T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABLOSUZ SENSÖR AĞLARDA ENERJİ VERİMLİ VERİ TOPLAMA

Ada Ozalit - Necati AYDIN

DOKTORA TEZİ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Şenol Zafer ERDOĞAN

EDİRNE-2014

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ DOKTORA PROGRAMI

DOĞRULUK BEYANI

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

31/01/2014

Turgut KILINÇ

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Mustafa ÖZCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Doktora tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Yılmaz KILIÇASLAN
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımızca okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Şenol Zafer Erdoğan
Tez Danışmanı

Bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında bir Doktora tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	İmza
Prof. Dr. Yılmaz Kılıçaslan	
Doç. Dr. Erdem Uçar	
Yrd. Doç. Dr. Şenol Zafer Erdoğan	
Yrd. Doç. Dr. Fatih Yücalar	
Yrd. Doç. Dr. İlhan Umut	

Tarih: 27/06/2014

Doktora Tezi

Kablosuz Sensör Ağlarda Enerji Verimli Veri Toplama

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Kablosuz algılayıcı ağlarda ortama bağlı olan kaynak düğümden alınan verinin hedef düğüme doğru iletilmesinde düğümden düğüme veri taşınmasında devam eden bir yol izlenir. Verinin hedef düğüme ulaşması sırasında geçeceği düğümlerin çıkartılması işlemine yönlendirme adı verilir. Yönlendirme algoritmalarının çıkartılmasındaki ana amaç, verinin en kısa yoldan ve en uygun (optimum) enerji kullanımı hedeflenerek gönderimin sağlanmasıdır.

Literatürde çok çeşitli enerji verimli yönlendirme algoritmalarına rastlanmaktadır. Bu çalışmada, kablosuz sensör ağlardaki bilinen enerji verimli yönlendirme algoritmalarına kısa bir bakışın ardından, LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) ve PEGASIS (Power-Efficient Gathering In Sensor Information Systems) algoritmalarının belirli özelliklerini de kapsayan genetik tabanlı yeni bir yaklaşım sunulmaktadır.

Bu tez çalışmasında uygulama bazlı olarak kablosuz sensör ağların yaşam süresini en uygun hale getirmek için genetik algoritma tabanlı bir yaklaşım olan INGABEEC (Internal Genetic Algorithm Based Energy Efficient Clusters) metodu anlatılmaktadır. Önerilen yöntem LEACH algoritması gibi kümeleme tabanlı bir metottur ve GABEEC (Genetic Algorithm Based Energy Efficient Clusters) metoduna PEGASIS algoritmasının uygulamasını içerir. Ağın yaşam süresini maksimize etmek için genetik algoritma kullanılmıştır. Yöntemin iki safhası vardır. Kurulum ve iletişim safhası. Kurulum safhasında kümeler ve küme için zincirler oluşturulur. Oluşturulan kümeler ağ yaşam süresi boyunca sabit kalır. Her turda, dinamik olarak isimlendirilen sabit sayıda kümeler vardır. İkinci safha iletişim safhasıdir. Üye düğümler sırayla verilerini hedef dügüm olarak belirlenen algılıcıya iletir.

Önerilen yöntemi doğrulamak için bir simülatör geliştirilmiştir. Bu yöntem ile simüle edilip alınan sonuçlar diğer ilgili çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonunda elde edilen veriler önerilen yöntemin diğer yöntemlerden daha iyi sonuç ortaya koyduğunu göstermektedir.

Yıl **:** 2014

Sayfa Sayısı **:** 102

Anahtar Kelimeler **:**Kablosuz algılıyıcı ağlar, sensörler, enerji verimli yönlendirme

Doctorate Thesis
Energy Efficient Data Gathering In Wireless Sensor Networks

Trakya University Institute of Natural Sciences

Department of Computer Engineering

ABSTRACT

A node to node data transfer route is followed in wireless sensor networks to transfer the data from source node to the target node. The process of defining the nodes in which the data will pass through and reach to the target source is known as routing. The main purpose of defining the routing algorithm is to deliver the data by using the shortest way possible with minimum energy consumption.

Many energy efficient algorithms for data routing are given in the literature. In this study, after a short review about energy efficient data routing algorithms in wireless sensor networks, a novel genetic based approach which also covers some features of well-known LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) and PEGASIS (Power-Efficient GAthering in Sensor Information Systems) algorithms is presented.

In this thesis study, a genetic based algorithm approach, INGABEEC (Internal Genetic Algorithm Based Energy Efficient Clusters), is used to optimize the lifetime of wireless sensor networks. The proposed one is a cluster based method as LEACH and is an application of PEGASIS technology into GABEEC method. A genetic algorithm is used to maximize the lifetime of the network. The method has two stages; installation and communication.

Clusters are generated and Chain (a tree structure) in each cluster also is organized at installation stage. The clusters stay constant during the network lifetime. There are cluster heads that change dynamically at every round on these constant clusters. The second phase is communication and each node transmits its data packet to destination node which is selected earlier.

A simulator is developed to verify the proposed method. The method is simulated and the received results are compared with other studies. It is shown that the proposed method is generating better results than other published methods.

Year **:** 2014

Number of Pages **:** 102

Keywords **:** Wireless sensor network, sensors, energy efficient routing

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince bana devamlı yol gösteren, gece gündüz, hafta içi ve hafta sonu destek ve yardımlarını hiç esirgemeyen, kablosuz ağlar konusundaki derin ilminden çok faydalandığım, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim değerli danışman hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Şenol Zafer ERDOĞAN'a, çalışmanın başlangıcından sonuna, tez konusunun her aşamasını tartışmaktan büyük keyif aldığım ve desteklerini her zaman hissettiğim Sn. Prof. Dr. Yılmaz KILIÇASLAN'a, Sn. Doç. Dr. Erdem UÇAR'a, tez hazırlık sürecinde bilgilerinden çok fazla istifade ettiğim Sn. Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Fehmi Selim BAYRAKLI'ya, tez çalışmam sırasında bana sağladığı güzel imkânlar ve huzurlu bir aile ortamı için Trakya Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'ne, çalışma arkadaşlarıma, aileme ve sevgili babam Dursun Kılınç'a, kayın pederim Niyazi Yüksel'e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET iv

ABSTRACT vi

TEŞEKKÜR viii

İÇİNDEKİLER ix

KISALTMALAR xiii

ŞEKİL LİSTESİ xv

TABLO LİSTESİ xvii

BÖLÜM 1 1

GİRİŞ 1

1.1 Konu 2

1.2 Amaç 3

1.3 Tezin Kapsamı 3

1.4 Literatür Özeti 4

1.5 Yöntem 4

BÖLÜM 2 5

KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR 5

2.1 Kablosuz Algılayıcı Ağların Tarihçesi 5

2.2 Algılama ve Algılayıcılar 7

2.3 Algılayıcıların Sınıflandırması 8

2.4 Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Haberleşme 9

2.5 Kablosuz Algılayıcı Mimarisi 10

2.5.1 Donanım bileşenleri 11

2.5.2 Sensor düğümlerin enerji tüketimi 16
2.6 Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Çözülmesi Gereken Sorunlar ve Kısıtlamalar 17
2.6.1 Güç/Enerji 18
2.6.2 Düğüm birim maliyetleri 18
2.6.3 Ortam (environment) 18
2.6.4 İletim kanalları 19
2.6.5 Tasarım kısıtları 19
2.6.6 Güvenlik 19
2.7 Uygulamalar 20
2.7.1 Trafik kontrol uygulaması 20
2.7.2 Endüstriyel kontrol uygulaması 20
2.7.3 Çevresel gözetim uygulaması 21
2.7.4 Sağlık hizmetleri uygulaması 21
2.7.5 Askeri uygulama alanı 21
2.7.6 Akıllı binalar 21
BÖLÜM 3 22
KABLOSUZ AĞLARDA KULLANILAN YÖNLENDİRME PROTOKOLERİ 22
3.1 Veri Merkezli (data centric) Protokoller 23
3.1.1 Yayılma (Flooding) 24
3.1.2 Dedikodu yöntemi (Gossiping) 26
3.1.3 SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation) 27
3.1.4 Doğrudan yayılma (Directed Diffusion - DD) metodu 28
3.1.5 ACQUIRE (Active Query Forwarding In Sensor Networks) 29
3.2 Hiyerarşik Yönlendirme (Hierarchical Routing) Protokolü 30
3.2.1 LEACH (Low energy-adaptive clustering hierarchy) protokolü 30
3.2.2 HCR (Hierarchical cluster-based routing) protokolü 36

3.2.2 PEGASIS (Power-efficient gathering in sensor information systems) protokolü..37

3.2.3 GABEEC algoritması....39

3.2.4 TEEN (Threshold-sensitive energy-efficient sensor network protocol) ve APTEEN (adaptive threshold-sensitive energy-efficient sensor network protocol)....40

3.3 Konum Temelli Yönlendirme (Location-based Routing) Metodu....41

3.3.1 PRADA (Probe-based distributed protocol for knowledge range adjustment)....41

3.4 Servis Kalitesi Temelli (QoS-Oriented) Protokoller....44

3.4.1 SAR (Sequential assignment routing) protokolü....44

3.4.2 SPEED (Stateless Protocol for End-to-End Delay) algoritması....45

3.5 Kablosuz Ağlarda Kullanılan Yönlendirme Protokollerinin Karşılaştırılması....46

BÖLÜM 4....47

GENETİK ALGORİTMALAR....47

4.1 Genetik Algoritmanın Tarihçesi....49

4.2 Genetik Algoritma Nedir?....49

4.3 Genetik Algoritmasının Kullanım Nedenleri....50

4.4 Genetik Algoritmanın Ana bileşenleri....51

4.4.1 Gen bileşeni....51

4.4.2 Kromozomlar (Chromosomes)....51

4.4.3 Popülasyon (Population)....52

4.4.4 Seçim (Selection)....52

4.4.5 Çaprazlama (crossover or recombination)....56

4.4.6 Çaprazlama sonucu....58

4.4.7 Mutasyon (Mutation) işlemi....59

4.5 Genetik Algoritmanın Uygulama Alanları....60

BÖLÜM 5....61

KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA ENERJİ VERİMLİ VERİ TOPLAMA....61

5.1 Optimum Kümelerin Genetik Algoritma ile Bulunması....61

5.1.1 Uygunluk fonksiyonu (Fitness evaluation) 63

5.1.2 Seçim (Selection) işlemi 66

5.1.3 Çaprazlama (Crossover) işlemi 66

5.1.4 Mutasyon (Mutation) 67

5.1.5 Algılayıcı ağlarda optimum kümelerin bulunmasında genetik algoritmanın uyarlanması adımları 68

BÖLÜM 6 69

KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA INGABEEC METODU İLE ENERJİ VERİMLİ VERİ TOPLAMA 69

6.1 Algılayıcı Ağlarda INGABEEC Algoritması 69

6.2 INGABEEC Algoritması Simülasyonu 73

6.3 INGABEEC Algoritmasının LEACH Metodu ile Karşılaştırılması 78

6.4 INGABEEC Algoritmasının GABEEC ile Karşılaştırılması 78

BÖLÜM 7 80

SONUÇLAR VE TARTIŞMA 80

KAYNAKLAR 82

ÖZGEÇMİŞ 85

KISALTMALAR

ACQUIRE	:	Active Query forwarding In Sensor Networks
ADC	:	Analog-to-sayısal converter
ADV	:	Advertisement
APTEEN	:	Adaptive threshold-sensitive energy-efficient sensor network protocol
BS	:	Base Station
CCD/CMOS	:	Charge coupled device/Complementary metal oxide semiconductor
CDMA	:	Code division multiple access
CPU	:	Central processing unit
DARPA	:	Defense Advanced Research Projects Agency
DD	:	Directed diffusion
DNA	:	Deoxyribonucleic acid
EPROM	:	Erasable programmable read only memory
GA	:	Genetic Algorithm
GPS	:	Global Positioning System
HCR	:	Hierarchical cluster-based routing
GABEEC		Genetic Algorithm Based Energy Efficient Clusters
INGABEEC	:	Internal Genetic Algorithm Based Energy Efficient Clusters
ISM	:	Industrial, Scientific, and Medical
KAA	:	Kablosuz Algılayıcı Ağlar
LEACH	:	Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy
MEM	:	Micro electro-mechanical
MEMS	:	Micro electro-mechanical systems
NVRAM	:	Non-volatile random-access memory
PEGASIS	:	Power-Efficient GAthering in Sensor Information Systems
PRADA	:	Probe-based distributed protocol for knowledge range adjustment

QoS	:	Quality of Service
RAM	:	Read Access Memory
REQ	:	Request
RFND	:	İlk düğümün kaçınca turda öldüğü (The round which first nodes die)
RLND	:	Son düğümün kaçınca turda öldüğü (The round which last node dies)
SAR	:	Sequential Assignment Routing
SOSUS	:	Sound Surveillance System
SPEED	:	Stateless protocol for end-to-end delay
SPIN	:	Sensor protocols for information via negotiation
TDMA	:	Time-division multiple access
TEEN	:	Threshold-sensitive energy-efficient network protocol
WSN	:	Wireless Sensor Network
DC-DC	:	Digital Converter – Digital Converter
MAC	:	Media access control

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Algılama işlem adımları	7
Şekil 2.2	Bir kablosuz algılayıcı mimarisi	10
Şekil 2.3	Algılayıcı bileşenleri	11
Şekil 2.4	Bir radyo iletişim sistemi	14
Şekil 2.5	Alıcı-verici yapısı	15
Şekil 2.6	Veri iletim aşamasında güç tüketimi	16
Şekil 2.7	MicaZ algılayıcı düğümün güç tüketimi dökümü	17
Şekil 3.1	Algılayıcı ağlarda yönlendirme protokolleri	22
Şekil 3.2	Veri merkezli yönlendirme illüstrasyon çizimi	23
Şekil 3.3	Yayılma	24
Şekil 3.4	Kablosuz ağlarda iç patlama (traffic implosion)	25
Şekil 3.5	Yayılma protokolünde kaynak körlüğü	26
Şekil 3.6	SPIN protokolünde bilgi dağıtımı	27
Şekil 3.7	Doğrudan yayılma(Directed diffusion)	29
Şekil 3.8	Leach kümeleme	31
Şekil 3.9	LEACH'de yer alan bir kümeleme örneği	32
Şekil 3.10	Mesajı ve iletmek için k ise harcanan enerji	33
Şekil 3.11	Leach kurulum ve iletişim safhaları	34
Şekil 3.12	LEACH algoritmasının karşılaştırılması	35
Şekil 3.13	HCR ve LEACH karşılaştırma grafiği	37
Şekil 3.14	PEGASIS protokolü	38
Şekil 3.15	TEEN algoritmasının kümeleme topolojisi	40
Şekil 3.16	PRADA protokolü topolojisi	43

Şekil 3.17	SAR protokolü topolojisi	45
Şekil 4.1	Örnek bir hücre yapısı	47
Şekil 4.2	Detaylı hücre yapısı	48
Şekil 4.3	Gen birimi	51
Şekil 4.4	Bir gen kümesisin ifade edilişi	51
Şekil 4.5	Örnek bir kromozom	51
Şekil 4.6	Seçim işlemi	53
Şekil 4.7	Seçim işlemi verisel gösterimi	53
Şekil 4.8	Rulet tekeri seçimi	55
Şekil 5.1	Kümeleme örneği	62
Şekil 5.2	Kablosuz algılayıcı ağın bit gösterimi	62
Şekil 5.3	Ölçeklendirme öncesi oransal dağılımı	64
Şekil 5.4	Ölçeklendirme sonra oransal dağılımı	65
Şekil 5.5	Kablosuz algılayıcı ağlarda kromozomlara çaprazlama uygulanması	67
Şekil 6.1	LEACH algoritmasında iletişim	70
Şekil 6.2	INGABEEC protokolü topolojisi	71
Şekil 6.3	Simülasyon programından ekran görüntüsü	75
Şekil 6.4	0.25 J, 0.50 J ve 1 J için program parametreleri	76

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Algılıyıcıların sınıflandırılması	9
Tablo 3.1	LEACH algoritmasının tur sayısı bakımından simülasyon sonuçları	36
Tablo 3.2	Kablosuz algılayıcı ağlardaki yönlendirme protokollerinin sınıflandırılması ve karşılaştırılması	46
Tablo 4.1	Örnek popülasyonlar	52
Tablo 4.2	Tek noktalı çaprazlama	57
Tablo 4.3	Çift noktalı çaprazlama	58
Tablo 4.4	Tek tip çaprazlama	58
Tablo 4.5	Döndürme	59
Tablo 4.6	Yer değişikliği	59
Tablo 4.7	Ters çevirme	60
Tablo 5.1	Mutasyon sonucu 2 bitin değişimi	67
Tablo 6.1	GABEEC ve LEACH simülasyon sonuçları	74
Tablo 6.2	Farklı başlangıç enerjileri kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları 1	76
Tablo 6.3	Farklı başlangıç enerjileri kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları 2	77

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Çağımızda yarı iletken teknolojisinde, işleme kapasiteleri artan, boyutları küçük ve düşük enerji tüketen sistemlerin üretilmesinde yaşanan gelişmeler kablosuz algılayıcı ağların yaygınlaşmasındaki faktörlerden olmuştur. Kablosuz algılayıcı ağlar, bir olayın fiziksel dünyada algılanması ve birbirleriyle veri alış verişi yapan algılayıcı düğümler aracılığıyla iletilmek istenen verinin bir veri merkezine iletilmesi için ölçüm, işlem, ve iletişim öğesi gibi enstrümanlari bünyesinde barındıran altyapıya denir. Günümüzde kablosuz ağlar anahtar teknolojilerden biridir. Bununda en önemli nedeni; yaşam, çevresel izleme ve koruma, üretim ve işletme varlık yönetimi, askeri, ulaşım ve sağlık gibi birçok sektörde uygulamalar oluşturabilme olanağı sağlamasıdır.

Kablosuz algılayıcı ağlar çok fazla miktarda algılayıcı düğümden oluşur. Sahip olduğu düğümler yardımıyla algılama, veri işleme ve iletişim özelliklerini kullanarak farklı konumlardaki basınç, ışık, ses, nem, sıcaklık, hareket gibi çevresel koşulları algılayabilmekte, toplanan veriler üzerinde hesaplama yapabilmekte ve yönlendirme teknikleri ile algılanan veriyi iletebilmektedir.

Bir algılayıcı ağın tasarımı, uygulaması ve operasyon yapabilmesi demek; sinyal işleme, ağ oluşturma, yönlendirme, gömülü sistemler, bilgi yönetimi ve işleme gibi birçok disiplinin kesişmesi anlamına gelmektedir. Kablosuz algılayıcı ağlar genellikle kaynak kısıtlı ortamlarda istihdam edilmektedir ve sınırlı bir enerji (pil) ile çalıştırılmaktadır.

Kablosuz algılayıcı ağların geniş uygulama alanları olmasına rağmen kısıtlı enerji kaynaklarına sahip olması, ağ içinde bulunan algılayıcı düğümlerin hesaplama ve haberleşme yeteneklerinin en uygun (optimum) şekilde kullanılması ihtiyacını doğurmaktadır. Enerjinin daha etkin kullanımına yönelik olarak donanımların enerji kullanım kapasitelerini azaltma, iletilecek bilginin minimum boyutta gönderilmesi için sıkıştırma, verinin işlenme sürecinin iyileştirilmesi, verinin iletilmesi aşamasındaki

yönlendirme teknikleri ile verinin en az iletim maliyeti ile hedefe ulaştırılması konuları yoğun olarak üzerinde araştırma yapılan konular arasında yer almıştır.

Özellikle algılayıcı düğümlerinin veri iletişimi aşamasında algılama yapılan sensörden hedef düğüme ulaştırmada kurulacak en verimli kümeleme, yönlendirme modelinin gerçekleştirilmesi keşfi, ideal enerji korunumu açısından son derece önemli bir konudur. Algılayıcı düğümlerinin az miktarda enerji kullanımı, ağ yaşam ömrünü doğrudan etkilemesi ve istenen bölgeden daha uzun süre veri toplama akışının sağlanması anlamına gelmektedir.

Literatürde kablosuz algılayıcı ağlarda hassas bir konu olan enerji tüketimi ve enerji dağılımını en iyi şekilde sağlanması probleminin çözümü için araştırmacılar tarafından LEACH, TEEN (Threshold-sensitive energy-efficient network protocol), PEGASIS, GABEEC gibi gücün idareli kullanımı ve güç yönetimin önem verildigi protokol ve algoritma modelleri öne sürülmüştür. Bu çalışmada da kablosuz algılayıcı ağların mimarisi, tasarım ölçütleri, yönlendirme yapılabilmesi için gereksinimleri incelenmiş ağın yaşam süresini uzatacak ve algılayıcı düğümlerinin veri iletimi aşamasında harcadıkları enerji miktarını azaltacak yeni bir yöntem sunulmuştur.

1.1 Konu

Kablosuz algılayıcı ağların donanım, yönlendirme ve yazılım kısıtları dikkate alınarak verimli ve en uzun şekilde çalışmasını devam ettirebilmesi hedeflenen bir amaçtır. Tipik bir kablosuz algılayıcı ağda kablosuz bir ortam aracılığı ile birbirine bağlanmış pille çalışan binlerce algılayıcı düğümün bir araya getirilmesi düşünüldüğünde düğümlerin enerji verimli kullanımı ve kendi ağlarını organize edebilmeleri için bir modelin geliştirilmesi zorunlu olmaktadır. Enerji verimliliği evrensel bir kısıtlama olarak bilgisayar tabanlı sistemlerde olduğu gibi kablosuz ağ modelinin kurulmasında da gözönünde bulundurulması gereken etkili aktörlerin başında gelmektedir.

Genetik algoritmalar son yıllarda eniyileme (optimizasyon) gerektiren büyük ölçekli sezgisel eniyileme problemlerinin ve yüksek kısıtlı mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Genetik algoritmaların algılayıcı ağlarda kullanılması 20

yıldır popüler olan bir konudur ve kablosuz algılayıcı ağların yaşam süresinin uzunluğunu arttırmada önemli katkısı vardır [2-5].

Tez çalışmasında bir kablosuz sensör ağın toplam ağ yaşam süresini iyileştirmek amacıyla INGABEEC yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem genetik algoritma tabanlı olup enerji verimli bir çalışma şekli sunmaktadır.

1.2 Amaç

Kablosuz algılayıcı ağlarda önemli çalışma konularından biri olan enerji verimli veri toplama ve iletişim için farklı pek çok çalışma gerçekleştirilmektedir. Düşük enerjili adaptif kümeleme hiyerarşisi alanında yapılan çalışmalardan temel kabul edilen algoritma LEACH algoritmasıdır [6]. LEACH algoritması, bu alanda ortaya konulan yeni algoritmaların performanslarının karşılaştırılması noktasında kullanılan başlıca algoritmadır.

Bu tez çalışmasında verimli enerji kullanımı ile kablosuz ağlarda verinin toplanması için bir yöntemin ortaya konulması amaçlanmaktadır. Çalışma içerisinde ortaya çıkan yöntemin LEACH ve GABEEC algoritmalarıyla performans karşılaştırılması yapılmıştır. Yöntemle ilgili olarak bir simülasyon geliştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

1.3 Tezin Kapsamı

Tez sürecinde tezin kapsamını oluşturan çalışmalar aşağıda verilmektedir:
Kablosuz algılayıcı ağların yapısı ve kablosuz ağlarda enerji verimli yönlendirilme algoritmalarının incelenmesi yapılmıştır. Tezde ortaya konulan yeni yöntemin temelini teşkil eden LEACH ve GABEEC algoritmaları detaylı incelenip birbirleriyle karşılaştırılması yapılmıştır.

Önerilen INGABEEC yöntemi kurularak, yöntemi doğrulamak için Windows'ta Visual C# program geliştirme ortamı kullanılarak bir simülatör programı geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemle belirli aralıklarda değerlere göre program çalıştırılıp, simülasyon sonuçları diğer ilgili çalışmalardan alınan sonuçlarla karşılaştırılması yoluna gidilmiştir.

En son aşamada tezde sunulan çalışma özetlenmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

1.4 Literatür Özeti

Literatür taramasında çeşitli bilimsel dergi makalelerinden, kitaplardan ve konferans/sempozyum bildirilerinden yararlanılmıştır. Literatür çalışmalarında da bu alanla ilgili olarak yöntemlerin doğrulanmasında simülasyon programları geliştirilmekte ve bunlar kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında da benzeri bir yol takip edilerek simülasyon programı geliştirilmiştir ve kullanılmıştır.

1.5 Yöntem

Bu bölüme kadar çalışmanın konusu hakkında başlangıç bilgileri verilmekte ve tez çalışmasının amacı anlatılmaktadır. Tezin sonraki bölümlerinde bu amaca ulaşmada kullanılan çalışmalar, yöntemler ve sonuçlarına değinilecektir.

Tezin ilk bölümünde, kablosuz algılayıcı ağlar hakkında giriş niteliğinde bilgi verilmektedir. Tezin ikinci bölümünde, kablosuz algılayıcı ağlar kavramı detaylı bir şekilde incelenmektedir. Kablosuz ağları oluşturan bileşenler, kablosuz ağlarda çözülmesi gereken sorunlar ve kablosuz ağların kullanım alanları anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde kablosuz ağlarda kullanılan yönlendirme protokollerinden bahsedilmektedir. Dördüncü bölümde, genetik algoritma kavramı anlatılmakta ve bileşenleri hakkında detaylı bilgi verilmektedir. Beşinci bölümde, bu tezin literatüre asıl katkısını oluşturan "INGABEEC" yöntemi ayrıntılarıyla açıklanmaktadır. Sunulan yöntemle ilgili simülasyon sonuçları verilmektedir. Altıncı bölümde ise elde edilen sonuçlar özetlenmektedir.

BÖLÜM 2

KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR

Kablosuz algılayıcı ağlar; algılama, ölçüm, hesaplama ve haberleşme özelliklerini üzerinde taşıyan, oluşan fiziksel dünya hakkında gerçek zamanlı bilgileri belirli bir disipline göre düğüm adı verilen cihazlarla toparlayabilme yeteneğine sahip yapıya verilen isimdir. Algılayıcıların algılama, veri işleme gibi giderek artan yetenekleri kablosuz algılayıcı ağların yaygın kullanımına yardımcı olmaktadır. Uygulama alanlarının çeşitliliğinden dolayı günümüzde gelişmiş ve son derece etkili iletişim protokollerine ihtiyaç vardır.

Son yıllarda elektronik olarak uzaktan kontrol edilebilen ve hareketli parçalara sahip mikro ölçekli sistemlerdeki ilerlemeler ve düşük gerilimle çalışan birbirleriyle bağlantılı sayısal (digital) mikro devreler, mikro algılayıcıların geliştirilmesine yol açmıştır. Mikro algılayıcılar veri işleme ve haberleşme yeteneğine sahiptir [7]. Algılayıcılar konumlandırıldığı bölgeden çalışma karakteristiğine göre verileri toplayarak elektriksel sinyale çevirmektedir. Kablosuz algılayıcı ağlar, uygulamanın yapısına göre değişmekle beraber, çok sayıda algılayıcı denilen küçük cihazların bir araya getirilmesiyle oluşur. Algılayıcılar veri üretici olduğu gibi ağda yönlendirme işlemini de yaparlar ve kablosuz algılayıcı ağları oluşturmanın vazgeçilmez unsurlarıdır.

