

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA ENERJİ VARSAYIMLARI İÇİN
KÜMELEME METOTLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İlyas Terzi

Elektrik Elektronik Anabilim Dalı

Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı

AĞUSTOS 2018

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA ENERJİ VARSAYIMLARI İÇİN
KÜMELEME METOTLARININ KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İlyas TERZİ

1403620008

Elektrik Elektronik Anabilim Dalı

Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Javad RAHEBİ

Türk Hava Kurumu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1403620008 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, İlyas TERZİ ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA ENERJİ VARSAYIMLARI İÇİN KÜMELEME METOTLARININ KARŞILAŞTIRILMASI başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Javad RAHEBI
Türk Hava Kurumu Üniversitesi

Jüri Üyeleri:

Dr. Öğr. Üyesi Javad RAHEBI
Türk Hava Kurumu Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Seçil KARATAY
Kastamonu Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Esra KARAOĞLU
Türk Hava Kurumu Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 06 Ağustos 2018

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum, “Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Enerji Varsayımları İçin Kümeleme Metotlarının Karşılaştırılması” adlı çalışmamın, tarafımdan akademik etik ve kurallara aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım kaynakların kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

06.08.2018

İlyas TERZİ



TEŞEKKÜR

Aile hayatının önem arz ettiği bu toplum yapısında, kıymetli vakitlerinden fedakârlıkta bulunarak, bu çalışma süresince desteklerini esirgemeyen biricik oğlum Miraç ve sevgili eşim Zeliha'ya sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans tez çalışma sürecinde beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan desteğini ve yardımını hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Javad RAHEBI'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2018

İlyas TERZİ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
TABLO LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR	ix
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
BİRİNCİ BÖLÜM.....	1
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Kablosuz Algılayıcı Ağlar.....	1
İKİNCİ BÖLÜM.....	3
2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ MİMARİSİ.....	3
2.1 Arka Plan.....	3
2.2 Kablosuz Algılayıcı Ağ Kullanım Alanları.....	4
2.3 Kablosuz Algılayıcı Ağ Katmanları.....	5
2.3.1 Uygulama Katmanı (Application Layer).....	5
2.3.2 İletim Katmanı (Transport Layer).....	6
2.3.3 Ağ Katmanı (Network Layer).....	6
2.3.4 Veri Bağlantı Katmanı (Data Link Layer).....	6
2.3.5 Fiziksel Katman (Physical Layer).....	6
2.4 Kablosuz Algılayıcı Ağ Yapısı.....	6
2.5 Kablosuz Algılayıcı Ağlardaki Topolojiler.....	8
2.5.1 Yıldız Topoloji (Star Topology).....	8
2.5.2 Ağ Topoloji (Mesh Topology).....	9
2.5.3 Hibrit Topoloji (Hybrid Star – Mesh Topology).....	9
2.6 Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Kümeleme.....	10
2.6.1 KAA’da Kümeleme Nedir?.....	10
2.6.2 KAA’da Kümeleme Metotları.....	11
2.6.3 Kümeleme Özellikleri.....	11
2.6.4 Küme Başı (CH) Yetenekleri.....	12
2.6.5 Küme Başı (CH) Seçimi.....	13
2.6.6 Küme Formasyonları.....	13
2.6.7 Kümelemede İstenilen Özellikler.....	13
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....	15
3. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA KULLANILAN BAŞLICA ALGORİTMALAR.....	15
3.1 Önemli Algoritmalar.....	15
3.1.1 LEACH Algoritması.....	15
3.1.2 PEGASIS Algoritması.....	17
3.1.3 HEED Algoritması.....	17
3.2 Literatür Özeti.....	18

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	31
4. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR İÇİN GELİŞTİRİLEN YÖNTEM	31
4.1 Bulanık Mantık.....	31
4.2 Genetik Algoritma	33
4.3 Simülasyon Sonuçları.....	34
4.3.1 Bulanık Mantık Yapısı.....	36
4.3.2 Genetik Algoritma Yapısı	39
BEŞİNCİ BÖLÜM	44
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	44
KAYNAKÇA	46
ÖZGEÇMİŞ	52



TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 : KAA’da kümelenin kategorize edilmesi.	14
Tablo 3.1 : Geçmişten günümüze kadar geliştirilen algoritmalar.	28
Tablo 4.1 : Bulanık mantık algoritma parametreleri.	34
Tablo 4.2 : Genetik algoritma parametreleri.	40



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	: Kablosuz algılayıcı ağ uygulaması.	2
Şekil 2.1	: Kablosuz algılayıcı ağ mimarisi.	3
Şekil 2.2	: Kablosuz algılayıcı ağ uygulamaları.....	4
Şekil 2.3	: Kablosuz algılayıcı ağ katmanları.....	5
Şekil 2.4	: Kablosuz algılayıcı ağ bileşenleri.	7
Şekil 2.5	: Kablosuz algılayıcı ağ topolojileri.....	8
Şekil 2.6	: Yıldız topoloji örneği.....	8
Şekil 2.7	: Ağ topoloji örneği.....	9
Şekil 2.8	: Hibrit topoloji örneği.	10
Şekil 2.9	: Kablosuz algılayıcı ağlarda kümeleme.	11
Şekil 3.1	: LEACH Veri İletim Şeması.....	16
Şekil 3.2	: PEGASIS veri iletim şeması.....	17
Şekil 3.3	: Algoritmaların yıllara göre dağılımı.	28
Şekil 4.1	: Bulanık mantık çalışma sistemi 32	
Şekil 4.2	: Genetik algoritmanın genel akış şeması.	33
Şekil 4.3	: Önerdiğimiz yöntemin başlangıç alanı.	35
Şekil 4.4	: Olasılık değerini almak için kullanılan bulanık araç kutusu.....	36
Şekil 4.5	: Enerji giriş fonksiyonu.....	36
Şekil 4.6	: Mesafe giriş fonksiyonu.....	37
Şekil 4.7	: Kuralın yüzeysel gösterimi.	37
Şekil 4.8	: Bulanık sistem kuralları.	38
Şekil 4.9	: Canlı sensör sayısı.	41
Şekil 4.10	: Canlı sensör sayısı.	42
Şekil 4.11	: Baz istasyonunda alınan paket sayısı.....	42
Şekil 4.12	: Minimum enerji ve tur sayısı.	43
Şekil 4.13	: Tüm sensörlerin enerji ortalaması.....	43

KISALTMALAR

ADC	: Analog Digital Converter
AEC	: Average Energy Consumption
BCDCP	: Base-Station Controlled Dynamic Clustering Protocol
BECC	: Balanced Energy Consumption Clustering
BS	: Base Station
CH	: Cluster Head
CHEF	: Cluster Head Election Using Fuzzy Logic
CN	: Cluster Node
COPE	: Cooperative Power and Energy-Efficient
CREEC	: Chain Routing with Even Energy Consumption
DCHS	: Distributed Cluster Heading Scheduling
DECA	: Distributed Energy-efficient Clustering Algorithm
DFCR	: Distributed Fault-tolerant Clustering and Routing
DHAC	: Hierarchical Agglomerative Clustering
DRINA	: Data Routing for In-Network Aggregation
DSR	: Dynamic Source Routing
EADUC	: Energy Aware Distributed Unequal Clustering
EAUCF	: Energy aware unequal clustering fuzzy
EBDRA	: Energy Balanced Dynamic cluster Routing Approach
ECRA	: Energy-Efficient Cluster Routing Algorithm
EECA	: Energy Efficient Clustering Algorithm
EECB	: Energy-Efficient Chain-Based
EEGA	: Energy Efficient Genetic Algorithm
EEAOC	: Energy Efficient Adaptive Overlapping Clustering
EEUC	: Energy-Efficient Uneven Clustering
E₂FNC	: Energy Efficient Fault Tolerance Nasted Clustering
GA	: Genetic Algorithm
GCH	: Grid Clustering Hierarchy
GSEN	: Group-based Sensor Network
G-MOHR	: Green (Energy Efficient)-Multi-Objective Hybrid Routing Algorithm
GROUP	: Grid-clustering Routing Protocol
GSTEB	: General Self-Organizing Tree Based Energy Balance
HEED	: Hybrid Energy Efficient Distributed
HUCL	: Hybrid Unequal Clustering with Layering
ILR	: Incremental Low-Rank
ISM	: Interpretive Structural Modeling
KA	: Kablosuz Algılayıcı Ağ
LCUCR	: Low-Energy Consumption Unequal Clustering Routing
LEACH	: Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy
LEUC	: Low Energy Uneven Clustering
MOFCA	: Multi-Objective Fuzzy Clustering Algorithm

NFV	: Network Function Virtualisation
PDORP	: Propose Directional Transmission-Based Energy Aware Routing Pr.
PECRP	: Power-efficient Clustering Routing Protocol
PEDAP	: Power Efficient Data gathering and Aggregation Protocol
PEGASIS	: Power Efficient GATHERing in Sensor Information Systems
PEZCA	: Power-Efficient Zoning Clustering Algorithm
PSO	: Particle Swarm Optimization
RECHS	: Raining Energy Cluster Head Selection
SCBC	: Sector-Chain Based Clustering
SEECH	: Scalable Energy Efficient Clustering Hierarchy
SEP	: Stable Election Protocol
SHRP	: Simple Hybrid Routing Protocol
SSTBC	: Sleep Scheduled and Tree-Based Clustering
STEB	: Self-Organized Tree Based Energy Balance
STG	: Signal Transition Graphs
TAN	: Task Allocation Negotiation
TCAC	: Topology Controlled Adaptive Clustering
TDMA	: Time-Division Multiple Access
TEEN	: Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network
UCR	: Unequal Clustering Routing
UHEED	: Unequal Hybrid Energy Efficient Distributed
WSN	: Wireless Sensor Network
VBS	: Virtual Backbone Scheduling

ÖZET

KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA ENERJİ VARSAYIMLARI İÇİN KÜMELEME METOTLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

TERZİ, İlyas

Yüksek Lisans, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Javad RAHEBİ

Ağustos 2018, 52 Sayfa

Kablosuz algılayıcı ağlar; manyetik, termal, görsel, kızılötesi, akustik, radar gibi çeşitli ortam koşullarını izleyebilen, kendi aralarında iletişim kurabilen, veri işleme kabiliyeti bulunan, pil ömrü sınırlı olan sensör düğümlerinden oluşmaktadır. Bu sensörler, askeri, sağlık ve çevresel birçok alanda kullanılmaktadır. Bu alanlara örnek verecek olursak; çevre koşullarının izlenmesi, hava ve iklim analizi, uzayda arazi yapısının incelenmesi, güneş sisteminin araştırılması, sıcaklık, rüzgâr hızı ve GPS verilerinin izlenmesi şeklinde örnekleri çoğaltmak mümkündür. Uygulamalarda kullanılan sensör düğümlerinin sayısı yüzler, binler hatta uygulama yapısına göre on binleri bulmaktadır. Bu küçük yapılar, sınırlı kaynaklara (enerji, bellek) sahip donanımlardır.

Kablosuz algılayıcı ağların ömürlerini uzatmak için etkin enerji tasarrufu sağlayacak şekilde bir araya gelmiş ağ yapılarına ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeple kablosuz algılayıcı ağlarda kullanılan protokoller enerjii etkin kullanılmalıdır.

Bu tez çalışmamızın amacı; geçmişten günümüze kadar kablosuz algılayıcı ağlar için oluşturulan kümeleme algoritmalarının neler olduğunu göstermek, sensör düğümlerinde enerji tüketimini azaltmak için kullanılan yöntemleri inceleyerek yapılarına göre birbirleriyle karşılaştırmak ve ardından yeni bir kümeleme algoritması önermektir.

Sonuç olarak; kablosuz algılayıcı ağlarında en önemli konulardan biri, ağdaki kaynakların etkin şekilde kullanılması ve ağ ömrünü olabildiğince uzatmaktır. Çünkü bu kaynaklar sürekli yenilenme olasılığı olmayan ortamlarda bulunmaktadır. Bu nedenle her bir sensör düğümünde enerji tüketiminden tasarruf edilmesi, ağ bakım-işletme maliyetini önemli ölçüde düşürecek ve ağ ömrünü uzatacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz Algılayıcı Ağlar, Kablosuz Algılayıcı Ağ Uygulama Alanları, Bulanık Mantık, Genetik Algoritma, Homojen Ağlar, Heterojen Ağlar



ABSTRACT

COMPARISON OF CLUSTERING METHODS FOR ENERGY ASSUMPTION IN WIRELESS SENSOR NETWORK

TERZİ, İlyas

Master, Department of Electrical & Electronics Engineering

Thesis Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Javad Rahebi

August 2018, 52 Pages

Wireless sensor networks consist of sensor nodes with limited battery lives, which have the abilities to monitor various environment conditions such as magnetic, thermal, visual, infrared, acoustic, radar etc. and to communicate with each other. These sensors are being used in military, health and environmental fields. Some examples for these fields include, monitoring environment conditions, weather and climate analysis, observing the land structures in space, studying the solar system, monitoring the data of temperature, wind speed and GPS etc. The number of sensor nodes used in applications can be hundreds, thousands and even tens of thousands depending on the structure of the application. These small devices are hardware with limited resources (energy, memory).

In order to increase the longevity of the wireless sensor networks, there is a need for network structures that come together with the purpose of effectively saving energy. Therefore, the protocols used in wireless sensor networks should use the energy effectively.

The purpose of this thesis is to present the clustering algorithms created for wireless sensor networks from past to present, to study and compare the methods used for decreasing the energy consumptions in sensor nodes and offer a new clustering algorithm.

Thereby, one of the most important things in wireless sensor networks is to use the resources of the network effectively and to increase the lifespan of the network because these resources are usually located in environments where there is no possibility of renewal. Hence, achieving energy savings in sensor nodes will cut down the cost of network maintenance & operating and will increase the lifespan of the network.

Keywords: Wireless Sensor Networks, Application Fields of Wireless Sensor Networks, Fuzzy Logic, Genetic Algorithm, Homogeneous Networks, Heterogeneous Networks



BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1 Kablosuz Algılayıcı Ağlar

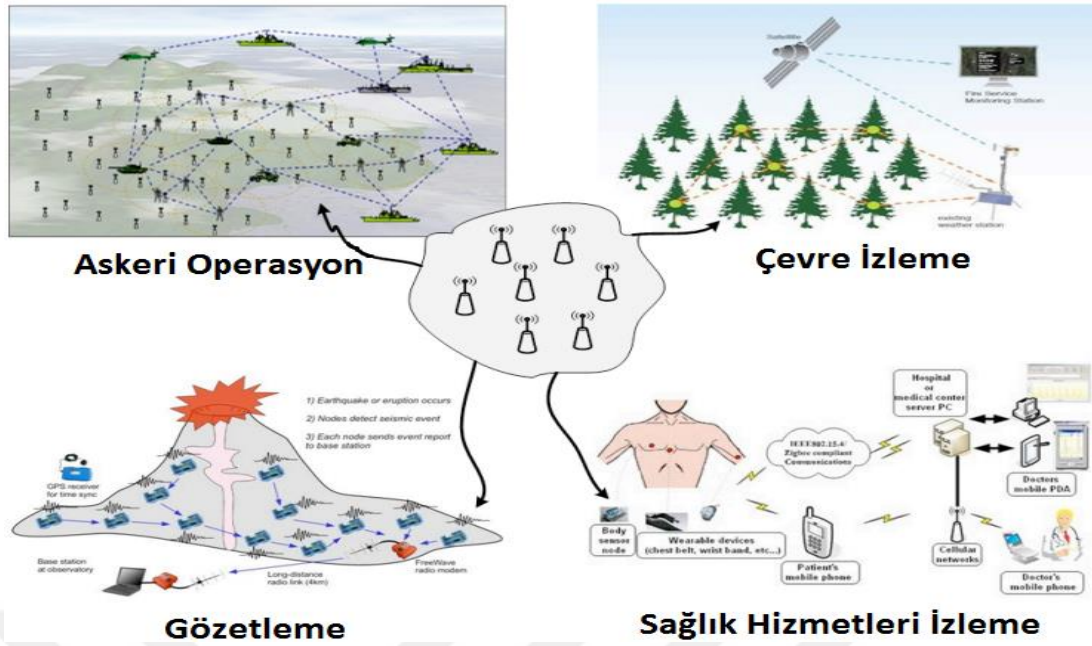
Kablosuz algılayıcı ağ, tümleşik bir ağa bağlanan onlarca veya binlerce toplu sensörden oluşur. Bu sensörler ses, hareket, titreşim, sıcaklık, nem veya basınç gibi olayları izler. Sensör düğümleri genellikle bilgiyi algılayabilir, işleyebilir ve komşularıyla kablosuz olarak iletişim kurabilirler [1].

Kablosuz algılayıcı ağlarda bilgi alma ve gönderme süreci sensör düğümleri sayesinde sağlanır. Genel olarak düğümler, verilerin toplanıp çıkış düşümü olarak adlandırılan terminallere teslim edilmesi için kullanılır.

Teknolojinin ilerlemesiyle kablosuz algılayıcı ağlar günlük hayatımızda hayati bir rol oynamaya başlamıştır. Sensör düğümlerinin maliyetinin düşürülmesi KAA'ların daha fazla konuşlandırılmasına yol açmaktadır. KAA' lar için potansiyel uygulamalar; endüstriyel ekipman izleme ve kontrol, çevre ve yaşam alanı izleme, makine sağlık izleme, ev otomasyonu, sağlık uygulamaları, nükleer reaktör kontrolü, yangın algılama, nesne izleme ve trafik kontrolü gibi çeşitli kullanım alanları mevcuttur [2].

Fiziksel dünyayı sanal dünyaya bağlayan uygulamaların etkinleştirilmesi için algılayıcı ağların kapasitesine bağlı olarak, kablosuz algılayıcı ağların verimli tasarımı ve uygulanması son yıllarda önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Günümüzde çevresel olaylar hakkında klasik yollarla bilgi edinmek zor veya imkânsız olsa da çok sayıda küçük algılayıcı düğüm ile bilgi edinmek mümkündür [3].

KAA düğümleri pil gücü ile çalışır. Enerji haznesi, boyut ve ağırlık kısıtlamaları nedeniyle KAA düğümlerin ağ ömrünü uzun süre sürdürmek için sınırlı kapasiteye sahiptir. Bu nedenle KAA düğümlerinin enerji tüketimi ve şebeke enerjisinin dengesi önemli bir faktördür [4]. Kablosuz Algılayıcı Ağ Uygulaması örneği Şekil 1.1'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1: Kablosuz algılayıcı ağ uygulaması.

Bu tez çalışmamızın ilk bölümünde; öncelikle işin temeline inerek kablosuz algılayıcı ağların hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olduğu ve bu ağların kullanımında karşılaşılan güçlükler ele alınmıştır.

İkinci bölümde KAA'ların yapısı, genel özellikleri, kullanım alanları, kullanılan topolojilerin neler olduğu, bu küçük yapıların nasıl çalıştığı ve çalışması sırasında izlenen adımların neler olduğundan bahsedilmiştir. Ayrıca ağın verimliliğini artırmak amacıyla sensörlerde kümelemenin gerekliliği ve kümelemenin detayları üzerinde durulmuştur.

Üçüncü bölümde ise KAA'lar için ilk tasarlanan kümeleme metotlarının neler olduğu ve bu metotların detayları ile geçmişten günümüze kadar geliştirilen algoritmalara yer verilmiştir.

