

**T.C.**  
**MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLİŞİM SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA KÜME BAŞI**  
**SEÇİMİNDE SEZGİSEL**  
**ALGORİTMALARIN PERFORMANSLARININ**  
**DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ABDÜLBAKİ DEMİREL**

**EYLÜL 2022**

**MUĞLA**

# MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ

## Fen Bilimleri Enstitüsü

### TEZ ONAYI

ABDÜLBAKİ DEMİREL tarafından hazırlanan **KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA KÜME BAŞI SEÇİMİNDE SEZGİSEL ALGORİTMALARIN PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ** başlıklı tezinin, 01/09/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Bilişim Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans derecesi için gerekli şartları sağladığı oybirliği ile kabul edilmiştir.

### TEZ SINAV JURİSİ

Doç. Dr. Sedat ATMACA (**Jüri Başkanı**)

İmza:

Bilişim Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı,  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, MUĞLA

Doktor Öğretim Üyesi Gürcan ÇETİN (**Danışman**)

İmza:

Bilişim Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı,  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, MUĞLA

Doktor Öğretim Üyesi Rukiye KARAKIŞ (**Üye**)

İmza:

Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı  
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, SİVAS

### ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞI ONAYI

Doç. Dr. Osman ÖZKARACA

İmza:

Bilişim Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı,  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, MUĞLA

Doktor Öğretim Üyesi Gürcan ÇETİN

İmza:

Danışman, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı,  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, MUĞLA

Savunma Tarihi: 01/09/2022

Tez çalışmalarım sırasında elde ettiğim ve sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgelerin tarafımdan bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde edildiğini; akademik ve bilimsel etik kurallarına uygun olduğunu beyan ederim. Ayrıca, akademik ve bilimsel etik kuralları gereği bu tez çalışması sırasında elde edilmemiş başkalarına ait tüm orijinal bilgi ve sonuçlara atıf yapıldığını da beyan ederim.

Abdülbaki DEMİREL

01/09/2022



## ÖZET

# KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA KÜME BAŞI SEÇİMİNDE SEZGİSEL ALGORİTMALARIN PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Abdülbaki DEMİREL

Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilişim Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doktor Öğretim Üyesi Gürcan ÇETİN

Eylül 2022, 66 Sayfa

Bu tez çalışmasında, LEACH yönlendirme protokolünü kullanan Kablosuz Algılayıcı Ağlarda (KAA) algılayıcı düğümlerin enerji kayıplarını azaltmak ve ağın aktif kalma süresini arttırmak için sezgisel eniyileme algoritmalarına dayalı bir yöntem sunulmuştur. Çalışmada, literatürde en çok kullanılan sürü tabanlı eniyileme algoritmalarından Genetik Algoritma (GA), Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO) ve Yapay Arı Kolonisi (YAK) algoritmaları problemin çözümü için seçilmiştir. Sunulan algoritmaların LEACH protokolü ile başarımlarını karşılaştırmak için MATLAB R2017 yazılımında çok Atlamalı Yönlendirmeye (Multi-Hop Routing) dayalı bir model geliştirilmiştir. Aę geçidinin farklı konumlara yerleştirdiği senaryolarda, seçilen eniyileme algoritmaları, algılayıcı sayısının 50 ve 100 düğüm olduğu ağlarda uygulanarak enerji tüketimi, veri gönderimi, aktif/l düğüm sayıları ve her bir çevrimde algılayıcı başına düşen ortalama enerji açısından karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda, kullanılan eniyileme algoritmalarının tamamının LEACH protokolüne göre çok daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Algoritmalar kendi içerisinde karşılaştırıldığında ise Genetik Algoritma tabanlı LEACH modelinin (LEACH-GA) en iyi sonuçlara sahip olduğu görülmüştür. 50 düğümlü aę yapılarında LEACH-GA yöntemi LEACH protokolüne göre tur sayısını yaklaşık %50, veri paketi sayısını ise yaklaşık %60 oranında arttırmıştır. 100

düğümlü ağ yapılarında ise, LEACH-GA protokolü LEACH protokolüne göre tur sayısını yaklaşık %130, veri paketi sayısı ise yaklaşık %150 oranında arttırmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kablosuz Algılayıcı Ağlar, Enerji Verimliliği, LEACH Protokolü, Çok-Atlamalı Yönlendirme, Karınca Kolonisi Algoritması, Yapay Arı Kolonisi Algoritması, Genetik Algoritma



## ABSTRACT

### INTUITIVE CLUSTER SELECTION IN WIRELESS SENSOR NETWORKS EVALUATION OF THE PERFORMANCES OF ALGORITHMS

Abdlbaki DEMİREL

Master Thesis

Institute of Science and Technology

Information System Engineering

Supervisor: Assistant Professor Gürcan ETİN

September 2022, 66 pages

This thesis presents a strategy based on heuristic algorithms for reducing energy losses of sensor nodes in Wireless Sensor Networks (WSN) utilizing the LEACH routing protocol and increasing network active time. The issue was solved using the Genetic Algorithm (GA), Ant Colony Optimization (ACO), and Artificial Bee Colony (ABC) techniques, which are the most often used swarm-based optimization algorithms in the literature. In MATLAB R2017b software, a model based on Multi-Hop Routing was created to compare the performance results of the proposed techniques with the LEACH protocol. In situations where the gateway is positioned in different locations, the selected optimization methods are implemented in networks with 50 and 100 sensors, comparing energy consumption, data transmission, number of active / dead nodes, and average energy per sensor in each cycle. The comparisons revealed that all of the optimization techniques tested achieved much better outcomes than the LEACH process. When the algorithms were compared among themselves, the Genetic Algorithm-based LEACH model (LEACH-GA) produced the best results. According to the LEACH protocol, the LEACH-GA approach increased the number of rounds by around 50% and the amount of data packets by about 60% in 50-node network structures. When compared to the LEACH protocol, the LEACH-GA protocol increased the number of

rounds by around 130% and the amount of data packets by about 150% in 100-node network structures.

**Keywords:** Wireless Sensor Networks, Energy Efficiency, LEACH Protocol, Multi-Hop, Ant Colony Algorithm, Artificial Bee Colony Algorithm, Genetic Algorithm, Optimization



## ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen, sahip olduğu her türlü bilgilerini ve kaynaklarını esirgmeden paylaşan ve yol gösteren, yeni bir yazılım programımı öğrenmem için her türlü çabayı sarf eden, ufkumu genişleten ve hayatım boyunca pes etmemeyi öğreten, danışmanlığımı üstlenen Doktor Öğretim Üyesi Gürcan ÇETİN'e, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda görev yapan değerli hocalarıma, zorlu iş hayatım içerisinde bana çalışma ortamı sağlayan ve korumalığını üstlendiğim Cumhuriyet Savcısına ve aileme en içten duygularıyla teşekkür ederim.



# İÇİNDEKİLER

SEMBOLLER VE KISALTMALAR .....	xiv
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Literatür Araştırması .....	2
<b>2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR VE YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİ.....</b>	<b>5</b>
2.1. Kablosuz Algılayıcı Ağların Uygulama Alanları .....	6
2.2. Kablosuz Algılayıcı Ağ Yapısı .....	7
2.3 Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Yönlendirme .....	8
2.3.1 Dağıtılmış Yönlendirme .....	9
2.3.2 Merkezi Yönlendirme .....	9
2.3.3 Kaynak Tabanlı Yönlendirme.....	9
2.3.4 Hop-by-Hop Yönlendirme .....	9
2.3.5 Olasılıksal Yönlendirme.....	10
2.3.6 Tek Atlamalı Yönlendirme.....	10
2.3.7 Çok Atlamalı Yönlendirme .....	10
2.4. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Yönlendirme Protokolleri .....	11
2.4.1. LEACH Yönlendirme Protokolü.....	12
2.4.2. PEGASIS Yönlendirme Protokolü.....	13
2.4.3. Eşik Duyarlı Enerji Verimli Yönlendirme Protokolü.....	13
2.4.4. Sanal Izgara Mimarili Yönlendirme Protokolleri.....	14
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>15</b>
3.1. Sezgisel Algoritmalar .....	15
3.1.1. Karınca Kolonisi Algoritması .....	15
3.1.1.1 Karınca Kolonisi Algoritması Parametreleri.....	16
3.1.1.2 Karınca Kolonisi Algoritmasında Turun Oluşturulması.....	16

3.1.2.1. Yapay Arı Kolonisi Algoritması .....	17
3.1.2.2. Yapay Arı Kolonisi Algoritması Parametreleri.....	18
3.1.2.3. Yapay Arı Kolonisi Algoritmasında Turun Oluşturulması.....	18
3.1.3. Genetik Algoritma .....	20
3.1.3.1. Genetik Algoritma Parametreleri .....	21
3.1.3.2 Genetik Algoritmada Turun Oluşturulması .....	22
3.2. LEACH Protokolü .....	23
3.2.1. LEACH Protokolü Enerji Tüketimi .....	25
3.3. LEACH Protokolüne Göre Toplam Enerji Tüketimi.....	27
<b>4. KAA’LARDA ENERJİ TÜKETİMİNİN SEZGİSEL ALGORİTMALAR KULLANILARAK AZALTILMASI .....</b>	<b>29</b>
4.2. Karınca Kolonisi Algoritması Parametre Karşılaştırılması .....	32
4.3. Yapay Arı Kolonisi Algoritması Parametre Karşılaştırılması .....	35
4.4. Genetik Algoritma Parametre Karşılaştırılması.....	38
4.5. Birinci Ağ Yapısının Karşılaştırılması .....	41
4.5.1 Birinci Ağ Yapısı için Aktif/Ölü Düğüm Sayısı .....	41
4.5.2 Birinci Ağ Yapısı için Enerji Ortalaması Değişimi .....	42
4.5.3 Birinci Ağ Yapısı için Toplam Enerji Değişimi .....	43
4.5.4 Birinci Ağ Yapısı için Veri Gönderimi .....	44
4.6 İkinci Ağ Yapısının Karşılaştırılması .....	45
4.6.1 İkinci Ağ Yapısı için Aktif/Ölü Düğüm Sayısı .....	45
4.6.2 İkinci Ağ Yapısı için Ortalama Enerji Değişimi .....	46
4.6.3 İkinci Ağ Yapısı için Toplam Enerji Değişimi .....	47
4.6.4 İkinci Ağ Yapısı için Veri Gönderimi .....	48
4.7 Üçüncü Ağ Yapısının Karşılaştırılması .....	49
4.7.1 Üçüncü Ağ Yapısı için Aktif/Ölü Düğüm Sayısı.....	49

<i>4.7.2 Üçüncü Ağ Yapısı için Ortalama Enerji Değişimi</i> .....	50
<i>4.7.3 Üçüncü Ağ Yapısı için Toplam Enerji Değişimi</i> .....	51
<i>4.7.4 Üçüncü Ağ Yapısı için Veri Gönderimi</i> .....	52
<b>4.8 Dördüncü Ağ Yapısının Karşılaştırılması</b> .....	<b>53</b>
<i>4.8.1 Dördüncü Ağ Yapısı için Aktif/Ölü Düğüm Sayısı</i> .....	53
<i>4.8.2 Dördüncü Ağ Yapısı için Ortalama Enerji Değişimi</i> .....	54
<i>4.8.3 Dördüncü Ağ Yapısı için Toplam Enerji Değişimi</i> .....	55
<i>4.8.4 Dördüncü Ağ Yapısı için Veri Gönderimi</i> .....	56
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ</b> .....	<b>57</b>
<b>KAYNAKÇA</b> .....	<b>61</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>66</b>

## Şekiller Dizini

Şekil 2.1 Algılayıcı Düğüm Mimarisi (Behera ve diğerleri, 2019) .....	6
Şekil 2.2 Örnek Algılayıcı Düğüm Entegreleri.....	6
Şekil 2.3 KAA Yapısı ve Algılayıcı Düğüm Tipleri.....	8
Şekil 2.4 Algılayıcı Dğümlerde Yönlendirme .....	8
Şekil 2.5 Tek Atlamalı Yönlendirme .....	10
Şekil 2.6 Multi Hop Yapısına Ait Bir Örnek .....	11
Şekil 2.7 Hiyerarşik Yönlendirme Sistemine Ait Bir Örnek.....	12
Şekil 2.8 LEACH Protokolüne Ait Bir Örnek .....	13
Şekil 2.9 VGA Protokolüne Ait Bir Örnek .....	14
Şekil 3.1 Karınca Kolonisi Algoritması Akış Diyagramı .....	17
Şekil 3.2 Yapay Arı Kolonisi Algoritması Akış Diyagramı .....	20
Şekil 3.3 Genetik Algoritma Akış Diyagramı.....	23
Şekil 3. 4 LEACH Protokolü Akış Diyagramı.....	24
Şekil 3. 5 Birincil Radyo Yayılım Modeli (Gülbaş ve diğerleri, 2020) .....	25
Şekil 4.1 LEACH Protokol Alanının Başlangıcına Ait Canlı Gösterim Ekranı .....	30
Şekil 4.2 LEACH Protokol Alanının Başlangıcına Ait Canlı Gösterim Ekranı .....	30
Şekil 4.3 LEACH Protokol Alanının Veri Alışverişe Ait Canlı Gösterim Ekranı.....	31
Şekil 4.4 LEACH Protokol Alanının Sonlanmasının Canlı Gösterim Ekranı .....	31
Şekil 4.5 Birinci Ağ Yapısı için Aktif/Ölü Düğüm Sayısı.....	41
Şekil 4.6 Birinci Ağ Yapısı için Enerji Ortalaması Değişimi .....	42
Şekil 4.7 Birinci Ağ Yapısı için Toplam Enerji Değişimleri.....	43
Şekil 4.8 Birinci Ağ Yapısı için Veri Paketi Değişimleri .....	44
Şekil 4.9 Üçüncü Ağ Yapısı için Aktif/Ölü Düğüm Sayısı .....	45
Şekil 4.10 İkinci Ağ Yapısı için Enerji Ortalaması Değişimi.....	46

Şekil 4.11 İkinci Ağ Yapısı için Toplam Enerji Değişimi .....	47
Şekil 4.12 İkinci Ağ Yapısı için Veri Paketi Değişimleri.....	48
Şekil 4.13 Üçüncü Ağ Yapısı için Aktif/Ölü Düğüm Sayısı .....	49
Şekil 4.14 Üçüncü Ağ Yapısı için Enerji Ortalaması Değişimi.....	50
Şekil 4.15 Üçüncü Ağ Yapısı için Toplam Enerji Değişimi.....	51
Şekil 4.16 Üçüncü Ağ Yapısı için Veri Paketi Değişimleri.....	52
Şekil 4.17 Dördüncü Ağ Yapısı için Aktif/Ölü Düğüm Sayısı.....	53
Şekil 4.18 Dördüncü Ağ Yapısı için Enerji Ortalaması Değişimi .....	54
Şekil 4.19 Dördüncü Ağ Yapısı için Toplam Enerji Değişimi .....	55
Şekil 4.20 Dördüncü Ağ Yapısı için Veri Paketi Değişimleri .....	56

## Çizelgeler Dizini

Çizelge 4. 1 LEACH Protokolü Parametre Değerleri .....	29
Çizelge 4. 2 Kullanılacak Ağ Yapılarının Özellikleri .....	32
Çizelge 4. 3 LEACH Protokolünün Normal Çalışma Sonuçları.....	32
Çizelge 4. 4 Karınca Algoritması Parametre Değerleri .....	33
Çizelge 4. 5 İki Ağ Yapısı İçin $\beta$ Değeri Karşılaştırma Verileri.....	33
Çizelge 4. 6 İki Ağ Yapısı İçin Karınca Sayısı Karşılaştırma Verileri .....	34
Çizelge 4. 7 Yapay Arı Kolonisi Algoritması Parametre Değerleri.....	35
Çizelge 4. 8 Dört Ağ Yapısı İçin Arı Sayısı Karşılaştırma Verileri.....	36
Çizelge 4. 9 Dört Ağ Yapısı İçin Besin Sayısı Karşılaştırma Verileri.....	37
Çizelge 4. 10 Genetik Algoritma Parametre Değerleri .....	38
Çizelge 4. 11 Dört Ağ Yapısı İçin Mutasyon Oranı Karşılaştırma Verileri.....	38
Çizelge 4. 12 Dört Ağ Yapısı İçin Kromozom Sayısı Karşılaştırma Verileri.....	39
Çizelge 4. 13 Birinci Ağ Yapısı için Karşılaştırma Sonuçları .....	41
Çizelge 4. 14 İkinci Ağ Yapısı için Karşılaştırma Sonuçları .....	45
Çizelge 4. 15 Üçüncü Ağ Yapısı için Karşılaştırma Sonuçları .....	49
Çizelge 4. 16 Dördüncü Ağ Yapısı için Karşılaştırma Sonuçları .....	53
Çizelge 5. 1 Dört Ağ Yapısı için Enerji Tüketimleri .....	58
Çizelge 5. 2 Dört Ağ Yapısı için Veri Paketi Gönderim Sayıları .....	58

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR

Çalışmamızda kullanılmış olan simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>ABC</b>	Artificial Bee Colony
<b>ACO</b>	Ant Colony Optimization
<b>AD</b>	Algılayıcı Düğüm
<b>AG</b>	Ağ Geçidi
<b>BS</b>	Base Station-Baz İstasyonu
<b>CH</b>	Cluster Head-Küme Başı
<b>GA</b>	Genetic Algorithm- Genetik Algoritma
<b>WSN</b>	Wireless Sensor Network
<b>KAA</b>	Kablosuz Algılayıcı Ağ
<b>KKO</b>	KarıncaKolonisi Optimizasyonu
<b>KB</b>	Küme Başı-Cluster Head
<b>LEACH</b>	Low Energy Adaptive Cluster Hierarchy
<b>LEACH-ABC</b>	Low Energy Adaptive Cluster Hierarchy- Artificial Bee Colony
<b>LEACH-ACO</b>	Low Energy Adaptive Cluster Hierarchy- Ant Colony Optimization
<b>LEACH-GA</b>	Genetic Algorithm Based Low Energy Adaptive Clustering Hierarchical Routing Protocol
<b>PEGASIS</b>	Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems
<b>SEP</b>	Stable Election Protocol
<b>SNRP</b>	Sub-Netting Based Routing Protocol - Basit Ağ Yönetim Protokolü
<b>TB</b>	Tavlama Benzetimi
<b>TEEN</b>	Threshold-sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol
<b>VGA</b>	Virtual Grid Architecture Routing
<b>YAK</b>	Yapay Arı Kolonisi
<b>WSN</b>	Wireless Sensor Network

# 1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte kimyasal yapı, hız, voltaj, sıcaklık gibi çevresel verileri, incelemek ve işlemek amacıyla, merkezi bir noktaya aktarmayı sağlayan yapılandırılabilir ağlara olan gereksinim giderek artmaktadır (Mohammaed ve diğerleri, 2021) (Radhika ve diğerleri, 2019) . Bu ağ yapılarına Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA) adı verilmektedir. KAA'lar otonom şekilde bir alana dağılmış olan alıcı ve verici algılayıcıların bulunduğu bir alanı ifade etmektedir (Ullo ve diğerleri, 2020) . Günümüzde mikroçip, algılayıcı ve kablosuz iletişim araçları gibi sayısal elektronik cihazların gelişmeleriyle birlikte KAA'lara olan talep, yaygınlaşması ve gelişimi hızlanmıştır. KAA'lar bir ortamdan toplanan verilerin olası risklerden dolayı aktarılamadığı durumlarda en çok kullanılan teknoloji haline gelmiştir (Madhu ve diğerleri, 2019) . Tarım, sağlık, ulaşım, çevresel faaliyetler gibi birçok alanda etkili olarak kullanılan ve katkı sağlayan KAA'lar ilk olarak askeri uygulamalar alanında doğan ihtiyaçlardan dolayı askeri alanda kullanılmıştır.

KAA yapılarını oluşturulan her bir düğüm düşük maliyetli olarak üretilerek, minimum enerji tüketecek şekilde devreye entegre edilmiştir. Ancak, bu algılayıcı düğümler enerji, hız ve bellek kullanımı açısından sınırlı kapasiteye sahiptirler. Bu sınırlı kapasite, gün geçtikçe gelişen farklı teknolojik altyapılar için yetersiz kalmaya başlamıştır (Radhika ve diğerleri, 2019) .

KAA yapısında kullanılan enerji bir pil veya akü kaynağı gibi depolamaya bağlı, yani sınırlı bir enerjiye sahiptir. Ağ yapısında etkili bir şekilde yapılan yönetim planı enerji kaynağının verimli kullanılabilmesi için oldukça önemlidir (Madhu ve diğerleri, 2019) . Ağ yapısında bulunan düğümler sahip oldukları verileri başka bir düğüme, küme başı düğüme veya merkezi düğüme iletirken harcanan enerji her ağ yapısında farklıdır. Bu enerji farklılığının çözümü için literatürde hiyerarşik, düz ve konum tabanlı yönlendirme algoritmaları önerilmiştir.

Hiyerarşik yapı ve kümeleme tabanlı olan LEACH protokolü, bu tez çalışmasının odak noktasıdır. LEACH protokolü enerji verimliliği sağlayan en iyi protokollerden

birisidir. Bu protokolde, algılayıcı düğümler arasından kümeler halinde gruplar oluşturulur. Daha sonraki aşamada ise, her bir veri iletimi sırasında, her küme içerisinde bir düğüm rastgele belirlenerek küme başı yapılır ve veri alışveriş işlemi gerçekleştirilir (Madhu ve diğerleri, 2019) . Küme başı seçimi yapılırken enerji verimliliği optimizasyonu yapılmadığı için düğümler gereğinden fazlasıyla enerji harcamaktadır. Bu nedenle KAA yapısının ömrü kısalmaktadır. Literatür incelendiğinde küme başının seçimi için bulanık mantık (Mazumdar ve diğerleri, 2017) , karınca kolonisi optimizasyonu (Ahmad ve diğerleri, 2017) ve genetik algoritma (Bhola ve diğerleri, 2019) gibi algoritmalar göze çarpmaktadır.

Bu tez çalışmasında, sezgisel algoritmaların çok atlamalı yönlendirme (multi-hop routing) uygulanan LEACH protokolüne sahip KAA'lardaki enerji tüketimi sürecindeki verimlilikleri araştırılmıştır. Çalışmada, sezgisel algoritmalarda, karınca kolonisi algoritması (KKA), yapay arı kolonisi (YAK) algoritması ve genetik algoritma (GA) olmak üzere üç farklı algoritmaya dayalı yöntemler sunulmuştur.

Tez çalışmasında, 50 ve 100 düğüm sayısına sahip geniş ölçekli bir KAA yapısı MATLAB R2017b yazılımında modellenmiştir. Çok atlamalı LEACH yönlendirme protokolünü uygulayan model üzerinde ağ geçidi düğümün konumu değiştirilerek oluşturulan dört farklı ağ yapısı üzerinde her bir algoritmaya ait parametreler değiştirilerek ağın enerji tüketimi, toplam veri aktarım miktarı, aktif düğüm sayıları ve ağdaki ortalama enerji miktarları araştırılmıştır.

## **1.1 Literatür Araştırması**

A, Bhartive arkadaşları 2015 yılında KAA'lar için çoklu giriş çoklu çıkış (MIMO) kanallarının kullanımıyla enerji verimliliği genişletilmiş LEACH algoritmasını tanıttı. LEACH algoritması, MIMO teknolojisi ile algılayıcılardan kullanıcıya bilgi göndermek için en kısa yolu seçer (Bharti ve diğerleri, 2015) .

