değişimine gereksinim duymadan çalışabilecek cihazların bir ağ mantığı ile birbirine bağlanabilmesini sağlamasının yanında, düşük güç tüketimine sahip bir ağ oluşturabilmesi beklenmektedir. Çünkü kontrol ve kumanda amaçlı birçok uygulama için yüksek veri transfer oranlarının gerekmemesine karşın bu cihazların uzun pil ömrüne sahip olması hafif ve taşınabilir olması önem taşımaktadır.

Kablosuz iletişimle ses ve veri transferinin kaliteli şekilde yapılması üzerine özelleşmiş standardın piyasadaki adı 2.5/3G'dir. Bu standart uzun mesafelerde veri transferinin gereksinimlerini karşılayabilmektedir.

Çizelge 2.1. Bazı Standartlar ve karşılaştırmaları

	GPRS/GSM 1xRTT/CDMA	IEEE 802.11b/g	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4
Piyasadaki isimler	2.5/3G	WiFi	Bluetooth	**ZigBee**
Hedeflenen ağlar	WAN/MAN	WLAN	PAN and DAN(masa alanı ağları)	**KAA**
Uygulama amaçları	Geniş alan ses ve veri transferi	İşletmeler için Voip ve veri transferi	Kablolama yerine	**Gözlemleme ve kontrol**
Bant genişliği (Mbps)	0.064 - 42	11 - 54	1 - 3	**0.020 - 0.25**
İletişimdeki uzaklıklar(ft)	3000+	1 - 300+	1 - 30+	**1 - 300+**
Dizayn faktörleri	Ulaşma ve iletim kalitesi	İşletme desteği, ölçeklendirilebilirlik ve maliyet	Maliyet ve kolay kullanım	**Güvenirlik, enerji kullanımı ve maliyet**

Çizelge 2.1'de en çok kullanılan kablosuz standartlar bazı özelliklerine göre karşılaştırılmıştır. Günümüzde en çok kullanılan kablosuz standartlardan biri Wi-Fi (kablosuz aitlik)'dir. Bu standart asıl olarak bina içlerinde veri transferi ihtiyaçlarına karşılık vermektedir. Yüksek hızlarda veri transferinin yapılabilmesi çok fazla enerji

tüketimine yol açmaktadır. Bu protokol genelde bilgisayarlarda ve kısıtlı enerji problemi olmayan cihazlarda kullanılmaktadır.

IEEE 802 grubu tarafından tanımlanmış ve günümüzde çok kullanılan standartlardan bir tanesi de Bluetooth'dur. Bu standart genelde kısa mesafelerde kablo ile yapılan haberleşmenin kablosuz ortama taşınmasının gereksinimlerini karşılamaktadır. Veri iletim hızı IEEE 802.11 kadar yüksek olmasa da kurulumu ucuz ve kullanımı kolaydır.

Sohraby'ye (2007) göre, KAA'nın temel eğilimi ağın düşük maliyetli olması ve düşük veri hızına sahip olmasıdır. KAA'nda kullanılacak düğüm sayısının fazla olması düğüm maliyetinin düşük olmasını gerektirir. Gelişen teknoloji ile düğüm üretim maliyetleri çok hızlı şekilde düşmüştür. Fakat bu düğümlerin haberleşmesinde çok faklı standartlar kullanılması, düğümlerde kullanılacak olan işlemcinin daha güçlü olmasını ve hafızanın daha geniş olmasını gerektirir. Yaygın olarak kullanılan birçok kablosuz standardın tasarımı, KAA'da istenilen asıl özellik olan, güç kullanımı göz önüne alınarak yapılmamıştır. Başka bir tasarım parametresi de, KAA için gerekli olan bant genişliğinin diğer kablosuz ağ standartları ile karşılaştırıldığında oldukça az olmasıdır (Noyan, 2009).

ZigBee protokol mimarisi katman olarak adlandırılan iki bloktan oluşmaktadır. Her bir katman üst katman için bir dizi özel hizmetler sunmaktadır: bir "data entity"(veri varlığı), veri iletim hizmeti sağlarken, bir "management entity"(yönetim varlığı) diğer tüm hizmetleri sağlamaktadır. Her bir hizmet, Service Access Point SAP (Hizmet Erişim Noktası) üzerinden üst katmanlara bir ara yüz açar ve her bir SAP istenen işlevi sağlayacak bir "service primitive" (hizmet ilkel nesnesi olarak türkçeleştirilebilir ancak, IEEE tarafından kullanılan, standartta özel bir terim olduğundan bu haliyle kullanılacaktır) sağlamaktadır.

ZigBee ve IEEE 802.15.4 mimarisini anlamak için "primitive" kavramının anlaşılması önem taşımaktadır. "Primitive" kavramı; IEEE, "primitive" kavramını, servisin türünü belirten ancak servisin nasıl gerçekleşeceğine dair bilgi taşımayan sanal varlıklar olarak tanımlamıştır. Terimin anlaşılırlığını artırmak amacıyla "Primitive", belirli bir servis sağlamak için istenen bilgiyi taşıyan komut vagonu olarak tanımlanabilir. Bu komutlar bilgi taşıyıcı bir veya birden fazla parametre içerebilirler. Genel olarak 4 çeşit "primitive" vardır.

• Request (istek) primitive;

Request primitive, üst katmandan, bir alt katmana geçirilen ve bir servisi başlatılmasını istemek için kullanılan komut vagonudur. Servis özelliğine göre bir veya daha fazla parametre içerebilir.

• Indication (belirti) primitive;

Alt katmandan üst katmana doğru akış yönü olan ve üst katman için önemli olan bir olayı bildirmek için kullanılır.

• Response (yanıt) primitive;

Bu "primitive", "indicaiton primitive" ile başlatılan prosedürü tamamlamak için üst katmandan alt katmana doğru bilgi taşıyan bir komut vagonudur.

• Confirm (onay) primitive;

Bu "primitive request" ile istenen hizmete yanıt niteliğindedir ve alt katmandan üst katmana doğru bilgi taşır.

IEEE 802.15.4 standardı alt iki katmanı tanımlamaktadır: fiziksel PHY(Phisical) katman ve ortam erişim MAC(Medium Access Control) katmanı. ZigBee Alliance bunun üzerine ağ NWK(Network) katmanı ve uygulama destek alt katmanı(applicaiton support sub-layer (APS)), ZigBee devre nesnesi ZDO(ZigBee Device Object) ve üretici tanımlı uygulama nesnelerini içeren uygulama katmanını inşa eder (Yesbek 2008).

2.8. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Güvenlik

KAA en önemli sorunlarından biri güvenlik ve gizlilik konusunu oluşturmaktadır. Odabaşı ve Zaim (2010), Shi ve Perrig (2004) ve Mohammad ve ark. (2004) çalışmasından yararlanarak, bu konuyu aşağıda sunulan alt başlıklar şeklinde belirtmişlerdir:

Özellikle savaş alanlarında kullanılan düşman izleme ve takip sistemleri, kanun yaptırımı uygulamaları, otomotiv telemetrik uygulamaları, işyerlerinde odaların izlenmesi, benzin istasyonlarında sıcaklık ve basınç ölçümleri ve orman yangın tespit sistemleri gibi uygulamalar çok sayıda yarara sahip olmakla beraber bu uygulamalarda güvenlik ve gizlilik aşırı derecede öneme sahiptir. Algılayıcı düğüm bilgisi korunmaz ise, bilginin yanlış sonuçlara yol açacak şekilde bozulması olasıdır. KAA çalışmaları en yoğun biçimde askeri uygulamalarda kendini göstermektedir. Bu alandaki güvenliğin önemi herkesçe bilinmektedir. Savaş alanı hakkında bilgiyi, kimsenin hayatını riske atmadan toplayabilmesine karşın, tatmin edici bir şekilde korunmayan KAA'lar düşmanın eline geçtiğinde güçlü bir silah olarak kullanılabilir. Bu tip uygulamalar için

sağlam güvenlik önlemleri alınmalıdır. KAA'ların ticari uygulamalarında ise "Gizliliğin Korunumu" meselesi, ağın güvenli ve stabil halde çalışır olması kadar önemle ele alınmalıdır. Kişiler hakkındaki fizyolojik ya da psikolojik bilginin güvenliği her kullanıcı tarafından korunması gereken bilgiler içerisindedir. KAA uygulamaları ne kadar yaygınlaşırsa ve karmaşıklaşırsa, bu sistemlerin yetkisiz kullanıcılara karşı korunmasının önemi artacaktır. Algılayıcı ağ uygulamaları çok çeşitli fiziksel ortamlarda ve kısıtlamalar altında çalışmaktadır. Algılayıcı ağ düğümlerinin etkin bir şekilde kullanılması için her uygulama için farklı uyarlamalar ve tasarımlar gerekecektir. Çünkü güvenlik ve gizliliğin sağlanması önemli ölçüde hesaplama ve depolama kaynağının kullanılmasını gerektirir. Güvenliği sağlamak için gerekli mekanizmalar, hedef uygulamanın mimari yapısına ve içinde bulunduğu fiziksel çevreye uygun hale getirilmelidir (Odabaşı ve Zaim, 2010).

2.8.1. KAA güvenliğini tehlikeye atan özellikler

KAA'lar savaş alanları gibi düşman bölgelere yerleştirilebilir. Bu durumlarda düğümler fiziksel saldırıya karşı korunmasızdır. Güvenlik bilgisi, genelde düşman tarafından tahrip edilmesi muhtemel düğümlerden sağlanabilir (Mohammad ve ark., 2004).

Algılayıcı düğümler kompakt bir yapıda tasarlanmıştır. Bu yüzden boyut, enerji, hesaplama gücü ve depolama noktasında sınırlıdırlar. Sınırlı kaynaklar, istenen güvenlik algoritmalarını ve protokollerini geliştirmede bazı kıstları da beraberinde getirmektedir.

KAA enerjilerinin büyük kısmını düğümler arasındaki haberleşmede tüketir, küçük bir kısmını da algılama ve hesaplama için kullanır. Bu sebepten dolayı KAA'lar sınırlandırılmış işleme ve veri toplama gerçekleştirirler.

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

2.8.2. KAA'ın güvenliği için gereksinimler

Birçok uygulama dışarıdan gelen saldırılara karşı güvenlik gerektirir. Gizlice dinleme (eavesdropping) ya da paket enjeksiyonu (packet injection) gibi bilinen saldırılara karşı standart güvenlik tekniklerinin seviyesinin yükseltilmesi gerekebilir.

Örneğin, şifrelenmiş primitifler kullanarak orijinalliği ve iletişimin gizliliğini ağ içerisindeki düğümler arasında sağlanabilir (Shi ve Perrig 2004). Buna ek olarak, düğümlerde meydana gelebilecek hatalara karşı dayanıklı mekanizmalar tasarlamak gereklidir. Bu dayanıklılığa erişmek için çok sayıda düğüm kullanmak ve gerekenden fazla sayıda yedek düğüm bulundurmak gereklidir. Böylece birkaç düğümde oluşabilecek hata sonrası sistemin bütünü fazlaca etkilenmemiş olur.

Tehlike altındaki düğümleri göz önüne alan mekanizmaların üretilmesi gerekmektedir. İdeal olarak, tehlike altındaki düğümleri belirleyip, sahip oldukları kriptografik anahtarlar geri alınabilmelidir. Fakat pratikte bu her zaman mümkün değildir. Bu duruma alternatif tasarım yaklaşımı; düğüm kaybına ya da tehlike altında bulunmasına dayanıklı mekanizmalar tasarlamaktır. Böylece azar azar sistemin düğüm kaybetmesi, sistemin tümden kaybına değilde performansında küçük çaplı düşüşlere neden olacaktır.

Genel olarak güvenlik gereksinimleri tartışılırken, algılayıcı ağların uygulamadan uygulamaya güvenlik farklılıkları unutulmamalıdır (Shi ve Perrig 2004). Örneğin, tıbbi gözlem cihazlarında insanın vücuduna yerleştirilmiş algılayıcı düğümlerden, hastanın sağlık durumu izlenir, bu durumda güvenliğin amacı hastanın mahremiyetini gizlemektir. Fakat okyanustaki balığın durumunun izlendiği bir uygulamada balığın mahremiyetini gizlemeye gerek yoktur.

Bir algılayıcı ağ kesinlikle algılanan veriyi, komşu ağlara sızdırmamalıdır (Shi ve Perrig 2004). Birçok uygulamada (örn. anahtar dağıtımı) düğümler çok önemli veri iletirler. Hassas bilginin gizlenmesindeki standart yaklaşım, veriyi sadece planlanan alıcının sahip olduğu gizli bir anahtarla şifreleyip yollamaktır. Böylece veri gizliliğine ulaşılmış olunur (Perrig ve ark., 2002). Gözlenen iletişim modellerinde, baz ve düğümler arasında güvenli kanallar kurulur ve gerekli olduğu durumlarda diğer güvenli kanallar sonradan (geç önyükleme) devreye sokulur. Algılanan verinin gizliliğinin garanti altına alınması veriyi, eavesdropper (kulak misafiri) tipi saldırılardan korumak için önemlidir. Bunu sağlamak için standart şifreleme fonksiyonları kullanılabilir (örn: AES blok şifreleme) ya da gizli bir anahtar iletişim halindeki bölümler arasında kullanılabilir. Ancak, şifreleme tek başına yeterli bir çözüm değildir, bir eavesdropper alıcıya gönderilen şifreli anahtar üzerinde analiz yaparak, önemli veriye ulaşabilir. Şifrelemeye ek olarak algılanan verinin gizliliği, baz istasyonlarında yanlış kullanımının engellenmesi için erişim kontrol kurallarına ihtiyaç duyar. Kişisel yer tespit uygulaması bu konu için örnek verilebilir. Kişinin yerini belirleyen algılayıcı düğümler, algıladıkları

veriyi bir Web Server'a yolladığında, izlenen kişinin yeri, sadece kısıtlı bir grup tarafından bilinmesi gerekebilir. Böyle bir durumda Web Server da erişim hakları kısıtlandırılmalıdır.

Haberleşmede veri bütünlüğü, alıcının aldığı verinin art niyetli kişilerce aktarım sırasında değiştirilmediğine karşı garanti verir (Perrig ve ark., 2002). SPINS (Security Protocols for Sensor Networks) ile veri bütünlüğünü, veri doğrulama ile sağlanabilir. Çünkü veri doğrulama daha güçlü bir özelliktir.

Algılayıcı ağlar anlık değişen verileri algılayıp işlediği için sadece gizlilik ve güvenliğin sağlanması yeterli değildir. Aynı zamanda her mesajın tazeliğinin de garanti edilmesi gerekir (Perrig ve ark., 2002). Çeşitli saldırılar algılayıcı ağın kullanılabilirliğini tehlikeye atabilir. Kullanılabilirliğin sağlanması düşünülürken, düğüm kayıpları ya da hataları ile sistemin tümden çökmesi engellenmeye çalışılmalıdır.

Ağ katmanının üzerinde, algılayıcı ağ, genelde çeşitli uygulama seviyesinde hizmet verir (Shi ve Perrig 2004). Veri toplama/kümeleme algılayıcı ağlardaki en yaygın hizmetlerden biridir. Veri toplama işleminde düğümler komşu düğümlerden veriyi alır, veriyi topladıktan sonra ya baz istasyonuna ya da veri üzerinde işlem yapacak olan düğümler varsa o düğümlere iletir. Güvenli veri toplama göreceli olarak gerçek dünya verilerinin ölçümünün doğru hesaplanmasını ve bozulmuş düğümlerden gelen verinin tespit edilip hesaplamalara katılmadan atılmasını sağlar.

2.8.3. Saldırılar ve karşı tedbirler

Bilindik saldırılara karşı kablosuz algılayıcı ağlarda alınabilecek tedbirler şunlardır:

2.8.3.1. Gizlilik ve kimlik doğrulama:

Standart kriptografik teknikler eavesdropping, paket tekrarlama, sahte paket yollama gibi dış kaynaklı saldırılara karşı iletişim bağlantılarının güvenilirliğini ve gizliliğini koruyabilir (Shi ve Perrig 2004).

2.8.3.2. Anahtar tespiti ve yönetimi:

İki algılayıcı düğümünün güvenli ve doğrulanmış bir bağlantı kurması için, gizli bir anahtarın paylaşımının sağlanması gerekmektedir (Shi ve Perrig 2004). Anahtar tespit problemi, ağ üzerindeki bir düğüm çifti arasında gizli anahtarın nasıl tespit edilip kurulması gerektiği konusunu irdeler. Saf bir fikir olarak kurulumdan önce global bir anahtarın her düğüme yerleştirilmesi ve kullanılması düşünülebilir, bu düğümlerin kendi aralarında kolayca iletişimine imkân verirken aynı zamanda düşman kişilerin sadece bir düğümün anahtarını ele geçirdikten sonra istediği mesajları istediği düğümlere göndermesini ve veri transferini istediği anda takip edebilmesini sağlar. Ortak anahtar şifreleme, anahtar tespiti için popüler bir metod olarak karşımıza çıkmaktadır, fakat hesaplama için harcanan kaynaklar göz önüne alındığında, düğümlerin sadece kurulum aşamasında bu değer ile ilklenmesine rağmen, birçok uygulama için fazla masraflı bir seçim olur. Ortak anahtar şifreleme tekniğinin eksiklilerinden birisi DoS (Denial of Service) saldırılarına karşı ağda açık meydana getirmesidir. Saldırgan sahte bir mesajı düğüme gönderebilir, böylece düğüm sadece mesajın sahte olduğunu tespit etmek için imza doğrulama gerçekleştirir. Bu durum bile sistemi saldırganın istediği gibi yorar. Son zamanlarda, araştırmacılar, rastgele anahtar ön-dağıtım tekniklerinin anahtar tespit problemine çözüm üreteceği yönünde önerilerde bulunmuşlardır. Fakat mevcut algoritmaların ölçeklenebilirlik, düğüm uyuşmasının esnekliği, bellek gereksinimleri ve haberleşme genel giderleri açısından geliştirilmesi için daha fazla araştırma gereklidir.

2.8.3.3. Broadcast/Multicast kimlik doğrulama

Broadcast ve Multicast birçok sensör network protokolü için zorunludur. Broadcast ve Multicast'de kaynak doğrulama, yeni bir araştırma konusunu ortaya atar. Olası kazanımlardan birisi sayısal imza kullanmaktır. Kaynak her mesajı özel anahtar (private key) ile imzalar ve tüm alıcılar mesajın doğruluğunu ortak anahtar kullanarak kontrol ederler (Shi ve Perrig 2004). Ne yazık ki ortak anahtar şifreleme algılayıcı ağlar için çok pahalı bir tekniktir. Bu problemi çözmek için güvenli broadcast doğrulama sağlamak için µTesla protokolü önerilmiştir. Bu protokol algılayıcı düğümler arasında gevşek zaman senkronizasyonunu varsaymaktadır. µTesla'nın arkasındaki temel fikir;

simetrik anahtar şifrelemeye, gecikmiş anahtar açımı ve tek yön fonksiyon anahtar zinciri ile asimetriyi getirmektir.

2.8.3.4. Kullanabilirlik üzerine:

Ağın kullanılabilirliği üzerine yapılabilecek saldırılar genellikle DoS saldırısı üzerinden tanımlanmıştır (Shi ve Perrig 2004). DoS saldırılarının hedefi ağın farklı katmanları olabilir.

2.8.3.5. Frekans bozma(Jamming) ve paket enjeksiyonu

Frekans bozma farklı katmanları hedef almış olabilir. Fiziksel katmanda saldırgan karıştırıcı RF sinyallerini iletişimi engellemek için yollayabilir. Saldırganın amacı, algılayıcı düğümlerinin pillerini bitirmek için alakasız veri göndermek olabilir. Fiziksel frekans bozma saldırılarına karşı standart savunma; frekans sıçratma ve iletişim spektrumunun yayılmasıdır. Bu teknikler saldırganın iletişimin frekansını bozabilmesi için daha fazla enerji harcamasını zorunlu kılar (Shi ve Perrig 2004). Bağlantı katmanı frekans bozma saldırısı MAC (medium access control) protokolünün sağladığı özellikleri sömürür. Örnek olarak, saldırı zararlı çarpışmalara ya da radyo kaynağının hileli paylaşımına neden olabilir. Savunma olarak, güvenli MAC protokollerinin tasarlanmasına ihtiyaç vardır. Wood ve Stankovic (2002) bağlantı frekans bozma saldırısı üzerinde yaptıkları araştırmalar sonucu; çarpışma saldırılarına karşı hata düzeltici kodların kullanımını, tüketim saldırılarına karşı hız sınırlandırmayı, haksızlık saldırılarına (Unfairnessattack) karşı küçük yapıların kullanımını önermişlerdir. Ağ katmanında ise, saldırgan zararlı paketleri enjekte edebilir. Doğrulama kullanarak alıcının zararlı paketleri saptaması ve anlık mesaj tazeliğinin ölçümü ile tekrarlanmış paketlerin belirlenmesi sağlanabilir.

