

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÖNDERME GÜÇ SEVİYESİ ENİYİLEMESİ İLE ORMAN ORTAMINDAKİ  
KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA YAŞAM SÜRESİ ENBÜYÜKLEMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yasin AYDINLI**

**Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bülent TAVLI**

**NİSAN 2018**



Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

.....  
**Prof. Dr. Osman EROĞUL**  
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

.....  
**Doç. Dr. Tolga GİRİCİ**  
Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 141211042 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Yasin AYDINLI** 'nın ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**GÖNDERME GÜÇ SEVİYESİ ENİYİLEMESİ İLE ORMAN ORTAMINDAKİ KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA YAŞAM SÜRESİ ENBÜYÜKLEMESİ**" başlıklı tezi **06.04.2018** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı :** **Prof. Dr. Bülent TAVLI** .....  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Doç. Dr. Tolga GİRİCİ (Başkan)** .....  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Uğur YILDIZ** .....  
TED Üniversitesi



## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Yasin AYDINLI



## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÖNDERME GÜÇ SEVİYESİ ENİYİLEMESİ İLE ORMAN ORTAMINDAKİ  
KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA YAŞAM SÜRESİ ENBÜYÜKLEMESİ

Yasin AYDINLI

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Bülent TAVLI

Tarih: Nisan 2018

Orman ortamındaki kablosuz algılayıcı ağlarda (KAA) yaşam süresinin matematiksel model oluşturularak hesaplanması ve eniyilenmesiyle ilgili çalışma sunulmuştur. Eniyileme, düğümler arasındaki veri ve onaylama (ACKnowledge) paketlerinin güç seviyesine göre en uygun şekilde ayarlanması temeline dayanmaktadır. Sistem modelinin temelini oluşturan yol kaybı parametresi, birçok durumda sabit olarak alınmaktadır. KAA'nın yaşam süresi hesabına direkt olarak etkisi olan bu parametre uzun süren ölçümler sonucunda orman ortamı için modellenmiş ve yaşam süresi bu şekilde hesaplanmıştır. KAA'nın modellenmesiyle birlikte eniyileme için üç farklı metot önerilmiş ve bu metotların etkinliği karşılaştırılmıştır. Önceden yapılmış bir örneği olmayan bu çalışmada orman ortamı için yaşam süresi modellemesi yapılmış ve çeşitli etmenlerin etkisi incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kablosuz algılayıcı ağlar, Gönderim güç seviyesi kontrolü, Orman, Eniyileme, Ağ yaşam süresi, Karışık tamsayılı programlama





## ABSTRACT

Master of Science

LIFETIME MAXIMIZATION OF WIRELESS SENSOR NETWORKS IN FOREST ENVIRONMENT VIA TRANSMISSION POWER LEVEL OPTIMIZATION

Yasin AYDINLI

TOBB University of Economics and Technology  
Institute of Natural and Applied Sciences  
Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Bülent TAVLI

Date: April 2018

In this research, lifetime calculation and optimization of wireless sensor networks (WSN) in forest environment is presented. Optimization is based on transmission of data and acknowledgement packets between nodes according to the power levels in an optimal way. Path loss model, which is the foundation of the system model is assumed to be constant in many cases. This parameter which is directly effecting the lifetime of the WSN, is modeled via extensive measurement campaigns for forest environment. When modelling the WSN, three method is proposed and compared in terms of lifetime maximization. Lifetime model is created for forest environment and several effects are taken into account in this unique research.

**Keywords:** Wireless sensor network, Transmission power level control, Forest, Optimization, Network lifetime, Mixed integer programming



## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca ders ve ders dıőı konularda değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, hem lisans hem de yüksek lisans eğitimim boyunca kendisinden çok őey öğrendiğim çok değerli hocam Prof. Dr. Bülent TAVLI'ya en içten teőekkürlerimi sunarım.

Tez çalıőmam esnasında ihtiyacım olduğu her zaman en içten yardımlarını esirgemeyen Dr. Hüseyin Uğur Yıldız'a, lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, lisans ve yüksek lisans eğitimimi burslu olarak tamamlamama olanak tanıyan ve beni mühendislikle ilgili her türlü bilgiyle donatan okulum TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'ne, tez jürimde bulunmayı kabul edip, tezimin daha değerli hale gelmesi için görüş bildiren değerli hocam Doç. Dr. Tolga Girici'ye, tez çalıőmam sırasında her türlü desteği sağlayan TÜBİTAK Bilgem İltaren'e ve değerli çalışma arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana sağladığı yüksek lisans bursundan dolayı TÜBİTAK BİDEB 2228-A programına teşekkür ederim.

Tezimi, her zaman benimle olup hayatıma anlam katan eőim Büőra Aydınlı'ya, uzun eğitim hayatım boyunca benden maddi manevi hiçbir őeyi eksik etmeyen annem Asiye Aydınlı'ya ve babam Abdül Aydınlı'ya adıyorum. Onların yardımları ve destekleri olmadan buralara asla gelemezdim.



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>x</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Kablosuz Haberleşme .....	1
1.2 Kablosuz Algılayıcı Ağlar .....	1
1.3 Çalışmanın Amacı ve Yöntemi .....	3
1.4 Literatür Araştırması .....	4
<b>2 KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR</b> .....	<b>7</b>
2.1 Kablosuz Algılayıcı Ağ Donanımı.....	8
2.2 Kablosuz Algılayıcı Ağ Güç Seviyeleri.....	10
2.3 Kablosuz Algılayıcı Ağ Topolojileri.....	11
2.4 Kablosuz Algılayıcı Ağların Haberleşme ve Protokol Altyapısı .....	13
<b>3 ENİYİLEME</b> .....	<b>15</b>
3.1 Eniyilemenin Tarihçesi .....	15
3.2 Eniyileme ve Matematiksel Programlama .....	16
3.3 Doğrusal Programlama .....	16
3.4 Tamsayılı Programlama .....	18
3.5 Doğrusal Olmayan Programlama .....	19
3.6 Dinamik Programlama .....	19
3.7 KAA'ların Eniyilenmesi .....	20
3.8 Kullanılan Programlar ve Yöntemler .....	21
<b>4 TASARLANAN ENİYİLEME ÇERÇEVESİ</b> .....	<b>23</b>
4.1 Sistem Modeli .....	23
4.2 Matematiksel Eniyileme Çerçevesi.....	31
4.2.1 Genel karar verme metodu (GKVM).....	32
4.2.2 Yerel karar verme metodu (YKVM).....	34
4.2.3 Ağ bazlı karar verme metodu (AKVM).....	35
<b>5 ANALİZ</b> .....	<b>37</b>
<b>6 SONUÇLAR</b> .....	<b>45</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>47</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>51</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: KAA düğüm bileşenleri.....	9
Şekil 2.2: Mica2 Mote.....	10
Şekil 2.3: Mica2 Mote ayrık güç seviyeleri.....	10
Şekil 2.4: Kablosuz algılayıcı ağ kurulum süreci.....	11
Şekil 2.5: KAA topoloji tipleri.....	12
Şekil 2.6: KAA protokol yığıtı.....	13
Şekil 3.1: Kısıtı olmayan eniyileme.....	16
Şekil 3.2: DP örneği.....	18
Şekil 4.1: KAA'larda örnek düğüm yerleşimi.....	24
Şekil 5.1: Farklı ağaç tiplerinin etkisi – (a) (GKVM-YKVM).....	37
Şekil 5.2: Farklı ağaç tiplerinin etkisi – (b) (GKVM -YKVM).....	38
Şekil 5.3: Farklı düğüm alanlarının etkisi – (a) (YKVM-GKVM).....	38
Şekil 5.4: Farklı düğüm alanlarının etkisi – (b) (YKVM-GKVM).....	39
Şekil 5.5: Farklı ağaç tiplerinin etkisi – (a) (AKVM).....	39
Şekil 5.6: Farklı ağaç tiplerinin etkisi – (b) (AKVM).....	40
Şekil 5.7: Farklı düğüm alanlarının etkisi – (a) (AKVM).....	40
Şekil 5.8: Farklı düğüm alanlarının etkisi – (b) (AKVM).....	41





## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

Tablo 3.1: Ağ örnekleri. ....	20
Tablo 4.1: Örnek Tslot hesaplaması. ....	26
Tablo 4.2: Çalışmada kullanılan orman özellikleri. ....	28
Tablo 5.1: Simülasyon sonucu ağ yaşam süresi ve çözüm süresi (VD=0). ....	42
Tablo 5.2: Simülasyon sonucu ağ yaşam süresi ve çözüm süresi (VD=6). ....	43





## KISALTMALAR

<b>ACK</b>	: Veriyi Onaylayan Paket (İng. Acknowledgement Packet)
<b>ADC</b>	: Analog Sayısal Dönüştürücü (İng. Analog to Digital Converter)
<b>AKVM</b>	: Ağ Bazlı Karar Verme Metodu
<b>BUS</b>	: Ortak Yol
<b>COTS</b>	: Ticari Hazırda Ürün (İng. Commercial Off-the-Shelf)
<b>DP</b>	: Doğrusal Programlama (İng. Linear Programming)
<b>FSK</b>	: Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (İng. Frequency Shift Keying)
<b>GAMS</b>	: Genel Cebirsel Modelleme Sistemi (İng. The General Modeling System)
<b>GKVM</b>	: Genel Karar Verme Metodu
<b>GPS</b>	: Küresel Konumlandırma Sistemi (İng. Global Positioning System)
<b>KA</b>	: Kablosuz Algılayıcı Ağ (İng. Wireless Sensor Network)
<b>KTDP</b>	: Karma Tamsayı Doğrusal Programlama (İng. Mixed Integer Linear Programming)
<b>MAC</b>	: Ortama Erişim Kontrolü (İng. Medium Access Control)
<b>MATLAB</b>	: Matris Laboratuvarı (İng. Matrix Laboratory)
<b>MEMS</b>	: Mikroelektromekanik Sistemler (İng. MicroElectroMechanical Systems)
<b>MP</b>	: Matematiksel Programlama (İng. Mathematical Programming)
<b>NCFSK</b>	: Tutarsız Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (İng. Non-Coherent Frequency Shift Keying)
<b>NI</b>	: Nesnelerin İnterneti (İng. Internet of Things)
<b>OSI</b>	: Açık Ara Sistem Bağlantıları (İng. Open Systems Interconnect)
<b>PCB</b>	: Baskı Devre Kartı (İng. Printed Circuit Board)
<b>RFID</b>	: Radyo Frekansı ile Tanımlama (İng. Radio Frequency Identification)
<b>SNR</b>	: Sinyal Gürültü Oranı (İng. Signal to Noise Ratio)
<b>TP</b>	: Tamsayı Programlama (İng. Integer Programming)
<b>VLSI</b>	: Çok Büyük Çapta Tümleşim (İng. Very Large Scale Integration)
<b>Wi-Fi</b>	: Kablosuz Bağlantı (İng. Wireless Fidelity)
<b>YKVM</b>	: Yerel Karar Verme Metodu



## SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$A_p N$	Düğüm başına düşen alan ( $m^2$ )
$d_0$	Referans uzaklık [1 m]
$d_{ij}$	$i$ ve $j$ düğümü arasındaki uzaklık
$E_b / N_0$	Bit başına düşen SNR
$E_{DA}$	Veri alma enerjisi [600 $\mu$ J]
$E_{rx,ji}^D(l, k)$	Yeniden iletimler dahil tokalaşma sonucu alıcının harcadığı toplam enerji miktarı (J)
$E_{tx,ij}^D(l, k)$	Yeniden iletimler dahil tokalaşma sonucu vericinin harcadığı toplam enerji miktarı (J)
$E_{rx}^{HS,f}$	Başarısız tokalaşmada alıcının harcadığı enerji miktarı (J)
$E_{rx}^{HS,s}(k, M_A)$	Alıcının başarılı tokalaşma sonucu harcadığı enerji miktarı (J)
$E_{tx}^{HS}(l, M_P)$	Vericinin başarılı tokalaşma sonucu harcadığı enerji miktarı (J)
$E_{PP}$	Paket işleme enerjisi [120 $\mu$ J]
$E_{tx}^P(l, \varphi)$	Göndericinin $\varphi$ baytlık paketi $l$ seviyesinde göndermek için harcadığı enerji (J)
$E_{rx}$	1 bit verinin alınması için gereken enerji miktarı (J)
$f_{ij}^{lk}$	Eniyileme stratejilerinde $i$ düğümünden $l$ seviyesinde gönderilip $j$ düğümünden $k$ seviyesinde onaylanan paket sayısı
$G=(V,A)$	Ağ topolojisini temsil eden yönlü grafik
$I_{jn}^i$	Girişim fonksiyonu
$k_B$	Boltzmann sabiti [ $1.38064852(79) \times 10^{-23}$ J/K]
$l$	Güç seviyesi
$LR_{ji}(l, k)$	Sonlu sayıdaki iletimde gerçekleşen kayıp miktarı
$M_P$	Gönderilecek olan veri paketinin boyutu
$M_A$	Gönderilecek olan onay paketinin boyutu
$n$	Yol kaybı katsayısı
$N_n$	KAA'daki düğüm sayısı [5-25]
$N_{round}$	Ağın yaşam döngüsündeki toplam tur sayısı
$N_{rtr}$	Paketin maksimum yeniden gönderilme sayısı [3]

$p$	Gönderilen bitin başarılı alınma ihtimali
$P_{rx,ij}^{ant}(l)$	$i$ düğümünden gönderilen sinyalin $j$ sinyaline geldiğindeki gücü (dBm)
$P_{tx}^{ant}(l)$	Anten çıkış gücü
$P_{rx}^{crc}$	Alma sırasında harcanan sabit güç [35.4 mW]
$P_{tx}^{crc}(l)$	Gönderme sırasında $l$ güç seviyesinde harcanan güç (mW)
$P_{DA}$	Veri işlenmesi için harcanan güç [30 mW]
$P_e$	Bit hata oranı (BER)
$p_{ij}^f(l, \varphi)$	$\varphi$ baytlık paketin $i$ düğümünden $j$ düğümüne $l$ güç seviyesinde başarısız iletilme ihtimali
$p_{ij}^{HS,f}(l, k)$	Başarısız tokalaşma ihtimali
$p_{ij}^{HS,s}(l, k)$	Başarılı tokalaşma ihtimali
$p_{ij}^s(l, \varphi)$	$\varphi$ baytlık paketin $i$ düğümünden $j$ düğümüne $l$ güç seviyesinde başarılı iletilme ihtimali
$P_{battery}$	Düğümün sahip olduğu enerji (pil)
$P_n$	Gürültü gücü [-115 dBm]
$P_{sleep}$	Uyku modunda harcanan güç [3 $\mu$ W]
$P_{sns}$	Hassasiyet düzeyi [-102 dBm]
$PL_{ij}(dB)$	$i$ düğümü ile $j$ düğümü arasındaki yol kaybı
$SNR_{ij}(l)$	Sinyal gürültü oranı (dBm)
$T_{busy}$	Düğümlerin alıcı yada verici konumunda (meşgul) oldukları zaman
$T_{guard}$	Koruma zamanı [100 $\mu$ s]
$T_{response}$	Alıcı düğüm tepki zamanı [500 $\mu$ s]
$T_{round}$	Toplam tur süresi
$T_{slot}$	Veri iletiminin gerçekleştiği zaman dilimi
$T_{tx}(\varphi)$	$\varphi$ bayt verinin gönderilme süresi
$X_\sigma$	Standart sapma [4.8 dB]
$\lambda_{ij}(l, k)$	Verinin tekrar iletilme sayısı
$\xi$	Düğümün kullandığı toplam bant genişliği (s)
$\zeta$	Kanal veri hızı [19.2 Kbps]

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Kablosuz Haberleşme

Kablosuz haberleşme, göndericiden alıcıya verinin herhangi bir kablo veya benzeri elektrik iletim ara yüzü olmadan gönderilmesidir. 1897 yılında Marconi'nin yapmış olduğu kablosuz telgraf denemeleriyle başlayan kablosuz haberleşme, 1901 yılında Atlantik okyanusu üzerinden radyo yayını iletiminin sağlanmasıyla birlikte geniş kitlelerin ilgisini çekmeye başlamıştır. 1960'lı yıllardan beri artan çalışmalar son yıllarda üç ana sebepten ötürü ciddi bir artış göstermiştir. Bunlardan ilki, kablosuz bağlantıya duyulan ihtiyacın her yıl ciddi ölçüde artış göstermesidir. İkincisi, gelişen VLSI teknolojisi sayesinde çok küçük alanlarda ve düşük güçte karmaşık sinyal işleme algoritmalarının uygulanabilir hale gelmesidir. Son sebep ise sırasıyla 2G, 3G ve 4G teknolojilerinin başarısı, yapılan teorik çalışmaların gündelik hayatta son derece etkili olduğunu göstermesidir [1].