R, Sujeeve arkadaşları 2017 yılında KAA'lar için genetik algoritmalar ve GA'nın kümeler arası iletişimine dayanan enerji verimli uyarlamalı kümeleme protokolünü

tanıttı. Bu çalışma, küme başı seçiminin belirlenmesi için en iyi olasılık eşiğini verir (Sujee ve diğerleri, 2017) .

R, Regmive arkadaşları 2017 yılında çalışan bir KAA sistemde iki küme başı seçerek, küme başlarından biri çalışmayı durdurursa diğerinin çalışmasını sağlamak için KAA'larda değiştirilmiş bir LEACH algoritması önerdi (Regmi ve diğerleri, 2017) .

T, Yangve arkadaşları 2017 yılında SEP algoritmasını kullanarak sistemde kalan enerjiye ve düğümün mevcut konumuna bağlı olarak kümenin başını seçmek için IV-LEACH algoritmasına dayanan kablosuz yönlendirme kümeleme protokolünü tanıttı (Yang ve diğerleri, 2017) .

Y. Chen ve arkadaşları 2018 yılında geleneksel protokolle karşılaştırıldığında yaşam döngüsünün yaklaşık iki katı ile sonuçlanan olası bir enerji tüketimi dengesine dayanan bir LEACH algoritması önermiştir (Chen ve diğerleri, 2018) .

Trupti M. Behera ve arkadaşları 2019 yılında yaptıkları çalışmalarında, KAA sistemini düğümlerin buldukları konuma göre ayıran ve yönlendirme protokolünü buna göre belirleyen bir çözüm sunmuşlardır. Bu sundukları çözüm enerji tasarrufu sağlayan hibrit bir yönlendirme protokolüdür. Önerilen protokolün heterojen düğümlere sahip olan hibrid modellerdeki başarımı LEACH, SEP ve SNRP gibi protokollerle karşılaştırılmıştır. Bu model ile ağ 2118 tur çalışmıştır. Aynı koşullar için LEACH'in sağladığı tur sayısı 800, SNRP'nin ise 1000'dir. Benzetim sonucunda verim ve enerji tüketimi gibi ölçütler dikkate alındığında önerilen yeni yöntemin diğer protokollere kıyasla daha iyi bir sonuç verdiği görülmüştür (Behera ve diğerleri, 2019) .

Al Rasyid ve arkadaşları 2019 yılında üç ayrı ağ geçidi konumu (ağ alanının merkezi, açısı ve dış konumları) ile birden fazla durumda enerji verimliliği, verim ve ağın ömrü ile ilgili LEACH-GA ve LEACH başarımları analizi sağlamıştır (Rasyid ve diğerleri, 2019) .

T, Qiang ve arkadaşları 2009 yılında multi-single (MS)-LEACH yöntemiyle bir yönlendirme protokolü geliştirdi. Tek atlamalı ve çok atlamalı ağ yapılarını bir arada

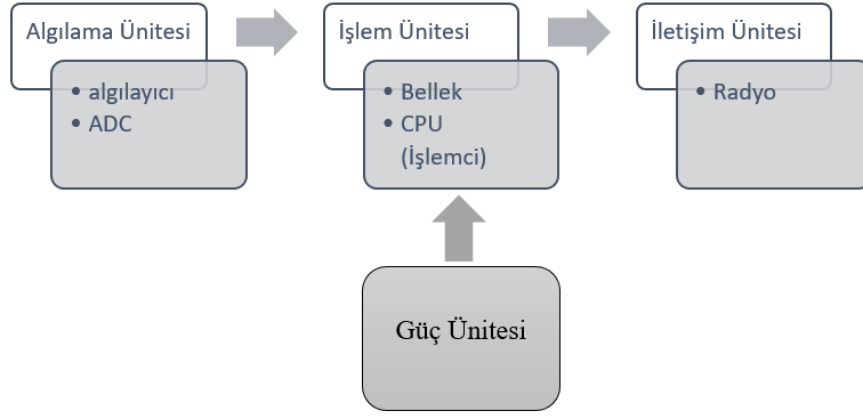
kullandı. Tek-atlamalı ve çok-atlamalı yapıları daha sonra bir küme haline getirildi. Bu geliştirilen protokolle daha başarılı değerler elde edildi (Qiang ve diğerleri, 2009) .

Gülşah ve Çetin 2020 yılında LEACH yönlendirme protokolünü kullanan KAA’larda algılayıcı düğümlerin enerji kayıplarını azaltmak ve KAA’nın aktif kalma süresini arttırmak için Tavlama Benzetimi (TB) algoritmasına dayalı bir yöntem sunmuştur. Yapılan çalışmada, her bir veri aktarım çevriminde kullanılan küme başlarının seçimi LEACH protokolü ile gerçekleştirilmiş, sonrasında ise TB algoritması kullanılarak, seçilen küme başı düğümlerden daha iyi komşu düğümler olup olmadığı araştırılmıştır. Geliştirilen algoritmanın başarımı; ağın her bir veri aktarımı çevriminde tükettiği enerji ve ağın aktif olduğu süre boyunca gönderdiği veri miktarı açısından değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda algılayıcı sayısı 100 olan geniş ölçekli ağlarda ağın toplam yaşam süresi açısından %82 ve veri aktarımı açısından %72.2 verim elde edilmiştir (Gülbaş ve diğerleri, 2020) .

## 2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR VE YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİ

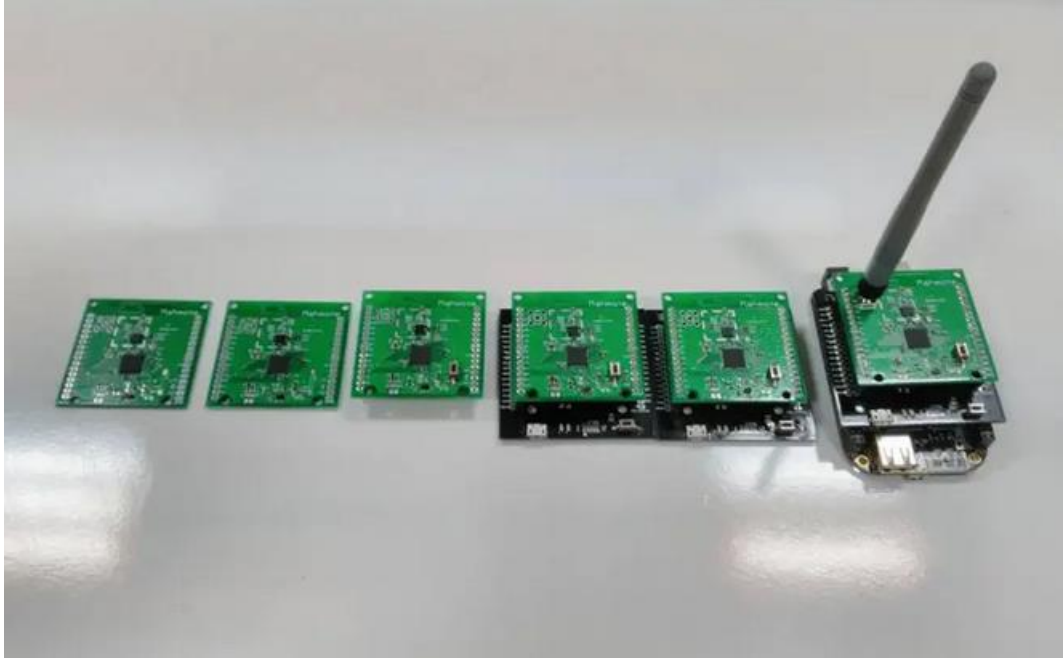
KAA'lar, fiziksel veya çevresel imkânlar dâhilinde bir yapıyı gözden geçirerek, kontrolünü sağlamak ya da farklı amaçlar için, sayısı birden fazla olan algılayıcıların bir araya gelmesiyle meydana gelmektedir. Bu algılayıcılar, etraflarındaki çevresel etkenlerin (ses, basınç, sıcaklık, hareket vb.) bilgilerini elde ederek, belirli yönlendirme algoritmalarıyla bir merkezi düğüme iletilirler. Gelişmiş algılayıcı ağlar birden fazla düğümlerle iletişim becerisine sahiptirler. Böylelikle, algılayıcıların merkezi düğümden kontrolü sağlanabilir. Şekil 2.1'de bir algılayıcı düğümün bileşenleri gösterilmiştir ve aşağıda bu bileşenler açıklanmıştır (Behera ve diğerleri, 2019) .

- a) Algılama ünitesi: Fiziksel bir güce (sıcaklık, basınç vs.) karşılık gelen tepkiyi ölçerek elektriksel bir veriye çeviren ünedir.
- b) İşlem ünitesi: Diğer adıyla mikro denetleyici, algılayıcı düğümlerden gelen sinyalleri değerlendirerek işleme görevini üstlenir. Sisteme uygulanan algoritma bu ünite üzerinde çalışmaktadır. Genellikle mikro denetleyici sistemdeki güç tasarrufunu sağlamak için işleyicinin uykuda, boşta veya aktif olmak üzere üç farklı durumunu inceleyerek çalışmaktadır
- c) İletişim ünitesi: Sistemde bulunan herhangi bir düğüm tarafından ölçülen verileri bir başka düğüme veya merkezi düğüme iletmekten sorumludur. Ayrıca sistemde bulunan düğümleri belli bir rotaya göre birbirlerine bağlar.
- d) Güç ünitesi: Sistem, tüm elemanlarının birbirlerine bağlanarak veri aktarımını sağlaması için gereken gücü bu üniteden almaktadır. Genellikle bir bataryadan oluşmaktadır (Behera ve diğerleri, 2019) .



**Şekil 2.1 Algılayıcı Düğüm Mimarisi (Behera ve diğerleri, 2019)**

Her ünite kendi görevini yerine getirirken, aradaki organizasyonda işleyici birimi tarafından sağlanmaktadır. Şekil 2.2 de algılayıcı düğümlerine bir örnek gösterilmiştir.



**Şekil 2.2 Örnek Algılayıcı Düğüm Entegreleri**

### **2.1. Kablosuz Algılayıcı Ağların Uygulama Alanları**

KAA, günlük hayatımızda öncelikle askeri alanlar başta olmak üzere çevresel, sağlık ve ulaşım alanında oldukça etkili bir şekilde çalışan uygulamalara sahiptir. İlerleyen süreçte uygulama alanlarının genişleyeceği ve günlük hayatımıza daha çok etki edeceği öngörülmektedir.

Modern orduların gücü eskiye nazaran asker sayısı ile değil teknolojik donanım ve yetenekleri ile ölçülmektedir. Modern ordular, haber alma çalışmalarını artık casus robotlar, insansız hava araçları veya uydularla sağlamaktadır. Dolayısıyla gözlemek, izlemek gibi faaliyetlerini insan gücünü azaltarak sağlamaktadır. Bu yüzden haber alma çalışmalarında bilgi toplanması için gerekli pek çok uygulamalar KAA sistemleri ile doğrudan bağlantılıdır.

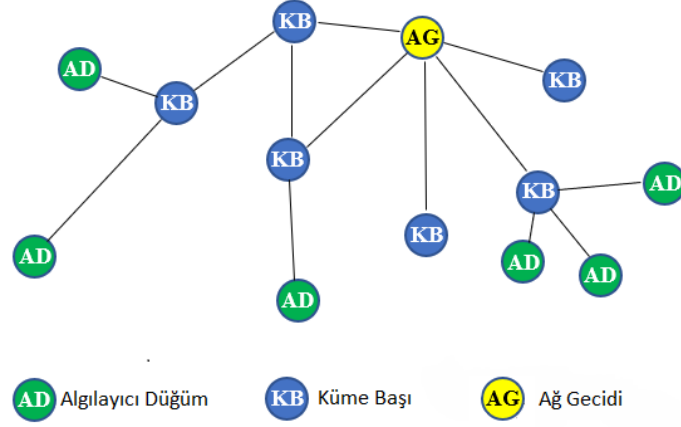
Çevresel uygulamalar alanında kullanılan KAA'lar hava kirliliği tespiti, su kalitesi tespiti, tarım arazilerinin durumu orman yangınlarının tespiti heyelan tespiti gibi belirtilen çevresel olayların durum veya tespiti için çevresel uygulamalarda kullanılmaktadır.

Trafik yoğunluğu, yolun durumu, hız ihlali, trafik kural ihlalinin tespit edilmesi gibi uygulamalar da KAA'ların ulaşım uygulamalarına örnek gösterilebilir.

Hastaneye gelen bir hastaya ait tüm sağlık bilgilerinin (ateş, nabız, vb.) anında doktora, hasta yakınına ileten çalışmalar KAA'nın sağlık uygulamalarına örnek gösterilebilir.

## **2.2. Kablosuz Algılayıcı Ağ Yapısı**

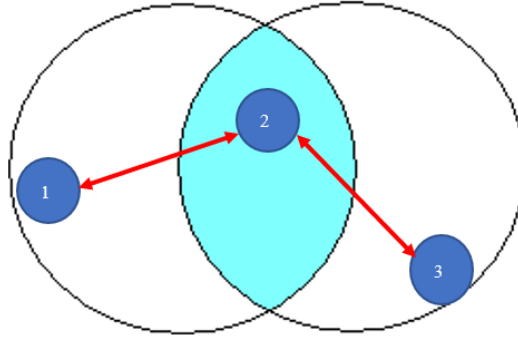
Kablosuz algılayıcı ağ yapısı, ortak bir amaca ulaşmak için birbirleriyle iş birliği içinde çalışan, belirli bir bölgeye dağıtılmış algılayıcı düğümlerin birlikte çalışması olarak tanımlanabilir (Ramluckun ve diğerleri, 2018) . Algılayıcı düğüm ve pil gibi basit aygıtlardan oluşmaktadır. Algılayıcı düğümler belirlenen alana rastgele dağıtılırlar. Bir KAA sisteminde bulunan düğümler, ortamdaki verileri toplayarak ve önceden belirlenmiş bölgelere iletebilmeleri için farklı görevlerde kullanılabilirler. Farklı görevlere sahip düğümlerden oluşan bir KAA yapısı Şekil 2.3'de verilmiştir. Algılayıcı Düğümler kendi aralarında veri alışverişi yapabilirler. Sistemdeki belirlenen rotasyona göre küme başlarına ya da ağ geçidine veri gönderebilirler. Küme başları buldukları küme içindeki algılayıcı düğümlerden topladıkları verileri ağ geçidine ulaştırmaktan sorumludurlar. Her bir veri aktarımı sonrası küme başı olan düğüm değişebilir (Dong ve diğerleri, 2011) .



Şekil 2.3 KAA Yapısı ve Algılayıcı Düğüm Tipleri

### 2.3. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Yönlendirme

KAA'da kullanılan düğümlerin kapsama alanları sınırlı yapıdadır. Bu nedenle bir düğümün kapsama alanı içerisinde bulunan ikinci bir düğümün varlığı, üçüncü bir düğümle arasında olan iletişim için önemli bir role sahiptir.



Şekil 2.4 Algılayıcı Dğümlerde Yönlendirme

Yukarıda verilen Şekil 2.4 incelendiğinde 1 ve 3 düğümün iletişim kurabilmesi için 2. düğümün köprü görevi yaparak yönlendirme yapması gerekmektedir.

Yönlendirme işleminin amacı uygun yönlendirme protokolleri ile veri paketlerinin kaynak düğümden ana düğüme nasıl gideceğini düzenlemektir. Bu nedenle ağ başarımı, enerji verimliliği gibi hususların başarı yüzdesi yönlendirme protokollünün çizeceği rotaya da bağlıdır. Şekil 2.4'deki rotadan farklı olarak ikinci düğümün etkileşim içinde olacağı farklı düğümlerde olabilir. Bu nedenle düğüm sayısının fazla olduğu bir KAA yapısında yönlendirme işlemi karmaşık bir yapıya bürünmektedir.

Yönlendirme protokolleri bu karmaşıklığa çözüm bulabilmek adına düğümlerin yapacağı yönlendirmeye kurallar koymaktadır. KAA için dağıtılmış yönlendirme, merkezi yönlendirme, kaynak tabanlı yönlendirme vb. yönlendirme protokolleri mevcuttur (Aydın , 2018) .

### **2.3.1. Dağıtılmış Yönlendirme**

Dağıtılmış yönlendirme, genellikle büyük yapılı KAA yapılarında kullanılmaktadır ve yönlendirmeyi kablosuz yönlendiriciler belirlemektedir. Bu protokolde, yönlendiriciler birbirleriyle bilgi alış-verişi yaparlar. Elde edilen bilgilere dayanarak yönlendirme belirlenir.

### **2.3.2. Merkezi Yönlendirme**

Merkezi yönlendirmede, merkezi işlemci ağdaki tüm yönlendirme görevini kendi üstlenir. Merkezi işlemci, topladığı verilere göre etkileşim alanı içerisinde yer alan düğümler için yönlendirme tabloları hazırlar ve yönlendiricilere bu tabloları dağıtır. Bu nedenle merkezi yönlendirme protokolünün, merkezi yönetim sistemi bulunan ağlarda kullanılması uygundur.

### **2.3.3. Kaynak Tabanlı Yönlendirme**

Kaynak tabanlı yönlendirmede, kaynak düğümden hedef düğüme olan tüm yönlendirmeyi gönderici istasyonu belirler. Bu nedenle doğru bir yönlendirme yapabilmesi için KAA yapısının bilgisi gereklidir. Eğer yolda bağlantı kesilirse bu protokol veri paketini kaybedecektir.

### **2.3.4 Hop-by-Hop Yönlendirme**

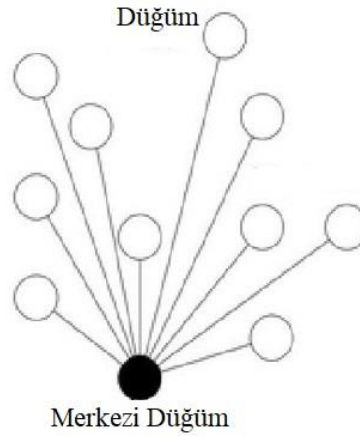
Hop-by-hop yönlendirme protokolü, yönlendirme kararlarında esnek bir yapı sergiler. Başka bir deyişle her bir ara yönlendirici, bir sonraki rotayı kendi seçebilir. Böylece bütün bir ağın bilgisine gerek kalmadan sadece komşu düğümlerin bilgisini alarak sonraki adımını seçebilir. Paket yapısının başında hedef düğümün bilgisinin saklanması yeterlidir. Böylece protokolün yükü azalır.

### 2.3.5. Olasılıksal Yönlendirme

Olasılıksal yönlendirmede, yönlendiriciler hedef düğüme iletilecek bir sonraki düğüm bilgisinin yanında uygun olan diğer seçenekleri de saklayabilir. Bu modelde yönlendirici rota belirlemek için bir olasılık parametresine ya da rassal bir orana dayanarak rota belirlemektedir. Olasılıksal bir yönlendirme yapıldığı için sonuç olarak bozuk veya sıra dışı veriler gözlenebilmektedir.

### 2.3.6. Tek Atlamalı Yönlendirme

Tek atlamalı yönlendirmede, kaynak düğüm ile hedef düğüm arasında yalnızca bir rotanın seçilebilmesine izin verilir. Bu nedenle eğer bir bağlantı kesilirse bütün yol ve düğüm etkisiz hale gelir. Şekil 2.5’de tek atlamalı yönlendirmeye örnek verilmiştir.

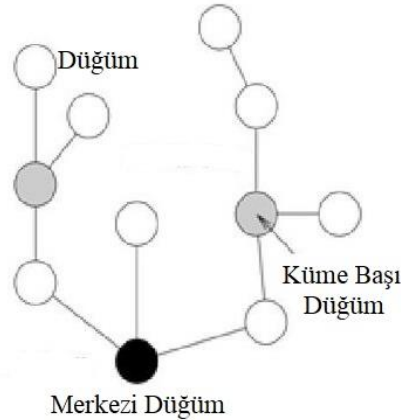


Şekil 2.5 Tek Atlamalı Yönlendirme

### 2.3.7. Çok Atlamalı Yönlendirme

Çok atlamalı (multi-hop) yönlendirme yöntemi, veriyi hedef düğüme iletmek için birden çok rota belirler. Böylelikle bir yol kullanılamaz hale gelse dahi bir başka uygun yol seçilerek veri iletimi gerçekleştirir. Çoğu çok atlamalı ağ yapıları, kaynak düğüm ve hedef düğüm arasındaki farklı yollar üzerinden veri iletimini destekler. Enerji tasarrufu istenilen çalışmalarda çok atlamalı yerine tek atlamalı ve küme tabanlı yapılar tercih edilse de son yıllarda hibrit yapılar gittikçe artmaktadır. Çoğu durumlarda veriyi iletirken çok atlamalı ağ yapısı ile kısa mesafelerle hedef düğüme

iletmek, tek atlamalı yapısı ile uzak mesafelerle hedef düğüme iletmekten daha iyi tasarruf sağlamaktadır (Fedor ve diğerleri, 2007) .



**Şekil 2.6 Multi Hop Yapısına Ait Bir Örnek**

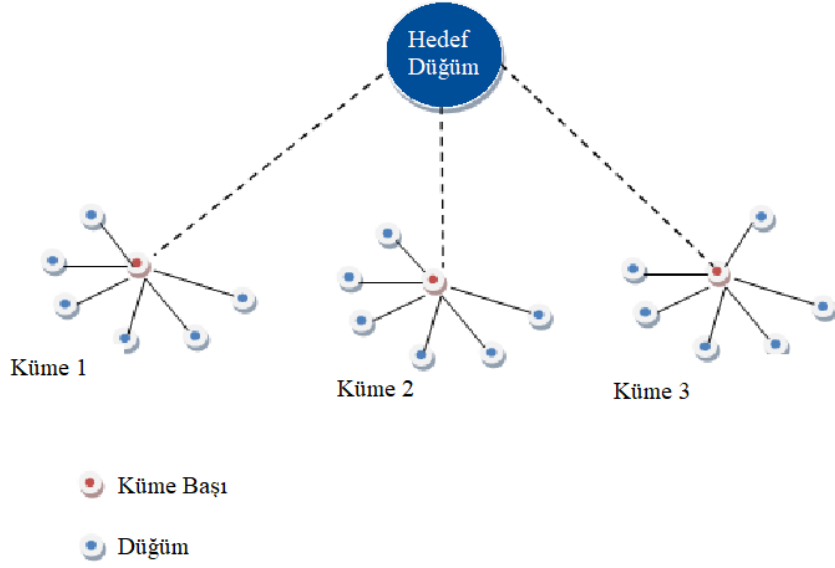
Tek atlama yapısı tek rota üzerinden iletim yaptığından ötürü herhangi bir coğrafi engel veya rota kaybında veri iletimi yapılmayacaktır. Bunları aşmak nedeniyle çalışmada LEACH protokolünde Çok atlamalı (multi-hop) yönlendirme üzerine odaklanılmıştır.

#### **2.4. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Yönlendirme Protokolleri**

KAA'larda birçok kısıtlama bulunduğundan mevcut geliştirilmiş yönlendirme algoritmaları KAA sisteminde etkili bir başarımlı göstermemektedir. Bu nedenle sisteme yönelik etkili bir yönlendirme algoritması geliştirmek mecburi hale gelmiştir. Kısıtlamalardan dolayı sisteme etkili bir yönlendirme protokolü sunmak için KAA bazı önemli özelliklere sahip olmalıdır. Bu özellikler enerji verimliliği, dayanıklılık, esneklik, veri iletimi gibi birçok özellikte yeterli olmalıdır (Dener , 2018) .

