

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA KARINCA KOLONİ ALGORİTMALI
ROTALAMA İLE ENERJİ ETKİN ROTALAMANIN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Müh. Volkan GANGAL

HAZİRAN 2015
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA KARINCA KOLONİ ALGORİTMALİ ROTALAMA
İLE ENERJİ ETKİN ROTALAMANIN İNCELENMESİ**

Volkan GANGAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"ELEKTRONİK YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 / 05 / 2015

Tezin Savunma Tarihi : 05 / 06 / 2015

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Gökçe HACIOĞLU

Trabzon 2015

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Volkan GANGAL Tarafından Hazırlanan

KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA KARINCA KOLONİ ALGORİTMALİ ROTALAMA
İLE ENERJİ ETKİN ROTALAMANIN İNCELENMESİ

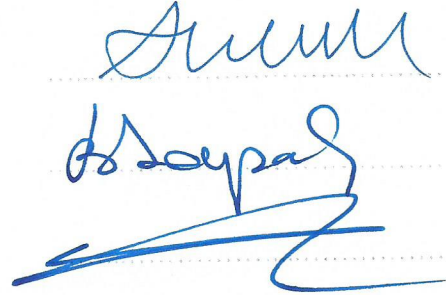
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 12 / 05 / 2015 gün ve 1602 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ali GANGAL

Üye : Doç. Dr. Birol SOYSAL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Gökçe HACIOĞLU



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu derece güncel ve önemli bir konuyu seçmemde bana yardımcı olan ve tüm çalışmam boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. Gökçe HACIOĞLU'na çok teşekkür eder, şükranlarımı sunarım. Ayrıca hayatım boyunca, bana hangi şart ve durumda olursa olsun destek olan sevgili anne ve babama ne kadar teşekkür etsem azdır.

Volkan GANGAL
Trabzon, 2015

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Karınca Koloni Algoritmali Rotalama ile Enerji Etkin Rotalamanın İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Gökçe HACIOĞLU’nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 08/05/2015

Volkan GANGAL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Kablosuz Algılayıcı Ağlar.....	1
1.3. Algılayıcı Düğümlerin Bileşenleri	2
1.3.1. Güç Ünitesi.....	2
1.3.2. İşleme Ünitesi.....	3
1.3.3. Algılama Ünitesi.....	3
1.3.4. İletişim Ünitesi	3
1.4. Uygulama Alanları	3
1.4.1. Askeri Uygulamalar	4
1.4.2. Çevresel Uygulamalar	5
1.4.3. Ulaşım Uygulamaları	5
1.4.4. Sağlık Uygulamaları.....	5
1.4.5. Endüstriyel Uygulamalar.....	6
1.5. Kablosuz Algılayıcı Ağ Topolojileri.....	6
1.5.1. Ortak Yol Topolojisi	6
1.5.2. Yıldız Topolojisi.....	7
1.5.3. Ağaç Topolojisi	7
1.5.4. Örgü (Mesh) Topolojisi.....	8
1.6. Algılayıcı Ağlarda Rotalama.....	8
1.7. Rotalama Algoritmalarının Sınıflandırılması	9
1.7.1. Dağıtılmış Rotalama, Merkezi Rotalama	9

1.7.2.	Kaynak Tabanlı, Durak-Durak Rotalama.....	9
1.7.3.	Deterministik Rotalama, Olasılıksal Rotalama	10
1.7.4.	Tek Duraklı, Çok Duraklı Rotalama	10
1.7.5.	Dinamik Rotalama, Statik Rotalama	10
1.8.	Rotalama Algoritmalarının Bir Başka Sınıflandırılması	11
1.8.1.	Adaptif Olmayan Rotalama	12
1.8.1.1.	En Kısa Yol (Shortest Path) Algoritması	12
1.8.1.2.	Taşkın (Flooding) Algoritması	12
1.8.2.	Adaptif Rotalama	12
1.8.2.1.	Veri Odaklı Rotalama Algoritmaları	12
1.8.2.2.	Hiyerarşik Rotalama Algoritmaları	13
1.8.2.3.	Lokasyon Tabanlı Rotalama Algoritmaları	14
1.9.	Enerji Etkin Çok Duraklı Rotalama	14
1.10.	EEÇD Rotalamada Veri Hızları	16
1.11.	Karınca Kolonilerinin Davranışı	19
1.11.1.	Karınca Koloni Algoritması (Ant Colony Algorithm)	22
1.11.2.	Gezgin Satıcı Problemi.....	23
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	24
2.1.	Birinci Dereceden Radyo İletişim Modeli.....	24
2.2.	Enerji Etkin Çok Duraklı Rotalama Benzetimi	25
2.2.1.	Algılayıcı Düğümlerinin Konumlandırılması	25
2.2.2.	Algoritmanın Temel Adımları.....	26
2.2.3.	Benzetimin Yapılması	27
2.3.	Karınca Koloni Algoritmaları KAA'lar	28
2.3.1.	Algılayıcı Düğümlerinin Konumlandırılması	29
2.3.2.	İleri Karıncaların Gönderilmesi.....	30
2.3.3.	Rota Seçimi ve Buharlaştırma Katsayısı.....	30
2.3.4.	Geri Karıncalar ve Rotanın Belirlenmesi	31
3.	BULGULAR	32
3.1.	Enerji Etkin Çok Duraklı Rotalama ile İlgili Bulgular.....	32
3.2.	KKA Rotalama ile İlgili Bulgular	34
3.2.1.	Düğümlerin Menzillerinin Benzetime Etkileri.....	35
3.2.2.	Baz İstasyonu Konumunun Benzetime Etkileri	40
3.2.3.	Karınca Paket Uzunluğunun Benzetime Etkileri.....	42

3.2.4.	Buharlaşma Katsayısının Benzetime Etkileri.....	45
3.2.5.	Rotalama Periyodunun Benzetime Etkileri	47
3.2.6.	EEÇD Rotalama ile KKA'lı Rotalamanın Karşılaştırılması.....	48
4.	TARTIŞMA.....	50
5.	SONUÇLAR	51
6.	ÖNERİLER	52
7.	KAYNAKLAR.....	53
8.	EKLER	55
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA KARINCA KOLONİ ALGORİTMALI
ROTALAMA İLE ENERJİ ETKİN ROTALAMANIN İNCELENMESİ

Volkan GANGAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Gökçe HACIOĞLU
2015, 54 Sayfa, 2 Sayfa Ek

Kablosuz Algılayıcı Ağlarda algılayıcı düğümlerin kısıtlı enerji kapasiteleri, ağ ömrünü etkileyen ana faktördür. Bu anlamda farklı rotalama yöntemlerinden hangisinin hangi durumda enerji tasarruflu olduğu konusu önemlidir. Bu çalışmada, Kablosuz Algılayıcı Ağlarda, çok duraklı rotalama yöntemlerinden Karınca Koloni Algoritmali Rotalama ile Enerji Etkin Çok Duraklı Rotalama yöntemleri incelenmiştir. Yapılan benzetimlerde, bu iki yöntemin enerji tüketimleri, ağ ömürleri ve baz istasyonuna ulaştırabildikleri toplam paket sayıları karşılaştırılmıştır. Her iki yöntemde de Heinzelman'ın *Mikrosensör Ağlar* için önerdiği enerji modeli kullanılmıştır. Karınca Koloni Algoritmali Rotalama yönteminde, baz istasyonu konumunun, buharlaşma katsayısının, düğüm menzillerinin ve rota güncelleme periyodunun ağ ömrüne etkileri araştırılmıştır. Ayrıca yeni bir karınca paket yapısı önerilmiştir. Karınca hafızasının uzunluğunun (paket boyu), baz istasyonuna ulaştırılan paket sayısını önemli derecede etkilemediği görülmüştür. Baz istasyonu, ağ topolojisine uygun konumlandırılmadığı zaman, ağ ömrü ve baz istasyonuna ulaşan toplam paket sayısı oldukça olumsuz yönde etkilenmiştir. Enerji Etkin Rotalama ile Karınca Koloni Algoritmali Rotalama kıyaslandığında ise Enerji Etkin Rotalama, ağ ömrü bakımından daha iyi sonuç vermiştir. Ancak baz istasyonuna ulaşan paket sayısına bakıldığında Karınca Koloni Algoritmali Rotalamanın Enerji Etkin Rotalamaya göre 2 kat daha başarılı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz algılayıcı ağlar, Çok duraklı rotalama, Karınca koloni algoritması, Enerji etkin çok duraklı rotalama

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF ANT COLONY ALGORITHM BASED ROUTING AND
ENERGY EFFICIENT ROUTING IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

Volkan GANGAL

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Science
Electronic Engineering Graduate Program
Supervisor: Assistant Prof. Dr. Gokce HACIOGLU
2015, 54 Pages 2 Pages Appendix

Limited energy capacity of the sensor nodes is a key factor that has influence on the network lifetime in Wireless Sensor Networks. In this sense, energy efficiency of routing algorithms is an important issue. In this study, *Energy Efficient Routing and Ant Colony Based Routing* protocols are investigated. The both of investigated protocols are multi-hop. The energy consumption, network life and number of packets arrived to base station are compared by the simulations. Heinzelman's energy model for *Microsensor Networks* was used for both methods. The effects on the performance of different parameters such as base station location, evaporation coefficient, update period of routing table and range of sensor nodes were investigated for Ant Colony Based routing. Also a new structure for ant memory is proposed. According to results, length of ant package has not significant influence on the total number of packets arrived to base station. When the base station is not positioned center of network topology, the total number of packets arrived to base station and network lifetime is affected quite negatively. When Energy Efficient Routing compared with Ant Colony Based Routing, performs better in terms of network lifetime. However, Ant Colony Based Routing provides to base station two times more packets than Energy Efficient Routing.

Key Words: Wireless sensor networks, Multi-hop routing, Ant colony algorithm, Energy efficient multi-hop routing.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Bir algılayıcı düğümün temel bileşenleri	2
Şekil 2. Algılayıcı düğümüne bir örnek	2
Şekil 3. IDEF 2013 fuarında sergilenen Havelsan'ın SEZGİN projesi.....	4
Şekil 4. Çevresel uygulamalara bir örnek.....	5
Şekil 5. Ortak yol topolojisine sahip algılayıcı düğümler	6
Şekil 6. Yıldız topolojisine sahip algılayıcı düğümler	7
Şekil 7. Ağaç topolojisine ait bir örnek	7
Şekil 8. Örgü topolojisine sahip kablosuz algılayıcı ağa bir örnek	8
Şekil 9. Algılayıcı düğümlerde rotalama	9
Şekil 10. Rotalama algoritmaları için bir başka sınıflandırma	11
Şekil 11. EEÇD rotalamaya bir örnek	15
Şekil 12. Durak sayısı $H = 2$ olan çok duraklı iletişim örneği	16
Şekil 13. Karıncaların yiyecek kaynağına giden en kısa yolu bulması	20
Şekil 14. Yol üzerine konulan engele karıncaların gösterdiği tepki.....	21
Şekil 15. Gezgin satıcı problemine bir örnek	23
Şekil 16. Birinci derece radyo modeli	24
Şekil 17. Algılayıcı düğümleri ve baz istasyonunun konumlandırılması.....	26
Şekil 18. Enerji etkin çok duraklı rotalama benzetimi	27
Şekil 20. KKA benzetimi için düğümlerin yerleştirilmesi	30
Şekil 21. EEÇD rotalamada hayatta kalan düğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi.....	32
Şekil 22. EEÇD rotalama benzetiminde 1571'inci döngüde düğümlerin güncel enerji düzeyleri.....	33
Şekil 23. EEÇD rotalama benzetiminde baza iletilen paket sayısının döngü sayısına göre değişimi.....	33
Şekil 24. EEÇD rotalamada kalan toplam enerjinin döngü sayısına göre değişimi	34
Şekil 25. Kalan düğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi (Menzil 50 m)	35
Şekil 26. KKA'lı rotalama benzetiminde 2000'inci döngüde ölü ve canlı düğümler	36
Şekil 27. Kalan toplam enerjinin döngü sayısına göre değişimi (Menzil 50 m)	36
Şekil 28. Kalan düğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi (Menzil 45 m)	37
Şekil 29. Kalan toplam enerjinin döngü sayısına göre değişimi (Menzil 45 m)	37
Şekil 30. Kalan düğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi (Menzil 55 m)	38

Şekil 31. Kalan toplam enerjinin döngü sayısına göre değişimi (Menzil 55 m)	38
Şekil 32. Düğümlerin menzil değişiminin baz istasyonuna ulaştırılan toplam paket sayısına etkisi	39
Şekil 33. Algılayıcı menzillerinin kalan toplam enerjiye etkisi	40
Şekil 34. Kalan düğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi (BS köşede).....	40
Şekil 35. Kalan toplam enerjinin döngü sayısına göre değişimi (BS köşede).....	41
Şekil 36. BS konumunun baza ulaştırılan toplam paket sayısına etkisi	41
Şekil 35. BS konumunun baza gönderilen paket sayısına etkisi	42
Şekil 38. Kalan düğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi (KPB 8000 bit).....	43
Şekil 39. Kalan toplam enerjinin döngü sayısına göre değişimi (KPB 8000 bit).....	43
Şekil 40. Kalan düğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi (KPB 12000 bit).....	44
Şekil 41. Kalan toplam enerjinin döngü sayısına göre değişimi (KPB 12000 bit).....	45
Şekil 42. Kalan düğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi ($\rho = 0.3$).....	45
Şekil 43. Kalan toplam enerjinin döngü sayısına göre değişimi ($\rho = 0.3$).....	46
Şekil 44. Kalan düğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi ($\rho = 0.8$).....	46
Şekil 45. Kalan toplam enerjinin döngü sayısına göre değişimi ($\rho = 0.8$).....	47
Şekil 46. Farklı rotalama periyotları için ağda kalan toplam enerji	47
Şekil 47. Farklı rotalama periyotları için baza ulaşan toplam paket sayısı	48
Şekil 48. KKA'lı rotalama benzetimi ile enerji EEÇD rotalama benzetimlerinin baz istasyonuna ulaştırabildikleri paket sayıları	49

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Farklı senaryolar için parametre değerleri	18
Tablo 2. Radyo karakteristikleri	24
Tablo 3. Paket uzunluğunun EEÇD rotalamaya etkisi	34

SEMBOLLER DİZİNİ

ACA	:Ant Colony Algorithm
BS	:Base Station
EEÇD	:Enerji Etkin Çok Duraklı
GAF	:Geographic Adaptive Fidelity
HSPA	:High Speed Packet Access
IDEF	:International Defence Industry Fair
KAAs	:Kablosuz Algılayıcı Ağ
KKA	:Karıncı Koloni Algoritması
LEACH	:Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy
LR	:Long Range
LTE	:Long-Term Evolution
MANET	:Mobile Ad-Hoc Network
SN	:Sensor Node
SNR	:Signal to Noise Ratio
SPIN	:Sensor Protocols for Information via Negotiation
SR	:Short Range
UMTS	:Universal Mobile Telecommunications System
WiMAX	:World Wide Interoperability for Microwave Access
WLAN	:Wireless Local Area Network
$E_{No-coop}$:İşbirliği yokken tüketilen enerji
E_{coop}	:İşbirliği halinde tüketilen enerji
H_{kj}	:k ile j düğümü arasındaki kanal kazancı
M_k	:Karıncı hafızası
$P_{Rx,kj}$:j düğümünün k'dan veri alırken harcadığı güç
$P_{T,kj}$:k düğümünün j düğümüne veri gönderirken harcadığı güç
P_e	:Bit error rate
S_t	:Veri paket boyu
W_{kj}	:k ile j düğümü arasındaki kanalın geçirme bantgenişliği
d_{ij}	:i ile j düğümü arasındaki yolun talep edilirliliği

s_{ij}	:Uzaklık matrisi
α_{kj}^h	:k ile j düğümü arasındaki optimizasyon değişkeni
σ^2	:Termal gürültü gücü
ϕ_0	:Başlangıç feromon düzeyi
ρ	:Feromon buharlaşma katsayısı
δ	:Feromon atım miktarı
η	:Normalize enerji tüketimi
$E_{Tx,kj}$:k düğümünün j düğümüne veri gönderirken harcadığı enerji
$E_{Rx,kj}$:j düğümünün k'dan veri alırken harcadığı enerji

1. GENELBİLGİLER

1.1. Giriş

Kablosuz Algılayıcı Ağların (KAA) tasarlanması ve geliştirilmesi süreci 70'li yılların ortalarında savunma uygulamaları ile başlamıştır. Vietnam savaşında da kullanıldığı bilinen KAA'lar, Amerikan kuvvetlerince ormanlık alanlardaki düşmanların belirlenmesinde kullanılmıştı. Ancak uygulamada, algılayıcıların boyutları, tükettikleri enerjinin fazla olması ve sınırlı ağ kapasiteleri gibi sorunlarla karşılaşıldı [1].

70'li yıllardan itibaren başlayan bu çalışmalar, KAA'ların olası kullanım alanlarının genişliği, oldukça basit yapıları, portatif olmaları, her ortama adapte olabilmeleri ve gelişen teknolojiye açık olmaları gibi nedenlerle artarak devam etmiştir. Başka bir deyişle hayatın her alanındaki çeşitli problemlere uyarlanabilen bu türlü ağ yapıları, oldukça pratik çözümler ürettikleri için araştırmacıların bu alana yönelmelerinde önemli bir rol oynamıştır [2, 3].

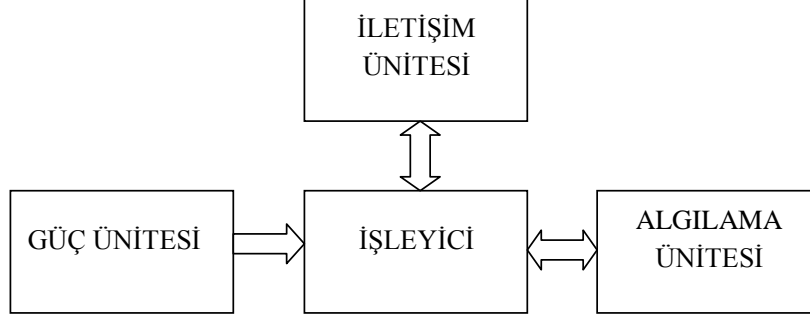
Halihazırda kullanılan kablosuz algılayıcı ağların büyük kısmı, portatif olması nedeniyle bataryalarla çalışmaktadır. Dolayısıyla yapılan çalışmaların büyük bölümü batarya ömrünü uzatmayı amaçlamaktadır. Önerilen farklı protokoller ve rotalama algoritmalarında da en önemli amaç bu olmuştur [1, 3]. Nitekim son yıllarda olumlu gelişmeler kaydedilse de bu problem belli ölçülerde hala devam etmektedir. Dolayısıyla insanların özellikle akıllı cep telefonlarıyla yakından tanıma fırsatı bulup yüzleştiği batarya sorunu bu alanda da başından beri mevcuttur. Son zamanlarda yapılan bazı çalışmalarda güneş enerjisi ile şarj edilebilen bataryaların da kullanıldığı bilinmektedir [4].

1.2. Kablosuz Algılayıcı Ağlar

Kablosuz algılayıcı ağlar; fiziksel veya çevresel şartları izlemek, kontrol etmek veya farklı maksatlarla, birden çok algılayıcı ünitesinin anlamlı koordinasyonundan oluşmaktadır. Bu algılayıcılar etraflarındaki bölgeden ses, basınç, sıcaklık, hareket gibi bilgileri toplayarak belirli rotalama algoritmalarıyla bir merkeze iletirler. Gelişmiş algılayıcı ağlar çift yönlü iletişim yeteneğine de sahiptirler. Böylece, algılayıcı cihazların merkezden kontrolü mümkün olmaktadır [5].

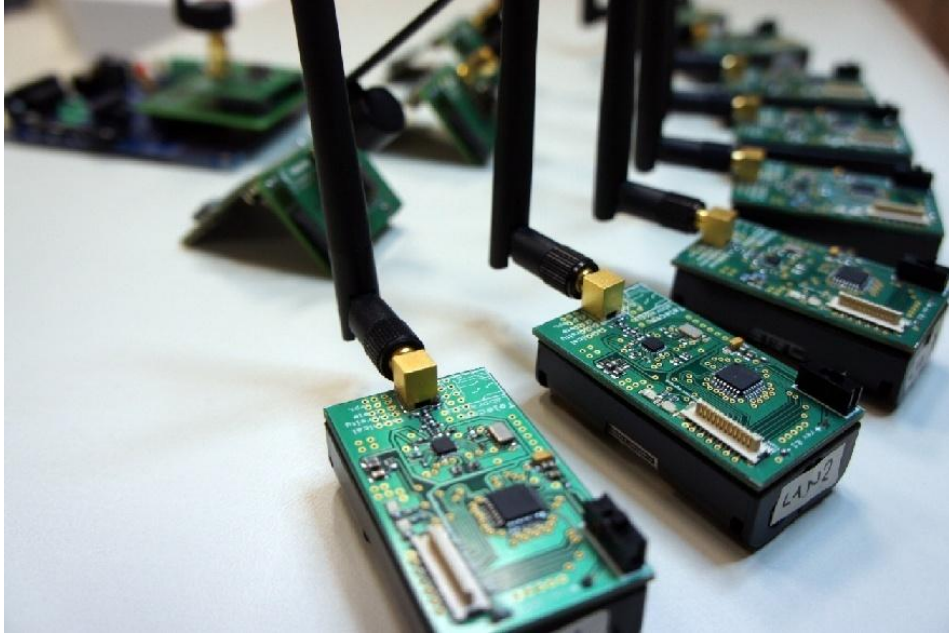
1.3. Algılayıcı Düğümlerin Bileşenleri

Bir algılayıcı düğüm, genel olarak dört ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar: g c  nitesi, algılayıcı  nitesi, işleme  nitesi ve iletişim ünitesidir. Şekil 1’de algılayıcı düğümü olarak tabir edilen yapının temel bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 1. Bir algılayıcı düğümün temel bileşenleri

Her birim kendi görevini yerine getirmekle beraber bunlar arasındaki koordinasyon da işleyici birimi tarafından sağlanmaktadır. Şekil 2’de algılayıcı düğümlerine bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 2. Algılayıcı düğüme bir  rnek

1.3.1. G c  nitesi

Algılayıcı düğümündeki diğer ünitelerin enerji ihtiyaçını karşılayan ünitedir. Kablosuz algılayıcı ağları, genelde enerji altyapısının olmadığı veya olamayacağı durumlarda kullanılırlar. Dolayısıyla g c  nitesi işlevini, sınırlı kapasiteye sahip olan

bataryalar karşılar. Bu yüzden enerji tüketiminin olabildiğince az olması istenir. Nitekim pek çok çalışma KAA'larda güç tüketimini azaltmaya yönelik olarak yapılmaktadır.