Dördüncü ve beşinci bölümlerde bulanık mantık ve genetik algoritma teoremlerinden ve bunlardan yararlanılarak üretilen yeni bir algorithmadan bahsedilmiştir.

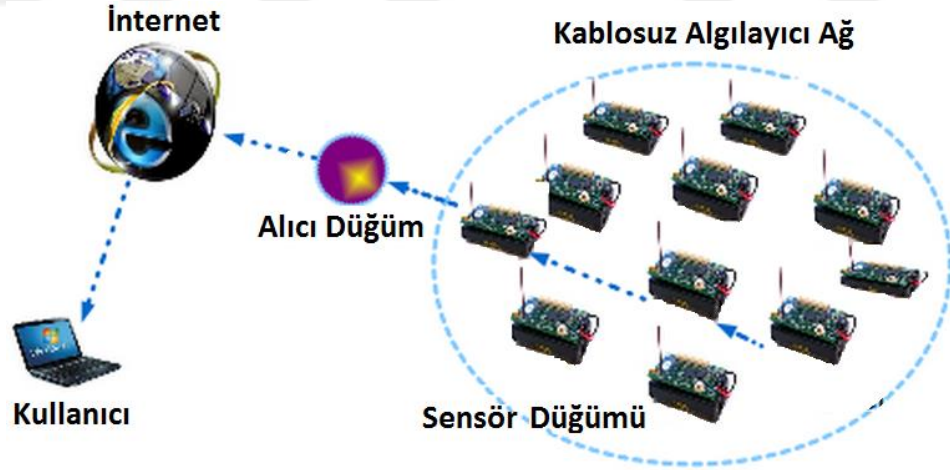
İKİNCİ BÖLÜM

KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ MİMARİSİ

2.1 Arka Plan

Kablosuz bir algılayıcı ağı, sıcaklık, ses, titreşim, hareket, basınç veya kirlilik gibi fiziksel veya çevresel koşulları birlikte izleyen mekânsal olarak dağıtılmış özerk sensörlerden oluşur. KAA, birkaç düğümden yüzlerce düğüme hatta binlerce düğüme kadar oluşturulabilir [5].

Kablosuz algılayıcı ağlar için en önemli unsurlar; güvenilirlik, doğruluk, esneklik, maliyet etkinliği ve kolay kurulumdur. KAA çok fonksiyonlu bireysel sensör düğümlerinden oluşur. Şekil 2.1’de kablosuz algılayıcı ağ mimarisi gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Kablosuz algılayıcı ağ mimarisi.

Örneğin ortamın uzaktan izlenmesi gereken bir sensör ağında, tek tek sensör düğümlerinden gelen veriler, son kullanıcının verilere erişebileceği merkezi bir baz istasyonuna gönderilir ve kullanıcı ilgili ağa bağlanarak bilgiye ulaşır.

Kablosuz algılayıcı ağların genel özellikleri arasında;

1. Kullanımı kolay olması,
2. Düğüm hataları ile baş etme becerisi olması,
3. İletişim hatalarını en aza indirgemesi,
4. Büyük ölçekli dağıtım için ölçeklenebilir olması,
5. Pilleri kullanan düğümler için güç tüketimini kısıtlaması,
6. Sert çevre koşulları vb. ile işbirliği yapma becerisi gibi özellikler sayılabilir.

2.2 Kablosuz Algılayıcı Ağ Kullanım Alanları

Kablosuz algılayıcı ağların ortaya çıkışı, birçok yönüyle kapsamlı bir araştırma başlatmıştır. Bununla birlikte, KAA kullanılarak gerçekleştirilebilecek potansiyel uygulamalar uzun zamandır tartışılmıştır. Şekil 2.2’de KAA’ların günümüzde kullanıldığı başlıca uygulama alanlarına yer verilmiştir.



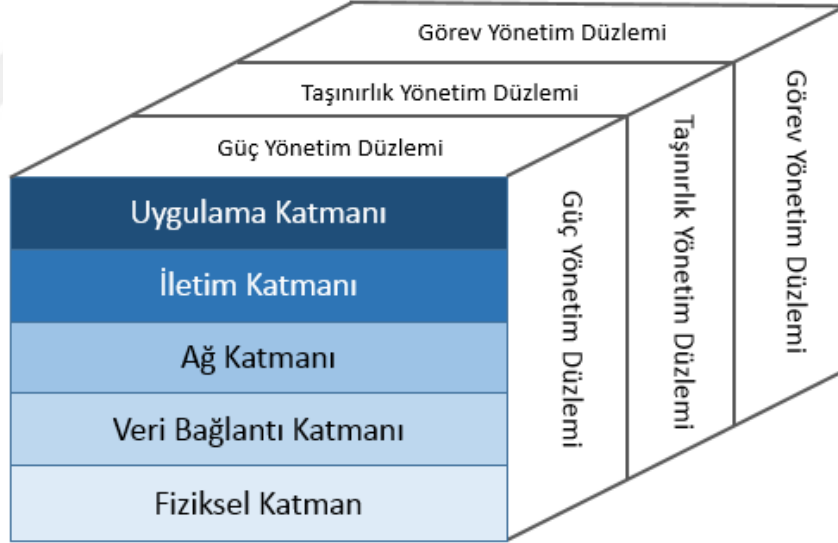
Şekil 2.2: Kablosuz algılayıcı ağ uygulamaları.

KAA’lar sismik, manyetik, termal, görsel, kızılötesi, akustik ve radar gibi çeşitli sıcaklık, nem, basınç, hız, yön ve sıcaklık gibi çok çeşitli ortam koşullarını izleyebilen birçok farklı sensörden oluşabilir. KAA’ların kullanıldığı alanları çoğaltmak mümkündür. Uygulama örneklerini artıracak olursak; uzayda potansiyel ve insan yapımı tehditler için arazi varlıklarının izlenmesi, hem kara hem de suyun yapısının incelenmesi, savunma için istihbarat toplama, çevre izleme, hava ve iklim analizi,

savaş izleme, güneş sisteminin ve ötesinin araştırılması, sismik hızlanma, gerinim, sıcaklık, rüzgar hızı ve gps verilerinin izlenmesi vb. örnekleri çoğaltmak mümkündür.

2.3 Kablosuz Algılayıcı Ağ Katmanları

Sensör düğümünün komşu düğümlerini bilmesi sayesinde, düğümler görev ve güç kullanımını dengelemektedir. Görev yönetim düzlemi, bir bölge içerisindeki zamanlamayı ve algılama görevlerini dengeler. Ayrıca bir bölgedeki sensör düğümlerinin tamamının aynı anda algılama görevini yerine getirmesine gerek yoktur. Böylece güç seviyelerini göz önüne alarak bazı düğümler algılama görevini diğer düğümlere göre daha fazla yerine getirir. Bu yönetim düzlemleri, veriyi taşınabilir sensör ağ içerisinde yönlendirebilmeleri, kaynakları düğümler arasında paylaşabilmeleri ve sensör düğümlerinin etkin bir güç kullanımı ile birlikte çalışmaları için gereklidir. Kablosuz algılayıcı ağ katmanları Şekil 2.3'de gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Kablosuz algılayıcı ağ katmanları.

2.3.1 Uygulama Katmanı (Application Layer)

Uygulama katmanı trafik yönetiminden sorumludur. Aldığı verileri mantıklı bir biçime dönüştüren yazılım uygulaması sunmaktadır. Tarımsal, askeri, çevre, tıbbi vb. farklı alanlarda çok sayıda uygulamada düzenlenmiş sensör ağ katmanıdır.

2.3.2 İletim Katmanı (Transport Layer)

İletim katmanının işlevi, tıkanıklığı önleme ve güvenilirliği sağlamaktır. Bu katmanda, bu işlevi sunmayı amaçlayan birçok protokol, akış vardır. Bu protokoller, kayıp veri tanıma ve kayıp veri kurtarma için mekanizmalar kullanmaktadır. İletim katmanı, bir sistemin diğer ağlarla bağlantı kurması planlandığında tam olarak gereklidir.

2.3.3 Ağ Katmanı (Network Layer)

Ağ katmanının ana işlevi, uygulama tabanlı işlemleri yönlendirmektir. Ağ katmanı için mevcutta kullanılan çok sayıda protokol vardır. Bunlar; düz yönlendirme, hiyerarşik yönlendirme, zaman odaklı, sorguya dayalı ve olay tahrikli olarak sıralayabiliriz.

2.3.4 Veri Bağlantı Katmanı (Data Link Layer)

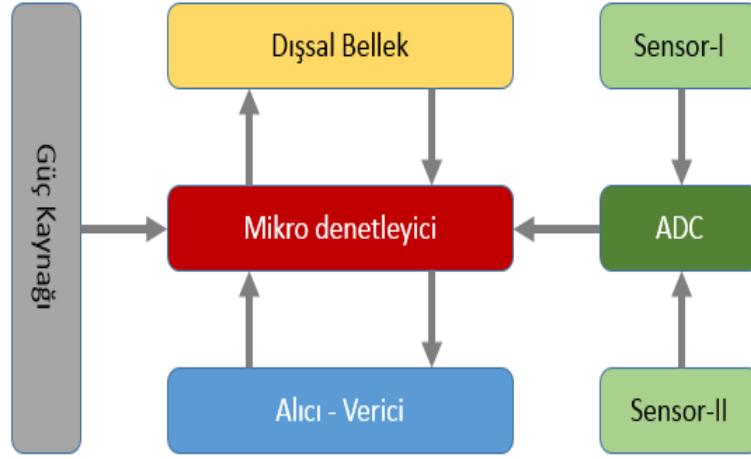
Veri bağlantısı katmanı; çoklama, veri çerçevesi algılama, veri akışları, MAC ve hata kontrolünden sorumludur.

2.3.5 Fiziksel Katman (Physical Layer)

Fiziksel katman, fiziksel ortamın üzerinde veri akışı aktarmak için kullanılır. Bu katman frekans seçimi, bir taşıyıcı frekansı üretme, sinyal algılama, modülasyon ve veri şifreleme işlemlerinden sorumludur.

2.4 Kablosuz Algılayıcı Ağ Yapısı

Güç kaynağı, dışsal bellek, mikrodenetleyici, alıcı-verici ve bir veya birden fazla sensör kablosuz algılayıcı ağların ana yapısını oluşturmaktadır. Şekil 2.4'de KAA bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Kablosuz algılayıcı ağ bileşenleri [7].

Güç Kaynağı: Sensör düğümünde veri işleme, iletişim ve algılama sırasında enerji tüketimi olmaktadır. Veri iletişimi için sensör düğümlerinde daha fazla enerji gerekmektedir. Bu karşın veri işleme ve algılama işlemlerinde enerji tüketimi daha az olmaktadır. Örneğin; saniyede 100 milyon komut işleyen bir işlemcide 3 milyon komut işlemek için gereken enerji, 1 Kb veriyi 100 metrelik bir uzaklığa iletmek için gereken enerjiye eşittir [7].

Dışsal Bellek: Bilgilerin ve programların depolanması için kullanılan alanlardır. Mikro denetleyici çipi üzerinde yer alan bellek ve flash bellekler enerji tüketimi açısından bakıldığında, en uygun belleklerdir.

Mikro denetleyici: Sensör düğümlerinden ve sensörlerden aldığı verilerin işlevselliğini denetler. Düşük enerji tüketimi, diğer aygıtlara bağlanmadaki esneklikleri, programlanabilir olması sayesinde mikro denetleyiciler gömülü sistemler için çok uygun mekanizmalardır [8].

Alıcı-Verici: Kablosuz bir ağdan bilgi almak ve göndermek için kullanılmaktadır. Genellikle ISM bandını kullanırlar [7].

Sensör: Sıcaklık, nem, ses, basınç gibi ortamdaki verileri algılayabilen donanımlardır. Bu sensörlerden analog sinyaller alınır. "Analog-to-Digital" çeviriciler sayesinde bilgiyi sanallaştırarak ilgili birime gönderir. Sensör düğümleri, küçük hacimli, az enerji tüketebilen, her ortama ayak uydurabilen bir özelliğe sahip olması gerekmektedir [9].

2.5 Kablosuz Algılayıcı Ağlardaki Topolojiler

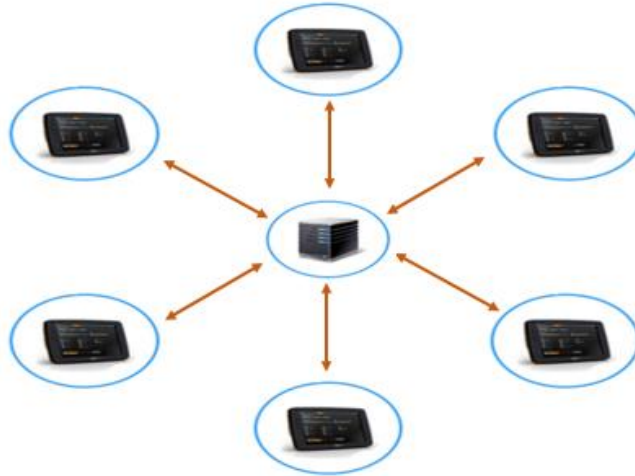
Kablosuz algılayıcı ağlarda üç farklı topoloji kullanılmaktadır. Şekil 2.5’de bu üç topoloji gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Kablosuz algılayıcı ağ topolojileri.

2.5.1 Yıldız Topoloji (Star Topology)

Tek bir baz istasyonunun bir dizi uzak düğüme ileti gönderebildiği veya alabildiği bir iletişim topolojisidir. Uzak düğümler yalnızca tek bir baz istasyonundan bir mesaj gönderebilir veya alabilir. Birbirlerine mesaj göndermesine izin verilmez. Kablosuz ağlar için bu tip ağların avantajları arasında basit olması ve uzaktaki düğümün güç tüketimini minimum seviyede tutmasıdır. Ayrıca, uzak düğüm ve baz istasyonu arasındaki düşük gecikmeli iletişime izin verir. Böyle bir ağın dezavantajı ise, baz istasyonun tüm bireysel düğümlerin radyo iletim menziline olması ve şebekeyi yönetmek için tek bir düğüme bağımlı olması nedeniyle diğer şebekeler kadar sağlam değildir [10]. Yıldız topoloji örneği Şekil 2.6’da gösterilmiştir.

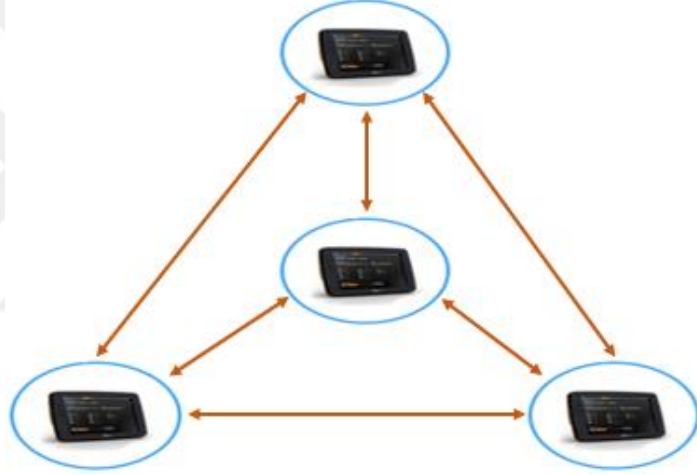


Şekil 2.6: Yıldız topoloji örneği.

2.5.2 Ağ Topoloji (Mesh Topology)

Ağ topolojisi, multihop iletişimi olarak bilinen şeyi sağlamaktadır. Yani, bir düğüm telsiz iletişim menziline dışındaki başka bir düğüme mesaj göndermek isterse, mesajı istenen düğüme iletmek için bir ara düğüm kullanabilir. Eğer tek bir düğüm başarısız olursa, uzak bir düğüm aralığındaki diğer düğümlerle iletişim kurabilir ve iletişimi istenen yere iletebilir. Bu tür ağın dezavantajı, çoklu giriş iletişimini gerçekleştiren düğümlerin, genellikle pil ömrünü sınırlayan güç tüketiminde olmasıdır [11].

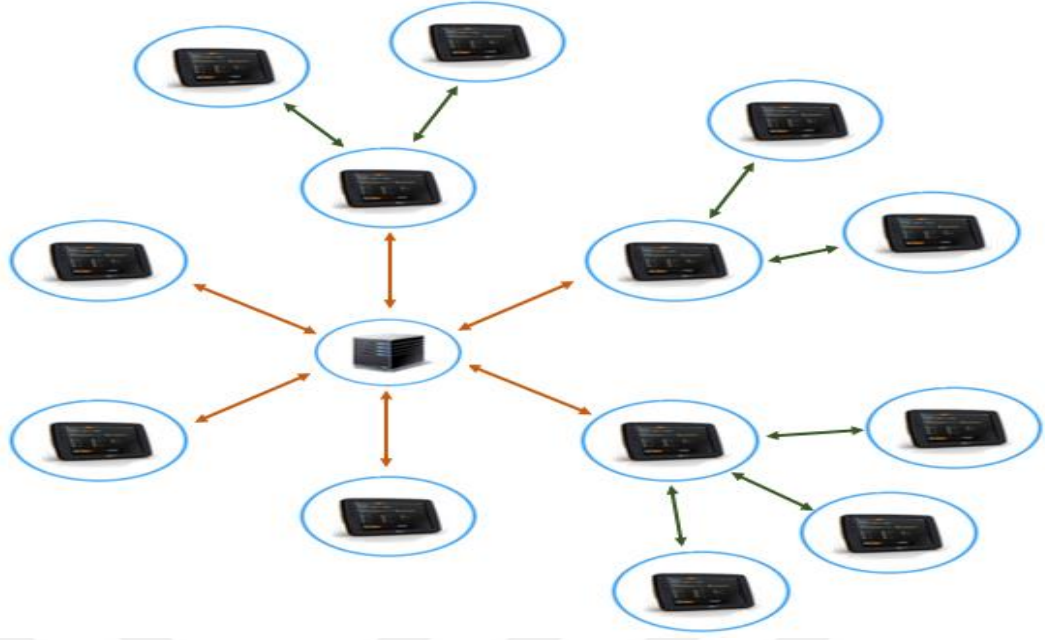
Bir hedefe doğru iletişim şebekesi sayısı arttıkça, özellikle düğümlerin düşük güçte çalışması bir gereklilik olması durumunda, mesajın teslim süresi de artmaktadır. Şekil 2.7’de ağ topoloji örneği gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Ağ topoloji örneği.

2.5.3 Hibrit Topoloji (Hybrid Star – Mesh Topology)

Yıldız ve ağ topoloji arasındaki melez topolojidir. Kablosuz sensör düğümlerinin güç tüketimini minimum seviyede tutma becerisini korurken sağlam ve çok yönlü bir iletişim ağı sağlamaktadır. Bu topolojide, en düşük güç algılayıcı düğümleri iletilme yeteneği ile etkinleştirilmez. Bu minimum güç tüketiminin korunmasını sağlar. Bununla birlikte, ağdaki diğer düğümler, iletileri düşük güç düğümlerinden ağdaki diğer düğümlere iletmelerine olanak tanıyan çoklu erişim yeteneği ile etkinleştirilir [12]. Hibrit topoloji örneği Şekil 2.8’de yer almaktadır.



Şekil 2.8: Hibrit topoloji örneği.