2.8.3.6. Sybil saldırısı

Sybil saldırısı; zararlı bir düğümün gayri meşru bir şekilde birden fazla kimlik talep etmesidir (Shi ve Perrig 2004). Sybil saldırısı servisin kesintiye uğratılması için farklı katmanlarda kullanılabilir. MAC katmanında, zararlı düğüme birden çok kimliğin sağlanması sonucunda, zararlı düğüm paylaşılmış radyo kaynağının büyük bölümünü

kendisine ayırabilir, bunun sonucunda normal düğümlerin iletişimi için radyo kaynağının sadece küçük bir kısmı kalır. Yönlendirme katmanında, Sybil saldırganı ağ trafiğini aynı niyetteki fiziksel varlık üzerinden geçirilmesi şeklinde yönlendirebilir. Basit bir yönlendirme protokolü düşünelim. Bu protokole göre bir düğüm, sonraki düğüm olarak eşit olasılıktaki düğümler içerisinden komşu upstream (yukarı akım) düğümünü seçsin. Çok sayıda kimliğin bir düğüm tarafından istenmesi ile yüksek olasılıkla seçilen "sonraki" düğüm Sybil kimliğine sahip olacaktır. Bu sebeple oluşan açığı kullanarak saldırgan, seçmeli gönderme (selective forwarding) yapabilir. Sybil saldırlarına karşı birkaç savunma tekniği önerilmiş durumdadır. Umut vaad eden kazanımlardan biri anahtar öndağıtım işlemini kullanmaktır. Temel fikir her düğümün kimlik bilgisini, ona verilen anahtarla ilişkilendirmek üzerine kurulmuştur. Böylece A kimlikli düğümü aldatmaya çalışan düğüm A'ya karşı gelen anahtara da sahip ise ancak istediği işlemi yapabilir, aksi takdirde ya ağ ile iletişim bağlantısını kuramaz ya da onay aşamasını geçemez.

2.8.3.7. Yönlendirmeye karşı çeşitli saldırılar:

Ağ katmanında, muhalif/düşman kişi yönlendirmenin mevcudiyetini bozmak için çeşitli saldırıları birbirine bağlayabilir. Yönlendirmenin mevcudiyeti eğer planlanan alıcı mesajı kabul etmez ise gözden çıkarılabilir. Tehlike altındaki düğümler arasında, gerçekleştirilebilecek saldırılardan birisi de paketleri düşürme ya da seçmeli gönderme gerçekleştirmektir (Shi ve Perrig 2004). Çok yollu yönlendirme, bu tür saldırılara karşı yapılacak savunmalardan birisidir. Bu yöntemin temel fikri birbirinden bağımsız çok sayıda yolun bir mesajın yönlendirilmesi için kullanılmasıdır. Tüm yolların tehlike altındaki düğümler tarafından kontrol edilmeleri olası değildir. Daha karmaşık saldırılar sahte yönlendirme bilgisinin yayılmasını, sinkhole ve wormhole oluşturulmasını ve "Hello" taşma saldırılarını içerir.

2.8.3.8. Hizmet bütünlüğüne karşı gizli saldırı:

Gizli saldırıda, saldırganın amacı ağın yanlış veri değerini kabul etmesini sağlamaktır. Veri kümeleme/toplama işleminde, yanlış veri değeri yanlış toplama sonucuna sebebiyet verir. Saldırganın bu hedefe ulaşmada kullanabileceği birkaç yol vardır. Örnek olarak, bozulmuş bir sensör/toplayıcı önemli derece sapmış ya da hayali

değerler raporlayabilir. Sybil saldırısı, tehlikeye atılmış bir düğümün toplanmış sonuç üzerinde daha büyük bir etkisinin olmasına izin verir (Shi ve Perrig 2004). Saldırgan ayrıca DoS saldırısı da gerçekleştirebilir. Bu yüzden normal düğümler kendi sensör bilgilerini baz istasyonuna raporlayamayabilirler. SIA (Secure Information Aggregation) protokolü gizli saldırılara karşı dayanıklı sistemlerin geliştirilmesi için önerilmektedir. Zaman senkronizasyonunu göz önünde tutarsak; gizli saldırganın hedefi yanlış zaman bilgisini yayarak düğümlerin senkronizasyonunu ortadan kaldırmaktır. Saldırgan senkronizasyon mesajlarını kesebilir ya da geciktirebilir veya yanlış senkronizasyon mesajları yollayabilir. Veri kümeleme/toplama durumundakine benzer olarak, saldırgan Sybil ya da DoS saldırılarını, zaman senkronizasyon protokolünü bozmak için kullanabilir. Şu ana kadar, sensör ağlardaki zaman senkronizasyon protokolleri güvenilir bir ortam varsayımı üzerinde çalışmaktadırlar, bu nedenle bu protokoller çeşitli biçimlerdeki gizli saldırılara karşı özellikle daha hassastır.

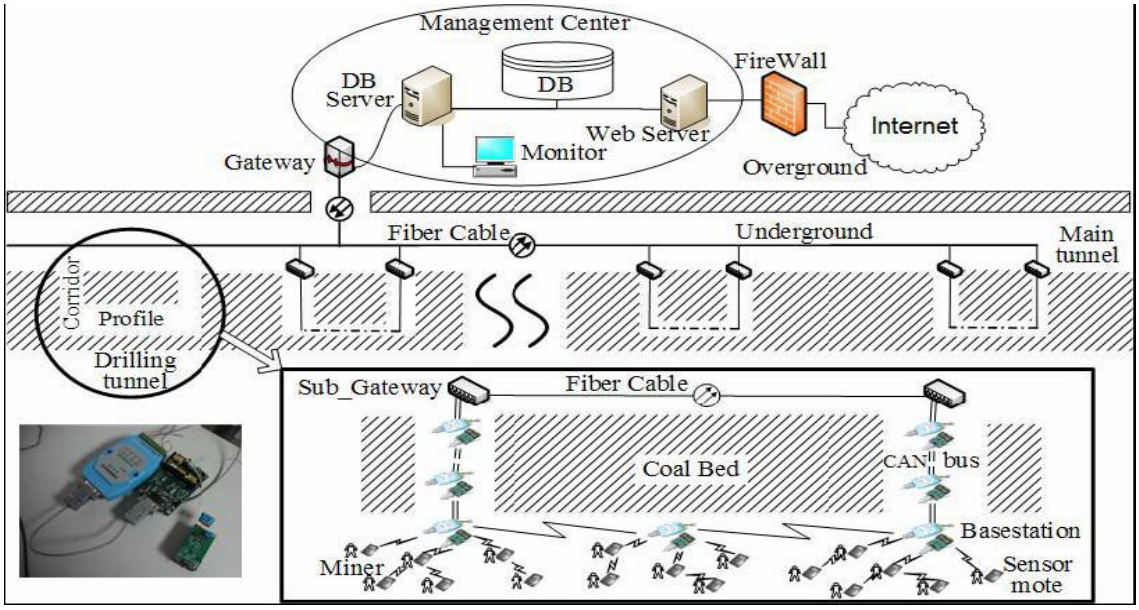
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Fiziksel çevrenin acil durum gereken yerler ve koşullarda kablosuz sensor ağlarla izlenmesi ile ilgili uygulamalardan biri de gaz sızıntılarını izlemektir. Kablosuz algılayıcı ağlar için geliştirilen donanım ve yazılımların ana amacı zehirli ya da patlayıcı gazların değişik sebeplerle ortaya çıkma ihtimali bulunan ortamlarda yaşayan/çalışan insanların sağlıklarını, hatta hayatlarını tehlikeye atmamaktır. O yüzden ısı algılayıcıları, nem algılayıcıları, CO_2 (Karbondioksit) algılayıcıları, CH_4 algılayıcıları, taşınabilir EKG (elektrokardiyograf) algılayıcıları gibi bazı algılayıcılar, bina içi ortam koşulları ve sağlık bakımı için bir RF vericisine takılmıştır (Chunga ve Ohb, 2006). Literatürde hem kablosuz metan gazı izleme ile ilgili hem de farklı algılayıcı devre kartlarının kablosuz modüllere entegresiyle oluşturulan algılayıcı düğümlerle ilgili hâlihazırda çalışmalar vardır. Bölüm 3.1 de bu konu ile ilgili çalışmalardan kısa bir gözden geçirme yapacağız.

Bölüm 3.2 de ise yine son yıllarda KAA'larda enerji farkındalığı sayesinde yaşam süresini, küme başı seçim yöntemleri ile ya da düğümlerin yerleştirilmesine göre uzatmayı hedefleyen ve LEACH'i temel alıp, LEACH'den daha iyi performansa sahip olduğunu gösteren bazı ilgili araştırma çalışmalarından kısa bir gözden geçirme yapacağız. Bu alandaki yeni ufuklar açan çalışma LEACH dir.

3.1. Metan Gazı İzleme Sistemleri

Niu ve ve ark. (2007) HHMSM (heterogeneous hierarchical mine safety monitoring) adında, hiyerarşik heterojen maden ocağının güvenliği için metan gazı konsantrasyonlarını izleyen ve madencinin yerini belirleyen bir sistem geliştirmişlerdir. Sistem, donanım olarak EASINET firmasının geliştirdiği donanım serisini kullanmıştır. Bu seri kablosuz iletişim devre kartı EZ210 ve ağ geçidi (seri arayüz ünitesi) EZ511'den oluşan kablolu baz istasyonu aracılığı ile verileri toplamaktadır. EASINET düğümü; TinyOS işletim sistemi ve analog gaz algılayıcısını (LXK-3) destekleyen bir algılama devre ünitesi EZ310 ile uyumlu olan EZ210'u da içermektedir. Düğüm, 8 MHz'de çalışan 8-bit'lik bir mikro-işlemci ve 433 MHz radyo frekansında yayın yapan 38.4 Kbps'lik bir veri oranını kullanmaktadır.



Şekil 3.1. HHMSM Sistem Mimarisi ve Donanım platformu

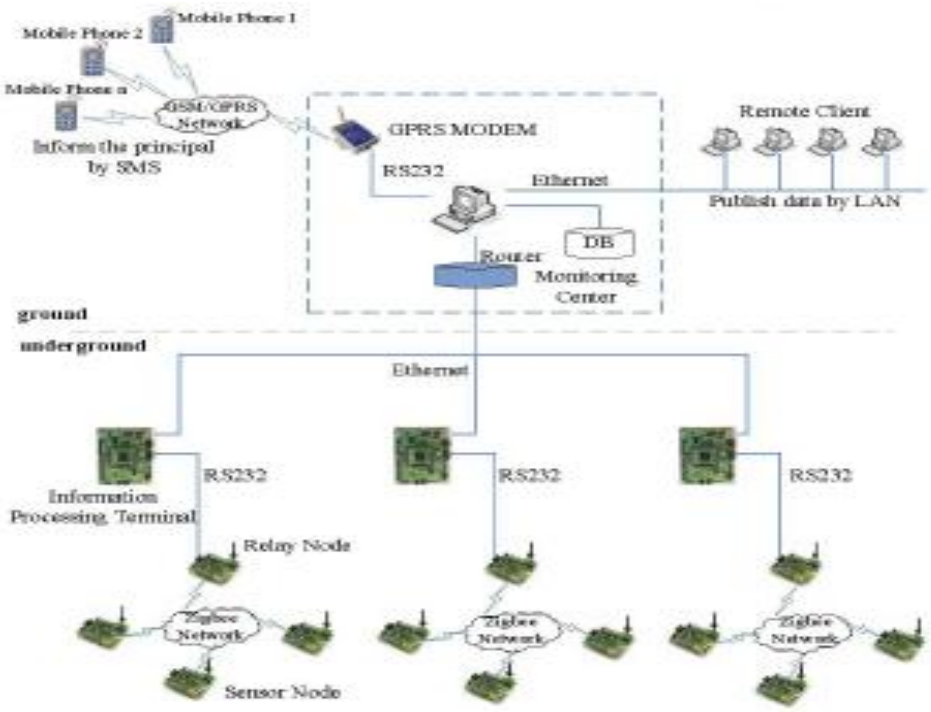
Zhang ve Wang (2008) gerçek zamanlı metan izleme ağı için algılayıcı düğüm olarak NRF240 kablosuz modülünü temel alan şekil 3.2 de görülen, mini akıllı metan algılayıcı ile beraber algılanan metan gaz konsantrasyonlarını izlemek için bir izleme yazılımı geliştirmişlerdir. Oluşturulan ağ metan gazı veri toplaması ile beraber kalibrasyon için de kullanılabilmektedir. İletişim modulü, PCB anten, MCU (Atmega48V)'ya seri port aracılığı ile doğrudan bağlanan NRF2401 veri alıcı-verici terminalinden oluşur.

Şekil 3.2. Mini Akıllı Metan Algılayıcı

Tavares ve ark. (2008) otomobille seyahat esnasında sürücüye farklı tip bilgileri ölçen ve işlem yapan KAA yeteneklerinden bahsetmiştir. Sinyallerin iletilmesi ve işlenmesi için crossbow teknoloji şirketinin MICAz modülü ile üzerinde ışık, ivme ve sıcaklık algılayıcısı bulunan MTS310 algılama devre ünitesini kullanmışlardır. Bu verileri izlemek için özel bir yazılım yerine TINYOS işletim sistemi üzerinde çalışan açık kodlu yazılımları kullanmışlardır.

Fulford-Jones ve ark. (2004) müdahalesiz parmak algılayıcılarından veri toplayıp bunları kablosuz bir şekilde baz istasyonuna ileten parça tabanlı nabız oksimetrisini geliştirmişlerdir. Aralıksız kalp ritimlerinin kablosuz iletilmesine imkân sağlamak amacıyla bir EKG devresinin Mica2 düğümü ile bütünleştirmişlerdir. Böyle bir veri, PDA'lar, masa üstü kişisel bilgisayarlar ya da sağlık bakımı senaryolarındaki kablosuz aletler tarafından alınabilir hale gelmiştir. Bu araştırma da EKG devresini Mica2 platformuyla entegre edilen donanım dizaynı ile beraber elektrokardiyograf veriyi güvenli bir şekilde algılayıp kablosuz olarak bir alıcıya veren yazılımdan oluşmaktadır.

Li-min ve ark. (2008) Zigbee kablosuz algılayıcı ağlara dayalı maden ocaklarının güvenliği için bir izleme sistemi tasarlamışlardır. Bilgi alma ve işleme modülü olarak Samsung firmasının ARM7TDMI yapısına dayalı S3C44BOX mikro denetleyici terminalini, RF alıcı-verici olarak Cipcon dan CC2420 RF alıcı-vericisini kullanmışlardır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. İzleme Sistemi Yapısı

Chen (2008) metan gaz denetleme cihazının bir çeşidini tek çipli mikroişlemci (SCM-Single Chip Microprocessor) ve kablosuz iletişim teknolojisine dayalı bir sistem tasarlamıştır. Sisteminde algılayıcı olarak LXY-3 metan gaz algılayıcısını, verileri analiz etmek ve işlemek için merkezi çekirdek kontrolcüsü olarak SCM MSP430F149 u

ve veri iletişimini denetleme cihaz ekipmanları ile çalışma alanı monitörü arasında gerçekleştirmek için kablosuz alıcı/verici olarak nRF401'ü kullanmıştır. Ana Kontrolcü MAX232 ara yüzü aracılığı ile denetleme cihaz ekipmanlarına bağlanmıştır.

İlgili çalışmalardan anlaşılacağı üzere, araştırmacılar fiziksel çevrenin izlenmesi için farklı firmaların ürettiği elektronik ekipmanların (alıcı verici devreler, algılayıcılar) birbirleri ile uygun şekilde entegresini sağlamışlardır. Gerekli donanım tasarlandıktan sonra, algılayıcı düğümün topladığı verilerin bir merkezden izlenmesi için ya açık kodlu ya da kendi geliştirdikleri yazılımları kullanmışlardır.

Bu tez çalışmasında kablosuz gaz algılayıcı ağlar için tasarlanan bir sistem sunulmaktadır. Sistem daha önce algılayıcı düğüm tasarımında kullanılmayan Figaronun NGM2611 metan gaz algılama ünitesinin, crossbow teknoloji firmasının kablosuz iletişim modülü MICAz ile entegresi ve gerekli izleme yazılımından oluşmaktadır.

3.2. Yönlendirme Protokolleri

Henzelmain ve ark. (2000)'nın önerdiği LEACH protokolü hem hiyerarşik kümeleme protokolleri hem de bazı küçük farklılıkları ile beraber proaktif protokoller için oldukça popüler bir protokoldür (Manjeshwar ve Agrawal, 2002).

LEACH protokolünde zaman aralığı sabit uzunluklu eşit turlara (round) bölünmüştür. Turlar ağı oluşturan algılayıcı düğümlerin kendi içlerinde küme oluşturmaları ve kümenin, küme başı seçerek verilerini belirlenen bir hedefe ulaştırmaları için, belirli aralıklarla tekrar oluşturulma sürecidir. LEACH pek çok tur ile çalışır. Her tur kurulum(set-up) ve çalışma(steady) faz olmak üzere iki faz içerir:

- Kurulum fazı: Kümeler oluşturulurken her bir düğüm mevcut tur için küme başı olup olamayacağına karar verir. Her bir algılayıcı düğüm 0 ile 1 arasında rasgele bir sayı seçer. Eğer bu sayı eşik değeri T(n)'nin altında ise o düğüm o sıra için küme başı olur. Eşik değeri şu şekilde belirlenir:

$$T(n) = \begin{cases} \dfrac{P}{1-P*(r \bmod 1/P)} & \text{eğer } n \in G \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \qquad (2.1)$$

Formüldeki:

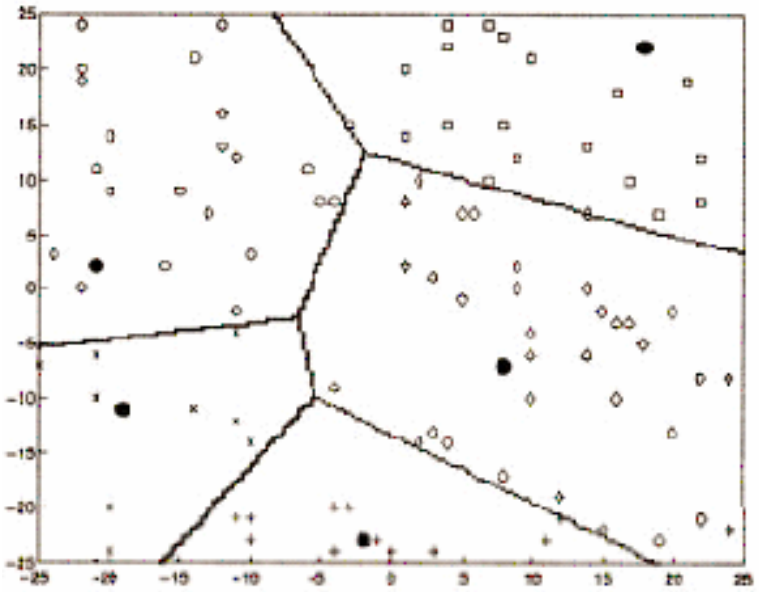
P = küme başı olmak için arzulanan yüzde

r = o anki sıra

G = son 1/P sırada küme başı olmamış düğümler kümesi

Küme başı seçilen düğüm, tüm düğümleri bunu bildiren bir mesaj yollar. Diğer algılayıcı düğümler aldıkları sinyalin gücüne göre bağlı bulunacakları kümeyi seçerler (Şekil 3.4).

- Çalışma Fazı: Her algılayıcı düğümün veri gönderme zamanı vardır. Veri gönderme zamanı geldiğinde tüm algılayıcı düğümlerin gönderilecek bir verisi olduğu varsayılır. Düğümler kendilerine ayrılan iletim zamanı gelinceye kadar veri sezmezler. İletim zamanı geldiğinde algıladığı yeni bir veri yoksa en son sezdiği veriyi gönderir. Bu işlem gereksiz yere enerji tüketimine neden olur. Küme başına düğümlerden veri geldiği zaman veriyi baz istasyonuna gönderir. Belli bir süre sonra bu faz sonlanır ve tekrar kurulum fazına geçilir.



Şekil 3.4. LEACH protokolünde kümeleme

TEEN protokolü ise Manjeshwar ve Agrawal (2002)'ın önerdiği bir protokoldür. Bu protokol LEACH protokolünü temel alıp onu iyileştiren reaktif algılayıcı ağlar için örnek bir protokoldür (Nikoletseas ve ark., 2004).

TEEN' deki temel yapı,

(i) algılayıcı kümelerinin olması ve

(ii) verinin baz istasyonuna gönderilip gönderilmeyeceğine karar vermek için eşik değer kullanmasıdır.