1.3.2. İşleme Ünitesi

İşleme ünitesi veya mikrodenetleyici, algılayıcılardan gelen sinyallerin değerlendirilmesinden ve işlenmesinden sorumludur. Bu ünite aynı zamanda algoritmanın üzerinde çalıştığı ünedir. Algılayıcı kontrolü, iletişim protokolü ve veri işleme gibi görevleri vardır. Çoğu uygulamada, bu ünite güç tasarrufu sağlayabilmek için üç farklı durumda çalışabilmektedir. Bu durumlar; işleyicinin uykuda, boşta veya aktif olduğu durumlardır.

1.3.3. Algılama Ünitesi

Algılama ünitesi, fiziksel bir büyüklüğe (basınç, sıcaklık vs.) karşılık tepkiyi ölçen ve elektriksel bir büyüklüğe çeviren ünedir.

Algılayıcı ünitesinin güç tüketimi; sinyal örnekleme, analog/dijital sinyal çevirme gibi görevlere ve düğümün aktiflik durumuna (periyodik, aktif/pasif) bağlıdır.

1.3.4. İletişim Ünitesi

İletişim ünitesi, algılama ünitesince ölçülen değerleri bir başka düğüme veya baz istasyonuna ulaştırmaktan sorumludur. Bu ünite, farklı kablosuz teknolojileri kullanabilir. Şöyle ki algılayıcı düğümleri ile baz istasyonu arasında, uzun mesafe haberleşme teknolojileri olan UMTS/HSPA, WiMAX veya LTE kullanılabilir. Bununla beraber düğümler birbirlerinden uzak değilse, Bluetooth, ZigBee veya WLAN gibi kısa mesafe haberleşmesi kullanılabilir [3].

1.4. Uygulama Alanları

Kablosuz algılayıcı ağlar, günümüzde başta askeri amaçlı uygulamalar olmak üzere çevresel uygulamalar, sağlık uygulamaları ve ulaşım alanındaki uygulamalarında oldukça etkin çözümler getirebilmektedir. İlerleyen yıllarda uygulama alanlarının daha da gelişeceği ve insanoğlunun yaşamına daha çok gireceği de bir gerçektir.

1.4.1. Askeri Uygulamalar

Çoğu alanda olduğu gibi Kablosuz Algılayıcı Ağlarının da geliştirilmesi süreci ilk olarak askeri uygulamalar ile başlamıştır.

Günümüzde modern orduların gücü, insan sayısının fazlalığı veya azlığıyla değil teknolojik donanım ve kabiliyetleri ile değerlendirilmektedir. Güçlü ülkelerin özellikle haber alma sistemi eskiden olduğu gibi casus insanlar vasıtasıyla değil casus robotlar, insansız hava araçları veya uydularla yürütülmektedir. Dolayısıyla tek bir insan hayatını riske atmadan çok geniş coğrafyaları gözlemek ve izlemek birçok devletin amacı olmuştur.

Bu açıdan bakıldığında ülkelerin hudutlarının izlenmesi, görüntülenmesi ve gözetimi, düşman hatlarından bilgi toplanması gibi pek çok uygulamalar KAA sistemleri ile doğrudan alakalı olduğu söylenebilir.

Türkiye özelinde de bu tür çalışmalar çeşitli kurumlarca yürütülmektedir. Mesela Şekil 3'teki Havelsan'ın SEZGİN projesi bu alanda yapılmış bir çalışmadır.

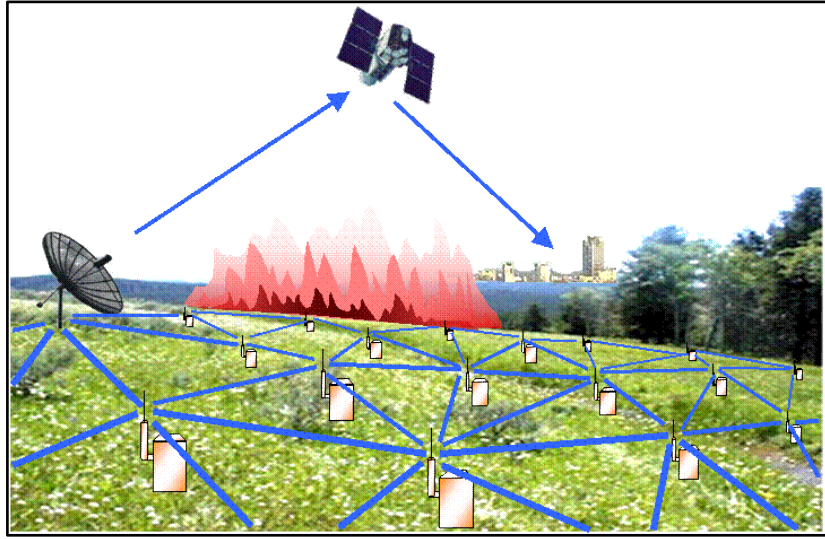


Şekil 3. IDEF 2013 fuarında sergilenen Havelsan'ın SEZGİN projesi

Bu projede, algılayıcı düğümleri kamuflaj amaçlı doğal kaya görünümünde tasarlanmıştır. Stratejik alanlara dağıtılacak veya yerleştirilecek algılayıcılar sayesinde kaçakçılık veya terörist faaliyetlerinin tespit edilmesi ve ilgili birimlere bildirilmesi hedeflenmektedir [6]. Böylece bu tür riskli durumlarda can kaybının önüne geçilerek önceden önlem almak mümkün olacaktır. IDEF 2013 fuarında sergilenen bu projedeki algılayıcı düğümlerinin pil ömürleri 5 yıl olarak ifade edilmiştir [6].

1.4.2. Çevresel Uygulamalar

Hava kirliliğinin takibi, su kalitesinin tespiti veya tarım arazilerinin ve bu araziler içindeki bitkilerin durumlarının izlenmesi, orman yangınlarının belirlenmesi, heyelanların tespiti gibi uygulamalar KAA'nın çevresel uygulamalarının bazıları olarak gösterilebilir. Örneğin Alberta Üniversitesindeki bilim adamlarının geliştirdiği EConet projesi, Brezilya ve Panama'daki yağmur ormanlarını izlemek ve Şekil 4'teki gibi acil durumlarda hızlıca müdahale edebilmeyi amaçlamıştır [7].



Şekil 4. Çevresel uygulamalara bir örnek

1.4.3. Ulaşım Uygulamaları

Trafik yoğunluğu, yol koşulları, hız tespiti, kural ihlalleri gibi ulaşım ile ilgili uygulamalar bu kapsamda değerlendirilir. Örneğin bir yolun kenarlarına belirli aralıklarla yerleştirilecek algılayıcılar sayesinde yoldan geçen aracın konumu, hızı, plakası gibi bilgiler elde edilip değerlendirme merkezine aktarılabilir. Ayrıca bu algılayıcılar sayesinde araçların birbirinden bluetooth ile haberdar olmaları ve bu sayede kaza yapma olasılıkları düşürülebilir [8].

1.4.4. Sağlık Uygulamaları

Bir hastaya ait bilgileri toplayarak (tansiyon, nabız veya başka kişisel veriler) gözetim yapan, bu sonucu anında hastanın doktoru, ailesi veya acil servislerle paylaşan çalışmalar KAA'ların sağlık uygulamaları olarak gösterebilir.

1.4.5. Endüstriyel Uygulamalar

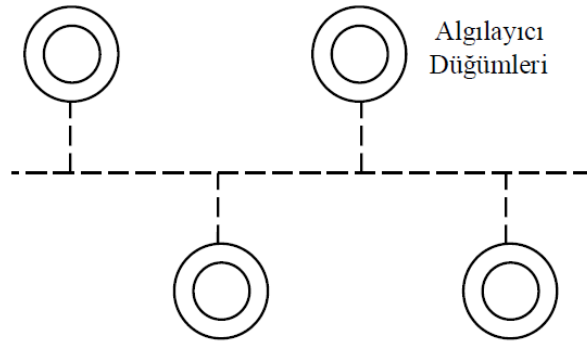
Bilindiği üzere günümüzde işverenler fabrikalarda insan gücünü azaltarak, makineleşmeyi artırma eğilimindedirler. Böylelikle hem maliyeti düşürmeyi hem de insan hatalarından kaynaklanan olumsuzlukları gidermeyi amaç edinmişlerdir. İşte bu kapsamda bakıldığında, fabrikaların üretim, kontrol, dağıtım gibi bölümlerinde ürünlerin takip edilmesi, veya makinelerin durumlarının anında belirlenmesi veya bu alanla ilgili başkaca uygulamalar bu başlıkta özetlenebilir.

1.5. Kablosuz Algılayıcı Ağ Topolojileri

Kablosuz algılayıcı ağlarda, algılayıcı düğümlerin birbirleriyle veya baz istasyonu ile farklı şekillerde haberleşebildiği çeşitli yapılar söz konusudur. Bu topolojiler: Ortak yol (bus), ağaç (tree), yıldız (star), halka (ring), örgü (mesh), dairesel (circular) ve ızgara (grid) topolojisi şeklindedir.

1.5.1. Ortak Yol Topolojisi

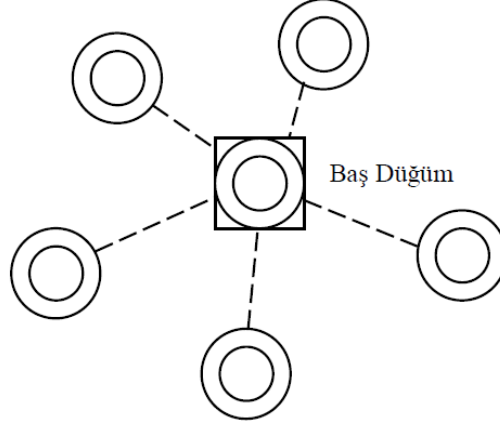
Bu yöntemde, düğümler birbirleriyle haberleşmek için ortak bir yol kullanır. Şöyle ki bir düğüm başka bir düğüme bilgi göndermek istediğinde ağ üzerindeki bütün düğümler gönderilen bu bilgiyi görebilir ancak sadece amaçlanan alıcı bilgiyi kabul edip işleyebilir. Kurulumu kolay olmasına rağmen, bu topolojide ağdaki düğüm sayısının sınırlı olması gerekir. Dolayısıyla ağda birkaç düzine düğümün varlığı ciddi performans sorunlarına neden olacaktır [9]. Şekil 5'te ortak yol (bus) topolojisine ait bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 5. Ortak yol topolojisine sahip algılayıcı düğümler

1.5.2. Yıldız Topolojisi

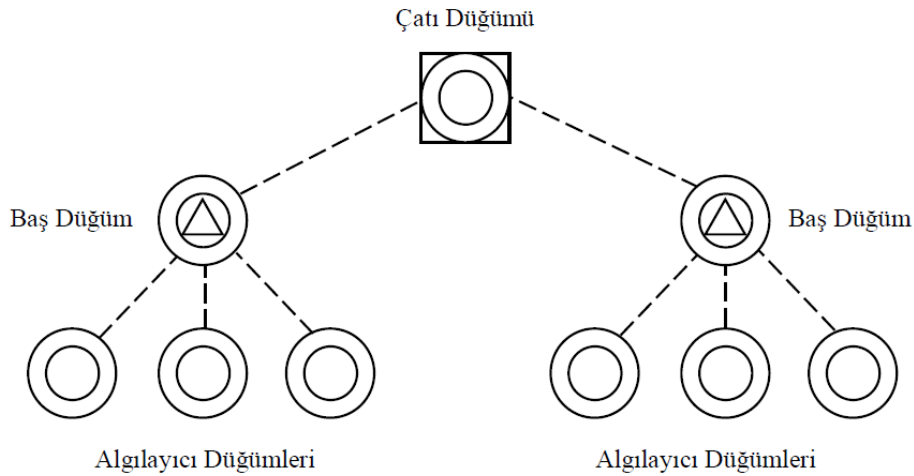
Algılayıcı düğümlerin yalnızca merkezde konumlanmış baş düğümlerle haberleşebildiği yapılardır. Dolayısıyla düğümler başkaca düğümlerle haberleşemezler [9]. Bu topolojideki algılayıcı düğümler, topladıkları verileri sadece tek yoldan iletmek zorunda olduklarından baş düğümlerle olan bağlantıları kesildiğinde bütün bilgilerini kaybedebilirler. Şekil 6’da yıldız topolojisine sahip bir örnek verilmiştir.



Şekil 6. Yıldız topolojisine sahip algılayıcı düğümler

1.5.3. Ağaç Topolojisi

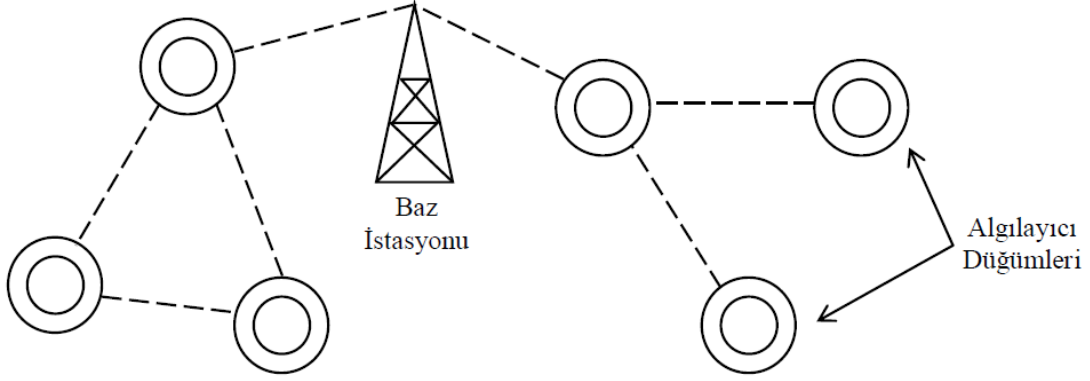
Ağaç yapısına sahip ağlar, çatı düğümü (root) denen merkezi bir baş düğüm içerirler. Diğer baş düğümler de hiyerarşik olarak bir üstte olan çatı düğümüne bağlıdır. Çatı düğümüne bağlanan ağlar sadece baş düğümlerle haberleşebildiklerinden yıldız yapılıdır [9]. Şekil 7’de ağaç topolojisine ait bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 7. Ağaç topolojisine ait bir örnek

1.5.4. Örgü (Mesh) Topolojisi

Örgü topolojisine sahip düğümlerin her biri diğerleriyle haberleşebilmektedir. Bu tür ağlar diğer türdeki ağlara nazaran daha karmaşık olduklarından maliyetleri daha fazladır. Düğümlerin her birinin diğerleriyle haberleşmeleri enerji tüketimini de artıracaktır. Ancak aynı verinin farklı yollardan gelmesi neticesinde hedefte alınan verinin doğruluğu artacaktır [9]. Şekil 8’de örgü topolojisine ait bir örnek verilmiştir.



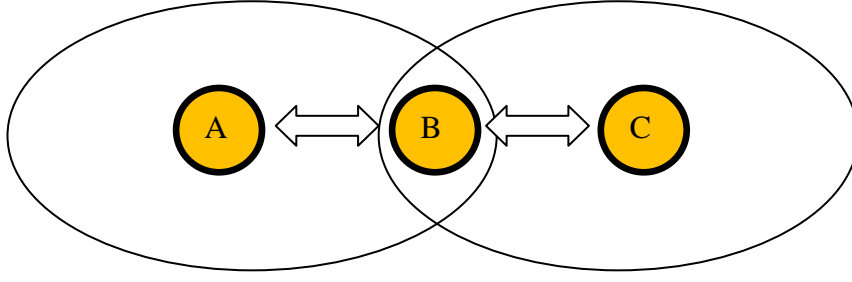
Şekil 8. Örgü topolojisine sahip kablosuz algılayıcı ağına bir örnek

1.6. Algılayıcı Ağlarda Rotalama

Çeşitli kablosuz teknolojiler kullanan algılayıcı düğümlerin belirli bir kapsama alanı bulunmaktadır. Dolayısıyla kapsama alanı içerisinde olacak şekilde bir başka düğümün varlığı üçüncü bir düğüm ile iletişim yapabilmesinde kilit rol oynamaktadır. Şekil 9’da da görüleceği üzere A ile C düğümünün haberleşebilmesi için B düğümünün rotalama yapması gerekmektedir.

Rotalama, ağ kontrol sisteminin gövdesi durumundadır. Rotalama işleminin amacı, uygun rotalama protokolü ile veri paketlerinin kaynaktan hedefe nasıl gideceğini ortaya koymaktır. Bu nedenle ağ performansı ve doğruluk, esas olarak rotalama protokolü ile belirlenir [10].

Şekil 9’daki durumdan farklı olarak B düğümünün etkileşim içinde olabileceği farklı düğümler de olabilir. Bu durumda rotalama işlemi daha karmaşık bir hal almaktadır. İşte rotalama protokolleri, bu gibi karmaşık durumları açıklığa kavuşturmak suretiyle B düğümünün hangi düğüm ya da düğümlere rotalama yapabileceğini açıklayan kurallara benzetilebilir.



Şekil 9. Algılayıcı düğümlerde rotalama

1.7. Rotalama Algoritmalarının Sınıflandırılması

Kablolu veya kablosuz ağlar için pek çok rotalama algoritması mevcuttur. Dolayısıyla rotalama algoritmaları çok değişik formlarda sınıflandırılabilir.

1.7.1. Dağıtılmış Rotalama, Merkezi Rotalama

Dağıtılmış rotalama sistemi çoğu zaman büyük boyutlu ağlarda gereklidir ve rotalama kararları kablosuz yönlendiriciler ile verilir. Dağıtılmış rotalamada, yönlendiriciler birbirleri ile bilgi alış-verişi yaparlar ve bu bilgilere dayanarak rotalama tabloları belirlenir [10].

Öte yandan merkezi rotalamada ise merkezi işlemci ağıdaki tüm rotalama yükünü kendi üstlenir. Güçlü bir önbellek ile merkezi işlemci, topladığı bağlantı bilgilerine dayanarak etki alanı içindeki her istasyon için rotalama tabloları tasarlar sonra kablosuz yönlendiricilere bu rotalama tablolarını dağıtır. Dolayısıyla merkezi rotalama, merkezi yönetim sistemli ağlarda uygundur [2, 10].

1.7.2. Kaynak Tabanlı, Durak-Durak Rotalama

Kaynak tabanlı rotalamada, kaynaktan hedefe olan tüm yola gönderici istasyonda karar verilir. Dolayısıyla kaynak, rotalamayı önceden doğru yapabilmek için bütün ağ topolojisinin bilgisine muhtaçtır. Ancak eğer yolda bir bağlantı kesilirse bu algoritma paketi kaybedecektir [10].

Durak durak (hop by hop) rotalama, rotalama kararlarında daha esnektir. Yani bir başka deyişle her bir ara yönlendirici, bir sonraki adımı seçebilir. Böylece bütün bir ağın bilgisi yerine sadece komşu düğümün bilgisi verilir. Paket yapısının başında da bütün yol bilgisi yerine sadece nihai hedefin bilgisi saklanır. Böylece rotalama yükü azaltılır.

1.7.3. Deterministik Rotalama, Olasılıksal Rotalama

Olasılıksal rotalamada, yönlendiriciler, hedefe ulaşacak bir sonraki durak bilgisinin yanında uygun olan diğer seçenekleri de saklayabilir [10].

Bu modelde rota belirleyici, veri paketlerini iletmek için bir olasılık parametresine veya sadece rassal bir orana dayanarak rota bulacaktır. Sonuç olarak, rotalama kararı olasılıksal rotalama ile tasarlanmış bir modelde, hedefte bozuk/sıra dışı veriler alınabilir.

Deterministik rotalama ise paketleri sabit yollar boyunca hedefe ileterek, bu tür sorunları önler.

1.7.4. Tek Duraklı, Çok Duraklı Rotalama

Tek duraklı rotalama protokolleri, kaynak ile hedef arasında yalnızca bir rotanın seçilebilmesine izin verir. Dolayısıyla eğer bu yol boyunca bir bağlantı kesilirse bütün yol işlevsiz kalmış olur [10].

Çok duraklı (multi-hop) rotalama ise veriyi aynı hedefe iletmek için birden fazla rota barındırır. Böylece bir yolun bağlantısı kesilse dahi bir başka uygun yoldan hedefe veri iletimi sağlanabilir. Bazı çok yollu rotalama algoritmaları, kaynak ve hedef arasında çeşitli rotalar boyunca eşzamanlı iletimi destekler ve bu nedenle hedeflerde paketlerin yeniden istenmesi gerekebilir [3]. Her ne kadar enerji tasarrufu amaçlayan yönlendirme çalışmalarında, çok duraklı algoritmalar yerine tek duraklı ve küme tabanlı yaklaşımlar tercih edilse de, son yıllarda hibrit çalışmaların sayısı gittikçe artmaktadır [11]. Zira bazı durumlarda, bir veriyi baz istasyonuna kısa mesafelerden çok duraklı haberleşme ile iletmek, tek duraklı haberleşme ile uzak mesafeye iletmekten daha tasarruflu olabilmektedir [3].

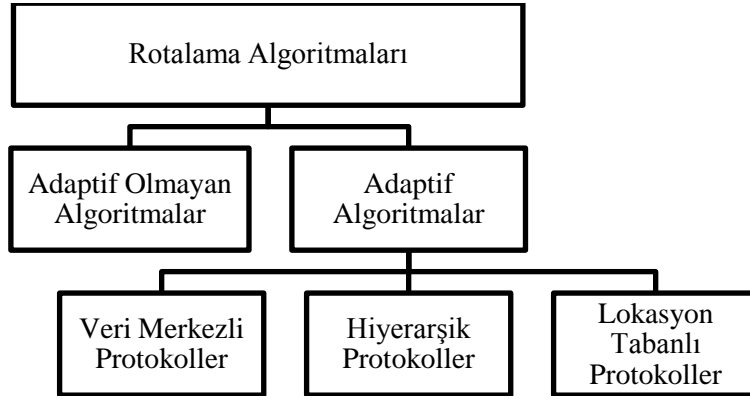
1.7.5. Dinamik Rotalama, Statik Rotalama

Dinamik rotalama, genellikle mevcut ağ durum veya bağlantı durumuna bağlı olarak sonraki adıma karar veren rotalama algoritmalarını ifade eder. Aynı zamanda dinamik ağlarda yaygın olan ve sık değişiklikler içeren, durum-bağımlı rotalama olarak da bilinir. Bu yöntem ağ değişikliklerine çok hızlı ve etkin yanıt verebilir [10]. Örneğin bir yoldaki bağlantının kalitesi düşerse algoritma sonraki durak için bir başka düğümü değerlendirebilir. Ağlar çeşitlenip karmaşık hale geldikçe, dinamik rotalamanın, ölçeklenebilir ve ayarlanabilirlik avantajları belirginleşir.