Hiyerarşik yönlendirme veya küme tabanlı olarak bilinen gruba giren protokollerin temel amacı sistemde bulunan enerjinin etkin kullanılmasını gözeterek sistemin uzun ömürlü olmasını sağlamaktır. Hiyerarşik yönlendirmede, ağda bulunan düşük enerjili düğümler algılama görevini üstlenirken, yüksek enerjili olanlar bilgi işleme ve yönlendirme görevini üstlenmektedir. Düğümler sistemin isminden de anlaşılacağı üzere kümelere bölünerek çalışmaktadır. Hiyerarşik yönlendirmenin en büyük avantajı küme içerisinde verilerin işlenerek küme başından toplanmasını ve oradan hedef düğüme aktarılmasının sağlanmasıdır. Bu kümeleme ise ağda oluşacak





Şekil 2.8 LEACH Protokolüne Ait Bir Örnek

#### 2.4.2. PEGASİS Yönlendirme Protokolü

Güç-verimli veri toplama protokolü (Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems-PEGASIS), zincir tabanlı protokol yapısını benimsemiştir. PEGASIS protokolünde düğümler en yakın komşu düğümü, küme başı olarak benimseyerek veri iletimine başlar (Lindsey ve diğerleri, 2002) . PEGASIS protokolünün iki amacı bulunmaktadır. İlk olarak sistemin ömrünü uzatmak için her bir düğümün enerjisini yapılan ortak çalışma ile arttırmaktır (Ahmed A. ve diğerleri, 2003) . İkinci amacı ise düğümler arasında yapılan belirli yönlendirme ile gereksiz trafiğin önüne geçmektir.

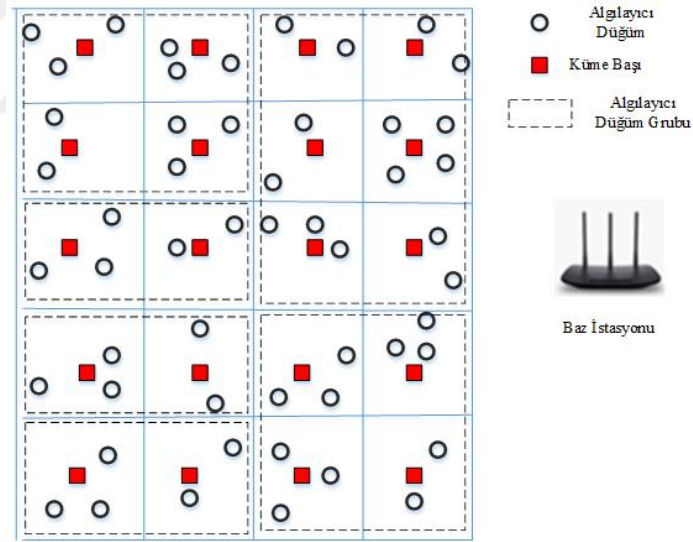
#### 2.4.3. Eşik Duyarlı Enerji Verimli Yönlendirme Protokolü

Eşik duyarlı enerji verimli yönlendirme protokolü (Threshold-sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol – TEEN) reaktif ağlar için önerilmiştir. KAA sisteminde zaman önemliyse ve verinin anlık olarak iletilmesi gerekiyorsa TEEN protokolü bu sistemler için oldukça uygundur. TEEN protokolünün en önemli özelliği sistemde bulunan düğümlerin enerji seviyelerine göre işleri planlayabilmesidir (Khan ve diğerleri, 2015) . Düşük enerjili düğümler algılama görevini üstlenirken yüksek enerjili düğümler algılama ve yönlendirme görevini

üstlenir. TEEN protokolünün zayıf yönlerini düzeltmek için adaptif periyodik eşik duyarlı enerji verimli yönlendirme protokolü (Adaptive Periodic Threshold-sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol – APTEEN) geliştirilmiştir. APTEEN protokolünde enerji eşik seviyesi dinamik hale getirilmiştir. Böylelikle sisteme göre enerji eşik seviyesi belirlemek daha kolay bir hal almıştır (Vadlamudi ve diğerleri, 2013) .

#### 2.4.4. Sanal Izgara Mimarili Yönlendirme Protokolleri

Sanal ızgara mimarili yönlendirme protokolü (Virtual Grid Architecture Routing – VGA) enerji verimli yönlendirme gerçekleştirmektedir. VGA protokolü kare şeklinde gruplar oluşturur ve oluşturduğu her grubun içerisinde bulunan bir düğümü sabit bir şekilde küme başı olarak belirler. Gruplarda küme başı olarak seçilecek düğüm değişen ölçütler değerlendirilerek seçilir. Sistem bu şekilde çalışırken karelere bölünmüş ızgara şeklinde bir yapı ortaya çıkar (Jamal ve diğerleri, 2008)



Şekil 2.9 VGA Protokolüne Ait Bir Örnek (Gülbaş ve diğerleri, 2020)

## 3. MATERYAL VE YÖNTEM

### 3.1.Sezgisel Algoritmalar

Sezgisel (heuristic) optimizasyon algoritmaları genellikle boyutu büyük olan problemlerin çözümü için kullanılan, makul bir zamanda en iyiye yakın sonuçlar veren algoritmalarlardır. Sezgisel optimizasyon algoritmaları biyoloji, fizik, kimya, müzik, sosyal ve sürü zekası tabanlı olmak üzere altı farklı grupta incelenmektedir. Sürü zekâsı tabanlı algoritmalar doğada bulunan hayvanların hareketleri incelenerek geliştirilmiştir (Akyol ve diğerleri, 2012) .

Sezgisel algoritmaların herhangi bir problem çözümünde en iyi sonucu verecekleri garanti edilmez fakat makul bir zaman içerisinde çözüm vereceklerini garanti edilir. Genel olarak verdikleri sonuçlar incelendiğinde kolay ve hızlı yollarla probleme endeksli en iyiye yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Sezgisel algoritmalara parçacık sürü optimizasyonu, yapay arı kolonisi, benzetim tavlama, genetik algoritma, karınca kolonisi algoritmalarını örnek olarak verebiliriz.

#### 3.1.1.Karınca Kolonisi Algoritması

Algoritmanın temel ilkelerini ortaya ilk kez Marco Dorigo atmıştır. Feromon karıncaların gündelik hayatta haberleşme ve yön bulma aracı olarak kullandıkları ve vücutlarından salgıladıkları kimyasaldır. Karıncalar yiyecek maddesi ve yuvalar arası en kısa mesafeyi bulmak için feromon bırakarak ilerlerler. Feromon yoğunluğu bulunan yol arkadan gelen karıncalar için yolun kalitesini arttırarak tercih sebebi olabilmektedir. Feromon yoğunluğu her karınca tarafından geçtiyse yoğunlaşarak geçmediyse buharlaşarak güncellenmektedir. Karınca kolonisi algoritması kısaca karıncaların günlük faaliyetlerinden esinlenerek ortaya atılmış bir algoritmadır (Keskintürkve diğerleri, 2006) (Demircioğlu, 2009) . Dorigo, ACO algoritmasını ilk kez gezgin satıcı probleminde test etmiş ve başarılı sonuçlar elde etmiştir. Bunun üzerine ACO algoritması diğer araştırmacılar tarafından eniyileme problemler için tercih edilmiş ve günümüzde yaygın olarak kullanılan yapay zekâ tekniği haline gelmiştir (Dorigo ve diğerleri, 1999) .

### 3.1.1.1 Karınca Kolonisi Algoritması Parametreleri

*Karınca Sayısı:* Kolonide kaç tane karıncanın çalışacağını belirler.

*İterasyon Sayısı:* En kısa yolu bulma işleminin kaç adımda gerçekleşeceğini belirler.

*Feromon Yoğunluk Oranı ( $\alpha$ ):* Mesafeler arasındaki giden karıncaların bıraktıkları feromonun yoğunluk derecesini belirler.

*Sezgisellik Kuvvetlendirme Oranı ( $\beta$ ):* İki nokta arasındaki mesafenin önem derecesini belirler.

*Feromon Buharlaştırma Oranı ( $\rho$ ):* Her adım sonunda noktalar arasında bırakılan feromonların hangi oranda buharlaşacağını belirler.

### 3.1.1.2 Karınca Kolonisi Algoritmasında Turun Oluşturulması

Karınca kolonisinde ilk olarak parametreler belirlenir. Daha sonra sistemde oluşturulan alanda her bir karınca rastgele olarak bir noktaya dağılır. Ardından her karınca geri kalan noktaları tek tek ziyaret ederek kendine göre bir tur hazırlamış olur. Her bir karıncanın bulunduğu noktadan bir sonraki noktaya gidebilmesi için kullanılan matematiksel Denklem 3.1'de verilmiştir (Özdemir, 2008) (Serin, 2009) .

$$P_{i,j}^l = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^l} [\tau_{il}]^\alpha [\eta_{il}]^\beta}, \text{ eğer } j \in N_i^l \quad (3.1)$$

burada;

$P_{i,j}^l$  karıncasının  $i$  düğümünden  $j$  düğümüne geçme olasılığı

$\tau_{ij}$   $i$  ve  $j$  düğümleri arasındaki feromon değeri

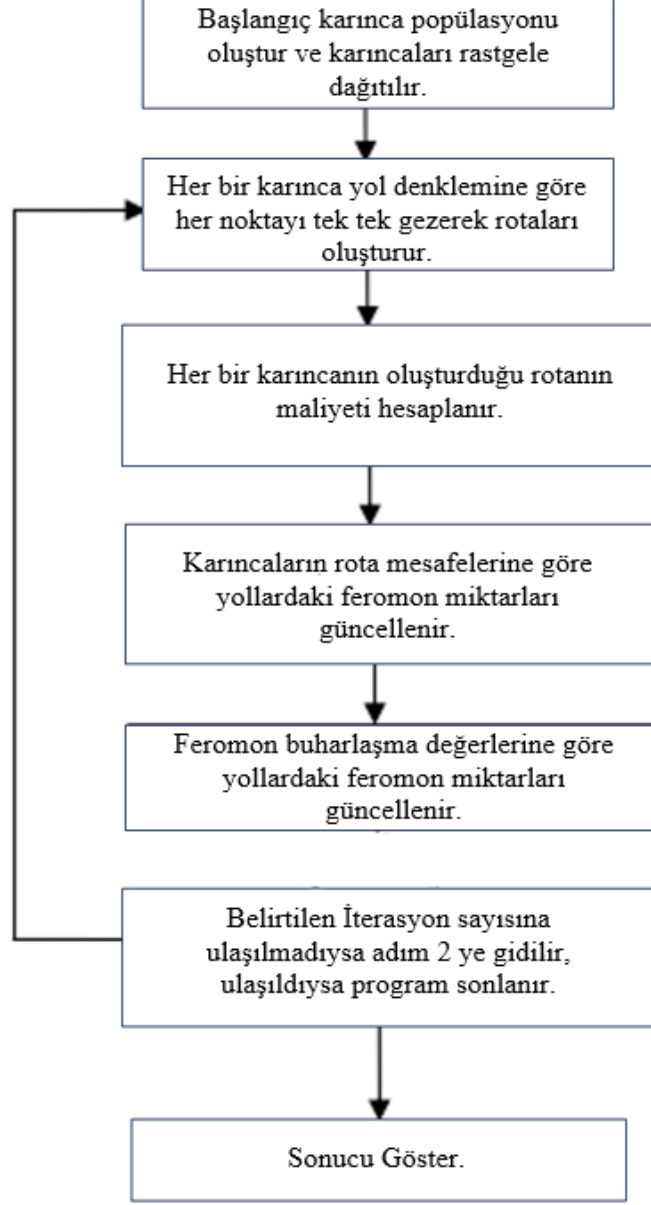
$\eta_{ij}$   $i$  ve  $j$  düğümleri arasındaki sezgisel değeri

$\alpha$  Feromon katsayısı

$\beta$  Sezgisel katsayısı

N düğümler kümesi

Şekil 3.1 de karınca kolonisi algoritması akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.1 Karınca Kolonisi Algoritması Akış Diyagramı

### 3.1.2.1.Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Yapay arı kolonisi algoritmasını 2005 yılında Derviş Karaboğa ortaya atmıştır. Karaboğa kaynağını gerçek doğadan alan algoritmaların problem çözümede etkili olmasından dolayı sürü zekâ yaklaşımlı, böcek davranışlarının modellenmesine yönelmiştir. Sürü zekâsının en önemli özelliği popülasyonda bulunan böceklerin

etkili bir şekilde çalışmasıdır. ABC algoritmasına kaynak olarak bal arılarının buldukları bal kaynakları hakkındaki yön, uzaklık, nektar, kalite gibi bilgileri kovan içerisinde üç farklı dans tipiyle diğer arılara aktarmaktadır. İşçi arıların birden fazla görevi olduğu için önemli bir yapıya sahiptir. Arı kolonisi algoritmasında işi, gözcü ve kâşif arı olmak üzere üç tip arı çeşit bulunmaktadır. İşçi arıların en önemli görevi, çevrede bulunan besin kaynaklarından yuvasına besin taşımaktır. Bununla beraber besin kaynağının bulunmasına da katkı sağlamaktadır. Çevrede bulunan besin kaynaklarının bulunması görevi ise gene işçi arılara aittir fakat bu sefer kâşif arı olarak adlandırılmaktadır. Buna karşılık yiyeceği yuvaya getiren işçi arıları gözlemleyerek göreve çıkılıp çıkılmamasına karar veren arılara ise gözcü arı denilmektedir. Bu başarılı ortak çalışma sayesinde popülasyondaki tüm arılar kaliteli bal için kaynaklara yönlendirilmektedir (Karaboğa, 2005) .

### 3.1.2.2.Yapay Arı Kolonisi Algoritması Parametreleri

*İşçi Arı:* Kolonideki işçi arı sayısını temsil eder.

*Gözcü Arı:* Kolonideki gözcü arı sayısını temsil eder.

*Kâşif Arı:* Kolonideki kâşif arı sayısını temsil eder.

*Besin Sayısı:* Kolonideki besin sayısını temsil eder.

### 3.1.2.3.Yapay Arı Kolonisi Algoritmasında Turun Oluşturulması

Yapay Arı Kolonisi Algoritmasında kullanılan nektar miktarları Denklem 3.2’de verilen formülle hesaplanmaktadır. Formülde verilen n kaynak sayısını, c algoritma kısıtlarını, a ise kısıtlar için ağırlık değerlerini temsil etmektedir. F fonksiyonun değeri hesaplanmaktadır.

$$f = \sum_{i=1}^n c_j . a_j \quad (3.2)$$

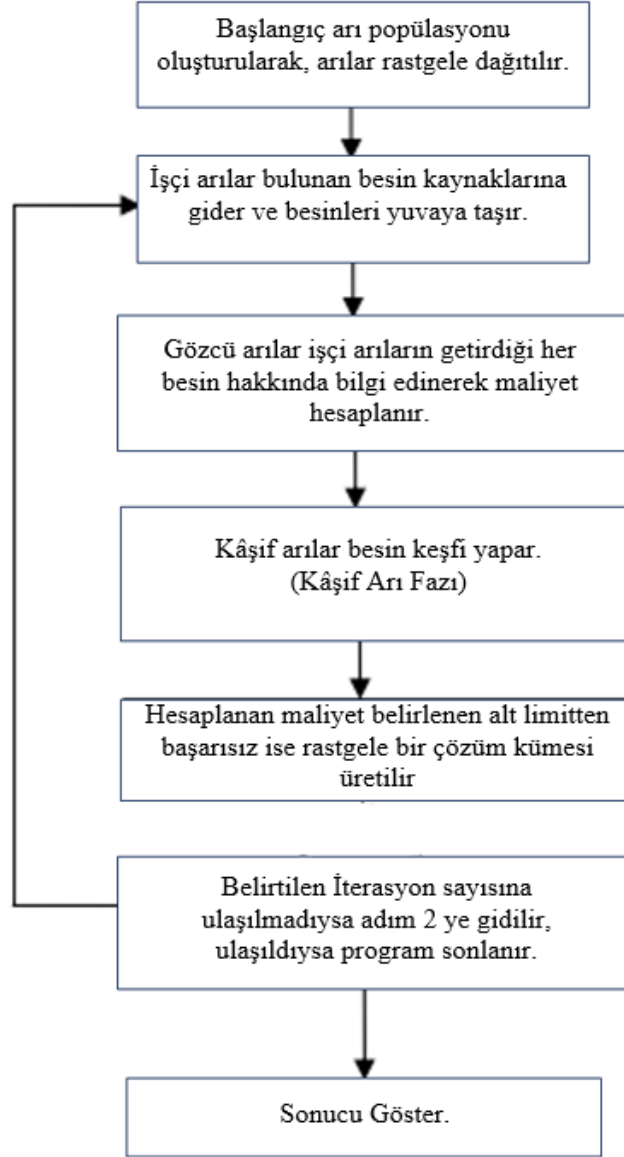
Algoritmada bulunan kaynağın kalitesine göre uygunluk değeri Denklem 3.3’e göre hesaplanır.

$$fitness_i = \frac{l}{l+f_i} \quad (3.3)$$

İşçi arı görevi geldiğinde, bulunduğu kaynağın komşuluğunda yeni bir kaynak bulmalıdır. Bu amaçla “Değiştirme komşuluk” adı verilen bir yapısı kullanılmıştır (Özbakır ve diğerleri, 2011) .Değiştirme komşuluk yapısı; farklı iki periyotta bulunan kaynakların birbiriyle değiş tokuş yapılması şeklinde tanımlanabilir. Komşuluk işlemi tamamlandıktan sonra kaynağının kalitesi Denklem 3.4’le hesaplanır. Yeni bulunan kaynak daha iyiyse hafızaya alınır.

$$p_i = 0,6 \frac{fitness_i}{\sum_{i=1}^{SN} fitness_i} \quad (3.4)$$

Gözcü arı görevi geldiğinde, olasılık değerleri en optimum sonuca ulaşmadaki başarısından dolayı yukarıda verilen denkleme göre hesaplanmıştır. Olasılık değerinden sonra rastgele [0,1] sayı üretilir. Üretilen sayı Pi değeri ile karşılaştırılır. Üretilen sayı Pi değerinden küçükse gözcü arı kaynaklara gönderilir. Şekil 3.2 de yapay arı kolonisi algoritması akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.2 Yapay Arı Kolonisi Algoritması Akış Diyagramı

### 3.1.3. Genetik Algoritma

Genetik Algoritmada evrim geçirme süreçleri kullanılır. Rastgele seçilen ebeveynlerden yeni nesiller meydana getirilir bu yeni nesillerden en iyi sonuç veren bireyler işleme alınarak en kötü bireyler ise elenerek amaca ulaşmaya çalışır. Yeni nesil üretilirken belirlenen koşullara ve parametrelere bağlı olarak hareket eder (Cevre ve diğerleri, 2007) .

### 3.1.3.1. Genetik Algoritma Parametreleri

*Birey Sayısı:* Algoritmanın çalışması için başta bir popülasyon oluşturulur. Bu oluşturulan popülasyonda kaç tane bireyin olacağını belirleyen parametredir. Problemin çözümü için birey sayısını belirleyen bir kriter bulunmamaktadır.

*Birey Seçim Yöntemi:* Sistemde bulunan bireyler çaprazlanırken hangi yönteme göre seçileceğini belirleyen parametredir. En çok kullanılan çaprazlama yöntemleri turnuva seçim yöntemi, sıralama seçim yöntemi ve rulet çarkı yöntemidir.

*Çaprazlama Olasılığı:* Oluşturulan popülasyonda yeni bireyler oluşturulurken seçilecek olan bireylerin hangi sıklıkla çaprazlama işlemine tabi tutulacağını belirleyen parametredir. Çaprazlama değerinin düşük olması oluşturulacak yeni bireylerin mevcut bireylere benzer olmasına sebep olmaktadır. Yapılan literatür araştırmasında ideal çaprazlama oranı 0,7 veya 0,75 olarak belirtilmektedir (Karaboğa, 2004) (Özkan, 2008) .

*Tek Noktalı Çaprazlama:* İki kromozomda rastgele bir nokta seçilir ve kesme işlemi yapılır. İki kromozomda da kesilen noktaya kadar genler devam eder ve sonra karşılıklı değiş tokuş yapılır.

*Çift Noktalı Çaprazlama:* İki kromozomda rastgele iki nokta seçilir ve kesme işlemi yapılır. İki kromozomda 1. ve 3. parçalar sabit kalır 2. parçalar karşılıklı değiş tokuş yapılır.

*Mutasyon Olasılığı:* Oluşturulan popülasyonda yeni bireyler oluşturulurken seçilecek olan bireylerin hangi sıklıkla çaprazlama işlemine tabi tutulacağını belirleyen parametredir. Mutasyon değerinin yüksek olması oluşturulacak yeni bireylerde rastgeleliğe yol açacağından amaçtan uzaklaşmaya sebep olmaktadır. Yapılan literatür araştırmasında ideal mutasyon değerinin 0.001 olarak belirtilmektedir (Karaboğa, 2004) (Özkan, 2008) .