2.1 Kablosuz Algılayıcı Ağların Tarihçesi

Birçok gelişmiş teknolojiler gibi, kablosuz ağların ilk kullanım yeri askeri ve ağır endüstriyel uygulamalardır. Günümüzde askeri alanda önemli bir kullanım alanı olmakla birlikte hafif sanayi ve tüketici uygulamalarında kullanılması çok yaygındır. İlk kablosuz algılayıcı ağı Ses Gözetleme Sistemi (Sound Surveillance System - SOSUS), Sovyet denizaltılarını tespit ve izlemek için 1950' lerde, Amerika Birleşik Devletleri tarafından geliştirilmiştir [8]. Atlantik ve Pasifik okyanuslarına dağıtılmış olan batık

akustik algılayıcılar SOSUS sistemi içinde kullanılmıştır. Bu algılama teknolojisi halen denizaltı yaban hayatı ve volkanik etkinlikleri izleme için kullanılmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı (Defense Advanced Research Projects Agency - DARPA), 1980 yılında dağıtılmış Sensor Silicon Laboratories, Inc Rev 1.0 2. Ağ (Domain Name System - DSN) programı başlatmıştır. Bu çalışma resmi olarak dağıtılmış / kablosuz uygulanmasındaki zorlukları keşfetme yolunda önemli bir adım oluşturmuştur. Alan adı sisteminin (DNS) doğması Carnegie Mellon Üniversitesi ve Massachusetts Institute of Technology Lincoln Lab gibi ortak üniversitelerin akademik olarak etkisi, sivil ve akademik olarak bu teknolojinin kendisine yer edinmesine neden olmuştur. Hükümetler ve üniversiteler, hava kalitesinin izlenmesi, orman yangınlarının algılanması, doğal afet önleme, hava istasyonları ve yapısal izleme gibi uygulamalarda kablosuz algılayıcı ağları kullanmaya başlamışlardır. Mühendislik öğrencileri ve günümüzün teknoloji devleri kurumsal dünya için örnek uygulamalara yol açacak araştırmalarda önemli rol oynadılar. IBM ve Bell Labs, güç dağıtımı, atık su arıtma ve özel fabrika otomasyonu gibi ağır endüstriyel uygulamalarda kablosuz algılayıcı ağların kullanımını teşvik etmişlerdir [9, 10]. 20. yüzyıla kadar, kablosuz algılayıcı ağların (KAA) kullanıldığı büyük hacimli endüstriyel ve bireysel uygulamaları görmek pek mümkün olmadı. KAA'nın yapısında olan mühendislik problemlerini çözmek için çeşitli girişimler yapılmıştır. Örneğin:

- UCLA Wireless Integrated Network Sensors (1993),
- University of California at Berkeley PicoRadio program (1999),
- Adaptive Multi-domain Power Aware Sensors program at MIT (2000),
- NASA Sensor Webs (2001),
- ZigBee Alliance (2002),
- Center for Embedded Network Sensing (2002).

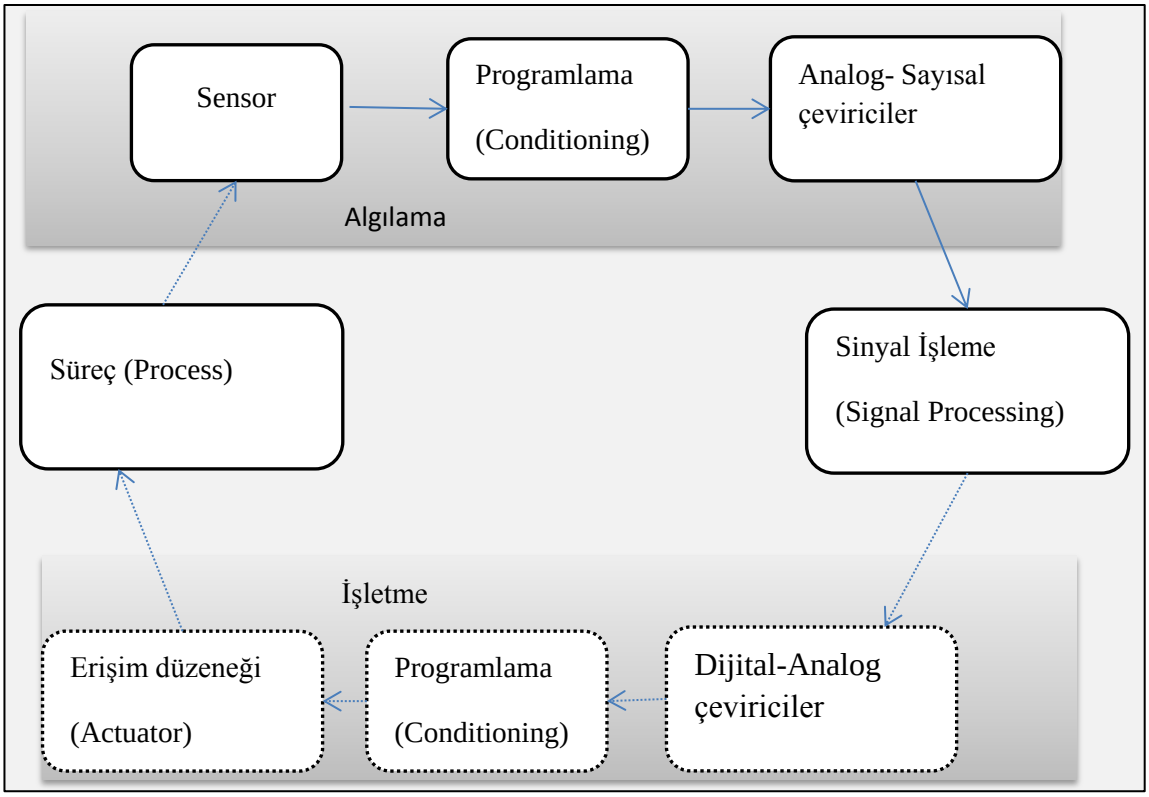
Bu girişimlerin ve standartlar kuruluşların çoğunun hedefi, geliştirme ve bakım görevlerini basitleştirerek algılayıcı başına maliyeti ve enerjiyi azaltarak hafif sanayi ve son kullanıcı uygulamalarında KAA'ların yüksek hacimli dağıtımlarını sağlamaktır. Günümüzde Mikro-Elektro-Mekanik sistemleri (Micro-Electro-Mechanical Systems -

MEM) teknolojisinde yaşanan gelişmeler ve KAA'nın dağıtım maliyetlerinin azaltılması işlevsellik alanlarının gelişmesine yol açmıştır [9, 10].

2.2 Algılama ve Algılayıcılar

Algılama, fiziksel bir nesne veya süreç hakkında bilgi toplamak için kullanılan bir işlemdir. Örneğin bir cismin hareket etmesi, sıcaklığın düşmesi, basıncın artması, sismik değişim, hız, nem değişimi, ışık gibi değerlerin algılanması görevini yerine getiren cihaza algılayıcı ismi verilir. İnsan vücudu çeşitli algılayıcılarla donatılmıştır. Örneğin; göz, optik bilgiyi toplamakta, kulaklar ses ve burun koku gibi verileri toplamaktadır. Teknik açıdan algılayıcı, fiziksel dünyada oluşan olayları veya değerleri ölçebilir ve sinyaller haline çevirebilir.

Bir algılama işleminin adımları Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Algılama işlem adımları

Şekil 2.1'de yer alan süreç, fiziksel dünyayı temsil eder ve sensörler tarafından algılanmaktadır. Çevrelerinde olup bitenler fiziksel ya da kimyasal büyüklükler şeklinde olup süreç aşaması içinde yer almaktadır. Süreç aşamasında elde edilen bulgular algılayıcı vasıtasıyla elektrik sinyallerine çevrilir ve Programlama (Conditioning) ünitesine (devresine) iletir. Programlama devresinde ise sinyalin ileriki aşamalarda kullanılması için sinyal iyileştirme ("signal condition") metodu uygulanır. Diğer bir işlem ise kuvvetlendirmedir (amplification). Kuvvetlendirme sonrası süzme (filter) gibi istenmeyen gürültü aralığını çıkartacak düzenleme yapılır. Süzme sonrası analog sinyal, sayısal sinyale Analog-Sayısal çeviriciler sayesinde dönüştürülür. Sinyal artık depolama veya görsel olarak işleme açısından uygun hala gelmiştir [11]. Bazı kablosuz ağlarda dış dünyadaki olayların kablosuz ağlarla kontrol edilmeside istenebilir. Bunu gerçekleştirebilmek için verilen komut bilgisinin erişim ortamıyla iletişim kurmasında gerekli olan biçime çevrilmesi için verinin algılanmasına benzer bir yapıdan geçirilmesi gerekmektedir. İletime hazır sayısal veri Sayısal-Analog çevirici ve Programlama bölümlerinden geçirilerek dış dünya ile iletimde olan erişim düzeneğinin (actuator) algılayacağı sinyal şekline dönüştürülür.

2.3 Algılayıcıların Sınıflandırması

Fiziksel olarak izleme yapılacak olayın tipine göre algılayıcılar sınıflandırılabileceği gibi, besleme gerilimine göre aktif ve pasif algılayıcılar olarak da sınıflandırılabilirler. Aktif algılayıcılar sinyal üretebilmesi için harici bir güç kaynağına ihtiyaç vardır ve düşük sinyal değerlerini ölçmede kullanılır. Analog veya sayısal olarak sinyal çıkışı alınabilir. Sonar ve radar algılayıcılar bu tür algılayıcıdır. Pasif algılayıcılar sinyal çıkışı alabilmek için harici bir güç kaynağına ihtiyaç duymaksızın fiziksel dünyadan alınan verileri istenen çıkış değerine dönüştürürler. Isı algılayıcılar ve basınç algılayıcılar bu tipe örnek olarak verilebilir. Tablo 2.1'de bazı algılayıcılar ve kullanımları gösterilmektedir.

Tablo 2.1 Algılıyıcıların sınıflandırılması

Kullanımı	**Algılıyıcı ismi**
Kimyasal	pH algılayıcı, elektrokimyasal algılayıcı
Dokunsal	Tampon
Sıcaklık	Termistörler
Basınç	Barometre
Optik, ışık	Fotodiyodlar, fototransistörler, kızılötesi algılayıcı
Akustik	Mikrofonlar
Nem	Kapasitif ve rezistif algılayıcı, MEMS tabanlı nem algılayıcıları
Radyasyon	İyonizasyon dedektörleri
Konum	GPS, ultrason tabanlı algılayıcılar, kızılötesi tabanlı algılayıcılar, İnklometreker
Akış	Gaz ölçme, hava akışölçer.
Nesne Tanıma	CCD/CMOS (Charge coupled device/Complementary metal oxide semiconductor)

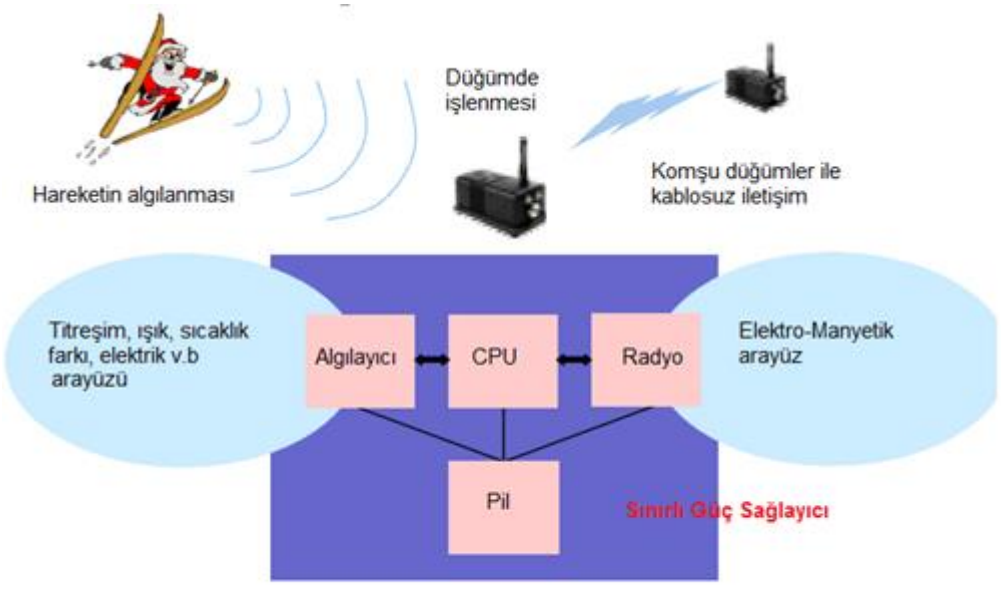
2.4 Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Haberleşme

Kablosuz algılayıcı ağları oluşturan algılayıcı düğümler kablosuz iletişim yapma yetenegine sahip olup genellikle radyo teknolojisi ile iletişim kurmaktadır. Enerji depolama kapasiteleri az olup, sınırlı veri saklama ve işleme özellikleri olan cihazlardır. Bu cihazlar algılama alanındaki olayları algılamak amacıyla rastgele veya otomatik olarak konumlandırılabilir. Uygulama çeşidine göre sayıları yüzlerce veya binlerce olabilmektedir. Gözlem yapılacak ortama dağıtılabilen bu algılayıcılar, birbirlerini tanıyabilmektedirler ve ortak bir çaba sarf ederek görev alanında ölçüm vazifesini gerçekleştirebilmesi hedeflenmektedir. Algılayıcılar yardımıyla fiziksel dünyadan elde edilen verilerin, bu sistem içersinde kablosuz bir biçimde düğümler arası işbirliği yöntemiyle toplayıcı noktasına aktarılması gereklidir.

Kablosuz algılayıcı ağlar; algılama, veri ve haberleşme işlemleri gerçekleştirebilen çok sayıda algılayıcı elemanlarının bir araya gelmesiyle oluşturulan ağ yapısına denir. Klasik bilişim ağ yapılarından farklılık arz eden kablosuz algılayıcı ağ yapıları için etkin haberleşmenin sağlanabilmesi amacıyla veri merkezli, hiyerarşik, konum temelli, servis kalitesi temelli yönlendirme algoritmaları geliştirilmiştir.

2.5 Kablosuz Algılayıcı Mimarisi

Bir kablosuz algılayıcı ağ yapısı oluşturabilmek için hedeflenen görevi yerine getirecek birbirinin aynı karakteristiğe sahip algılayıcı düğümlerin üretilmesi gerekebilir. Düğümler belirli bir uygulamanın özel ihtiyaçlarına göre farklılık gösterebilir. Örneğin uygulama bazlı olarak küçük, ucuz veya enerji verimli olması tercih edilebilir. Belirtilmiş olan faktörlere göre hesaplama, iletişim olanakları ve bellek kaynaklarının nasıl bir donanımla sağlanacağı bilgisi ortaya konulmalıdır. Belirtilen faktörleri göz önünde tutarak, ana hatlarıyla kablosuz algılayıcı mimarisi Şekil 2.2'te gösterilmektedir.

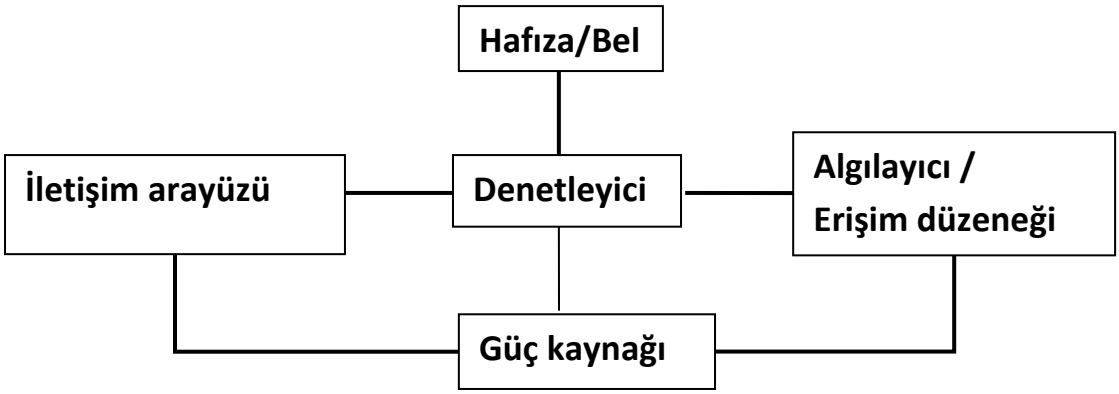


Şekil 2.2 Bir kablosuz algılayıcı mimarisi [12]

Şekil 2.2'de çizildigi gibi kablosuz algılıyıcı ağ algılama (sensor), CPU (Central processing unit), pil ve radyo kavramlarından oluşan basit bir denklem üzerine kuruludur. Bu denklemde algılama birimi ışık, sıcaklık farkı, titreşim, su, hava veya gaz akışı, elektrik veya manyetik alan gibi gözlemlenecek alanın fiziksel verisini ölçer veya algılar. Elde edilen veri CPU birimi tarafından işlenir. İşlenen veri radyo bileşeni ünitesi tarafından radyo dalgası formuna dönüştürülerek toplayıcıya aktarılır.

2.5.1 Donanım bileşenleri

Tipik olarak bir algılayıcı düğümü, hesaplama, depolama, iletişim ve algılama görevlerini gerçekleştirebilme yeteneğine sahiptir. Kablosuz algılayıcı cihazını oluşturan önemli bileşenler Şekil 2.3'te gösterilmektedir. Bir kablosuz algılayıcı cihazı algılama, depolama, işlem birimi, alıcı-verici ünitesi ve güç ünitesi adı verilen beş temel bileşenden oluşmaktadır. Algılama ünitesi kablosuz algılayıcı düğümün ana bileşenidir. Kablosuz algılayıcının iletişim yetenekleri diğer herhangi bir gömülü sistemden en büyük farkıdır. Algılama birimi, fiziksel dünyadan bilgi toplama yetenegine sahip birden fazla algılayıcı birimi içerebilir. Her bir algılayıcı birimi, sıcaklık, nem veya ışık gibi belirli bir tür veriyi toplamadan sorumludur ve genellikle algılayıcı ve analog-sayısal dönüştürücü (anolog to digital converter) adı verilen iki alt birimden oluşmaktadır. İşlem birimi üzerinde kablosuz algılayıcı düğümün ana kontrol işlemi sağlanır ve her bileşen yönetilir. İki kablosuz algılayıcı düğüm arasındaki iletişim alıcı-verici üniteleri tarafından yürütülür. Kablosuz algılayıcı düğümdeki her bileşenin işlem yapabilmesi için gerekli enerji güç ünitesi tarafından sağlanmaktadır.



Şekil 2.3 Algılayıcı bileşenleri

2.5.1.1 Denetleyici/kontrolör (controller)

Denetleyici, kod yürütme yeteneğine sahip olup ilgili verileri işleme görevini yerine getiren önemli bir bileşendir. Algılayıcılardan gelen verileri toplama, bu verilerinin işlemini gerçekleştirme, bilginin ne zaman ve nereye gönderileceğine karar karar verme gibi işlevi vardır. Ağdaki diğer algılayıcı düğümlerden veri alır ve erişim düzeneğinin davranışları üzerinde karar verir. Denetleyici, algılayıcıların işlemcisidir ve uygulama tipine göre farklı modelleri vardır. Algılayıcı ağlarda kullanılan denetleyiciler genel olarak mikro denetleyiciler diye adlandırılır. Algılayıcı bir düğüm için hangi tür bir mikro denetleyicinin seçileceği, esneklik, performans, enerji verimliliği ve maliyetlere göre belirlenir. Mikro denetleyiciler belirli bir kısmı hariç enerji harcanışını en aza indirmek için uyku moduna geçebilmesinden dolayı kablosuz ağlar için uygun bir adaydır. Gerekli olan durumlarda mikro denetleyiciler sayısal sinyal işleme yeteneğine sahiptir.

Örnek bazı mikro deneticiler aşağıda verilmektedir [13].

- ARM core 12 MHz,
- Renesas M16C,
- TI MSP430G2955,
- MSP430F5437,
- PIC18LF8722,
- Intel StrongARM,
- Atmel Atmega.

2.5.1.2 Bellek (memory)

Algılayıcı düğümlerde kullanılan mikrokontrollerin çalıştırdığı programlar veya programa ait bilgileri geçici veya kalıcı olarak saklayabilme özelliği olan, fiziksel düzenekleri ifade eder. Bellek geçici ve geçici olmayan hafıza olabilir. Geçici bellek, elektronik donanım aygıtı güç kaybettiğinde içeriğini kaybeder. RAM (Read Access Memory) bir geçici bellek için iyi bir örnektir. Geçici olmayan hafıza bazen NVRAM

(Non-volatile random-access memory) olarak ifade edilir ve güç kaybı olduğunda içeriğini tutan bellektir. Geçici olmayan hafıza çeşitlerine EPROM (Erasable programmable read only memory), FLASH örnek verilebilir. Flash hafıza, üretim maliyetin düşük olması ve depolan veriye hızlı erişim için durağan (solit-state) mimariya sahip olmasından dolayı algılayıcı düğümlerde yaygın olarak kullanılır. Flash bellek tipinde verinin okuma ve yazma erişimi RAM'le karşılaştırıldığında yavaştır. Bu gecikmeler kısıtlı enerji ile çalışan algılayıcı düğümlerinin yaşam süresini etkileyeceğinden optimum kapasiteli tipin seçilmesinin önemini arttırmaktadır. Kablosuz ağlarda kullanılan algılayıcılardaki bellek gereksinimleri daha çok uygulamaya bağlıdır.

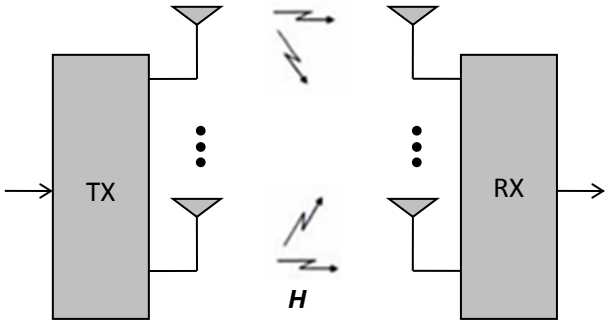
2.5.1.3 Algılayıcı (sensor) ve erişim düzeneği (actuators)

Fiziksel dünyada değişen basınç, nem, sıcaklık ve benzeri olayları algılayan, algılama sonucunu ölçülebilir veri şekline çeviren donanımsal birimdir. Algılayıcı ve erişim düzeneği olmadan kablosuz algılayıcı görevini yerine getiremez. Uygulama şekline göre bir algılayıcı ve erişim düzeneğinin tipleri vardır [14].

- **Pasif, çok yönlü:** İhtiyaç duydukları enerjiyi çevre koşullarından alır. Pasif olarak çalışırlar ve ölçüm yapılan ortamı etkilemeden veri toplaması yapılır. Işık, termometre, mikrofon örnek olarak verilebilir.
- **Pasif, dar-ışın (narrow-beam)**: Bu algılayıcı tipide pasiftir fakat iyi tanımlanmış hareket izleme ölçümü yapabilmektedir. Kamera bu algılayıcı tipi için örnek olabilir.
- **Aktif algılayıcılar:** Aktif algılayıcılar çevreyi aktif olarak inceler. Örneğin Radar uygulama tipinde şok dalgaları üretilir. Erişim düzeneği bir çeşit algılayıcıdır [15].

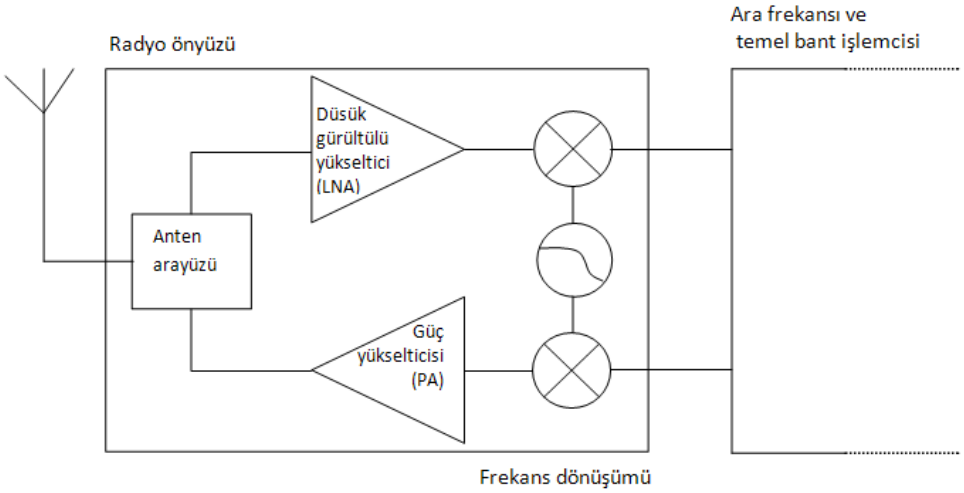
2.5.1.4 İletişim cihazı (Communication device)

İletişim birimi, düğümler arasında veri alışverişi için kullanılır. İki düğüm arasındaki haberleşme radyo frekansları, optik iletişim, ultrasonik ve manyetik induktans metotlarından biri vasıtasıyla gerçekleştirilebilir. Uzun mesafe iletimi, fazla miktarda veri göndermesi ve makul enerji harcaması gibi nedenlerden dolayı radyo frekansı ile haberleşme kablosuz algılayıcı ağlarda genel olarak seçilen iletişim şeklidir. 915 MHz ve 2,4 GHz endüstriyel, bilimsel ve tıbbi (Industrial, Scienfic and Medial - ISM) bant yaygın algılayıcı ağlar için önerilmiş frekans aralığıdır [16].



Şekil 2.4 Bir radyo iletişim sistemi [17]

İletişim birimi verici (transmitter) ve alıcı (receiver) adı verilen devrelerden oluşur. Sayısal ve analog sinyalleri hem ileten hem de alan cihaza alıcı-verici (transceivers) denir. Her bir algılayıcı düğümün alıcı-verici ünitesine sahip olması gerekmektedir. Temel görevi bir mikroişlemciye gelen radyo dalgalarını bit akışına dönüştürmek veya mikro işlemciden çıkan byte dizisini radyo dalgalarına dönüştürmektir. Genelde yarı çift yönlü (half dublex) haberleşme yapar. Şekil 2.5'te bir alıcı-vericinin yapısı çizilmiştir [18].



Şekil 2.5 Alıcı-verici yapısı [18]

Radyo frekansı ön uç (radio frequency front end), gerçek radyo frekans bandında analog sinyal işlemini gerçekleştirir. Temel bant işlemcisi (baseband processor) sayısal alanda tüm sinyal işlemini gerçekleştirir ve bir algılayıcı düğümün işlemci veya diğer sayısal devrelerle iletişimini sağlar [15]. Birçok verici dört operasyonel devrede ayırt edilebilir [14].

- İletme (Transmit),
- Alma (Receive),
- Bekleme(Idle),
- Uyku (Sleep).

2.5.1.5 Algılayıcı düğümlerin güç kaynağı (Power supply of sensor nodes)

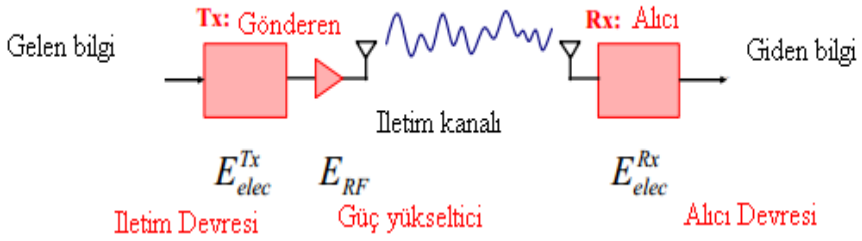
Güç kaynağı ünitesi, algılayıcı bir düğümün diğer bileşenlerin çalışması için gerekli olan enerjiyi sağlamakla görevlidir. Pil (batary) ve DC-DC (Digal to Digital Converter) dönüştürücü içerir. Bazı durumlarda voltaj düzenleyici (voltage regulator) bileşeni de içerebilir.

Algılayıcı düğümler şarj olan veya bitimli pil ile beslenebilir. Çeşitli faktörler algılayıcı düğümde kullanılan pilin kalitesini etkilemektedir ve bunlardan en önemlisi maliyettir. Geniş alanlı bir kablosuz ağda binlerce algılayıcı ile inceleme yapılması gerektiği durumlarda maliyet etkenin önemi çok daha fazla anlaşılır.

Bir algılayıcı düğüm için güç kaynağı olarak sadece pil direkt olarak yeterli değildir. Kapasitenin düşmesi ile pilin geriliminin azaltılması tipik bir sorundur. Bir DC - DC dönüştürücü düğümün devresine verilen gerilimi regüle ederek bu sorunun üstesinden gelmek için kullanılabilir [15].