Öte yandan bazı ağlar için statik rotalama daha uyumludur. Statik rotalama ağ işlemleri sırasında bağlantı durumunu veya ağ vaziyetini dikkate almaz. Statik rotalamada, ağ durumunu belirlemek için ekstra veri gönderilmediğinden dinamik rotalamadan daha verimli olduğu söylenebilir. Ancak bu tür rotalama az veya hiç değişiklik gerektirmeyen ağlarda yeterli olabilir [10].

1.8. Rotalama Algoritmalarının Bir Başka Sınıflandırılması

Direk iletişim linki olmaksızın, iki düğüm arasındaki iletişimi kolaylaştırmak için rotalama protokolleri çok duraklı rotalamayı desteklemek durumundadır. Verimli bir rotalama mekanizması önemli ölçüde güç tüketiminden tasarruf sağlayabilir ve ağ ömrünü artırabilir. Şekil 10'da rotalama algoritmalarının başka bir açıdan sınıflandırılması verilmiştir [12].



Şekil 10. Rotalama algoritmaları için bir başka sınıflandırma

Şekilden de görüldüğü üzere rotalama algoritmaları adaptif olup olmamasına göre iki ana gruba ayrılabilir. Adaptif olmayan veya bir başka deyişle statik algoritmalar ağda meydana gelen değişikliklere kendilerini adapte edemezler. Dolayısıyla çevresel şartlardan veya ağın kendi içinden kaynaklanan problemler rotalamayı olumsuz etkileyebilir. Ancak adaptif algoritmalar ağ topolojisi ve trafiğinde meydana gelen değişikliklere göre rotalama kararlarını değiştirebilirler [12]. Bu da veri akışının devamı ve ağ ömrünün uzaması anlamına gelir.

1.8.1. Adaptif Olmayan Rotalama

1.8.1.1. En Kısa Yol (Shortest Path) Algoritması

Adaptif olmayan rotalamaya örnek olarak en kısa yol algoritması gösterilebilir. En kısa yol rotalama tekniği, kullanım kolaylığı ve basitliği nedeniyle çok yaygındır [5]. Bu algoritma, grafik üzerinde düğümler arasındaki en kısa mesafeyi bulur. Örneğin her düğüm bir sonraki düğümü seçerken kendine en kısa mesafede olanı dikkate alır. Fakat bu durum her zaman iyi sonuçlar vermeyebilir. Özellikle ağ koşullarının sürekli değişken olduğu durumlarda tercih edilmez [12].

1.8.1.2. Taşkın (Flooding) Algoritması

Bu algoritma da adaptif olmayan ve basit bir algoritmadır. Her düğüm, paketlerini bütün komşu düğümlere gönderir. Bu işlemin ağıdaki düğümlere çok fazla yük getireceği açıktır. Netice itibariyle avantajı, aynı bilginin değişik kanallardan gelmesi nedeniyle hedefe gönderilen verinin doğruluğu yüksektir. Dezavantajıysa, ilgili olmayan düğümlere veri gönderilmesi sonucu gereksiz güç tüketimidir [12].

1.8.2. Adaptif Rotalama

1.8.2.1. Veri Odaklı Rotalama Algoritmaları

Veri odaklı protokoller sorgu (query) bazlı olup, arzulanan veriyi isimlendirerek gereksiz birçok iletimin önüne geçer [12]. Veri odaklı protokolde alıcı belirli bölgelere sorgular göndererek bu bölgelerden veri gelmesini bekler. Veri, sorgulama yoluyla talep edildiğinden verinin özelliklerini belirlemek için nitelik bazlı isimlendirme gereklidir. Örneğin "sıcaklık bilgisini, 40 °C'den yüksek olduğunda gönder" şeklindeki bir emir, bu sıcaklığın altındaki gereksiz verilerin önüne geçer [13].

Veri odaklı rotalamaya bir örnek olan SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation), Heinzelman tarafından 1999'da önerilmiştir [14]. SPIN'de bir düğüme yeni bir veri geldiğinde, bu veri hakkındaki bilgiyi (meta-data) komşularına yayınlar. Eğer komşu düğüm bu veriyi talep ederse, istenen veri gönderilir. Bu yöntemin dezavantajıysa, ağın belirli bölgelerinde veri talep edilmediği zaman ağda kopukluk olur. Böylece talep edilecek düğümlere de veri ulaştırılamaz. Dolayısıyla SPIN, gerçek zamanlı ve güvenilir veri iletimi gerektiren uygulamalarda kullanılamaz [2, 13].

1.8.2.2. Hiyerarşik Rotalama Algoritmaları

Hiyerarşik rotalama algoritmaları, düğümlerin belirli hiyerarşiler çerçevesinde haberleştirilmesini sağlar. Bu tür rotalama algoritmasına örnek olarak LEACH algoritması gösterilebilir.

1.8.2.2.1. LEACH Algoritması

LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) protokolü küme tabanlı hiyerarşik bir protokol olup kablosuz algılayıcı ağlarında enerji tüketimini azaltmayı amaçlar. Bilindiği üzere kablosuz algılayıcı ağları pek çok algılayıcı düğümünden oluşmaktadır. Birçok çalışmanın temelini oluşturan güç tüketimi problemini ele alan Heinzelman ve arkadaşları LEACH protokolünü önermiştir.

LEACH protokolünde düğümler kendilerini yerel kümelere ayırırlar ve her küme içinden bir düğüm dönüşümlü olarak küme başı olarak tabir edilen, baz istasyonu ile haberleşebilecek bir eleman olarak davranır [1, 13, 15].

Eğer küme başı olan düğüm, önceden belirlenmiş ve sabit olacak şekilde ayarlansaydı - ki konvansiyonel sınıflandırma algoritmalarında böyledir – o zaman küme başı olan düğümün enerjisinin çabucak bittiği ve dolayısıyla bağlantılı olduğu diğer düğümlerin bilgilerinin de baz istasyonuna aktarılamadığı görüldü. Bu durumda ağ ömrü çok kısa olacak ve küme başı düğümü öldüğü için ağın ilgili bölümü de ölmüş olacaktı.

İşte bu yüzden LEACH protokolü yüksek enerjiye sahip düğümleri, olası küme başı düğümleri olarak belirler. Belirlenen bu küme başı adayı düğümler arasından dönüşümlü olarak rastgele bir atama yapılır ve böylece tek bir küme başına ve onun enerjisine bağlı kalınmamış olur. Buna ek olarak LEACH protokolü, kümelerden baz istasyonuna gönderilecek veri miktarını sıkıştırmak için yerel veri birleştirilmesini (data fusion) kullanır ve böylece enerji tüketimi azaltılır ve ağ ömrü uzatılır [13, 15].

Küme başı olarak atanan düğümler, kendi durumlarını ağdaki diğer düğümlere bildirirler. Her algılayıcı düğüm de en az enerji tüketecek şekilde ait olacağı bir küme başı düğümü seçer. Bir kere bütün düğümler kümelere ayrılınca, her küme başı düğümü kendi kümesindeki düğümler için bir takvim oluşturur [15]. Bu işlem sayesinde küme başı olmayan düğümlerin radyo bileşenleri kapatılarak bu takvim boyunca enerji tüketimi azaltılmış olur.

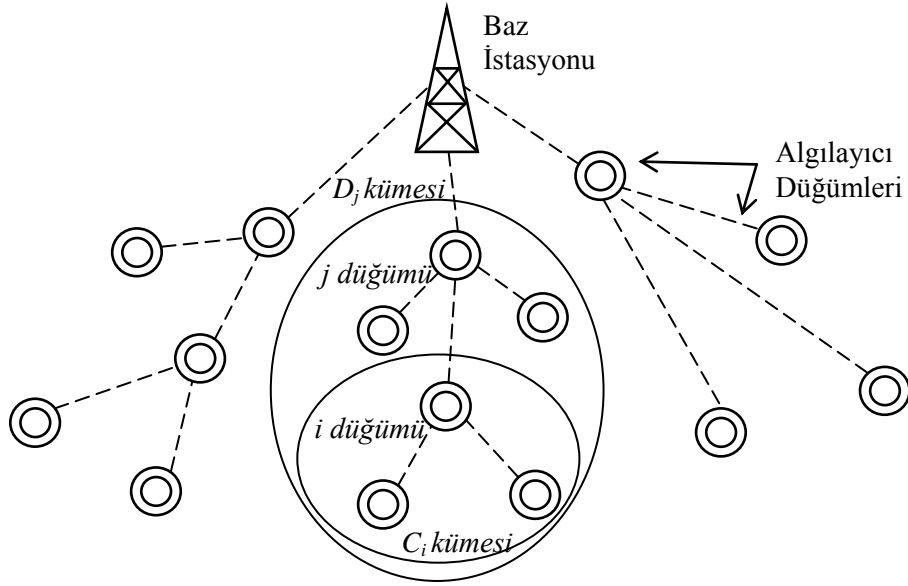
1.8.2.3. Lokasyon Tabanlı Rotalama Algoritmaları

1.8.2.3.1. GAF Algoritması

GAF (Geographic Adaptive Fidelity), yerel tabanlı bir rotalama algoritması olup enerji tasarrufunu amaçlar. Algoritma esas olarak mobil ad-hoc ağlar (MANET) için tasarlanmıştır. Ancak diğer algılayıcı ağlara da uyarlanabilir. GAF algoritması, ağın güvenilirliğini tehlikeye atmadan gereksiz düğümlerinin enerjisini kapatarak enerji tasarrufu sağlar. GAF algoritması kapsamındaki alanda sanal bir ızgara oluşturur. Her düğüm GPS konum göstergesini kullanarak sanal ızgarada kendini bir nokta ile ilişkilendirir. Izzarada aynı noktada ilişkilendirilen düğümlerin rotalama açısından aynı paket maliyetinde olduğu düşünülür. Bu yüzden sanal ızgarada aynı bölüme düşen bu düğümlerden bazılarının enerjisi kesilerek enerji tasarrufu sağlanır [13].

1.9. Enerji Etkin Çok Duraklı Rotalama

Enerji Etkin Çok Duraklı (EEÇD) rotalamada, algılayıcı düğümler işbirlikçi gruplar veya kümeler halindedir. Her küme içindeki her algılayıcı düğüm birbiriyle çok duraklı bağlantılar üzerinden haberleşebilir ve en son adımdaki algılayıcı düğümü toplanan veriyi baz istasyonuna gönderir. Dolayısıyla algılayıcı düğümler arasındaki işbirliği enerji tasarrufunu amaçlar [3]. Şekil 11’de EEÇD rotalamaya ait bir örnek verilmiştir.



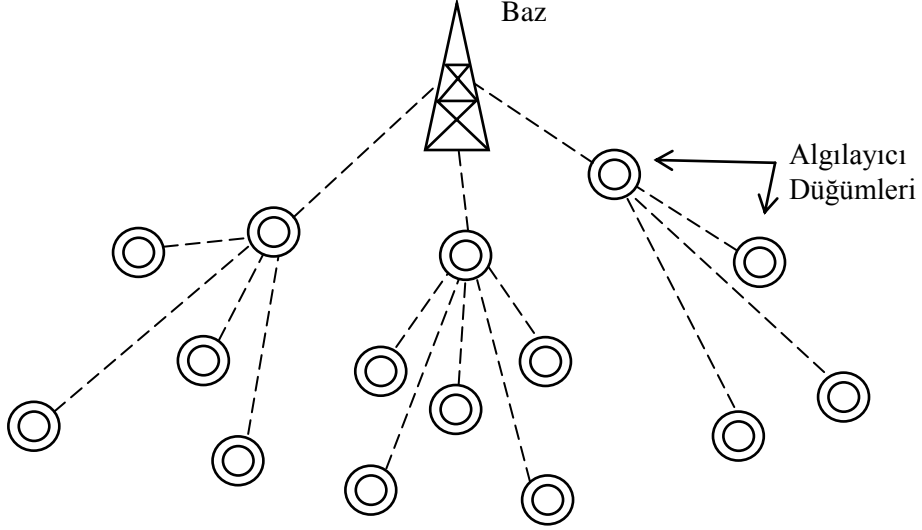
Şekil 11. EEÇD rotalamaya bir örnek

Algılayıcı düğümler baz istasyonu ile uzun mesafe üzerinden (Long Range, LR) haberleşme esnasında UMTS/HSPA, WiMAX veya LTE gibi kablosuz teknolojileri kullanabilirler [3].

Düğümler kendi aralarında haberleşirken, kısa mesafe üzerinden (Short Range, SR) Bluetooth, ZigBee veya WLAN gibi teknolojileri kullanırlar.

Şekil 11'deki j düğümüne bakıldığında bu düğümüne bağlı olan sonraki tüm düğümlerin D_j kümesi olduğu görülür. Aynı şekilde i düğümü sonraki düğümlerin ebeveyni durumundadır ve C_i kümesinin baş düğümüdür. Dolayısıyla j düğümü, i düğümüyle haberleşirken SR teknolojileri, baz istasyonu ile haberleşirken de LR teknolojilerini kullanır. i düğümü baz istasyonu haberleşmesi yapamayacağından yalnızca SR haberleşme teknolojilerini kullanır.

Her işbirlikçi küme içindeki algılayıcı düğümlerinden toparlanan veriler, çok duraklı bir mekanizmayla baz istasyonuna gönderilir. Durak sayısı, $H = 2$ seçildiğinde problem işbirliği içindeki kümelerin en iyi sınıflandırılması probleminde dönüşmektedir. [3]. Şekil 12'de iki durağa sahip çok duraklı bir örnek verilmiştir.



Şekil 12. Durak sayısı $H = 2$ olan çok duraklı iletişim örneği

Her algılayıcı düğüm ölçtüğü veya topladığı veriyi sadece bir hedefe gönderebilir. Bu hedef direkt baz istasyonu olabildiği gibi bir başka bir algılayıcı düğümü de olabilir. Baz istasyonu ve diğer algılayıcı düğümleri ifade ederken belirleyici olabilmek için k parametresi kullanılır. $k = 0$ olan düğüm, baz istasyonunu ifade eder. k 'nın sıfırdan farklı diğer değerleri ($k = 1, \dots, K$) ise diğer algılayıcı düğümlerini göstermektedir.

1.10. EEÇD Rotalamada Veri Hızları

Her algılayıcı düğüm için verilen; $P_{T,kj}$, k 'nci düğümün j 'inci düğüme veri iletmek için harcadığı gücü ifade eder. H_{kj} , ise k ve j arasındaki kanal kazancı olup, σ^2 de termal gürültü gücüdür.

Bu bilgiler ışığında, alınan sinyalin işaret gürültü oranı (SNR), (1)'deki gibi hesaplanır.

$$SNR_{kj} = \frac{P_{T,kj} H_{kj}}{\sigma^2} \quad (1)$$

Verilen hedef P_e (bit error rate) ve işaret gürültü oranı için, k ile j arasındaki herhangi bir düğümün bit hızı da (2)'deki gibi bulunur.

$$R_{kj} = W_{kj} \log_2(1 + SNR_{kj} \beta) \quad (2)$$

Burada W_{kj} , k ile j düğümleri arasındaki kanalın geçirme bant genişliği ve β da SNR farkıdır. Daha açık bir ifadeyle β belirli bir hızda veri transferi için teorik Shannon limiti ile pratik M-QAM sistemi arasındaki fark olup (3) bağıntısıyla hesaplanır [3].

$$\beta = \frac{-1.5}{\ln(5P_e)} \quad (3)$$

Her algılayıcı düğümünün ilettiği veri bloğunun boyutu S_t bit olmak üzere, k ve j düğümleri arasındaki link üzerinden R_{kj} bps hızıyla veri transferi için gerekli süre S_t/R_{kj} olacaktır.

Düğüm j 'nin düğüm k 'dan veri alması esnasında (k gönderen, j alan düğüm) bataryadan çektiği güç, $P_{Rx,kj}$ ile ifade edildiğinde, tüketilen enerji (4)'teki gibidir.

$$E_{Rx,kj} = S_T \frac{P_{Rx,kj}}{R_{kj}} \quad (4)$$

Benzer şekilde $P_{Tx,kj}$ ifadesi k 'dan j 'ye veri iletmek için bataryadan çekilen gücü ifade eder. Ve enerji tüketimi de yine (5)'teki gibi ifade edilir.

$$E_{Tx,kj} = S_T \frac{P_{Tx,kj}}{R_{kj}} \quad (5)$$

$$P_{Tx,kj} = P_{Tx_{ref},kj} + P_{T,kj} \quad (6)$$

Denklem (6)'daki $P_{Tx_{ref},kj}$ ifadesi k düğümünün j düğümüne iletim yaparken devre parçalarının güç tüketimini ifade eder.

EEÇD rotalamada, hızın veya gücün değişken olabildiği iki durum söz konusudur. Bunlar adaptif güç ve adaptif hız kontrolü şeklindedir. Adaptif hız kontrolü kullanıldığında, gönderen düğümün iletim gücü sabit olup hızı değişkendir. Mesela, $P_{T,kj} = P_T$ ve $P_{Tx,kj} = P_{Tx}$

Adaptif güç kontrolü durumunda ise düğümlerin güçleri değişken olup hızlar sabittir. Örneğin düğümler, uzun mesafede $R_{0j} = R_L$ veya kısa mesafede $R_{kj} = R_S$ ($k > 0$) gibi sabit hızlarda haberleşebilirler.

Tablo 1. Farklı senaryolar için parametre değerleri

	Güç Adaptif	Hız Adaptif
Kısa Mesafe (SR)	$R_{kj} = R_S \forall k, j \geq 1$	$P_{Tx,kj} = P_{Tx} \forall k, j \geq 1$
Uzun Mesafe (LR)	$R_{0j} = R_L \forall j \geq 1$	$P_{t,0j} = P_t \forall j \geq 1$

Bu durumda iletim gücü $P_{t,kj}$, k ve j arasındaki kanal koşullarına bağlı olarak hedef hızlar olan R_S veya R_L hızlarına ulaşmak için adaptif olarak değişir. Böylece birbirine yakın düğümler daha az enerji tüketenlerdir. Bu da enerji tüketimini düşürecektir. Bluetooth gibi bazı teknolojiler güç kontrolünü uygularlar.

İşbirlikçi ve çok duraklı içeriğin dağıtılması sırasında enerji tüketimi şöyle formüle edilir [3]:

$$E_{coop} = S_T \sum_{k=1}^K \sum_{j=0, j \neq k}^K \sum_{h=1}^H \frac{\alpha_{kj}^h |D_k| P_{Tx,kj}}{R_{kj}} + S_T \sum_{k=1}^K \sum_{j=1, j \neq k}^K \sum_{h=1}^{H-1} \frac{\alpha_{kj}^h |D_k| P_{Rx,kj}}{R_{kj}} \quad (7)$$

$$E_{coop} = S_T \sum_{k=1}^K \sum_{j=0, j \neq k}^K \sum_{h=1}^H \frac{\alpha_{kj}^h |D_k| (P_{Tx,kj} + P_{Rx,kj})}{R_{kj}} \quad (8)$$

Denklem (7)'de ilk terim düğümlerin veri iletimi için gerekli enerji tüketimini, ikinci terim ise düğümlerin veri alması için gerekli enerji tüketimini ifade eder.

Adım sayısını belirten h parametresi, $h = H$ olduğunda iletişimin uzun mesafe üzerinden baz istasyonu ile yapıldığı anlaşılır. $k = 0$ 'da BS (baz istasyonu) karşılık gelir.

Denklem (8)'deki son eşitliği yazabilmek için bütün k 'lar için $P_{Rx,k0} = 0$ kabul edilmelidir. Bu, BS'nin H kadar adımda veri alması durumu haricini göstermiş olur. Doğal olarak baz istasyonun güç tüketimi enerji minimizasyon sürecinde hesaba katılmaz ve sadece düğümlerin pil ömrü ile ilgilenilir. Çünkü çoğu Baz istasyonları bataryalar ile değil kablolar ile beslenir. Dolayısıyla algılayıcı düğümleri gibi enerji kapasiteleri kısıtlı değildir.

Sonuç olarak optimizasyon problemi (9)'daki gibi formülize edilebilir:

$$\min_{\alpha} E_{coop} = S_T \sum_{k=1}^K \sum_{j=0, j \neq k}^K \sum_{h=1}^H \frac{\alpha_{kj}^h |D_k| (P_{Tx,kj} + P_{Rx,kj})}{R_{kj}} \quad (9)$$

$$h < H \text{ ve } k = 1, \dots, K \text{ iken } \alpha_{k0}^h = 0 \quad (10)$$

$$k = 1, \dots, K \text{ iken } \sum_{j=0}^K \sum_{h=1}^H \alpha_{kj}^h = 1 \quad (11)$$

$$\alpha_{kj}^h \in \{0,1\} \forall k, j, h \quad (12)$$

İlk sınırlama (10) baz istasyonuna olan yayınlar sadece son durakta yani $h = H$ 'de yer alabilir.

İkinci sınırlama (11) her düğüm (SN) topladığı verileri bir kez ve H kadar adım üzerinden sadece bir hedefe iletebilir. (LR üzerinde H adım, SR üzerinde $H-1$ adım).

Son sınırlama (12) optimizasyon değişkeni α_{kj}^h olan ikili değişkendir.

(9) ile formüle edilen problemde maksimum durak sayısı bir parametre olarak belirlenebilir. $H = K$ alınması, bütün çok duraklı haberleşmelere olanak verir. Ama gerçek durak sayısı K 'dan daha az olacaktır ve bu durumda α_{kj}^h parametresi gereksiz duraklar nedeniyle 0 olacaktır. $H = 2$ seçildiğinde, algılayıcı düğümleri iki durakta baz istasyonuna ulaşacağından ve bir duraklarının da küme başı olması gerektiğinden problem bir sınıflandırma problemine indirgenecektir. Optimum çözümde her sınıf içinde bir algılayıcı düğüm küme başı olarak seçilir ki bu kendi kümesindeki düğümlerden SR ile topladığı veriyi LR üzerinden baz istasyonuna gönderir. $H = 1$ işbirliğinin olmadığı durumu gösterir. Bu durumda bütün algılayıcı düğümleri topladıkları verileri LR üzerinden direkt baz istasyonuna gönderir. Bu durumda enerji tüketimi $E_{No-coop}$ notasyonu ile ifade edilir.