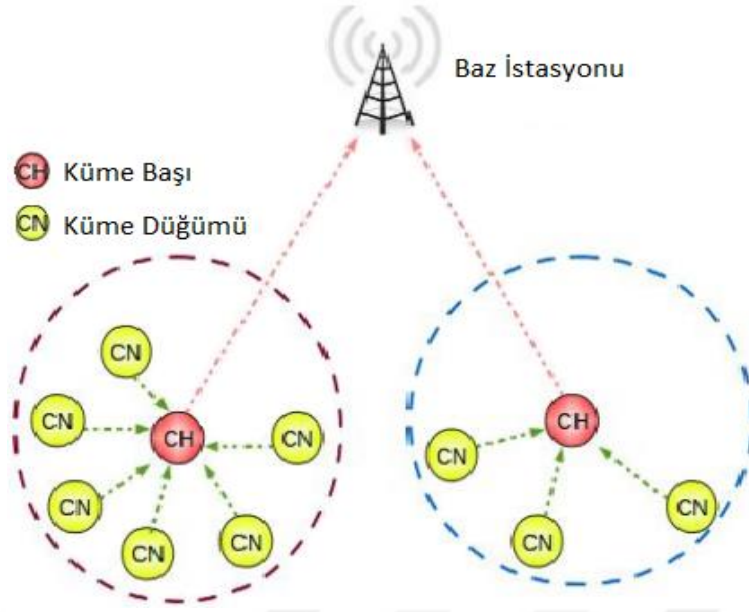
2.6 Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Kümeleme

2.6.1 KAA'da Kümeleme Nedir?

Kablosuz algılayıcı ağlarda geleneksel yönlendirme protokolleri, enerji verimliliği ve yük dengeleme açısından yeterli değildir. Yükü dengelemek ve ağın ömrünü uzatmak için kümeleme getirilmiştir. Kümeleme, ağın birkaç algılayıcı düğüm kümesinden oluştuğu katmanlı protokol örnekleridir [2].

Şekil 2.9'da gösterildiği gibi, her küme, küme başı olarak da bilinen bir lider düğüme sahiptir. CH, kendi kümesindeki tüm düğümlerden veri alır. Küme başı, küme üyelerinden alınan tüm verileri toplar ve daha sonra bu verileri baz istasyonuna gönderir. Küme üyeleri ve küme kafası arasındaki iletişim, küme içi iletişimidir ve burada küme başı ile çıkış düğümü arasındaki iletişim kümeler arası iletişim olarak bilinir.

Kümelere yerel işbirliği, bant genişliği taleplerini azaltır. Kümeleme, yönlendirme yükünü azaltır ve şebekeyi daha kararlı hale getirir [13]. KAA'larda kümeleme örneği Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9: Kablosuz algılayıcı ağlarda kümeleme [13].

2.6.2 KAA'da Kümeleme Metotları

KAA'da kümeleme işleminde üç farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlar; merkezileştirilmiş kümeleme, dağıtık kümeleme ve hibrit kümelemedir. Merkezi kümelemede, kümeler ve küme başları bir merkezi birim tarafından yapılır. Dağıtılmış kümeleme işleminde, kümelerdeki tüm düğümler mevcut tur için küme başı olma kararı alabilir. Hibrit kümeleme, her ikisinin de karışımı olarak kullanılır.

2.6.3 Kümeleme Özellikleri

Küme Sayısı: Küme kafaları sabit kümeler için önceden atanabilir veya küme üyeleri tarafından kümelerin kafaları çeşitli kümeler için seçilebilir. Küme sayısı, bir daire etrafında oluşturulan kümelerin sayısı olarak tanımlanır. Kablosuz algılayıcı ağında enerji tasarrufu için küçük boyutlu küme dağılımı her zaman için tercih edilir.

Küme Boyutu: Sensör düğümleri ile küme kafası arasındaki maksimum mesafedir. Küme boyutu, sabit kümeler için sabitlenebilir veya her küme için değişken olabilir. Büyük boyutlu kümeler, iletim mesafesini maksimize ettiği için enerji tüketimi açısından iyi değildir.

Küme yoğunluğu: Küme sayısının küme alanındaki küme üyesine oranıdır. Sabit kümeleme yaklaşımında küme yoğunluğu sabitken, dinamik kümelemede yoğunluk değişkenlik göstermektedir.

Mesaj sayısı: Mesaj gönderme sayısı, mesaj başlığı olarak adlandırılan küme başı seçimi için gereklidir. Küme başları birçok algorithmada mesaj iletimini kullanarak seçilir. İletim aktarım numarası bir küme başı için daha fazla ise, enerji tüketimi de artar.

Kararlılık: Kümeleme işlemi sırasında, kümeleme sayısı sabit ise sabit kümeleme olarak adlandırılır. Ancak kümeleme işlemi sırasında kümeleme sayısı değişirse, adaptif kümeleme olarak adlandırılır. Sabit küme sayısı, kablosuz algılayıcı ağlarda daha fazla istikrar kazandırır.

Küme içi topoloji: Küme başı ve sensör düğümleri arasındaki iletişim doğrudan veya çoklu hop şekline olabilir. Bu, sensör düğümünün gönderim aralığına bağlıdır. Sensör düğümünün iletişim menzili, düğüm kafası (CH) ile doğrudan iletişim kurabilen düğüm arasındaki mesafedir.

Kümeler arası kafa bağlantısı: Veri akışı, CH ve baz istasyonu (BS) arasındaki iletişimi gösterir. CH'yi, BS'ye bağlanmak için bir dizi kabiliyete sahip olması gerekir. CH nin ana görevi, küme düğümlerinden aldığı bilgiyi baz istasyonuna doğru bir şekilde yönlendirmektir.

2.6.4 Küme Başı (CH) Yetenekleri

Kümeleme işlemi sırasında küme başkanlarının yetenekleri çok önemli bir rol oynamaktadır. CH'lerin yetenekleri, kümeleme sürecini, sensör ağının kararlılığı ve ömrü açısından etkileyebilir. Kümeleme sürecini ayırt etmek için bazı özellikler aşağıda verilmiştir.

Düğüm Türü: Bazı düğümler, yalnızca enerji ve hesaplama kaynaklarına bağlı olan küme kafaları olarak önceden seçilmişlerdir. Bazıları ise kabiliyetleri ve baz istasyonuna yakınlığına göre seçilmiş olabilir.

Hareketlilik: Mobil küme başları (CH) daha iyi ağ performansı sağlayan kümenin dengelenmesi için kullanılabilir. Ağların içindeki CH'ların hareketliliği, kümeleme şemasında tanımlanan hedefler temelinde atanmıştır. Şebekede, mobil küme başlarından daha fazla ihtiyaç duyulması durumunda kolaylıkla yeniden konumlanabilirler.

2.6.5 Küme Başı (CH) Seçimi

Küme başlıkları, konuşlandırılmış sensör ağı tarafından önceden atanabilir veya rasgele seçilebilir. Küme başlığını seçmenin yolları şunlardır:

Olasılığa Dayalı Küme Başı (CH) Seçimi: Olasılığa dayalı kümeleme algoritmasında, ağdaki her sensör düğümü, başlangıç küme başlarını belirlemek için önceden tahsis edilmiş olasılığı kullanır. Olasılık sensör düğümlerinin maksimum enerjisidir.

Olasılığa Dayalı Olmayan Dayanıklı CH Seçimi: Olasılığa dayalı olmayan kümeleme algoritmasında, küme kafaları seçimi, sensör düğümlerinin yakınlığı, bağlantı derecesi ve derecesine dayanır.

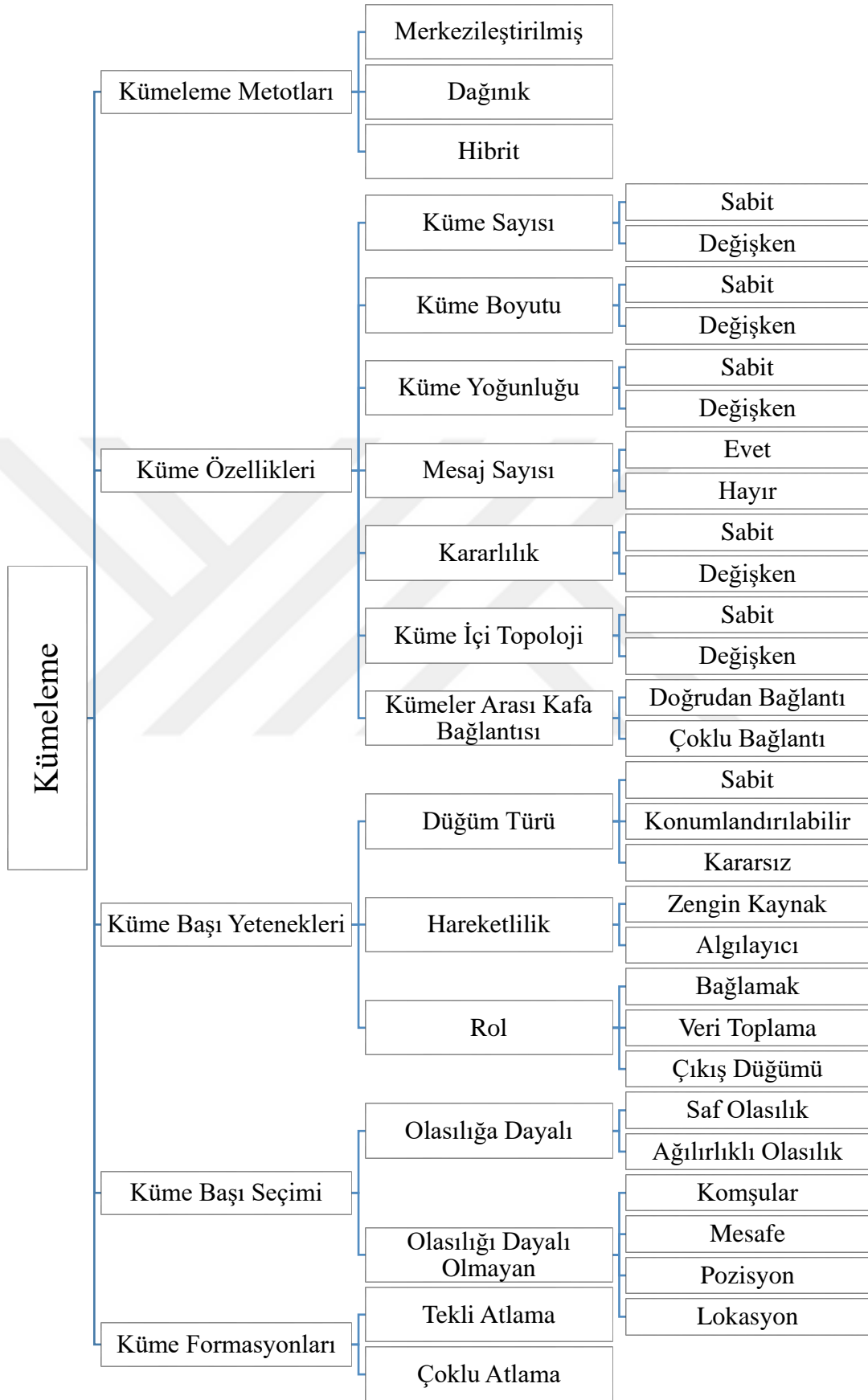
2.6.6 Küme Formasyonları

Bu aşamada, küme başları, kümeyi oluşturmak için etrafındaki tüm düğümlere bilgi gönderir. Küme başından istek alan düğümler küme başlarına birleştirme mesajı gönderir. Sensör ağında kümelenmenin farklı yönlerinin kategorize edilmesi aşağıda belirtilmiştir.

2.6.7 Kümelemede İstenilen Özellikler

1. Her düğüm bir kümede olmalıdır.
2. Şebekenin tamamını kapsamalıdır.
3. Kümelerde daha az çakışma ve enerji verimliliği açısından küme başı sayısı az olmalıdır.
4. Kümelenme düzgün ve dengeli olmalıdır.

Tablo 2.1: KAA'da kümelenin kategorize edilmesi.



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA KULLANILAN BAŞLICA ALGORİTMALAR

3.1 Önemli Algoritmalar

Kablosuz algılayıcı ağlarda ağ trafiği baz istasyonuna yaklaştıkça artar ve baz istasyona daha yakın olan sensör düğümleri daha fazla enerji tüketir. Bu sebeple, baz istasyonuna daha yakın düğümler üzerinden sürekli veri taşıdığından uzaktaki sensör düğümlerine göre enerji kaynakları daha erken tükenir. Bu sorunu çözmek ve ağ üzerindeki sensör düğümlerinin enerji tüketimini dengelemek için eşitsiz kümeleme yaklaşımı getirilmiştir. Bu yaklaşımda kümeler arası veri iletiminde enerji kaybını düşürmek için ağ, eşit olmayan boyuttaki kümelere bölünür ve baz istasyona daha yakın kümeler baz istasyonundan uzak olanlardan daha küçük boyuta sahip olurlar.

Bu bölümde, kablosuz sensör ağları için geliştirilen en yaygın eşitsiz kümeleme algoritmalarının neler olduğu, nasıl çalıştığı ve bu algoritmaları baz alarak günümüze kadar geliştirilen algoritmalar üzerinde durulacaktır.

3.1.1 LEACH Algoritması

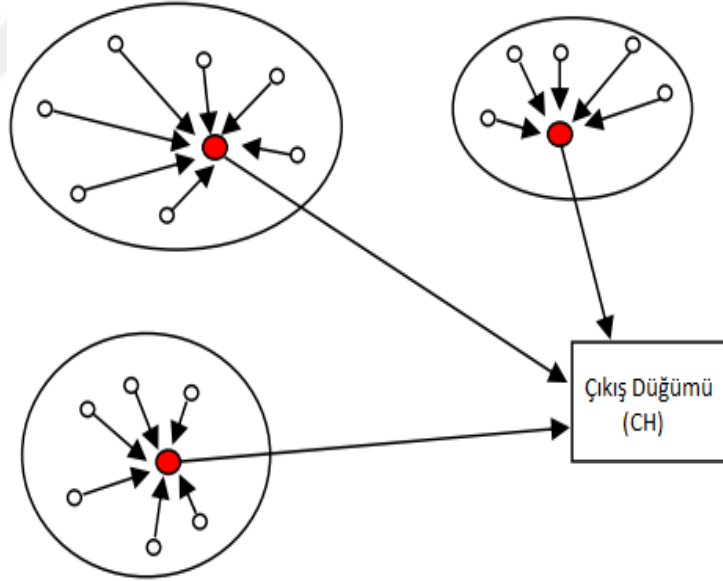
LEACH, KAA'lar için enerji tasarruflu bir yönlendirme protokolü olup; Heinzelman, Chandrakasan ve Balakrishnan tarafından önerilmiştir[14]. Bu protokolde sensör düğümleri rastgele kümeler oluşturur ve küme kafaları çıkış düğümü olarak hareket eder. Bilgi iletimi tüm sensör düğümlerinden ziyade yalnızca küme kafalarından (CH) yapılacağından enerjiden tasarruf sağlanmış olacaktır. Bu protokolde optimum CH sayısı toplam düğüm sayısının %5'i olarak tahmin edilmektedir [14].

LEACH protokolünde, küme başlığının seçimi iki aşamada yapılır. Bunlar kurulum fazı ve çalışma fazı olarak adlandırılır. Kurulum aşamasında her düğüm 0 ve 1 arasında rastgele bir sayı üretir. Bu sayı eşik değerinden küçükse bu düğüm CH olur. Eşik değeri aşağıdaki formül kullanılarak bulunur.

$$T(n) = \left\{ \frac{p}{1 - p \left(r \bmod \frac{1}{p} \right)}, \text{if } n \in G \right\} \quad (3.1)$$

Formüldeki p, küme başlarının istenen yüzdesi ve r şu anki tur, G son turda CH olmamış düğümler grubudur. Bir önceki turda CH olarak seçilen sensör düğümü, ağdaki diğer tüm düğümler küme başlığına gelene kadar CH olarak seçilmez.

Çalışma fazında, düğümler verilerini bir TDMA (Zaman Dilimi Çoklu Erişim) zamanlamasını kullanarak küme başlarına gönderir. TDMA zamanlaması her düğüme zaman dilimlerini tahsis eder. Sonrasında CH, verileri toplar ve ana istasyona gönderir. Şekil 3.1’de LEACH veri iletim şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.1: LEACH Veri İletim Şeması.

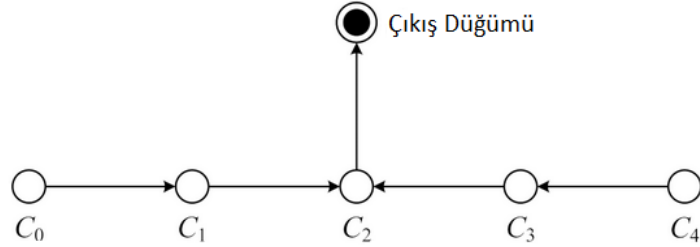
Şekil 3.1’de görüldüğü üzere, sensör düğümleri kümeler oluşturmak üzere gruplandırılmış ve her kümenin bir küme başlığı (CH) vardır. Küme başı, düğümlerden veri toplar ve toplanan verileri baz istasyonuna gönderir. Böylece tüm düğümler baz istasyonuna bilgiyi doğrudan iletmek zorunda kalmaz.

3.1.2 PEGASIS Algoritması

PEGASIS protokolü, kümelerin yapılandırılmasını ve verilerin algılanma yöntemini iyileştirmek için geliştirilmiştir. LEACH protokolüyle karşılaştırıldığında, bir küme oluşumundan ziyade bir zincir oluşumu gözlenir. Her düğüm algılama verilerini en yakın komşu düğüme gönderir. Zincirdeki sensör düğümlerinden biri çıkış düğümü olarak görevlendirir ve verileri baz istasyonuna iletir.

PEGASIS' de zincir oluşumu sürecinde, tüm düğümlerin ağ hakkında global bilgiye sahip olduğu ve açgözlü algoritmanın kullanıldığı varsayılmaktadır. Zincir inşası çıkış düğümünden en uzaktaki düğümden başlayarak ve bu düğümün en yakın komşusu zincirdeki bir sonraki düğüm olacaktır. Zincir üzerindeki bir düğüm devre dışı kaldığında, zincir de ölü düğümün atlanması için süreç aynı şekilde baştan başlayacaktır.

Algoritmada her düğüm bir komşudan veri alır, verileri kendi verileriyle birleştirir ve zincirdeki diğer komşu düğüme aktarır. Düğümden düğüme ilerleyerek, kaynaştırılan veriler sonunda zincir üzerinde rasgele bir konumdaki lider düğüm tarafından çıkış düğüme gönderilir. PEGASIS'de veri iletimi şeması Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2: PEGASIS veri iletim şeması.

Çıkış düğümü, kablosuz sensör ağlarda enerjiyi eşit şekilde tüketmek için sırayla seçilir. PEGASIS protokolünün performansı, LEACH protokolüyle karşılaştırıldığında iki katından daha fazladır [15].