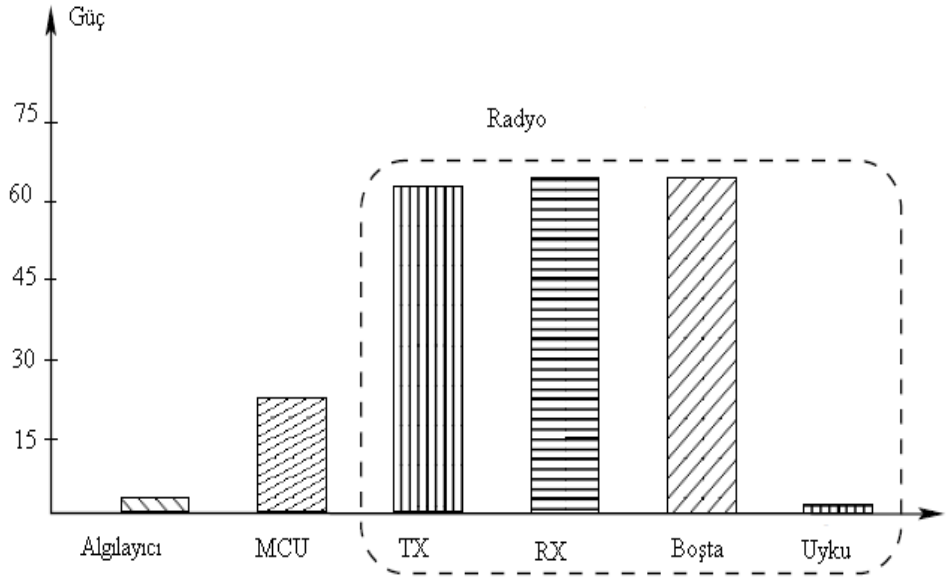
2.5.2 Sensor düğümlerin enerji tüketimi

Genelde bir kablosuz algılayıcı düğümü 0.5Ah, 1.2V değerlerine sahip kısıtlı gerilim ve akım değerleriyle donatılmış bir güç kaynağıyla çalışır. Kablosuz algılayıcı ağların yaşam süresi pil yaşam süresiyle doğrudan orantılıdır ve bir algılayıcı düğümün pilini değiştirmek genelde mümkün değildir. Bu durum kaçınılmaz olarak her düğümün çalışması sırasında enerji tüketen kaynakların verimli kullanılması ve enerji verimli kullanımı için güçlü analizlerin yapılması ihtiyacığını doğurur.



Şekil 2.6 Veri iletim aşamasında güç tüketimi

Bir algılayıcı düğümün ana görevi, olayları algılamak, yerel veri işlemeyi gerçekleştirmek ve veri iletimini sağlamaktır. Bunu gerçekleştirirken de veri iletimi aşamasında güç tüketimini etkileyen birimlerin gösterilmiş olduğu grafik Şekil 2.6'da çizilmiştir. Algılayıcılardaki güç tüketimi işlemci, radyo iletişim ve veri işleme işlemlerinde gerçekleşmektedir [19]. Bir MicaZ algılayıcı düğümün güç tüketimi dökümü Şekil 2-7'da gösterilmektedir.



Şekil 2.7 MicaZ algılayıcı düğümün güç tüketimi dökümü

2.6 Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Çözülmesi Gereken Sorunlar ve Kısıtlamalar

Kablosuz algılayıcı ağlar işlevsel olarak diğer dağıtık sistemlerle benzerlikler göstermekle birlikte, mimari yapısı açısından çözülmesi gereken sorunları ve kısıtları bünyesinde barındırmaktadır. Kablosuz algılayıcı ağlarda çözülmesi gereken sorunlar ve kısıtların en önemlileri aşağıda ifade edilmektedir.

- Güç / Enerji faktörü,
- Düğüm maliyetleri,
- Çevresel faktörler,
- İletim kanalı faktörü,
- Topoloji ve düğüm dağıtım yönetim karmaşıklığı,
- Standartlar ve özel çözümler farklılığı,
- Ölçeklenebilirlik sorunu,
- Sınırlı fonksiyonel yetenekler.

2.6.1 Güç/Enerji

Algılayıcı düğümlerin yaşam süresi güç kaynağının yaşam süresi ile direkt bağlantılıdır. Algılayıcı düğümler fiziksel yapısı itibarıyla kısıtlı bir devre mimarisine sahiptir. Bu mimari içinde genelde kapladığı alan itibarıyla ömrü uzun olmayan küçük pillerin kullanılmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Ağ mimarisi dikkate alındığında pillerin ilerleyen zamanlarda değiştirilmesi veya tekrar şarj edilmesi hemen hemen imkânsızdır. Bu durum algılama, haberleşme, veri işleme aşamasında kurulacak modelin enerji korunumunu maksimize edecek şekilde bir tasarımın çıkartılması sonucunu doğurmaktadır.

Örneğin, algılayıcı düğümün fiziksel katmanında yapılan seçimler tüm cihazın enerji tüketimi ve daha yüksek seviyeli protokol tasarımını etkileyen bir faktördür [20].

2.6.2 Düğüm birim maliyetleri

Algılayıcı ağların uygulama tipine göre çok fazla sayıda algılayıcı düğümden oluşma ihtimali bulunmaktadır. Algılayıcı ağın tamamı dikkate alındığında bir düğümün maliyeti toplam maliyet içinde önemli bir yer tutar.

2.6.3 Ortam (environment)

Algılayıcı düğümlerin bakım ve onarım altyapı desteği olmadan uzak bölgelerde ve zorlu ortamlarda çalışması gerektiği durumlar vardır. İnsan müdahalesi olmadan çevresel değişikliklere uyum sağlayacak şekilde kendilerini yapılandırması, arıza gibi istenmeyen durumlarda ağın işlevselliğinin bir şekilde yönetiliyor olması gerekmektedir [21]. Örneğin, afet alanlarının değerlendirmesi için algılayıcılar ilgili bölge üzerinde uçaklardan atılmış olabilir. Birçok algılayıcı düğümleri böyle bir dağıtım durumunda hayatta olmayabilir ve algılama faaliyetlerinin başlaması mümkün olmayabilir. Ancak, kalan düğümlere yeni bir kurulum gerçekleştirebilmeli ve komşu düğümlerle iletişim kurulması da dâhil algılama sorumluluklarının başlatılabilmesi gerekmektedir.

2.6.4 İletim kanalları

Kablosuz ağlarda algılayıcıların haberleştiği kablosuz kanal doğada yeterince güvenilir bir ortamda değildir. Bir paketin alıcıya ulaşmasını bir takım olağan dışı etken engelleyebilir. Bu etkenlerden biri parazit durumun oluşmasıdır. Parazit oluşumu iki ayrı vericinin aynı kanal üzerinde veri iletişimi gerçekleştirme aşamasında sinyallerin üst üste (overlap) gelmesidir. Bir verici için parazit oluşması ek bir zaman ve enerji maliyetine yol açar. Eğer MAC (Media Access Control) aşamasında zamanlama çekişme-bağımsız (contention-free) olarak ayarlanmaz ise parazitin kaynağı aynı ağ olabilir. Bu durum özellikle iki vericinin aynı alıcıyı dinlediği durumlarda sorunlara yol açar. Bu durum "gizli terminal sorunu" olarak bilinir.

Parazit de aynı radyo alanda faaliyet gösteren bir başka ağdan ya da aynı frekans bandını kullanarak farklı bir radyo teknolojisinde de gelebilir. Bu duruma ise "Dış müdahale" adı verilir [22].

2.6.5 Tasarım kısıtları

Bir algılayıcı 2x5x1 cm veya 1x1x1 cm boyutlarında alanı olan bir modül içine sığacak şekilde yerleştirilmesi gerekebilir. Bu modül içinde bir güç ünitesi, bir algılama birimi, bir işleme ünitesi ve bir alıcı-verici ünitesi barındırması gerekmektedir. Bunlara ilave olarak konum bulma sistemi, bir kontrol erişim düzeneği (actuator) ve başka uygulama tipine bağımlı elemanlarıda bu listeye eklenebilir. Bahsedilmiş olan bütün bu bileşenlerin uyumlu bir şekilde çalışacak şekilde bir araya getirilmesi ve optimum paketleme mimarisinin dizayn edilmesi donanımsal olarak önemli çalışma konusudur [23].

2.6.6 Güvenlik

Birçok kablosuz algılayıcı ağ hassas bilgiler toplamaktadır. Algılayıcı düğümlerin uzak ve gözetimsiz olması kötü niyetli saldırılara maruz kalma olasılığını artırır. Örneğin, en zorlu güvenlik tehditlerinden biri servis reddidir (denial-of-service) ve amacı bir algılayıcı ağının doğru çalışmasını engellemektir. Başka bir saldırı şekli ise

algılayıcıya ulaştırılmak istenen sinyallerin iletimini önlemek için yapılan tıkanıklık saldırısıdır (jamming attack).

2.7 Uygulamalar

Bir kablosuz algılayıcı düğüme sinyal veya güç kaynağı kablosu temin etmenin mümkün olmadığı durumlarda kablosuz algılayıcı ağlar kullanılır. Bu tip algılayıcı düğümlerin kullanıldığı ağ modelinden beklenti izleme, algılama, sınıflandırma gibi görevleri yerine getirme ve bunu bir merkeze iletmesidir. Kablosuz algılayıcı ağlarda kullanılan algılayıcıların gerçek dünya ile fiziksel bağlantı gerçekleştirmesi, olayları yakalama, işleme ve sayısal saklanabilir forma dönüştürmesi algılayıcı ağların kullanım alanının yaygınlaşmasına neden olmustur.

2.7.1 Trafik kontrol uygulaması

Trafik sektörü algılayıcı ağların yoğun olarak kullanıldığı alanlardan biridir. Özellikle yer bazlı taşımacılık günümüzün vazgeçilmez bir ihtiyacıdır. Örneğin, Amerika'da trafiğin büyüme oranı insan popülasyonu büyümesinden 3 kat fazla olması 75 milyar dolar civarında bir paranın trafik sıkışıklığından dolayı harcanması algılayıcı bazlı uygulamaların kullanılması açısından önemli bir etken oluşturmaktadır. Trafik Nabız Teknoloji (Traffic Pulse Technology) bu ihtiyacın sonucunda ortaya atılan bir sistemdir. Bu sistemin amacı algılayıcı ağlar vasıtasıyla otoban yollarda gerçek zamanlı olarak hava sıcaklığı, hava kirliliği, şerit ihlali durumu, araç sayısı, trafik sıkışıklığı gibi bilgileri toplayıp veri merkezine işlenmesi için iletilmesini sağlamaktır.

2.7.2 Endüstriyel kontrol uygulaması

Algılama, ticari sektörde maliyetini düşürmek, makine performans ve sürdürülebilirliğini sağlamak için uzun bir süredir ilgi odağı olmuştur. Makinaların işlevselliğinin titreşim yoluyla izlenmesi, insanlar tarafından ulaşılmaz bölgelerdeki aşınma ve yağlama düzeylerin takip edilmesi algılayıcıların endüstriyel uygulamalardaki kullanımına örnek olarak verilebilir.

2.7.3 Çevresel gözetim uygulaması

Çevre ve habitat olaylarını izleme, kablosuz algılayıcı ağlar açısından kullanım alanlarının başında gelmektedir. İklim eğilimleri izlemek, kuşların ve diğer türlerin nüfusunu ölçme, uyuşturucu kaçakçılığı izleme ve hava trafik kontrol bunlardan bir kaçıdır.

2.7.4 Sağlık hizmetleri uygulaması

Geleneksel teknoloji yöntemleri ile yönetilmesi ve algılanması zor olan hasta takibi, epilepsi, kalp hastalığı, kalp krizi gibi durumların kolayca izlenebilmesi algılayıcı düğümlerin sağlık sektöründe kullanılmasının yaygınlaşmasında önemli bir etken olmuştur.

2.7.5 Askeri uygulama alanı

Kablosuz algılayıcı ağlar keşif, kontrol, hesaplama, haberleşme, hedefleme, istihbarat ve gözetim sistemlerinin bir parçası olarak kullanılabilmektedir. Düğümlerin düşük maliyetli olması büyük miktarda algılayıcı düğümlerin ülke sınır bölgelerindeki hareketliğinin bildirilmesi gibi görevlerde kullanılmasını sağlamıştır.

2.7.6 Akıllı binalar

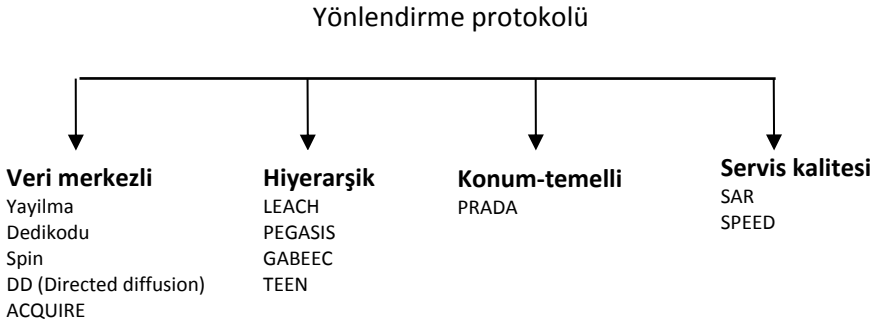
Kablosuz algılayıcı ağlar rahat ve akıllı yaşam alanlarının oluşturulmasında mimari uygulanabilirlik yapısı itibarıyla büyük katkı sağlamaktadır. Örneğin, akıllı algılayıcılar kullanarak mikrodalga fırın, buzdolabı, tv, su takip sistemlerinin tümleşik bir şekilde çalıştırılabilecegi bir tasarım oluşturabilmek mümkündür. Bu sistemi uzaktan kontrol etme imkânı mevcuttur. Ayrıca elektrik, gaz, oda sıcaklığı gibi verileri kablosuz ağ aracılığı ile istenen noktaya iletebilmek mümkündür.

BÖLÜM 3

KABLOSUZ AĞLARDA KULLANILAN YÖNLENDİRME PROTOKOLERİ

Kablosuz ağ kurulumu ile algılayıcı düğümlerin coğrafi olarak bir bölge üzerine yerleştirilmesi sağlanarak sinyal kaynağından veri alınması ve bunun bir merkeze iletilmesi gerçekleştirilmektedir. Düşük güçle çalışan çok sayıda mobil düğüm için etkili bir şekilde yönlendirmenin yapılması kaçınılmaz bir durum oluşturmaktadır. Yönlendirme protokolünde, güç tüketimiyle birlikte etkin bant genişliği kullanımı ve hesaplama gereksinimlerinin gözönünde bulundurulması gereken diğer etkenlerdir [24, 25].

Kablosuz algılayıcı ağlarda düğümlerin bilgi iletimi için hangi yolu kullanması gerektiğinin hesaplanması ya da seçilimi gerçekleştirmesi amacıyla ceşitli yönlendirme (routing) algoritmaları ve/veya yönlendirme protokolleri ortaya konmuştur. Yapılan çalışmalarda, genelde enerji kullanımı açısından bakıldığında radyo haberleşmesi bir düğümün gerçekleştirdiği en pahalı operasyon çeşidi olduğu görülmektedir. Tez çalışmasının 3. Bölümünde, Şekil 3.1'de görülen algılayıcı ağlarda yönlendirme protokolleri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

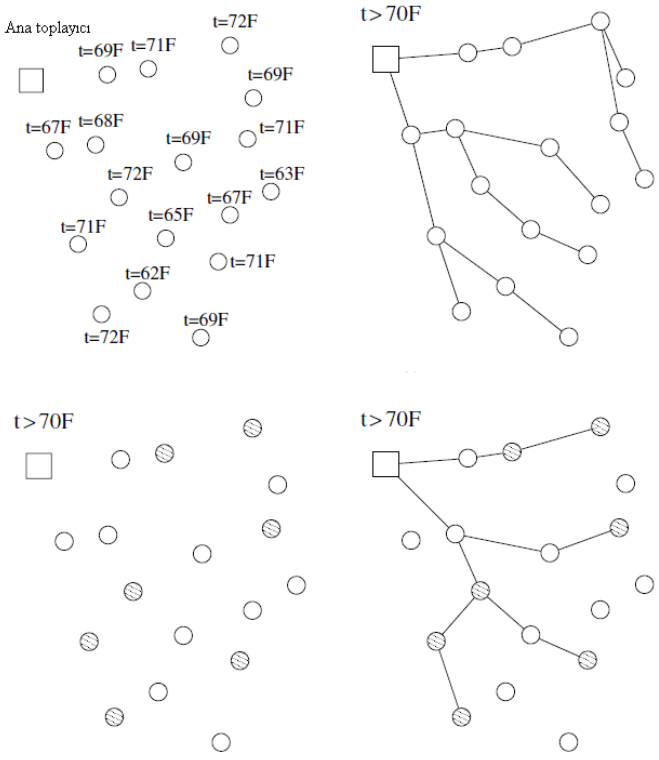


Şekil 3.1 Algılayıcı ağlarda yönlendirme protokolleri

3.1 Veri Merkezli (data centric) Protokoller

Çoğu algılayıcı ağlarda, algılayıcı düğümlere göre algılayıcıların ürettikleri veri daha önemlidir. Veri merkezli ağlarda önemli olan, özel bir düğümle haberleşmek yerine belirtilen kriterlere göre verilerin toplanması veya yayılmasının sağlanması daha önemlidir. Bütün düğümler yönlendirme açısından aynı görevi üstlenir [11].

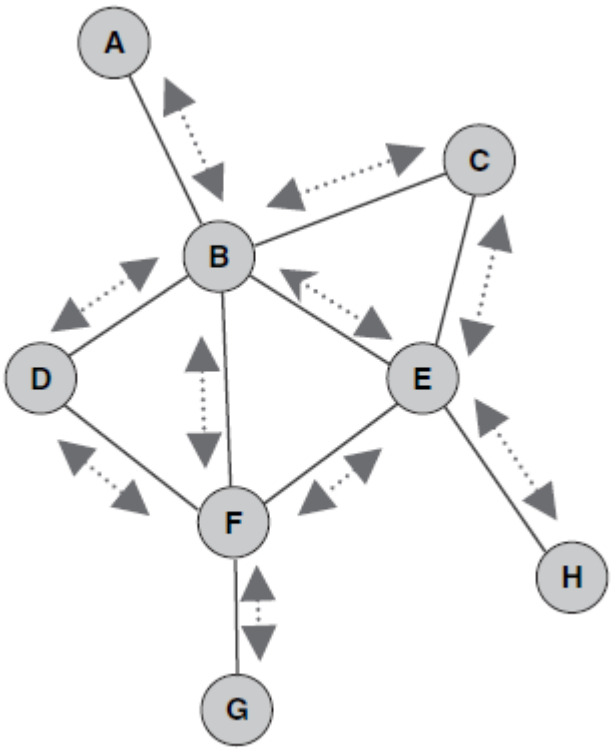
Veri merkezli yönlendirme için bir kablosuz ağ örneği, Şekil 3.2'de görülmektedir. Bu ağda toplayıcı (sink) düğüm sıcaklığın 70 F'den yüksek olduğu alanlarda yer alan diğer algılayıcı düğümlerden gelen verilerle ilgilenmektedir. Düğümler gelen isteğe göre davranmaktadır. Gelen isteğin içeriğine göre veri merkezli yönlendirme yaparlar. Düğümler arasında ID bazlı numaralandırma yerine özellik temelli isimlendirme yapılır [19].



Şekil 3.2 Veri merkezli yönlendirme illüstrasyon çizimi [19].

3.1.1 Yayılma (Flooding)

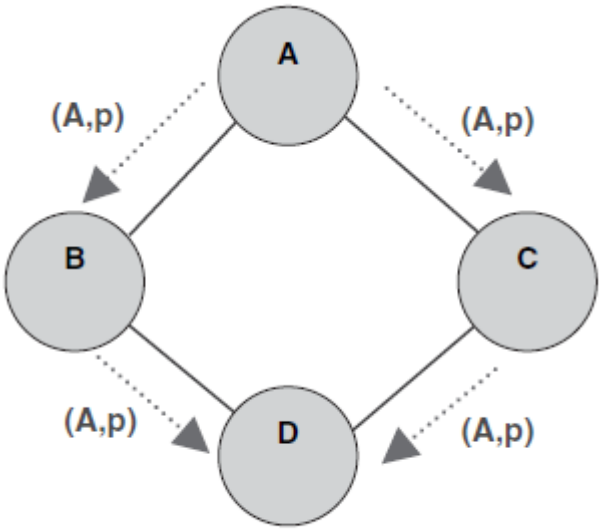
Kablolu ve kablosuz ağlarda, yayılma keşif ve bilgi alma amacıyla geliştirilen yaygın ve sık kullanılan bir tekniktir [23]. Türevleri ile karşılaştırıldığında çok basit yapısı vardır. Özellikle çok sekmeli ağlar için geliştirilmiştir. Ağdaki her düğüm kendisine gelen bir paketi, kendisine komşu olan diğer düğümlere iletir. Şekil 3-3'te bu adımlar görülmektedir.



Şekil 3.3 Yayılma [23]

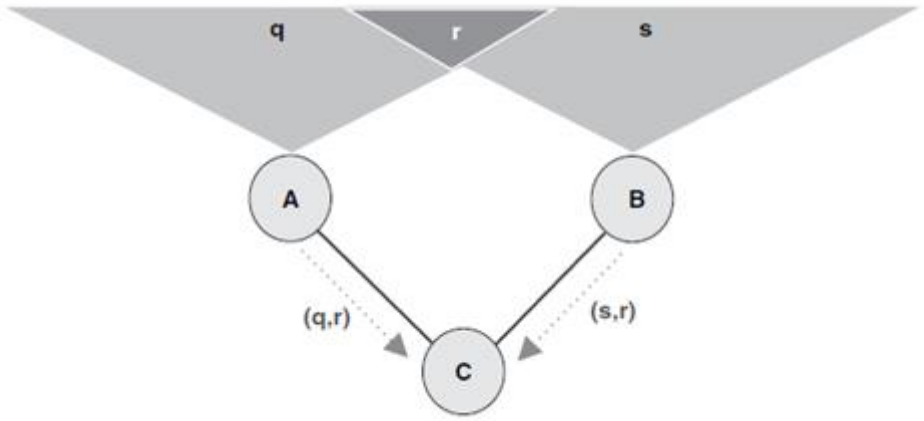
Yayılma protokolü (flooding), tepkisel (reactive) bir protokoldür. Haberleşme, paketin bütün düğümlere ulaşmasına kadar devam eder. En önemli avantajı uygulanabilirliğinin kolay olmasıdır. Komşu düğümlerin bilgilerini tutma gerekliliği yoktur. Dolayısıyla mesajların iletimi için karmaşık ve masraflı bir yapı kurma gerekliliği yoktur. Şekil 3.3'te görülebileceği gibi bu metodun en ilkel formunda, paketin iletim aşamasında sonsuz sayıda kopyalanma olasılığı vardır. Paketin sonsuz sayıda dolaşmasını engellemek için bazen atlama (hop) sayısı eklenir. Atlama sayısı

ağın çapına göre yaklaşık bir değer alınır. Atlama sayısı her düğüme ulaşıldığında bir azaltılır ve değeri sıfıra ulaşıldığında paketin gönderilmesi durdurulur. Benzer bir durum zaman ayarlı olarak yapılmaktadır. Bakım maliyeti düşük olması ve yönlendirme kurallarının basit olması avantajına rağmen iç patlamaya (traffic implosion) yatkın olması önemli eksikliğidir [1]. Şekil 3.4'te D düğümü aynı paketi B ve C üzerinden almaktadır.



Şekil 3.4 kablosuz ağlarda iç patlama (traffic implosion) [23]

İç patlamayla (traffic implosion) beraber önemli bir sorunda örtüşme (overlap) durumunun ortaya çıkmasıdır. Örtüşme, iki tane düğümün aynı bölgedeki veriyi hedefteki düğüme iletmesi diye tanımlanır.



Şekil 3.5 Yayılma protokolünde kaynak körlüğü [23]

Overlap oluşumunu çözmek için dedikodu (gossiping) metodu öne sürülmüştür [26].

Yayılma protokolünün belkide en önemli sorunu kaynak körlüğü (resource blindness) durumuna düşmesidir. Bu durum Şekil 3.5'te gösterilmektedir. Basit yayılma metodunda paketin iletimi sırasında düğümlerin enerji seviyesi dikkate alınmadığından düğümlerin enerjisi çok hızlı bir şekilde azalmakta ve ağın ömrü üzerinde önemli miktarda olumsuz etki oluşturmaktadır [1].

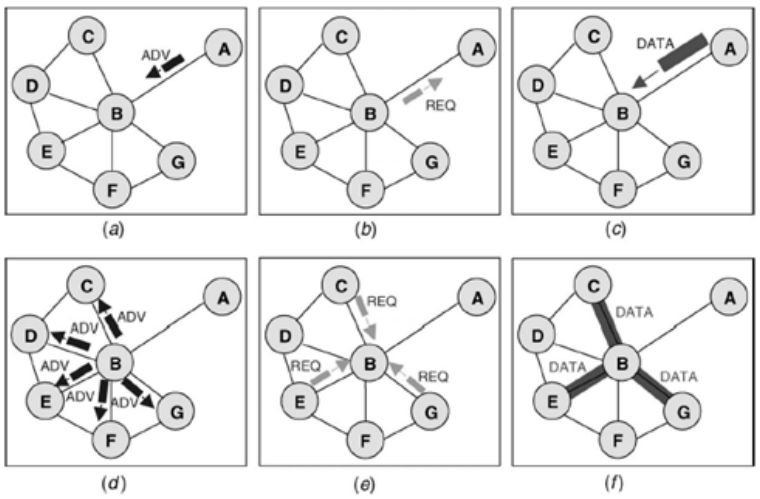
3.1.2 Dedikodu yöntemi (Gossiping)

Yayılma (flooding) metodunda aynı mesaj paketinin kopyasının birden fazla sayıda kablosuz ağda dolaşması önemli bir sorundur. Gereksiz gönderim dedikodu (gossiping) metodu ile önlenebilir [26].

Dedikodu yönteminde mesaj paketi komşu olan düğümlerden sadece birine gönderilir. Gönderim yapılacak komşu düğüm rastgele seçilir. Dedikodu metodu içeriye doğru çökmeyi (implosion) önler. Birden fazla paket gönderimini engellediği için düğümlerin yaşam süresi uzatılabilir. Dedikodu yönteminin eksik kaldığı noktalar ise kaynak körlüğü ve mesajların iletim zamanının uzaması sorunlarına çözüm üretmede yetersiz kalmasıdır.

3.1.3 SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation)

SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation) protokolü yayılma (flooding) protokolünde bulunan içeriye göçme (implosion) ve örtüşme (overlap) gibi eksiklikleri gidermek amacıyla geliştirilmiş müzakere (negotiation) ve kaynak uyarlama (resource adaptation) temelli çalışan bir yöntemdir [27]. SPIN'de veri paketinin gönderilmesinden önce algılayıcı düğümleri birbirleriyle gönderilmek istenen verinin tanımı üzerinden (metadata) haberleşme işlemini başlatır. Veri paketi sadece ilgili algılayıcı düğümüne iletilir. Ayrıca her bir düğüm enerji durumunu kontrol eder ve yetersiz enerjinin olduğu durumlarda düğümler veri alma talebinde bulunmaz. Gönderilen veri paketinde metadata bilgisi tutulur ve metadata verinin içeriği hakkında bilgi içerir. İlk durumda sadece Metadata verisini alan düğüm işlevine göre veri paketini ve metadatayı ister. Bu sayede veri paketi sadece ilgili düğüme iletilerek gereksiz miktarda oluşan veri gönderim trafiği engellenir. Ayrıca metadata verisi sayesinde örtüşmede (overlap) önlenmiş olur. Diğer bir nokta ise kaynak uyarlanmasında (resource adaptation) göstermiş olduğu iyileştirmedir. Eğer düğümün enerji seviyesi belirli bir değerin altına düşerse, düğüm yapmış olduğu bazı işlemlerden feragat edebilir. Örneğin başka bir düğüme iletilecek metadata'lı mesajlar görmemezlikten gelinebilir. SPIN yöntemini daha iyi anlamak için mesaj tiplerini açıklamak yararlı olacaktır.