Normalize enerji tüketimi η , (13)'deki gibi hesaplanır:

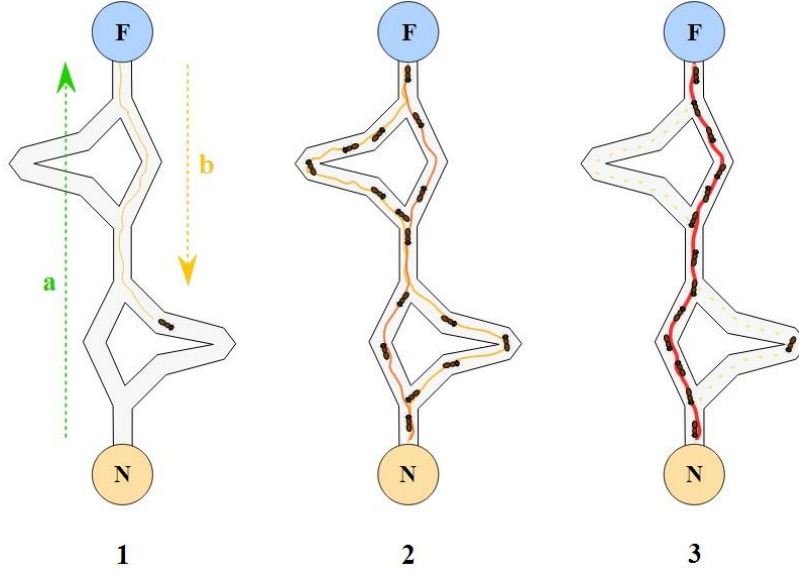
$$\eta = \frac{E_{coop}}{E_{No-coop}} \quad (13)$$

Bu değer algılayıcı düğümler arasındaki işbirliğinin enerji tüketimine yararı olup olmadığını ortaya koyar. Eğer $\eta < 1$ ise işbirliği enerji tüketimi açısından bir kazanç sağlamış demektir. Aksi durumda, yani $\eta > 1$ ise düğümlerin işbirliği yapması gereksizdir. Zira bu durumda, işbirliği düğümlerin enerji tüketimini artırıyor demektir.

1.11. Karınca Kolonilerinin Davranışı

Karınca koloniler halinde yaşadıkları ve işbölümü yaparak karşılaştıkları problemi çözebildikleri bir gerçektir. Karınca kolonilerinin yiyecek bulma davranışları ve çevresel değişimlere adapte olma kabiliyetleri de oldukça ilginçtir. Üstelik karınca kolonilerinin

diğer canlılar gibi etrafını yeterince görüp izleme gibi özellikleri de yoktur. Ancak yine de karıncalar yuvalarından keşfettikleri bir yiyecek kaynağına en kısa yolu bulur ve tekrar yuvaya geldikleri yolu kaybetmeden kolayca dönebilirler. Dahası, yolda türlü engellemelerle karşılaştıklarında bu engelleri de aşmak suretiyle yiyecek kaynağına farklı bir yoldan ama yine en kısa yol olacak şekilde bir bağlantı kurarlar [16]. Şekil 13'te karıncaların en kısa yolu nasıl buldukları gösterilmiştir.



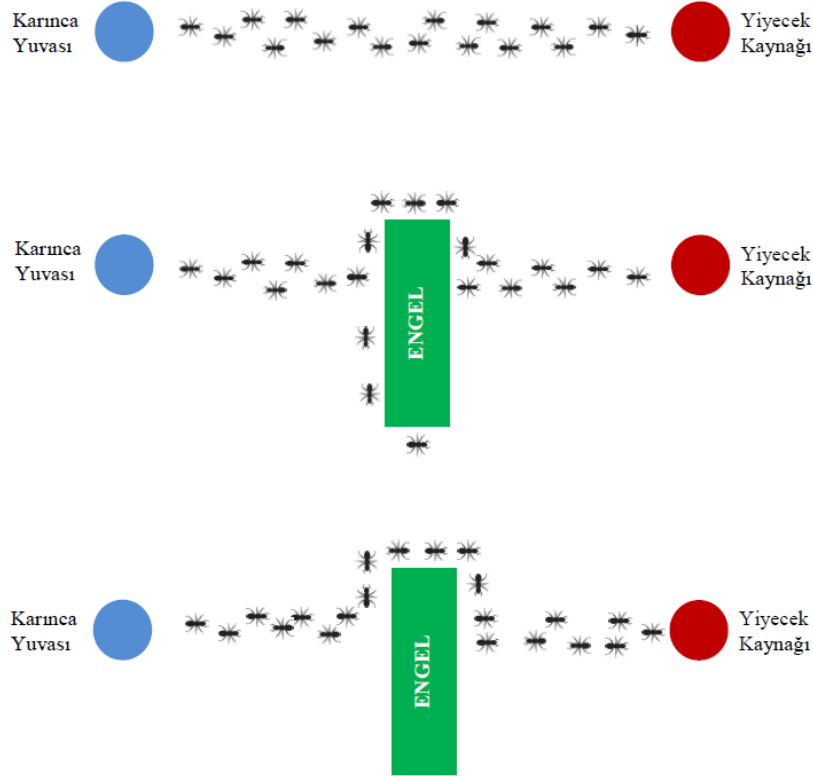
Şekil 13. Karıncaların yiyecek kaynağına giden en kısa yolu bulması

Karıncaların yuvalarından başlayarak yiyecek kaynaklarına en kısa yolu bulmalarını sağlayan en önemli maddenin kimyasal feromon maddesi olduğu bilinmektedir. Yine karıncaların gittikleri yol üzerine belirli miktarlarda feromon maddesi bıraktıkları da bir gerçektir. Burada asıl önemli husus feromon kimyasalının miktarıdır. Zira karıncaların feromon maddesinin az olduğu yönleri seçme olasılıkları, çok olduğu yönleri seçme olasılığından düşüktür [16, 17]. Bir başka deyişle karıncalar feromon maddesinin yoğun olduğu yollardan geçme eğilimindedirler. Ancak bu, diğer yollardan karınca geçmediği anlamına gelmez. Şekil 13'ten de görüldüğü gibi karıncalar yuvalarından yiyecek kaynağına giderken önce bütün yolları kullanırlar.

Mevcut olan en kısa yoldan birim zamanda daha çok karınca geçeceğinden o yoldaki feromon miktarı artar ve karıncalar oradan geçmeyi tercih ederler. Diğer yollardan karınca geçme olasılığı azalacağı için zamanla bu yollardaki feromon

buharlaşır. Şekil 13'te karıncaların zamanla kısa olan yolu nasıl seçtikleri görülmektedir.

Karıncaların bir başka ilginç özelliği de çevresel değişimlere uyum gösterebilmeleridir. Örneğin Şekil 14'teki gibi yuvaları ile yiyecek kaynakları arasına kurdukları yola engel konulduğunda, yiyecek kaynağına yine en kısa yoldan ulaşabilmektedirler.



Şekil 14. Yol üzerine konulan engele karıncaların gösterdiği tepki

Bu durum şöyle izah edilebilir: Karıncaların var olan yoluna engel konulduğunda karıncalar bu engeli aşmaya çalışır. Karıncaların engeli aşabilmek için tercih edebilecekleri iki yön bulunmaktadır. Dolayısıyla karıncaların başlangıçta engelin iki yönünü seçme olasılıkları aynıdır. Bir müddet sonra birim zamanda kısa olan yönden daha fazla karınca geçeceği ve bu da feromon maddesinin miktarını artıracığından karıncaların kısa olan yönü seçme olasılıkları yükselir. Feromon kimyasalı buharlaşan bir madde olduğu için çok az karınca geçen yolda zamanla feromon maddesi kalmaz ve engel hep en kısa yoldan aşılmış olur.

1.11.1. Karınca Koloni Algoritması (Ant Colony Algorithm)

Karınca Koloni Algoritması (KKA) karıncaların davranışlarının matematiksel bir modele benzetilmesine dayanan bir algoritma olup, bu alandaki ilk çalışma Marco Dorigo ve arkadaşları tarafından 1991 yılında yapılmıştır [18].

Karınca kolonilerinin davranışlarının tam olarak modellenmesi yerine, yapay karınca kolonilerinin bir optimizasyon olarak değerlendirilmesinden dolayı önerilen algoritmalar gerçek karıncalardan daha farklıdır. Mesela yapay karıncalar belirli bir hafızaya sahipken gerçek karıncalarda bu özellik bulunmamaktadır.

Dorigo ve arkadaşları karınca algoritmasını zor problemlerin dağıtılmış çözümüne bir yaklaşım olarak tanıtmışlardır [18].

Karınca Koloni Algoritmasında iki ana sorun bulunmaktadır. Birincisi rota seçim olasılığı diğeri de feromon buharlaşma hızıdır. Bu problemler halen araştırma konusu olsa da bunları çözmenin birkaç yolu vardır [17].

Bir ağ rotalama problemi için karıncanın i düğümünden j düğümünü seçme olasılığı

$$p_{ij} = \frac{\phi_{ij}^{\alpha} \cdot d_{ij}^{\beta}}{\sum_{i,j=1}^n \phi_{ij}^{\alpha} \cdot d_{ij}^{\beta}} \quad (14)$$

$\alpha > 0$, $\beta > 0$ olup etki parametreleri olarak adlandırılırlar. Tipik değerleri $\alpha \approx \beta \approx 2$ dir. ϕ_{ij} i ile j düğümü arasındaki yolun feromon yoğunluğunu, d_{ij} de aynı yolun talep edilebilirliğini ifade eder.

Uzaklık matrisi s_{ij} sıklıkla $d_{ij} \propto 1/s_{ij}$ ilişkilidir. Sabit bir γ hızında feromon buharlaşması zamanla üstel olarak azalır:

$$\phi(t) = \phi_0 e^{-\gamma t} \quad (15)$$

ϕ_0 t zamanındaki başlangıç feromon yoğunluğudur.

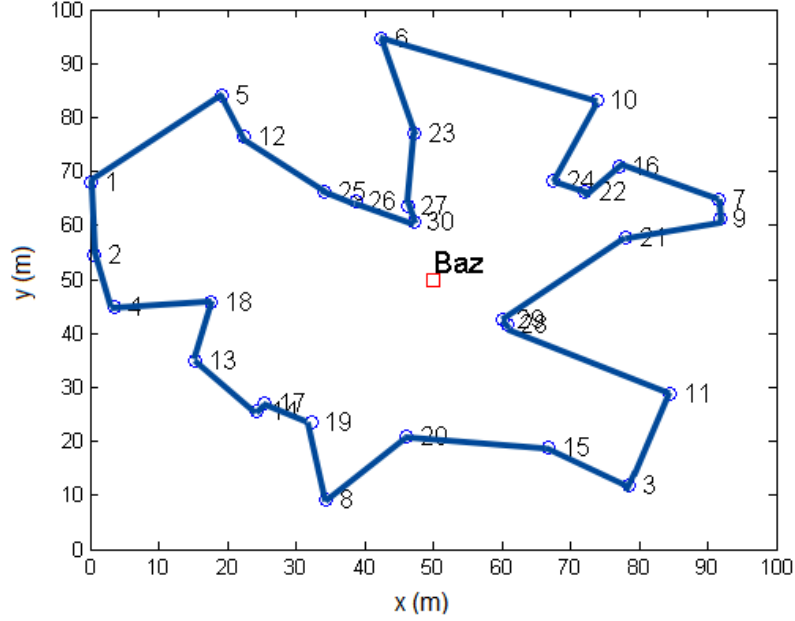
Feromon güncelleme eşitliği de;

$$\phi_{ij}^{t+1} = (1 - \gamma)\phi_{ij}^t + \delta\phi_{ij}^t \quad (16)$$

şeklinde verilir.

1.11.2. Gezgin Satıcı Problemi

Gezgin Satıcı Problemi (Travelling Salesman Problem), n adet şehir verildiğinde yapay bir gezgin satıcının her bir şehri yalnızca bir kez ziyaret etmek suretiyle en az uzunluğa sahip kapalı bir yol oluşturma problemi olarak tanımlanabilir [16]. Şekil 15'te gezgin satıcı problemine bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 15. Gezgin satıcı problemine bir örnek

Gezgin Satıcı probleminde, karıncaların şu özelliklere sahip olduğu kabul edilir:

- Karıncalar geçtikleri yola bir miktar feromon maddesi bırakır ve gidecekleri şehri yollardaki feromon madde miktarı ve mesafenin fonksiyonu olan bir olasılıkla seçerler.
- Karıncalar gittikleri şehirlere tekrar gitmezler.
- Bir karıncanın n tane değişik şehri gezmesi için her bir karıncaya bir veri yapısı atanır (tabu listesi). Böylece karınca t anına kadar gezdiği şehirleri belleğinde tutar ve daha önce uğradığı şehirleri gezmez.
- Tur bitirildiğinde tabu listesi boşaltılır [18].

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada Kablosuz Algılayıcı Ağlarında kullanılan iki ayrı rotalama tekniğinin benzetimi yapılmış ve incelenmiştir. Karınca Koloni Algoritmali Rotalama ile Çok Duraklı Enerji Etkin Rotalamanın enerji tüketimleri, döngü sayısı süresince hayatta kalan düğüm sayıları gibi değişkenler karşılaştırılmıştır. Buradan hareketle daha etkin ve enerji verimli rotalamanın nasıl yapılabileceği tartışılmıştır.

2.1. Birinci Dereceden Radyo İletişim Modeli

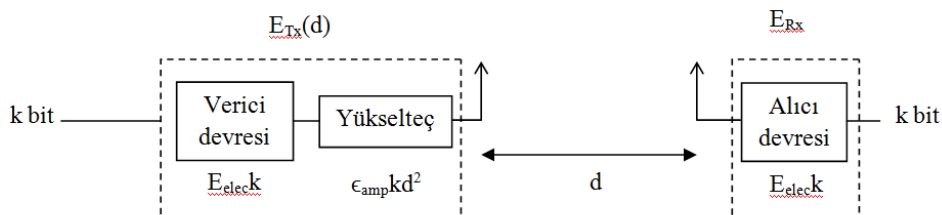
Bu çalışmadaki benzetimlerde, enerji tüketim modeli olarak Heinzelman'ın önerdiği birinci dereceden radyo modeli temel alınmıştır. Şekil 16'da kullanılan radyo modeli gösterilmektedir. Bu modelde, baz istasyonunun sabit olduğu ve enerji ihtiyacının olmadığı düşünülmüştür. Bütün algılayıcıların da birbirinin aynı ve enerji kapasitelerinin de kısıtlı olduğu varsayılmıştır [15].

Buna göre alıcı ve verici devresinin çalışması esnasındaki elektronik devrenin bit başına enerji tüketimi, $E_{elec}=50 \text{ nJ/bit}$ kabul edilmiştir [15]. Tablo 2'de bit başına alıcı ve verici devresinin elektronik devrelerinde harcanan güç verilmiştir.

Tablo 2. Radyo karakteristikleri

İşlem	Enerji Tüketimi
Verici Devresi ($E_{Tx-elec}$)	50 nJ/bit
Alıcı Devresi ($E_{Rx-elec}$)	
($E_{Tx-elec} = E_{Tx-elec} = E_{elec}$)	
Verici Yükselteci (ϵ_{amp})	100 pJ/bit/m ²

Aynı şekilde verici yükseltecinin 1 metre uzaklığa 1 bit veri gönderirken harcadığı enerji de 100 pJ/bit/m² şeklinde ifade edilmiştir [15].



Şekil 16. Birinci derece radyo modeli

Bununla beraber, kanal koşullarının neden olduğu enerji kaybını da d^2 ile ters orantılı olduğu düşünülürse, k bit göndermek için verici tarafta harcanan enerji (17) ve (18)'deki gibi bulunur.

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx-elec}(k) + E_{Tx-amp}(k, d) \quad (17)$$

$$E_{Tx}(k, d) = E_{elec}k + \epsilon_{amp}kd^2 \quad (18)$$

Ve alıcı taraftaki güç tüketimi de (19) ve (20)'deki gibi ifade edilir.

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx-elec}(k) \quad (19)$$

$$E_{Rx}(k) = E_{elec}k \quad (20)$$

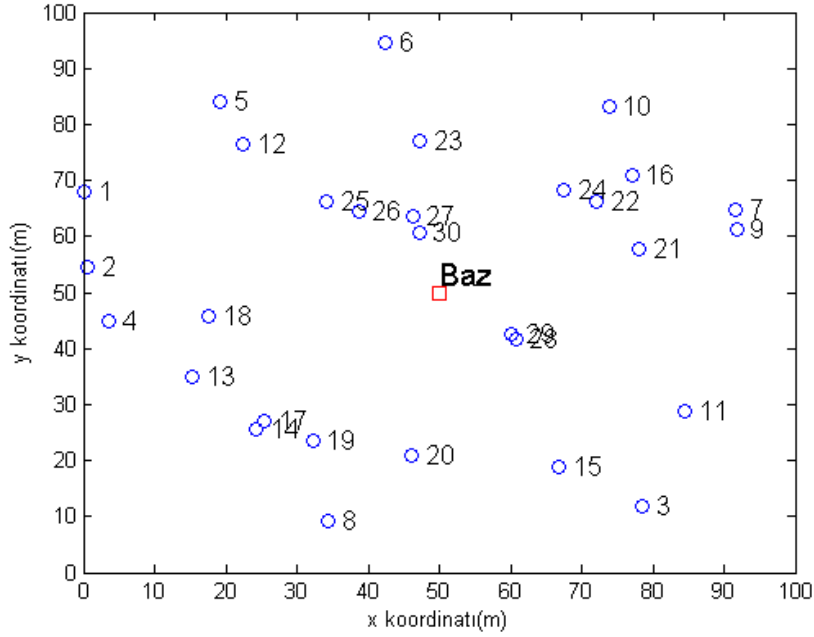
Burada, bilgi alınırken harcanan enerjinin paket boyu aynı olduğu müddetçe sabit olduğu ve uzaklığa bağlı olmadığı görülmektedir. Yapılan benzetimlerde de, kalan toplam enerji hesabı yapılırken, iletişim sırasında vericinin ve alıcının enerji tüketimi, gerçek zamanlı olarak ilgili düğümlerin mevcut enerji düzeylerinden eksiltmiştir.

2.2. Enerji Etkin Çok Duraklı Rotalama Benzetimi

2.2.1. Algılayıcı Düğümlerinin Konumlandırılması

Matlab ortamında, çok duraklı rotalamadaki enerji tüketiminin benzetimi yapılırken, yüz metreye yüz metre bir alanda çalışıldığı kabul edilmiştir. Algılayıcı düğümleri bu alan içinde rastgele dağıtılmıştır. (50, 50) koordinatına yani alanın tam ortasına baz istasyonu konumlandırılmıştır. Algılayıcı düğümler çok duraklı rotalama algoritması ile birbiri üzerinden veri iletimi yapabilmekte ve en son baz istasyonuna ulaşmayı hedeflemektedir. Düğüm sayısı 30 olarak alınmıştır. Düğüm sayısının az veya çok oluşu rotalamayı ve durak sayısını önemli ölçülerde etkilemektedir. Bu etki de enerji tüketimine yansımaktadır. Aynı zamanda düğümlerin kapsama mesafesi olarak alınan değer de hem rotalamayı hem de enerji tüketimini etkilemektedir.

KAA benzetiminde kullanılan algılayıcılar ile baz istasyonunun konumları bir diziye kaydedilmiştir. Dolayısıyla yapılacak olan sonraki benzetimlerde eşit koşulları sağlamak adına aynı konumlar kullanılmıştır.



Şekil 17. Algılayıcı düğümleri ve baz istasyonunun konumlandırılması

2.2.2. Algoritmanın Temel Adımları

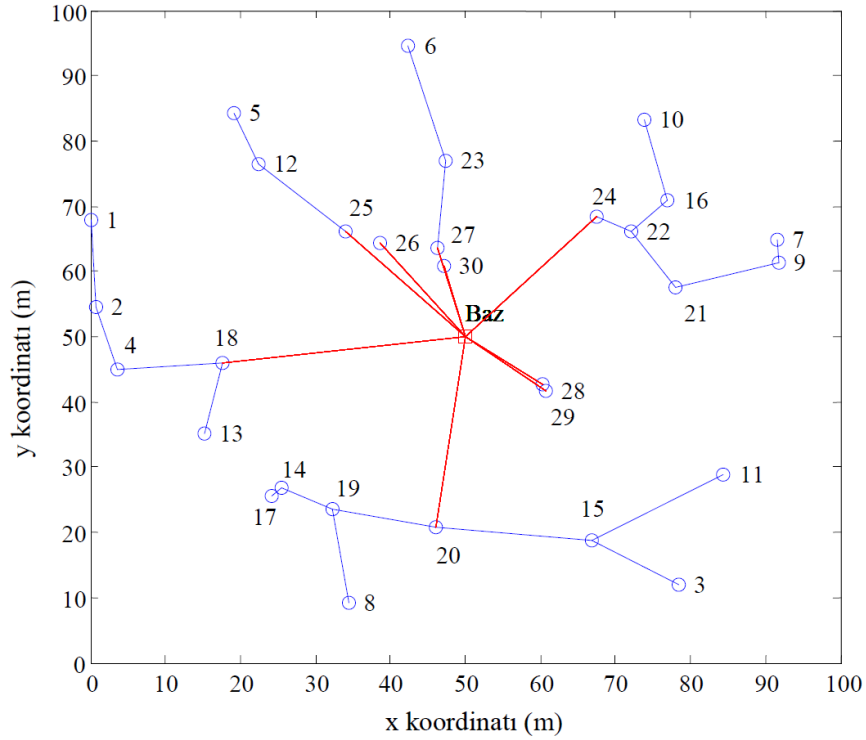
Uygulanan enerji etkin çok duraklı rotalama algoritmasının 5 temel adımı aşağıda verilmiştir [4]:

- Adım 1: Algılayıcı düğümlerin sadece baz istasyonu ile haberleştiği varsayılarak hesaplanan enerji tüketimlerini büyükten küçüğe doğru sırala. Bu durumda $k = 1$ en kötü kanal koşullarına, $j = K$ da en iyi kanal koşuluna sahip düğüm olacaktır.
- Adım 2: $k = 1$ 'den başla.
- Adım 3: k düğümünün en az enerji tüketerek veri gönderebileceği ebeveyn düğümü (p_k) bul. (ebeveyn düğüm bir başka düğüm olabileceği gibi baz istasyonu da olabilir.)
- Adım 4: k düğümü, baz istasyonu ile haberleşirken mi yoksa p_k ebeveyn düğümüyle haberleşirken mi daha çok enerji harcıyor? Bu iki rotadan enerji tasarruflu olan rotayı seç.
- Adım 5: k 'yi artır ve 3. ile 4. adımları tekrarla

2.2.3. Benzetimin Yapılması

Enerji etkin çok duraklı rotalama benzetimi sonucunda oluşan ağın genel görüntüsü Şekil 18'de verilmiştir. Şekil 18 dikkatle incelendiğinde, bu algoritmanın en yakın komşu algoritmasından farklı olduğu anlaşılır. Zira baz istasyonuna yakın kimi düğümler, birbirlerine daha yakın olmalarına rağmen direkt baz istasyonu ile iletişim kurmuşlardır. Diğer taraftan her düğümün muhakkak bağlı olduğu bir ebeveyn düğüm olduğu da bir gerçektir. 30 adet düğümün olduğu bu senaryoda maksimum adım sayısı yani $H = 5$ 'tir.