3.1.3 HEED Algoritması

HEED algoritması, Younis ve Fahmy tarafından KAA larda enerji tasarrufu sağlamak amacıyla tasarlanmış çok aşamalı bir algoritmadır. CH seçiminde

LEACH'den farklı olarak, HEED düğümleri rasgele CH olarak seçmez. Küme oluşum şekli, iki parametrenin karma kombinasyonuna dayanarak gerçekleştirilir. Bir parametre, düğümün artık enerjisine bağlıdır ve diğer parametre, küme içi iletişim maliyetidir. HEED'de, seçilen CH'lerin yüksek kalıntı enerjisi vardır. Buna ek olarak, HEED'in ana hedeflerinden biri, ağlar boyunca eşit olarak dağıtılan CH'lar elde etmektir. Üstelik, iki düğümün, birbirlerinin iletişim menziline CH birlikte olduğu fenomenine rağmen, HEED'de bu olgunun olasılığı çok düşüktür.

3.2 Literatür Özeti

Yanhui Lv ve arkadaşları [16], kablosuz algılayıcı ağları için mevcut topoloji kontrol algoritmalarının eksikliklerini dikkate alarak düşük enerjili düzensiz kümeleme algoritması (LEUC) önermektedir. Algoritma, küme başlarının üç aşamalı seçim mekanizmasını benimsemektedir. Birincisi, aday küme kafalarını seçmek ve eşik parametresine dayanır. İkincisi, geçici küme kafaları rekabetinde rekabet yarıçapının hesaplanmasından yararlanır. Üçüncüsü, resmi küme başlarının oluşturulması, küme merkezinin asgari mesafesini kullanmaktadır. Bu yaklaşım, çoklu hop modu kümeler arasındaki iletişimde kullanılmaktadır. Önerdikleri LEUC algoritmasında kümelerin topolojisini etkili bir şekilde optimize edebildiğini, düğümün enerji tüketimini dengelediğini ve klasik algoritmalara kıyasla ağ ömrünü uzattığını göstermişlerdir.

R. Al-Nuaimi ve arkadaşı [17], düşük enerji uyarlanabilir kümeleme hiyerarşisi (LEACH) protokolünün tekniklerini geliştirmiş ve ağın enerji verimliliğini artırmak ve ağ ömrünü en üst düzeye çıkarmak için ağ fonksiyonu sanallaştırma (NFV) algoritmasını tasarlamışlardır. Ağdaki her bir düğüm için tüketilen enerjinin miktarını hesaplamak için bir bulut tabanlı sunucu tarafından önerilen protokole tüketilecek enerjiyi tahmin etmek için analitik bir model geliştirdi. Gelişmiş modeli kullanan analizde, yeni protokolün iletişim mesajlarının sayısını azaltarak ağ ömründe bir iyileşme sağlandı ve geleneksel LEACH protokolüne kıyasla sensör düğümlerinin enerji tüketimi en aza indirildi.

N. Wang ve arkadaşları [18], ağ ömrünü uzatmak için bir enerji verimliliği sağlamak amacıyla parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) algoritmasını önermiştir. Bu algoritmada hem enerji verimliliği hem de iletim mesafesi göz önüne alındığında, röle düğümleri, küme başlarının yoğun tüketimini dengelemek için kullanılmaktadır.

Böylelikle şebeke daha iyi dağılan sensörler ve şebekenin ömrünü uzatan dengeli bir kümeleme sistemi oluşturmaktadır. PSO protokolü, düşük enerji uyarlanabilir kümeleme hiyerarşisi (LEACH), topoloji kontrollü uyarlamalı kümeleme (TCAC) ve ölçeklenebilir enerji verimli kümeleme hiyerarşisi (SEECH) protokolleriyle karşılaştırıldığında ağ ömrünün arttığı kanıtlanmıştır.

C. Sivaraj ve arkadaşları [19], kablosuz algılayıcı ağı için enerji verimli hata toleransı iç içe kümeleme algoritmasını (E₂FNC) önerilmiştir. Bu algoritma, K-Means kümeleme yaklaşımını kullanarak sensörlerin enerji tüketimini dengelemek için iki seviye küme oluşturur. Önerilen algoritmanın performansı simülasyon deneylerinde enerji tanınan, kümelenme bazlı yönlendirme algoritması (ECRA) ile karşılaştırılmış ve iyi sonuçlar alınmıştır.

Y. Hu ve arkadaşları [20], enerji verimli adaptif örtüşen kümeleme algoritmasını (EEAOC) önermiştir. EEAOC'de algoritmasında etkinlik alanındaki bitişik sensörler veri füzyonu için aynı kümeye gruplandırılmış, kümeler arasında örtüşen yapı değiştirilmeden işlenebilecek şekilde, iki mantıksal kapsama alan topolojisi oluşturulmuştur. Ayrıca, enerji tüketimini daha da azaltmak için, sürekli izleme uygulamalarında QoS gereksinimlerine dayalı olarak zaman odaklı ve olay tahrik şemaları arasında geçiş yapan karma bir veri raporlama stratejisi kullanıldı. LEACH ve eşige duyarlı enerji verimli sensör ağ algoritmaları (TEEN) ile kıyaslandığında EEAOC'nin daha uzun bir ağ ömrü döngüsü sağladığını kanıtlanmıştır.

K. M. Venkateswarlu ve arkadaşları [21], kablosuz algılayıcı ağındaki küme kafaları arasında tekdüze enerji kullanımını dengeleyerek sıcak nokta probleminden kaçınmak amacıyla enerji verimli kümeleme algoritmasını (EECA) kullanmıştır. Bu algorithmada küme kafaları arasında tekdüze enerji harcanmasını sağlamak için farklı seviyelerde eşit olmayan boyut kümeleri oluşturmaktadır. Bu algorithmada veri iletim güzergâhları arasındaki enerji tüketim yükünü dengelemek için çoklu hop veri iletim kullanıldı. Ayrıca daha fazla enerji rezervine sahip kaynak düğüm baz istasyonuna minimum atlama sayısına sahip ve daha az sayıda paket geçiren bir aktarma düğümü seçmektedir. Önerdikleri algorithmada ağdaki tıkanıklık sorununun enerji tüketiminin tekdüze dağılımı ile aşılabileceğini ve ağ ömrünü artırdığı kanıtlamışlardır.

Divya. P ve arkadaşı [22], kendi kendini düzenleyen ağaç esaslı enerji yönlendirme protokolünü (GSTEB); hibrit enerji-verimli dağıtık kümeleme (HEED) ve sensör bilgi sistemlerinde güç verimli toplanma (PEGASIS) gibi yönlendirme

protokolleriyle karşılaştırmıştır. PEGASIS'de herhangi bir noktada yalnızca bir düğüm baz istasyonu (BS) ile iletişim kurmaktadır. HEED protokolünde küme kafaları tarafından veri paketini ileten bir kümeleme tekniğidir. Fakat küme başlığı (CH), BS'den uzakta olduğunda enerji seviyesi düşmektedir. GSTEB protokolünde enerji tüketimini azaltmak için bir yönlendirme ağacı oluşturulur ve burada BS bir kök düğümü atar ve konum algılaması hakkındaki bilgileri tüm sensör düğümlerine yayımlar. Herhangi bir düğümün düşük pil gücü olduğunda otomatik olarak düğümleri düzenler ve böylelikle GSTEB protokolü ağ ömrünü uzatır. HEED ve PEGASIS protokolleriyle karşılaştırıldığında GSTEB protokolü; yüksek verim, paket dağıtım oranı ve daha uzun pil ömrüne sahip olduğu kanıtlanmıştır.

S. B. Amsalu ve arkadaşları [23], kablosuz algılayıcı ağlar için etkili bir enerji yönetimi sağlayan ızgara kümeleme hiyerarşisi (GCH) adını verdikleri bir yönlendirme protokolü önerilmiştir. Bu protokol ağ, enerji tüketimi açısından optimum kümeler oluşturmak için ağın mevcut ortalama enerjisine dayalı olarak, çeşitli sanal grid ızgarasına bölmektedir. Kablosuz algılayıcı ağların simülasyonu için yaygın olarak kullanılan standart bir radyo enerji yitim modeli kullanılarak GCH simüle edilmiş ve performansı LEACH yönlendirme protokolüyle karşılaştırılmıştır.

C. Jiang ve arkadaşları [24], kablosuz algılayıcı ağ ömrünü uzatmak için, eşitsiz kümeleme yönlendirme protokolleri üzerinde çalışmış ve düşük enerji tüketimi eşit olmayan kümeleme protokolünü (LCUCR) önermiştir. Bu protokol, küme kafaları ve alt küme başlarını seçmek için enerji ve uzaklık faktörlerini uygunluk fonksiyonu hesaba katmaktadır. Küme başı, alt küme kafaları vasıtasıyla baz istasyonu ile iletişim kurarken, küme başı ve baz istasyonu arasında maliyet fonksiyonuyla en uygun yolu oluşturur. Yaptıkları simülasyon çalışmalarında LCUCR protokolünün ağın enerji tüketimini etkin bir şekilde dengeleyebildiğini ve ağ ömrünü uzattığını kanıtlamışlardır.

F. Alassery ve arkadaşları [25], enerji küme başlığı seçimi (RECHS) protokolünü önermiştir. Bu protokol iletişim kanalına erişimi düzenler. Dolayısıyla, veri alım ve iletimi güç tüketimi dikkate değer ölçüde azaltmaktadır. RECHS protokolünün performansının, canlı düğümlerin yüzdesi, BS'ye başarıyla gelen paketlerin ortalama sayısı ve ağın simülasyon başına ortalama kalıntı enerjisi açısından LEACH protokolünden daha iyi olduğunu göstermiştir.

Ağların birleştirilmesinde veri yönlendirme protokolü (DRINA), yoğun ağ ortamında kaynaktan baz istasyonuna doğru olan iletişim sayısını en aza indirgeyerek enerji tüketimini azaltmak için önerilen son algoritmadan biridir [26]. Burada veri iletimi, küme temelli ortamda en kısa yol metodu kullanılarak veri toplama kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Fakat verimsiz küme başı seçim tekniği nedeniyle, küme kafası arızalarını düzeltemez ve ağ bölümünü oluşturan genel statik yol boyunca sensör düğümlerindeki enerji boşluğundan kurtulur. KVP Kumar ve arkadaşları [26], bu problemlerin üstesinden gelmek için verimli küme başı seçim tekniği ve güvenilir veri iletimi için dinamik yol seçimi içeren enerji dengeli dinamik küme yönlendirme yaklaşımı (EBDRA) algoritmasını önermiştir.

H. Wang ve arkadaşları [27], kablosuz algılayıcı ağın enerji tüketimini dengelemek için hibrid enerji-verimli dağıtık kümeleme protokolünü (HEED) incelemiş ve bir kümeler arası çoklu hop yönlendirme protokolü yeni hibrid enerji-verimli dağıtık kümeleme algoritmasını (NHEED) önermiştir. HEED protokolü tarafından yalıtımlı düğüm ürününü işlemek ve izolat düğümünü en yakın kümeye eklemek için NHEED yeni bir yöntem kullanır. NHEED, düğümlerin kalıntı enerjisini ve çoklu atlamanın uzaklığını, dikkate alınması gereken ana faktör olarak alır. Bu, küme başı numarasını düşürür ve enerji tüketiminden tasarruf sağlar. HEED protokolüne kıyasla NHEED'in ağların enerji tüketimini etkili bir şekilde dengeleyebileceğini ve şebekelerin hayatta kalma sürelerini %49.8 artırabileceğini kanıtlamışlardır.

N. Mazumdar ve arkadaşı [28], ağın ömrünü uzatmak için enerji verimli genetik algoritma (EEGA) tabanlı yük dengeleme kümeleme algoritması önermektedir. Önerilen kümeleme algoritması, her sensör düğümünü, bir CH'nin kendi küme üyelerinin tüm veri paketlerini baz istasyonuna ilettiği tek veya çoklu hop iletişimi yoluyla bir CH ile bağlar. Önerilen algoritmanın performansını, ağ ömrü, enerji verimliliği vb. gibi farklı metrikler açısından diğer ilişkili kümeleme algoritmalarıyla birlikte değerlendirilmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır.

N. Mazumdar ve arkadaşı [29], dağıtılmış enerji verimli kümeleme algoritmasını (DECA) önermiştir. Bu algoritmada, her sensör düğümünü bir CH ile tekli veya çoklu hop iletişimi yoluyla birbirine bağlamaktadır. Buradaki CH, veri paketini aralarındaki mesafe minimum olduğunda iletir. Böylelikle sensör ağlarının enerji tüketimini dengelemeye yardımcı olur. Yaptıkları deneylerde mevcut yaşam kalitesi

algoritmalarına göre önerdikleri algoritmanın verimliliğini, ağ ömrü, enerji tüketimi açısından iyi olduğunu göstermiştir.

M. B. Salah ve arkadaşı [30], homojen ağlar için kablosuz sensör ağı tabanlı LEACH protokolünün gelişmiş bir versiyonunu önermiştir. Yaptıkları simülasyon çalışmalarında önerilen algoritmanın, ağın ömrünü uzattığını ve LEACH ile karşılaştırıldığında daha fazla ağ istikrarı ile daha az enerji tüketimi sağladığını ispatlamışlardır.

Kablosuz algılayıcı ağların performansını artırmak için kullanılan birçok yönlendirme protokolü vardır. Bu protokollerden, dinamik kaynak yönlendirme (DSR) protokolü küçük enerji yoğunluğu açısından daha uygundur ancak bazen bir düğüm modu aktiften uykuya geçtiğinde veri paketi ilk noktada beklemek zorunda kaldığından etkinlik azalır. Burada paket gönderilirken oluşan bekleme süresi, sensörlerde enerji tüketiminde artışa neden olmaktadır. Burada ölü düğümleri tanımlamak ve veri iletiminin daha pürüzsüz hale gelmesi için daha uygun bir yol seçmek ve daha az enerji tasarrufu sağlamak gerekmektedir. G. Singh Brar ve arkadaşları [31], bu sorunları çözmek için, yönlü iletim bazlı enerji duyarlı yönlendirme protokolü (PDORP) adlı yöne bağlı iletim tabanlı enerji farkında olan yönlendirme protokolünü önermiştir. Önerdikleri protokol hem güç etkili bir şekilde toplanan sensör bilgi sistemi hem de DSR yönlendirme protokollerinin özelliklerine barındırmaktadır.

Kablosuz algılayıcı ağlarda veri iletmek ve güvenilir çoklu hop iletişimi sağlamaktan sorumlu olduğu için büyük önem taşımaktadır. Araştırmacılar, ağdaki enerji tüketimini azaltmak için (PEGASIS) ve (LEACH) protokolleri geliştirdiler. Bu yönlendirme protokolleri, enerji ve güç tüketimi açısından birçok eksikliğe sahiptir. LEACH, dinamikliği içeriyor, ancak küme tabanlı mimarisi nedeniyle sınırlamaları var, oysa PEGASIS, LEACH'in sınırlamalarını aşıyor ancak dinamikten yoksun hareket etmektedir. A. Razaque ve arkadaşları [32], bu iki sorunu ortadan kaldırmak amacıyla bu iki algoritmanın karışımı olan PEGASIS-LEACH (P-LEACH) protokolünü önermiş ve olumlu sonuçlar almışlardır.

S. Jamil ve arkadaşları [33], kooperatif güç ve enerji verimli yönlendirme (COPE) protokolünü önermiştir. COPE algoritması kablosuz algılayıcı ağ katmanında uygun rota seçimini seçen bir çapraz katman tekniğidir. Bu sadece güç tüketimini değil aynı zamanda düğümler arasındaki veri aktarımındaki gecikmeyi de azaltmaktadır.

COPE protokolünü LEACH ve PEGASIS protokolleriyle enerji, paket verimliliği alanlarında karşılaştırdıklarında performansı yüksek çıkmıştır.

Md. Azharuddin ve arkadaşları [34], dağıtılmış hata dayanıklı kümeleme ve yönlendirme (DFCR) olarak adlandırılan dağıtılmış kümeleme ve yönlendirme algoritmasını önermiştir. DFCR, küme başlarının (CH) ani arızasından dolayı sensör düğümlerinin dağıtılmış bir çalışma zamanı geri dönüşümü kullanmaktadır. Yaptıkları simülasyon çalışmalarında algoritmanın enerji tüketimi açısından verimli olduğunu kanıtlamışlardır.

S. A. Sert ve arkadaşları [35], durağan ve gelişmekte olan ağlardaki hem sıcak noktalar hem de enerji deliği problemlerini ele alan çok amaçlı objektif kümeleme algoritmasını (MOFCA) önermiştir. Bu algoritma kablosuz algılayıcı ağ doğasında ortaya çıkan belirsizliklerin üstesinden gelmek için bulanık mantık kullanırken, küme başı rekabet yarıçapının hesaplanmasında kalan enerji seviyelerini, baz istasyonuna olan mesafeyi ve yoğunluk parametrelerini göz önüne almaktadır. LEACH, CHEF, EEUC, EAUCF algoritmalarıyla karşılaştırıldıklarında enerji performansı açısından verimli bir algoritma olduğunu kanıtlamışlardır.

D. Raja ve arkadaşı [36], kendiliğinden organize olan ağaç tabanlı enerji zenginliği yönlendirme protokolünü (STEB) önermiştir. STEB'de bir yönlendirme ağacı, her tur için BS'nin bir kök düğüme atadığı ve bu seçimi tüm sensör düğümlerine yayınladığı bir süreç kullanarak oluşturur. Daha sonra her düğüm, yalnızca kendisi ve komşularının bilgileri göz önüne alınarak ebeveynini seçmektedir. STEB protokolünün LEACH protokolü ile karşılaştırıldığında daha iyi bir performans sergilediği görülmüştür.

N. D. Tan ve arkadaşı [37], tüm ağ alanının düğümlerinin sayısı ile dengelenen kümeler ayrıldığı sektörlü şema tabanlı kümeleme (SCBC) protokolünü önermiştir. SCBC, yüksek enerjiye ve aday düğümler ile baz istasyonu arasındaki en kısa mesafeye sahip küme başı (CH) veya ikincil küme kafası (SCH) olarak zincir lideri ile her küme için zincir inşa ederek ağdaki iletişimin enerji tüketimini daha da azaltmaktadır. Buna ek olarak SCBC, CH veya SCH'ler için sabit veri iletim hızında her turda zaman uzunluğunu hesaplayarak enerji verimliliğini artırmaktadır. SCBC protokolünün ağ ömrü sırasıyla PEGASIS ve IEEPB (Geliştirilmiş Enerji Verimli PEGASIS Tabanlı) protokollerle karşılaştırıldığında %70 ve %20 oranında iyileştirildiği görülmüştür.

N. D. Tan ve arkadaşı [38], kablosuz algılayıcı ağlarda enerji açısından verimli olması için uyku zamanlamalı ve ağaç tabanlı kümeleme (SSTBC) algoritmasını önermektedir. SSTBC, gereksiz verileri veya gereksiz düğümleri (uyku moduna giren) kapatarak enerjiyi korur. Buna ek olarak, ağdaki iletişimin enerji tüketimini daha da azaltmak için bir kümedeki aktif düğümlerden küme başı (CH) olarak kök ile veri paketlerini baz istasyonuna iletmek için asgari kapsama ağacı oluşturur. Yaptıkları simülasyon çalışmalarında, SSTBC protokolünün ağ ömrü, LEACH algoritmasına göre%250 ve PEGASIS algoritmasına göre%23 oranında iyileştirildiği görülmüştür.