TEEN iletimi azaltmak için başlangıçta LEACH de önerilen düğümlerin küme içinde kendi kendilerini organize etme ilkesini kullanır. LEACH'e ek olarak her küme değişim zamanında küme başı kümedeki düğümlere iki eşik değerini bildirir.

Katı eşik değeri: Sezilen değer için eşik değerdir. Düğümün sezilen değeri küme başına iletmesi için sezilen değerin bu eşik değerinin üzerinde olması gerekir.

Esnek Eşik Değeri: En son sezilen değerde bu eşik değeri kadar bir değişim olursa sezilen değer küme başına iletilir.

Algılayıcı düğümler sürekli olarak çevrelerini sezerler. Eşik değer sezildiğinde düğümün bir iç değişkeninde saklanır. Daha sonraki gönderimlerde ise sezilmiş değerin esnek eşik değeri kadar değişip değişmediği kontrol edilir.

Manjeshwar ve Agrawal (2002)'ın geliştirdiği APTEEN algoritması TEEN algoritmasını temel alır. TEEN algoritmasındaki eşik değerlerine ek olarak her küme değişim zamanında küme başı kümedeki düğümlere aşağıdaki parametreleri bildirir:

(i) Nitelikler: Hangi fiziksel parametreleri sezmesi gerektiği.

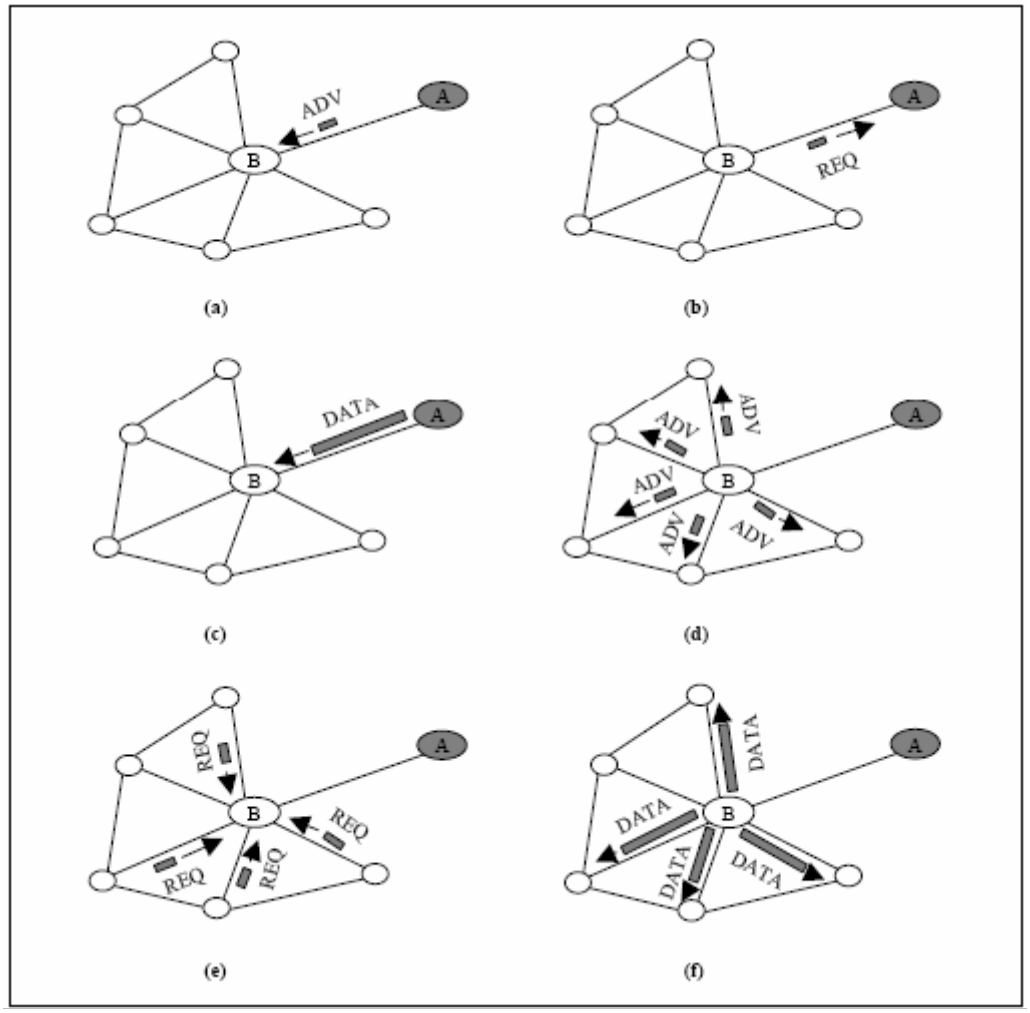
(ii) Çizelge: TDMA çizelgesidir. Her bir düğüme bir zaman aralığı verilir.

(iii) Sayma zamanı: Düğümün iki başarılı iletim zamanı arasındaki maksimum süredir.

Algoritmada TEEN algoritmasındaki gibi eşik değerlerine göre algılayıcı düğümler küme başına sezdiği veri değerini gönderir. Aynı zamanda düğüm sayma zamanı boyunca eşik değerlerine uygun veri sezilmemişse en son sezilen veri küme başına gönderilir.

Kulik ve ark. (2002) SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation) adı verilen adaptif protokol ailesini önermişlerdir. Bu protokoller, her bir noktadaki bilgiyi ağ üzerindeki bütün algılayıcı düğümlere (sanki her bir nokta baz istasyonuymuş gibi) yayarlar. Bu durum kullanıcının herhangi bir noktayı sorgulama yapmasına ve gereken bilginin hemen alınmasına izin verir. Bu protokoller, birbirine yakın noktaların benzer veri içermesini sağlar. SPIN protokol ailesi veri görüşmelerini (data negotiation) kullanır. Ayrıca SPIN, algılayıcı düğümlerin kalan enerji seviyesine göre hareket etmektedir. Bu protokoller zaman-bazlı (time-driven) olarak çalışırlar ve kullanıcının isteğine bağlı olmaksızın bilgiyi ağ üzerine yayarlar.

SPIN yönlendirme protokolünde, düğümler veri iletiminden önce kaynaklarını ayarlarlar. Her algılayıcı düğüm kaynak yöneticisine sahiptir ve kaynağını aktivitesine göre yönetir. Kullanılabilir enerjisine göre hesaplama ve iletim gerçekleştirir. Eğer yeteri kadar enerjisi yoksa iletime katılmaz.



Şekil 3.5. SPIN Yönlendirme Protokolünün Çalışma Prensibi

Şekil 3.5'de SPIN yönlendirme protokolünün mantığı anlatılmıştır. Öncelikle düğüm yeni bir veriye sahip olunca komşu düğümüne veri hakkındaki bilgiyi içeren meta-datayı bir ADV mesajı olarak gönderir. Eğer komşu düğüm veri ile ilgilenirse veri gönderen düğüme REQ istek mesajını iletir. İstek mesajını alan düğüm gerçek veriyi DATA mesajı ile tekrar gönderir. Bu işlem veri elde eden her düğüm için tekrarlanır.

Eğer bir düğüm yeni veri elde ederse ya da bir ADV mesajı alırsa, yeterli enerjiye sahip değilse protokole katılmayarak iletim yapmaz.

Kandris ve ark. (2009) hem verimli enerji yönlendirme stratejisi hem de enerji verimli yol seçme planı kullanarak enerji korumayı başaran SHPER (Scaling

Hierarchical Power Efficient Routing) isimli hiyerarşik reaktif yönlendirme protokolü önermişlerdir. Bu protokolün temel özelliği küme başı seçiminin rasgele yapılmamasıdır. Küme başı olacak algılayıcı düğüm, kümeyi oluşturan düğümlerin enerji seviyelerine bakılarak belirlenir. Enerjisi maksimum olan düğüm küme başı olarak seçilir. Ayrıca yol seçim politikası belirlenirken hem düğümlerin kalan enerji seviyeleri hem de mümkün olan tüm yollar için enerji tüketimi dikkate alınarak belirlenir.

Liu ve ark. (2009)'ı kablosuz algılayıcı ağlarda veri toplamak için EAP (Energy-Aware Protocol) adını verdikleri dağıtık ve verimli enerji referanslı bir protokol önermişlerdir. Bu protokolde bir düğümün içinde bulunduğu kümede tüm komşularının kalan enerjilerinin ortalaması hesaplanır. Küme başı olacak düğümün enerjisi hesaplanan komşu düğüm enerjilerinin ortalamasından fazla ise küme başı seçilme olasılığının da fazla olacağını söylemişlerdir. Enerji tasarruflu iletişim için algılayıcı düğümler, kümeler olarak gruplandırılır ve küme başları arasında ağaç yönlendirmesi inşa edilir. Bunlara ilaveten küme içindeki algılayıcı düğümlerin çalışma sayılarını azaltarak ağın yaşam süresini uzatmak için kapsama alanı fikri ile tanıştırmışlardır.

Dilip ve ark. (2009) EEHC (energy efficient heterogeneous clustered scheme) olarak adlandırdıkları verimli enerjili heterojen kümelenmiş bir plan sunmuşlardır. Bu plana göre küme başı seçimi her bir algılayıcı düğümün kalan enerjisine göre ağırlıklı seçim olasılığı dikkate alınarak belirlenmiştir.

Hu ve ark. (2009) EEHC ye benzer şekilde EECH isimli ve daha fazla enerjili düğümün daha az enerjili düğüme göre küme başı seçilme olasılığının daha yüksek olduğu bir algoritma önermişlerdir. Ayrıca küme başları baz istasyonu ile iletişime geçtiklerinde çok hoplamalı bir yol takip eder.

DaeHwan ve ark. (2006) aynı zamanda her yerde olan algılayıcı ağlar (Ubiquitous Sensor Networks) için dağıtık bir kümeleme algoritması önermişlerdir. Kümelemenin tek atlama ile olması durumunda, düğümler arasındaki enerji tüketimindeki farklılığın nedenini analiz etmişlerdir. Düğümler arasındaki enerji tüketimini dengelemek ve veri dağıtımının miktarını arttırabilmek için, düğümlerin geriye kalan enerjisini, kümenin içindeki düğümlerin arasındaki uzaklığı ve küme lideri seçim kriteri olarak da bir küme içinde yer alan düğümlerin sayısını göz önüne almışlardır. Yazarların algoritmasının ilk evresi kalan enerjisine göre küme lideri adaylarını seçer ve küme içinde en az uzaklık değerine sahip olan küme liderini tekrar

seçer. Algoritmanın birleşme evresinde alt sınırın altında üye içeren kümeler birleştirilir. Bölme evresinde üst sınırın üstünde üye içeren kümeler bölünür.

Kim ve ark. (2007) LEACH deki enerji verimliliğini artırmak için enerji seviyesi en fazla olan düğümü küme başı seçmek ve algılama yapılan ortamdaki veri belirli bir değerin altında ise düğümlerin uyku modunda olması gibi bazı teknikler içeren bir protokol önermiştir.

Rahman ve ark. (2007) küme oluşturma ve küme başı seçimi için algılayıcı ağların hiyerarşik bir mimarisini önermiştir. Bu mimaride algılayıcı düğümün yoğunluğuyla ilişkili birçok parametre ölçüsü kullanılmıştır. Önerdikleri ağ modelinde, kenar veya bağlantı uzunluğunun standart sapması ile algılayıcı düğümlerin yoğunluk değişimleri gözlemlenmiş, her düğümü komşularıyla bağlamak için kablosuz bağlantılar kullanılmış ve küme içindeki uzaklık ortalama bağlantı uzunluğuyla bulunmuştur. Önerilen algoritma küme içi bağlantıyı ve kümeler arasındaki bağlantıyı tanımlar. Kümeler arasındaki bağlantı ağın devamsızlığındaki tanımlamayı yapmak amacıyla kullanılır. Yazarlar önerdikleri mimarilerinde, kümeler arasındaki bağlantının kümeler içindeki bağlantıdan daha geniş olduğunu varsaymışlardır.

He ve ark., (2003) de SPEED adında bir protokol önermişlerdir. SPEED, gerçek zamanlı noktadan noktaya iletimi garanti eden bir yönlendirme protokolüdür. İletimi garanti etmesi servis kalitesi tabanlı KAA yönlendirme protokolü olmasını sağlamaktadır. SPEED yönlendirme protokolünde her düğüm, komşu düğümlerinin bilgilerini içerir. İletim yollarını bulabilmek için coğrafi yönlendirmeyi kullanır. Ek olarak, SPEED ağın içindeki her paket için kesin bir hız sağlamak için çalışır ki bunu her uygulamadaki noktadan noktaya gecikmeyi, iletimi kabul etmeden önceki paket hızı ile Baz istasyonu'na olan uzaklığa bölerek tahmin edebilir. Ayrıca SPEED yönlendirme protokolü, ağ tıkandığı zaman tıkanıklığı önlemeyi sağlayabilir.

Shah ve ark., (2002)'de EAR (Energy Awaring Routing) isimli enerji duyarlı ve veri merkezli bir yönlendirme protokolü geliştirmişlerdir. Bu protokolün de diğer protokollerde olduğu gibi asıl amacı ağın ömrünü uzatmaktır. Tek bir yol kullanmak yerine bir grup yol kullanması ile güdümlü yayılım algoritmasından farklılık gösterir. Bu yollar kesin bir olasılık olarak seçilir ve oluşturulur. Bu olasılığın değeri her yolun enerji tüketiminin ne kadar düşük olabileceğine bağlıdır. Farklı zamanlarda seçilen birden fazla yola sahip olunduğundan herhangi bir yolun enerjisi çabucak tükenmeyecektir. Enerji bütün düğümler arasında daha eşit paylaşıldığından daha uzun bir ağ ömrü sağlanır. Ağ sürekliliği bu protokolün temel ölçüsüdür. EAR yönlendirme

protokolü, her düğümün yer ve tip bilgilerini de içeren sınıf bazlı bir adresleme sistemini kullanır. Protokol, yönlendirme tablosundaki kaynak ile hedef düğüm arasındaki mesafeyi hesaplayan yönlendirmeleri kullan konum tabanlı taşmaya doğru bir bağlantı başlatır. Uzak mesafeli bağlantılar çöp olarak ayrılır ve yönlendirme tablosu komşu düğümlerin uygun olan mesafeleri ile yapılandırılır. Sonra, hedefe gönderilecek veri, düğüme en uygun maliyetin tersi ihtimali ile yönlendirme tablosu yardımı ile gönderilir. Konum tabanlı taşma, hedef düğümün yolları açık tutması ile gerçekleşir. GY ile karşılaştırıldığında bu protokol genel olarak enerji tasarrufunda %21,5, ağ ömründeyse %44'lük bir artış sağlamaktadır. Fakat bu yenilik yer bilgilerinin toplanmasını ve düğümler için bir adresleme mekanizması geliştirilmesini gerektirmektedir. Bu da GY ile karşılaştırıldığında iletişim ön hazırlıklarının daha karmaşık olduğunu gösterir (Harmankaya 2007).

Sajid ve ark. (2007) LEACH in bir uzantısı olarak hiyerarşik küme tabanlı yönlendirmeyi (HCR- Hierarchical Clustering Routing) açıklar. HCR protokolünde, her bir küme, daha uzun bir zaman aralığı için, kalan verimli enerjili kümeler ve bir grup düğüm ile beraber yönetilir. HCR nin bir farkı da, küme oluşumlarına baz istasyonunun karar vermesidir. Enerji verimli hiyerarşik kümeler üretmek için genetik algoritma (GA) kullanılır. Baz istasyonu GA tabanlı kümelerin yapılandırmasını yayınlar. Bu yayın algılayıcı düğümler tarafından alınır ve ağ bu duruma göre ayarlanır.

Younis ve ark. (2004), hibrit enerji ve iletişim maliyetini düşünerek bir dağıtık kümeleme yaklaşımı önermişlerdir. HEED adını verdikleri (Hibrit Enerji Etkili Dağıtık Kümeleme - Hybrid Energy Efficient Distributed Clustering) bir protokol sunmuşlardır. Bu yaklaşımlarında, yazarlar enerji tüketimini dağıtarak ağ ömrünü uzatmayı amaçlamışlardır. Ayrıca sabit tekrar sayısı içinde kümeleme işlemini sonlandırmayı hedeflemiş, algoritmaların kontrol aşımını en aza indirerek düzgün dağıtılmış küme liderleri ve küçük boyutlu kümeler üretmişlerdir. HEED, enerji tüketiminin düğümler arasında düzenli olmadığını ve bütün düğümlerin eşit önemliliğe sahip olduğunu varsayar. Algoritma düğümlerin yoğunluğu ve düğüm kabiliyetleri hakkında bir varsayımda bulunmaz.

Ye ve ark. (2006) periyodik veri toplama uygulamalarına daha uyumlu olan tek atlamalı kablosuz algılayıcı ağlar için enerji verimli bir kümeleme yaklaşımı önermişlerdir. Yaklaşımlarında, kalan enerjileri daha fazla olan küme başı seçilir. Böyle bir yaklaşım, düzgün küme başı dağıtımıyla sonuçlanır ve ayrıca küme başları arasındaki yükü dengelemek amacıyla yeni bir uzaklık metodu tanıtır. LEACH'den

farklı olarak, küme başı yerel yarışma sonucunda seçilir ve tekrarının olmama özelliği bu protokolü HEED'den farklı kılar. Küme başları yarışma alanının en uygun değerinin üretimiyle düzgün bir şekilde dağılır. Küme oluşumu zamanında, düğümler kendi küme içi iletişim maliyetini ve küme başlarının baz istasyonuna olan maliyetlerini düşünerek kümelere katılırlar. Ye ve ark.(2006)'ın önerdikleri algoritma kendi kendini idare edebilir ve daha enerji verimlidir. Simülasyon sonuçları LEACH ve HEED gibi diğer kümeleme protokollerine göre ağ ömrünü daha fazla artırdığını göstermiştir.

Jing ve ark. (2008) LEACH'i temel alan algoritmalarında, küme başlarını baz istasyonu ile doğrudan iletişime geçirmeyerek, toplanan veriyi alınan sinyalin gücüne göre en yakın düğüme transfer etmişlerdir. Seçilen en yakın algılayıcı düğüm veriyi sıkıştırıp baz istasyonuna iletmiştir. Bu durumun küme başı ile baz istasyonu arasındaki iletim mesafesini kısalttığını ve enerji tüketiminin azaldığını açıklamışlardır.

Kim ve ark. (2008) CHEF (cluster head election mechanism using fuzzy logic) isimli algoritmalarında LEACH in eksikliklerini gidermek için küme başı seçiminde bulanık mantık metodunu kullanmışlardır. Homojen ağ sistemlerinde bulanık değişkenler kullanmak suretiyle ağın yaşam süresini uzatabilmek için çalışmışlardır. Bunlardan başka hem daha önceki zamanlarda Younis ve Fahmy (2004), Lindsey ve ark. (2002)'nın geliştirdikleri, hem de yakın zamanlarda Kaihua ve ark. (2008), Haiyan ve ark. (2008), Fan veYu (2007)'nun geliştirdikleri gibi birçok hiyerarşik yönlendirme algoritmaları önerilmiştir. Benzer şekilde KAA da enerji tasarrufu için birçok alternatif yaklaşımlar önerilmiştir.

4. METAN GAZI İZLEME SİSTEMİ

Bu bölüm doğal gaz kullanan kapalı alanlarda her hangi bir nedenle açığa çıkan CH_4 (metan) gazı konsantrasyonlarını gerçek zamanlı izlemek için dizayn edilen sistemin detaylarını içermektedir (Tümer ve Gündüz, 2011). Kapalı alanlarda CH_4 gazı konsantrasyonlarını gerçek zamanlı izlemek için tasarlanan sistem donanım ve yazılım olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Aşağıdaki bölümlerde sistemi oluşturan donanım ve yazılım ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

4.1. Donanım

Bir algılayıcı düğüm prototipinin tasarım gereksinimlerini karşılamak için; kablosuz iletişim modülü, algılama devre ünitesi ve pil ile birlikte bu 3 ekipmanın birbirileri ile uygun biçimde entegresine ihtiyaç vardır. Ayrıca algılayıcı düğümlerin topladığı verilerin bir merkezde izlenmesi için baz istasyonu olarak kullanılan ve seri port aracılığı ile bilgisayara iletilmesini sağlayan ağ geçidi de (gateway) kullanılmalıdır. Algılayıcı düğümü oluşturan donanım kısmı için, kablosuz iletişim modülü olarak Crossbow teknoloji şirketinin MICAz platformu kullanılmıştır. Algılama devre ünitesinde ise Figaro firmasının NGM2611 ön kalibreli algılayıcısı kullanılmıştır. Ayrıca algılayıcı düğümü oluşturan bu 2 ekipmanın (kablosuz iletişim modülü ve algılama devre ünitesi) uyumlu çalışabilmesi için gerekli entegrasyon sağlanmıştır. Seri arayüz ünitesi (Ağ geçidi) ise, ismi MIB510 olan Crossbow'a ait bir platformdur.