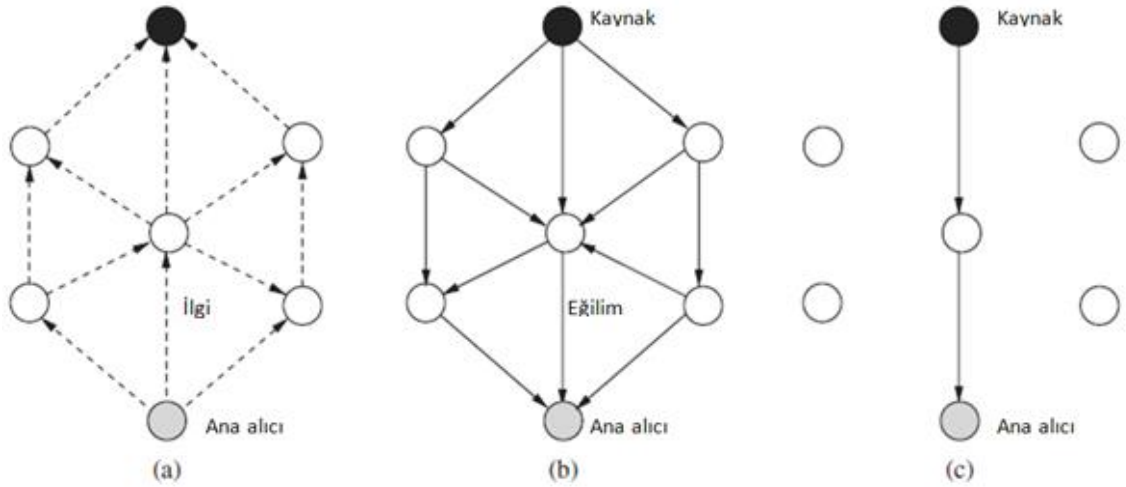


Şekil 3.6 SPIN protokolünde bilgi dağıtımı [27]

SPIN metodu 3 çeşit mesaj tipi kullanır. Bunlar ADV (Advertisement), REQ (Request) ve DATA'dır. İlk gönderilen paket ADV tanıtım mesajıdır. Veri paketi olan ve bunu göndermek isteyen düğüm, komşularına ADV mesajı yollar. ADV mesajı metadata bilgisi içerir. İkinci mesaj tipi REQ ise gönderilen ADV mesajı ile ilgilenen düğümler tarafından cevap olarak gönderilen paketidir. Son mesaj ise DATA'dır. DATA mesajı düğüm tarafından iletmek istenen asil veriyi ve metadata verisini içerir. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi A düğümü dışarıdan almış olduğu veriyi çevresinde bulunan düğümlere duyurmaktadır. Bunun sonucu olarak ADV mesajı A kaynağından B düğümüne iletilir. B düğümü mesajla ilgilendiğini bildiren REQ mesajını göndererek DATA paketini alır. B düğümü DATA verisini alır almaz aynı şekilde çevresindeki düğümlere ADV mesajı yollar. SPIN protokolü kendi içerisinde SPIN-PP, SPIN-EC, SPIN-BC, SPIN-RL diye dört çeşit alt versiyonu vardır.

3.1.4 Doğrudan yayılma (Directed Diffusion - DD) metodu

SPIN metodunun, düğümler tarafından çevreden alınmış olan verinin belirli bir merkeze/toplayıcıya iletmesi konusunda başarılı bir çözüm sunduğu söylenebilir. SPIN türevi metotların kullanıldığı ağlarda coğrafi ve ağ adreslemesi bazında bilgi alış verişi olmadığından spesifik bir düğümle haberleşmeden bahsedilemez. Başka bir ifade ile SPIN'de ağ trafiği düğümlerin kendisi tarafından başlatılır ve genellikle toplayıcıda (sink) sonlanır. Bu tip haberleşmede belirli bir tip veri ile ilgilenen düğümden veri istenmesi gerekliliği oluştuğundan ağ yapılarında kullanılmasını imkânsız kılar. DD (Directed Diffusion) bu kısıtı aşmak amacıyla ortaya atılmıştır [28]. DD metodunun çalışma prensibi şu şekildedir. Veri merkezli toplama protokollerinde düğümler tarafından toplanan veriler öz nitelik çift (attribute-pair) şeklinde etiketlenir. Belirli bir tip veriyle ilgilenen düğüm, bunu gerçekleştirmek için sorgu (interesets) mesajı yollar. Sorgu yayma mesajı ağda eğim (gradients) oluşturmaya yarar. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi eğim sayesinde bir iki düğüm arasında en uygun yol kurulmaya çalışılır.



Şekil 3.7 Doğrudan yayılma (directed diffusion) [11]

3.1.5 ACQUIRE (Active Query Forwarding In Sensor Networks)

Sorgunun çeşidine göre veri merkezli ağlardan toplanacak olan veriyi bir seferde almak amacıyla geliştirilen en uygun yöntemlerden biridir [29].

Bu yöntemle ilgili olarak sıcaklığın belirli bir eşik değerini geçtiği bir bölgedeki karınca sayısını sayma işleminin düşünülmesi örnek olarak verilebilir. Bu sorgu devamlılığı olan ve toplayıcıdan algılayıcı düğümlere devamlı iletilmesi gereken bir mesaj değildir. DD metodunun uygulanması bu tür bir ağ topolojisinin kurulduğu durumlarda gereğinden fazla miktarda ağa yük getirmektedir. ACQUIRE metodunda bir lider düğüm seçilir ve görevi gelen sorguya ait olan cevapları toplamaktır. Başlangıç aşamasında sorguyu yapan düğüm bu görevi üstlenir. Lider düğüm çevre düğümlerin listesini tutar. Her bir veri toplama olayından sonra lider diğer bir düğümü lider olarak seçer.

3.2 Hiyerarşik Yönlendirme (Hierarchical Routing) Protokolü

Hiyerarşik yönlendirme protokolü, belirlenen bir küme içinde bulunan düğümlerin multi-hop şeklinde çalışarak enerjilerini verimli bir şekilde kullanmaları için geliştirilen protokol tipidir [30].

Veri merkezli protokolde düğümler veri toplayıcıya (sink) yakın bir şekilde yerleştirilir. Toplayıcıya yakın düğümler daha çok veri alış verişi yapacağından düğümlerin ağda yaşam süresinin kısa olması sorunu oluşur. Diğer bir ifadeyle enerji tüketimi, veri merkezli/düz mimari (flat architecture) protokollerde ağın ölçeklenebilirliğini sağlamak oldukça önemli bir araştırma konusudur. Kümeleme yöntemi bu sorunun çözümünde yani enerjinin daha çok korunumunu sağlamada pozitif etkisi olduğu görülmektedir. Kablosuz ağlarda, hafıza, işlem kapasitesi, enerji gibi bir takım kısıtlamaları düğümler bünyesinde barındırmaktadır. Hiyerarşik kümeleme yapısının kullanılması çok fazla sayıdaki düğümlerin kontrolünde büyük ölçüde işleri kolaylaştırır. LEACH, PEGASIS, TEEN, APTEEN (Adaptive Threshold-sensitive Energy-Efficient sensor Network protocol) hiyerarşik yönlendirme protokollerinden bazılarıdır.

3.2.1 LEACH (Low energy-adaptive clustering hierarchy) protokolü

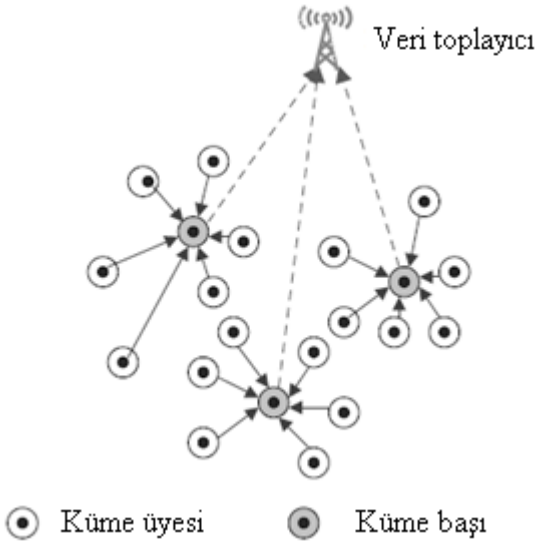
LEACH protokolünde amaç, kümeleme temelli bir yaklaşım getirerek kablosuz bir ağdaki enerji harcanımını minimize etmektedir [1]. Bir küme, küme başı ve kendisine bağlı düğümlerden oluşur. Küme içindeki düğümler ancak küme başıyla konuşurlar. LEACH protokolü iki safhadan oluşur. Birinci safha, kurulum safhası (set-up phase), ikinci safha da iletişim safhasıdır (steady-state phase).

LEACH algoritmasının ana hedefi şu şekilde özetlenebilir:

- Ağın yaşam süresinin uzatılması,
- Her bir algılayıcı düğümün enerji tüketimin azaltılması,

- İletişim mesajlarının sayısını azaltmak için verilerin biriktirilmesi [23].

Bu görev tanımının yerine getirilebilmesi için LEACH'te belirtildiği gibi hiyerarşik bir yaklaşımla ağ kümelere ayrılır. Her bir kümenin içindeki küme başı birden fazla sorumluluk alır. Çevresinde bulunan düğümlerden gelen verileri toplayarak ana toplayıcıya bir seferde iletir. Kümedeki düğümler küme başları tarafından kontrol edilen TDMA (Time-Division Multiple Access) metodu ile küme elamanları küme başıyla haberleşir ve noktadan noktaya (peer-to-peer) haberleşme yoktur.



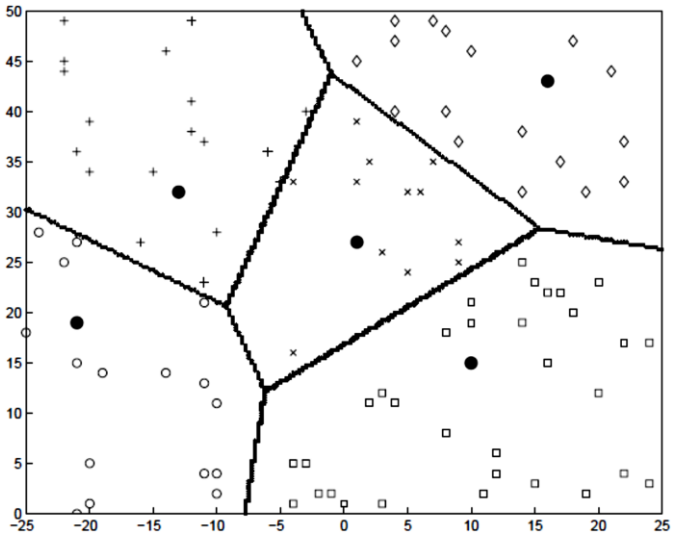
Şekil 3.8 Leach kümeleme [23]

Kablosuz algılayıcılar organize olma yetenekleri sayesinde kümelere ayrılırlar. Küme başlarına olan mesafeleri bu süreçte dikkate alınmaktadır. Küme başlarından aldıkları yayın sinyalinin gücüne bakarak hangi kümenin bir parçası olacakları bilgisini hesaplayabilirler. Küme başları, ana toplayıcı (baz istasyonu) ile düğümler arasında veri alışı yapma noktasında köprü vazifesi görmektedir. Küme içinde yapılan haberleşmenin diğer kümelerle bir bağlantısı yoktur.

LEACH algoritmasında klasik kümeleme algoritmalarından farklı bir sistem öne sürülerek dinamik kümeleme işlemi yapılır. Küme başları her bir turda değişime tabi tutulur. Böylelikle hedeflenmek istenen ağın toplam enerji durumu düğümler

arasında dengeli olarak dağıtılmaya çalışılır. Şekil 3.8'de bu sürecin benzetimi yapılmıştır.

Küme başı olan düğümlerin her birinde o kümenin şartlarına göre yerel hesaplamalar yapılır. Küme başları üye düğümlerden gelen verileri direk baz istasyonuna göndermez, bunun yerine bütün üye algılayıcılardan verileri aldıktan sonra tek bir mesaj paketi halinde sıkıştırıp baz istasyonuna gönderir. Böylelikle enerji tüketiminin azaltılmasına çalışılmaktadır. Veriler üzerinde işlem yapmak iletişim esnasında yapılan enerji harcamasıyla karşılaştırılmayacak kadar azdır.



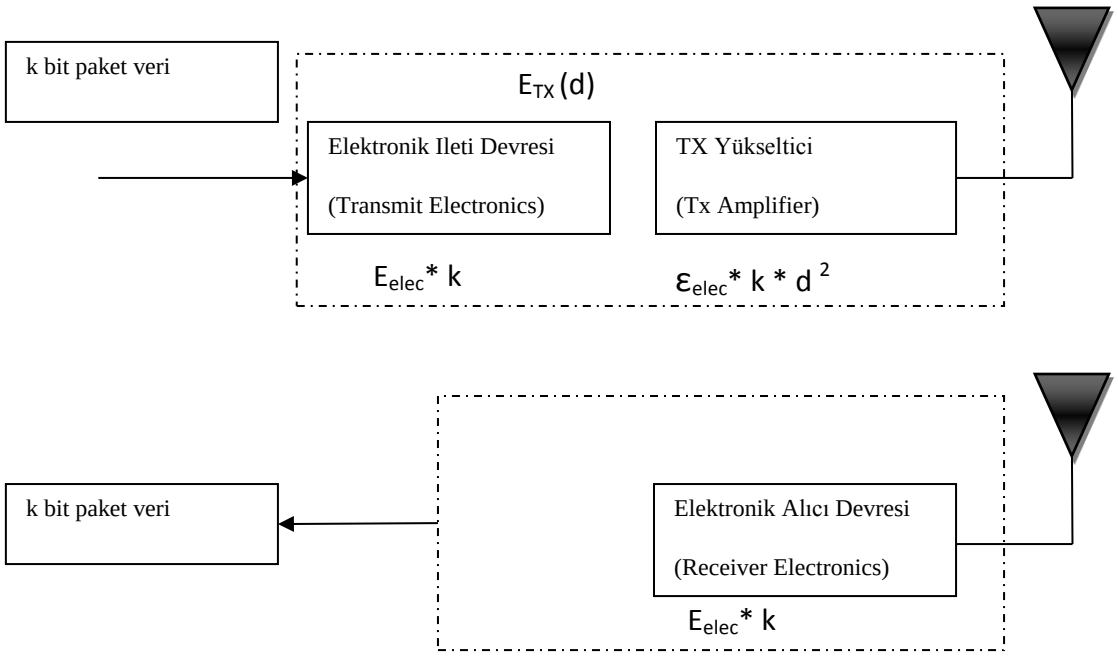
Şekil 3.9 LEACH'de yer alan bir kümeleme örneği [33]

LEACH algoritmasında basit bir radyo modeli kullanılmaktadır. Algılayıcı, radyo vericisini veya alıcısını çalıştırmak için E_{elec} = 50 nJ/bit enerji harcamaktadır. İletim güçlendiricisi için de ϵ_{amp} = 100 pJ/bit/m^2 enerji harcar. Böylece *k* bitlik mesajı *d* mesafesine iletebilmek için harcanan enerji modeli Denklem 1'de gösterilmektedir.

$$E_{Tx}(k, d) = E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * d^2 \qquad \text{(Denklem 1)}$$

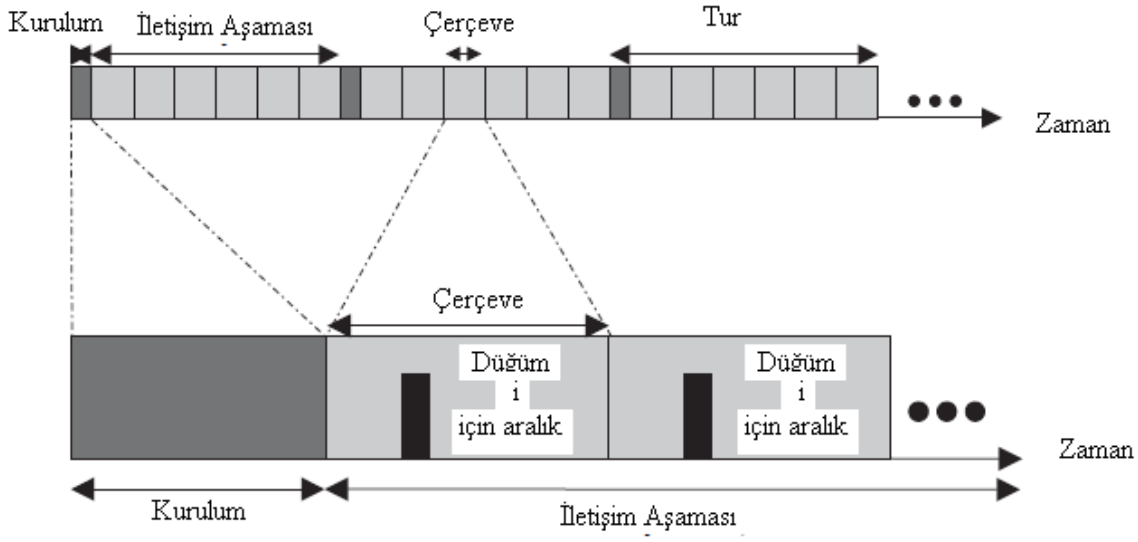
k bit mesajı almak için harcanan enerji modeli Denklem 2'de verilmektedir.

$$E_{Rx}(k) = E_{elec} * k \qquad \text{(Denklem 2)}$$



Şekil 3.10 Mesajı ve iletmek için k ise harcanan enerji [1]

LEACH algoritmasında süreç, turlardan (rounds) oluşmaktadır. Bu turlar iki safhadan oluşmaktadır. Birinci safha, kurulum safhası (set-up phase), ikinci safhada iletişim safhasıdır. Şekil 3.11'te kurulum ve iletişim safhaları görülmektedir.



Şekil 3.11 Leach kurulum ve iletişim safhaları [23]

Kurulum safhasında, kümelerin içindeki düğümlerin her biri kendisinin küme başı olup olmayacağı kararını vermektedir. Bu karar verilirken, o ağ için önceden belirlenmiş olan küme başı oranı ve o ana kadar düğümün kaç defa küme başı olduğu bilgisine bakılır. *n.* düğüm için küme başı olup olmayacağına 0 ile 1 arasında rastgele bir sayı seçilerek karar verir. Eğer rastgele seçilen değer eşik değerinden küçük ise o düğüm o tur için küme başı olur. *T(n)* eşik değerini verir ve Denklem 3'e göre hesaplanır:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1-P*\left(r \bmod \frac{1}{P}\right)}, & n \in G \; ise \\ 0, & diğer \end{cases} \qquad \text{(Denklem 3)}$$

Yukarıda verilen denklemde yer alan *P,* önceden belirlenen küme başı oranını ifade etmektedir. *P* = 0,05 sabit değeri alınmıştır. Denklem içerisinde yer alan *r* değeri, o anki turun sayısı ve *G* değeri de, son 1/P turda küme başı olmamış olan düğümlerin kümesini ifade eder.

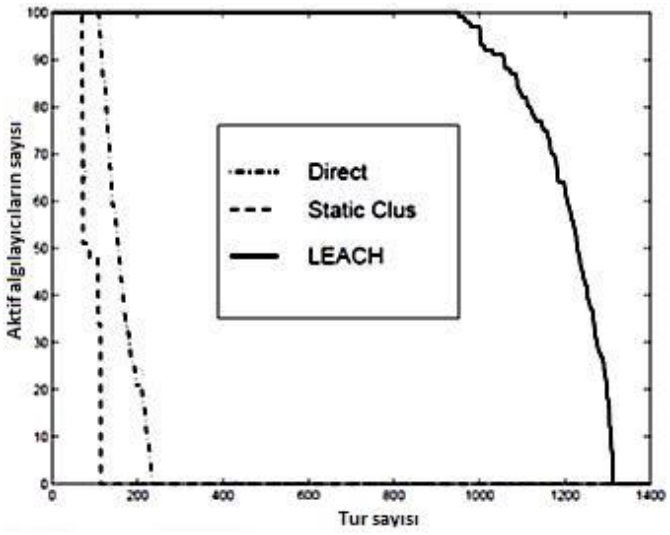
Bu denklemden elde edilen eşik değeri kullanılarak her düğüm 1/P tur içerisinde her hangi bir anında küme başı olacaktır. P olasılığı başlangıç turunda yani *r = 0*

durumunda her düğüm için küme başı olabilmesi durumunu gösterir. İlk turda küme başı olan düğüm sonraki 1/P tur sayısınca küme başı olamaz. Tur sayısı arttıkça geriye kalan düğümün küme başı olma olasılığı da artacaktır.

Küme başı her yeni düğüm diğer küme başı olmayan düğümlere bir mesaj yayarlar. Küme başı olmayan düğüm kendilerine en yakın uzaklıkta olan küme başının oluşturmuş olduğu kümeye dâhil olur. Mesajı alan her bir düğüm o tur için hangi küme başının kümesine üye olacaklarına karar verir. Gelen mesajın sinyalin gücüne bakarak bu karar verilir. Sinyalin en güçlü olanına sahip olan küme başının kümesine üye olacaklardır. Mesafenin değeri arttıkça mesajın sinyal gücü zayıflamaya başlar. Zayıf sinyal gücüne sahip mesajın geldiği küme başı o algılayıcıya mesafe olarak uzaktır. Her düğüm hangi küme başının kümesine üye olacağına karar verdikten sonra ilgili küme başına kümeye katılım için bir mesaj gönderir.

Kurulum safhasının tamamlanmasından sonra veri iletişim safhasına geçilir. İletişim safhası kurulum safhasına göre biraz daha kısadır. Bütün düğümlerin mutlaka gönderecek bir verisi olduğu kabul edilir. Küme başına üye düğümler sırayla mevcut mesajlarını iletir. Tüm üye düğümlerden gelen veriler küme başları tarafından alındıktan sonra sıkıştırma işlemini gerçekleştirilip veriler tek mesaj (paket) şekline çevrilip ana toplayıcı istasyonuna gönderilir. Tüm verilerin iletilmesiyle tur tamamlanmış olur ve yeni bir tura geçilir.

LEACH algoritmasının direkt iletişim ve sabit kümeleme yöntemleriyle performans karşılaştırılması aşağıdaki Şekil 3.12 ve Tablo 3.1'de verilmektedir.



Şekil 3.12 LEACH algoritmasının karşılaştırılması [1]

Tablo 3.1 LEACH algoritmasının tur sayısı bakımından simülasyon sonuçları [1]

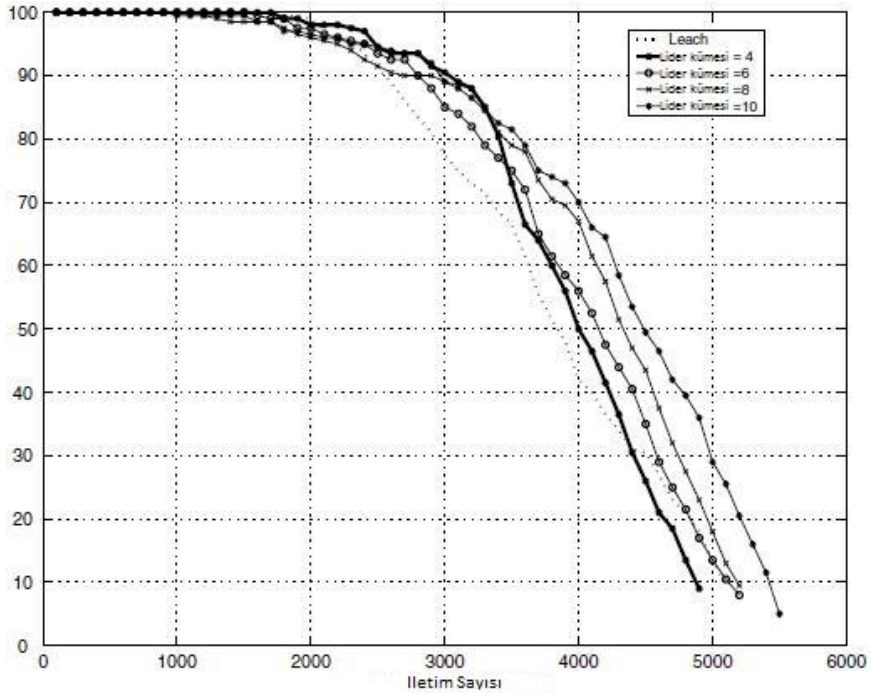
Başlangıç Enerjisi (J/düğüm)	Protokol	İlk düğümün Öldüğü tur	Son düğümün Öldüğü tur
0,25	Direkt	55	117
	Sabit Kümeleme	41	67
	LEACH	394	665
0,5	Direkt	109	234
	Sabit Kümeleme	80	110
	LEACH	932	1312
1	Direkt	217	468
	Sabit Kümeleme	106	240
	LEACH	1848	2608

LEACH metodunun enerji korunumundaki etkisini özetleyecek olursak LEACH yönteminin kümeleme temelli yapısı Tablo 3.1'de görüleceği gibi ağın yaşam süresini uzatmaktadır. İletişim safhasında sadece küme başları aktiftir. Küme düğümleri sadece kendisine ayrılmış zaman aralığında ve kurulum aşamasında aktiftir. Normal bir düğümün enerjisi bu yöntemle minimize edilmiş olur. Periyodik olarak küme başının seçimi de paylaşılmış olmasından dolayı enerji korunumu düz mimarili (flat-architecture) protokole göre toplamda yüzde 4-8 oranında azaltılmış olur [19].

3.2.2 HCR (Hierarchical cluster-based routing) protokolü

HCR (Hierarchical Cluster-based Routing) algoritması LEACH algoritmasına bir eklenti olarak geliştirilmiştir ve kendi kendini organize eden küme tabanlı bir yeni yaklaşım getirmiştir. LEACH'te ağ, rastgele çeşitli kümelere ayrılmıştır ve her küme bir

küme başı tarafından yönetilmektedir. Algılayıcı düğümler kendi başlarına küme başlarına veri iletimi gerçekleştirir. Küme başları da toplu olarak veriyi ana toplayıcıya iletirler. HCR metodunda ise, tek bir küme başı seçmek yerine lider kümesi diye tanımlanan bir işbirlikçi küme seti (set of associates) kullanılır. Enerji verimli kümeleri tespit etmek için sezgisel tabanlı yaklaşım (heuristics-based approach) kullanılır [31]. Ana toplayıcı HCR'nin bir varyasyonu olarak küme oluşumunu belirler ve HCR'deki ana amaç işbirlikçi kümesi yardımıyla enerji tasarrufu sağlamaktır.
Şekil 3.13'te HCR ve LEACH algoritmalarının karşılaştırılması gösterilmektedir [31].

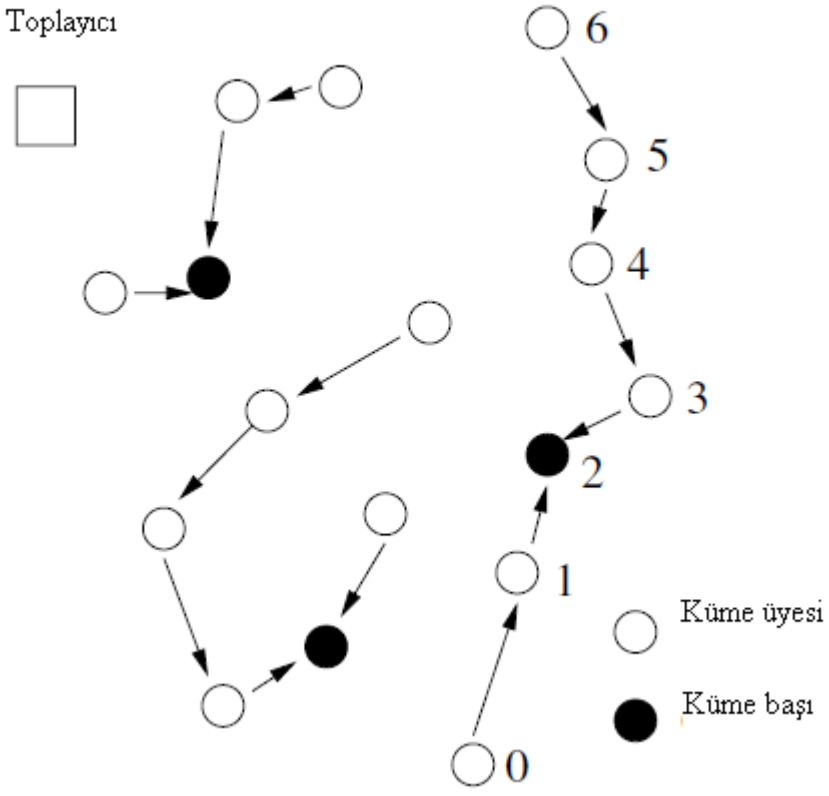


Şekil 3.13 HCR ve LEACH karşılaştırma grafiği [31]

3.2.2 PEGASIS (Power-efficient gathering in sensor information systems) protokolü

PEGASIS protokolü LEACH algoritmasının performansını geliştirmek amacıyla kurulmuştur [32]. LEACH metodunda kümeleme yapma aşamasında yaşanan ek yükü ortadan kaldırmak için ağdaki düğümler birbirlerine zincir şeklinde bağlanır. Her bir zincir kendisine en yakın düğüme bağlanır ve her bir düğümün ağın genel yapısı

hakkında bilgisini tuttuğu farz edilir. Düğümler bulunduğu bölgenin koordinatlarını tutar. Düğümler CDMA (Code division multiple access) yapabilecek donanımdadırlar. Küme bilgisi tutmak yerine her bir düğüm kendisinden önceki ve sonraki düğümlerin bilgisini saklar. Dolayısıyla zincirin kurulumu en uzak düğümden başlayarak toplayıcıya doğru yapılır. Şekil 3.14'te bu zincir görülmektedir. En yakın düğümün hesaplanması sinyal gücüne göre yapılır. Bu bilgi kullanılarak sadece en yakın düğüme göre sinyal seviyesi değiştirilir. PEGASIS enerji harcanışı konusunda LEACH'le karşılaştırıldığında performans artışı sağlamaktadır [19]. Enerji bakımından performansı iyi olmasına rağmen mesajların iletiminde gecikme yaşanması önemli bir eksikliğidir.