L. Malathi ve arkadaşları [39], katman protokollü hibrit eşit olmayan kümeleme (HUCL) protokolünü önermektedir. HUCL algoritması, statik ve dinamik kümeleme yaklaşımlarının bir karışımıdır. HUCL'de ağ çeşitli boyutlardaki katmanlara ve kümelere ayrılmıştır. Küme başları mevcut enerjiye ve komşulara bağlı olarak seçilir. Küme oluştuğunda, aynı yapı birkaç turda korunur. Veriler, bir ağ içi veri sıkıştırma algoritması ile multi-hop katman tabanlı bir iletişim yoluyla merkeze iletilir. HUCL algoritması, LEACH, UCR (Eşitsiz Kümeleme), UHEED (Eşitsiz Hibrid Enerji-Verimli Dağıtık Kümeleme), EADUC (Enerji Farkında Dağıtılan Eşitsiz Kümeleme) protokolleriyle karşılaştırıldığında enerjiyi dengeler ve iyi bir küme dağılımı sağlar, şebekenin ömrünü uzatmakta ve enerji deliği problemini önlemektedir.

Yakın bir optimal zincir tabanlı protokol olan PEGASIS, her bir düğümün yalnızca yakın bir komşu ile iletişim kurduğu ve baz istasyonuna iletim yapan dönüşleri aldığı LEACH protokolü üzerinden geliştirilmiş ve tur başına harcanan enerji miktarını azaltmaktadır. C. Ambekar ve arkadaşları [40], düğümleri fırsatçı bir davranışla iletişim kurarak çıktıyı arttırmak amacıyla PEGASIS protokolünde iyileştirmeler yapmış ve OPEGASIS'i (Sensör Bilişim Sistemlerinde Fırsatçı Güç Verimli Toplanma) önermiştir. Bu protokolde düğümler, verileri fırsatçı davranış yoluyla baz istasyon istikametinde uzaktaki düğümlere olduğu kadar yakın düğüme de iletme prensibine göre çalışmaktadır.

N. Kulkarni ve arkadaşları [41], kablosuz algılayıcı ağlarda G-MOHRA (Yeşil-Enerji Verimli Çok Amaçlı Hibrit Yönlendirme) algoritması olarak bilinen yeni bir çok amaçlı optimizasyon yöntemi önermektedir. G-MOHRA hiyerarşik kümeleme kullanır. Bilgi, ağın tamamında enerji verimliliği ve enerji istikrarı sağlamak için çeşitli ölçütlerin ağırlıklı ortalamasını kullanarak gönderilir. G-MOHRA, kaynaktan baz istasyonuna kadar en iyi yolu tanımlamak için Ortalama Enerji tüketimi (AEC),

Kontrol Masrafı, Tepki Süresi, Bağlantı Kalitesi Göstergesi (LQI) ve HOP Sayısı gibi çeşitli ölçümleri kullanmaktadır. G-MOHR, SHRP'ye (Basit Hibrit Yönlendirme Protokolü) göre %19,79 ve DyMORA'ya göre %15.52 oranında daha iyi performans sergilediğini kanıtlamışlardır.

S Sathya ve arkadaşları [42], VBS (Sanal Omurgalı Çizelgeleme) küme tabanlı algoritmayı önermişlerdir. Bu algoritma ağlarında bir düğüm uyku zaman planlamasına göre dağıtılmaktadır. STG (Geçiş Grafiğini Programlama), VSG (Sanal Güvenlik Ağ Geçidi) ve ILR (Artımlı Düşük Sıralı) algoritmaları ile karşılaştırıldığında enerji minimizasyonu sağladığı ve veri toplama için daha etkili olduğu kanıtlanmıştır.

V. Pilloni ve arkadaşları [43], küme ağı topolojileri için uyarlanabilir ve merkezi olmayan bir görev ayırma algoritması (TAN) önermektedir. Algoritmanın performansı, kent sokaklarında farklı sensörlerle donatılmış bir şehir senaryosunda değerlendirildi. TAN algoritması DLMA algoritmasıyla karşılaştırıldığında ortalama enerji tüketimi açısından daha iyi performans göstermiştir.

Q. Liu ve arkadaşları [44], LCDWCEC (Yerel Rekabet ve Çift Tartımlı İletişim Enerji Tüketimi) algoritmasını önerdiler. Bu algoritma sensör ağlarında küme başlığı seçimi aşamasında, yerel rekabet olarak adlandırılan enerji ve kimliğe dayalı bir strateji kullanmaktadır. Algoritmada ayrıca küme oluşumunda düz düğümler ve küme başı düğümü iletişim tüketimini dikkate alarak bir strateji kullanmaktadır. LEACH ve DCHS (Dağıtık Küme Başı Çizelgeleme) algoritmaları ile karşılaştırıldığında ağ ömrü süresinin ve veri aktarımının miktarında önemli iyileşme olduğunu gösterilmiştir.

S. Ji ve arkadaşları [45], enerji açısından verimli ve esnek bir kümeleme yaklaşımı olan DHAC (Hiyerarşik Aglomeratif Kümeleme) algoritmasını önermişlerdir. DHAC algoritması, niteliksel bağlantı verilerini girdi verileri olarak kullanır ve bir küme ağacı oluşturmak için basit nümerik yöntem uygular. DHAC algoritması tasarruflu ve esnek olmakla birlikte, ağın kendini kontrol etme yeteneğini ve kaynak verimliliğini artırabilir ve ağ ömrünü uzatabilmektedir. DHAC'ın kümelenme enerjisi, LEACH'in kütle enerji tüketiminden daha düşüktür.

J. Shin ve arkadaşı [46], CREEC (Eşit Enerji Tüketimi ile Zincir Yönlendirme) algoritmasını önermiştir. Bu algoritmada iki strateji kullanılarak sensörlerde enerji tüketimini daha uzun süreye yaymışlardır. Birincisi, her sensör düğümünde enerji dağılımının adillik oranını en üst düzeye çıkarmak ve ikincisi ön enerji simülasyonunu

kullanan bir geri bildirim mekanizması yürütmektir. Böylelikle sensör düğümleri için enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Yapılan simülasyon çalışmalarında CREEC algoritmasının LEACH, PEGASIS, PEDAP (Güç verimli veri toplama ve birleştirme) algoritmalarından daha iyi sonuç verdiğini doğrulamışlardır.

X. Ma ve arkadaşları [47], BECC (Dengeli Enerji Tüketimi Kümeleşmesi) algoritmasını öne sürmüşlerdir. Bu algoritma heterojen kablosuz algılayıcı ağlar için tasarlanmış bir küme tabanlı algoritmadır. Bu algoritmayı tasarlamak için LEACH algoritmasını baz aldılar. BECC algoritmasında kalıntı enerjisi yüksek olan düğümlerin küme başı olmasını ve kalıntı enerjisi düşük olan küme başı olmaması prensibine göre hareket etmektedir.

Y. Yu ve arkadaşı [48], PEGASIS algoritması üzerinde gelişme yaparak EECB (Enerji Verimli Zincire Dayalı Kümeleme) algoritmasını önermiştir. EECB, hangi düğümün BS'ye veri iletmekle yükümlü olan lider olacağına karar vermek için BS ve düğümlerin enerji seviyeleri arasındaki mesafeleri kullanmaktadır. Ayrıca, EECB, zincirdeki LL (Long Link) oluşumunu önlemek için mesafe eşliğini benimsemektedir. EECB'nin kablosuz algılayıcı ağ ömrü boyunca PEGASIS'den daha iyi performans gösterdiğini kanıtlamışlardır.

T. Liu ve arkadaşı [49], uzak mesafe ve karmaşık veri iletimine (örneğin, hasta gözetimi veya tarımda kimyasal algılama) uygun PECRP (Güç verimli Kümeleme Yönlendirme Protokolü) adlı KAA için yeni bir yönlendirme protokolü önermiştir. PECRP protokolü, HEED, PEGASIS gibi bazı mükemmel küme tabanlı yönlendirme protokollerinin avantajlarını bir araya getirmektedir. Yaptıkları simülasyon çalışmalarında, PECRP'nin ağ ömrünü uzatmada ve veri iletirken LEACH'den daha iyi performansa sahip olduğunu göstermişlerdir.

F. Bai ve arkadaşı [50], klasik kümeleme algoritmaları olan LEACH ve PEGASIS üzerinde araştırma yaptıktan sonra, PEZCA (Enerji Verimli Bölgeleme) algoritmasını önermiştir. PEZCA'da, baz istasyonunu merkez almış ve baz istasyonuna daha yakın olan kümeler, baz istasyondan uzak olanlardan daha küçük boyutlara sahiptir. Bu nedenle kümeler baz istasyonuna daha yakın kümeler arası veri iletimi için daha fazla enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Buna ek olarak, aynı bölgedeki küme kafaları veri paketlerini toplar ve baz istasyona çoklu atlama yönlendirmesi yoluyla gönderir. Yaptıkları simülasyon çalışmaları, LEACH ve PEGASIS algoritmalarına kıyasla, PEZCA'nın enerji tüketimini dengede tuttuğunu ve şebekenin ömrünü uzattığını göstermiştir.

J. D. Yu ve arkadaşları [51], sensör düğümlerinin her kümede zincirler oluşturduğu yeni bir yönlendirme protokolü ve veri toplama şeması önermiştir. Algoritmada; küme ve zincir oluşturma yalnızca bir kez gerçekleşmekte ve küme başı yeniden kümeleme olmadan kümenin içinde yerel olarak dönmektedir. LEACH ve PEGASIS gibi diğer hiyerarşik yönlendirme şemalarına kıyasla, enerji tüketimini önemli ölçüde azalttığı ve algılayıcı ağının kullanım ömrünü artırdığını gözlemlenmiştir.

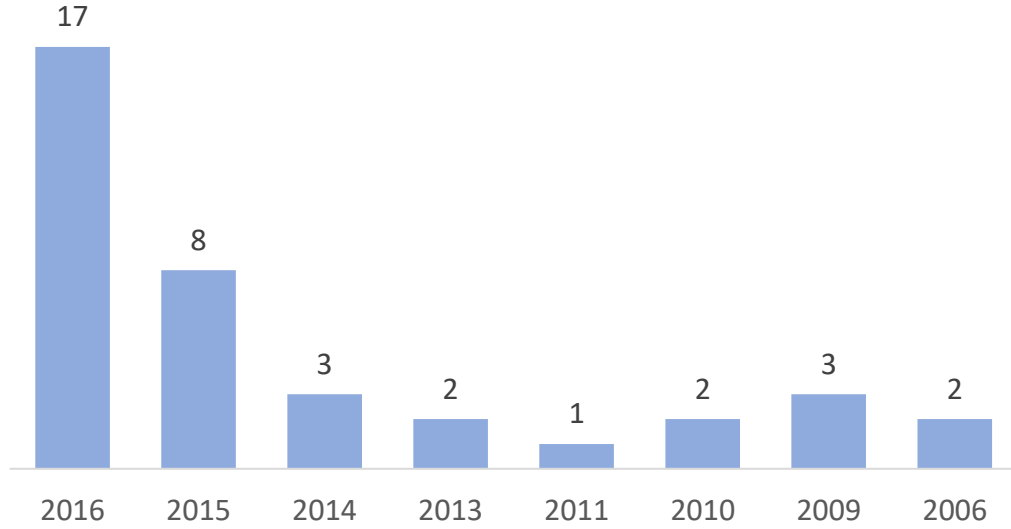
L. Yu ve arkadaşları [52], büyük ölçekli kablosuz algılayıcı ağlar için ölçeklenebilir ve etkili paket yönlendirmeyi sağlayan GROUP'u (Kılavuz Kümeleme Yönlendirme Protokolü) önermiştir. Tüm sensörlerin yalnızca küçük bir kısmı, küme başkanlarının seçimine katılır. GROUP, enerji yükünü şebekedeki sensörler arasında dağıtabilir ve BS ye iletilmesi gereken bilginin miktarını azaltmak için şebeke içi işlem desteği sağlayabilir. Simülasyon deneyleriyle GROUP'ın performansını değerlendirilmiş ve büyük ölçekli kablosuz algılayıcı ağlar için enerji açısından verimli ve ölçeklenebilir bir yönlendirme protokolü olduğunu göstermiştir.

N. Tabassum ve arkadaşları [53], makul miktarda gecikme getiren, ağda minimum enerji tüketimini garanti eden GSEN (Grup tabanlı Sensor Ağı) adı verilen iki katmanlı hiyerarşik bir yönlendirme protokolü önermektedir. Simülasyon sonuçları, GSEN'in LEACH ve PEGASIS gibi diğer hiyerarşik yönlendirme protokollerinden daha iyi performans gösterdiğini kanıtlamıştır. Buna ek olarak, GSEN tamamen kendinden konfigüre edilebilir ve ağ topolojisindeki tüm değişikliklere dayanıklılık göstermektedir.

S. D. Muruganathan ve arkadaşları [54], sensör düğümlerindeki ağ ömrünü ve ortalama enerji tasarrufunu artırmak ve enerji kaybını tüm sensör düğümleri arasında eşit olarak dağıtmak için BCDCP (Ana İstasyon Kontrollü Dinamik Kümeleme) adlı merkezi bir yönlendirme protokolü önermiştir. BCDCP'nin performansını, LEACH, LEACH-C ve PEGASIS gibi kümeleme tabanlı metotlar ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda; BCDCP algoritmasının toplam enerji tüketiminin azalttığını ve diğer algoritmalara kıyasla ağ ömrünü artırdığını ortaya koymuştur.

KAA'larda geçmişten günümüze kadar geliştirilen algoritmalarından incelemiş olduklarımızın yıllara göre dağılımı Şekil 3.3'de yer almaktadır.

İncelenen Algoritmaların Yıllara Göre Dağılımı



Şekil 3.3: Algoritmaların yıllara göre dağılımı.

Tablo 3.1: Geçmişten günümüze kadar geliştirilen algoritmalar.

S.N.	REFERANSLAR	YIL	GELİŞTİRİLEN METOT	SENSOR DAĞILIMI	KARŞILAŞTIRILAN METOTLAR
1	Y. Lv ve arkadaşları [16]	2016	LEUC: Düşük Enerjili Düzensiz Kümeleme	Heterojen	LEACH, EEUC
2	R. Al-Nuaimi ve arkadaşları [17]	2016	NFV: Ağ İşlevlerini Sanallaştırma	Heterojen	LEACH
3	N. Wang ve arkadaşları [18]	2016	PSO: Parçacık Sürüsü Optimizasyonu	Heterojen	LEACH, TCAC, SEECH
4	C. Sivaraj ve arkadaşları [19]	2016	E₂FNC: Enerji Verimli Hata Toleransı İç İç Kümeleme	Heterojen	ECRA
5	Y. Hu ve arkadaşları [20]	2016	EEAOC: Enerji Verimli Adaptif Örtüşen Kümeleme	Heterojen	LEACH, TEEN, DEECIC
6	K. M. Venkateswarlu ve arkadaşları [21]	2016	EECA: Enerji Verimli Kümeleme Algoritması	Heterojen	EEUC
7	Divya.P ve arkadaşları [22]	2016	GSTEB: Genel Kendi Kendini Düzenleyen Ağaç Esaslı Enerji Yönlendirme	Heterojen	HEED, PEGASIS
8	S. B. Amsalu ve arkadaşları [23]	2016	GCH: Izgara Kümeleme Hiyerarşisi	Heterojen	LEACH
9	C. Jiang ve arkadaşları [24]	2016	LCUCR: Düşük Enerji Tüketimi Eşit Olmayan Kümeleme Protokolü	Heterojen	LEACH
10	F. Alassery ve arkadaşları [25]	2016	RECHS: Raining Enerji Küme Başlığı Seçimi	Heterojen	LEACH

Tablo 3.1: (Devam) Geçmişten günümüze kadar geliştirilen algoritmalar.

S.N.	REFERANSLAR	YIL	GELİŞTİRİLEN METOT	SENSOR DAĞILIMI	KARŞILAŞTIRILAN METOTLAR
11	KVP Kumar ve arkadaşları [26]	2016	EBDRA: Enerji Dengeli Dinamik Küme Yönlendirme Yaklaşımı	Heterojen	DRINA, InFRA
12	H. Wang ve arkadaşları [27]	2016	NHEED: Yeni Hibrid Enerji-Verimli Dağıtık Kümeleme	Heterojen	HEED
13	N. Mazumdar ve arkadaşı [28]	2016	EEGA: Enerji Verimli Genetik Algoritma	Homojen	MOGA, LBCA
14	N. Mazumdar ve arkadaşı [29]	2016	DECA: Dağıtılmış Enerji Verimli Kümeleme Algoritması	Homojen	EEHC, ES-WCA
15	M. B. Salah ve arkadaşı [30]	2016	E-LEACH: Geliştirilmiş Düşük Enerji Uyarlanabilir Kümeleme Hiyerarşisi	Homojen	LEACH
16	G. S. Brar ve arkadaşları [31]	2016	PDORP: Yönlü İletim Bazlı Enerji Duyarlı Yönlendirme Protokolü	Homojen	LEACH, PRP, DSR, OD-PRRP
17	A. Razaque ve arkadaşları [32]	2016	PEGASIS-LEACH (P-LEACH)	Homojen	LEACH, PEGASIS
18	S. Jamil ve arkadaşları [33]	2015	COPE: Kooperatif Güç ve Enerji Verimli Yönlendirme Protokolü	Heterojen	LEACH, PEGASIS
19	Md Azharuddin ve arkadaşları [34]	2015	DFCR: Dağıtılmış Hata Dayanıklı Kümeleme ve Yönlendirme	Heterojen	DEBR, FTCA, MHRM
20	S. A. Sert ve arkadaşları [35]	2015	MOFCA: Çok amaçlı fuzzy kümeleme algoritması	Heterojen	LEACH, CHEF, EEUC, EAUCF
21	D. Raja ve arkadaşı [36]	2015	STEB: Kendiliğinden Organize Olan Ağaç Tabanlı Enerji yönlendirme protokolü	Heterojen	LEACH
22	N. D. Tan ve arkadaşı [37]	2015	SCBC: Sektörlü Şema Tabanlı Kümeleme	Heterojen	LEACH, PEGASIS, IEEPB, EE-TLDC
23	N. D. Tan ve arkadaşı [38]	2015	SSTBC: Uyku Zamanlı ve Ağaç Tabanlı Kümeleme	Heterojen	LEACH, PEGASIS
24	L. Malathi ve arkadaşları [39]	2015	HUCL: Katman Protokollü Hibrit Eşit Olmayan Kümeleme	Homojen	LEACH, UCR, UHEED, EADUC
25	C. Ambekar ve arkadaşları [40]	2015	OPEGASIS: Sensör Bilişim Sistemlerinde Fırsatçı Güç Verimli Toplanma	Homojen	PEGASIS

Tablo 3.1: (Devam) Geçmişten günümüze kadar geliştirilen algoritmalar.