Tasarlanan algılayıcı düğümde kullanılan ekipmanlar ve kullanım nedenleri aşağıda açıklanmıştır.

4.1.1. Kablosuz iletişim modülü

Kablosuz gaz algılayıcı ağ için kablosuz iletişim modülü olarak UC Berkeley tarafından geliştirilen ve Crossbow Teknoloji şirketinin üretip pazarladığı MICAz modülü seçilmiştir. MICAz haberleşme alıcı/verici modülü olarak, IEEE 802.15.4 standardını destekleyen CC2420 entegresi kullanılmıştır. IEEE 802.15.4 standardı, kontrol ve çevresel koşulları izleme uygulamaları için düşük güç tüketimli ve düşük kapsama alanına sahip radyo alıcı/vericileri için belirlenmiş bir standarttır. Sayısal

doğrudan dizilerle yayılı spektrum çoğullaması kullanarak, 16 kanalda toplam 250kb/s veri hızına ulaşılabilir (Ertürk, 2005).

Ayrıca küçük kapasiteli yerel depolama (4 KB EEPROM, 128 KB program belleği) içerir. 2,7 VDC-3,3 VDC güç üretebilen harici güç kaynakları ya da 2 adet pil ile çalışabilmektedir. 250 kbps lık yüksek bir veri transfer hızına sahiptir. Ayrıca modülün yönlendirme özelliği de vardır.

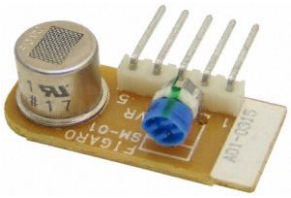
Üzerindeki digikey parça numarası H2175-ND olan 51 pinli genişleme konektörü sayesinde farklı algılama özellikleri olan algılama devre ünitelerinin kolayca MICAz ile bağlantısına imkân verir. Bina içi radyo yayın mesafesi 20–30 metre iken açık alanda bu mesafe 75–100 metreye çıkabilmektedir. Pil hariç ağırlığının 18 gram olması kolayca taşınabilmesine imkân verir (Şekil 4.1).

MICAz üzerinde çalışan sistem TINYOS adı verilen açık kaynak kodlu, olay güdümlü özelleştirilmiş bir işletim sistemidir. TINYOS için uygulamalar C programlama dili uzantısı olan NesC ile yazılabilir. TINYOS işletim sistemi ve NesC dili özellikle sınırlı kaynağa sahip mikroişlemciler için tasarlanmıştır. Won ve ark. (2008)'na göre; bunlar algılayıcı düğümlerin veri edinmesi, radyo yayını ve veri işleme gibi olaylar için verimli işlemeyi başarabilir.

Şekil 4.1. MICAz Kablosuz İletişim Modülü

4.1.2. Algılayıcı

MICAz modüle entegre etmek için tasarlanan algılama devre ünitesinde algılayıcı olarak Figoro Firmasının NGM2611 kodlu ön kalibreli metan gazı algılayıcısı kullanılmıştır (Şekil 4.2). Bu algılayıcı özellikle ikamet edilen yerlerde kullanılır ve düşük güç tüketimli, uzun ömürlü, metan gazı için yüksek hassasiyete sahiptir. 56 mA lik bir ısıtıcı akımına ihtiyaç duyar ve 5 VDC gerilim ile çalışır.



Şekil 4.2. NGM2611 ön Kalibreli algılayıcı

Bu algılayıcının seçilmesinin 3 nedeni vardır:

(i) Kalibre edilmiş olmasıdır. Çünkü kalibrasyon karmaşık ve uzun bir süreçtir. Kalibrasyon donanımları önemli yatırımlar gerektirir.

(ii) 5 VDC gerilimle çalışmasıdır. Algılayıcıların çalışma gerilimleri genellikle 5 V tan yüksek olduğu için, harici güç kaynaklarına ihtiyaç vardır. Bu durum kablosuz algılayıcı ağlar için uygun değildir. Bunun için kablosuz iletişim modülünün çalıştırıldığı 2 AA pilden MAX1595 şarj-pompa regülatörü sayesinde 5 VDC luk bir çıkış gerilimi elde edilmiştir. Böylece tek bir güç kaynağı ile hem kablosuz iletişim modülü hem de algılama devre ünitesinin birlikte çalışması sağlanmıştır.

(iii) NGM2611 gaz algılayıcı 0-5 V arasında çıkış vermektedir. Algılayıcı çıkış gerilimini ön-kalibre imkânı sayesinde potansiyometre değeri 1,33 kΩ a getirilerek kablosuz iletişim modülün algılayıcı devre ünitesinden verileri aldığı 8 bit ve 3 V luk girişine uygun hale getirilebilmiştir. Bunun için 1000-10000 ppm (Part per million) lik gaz konsantrasyonlarını ölçebilmek için gerekli çıkış voltajları çizelge 4.1 deki gibidir.

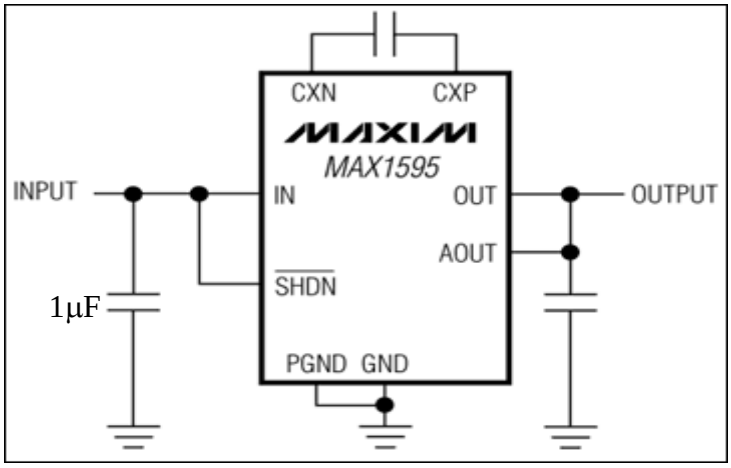
Çizelge 4.1. Metan gaz algılama ünitesinin çıkış voltaj karşılıkları

voltaj	Ppm
1,00 V	**1.000 ppm**
1,40 V	**2.000 ppm**
1,80 V	**3.000 ppm**
2,00 V	**4.000 ppm**
2,25 V	**5.000 ppm**
2,40 V	**6.000 ppm**
2,60 V	**7.000 ppm**
2,80 V	**8.000 ppm**
2,90 V	**9.000 ppm**
3,00 V	**10.000 ppm**

4.1.3. MAX1595 şarj-pompa regülatörü

MAX1595 şarj-pompa regülatörü 1,8 ile 5,5 VDC girişlerinden 3,3 ile 5 VDC üreten elektronik bir elemandır. Giriş voltajlarından yararlanarak çıkış voltajlarını düzenlemek için kullanılır. 1 μF lık kondansatör bağlantısı ile 125 mA çıkış akımı elde edilebilir (Şekil 4.3). Tasarlanan algılayıcı düğüm de kullanılan kablosuz iletişim modülü 2 AA pilin ürettiği 3 VDC ile çalışabilirken, algılama devre ünitesinde kullanılan NGM2611 CH_4 algılayıcısı ancak 5 VDC ile kararlı çalışabilmektedir.

Algılama devre ünitesini harici güç kaynakları ile beslemek işlevsel olmayacağından kablosuz iletişim modülü MICAz nin beslenmesi için gerekli 2 AA pilin ürettiği 3 VDC gerilimi MAX1595 şarj-pompa regülatürü ile 5 VDC a kolayca çıkarılmıştır. Böylece 2 AA pil ile algılayıcı düğümü oluşturan hem kablosuz iletişim modülü hem de algılama devre ünitesinin beslenmesi sağlanmıştır. Ayrıca MAX1595 şarj-pompa regülatör girişine uygulanan pil gerilimi, MICAz modülünün çalışabilmesi için gerekli minimum 2,5 VDC ta düşünceye kadar, algılama devre ünitesi kararlı bir şekilde çalışmasına devam edebilecektir.

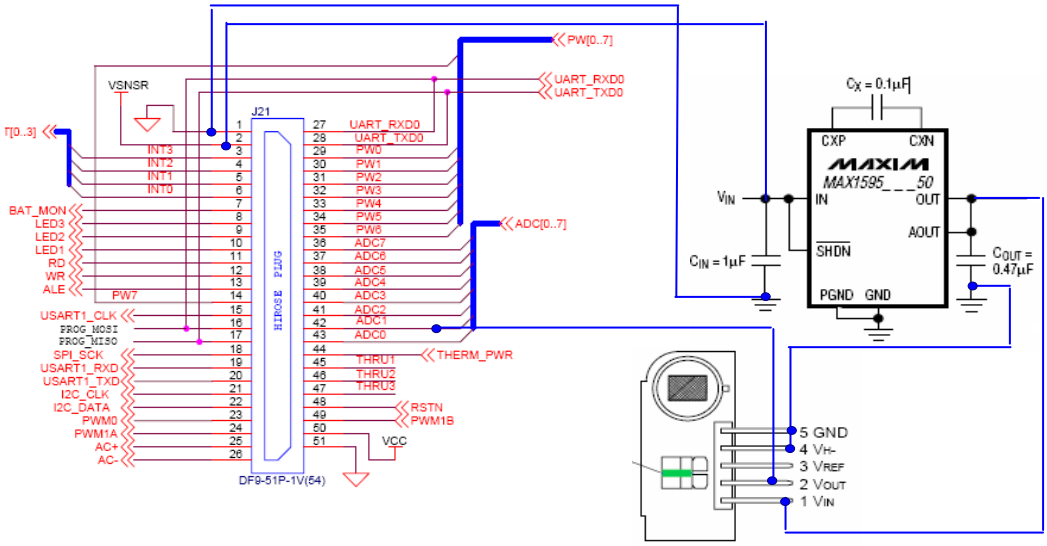


Şekil 4.3. Max1595 Şarj-Pompa Regülatörü

4.1.4. Tasarım ve gerçekleştirme

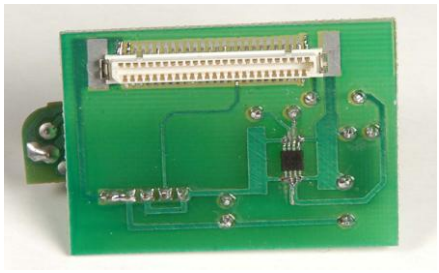
Kablosuz iletişim modülü MICAz, ön kalibreli NGM2611 metan gaz algılayıcı ve MAX1595 şarj-pompa regülatör data sheetleri yardımı ile MICAz üzerine eklenecek olan ve algılama devre ünitesinde kullanılan, Şekil 4.4 deki digikey parça numarası H2163-ND olan 51 pinli genişleme konektörüne uygun bağlantılar gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.5).

Şekil 4.4. 51 pinli genişleme konnektörü



Şekil 4.5. Algılama Devre Ünite Şeması

Şekil 4.6'da tasarlanan metan gazı algılama devre ünitesi görülmektedir. Bu algılama devre ünitesinde bulunan ön kalibreli NGM2611 metan gaz algılayıcı 5 VDC gerilimle beslenmesi gerektiğinden, MICAz kablosuz iletişim modülünün çalışmasını sağlayan 2 AA pilin ürettiği gerilimi 5 VDC'ye çıkarmak için MAX1595 şarj-pompa regülatörü kullanılmıştır.



Şekil 4.6. CH_4 Algılama Devre Ünitesi

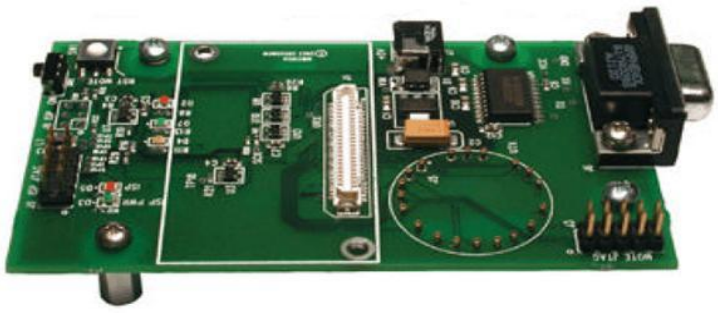
MAX1595 1,8-3,3 VDC gerilimi 5 VDC gerilime çıkarabildiği için tercih edilmiştir. Bu tercih, tasarlanan algılama devre ünitesinin harici olarak beslenmesini gerektirmediğinden daha fonksiyonel olarak kullanılmasını ve rahatça taşınabilmesini sağlamıştır (Şekil 4.7).

Şekil 4.7. Algılayıcı düğüm (MICAz ve CH_4 Algılama devre ünitesi)

NGM2611 metan gaz algılayıcının algıladığı 0-3 V gerilim aralığındaki 1000-10000 ppm (Çizelge 4.1) metan gaz konsantrasyonları 51 pinli genişleme konektörü aracılığı ile MICAz kablosuz iletişim modülüne iletilerek orada işlenmesi ve baz istasyonuna gönderilmesi sağlanmıştır.

4.1.5. MIB510 programlama ve seri arayüz ünitesi – baz istasyonu

MIB510 seri arayüz ünitesi, üzerine kablosuz iletişim modülü takılarak, hem kablosuz iletişim modüllerinin programlanmasını hem de baz istasyonu olarak kullanılmasını sağlar. Kablosuz algılayıcı ağın topladığı veriler, üzerine bir kablosuz iletişim modülünün takıldığı MIB510 seri arayüz ünitesine iletilir. MIB510 bilgisayarın seri portuna takılarak, kendisine gelen verileri bilgisayara ileterek, gelen verilerin bir yazılım arayüzü sayesinde izlenmesine imkân verir. Böylece ağ ile bilgisayar arasındaki haberleşme sağlanmış olur. MIB510 seri ara yüz ünitesine, üzerindeki 51 pinli hem erkek hem dişi genişleme konektörü sayesinde kablosuz iletişim modülü ile birlikte algılama devre ünitesi de takılarak, ortamdaki ilgili verilerin de toplanmasını sağlar (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. MIB510 Arayüz Ünitesi

4.2. Yazılım

Bu bölümde veri edinmek (data acquisition) ve veri toplamak (data collection) için geliştirilen yazılımlardan bahsedilecektir.

4.2.1. Veri edinme:

Algılayıcı düğümler ortamdaki algılanması istenen verileri (ısı, ışık, nem, gaz) periyodik olarak algılar ve algıladığı verileri baz istasyonuna gönderir. MICAz üzerindeki metan gaz algılayıcı devre ünitesinin algıladığı gaz verilerinin sayılaştırılması, RF anten üzerinden bir baz istasyonuna iletilebilmesi için uygun yazılım geliştirilmesi ve on-board mikroişlemci üzerine yazılması gerekmektedir. Bu iş için uygulamalar masaüstünde NesC programlama dili kullanılarak herhangi bir editör aracılığı ile yazılır, bir derleyicinin ürettiği makine kodları her kablosuz iletişim modülüne ağ geçidi aracılığı ile transfer edilir. Algılayıcı düğüm açıldığında program otomatik olarak çalışır.

Veri edinmede kablosuz iletişim modülü için, Crossbow tarafından geliştirilen ve çok hoplamalı tasarsız ağların yönlendirme protokolü olarak kullanılan açık kodlu Surge_Reliable isimli uygulama yazılımı tercih edilmiştir.

Bu uygulamanın kablosuz iletişim modülü içine yerleştirilmesi için aşağıdaki yöntem izlenmiştir.

1. TinyOS işletim sisteminin 1.1 sürümü bilgisayara kurulmuştur. Bu kurulum aşağıdaki bileşenlerin de kurulmasını sağlamıştır:

TinyOS Tools
NesC
Cygwin
Support Tools
Java 1.4 JDK & Java COMM 2.0
Graphviz
AVR Tools

1. Crossbow'a ait açık kodlu TinyOS aygıt yazılımları ve diğer kod modülleri TinyOS işletim sistemi içine kopyalanmıştır.
2. Kablosuz iletişim modülü MICAz modülü pilleri çıkarılarak, bilgisayarın seri portuna bağlı MIB510 seri arayüz ünitesine takılır.

3. TinyOS ile birlikte kurulan CygWin isimli Unix/Linux simulatörü açılır.
4. Surge_reliable uygulamasının olduğu dizine aşağıdaki satır ile geçilir:

```
cd /opt/tinyos-1.x/contrib/xbow/apps/Surge_Reliable
```

5. Uygulama MICAz için

```
make micaz
```

ifadesi ile MICAz için kullanılacağı bildirlir.

6. **`make micaz reinstall, 0, MIB510, com1`** ifadesi ile uygulama MICAz içine indirilir. Bu işlem kablosuz ağı oluşturan tüm algılayıcı düğümler için, sadece düğüm kimliği (ID) değiştirilerek teker teker yapılır. İfadede ki 0 düğüm kimliğini, com1 MIB510 ağ geçidinin bağlandığı seri portun ismini gösterir.

Bu işlemler sayesinde artık algılayıcı düğümler çalıştırılır çalıştırılmaz algıladıkları verileri baz istasyonuna (üzerinde MICAz bulunan ve bilgisayarın seri portuna bağlı MIB510 ağ geçidi) göndermeye başlar. Bilgisayara gelen bu veriler geliştirilen yazılım ile izlenmiştir.

4.2.2. Veri toplama ve izleme

Yazılım, bilgisayarın seri portuna bağlı baz istasyonundan geçirilen verileri kontrol etmek ve izlemek için Delphi7 de yazılmıştır. Her bir verinin hangi düğümden geldiği incelenir ve düğümün algıladığı ham sayısal değer fiziksel değere dönüştürülür. Böylece ekranda hangi düğümün ne kadar metan gaz konsantrasyonu algıladığı ppm cinsinden gerçek zamanlı olarak izlenir. Ham sayısal verilerin ppm olarak değerleri çizelge 4.2 de gösterilmiştir.

Yazılım geliştirilmeden önce kablosuz iletişim modülü içindeki Surge_Reliable isimli uygulamanın detayları ve seri porta gönderdiği paket yapısı incelenmiştir. Algılayıcı düğümlerin algıladıkları ve gönderdikleri paket yapıları kullanılan uygulamalara (Surge_reliable vb.) ve platformlara (Mica2, MICAz vb) göre değişiklik arz etmektedir. Kablosuz Algılayıcı ağlardaki paketlerin anlamlı bir şekilde kullanılmasını içeren bu işlem *Mesaj Dönüşüm Servisi* (Message Transfer Service for Wireless Sensor Netwotk- MTS-WSN) olarak adlandırılır. Kablosuz algılayıcı ağlar için

mesaj Dönüşüm Servisinin (KAA-MDS) amacı algılayıcı düğümlerin verilerini tutarlı bir formatta raporlama birimlerinin işlemesini sağlamaktır (Carter ve Ragade 2006).

Algılayıcı düğümler verilerini, bilgisayarın seri portuna bağlı baz istasyonuna gönderdikleri esnada seri port dinlendiğinde aşağıdaki işlenmemiş paket elde edilmiştir:

7E 42 7D 5E 00 11 7D 5D 16 00 00 **02** 00 0F 00 00 00 00 00 00 00 0B **00 00 DB E1 87** FF FF 00 C9 10 84 **7E**

Deneylerimiz neticesinde paket çerçevesinin

7E : başlangıç ve bitiş baytı

02 : 12. bayt düğüm ID si

00 00 DB E1 **:** 23-26. bayt pil gerilimi

87 : 27. bayt CH_4 gaz verisi

olduğu anlaşılmıştır.

Pil gerilimi, Crossbow referans kitabından yararlanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$V_{pil} = V_{ref}$ x ADC_FS / ADC_{Count}

Formüldeki :

V_{pil} = *Pil gerilimi*

ADC_FS = 1024

Vref = dahili gerilim referansı = 1.223 volt

ADC_Count = İşlenmemiş veri paketinden alınan değer.

27. bayt daki CH_4 gaz verisinin dönüşümü de çizelge 4.2 de verilmiştir.