Şekil 3.14 PEGASIS protokolü [19]

Şekil 3.14'de bir zincir haberleşme şekli çizilmiştir. Küme başı 2 numaralı düğümdür. Düğüm 2 haberleşmeyi başlatmak için jetonu (token) düğüm 0'a verir. Düğüm 0 verisini düğüm 1'e iletir. Kendi verisiyle birlikte birleştirerek düğüm 2'ye

iletir. Düğüm 2 düğüm1'den mesajı alır almaz jetonu zincirin diğer tarafı olan düğüm 6'ya gönderir. Düğüm 6, 5, 4 ve 3 den bilgiler aynı şekilde düğüm 2'ye iletilir.

3.2.3 GABEEC algoritması

GABEEC algoritması, algılayıcı ağlarda yaşam süresini optimize etmek amacıyla geliştirilen LEACH benzeri bir yaklaşım getirmiştir. Algoritma, kurulum ve veri iletişim safhası olarak ikiye ayrılmaktadır. GABEEC algoritmasında enerjisi ilk bitecek olan düğüm ve son bitecek olan düğümün yaşam sürelerini uzatmaya çalışılmaktadır [33].

Kurulum Aşaması (Setup Phase): İlk aşama olup, sadece bir defa gerçekleştirilir. GABEEC algoritmasında, bazı düğümler oluşan kümelere küme başı olmakta ve geri kalan düğümlerde o kümelerin birer üyesi olmaktadırlar. Böylece bir algılayıcı ağın içerisinde yer alacak olan kümeler, o kümelerin küme başları ve kümelerin düğümlerinden oluşan kurulum aşaması tamamlanmış olur [33].

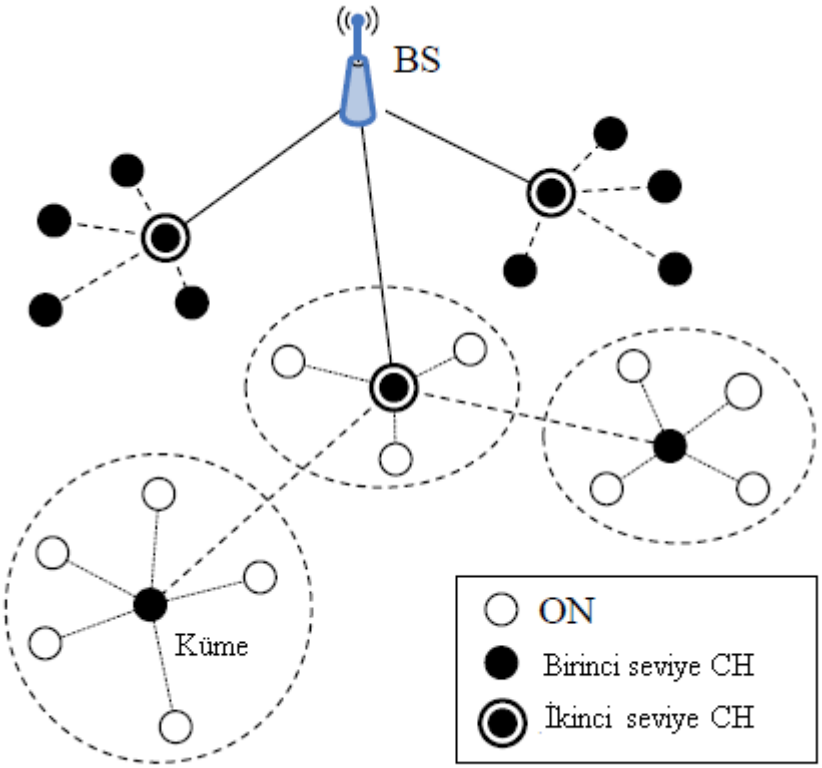
İletişim Aşaması (Steady-State Phase): Bu aşamada bütün düğümler küme başlarıyla iletişime başlar. Her bir düğüm küme başıyla haberleşmede TDMA (Time Division Multiple Access) zaman çizelgesini kullanır. TDMA aynı radyo kanalının birden fazla erişimi, kanalın farklı zaman dilimlerinde (slot) erişimini sağlayan iletişim teknolojisidir.

Düğümlerden toplanan veriler küme başları tarafından ana toplayıcıya (sink) sıkıştırılarak bir paket olarak yollanır. Bütün küme başlarının verileri göndermesiyle bir tur (round) tamamlanır. Her bir tur sonunda ana toplayıcı küme, başlarının ve düğümlerin enerji seviyesini kontrol eder. Enerji seviyesi belirli bir değerin altında olan küme başları aynı küme içindeki diğer bir düğümle görev değişikliği yapar. Bu değişim sırasında küme içindeki düğümlerden enerji seviyesi en büyük olan küme başı olarak atanır. Bu işlemler sırasında kümeler arasında düğüm değişimi kesinlikle olmaz [33].

3.2.4 TEEN (Threshold-sensitive energy-efficient sensor network protocol) ve APTEEN (adaptive threshold-sensitive energy-efficient sensor network protocol)

PEGASIS ve LEACH algoritmasında veri paketi, düğümlerden toplayıcıya periyodik bir zaman diliminde gönderimi yapılarak gerçekleştirilir. Bu protokoller her hangi bir anda oluşan bir durumda, olay (event) tabanlı bir sisteme göre ana toplayıcının bilgilendirilmesi yapılacak şekilde dizayn edilmemiştir. TEEN protokolü bu engeli ortadan kaldırmak için Anjeshwar ve Agrawal tarafından önerilmiştir [34].

TEEN protokolünde, bir bölgedeki sıcaklık bilgisi gibi birimlerdeki ani değişiklikler hızlı bir şekilde iletilmektedir. Bu algoritmada az veri transferi yapıldığından dolayı enerji harcanışı az olmaktadır. TEEN'de 2 seviyeli kümeleme yapılır. Şekil 3.15'de TEEN algoritmasının kümeleme topolojisi görülmektedir. İki çeşit eşik değeri (threshold) tutulur. Bunlar sert ve yumuşak (hard ve soft threshold) eşik değerleridir.



Şekil 3.15 TEEN algoritmasının kümeleme topolojisi

Küme başları küme elamanlarına sert eşik değeri ve yumuşak eşik değerlerini gönderir. Sert eşik değeri düğümün hangi değer aralığında küme başına veri göndereceğini gösterir. Bazen oluşan olayın uzun süre düğümün küme başına çok fazla miktarda veri göndermesine neden olabilir. Ayni tür verinin sık gönderimini azaltmak için yumuşak eşik değeri referans alınır. Düğüm, sert eşik değeri aşıldığında takip eden gözlemler için yumuşak eşik değerini kontrol eder. Takip eden gözlemlerin değeri yumuşak eşik değerini geçmez ise düğüm çevreden almış olduğu bilgiyi transfer etmez. Yumuşak eşik değerinin aşılması durumunda tekrar küme başına veri iletimi sağlanır. Bu yolla çevre koşullarındaki küçük değişimlerin iletilmesi engellenmiş olur.

3.3 Konum Temelli Yönlendirme (Location-based Routing) Metodu

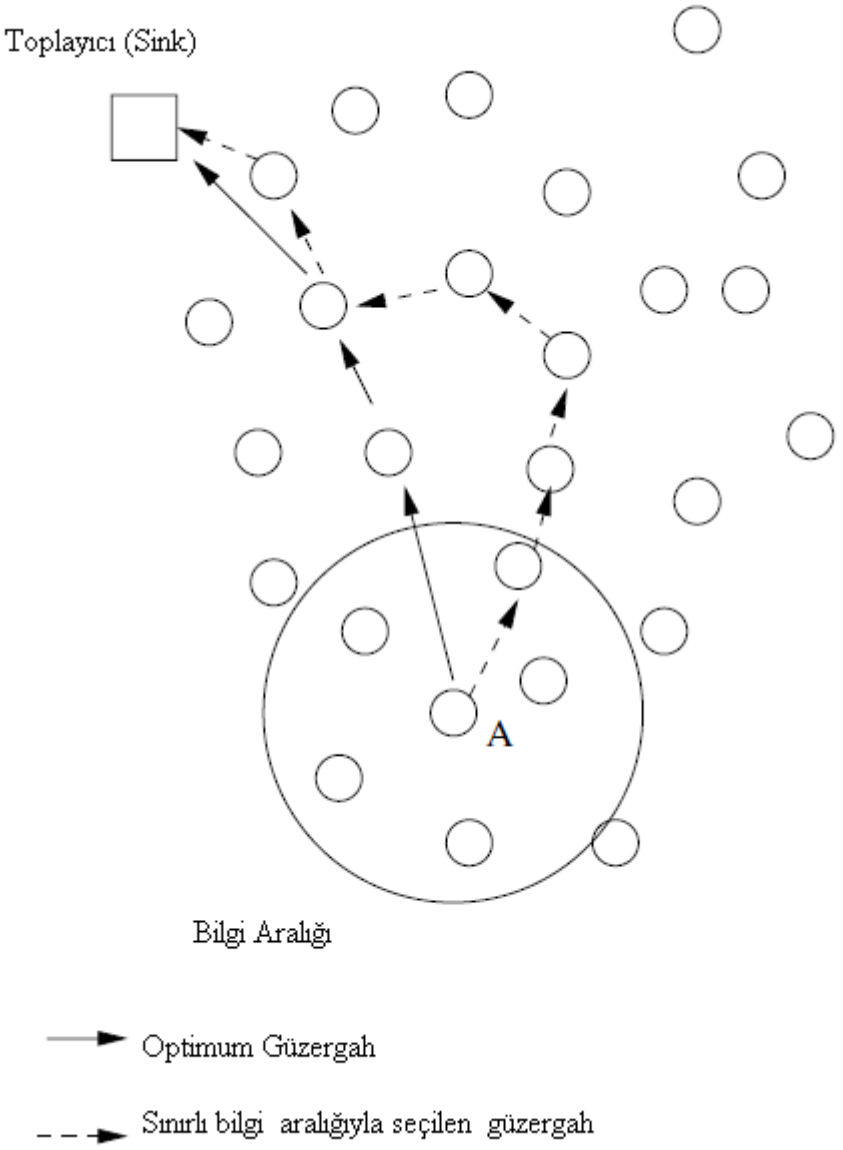
Konum temelli veya coğrafik yönlendirme protokollerinde kablosuz düğümlerin bulundukları konumun bilgileri varış saati, varış saat farkı, sinyal yayılma ve varış-yönünün açısı, alınan sinyal gücü, nirengi (triangulation), trilaterasyon (trilateration), GPS (Global Positioning System) tabanlı yerelleştirme gibi algoritmaları kullanılarak hesaplanır. Düğümler ağa ait topolojik bağlantı bilgisi yerine coğrafik bilgiler kullanarak veri iletimi gerçekleştirilir. Tek gönderim (unicast) konum temelli bir yönlendirmede, konumu bilinen bir hedefe direkt veri gönderimi gerçekleşir. Gönderici düğümü kendi konum bilgisine sahip olduğu gibi hedef düğüm bilgisini de bilmektedir. Konum bilgisi yayma (flooding) gibi bir metotla alınmaktadır.

Düğümlerin kimlik bilgisi, konum bilgisine nazaran daha az önemlidir. Veri bir bölge içindeki bütün düğümlere iletilir ve coğrafi yayın (geocasting) diye tanımlanır. Kablosuz ağın bütün bölümü yerine bir kısmına gönderilmesi bant genişliğinin ve enerjinin az kullanımını sağlayacaktır. İletilecek olan paketin hedef bölgeye varması sonucunda çoklu düğümlere (multicast) dağıtılacağı gibi en azından bir düğüme (anycast) dağıtılması söz konusu olabilir [11].

3.3.1 PRADA (Probe-based distributed protocol for knowledge range adjustment)

Coğrafi temelli yönlendirme protokollerinde, bir sonraki düğümün seçimi için komşu düğümlerin uzaklık bilgisine ihtiyaç vardır. Coğrafik bilgilerin elde edilme

işlemi maliyetli bir süreçtir. Komşuluk bilgisi, bir kablosuz bir ağa ait sınırlı bilgi vermesinden dolayı, düğümlerin ağın tamamını göz önünde bulundurularak yapılacak karara göre daha az sağlıklı olacaktır. Diğer taraftan, hedefe ulaşmak için gerekli olan optimum yolun bulunması için bir düğümün tüm ağ bilgisine sahip olması durumuda tartışmaya açık bir konudur. En uygun yönlendirme içinde bir sonraki atlama seçilebilir. Tüm ağ bilgisini, kablosuz ağlarda haberleşme maliyeti ve düğüm yoğunluğu göz önüne alındığında uyarlamanın pratik olarak mümkün olmayacağı sonucu çıkarılabilir. Bu noktada coğrafik yönlendirme protokolleri sınırlı bir ağ bilgisini kullanarak karar vermeye çalışmaktadır. Şekil 3.16 'da A ile Toplayıcı arasında ki en uygun yol görülmektedir. Yol, tüm ağ bilgisinin bilinmesi durumunda sürekli çizgi ile gösterilmiştir.



Şekil 3.16 PRADA protokolü topolojisi [19]

Her düğüm, çevresindeki bir atlamalı düğümlerin konum bilgilerini tutarsa seçilecek yol kesikli çizgi ile gösterilebilir. Şekil 3.16'nın vermiş olduğumuz mesaj, sınırlı ağ bilgisinde en uygun yoldan sapma olacağıdır. Topoloji bilgisinin artmasıyla bu sapmanın azalması mümkün olacaktır ve daha iyi karar verilebilecektir. Sonuç olarak mesajların en verimli iletimi ağ topolojisiyle ilişkilidir denilebilir. Bu durum beraberinde enerjinin daha çok harcanma maliyetini beraberinde getirmesi demektir.

PRADA (Probe-based Distributed Protocol For Knowledge Range Adjustment) araştırma temelli bir protokoldür (probe-based). Büyük topoloji bilgisi ile ilişkili

maliyet ve yönlendirme kararının doğruluğu arasındaki dengeyi araştırır. Daha büyük topoloji bilgisini elde etmek için, bir düğüm daha büyük bir iletim gücünü kullanmak zorundadır ve iletim aralığını arttırmalıdır. Bunun bir sonucu olarak, topoloji bilgisi elde etme maliyeti artar ancak genişleyen topoloji bilgisi ile optimum yolların oluşturulabilme durumundan dolayı, veri dağıtımı için enerji tüketimini azaltılır. Her bir düğüm ağırlıklı kısa yol algoritmasına (weighted shortest path algorithm) göre bir mesaj iletim yolu seçer. Ağırlıklı yol algoritması, enerji seviyesine göre düzenlenir [19].

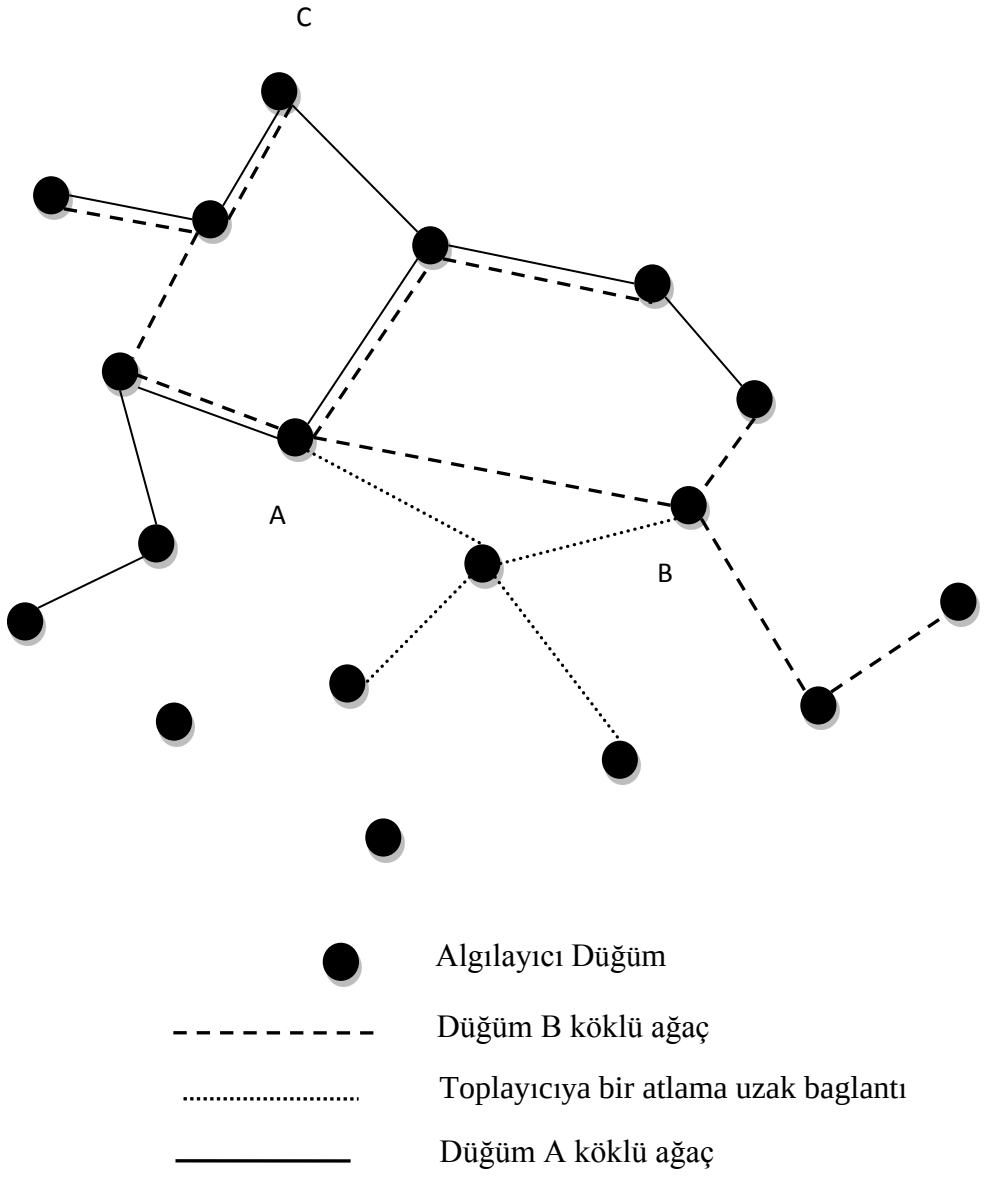
3.4 Servis Kalitesi Temelli (QoS-Oriented) Protokoller

Servis kalitesi (Quality of Service - QoS), yönlendirme bant genişliği, gecikme, enerji, güvenilirlik gibi parametrelerin dikkate alınarak paketlerin akışı için en iyi ve/veya uygulanabilir yolun seçilmesinin işlemidir. QoS'nin amaçladığı bir başka konu ise kıt ağ kaynakların kullanımının en uygun hale getirilmesidir.

QoS-tabanlı yönlendirme protokolleri başlığı altında birçok yönlendirme protokolleri vardır. SAR (Sequential Assignment Routing) ve SPEED (Stateless Protocol for End-to-End Delay) algoritmaları bu kısımda incelenecektir.

3.4.1 SAR (Sequential assignment routing) protokolü

Servis Kalitesinin (QoS) açık bir şekilde düşünülerek tasarlanan ilk protokol SAR'dır [35]. Birden fazla yol (multipath) oluşturma prensibi amaçlanmıştır ve birden fazla ağaç yapısı oluşturulur. Düğümlerden toplayıcıya birden fazla yol oluşturulmaktadır. SAR protokolünde enerji, paket iletim önceliği gibi QoS metriklerine göre en uygun yol seçimi yapılır. Birden fazla hedefe ulaşma yolunun belirlenmesi, hata toleransını (fault tolerance) ve bozulan yolların hızlı bir şekilde düzeltilmesini engellemektir. SAR protokolü için örnek bir yol hesaplaması Şekil 3.17'de gösterilmektedir. A ve B köklü ağaçlar, toplayıcıya tek-hop komşulardır. C düğümü iki ağaca da aittir. İki ağacı kullanarak toplayıcıya sırasıyla 3 ve 5 yol uzunlukları ile ulaşılabilir [36] .



Şekil 3.17 SAR protokolü topolojisi

3.4.2 SPEED (Stateless Protocol for End-to-End Delay) algoritması

Bazı kablosuz ağlarda algılayıcı düğümlerin belirlenen bir zaman aralığı içinde veri toplaması ve iletmesi çok büyük önem arz etmektedir. Hareket eden nesnelerin algılanması veya yaklaşan bir nesnenin bildirilmesi durumları örnek verilebilir. SPEED

protokolü örneği verilen aktivitelerin yaşanmasında paketlerin belirlenen zaman aralığında iletilmesini garanti etmek amacıyla geliştirilmiştir [37].

3.5 Kablosuz Ağlarda Kullanılan Yönlendirme Protokollerinin Karşılaştırılması

Bölüm 3.1-3.5 arasında detaylarını vermiş olduğumuz yönlendirme protokolleri özelliklerine göre sınıflandırılmıştır.

Tablo 3.2 KAA'daki yönlendirme protokollerinin sınıflandırılması ve karşılaştırılması [38]

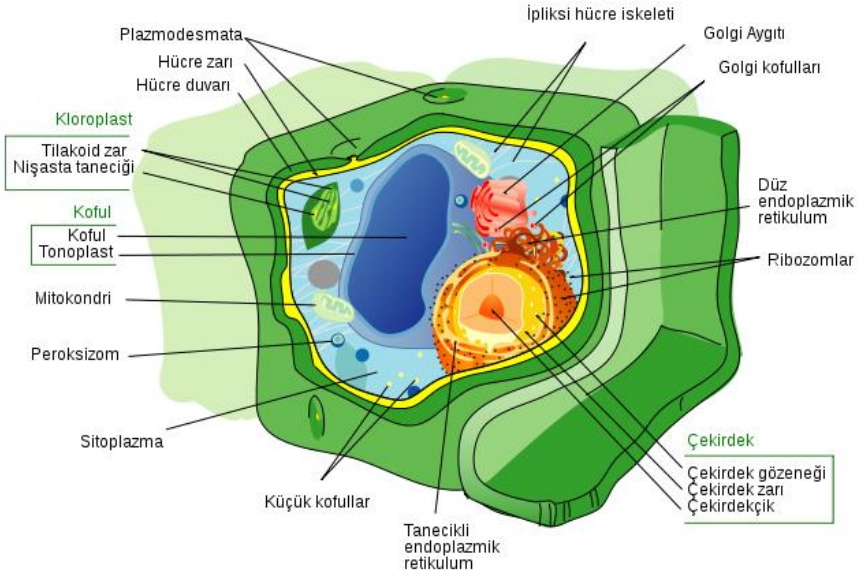
Yönlendirme protokolü	**Sınıflandırma**	**Güç kullanım**	**Veri toplama**	**Ölçekleme**	**Sorgu merkezli**	**Ek yük**	**Veri iletim model**	**QoS**
SPIN	Veri merkezli	Sınırlı	Evet	Sınırlı	Evet	Düşük	Olay güdümlü	Hayır
DD	Veri merkezli	Sınırlı	Evet	Sınırlı	Evet	Düşük	Talep odaklı	Hayır
RR	Düz	Düşük	Evet	İyi	Evet	Düşük	Talep odaklı	Hayır
ACQUIRE	Veri merkezli/ Duz	Düşük	Evet	Sınırlı	Evet	Düşük	Karmaşık sorgu	Hayır
LEACH	Hiyerarşik	Yüksek	Evet	İyi	Hayır	Yüksek	Küme başı	Hayır
TEEN & APTEEN	Hiyerarşik	Yüksek	Evet	İyi	Hayır	Yüksek	Aktif eşik	Hayır
PEGASIS	Hiyerarşik	Maximum	Hayır	İyi	Hayır	Düşük	Zincir tabanlı	Hayır
SAR	Servis kalitesi/Veri Merkezli	Yüksek	Evet	Sınırlı	Evet	Yüksek	Sürekli olarak	Evet
SPEED	Servis kalitesi/Veri Merkezli/Konum temelli	Düşük	Hayır	Sınırlı	Evet	Az	coğrafi	Evet

BÖLÜM 4

GENETİK ALGORİTMALAR

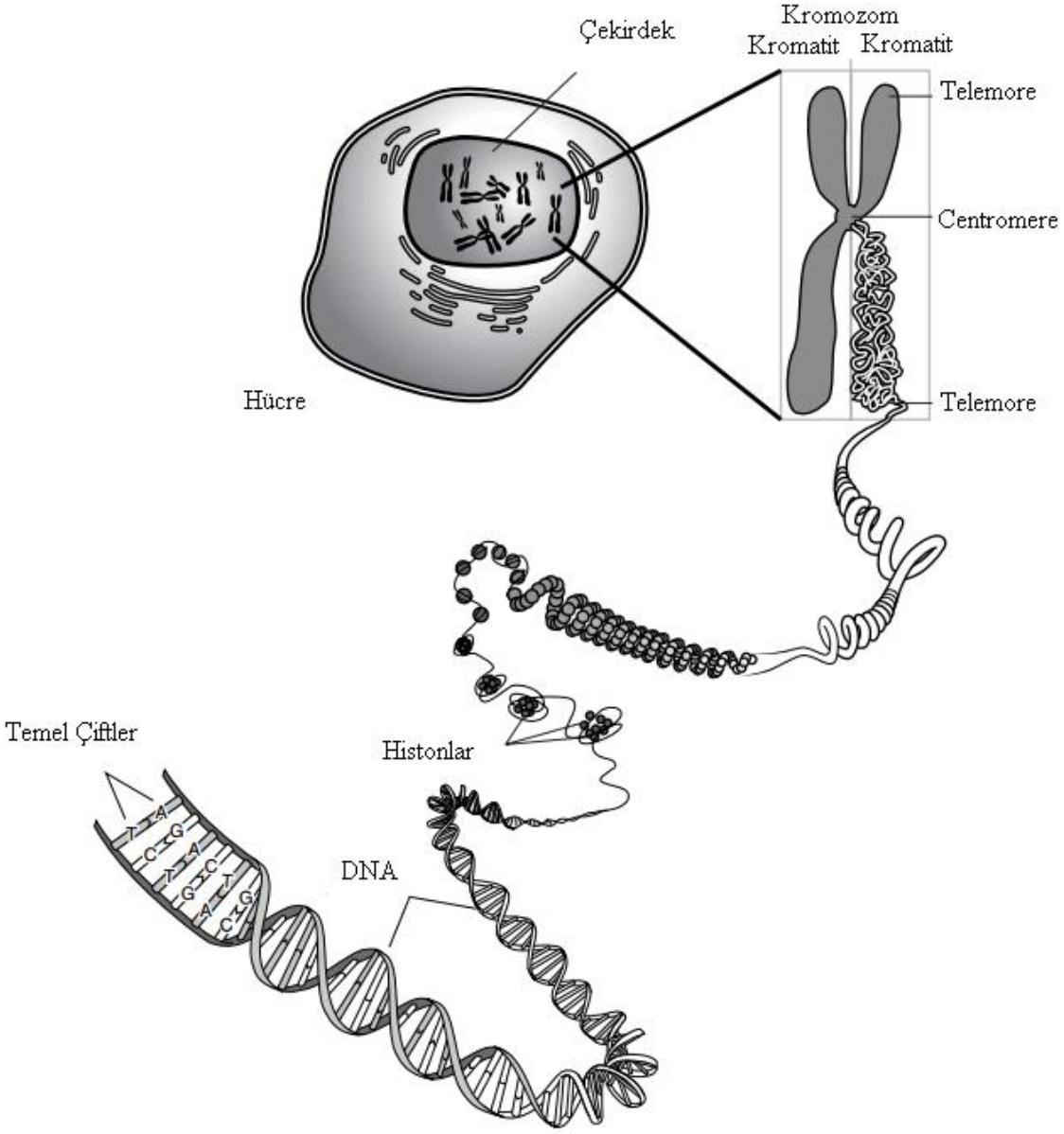
Genetik algoritmalar biyolojik evrim teorisi referans alınarak geliştirilmiş eniyileme ve rastgele (stochastic) arama işlemini kullanan bir tekniktir [39].