### 3.1.3.2 Genetik Algoritmada Turun Oluşturulması

Genetik algoritmada başlangıçtaki popülasyon oluşturulurken algoritmaya ait bireylerin hata değerleri belirtilen değerlerle kıyaslanarak hesaplanır. Denklem 3.5'e göre ceza değeri hesaplanmaktadır. Burada  $n$  ifadesi gen sayısını temsil etmektedir (Whitley , 1993) (Goldberg , 1989) .

$$C_i = \sum_{j=1}^n |X_{ref} - X_j| \quad (3.5)$$

Her bir bireye ait uygunluk değeri Denklem 3.6 ile hesaplanmaktadır,

$$U_i = \frac{1}{c_i} \quad (3.6)$$

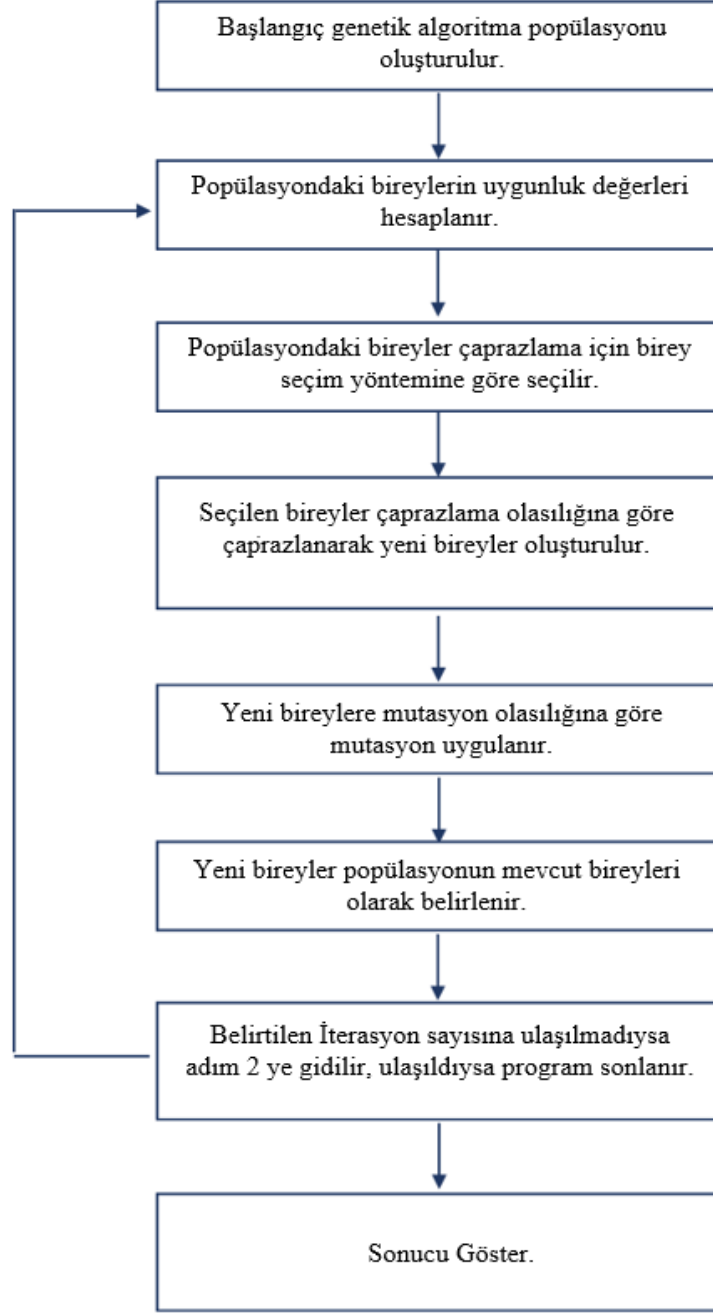
Bireylerin uygunluk olasılıkları hesaplandıktan sonra,  $m$  popülasyondaki her bireyin olasılık değeri Denklem 3.7'ye göre hesaplanır,

$$P_i = \frac{U_i}{\sum_{j=1}^m U_j} \quad (3.7)$$

Bireylerin kümülatif olasılık değerleri ise, popülasyondaki her birey sayısı için,

$$KP_i = P_i + \sum_{i=2}^m P_i \quad (3.8)$$

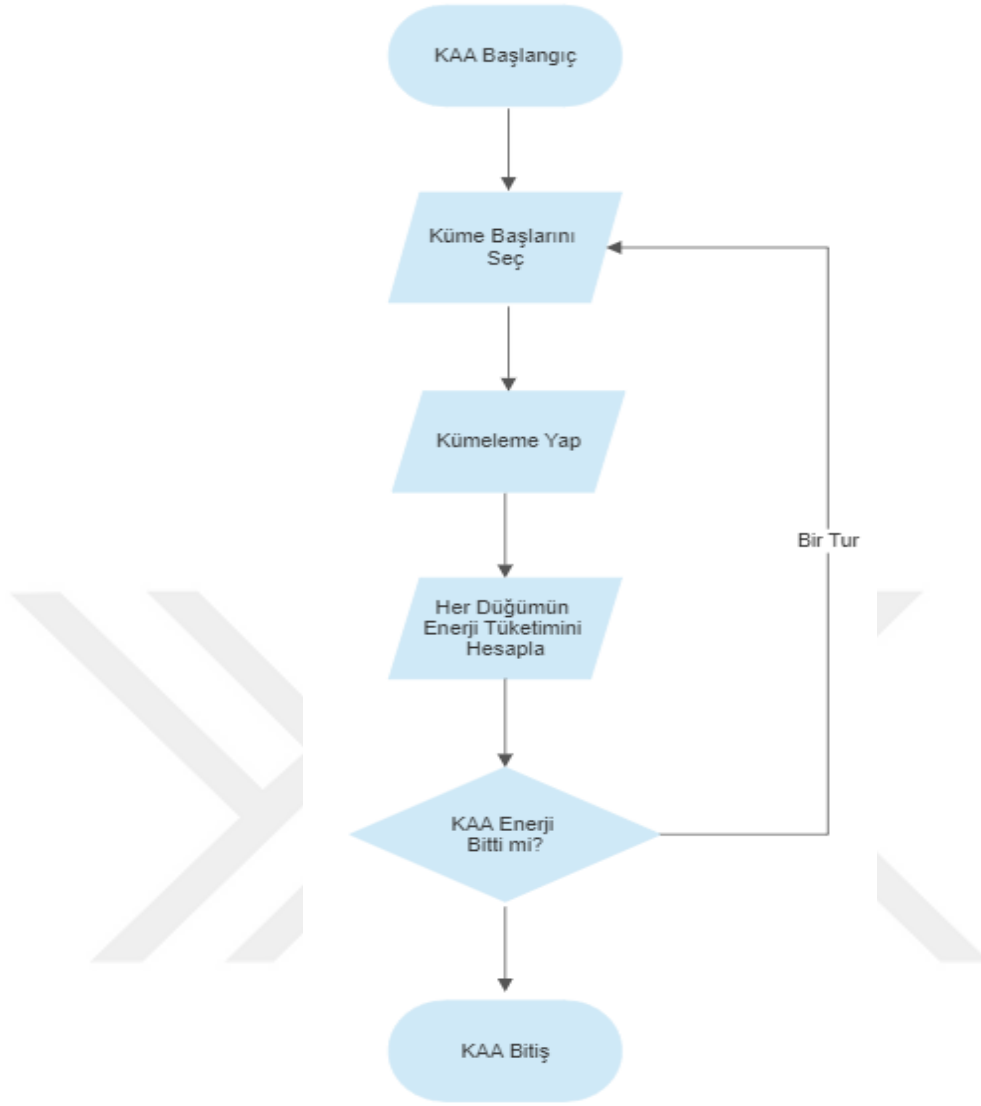
Denklem 3.8'e göre hesaplanabilir. Şekil 3.3 de genetik algoritma akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.3 Genetik Algoritma Akış Diyagramı

### 3.2. LEACH Protokolü

MATLAB R2017b yazılımında çok atlamalı yönlendirme tabanlı LEACH protokolü modellenmiştir. LEACH protokolünün akış diyagramı şekil 3.4’de verilmiştir.



**Şekil 3. 4 LEACH Protokolü Akış Diyagramı**

LEACH protokolü bir tur döngüsünü kurulum ve kararlı durum olmak üzere iki fazda tamamlar. Kurulum fazında KAA üzerinde rastgele dağıtılan algılayıcı düğümlerden biri MD ile haberleşerek KB olarak görev yapar. MD'den aldığı mesajı KB olmayan diğer düğümlere iletir (Sivakumar ve diğerleri, 2017) . KAA üzerindeki algılayıcı düğümler kümeler oluşturduktan sonra her küme içerisinde bir algılayıcı düğümü KB olarak belirler ve kurulum fazı tamamlanmış olur. Kararlı durum fazında ise algılayıcı düğümler mensup oldukları kümenin KB'sine veri gönderir (Gowrishankar ve diğerleri, 2018) . KB seçimi yapılırken düğümün enerji ve koordinatları dikkate alınmaz ve rastgele seçilir. Her düğüm KB seçilebilmesi için öncelikle 0 ile 1 arasında rastgele bir sayı üretir. Üretilen sayılar

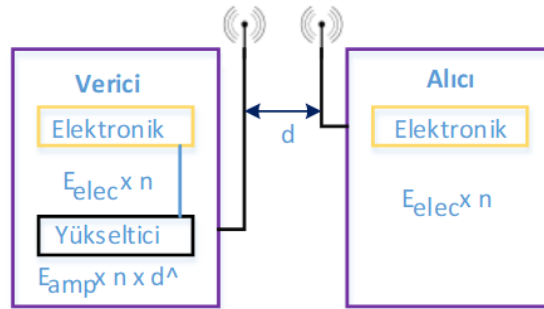
Denklem 3.9 sonucundan küçük ise düğüm KB olarak seçilir (Bhatia ve diğerleri, 2016) .

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1-p \cdot (r \bmod (\frac{1}{p}))} & ; \forall n \in G \\ 0 & ; \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (3.9)$$

Denklemde p, KB seçilme olasılığını r ise veri iletiminin gerçekleştiği iterasyon sayısını temsil etmektedir (Sivakumar ve diğerleri, 2017) .

### 3.2.1. LEACH Protokolü Enerji Tüketimi

LEACH protokolünde enerji, birinci radyo yayılım modeline göre hesaplanıp harcanmaktadır. Gönderen ve alan düğümler arasında gerçekleşen radyo yayılım modeli şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3. 5 Birincil Radyo Yayılım Modeli (Gülbaş ve diğerleri, 2020)

LEACH protokolünde harcanan enerji Denklem 3.10’a göre hesaplanır.

$$E_{Tx}(m, d) = \begin{cases} mE_{elec} + m\epsilon_{fs}d^2 & d < d_0 \\ mE_{elec} + m\epsilon_{mp}d^4 & d \geq d_0 \end{cases} \quad (3.10)$$

burada;

$E_{Tx}$  algılayıcı düğümün komşusuna veri iletirken düğüm tarafından harcanan enerji,

m iletilecek bit sayısı,

d iletim mesafesi,

$E_{elec}$  verici veya alıcı devreleri çalıştırmak için bit başına harcanan enerji ile boş alan enerjisini,

$E_{fs}$  boşluktaki enerji kaybını,

$E_{mp}$  enerji transferinin amplifikasyon katsayısını,

$d_0$ , alıcı ve verici arasındaki uzaklığını,

$d^2$  boşluktaki güç kaybını,

$d^4$  çok yollu solma güç kaybını temsil etmektedir.

Şeklinde.  $d_0$  Denklem 3.11'e göre hesaplanır.

$$d_0 = \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}} \quad (3.11)$$

Algılayıcı düğümler tarafından paketlerin birleşmesi sırasında harcanan enerji Denklem 3.12'e göre hesaplanır.

$$E_{fs}(m, L) = m * L * E_{DA} \quad (3.12)$$

$E_{DA}$  düğüm tarafından bit başına harcanan veri toplama enerjisini,

L birleştirilecek veri paketi sayısını temsil etmektedir.

M-bit mesajın alınması için gereken enerji Denklem 3.13'e göre hesaplanır.

$$E_{Rx}(m) = E_{Rx-elec}(m) = m * E_{elec} \quad (3.13)$$

$E_{Rx}$  algılayıcı düğüm bir paket aldığı anda yayılan enerjiyi temsil etmektedir.

Her bir turda, her bir KB tarafından tüketilen enerji Denklem 3.14'e göre hesaplanır (Mehra ve diğerleri, 2018) .

$$E_{CH} = nm(E_{elec} + \epsilon_{fs}d_{BS} + E_{DA}) \quad (3.14)$$

d küme başından, ağ geçidine olan uzaklığını temsil etmektedir.

Küme başı ile küme üyesi tarafından harcanan enerji Denklem 3.15'e göre hesaplanır.

$$E_{CM} = m(E_{elec} + \varepsilon_{fs}d_{CH}) \quad (3.15)$$

$d_{CH}$  küme başının üyelerine olan uzaklığını temsil etmektedir.

$d_{CH}$  Denklem 3.16 ile tahmini değer hesaplanmaktadır.

$$d_{CH} = \frac{1}{\binom{n}{k}} \sum_1^{n/k} d_i \quad (3.16)$$

$n$  toplam algılayıcı düğüm sayısını,

$k$  küme sayısını,

$d_i$  herhangi bir küme üyesi ile küme başı arasındaki mesafeyi temsil etmektedir.

### 3.3. LEACH Protokolüne Göre Toplam Enerji Tüketimi

Tez çalışması kapsamında çok atlamalı yönlendirme yapısı KAA'nın düğümler ve ağ geçidi arası gerçekleştirilen veri iletimi sırasında her tur için harcanan enerji azaltmak veya KAA'da bulunan aktif düğüm sayısını arttırmak amacıyla kullanılmıştır. Multi-hop yapısı LEACH protokolü ile birlikte kullanılarak her turda KB ve rotanın belirlenmesi sağlanmıştır. Daha sonra KB seçimi için ACO algoritması tabanlı LEACH-ACO, ABC algoritması tabanlı LEACH-ABC, GA tabanlı LEACH-GA şeklinde üç farklı yöntem kullanılmıştır. Üç yöntemde de her bir turda seçilecek olan KB'ler kullanılan algoritmanın fonksiyonel değerleri ile belirlenmiş ve bu KB'ler optimize edilmeye çalışılmıştır.

Amaç fonksiyonumuz her bir turun veri aktarımı sırasında harcanan enerjiden sonra sistemde kalan toplam enerjidir. Her tur için bu harcanan enerjinin hesaplanması sırasında aşağıdaki enerji kayıpları göz önünde bulundurulmuştur;

- Düğümlerin KB'ye veri iletimi sırasında düğümlerde harcanan enerji
- KB'lerin düğümlerden veri alımı sırasında KB'lerde harcanan enerji
- KB'lerin KB'lere veri iletimi sırasında KB'lerde harcanan enerji

- KB'lerin KB'lerden veri alımı sırasında KB'lerde harcanan enerji
- KB'lerin BS'ye veri iletimi sırasında KB'lerde harcanan enerji

Yukarıda verilen değerler toplanarak ağın her bir veri aktarımı çevriminde harcadığı toplam enerji kaybı hesaplanır. Buna göre, üç yöntemde kullanılan amaç fonksiyonu Denklem 3.17'de verilmiştir.

$$f(x) = \sum_{i=1}^{KBn} E_{TX(Si \rightarrow KBn)}(m, d) + \sum_{i=1}^{KBn} E_{CHn} + E_{TX(KBn \rightarrow BS)}(m, d) + \sum_{i=1}^{KBn} E_{TX(Ki \rightarrow KBn)}(m, d) + \sum_{i=1}^{KBn} E_{CHKi} \quad (3.17)$$

Burada;

$KBn$  KB sayısını,

$E_{TX(Si \rightarrow KBn)}$  i. AD'den n. KB'ye veri iletimi sırasında harcanan enerjiyi,

$E_{CHn}$  AD'den KB'ye veri alımı sırasında KB'lerde harcanan enerji

$E_{TX(Ki \rightarrow KBn)}$  KB'lerin KB'lerden veri alımı sırasında KB'lerde harcanan enerji

$E_{CHKi}$  KB'den KB'ye veri alımı sırasında KB'lerde harcanan enerji

$E_{TX(KBn \rightarrow BS)}$  n. Küme başından BS'ye veri iletimi sırasında harcanan enerjiyi temsil etmektedir.

KAA'da enerji verimliliği optimize edilirken karşılaşılan bazı kısıtlamalar aşağıda verilmiştir.

\*Seçilen AD'nin enerjisi 0'dan büyük olmalıdır ( $E > 0$ ).

\*Her turda KB için en iyi değeri bul.

\*P daha önce KB seçilen AD kümesi olmak üzere, yeni KB P kümesinin bir elemanı olamaz ( $KB_{yeni} \notin P$ )

\*P kümesi her s. turda sıfırlanır ( $S \bmod KB \text{ sıfırla} = 0$ ) için ( $P = \emptyset$ )

## 4. KAA’LARDA ENERJİ TÜKETİMİNİN SEZGİSEL ALGORİTMALAR KULLANILARAK AZALTILMASI

MATLAB R2017b yazılımında modellenen, Çok Atlamalı Yönlendirme tabanlı LEACH protokolü öncelikle herhangi bir sezgisel algoritma kullanılmadan çalıştırılmış ve sonuçları kaydedilmiştir. Çalışmanın sonraki aşamasında ise, belirlenen 50 ve 100 algılayıcı düğüme sahip aynı ağ modelleri üzerinde enerji tüketimi optimizasyonu süreci Karınca Kolonisi Algoritması, Yapay Arı Kolonisi Algoritması ve Genetik Algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Algoritmalar için en uygun parametre değerlerini belirlemek için deneme yanılma yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar bu bölüm altında verilmiştir.

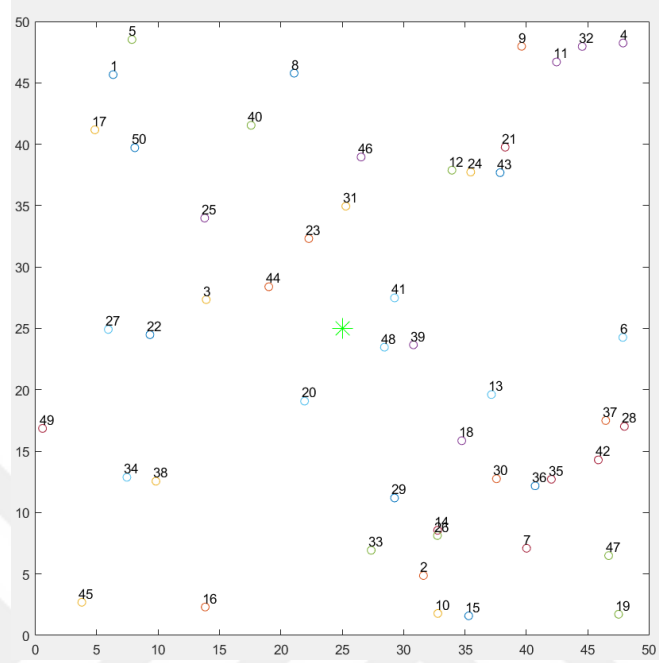
Öncelikle LEACH protokolünde düğüm sayısının enerji tüketimi üzerine etkisi  $n=50$  algılayıcı düğümü için,  $50 \times 50$  boyutlu bir alanda test edilmiştir. LEACH protokolü için her bir veri iletimi çevriminde yaşanan enerji tüketiminin hesaplanmasına kullanılan parametreler ve başlangıç değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4. 1 LEACH Protokolü Parametre Değerleri

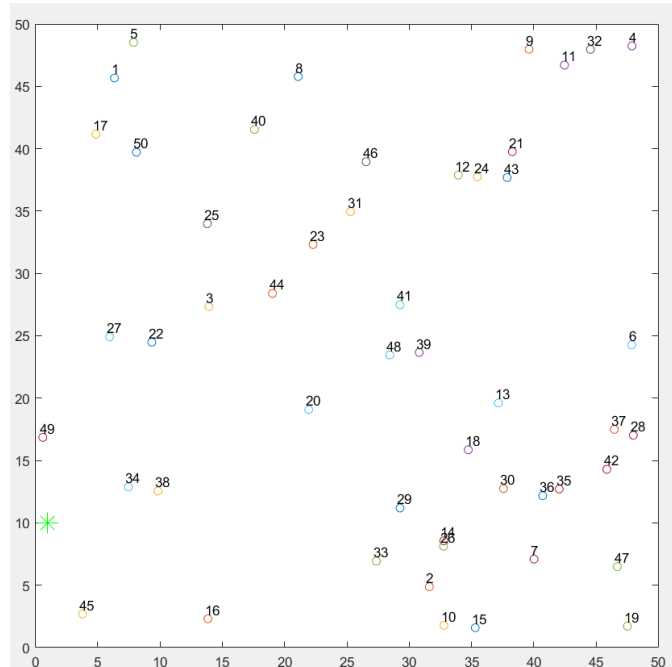
Parametre	Değer
Her Bir Düğüm İçin Başlangıç Enerjisi ( $E_0$ )	0.5 J/düğüm
Düğüm Sayısı	50 ve 100
Merkezi Düğüm Koordinatları	$X=50, Y=50, X=25, Y=25$ ve $X=1, Y=10$
İterasyon Sayısı	2000
Verici Elektronik ( $E_{elec}$ )	50 nJ/bit
Alıcı Elektronik ( $E_{elec}$ )	50 nJ/bit
Veri Paketi Büyüklüğü ( $l$ )	4000 bit
Küme başı oranı ( $p$ )	0.1

LEACH protokolü Çizelge 4.1’de verilen parametreler doğrultusunda çalıştırılmıştır. Ağ geçidinin koordinatları ilk olarak  $50 \times 50$  olarak oluşturulan alanın tam ortası olan  $X=25, Y=25$  koordinatları belirlenmiş daha sonra alanın sol altı olan  $X=1, Y=10$  koordinatları olarak belirlenerek test edilmiştir. Buradaki amacımız ağ geçidi alanın herhangi bir yerinde olduğunda sistemin vereceği enerji verimliliğini ölçmektir. Şekil 4.2’de ağ geçidinin alanın merkezinde olduğu ve düğümlerin  $50 \times 50$  olarak oluşturulan alana sabit koordinatlarla yayılmış olan canlı gösterimi verilmiştir. Şekil 4.3’de ağ geçidinin alanın sol altında iken ve düğümlerin  $50 \times 50$  olarak oluşturulan alana sabit koordinatlarla yayılmış olan canlı gösterim alanı verilmiştir. Şekil 4.4’de kablolu algılayıcı ağ yapısının herhangi bir çevrim sayısında veri alışverişi

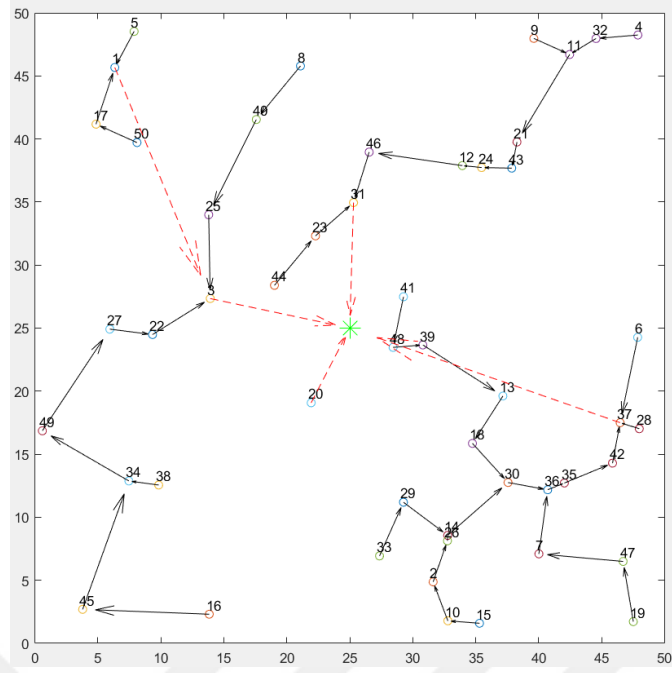
yaparken canlı gösterim alanı verilmiştir. Şekil 4.4’de kablosuz algılayıcı ağ sisteminin de tüm düğümlerin enerjisi tükenip öldükten sonraki algılayıcı ağ sisteminin canlı gösterim alanı verilmiştir.



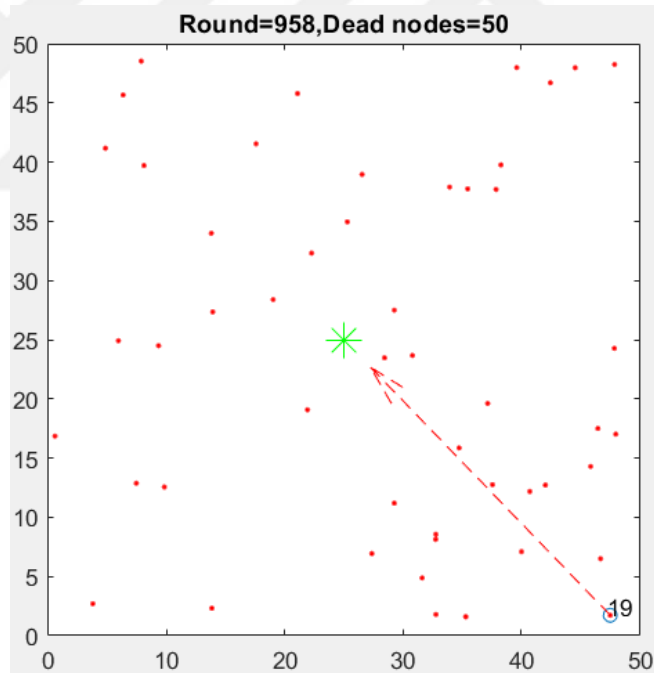
Şekil 4.1 LEACH Protokol Alanının Başlangıcına Ait Canlı Gösterim Ekranı



Şekil 4.2 LEACH Protokol Alanının Başlangıcına Ait Canlı Gösterim Ekranı



Şekil 4.3 LEACH Protokol Alanının Veri Alışverişi Ait Canlı Gösterim Ekranı



Şekil 4.4 LEACH Protokol Alanının Sonlanmasının Canlı Gösterim Ekranı

Testler sırasında kullanılan ağ modelleri ve ağ geçidi yerleşimleri Çizelge 4.2’ de verilmiştir.