Yukarıdaki değer ve hesaplamalardan yaralanarak yazılan uygulama,

(i) gerçek zamanlı CH_4 gazının izlenmesine

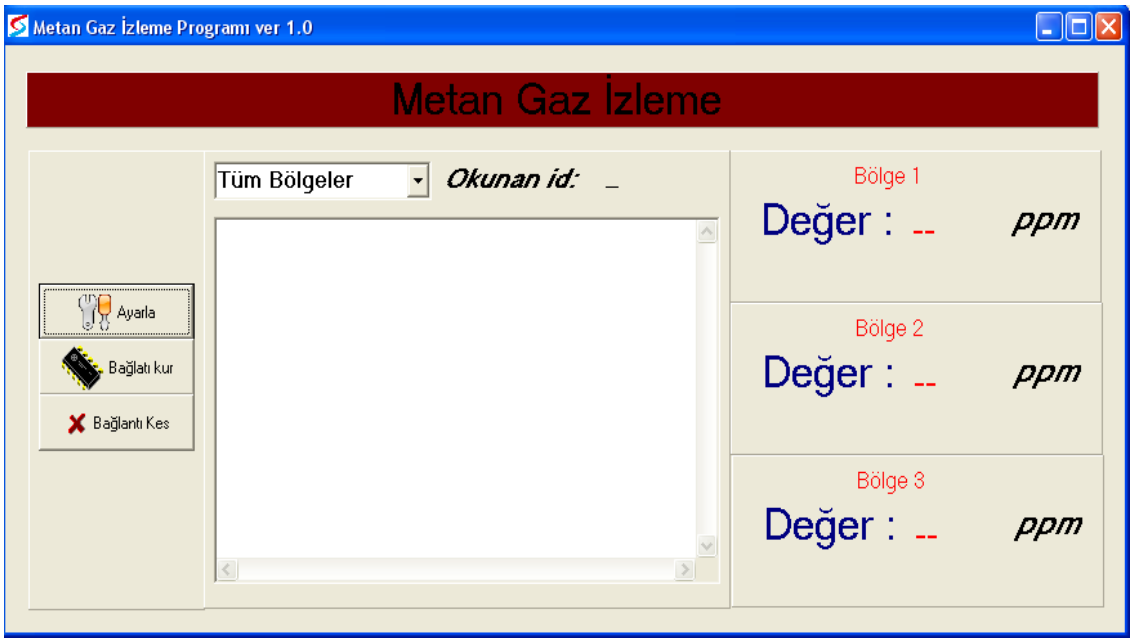
(ii) verinin hangi düğümden geldiğinin bilinmesine ve

(iii) algılayıcı düğümlerin kalan enerji miktarlarının öğrenilmesine imkân verir.

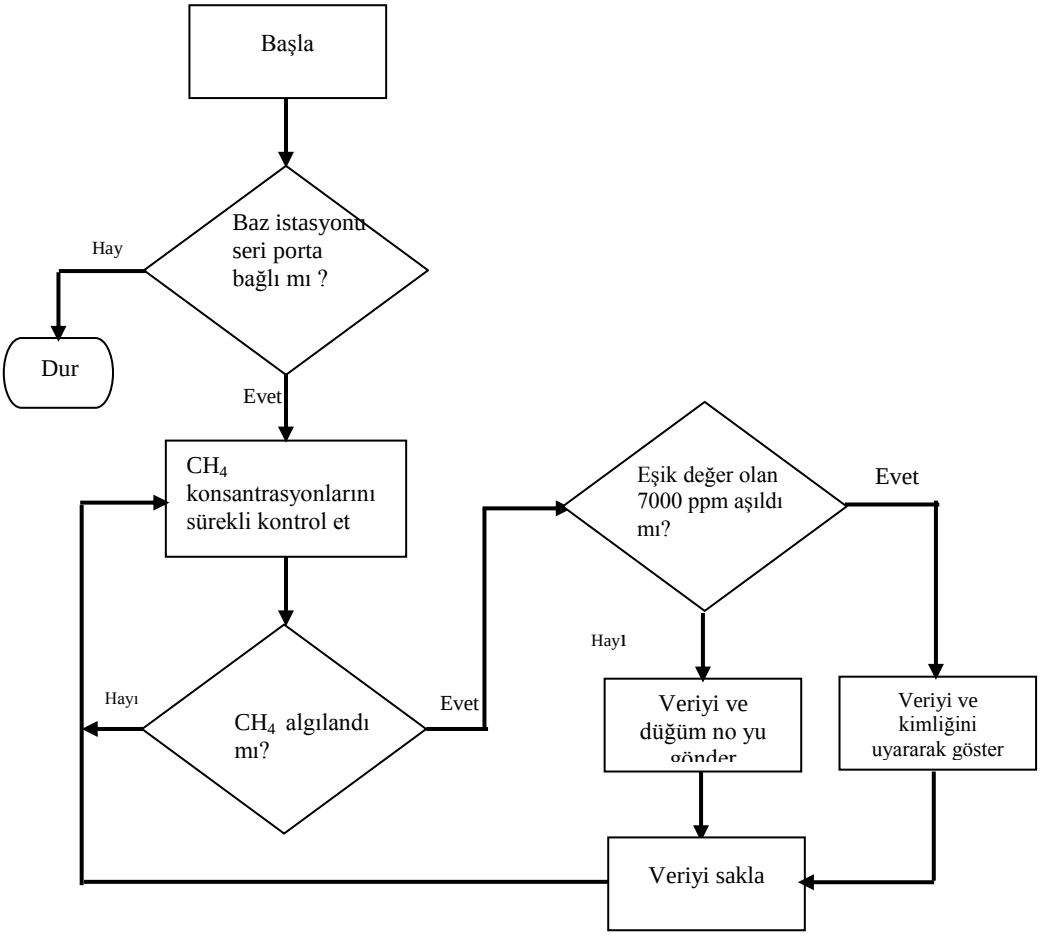
Uygulama düğümlerden gelen 1000–7000 ppm arasında tehlikeye yol açmayan veriler için acil durum uyarısı çıkarmaz. Ama 8000–10000 ppm arasında gelen verilerin ekranda sürekli yanıp-sönerek gösterilmesi dikkati artıracağından hemen tedbirlerin alınmasını sağlamaktadır. Bu uygulamaya eklenen bir diğer özellik de verilerin veritabanında tutularak istenildiğinde hazırlanacak olan bir web sayfası aracılığı ile istenilen herhangi bir yerden de izlemenin yapılabilmesidir. Veri tabanı MySql kullanılarak oluşturulmuştur. Programın arayüzü ise Şekil 4.9'da, akış şeması ise Şekil 4.10 da gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. CH_4 verilerin bit, gerilim ve ppm karşılıkları

BIT	V	PPM
1 1 1 1 1 1 1 1	3	10.000
1 1 1 1 0 1 1 0	2,9	9.000
1 1 1 0 1 1 1 0	2,8	8.000
1 1 0 1 1 1 0 1	2,6	7.000
1 1 0 0 1 1 0 0	2,4	6.000
1 0 1 1 1 1 1 1	2,25	5.000
1 0 1 0 1 0 1 0	2	4.000
1 0 0 1 1 0 0 1	1,8	3.000
0 1 1 1 0 1 1 1	1,4	2.000
0 1 0 1 0 1 0 1	1	1.000



Şekil 4.9. Metan Gazı izleme Yazılımı



Şekil 4.10. Metan gazı izleme yazılım için program akış şeması

5. YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİ

Birçok araştırma faaliyeti verimli enerji iletişimi için gerçekleştirilmiştir. Ama bu çalışmaların pek çoğu pratik kablosuz algılayıcı ağlara uygulamak için uygun değildir. Bu bölümde pratik kablosuz algılayıcı ağlar için, kaynak araştırması bölümünde açıklanan LEACH protokolünü temel alan yeni üç yönlendirme protokolü önerilmiştir (Tümer ve Gündüz, 2011). Geliştirilen protokollere ait detaylar ayrıntılı şekilde anlatılacaktır.

5.1. Kümelerin Oluşturulması ve Küme Başı Seçimi

Geliştirilen protokoller özellikle kritik uygulamalar için düşünülmüştür. Herhangi bir kapalı alan/bina içi ortamındaki zehirli (karbon monoksit, hidrojen sülfür, amonyum gibi) ya da patlayıcı gazın (metan, etan, LPG, gibi) tehlike sınırlarına gelmeden öğrenilmesi ve tedbir alınması gerekir. Bu tür gazların açık alanda bulunması ciddi tehlike oluşturmaz. Kapalı ortamlarda özellikle maden ocaklarında havalandırma bacaları bulunur. Geliştirilen protokoller havalandırma bacalarının olmadığı ya da her hangi bir nedenle işlevini kaybettiği durumlar için düşünülmüştür. Bu protokollerde varsayılan kümeleme mekanizması ve küme başı seçimi şu şekildedir:

R-EERP'de:

Algılayıcı düğümler düz bir alana rasgele yerleştirilir.

LEACH protokolünde olduğu gibi küme kurulum ve çalışma fazları vardır.

Kurulum fazında aynı LEACH de olduğu gibi, kümeler oluşturulurken her bir düğüm mevcut tur için küme başı olup olamayacağına karar verir. Her bir düğüm 0 ile 1 arasında rasgele bir sayı seçer. Eğer bu sayı eşik değeri formül (2.1) deki T(n)'nin altında ise o düğüm o sıra için küme başı olur.

$$T(n) = \begin{cases} \dfrac{P}{1-P*(r \bmod 1/P)} & \text{eğer } n \in G \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \qquad (2.1)$$

Formüldeki:

P = küme başı olmak için arzulanan yüzde

r = o anki sıra

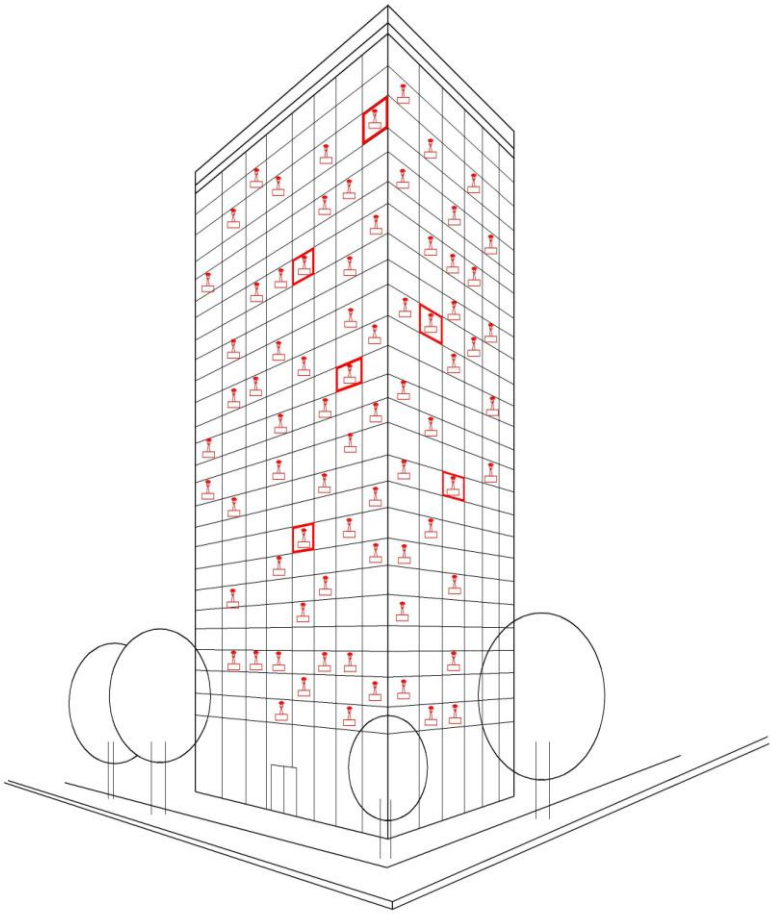
G = son 1/P sırada küme başı olmamış düğümler kümesi

İlk turda (r=0) tüm düğümler küme başı olabilir. İlk turda küme başı olan düğüm, bir sonraki 1/P tur için küme başı olamayacaktır. Böyle kalan turlarda diğer düğümlerin küme başı olma olasılığı artmış olacaktır.

Küme başı seçilen düğüm, tüm düğümleri bunu bildiren bir mesaj yollar.

Diğer düğümler aldıkları sinyalin gücüne göre bağlı bulunacakları kümeyi seçerler

Kümeler oluşturulurken her bir algılayıcı düğüm mevcut küme oluşum zamanında küme başı olup olamayacağına karar verir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Düz bir alana düğümlerin rasgele yerleşimi

S-EERP‘de :

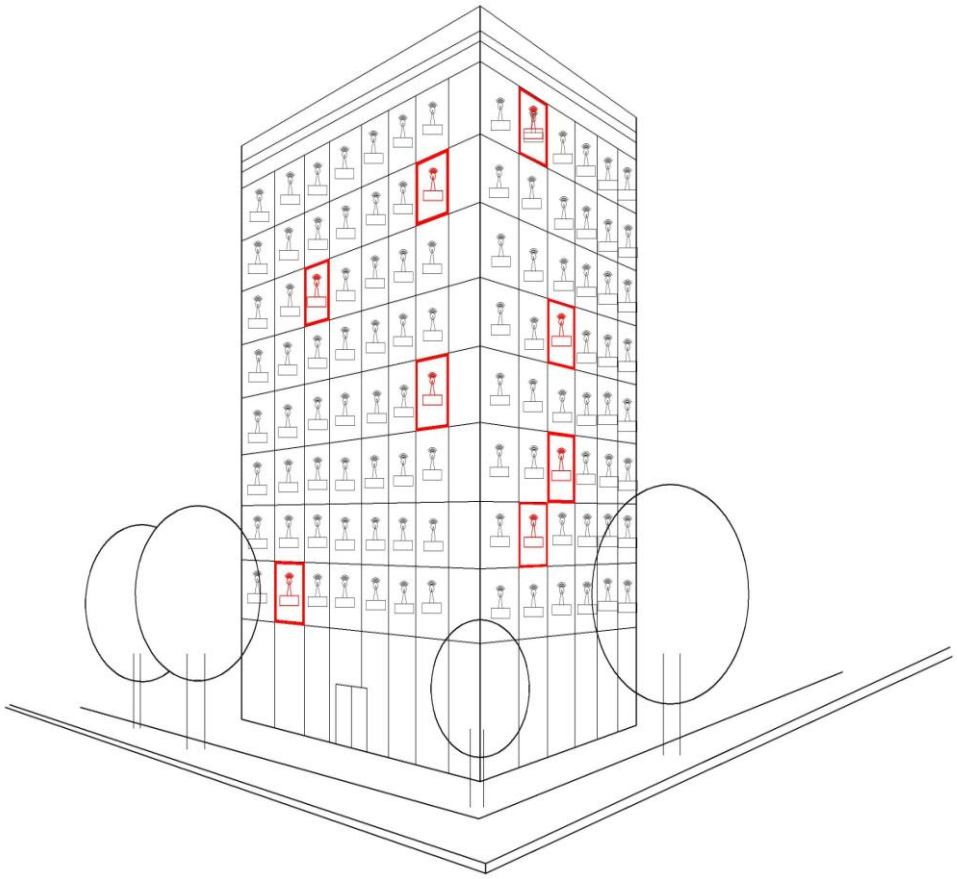
(i) Uygulama alanının her katında değişik sayıda odaların olduğu çok katlı bir bina (apartman ya da işyeri) olduğu,

(ii) Algılayıcı düğümler katlardaki her bir odaya manüel olarak yerleştirildiği,

(iii) Her katta bulunan algılayıcı düğümlerin o katta bir küme oluşturduğu ve

(iv) Küme kurulum zamanında kümeyi oluşturan düğümlerin değişmediği varsayılmıştır (Şekil 5.2).

(v) Küme başı seçimi ise LEACH deki ile aynıdır.



Şekil 5.2. Düğümlerin katlara manüel yerleştirilmesi

RE-EERP'de :

Algılayıcı düğümlerin yerleştirilmesi ve kümeyi oluşturan düğümler S-EERP deki gibidir (Şekil 5.2). Algılayıcı düğümler katlardaki odalara yerleştirilmiştir ve düğümler her bir katın ayrı bir küme olması varsayılarak, küme başı enerjisi en fazla hangi düğüm ise o düğümün seçilmesi ile belirlenmiştir. Kümeyi oluşturan tüm düğümler küme başı olmak için adaydır. Küme başı seçimi şu şekilde belirlenmektedir:

(i) Küme başı aday düğümler, ID bilgileri ile beraber mevcut enerji bilgilerini de baz istasyonuna bir mesaj olarak gönderir.

(ii) Baz istasyonu enerjisi en fazla olan düğümü küme başı olarak belirler,

(iii) Küme başı olarak belirlenen düğümün ID'sini kümedeki diğer düğümlere bildirir.

(iv) Bu bilgiyi alan kümedeki düğümler verilerini küme başına gönderirler.

(v) Bu işlem belirlenen bir süre sonra yeni küme başının belirlenmesi için tekrarlanır.

5.2. Kritik Eşik ve Alt Eşik

Özellikle kapalı ortamlarda (bina, iş yeri, fabrika gibi) değişik sebeplerle ortaya çıkma ihtimali olan, zehirli ya da patlayıcı gazları izleme uygulamaları için geliştirilen protokollerde 2 eşik değeri kullanılmıştır. Bunlar kritik ve alt eşiktir.

Kritik Eşik: Metan gazı için tehlike sınırına yakın değerdir. Ortamdaki algılanan CH_4 konsantrasyonu patlamaya sebep olacak bir değere ulaştığında küme başında bekletilmeksizin baz istasyona gönderilecek değerdir. Algılayıcı düğümler ortamı sürekli olarak algılar. Belirlenen alt eşik değerin üzerindeki ve kritik eşik değerin altındaki algıladığı her veriyi küme başına gönderir. Küme başına gelen veriler belirlenen kritik eşik değer altında ise küme başlarında küme değişim zamanına kadar bekletilir. Fakat küme başı olan algılayıcı düğüme gelen veri kritik değer ya da üzerinde ise küme değişim zamanı beklenilmeden baz istasyonuna gönderilir. Baz istasyonuna gelen böyle bir veri, zaman kaybedilmeden acil önlem tedbirlerinin alınmasını sağlar. Zamanında alınacak tedbirler insan sağlığı ve hayatı bakımından çok önemlidir.

Alt Eşik: CH_4 gaz verisi için algılanması istenen en düşük değerdir. Bu değerden daha az olan değerler herhangi bir acil durum oluşturmayacağından küme başına gönderilmez. Algılayıcı düğümler sürekli olarak çevrelerini sezerler. Düğümler sadece alt eşik değerini bir iç değişkeninde saklar. Bu değerin üstündeki her veriyi küme başına gönderir. Küme başları kendilerine gelen kritik eşik ve alt eşik arasındaki değerleri toplar, farklı olanları sıkıştırır ve baz istasyonuna gönderir. Eğer kritik eşik değer ve üzerinde bir veri gelirse sadece o veriyi bekletmeden baz istasyonuna gönderir.

Kritik ve alt eşik kullanımı periyodik olarak rapor isteyen uygulamalar için uygundur.

5.3. Tekrarlı Verinin Gönderilmemesi:

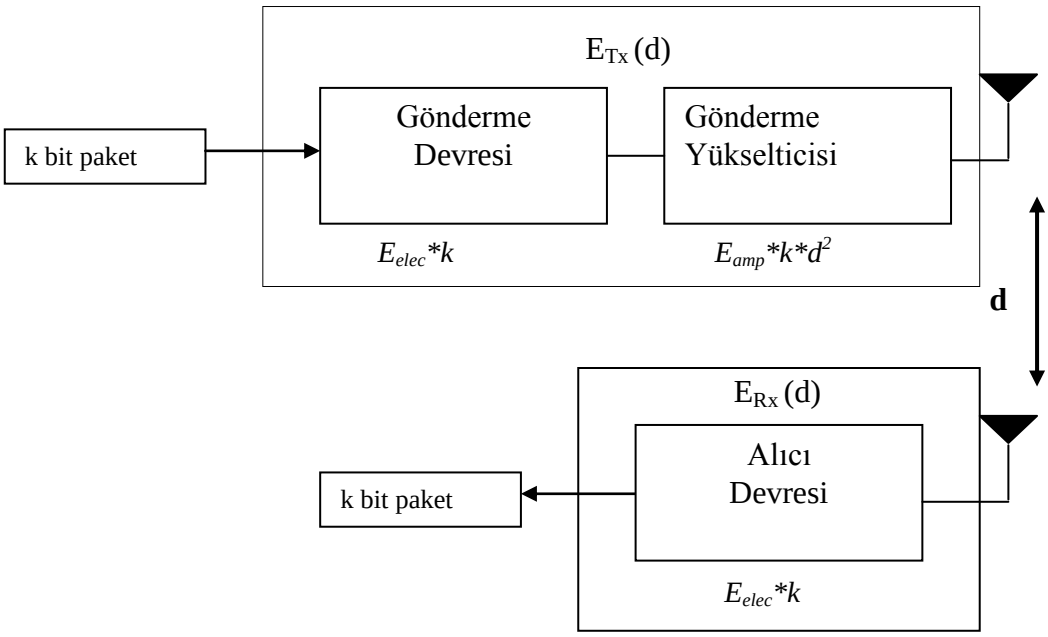
Bir algılayıcı ağda, aynı küme içinde bulunan birbirine yakın düğümler aynı veriyi algılar ve verilerini küme başına gönderir. Geliştirilen protokollerde küme başları kendilerine veriler geldikçe, gelen verilerle bekletilen verileri XOR işleminden geçirerek aynı olup olmadıklarına bakar. Yeni gelen veri, daha önce algılanan veriler içinde varsa göz ardı edilir. Çünkü aynı veri daha önce algılanmış ve baz istasyonuna gönderilmek üzere küme başında bekletiliyordur. Bu durum protokolümüzün özellikle tehlikeli gazlar için geliştirildiği düşünüldüğünde, 1 bitlik değişiklik bile önemli olacağından, bu veri baz istasyonuna gönderilmek için bekletilecektir. Sadece gelen verilerin hepsi bit bit aynı ise gönderilmeyecektir. Böylece baz istasyonuna gönderilecek bilgi miktarını azaltmak üzere aynı verinin 2 ya da daha fazla gönderilmesinin önüne geçilmiştir. Böylece ağın tamamı daha az enerji harcayacaktır. Bu durum baz istasyonuna gönderilecek bilgi miktarını azaltmak üzere aynı verinin 2 ya da daha fazla gönderilmesi engellenmiş olur. Gelen verilerin hepsi aynı ise hiç birini göndermez. XOR işlemi verileri bit olarak karşılaştırır ve veriler farklı ise doğru, aynı ise yanlış sonucunu verir (Çizelge 5.1). XOR işleminden sonra ki sonuç doğru ise küme başlarındaki veri baz istasyonuna gönderilir.