Genetik algoritmaların anlaşılabilmesinde ve uyarlanmasında aşağıda bahsetmiş olduğumuz biyolojik kavramların bir kaç kelimeyle özetlenmesi Bölüm 4.4'te bahsetmiş olduğumuz GA modeli bileşenleri algılamayı kolaylaştıracaktır. Canlılar milyonlarca hücre kümelerinden meydana gelir. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de örnek bir hücre yapısı görülebilir.



Şekil 4.1 örnek bir hücre yapısı [40]

Hücrelerin bir araya gelmesi beyin, kas, mide gibi bölümlerin oluşmasını sağlar. Hücreler vücudun çalışması için gerekli olan bilgileri taşır. Her hücrede kromozom adı verilen DNA (Deoxyribonucleic Acid) dizileri (genler) bulunur. Bu diziler göz rengi, boy, kan gurubu gibi genetik bilgileri içerir. Kromozom Yunanca Comoros (renk) ve soma (vücut) kelimelerinin birleşmesinden oluşur. DNA'nın "histon" proteinleri etrafına sarılmasıyla, yoğunlaşarak oluşur ve canlılarda kalıtımı sağlayan genetik birimlerdir.



Şekil 4.2 Detaylı hücre yapısı

Her bir hücrede eşit sayıda 46 kromozom vardır ve kalıtım yoluyla yeni oluşan bireylere taşınır. Bu taşımada atalardan gelen 23 kromozom anneden ve 23 kromozom babadan yeni oluşan nesile aktarılır. Üreme aşamasında çaprazlama (crossover) yöntemi gerçekleşmektedir. Bu aktarım sırasında kromozom veya genlerde mutasyon adı verilen ani değişiklikler olabilir. Atalardan gelen genlerin kopyalanması aşamasında oluşan hatalar buna yol açmaktadır.

4.1 Genetik Algoritmanın Tarihçesi

Genetik algoritmanın temel prensibi ilk defa J.H Holland tarafından 1975 yılında ortaya atılmıştır [41]. Holland, GA'yı doğal seçim (natural selection) mekanizmasından esinlenerek kurmuştur.

Bilindiği gibi evrim teorisi rekabetin olduğu bir çevre şartlarında güçlü bireylerin neslinin devam etmesi üzerine kuruludur [42]. Hollanda da benzeri bir sistemin yapay bir ortama uyarlamasını hedef almıştır.

Özellikle 1960 yılından itibaren, doğrusal yolla çözümü zor olan eniyileme problemlerini çözmeye karşı yoğun bir ilgi oluşmuştur. Bununda en önemli nedeni bir çok eniyileme problemi endüstriyel dünyada, çok karmaşık yapısı olması sebebiyle çözümünün bulunmasında yaşanılan sıkıntıydı [39]. Bu arayışlar evrim surecini simule eden, stokastik eniyileme çözümü zor olan problemlere uyarlanmasını sağlayarak, evrimsel algoritmanın doğmasına neden olmuştur [43, 44].

Evrimsel algoritma (evolutionary algorithm); genetik algoritma (GA), evrimsel programlama (EP), evrimsel stratejiler (ES) altında 3 çeşit metot olarak öne sürülmüştür. Bunlardan genetik algoritma en yaygın olarak bilinen ve kullanılandır.

4.2 Genetik Algoritma Nedir?

Genetik algoritmanın GoldBerg tarafından detayları 1989 yılında belirli bir form haline getirilerek tanımlanmış stokastik yapısı olan doğal seçim genetik temelli en iyi sonucu bulma yöntemidir. Başka bir ifadeyle genetik algoritmada elde olan çözüm kümeleri içinde en iyi çözümü bulmaya çalışmaktadır.

Mümkün olan olası çözümler arama uzayı (search space) olarak adlandırılır. Arama uzayı içinde yer alan her bir nokta bir çözüm kümesini sembolize eder. Çözüm kümelerinin her biri için uygunluk (fitness) fonksiyon değeri hesaplanır. Belirlenen uygunluk değerine göre en iyi sonuç seçilir [45].

Genetik algoritmalar geleneksel arama algoritmalarından başlangıç aşamasında popülasyon ismi verilen ilk değerleri referans alarak çalışması yönüyle farklılık gösterir. Özellikle Discontinuous, Highly nonlinear, Stochastic, Has unreliable or undefined derivatives gibi problemlerin çözümünde tercih edilmektedir.

Genetik algoritma biyoloji bilimde kullanılan aşağıdaki kavramların üzerine inşa edilmiştir:

- Miras (Inheritance),
- Mutasyon (Mutation),
- Seçim,
- Çaprazlama.

Genetik algoritmada popülasyondaki her bir örnek kromozom olarak adlandırılır ve bir çözüm kümesini ifade eder. Kromozomlar ayni türde veriler topluluğu olarak da değerlendirilebilir ve genelde ikili sistemdedir. Kromozom kümeleri başarılı iterasyonla değişim geçirir ve buna nesil (generation) denir. Her bir nesil zamanında kromozomlar belirli bir fitness değerine göre değerlendirilir. Bir sonraki nesildeki kromozomları (offspring diye adlandırılır) oluşturmak için çaprazlama ve/veya mutasyon islemi uygulanır [46].

4.3 Genetik Algoritmasının Kullanım Nedenleri

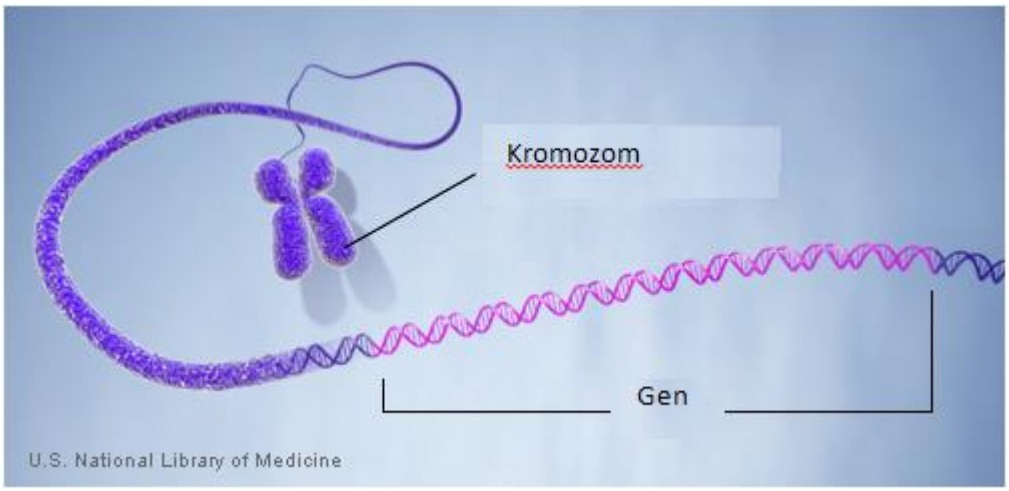
Genetik algoritmasının popüler olmasının başlıca nedenlerini aşağıda verilmektedir.

- Genetik algoritma konseptini anlamak kolaydır.
- Modüler yapısı olması nedeniyle uygulamadan ayrı olarak geliştirilebilir; hibrit uygulamalarda yapı taşları kullanılabilir.
- Çok amaçlı eniyilemeyi destekler.
- Gürültülü çevre koşullarında dahi iyi sonuç verebilir.
- Her zaman, zamanla daha iyi sonuç alma olasılığı yüksektir.
- Kolayca paralel olarak çalıştırabilmesi.

4.4 Genetik Algoritmanın Ana bileşenleri

4.4.1 Gen bileşeni

Gen bir kalıtım birimi ve bir kromozomun belirli bir kısmını oluşturan nükleotid dizisidir.



Şekil 4.3 Gen birimi [47]

GA açısından ifadesi ise, Çözüm kümesininim bir parçası ve bir bitten oluştuğu gibi, bitişik bitlerin bir araya gelmesiyle oluşan ideal blok parçasıdır. Örnek bir gen kümesi Sekil 4.4'te çizilmiştir.



Şekil 4.4 Bir gen kümesisin ifade edilişi

4.4.2 Kromozomlar (Chromosomes)

Birden fazla genden oluşan bir çözümü ifade eden kümedir. Kromozom rastgele çözüm kümelerinden oluşan bir toplumu ifade eder. Aşağıdaki Şekil 4.5'te bir kromozom görülmektedir.



Şekil 4.5 Örnek Bir Kromozom

4.4.3 Popülasyon (Population)

Test için kullanılacak birden fazla kromozomun oluşturduğu kümeye popülasyon adı verilir. Aşağıdaki Tablo 4.1'de dört kromozomdan oluşan bir popülasyon görülmektedir.

Tablo 4.1 Örnek Popülasyonlar

Topluluk(Population)	Kromozom 1	1 1 1 0 0 0 1 0
	Kromozom 2	0 1 1 1 1 0 1 1
	Kromozom 3	1 0 1 0 1 0 1 0
	Kromozom 4	1 1 0 0 1 1 0 0

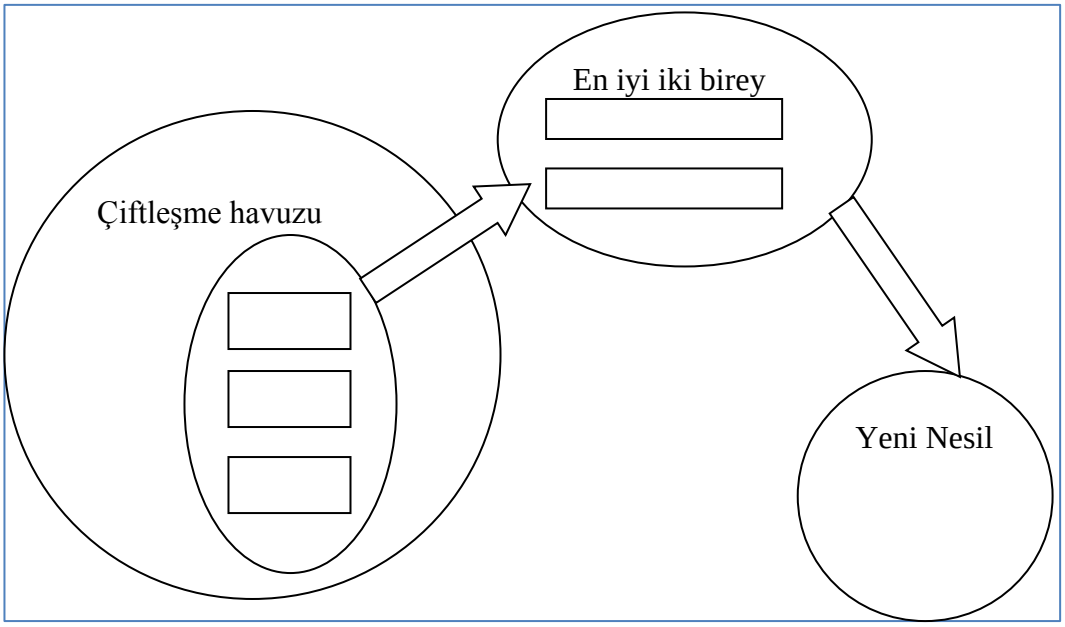
Popülasyonun GA kullanılan en önemli özelliği:

- Popülasyon büyüklüğü
- Başlangıç popülasyonun üretilmesi

Her bir problem için popülasyon büyüklüğü problemin karmaşıklığına göre değişir. Genelde ilk olarak rastgele bir popülasyon kümesiyle isleme başlanır. İkili bir kodlama işleminde her bir bit 0 veya 1 olarak atanır.

4.4.4 Seçim (Selection)

Popülasyon içindeki iki ata bireyin çaprazlama (crossing) için bulunmasına seçim denir. Kodlama şeklinin karar verilmesinden sonra yapılması gereken seçimin nasıl yapılması gerektiğidir. Seçimin amacı popülasyondaki en iyi bireyleri bularak fitness değeri yüksek olan yeni evlatlar oluşturmaktır. Şekil 4.6'da basit seçim işlemi gösterilmektedir.



Şekil 4.6 Seçim işlemi [45]

Seçim işleminden de popülasyon içindeki kromozomlar uygunluk değerine göre rastgele seçilir. Uygunluk değerinin yüksek olması seçilme olasılığının yüksek olacağı anlamına gelmektedir.

Yukarıda bahsedilen grafiksel seçim işleminin benzeri bir örneği rakamsal olarak Şekil 4.7'te gösterilmiştir.

Dizi Numarası	Ilk popülasyon	x değeri	Uygunluk $f(x) = x^2$	$Prob_i$	Beklenen sayı
1	0 1 1 0 1	13	169	0.14	0.58
2	1 1 0 0 0	24	576	0.49	1.97
3	0 1 0 0 0	8	64	0.06	0.22
4	1 0 0 1 1	19	361	0.31	1.23
toplam			1170	1.00	4.00
ortalama			293	0.25	1.00
maksimum			576	0.49	1.97

Şekil 4.7 Seçim işlemi verisel gösterimi [46]

$\text{Prob}_i = f(i) / \sum_i f(i)$

$\text{Expected count} = N * \text{Prob}_i$

İki çeşit seçim vardır. Orantılı (proportionate) ve sıralı (ordinal-based). Orantılı seçimde seçim yapılacak olan birey diğerlerinin uygunluk değerine göre ilişki kurularak yapılır. Sıralı seçimde ise bireyler uygunluk değerleri yerine popülasyon içindeki derecesine göre seçilir. İki genel başlık altında bahsetmiş olduğumuz yöntemler aşağıda detaylandırılmıştır.

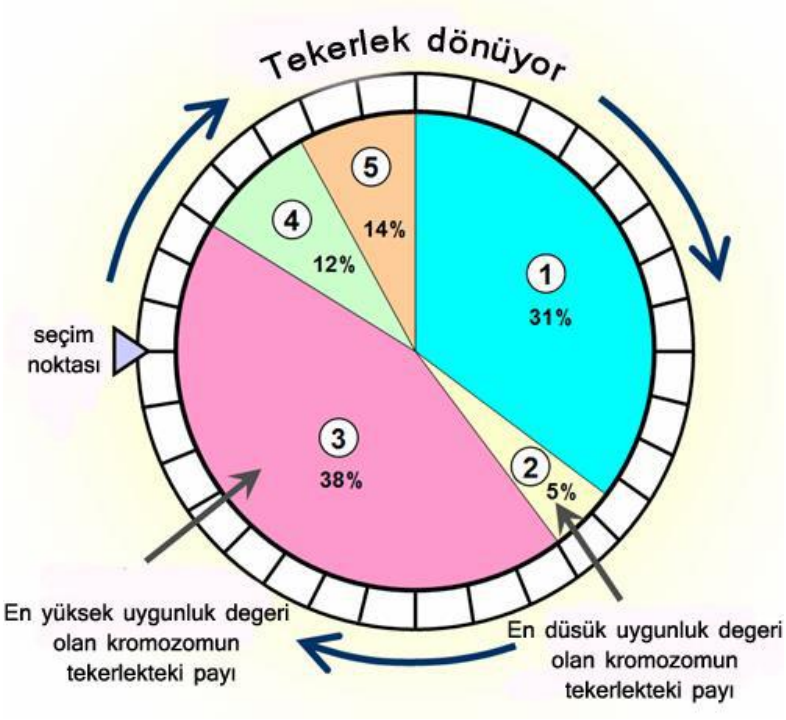
4.4.4.1 Rulet tekeri seçimi (roulette wheel selection)

GA içinde yoğun olarak kullanılan bir geleneksel seçim yöntemidir. Her birey (kromozon) daire şeklinde olan rulet tekerleğine yerleştirilir. Bireyin tekerlekte kapladığı yerin alanı toplam bireylerin uygunluk (fitness) değerlerine göre orantılıdır (Şekil 4.8). Teker N kere döndürülür. N değeri popülasyondaki bireylerin sayısına eşittir. Her bir çevirimde rulet tekerin göstermiş olduğu değer bir sonraki nesil için oluşturacak ataları içeren havuza eklenir.

Bu metot aşağıdaki şekilde uyarlanabilir.

1. *Popülasyondaki bireylerin (kromozomların) uygunluk (fitness) değerleri toplanır. Hesaplanan değere 'T' diyelim.*
2. *'N' kere aşağıdaki adımı tekrarla.*
   i. *0 İle T arasında rastgele bir 'r' sayısı seçilir.*
   ii. *Bir döngü içinde popülasyondaki kromozomların uygunluk (fitness) değeri 'r' eşit veya büyük olana kadar toplanır. 'r' sayısını eşit veya büyük yapan kromozom bir sonraki nesili oluşturacak ata olarak seçilir.*

Rulet tekeri yönteminin uygulanabilirliği kolaydır fakat gürültülü (noisy) bir yöntemdir [45]. Gürültü terminolojisi burada şunu ifade etmektedir. Fitness fonksiyonun çıkarılmasında ortamdaki bazı faktörler gerçek formların bulunmasını engelleyebilir. Bu duruma gürültü faktörü denir. Örneğin insan faktörü hatası veya seçilen örnek kümenin iyi değerlerden oluşmaması gibi [48].



Şekil 4.8 Rulet tekeri seçimi[49]

4.4.4.2 Rastgele Seçim (Random Selection)

Bu teknikte rastgele kromozomlar popülasyondan seçilir. Rulet tekerleği yöntemine göre ortalama olarak bireylerin seçimi olasılığı daha karmaşıktır.

4.4.4.3 Rank Seçim (Rank Selection)

Hızlı yakınsamayı önleyen diğer bir alternatif seçim yöntemidir. Baker tarafından 1985 yılında önerilmiştir. Popülasyondaki bireyler (kromozomlar) uygunluk değerine göre sıralandırılır. Hesaplanmış olan Fitness değerleri yerine sıra değerine seçim işlemi yapılır [50].

Örneğin, Normal şartlarda fitness değeri %90'nı kaplayan bir kromozom rulet tekerleğinde diğer kromozomlar içinde %10lik bir kısmı birakacaktir. Tahmin edileceği gibi %10 luk kısımdaki bireylerin seçilme olasılığı çok düşük olacaktır. Bu sorunu çözmek için her bir kromozom fitness değerini göre derecelendirme yapılarak sıra oluşturulur. Baker bunu başarmak için şöyle bir yöntem önermiştir. Popülasyondaki her bir birey 1 den N'ye kadar yükselen bir fitness değerine göre sıralanmıştır.

Sıralama yapıldıktan sonra çeşitli seçim yöntemi vardır. Bunlardan biri şu şekildedir:

- Ranklar toplanarak R_{sum} elde edilir.
- 0 ile R_{sum} arasında rastgele bir sayı üretilir. Üretilen sayıya denk gelen kromozom seçilir.

4.4.4.4 Turnuva seçimi (Tournament Selection)

Turnuva seçimi metodu rank seçimine benzemekle beraber hesapla hızı açısından ve paralel uygulamaya uyarlanabilmesi açısından daha kullanışlı bir yöntemdir. Kısaca şu şekilde çalışır:

- Popülasyondan iki tane kromozom rastgele seçilir.
- 0 ile 1 arasında 'r' değeri olan başka bir sayı seçilir.

Eğer r < k (k değişkeni herhangi bir değişken 0.75 gibi) şartı sağlanıyor ise iki kromozomdan en iyi fitness değeri olan ata olarak seçilir. r > k durumunda ise uygunluk değeri kötü olan seçilir [50].

4.4.5 Çaprazlama (crossover or recombination)

Çaprazlama kromozomlardaki çeşitliliği diğer nesillere ulaştırmak için yapılan genetik bir operasyondur. Başka bir ifadeyle, bir anne ve babanın seçilerek onlardan çocuk oluşturma işlemidir. Bölüm 4.2.3 detayları anlatılan seçim işlemi sonunda en iyi bireyler seçilmiş fakat yeni bir nesil oluşturulamamıştır. Seçilen bireyler/kromozomlar çaprazlama uygulanarak daha iyi çocuklar oluşturulması hedeflenmiştir.
İki aşamadan oluşur:

- Çiftleştirme havuzundan iki tane kromozom çifti rastgele çaprazlama için seçilir.
- Kodlama metoduna göre yönteme karar verilir.

Çaprazlama işleminde seçilen kromozom dizisinde rastgele bir veya birden fazla nokta seçilir. İki ebeveyn arasında bu noktalardan itibaren gen değişimi yapılır ve yeni kromozom dizileri meydana gelir.

Kodlanmış kromozomlarda çok farklı çaprazlama metodu gerçekleştirilebilir. Bunlardan bazıları bir sonraki bölümde açıklanmıştır.

4.4.5.1 Tek noktalı çaprazlama (single point crossover)

Tek noktalı çaprazlama yoğun olarak kullanılan geleneksel çaprazlama çeşitidir. Ebeveyn kromozom dizeleri üzerinde bir geçit noktası seçilir. Kromozom dizelerindeki o noktadan sonra tüm veriler iki ebeveyn kromozom dizisi arasında takas edilir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2 Tek noktalı çaprazlama

Kromozom 1	11011 | 00100110110
Kromozom 2	11011 | 11000011110
Evlat 1	11011 | 11000011110
Evlat 2	11011 | 00100110110

- Rastgele bir nokta seç.
- Ebeveyn kromozomları bu noktadan ikiye bol.
- Arka kısımları değiştirerek çocukları oluştur.

4.4.5.2 Çift noktalı çaprazlama (Two point crossover)

Bu çaprazlama yönteminde ebeveyn kromozom dizileri üzerinde bir yerine iki nokta seçilir. Seçilen ilk noktaya kadar olan genler ilk ebeveynden, iki nokta arasındaki genler ise ikinci ebeveynden ve geriye kalan genlerde ilk ebeveynden alınır ve yeni kromozom oluşturulur (Tablo 4.3).

İkinci bir çaprazlama noktası genetik algoritmanın performansını düşürmekle beraber arama aralığının daha iyi taranmasını sağlayacaktır.

Tablo 4.3 Çift noktalı çaprazlama

Kromozom 1	11011 | 00100 | 110110
Kromozom 2	10101 | 11000 | 011110
evlat 1	10101 | 00100 | 011110
evlat 2	11011 | 11000 | 110110

4.4.5.3 Tek tip çaprazlama (uniform crossover)

Tek tip çaprazlama Tek noktalı çaprazlama ve Çift noktalı çaprazlamadan yöntem olarak farklıdır. Oluşan evlat (kromozom) in her bir geni ebeveynlerin birinin ilgili geninden aktarılır. Hangi ebeveyninden bu bilginin geleceği ise rastgele 1 ve 0 lardan oluşturulmuş mask adi verilen kromozom kümesine göre seçilir (Tablo 4.4).

Tablo 4.4 Tek tip çaprazlama

Ebeveyn 1	1 0 1 1 0 0 1 1
Ebeveyn 2	0 0 0 1 1 0 1 0
Maske	1 1 0 1 0 1 1 0
Çocuk 1	1 0 0 1 1 0 1 0
Çocuk 2	0 0 1 1 0 0 1 1

4.4.6 Çaprazlama sonucu

İki ebeveyn (kromozom) arasında çaprazlama her zaman iyi bir sonuç vermeyebilir. Ebeveynlerin iyi olması çocuklarında iyi kromozom yapısına sahip olmasını arttıracaktır. Yeni oluşan çocuklar/evlatlar iyi olmadığında bir sonraki secim aşamasında yok olacaktır.

4.4.7 Mutasyon (Mutation) işlemi

Çaprazlama işleminden sonra uygulanan, bir popülasyondaki kromozomlar üzerinde genetik olarak çeşitliği sağlamaya yarayan işlem adımıdır.
Çaprazlama sonucunda kendi başına çok farklı kromozomlar oluşturma olasılığı çok düşüktür ve sonraki nesillerde oluşan kromozomlar birbirlerine benzeyecektir. Başka bir ifadeyle lokal minimum değerine sıkışmaya yol açmaktadır [45]. Mutasyonun bu noktada çok önemli bir fonksiyonu vardır. Mutasyon kısaca popülasyonda ki kromozomun genlerinin önceden tanımlanmış bir tanıma göre değiştirilmesidir. Mutasyon işlemi sağlamak için çeşitli uygulanış biçimleri geliştirilmiştir.

4.4.8 Döndürme (Flipping) işlemi

1 ve 0 dan oluşan geçici (mutation) bir kromozom dizisi oluşturulur. Rastgele oluşturulan bu kromozom dizindeki değerlere göre mutasyona uğrayacak kromozom dizisinin bitleri 0 dan 1'e veya 1'den 0'a dönüştürülür (Tablo 4.5).

Tablo 4.5 Döndürme

Ebeveyn	**1** 0 1 1 **0** 1 0 **1**
Mutasyon Kromozom	**1** 0 0 0 **1** 0 0 **1**
Çocuk	**0** 0 1 1 **1** 1 0 **0**

4.4.9 Yer Değişikliği (Interchanging)

Kromozom üzerindeki yer alan genlerin iki tanesinin yerini karşılıklı olarak değiştirilir (Tablo 4.6).

Tablo 4.6 Yer değişikliği

Ebeveyn	1 **0** 1 1 0 **1** 0 1
Çocuk	1 **1** 1 1 0 **0** 0 1

4.4.10 Ters Çevirme (Reversing)

Kromozom dizisi üzerinde bir pozisyon rastgele seçilir ve ona komşu olan bit ters çevrilir (Tablo 4.7).

.

Tablo 4.7 Ters çevirme

Ebeveyn	1 **0** 1 1 0 **1** 0 1
Çocuk	1 **0** 1 1 0 **1** 1 0

4.5 Genetik Algoritmanın Uygulama Alanları

Çözümü zaman alacak karmaşık problemleri hızlı, optimuma yakın olarak yöntem sunan genetik algoritmalar, çeşitli problem tiplerinin çözümü için uygulanmıştır. Genetik algoritmaların uygulama alanları bu bölümde genel ve yaygın uygulama alanları olmak üzere ana sınıflara ayrılarak aşağıda incelenmiştir.

- **İyileştirme** – sayısal ve tümleşik eniyileme problemleri, örneğin seyyar satıcı, yönlendirme, grafik renklendirme ve bölümleme
- **Robotik** - yörünge planlama
- **Makine öğrenme** - sinir ağları tasarımı, sınıflandırılması ve tahmin, örneğin, hava durumu veya protein yapısının tahmini, Signal processing – filter design
- **Tasarım** – yarı iletken düzeni, uçak tasarımı, iletişim ağları
- **Otomatik programlama** - özel görevler, tasarım, hücresel otomata ve sıralama ağlar için bilgisayar programları geliştirme
- **Ekonomi** - teklif stratejilerinin geliştirilmesi, ekonomi piyasalarının ortaya çıkması
- **Bağışıklık sistemi** - Model somatik mutasyonları Ekoloji - modeli simbiyoz, kaynak akışı
- **Nüfus genetiği** - "hangi koşul altında nasıl bir nesil oluşacağı"

BÖLÜM 5

KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA ENERJİ VERİMLİ VERİ TOPLAMA

Sınırlı enerjiye sahip olan kablosuz algılayıcıların oluşturduğu ağlarda uzun yaşam sürelerinin sağlanması ve bu süreler içerisinde de her bir algılayıcı düğümden maksimum veri toplama işlemin gerçeklestirilmesi KAA'ların kuruluş amaçlarından en önemlisidir. Algılayıcı düğümlerin oluşturduğu bir ağ içerisinde düğümler kümeler içerisine dâhil edilebilir. Düğümlerin birbirlerine olan uzaklığı ve düğümlerin küme başlarına uzaklığı enerjinin uzun korunumunu etkileyen ana etkendir ve toplam uzunluğu minimum yapabilecek şekilde her hangi bir ağın kümelenmesi NP-hard problemdir [51].