S.N.	REFERANSLAR	YIL	GELİŞTİRİLEN METOT	SENSOR DAĞILIMI	KARŞILAŞTIRILAN METOTLAR
26	N. Kulkarni ve arkadaşları [41]	2014	G-MOHR A: Yeşil (Enerji Verimli) Çok Amaçlı Hibrit Yönlendirme Algoritması	Heterojen	SHRP, DYMORA
27	S Sathya ve arkadaşları [42]	2014	VBS : Sanal Omurga Çizelgeleme	Heterojen	STG, VSG, ILR
28	V. Pilloni ve arkadaşları [43]	2014	TAN : Görev Tahsisi Müzakere Algoritması	Heterojen	DLMA
29	Q. Liu ve arkadaşları [44]	2013	LCDWCEC : Yerel Rekabet ve Çift Tartımlı İletişim Enerji Tüketimi	Heterojen	LEACH, DCHS
30	S. Ji ve arkadaşları [45]	2013	DHAC : Hiyerarşik Aglomeratif Kümeleme	Heterojen	LEACH
31	J. Shin ve arkadaşı [46]	2011	CREEC : Eşit Enerji Tüketimi ile Zincir Yönlendirme	Homojen	LEACH, PEGASIS, PEDAP
32	X. Ma ve arkadaşları [47]	2010	BECC : Dengeli Enerji Tüketimi Kümeleşmesi	Heterojen	LEACH, LEACH-E, SEP
33	Y. Yu ve arkadaşı [48]	2010	EECB : Enerji Verimli Zincire Dayalı Kümeleme	Homojen	PEGASIS
34	T. Liu ve arkadaşı [49]	2009	PECRP : Güç Etkin Kümeleme Yönlendirme Protokolü	Heterojen	LEACH
35	F. Bai ve arkadaşı [50]	2009	PEZCA : Enerji Verimli Bölgeleme Algoritması	Heterojen	LEACH, PEGASIS
36	J. D. Yu ve arkadaşları [51]	2009	Enerji Verimli Zincire Dayalı Kümeleme Yönlendirme Protokolü	Homojen	LEACH, PEGASIS
37	L. Yu ve arkadaşları [52]	2006	GROUP : Kılavuz Kümeleme Yönlendirme Protokolü	Heterojen	LEACH
38	N. Tabassum ve arkadaşları [53]	2006	GSEN : Grup tabanlı Sensor Ağı	Homojen	LEACH, PEGASIS

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

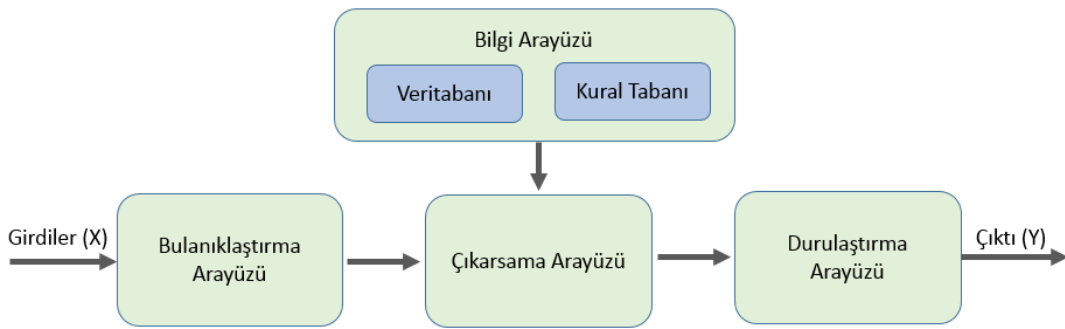
KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR İÇİN GELİŞTİRİLEN YÖNTEM

4.1 Bulanık Mantık

Kümelenmiş ağ sisteminde düğümler; genellikle farklı enerji tüketimleri ve birbirleri arasındaki farklı mesafeler ile eşit olmayan kümeler olarak yerleştirilirler. Onları aynı ölçek kümelerine ayırırsak, özellikle bazı CH düğümleri için her zaman eşit olmayan enerji tüketimine neden olur. Bu nedenle, sistemde yük dengeleme amacıyla genellikle kablosuz algılayıcı ağlarda eşit olmayan kümeleme algoritması seçilir. Merkezileştirilmiş yapıdan farklı olarak dağıtılmış kümeleme algoritması, ağların küresel topolojisine bağlı değildir ve düğüm, yalnızca kendi başına ve komşu düğümlerine ait göreceli bilgilere bağlı olarak bilgi analizini uygulayabilir ve bu da iletişimin gereksiz yere yükünü büyük ölçüde azaltır.

Kümeleme yönlendirme algoritmasında, CH düğümleri üye düğümlerden çok daha fazla enerji tüketmektedir. Bununla birlikte, küme içi çoklu-hop iletişimi sırasında, CH'ye yakın olan düğümler, daha fazla enerji tüketimine yol açabilecek olan ve daha uzaktaki düğümlere göre CH'ye veri alma ve iletme görevlerini üstlenmelidir. Sonuç olarak, bu ekstra tüketim, ilgili röle düğümlerinin ömrünü azaltacak ve tüm algılayıcı ağın yük dengelemesinde ciddi bir etkiye sahip olacaktır. Özellikle su altı kablosuz algılayıcı ağları gibi ağların izlenmesi için, eğer küme içindeki röle düğümleri, her turda yetersiz kalan enerjiden dolayı erken ölürse, daha fazla ilişkili düğümler, bir kez daha yönlendirme keşfini yapmak zorundadır ve daha fazla yol açacak olan yönlendirme bağlantısını yeniden kurmalıdırlar. [55] Ekstra enerji tüketimi iletişimin istikrarını bozacak ve ağ sistemlerinin performansını zayıflatacaktır. Bu nedenle, CH'lerin komşu düğümlerinin artık enerjisinin gerçekte veri iletim sürecinde önemli bir rol oynadığı görülebilir.

Kablosuz algılayıcı ağlar için dağıtılmış kümeleme algoritması tasarlanırken, düğüm enerjisi, düğüm derecesi ve çevredeki komşu düğümlerin enerji durumu gibi birçok faktörün anlık olarak değerlendirilmesi gerekir. Bu nedenle, çok-koşullu denge altında uygun CH'nin nasıl seçilmesi tüm kümelenecek ağların istikrarı üzerinde büyük bir etki yapar. Bulanık mantık sistemi, CH seçimi gibi bu tür çok faktörlü değerlendirme problemi için uygun bir çözüm sağlayabilir [56]. Diğer bir deyişle, bulanık mantık sistemi, CH seçimleri için çeşitli kümeleme faktörlerini entegre edebilir. Bulanık mantık sisteminin çalışma prensibi Şekil 4.1'de gösterildiği üzere dört ara yüzden oluşmaktadır.



Şekil 4.1: Bulanık mantık çalışma sistemi [56].

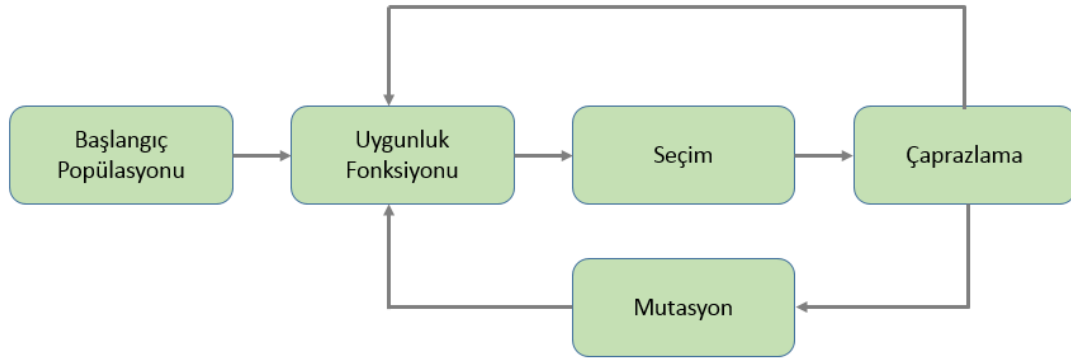
Bu sistemde başlıca iki temel öge olan bulanık kümeler ve kurallardan oluşmaktadır. Bulanık kümelerle oluşturulan sistem girdileri, istenen çıktılara dönüştürülmektedir. Girdiler sırası ile bulanıklaştırma, kontrol ve durulaştırma aşamalarından geçmektedir. Bu sistemdeki orta kısım genellikle çıkarım sistemi ve bilgi tabanından oluşmaktadır. Birincisi, bulanık kümelerden gelen girdileri sistem çıktısına dönüştüren işlevi uygulamak için kullanılır. İkincisinin iki bileşeni vardır: giriş dilbilimsel değişkenlerle ilişkili bulanık bölümlerin üyelik fonksiyonunu içeren veri tabanı ve bulanık analizde gerekli olan kuralları içeren kural tabanıdır.

Klasik mantık yaklaşımında bir varlık kümenin “elamanı” veya “elemanı değil” şeklinde ifade edilmektedir. Bulanık mantık yaklaşımında ise bir varlık bir kümeye üyelik derecesi olarak belirtilen “değer ölçüler arasında” veya “değer ölçüler arasında değildir” şeklinde ifade edilir. Günümüzde klasik mantığın gerçek dünya problemleri için yeterli olmadığı durumlarda bulanık mantığa ihtiyaç duyulmuştur. Klasik mantıkta bir ifade tamamen yanlış ise “0” tamamen doğru ise “1” denilir. Ancak bulanık mantıkta bir ifadenin “0” veya “1” değerini alması sadece özel durumlarda

oluşmaktadır. Bu özel durumların dışında tüm ifadeler 0'dan büyük 1'den küçük reel değerler almaktadır. Bu yüzden bir varlık bir kümeye ait olabileceği gibi birden fazla kümeye de ait olabilmektedir. Bu aidiyet derecesi de üyelik derecesi olarak adlandırılır.

4.2 Genetik Algoritma

Genetik algoritmalar, doğal seleksiyon ve biyolojik evrim süreçlerini taklit eden stokastik arama motorlarıdır. Başlangıçta, bir popülasyon aday çözüm boşluğundan oluşturulan rastgele seçilmiş bireyleri tutar. Bu birey seçimleri çaprazlama ve mutasyon süreçleri yoluyla ardışık kuşaklar üzerinde optimal bir çözüme doğru evrimleşmek için yapılır. Genetik algoritmalar için, en iyi bireyler, çözüm kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla her adımda yeni bir bireyler popülasyonu oluşturmak için seçilir [57]. Şekil 4.2'de genetik algoritmanın kısa bir akış şeması gösterilmektedir.



Şekil 4.2: Genetik algoritmanın genel akış şeması.

GA'lardan başka, gradyan temelli yerel optimizasyon, rasgele arama, stokastik tepe tırmanışı, benzetimli tavlama ve sembolik yapay zeka gibi birçok başka optimizasyon algoritması da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte genetik algoritmalar geleneksel optimizasyon yöntemleriyle karşılaştırıldığında yüksek verimli teknikler olarak kabul edilir ve geleneksel yaklaşımlardan ayrılırlar. Çünkü araştırmaları, tek bir noktadan ziyade paralel hesaplamalarda bireylerin tüm popülasyonuna dayandırmaktadır. Küresel optimum çözümün sağlanması, yerel durağan noktalardan kaçınılmasına yardımcı olur.

Genetik algoritmalar herhangi bir sürekli veya ayrık optimizasyon problemine kadar uzatılabilir. Alandan bağımsız bir arama tekniği olarak, GA'lar alan bilgisi ve

türev bilgilerinin sağlanması zor veya imkânsız olan uygulamalar için idealdir [57]. Diğer bir deyişle, sıkıcı ve bilgi temelli süreçler büyük ölçüde azaltılabilir ki bu da deneyimsiz tasarımcılar için özel bir ilgi uyandırmaktadır.

Bu tezde, genetik algoritma ve bulanık mantık yöntemlerini dikkate alan bir kümeleme algoritması önerilmiştir. Böylece hem ağdaki enerji tüketimini dengelenmiş hem de ağ ömrü uzatılmıştır.

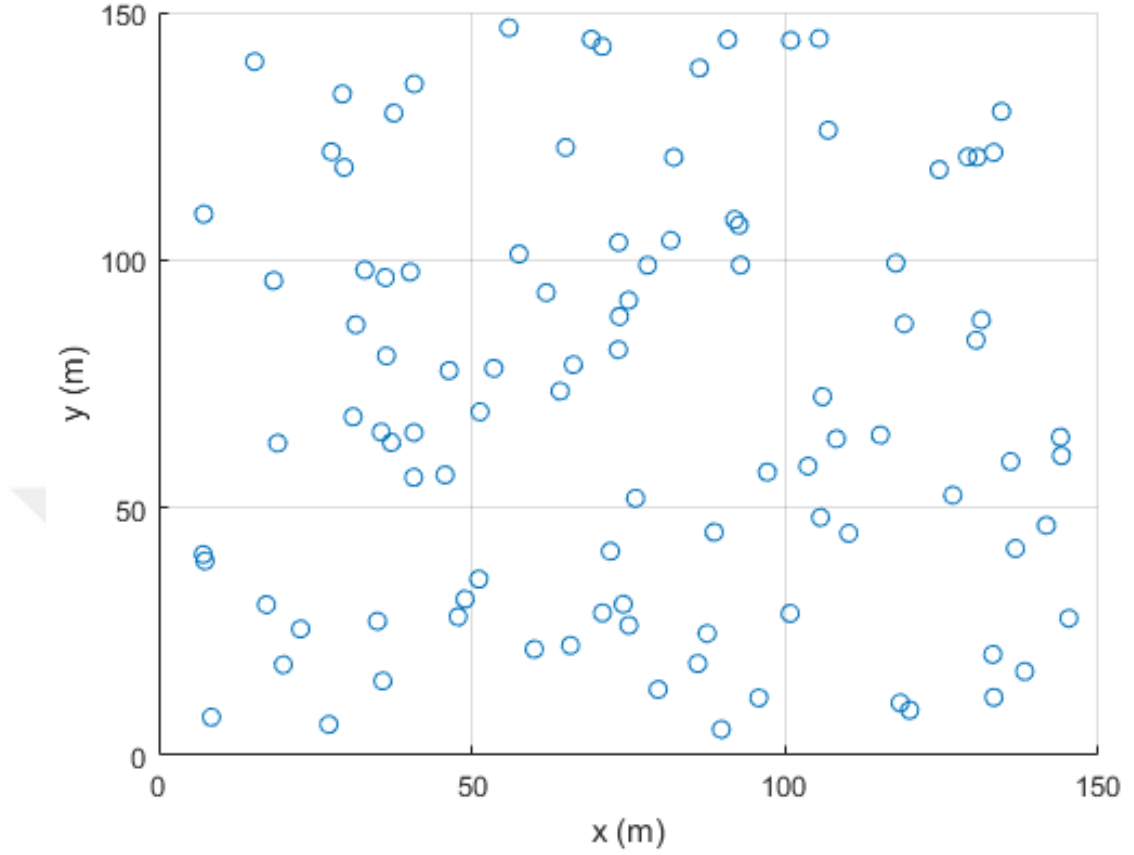
4.3 Simülasyon Sonuçları

Bu tezde, kablosuz algılayıcı ağının yönlendirilmesi için bulanık mantık algoritması kullanılmıştır. Tablo 4.1'de bulanık mantık algoritması için kullanılan veriler gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Bulanık mantık algoritma parametreleri.

Parametreler	Miktar
xm	100 [m]
ym	100 [m]
Çıkış düğümü x	50 [m]
Çıkış düğümü y	50 [m]
Alandaki toplam düğüm sayısı	100
Başlangıç enerjisi	0.5 Joule
Vericinin enerjisi	50*0.000000001
Alınan enerjisi	50*0.000000001
Boş alanın enerjisi	10*0.000000000001
Çok yolun enerjisi	0.0013*0.000000000001
Veri toplama enerjisi	EDA=5*0.000000001
Gelişmiş düğüm sayısı	0.1
Maksimum tur sayısı	4000

Önerdiğimiz yöntemin başlangıç alanı Şekil 4.3'te gösterilmektedir.

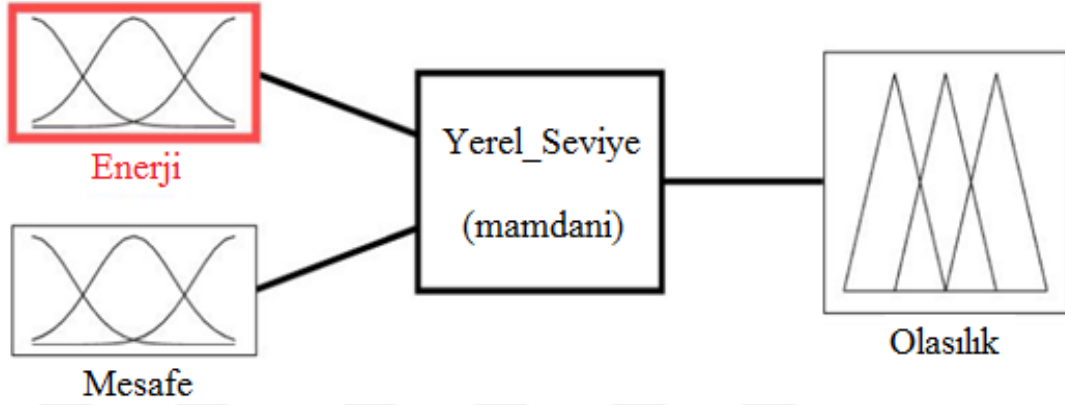


Şekil 4.3: Önerdiğimiz yöntemin başlangıç alanı.

Kurulum aşamasında baz istasyonuna ve küme kafalarına iletilen bit için sayaç kullandık. Ayrıca başlangıçta tüm sayaç değerlerini sıfıra ayarladık. Düğümler için normal düğümleri ve gelişmiş düğümü kullandık. Normal düğümlerin enerjisini 0.5 Joule, gelişmiş düğümlerin enerjisini ise 1 Joule olarak aldık. Bu yöntem, kararlı seçim protokolü yöntemi ile takip edilmektedir. Bu yöntemle ağda hem daha fazla enerji kullanabilir hem de daha fazla tasarruf edilebilir.