Çizelge 5.1. XOR doğruluk tablosu

x	y	z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

5.4. Radyo Modeli

Henzelmain ve ark. (2000)'nın, RF donanımının harcadığı enerji tüketimi için kullandığı ve Şekil 5.3 de gösterilen radyo modelinin aynısı, geliştirilen simülasyonda kullanılmıştır. Bu radyo modeli birçok çalışmada (Liu ve ark., 2009; Dilip ve ark., 2009; Hu ve ark., 2009; Hussain ve ark., 2007) geniş ölçüde benimsenmiş ve kullanılmıştır. Simülasyona ait parametreler Çizelge 5.2 de listelenmiştir.



Şekil 5.3. Radyo Modeli

k-bit uzunluğundaki bir mesajı, d mesafesi boyunca gönderimi (transmit-E_{Tx}) için, radyonun ihtiyaç duyduğu enerji aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$E_{Tx}(k,d)=kE_{elec}+k\varepsilon_{frss}d^2 \quad : d<d_{crosover} \tag{5.1}$$

$$E_{Tx}(k,d)=kE_{elec}+k\varepsilon_{two\text{-}ray}d^4 \quad : d \geq d_{crosover} \tag{5.2}$$

Alıcının k-bit uzunluğunda bir mesajı almak (receiving-E_{Rx}) için ihtiyaç duyduğu enerji ise aşağıdaki formül ile hesaplanabilir:

$$E_{Rx}(k)= k.E_{elec} \tag{5.3}$$

Bu eşitliklerde

E_{elec} = Alıcı ya da verici devresini çalıştırmak için 1 bit için tüketilen enerji

$d_{crossover}$ = tipik olarak 87.01 m seçilmiştir,

ε_{frss} = mesafe d , $d_{crossover}$ dan küçük ise, verici amplifikatörü tarafından ihtiyaç duyulan enerjidir ve tipik olarak 10 pJ/bit/m^2 olarak seçilmiştir,

$\varepsilon_{two\text{-}ray}$ = mesafe d, $d_{crossover}$ dan büyük ise, verici amplifikatörü tarafından ihtiyaç duyulan enerjidir ve tipik olarak 0.0013 pJ/bit/m^4 olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.2. Simulasyon Parametereleri

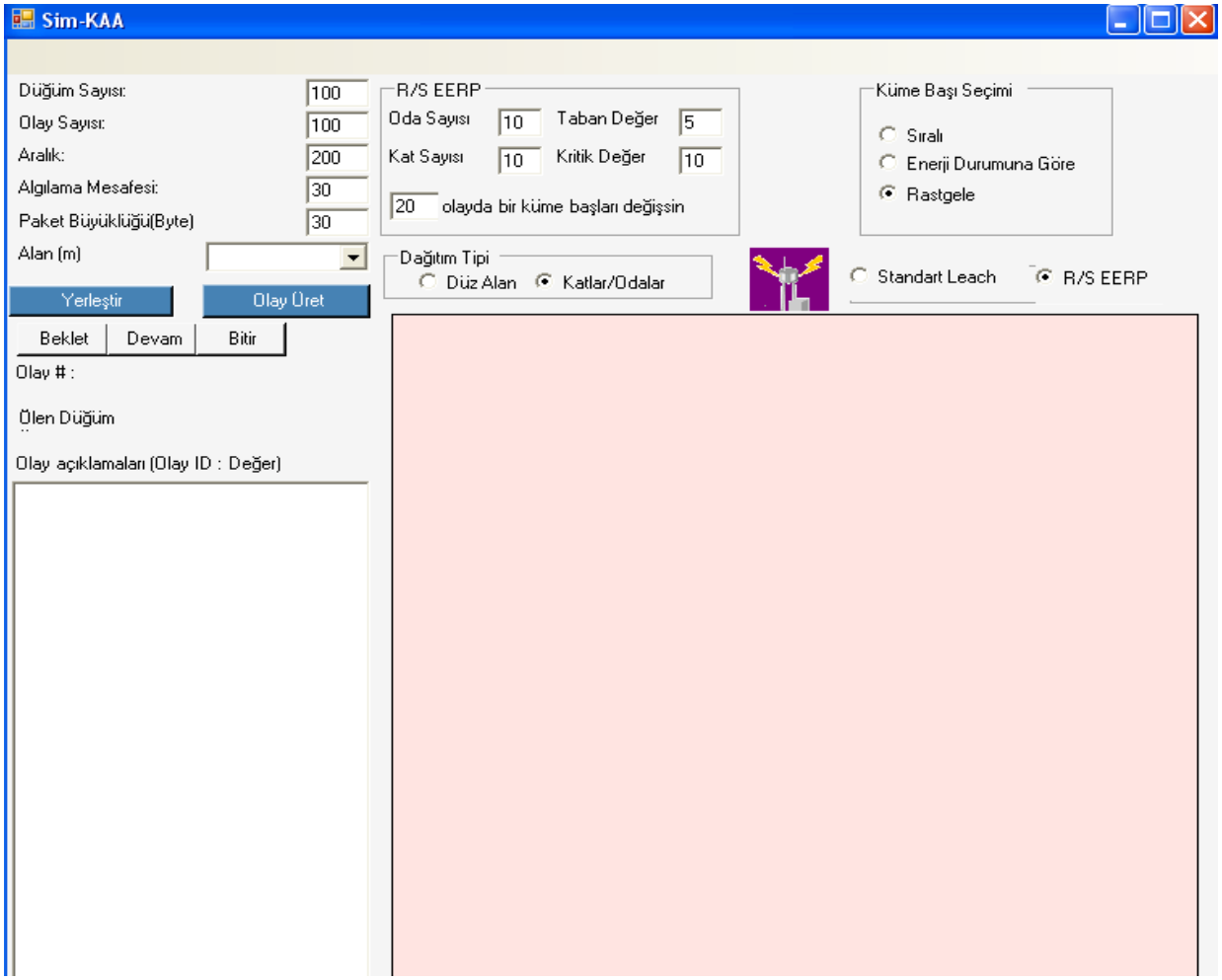
Parametre	Değer
Ağ Büyüklüğü	200 × 200
Algılayıcı düğüm sayısı	100
Algılama mesafesi	30 m
Her bir düğüm başlangıç enerjisi	1.2 J
Veri paket büyüklüğü	525 Bytes
Broadcast paket büyüklüğü	25 Bytes
E_{elec}(Radyo enerjisi)	50 nJ/bit
ε_{friss} ($d<d_{crosover}$)	10 pJ/bit/m^2
$\varepsilon_{two\text{-}ray}$ ($d\geq d_{crossover}$)	0.0013 pJ/bit/m^4
Eşik mesafesi ($d_{crossover}$)	87.01 m
Simulasyon tur sayısı	1000
P (Küme başı olmak için arzulanan yüzde)	0.05

5.5. Simülasyon Programı

Kablosuz algılayıcı ağların yaygın bir şekilde çok farklı amaçlarla kullanılması, bu tür ağların dayanıklılık ve uzun yaşam süresinin önemini oldukça artırmıştır. Bu yüzden, kurulumu yapılacak bir kablosuz algılayıcı ağda, hangi yönlendirme protokolünün kullanılacağına karar verilirken, hangi protokolün ağı ne kadar süre çalışır durumda tutabileceği başka bir ifadeyle ne kadar sürede ne kadar enerji harcayacağı gibi bilgilerin önceden bilinmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında geliştirilen simülasyon programı, pratikte kullanılabilecek enerji verimli olarak geliştirilen 3 yönlendirme protokolünün, literatürdeki LEACH protokolünden daha verimli olduğunu göstermek amacıyla hazırlanmıştır. Simülasyon programına, algılayıcı düğüm sayısı, olay sayısı, olay oluşma aralığı, algılama mesafesi, olayın gerçekleşeceği alanın boyutları birer parametre olarak girilebilmektedir**.** Program, ayrıca geliştirilen yönlendirme algoritmalarının düz bir alanda mı yoksa kat/oda sistemine göre mi çalışacağının seçimine ve alt/kritik eşik değerlerin girilmesine de imkân vermektedir. Program çalıştırıldıktan sonra, çıktı olarak bir metin dosyasına;

protokolün adı,
düğüm sayısı,
olay sayısı,
algılanan olay sayısı,
küme başı seçim tipi,
iletimi gerçekleştirilen paketlerin büyüklüğünü,
alt ve kritik eşik değerlerini,
simülasyon boyunca düğümler arasında kurulan bağlantı sayısını,
ölen düğüm sayısını,
toplam harcanan enerji miktarını,
ilk ölen düğüm zamanını,
algılanmayan olay sayısını,
baz istasyonuna kurulan bağlantı sayısını ve
seçilen protokole göre küme başında bekletilmeden gönderilen paket sayısını yazmaktadır.

Geliştirilen simülasyon programının arayüzü Şekil 5.4'de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.4. Simülasyon Arayüzü

Programın kullanımı için form üzerindeki alanlara giriş yapılmalıdır. Bu alanlar şu şekildedir:

Düğüm Sayısı **:** Ağ üzerindeki düğüm sayısı girilmelidir.

Olay Sayısı **:** Ağ üzerinde gerçekleşmesi istenen olay sayısıdır.

Aralık (msec) **:** Ağ üzerinde gerçekleşmesi istenen olayların arasındaki zaman aralığı

Algılama Mesafesi (m): Algılayıcı düğümlerin alıcılarının menzili

Paket büyüklüğ (Byte) : Düğümlerin iletecekleri veri paketlerin büyüklüğü

Alan **:**Olayın gerçekleşeceği alanın boyutları m^2 olarak (100x100, 200x200, 300x300, 400x400, 500x500)

Protokol Tipi **:**Protokol tipi seçilmelidir. LEACH mi yoksa geliştirilen EERP protokolleri mi?

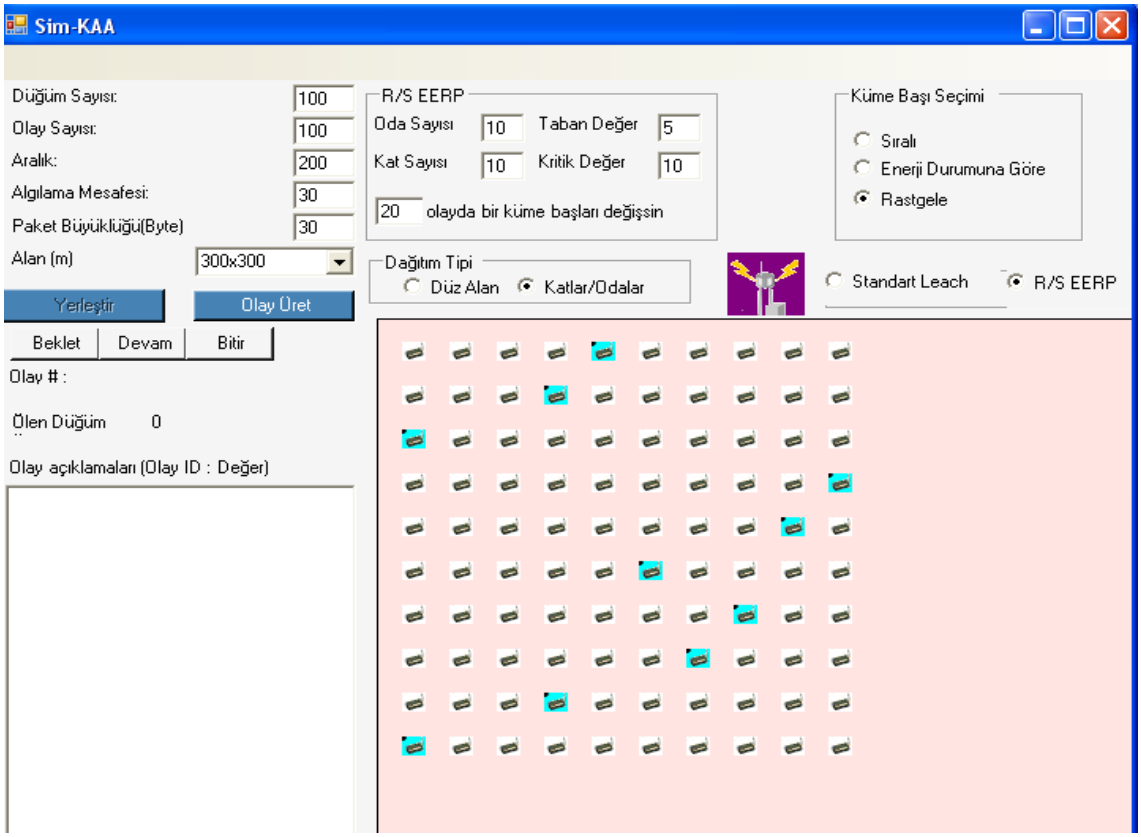
Dağıtım tipi **:** Geliştirilen protokoller için düğümlerin düz bir alana mı yoksa kat ve odalara göre mi dağıtılacağının girildiği bölümdür.

Küme Başı Seçimi **:** Geliştirilen protokoller için küme başının sıralı mı, rasgele mi yoksa enerji seviyesine göre mi yapılacağının belirlenmesi bu alan da yapılır.

Kat/oda sayısı **:** Geliştirilen protokoller için sıralı seçimde düğümlerin kaç katlı kaç odalı bir alana dağıtılacağının belirlendiği alandır.

Alt/Kritik eşik **:** Geliştirilen protokoller için alt ve kritik eşiğin sayısal olarak girildiği bölümdür.

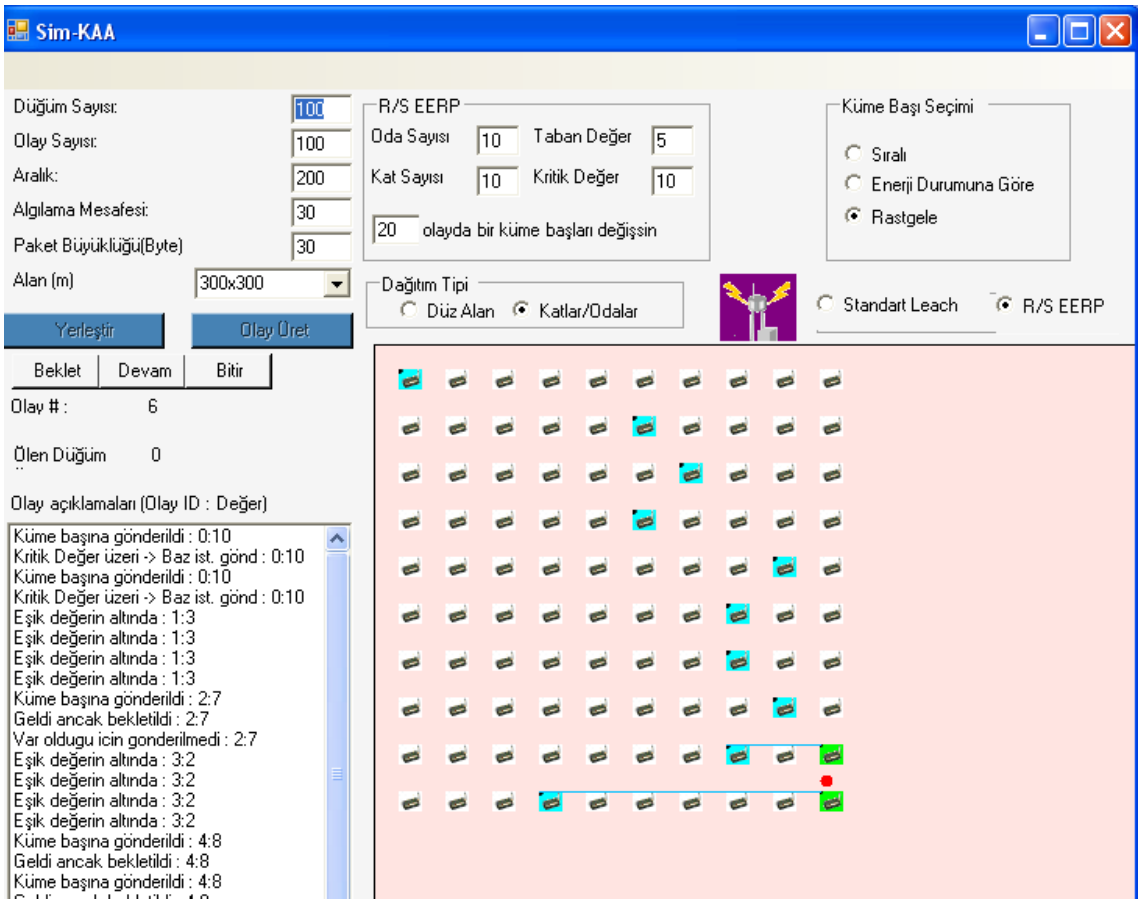
Simülasyonumuzu bir örnek ile çalışmasını inceleyelim. Düğüm sayısı olarak 100, olay sayısı olarak 100, alfılama mesafesi olarak 30 m, paket büyüklüğü olarak 30 byte, alan olarak 300x300 m^2 , oda sayısı olarak 10, kat sayısı olarak 10, alt eşik olarak 5, kritik eşik olarak 10, küme başı değişimi için gerçekleşmesi gereken olay sayısı



Şekil 5.5. Simülasyonda düğümlerin 300x300 birimlik bir alana yerleşimi

olarak 20, dağıtım tipi olarak katlara ve odalara dağıtım, küme başı seçiminin belirlenmesi için rasgele ve protokol olarak da R/S EERP parametreleri girildikten sonra "yerleştir" komutu ile algılayıcı düğümler seçilen alana yerleştirilir.

"Olay Üret" seçeneği ile de simülasyon başlar (Şekil 5.6). Simülasyonda görülen kırmızı noktakar olayın gerçekleştiği bölgeyi, turkuaz düğümler küme başlarını, Yeşil düğümleri üretilen olayı algılayan düğümleri, mavi çizgiler ise algılayıcı düğümün algıladığı veriyi küme başına gönderdiğini göstermektedir. Simülasyonun sol alt kısmın



Şekil 5.6. Simülasyonda olay üretilmesi

Da ise gerçekleşen olay açıklamaları görülmektedir. Girilen parametrelere göre örneğimizdeki olayları kısaca inceleyecek olursak;

Küme başına gönderildi:0:10 -→ 0 ID sine sahip düğüm 10 birimlik bir olayı algılamış ve bulunduğu kümede ki küme başına göndermiş. Küme başına gelen 10 birimliklik veri belirlenen kritik eşiğe eşit bir veri olduğundan küme başında bekletilmeden direk baz istasyonuna düğüm ID bilgisi ile birlikte gönderilmiştir (***Kritik Değer üzeri-> Baz ist.***

gönd:0:10). Böylece tehlikeli değer üzeri bir verinin hangi düğümden geldiği de bilinerek alınması gereken önlemler/tedbirler ivedilikle alınmış olacaktır.

Eşik değerin altında : 1:3 -→ Belirlenen alt eşik değeri 5 ve algılanan olay değeri 3 birim olduğu için, 3 birmlik olayı algılayan 1 nolu düğüm bu bilgiyi küme başına göndermeyerek gereksiz yere enerji harcamamıştır.