20 numaralı düğüme bakıldığında iki ayrı grubun ebeveyni olduğu görülür. 19 numaralı düğüm ile 15 numaralı düğümlerden gelen verilerin hepsi baz ile iletişim kurabilmek için 20 nolu düğümü kullanmak zorunda olduklarından bu tür düğümlerin enerjisi çabuk bitecektir. Bu gibi durumlarda, veri akışının devamı için, enerjisi bitmemiş düğümlerle yeniden rotalama yapılması gerekir.



Şekil 18. Enerji etkin çok duraklı rotalama benzetimi

2.3. Karınca Koloni Algoritmaları KAA'lar

Karıncaların yiyecek bulma davranışları ve bu davranışları ifade eden matematiksel model bir önceki bölümde anlatılmıştır. Bu bölümde bu matematiksel modelin KAA'lara nasıl uyarlandığı ve Matlab benzetimi ele alınacaktır.

Karınca koloni algoritması kullanarak KAA'da rotalama yapma konusunda birçok çalışma yapılmıştır [14, 19, 20]. Bu algoritmaların kimi kendine hedef olarak ağ ömrünü uzun yapmayı almış, kimi ise ağ ömrünü uzun yaparken gecikmenin de düşük olmasını hedeflemiştir [21].

Bu benzetimde karınca koloni algoritması ile enerji tasarruflu bir rotalama yapılmaya çalışılmıştır. Düğümlerin merkezi bir kontrole ihtiyaç duymadan kendi kendilerine çok duraklı rotalama yapmaları hedeflenmiştir. Karınca koloni algoritmasında ihtiyaç duyulan parametreleri elde edebilmek amacıyla karınca olarak tabir edilen paketler, her düğümden sırayla iletilmiştir. İletilen bir karınca paketinin baz istasyonuna ulaşip tekrar iletene geri gelmesi beklenmiştir. Karıncanın gidip geri gelmesi için geçen sürede bir gecikme olmaktadır ancak geri gelen karıncadan algoritmada kullanılacak parametreler öğrenildiğinden bu süreç kaçınılmazdır. Önerilen algoritmada karınca algoritması için gerekli parametreler her düğüm tarafından elde edildikten sonra, her düğüm karınca algoritmasını bir kez çalıştırmış ve kendine baz istasyonuna giden bir rota bulmuştur. Bulunan rota belli sayıdaki bir döngü kadar kullanılmış ve enerji tüketimi hesaplanmıştır.

Önerilen yöntem iki aşamalıdır. Birinci aşama her düğümün baz istasyonuna ulaşacak rotayı elde etme aşamasıdır. Her düğüm birinci aşamada kendi sırası gelince iletim moduna geçer. Kendi iletim sırası gelmeyen ise dinleme modundadır. İletim moduna geçen düğüm vericisinin gücünü 15 m'ye iletim yapacak şekilde ayarlar ve karınca paketini iletir. Birinci aşamada iletim yapan düğümün ilettiği karınca paketini bu düğümün sinyalinin ulaştığı bütün düğümler alır. Karınca paketinin yapısı aşağıda Şekil 19'da verildiği gibidir.

	Gönderen Düğüm 1				Gönderen Düğüm 2					Gönderen Düğüm N			
Başlık	Alan Düğüm 1	Alan Düğüm 2	...	Alan Düğüm N	Alan Düğüm 1	Alan Düğüm 2	...	Alan Düğüm N	...	Alan Düğüm 1	Alan Düğüm 2	...	Alan Düğüm N

Şekil 19. Karınca paket yapısı

Buna göre, dolaştırılan karınca paketinin başlık kısmında iletenin kimliği, senkronizasyon ve hata kodlaması ile ilgili kısımlar bulunmaktadır. Karınca paketi, düğüm 1 tarafından gönderilmiş ve düğüm 3 tarafından alınmış olsun. Paketin düğüm 1 hücresinin içindeki düğüm 3 kısmına güncel enerji ile ilgili bilgiler konulur. Düğüm 3 tarafından alınan bu karınca paketi, kendi iletim sırası gelince gönderen bilgisini günceller. Paketler en sonunda baz istasyonuna ulaşır.

Ziyaret edilen düğümler ilgili düğüme ait olan hücrenin içindeki alt hücrelerin içine yazılmış olan bilgilerden anlaşılır. Karıncalar daha sonra baz istasyonu tarafından teker teker geriye doğru gönderilir. Bu sırada paketin kime gönderildiği bellidir. Yani çekim alanı içinde kalan tüm düğümler tarafından değil de sadece alıcı olan düğümler tarafından geri karıncalar alınır ve feromon düzeyi güncellenir.

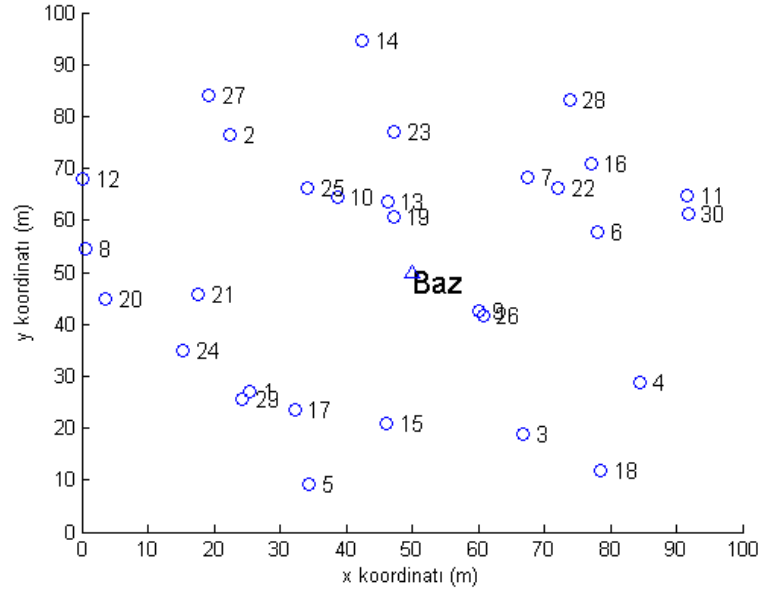
Şekil 19'daki paket yapısına göre, benzetimde 30 düğüm bulunduğu ve her düğümün 30 alt hücresi olacağından toplam 900 hücre gerekir. Her bir hücrenin 10 bit veri içerdiği düşünülürse (5 bit feromon düzeyi için, 5 bit de ziyaret edilen düğüm bilgileri için) toplam paket uzunluğu 9000 bit olacaktır. Buradan hareketle benzetimlerde M_k karınca hafızasının 10000 bit olduğu kabul edilmiştir.

2.3.1. Algılayıcı Düğümlerinin Konumlandırılması

Algılayıcı düğümleri, bilgi edinecekleri ortama rastgele yerleştirilebilecekleri gibi (mesela bir uçaktan araziye yüzlerce algılayıcının rastgele atılması) önceden belirlenmiş koordinatlara da yerleştirilebilirler. Burada önemli olan husus algılayıcıların birbirleriyle haberleşebilmesi için gerekli minimum uzaklığın aşılmasıdır. Yani her algılayıcı düğümünün belirli bir yarıçap dahilinde haberleşebildiği düşünülürse, ileri karıncaların keşif yapabilmesi, geri karıncaların geri gelecekleri yolu belirlemesi ve feromon tablosunun güncellenebilmesi gibi durumlar söz konusu olmayacaktır.

Bu çalışmada Matlab ortamında rastgele 30 adet nokta üretilmiştir. Bu noktaların her defasında değişmemesi için koordinatları bir dizide saklanmıştır. Algılayıcı düğümlerinin hepsinin başlangıç enerjilerinin 0.5 Joule olduğu kabul edilmiştir.

Düğümlerin haberleşebilecekleri maksimum mesafe olarak 30 metre alınmıştır.



Şekil 20. KKA benzetimi için düğümlerin yerleştirilmesi

2.3.2. İleri Karıncaların Gönderilmesi

Matlab ortamında ileri karıncaların gönderilmesi, algılayıcıların menzili içindeki diğer algılayıcılarla haberleşmesi ve onların konumlarını, uzaklıklarını ve kalan enerji miktarlarını belirlemesi şeklinde olmaktadır.

2.3.3. Rota Seçimi ve Buharlaşma Katsayısı

Karıncı Koloni Algoritmasında belirlenmesi gereken önemli iki parametre bulunmaktadır. Birincisi rota seçim olasılığı, diğeri de feromon buharlaşma hızıdır. Bir ağ rotalama problemi için karıncanın r düğümünden s düğümünü seçme olasılığı aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [21, 22].

$$p_k(r, s) = \frac{[T(r, s)]^\alpha [E(s)]^\beta}{\sum_{u \in M_k} [T(r, s)]^\alpha [E(s)]^\beta} \quad (21)$$

Burada $\alpha > 0$, $\beta > 0$ olup etki parametreleri olarak adlandırılırlar. Yapılan çalışmada $\alpha = 1$, $\beta = 5$ alınmıştır [18]. Bu parametreler sayesinde, yapılan rotalamanın enerji tasarrufu ve yol tasarrufu vurguları ayarlanabilmektedir.

$T(r, s)$ her düğümde bulunan feromon tablosunun r 'inci satırı ve s 'inci sütunundaki feromon değeridir. Yapılan çalışmada feromon tablosu başlangıçta köşegenleri hariç 1

değeri ile doldurulmuştur. Feremon tablosunun köşegenleri düğümün kendi kendine iletim yapması gibi bir anlam taşıdığından 0 değerini almaktadır.

Uygunluk fonksiyonu, (22)'de ifade edildiği gibidir [21].

$$E(s) = 1/(C - e_s) \quad (22)$$

Burada; C düğümün başlangıç enerjisini, e_s ise s düğümünün güncel enerjisini göstermektedir.

M_k karıncayı ifade etmektedir. Karınca bir dizidir ve ziyaret edilen düğümlerin numaralarını içinde barındırır. Karınca, hedef olan baz istasyonu düğümüne ulaştıktan sonra geldiği yoldan ilk gönderene ulaşmaktadır. Karıncanın taşıdığı, ziyaret edilen düğüm sayısı ve kat edilen toplam mesafe bilgisi sayesinde feremon tablosu aşağıdaki gibi güncellenmektedir [22].

$$\Delta T_k = \frac{1}{N \cdot Fd_k} \quad (23)$$

$$T_k(r,s) = (1-\rho) T_k(r,s) + \Delta T_k \quad (24)$$

Yukarıdaki denklemlerde; N ziyaret edilen düğüm sayısını, Fd_k kat edilen yoldaki toplam düğüm sayısını ve ρ buharlaşma hızını göstermektedir. Buharlaşma katsayısı 0 ile 1 arasında olup, yapılan çalışmada $\rho = 0.5$ alınmıştır.

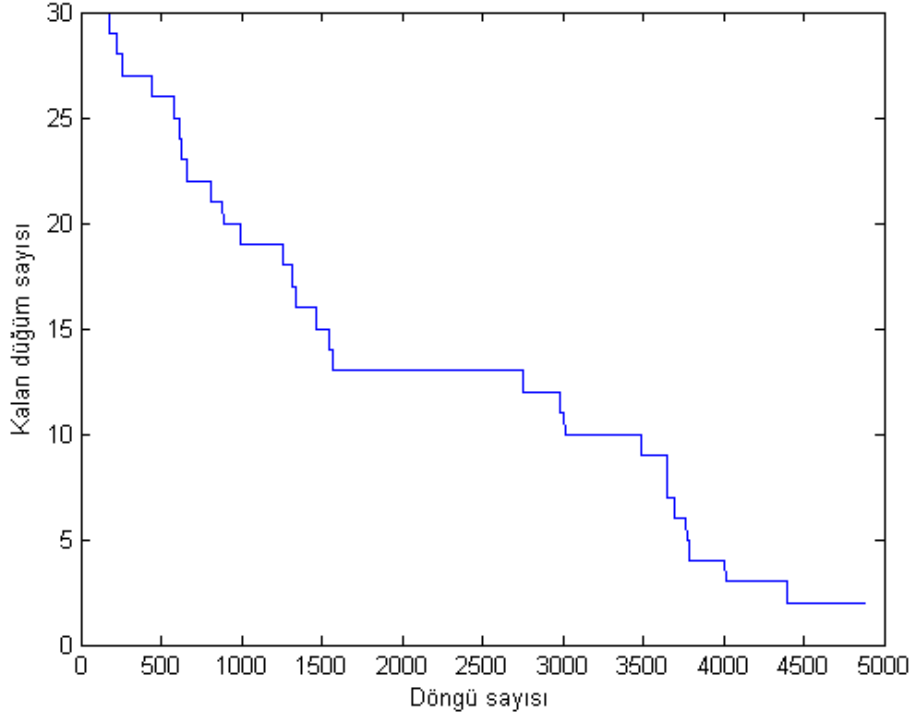
2.3.4. Geri Karıncalar ve Rotanın Belirlenmesi

Herhangi bir r düğümünden s düğümüne gönderilen ileri karınca, gittiği düğümlerle belleğindeki düğümleri karşılaştırır. Eğer gittiği düğüm, aradığı nihai düğüm değilse (nihai düğüm genelde baz istasyonudur) aynı olasılık kuralını işleterek arama işlemini devam ettirir. Eğer hedef düğümü olan baz istasyonu bulunmuşsa ileri karınca geri karıncaya dönüşür. Geri karınca, ileri karınca iken hafızasına kaydettiği rotasını kullanarak geldiği yoldan geri döner. Böylece feremon tablosu güncellenir ve r düğümünden hedefe bir rota bulunmuş olur.

3. BULGULAR

3.1. Enerji Etkin Çok Duraklı Rotalama ile İlgili Bulgular

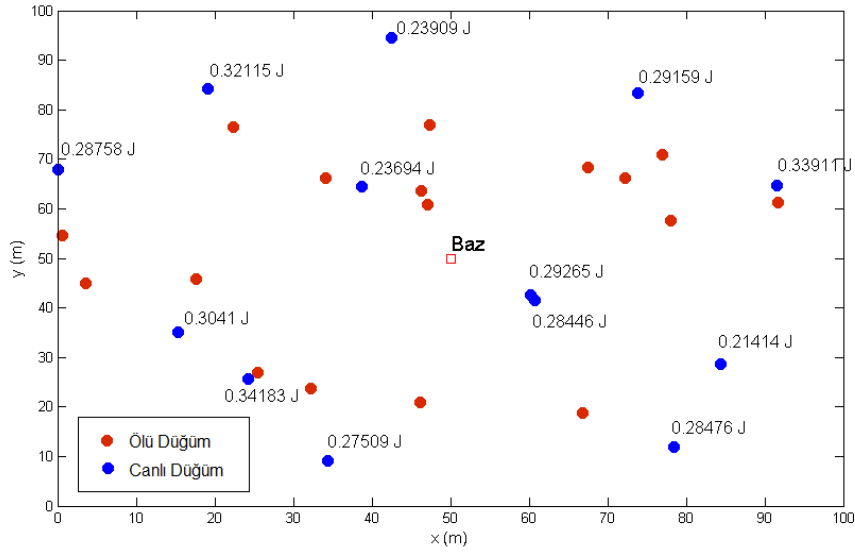
Enerji Etkin Çok Duraklı Rotalama benzetimi yapıldığında, Şekil 21'de görüldüğü gibi, programın 4828 döngü koşabildiği ve bunun neticesinde de 2 düğümün hayatta kalabildiği görülmüştür. İlk 1500 döngü içinde düğümlerin daha hızlı öldüğü belirlenmiştir. Bu düğümler birden çok düğümlerle haberleşen ve enerji tüketimleri fazla olan düğümlerdir.



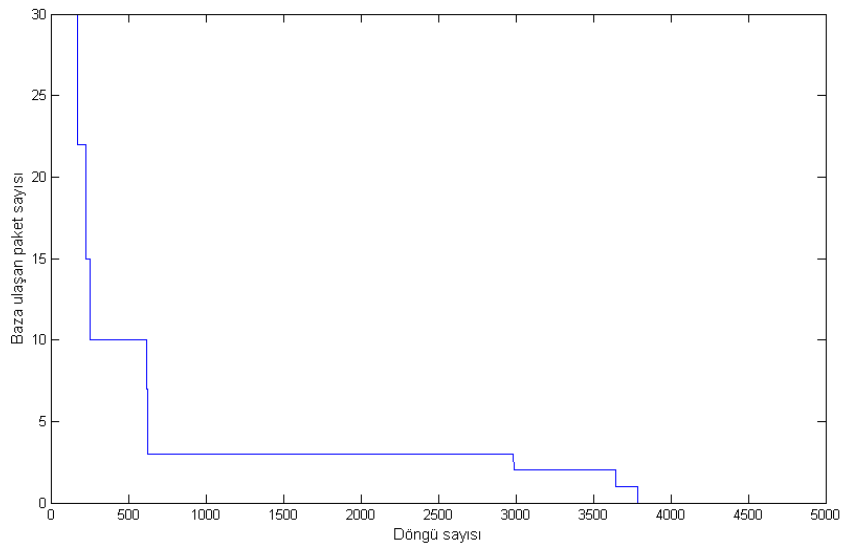
Şekil 21. EEÇD rotalamada hayatta kalan düğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi

Şekil 21'e göre 1571 ile 2748'inci döngü arasında düğüm sayısı sabit kalmış, ağda ölen düğüm olmamıştır. Bu durumu açıklamak için 1571'inci döngü esnasında, ağdaki düğümlerin güncel enerji düzeyleri Şekil 22'deki gibi çizdirilmiştir. Buna göre 1571'inci döngüye gelindiğinde kümelerin yalnızca uç bölgelerindeki düğümler ile tek durakta baz istasyonu ile haberleşen düğümler hayatta kalabilmiştir. Diğer düğümler birbirleri üzerinden haberleştiğinden 1571'inci döngüde enerjileri bitmiştir.

Şekil 23'te döngü sayısının baza istasyonuna gönderilen paket sayısına göre değişimi verilmiştir. Buna göre 617'nci döngüde baza iletilen paket sayısı 10'a, 627'nci döngüde 3'e düşmüştür. Dolayısıyla Şekil 21'de 1571'inci döngüde, 13 düğüm hayatta olmasına rağmen sadece 3 tanesi baza istasyonuna paket iletebilmiştir. Diğer 10 düğüm ara düğümlerin ölmesi sebebiyle mevcut rotadan baza istasyonuna paket iletememiştir. Enerjileri bitmemiş bu düğümlerin veri akışını devam ettirmek için tekrar rotalama yapmak gerekir.

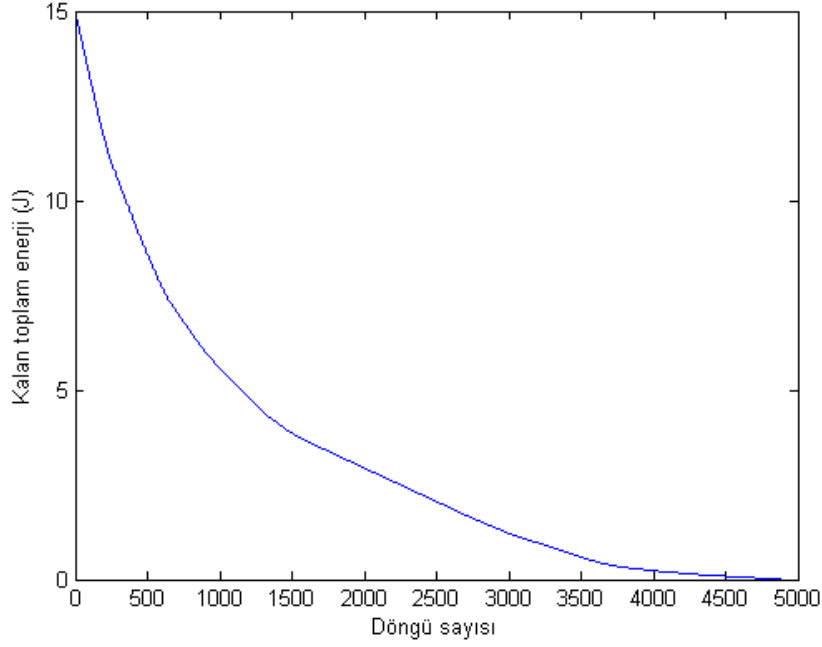


Şekil 22. EEÇD rotalama benzetiminde 1571'inci döngüde düğümlerin güncel enerji düzeyleri



Şekil 23. EEÇD rotalama benzetiminde baza iletilen paket sayısının döngü sayısına göre değişimi

Şekil 24'te ise başlangıçta 15 joule olan toplam enerjinin 4878 döngü sonra 0.01 joule'ün altına düştüğü belirlenmiştir.



Şekil 24. EEÇD rotalamada kalan toplam enerjinin döngü sayısına göre değişimi

Gönderilen veri paketinin uzunluğu, ağ ömrünü ve dolayısıyla kalan enerji miktarını önemli oranda etkilemektedir. Gönderilen paket uzunluğunun, maksimum döngü sayısına etkisi Tablo 3'te ifade edilmiştir. Buna göre, paket uzunluğu 2 katına çıkarıldığında ağ ömrü yaklaşık yarı yarıya azalmıştır.