**Çizelge 4. 2 Kullanılacak Ağ Yapılarının Özellikleri**

<b>Ağ Yapısı</b>	<b>Toplam Düğüm Sayısı</b>	<b>MD Koordinatları</b>
1. Ağ Yapısı	50	X=25, Y=25
2. Ağ Yapısı	50	X=1, Y=10
3. Ağ Yapısı	100	X=50 Y=50
4. Ağ Yapısı	100	X=1, Y=10

Algılayıcı sayısı  $n=50$  olduğu bir ağda başlangıç toplam algılayıcı enerjisi 25 J'dir. Elde edilen test sonuçlarına göre merkez düğümün  $x=25, y=25$  koordinatlarına sahip sistemde tüm algılayıcılarının enerjisini 958. çevrimde bitirmiştir. Diğer taraftan ağ geçidinin  $x=1, y=10$  koordinatlarına sahip olduğu sistemde tüm algılayıcılarının enerjisi 947. çevrimde bitirmiştir. İlk 50 düğümlü algılayıcı ağ için 958 çevrimde toplam 31990 veri paketi alışverişi yapılırken, ikinci 50 düğümlü algılayıcı ağ için 947 çevrimde toplam 31752 veri paketi alışverişi yapılmıştır.

Algılayıcı sayısı  $n=100$  olduğu bir ağda başlangıç toplam algılayıcı enerjisi 50J'dir. Ağ geçidinin  $x=50, y=50$  koordinatlarına sahip olduğu sistemde tüm algılayıcılarının enerjisini 579. çevrimde bitirmiştir. Diğer taraftan merkez düğümün  $x=1, y=10$  koordinatlarına sahip olduğu sistemde tüm algılayıcıların enerjisi 570. çevrimde bitirmiştir. Birinci 100 düğümlü algılayıcı ağ için 579 çevrimde toplam 38975 veri paketi alışverişi yapılırken, ikinci sistem 947 çevrimde toplam 38778 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre ağ geçidi belirtilen alanın merkezinden uzaklaştıkça ağın toplam ömrü azalmaktadır. Ayrıca düğüm sayısı arttıkça çevrim sayısı azalmaktadır. Elde edilen test sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

**Çizelge 4. 3 LEACH Protokolünün Normal Çalışma Sonuçları**

<b>Ağ Yapısı</b>	<b>Çevrim Sayısı</b>	<b>Veri Paketi Sayısı</b>
1. Ağ Yapısı	958	32062
2. Ağ Yapısı	947	31830
3. Ağ Yapısı	579	38975
4. Ağ Yapısı	570	38778

#### **4.2. Karınca Kolonisi Algoritması Parametre Karşılaştırılması**

Çizelge 4.4'de karınca kolonisi algoritmasında kullanılacak olan parametrelerin değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4. 4 Karınca Algoritması Parametre Değerleri**

<b>Parametre</b>	<b>Değer</b>
Karınca Sayısı	40
Başlangıç Feromon Miktarı	0.2
Feromon Kuvvetlendirme Oranı	1
Sezgisellik Oranı	0.04
Feromon Buharlaştırma Oranı	0.05
İterasyon	50

KKA ile gerçekleştirilen testler sırasında, algoritma ile en iyi sonuçları verecek karınca sayısı ve sezgisellik kuvvetlendirme oranı ( $\beta$ ) parametreleri Çizelge 4.5’de verilen değerler için araştırılmıştır. Belirlenen parametreler dört farklı ağ modeli için test edilmiştir.

**Çizelge 4. 5 İki Ağ Yapısı İçin  $\beta$  Değeri Karşılaştırma Verileri**

<b>Ağ Yapısı</b>	<b>Karınca Sayısı</b>	<b>(<math>\beta</math>)</b>	<b>Çevrim Sayısı</b>	<b>Veri Paketi</b>
1. Ağ Yapısı	40	0,02	988	33584
1. Ağ Yapısı	40	0,04	983	33442
2. Ağ Yapısı	40	0,02	991	33670
2. Ağ Yapısı	40	0,04	975	33255
3. Ağ Yapısı	40	0,02	878	62133
3. Ağ Yapısı	40	0,04	886	61496
4. Ağ Yapısı	40	0,02	866	61646
4. Ağ Yapısı	40	0,04	866	61844

Çizelge 4.5 incelendiğinde; birinci ağ yapısında  $\beta$  değeri 0.02 için sistemin toplam enerjisi 988 turda tükenirken, bu süreçte toplamda 33584 veri paketi,  $\beta$  değeri 0.04 için ise toplam enerji 983 turda tükenirken 33442 veri paketi gönderilmiştir. İkinci ağ yapısı için  $\beta$  değeri 0.02 için toplam enerji 991 turda tükenirken bu süre zarfında 33670 veri paketi alışverişi yapılmıştır.  $\beta$  değeri 0.04 için ise ağın toplam enerjisi 975 turda tükenmiş ve bu süreçte toplam 33255 veri paketi gönderilmiştir. 100 düğümlü üçüncü ağ yapısında  $\beta$  değeri 0.02 için ağın toplam enerjisi 878 turda tükenirken bu süreçte 62133 veri paketi gönderilmiştir.  $\beta$  değeri 0.04 için sistemin toplam enerjisi 886 turda tükenirken bu süreçte 61496 veri paketi gönderilmiştir. Dördüncü ağ yapısında ise  $\beta$  değeri 0.02 için ağın toplam enerjisi 866 turda tükenirken bu sürede 61646 veri paketi gönderilmiş, $\beta$  değeri 0.04 için ise866 turda tüm enerji tükenirken, 61844 veri paketi gönderilmiştir. Çizelge 4.6’da da görüldüğü

gibi; dört ağ yapısı için testler incelendiğinde  $\beta$  değeri arttıkça kablosuz algılayıcı ağın ömrü kısalmıştır. Bu nedenle karınca sayıları karşılaştırması yapılırken sezgisellik kuvvetlendirme oranı 0,01 olarak alınmıştır. Dört ağ yapısı için karınca sayıları parametre değerlerini karşılaştırma verileri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

**Çizelge 4. 6 İki Ağ Yapısı İçin Karınca Sayısı Karşılaştırma Verileri**

<b>Ağ Yapısı</b>	<b>Karınca Sayısı</b>	<b>(<math>\beta</math>)</b>	<b>Çevrim Sayısı</b>	<b>Veri Paketi Sayısı</b>
1. Ağ Yapısı	10	0.01	1007	34365
1. Ağ Yapısı	40	0.01	990	33880
1. Ağ Yapısı	60	0.01	998	33983
2. Ağ Yapısı	10	0.01	1006	33647
2. Ağ Yapısı	40	0.01	995	34170
2. Ağ Yapısı	60	0.01	997	33402
3. Ağ Yapısı	10	0.01	897	62961
3. Ağ Yapısı	40	0.01	874	61632
3. Ağ Yapısı	60	0.01	880	62397
4. Ağ Yapısı	10	0.01	868	61971
4. Ağ Yapısı	40	0.01	861	61831
4. Ağ Yapısı	60	0.01	860	61292

Yukarıda verilen Çizelge 4.6 incelendiğinde dört farklı ağ yapısı,  $\beta$  değeri 0,01 için 10, 40 ve 60 karınca sayısı için test edilmiştir. Birinci ağ yapısında karınca sayısı 60 olduğunda toplam enerjisi 998 turda tükenirken bu süre zarfında 33983 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Karınca sayısı 10 olduğunda toplam enerjisi 1007 turda tükenirken bu süre zarfında 34365 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Aynı parametre değerlerinde ikinci ağ yapısında karınca sayısı 60 olduğunda toplam enerjisi 997 turda tükenirken bu süre zarfında 33402 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Karınca sayısı 10 olduğunda toplam enerjisi 1006 turda tükenirken bu süre zarfında 33647 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Üçüncü ağ yapısına bakıldığında karınca sayısı 60 olduğunda toplam enerjisi 880 turda tükenirken bu süre zarfında 62397 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Karınca sayısı 10 olduğunda toplam enerjisi 897 turda tükenirken bu süre zarfında 62961 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Dördüncü ağ yapısına bakıldığında karınca sayısı 60 olduğunda toplam enerjisi 860 turda tükenirken bu süre zarfında 61292 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Karınca sayısı 10 olduğunda toplam enerjisi 868 turda tükenirken bu süre zarfında 61971 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Test sonuçlarına göre karınca sayısı azaldıkça tur ve veri paketi sayısının arttığı gözlemlenmiştir. Sadece karınca sayısı 40 olduğunda dört sistemde de verimlilik azalmıştır fakat en iyi verimlilik oranı karınca sayısı 10 iken alınmıştır.

Bu nedenle çalışmada karınca sayısını 10, sezgisellik kuvvetlendirme oranını ise 0,01 olarak kabul edilmiştir.

Ayrıca genel olarak test sonuçları incelendiğinde ağ geçidi alanın ortasından uzaklaştıkça tur sayısı yüksek olsa da veri paketi sayısında azalma olduğu görülmektedir. Örnek olarak Çizelge 4.6 incelendiğinde birinci ağ yapısında 997 turda sistemin enerjisi tükenirken bu süre zarfında 33985 veri paketi alışverişi yapılmıştır ancak ikinci ağ yapısında 997 turda sistemin enerjisi tükenirken bu süre zarfında 33402 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Ayrıca birinci ağ yapısının en düşük tur sayısına sahip olan 990 tur 33880 veri paketi gönderirken ikinci ağ yapısının en yüksek tur sayısına sahip olan 1006 tur 33647 veri paketi göndermiştir. Tüm test sonuçları ele alındığında alana göre ağ geçidinin alanın ortasında olması veri paketi alışverişi için önemlidir.

#### 4.3.Yapay Arı Kolonisi Algoritması Parametre Karşılaştırılması

Çizelge 4.7’de yapay arı kolonisi algoritmasında kullanılacak olan parametrelerin değerleri verilmiştir.

Çizelge 4. 7 Yapay Arı Kolonisi Algoritması Parametre Değerleri

Parametre	Değer
İşçi Arı Sayısı	10
Gözcü Arı Sayısı	10
Kâşif Arı Sayısı	1
Besin Sayısı	100
İterasyon	50

Algoritmamızı denemek için işçi arı sayısı ve besin sayısı parametre değerlerini değiştirerek deneme yapılacaktır. Yapay arı kolonisi teorisine göre kâşif arı sayısı her zaman 1 olarak kabul edilmektedir. Belirlediğimiz parametreler aynı şekilde iki farklı ağ yapısında karşılaştırıldı. İki sistem için karşılaştırma verileri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

**Çizelge 4. 8 Dört Ağ Yapısı İçin Arı Sayısı Karşılaştırma Verileri**

<b>Ağ Yapısı</b>	<b>Arı Sayısı</b>	<b>Besin Sayısı</b>	<b>Çevrim</b>	<b>Veri Paketi</b>
1. Ağ Yapısı	10	100	998	35616
1. Ağ Yapısı	20	100	874	30760
1. Ağ Yapısı	30	100	824	28640
2. Ağ Yapısı	10	100	995	35559
2. Ağ Yapısı	20	100	892	30795
2. Ağ Yapısı	30	100	792	28078
3. Ağ Yapısı	10	100	963	70890
3. Ağ Yapısı	20	100	838	61602
3. Ağ Yapısı	30	100	806	57796
4. Ağ Yapısı	10	100	963	69815
4. Ağ Yapısı	20	100	840	60902
4. Ağ Yapısı	30	100	759	56365

Yukarıda verilen Çizelge 4.8 incelendiğinde 50 ve 100 düğümlü olmak üzere dört farklı ağ yapısı, besin sayısı 100 olarak sabit belirlenmiş arı sayısı ise 10, 20 ve 30 olmak üzere 3 defa test edilmiştir. Birinci ağ yapısında sistemin arı sayısı 10 olduğunda toplam enerjisi 998 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 35616 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Arı sayısı 30 olduğunda toplam enerjisi 824 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 28640 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Aynı şekilde ikinci ağ yapısında arı sayısı 10 olduğunda toplam enerjisi 995 turda tükenirken bu süre zarfında 35559 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Arı sayısı 30 olduğunda toplam enerjisi 792 turda tükenirken bu süre zarfında 28078 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Aynı şekilde üçüncü ağ yapısında arı sayısı 10 olduğunda toplam enerjisi 963 turda tükenirken bu süre zarfında 61602 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Arı sayısı 30 olduğunda toplam enerjisi 806 turda tükenirken bu süre zarfında 57796 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Aynı şekilde dördüncü ağ yapısında arı sayısı 10 olduğunda toplam enerjisi 963 turda tükenirken bu süre zarfında 69815 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Arı sayısı 30 olduğunda toplam enerjisi 759 turda tükenirken bu süre zarfında 56365 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Tüm test sonuçları ele alındığında arı sayısı azaldıkça tur ve veri paketi sayısının arttığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle besin sayısı karşılaştırması yapılırken arı sayısı bu sefer 10 olarak denenmiştir. Ayrıca tur sayısı olarak ikinci sistemin LEACH ve karınca algoritması ile çalışan LEACH ile kıyaslırsak birinci sisteme göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Dört sistem için besin sayısı değerlerinin karşılaştırma verileri Çizelge 4.9’da verilmiştir.

**Çizelge 4. 9 Dört Ağ Yapısı İçin Besin Sayısı Karşılaştırma Verileri**

<b>Ağ Yapısı</b>	<b>Arı Sayısı</b>	<b>Besin Sayısı</b>	<b>Çevrim</b>	<b>Veri Paketi</b>
1. Ağ Yapısı	10	10	769	27668
1. Ağ Yapısı	10	100	998	35616
1. Ağ Yapısı	10	1000	1257	45835
2. Ağ Yapısı	10	10	765	27144
2. Ağ Yapısı	10	100	995	35559
2. Ağ Yapısı	10	1000	1250	45606
3. Ağ Yapısı	10	10	746	55339
3. Ağ Yapısı	10	100	963	70890
3. Ağ Yapısı	10	1000	1216	88476
4. Ağ Yapısı	10	10	737	55314
4. Ağ Yapısı	10	100	963	69815
4. Ağ Yapısı	10	1000	1194	87830

Yukarıda verilen Çizelge 4.9 incelendiğinde dört farklı ağ yapısı üzerinde yapılan denemelerde arı sayısı 10 olarak sabit tutularak besin sayısı 10, 100 ve 1000 olmak üzere 3 defa test edilmiştir. Birinci ağ yapısında besin sayısı 10 olduğunda toplam enerjisi 769 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 27668 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Besin sayısı 1000 olduğunda toplam enerjisi 1257 turda tükenirken bu süre zarfında 45835 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Aynı şekilde ikinci ağ yapısında besin sayısı 10 olduğunda toplam enerjisi 765 turda tükenirken bu süre zarfında 27144 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Besin sayısı 1000 olduğunda toplam enerjisi 1250 turda tükenirken bu süre zarfında 45606 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Aynı şekilde üçüncü ağ yapısında besin sayısı 10 olduğunda toplam enerjisi 746 turda tükenirken bu süre zarfında 55339 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Besin sayısı 1000 olduğunda toplam enerjisi 1216 turda tükenirken bu süre zarfında 88476 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Aynı şekilde dördüncü ağ yapısında besin sayısı 10 olduğunda toplam enerjisi 737 turda tükenirken bu süre zarfında 55314 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Besin sayısı 1000 olduğunda toplam enerjisi 1194 turda tükenirken bu süre zarfında 87830 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Tüm test sonuçları ele alındığında besin sayısı arttıkça sistemin tur ve veri paketi sayısının arttığı görülmektedir. Bu nedenle çalışmamızı gerçekleştirirken arı sayısı 10, besin sayısını ise 100 olarak kullanılacaktır.

#### 4.4. Genetik Algoritma Parametre Karşılaştırılması

Çizelge 4.10’da yapay arı kolonisi algoritmasında kullanılacak olan parametrelerin değerleri verilmiştir.

Çizelge 4. 10 Genetik Algoritma Parametre Değerleri

Parametre	Değer
Kromozom Sayısı	50
Kromozom Karakter Sayısı	2
Çaprazlama Oranı	0.7
Mutasyon Oranı	0.001
İterasyon	50

Algoritmamızı denemek için kromozom sayısı ve mutasyon oranı parametre değerlerini değiştirerek deneme yapılacaktır. Belirlediğimiz parametreler aynı şekilde dört farklı algılayıcı ağ ile karşılaştırıldı. Dört algılayıcı ağ için mutasyon oranı sonuçlarının karşılaştırma verileri Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4. 11 Dört Ağ Yapısı İçin Mutasyon Oranı Karşılaştırma Verileri

Ağ Yapısı	Kromozom Sayısı	Mutasyon Sayısı	Çevrim	Veri Paketi
1. Ağ Yapısı	10	0.1	1007	33735
1. Ağ Yapısı	10	0.01	1381	49676
1. Ağ Yapısı	10	0.001	1389	49667
2. Ağ Yapısı	10	0.1	982	33715
2. Ağ Yapısı	10	0.01	1374	49518
2. Ağ Yapısı	10	0.001	1386	49581
3. Ağ Yapısı	10	0.1	402	24550
3. Ağ Yapısı	10	0.01	948	68667
3. Ağ Yapısı	10	0.001	969	69259
4. Ağ Yapısı	10	0.1	385	24139
4. Ağ Yapısı	10	0.01	951	68708
4. Ağ Yapısı	10	0.001	970	69010

Yukarıda verilen Çizelge 4.11 incelendiğinde dört farklı ağ yapısı, kromozom sayısı 10 olarak sabit belirlenmiş mutasyon oranı ise 0.1, 0.01 ve 0.001 olmak üzere 3 defa test edilmiştir. Birinci ağ yapısında sistemin mutasyon oranı 0.1 olduğunda toplam enerjisi 1007çevrimde tükenirken bu süre zarfında 33735 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Mutasyon oranı 0.01 olduğunda toplam enerjisi 1381 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 49676 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Mutasyon oranı 0.001 olduğunda toplam enerjisi 1389 çevrim tükenirken bu süre zarfında 49667 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Aynı şekilde ikinci ağ yapısında mutasyon oranı 0.1

olduğunda toplam enerjisi 982 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 33715 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Mutasyon oranı 0.01 olduğunda toplam enerjisi 1374 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 49518 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Mutasyon oranı 0.001 olduğunda toplam enerjisi 1386 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 49581 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Aynı şekilde üçüncü ağ yapısında mutasyon oranı 0.1 olduğunda toplam enerjisi 402 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 24550 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Mutasyon oranı 0.01 olduğunda toplam enerjisi 948 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 68667 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Mutasyon oranı 0.001 olduğunda toplam enerjisi 969 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 69259 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Aynı şekilde dördüncü ağ yapısında mutasyon oranı 0.1 olduğunda toplam enerjisi 385 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 24139 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Mutasyon oranı 0.01 olduğunda toplam enerjisi 951 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 68708 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Mutasyon oranı 0.001 olduğunda toplam enerjisi 970 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 69010 veri paketi alışverişi yapılmıştır. 100 düğümlü üçüncü ve dördüncü ağ yapısında 0.1 mutasyon oranında normal LEACH sonuçlarından çok daha kötü sonuçlar elde edilmiştir. Genel olarak tüm test sonuçları ele alındığında mutasyon oranı azaldıkça tur ve veri paketi sayısının arttığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle kromozom sayısı karşılaştırması yapılırken mutasyon oranı bu sefer 0.001 olarak denemesi yapılacaktır. Dört ağ yapısı için kromozom sayısı değerlerinin karşılaştırma verileri Çizelge 4.12’de verilmiştir.

**Çizelge 4. 12 Dört Ağ Yapısı İçin Kromozom Sayısı Karşılaştırma Verileri**

<b>Ağ Yapısı</b>	<b>Kromozom Sayısı</b>	<b>Mutasyon Sayısı</b>	<b>Çevrim</b>	<b>Veri Paketi</b>
1. Ağ Yapısı	10	0.001	1389	49667
1. Ağ Yapısı	50	0.001	1385	49691
1. Ağ Yapısı	100	0.001	1386	49616
2. Ağ Yapısı	10	0.001	1386	49581
2. Ağ Yapısı	50	0.001	1365	49564
2. Ağ Yapısı	100	0.001	1373	49611
3. Ağ Yapısı	10	0.001	969	69259
3. Ağ Yapısı	50	0.001	1326	94884
3. Ağ Yapısı	100	0.001	1304	94914
4. Ağ Yapısı	10	0.001	970	69010
4. Ağ Yapısı	50	0.001	1287	94250
4. Ağ Yapısı	100	0.001	1299	94140

Yukarıda verilen Çizelge 4.12 incelendiğinde dört farklı ağ yapısı, mutasyon oranı 0.001 olarak sabit belirlenmiş kromozom sayısı ise 10, 50 ve 100 olmak üzere 3 defa test edilmiştir. Birinci sistemde kromozom sayısı 10 olduğunda toplam enerjisi 1389 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 49667 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Kromozom sayısı 50 olduğunda toplam enerjisi 1385 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 46543 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Kromozom sayısı 100 olduğunda toplam enerjisi 1386 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 49616 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Aynı şekilde ikinci sistemde kromozom sayısı 10 olduğunda toplam enerjisi 1386 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 49581 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Kromozom sayısı 50 olduğunda toplam enerjisi 1365 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 49564 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Kromozom sayısı 100 olduğunda toplam enerjisi 1373 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 49611 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Aynı şekilde üçüncü sistemde kromozom sayısı 10 olduğunda toplam enerjisi 969 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 69259 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Kromozom sayısı 50 olduğunda toplam enerjisi 1326 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 94884 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Kromozom sayısı 100 olduğunda toplam enerjisi 1304 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 94914 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Aynı şekilde üçüncü sistemde kromozom sayısı 10 olduğunda toplam enerjisi 970 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 69010 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Kromozom sayısı 50 olduğunda toplam enerjisi 1287 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 94250 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Kromozom sayısı 100 olduğunda toplam enerjisi 1299 çevrimde tükenirken bu süre zarfında 94140 veri paketi alışverişi yapılmıştır. Tüm test sonuçları ele alındığında her iki sistemde de kromozom sayısı 50 olan algılayıcı ağ yapısı kromozom sayısı 100 olan algılayıcı ağ yapısından daha iyi verim verdiği görülmektedir. 50 düğümlü olan birinci ve ikinci ağ yapısında da kromozom sayısı 10 olan algılayıcı ağ yapısının diğerlerine göre daha verimli çalıştığı görülmektedir fakat 100 düğümlü olan üçüncü ve dördüncü ağ yapısında 100 kromozomlu ağ yapısının diğer parametre değerlerine göre çevrim sayısı ve veri paketi açısından baya verim elde edilmiştir. Bu nedenle çalışmamızı gerçekleştirirken kromozom sayısı 100, mutasyon oranı ise 0.001 olarak kullanılacaktır.