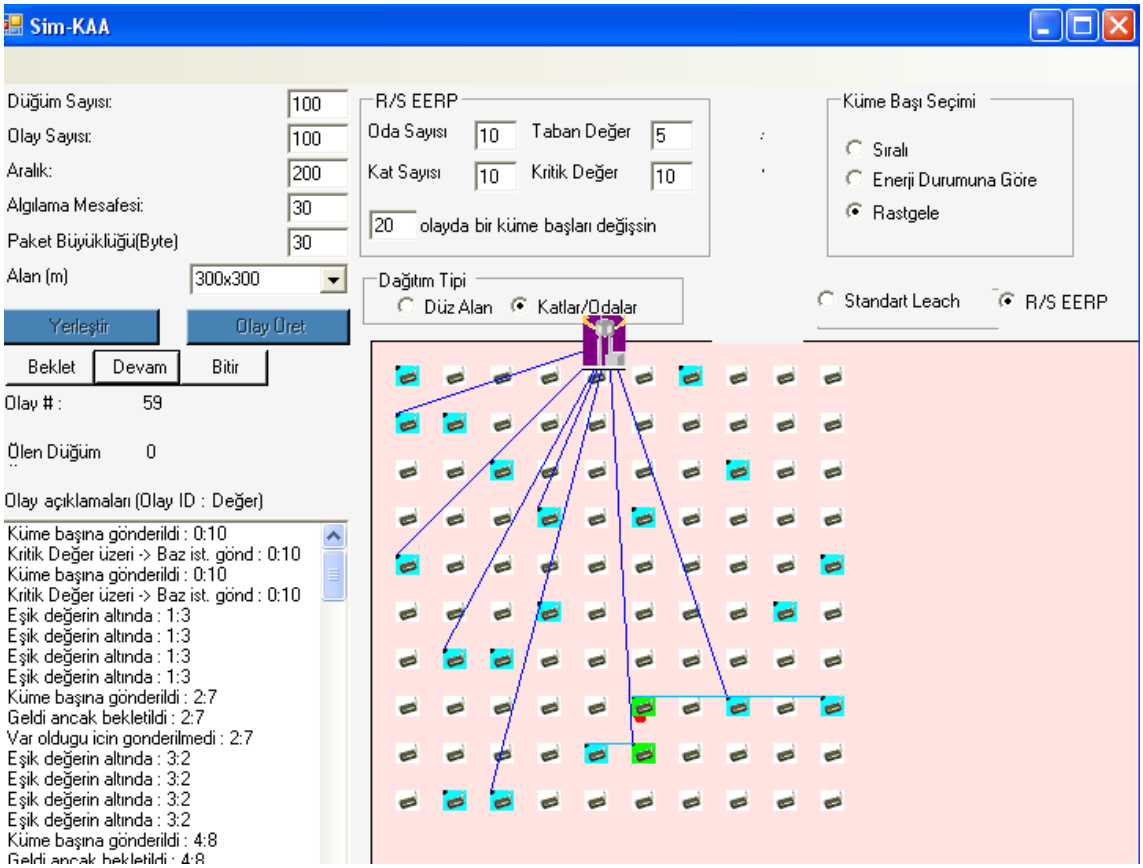
Küme başına gönderildi: 2:7 -→ 2 ID sine sahip düğüm 7 birimlik bir olay algılıyor ve bu verisini küme başına gönderiyor. 7 birimlik olayı alan küme başı, bu değerin alt ve kritik eşik değer arasında olduğundan, daha önce gelen verilerle XOR layarak tekrarlı verinin baz istasyonuna gitmesini engelliyor. Yeni bir veri ise bir sonraki küme başı değişim zamanına kadar 7 birimlik veriyi bekletiyor (***Geldi ancak bekletildi:2:7***)

Şekil 5.7 de ise küme başına bekletilip, küme değişim zamanı geldiğinde baz istasyonuna gönderilen paketlerin iletimi görülmektedir.

Simülasyon sona erdiğinde bir metin dosyasına girilen parametrelerle beraber, üretilen sonuçlar yazılır. Örneğimizdeki sonuçlar aşağıdaki gibi oluşmuştur:

----- Simülasyon Parametreleri-----
Algorithma : R-EERP
Düğüm Sayısı : 100
Olay Sayısı : 100
Küme Başı Seçim Tipi : Rastgele
Algılama Mesafesi : 30
Paket Büyüklüğü : 30
Alt Eşik Değeri: 5
Kritik eşik Değeri: 10
----- Simülasyon Sonuçları -----
Toplam Bağlantı Sayısı : 174
ÖlüDüğüm Sayısı : 0
Tüketilen enerji Miktarı : 0,466313445586785
Küme başında bekletilen olay sayısı : 49
Alt Eşik değerinde altında olduğundan gönderilmeyen iletim sayısı : 45
Algılanmayan olay sayısı : 6
Baz İstasyonuna Yapılan iletim sayısı : 36

Kritik değer üzeri olup küme başında bekletilmeden baz istasyonuna gönderilen iletim sayısı : 15



Şekil 5.7. Küme başından baz istasyonuna gönderilen paketler

Deneyler için girilen simülasyon parametreleri çizelge 5.2'de verilmiştir.

6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında geliştirilen metan gazı algılayıcı devre kartları MICAz kablosuz iletişim modüllerine takılarak oluşturulan algılayıcı düğümlerin ve geliştirilen yönlendirme protokollerinin performansları yine geliştirilen yazılımlar ile test edilmiştir. Çıkan sonuçlar karşılaştırmalı olarak çizelgelerde sunulmuştur.

6.1. Metan Gazı Algılayıcı Devre Kartı ve İzleme Yazılımı

Geliştirilen CH_4 algılayıcı devre kartları MICAz kablosuz iletişim modüllerine takıldıktan sonra bir odanın içinde rasgele yerleştirilmiştir. Kablosuz iletişim modüllerden biri, seri port aracılığı ile izleme yazılımının bulunduğu bilgisayara bağlı ağ geçidine takılarak baz istasyonu oluşturulmuştur. Bu işlemlerden önce 4.2.1 bölümünde bahsedildiği gibi kablosuz iletişim modüllerine Surge_Reliable uygulaması yüklenmiştir. Algılayıcı düğümlerin anahtarı ON konumuna getirildikten az sonra ortamdaki gaz bilgileri algılanmaya başlanarak baz istasyonuna gönderilmeye başlanmıştır. Bilgisayarın seri portuna bağlı baz istasyonu gelen verileri (gaz, düğüm ID ve kalan enerji miktarları) seri portu dinleyen yazılım mesaj dönüşüm servisi sayesinde verilerin anlamlı olarak izlenmesine imkan vermiştir. Metan gaz sızıntılarının bulunabileceği bir ortamda böyle bir deneyi yapmak riskli olacağı için, algılayıcı düğümlerin çakmak gazını algılaması sağlanmıştır. Yazılım sayesinde alınan veriler Çizelge 6.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Yazılım sayesinde izlenen veriler

	ID	Pil Durum (DCV)	CH_4 (ppm)
Bölge 1	0	2,542	2000
Bölge 2	1	2,538	3000
Bölge 3	2	2,568	5000

Çizelge 6.1. den de görüleceği gibi, yapılan deneyler sonucunda;
tasarlanan düğümün problemsiz çalıştığı,
gaz verilerini algıladığı,
yazılım sayesinde hangi düğümden ne kadar veri geldiği ve
yine düğümlerin kalan enerjileri gözlenmiştir.

6.2. Protokol Analizi

Bu bölümde, geliştirilen protokollerin performanslarını, simülasyon çalışmasının sonuçları ile analiz edilmiştir. Sonuçlar LEACH protokolü ile de karşılaştırılmıştır.

6.2.1. Simülasyon ortamı

Simülasyon ortamı R-EERP için şekil 5.1'de, S-EERP ve RE-EERP için Şekil 5.2'de betimlendiği gibi 200x200 m^2 bir alandır. S-EERP ve RE-EERP için 10 katlı ve her katında 10 daire olan bir alan varsayılmıştır. Şekil 5.2'de koyu çizgiler katları göstermektedir. Her daireye 1 algılayıcı düğüm el ile yerleştirilmiştir. Her kat kendi içinde 10 düğümlü bir kümedir ve küme değişim zamanlarında kümeyi oluşturan düğümler değişmez. Tüm düğümler hareketsizdir. Düğümlerin her biri diğerinde olmayan (unique) farklı ID lere sahiptir. Baz istasyonuna tüm küme başı olan algılayıcı düğümlerin veri iletebildiği, sabit düğümlerden uzak bir yere yerleştirildiği varsayılmıştır.

R-EERP ve S-EERP de küme başları LEACH deki rasgele, RE-EERP de kalan enerjisi en yüksek düğüm olarak belirlenmiştir.

Bütün düğümlerin başlangıç enerjisi 1,2 J dür. Bölüm 5.4 de bahsedilen radyo modelindeki gibi, mesaj gönderen düğümün enerji tüketimi formül (5.1) ile, mesaj alan düğümün enerji tüketimi de formül (5.3) ile hesaplanır. Mesaj uzunluğu 550 byte olarak varsayılmıştır. Çizelge 5.2 simülasyon parametreleri özetlenmiştir.

Deneyler için, farklı bölgelerde çeşitli değerlere sahip metan gaz sızıntısı olabileceği düşünülmüştür. Bu yüzden metan gazı için tehlike sınırı olan kritik değer 10, taban değer 5 birim olarak varsayılmıştır. Ayrıca;

(i) 10 birimin üzerindeki veriler küme başlarında bekletilmeksizin direk baz istasyonuna gönderilmesi,

(ii) 5 birimin altındaki veriler dikkate alınmaması,

(iii) 5 ile 10 birim arasındaki veriler sezildiğinde küme başına gönderilmesi ve

(iv) küme başındaki veriler XOR işleminden geçirilerek tekrarlı verinin baz istasyonuna gönderilmesi engellenmiştir.

Metan gaz verisi, simülasyon esnasında her 200 mili saniyede 2,5 ile 12,5 birim arasında rasgele tayin edilmiştir. Her 10 olayda bir küme başları değiştirilmiş ve toplam 20000 turdan sonra simülasyon sona erdirilmiştir.

6.2 2. Simülasyon sonuçları

Protokollerin (R-EERP, S-EERP, RE-EERP ve LEACH) performanslarını karşılaştırmak ve analiz etmek için 2 ölçüt kullanılmıştır. Bunlar

(i) Ağın yaşam süresi

(ii) Veri iletimi ve eşik değerlerin değerlendirilmesi

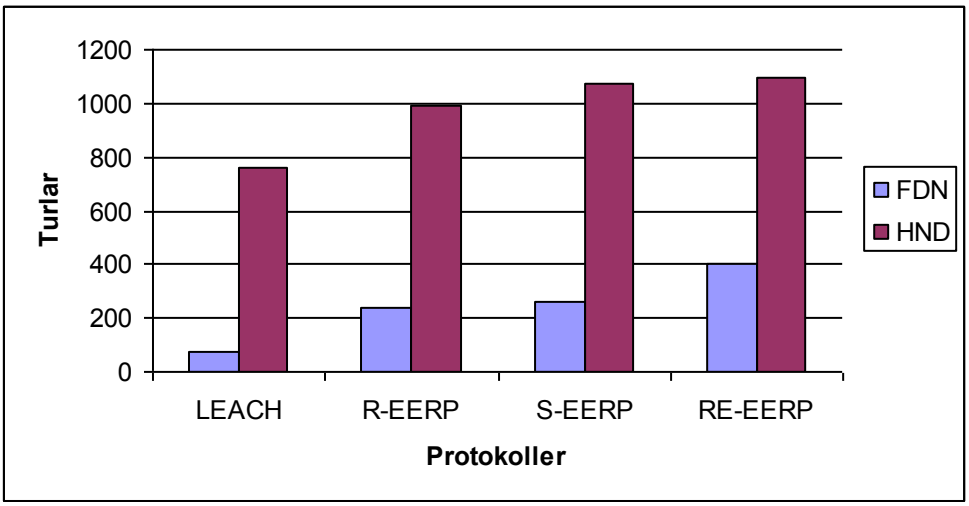
6.2.2.1. Ağın yaşam süresi

Bu tez çalışmasında ağ yaşam süresinin belirlenmesinde 2 ölçüt kullanılmıştır. Bu ölçütler algoritma yaşam süresinin büyüklüğünü karakterize etmek için oldukça önemlidir: Ölen ilk düğümün (FND-First Node Died) kaçıncı turda öldüğü ve tüm algılayıcı düğümlerin yarısının hala hayatta kalmasının (HND-Half Node Died) kaçıncı turlarda gerçekleştiğidir.

Çizelge 6.2' deki veriler, Şekil 6.1'de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 6.1, geliştirilen S-EERP, R-EERP ve RE-EERP protokollerinin, LEACH ile karşılaştırıldığında daha iyi bir performansa sahip olduğunu göstermektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi, ilk düğümün öldüğü tur sayısı LEACH ile karşılaştırıldığında çok daha geç gerçekleşmiştir. Bu gecikme 2 faktöre bağlıdır: Birincisi eşik değerlerinin (alt ve kritik) kullanılması, ikincisi ise küme başlarında toplanan verilere XOR işlemi uygulanarak baz istasyonuna aynı verinin tekrar tekrar gönderilmesinin önlenmesidir. Formül 5.1, 5.2 ve 5.3'de gösterildiği gibi, enerji tüketimi, paket büyüklüğü ile doğrudan ilgilidir. Küme başlarında toplanan verilerin büyüklüğü ne kadar azaltılırsa küme başları o kadar daha az enerji harcayacaktır. Geliştirilen algoritmada hem tekrarlı verinin önlenmesi hem de belirli değerlerin altındaki verilen işleme tabi tutulmaması ilk ölen düğüm zamanını geciktirdiği gibi, yaşayan düğüm sayısını da oldukça olumlu etkilemiştir. Bu durum ağın yaşam süresinin önemli ölçüde iyileştirmiştir.

Protokoller	FDN	HND
LEACH	72	763
R-EERP	236	995
S-EERP	263	1077
RE-EERP	403	1094

Çizelge 6.2. Protokollere göre ilk ve orta düğümün öldüğü turlar



Şekil 6.1 Ağın yaşam süresini geliştiren protokollerin LEACH ile karşılaştırılması

6.2.2.2. Veri iletimi ve eşik değer değerlendirmesi

Bu bölümdeki analizler,

(i) Toplam iletim sayısı

(ii) Baz istasyonu tarafından alınan iletim sayısı

(iii) Alt eşik değerinin altında olduğu için gönderilmeyen iletim sayısı,

(iv) Alt ve kritik eşik değer arasında olduğu için bekletilen iletim sayısı ve

(v) Kritik eşik üzerinde olduğu için bekletilmeden hemen baz istasyonuna gönderilen iletim sayısı şeklindedir.

Bu analiz sonuçlarını elde etmek için, 200x200 m^2 bir ağ alanında 100 farklı simülasyon gerçekleştirilmiştir. Sonuçların ortalaması alınmıştır. Çizelge 6.2'den baz istasyonuna yapılan toplam iletim sayısı, geliştirilen protokollerde LEACH'e göre çok daha az olduğu görülmektedir. RE-EERP'de iletim sayısı fazla olmasına rağmen, küme başında daha fazla bekletilen veri olduğundan, diğer protokollere göre daha enerji

verimli bir protokol olmuştur. Aynı şekilde S-EERP, R-EERP'ye göre hem toplam iletim sayısı daha az, hem de alt eşik değerin altında olup gönderilmeyen paket daha az olduğundan daha enerji verimli bir konumda olduğu görülmektedir. Baz istasyonuna yapılan iletim sayısı R-EERP de S-EERP ve RE-EERP'ye göre daha az olmasının nedeni ise, S-EERP ve RE-EERP'de her kat için ayrı küme olması, her küme için ayrı ayrı küme başı seçilmesi ve oluşan küme sayısının fazlalığından kaynaklanmıştır.

Genel olarak bakıldığında her 3 protokolünde LEACH'den daha enerji verimli olduğu anlaşılmaktadır.

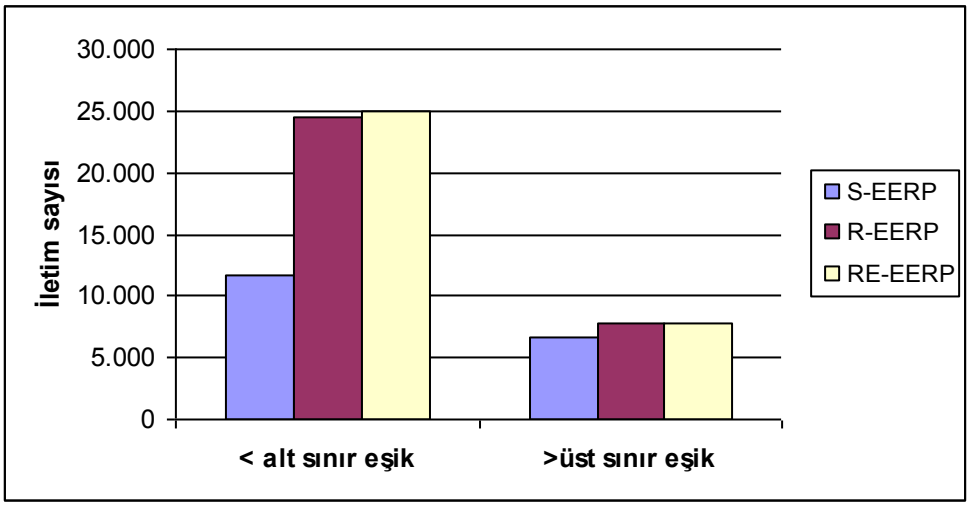
Çizelge 6.2. Tüm ağdaki ve baz istasyonu tarafından alına iletim sayıları

Protokoller	LEACH	R-EERP	S-EERP	RE-EERP
Tüm Ağdaki Toplam İletim Sayısı	120.572	108.999	95.713	110.783
Baz istasyonuna yapılan toplam iletim sayısı	62.694	6.740	10.923	11.672
Alt eşik değerden küçük olup iletilmeyen paket sayısı	-	24.533	11.628	24.960
Alt ve Kritik eşik değer arasında olduğu için bekletilen	-	39.746	34.448	39.744
Kritik değer üzeri olduğu için bekletilmeden gönderilen	-	7.848	6.680	7.773

LEACH algoritmasında toplam iletim sayısı 120.572 iken geliştirilen protokollerde iletim sayısı daha az görülmektedir. Birbirine yakın algılayıcı düğümlerin aynı veriyi algılayıp göndermesi iletim sayısını artırma yönünde olumsuz etkilerken, küme başlarında tekrarlı verilerin baz istasyonuna gönderilmesinin önlenmesi enerji sarfiyatını olumlu etkilemiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi LEACH'de baz istasyonun yapılan toplam iletim sayısı 62.694 iken bu sayı geliştirilen protokollerde oldukça azdır.

Ayrıca alt eşik değerinin altında olup gönderilmeyen paket sayısının da ortalama 20.000 civarında olması çok sayıda gereksiz veri ile hem işlem yapılmasının hem de pil sarfiyatının olumsuz etkilemesinin önüne geçilmiştir. Kritik eşik değerin üzerinde olup bekletilmeden gönderilen paketler ise herhangi bir mal ve can kaybına sebep olabilecek bir tehlikenin önüne derhal geçilebilmesi açısından oldukça önemlidir.

Şekil 6.2 enerji verimliliği ve acil önlem alınması bakımından kritik eşik değer kullanımının önemini göstermektedir. Kritik eşik ve üzerindeki değerlerin küme başlarında bekletilmeden baz istasyonuna gönderilmesi enerji verimliliğin olumsuz etkilemekle beraber alt eşik değerin ve tekrarlı verinin işleme tabi tutulmaması ağın yaşam süresini önemli ölçüde uzatmıştır.



Şekil 6.2. Veri transfer sayıları

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında algılayıcı devre kartı tasarımı ile bu algılayıcının kablosuz iletişim modülüne entegresi gerçekleştirilmiştir. Algılayıcı devre kartında NGM2611 CH_4 ön kalibreli metan gaz algılayıcı olarak kullanılmıştır. Kablosuz iletişim modülü olarak 2 adet pil ile beslenen MICAz tercih edilmiştir. Algılayıcının kararlı bir şekilde çalışabilmesi için 5 VDC ile beslenmesi gerektiğinden MICAz yi besleyen pillerin 5 VDC üretebilmesi için Max1595 şarj pompa regülâtöründen yaralanılmıştır. Algılayıcı devre kartının kablosuz iletişim modülüne entegrasyonu ile algılayıcı bir düğüm oluşturulmuştur. Algılayıcı düğümlere açık kodlu Surge_Reliable isimli program yüklenerek, bir alana rasgele yerleştirilmiştir. Böylece algılayıcı düğümlerin ortamdaki CH_4 konsantrasyonlarını toplayarak baz istasyonuna göndermesi sağlanmıştır. Üzerinde kablosuz iletişim modül bulunan ağ geçidi bilgisayarın seri portuna takılarak bir baz istasyonu oluşturulmuştur. Seri portta takılı baz istasyona gelen veriler geliştirilen yazılım ile izlenmiştir. Yazılım CH_4 konsantrasyonlarını gerçek zamanlı olarak izlenmesini ve gelen verilerin analizlerinin yapılmasına imkân vermiştir. Ayrıca verilerin veri tabanına kaydedilerek, istenildiğinde internet aracılığı ile de herhangi bir yerden izlenebilecektir.