Tablo 3. Paket uzunluğunun EEÇD rotalamaya etkisi

Paket Uzunluğu(bit)	Maksimum Döngü Sayısı	Kalan Enerji Miktarı(J)
1000	9755	0.009916
2000	4878	0.009918
5000	1951	0.009914

3.2. KKA Rotalama ile İlgili Bulgular

Karınca Koloni Algoritmali Rotalama yapılırken bir önceki benzetimle kıyaslama yapabilmek için düğümlerin koordinatları, başlangıç enerjileri aynen korunmuştur. Benzetimler sırasında belirli süre sonra enerjisi biten düğümler olacağından, bu

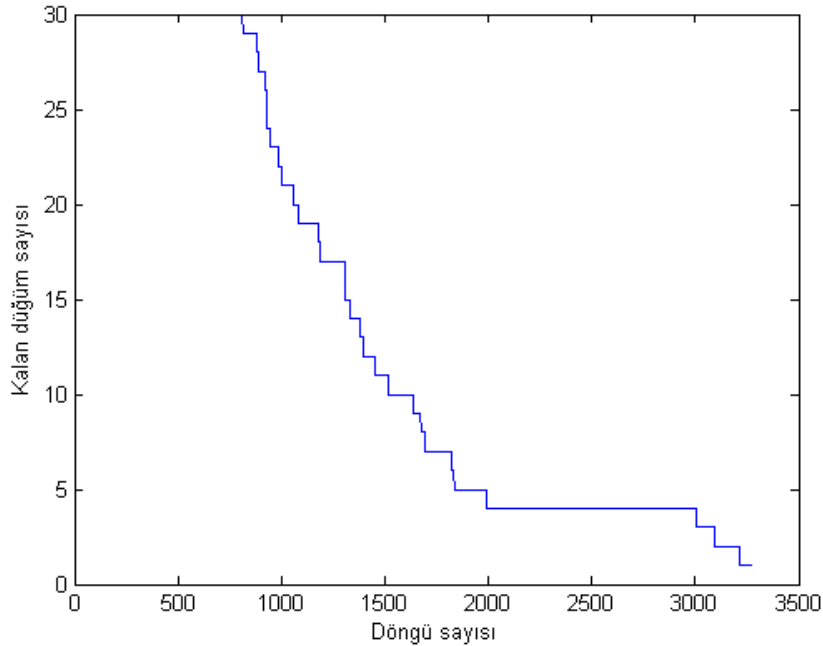
düğümlemlerden geçen rotalar atıl kalacaktır. Bu durumu aşmak için 1000 döngüde bir tekrar rotalama yapılmıştır. Yani 1000 döngülük periyotlarla ağ güncellenmiştir.

KKA'lı Rotalamada, algılayıcıların menzilleri, baz istasyonunun konumu, ρ buharlaşma katsayısı, karınca paket uzunluğu gibi parametreler değiştirilmiştir. Böylece bu parametrelerin değişiminin enerji tüketimine ve baz istasyonuna ulaştırılabilen toplam paket sayısına etkileri araştırılmıştır.

3.2.1. Dğümlerin Menzillerinin Benzetime Etkileri

Yapılan benzetimlerde, algılayıcı dğümlemlerinin menzilleri değiştirilerek bunun ağ ömrüne ve baz istasyonuna ulaşan toplam paket sayısına etkileri araştırılmıştır. Buna göre topolojiye de bağılı olarak, menzilin küçük olması halinde, dğümlemler rotalama yapamaz hale gelmektedir.

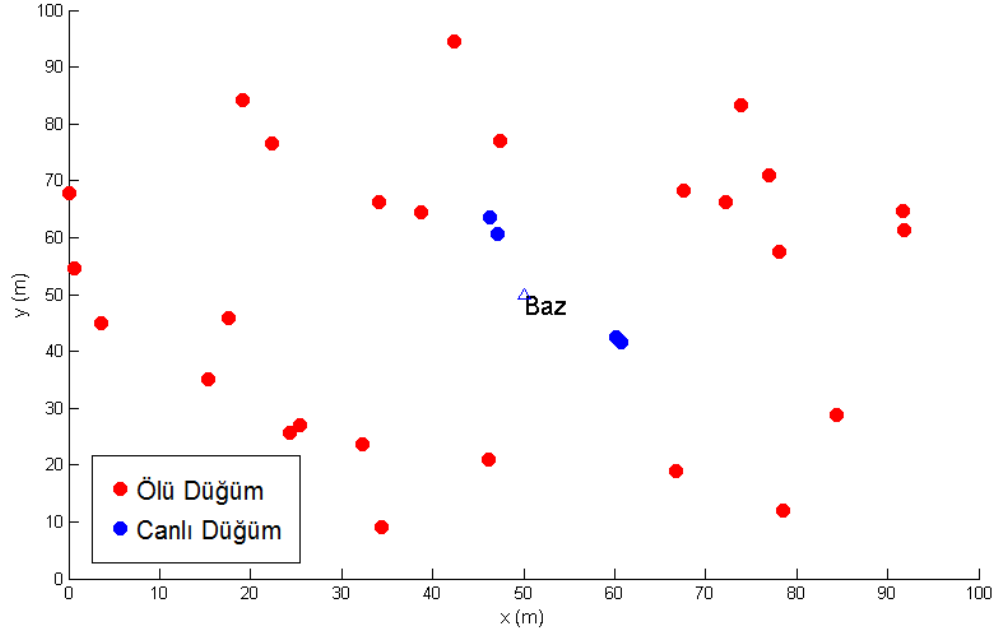
İlk benzetimlerde, algılayıcı dğümlemlerinin menzili 50 metre olarak seçilmiştir. Şekil 25'te bu durumda kalan dğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi verilmiştir. Buna göre başlangıçta 30 dğüm bulunan ağda 3273 döngü sonra 1 dğüm hayatta kalmıştır.



Şekil 25. Kalan dğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi (Menzil 50 m)

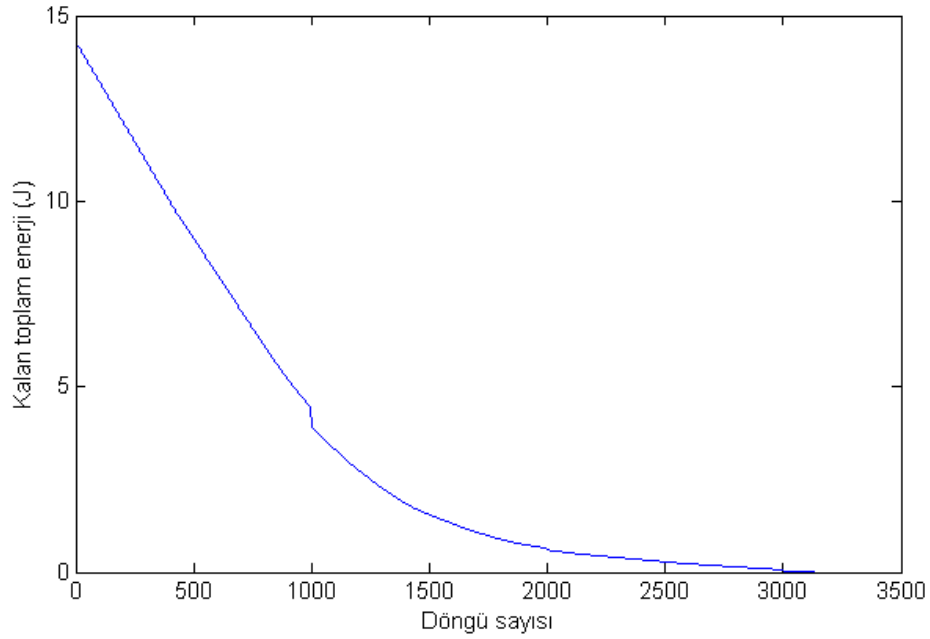
Yine Şekil 25'e bakıldığında 1990 ile 3004'üncü döngü arasında ölen dğümün olmadığı ve kalan 4 dğümün 1000 döngü daha hayatta kalabildiği görülmektedir. Bu dğümlemler baz istasyonuna en yakın konumda olan dğümlemlerdir. Dolayısıyla EEÇD

rotalamada olduğu gibi kalan bu 4 düğüm doğrudan baz istasyonu ile haberleşmektedir. Bu durum Şekil 26'da verilmiştir.



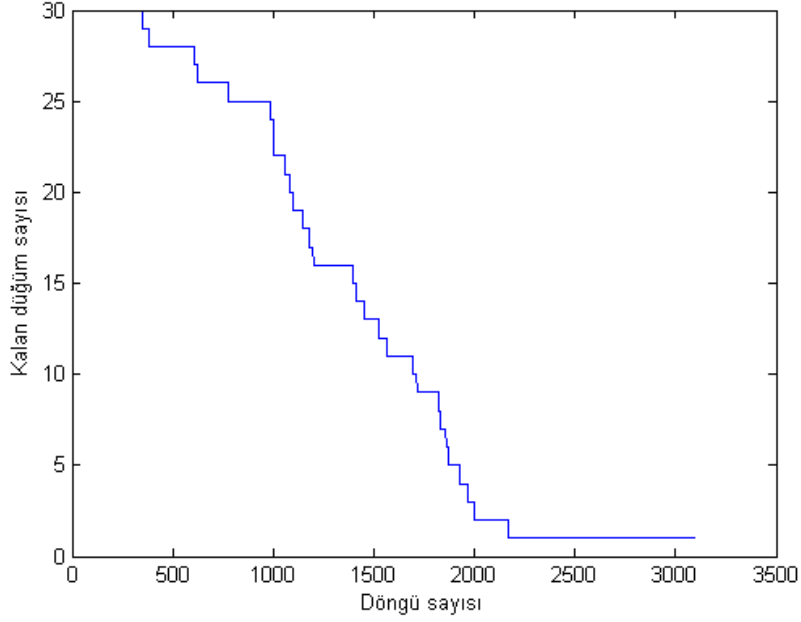
Şekil 26. KKA'lı rotalama benzetiminde 2000'inci döngüde ölü ve canlı düğümler

Benzer şekilde başlangıçta kalan toplam enerji de Şekil 27'de gösterilmiştir. Buna göre başlangıçta ağdaki toplam enerji 15 joule iken 3273 döngü sonucunda 0.009958J'ün altına düşmüştür.



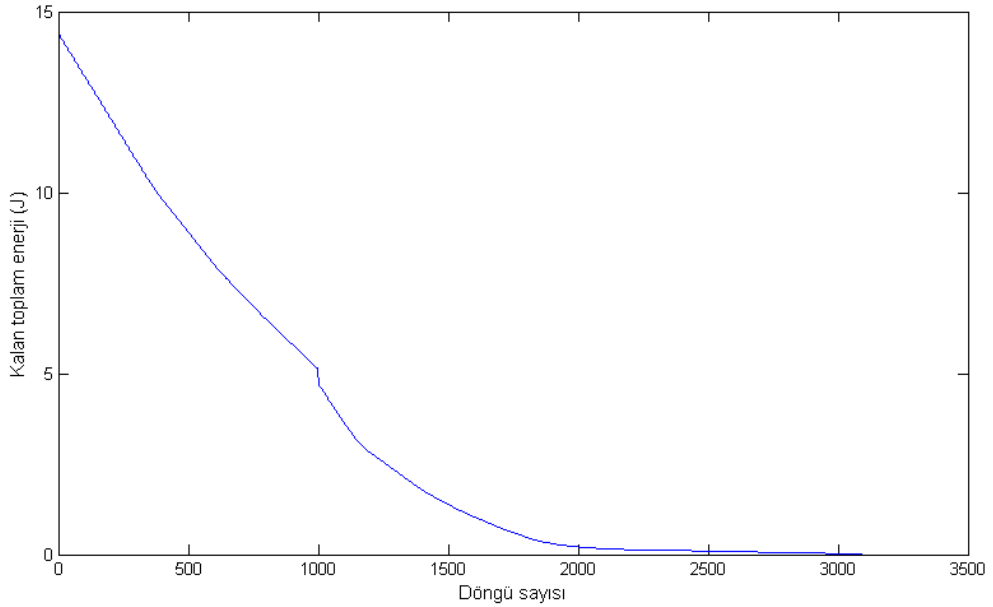
Şekil 27. Kalan toplam enerjinin döngü sayısına göre değişimi (Menzil 50 m)

Algılayıcı düğümlerinin menzilleri 45 metreye düşürüldüğünde, Şekil 28'de görüldüğü gibi 2167 döngü sonra 1 düğüm hayatta kalabilmiştir.



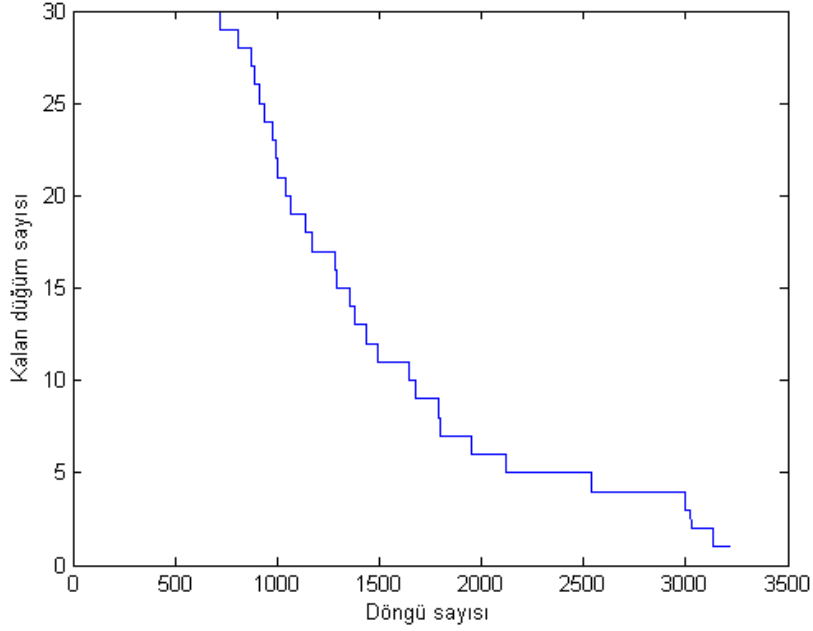
Şekil 28. Kalan düğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi (Menzil 45 m)

Benzer şekilde, Şekil 29'daki gibi, ağın toplam enerjisinin 3091 döngü sonunda 0.009851J'e düştüğü görülmüştür.



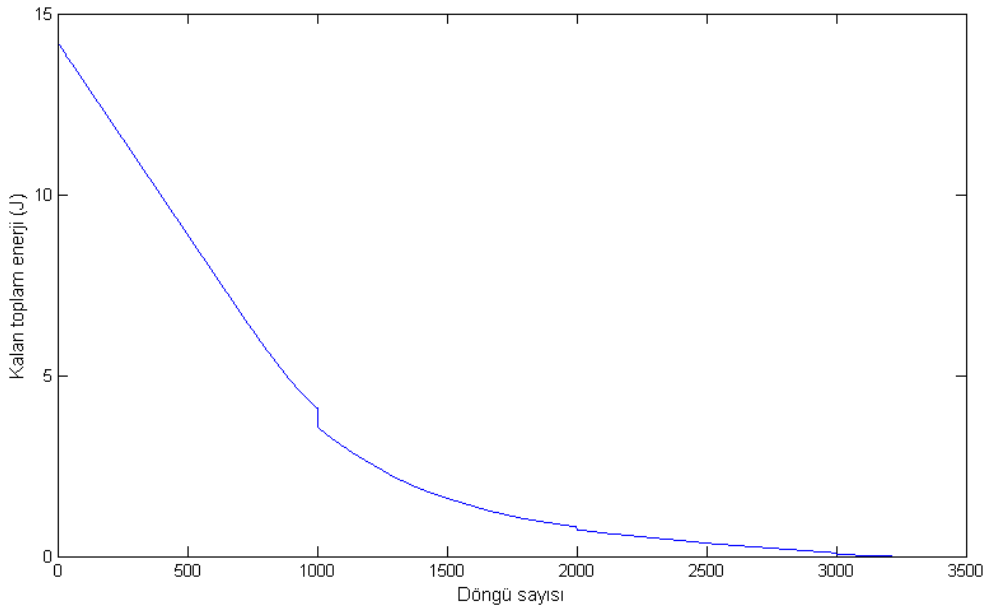
Şekil 29. Kalan toplam enerjinin döngü sayısına göre değişimi (Menzil 45 m)

Düğümlerin menzilleri arttırılarak 55 metre yapıldığında, Şekil 30'daki gibi, 3214 döngü sonunda 1 düğüm hayatta kalmıştır.



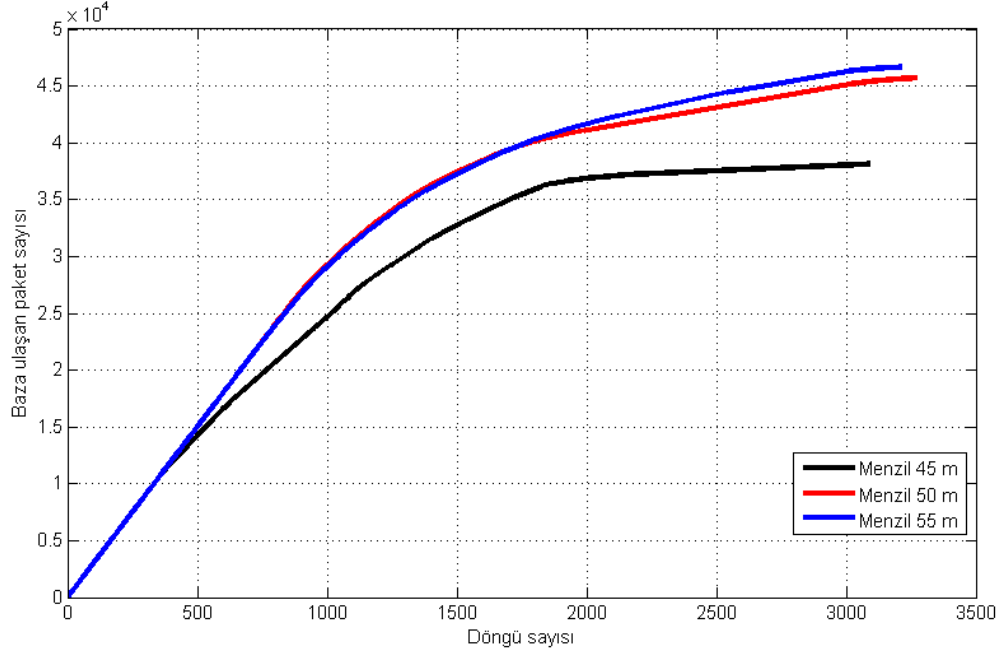
Şekil 30. Kalan düğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi (Menzil 55 m)

Benzer şekilde bu benzetim neticesinde, Şekil 31'deki gibi 3215 döngü sonunda 0.009989 J enerji kalmıştır.



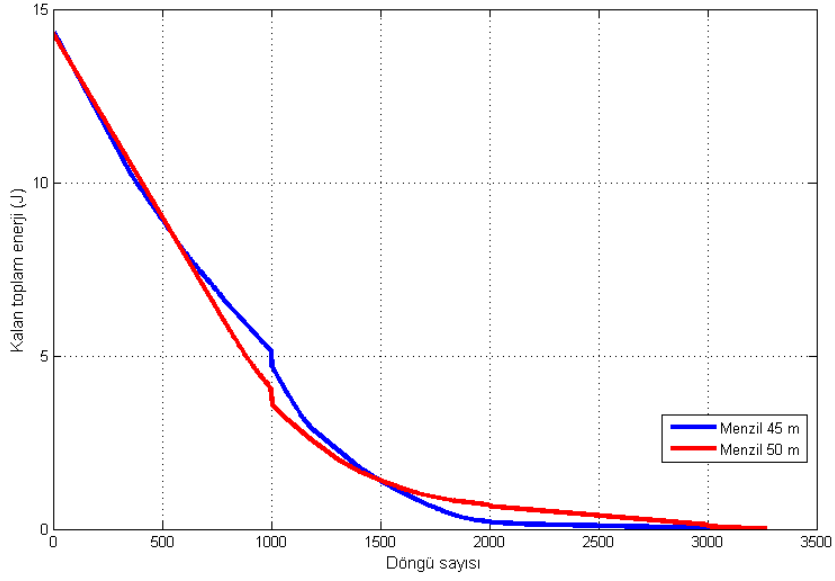
Şekil 31. Kalan toplam enerjinin döngü sayısına göre değişimi (Menzil 55 m)

Algılayıcı düğümlerin menzillerinin değiştirilmesi, baz istasyonuna ulaştırılan toplam paket sayısını da ciddi biçimde etkilemiştir. Şekil 32’de üç farklı menzil için düğümlerin baz istasyonuna ulaştırabildikleri paket sayıları gösterilmiştir. Menzilin 40 metreden daha düşük tutulması, ağ topolojisiyle de alakalı olarak rotalamanın yapılamamasına ve dolayısıyla programın hata vermesine neden olmaktadır.



Şekil 32. Düğümlerin menzil değişiminin baz istasyonuna ulaştırılan toplam paket sayısına etkisi

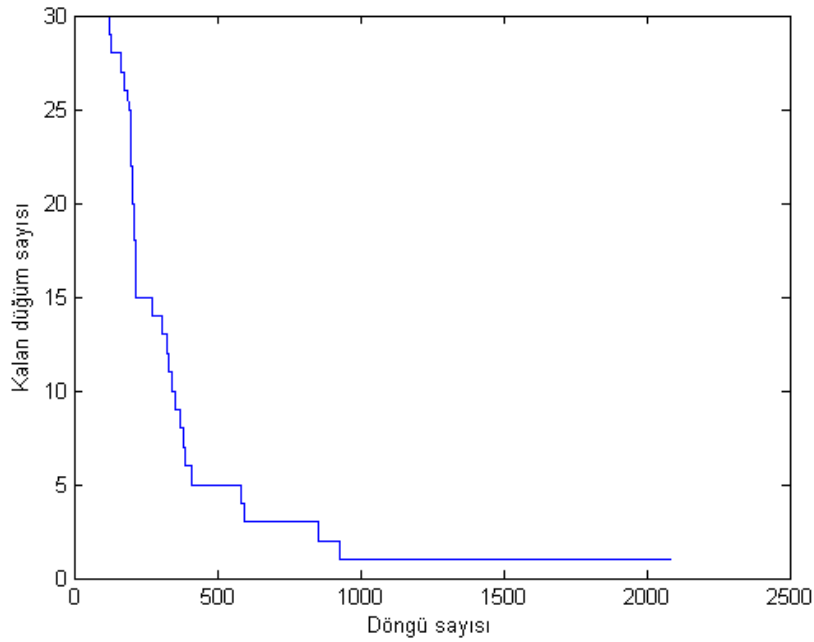
Algılayıcı menzillerinin değişimi, ağın kalan toplam enerjisini de etkilemektedir. Şekil 33’te bu değişim gösterilmiştir. Buna göre algılayıcı düğümlerinin menzilin azalması (50 metreden 45 metreye düşmesi) yaklaşık 1500 döngü boyunca ağın daha yavaş enerji tüketmesine neden olurken, 1500 döngüden sonra daha hızlı enerji tüketimine sebep olmuştur. Sonuç olarak da menzili 50 metre olarak alınan algılayıcı düğümleri daha fazla döngü boyunca hayatta kalabilmiştir. Bunun nedeni 1000’nci döngüde tekrar rotalama yapılması ve ölen düğümlerin rotasının ortadan kalkmasıdır.