## 1.2 Kablosuz Algılayıcı Ağlar

Kablosuz olarak birbirine bağlı olan cihaz sayısının artması son zamanlarda sıklıkla duyulan iki kavramın temelini oluşturmaktadır. Bunlar akıllı şebeke (İng. smart grid) ve nesnelerin internetidir (İng. internet of things – IoT).

Günümüzde kullanılan elektrik şebekesinin oluşturulduğu dönemdeki amaç sadece bir noktada üretilen elektriği diğer noktalara dağıtmaktı. Bu sistem günümüz modern dünyasının ihtiyaçlarını karşılayamamaktadır. Akıllı şebeke yapısı elektrik dağıtım şebekesini daha dayanıklı ve güvenilir hale getirmek düşüncesiyle ortaya çıkmıştır. Bunu yaparken güç arz-talep dengesini daha iyi kontrol etmeyi, enerji tasarrufu sağlamayı, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonunu kolaylaştırmayı ve dağıtım maliyetlerini düşürmeyi hedefleyen şebeke yapısı bilgi ve iletişim ağları ile donatılıp ölçüm ve kontrol teknolojileriyle desteklenmektedir.

Nesnelerin interneti konseptinde gündelik hayatta etrafımızda bulunan RFID etiketleri, sensörler, cep telefonları, giyilebilir elektronik eşyalar, bilgisayarlar gibi çok sayıda nesne kendi aralarında haberleşerek ortak bir amaç için çalışırlar ve bunu yaparken RFID, Wi-Fi, Bluetooth gibi açık kaynak kablosuz haberleşme altyapılarını kullanırlar [2], [3]. 2000'li yılların başından itibaren cep telefonu, tablet ve bilgisayar gibi kablosuz bağlantı ihtiyacı olan cihazlara ek olarak çeşitli görevleri gerçekleştiren ve elde ettiği veriyi kablosuz olarak önceden tanımlanmış olan konuma gönderen yapıların ortaya çıkmasıyla ortak bir ağa yani internete bağlanan cihaz sayısı çok ciddi bir artış göstermiştir. Öngörüler, 2020 yılına kadar internete bağlı cihaz sayısının 50 milyara ulaşacağı yönündedir. Nesnelerin interneti konseptinin temel taşlarından biri ise Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA) (İng. Wireless Sensor Network - WSN)'dir. KAA'lar bir adet baz istasyon (İng. base station) ve çok sayıda düğümden (İng. node) oluşmaktadır. KAA'lar küçük boyutlarıyla etrafında meydana gelen fiziksel değerleri (örneğin, sıcaklık, nem, ışık şiddeti, titreşim, basınç vb.) algılamak üzere önceden belirlenmiş bir alana rastgele yerleştirilmiş düğümlerden oluşur. Bu düğümler algılama görevi üstlendikleri için sensör olarak da adlandırılırlar. Uygulamaya göre istenilen sayıda ve yoğunlukta kullanılan düğümler belirli aralıklarla edindikleri bilgileri direkt olarak veya diğer düğümleri kullanarak merkez istasyona gönderirler.

KAA'ların ilk kullanıldığı yer Vietnam savaşıdır. Ormanlık alanda düşmanın tespiti için kullanılan bu yapı, çok sayıda sensöre ihtiyaç duyulması, sensörlerin harcadığı yüksek güç ve sensörlerin kendi arasındaki iletişimi ile ilgili sorunlar nedeniyle istenilen başarıya ulaşamamıştır [4]. 1960'lardan günümüze kadar kullanım alanı gittikçe artan KAA'ların son yıllarda yaşanan gelişmeler nedeniyle büyük ölçekli kullanımını daha mümkün hale gelmiştir. Tarlalarda ürün verimliliğini arttırmak için mikro-iklim (İng. micro-climate) alanlarını bulmak ve ölçmek, trafik sıkışıklığını ve kazaları engellemek için yerleşim yerindeki tüm yollarda trafik durumunu gözetlemek, doğalgaz hatlarında oluşabilecek kaçaqları ve sorunları tespit etmek gibi uygulamalar KAA'ların geniş ölçekli kullanılmasına örnek olarak verilebilir [5].

KAA'ların sıklıkla kullanılmasının sebeplerinden biri de çok kolay bir şekilde uygulanabilmeleridir. Belirlenen ortama rastgele olarak atılan düğümler kendi aralarındaki veri iletişimini sağlayıp göreve hızlı bir şekilde hazır hale gelmektedir.



Günümüzde KAA'lar askeri [6], çevresel [7], [8], sağlık [9]–[11], bilim [12], endüstri [13], akıllı ev teknolojileri [14], tarım [15]–[18] uygulamaları gibi birçok alanda önemli görevlerde kullanılmaktadır.

### 1.3 Çalışmanın Amacı ve Yöntemi

KAA'ların sahip oldukları kısıtlı batarya güçleri bu yapıların en zayıf noktalarıdır. Bu sebeple ağır yaşam süresini enbüyükleyebilmek için düğümlerin veriyi birbirleri ile koordine bir şekilde baz istasyonuna aktarmaları gerekmektedir [19]. İletim güç kontrolü ve paket boyutu eniyilemesi KAA'nın enerji verimliliğini arttırarak yaşam süresini arttırmak için etkili yollardandır [20].

Bu çalışmada benzetim senaryosu olarak özellikli bir ortam olan orman ortamı seçilmiştir. Daha önce orman alanında benzeri yapılmamış olan bu çalışmada, KAA'ların yaşam süresinin eniyilenmesi ortam parametreleri de dikkate alınarak yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında KAA'da yaşam süresini eniyileyebilmek için ortam modellemesi yapıp veri link katmanında (İng. data link layer) doğruluğu kanıtlanmış gerçekçi enerji tüketim modelleri kullanılmıştır. Oluşan eniyileme probleminin çözülmesi için ise matematiksel programlama altyapısı oluşturulmuş ve çeşitli durumlar için bu problemler ele alınmıştır.

Bu çalışma kapsamında aşağıdaki sorulara cevap aranmaktadır:

- KAA'nın yaşam süresi orman ortamındaki parametrelere bağlı mıdır?
- KAA'nın yaşam süresi orman ortamındaki parametrelere bağlıysa bu parametreler nelerdir?
- KAA'nın yaşam süresini eniyilemek için hangi strateji kullanılmalıdır?

Tez çalışmasının geri kalan kısmı şu şekilde oluşturulmuştur: 2.bölümde kablosuz algılayıcı ağlarla ilgili tanımlar ve açıklayıcı bilgiler, 3.bölümde ise eniyileme ve matematiksel programlama altyapıları ile ilgili bilgiler verilmiştir. 4.bölümde tez çalışmasında kullanılacak olan model ve eniyileme altyapısı sunulmuştur. 5.bölümde elde edilen benzetim (İng. simulation) sonuçları üzerinden analiz yapılmıştır. 6. bölümde ise tez çalışması sonucunda elde edilen sonuçlar aktarılmıştır.