Bu sistem, metan konsantrasyon değerini ve gaz sızıntısının meydana geldiği yerin tespit edilebilmesi gibi uygulamalar için çeşitli istekleri karşılayabilir. Var olan izleme sistemleri ile kıyaslandığında, geliştirilen sistemin hem yapısı basittir hem de maliyeti düşüktür. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde kablosuz gaz algılayıcı ağlarda besleme gerilimin 5 VDC olmasından dolayı NMG2611 ön kalibreli metan gaz algılayıcısının kullanılmadığı görülmüştür. 2 adet pil ile hem kablosuz iletişim modülü MICAz nin hem de NGM2611 ön kalibreli metan gaz algılayıcısının birlikte çalıştırılabilmesi de bir ilk olmuştur. Bu durumun daha sonraki çalışmalara bir ışık tutması beklenmektedir.

Bu tez çalışmasında ayrıca kapalı ortamlardaki metan gaz konsantrasyonlarının izlenebilmesi için R-EERP, S-EERP ve RE-EERP isimli 3 yönlendirme protokolü önerilmiştir. Bu protokollerde;

(i) kritik ve alt eşik değerin kullanılması,

(ii) küme başına gelen kritik eşiğin üzerindeki verilerin bekletilmeden baz istasyonuna gönderilmesi ve

(iii) birbirine yakın düğümlerin algıladıkları aynı veriyi küme başına gönderilmeleri durumunda, küme başında tekrarlı verinin XOR işlemi ile kontrol edilerek baz istasyonuna gönderilmesinin engellenmesi açısından, şimdiye kadar ki çalışmalarda yer almamasından dolayı bir ilk olmuştur.

Protokollerden R-EERP bir alana rasgele dağıtılır ve kümeleme mekanizması ile çalışırlar. Kümeleme mekanizmasındaki küme başı seçimi ise LEACH'deki gibi rasgele yapılmıştır. RE-EERP ve S-EERP protokolü ise bir binanın katlarındaki odalara manüel olarak sıralı bir şekilde yerleştirilmiştir. Kümeleme mekanizması ile çalışan RE-EERP ve S-EERP'de her kat kendi içinde bir küme oluşturduğu, kümeyi oluşturan algılayıcı düğümlerin küme değişim zamanlarında değişmediği ama küme başlarının RE-EERP'de enerjisi en yüksek düğümüm seçilirken, S-EERP'de ise yine LEACH'deki gibi rasgele seçildiği varsayılan bir algoritmadır. Ayrıca her 3 yönlendirme protokolünde de küme başlarında toplanan veriler baz istasyonuna gönderilmeden önce, tekrarlı verinin gönderilmesini engellemek için XOR işleminden geçirilmiştir.

Geliştirilen protokollerde kullanılan eşik değerler, baz istasyonuna gönderilen iletim sayısını önemli ölçüde azaltmıştır. Simülasyon sonuçları ilk düğümün öldüğü tur bakımından, R-EERP ve S-EERP'nin LEACH'e göre, ağın yaşam süresini 3,5 kat daha fazla, RE-EERP'nin ise yaklaşık 5,5 kat daha fazla artırdığını göstermiştir. Orta düğümümün öldüğü tur sayısı baz alındığında ise, her 3 protokolün yaşam süresinin LEACH'den ortalama 1,5 kat fazla olduğu anlaşılmıştır. Bu durum, geliştirilen her üçü protokolün LEACH'e göre daha iyi bir performansa sahip olduğunu göstermiştir. RE-EERP protokolünde, ilk düğümün diğer protokollere göre daha geç ölmesi enerji tüketimini dengelemesi bakımından ağın yaşam süresini dikkate değer biçimde iyileştirdiği sonucu alınmıştır.

Bu tez çalışmasından yararlanılarak kablosuz algılayıcı ağlar için enerji verimli yönlendirme protokolleri konusunda araştırma ve geliştirme çalışmaları gerçekleştirilebilir. Bina içi kablosuz algılayıcı ağlar için geliştirilecek yeni protokollerle beraber, açık alanlar içinde yönlendirme protokolleri geliştirlebilir. Açık alanda geliştirilecek protokoller ve algılayıcı düğümler için güneş enerjili piller kullanılması düşünülebilir. Böylece enerji verimli protokoller yerine baz istasyonuna verinin ulaştırılması için daha verimli yolların bulunmasına yönelik, enerji kısıtlaması olmadan, daha verimli protokoller geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

Akyildiz, I., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., Cayirci, E. A., 2002, Survey on Sensor Networks, IEEE Commun. Mag. 2002, 40, 102–114.

Al-Karaki, J. N., Kamal, A. E., 2004, Routing Techniques in Wireless Sensor Networks:A Survey, IEEE Wireless Communication., 6-28.

ARGO - Global Ocean Sensor Network. www.argo.ucsd.edu.

Aboelaze, M., Aloul, F., 2005, Current and future trends in sensor networks a survey, Wireless and Optical Communications Networks, WOCN 2005. Second IFIP International Conference, 551 – 555.

Boukerchea A., Araujoa, R.B., Silvab, F.H.S., 2007, An efficient event ordering algorithm that extends the lifetime of wireless actor and sensor Networks, In Performance Evaluation an International Journal, 64(5), 480-494.

Boait, P., Rylatt, R.M., 2009, A method for fully automatic operation of domestic heating, Energy and Buildings, 42(1),11-16.

Braginsky, D. and Estrin, D., 2001, Rumor Routing Algorithm For Sensor Networks, International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS'01), November 2001.

Butler, Z., Corke, P., Peterson, R. and Rus D., 2004, Networked Cows: Virtual Fences for Controlling Cows. In WAMES 2004, Boston, USA, June 2004.

Cerpa, A., 2001, Habitat monitoring: Application driver for wireless communications technology, ACM SIGCOMM Workshop on Data Communications, Latin America and the Caribbean.

Ceylan, O., 2008, Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Yaşam Süresi En İyilemesi için Veri İşleme ve İletişim Yöntemleri, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Clausen, T., Jacquet, P., Laouiti, A., Muhlethaler, P. 2001, Optimized Link State Routing Protocol, IEEE INMIC Pakistan 2001.

C. Perkins, R. and Bhagwat, P., 2004, Highly Dynamic Destination Sequenced Distance Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers, In ACM SIGCOMM, 234–244.

Chunga, W.Y., Ohb, S.J., 2006, Remote monitoring system with wireless sensors module for room environment, Sensors and Actuators B: Chemical, 113(1), 64-70.

Chen,Y., 2008, Research and Design of Methane Gas Inspection Tour System Based on Low-Power SCM MSP430F149, Intelligent Information Technology Application, Second International Symposium, 2, 503-507.

Dilip, K., Trilok, C., Patel, R.B., 2009, EEHC: Energy efficient heterogeneous clustered scheme for wireless sensor Networks, Comput. Commun. 2009, 32, 662-667.

Ducatelle, F., Di Caro G. and Gambardella, L. M., 2008, A New Approach for Integrating Proactive and Reactive Routing in Mobile Ad Hoc Networks. Proceedings of the fifth IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems (MASS), Atlanta, Georgia, USA, September-October 2008.

DaeHwan, K., SangHak, L., We Duke, C., 2006, Energy-Efficient Clustering Algorithm in Wireless Sensor Networks, EUC 2006, LNCS 4096, 1078-1088.

Erboral, S.,2008, Kablosuz Duyarga Ağlarında Veri Birleştirilmesi ve Değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,Yüksek Lisans Tezi.

Estrin, D., Govindan, R., Heidemann, J., Kumar, S.,1999, Next Century Challenges: Scalable Coordination in Wireless Networks. In Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking Seattle (MOBICOM), Washington, DC, USA,15–19 August 1999, 263-270.

Ertürk, S., 2005. Sayısal Haberleşme, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Falzon J., 1998, LMS Landfill Gas Developments Paper, 4th National Hazardous & Solid Waste Convention, Brisbane, April' 98, Queensland.

Fan, Y., Yu, J., 2007, The Communication Protocol for Wireless Sensor Network about LEACH, In Proceedings of International Conference on Computational Intelligence and Security Workshops, Harbin, China, 15–19 December 2007, 550-553.

Fulford-Jones, T., Wei, G.Y., Welsh, M., 2004, A portable, low-power, wireless two-lead EKG system. Engineering in Medicine and Biology Society, Annual International Conference of the IEEE, 1, 2141-2144.

Gönüllü M.T., 1999, Patlama Riski Açısından Çöp Depo Yerleri, Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu, 17 – 19 Şubat 1999, İstanbul, 313-321.

Gholamzadeh, B., Nabovati, H., 2008, Concepts for designing low power, World Acad. Sci. Eng.Technol. 2008, 45, 560-567.

Gholamzadeh, B. and Nabovati, H., 2008, Concepts for Designing Low Power. In World Academy of Science, Engineering And Technology 2008; Volume 45, 560-567.

Harmankaya, A.O., 2007, Kablosuz Algılayıcı Ağ Yönlendirme Protokollerinin Karşılaştırılması, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

He, T., Stankovic, J., Abdelzaher, T., 2003, SPEED: A stateless protocol for real-time communication in sensor networks, In the Proceedings of International Conference on Distributed Computing Systems, Providence, RI, May 2003.

Hu, Y., Li, W., Kang, Z., 2009, Study on Energy Efficient Hierarchical Routing Protocols of Wireless Sensor Network, In Proceedings of WASE International Conference on Information Engineering, Taiyuan, China, 10–11 July 2009, Volume 1, 325-328.

Hussain, S., Martin, A.W., 2007, Hierarchical Cluster based Routing in Wireless Sensor Networks, J. Netw. 2007, 2, 87-97.

Haiyan, X., Haiying, X., 2008 A modified cluster head selection algorithm based on random waiting, In Proceedings of IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, Hainan, China, 6–8 April 2008, 129-132.

Intanagonwiwat C., Govindan R., and Estrin, D.,2003, Directed diffusion for wireless sensor Networks, IEEE/ACM Trans. Networking, 11(1), 2003, 2–16.

IEEE Standard 802.15.4a-2007, IEEE, URL:http://standards.ieee.org.

Johnson, D.B. and Maltz, D., 1996, Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks, In T. Imielinski and eds. H. Korth, editors, Mobile Computing. Kluwer Academic Publishers, 1996.

Jae-Hwan, C., Tassiulas, L., 2004, Maximum lifetime routing inwireless sensor networks, Networking, IEEE/ACM Transactions , Cilt 12, Sayı 4, 609 – 619.

Jing, C., Gu, T., Chang, L., 2008, ESCAL: An Energy-Saving Clustering Algorithm Based on LEACH. In Proceedings of the IEEE International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling Workshop, Wuhan, China, 21-22 December 2008, 403-406.

Jang, W., Healy, W. M., Skibniewski, M. J., 2008, Wireless sensor networks as part of a web-based building environmental monitoring system, Automation in Construction 17, 729-736.

Juang, P., Oki, H., Wang, Y., Martonosi, M., Peh, L.S. and Rubenstein, D., 2002, Energy-Efficient Computing for Wildlife Tracking: Design Tradeoffs and Early Experiences with ZebraNet. In Proc. ASPLOS X, San Jose, USA, October 2002.

Kang, I., Poovendran, R., 2003, Maximizing Static Network Lifetime of Wireless Broadcast Adhoc Networks, Communications, 2003. ICC '03. IEEE International Conference, Cilt 3, 11-15 Mayıs 2003, 2256 – 2261.

Kulik, J., Heinzelman, W. and Balakrishnan, H., 2002, Negotiation-based protocols for disseminating information in wireless sensor Networks, Wireless Networks, 8, 2002, 169–185.

Kandris, D., Tsioumas, P., Tzes, A., Nikolakopoulos, G., Vergados, D.D., 2009, Power conservation through energy efficient routing in wireless sensor networks. Sensors 2009, 9, 7320-7342.

Kim, J.M., Park, S.H., Han, Y.J., Chung, T.M., 2008, CHEF: cluster head election mechanism using fuzzy logic in wireless sensor Networks, In Proceedings of the 10th International Conference Advanced Communucation Technology (ICACT), Gangwon Do, South Korea, 17–20 February 2008, ID: 654659.

Kaihua, X., Yongcan, J., Yuhua, L., 2008, A Novel Hierarchical Clustering Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks, In Proceedings of International Conference on Internet Computing in Science and Engineering, Hong Kong, 5–12 March 2008, 282-285.

Kim, J., Jang, K., Choo, H., Kim, W., 2007, Energy Efficient LEACH with TCP for Wireless Sensor Networks, In Proceedings of Computational Science and Its Applications—ICCSA 2007, San Francisco, LA, USA, 24–26 October 2007, 275-285.

Liua, X., Chenga, B., Hu, J., Qina, H., Jianga, M., 2008, Preparation, structure, resistance and methane-gas sensing properties of nominal $La_{1-x}Mg_xFeO_3$, Sensors and Actuators B: Chemical, 133(1), 340-344

Li-min, Y., Anqi, L., Zheng, S., Hui, L., 2008, Design of Monitoring System for Coal Mine Safety Based on Wireless Sensor Network, Mechtronic and Embedded Systems and Applications. IEEE/ASME International Conference, 409-414.

Liu, M., Cao, J., Chen, G., Wang, X., 2009, An Energy-aware routing protocol in wireless sensor Networks, Sensors 2009, 9, 445-462.

Lindsey, S., Raghavendra, C.S., 2002, PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems, In Proceedings of IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, USA, 9–16 March 2002; 1125-1130.

Lynch, C., O'Reilly, F., 2005, Processor Choice For Wireless Sensor Networks, Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks.

Mainwaring, A., 2002, Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring, ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA'02), April, 18.

Manjeshwar, A. and Agrawal, D., 2002, Teen: A routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks. In 2nd International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, satellite workshop of 16th Annual International Parallel & Distributed Processing Symposium – IPDPS, 2002.

Manjeshwar, A. and Agarwal, D., 2002, APTEEN: A hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless sensor networks. In

Proceedings of the 16th International Parallel and Distributed Processing Symposium, Ft. Lauderdale, FL, USA, April 2002, 195–202.

Marshall, I.W., Roadknight, C., Wokoma, I. and Sacks, L., 2003, Self-Organizing Sensor Networks. In UbiNet 2003, London, UK, September 2003.

Micaz 2.4 GHz Datasheet, Crossbow Technology Inc., Available online at http://www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/MICAz_Datasheet.pdf.

MySQL AB: The world's most popular open source database. www.mysql.com.

Mohammad, I., Mahgoub, I., 2004, Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems, CRC Press, ISBN: 0-8493-1968-4.

Niu, X., Huang, X., Zhao, Z., Zhang, Y., Huang, C., Cui, L., 2007, The Design and Evaluation of a Wireless Sensor Network for Mine Safety Monitoring. Global Telecommunications Conference, 1291-1295.

Noyan, H.,2008, Kablosuz Algılayıcı Ağlarının IEEE 802.15.4 Standardına Göre Simülasyonu, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.

Odabaşı, Ş.D. ve Zaim A.H., 2010, Kablosuz Sensör Ağlar ve Güvenlik Problemleri, 3. Ağ ve Bilgi Güvenliği Ulusal Sempozyumu, Şubat 2010, ANKARA.

Perrig, A., Szewzyk, R., Tygar, J.D., Wen, V., Culler, D. E., 2000, SPINS: security Protocols for Sensor Networks, Wireless Networks, Volume 8, 521-534.

Rahul, C., Rabaey,J., 2002, Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks, IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), vol.1, March 17-21, 2002, Orlando, FL, 350-355.

Romer, K., Matte, F., 2004, The Design Space of Wireless Sensor Networks, Wireless Communications, IEEE [IEEE Personal Communications], 11, 54 – 61.

Rahman, O., Choi, B.G., Monowar, M., Hong, C.S., 2007, A Density Based Clustering for Node Management in Wireless Sensor Network, Springer Verlag LNCS, vol. 4773, 527-530.

Sohrabi, K. and Pottie, J., 2000, Protocols for self-organization of a wireless sensor network, IEEE Personal Communications, Volume 7, Issue 5, 16-27.

Simon, G., Ledezczi, A., Maroti, M., 2004, Sensor Network-Based Counter Sniper System, 2nd international conference on Embedded networked sensor systems,1–12.

Shi, E., Perrig, A., 2004, Designing Secure Sensor Networks, IEEE Communications Magazine, December 2004.

Sohraby, K., Minoli, D., Znati, T., 2007, Wireless Sensor Networks Techlology, Protocols, and Applications, John Wiles & Sons, ISBN:978-0-471-74300-2, Section 3.

Tavares, J., Velez, FJ., Ferro, J.M., 2008, Application of Wireless Sensor Networks to Automobiles, Measurement Scıence Revıew, 8(3), 65-70.

Tümer, A.E.; Gündüz, M., 2010, Energy-Efficient and Fast Data Gathering Protocols for Indoor Wireless Sensor Networks. Sensors 2010, 10, 8054-8069.

Tümer A.E., Gunduz M., 2010, Design of a methane monitoring system based on wireless sensor networks,Scientific Research and Essays Vol. 5(8), 799–805, 18 April, 2010.

Villalba, G., O, Sandoval., Triviño, C., Barenco, A., 2009, Routing protocols in wireless sensor networks. Sensors 2009, 9, 8399-8421.

Wei, B., Hu, H., Fu, W., 2008, An Improved LEACH Protocol for Data Gathering and Aggregation in Wireless Sensor Networks, In Proceedings of International Conference on Computer and Electrical Engineering, Phuket Island, Thailand,1–5 December 2008, 398-401.

Wei, Y., Ying, H., 2007, Wireless Sensor Network Based Coal Mine Wireless and Integrated Security Monitoring Information System, Networking ICN, 22-28.

Wood, A. D. and Stankovic, J. A. 2002, Denial of service in sensor networks, IEEE Computer 35(10), 54–62.

Younis, O., Fahmy, S., 2004, HEED: A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad Hoc Sensor Networks, IEEE Trans. Mob. Comput. 2004, 3, 366-379.

Ye, F., 2001, A Scalable Solution for Minimum Cost Forwarding in Large Sensor Networks, 10th Int'l. Conf. Comp. Commun. And Networks tutanağı, 304-309.

Yesbek, S.M., 2008, Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Uwb Tekniği Kullanılarak Enerji Tasarrufu Sağlanması, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.

Yu,Y., Estrin, D., Govindan, R., 2001, Geographical ana energy aware routing : A Recursive data dissemination for WSN, UCLA COMP. SCI. DEP.

ZigBee Tutorial, www.tutorial-reports.com/wireless/zigbee.

Zhang, X., Wang, S., 2008, Design a Wireless Sensor Network for Methane Monitoring System, Industrial Informatics, 614-618.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Abdullah Erdal TÜMER
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Akşehir – 23.11.1969
Telefon	**:**	0332 323 8220 / 5646
Faks	**:**	
e-mail	**:**	tumer@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	**Meram Teknik ve E.M.L. Elektrik**	**1988**
Üniversite	:	**Gazi Üniv. Teknik Eğitim Fak. Bilgisayar**	**1993**
Yüksek Lisans	:	**Selçuk Üniversitesi Mim. Müh. Fak. Bilgisayar**	**2001**
Doktora	:	**Selçuk Üniversitesi Mim. Müh. Fak. Bilgisayar**	**2011**

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
1992-1993	**Galaksi Bilgisayar-Ankara**	**Tekniker**
1993-1994	**TeknoCom Güvenlik-Konya**	**Genel Müdür**
1994-1997	**Milli Eğitim Bakanlığı-Konya**	**Bil. Öğretmeni**
1997-1998	**Milli Eğitim Bakanlığı-Sivas**	**Bil. Böl. Bşk.**
1998-2003	**Selçuk Üniversitesi-Bilgi İşlem Dairesi**	**Bil. Okutmanı**
2003-2004	**Selçuk Üniversitesi-Akören ARE MYO**	**Bil. Okutmanı**
2004-	**Selçuk Üniversitesi-A.K. Eğitim Fak. B.Ö.T.E**	**Bil. Okutmanı**

UZMANLIK ALANI
Kablosuz Algılayıcı Ağlar, Bilgisayar Ağları, Web Programlama
YABANCI DİLLER
İngilizce
YAYINLAR

Tümer, A.E.; Gündüz, M., 2010, Energy-Efficient and Fast Data Gathering Protocols for Indoor Wireless Sensor Networks, Sensors 2010, 10, 8054-8069 (Doktora Tezi).

Tumer A.E., Gunduz M., 2010, Design of a methane monitoring system based on wireless sensor networks, Scientific Research and Essays Vol. 5(8), pp. 799–805, 18 April, 2010 (Doktora Tezi).

Tumer A.E., Unsaçar F., 2011, Bilişim Teknolojileri Alanındaki Terimlere İnternet Aracılığıyla Türkçe Karşılıkların Bulunması, Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi, Cilt 10, Sayı: 1, 108-116, 2011 (Yüksek Lisans Tezi).