4.3.1 Bulanık Mantık Yapısı

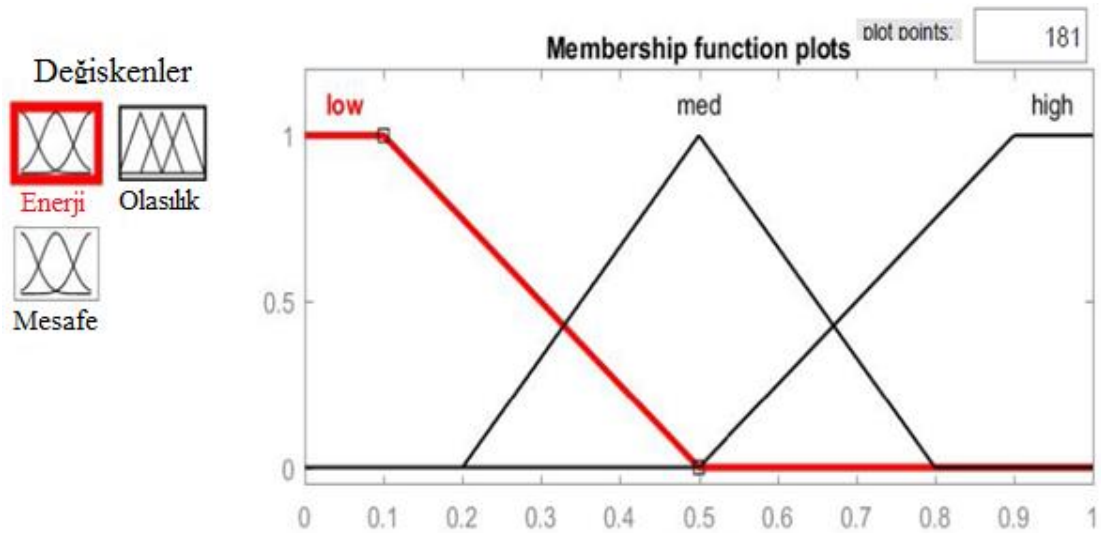
Bulanık mantık için Matlab'daki bulanık mantık araç kutusunu kullandık. Bu araçlar Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



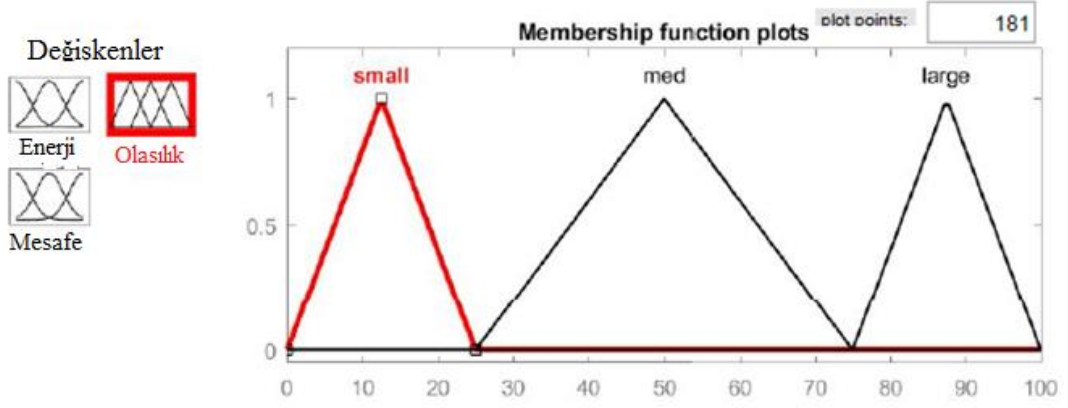
Şekil 4.4: Olasılık değerini almak için kullanılan bulanık araç kutusu.

Şekilde de görüleceği üzere Mamdani bulanık modelini iki giriş ve bir çıkış olacak şekilde uygulanmıştır. Giriş için enerji ve mesafe vektörleri çıkış için olasılık değeri veya şans değeri faktörleri oluşturulmuştur.

Giriş ve çıkışlar için üyelik fonksiyonu için üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Bu senaryo, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



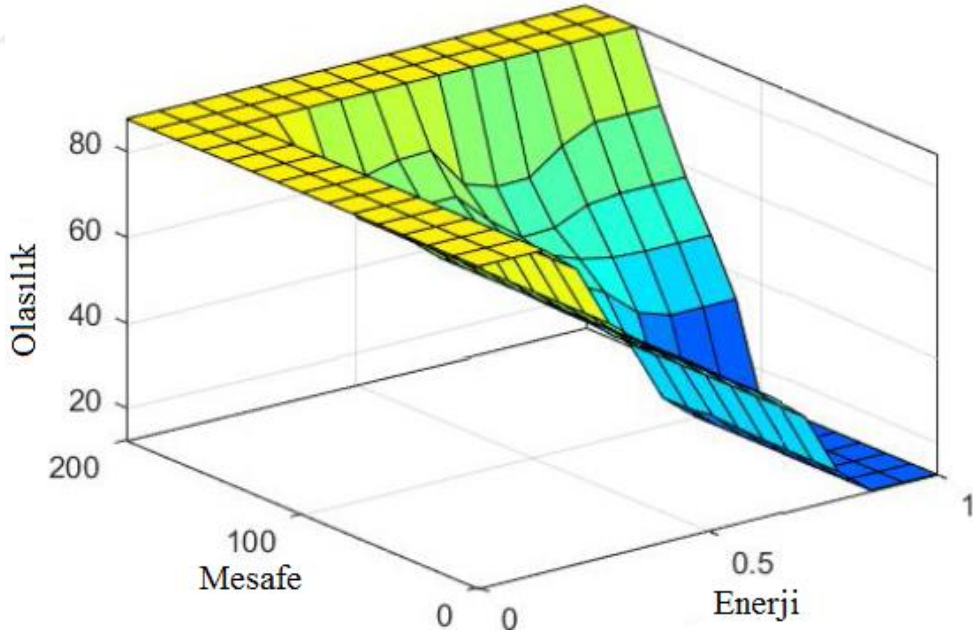
Şekil 4.5: Enerji giriş fonksiyonu.



Şekil 4.6: Mesafe giriş fonksiyonu.

Hem giriş hem de çıkışlar için üç aralık seçilmiştir. Enerji için aralık 0 ile 1 arasında seçilir. Mesafe için bu aralık 0 ile 200 arasında seçilir. Sonunda olasılık için 0 ile 100 arasında aralık seçilir. Olasılık için tüm aralıklar küçük, orta ve yüksek seçilebilir. Üçgen elemanlı gemi fonksiyonu için parametreler rastgele seçilir ancak bu veri değerleri programın sonucuna bağlıdır.

Kuralların yüzeyi Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

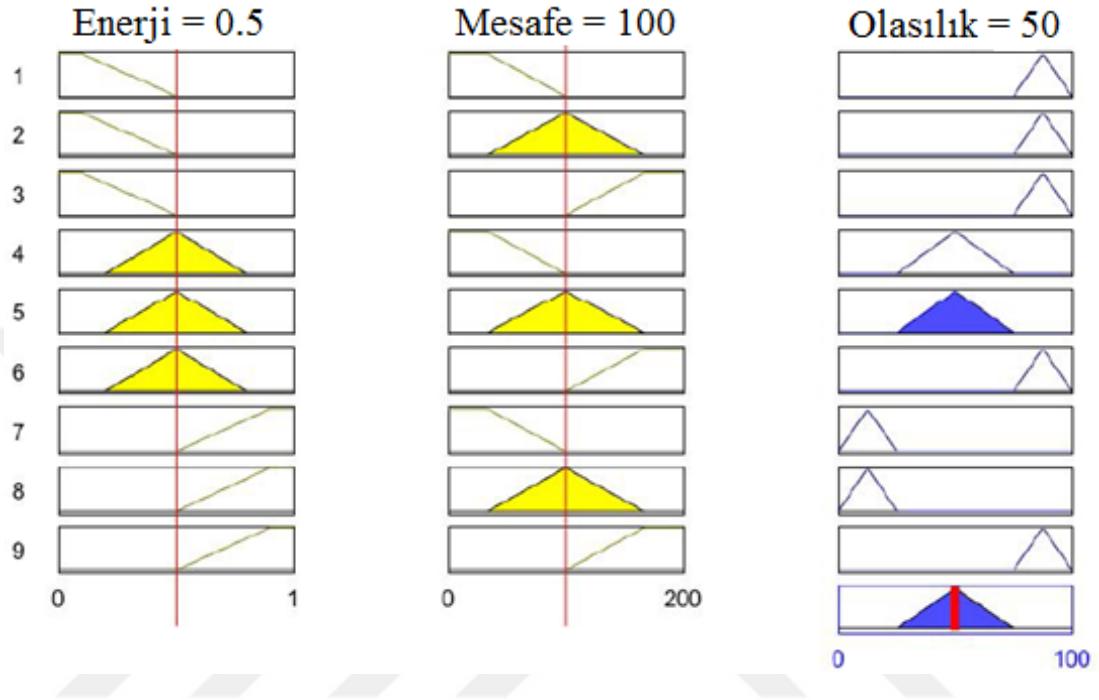


Şekil 4.7: Kuralın yüzeysel gösterimi.

Şekilde de görüldüğü üzere, küme başlığının olma olasılığı enerji ve mesafeye bağlıdır. Örneğin, algılayıcının enerjisi düşük olduğunda ve algılayıcı ile küme başı arasındaki mesafe düşük olduğunda, ilgili algılayıcının CH olma olasılığı düşüktür. Bu

sonuç bizlere, CH'nin olasılık değerini verir. Olasılık değeri yüksek ise, algılayıcı küme başı olacaktır, eğer bu olasılık değeri düşük olursa, algılayıcı küme başı olamayacaktır.

Bulanık sistem için kurallar Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Bulanık sistem kuralları.

Bu tezde 9 farklı kural oluşmaktadır. Çünkü girdiler için üç aşamamız var. Bu üç aşama küçük, orta ve yüksek.

Kullandığımız bulanık mantığın özellikleri aşağıdaki gibidir:

```
[System]
Name='local_level'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=9
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'
```

```
[Input1]
Name='energy'
Range=[0 1]
NumMFs=3
MF1='low': 'trapmf',[-0.36 -0.04 0.1 0.5]
MF2='med': 'trapmf',[0.2 0.5 0.5 0.8]
MF3='high': 'trapmf',[0.5001 0.9 1.13 1.45]
```

```
[Input2]
Name='distance'
Range=[0 200]
NumMFs=3
MF1='low': 'trapmf',[-72 -8 33.33 100]
MF2='med': 'trapmf',[33.33 100 100 166.7]
MF3='high': 'trapmf',[100 166.7 206.7 270]
```

```
[Output1]
Name='chance'
Range=[0 100]
NumMFs=3
MF1='small': 'trimf',[0 12.5 25]
MF2='med': 'trapmf',[25 50 50 75]
MF3='large': 'trimf',[75 87.5 100]
```

```
[Rules]
1 1, 3 (1): 1
1 2, 3 (1): 1
1 3, 3 (1): 1
2 1, 2 (1): 1
2 2, 2 (1): 1
2 3, 3 (1): 1
3 1, 1 (1): 1
3 2, 1 (1): 1
3 3, 3 (1): 1
```

Yukarıda kullanılan değerler ile Matlab’da güzel sonuçlar elde edilmiştir. Canlı nodun doğruluğunun LEACH yönteminden daha iyi olduğu görülmüştür. Bir sonraki kısımda yukardaki girdilere bağlı olarak elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

4.3.2 Genetik Algoritma Yapısı

Genetik algoritma için kümeleme maliyetini aşağıdaki şekilde kullandık:

$$z = \sqrt{(Sink.x - X)^2 + (Sink.y - Y)^2} \quad (4.1)$$

Bu tezde kullandığımız genetik parametre Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Genetik algoritma parametreleri.

Parametreler	Miktar
Maksimum Yineleme Sayısı	5
Popülasyon Boyutu	100
Çapraz Yüzde	0.8
Kapalı Yay Sayısı	$2 * \text{tur}(0.8 * 100 / 2)$
Mutasyon Yüzdesi	0.3
Mutantların Sayısı	$\text{tur}(0.3 * 100)$
Gama	0.2
Mutasyon Hızı	0.02
Seçim Basıncı	8

Parametreyi seçtikten sonra başlatma değeri girilir. Genetik algoritmanın adımları aşağıda gösterilmiştir.

1. Pozisyonu Başlat
2. Değerlendirme
3. Popülasyonu Sırala
4. En İyi Çözümü Sakla
5. En İyi Maliyet Değerlerini Tutmaya Yönelik Dizi Oluştur
6. Depolama Alanı Maliyeti Oluştur

Üst dizin şunları hesaplayacaktır:

$$p = \frac{e^{\frac{-\beta C}{w_c}}}{\sum e^{\frac{-\beta C}{w_c}}} \quad (4.2)$$

Bu denklemde β basınç seçimini, C maliyetleri ve w_c en kötü maliyeti ifade etmektedir.

Ana döngüde aşağıdaki adımlar kullanılmaktadır:

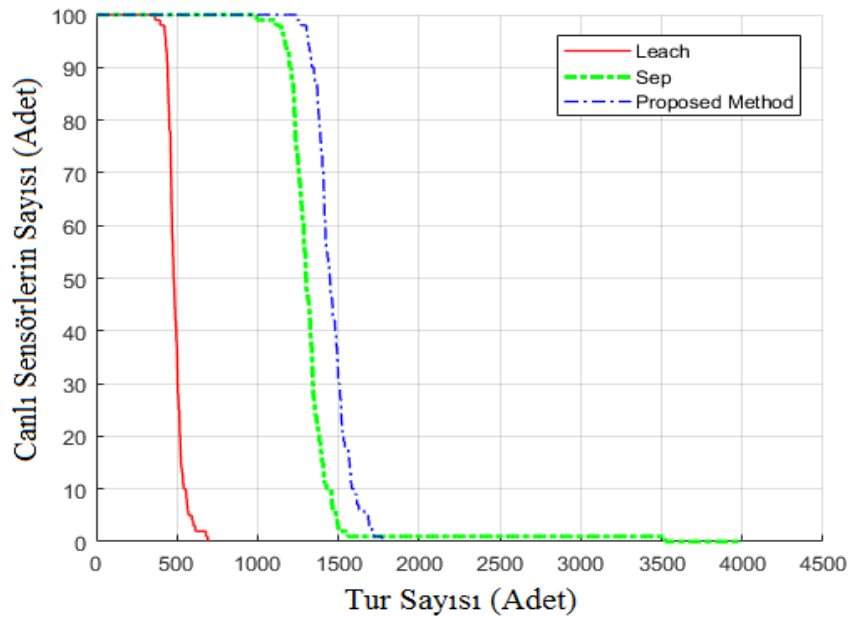
1. Crossover
2. Ebeveyn Endeksleri Seç
3. Ebeveynler'i seçin
4. Crossover'ı uygulayın

5. Kapalı kaynakları değerlendirmek
6. Mutasyon
7. Üst'ü seçin
8. Mutasyon Uygula
9. Mutantı Değerlendirin
10. Birleştirilmiş Nüfus Yaratın
11. Popülasyonu Sırala
12. En Kötü Maliyeti Güncelleyin
13. Kesme
14. En İyi Çözüm Bulunan Depolama Alanı
15. Bulunan En İyi Maliyeti Saklayın

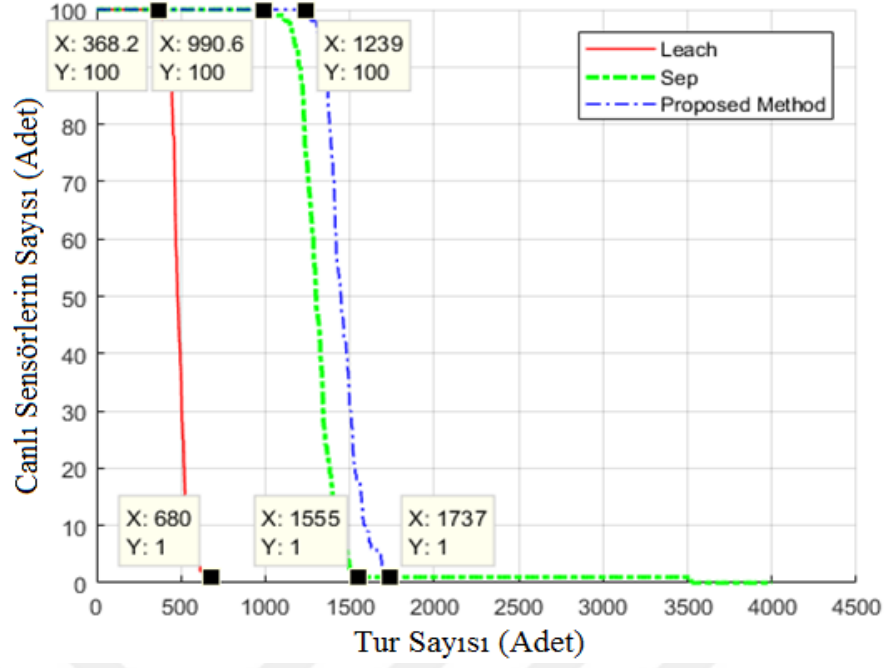
Sonuçlara göre ilk iterasyondan 4. iterasyona kadar en iyi maliyet 0,1654, son iterasyonda bu değer 0,05395 olmaktadır.

Bu adımdan sonra bulanık mantık tarafından küme oluşumu yapılmaktadır. Daha sonra küme başı sayacını bulanık mantık ile kontrol ettik.

Canlı düğümlerin durumu Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Önerdiğimiz yöntemin sonucunun LEACH yönteminden daha iyi olduğu şekilde görülmektedir. LEACH yönteminde ilk düğüm kabaca 507'de ölmeye başlar ve tüm düğümler kabaca 759'da tamamen ölür. Önerilen yöntemde ilk düğüm 801'de ölmeye başlar ve son düğüm kabaca 4000'de ölmektedir.

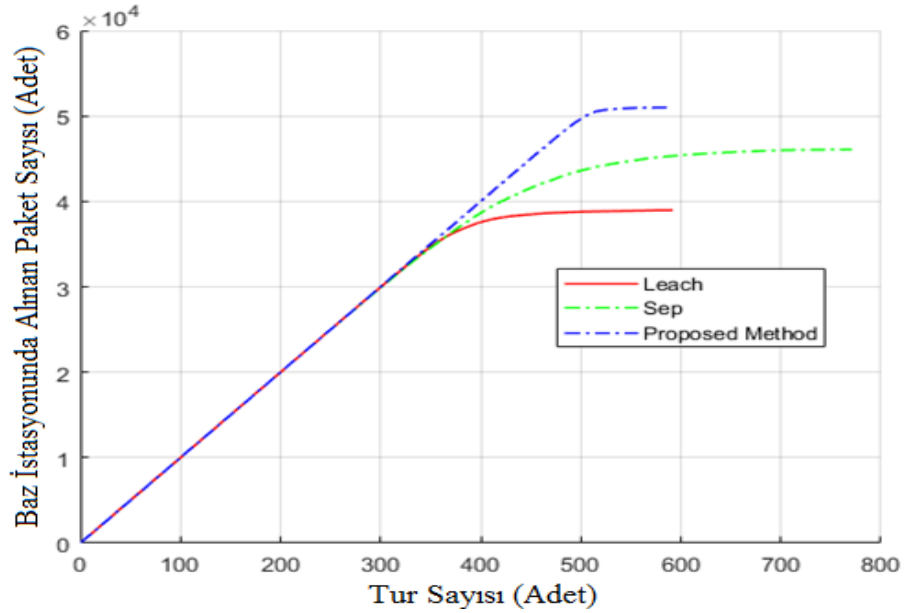


Şekil 4.9: Canlı sensör sayısı.



Şekil 4.10: Canlı sensör sayısı.

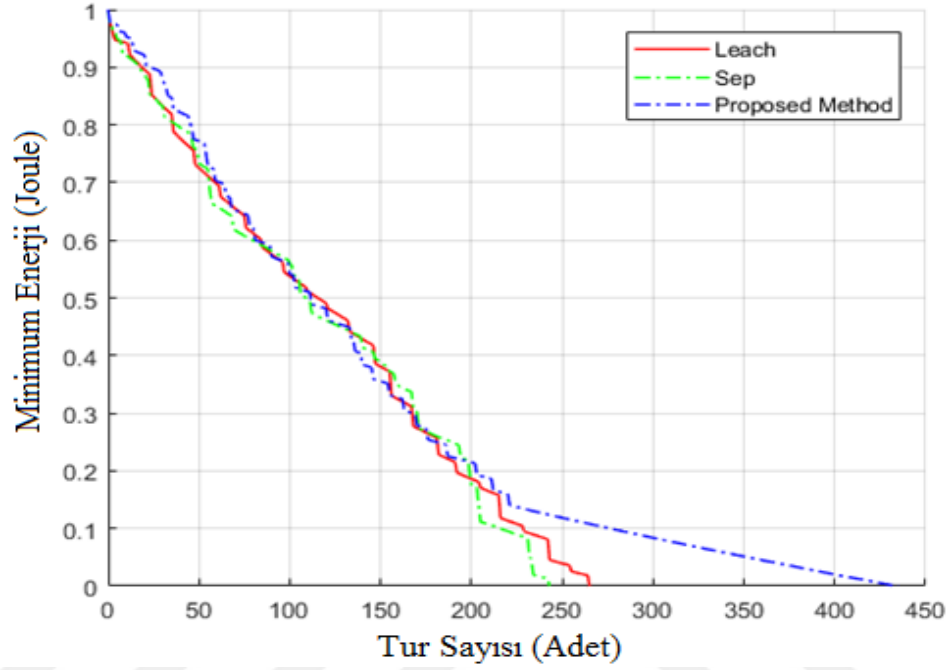
Baz istasyonuna ve mermi sayısına gönderilen paketin sonucu Şekil 4.11’de gösterilmektedir.