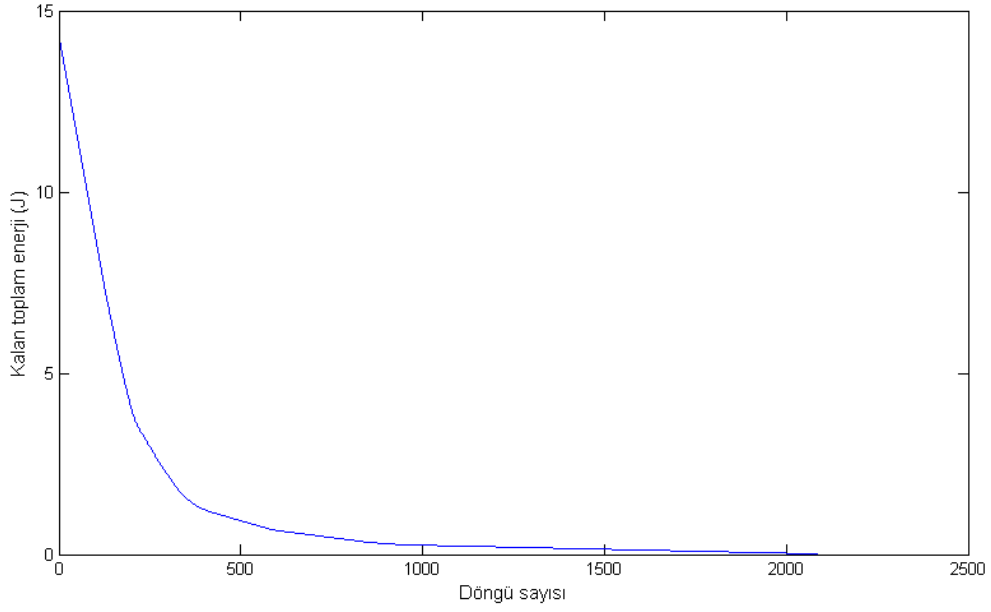
Şekil 33. Algilayıcı menzillerinin kalan toplam enerjiye etkisi

3.2.2. Baz İstasyonu Konumunun Benzetime Etkileri

Baz istasyonu konumunun benzetimlere etkisini araştırmak amacıyla (50,50) koordinatında olan BS, (10,10) koordinatına alınmıştır. Bu durumda Şekil 34'teki gibi düğümlerin 1000 döngüye ulaşmadan çabucak öldükleri görülmüştür. Ağın toplam enerjisi de Şekil 35'teki gibi 2085 döngü sonra 0.009988J'e düşmüştür.

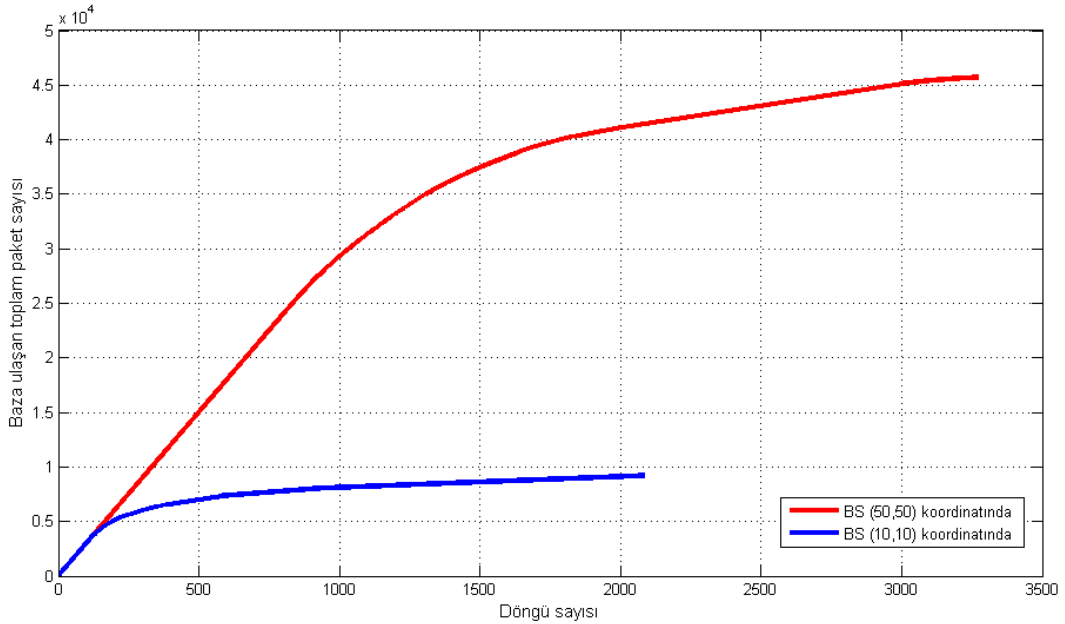


Şekil 34. Kalan düğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi (BS köşede)



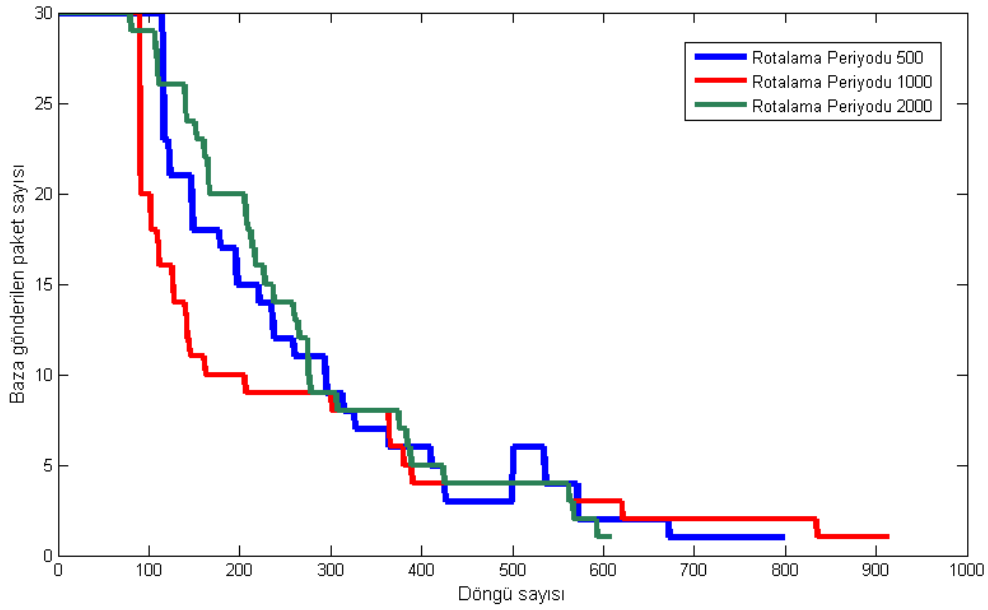
Şekil 35. Kalan toplam enerjinin döngü sayısına göre değişimi (BS köşede)

Benzer şekilde, BS'nin konumu, baza ulaştırılan toplam paket sayısını da ciddi oranda etkilemektedir. Bu bağlamda, Şekil 36'da baz istasyonu (50,50) koordinatındayken 45000'in üzerinde paket alabilmişken, (10,10) koordinatına taşındığında 10000 paket dahi alamamıştır.



Şekil 36. BS konumunun baza ulaştırılan toplam paket sayısına etkisi

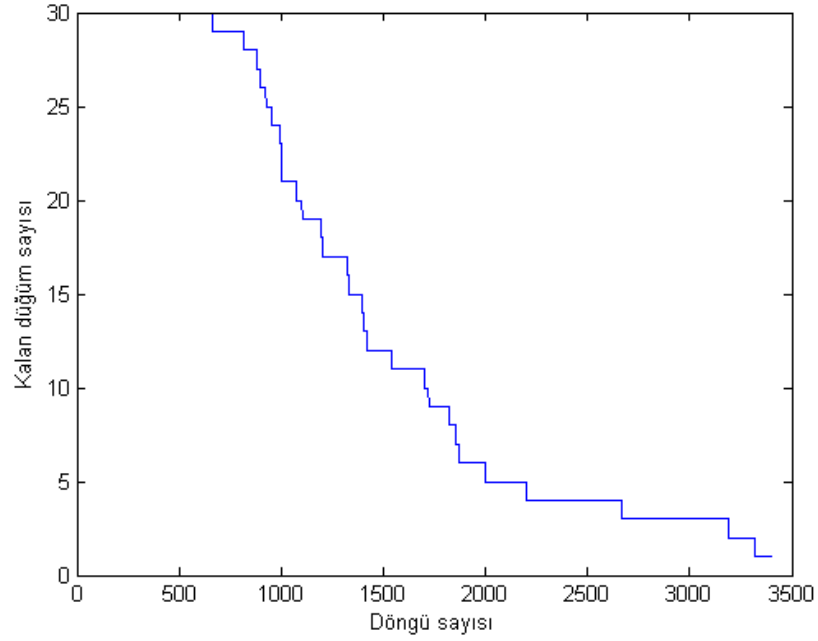
Baz istasyonu (10,10) koordinatına yerleştirildiğinde rotalama periyodunun KKA'lı rotalamaya etkisi araştırılmıştır. Şekil 36'da rotalama periyodu ile baz istasyonuna gönderilen paket sayısının grafiği verilmiştir. Buna göre en uzun süre paket gönderebilen durum rotalama periyodunun 1000 döngü olduğu durumdur. En kısa süre paket gönderebilen senaryo ise rotalama periyodunun 2000 olduğu durumdur. Yine Şekil 35'te rotalama periyodunun 500 olduğu durumda, 3 düğüm baz istasyonuna paket gönderebiliyorken yapılan rotalama sayesinde 6 düğümün baz istasyonuna paket gönderdiği görülmektedir.



Şekil 37. BS konumunun baza gönderilen paket sayısına etkisi

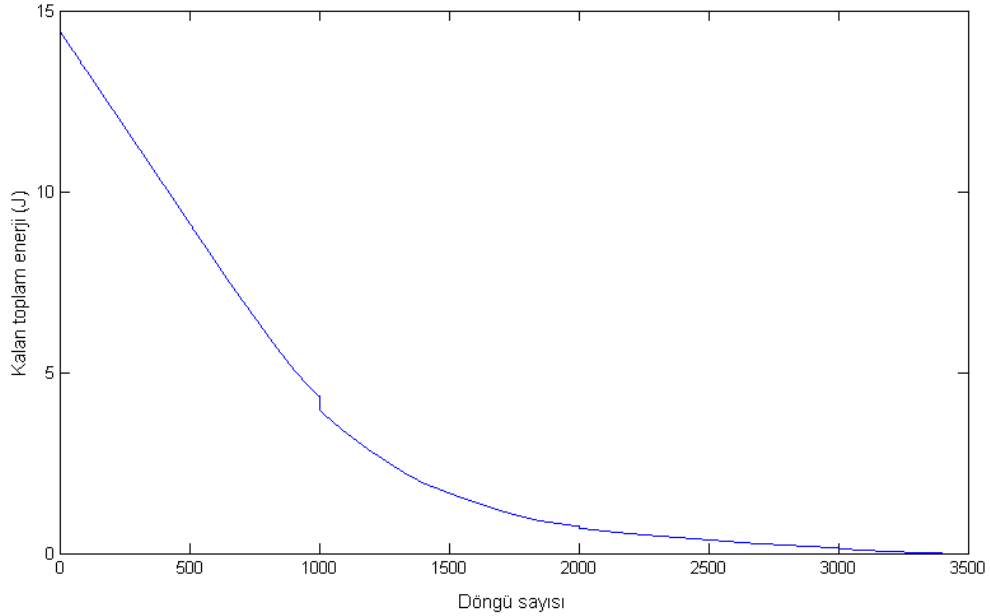
3.2.3. Karınca Paket Uzunluğunun Benzetime Etkileri

KKA'lı rotalama algoritmasına has bir durum olan karınca hafızası (M_k) dizisinin boyutunun da ağ ömrüne ve enerji tüketimine etkisi araştırılmıştır. Buna göre öncelikle M_k 8000 bit alınmış ve kalan düğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi Şekil 38'de verilmiştir. Başlangıçta 30 düğüm olan ağda 3398 döngü sonunda 1 düğüm hayatta kalabilmiştir.



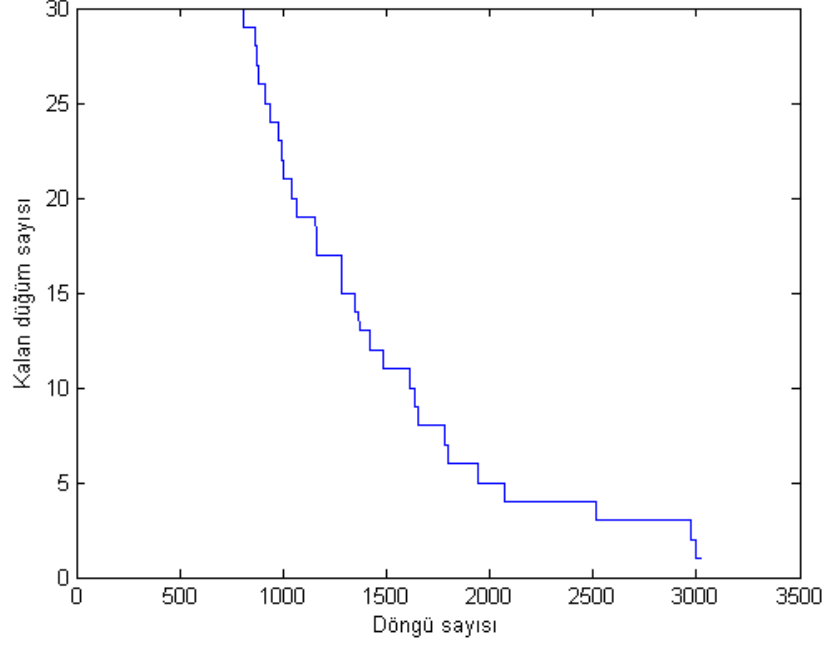
Şekil 38. Kalan düğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi (KPB 8000 bit)

Benzer şekilde ağın kalan toplam enerjisinin döngü sayısına göre değişimi de Şekil 39'da verilmiştir. Bu durumda, başlangıçta 15 J olan toplam enerji ilk rotalamayla 14.43 J'e gerilemiştir. Ağın toplam enerjisi 3398 döngü sonra 0.009974J'e inmiştir.



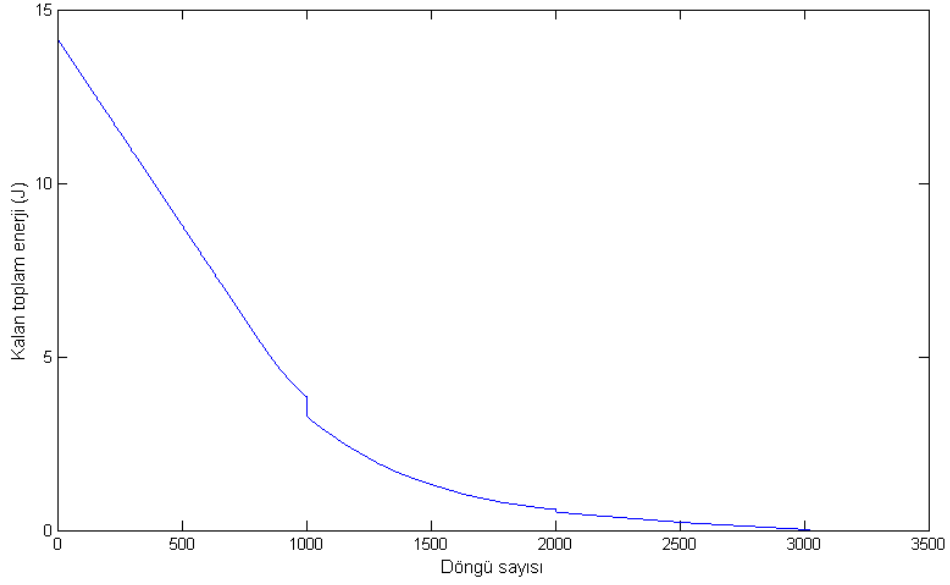
Şekil 39. Kalan toplam enerjinin döngü sayısına göre değişimi (KPB 8000 bit)

Karınca paket boyu 12000 bit alındığında, hayatta kalan düğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi Şekil 40'ta verilmiştir. Buna göre karınca paket boyu 8000'den 12000'e çıkarıldığında ağ ömrü 400 döngü kadar kısalmıştır.



Şekil 40. Kalan düğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi (KPB 12000 bit)

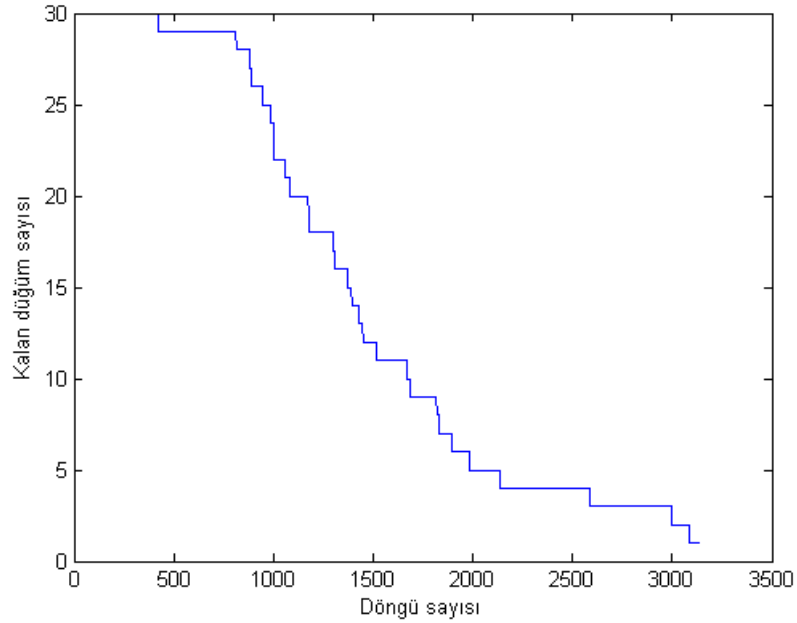
Karınca paketi boyu 12000 bit alındığında, kalan toplam enerjinin döngü sayısına göre değişimi Şekil 41'deki gibidir. Bu durumda, ilk rotalama sonrasında ağın toplam enerjisi 14.15 J olmuştur. Yani karınca hafızasının uzunluğunun artması, rotalama esnasında ciddi enerji kayıplarına neden olmaktadır.



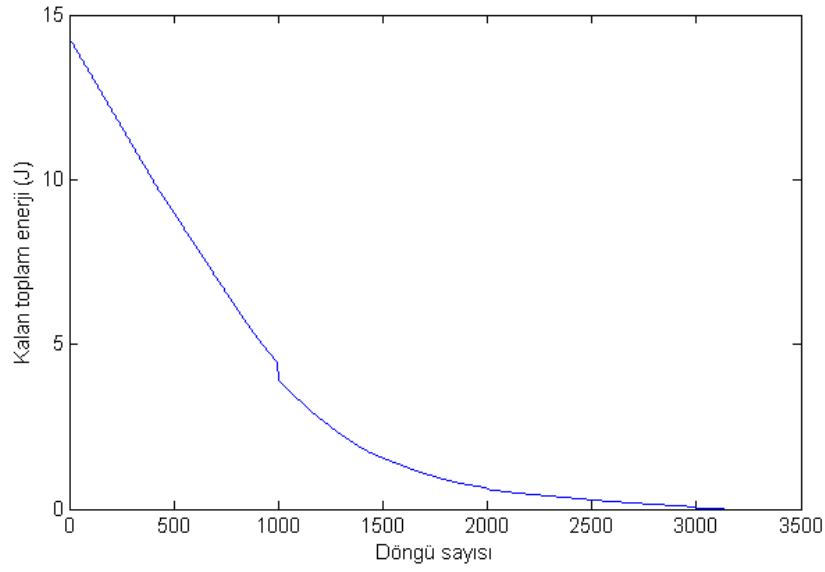
Şekil 41. Kalan toplam enerjinin döngü sayısına göre değişimi (KPB 12000 bit)

3.2.4. Buharlaşma Katsayısının Benzetime Etkileri

Feremon buharlaşma katsayısı olan ve (23) denkleminde yer alan ρ katsayısı, önceki benzetimlerde 0.5 olarak alınmıştı. Bu katsayı 0.3 yapıldığında kalan düğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi Şekil 42'de verilmiştir. Şekil 43'te ise, başlangıçta 15 J olan ağın toplam enerjisinin, 3131 döngü sonunda 0.00999J'e düştüğü görülmektedir.