#### 4.5. Birinci Ağ Yapısının Karşılaştırılması

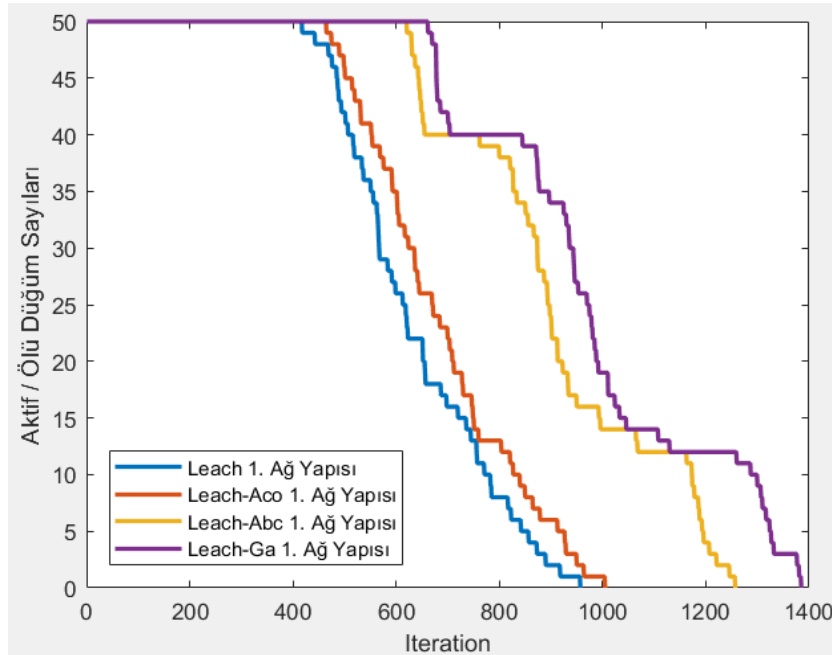
Dört ağ yapısı için parametre değerlerinin tüm sonuçları değiştirilerek çalıştırıldı ve bilgisayar ortamında kaydedildi. Her ağ yapısı için projelerin verdiği en iyi sonuçlar ele alınarak her çevrimdeki toplam enerji, ortalama enerji ve veri aktarım değerleri karşılaştırılacaktır.

Çizelge 4. 13 Birinci Ağ Yapısı için Karşılaştırma Sonuçları

Proje	Çevrim Sayısı	Veri Paketi Sayısı
LEACH	958	32062
LEACH-ACO	1007	34365
LEACH-ABC	1258	45835
LEACH-GA	1386	49616

Yukarıda verilen Çizelge 4.13’de birinci ağ yapısı için karşılaştırma sonuçları verilmiştir. Çizelge incelediğinde LEACH ‘e göre sırasıyla LEACH-ACO, LEACH-ABC, LEACH-GA çevrim sayısı ve veri paketi sayı olarak verimlilik elde edilmiştir. En iyi sonucu LEACH-GA verirken LEACH-ACO normale yakın bir sonuç elde etmiştir.

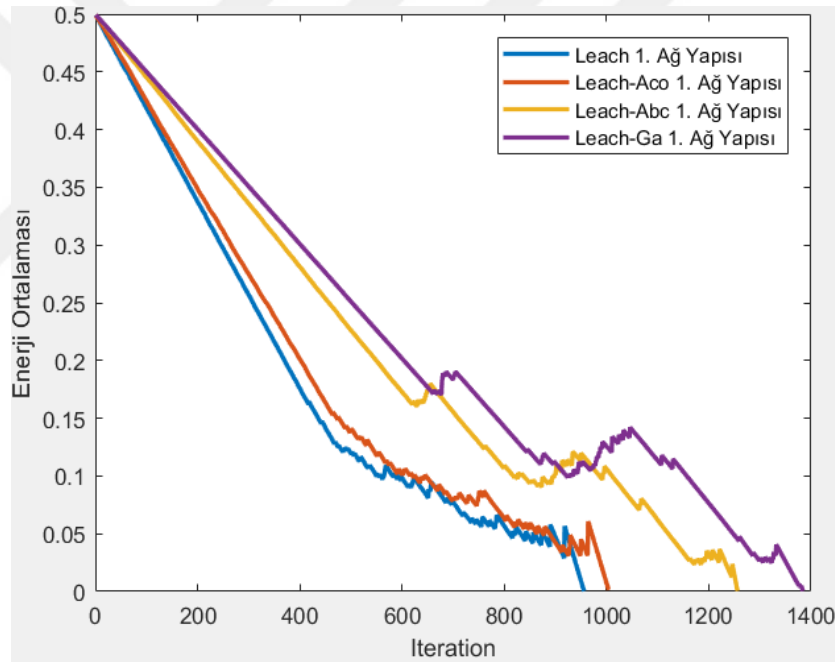
##### 4.5.1. Birinci Ağ Yapısı için Aktif/Ölü Düğüm Sayısı



Şekil 4.5 Birinci Ağ Yapısı için Aktif/Ölü Düğüm Sayısı

Birinci ağ modeli için çevrim sayısı ortalama enerji değerleri grafiksel olarak şekil 4.5’de verilmiştir. LEACH ve LEACH-ACO protokolleri 600. ve 900. çevrimlerde LEACH-ABC ve LEACH-GA ise 650. ve 950. çevrimlerde birbirlerine yakın bir grafik çizmektedirler. LEACH protokolü 419. çevrimde ilk algılayıcı düğüm tüm enerjisini, LEACH-ACO protokolü 466. çevrimde ilk algılayıcı düğüm tüm enerjisini, LEACH-ABC protokolü 622. çevrimde ilk algılayıcı düğüm tüm enerjisini, LEACH-GA protokolü 663. çevrimde ilk algılayıcı düğüm tüm enerjisini kaybetmiştir. İncelemek için 738. çevrime bakıldığında LEACH protokolünde 14 aktif düğüm bulundururken, LEACH-ACO %21,42 artış ile 17 aktif düğüm, LEACH-ABC ve LEACH-GA %185,71 artış ile 40 aktif düğüm bulunmaktadır.

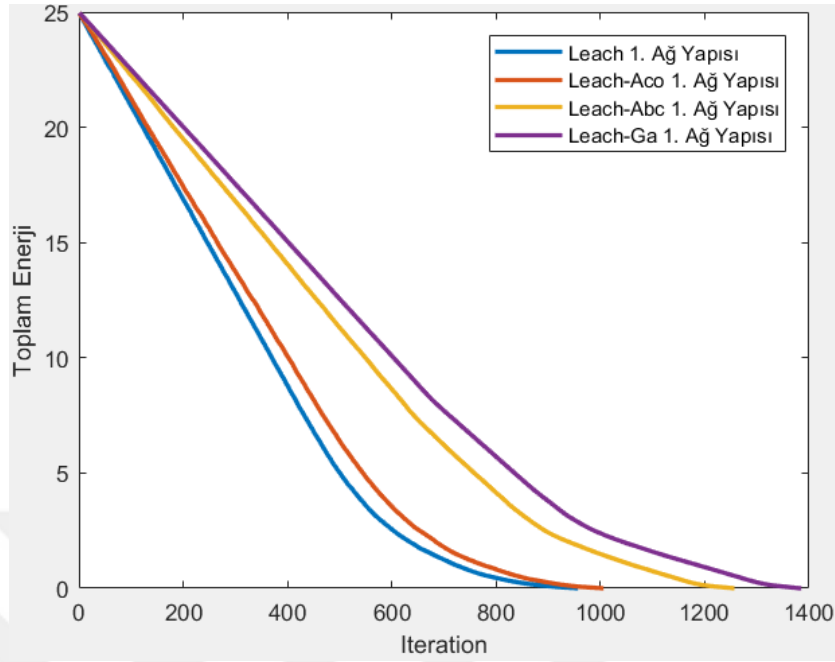
#### 4.5.2. Birinci Ağ Yapısı için Enerji Ortalaması Değişimi



Şekil 4.6 Birinci Ağ Yapısı için Enerji Ortalaması Değişimi

Birinci ağ modeli için her bir tur sonunda ağ yapısında düğümlerin ortalama enerji değerleri grafiksel olarak şekil 4.6 da gösterilmiştir. Ortalama enerji grafiği bize aynı zamanda her turda mevcut aktif düğüm sayısı içinde yorum yapmamıza olanak sağlamaktadır. LEACH protokolü 958 çevrimde algılayıcı düğümler tüm enerjisini, LEACH-ACO protokolü 1007 çevrimde algılayıcı düğümler tüm enerjisini, LEACH-ABC protokolü 1258 çevrimde algılayıcı düğümler tüm enerjisini, LEACH-GA protokolü 1386 çevrimde algılayıcı düğümler tüm enerjisini kaybetmiştir.

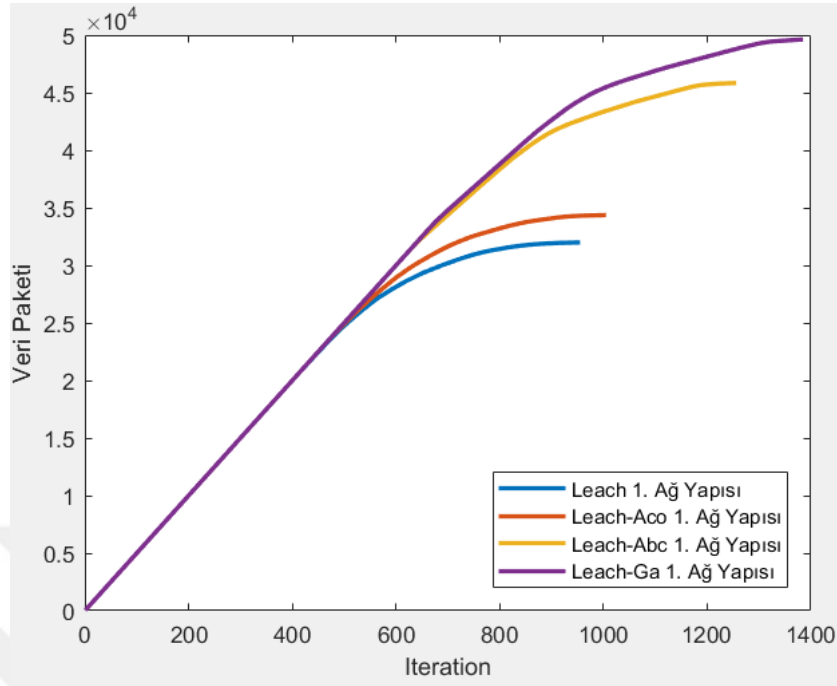
### 4.5.3. Birinci Ağ Yapısı için Toplam Enerji Değişimi



Şekil 4.7 Birinci Ağ Yapısı için Toplam Enerji Değişimleri

Birinci ağ modeli için her bir tur sonunda ağ yapısında bulunan toplam enerji değerleri grafiksel olarak şekil 4.7 da gösterilmiştir. Grafığe göre; LEACH protokolünde 958 çevrim yapılırken, LEACH-ACO protokolü %5,11 artış ile 1007 çevrim, LEACH-ABC protokolü %31,31 artış ile 1258 çevrim, LEACH-GA protokolü %41,67 artış ile 1386 çevrim gerçekleştirmiştir. İncelemek için 738. çevrimde dört protokol için toplam enerji değerlerini inceleyecek olursak; LEACH protokolünde aktif 14 düğüm için toplam 0.8710 J enerji bulunurken, LEACH-ACO protokolünde aktif 17 düğüm için %53,63 artış ile 1.3382 J enerji, LEACH-ABC protokolünde aktif 40 düğüm için %521,25 artış ile 5.4111 J enerji, LEACH-GA protokolünde aktif 40 düğüm için %697,45 artış ile 6.9458 J enerji bulunmaktadır.

#### 4.5.4. Birinci Ağ Yapısı için Veri Gönderimi



Şekil 4.8 Birinci Ağ Yapısı için Veri Paketi Değişimleri

Birinci ağ modeli için her bir tur sonunda ağ yapısında her çevrim sonunda gönderilen veri değerleri grafiksel olarak şekil 4.8 de gösterilmiştir. Grafiğe göre; LEACH protokolü 958 çevrim sonunda toplamda 32062 veri paketi gönderilirken, LEACH-ACO protokolü 1007 çevrim sonunda %7,18 artış ile toplamda 34365, LEACH-ABC protokolü 1258 çevrim sonunda %42,95 artış ile toplamda 45835, LEACH-GA protokolü 1386 çevrim sonunda %54,75 artış ile toplamda 49616 veri paketi transferi gerçekleştirmiştir. İncelemek için 738. çevrimde dört protokol için toplam veri paketi gönderimlerini inceleyecek olursak; LEACH protokolünde 30775 veri paketi gönderilirken, LEACH-ACO protokolünde %5,14 artış ile 32357, LEACH-ABC protokolünde %16,69 artış ile 35913, LEACH-GA protokolünde %18,01 artış ile 36318 veri paketi gönderilmiştir.

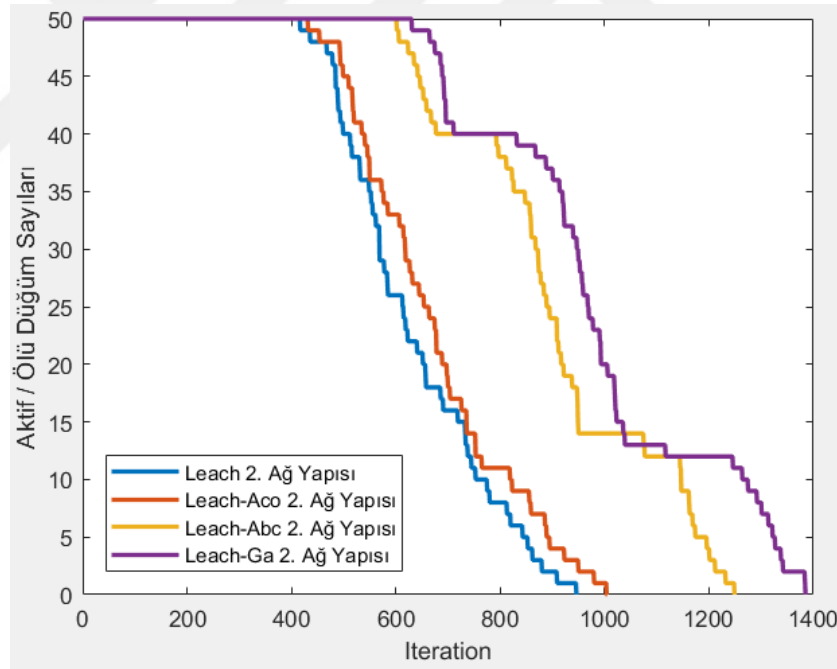
#### 4.6. İkinci Ağ Yapısının Karşılaştırılması

Çizelge 4. 14 İkinci Ağ Yapısı için Karşılaştırma Sonuçları

Proje	Çevrim Sayısı	Veri Paketi Sayısı
LEACH	947	31830
LEACH-ACO	1006	33647
LEACH-ABC	1250	45606
LEACH-GA	1386	49581

Yukarıda verilen Çizelge 4.14’de ikinci ağ yapısı için karşılaştırma sonuçları verilmiştir. Çizelge incelediğinde LEACH ‘e göre sırasıyla LEACH-ACO, LEACH-ABC, LEACH-GA çevrim sayısı ve veri paketi sayı olarak verimlilik elde edilmiştir. En iyi sonucu LEACH-GA verirken LEACH-ACO normale yakın bir sonuç elde etmiştir.

##### 4.6.1. İkinci Ağ Yapısı için Aktif/Ölü Düğüm Sayısı

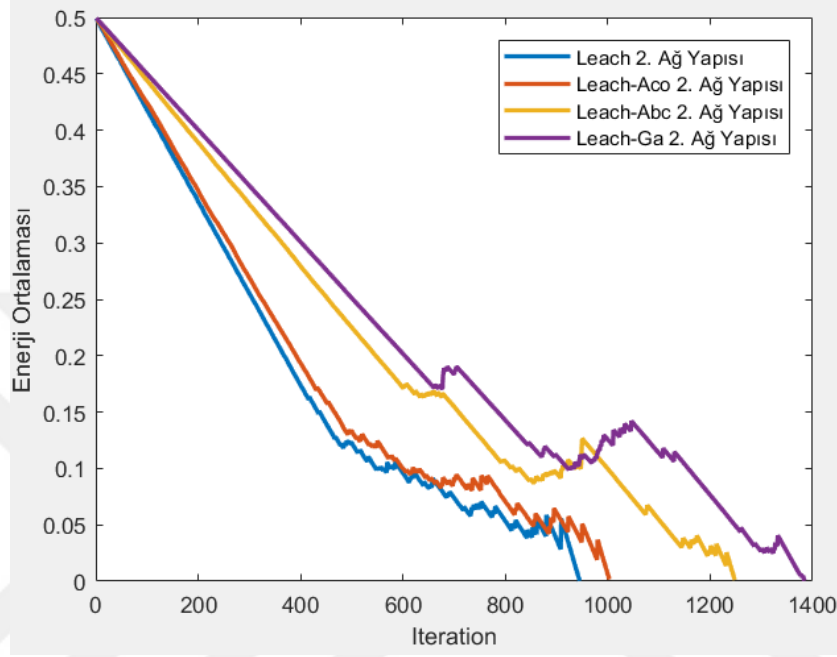


Şekil 4.9 Üçüncü Ağ Yapısı için Aktif/Ölü Düğüm Sayısı

İkinci ağ modeli için çevrim sayısı ortalama enerji değerleri grafiksel olarak şekil 4.9’da verilmiştir. LEACH protokolü 418. çevrimde ilk algılayıcı düğüm tüm enerjisini, LEACH-ACO protokolü 433. çevrimde ilk algılayıcı düğüm tüm enerjisini, LEACH-ABC protokolü 603. çevrimde ilk algılayıcı düğüm tüm enerjisini, LEACH-GA protokolü 632. çevrimde ilk algılayıcı düğüm tüm enerjisini

kaybetmiştir. İncelemek için 738. çevrime bakıldığında LEACH protokolünde 12 aktif düğüm bulundururken, LEACH-ACO %16,66 artış ile 14 aktif düğüm, LEACH-ABC ve LEACH-GA %233,33 artış ile 40 aktif düğüm bulunmaktadır.

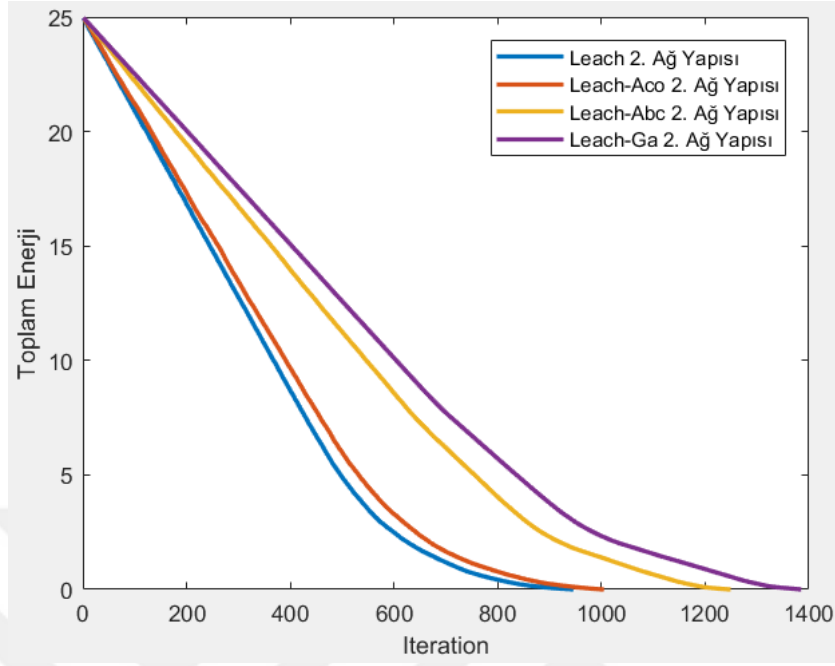
#### 4.6.2. İkinci Ağ Yapısı için Ortalama Enerji Değişimi



Şekil 4.10 İkinci Ağ Yapısı için Enerji Ortalaması Değişimi

İkinci ağ modeli için her bir tur sonunda ağ yapısında düğümlerin ortalama enerji değerleri grafiksel olarak şekil 4.10 da gösterilmiştir. LEACH protokolü 958 çevrimde algılayıcı düğümler tüm enerjisini, LEACH-ACO protokolü 1007 çevrimde algılayıcı düğümler tüm enerjisini, LEACH-ABC protokolü 1258 çevrimde algılayıcı düğümler tüm enerjisini, LEACH-GA protokolü 1386 çevrimde algılayıcı düğümler tüm enerjisini kaybetmiştir.

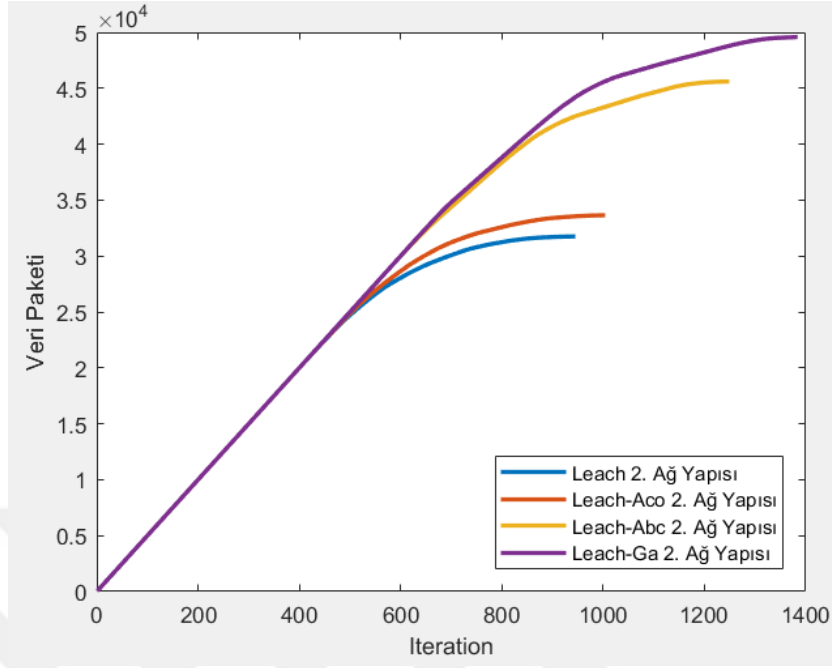
#### 4.6.3 İkinci Ağ Yapısı için Toplam Enerji Değişimi



Şekil 4.11 İkinci Ağ Yapısı için Toplam Enerji Değişimi

İkinci ağ modeli için her bir tur sonunda ağ yapısında bulunan toplam enerji değerleri grafiksel olarak şekil 4.11 de gösterilmiştir. Grafiğe göre; LEACH protokolünde 947 çevrim yapılırken, LEACH-ACO protokolü %6,23 artış ile 1006 çevrim, LEACH-ABC protokolü %31,99 artış ile 1250 çevrim, LEACH-GA protokolü %46,35 artış ile 1386 çevrim gerçekleştirmiştir. İncelemek için 738. çevrimde dört protokol için toplam enerji değerlerini inceleyecek olursak; LEACH protokolünde aktif 12 düğüm için toplam 0.8117J enerji bulunurken, LEACH-ACO protokolünde aktif 14 düğüm için %55,42 artış ile 1.2616 J enerji, LEACH-ABC protokolünde aktif 40 düğüm için %561,13 artış ile 5.3664 J enerji, LEACH-GA protokolünde aktif 40 düğüm için %756,84 artış ile 6.9550 J enerji bulunmaktadır.

#### 4.6.4. İkinci Ağ Yapısı için Veri Gönderimi



Şekil 4.12 İkinci Ağ Yapısı için Veri Paketi Değişimleri

İkinci ağ modeli için her bir tur sonunda ağ yapısında her çevrim sonunda gönderilen veri değerleri grafiksel olarak şekil 4.12 de gösterilmiştir. Grafığe göre; LEACH protokolü 947 çevrim sonunda toplamda 31830 veri paketi gönderilirken, LEACH-ACO protokolü 1006 çevrim sonunda %5,70 artış ile toplamda 33647, LEACH-ABC protokolü 1250 çevrim sonunda %43,27 artış ile toplamda 45606, LEACH-GA protokolü 1386 çevrim sonunda %55,76 artış ile toplamda 49581 veri transferi gerçekleştirmiştir. İncelemek için 738. çevrimde dört protokol için toplam veri paketi gönderimlerini inceleyecek olursak; LEACH protokolünde 30649 veri paketi gönderilirken, LEACH-ACO protokolünde %3,90 artış ile 31847, LEACH-ABC protokolünde %18,54 artış ile 35903, LEACH-GA protokolünde %18,01 artış ile 36333 veri paketi gönderilmiştir.