Örneğin 100 tane düğümün olduğu bir algılayıcı ağda olası çözüm kümesi Denklem 4'de verilmektedir.

$$C_{100}^{1} + C_{100}^{2} + \ldots + C_{100}^{100} = 2^{100} - 1 \qquad \text{(Denklem 4)}$$

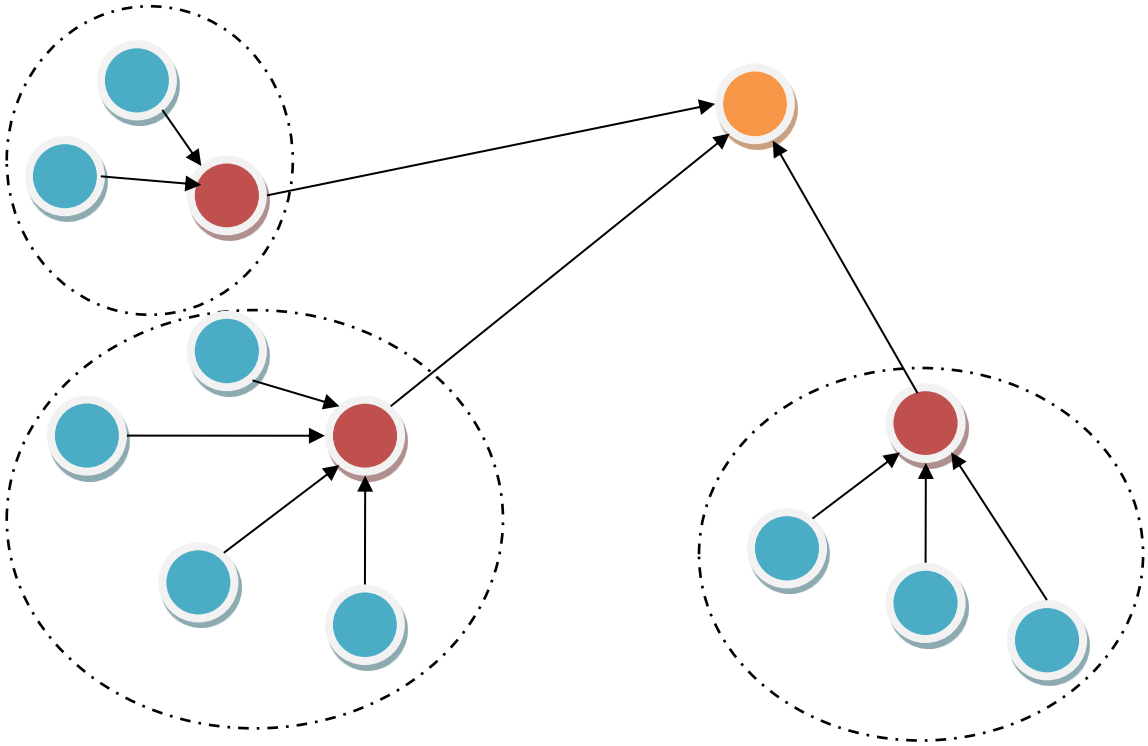
Mevcut bilgisayar yöntemlerini ve kaynaklarını kullanarak bu hesaplamanın yapılması çok zaman alıcı bir işlemdir. Genetik algoritmaların bu ve benzeri problemlerin çözümünde, arama işlem süresinin kısaltılmasına buluşsal yapısından dolayı (adaptive heuristic) pozitif etki yapacağı düşünülmektedir [52, 53].

Genetik algoritma, algılayıcı ağlarda enerji verimli kümelemede uygulanmasıyla beraber ağdaki ilk ve son düğümün yaşam sürelerini uzatmasına da [33] katkı sağlamıştır.

5.1 Optimum Kümelerin Genetik Algoritma ile Bulunması

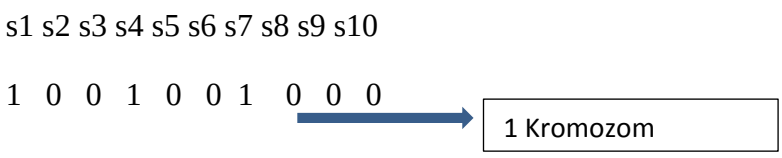
Jin ve arkadaşları, genetik algoritma ile sensör ağ eniyileme çalışmalarında genetik algoritmayı uygulamak için her kümede bir küme başı seçmiştir. Küme içindeki her bir düğüm dahil olduğu kümenin küme başına veriyi gönderir. Sonuç olarak her

birim düğüm, küme başı veya o kümeye bağlı düğüm olarak tanımlanır [53]. Her bir küme başı bu veriyi toplayarak baz istasyona diğer bir tanımla ana toplayıcıya (sink) gönderir. Şekil 5.1'de bu anlatım görülmektedir.



Şekil 5.1 Kümeleme örneği

Ağdaki düğümlerin genetik algoritma ile ifade edebilmek için ikilik sistem kullanılır. Bir ağ 0 ve 1'lerden oluşan bit grubu ile temsil edilmektedir. Bu temsil içerisindeki her bit, normal düğümü veya küme başı düğümünü ifade eder. Kümebaşı düğümü 1, normal düğüm ise 0 değerini alır. 10 bit olarak gösterilen bu ağa, genetik algoritma literatüründe kromozom adı verilmektedir. Gösterim içerisindeki her bir bit ise bir geni ifade etmektedir. Aşağıdaki Şekil 5.2'de 10 bitlik genden oluşan bir kromozom yapısı görülmektedir.



Şekil 5.2 Kablosuz algılayıcı ağın bit gösterimi

Şekil 5.2'de gösterilen algılayıcı ağın düğümlerinden s1, s4 ve s7 algılayıcı düğümleri küme liderleridir. s2, s3, s5, s6, s8, s9, s10'ise normal düğümlerdir. Genetik algoritmadaki kromozomların her biri bir ağ topolojisini temsil eder. Kromozomlar rastgele genlerden oluşur böylelikle farklı ağ topolojileri elde edilir. Genetik algoritma küme başlarını seçmek için kullanılır. Her bir düğüm kendisine en yakın küme başına ait kümeye dahil olmak için uzaklık hesaplaması yapar ve bu hesaplamaya göre yakın olan kümeye bağlanır. Bu adımdan sonra uygunluk fonksiyonunun belirlenmesi ve her ağı temsil eden kromozom için bu uyguluk fonksiyonunun değerinin hesaplanması gerekmektedir. Uygunluk fonksiyonu Bölüm 5.2.1'de anlatılmaktadır.

5.1.1 Uygunluk fonksiyonu (Fitness evaluation)

Genetik algoritmalarda yer alan bir bileşen olan uygunluk fonksiyonu algılayıcı ağların değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Uygunluk değerinin hesaplanması ile elde edilen değerlere göre algılayıcı ağların uygunluk fonksiyonunun ne kadar başarılı sonuç verdiği görülebilecektir.

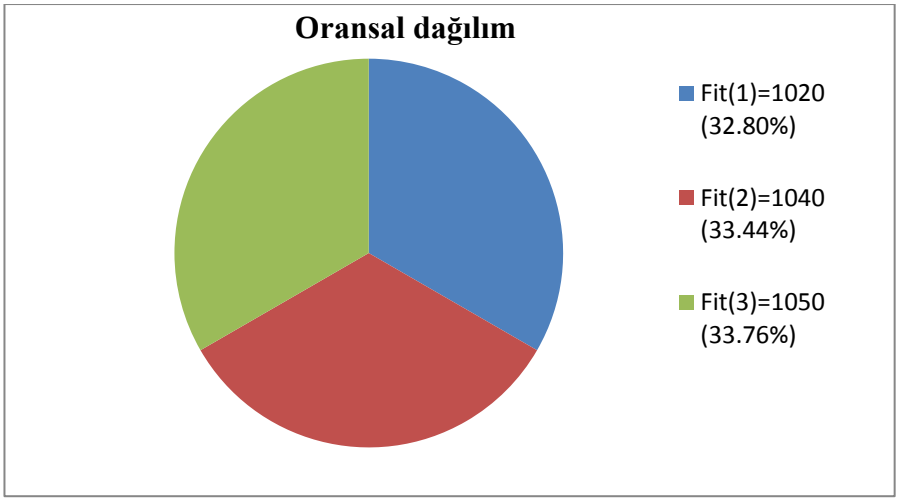
Literatüre bakıldığı zaman uygunluk fonksiyonu içerisindeki en önemli faktörlerden birinin uzunluk olduğu görülür. Uzunluk degişkenin değerin düşürülmesi harcanacak enerji tüketimin azalıtılmasını sağlayacaktır. Jin ve arkadaşlarının çalışmalarında kullandığı uygunluk fonksiyonu aşağıdaki Denklem 5'te gösterilmektedir [53].

$$\text{Fitness } (Uygunluk) = w*(D-\text{Uzaklık}_i)+(1-w)*(N-H_i) \qquad \text{(Denklem 5)}$$

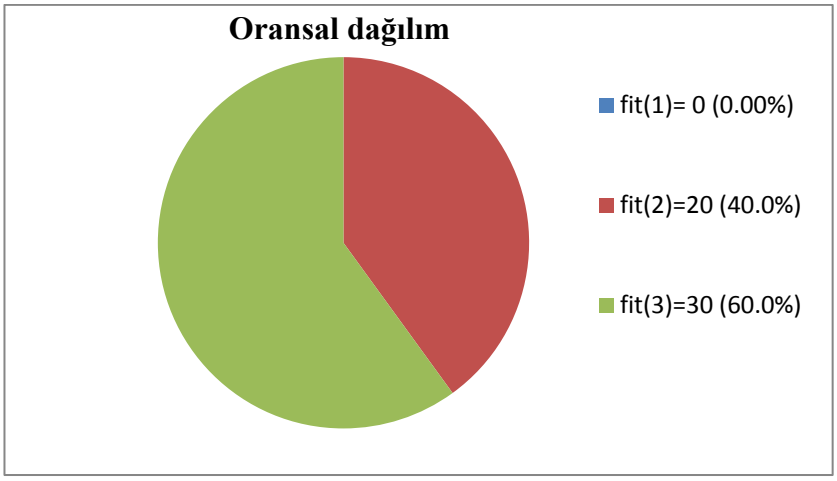
Denklem 5'deki uygunluk fonksiyonunda D, tüm algılayıcı düğümlerin veri toplayıcısına / baz istasyonu olan uzaklıklarının toplamını ifade eder. Kümelerdeki normal algılayıcı düğümlerin küme başına olan uzaklıkları toplamı ve her küme başının toplayıcıya olan mesafelerinin toplamı toplanarak Uzaklık_i değeri elde edilir. H_i küme başlarının sayısını N 'ise toplam düğüm sayısını ifade eder. w değeri 0 ile 1 arasında olup önceden belirlenmiş bir sayıdır. Bir algılayıcı ağ' da Uzaklık_i ve H parametreleri dışındaki kalan diğer parametreler sabittir.

Uygunluk fonksiyonuna bakıldığında uzaklık ne kadar kısa olursa küme başlarının sayısı o kadar az olacak ve uygunluk fonksiyonunun değeri o kadar yüksek olacaktır [53]. Bu tez çalışmasında, uygunluk fonksiyonunun değeri maksimize edilmeye çalışılmaktadır. *W* değeri uygulamaya bağlı olarak değiştirilebilir. Uzaklık ve küme başı olmanın vermiş olduğu maliyet düşünülerek eniyileme için uygun *W* değerin seçimi mümkündür. *W* değerinin 1 olması ağın uzaklık parametresi göz önüne alındıgı, eğer *W* değeri 0 ise sadece küme başları sayısı dikkate alınmıştır.

Bazı durumlarda uygunluk işlevine değerleri birbirine o kadar yakındır ki, en iyi değeri seçmek genetik algoritma açısından çok zordur. İyi seçim yapabilme oranını yükseltmek için oransal dağıtım (proportional distribution) uygulanır [53]. Bunun için öncelikle ölçekleme yapılması gerekir. Ölçekleme için de popülasyon içindeki her bir kromozomun uygunluk değerinden o popülasyondaki minimum uygunluk değerine sahip olan kromozomun değer çıkarılır. Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te ölçekleme öncesi ve sonrası oransal dağılım örneklendirilmiştir.



Şekil 5.3 Ölçeklendirme öncesi oransal dağılımı [33]



Şekil 5.4 Ölçeklendirme sonra oransal dağılımı[33]

Bu tez çalışmasında, önerilen yöntemde kullanılmak üzere GABEEC algoritmasındaki uygunluk fonksiyonu referans olarak alınmaktadır. Uygunluk fonksiyonunun denklemi Denklem 6'da aşağıda verilmektedir.

$$F = \sum_{i} (f_i * w_i), \forall f_i \in (R_{FND}, R_{LND}, -C) \qquad \text{(Denklem 6)}$$

Denklemde yer alan parametreler ve açıklamaları aşağıdaki gibidir:

- R_{FND}: İlk düğümün kaçıncı turda öldüğü,
- R_{LND}: Son düğümün kaçıncı turda öldüğü,
- C: Küme mesafesi.

Küme mesafesini hesaplamak için kullanılan denklem aşağıda Denklem 7'de verilmektedir.

$$C = \sum_{i=1}^{k} d_{ih} + d_{hs} \qquad \text{(Denklem 7)}$$

Uygunluk fonksiyonunda yer alan d_{ih} i üye düğümünden h küme başına olan mesafeyi ve d_{hs} ise h küme başından s baz istasyonuna olan mesafeyi göstermektedir.

Uygunluk değeri hesaplandıktan sonra seçim işlemi yapılacaktır. Bu işlem sayesinde yeni popülasyon oluşturmak için kromozomlar belirlenir. Seçim işleminde rulet tekeri seçim yöntemi kullanılmaktadır. Bölüm 5.2.2'de algılayıcı ağlarda genetik algoritmanın seçim işlemi anlatılmaktadır.

5.1.2 Seçim (Selection) işlemi

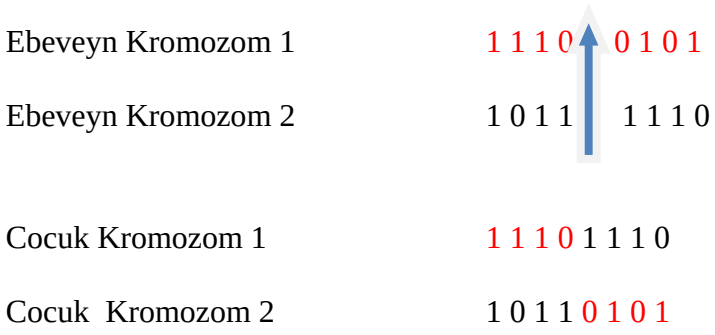
Genetik algoritmada seçim işleminde, iyi olan kromozomların belirlenmesi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem ile beraber kötü kromozomlar elenmiş olur. Seçim işlemini yapabilmek için kromozomların uygunluk değerlerinden faydalanılmaktadır.

Algılayıcı ağlarda ise eldeki her bir ağ topolojisinin uygunluk değerleri hesaplanır. Değerler elde edildikten sonra seçim işlemi için Rulet tekeri yöntemi kullanılmaktadır. Bu yönteme göre her bir kromozom bir slota yerleştirilir. Slotların kapladığı alanlar kromozomların uygunluk değerleriyle orantılı büyüklüktedir yani uygunluk değeri yüksek olan kromozomlar tekerlekte daha geniş bir alan kapsayacağından dolayı bir sonraki nesile aktarılması olasılığı artacaktır.

Rulet tekeri yöntemi, hem GABEEC hem de tez çalışmasında önerdiğimiz yaklaşım içinde kullanılmaktadır.

5.1.3 Çaprazlama (Crossover) işlemi

Önerilen yaklaşım için tek noktalı çaprazlama uygulanmaktadır. Çaprazlama işlemi, seçilen iki kromozomon arasında çaprazlama oranı ile belirtilen değere göre iki ebeveyn arasında gen takası yapılır.



Şekil 5.5 Kablosuz algılayıcı ağlarda kromozomlara çaprazlama uygulanması

Tablo 5.5'te çaprazlama sonucu yeni oluşan evlat yapısı gösterilmektedir. Algılayıcı ağlarda çaprazlama sonucunda normal bir düğüm küme başı olabilir. Küme başına yakın olan diğer düğümlerde yeni oluşan yapıya göre küme başına bağlanması gerekmektedir. Küme başı olan bir düğümde normal bir düğüme dönüştüğünde ona bağlı düğümler kendisine en yakın küme başını araması gerekmektedir. Önceden de belirtildiği gibi ağdaki bir düğüm ya küme başı düğüm veya normal bir düğümdür.

5.1.4 Mutasyon (Mutation)

Çaprazlama sonucunda oluşan yeni kromozom dizilimine, mutasyon oranının olasılık değerine göre mutasyon işlemi uygulanır. İşlem sonucunda 0 olan değerler 1'e dönüştüğü gibi terside oluşabilir. Örneğin mutasyona uğrayan düğümlerin dizilimi Tablo 5.1'de yer almaktadır.

Tablo 5.1 Mutasyon sonucu 2 bitin değişimi

Mutasyon öncesi yeni kromozom	1 1 1 1 0 0 1
Mutasyon sonrasi yeni kromozom	1 1 **0** 1 0 **1** 1

5.1.5 Algılayıcı ağlarda optimum kümelerin bulunmasında genetik algoritmanın uyarlanması adımları

1. İlk aşamada algılayıcı ağdaki düğümler rastgele seçilir.
2. Düğümler topluluğu kromozomları oluşturur.
3. Seçilen kromozomlar ikili kodlama ile kodlanır ve bu kodlama bir ağı temsil eder.
4. Kromozomlar dizisi içinde ki bazı düğümler küme başı (1'ler) ve bazıları normal üye düğüm (0'lar) olarak atanır.
5. Normal algılayıcı düğümler kendisine en yakın küme başına bağlanırlar.
6. Her bir algılayıcı ağ kümesi için uygunluk degerine (Fitness= $w*(D-\text{Uzaklık}_i)+(1-w)*(N-H_i)$) göre uygunluk fonksiyon değeri hesaplar.
7. Her kromozomun kümesinin uygunluğu hesaplandıktan sonra sıra seçim işlemi için Rulet tekeri uygulanır.
8. Uygunluk değeri en yüksek olan algılayıcı ağlar (kromozomlar) seçilir.
9. Seçimi yapılan algılayıcı ağlara da (kromozomlar) çaprazlama ve mutasyon işlemleri gerçekleştirir ve bir sonraki popülasyon için yeni kromozomon oluşturulur.
10. Son aşamada yeni ağ yapısına (kromozomlar) sahip yeni bir nesil oluşturulur.
11. Her kromozomun temsil ettiği ağ yapısı simulasyona sokularak uygunluk (fitness) değeri hesaplanır. Tüm bu adımlar istenen nesil sayısına kadar çalıştırılır [2]. Yapılan deneysel test sonuçları göstermiştir ki 100 düğümü olan bir ağda 120 nesil sonra iyi bir ağ kümesi oluşturulabilir. Veri toplayıcıya yakın olan düğümleri küme başı olma olasılığı daha fazladır. Veri toplayıcı ağın ortasında olduğunda daha fazla küme başına ihtiyaç vardır. Bunun olması normaldir çünkü normal düğümlerin veri toplayıcının etrafinda toplanması, küme başlarının veri toplayıcının çevresinde oluşmasına neden olacaktır [2].

BÖLÜM 6

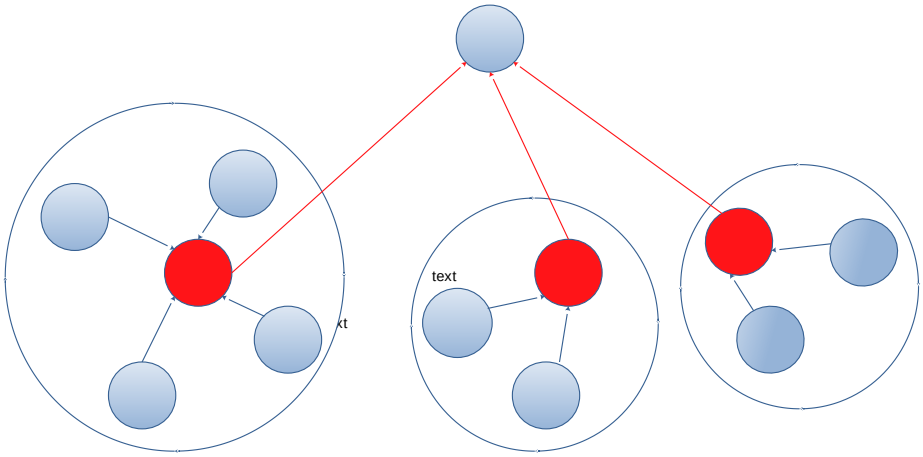
KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA INGABEEC METODU İLE ENERJİ VERİMLİ VERİ TOPLAMA

Kablosuz algılayıcı ağlarda düğümler arası bilgi iletimi için LEACH, HCR, PEGASIS, GABEEC ve TEEN gibi yönlendirme (routing) algoritmaları ve/veya yönlendirme protokolleri ortaya konmuştur. Bölüm 3.2'de bu metodlar detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Radyo haberleşmesi bir düğümün gerçekleştirdiği en pahalı enerji kullanımı operasyon çeşidi olmasi bu metodların geliştirilmesinindeki en önemli etkendir. Yapılan bu tez çalısmasında da kablosuz algılayıcı ağda enerji verimli haberleşme sağlamak için yeni bir yaklaşım getirilmiştir.

6.1 Algılayıcı Ağlarda INGABEEC Algoritması

INGABEEC (Internal Genetic Algorithm Based Energy Efficient Clusters) algoritması, kablosuz algılayıcı ağların ağ yaşam süresini arttırmak amacıyla geliştirilen GABEEC algoritmasının iyileştirilmesini sağlayan yeni bir yöntemdir. Bunu gerçekleştirebilmek için GABEEC içindeki paket haberleşme sürecinin minimize edilmesi için PEGASIS algoritması benzeri bir modelin bütünleşmesi (entegrasyonu) önerilmektedir.

LEACH algoritmasında bir algılayıcı ağda, ağ kümelere bölünür ve her küme içinde bir küme başı bulunur. Küme elamanları ana toplayıcı (baz istasyonu) ile iletişime geçmek yerine belirli bir kritere göre seçilmiş küme başlarıyla haberleşir. Şekil 5.6'da görüldüğü gibi küme başları gelen verileri bir tek paket haline getirip bir sinyal ile ana toplayıcıya iletmektedir.

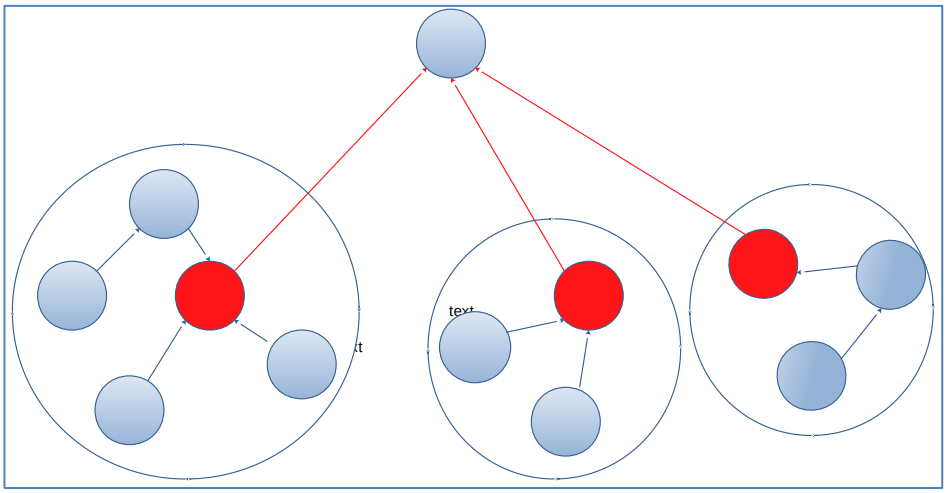


Şekil 6.1 LEACH algoritmasında iletişim

GABEEC algoritması ise LEACH algoritmasında kurulan kümeleme mantığını miras alarak, ağların yaşam süresini optimize etmek için enerjisi ilk ve son bitecek olan algılayıcı düğümlerin yaşam süresini olabildiğince uzatmak için ağ üzerinde genetik algoritma tabanlı bir yöntem olarak ileri sürülmüştür [33].

INGABEEC metodunda GABEEC'te kullanılan iki safha; kurulum, küme içi zincirin oluşturulması ve veri iletişimi şeklinde geliştirilmiştir.

Birinci aşama kurulum (set up) aşaması olup ve sadece bir kez gerçekleştirilir. İlk aşamada bazı düğümler, kümelere küme başı olmakta ve geri kalan düğümlerde o kümelerin birer üyesi olmaktadırlar. Küme başlarının seçimi önceden tanımlanmıştır ve toplam sayısı (CH) aynı zamanda bir ağda olusturulacak kümelerinin toplam sayısını gösterir. Küme başı olmayan düğümler, küme başlarına olan yakınlık mesafelerine göre bir küme başının olduğu kümeye atanır. Kümelerin belirlenmesinden sonra her bir kümedeki düğümler kendisine en yakın komşu düğüm ile sadece iletişim gercekleştirecek şekilde programlanır. INGABEEC yaklaşımı PEGASIS teorisinin anahtar fikri olan bütün algılayıcı düğümlerin yakın komşusu ile konuşurak bir zincir oluşturması ve düğümden düğüme toplanan veri topluluğunu, sonunda belirlenen bir düğüm üzerinden ana toplayıcıya (Sink veya Base Station-BS) iletilmesi prensibini genetik bir yaklaşımla ele almış ve bu aşamada uygulamıştır. Her bir kümedeki zincir kurulma işleminde dügümler uzaktan yakına göre sıralandırma işleminden geçirilerek sonsuz yayılma mesajının olması engellenir. Şekil 5.7'de bu düzenek görülmektedir.



Şekil 6.2 INGABEEC protokolü topolojisi

İkinci aşama, iletişimin gerçekleştiği safhadır. Küme içindeki bütün üye algılayıcı düğümler, küme başlarıyla haberleşme işlemine başlar. Her düğüm sırayla küme başıyla iletişime geçmek için algılamış olduğu mesaj bilgisini hedef düğüm olarak belirlemiş olduğu küme içindeki zincir düğüme iletir. Bu şekilde bütün paketler hedef düğümler vasıtasıyla küme başına doğru iletilirler.

Küme başı, kümesindeki bütün düğümlerden gelen verileri en yakınındaki düğüm üzerinden bir bir alarak toplanan verileri tek paket haline getirir ve bu tek paket veriyi ana toplayıcı (baz istasyonuna) istasyonuna iletir. Bütün küme başlarından toplanan veri ana toplayıcıya iletilmesi sonucunda bir tur tamamlanmış olur. Her turun tamamlanmasıyla ana toplayıcı, üye düğümlerin ve küme başlarının enerji seviyelerini kontrol eder. Küme başının enerjisi kümesinin içindeki üye düğümlerin enerji ortalamasının altına düşmesi durumunda yeni küme başının seçilmesi gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek için üye düğümlerden enerji seviyesi en yüksek olan algılayıcı düğüm yeni küme başı olarak atanır. Mevcut küme başı ise üye düğüm olarak görev yapar [33].

GABEEC'te kullanılan uygunluk fonksiyonun denklemi aşağıda Denklem 8'de verilmistir:

$$F = \sum_{i} (f_i * w_i), \forall f_i \in (R_{FND}, R_{LND}, -C) \qquad \text{(Denklem 8)}$$

Fonksiyondaki w değeri uygulamaya göre belirlenen bir ağırlık değeridir. R_{FND} değeri ilk ölen düğümün tur sayısını ve R_{LND} ise son ölen düğümün tur sayısını ifade eder.

GABEEC algoritmasında küme mesafesi değerini hesaplamak (C) için aşağıdaki Denklem 9 kullanılmaktadır:

$$C = \sum_{i=1}^{k} d_{ih} + d_{hs} \qquad \text{(Denklem 9)}$$

Bu denkleme göre küme mesafesi değeri, kümeye dahil olan üye düğümlerin o kümenin küme başına olan mesafelerinin toplamıyla o kümenin küme başının baz istasyonuna olan mesafesinin toplamıdır.