#### 1.4 Literatür Araştırması

Orman ortamında KAA'lar ile ilgili detaylı çalışmalardan biri HE'nin çalışmasıdır [21]. Bu tez çalışmasında, orman ortamında yapılacak olan pratik çalışmalarda KAA'ların nasıl daha etkin kullanılabilceği araştırılmıştır. Orman ortamından kaynaklı sorunlara karşı hataya dayanıklı yer tayin etme metodunun önerildiği bu çalışmada elde edilen sonuçlar büyük ölçekli KAA yapılarında uygulanmıştır.

KAA'ların orman ortamındaki kullanımıyla ilgili diğer bir çalışmayı Xiaochuan ve arkadaşları yapmıştır [21]. Çalışmanın amacı orman ortamındaki KAA'ları daha iyi modelleyebilmek için çeşitli ölçümler almaktır. Çin'de bulunan Purple Mountain ormanında yapılan pratik çalışmalarda 2 bölge halinde toplam 18 düğüm kullanılmış ve sıcaklık, nem gibi değerler ölçülmüştür. İlerleyen çalışmalarda düğüm sayısı 200-300 mertebesine getirilerek çalışmaların tekrarlanması hedeflenmektedir.

Orman ortamında kullanılan KAA'larla ilgili en çok çalışma şüphesiz ki erken yangın tespiti (İng. early fire detection) alanında yapılmıştır. Bu çalışmalardan en önemlisi şüphesiz Liyang'ın çalışmasıdır [22]. Hâlihazırda kullanılmakta olan uydu temelli yöntem alternatif olarak önerilen bu çalışmada gerçek zamanlı veri toplama ve işleme teorisi ele alınmıştır. Ağ içindeki veri işleme için ise sinir ağı (İng. neural network) yöntemi önerilmiş ve sonuç olarak başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

[23]'teki çalışmada Güney Kore ormanlarında sıcaklık, nem ve duman ölçen düğümler kullanılmıştır. Optik kamera, kızılötesi kamera ve uydu sistemlerinin kullanıldığı eski teknolojilere karşı önerilen KAA çözümünde gerçek zamanlı (İng. real time) sonuçlar ve gerekli durumda uyarılar bir web uygulaması üzerinden gösterilmektedir. [24]'deki çalışmada ise yangının erken tespiti için sıcaklık ve nem parametreleri üzerinden modelleme çalışmaları yapılmıştır. [25], [26]'daki çalışmalarda da aynı bakış açısıyla bir model oluşturulurken Lloret ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak gerçek veriler kullanılarak doğrulama çalışması yürütülmüştür. [27]'de KAA yapısı için ayrıntılı bir çerçeve çizilmiştir. Bu kapsamda çeşitli KAA mimarileri incelenmiş, sensör yerleşim önerileri verilmiştir. Sensor kümelerinin nasıl oluşturulacağı ve haberleşme protokolleri de karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışmaların geçerliliğinin testi için çeşitli simülasyonlar koşturulmuştur.

KAA'lar için en önemli kısıt güçtür. Genellikle 2 veya 3 adet kalem pille çalışan düğümlerin yaşam süresini eniyileyeabilmek için düğümlerin harcadığı enerji olabildiğince düşük seviyeye çekilmelidir. KAA'yı oluşturan düğümlerin enerji bütçesinde ise en yüksek miktarı haberleşme için harcanan enerji almaktadır. Bu sebeple haberleşme için enerjiyi enazlamak kritiktir. Bu konuyla ilgili literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur ve çeşitli metotlar önerilmiştir. Bu metotların başında iletim güç kontrolü (İng. Transmission Power Control) gelmektedir.

KAA'larda iletim güç kontrolü temel olarak üç farklı yolla yapılmaktadır. Birincisi ağ seviyesi (İng. network level) iletim güç kontrolüdür. Bu stratejide bütün ağ gönderim için tek bir güç seviyesi kullanır. İkincisi strateji, düğüm seviyesi (İng. node level) iletim güç kontrolüdür. Burada ise ağ üzerindeki her düğüm, kendi içerisinde tek bir optimum güç seviyesi kullanır. Son yöntem olan link seviyesi (İng. link level) gönderim güç kontrolünde ise her linkin gönderim güç seviyesi farklı olmaktadır.

Eski ve önemli bir çalışma olan Lin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada uyarlanabilir (İng. adaptive) bir iletim güç kontrolü önerilmiştir [28]. Sensör olarak MicaZ platformunun kullanıldığı bu çalışmada haberleşme için toplam gücün % 78.8'i kadar bir güç harcadığı görülebilmektedir.

[29]'daki çalışmada iletim güç kontrolü için PCSMAC (Power Controlled Sensor MAC) isminde bir protokol önerilmiştir. Bu protokolle gönderilecek veri ve ACK paketlerinin en yüksek güç seviyesi yerine eniyilenmiş olan seviyeyle gönderilmesi önerilmektedir.

[30]'daki çalışma ilginç bir bakış açısı ile yapılmıştır. Halihazırda kullanılmakta olan televizyon altyapısını kullanarak çalışan KAA yapısı tasarlanmıştır. Tasarlanan bu KAA yapısı toplam bant genişliğinden televizyon yayının kullanmadığı kısmını kullanarak temel bir iletim güç kontrol önermesinde bulunmaktadır.

Srivastava ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada iletim kanalı sonlu durumlu Markov kanalı (İng. finite state Markov chain) olarak modellenmiştir. Oluşturulan matematiksel problem farklı olarak dinamik programlama modeli ile çözülmüştür [31].

Yapılan literatür taramasının sonucunda KAA'ların yaşam süresinin eniyilenmesi ve orman ortamındaki kablosuz algılayıcı ağların kullanım alanları ayrı ayrı incelenmiş olsalar da iki bakış açısını birleştiren bir çalışmanın daha önce yapılmadığı

gözlemlenmiştir. Bu çalışmada çalışılacak alan olarak özellikli bir alan olan orman ortamı seçilmiştir. Eniyileme yöntemi olarak ise güç seviyesi kontrolü yöntemi seçilmiştir. Bu çalışmanın iki farklı çalışma alanını bir araya getirmesi ile ele alınış açısından yeni bir bakış açısı kazandırdığı söylenebilir.



## 2 KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR

Kablosuz algılayıcı ağlar, uzaysal alanda dağıtık halde bulunan algılayıcı düğümlerden oluşur. Bu düğümler temel olarak algılama, veri işleme ve veri iletişimi yeteneğine sahiptirler. Tipik bir KAA yapısında bir baz istasyonu ve çok sayıda algılayıcı düğüm vardır. Bu düğümler düşük işlem kapasitelidir ve enerji kaynakları oldukça kısıtlıdır. Baz istasyonları güç, işlem yeteneği ve diğer temel iletişim özellikleri bakımında diğer düğümlere göre daha niteliklidir. Düğümler tarafından algılanan ham veriler veya üretilen işlenmiş veriler yapılacak olan çeşitli işlemler ve sonucunda anlamlandırma için baz istasyonuna iletilmektedir [32].

Donanımsal olarak işlemci ünitesi, haberleşme birimi ve güç kaynağından oluşan düğümlerin bir araya gelmesiyle KAA yapıları oluşur. Düğümler konuldukları yerdeki fiziksel nicelikleri (örneğin, sıcaklık, nem, ışık şiddeti, titreşim, basınç vb.) ölçerek veriyi tercihe göre ham veya işlenmiş olarak baz istasyona iletirler. Düğümler veriyi direkt olarak baz istasyonuna gönderebildikleri gibi diğer düğümler aracılığıyla da gönderebilirler.

Geniş bir coğrafyada çok sayıda düğüm kullanılarak istenen algılama altyapısı kurulabilir. Sensörlerin küçülen boyutları ve gelişen kablosuz haberleşme teknolojileri ile KAA'ların kullanıldığı alanlar ve bilimsel çalışmalardaki yeri gün geçtikçe artmaktadır. Askeri teknolojiler, akıllı ev sistemleri, tarım, sağlık ve buna benzer birçok alanda KAA'ların kullanımını her geçen gün yaygınlaştırmaktadır [33].