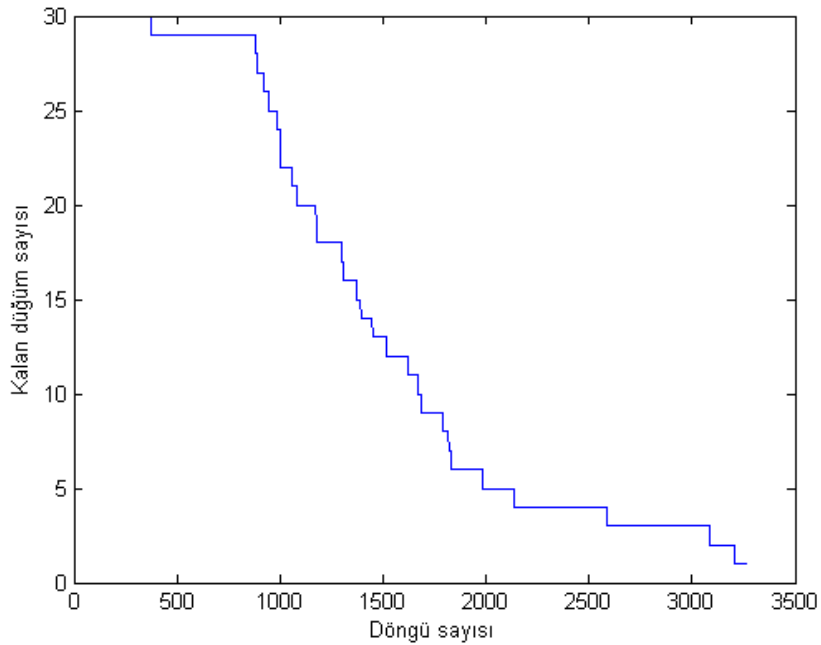


Şekil 42. Kalan düğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi ($\rho = 0.3$)

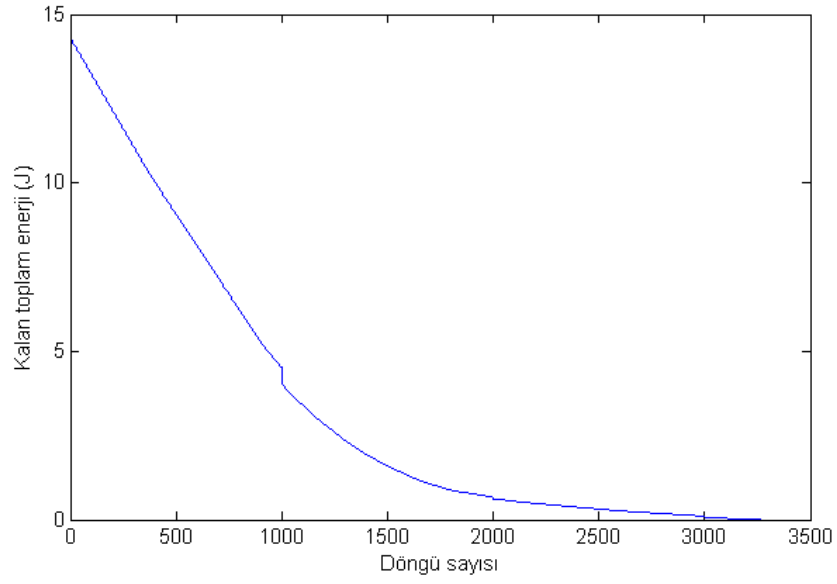


Şekil 43. Kalan toplam enerjinin döngü sayısına göre değişimi ($\rho = 0.3$)

Buharlaştırma katsayısı 0.8'e çıkarıldığında, Şekil 44'te görüldüğü üzere 3265 döngü sonunda 1 düğüm hayatta kalmıştır. Yani ağ ömrü, buharlaştırma katsayısının 0.3 olduğu bir önceki duruma göre, 134 döngü artmıştır. Benzer şekilde 3265 döngü sonunda kalan toplam enerji miktarı, Şekil 45'teki gibi 0.009955 J olmuştur.



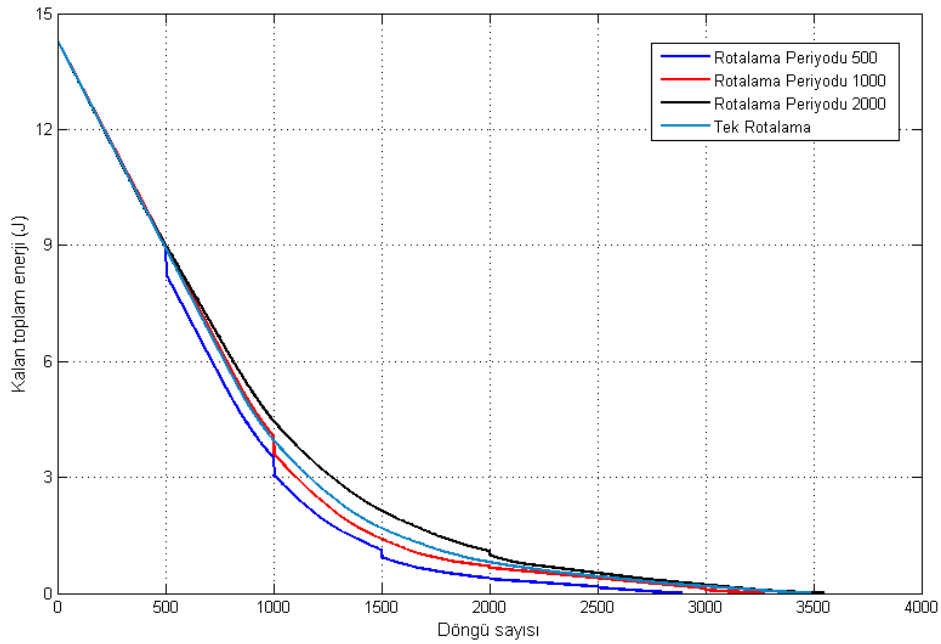
Şekil 44. Kalan düğüm sayısının döngü sayısına göre değişimi ($\rho = 0.8$)



Şekil 45. Kalan toplam enerjinin döngü sayısına göre değişimi ($\rho = 0.8$)

3.2.5. Rotalama Periyodunun Benzetime Etkileri

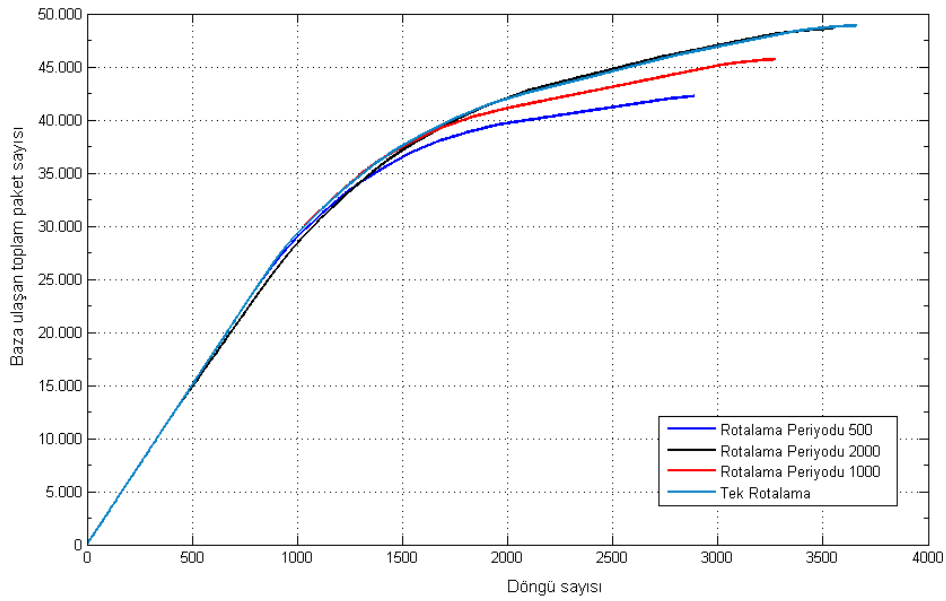
Rotalama periyodu, ağın kendini güncellemesi ve ölü düğümleri belirlemesi açısından önemlidir. Aksi takdirde rota üzerinde ölü düğümün olması, baz istasyonuna ulaşan toplam paket sayısında azalmaya neden olacaktır. Şekil 46'da rotalama periyoduna göre ağda kalan toplam enerji miktarının değişimi verilmiştir.



Şekil 46. Farklı rotalama periyotları için ağda kalan toplam enerji

Buna göre rotalamanın 2000 döngüde bir yapıldığı durum ağ ömrünün en uzun olduğu durumdur. Rotalamanın 500 döngüde bir ve en sık yapıldığı durum ise ağ ömrünün en kısa olduğu durumdur.

Rotalama periyodunun değişmesi, baza ulaşan toplam paket sayısını da etkilemiştir. Bu durum Şekil 47’de görülmektedir. Rotalamanın 500 döngüde bir yapılması halinde, baza iletilen toplam paket sayısı 42240 olmaktadır. Rotalama periyodu 1000 döngü yapıldığında, baza iletilen toplam paket miktarı 45704’e çıkmıştır. Son olarak 2000 döngü yapıldığında baza iletilen toplam paket sayısı 48604 pakete ulaşmıştır.



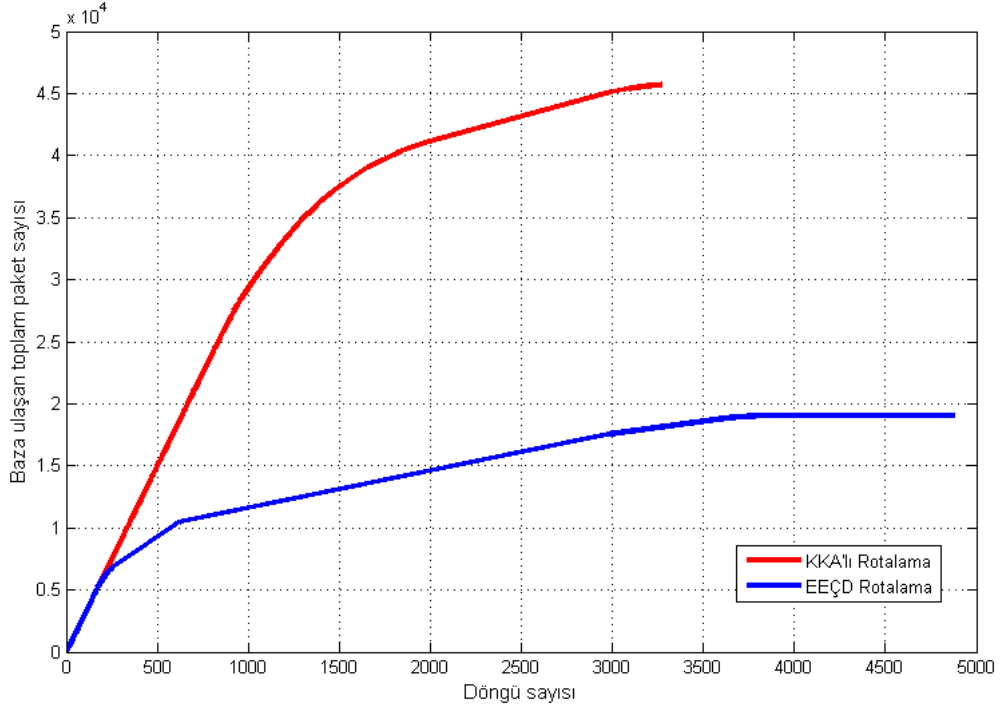
Şekil 47. Farklı rotalama periyotları için baza ulaşan toplam paket sayısı

3.2.6. EEÇD Rotalama ile KKA'lı Rotalamanın Karşılaştırılması

Şekil 48’de iki rotalama benzetiminin baz istasyonuna ulaştırabildikleri paket sayıları karşılaştırılmıştır. Kullanılan parametrelere göre KKA'lı benzetimde düğümler 3273 döngü kadar baz istasyonu ile iletişim kurabilmiş ve toplam 45700 paket iletebilmiştir. EEÇD rotalama benzetiminde ise algılayıcı düğümleri 4878 döngü kadar baz iletişimi kurarlarken sadece 19020 paketi baza iletebilmişlerdir.

Buna göre EEÇD rotalama yönteminin aynı koşullarda ağ ömrü, KKA'lı rotalama yönteminden 1605 döngü kadar uzun olmaktadır. Ancak baz istasyonuna ulaştırılan toplam paket miktarı bakımından bakıldığında durum bunun tam tersidir. Şöyle ki, KKA'lı rotalama yönteminin baz istasyonuna ulaştırabildiği toplam paket sayısı, EEÇD rotalama yönteminkinin 2 katından daha fazladır. EEÇD rotalamada sadece bir kez rotalama

yapıldığından ara düğümlerin enerjileri erken bitmiştir. Dolayısıyla kümelerin uç kısımlarında kalan canlı düğümler baz istasyonuna rota bulamamış ve sonuçta baz istasyonuna iletilen paket sayısı oldukça düşük çıkmıştır. Baz istasyonu ile doğrudan haberleşebilen düğüm sayısı mevcut senaryodan fazla olsaydı, baz istasyonuna iletilen paket sayısı daha yüksek çıkacaktı.



Şekil 48. KKA'lı rotalama benzetimi ile enerji EEÇD rotalama benzetimlerinin baz istasyonuna ulaştırabildikleri paket sayıları

4. TARTIŞMA

Bilgisayar ortamında yapılan bu benzetimlerin, gerçek hayatta ne gibi sorunlarla karşılaşılabileceği hususu tartışmaya açıktır. Zira, yapılan benzetimlerde kullanılan enerji modelleri bir çok yayının temelini teşkil etse de, gerçek hayatta daha farklı sonuçların çıkması mümkündür. Örneğin her iki rotalama yönteminde de düğümlerin birbirine uzaklık bilgileri kullanılmıştır. Bunu yaparken, ilgili düğümün belirli bir yarıçap dahilinde (düğüm menzili) sinyal gönderdiği varsayılmış ve enerji tüketimi de ona göre hesaplanmıştır.

Ayrıca pratikte düğümler birbirine çok yakın konumlarda olduğu halde, önlerindeki herhangi bir engel nedeniyle haberleşme zorlukları çekebilir. Dolayısıyla rotalama sırasında kablosuz iletişimden kaynaklanan bu gibi durumlar sorun yaratabilir.

5. SONUÇLAR

Yapılan benzetimlerde iki rotalama yöntemi farklı açılardan karşılaştırılmıştır. Her iki yöntemde de gönderilen veri paket uzunluğu referans olarak 2000 bit alınmıştır. KKA'lı rotalamaya özgün olarak karınca hafızasının (M_k) uzunluğu 10000 bit önerilmiştir. Buna göre KKA'lı rotalamadaki bu özel durum rotalama sırasında ciddi enerji kayıplarına neden olmaktadır. Şöyle ki, ilk rotalama esnasında yaklaşık 1 düğümün enerjisi kadar enerji harcanmaktadır. Dolayısıyla KKA'lı rotalama ile ilgili olarak;

- Rotalamanın sıkça yapılması, ağ ömrünü azaltmaktadır.
- Buharlaşma katsayısı (ρ), baz istasyonuna iletilen toplam paket sayısına çok fazla etki etmemektedir.
- Aynı şekilde, karınca paket uzunluğu baz istasyonuna ulaştırılan toplam paket sayısına hissedilir derecede etki etmemektedir.
- Topoloji değişiklikleri ağın enerji tüketimini ve dolayısıyla ağ ömrünü ciddi şekilde etkilemektedir.
- Baz istasyonunun konumu, bütün çıktıları etkilemektedir. Zira KKA'lı rotalama benzetiminde, baz istasyonu ağın merkezinde ve düğüm menzilleri de yeterince büyük olduğu için düğümlerin çoğu baz istasyonu ile doğrudan haberleşebilmiştir. Dolayısıyla rotalamanın sık yapılması bu topoloji için çok fazla anlam ifade etmemiştir. Ancak baz istasyonu ağın merkezinde değil de köşesine yerleştirildiğinde, sık rotalamanın baza gönderilen paket sayısına olumlu etki ettiği görülmektedir.
- Düğümlerin menzillerinin artırılması baz istasyonuna ulaştırılan paket sayısını da artırmaktadır.

Her iki rotalama yönteminin topolojileri, başlangıç enerjileri ve iletecekleri veri paketi boyları gibi parametreleri eşit alındığında ise, KKA'lı rotalamanın baz istasyonuna ulaştırabildiği paket sayısı, EEÇD rotalamanınkinin 2 katından fazla olmuştur. Bununla beraber EEÇD rotalama yöntemi ağ ömrü bakımından diğer yöntemden daha iyi sonuç vermiştir.

6. ÖNERİLER

Kablosuz algılayıcı ağlarda kullanılmak üzere çok duraklı rotalama yöntemleri incelenmiştir. İncelenen yöntemlerin ikisi de merkezi bir kontrole ihtiyaç duymadan çalışabilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre 100x100 metrelik alandaki 30 adet düğüm KKA'lı rotalama algoritmasıyla 3000'in üzerinde sayıda bir döngü kadar baz istasyonu ile iletişim kurabilmektedir. EEÇD rotalama benzetiminde ise ağ ömrü diğer yöntemden daha iyi sonuç vermiştir. Ayrıca EEÇD rotalamada baz istasyonuna ulaştırılan paket sayısı, yapılacak ikinci bir rotalama ile artırılabilir. Önerilen yöntemler doğrudan baz istasyonu ile iletişim kurma amacı ile kullanılabilirdiği gibi kümeleme tabanlı bir yapıda küme başı ile düğümler arasında iletişim kurmak için de kullanılabilir. Eğer küme başı ile iletişim yapmak için bu yöntemler kullanılacaksa küme başının enerjisi de göz önüne alınmalıdır. Ayrıca kaç döngü boyunca aynı rotanın kullanılacağı ya da düğümlerin iletişim menzili üzerine çalışmalar yapıp önerilen yöntemle daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

Diğer taraftan ağ topolojisinin ve baz istasyonunun konumunun gerek ağdaki enerji tüketimine gerekse de baza ulaştırılan toplam veri miktarına ciddi biçimde etki ettiği ortadadır. Bu bağlamda baz istasyonu veya küme başı düğümlerinin seçilmesi sırasında topolojinin bilinmesi ve mevcut topolojiye göre çözümler getirilmesi uygun olacaktır.

7. KAYNAKLAR

1. Panzatis N. A., Nikolidakis S. A. ve Vergados, D. D., Energy Efficient Routing Protocols in Wireless Sensor Networks: A Survey, IEEE Communications Surveys&Tutorials,15, 2 (2013) 551-591.
2. Saleem, M., Di Caro, G. ve Farooq, M., Swarm Intelligence Based Routing Protocol for Wireless Sensor Networks: Survey and Future Directions, Information Sciences, 181 (2011) 4597-4624.
3. Yaacoub, E., ve Abu-Dayya, A., Multi-Hop Routing for Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks, Matin M., A., (Ed.), Wireless Sensor Networks-Technology and Protocols, 165-186, InTech Press, 2012.
4. Gaudette B., Energy Management in Solar Powered Wireless Sensor Networks, Master Thesis, Arizona State University, Arizona, 2012.
5. FaryadAghjeh Kand, V., Çok Amaçlı NSGA-II ve MOPSO Optimizasyon Algoritmaları ile Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Optimum Küme Başı Yeri Seçimi ve Kümelemesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2013.
6. <http://www.defenceturkey.com/index2.php?p=article&i=1198#.VUpmEPntnD5>, Patrols Warned Early with Havelsan's Sezgin, 10 Şubat 2015.
7. <https://khedo.wordpress.com/2008/07/09/little-sensors-are-heavyweights-in-rainforest-information-gathering/>, Little Sensors are Heavyweights in Rainforest Information Gathering, 29 Nisan 2015.
8. Katiyar, V., Kumar, P. and Chand, N., "An Intelligent Transportation Systems Architecture Using Wireless Sensor Networks", International Journal of Computer Applications, 14, 2 (2011) 22-26.
9. Sharma, D., Verma, S. ve Sharma K., "Networks Topologies in Wireless Sensor Networks: A Review", IJECT, 4 (2013) 93-97.
10. Yuan, C., ACO-BASED Routing Algorithms for Wireless Mesh Networks, Master Thesis, Concordia University, Montreal, 2009.
11. Ding, P., Holliday, J. ve Celik, A., "Distributed Energy Efficient Hierarchical Clustering for Wireless Sensor Networks", IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS'05), Marina Del Rey, 2005.
12. GhasemAghaei, R., Routing in Wireless Sensor Networks: an Ant-inspired Approach, Master Thesis, Canada's University, Ottawa, 2008.
13. Pazzi R. W., Design and Performance Evaluation of Routing and Streaming Protocols for Wireless Multimedia Sensor Networks, Ph. D. Thesis, University of Ottawa, Ottawa, 2008.
14. Heinzelman W., Kulik J. ve Balakrishnan H, Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks, Proceedings of the ACM/IEEE MobiCom Conference, (1999) 174-185.

15. Heinzelman, W., R., Chandrakasan, A. ve Balakrishnan, H., Energy Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks, Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences, (2000).
16. Karaboğa, D., Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları, Genişletilmiş İkinci Basım, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2011.
17. Yang, X., S., Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms, Second Edition, Luniver Press, Frome, 2010.
18. Dorigo, M., Optimization, Learning and Natural Algorithms, Ph.D. Thesis, Dipartimento Elettronica, Politecnico di Milano, Milan, 1992.
19. Zhang, Y., Kuhn, L. ve Fromherz, M., "Improvements on Ant Routing for Sensor Networks", Workshop on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence, (2004) 154-165.
20. Singh, G., Das, S., Gosavi, S. ve Pujar, S., "Ant Colony Algorithms for Steiner Trees: An Application to Routing in Sensor Networks", *Recent Developments in Biologically Inspired Computing*, de Castro, L. N. ve Von Zuben F. J., (Ed.ler); Idea Group Publishing, 2005.
21. Camilo, T., Carreto, C., Silva, J. ve Boavida, F., An Energy Efficient Ant Base Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks, *Fifth International Workshop on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence*, 2006, 49-59.
22. Ökdem, S. ve Karaboğa, D., Routing in Wireless Sensor Networks Using an Ant Colony Optimization (ACO) Router Chip, Sensors, 9 (2009) 909-921.

8. EKLER

EK 1. KKA'lı rotalamaya ait ana program

```
clc
clearall;
closeall;
% closeall;
load('dy.mat')
load('dx.mat')

M=length(dx); % düğüm sayısı
xs=50; %sinkin x koordinatları
ys=50;%sinkin y koordinatları

x=[dx xs];
y=[dyys];

es(1:M+1)=0.5; %*rand(1,N); % başlangıç
es(M+1)=100;
jx=0;

for i=1:5000

    ifjx==2000
        jx=0;
    end;

    if i==1
        T=0;
    end;
    ifjx==0

        xx1=[];
        yy1=[];
        es2=[];
        es2=es(es>0);
        xx1=x(es>0);
        yy1=y(es>0);
        x=[];
        x=xx1;
        y=[];
        y=yy1;
        es=[];
        es=es2;

        %-----

        N=numel(x);
```

Ek 1'in devamı

```
[rotax,x,y,es,d,T]=dug_rota(T,x,y,es);

end;
[es,saysink]=enerjikarinca(N,es,d,rotax);

kalan(1,i)=sum(es(es>0))-100;
kalan(2,i)=sum(es>0)-1;
kalan(3,i)=saysink;
if (sum(es(es>0))-100)<=0.01

break
end;
jx=jx+1;
end

figure(4);
plot(kalan(1,1:numel(kalan(1,:))));xlabel('Döngü
sayısı');ylabel('Kalan toplam enerji');

figure(5);
plot(kalan(2,1:numel(kalan(2,:))));xlabel('Döngü
sayısı');ylabel('Kalan düğüm sayısı');

figure(6);
plot(kalan(3,1:numel(kalan(3,:))));xlabel('Döngü
sayısı');ylabel('Kalan düğüm sayısı');

figure(7);
plot(cumsum(kalan(3,:)));xlabel('Döngü sayısı');ylabel('baza
ulaşan paket sayısı');
```

ÖZGEÇMİŞ

Volkan GANGAL, 24.10.1988 tarihinde Trabzon'da doğdu. 2007 yılında Akçaabat Anadolu Lisesi'nden, 2012 yılında da Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden iyi derece ile mezun oldu. Aynı yıl KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisansa başladı. 2014 yılından beri KTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.