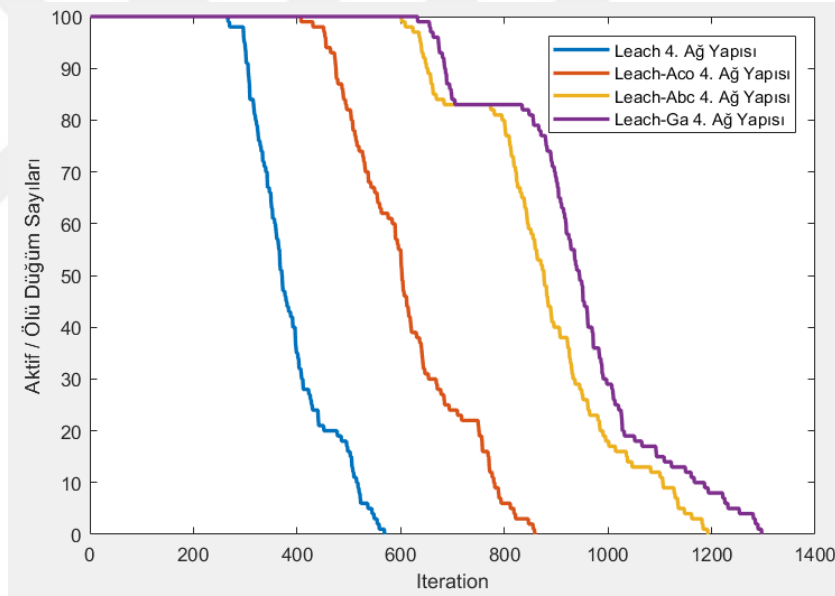
## 4.7 Üçüncü Ağ Yapısının Karşılaştırılması

Çizelge 4. 15 Üçüncü Ağ Yapısı için Karşılaştırma Sonuçları

Proje	Çevrim Sayısı	Veri Paketi Sayısı
LEACH	579	38975
LEACH-ACO	897	62961
LEACH-ABC	1216	88476
LEACH-GA	1304	94914

Yukarıda verilen Çizelge 4.15’de üçüncü ağ yapısı için karşılaştırma sonuçları verilmiştir. Çizelge incelediğinde en iyi sonucu LEACH-GA verirken LEACH-ACO 50 düğümlü olan birinci ve ikinci sistemdeki verdiği sonuçlara ters normale uzak bir sonuç elde etmiştir.

### 4.7.1. Üçüncü Ağ Yapısı için Aktif/Ölü Düğüm Sayısı

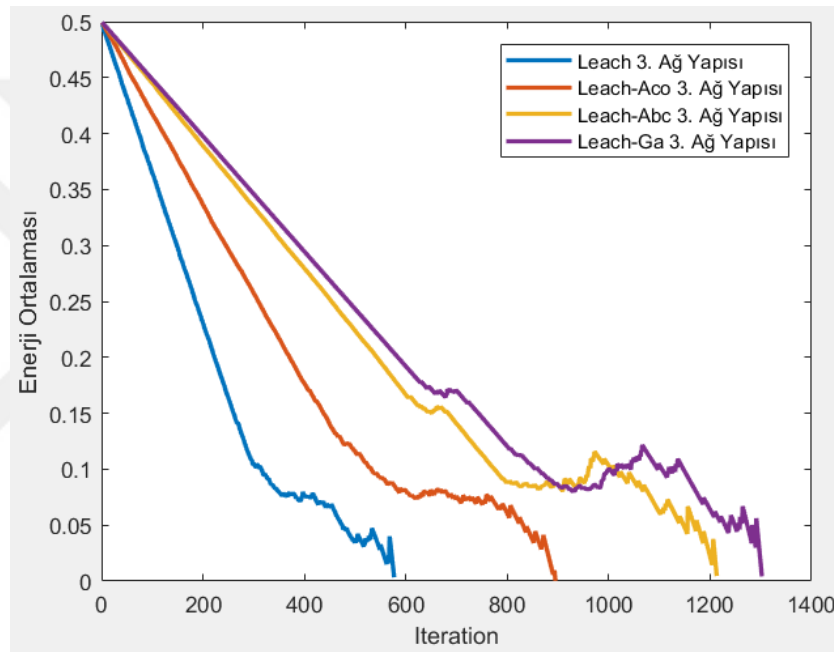


Şekil 4.13 Üçüncü Ağ Yapısı için Aktif/Ölü Düğüm Sayısı

Üçüncü ağ modeli için çevrim sayısı ortalama enerji değerleri grafiksel olarak şekil 4.13’de verilmiştir. LEACH-ABC ve LEACH-GA protokolleri 800-840 arası çevrimlerde birbirine yakın aktif düğüm sayısı verse de en iyi sonucu LEACH-GA vermiştir. LEACH protokolü 269. çevrimde ilk algılayıcı düğüm tüm enerjisini, LEACH-ACO protokolü 411. çevrimde ilk algılayıcı düğüm tüm enerjisini, LEACH-ABC protokolü 607. çevrimde ilk algılayıcı düğüm tüm enerjisini, LEACH-GA protokolü 631. çevrimde ilk algılayıcı düğüm tüm enerjisini kaybetmiştir. İncelemek

için 478. çevrime bakıldığında LEACH protokolünde 19 aktif düğüm bulundururken, LEACH-ACO %571,42 artış ile 94 aktif düğüm, LEACH-ABC ve LEACH-GA %426,31 artış ile 100 aktif düğüm bulunmaktadır. LEACH ve LEACH-ACO protokolleri kısa sürede tüm enerjilerini tükettiği için LEACH-ABC ve LEACH-GA protokollerini 888. çevrimde tekrar incelenecektir. 888. çevrim incelendiğinde LEACH-ABC protokolünde 47 aktif düğüm bulundururken, LEACH-GA protokolünde %53,19 artış ile 72 aktif düğüm bulunmaktadır.

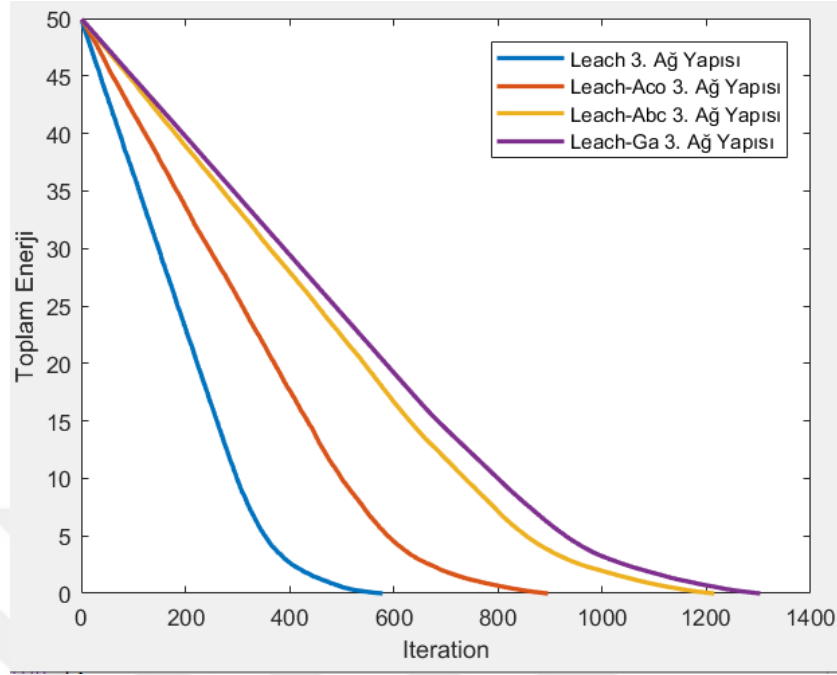
#### 4.7.2. Üçüncü Ağ Yapısı için Ortalama Enerji Değişimi



Şekil 4.14 Üçüncü Ağ Yapısı için Enerji Ortalaması Değişimi

Üçüncü ağ modeli için her bir tur sonunda ağ yapısında düğümlerin ortalama enerji değerleri grafiksel olarak şekil 4.14 de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde 950-1000 çevrimlerinde LEACH-ABC protokolü LEACH-GA protokolüne göre başarı elde etmiş ise de sonuç olarak LEACH-GA daha başarılı bir grafik vermektedir. LEACH protokolü 579 çevrimde algılayıcı düğümler tüm enerjisini, LEACH-ACO protokolü 897 çevrimde algılayıcı düğümler tüm enerjisini, LEACH-ABC protokolü 1216 çevrimde algılayıcı düğümler tüm enerjisini, LEACH-GA protokolü 1304 çevrimde algılayıcı düğümler tüm enerjisini kaybetmiştir.

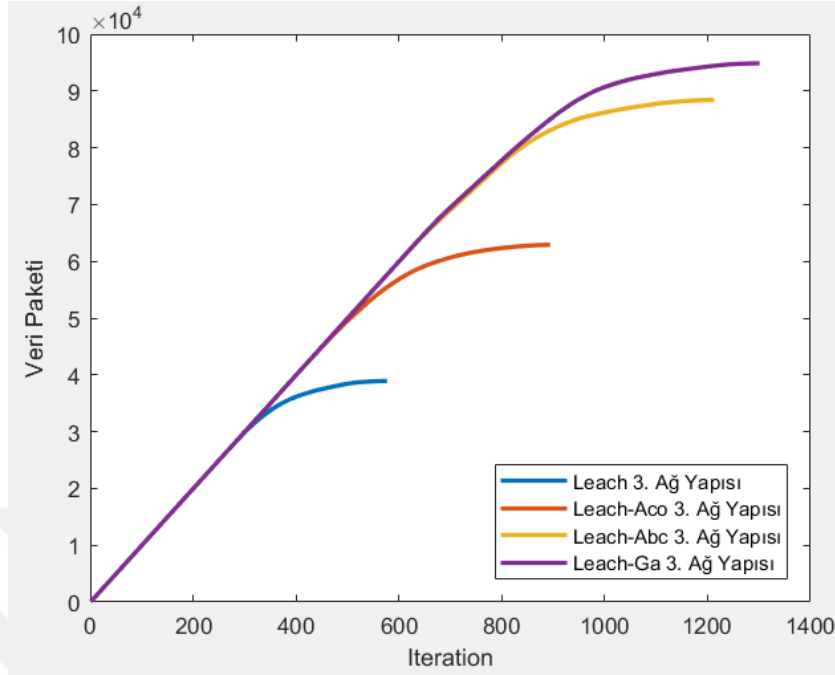
### 4.7.3 Üçüncü Ağ Yapısı için Toplam Enerji Değişimi



Şekil 4.15 Üçüncü Ağ Yapısı için Toplam Enerji Değişimi

Üçüncü ağ modeli için her bir tur sonunda ağ yapısında bulunan toplam enerji değerleri grafiksel olarak şekil 4.15 de gösterilmiştir. Grafığe göre; LEACH protokolünde 579 çevrim yapılırken, LEACH-ACO protokolü %54,92 artış ile 897 çevrim, LEACH-ABC protokolü %110,01 artış ile 1216 çevrim, LEACH-GA protokolü %125,21 artış ile 1304 çevrim gerçekleştirmiştir. İncelemek için 478. çevrimde dört protokol için toplam enerji değerlerini inceleyecek olursak; LEACH protokolünde aktif 19 düğüm için toplam 0.9162 J enerji bulunurken, LEACH-ACO protokolünde aktif 94 düğüm için %1.154,14 artış ile 11.4905 J enerji, LEACH-ABC protokolünde aktif 100 düğüm için %2.475,85 artış ile 23.6000 J enerji, LEACH-GA protokolünde aktif 100 düğüm için %2.678,12 artış ile 25.4532 J enerji bulunmaktadır. LEACH ve LEACH-ACO protokolleri kısa sürede tüm enerjilerini tükettiği için LEACH-ABC ve LEACH-GA protokollerini 888. çevrimde tekrar incelenecektir. 888. çevrim incelendiğinde LEACH-ABC protokolünde 47 aktif düğüm için 3.9899 J enerji bulunurken, LEACH-GA protokolünde 72 aktif düğüm için %61,50 artış ile 6.4440 J enerji bulunmaktadır.

#### 4.7.4 Üçüncü Ağ Yapısı için Veri Gönderimi



Şekil 4.16 Üçüncü Ağ Yapısı için Veri Paketi Değişimleri

Üçüncü ağ modeli için her bir tur sonunda ağ yapısında her çevrim sonunda gönderilen veri değerleri grafiksel olarak şekil 4.16 da gösterilmiştir. Grafiğe göre; LEACH protokolü 579 çevrim sonunda toplamda 38975 veri paketi gönderilirken, LEACH-ACO protokolü 897 çevrim sonunda %61,54 artış ile toplamda 62961, LEACH-ABC protokolü 1216 çevrim sonunda %127,00 artış ile toplamda 88476, LEACH-GA protokolü 1304 çevrim sonunda %143,52 artış ile toplamda 94914 veri transferi gerçekleştirmiştir. İncelemek için 478. çevrimde dört protokol için toplam veri paketi gönderimlerini inceleyecek olursak; LEACH protokolünde 38051 veri paketi gönderilirken, LEACH-ACO protokolünde %24,98 artış ile 47558, LEACH-ABC protokolünde %25,48 artış ile 47750, LEACH-GA protokolünde %25,48 artış ile 47750 veri paketi gönderilmiştir. LEACH ve LEACH-ACO protokolleri kısa sürede tüm enerjilerini tükettiği için LEACH-ABC ve LEACH-GA protokollerini 888. çevrimde tekrar incelenecektir. 888. çevrim incelendiğinde LEACH-ABC protokolünde 82798 veri paketi gönderilirken, LEACH-GA protokolünde %2,16 artış ile 84587 veri paketi gönderilmiştir.

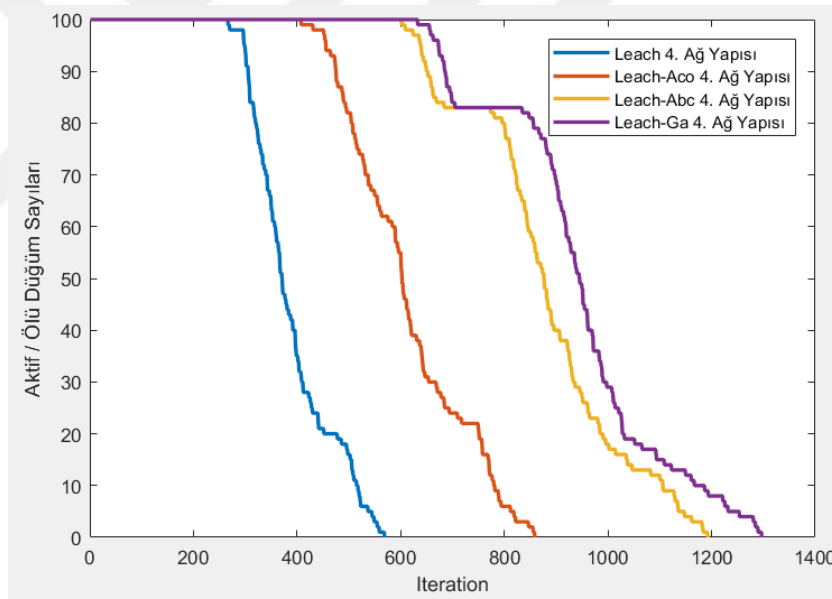
## 4.8 Dördüncü Ağ Yapısının Karşılaştırılması

Çizelge 4. 16 Dördüncü Ağ Yapısı için Karşılaştırma Sonuçları

Proje	Çevrim Sayısı	Veri Paketi Sayısı
LEACH	570	38778
LEACH-ACO	860	61292
LEACH-ABC	1194	87830
LEACH-GA	1298	94140

Yukarıda verilen Çizelge 4.16'da üçüncü ağ yapısı için karşılaştırma sonuçları verilmiştir. Çizelge incelediğinde en iyi sonucu LEACH-GA verirken LEACH-ACO 50 düğümlü olan birinci ve ikinci sistemdeki verdiği sonuçlara ters, normale uzak bir sonuç elde etmiştir.

### 4.8.1 Dördüncü Ağ Yapısı için Aktif/Ölü Düğüm Sayısı

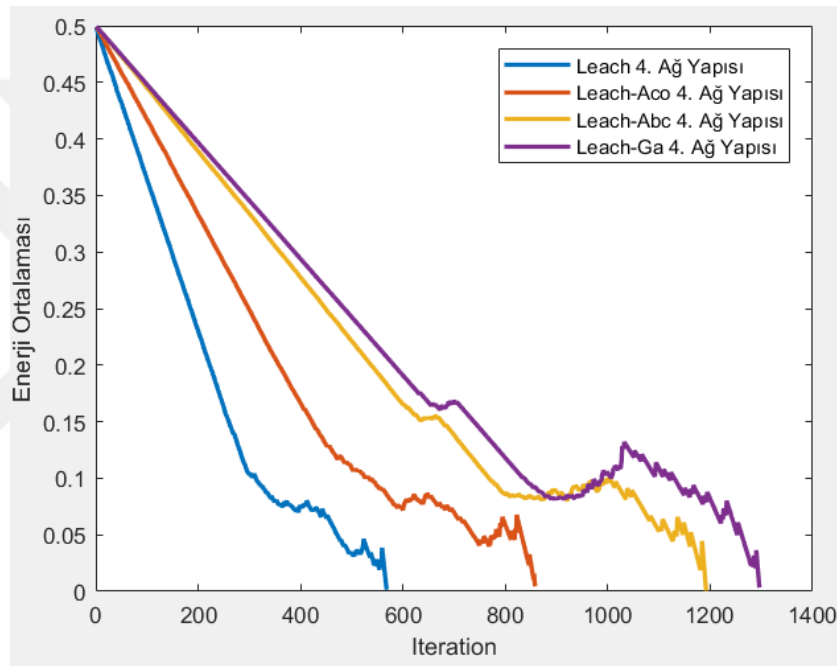


Şekil 4.17 Dördüncü Ağ Yapısı için Aktif/Ölü Düğüm Sayısı

Dördüncü ağ modeli için çevrim sayısı ortalama enerji değerleri grafiksel olarak şekil 4.17'de verilmiştir. LEACH-ABC ve LEACH-GA protokolleri 800-840 arası çevrimlerde birbirine yakın aktif düğüm sayısı verse de en iyi sonucu LEACH-GA vermiştir. LEACH protokolü 268. çevrimde ilk algılayıcı düğüm tüm enerjisini, LEACH-ACO protokolü 409. çevrimde ilk algılayıcı düğüm tüm enerjisini, LEACH-ABC protokolü 603. çevrimde ilk algılayıcı düğüm tüm enerjisini, LEACH-GA protokolü 634. çevrimde ilk algılayıcı düğüm tüm enerjisini kaybetmiştir. İncelemek

için 478. çevrime bakıldığında LEACH protokolünde 19 aktif düğüm bulundururken, LEACH-ACO %363,15 artış ile 88 aktif düğüm, LEACH-ABC ve LEACH-GA %426,31 artış ile 100 aktif düğüm bulunmaktadır. LEACH ve LEACH-ACO protokolleri kısa sürede tüm enerjilerini tükettiği için LEACH-ABC ve LEACH-GA protokollerini 888. çevrimde tekrar incelenecektir. 888. çevrim incelendiğinde LEACH-ABC protokolünde 44 aktif düğüm bulundururken, LEACH-GA protokolünde %68,18 artış ile 74 aktif düğüm bulunmaktadır.

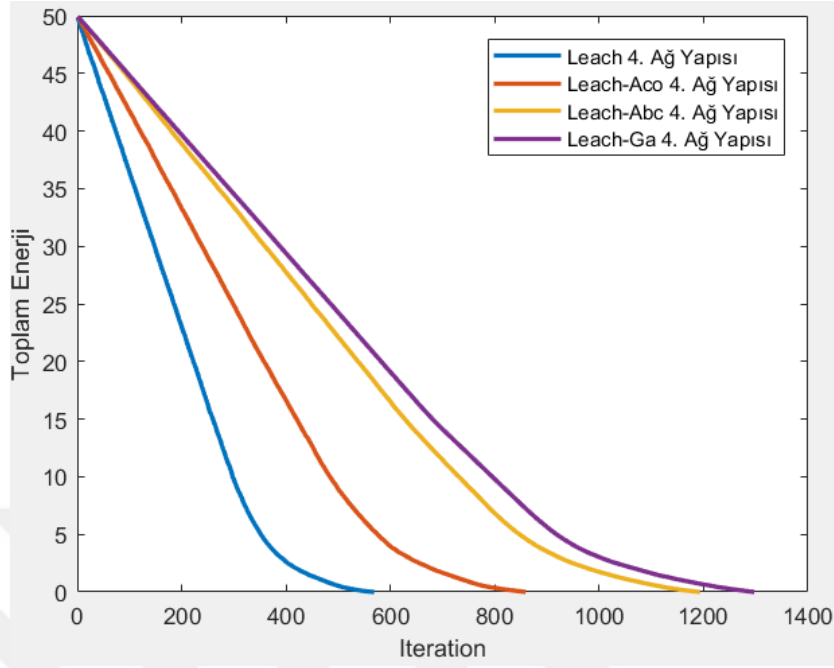
#### 4.8.2 Dördüncü Ağ Yapısı için Ortalama Enerji Değişimi



Şekil 4.18 Dördüncü Ağ Yapısı için Enerji Ortalaması Değişimi

Dördüncü ağ modeli için her bir tur sonunda ağ yapısında düğümlerin ortalama enerji değerleri grafiksel olarak şekil 4.18 de gösterilmiştir. LEACH protokolü 570 çevrimde algılayıcı düğümler tüm enerjisini, LEACH-ACO protokolü 860 çevrimde algılayıcı düğümler tüm enerjisini, LEACH-ABC protokolü 1194 çevrimde algılayıcı düğümler tüm enerjisini, LEACH-GA protokolü 1298 çevrimde algılayıcı düğümler tüm enerjisini kaybetmiştir.