KAA'ların kullanımının yaygınlaşmasının diğer bir nedeni ise bu yapının kolay bir şekilde istenilen ortama yerleştirilmesi ve montaj, bakım maliyetlerinin asgari seviyede olmasıdır. Algılayıcı düğümler istenilen yere elle yerleştirilebildiği gibi uçaktan atılarak, robotlar tarafından yerleştirilerek veya mancınık benzeri yapılarla rastgele atılarak da kolayca istenilen alanda faaliyete geçebilirler [6].

Küçük batarya üniteleri kullanılarak kablosuz kontrol algoritmalarıyla uzun süreler hayatta kalması gereken bu birimlerde tahmin edilebileceği gibi enerji verimliliği son

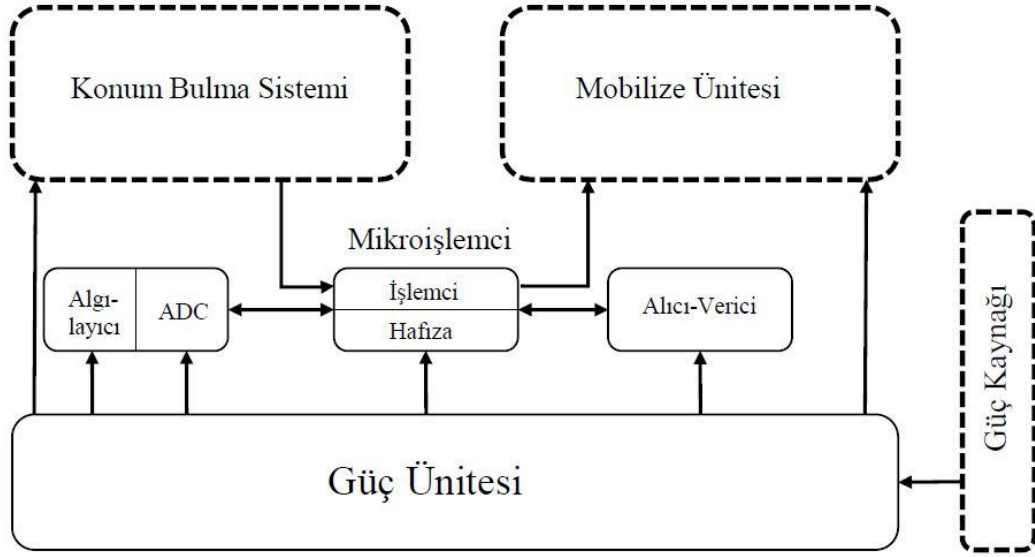
derece önemlidir. Bu yüzden harcanan enerjinin azaltılması için yeni ağ yapıları önerilmektedir. Var olan yapılarda düğümlerin uykuda oldukları zamanı mümkün olduğunca arttırmak veya verinin enerji bakımından verimli bir şekilde aktarımıyla ilgili protokolleri geliştirmek bu yöntemlerden bazılarıdır.

## 2.1 Kablosuz Algılayıcı Ağ Donanımı

KAA'yı oluşturan her düğüm çeşitli temel işlevleri yerine getirmektedir. Şekil 2.1'de algılayıcı düğümlerin genel donanım yapısı özetlenmiştir. Şekilde kesikli olarak belirtilen konum bulma sistemi, mobilize ünitesi ve güç kaynağı birimi her yapıda bulunmayıp bu özelliklerin gerekli olduğu senaryolarda kullanılmaktadır. Diğer birimler ise her düğüm donanımında standart olarak mevcuttur [6]. Bu birimleri kısaca açıklamak gerekirse:

- Algılama ünitesi: Algılama ünitesi genellikle iki alt birimden oluşur. Bunlar düğümlerin yerleştirildikleri ortamdan istenilen bilgiyi alma işlevini gerçekleştiren algılayıcı birim ve alınan analog veriyi sayısala çeviren ADC (İng. Analog to Digital Converter) birimidir. ADC yardımıyla ortamdan alınan ham analog veri, sayısal veriye çevrilerek işlemek üzere işlemci ünitesine aktarılmaktadır.
- İşlemci ünitesi: Genellikle içerisinde hafıza birimi de içeren bu yapıda ADC biriminden alınan sayısal verinin ihtiyaç durumunda işlenerek anlamlandırılması gerçekleştirilir. Bu görevine ek olarak diğer düğümlerle nasıl iletişim kuracağına da yine bu birim karar verir. Bu kararı verirken genellikle düğümlerin konum bilgilerini de alarak olabilecek en uygun şekilde veri iletimini sağlamaya çalışır.
- Alıcı-verici ünitesi: Bu birim, düğümler arası veri iletişimini sağlayarak düğümleri KAA'ya bağlar.
- Güç ünitesi: Düğümün güç ihtiyacını karşılayan ve genellikle 2 ila 3 kalem pilden oluşan birimdir.
- Güç kaynağı: İhtiyaç durumunda düğümde bulunan güç ünitesine ek olarak güneş paneli gibi yapılarla enerji sağlama ve sistem içerisindeki güç ünitesini şarj etme görevlerini üstlenmektedir.

- Konum Bulma Sistemi: KAA eniyileme ve rota belirleme algoritmaları için düğümlerin konum bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgiyi sağlamak için düğüme eklenen GPS modülü bugün sıklıkla kullanılmakta olan birçok COTS üründe bulunmaktadır.
- Mobilize Ünitesi: Düğümün algılama işlevini yerine getirmesi için hareket etmesi gereken senaryolarda kullanılan birimdir.



Şekil 2.1: KAA düğüm bileşenleri.

Şekil 2.2’de tez çalışmasında kullanılan Mica2 Mote görülmektedir [34]. Üçüncü kuşak düğümlerden olan Mica2 Mote’un üzerinde sıklıkla kullanılan Microchip firmasının Atmel Atmega 128L mikroişlemci bulunmaktadır. 2 adet AA pille çalışan düğümden ChipCon CC1000 RF alıcı-verici (İng. transceiver) bulunmaktadır.

Piyasada olan ve sıklıkla kullanılan düğümlerden başlıcaları Tmote Sky, Shimmer, LWIM, WINS, Smart Dust, WeC, uAMPS, Medusa, Mica, WeC, Mica2Dot, MicaZ, Telos, IRIS’dir.



Şekil 2.2: Mica2 Mote.

## 2.2 Kablosuz Algılayıcı Ağ Güç Seviyeleri

Tez çalışmasında kullanılan Mica2 Mote, ayrıık güç seviyeleri kullanmaktadır. Önceden belirlenmiş olan 26 güç seviyesinden birini kullanan yapıda seçilen güç seviyesine göre gönderici düğümün harcadığı güç ( $P_{tx}^{crc}(l)$ ) ve gönderici düğümde yer alan antenin çıkış gücü ( $P_{tx}^{ant}(l)$ ) değerleri Şekil 2.3'deki gibi olmaktadır.