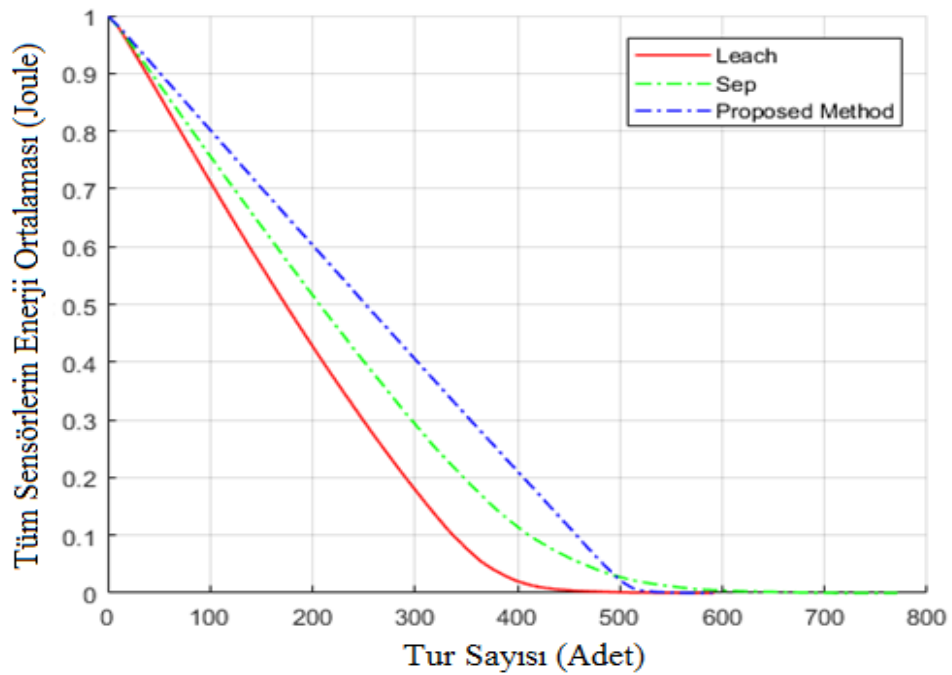
Şekil 4.11: Baz istasyonunda alınan paket sayısı.

Bu şekilde görüldüğü üzere, önerilen yöntem baz istasyonuna LEACH yönteminden daha fazla bilgi göndermektedir. Bu, metodumuzun diğer yöntemlerden daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

100 iterasyon için maliyet fonksiyonu, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’de gösterilmiştir. Örnek olarak kullandığımız bu yöntemde LEACH yönteminden baz istasyona daha fazla bilgi gönderilmiştir. Bu da bizim yöntemimizin diğer metotlardan daha avantajlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.12: Minimum enerji ve tur sayısı.



Şekil 4.13: Tüm sensörlerin enerji ortalaması.

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Kablosuz algılayıcı ağlar birinci bölümde bahsettiğim üzere hayatımızın birçok alanında (askeri, sağlık, çevre vb.) kullanılmaktadır. Bu sebeple bu ağların enerjisini daha verimli kullanmak için günümüze kadar birçok algoritma tasarlanmış ve hayata geçirilmiştir.

Bu tezde, genetik algoritma ve bulanık mantık yöntemlerini birlikte kullanarak bir kümeleme algoritması tasarlanmıştır. Algoritmada ağda yer alan sensörlerin heterojen olarak belli bir alanda gelişi güzel dağıldığı varsayımı kullanılmıştır. Bulanık mantık algoritmasını daha çok kablosuz algılayıcı ağın yönlendirilmesinde tercih edilmiştir. Bu yönlendirme sensörlerin enerjisini ve sensörler arasındaki mesafeyi dikkate alarak bize en uygun küme başı seçilme olasılığını üretmiştir. Olasılığı düşük olan sensörler elenmekte, yüksek olan sensörler ise küme başı olarak seçilmektedir.

Kullanılan bir diğer yöntem ise genetik algoritmadır. GA kablosuz algılayıcı ağda maliyet hesabı ve rotalama için kullanılmıştır. Ağın verimliliği ve kullanılabilirliği, gerekli performans ölçütlerinin ağırlıklı bir toplam maliyet fonksiyonu içine modellenmesi ve bu sonuçların kapsamlı simülasyonlarla karşılaştırılması ile kanıtlanmıştır.

Geliştirdiğimiz algoritma LEACH ve SEP protokolleri ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarında önerdiğimiz protokolün etkinliği gösterilmiştir. LEACH algoritmasına göre düğümlerin geç öldüğü tespit edilmiştir. Ayrıca diğer iki algoritmadan daha fazla bilgiyi baz istasyonuna gönderdiği gözlemlenmiştir. Böylece hem ağdaki enerji tüketimi dengelenmiş hem de ağ ömrü uzatılmıştır.

Gelecekte, sorgulama ve yönlendirme stratejileri kullanılarak genetik algoritma ve bulanık mantık birlikte çalışma prensibi geliştirilebilir. Su altı haberleşmesinde ve ormanlarımızı yangınlardan korumak amaçlı olarak da kullanılabilir. Dahası, küme

kafaları arasında multihop iletişimi de içerecek şekilde genişletilebilir. Ayrıca, enerji verimli kümeleri belirlemek için diğer öğrenme teknikleri de dahil edilebilir.

Parkinson ve şizofren hastalarda kullanılacak şekilde geliştirilebilir ve hastanın olası kaybolması durumunda aileleri tarafından rahatlıkla bulunması sağlanabilir.



KAYNAKÇA

1. Selvi, G.V. and R. Manoharan, *A survey of energy efficient unequal clustering algorithms for wireless sensor networks*. International Journal of Computer Applications, 2013. 79(1).
2. Prabhu, S.B. and S. Sophia, *A survey of adaptive distributed clustering algorithms for wireless sensor networks*. International Journal of Computer Science and Engineering Survey, 2011. 2(4): p. 165-176.
3. Shigei, N., et al. *Centralized and distributed clustering methods for energy efficient wireless sensor networks*. in *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*. 2009.
4. Jung, I., et al. *An energy efficient clustering method for wireless sensor networks*. in *Proceedings of the 6th WSEAS Int. Conf. on Electronics, Hardware, Wireless and Optical Communications, Corfu Island, Greece, February 16-19, 2007*. 2007.
5. Lee, K., *Energy-efficient Clustering Method for Wireless Sensor Networks*. 2010.
6. Vimalarani, C., R. Subramanian, and S. Sivanandam, *An enhanced PSO-based clustering energy optimization algorithm for wireless sensor network*. The Scientific World Journal, 2016. 2016.
7. Kalaycı, T.E., *Kablosuz sensör ağlar ve uygulamaları*. Akademik Bilişim'09-XI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, 2009.
8. Tubaishat, M. and S.K. Madria, *Sensor networks: an overview*. 2003.
9. Tilak, S., N.B. Abu-Ghazaleh, and W. Heinzelman, *A taxonomy of wireless micro-sensor network models*. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2002. 6(2): p. 28-36.
10. Kaur, G. and R.M. Garg, *Energy efficient topologies for wireless sensor networks*. International Journal of Distributed and Parallel Systems, 2012. 3(5): p. 179.

11. Sharma, D., S. Verma, and K. Sharma, *Network topologies in wireless sensor networks: a review I*. 2013.
12. Selmic, R.R., V.V. Phoha, and A. Serwadda, *Topology, Routing, and Modeling Tools*, in *Wireless Sensor Networks*. 2016, Springer. p. 23-36.
13. Nayyar, A. and A. Gupta, *A comprehensive review of cluster-based energy efficient routing protocols in wireless sensor networks*. IJRCCCT, 2014. 3(1): p. 104-110.
14. Chauhan, S. and N. Yadav, *LEACH-I Algorithm for WSN*. International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, 2016. 4(3): p. 3459-3466.
15. Jung, S.-M., Y.-J. Han, and T.-M. Chung. *The concentric clustering scheme for efficient energy consumption in the PEGASIS*. in *Advanced Communication Technology, The 9th International Conference on*. 2007. IEEE.
16. Lv, Y., et al. *A Low Energy Uneven Clustering Topology Control Algorithm for Wireless Networks*. in *Information Science and Control Engineering (ICISCE), 2016 3rd International Conference on*. 2016. IEEE.
17. Al-Nuaimi, R. and A. Al-Yasiri. *A new energy-efficient clustering protocol for wireless sensor networks based on Network Function Virtualisation (NFV)*. in *Information Communication and Management (ICICM), International Conference on*. 2016. IEEE.
18. Wang, N., Y. Zhou, and W. Xiang. *An energy efficient clustering protocol for lifetime maximization in wireless sensor networks*. in *Global Communications Conference (GLOBECOM), 2016 IEEE*. 2016. IEEE.
19. Sivaraj, C., P. Alphonse, and T. Janakiraman. *An energy efficient fault tolerance nested clustering algorithm for routing in wireless sensor networks*. in *Intelligent Systems and Control (ISCO), 2016 10th International Conference on*. 2016. IEEE.
20. Hu, Y., et al., *An Energy-Efficient Adaptive Overlapping Clustering Method for Dynamic Continuous Monitoring in WSNs*. IEEE Sensors Journal, 2016. 17(3): p. 834-847.
21. Venkateswarlu, K.M., A. Kandasamy, and K. Chandrasekaran, *An Energy-Efficient Clustering Algorithm for Edge-Based Wireless Sensor Networks*. Procedia Computer Science, 2016. 89: p. 7-16.

22. Divya, P. and S. Shivkumar. *Comparison of GSTEB, HEED and PEGASIS protocols.* in *Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET), International Conference on.* 2016. IEEE.
23. Amsalu, S.B., et al. *Energy efficient Grid Clustering Hierarchy (GCH) routing protocol for wireless sensor networks.* in *Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON), IEEE Annual.* 2016. IEEE.
24. Jiang, C., et al. *Low-energy consumption uneven clustering routing protocol for wireless sensor networks.* in *Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), 2016 8th International Conference on.* 2016. IEEE.
25. Alassery, F. and W.K. Ahmed. *Smart wireless sensor networks powered by remaining energy cluster head selection protocol.* in *Sarnoff Symposium, 2016 IEEE 37th.* 2016. IEEE.
26. Kumar, K.P., et al. *EBDRA: Energy balanced dynamic cluster routing approach for WSN.* in *Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT), IEEE International Conference on.* 2016. IEEE.
27. Wang, H., Q. Liu, and M. Liu. *NHEED: An energy-efficient multi-hop routing protocol based on HEED.* in *Intelligent Control and Automation (WCICA), 2016 12th World Congress on.* 2016. IEEE.
28. Mazumdar, N. and H. Om. *An energy efficient GA-based algorithm for clustering in wireless sensor networks.* in *Emerging Trends in Engineering, Technology and Science (ICETETS), International Conference on.* 2016. IEEE.
29. Mazumdar, N. and H. Om. *Distributed energy-efficient clustering algorithm for mobile-sink based wireless sensor networks.* in *Intelligent Systems and Control (ISCO), 2016 10th International Conference on.* 2016. IEEE.
30. Salah, M.B. and A. Boulouz. *Energy efficient clustering based on LEACH.* in *Engineering & MIS (ICEMIS), International Conference on.* 2016. IEEE.
31. Brar, G.S., et al., *Energy efficient direction-based PDORP routing protocol for WSN.* IEEE Access, 2016. 4: p. 3182-3194.
32. Razaque, A., et al. *P-LEACH: energy efficient routing protocol for wireless sensor networks.* in *Systems, Applications and Technology Conference (LISAT), 2016 IEEE Long Island.* 2016. IEEE.

33. Jamil, S., et al. *COPE: cooperative power and energy-efficient routing protocol for wireless sensor networks*. in *2015 IEEE/ACIS 14th international conference on computer and information science (ICIS)*. 2015. IEEE.
34. Azharuddin, M., P. Kuila, and P.K. Jana, *Energy efficient fault tolerant clustering and routing algorithms for wireless sensor networks*. *Computers & Electrical Engineering*, 2015. 41: p. 177-190.
35. Sert, S.A., H. Bagci, and A. Yazici, *MOFCA: Multi-objective fuzzy clustering algorithm for wireless sensor networks*. *Applied Soft Computing*, 2015. 30: p. 151-165.
36. Raja, D. and P. Samundiswary. *Performance analysis of Self-organized Tree Based Energy Balance (STEB) routing protocol for WSN*. in *Communications and Signal Processing (ICCSP), 2015 International Conference on*. 2015. IEEE.
37. Tan, N.D. and N.D. Viet. *SCBC: Sector-chain based clustering routing protocol for energy efficiency in heterogeneous wireless sensor network*. in *Advanced Technologies for Communications (ATC), 2015 International Conference on*. 2015. IEEE.
38. Tan, N.D. and N.D. Viet. *SSTBC: Sleep scheduled and tree-based clustering routing protocol for energy-efficient in wireless sensor networks*. in *Computing & Communication Technologies-Research, Innovation, and Vision for the Future (RIVF), 2015 IEEE RIVF International Conference on*. 2015. IEEE.
39. Malathi, L., R. Gnanamurthy, and K. Chandrasekaran, *Energy efficient data collection through hybrid unequal clustering for wireless sensor networks*. *Computers & Electrical Engineering*, 2015. 48: p. 358-370.
40. Ambekar, C., D. Mehta, and H. Ashar. *OPEGASIS: Opportunistic Power Efficient GAthering in Sensor Information Systems*. in *Intelligent Systems and Control (ISCO), 2015 IEEE 9th International Conference on*. 2015. IEEE.
41. Kulkarni, N., N.R. Prasad, and R. Prasad. *G-MOHRA: Green multi-objective hybrid routing algorithm for wireless sensor networks*. in *Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 2014 International Conference on*. 2014. IEEE.
42. Sathya, S., et al. *Minimization of energy consumption in Wireless Sensor Networks using Virtual Backbone Scheduling with hierarchical clustering*. in *Electronics and Communication Systems (ICECS), 2014 International Conference on*. 2014. IEEE.

43. Pilloni, V., et al., *Tan: a distributed algorithm for dynamic task assignment in wsns*. IEEE Sensors Journal, 2014. 14(4): p. 1266-1279.
44. Liu, Q., J. Li, and M. Liu. *A clustering algorithm based on local competition and double-weight communication-energy-consumption for wireless sensor networks*. in *Control and Automation (ICCA), 2013 10th IEEE International Conference on*. 2013. IEEE.
45. Ji, S., L. Huang, and J. Wang, *A Distributed and Energy-efficient Clustering Method for Hierarchical Wireless Sensor Networks*. International Journal of Future Generation Communication and Networking, 2013. 6(2): p. 83-92.
46. Shin, J. and C. Suh, *CREEC: Chain routing with even energy consumption*. Journal of Communications and Networks, 2011. 13(1): p. 17-25.
47. Ma, X., Y. Fang, and X. Bai. *A balanced energy consumption clustering algorithm for heterogeneous energy wireless sensor networks*. in *Wireless Communications, Networking and Information Security (WCNIS), 2010 IEEE International Conference on*. 2010. IEEE.
48. Yu, Y. and Y. Song. *An energy-efficient chain-based routing protocol in wireless sensor network*. in *Computer Application and System Modeling (ICCSM), 2010 International Conference on*. 2010. IEEE.
49. Liu, T. and F. Li. *Power-efficient clustering routing protocol based on applications in wireless sensor network*. in *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009. WiCom'09. 5th International Conference on*. 2009. IEEE.
50. Bai, F.-e., H.-h. Mou, and J. Sun. *Power-efficient zoning clustering algorithm for wireless sensor networks*. in *Information Engineering and Computer Science, 2009. ICIECS 2009. International Conference on*. 2009. IEEE.
51. Yu, J.D., et al. *An energy efficient chain-based clustering routing protocol for wireless sensor networks*. in *Advanced Information Networking and Applications Workshops, 2009. WAINA'09. International Conference on*. 2009. IEEE.
52. Yu, L., et al. *GROUP: A Grid-Clustering Routing Protocol for Wireless Sensor Networks*. in *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2006. WiCOM 2006. International Conference on*. 2006. IEEE.
53. Tabassum, N., Y. Urano, and A.A. Haque. *GSEN: An efficient energy consumption routing scheme for wireless sensor network*. in *Networking, International Conference on Systems and International Conference on Mobile*

Communications and Learning Technologies, 2006. ICN/ICONS/MCL 2006. International Conference on. 2006. IEEE.

54. Muruganathan, S.D., et al., *A centralized energy-efficient routing protocol for wireless sensor networks.* IEEE Communications Magazine, 2005. 43(3): p. S8-13.
55. Zhang, Y., et al., *Fuzzy-logic based distributed energy-efficient clustering algorithm for wireless sensor networks.* Sensors, 2017. 17(7): p. 1554.
56. Naeimi, S., et al., *A survey on the taxonomy of cluster-based routing protocols for homogeneous wireless sensor networks.* Sensors, 2012. 12(6): p. 7350-7409.
57. Zhu, N. and I. O'Connor, *iMASKO: A genetic algorithm based optimization framework for wireless sensor networks.* Journal of Sensor and Actuator Networks, 2013. 2(4): p. 675-699.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İlyas TERZİ
Medeni Durumu : Evli
Uyruk : T.C.
Doğum Yeri Tarihi : Rize - 17.11.1986
Adresi : Türkiye - Ankara – Yenimahalle - Batıkent
Tel : +90 (506) 986 01 53
E-mail : ilyasterzi53@gmail.com, ilyasterzi53@hotmail.com



EĞİTİM BİLGİLERİ

2014 – ... (Yüksek Lisans – Devam Ediyor)
o Türk Hava Kurumu Üniversitesi
Yüksek Lisans, Mühendislik Fakültesi, Elektrik& Elektronik Mühendisliği
2004 – 2008 (Lisans)
o Kırıkkale Üniversitesi
Lisans, Mühendislik Fakültesi, Elektrik& Elektronik Mühendisliği

İŞ TECRÜBESİ

2013 – 2018 (5 Yıl) Türk Telekomünikasyon A.Ş, Ankara – Enerji ve Soğutma Sist. Kıd. Uzmanı
2008 – 2013 (5 Yıl) Türk Telekomünikasyon A.Ş, Rize – Enerji ve Soğutma Sistemleri Uzmanı
07.2006 – 09.2006 (2 Ay) Aselsan A.Ş, Ankara – Haberleşme, Stajyer Mühendis