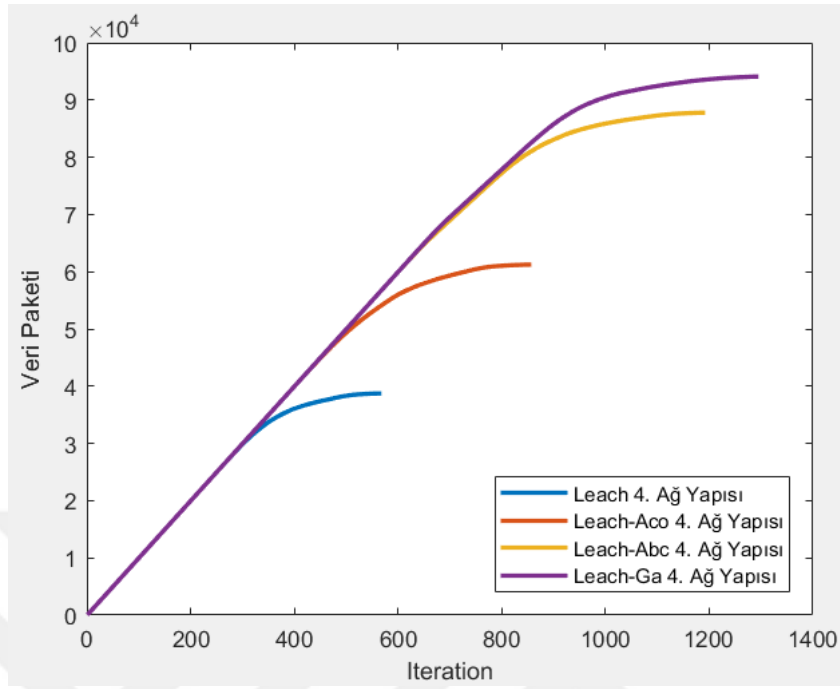
### 4.8.3 Dördüncü Ağ Yapısı için Toplam Enerji Değişimi



Şekil 4.19 Dördüncü Ağ Yapısı için Toplam Enerji Değişimi

Dördüncü ağ modeli için her bir tur sonunda ağ yapısında bulunan toplam enerji değerleri grafiksel olarak şekil 4.19 da gösterilmiştir. Grafığe göre; LEACH protokolünde 570 çevrim yapılırken, LEACH-ACO protokolü %50,87 artış ile 860 çevrim, LEACH-ABC protokolü %109,47 artış ile 1194 çevrim, LEACH-GA protokolü %127,71 artış ile 1298 çevrim gerçekleştirmiştir. İncelemek için 478. çevrimde dört protokol için toplam enerji değerlerini inceleyecek olursak; LEACH protokolünde aktif 19 düğüm için toplam 0.8707 J enerji bulunurken, LEACH-ACO protokolünde aktif 88 düğüm için %1.097,35 artış ile 10.4254 J enerji, LEACH-ABC protokolünde aktif 100 düğüm için %2.582,03 artış ile 23.3525 J enerji, LEACH-GA protokolünde aktif 100 düğüm için %2.815,05 artış ile 25.3814 J enerji bulunmaktadır. LEACH ve LEACH-ACO protokolleri kısa sürede tüm enerjilerini tükettiği için LEACH-ABC ve LEACH-GA protokollerini 888. çevrimde tekrar incelenecektir. 888. çevrim incelendiğinde LEACH-ABC protokolünde 44 aktif düğüm için 3.8024 J enerji bulunurken, LEACH-GA protokolünde 74 aktif düğüm için %59,89 artış ile 6.0798 J enerji bulunmaktadır.

#### 4.8.4. Dördüncü Ağ Yapısı için Veri Gönderimi



Şekil 4.20 Dördüncü Ağ Yapısı için Veri Paketi Değişimleri

Dördüncü ağ modeli için her bir tur sonunda ağ yapısında her çevrim sonunda gönderilen veri değerleri grafiksel olarak şekil 4.20 de gösterilmiştir. Grafiğe göre; LEACH protokolü 570 çevrim sonunda toplamda 38778 veri paketi gönderilirken, LEACH-ACO protokolü 860 çevrim sonunda %58,05 artış ile toplamda 61292, LEACH-ABC protokolü 1194 çevrim sonunda %126,49 artış ile toplamda 87830, LEACH-GA protokolü 1298 çevrim sonunda %142,76 artış ile toplamda 94140 veri transferi gerçekleştirmiştir. İncelemek için 478. çevrimde dört protokol için toplam veri paketi gönderimlerine bakacak olursak; LEACH protokolünde 37930 veri paketi gönderilirken, LEACH-ACO protokolünde %25,16 artış ile 47475, LEACH-ABC protokolünde %25,88 artış ile 47750, LEACH-GA protokolünde %25,88 artış ile 47750 veri paketi gönderilmiştir. LEACH ve LEACH-ACO protokolleri kısa sürede tüm enerjilerini tükettiği için LEACH-ABC ve LEACH-GA protokollerini 888. çevrimde tekrar incelenecektir. 888. çevrim incelendiğinde LEACH-ABC protokolünde 82598 veri paketi gönderilirken, LEACH-GA protokolünde %2,82 artış ile 84929 veri paketi gönderilmiştir.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında, teknolojinin gelişmesi ile birlikte sağlık, tarım, askeri gibi insan hayatını etkileyen çok bir alanda kullanımı yaygınlaşan Kablosuz Algılayıcı Ağ'ların veri alışverişi sırasında harcadıkları enerji tüketiminin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu tez çalışmasında, Çok Atlamalı LEACH yönlendirme protokolünü kullanan KAA'larda algılayıcı düğümlerin enerji kayıplarını azaltmak ve KAA'nın aktif kalma süresini arttırmak için Karınca Kolonisi Algoritması, Yapay Arı Kolonisi Algoritması ve Genetik algoritmaya dayalı 3 farklı yöntem sunulmuştur. Önerilen LEACH-ACO, LEACH-ABC, LEACH-GA protokollerinde her çevrim sırasında verilerin toplanarak iletileceği küme başları önerilen sezgisel algoritmalar ile seçilmiştir.

Tez çalışması kapsamında, bir kablosuz algılayıcı ağ ortamının oluşturulması için LEACH ile birlikte geliştirilen üç farklı yöntemin sonuçlarının karşılaştırılması için MATLAB R2017b yazılımında dört model geliştirilmiştir. Geliştirilen dört farklı modelde ağ geçidinin koordinatları algılayıcı düğüm sayısı  $n=50$  için  $x=25, y=25$  ve  $x=1, y=10$  olmak üzere farklı iki ağ yapısı üzerinde, algılayıcı düğüm sayısı  $n=100$  için  $x=50, y=50$  ve  $x=1, y=10$  olmak üzere farklı iki ağ yapısı üzerine konumlandırılmıştır. Test sonuçlarına göre karşılaştırma yapılmış ve elde edilen kazanımlar aşağıda verilmiştir.

- Bir kablosuz algılayıcı ağda kullanılan algılayıcı düğüm sayısı, LEACH protokolünün her yönden performansını önemli ölçüde değiştirmektedir. Örnek olarak; Çizelge 5.1 de görüldüğü gibi; Normal LEACH Protokolünde düğüm sayısının 50 olduğu birinci ve ikinci ağ yapısında çevrim sayıları 958 ve 947 olurken, düğüm sayısı 100'e çıktığında çevrim sayıları 579 ve 570'e düştüğü gözlenmektedir.
- Geliştirilen üç farklı yöntemde de düğüm sayıları artsa da çevrim sayısında normale göre bir düşüş yaşanmamaktadır. Mesela LEACH protokolünde 50 düğümlü bir ağda 1386 çevrim sayısına sahipken 100 düğümlü bir ağda 1304 çevrim sayısına sahiptir. LEACH e göre bir iyileştirme söz konusu olmuştur.

LEACH-GA yöntemi diğer yöntemlere göre daha iyi bir sonuç vermektedir. Çevrim sayısı veri paketi sayısını da etkilemektedir.

**Çizelge 5. 1 Dört Ağ Yapısı için Enerji Tüketimleri**

Protokol	1.AĞ	2.AĞ	3.AĞ	4.AĞ
LEACH	958	947	579	570
LEACH-ACO	1007	1006	897	860
LEACH-ABC	1258	1250	1216	1194
LEACH-GA	<b>1386</b>	<b>1386</b>	<b>1304</b>	<b>1298</b>
<i>(% iyileşme)<sub>enişi</sub></i>	<b>%41,67</b>	<b>%46,35</b>	<b>%125,21</b>	<b>%109,47</b>

**Çizelge 5. 2 Dört Ağ Yapısı için Veri Paketi Gönderim Sayıları**

Protokol	1.AĞ	2.AĞ	3.AĞ	4.AĞ
LEACH	32062	31830	38975	38778
LEACH-ACO	34365	33647	62961	61292
LEACH-ABC	45835	45606	88476	87830
LEACH-GA	<b>49616</b>	<b>49581</b>	<b>94914</b>	<b>94140</b>
<i>(% iyileşme)<sub>enişi</sub></i>	<b>%54,75</b>	<b>%55,76</b>	<b>%143,52</b>	<b>%142,76</b>

- Çizelge 5.2 incelendiğinde düğüm sayısı arttığında tur sayısı azalsa da veri gönderim sayısında artış gözlenmektedir. LEACH-GA yöntemi üçüncü ağ yapısında %143,52 lik bir başarı ile daha fazla veri paketi gerçekleştirmiştir.
- LEACH-GA yöntemi diğer geliştirilen iki yönteme göre her açıdan en başarılı sonuçları vermektedir.
- Kablosuz algılayıcı ağ sistemlerinde merkez düğümün ortada olmaması tur ve veri paketi sayısını olumsuz yönde etkilemektedir. 50 düğümlü sistemlerde geliştirilen üç yöntemde merkezi düğümün ortada olmasına göre sayı olarak geride kalsa da başarı yüzdesi olarak öne geçmiştir.

Sonuç olarak; bu tez çalışması kapsamında Kablosuz Algılayıcı Ağlarda enerji tüketimi optimizasyonu için sunulan karınca kolonisi algoritması, yapay arı kolonisi ve genetik algoritmaya dayalı 3 farklı yöntem özellikle algılayıcı düğüm sayısının fazla olduğu algılayıcı ağ yapılarında LEACH protokolüne göre çok daha iyi sonuç vermektedir. Fakat en iyi sonucu veren LEACH-GA yöntemi olmuştur. 50 düğümlü

sistemlerde LEACH-GA yöntemi LEACH protokolüne göre tur sayısını %50 e varan oranda, veri paketi sayısında %60 a varan oranda arttırdığı görülmektedir. 100 düğümlü sistemlerde LEACH-GA protokolü LEACH protokolüne göre tur sayısını %130 a varan oranda, veri paketi sayısında %150 ye varan oranda arttırdığı görülmektedir. Algılayıcı düğüm sayısı arttığında LEACH-GA yönteminin daha iyi başarı oranı vereceği öngörülmektedir.

Kadir Tohma vd. tarafından 2015 yılında LEACH protokolünün iyileştirilmesi için bir çalışma geliştirilmiştir. Yapılan çalışmaya göre küme başlarının seçiminin rastgele yapılmasını değiştirmek ve küme başı seçilecek olan düğümün enerjilerini hesaba katılması için kümeleme tabanlı bir yönlendirme algoritması önerilmiştir. LEACH protokolü önerilen algoritma ile 40 ile 100 arasında değişen düğüm sayıları birlikte test edilmiştir. LEACH protokolüne kıyasla düğüm ömründe %20'ye varan, veri iletimi sayısında %31'e varan bir başarı gözlenmiştir (Tohmave diğerleri, 2015) .

Göksel Türkoğlu tarafında 2013 yılında kablosuz algılayıcı ağlarda enerji tasarrufu için genetik algoritma tabanlı algoritma sunulmuştur. Genetik algoritma yaklaşımı ile düğümlerin kalan enerji hesaba katılarak en iyi çözüm kümesi seçilerek düğümlerin kolektif yapı içerisinde hareket ederek ağın ömrünü uzatılmaya çalışılmıştır. Yapılan test sonuçları genetik algoritma kullanılarak geliştirilen kümeleme algoritması normal LEACH protokolüne göre daha başarılı olduğunu ve enerji tasarrufu sağladığı gözlenmiştir (Türkoğlu, 2013) .

Derviş Karaboğa ve Selçuk Öktem tarafından 2009 yılında kablosuz algılayıcı ağlarda optimum yönlendirme işlemi yapmak için karınca kolonisi algoritması tabanlı bir yöntem geliştirilmiştir. Kablosuz algılayıcı ağlar üzerin 200x200 m<sup>2</sup> lik alanda düğüm sayısı 50,100 ve 200 olarak test edilmiştir. Test sonuçlarına göre ağ ömrünü arttırarak daha uzun performanslı sonuçlar ürettiği görülmüştür (2009) .

Hüseyin Fehmi Selim Bayraklı tarafından 2013 yılında kablosuz algılayıcı ağlarda optimum yaşam süresini arttırmak için genetik algoritma tabanlı bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemin amacı en uygun küme yapılanmasını sağlayarak ağın ömrünü uzatmasıdır. Ağ yapısı küme başlarını düğümlerin arasından rastgele seçmektedir. Küme başları arasında çok atlamalı yapısı kullanılarak enerji verimliliği

sağlandığı gözlemlenmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında ağ yaşam süresinin geliştirilen yöntemle arttığı gözlemlenmiştir (Bayraklı, 2013) .

Yukarıda incelenen literatür araştırmalarına göre kablosuz algılayıcı ağlarda sezgisel algoritma tabanlı yöntemlerin kullanımı ve başarımları ortadadır. Bu çalışmalar, ortaya konan tez çalışmasında da elde edilen sonuçları destekler niteliktedir. KAA larda enerji verimliliğini optimize ederek, ağ üzerinden gönderilecek veri miktarını arttırmak için sezgisel algoritmalar başarıyla kullanılabilir.



## KAYNAKÇA

A New Approach For Sensor Scheduling İn Wireless Sensor Networks Using Simulated Annealing. Mapparm, Rahmaniam, Asthariah2009. Fourth International Conference On Computer Sciences And Convergence Information Technology.

Ahmadmasoodve Diğerleri honey Bee Algorithm–Based Efficient Cluster Formation And Optimization Scheme İn Mobile Ad Hoc Networks. Honey Bee Algorithm–Based Efficient Cluster Formation And Optimization Scheme İn Mobile Ad Hoc Networks. 2017, Cilt 13.

Ahmed A.Ahmed, Hongchishi, Yishanga Survey On Network Protocols For Wireless Sensor Networks. 2003, S.301-305.

Akyol Sinem, Alataş Bilalgüncel Sürü Zekâsı Optimizasyon Algoritmaları. 2012.

Applications Of Industrial Wireless Sensor Networks. Erdeljm, Mittonn, Natalizioe2013, S.1-28.

Aydın Hakanyazılıma Dair Hakan AYDIN. [Çevrimiçi]17 07 2018. [Alıntı Tarihi: 22 04 2022. ]<https://Yazilimdnyasi.Wordpress.Com/2018/07/17/Kablosuz-Algilayici-Aglar/>.

Bayraklıhüseyin Fehmi Selimkablosuz Algılayıcı Ağlarda Optimum Yaşam Süresi İçin Enerji Verimli Sezgisel Bir Yöntem Geliştirilmesi . İstanbul, 2013.

Behera T.M., Mohapatra S.K., Samal U.C.Hybrid Heterogeneous Routing Scheme For İmproved Network Performance İn Wsns For Animal Tracking. 2019, Cilt 6.

Bharti A, Devi C, Bhatia Vgenetic Algorithm Based Optimized Leach Protocol For Energy Efficient Wireless Sensor Networks,” Journal Of Ambient Intelligence And Humanized Computing. 2015, S.1-4.

Bhatia Tve Diğerleri Genetic Algorithm Based Distance-Aware Routing Protocol For Wireless Sensor Networks. 2016, Cilt 56, S.441-455.

Bhola J, Soni S, Cheema Ggenetic Algorithm Based Optimized Leach Protocol For Energy Efficient Wireless Sensor Networks,” Journal Of Ambient Intelligence And Humanized Computing. 2019, S.1-8.

Boyacı Aytuğ, Ata Fikret, Balıkhasan Hüseyintelsiz Duyarga Ağlarda Enerji Farkındalıklı Yönlendirme Mimarisi Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi . 2012.

Cevreu, Özkan, UğurGezgin Satıcı Probleminin Genetik Algoritmalarla Eniyilemesi Ve Etkileşimli Olarak İnternet Üzerinde Görselleştirilmesi. Ankara,2007.

Chen Yve DiğerleriLeach Algorithm Based On Energy Consumption Equilibrium.2018, S.677-680.

DemircioğluMaraç Rotalama Probleminin Sezgisel Bir Yaklaşım İle Çözümü Üzerine Bir Uygulama. 2009.

Dener M.A New Energy Efficient Hierarchical Routing Protocol For Wireless Sensor Networks. 2018, Cilt 101, S.269–286.

Distributed Fuzzy Logic Based Energy-Aware And Coverage Preserving Unequal Clustering Algorithm For Wireless Sensor Networks. MazumdarNabajyoti , Omhari 2017, International Journal Of Communication Systems, Cilt 30.

Dong Yve DiğerleriZigbee Based Energy Efficient Reliable Routing İn Wireless Sensor Network: Study And Application. 2011.

Dorigom, Dicarog, Gambardella.Mant Algorithms For DiscreteOptimization. 1999, S.137-172.

Fedorszymon, CollierMartinon The Problem Of Energy Efficiency Of Multi-Hop Vs One-Hop Routing İn Wireless Sensor Networks. 2007.

Genetic Algorithm Based Optimized Leach Protocol For Energy Efficient Wireless Sensor Networks. Bholaj, Sonis, Cheemagk2019, Journal Of Ambient Intelligence And Humanized Computing, S.1-8.

Goldberg D.E.Genetic Algorithms İn Search Optimization And Machine Learning. 1989.

Gowrishankar, AG.Reenergy Efficient Clustering And Routing İn A Wireless Sensor Networks. 2018.

Gülbaş Gülşah, Çetingürçantavlama Benzetimi Algoritması İle Geniş Ölçekli Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Leach Protokolünün Optimizasyonu. 2020, S.67-79.

Ihsan Ave DiğerleriFormal Comparison Of LEACH And İts Extensions. 2019, S.119-127.

Jamal A.K., A. Ekamalefficient Virtual-Backbone Routing İn Mobile And Ad-Hoc Networks. 2008, S.327-350.

Jhollandadaptation İn Natural And Artificial Systems, University Of Michigan Press, Ann Arbor. 1975.

Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Karınca Koloni Optimizasyonu Kullanılarak Yapılan Optimum Yönlendirme İşlemi. 2009, S.1-7.

Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Kullanılan Güncel Çoklu Yönlendirme Algoritmaları. Akbale, Gültena, Balıkh1, 2012, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 1, S.50-58.

KaraboğaDervisIdea Based On Honey Bee Swarm For Numerical Optimization. Kayseri, 2005.

Keskintürk, SöylerGlobal Karınca Kolonisi Optimizasyonu”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesidergisi. 2006, Cilt 21, S.689-698.

Khan A.R.Ve DiğerleriComparative Study Ofwsn Protocols (LEACH, PEGASIS And TEEN). 2015.

Lindsey S, C. Sraghavendrapegasis: Power-Efficient Gathering İn Sensor Information Systems. 2002.

Lindseystephanie, Raghavendracauligi S.PEGASIS: Power-Efficient Gathering İn Sensor İnformation Systems. 2002, S.1125-1130.

Madhu A, Kumaraveluvbscalable And Sustainable Wireless Sensor Networks For Agricultural Application Of Internet Of Things Using Fuzzyc-Means Algorithm. 2019, Cilt 22, S.62-74.

Mahmadve DiğerleriHoney Bee Algorithm–Based Efficient Cluster Formation And Optimization Scheme İn Mobile Ad Hoc Networks,” International Journal Of Distributed. 2017, Cilt 13.

Mazumdar N, Om Hdistributed Fuzzy Logic Based Energy-Aware And Coverage Preserving Unequal Clustering Algorithm For Wireless Sensor Networks,” International Journal Of Communication Systems. 2017, Cilt 30.

Mehrapawan Singh, Doja Mohammad Najmud, Alambashirfuzzy Based Enhanced Cluster Head Selection (FBECS) For WSN. 2018.

MohammaedAli Qasim, Myderrizi Indritimprovement Of Cluster Head Selection İn. İstanbul, , 2021, S.3-7.

Özbakır L, Tapkan P.Z.Bee Colony İntelligence İn Zone Constrained Two-Sided Assembly Line Balancing Problem. 2011.

Özdemir, S. Karınca Kolonisi Algoritması İle Bilgisayar Ağlarının Topolojik En İyi Hali. 2008, S.25.

Özkan, B. Dinamik Gezgin Satıcı Probleminin Çözümü İçin Bir Eniyileme Kütüphanesinin Tasarımı Ve Görsel Yazılım Geliştirme Ortamı İle Birlikte Gerçekleştirimi. 2008, S.43.

Qiang T, Bingwen W, Zhicheng D. MS-Leach: A Routing Protocol Combining Multi-Hop Transmissions And Single-Hop Transmissions. 2009, S.107-110.

Radhika S, Rangarajan. P. Improving The Lifespan Of Wireless Sensor Networks With Fuzzy Based Clustering And Machine Learning Based Data Reduction. 2019, Cilt 83, S.1-9.

Radhika S, Rangarajan. P. Improving The Lifespan Of Wireless Sensor Networks With Fuzzy Based Clustering And Machine Learning Based Data Reduction. 2019, S.1-9.

Ramluckun N, V. Bassoo. Energy-Efficient Chain-Cluster Based Intelligent Routing Technique For Wireless Sensor Networks,” Applied Computing And Informatics. 2018.

Rasyid A, Muhtadai, Jabdulrokhim, Performance Analysis LEACH Based Genetic Algorithm In Wireless Sensor. 2019, S.394-399.

Regmi R. ve Diğerleri. Modified LEACH Algorithm For Wireless Sensor Networks İn. 2017, S.3100-3104.

Restoring Coverage Area For WSN Through Simulated Annealing. Habibsaj, Marimuthu. P. 2011, International Journal Of Pervasive Computing And Communications, S.205-219.

Scalable And Sustainable Wireless Sensor Networks For Agricultural Application Of Internet Of Things Using Fuzzy-C-Means Algorithm. Rajputa,

Kumaravelu. V. 2019, Sustainable Computing: Informatics And Systems, Cilt 22, S.62-74.

Serin S, Karınca Kolonisi Yaklaşımıyla Karayolu Üstyapı Rutin Bakım Çalışmalarının Planlanması . Süleyman Demirel Üniversitesi Fen. 2009, S.99.

Sivakumar P, Radhika M. Performance Analysis Of LEACH-GA Over LEACH And LEACH-C İn WSN. 2017.

Sujee R, Kannammal Kenergy Efficient Adaptive Clustering Protocol Based On Genetic Algorithm And Genetic Algorithm İnter Cluster Communication For Wireless Sensor Networks. In 2017 International Conference On Computer Communication And Informatics. 2017, S.1-6.

Tohmakadir, Abasıkeleş Turgutipek, Aydinmerve Nilaykabloşuz Algılayıcı Ağlarda LEACH Protokolünün İyileştirilmesi. 2015.

TürkoğluGökselkabloşuz Algılayıcı Ağlarda Enerji Tasarrufu İçin Genetik Algoritma Tabanlı Bir Kmeleme Algoritması. Muğla, , 2013.

Ullo Silvia L, Sinhagradvances İn Smart Environment Monitoring Systems Using Iot And Sensors. Basel, Yazarı Bilinmiyor, 2020, S.11-20.

Vadlamudi R., D. Sumara Review Of APTEEN İn Wireless Sensor Networks. 2013, S.306-311.

Whitley L.D.Foundations Of Genetic Algorithms-2,. California, 1993.

Wireless Sensor Network Security İn Military Application Using Unmanned Vehicle. Madhua, Sreekumara2014, International Journal Of Electronics And Communication Engineering, S.51-58.

Yang Tve DiđerleriWireless Routing Clustering Protocol Based On Improved LEACH Algorithm.2017, S.1-6.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Ad Soyad : A\*\*\*\*\*i D\*\*\*\*\*L

Uyruk : T.C.

Doğum Yeri ve Tarihi : A\*\*\*n-1\*\*6

Medeni Hali : Bekar

Telefon : 90 5\*4 6\*0 8\* 6\*

E-posta : b\*\*\*\*\*48@g\*\*\*1.c\*m

### Eğitim

Alınan Derece	Aldığı Kurum/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lise	Muğla Turgut Reis Anadolu Lisesi	2014
Lisans	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi- Bilişim Sistemler Mühendisliği	2018

### İş Tecrübesi

Yıl	Yer	Görev
06/2016 – 08/2017	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığı	Stajyer Öğrenci
11/2017-04/2019	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığı	Kısmi Zamanlı Öğrenci Büro İşçisi
04/2019-Halen	Muğla İl Emniyet Müdürlüğü	Polis Memuru

### Yabancı Dil

Dil (İngilizce)	Başlangıç	Orta	İleri
Okuma/Yazma		X	
Konuşma/Anlama	X		