$l$	$P_{tx}^{crc}(l)$	$P_{tx}^{ant}(l)$	$l$	$P_{tx}^{crc}(l)$	$P_{tx}^{ant}(l)$
1 ( $l_{min}$ )	25.8	0.0100	14	32.4	0.1995
2	26.4	0.0126	15	33.3	0.2512
3	27.0	0.0158	16	41.4	0.3162
4	27.1	0.0200	17	43.5	0.3981
5	27.3	0.0251	18	43.6	0.5012
6	27.8	0.0316	19	45.3	0.6310
7	27.9	0.0398	20	47.4	0.7943
8	28.5	0.0501	21	50.4	1.0000
9	29.1	0.0631	22	51.6	1.2589
10	29.7	0.0794	23	55.5	1.5849
11	30.3	0.1000	24	57.6	1.9953
12	31.2	0.1259	25	63.9	2.5119
13	31.8	0.1585	26 ( $l_{max}$ )	76.2	3.1623

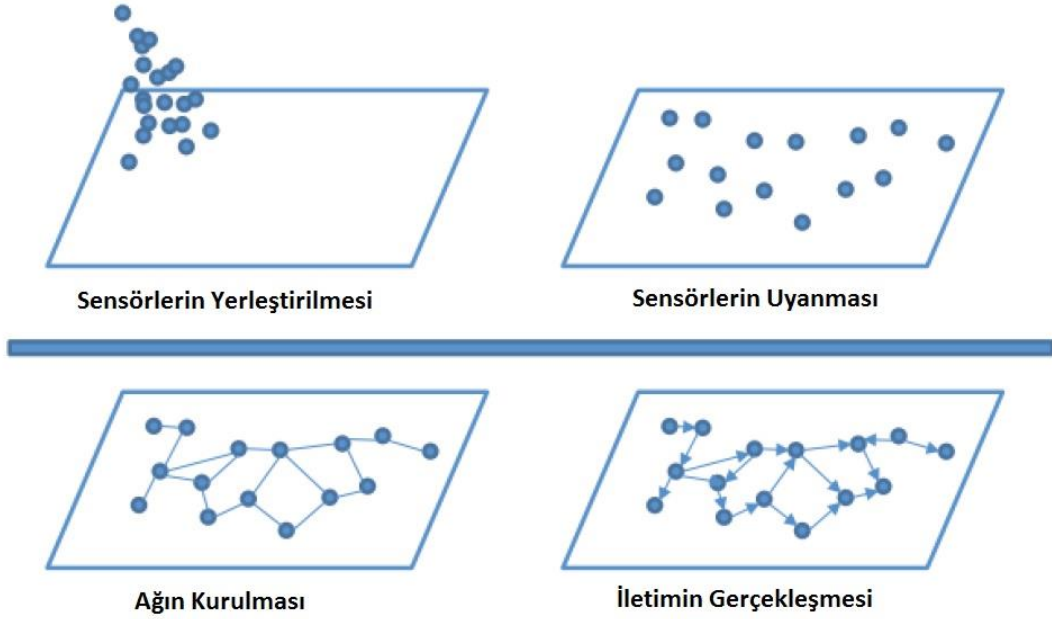
Şekil 2.3: Mica2 Mote ayrıık güç seviyeleri.



### 2.3 Kablosuz Algılayıcı Ağ Topolojileri

KAA'ların kullanım alanının son yıllarda hızlıca artmasının sebeplerinden birisi de önceden belirlenmiş olan geniş bir alana kolaylıkla yerleştirilebilmesidir. Bunun ana sebebi kablonun ulaşamadığı yerlere de düğümlerin kolaylıkla konumlandırılabilmesidir. Bu yöntemle kablolu ve montaj maliyeti çok düşmektedir [35].

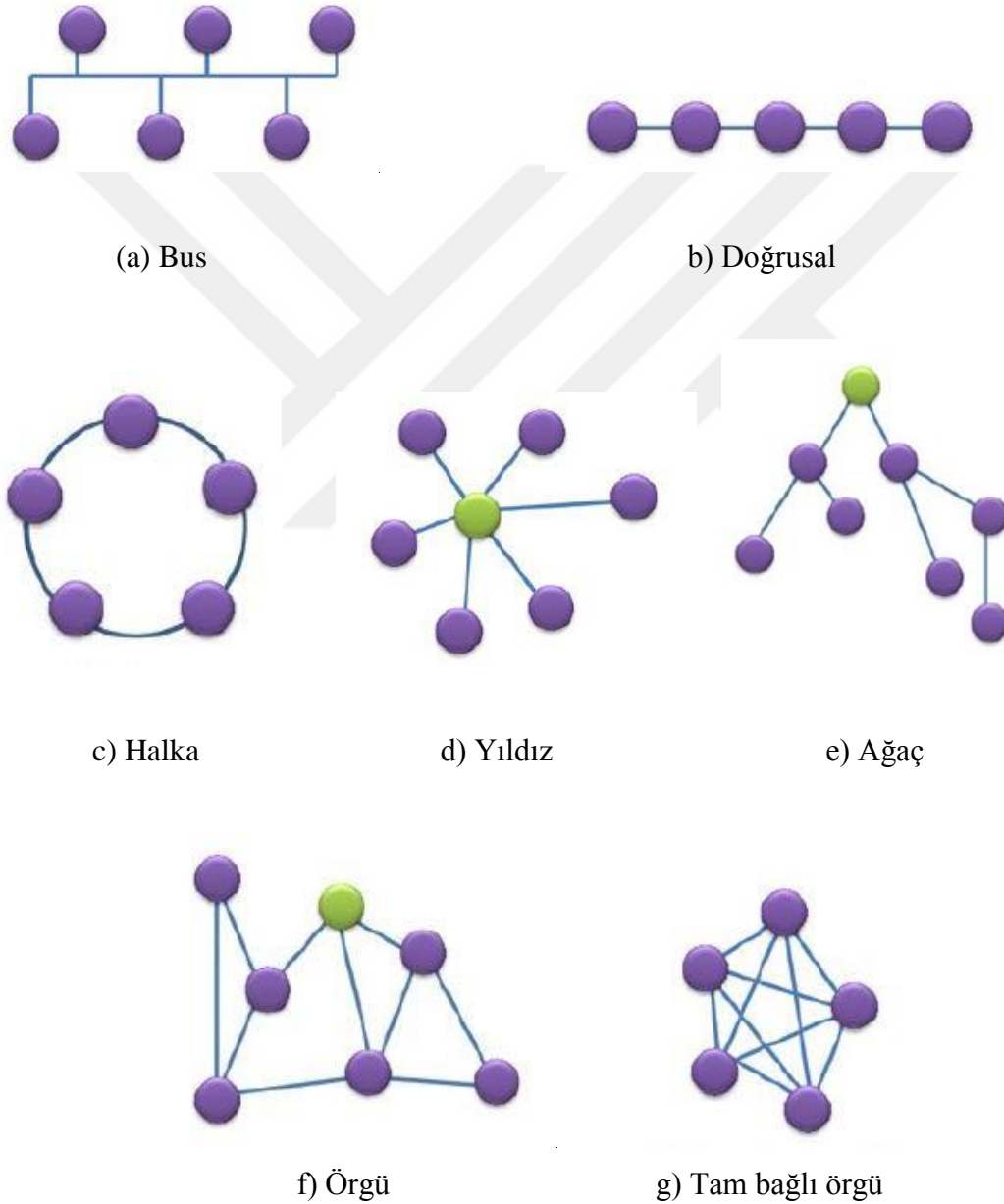
KAA'yı oluşturan sensörlerin bir alana yerleştirilmesinden itibaren olan süreci Şekil 2.4'de görebiliriz. Öncelikle sensörler, uygulamanın yapılacağı alana yerleştirilir. Düğümlerin enerjilenmesiyle birlikte yayın yapan düğümler birbirlerinin konumlarını öğrenerek KAA yapısını oluştururlar. Daha sonra kullanılan algoritmaya ve eniyileme yöntemine göre düğümler baz istasyona veri akışını sağlayarak gerekli tüm adımları sağlamış olurlar.



Şekil 2.4: Kablosuz algılayıcı ağ kurulum süreci.

KAA yapısı kurulurken karar verilmesi gereken durumlardan bir tanesi de topolojidir. Kurulacak olan topoloji, sistemin hangi amaçla kullanılacağına direkt olarak bağlıdır. KAA'larda sıklıkla kullanılan topoloji örnekleri Şekil 2.5'de örneklenmiştir.

Bu yapılardan yıldız yapısı KAA'larda en sık kullanılan yapıdır fakat düğüm sayısının çok arttığı durumlarda bu yapının kullanılması pratik olarak mümkün olmaz. Bu sebeple ağ yapısı alt kümelere (İng. cluster) ayrılarak veri yönetimi sağlanır. Bu yapıda her birimin kendi içerisinde bir baş düğümü (İng. cluster head) bulunur ve o bölümün ve birimler arası haberleşmeden bu baş düğümlerden sorumlu olur [33], [36]. Bu şekilde düğüm sayısı ne kadar artarsa artsın ölçeklenebilir bir çözümle KAA hayatına devam edebilmektedir.