GABEEC'te bir algılayıcı düğümün, bir k-bit mesajı iletim mesafesi d olan bir uzaklığına iletmek için harcayacağı maliyeti veren denklem aşağıdaki Denklem 10'da verilmektedir.

$$E_{Tx}(n, d) = E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * n * d^2 \qquad \text{(Denklem 10)}$$

Aynı mesajı almak için harcanan enerji ise Denklem 11'de verilmektedir.

$$E_{Rx}(n) = E_{elec} * n \qquad \text{(Denklem 11)}$$

INGABEEC, GABEEC gibi enerji harcama maliyetlerini hesaplamak için aynı denklemi ve sabitleri kullanmaktadır. INGABEEC'te önerilen en yakın düğümle haberleşme önerisi d sayısını çok daha küçük bir değer üretmesini sağlayacaktır. E_{TX}, E_{RX} değerlerinin küçülmesi düğümlerin ömürlerinin uzaması dolayısıyla kablosuz ağın daha uzun süre faaliyetlerine devam etmesi anlamına gelmesidir.

6.2 INGABEEC Algoritması Simülasyonu

Bu tez çalışmasında anlatılan yaklaşımı gerçekleştirmek için geliştirme ortamı olarak C# kullanılmaktadır. Geliştirme ortamı içerisinde nesne tabanlı programlama teknikleri kullanılarak bir ağ uygulamasının simülatörü geliştirilmektedir.

Simülasyonda 50x50'lik bir alana rastgele olarak 100 adet algılayıcı yerleştirilmektedir ve baz istasyonu da ağdan 100 metre öteye sabit olarak konumlandırılmıştır. LEACH algoritmasında kullanılan radyo modeli bu uygulama içerisinde kullanılmıştır. Kablosuz algılayıcının radyo alıcısını veya vericisini çalıştırmak için E_{elec} = 50 nJ/bit enerji harcanmaktadır. İletim güçlendiricisi de ϵ_{amp}=100 pJ/bit/m^2 enerji harcamaktadır. Bu radyo modeliyle beraber n bitlik mesajı d mesafesine iletebilmek için radyonun harcayacağı enerji aşağıda Denklem 12'de gösterilmektedir.

$$E_{Tx}(n,d) = E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * n * d^2 \text{ dir.} \quad \text{(Denklem 12)}$$

Mesajın alınması için harcanılan enerji Denklem 13'te verilmektedir.

$$E_{Rx}(n) = E_{elec} * n \text{ dir.} \quad \text{(Denklem 13)}$$

Simülasyon boyunca Genetik Algoritmasında kullanılan parametreler ve değerleri aşağıda verilmektedir:

- Popülasyon büyüklüğü: 20
- Nesil sayısı: 120
- Çaprazlama oranı: 0,6
- Mutasyon oranı: 0,001

Simülasyonlarda üç farklı düğüm başlangıç enerjisi kullanılmıştır; 0.25J, 0,5J ve 1J. Tablo 5.2'de, henüz zincir kurulmamış durumdaki GABEEC yöntemi ile literatürde yer alan LEACH algoritmasının aynı başlangıç değerleriyle elde edilmiş sonuçları gösterilmektedir [33].

Tablo 6.1 GABEEC ve LEACH simülasyon sonuçları [33]

Başlangıç Enerjisi (j/düğüm)	Metot	İlk düğümün öldüğü tur	Son düğümün öldüğü tur
0,25	LEACH	394	665
	GABEEC	640	760
0,5	LEACH	932	1312
	GABEEC	1218	1553
1	LEACH	1820	2608
	GABEEC	2776	2880

Yukarıda verilen Tablo 6.1'de gösterilmiş olan veriler simülasyon sonucu elde edilen verilerdir. Bu veriler, ağın yaşam süresini arttırmada, genetik algoritmanın önemli bir fonksiyonu olduğunu göstermektedir. GABEEC algoritmasında küme içindeki her düğüm (node) küme başıyla doğrudan haberleşmektedir. Kablosuz ağlarda mesafe değeri arttıkça mesajın iletilmesi için daha fazla enerji harcanması gerekmektedir. $E_{Tx}(n,d) = E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * n * d^2$ formülünde belirtildiği gibi d parametresiyle doğru orantılıdır. d değerinin düşürülmesi ağın yaşam süresini arttırması anlamına gelir.

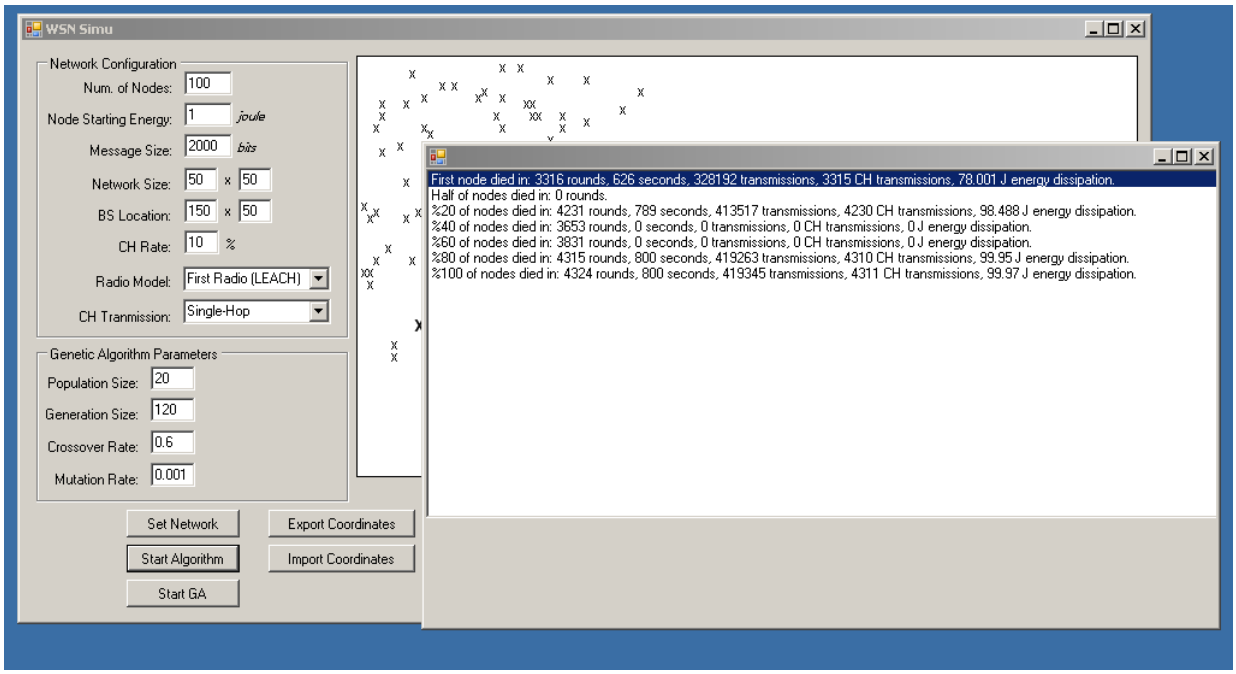
INGABEEC algoritması GABEEC metodunu temel alınarak geliştirilmiştir. Her küme içerisinde zincir kurulmakta ve zincirdeki sırayla o kümenin küme başına verinin taşınması söz konusu olmaktadır.

INGABEEC algoritmasında, haberleşmede düğümlerin direkt küme başlarına mesaj iletilmesi yerine bir zincir kurulması fikri ortaya atılmıştır. Her bir düğüm kendisine en yakın düğüme mesajı iletmektedir.

GABEEC algoritmasının çalıştırıldığı simülasyon programına INGABEEC yöntemi de eklenmektedir. Ekleme yapıldıktan sonra simülasyon tekrar çalıştırılmıştır. Simülasyon içerisinde genetik algoritma için kullanılan parametreler ve değerleri aşağıda verilmiştir.

- Popülasyon büyüklüğü: 20
- Nesil sayısı: 120
- Çaprazlama oranı: 0,6
- Mutasyon oranı: 0,001

- Düğüm sayısı:100
- Mesaj uzunluğu:2000
- Ağın boyutları : 50 x 50
- Ch oranı: 10



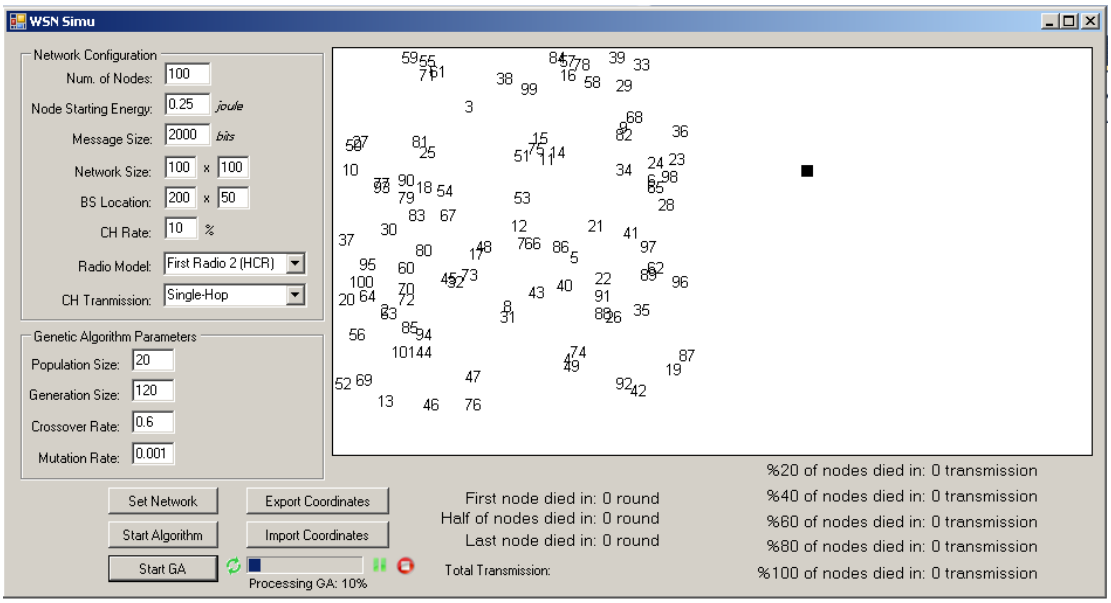
Şekil 6.3 Simülasyon programından ekran görüntüsü

Program, üç algoritma için 0.25 J, 0.5 J ve 1 J başlangıç enerji değerleri kullanılarak toplamda 9 kere çalıştırılmaktadır. Yukarıdaki Şekil 5.8'de simülasyon programının ekran görüntüsü verilmektedir. Simülasyon çalıştırıldıktan sonra elde edilen değerler aşağıdaki Tablo 5.3'de görülmektedir.

Tablo 6.2 Farklı başlangıç enerjileri kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları 1

Başlangıç Enerjisi (j/düğüm)	Metot	İlk düğümün öldüğü tur	Son düğümün öldüğü tur
0,25	LEACH	394	665
	GABEEC	640	760
	InGABEEC	815	1024
0,5	LEACH	932	1312
	GABEEC	1218	1553
	InGABEEC	1335	2132
1	LEACH	1820	2608
	GABEEC	2776	2880
	InGABEEC	3316	4324

Bir sonraki simülasyon çalışmasında ağ konfigürasyonu Şekil 6.4'teki ekran görüntüsünde yer alan parametre değerlerine göre yeniden düzenlenmiştir. 100x100 lük bir alan içinde 100 tane düğüm yer almaktadır ve baz istasyonu da ağdan 200 metre öteye sabit olarak konumlandırılmıştır.



Şekil 6.4 0.25 J, 0.50 J ve 1 J için program parametreleri

Radyo modeli olarak seçilmiştir. Düğümlere başlangıç enerjisi olarak 0.25 joule verilmiştir. Bu simulasyon denemesinde GABEEC ve INGABEEC karşılaştırılmıştır ve program 10 defa çalıştırılıp değerler elde edilmiştir. Simülasyon sonuçları aşağıdaki Tablo 6.3'de görülmektedir.

Tablo 6.3 Farklı başlangıç enerjileri kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları 2

			GABEEC						INGABEEC			
Simluation	Ilk Olum	%20 Olum	%40 Olum	%60 Olum	%80 Olum	%100 Olum	Ilk Olum	%20 Olum	%40 Olum	%60 Olum	%80 Olum	%100 Olum
1	770	782	788	818	962	1032	609	622	622	829	1051	1217
2	685	699	814	835	925	1049	774	950	1067	1166	1247	1281
3	840	872	882	896	908	1045	707	736	869	914	1094	1228
4	838	851	861	893	959	1020	633	762	683	706	792	1220
5	827	843	852	906	1021	1032	718	731	708	999	1011	1188
6	839	854	879	890	901	1044	706	714	716	872	950	1127
7	796	808	837	848	977	990	718	643	939	968	948	1176
8	812	823	918	925	932	1052	680	689	817	937	952	1218
9	774	790	836	935	948	1004	727	739	947	960	1089	1200
10	845	859	870	903	961	1030	565	708	755	857	978	1292
Ortalama	802.6	818.1	853.7	884.9	949.4	1029.8	683.7	729.4	812.3	920.8	1011.2	1214.7
Minumum	685	699	788	818	901	990	565	622	622	706	792	1127
Maximum	845	872	918	935	1021	1052	774	950	1067	1166	1247	1292
Ortalama Sapma (Average Deviation)	37.08	38.68	28.3	30.74	26.6	15.08	49.56	54.2	115.5	85.2	87.24	33.56
Standart Sapma (Standard Deviation)	49.67942	51.610615	37.09162829	38.633463	35.3245272	20.1373065	62.96039	88.93967993	140.8995	120.798087	120.4111475	47.97001378

6.3 INGABEEC Algoritmasının LEACH Metodu ile Karşılaştırılması

Bölüm 3.2'de detaylarını vermiş oldugumuz LEACH metodunda ağ kümelerden oluşur ve her bir küme içindeki algılıyıcı dügüm küme başıyla haberleşir. Kümeye ait elamanlar belirli bir periyotla küme başı olan düğüme veri paketi gönderir. Küme başları toplanan veriyi baz istasyonuna bir seferde iletir. Küme başları bir rotasyona tabi tutularak seçilip, seçim işlemi belirli bir kıritere göre yapılır. Her bir tur sonunda küme başı değişir. Kümenin elamanlarının seçimi ise düğümlerin küme başlarına yakınlığına göre belirlenir. Bu gerçekleştirme yapıldıktan sonra küme içindeki dügümler herhangi bir parametreye bağlı olmaksızın küme başlarıyla direk iletime geçer. INGABEEC algoritmasi belirlenen lokasyona dügüm yerleştirmede en uygun topolojiyi elde etmek için genetik algoritma metodunu uygulamaktadır. Küme içi iletişimde her bir algılayıcı küme başı ile direk iletişim yerine kendisine en yakın dügümle haberleşmesi, aşagıdaki simülasyon sonuçlarına ulaşılmasını sağlamıştır :

- INGABEEC algoritmasında ilk düğümün ölmesi LEACH'e oranla yaklaşık olarak 2 katı daha uzun sürmüştür.
- INGABEEC metodunda son düğümün ölme tur sayısı 1.8 kat geciktirilmiştir.
- Toplamda dügümlerin yaşam süresi INGABEEC metodu ile yaklaşık 1.9 kat daha artmıştır.

6.4 INGABEEC Algoritmasının GABEEC ile Karşılaştırılması

GABEEC algoritması genetik algoritma tabanlı bir yöntem önermektedir. GABEEC yöntemi LEACH algoritması gibi kümeleme tabanlı bir metottur ve ağın yaşam süresini maksimize etmek için genetik algoritma kullanmıştır. GABEEC yönteminde küme başları arasındaki iletişimde LEACH metodu değiştirilerek geliştirilmesi sağlanmıştır.

GABEEC simülasyonu sonucu alınan degerlerde görülmektedir ki LEACH'e kıyasla ilk düğümün ölümü yaklaşık olarak 1,5-1,6 oranında geciktirilmiştir. Son düğümün ölümü 1,15 - 1,2 oranında geciktirilmiştir (Tablo 6.2) [33].

GABEEC algoritması küme içi haberleşmede LEACH'te de bulunan protokol yetersizlik durumu sorunu yaşamaktadır. INGABEEC algoritması bu durumun çözümü için küme içi veri iletim zincirinin kurumunu önermesi, geliştirilen simülasyon programının aşağıda belirtilen yargılara ulaşımı sağlayacak verileri üretmesini sağlamıştır :

- INGABEEC algoritmasında ilk düğümün ölmesi GABEEC'e oranla yaklaşık olarak 1.09 - 1.4 kat daha uzun sürmüştür.
- INGABEEC algoritmasında son düğümün ölümü 1.37 - 1.50 kat geciktirilmiştir.

Ağ konfigürasyonun Şekil 6.4'teki ekran görüntüsünde yer alan parametre değerlerine göre yeniden düzenlenmesi sonucunda ise :

- INGABEEC metodunda düğümlerin %40'nın ölümüne kadar ki geçen sürede GABEEC'e oranla biraz daha kötü performans gösterdiği sonucu görülmektedir.
- Düğümlerin %60'ı, %80'i ve %100'ü öldüğü durumlarda, INGABEEC metodunun GABEEC metoduna nazaran daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kablosuz algılayıcı ağ, basınç, gürültü seviyesi, nem, nesne hareketleri gibi fiziksel veya çevresel koşullarını izlemek amacıyla dağınık, küçük, yüzlerce algılayıcı düğümün biraraya getirilerek ortak bir hedefi geliştirmesi için kurulan ağ şeklidir.

Bir kablosuz algılayıcı ağın ana bileşeni olan algılayıcı düğüm genel karakteristiği sebebiyle hesaplama gücü ve bellek miktarı az, kullanılacağı enerji ve bant genişliği aralığına göre yapabilecegi maximum haberleşme mesafesi sınırlı olan bir güç kaynağına sahiptir.

Kablosuz algılayıcı ağın oluşturulmasındaki kısıtlardan bir diğeri ise algılayıcı düğümlerin maliyetidir. Yarı iletken, ağ ve MEMS tabanlı teknolojilerindeki son gelişmeler donanım maliyeti ile ilgili kısıtların aşılmasını sağlamış ve enerji miktarının en uzun korunumunu sağlayacak modelin kurulması, kablosuz sensör ağlarda en krıtik araştırma konusu haline gelmiştir.

Günümüzde yapılan çalışmalar, enerji depolama kapasitesi az olan pil ile çalışan düğümün enerji sarfiyatını düşürerek, başka bir ifade ile enerji verimli çözümler üreterek ağ yaşam süresini arttırma konusunda yoğunlaşmıştır.

Bu çalışmada kablosuz sensör ağlarda sensör düğümlerin veri iletimi sırasında harcamış olduğu enerjinin korunumunu sağlamak amacıyla genetik temelli bir yönlendirme metodu önerilmiştir.

Önerilen INGABEEC yöntemi ile literatürdeki LEACH ve GABEEC algoritmalarının eniyilemesi ana hedef almıştır. Bunu gerçeklestirmek için küme içi düğümlerin küme başı ile haberleşmesi yerine kendisine en yakın düğümle iletişime geçmesi yaklaşımı getirecek topoloji oluşturmuştur.

INGABEEC metodun simülasyonu göstermiştir ki, ilk düğümün ölmesi LEACH'e oranla yaklaşık olarak 2 katı daha uzun sürmüştür. Son düğümün ölme tur sayısı ise 1.8 kata kadar çıkmaktadır.

INGABEEC'in GABEEC ve LEACH protokolüyle karşılaştırmasında ise ilk düğümün ölmesi GABEEC'e oranla yaklaşık olarak 1.09 - 1.4 kat daha uzun sürmüştür. Son düğümün ölümü ise 1.37 - 1.50 kat geciktirilmiştir.

Sonuç olarak tez çalısmasında ortaya koyduğumuz INGABEEC yöntemi literatürdeki diğer çalışmalara göre ağın yaşam süresini çok daha fazla arttırdığını elde edilen simülasyon verileri vasıtasıyla doğruladık.

KAYNAKLAR

1. Heinzelman, W.R., A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan. *Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks*. in *System Sciences, 2000. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on*. 2000.
2. S. Jin, M.Z., A. S. Wu, , *Sensor Network Optimization Using a Genetic Algorithm*, in *7th World Multiconference on Systemics Cybernetics and Informatics*. 2003.
3. C. Lai, C.T., R. Ko, *An Effective Genetic Algorithm to Improve Wireless Sensor Network Lifetime for Large-Scale Surveillance Applications*, in *IEEE Congress on Evolutionary Computation*. 2007.
4. Hussain, S., A.W. Matin, and O. Islam, *Genetic Algorithm for Hierarchical Wireless Sensor Networks*. 2007. Vol. 2. 2007.
5. D. Turgut, S.K.D., R. Elmasri, B. Turgut, *Optimizing Clustering Algorithm in Mobile Ad hoc Networks Using Genetic Algorithmic Approach*, in *IEEE Global Telecommunications Conference*. 2002.
6. Liu, J.-L. and C.V. Ravishankar, *LEACH-GA: Genetic algorithm-based energy-efficient adaptive clustering protocol for wireless sensor networks.* International Journal of Machine Learning and Computing, 2011. **1**(1): p. 79-85.
7. Liu, X., *A survey on clustering routing protocols in wireless sensor networks.* Sensors, 2012. **12**(8): p. 11113-11153.
8. Gupta, B.K. and S. Chandrakar, *A Survey on Node Placement for Wireless Sensor Network Using Pso Algorithm.*
9. Silicon Laboratories, I., *The Evolution of Wireless Sensor Networks* Silicon Laboratories, Inc. .
10. Cooley, D., *Networking: Wireless world.* Embeddednews, 05 April 2013(April).
11. Waltenegus Dargie, C.P., *Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice*. 2010: Wiley.
12. Srivastava, M., *Sensor Node Platforms & Energy Issues*.
13. oversigma.com, *WSN Platforms*.
14. Raghunathan, V., et al., *Energy-aware wireless microsensor networks.* Signal Processing Magazine, IEEE, 2002. **19**(2): p. 40-50.
15. Holger Karl, A.W., *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*. 2005: Wiley.
16. I. Akyildiz, W.S., Y. Sankarasubramanian, E. Cayirci, , *A Survey on Sensor Networks.* IEEE Communications Magazines, 2002. **August**.
17. Mohammad, I., Richard, C. Dorf, ed. *The handbook of ad hoc wireless networks*. ed. I. Mohammad and C.D. Richard. 2003, CRC Press, Inc. 582.
18. Dekker, P.G.M.B.a.R., *Optimizing RF Front Ends for Low Power*, in *Proceedings of the IEEE*. 2000. p. 1546–1559.
19. Ian F. Akyildiz, M.C.V., *Wireless Sensor Networks*. Vol. 4. 2010: John Wiley & Sons.
20. Sinha, A. and A. Chandrakasan, *Dynamic power management in wireless sensor networks.* Design & Test of Computers, IEEE, 2001. **18**(2): p. 62-74.
21. Cerpa, A.E. and D. Estrin, *ASCENT: Adaptive Self-Configuring sEnsor Networks Topologies*. 2004.
22. L., D., J., Simon, T.,Watteyne, *Wireless Sensor Network Challenges and Solutions*.
23. Sohraby, K., D. Minoli, and T. Znati, *Wireless sensor networks: technology, protocols, and applications*. 2007: John Wiley & Sons.
24. Akyildiz, I.F., F. Brunetti, and C. Blázquez, *Nanonetworks: A new communication paradigm.* Computer Networks, 2008. **52**(12): p. 2260-2279.
25. group, I.o.l.p.W.w., *IPv6 over Low power WPAN*.

26. Hedetniemi, S.M., S.T. Hedetniemi, and A.L. Liestman, *A survey of gossiping and broadcasting in communication networks.* Networks, 1988. **18**(4): p. 319-349.
27. Heinzelman, W.R., J. Kulik, and H. Balakrishnan, *Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks*, in *Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*. 1999, ACM: Seattle, Washington, USA. p. 174-185.
28. Intanagonwiwat, C., R. Govindan, and D. Estrin, *Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks*, in *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*. 2000, ACM: Boston, Massachusetts, USA. p. 56-67.
29. Sadagopan, B.K., and A.Helmy, *The ACQUIRE Mechanism for Efficient Querying inSensor Networks*, in *1st IEEE International Workshop on Sensor Network Protocolsand Applications (SNPA)*. 2003.
30. Kumar, V., S. Jain, and S. Tiwari, *Energy Efficient Clustering Algorithms in Wireless Sensor Networks: A Survey.* IJCSI International Journal of Computer Science Issues, 2011. **8**(5).
31. Hussain, S. and A.W. Matin. *Hierarchical cluster-based routing in wireless sensor networks*. in *Proceeding of 5th Intl. Conf. on Information Processing in Sensor Network (IPSN06), USA*. 2006.
32. Lindsey, S. and C.S. Raghavendra. *PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems*. in *Aerospace conference proceedings, 2002. IEEE*. 2002. IEEE.
33. Bayraklı, S. and S.Z. Erdogan, *Genetic Algorithm Based Energy Efficient Clusters (GABEEC) in Wireless Sensor Networks.* Procedia Computer Science, 2012. **10**: p. 247-254.
34. Manjeshwar, A. and D.P. Agrawal. *TEEN: ARouting Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks*. in *IPDPS*. 2001.
35. Sohrabi, K., et al., *Protocols for self-organization of a wireless sensor network.* IEEE personal communications, 2000. **7**(5): p. 16-27.
36. Manoj, C.S.R.M.a.B.S., *Build wireless M2M and IoT sensor networks: Data dissemination*.
37. He, T., et al. *SPEED: A stateless protocol for real-time communication in sensor networks*. in *Distributed Computing Systems, 2003. Proceedings. 23rd International Conference on*. 2003. IEEE.
38. Biradar, R.V., et al., *Classification and comparison of routing protocols in wireless sensor networks.* Special Issue on Ubiquitous Computing Security Systems, UbiCC Journal, 2009. **4**: p. 704-711.
39. Gen, M. and R. Cheng, *Genetic algorithms and engineering optimization*. Vol. 7. 2000: John Wiley & Sons.
40. wikimedia.org, *Plant cell structure*.
41. Holland, J.H., *Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. 1975: U Michigan Press.
42. Man, K., K. Tang, and S. Kwong, *Genetic algorithms: concepts and applications.* IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1996. **43**(5): p. 519-534.
43. Bäck, T., *Evolutionary algorithms in theory and practice: evolution strategies, evolutionary programming, genetic algorithms*. 1996: Oxford university press.
44. Schwefel, H.-P. and R. Maenner, *Proceedings from the 1st workshop on Parallel problem solving from nature*. 1991: Springer-Verlag New York, Inc.
45. Sivanandam, S. and S. Deepa, *Introduction to genetic algorithms. 2008*. Springer.

46. Goldberg, D.E., *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Vol. 412. 1989: Addison-wesley Reading Menlo Park.
47. Reference, G.H., *What is a gene*.
48. Gopalakrishnan, G., B. Minsker, and D.E. Goldberg, *Optimal sampling in a noisy genetic algorithm for risk-based remediation design.* Bridges, 2001. **10**(40569): p. 94.
49. Centre, N.U.E.D.; Available from: http://www.edc.ncl.ac.uk/highlight/rhjanuary2007g02.php/.
50. Mitchell, M., *An introduction to genetic algorithms*. 1998: MIT press.
51. Pardalos, P.M. and H. Wolkowicz, *Quadratic Assignment and Related Problems: DIMACS Workshop, May 20-21, 1993*. Vol. 16. 1994: American Mathematical Soc.
52. Chaiyaratana, N. and A. Zalzala. *Recent developments in evolutionary and genetic algorithms: theory and applications*. in *Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications, 1997. GALESIA 97. Second International Conference On (Conf. Publ. No. 446)*. 1997. IET.
53. Jin, S., M. Zhou, and A.S. Wu. *Sensor network optimization using a genetic algorithm*. in *Proceedings of the 7th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics*. 2003.

ÖZGEÇMİŞ

Turgut Kılınç, 1975 yılında Giresun / Bulancak'da doğdu. Öğrenimlerini sırasıyla İhsan Şerif İlk Öğretim Okulu ve Gebze Endüstri Meslek Lisesi'nde tamamladı. 1997 yılında Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 1998 yılında Yıldız Teknik Universitesine geçiş yaptı. Yıldız Teknik Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'den 2005 yılında mezun oldu. Aynı yıl Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Yüksek Lisans programında yüksek lisans öğrenimi yapmaya hak kazandı. Yüksek lisansı başarıyla tamamlayıp 2009 Trakya Üniversitesi'nde doktora çalışmalarına başladı. 1998 yılından beri çeşitli firmalarda yazılım mühendisi, takım lideri, proje yöneticisi, IT müdürü olarak görev yapmıştır.