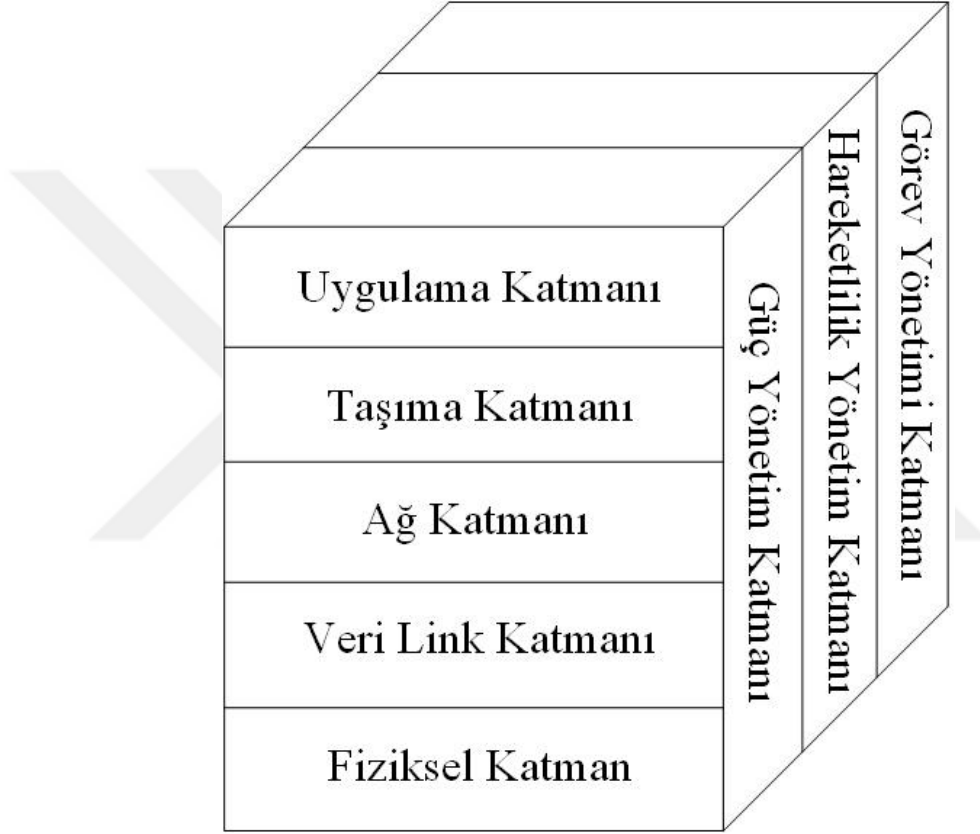


Şekil 2.5: KAA topoloji tipleri.

## 2.4 Kablosuz Algılayıcı Ağların Haberleşme ve Protokol Altyapısı

Sensör düğümleri genellikle sensör alanına dağılmış halde bulunurlar. Burada her düğümün veriyi toplayıp çoklu atlama (İng. mutli-hop) altyapısı ile sink'e gönderme yeteneği vardır.

KAA yapısında her düğüm ve veri aktarım altyapısı için Şekil 2.6'de görülen protokol yığıtı kullanılmaktadır.



Şekil 2.6: KAA protokol yığıtı.

KAA yapıları 7 katmanlı OSI (İng. Open Systems Interconnection) modelinden bildiğimiz uygulama katmanı (İng. application layer), taşıma katmanı (İng. transport layer), ağ katmanı (İng. network layer), veri link katmanı (İng. data link layer) ve fiziksel katmana (İng. physical layer) ek olarak güç yönetim katmanı (İng. power management plane), hareketlilik yönetim katmanı (İng. mobility management plane) ve görev yönetimi katmanını (İng. task management plane) kullanmaktadır. Bu katmanların görevleri aşağıda özetlenmiştir:

- Fiziksel Katman: KAA protokol yığınının en altında yer alan fiziksel katmanda donanımsal olarak verinin gönderilip alınmasıyla ilgili işlemler gerçekleştirilir. Buna kullanılacak olan frekans veya frekansların belirlenmesi, eğer kullanılacaksa taşıyıcı frekansın belirlenip üretilmesi, kipleme ve şifreleme işlemleri örnek olarak verilebilir.
- Veri Link Katmanı: İkinci katman olan veri link katmanı bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Bu katmanda verinin çoğullanması ve veri çerçevelerinin seçilmesi işlemleri gerçekleştirilmektedir. Buna ek olarak ortam erişim kontrolleri (İng. Medium Access Control - MAC) ve hata kontrolleri de bu katmanda yapılmaktadır.
- Ağ Katmanı: Bu katmanda sensörlerden gönderilen bilgilerin baz istasyonuna ulaştırılması için rotalama ve yönlendirme işlemleri yapılmaktadır.
- Taşıma Katmanı: Bu katman KAA'ların internet veya benzeri dış dünyaya açık olan ağlara bağlantısı gerçekleştirilmektedir.
- Uygulama Katmanı: Uygulama katmanında ayrıntıları verilmiş olan diğer alt katmanlardan elde edilen bilgilerin yönetimi üzerine gerekli işlemler yapılmaktadır.
- Güç Yönetimi Katmanı: Bir veri paketinin alındıktan sonra alıcı-verici modülünün kapatılmasını veya uyutulmasını sağlayan katman güç yönetimi katmanıdır.
- Mobilite Yönetimi Katmanı: Mobilite yönetim katmanı algılayıcı düğümlerin hareketlerine göre yeni rotaların üretilmesini sağlamaktadır.
- Görev Yönetimi Katmanı: Bu katmanda sensörlerin algılama görevlerinin planlaması gerçekleştirilmektedir.

### 3 ENİYİLEME

Eniyileme, eldeki kısıtlı kaynaklarla varılabilecek en iyi sonuca ulaşmayı sağlayan yöntemler dizisidir. Eniyilemeden bahsedebilmemiz için ele alınan problemin birden fazla çözümü olmalıdır. Eniyileme teknikleri günümüzde planlama, kaynak yönetimi, lojistik yönetimi, endüstriyel planlama ve karar verme gibi birçok alanda hayat kurtarıcı roller üstlenmektedir [37].

#### 3.1 Eniyilemenin Tarihçesi

Bugün kullanılmakta olan eniyileme tekniklerinden birçoğunun çıkış noktası II.Dünya Savaşı'nda milyonlarca asker, personel ve makineye sahip olan orduların lojistik sorunlarına dayanmaktadır. Kullanılacak herhangi bir eniyileme tekniği savaş vb. ortamlarda bahsi geçen sorunlara pratik çözümler üretmektedir[38]. Bu sebeple eniyilemeyle ilgili çok sayıda teorik çalışma yapılmış ve bunların pratik olarak hayata geçirilebilmesi için çok miktarda kaynak ve personel kullanılmıştır.

Pratik olarak uygulanabilen ilk büyük ölçekli eniyileme tekniği olan Simpleks yöntemi (İng. Simplex Method) , 1947 yılında George Dantzig tarafından geliştirilmiştir [39]. Savaşın bitmesi ve ilk bilgisayarların geliştirilmesiyle birlikte Simpleks yöntemi mükemmelleştirilerek bir çok ticari alanda da kullanılmaya başlanmıştır.

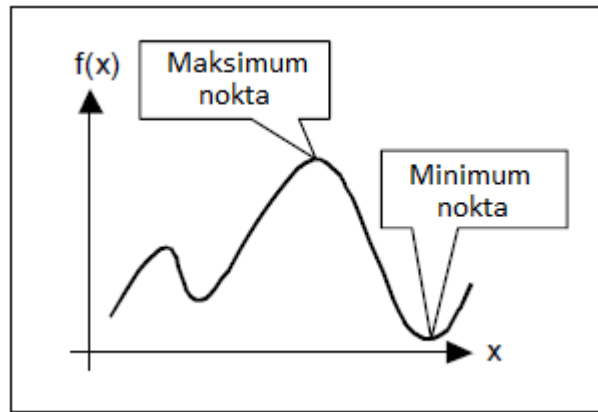
Büyük ölçekli pratik olarak kullanılabilen eniyileme yöntemlerinin geçmişi oldukça kısadır. Araştırmalara ve yeni gelişmelere oldukça açık olan bu alanda günümüzde de sürekli dönüm noktaları yaşanmaktadır. Eniyilemeyle ilgili matematiksel yöntemlerin bilgisayar mühendisliği disipliniyle birleştirilerek bu alanda her zamankinden daha hızlı sonuçlar elde eden programların geliştirilmesi ve daha önce çözülemeyen karmaşık problemlerin çözülebilmesi buna güzel bir örnektir[37]. Yine aynı disiplinler arası yaklaşımla kesin çözüm elde edilemeyen problemlerin çözülmesi için sezgisel algoritmalarla ilgili yapılan çalışmalar da gün geçtikçe artmaktadır.

### 3.2 Eniyileme ve Matematiksel Programlama

Eniyileme yapılırken sorunun, ulaşılmak istenen hedefin ve dikkate alınması gereken kısıtların matematiksel olarak düzenli bir şekilde ifade edildiği yapıya matematiksel program denir. Matematiksel programlama (MP) (İng: Mathematical programming) tekniklerini dört ana başlıkta inceleyebiliriz: Doğrusal programlama (DP) (İng. Linear programming), tamsayı programlama (TP) (İng. integer programming), doğrusal olmayan programlama (İng. nonlinear programming) ve dinamik programlama (İng. dynamic programming).

### 3.3 Doğrusal Programlama

Kısıtı olmayan eniyileme (İng. Unconstrained Optimization) lise yıllarından itibaren karşımıza çıkan bir kavramdır. Bu tip bir senaryoda, bize verilen amaç fonksiyonuna (İng. objective function) uygun sonsuz adet çözüm vardır. Şekil 3.1'deki problemi bir tekstil firmasının sattığı ürün sayısına bağlı elde ettiği gelir olarak düşünürsek grafik üzerindeki herhangi bir noktanın amaç fonksiyonunu sağlayan çözüm olduğunu söyleyebiliriz. Burada, en iyi çözümü bulabilmek için bir eniyileme yöntemi kullanılmalıdır fakat herhangi bir kısıt olmadığı için çözümü bulmak zor olmayacaktır. Yapılması gereken, basitçe grafiğin en büyük değere sahip olduğu noktayı gözle bulmak olacaktır.



Şekil 3.1: Kısıtı olmayan eniyileme.

Doğrusal programlama, kısıtı olan eniyilemede (İng. Constrained Optimization) kullanılan en yaygın yöntemdir. İlk bakışta problemlerin küçük bir kısmı DP ile çözüyor gibi görünse de DP, bilimsel çalışmalarda ve eniyilemenin günlük hayata uygulamasında sıklıkla kullanılmaktadır. Kısıtı olan eniyileme, kısıtı olmayan eniyilemeden farklı olarak amaç fonksiyonunu eniyilerken bütün kısıtlara (İng. constraints) uyulması gerektiğinden daha karmaşıktır. DP ile ilgili bilinmesi gereken kavramlar:

1. Değişken (İng. Variable): Verilen problemle ilgili olarak en uygun çözüme ulaşırken değiştirilebilecek olan değerlerdir. Bu değerlerin uygun seçilmesiyle amaç fonksiyonu istenen (örneğin, en yüksek, en alçak vb.) değerine ulaşır.
2. Amaç fonksiyonu: Sonunda ulaşılması ve eniyilenmesi hedeflenen değerdir.
3. Kısıtlar: Yukarıda da belirtildiği gibi amaç fonksiyonuna ulaşırken sağlanması gereken ifadelerdir. Örnek olarak zaman, çalışan sayısı, makinenin kapasitesi verilebilir.
4. Değişken Sınırları (İng. Variable Bounds): Tipik bir problemde tanımlanmış olan kısıtların alacağı değerler sınırlıdır ve eniyileme problemi bu sınırlar içerisinde çözülmelidir. Örnek olarak PCB (İng. printed circuit board) üreten bir firma için her malzemenin alanının sıfırdan büyük olması ve yonganın alanının toplam baskı devre (PCB) alanından küçük olma zorunluluğu verilebilir.

DP'de kullanılan bütün matematiksel ifadeler (amaç fonksiyonu ve kısıtlar) doğrusaldır. Bütün bu kavramları bir örnek üzerinde Şekil 3.2'de görebiliriz.

DP'lerin çözümünde en çok kullanılan yöntemler simpleks metodu ve iç noktalar metodudur (İng. interior point method). Simpleks metodunun teorik etkinliği yüksek olmasa da pratikte son derece etkin çalışmaktadır ve bu yüzden DP'lerin çözümünde en sık tercih edilen yöntemdir.

Simpleks algoritması standart form olarak adlandırılan forma sahip olan doğrusal programları çözmeye yarar. Eğer verilen problem standart formda değilse belirli adımlar takip edilerek standart forma getirilir [37]. Bu formda olan problemler sistematik bir yaklaşımla, elverişli (İng. feasible) olan çözümlerin birinden diğerine daha iyi bir çözümü tercih etme yoluyla ilerleyerek çözülür. Metot, sonlu geçiş sonucunda sonlanarak en iyi çözüme ulaşır.

Problem:	Çip üretim fabrikası karını eniyileyebilmek için silikon stoğu ve talep kısıtları altında günde kaç adet nümerik işlemci, kaç adet genel amaçlı işlemci, kaç adet hafıza çipi üretmelidir
Değişkenler:	x1 : günlük üretilen nümerik işlemci x2 : günlük üretilen genel amaçlı işlemci x3 : günlük üretilen hafıza çipi
Amaç Fonksiyonu:	eniyle $68*x1 + 47*x2 + 8*x3$ $\rightarrow$ Hafıza çipi başına \$8 kar
Silikon stok kısıtı:	$50*x1 + 55*x2 + 40*x3 \leq 10000$ $\rightarrow$ Hafıza çipi başına kullanılan silikon $\rightarrow$ Günlük silikon stoğu
Market talebi kısıtı:	$x1 \leq 70 ; x2 \leq 80 ; x3 \leq 65$ } Çiplerin günlük maksimum satış miktarı
Değişken sınırları:	$x1 \geq 0 ; x2 \geq 0 ; x3 \geq 0$ } Günlük üretim değeri negatif olamaz

Şekil 3.2: DP örneği.

Simpleks metodu elle çözülürken genellikle tablo metodu tercih edilir. Tablo metodu herhangi bir yenilik getirmemekle birlikte Simpleks metodunun mantığının görsel olarak düzenli hale getirilip kolaylıkla algılanmasını sağlar. Tablo metodunda ilgili adımlar takip edilerek sonuca ulaşılır. Konuyla ilgili ayrıntılı bilgi için çok sayıda örneğin incelenmesi ve çözülmesi gerekmektedir [40].

### 3.4 Tamsayılı Programlama

Birçok durumda modelleme yapılırken değişkenlerin tamsayı değerleri alması tercih edilmektedir. Örneğin, bir otobüsün ayda 20 sefer yapması, askeri tesiste maksimum üretilebilecek teçhizat sayısı, bir hatta çalışması gereken işçi sayısı gibi problemler tamsayılı programlamanın sınırları içerisine girmektedir. Bu şekilde, önceden doğrusal programlama olarak belirlenen problem, tamsayılı doğrusal programlama (İng. Integer linear programming) formuna dönüşmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta karar değişkenlerinin hepsinin mi yoksa bir kısmının mı tamsayı değeri alacağıdır. TP ile çözülebilen uygulamalardan bazıları aşağıda listelenmiştir [33]:



- Personel atama problemi (örneğin, hangi işçinin hangi işi yapacağı)
- Depo yeri kararı (örneğin, bir firmanın lojistik merkezinin hangi eyalete kurulacağı)
- Sırt çantası yerleşimi kararı (örneğin, belirli bir alana sahip olan çantaya ihtiyaca göre eşyaların yerleştirilmesi)
- Okuldaki ders programının modellenmesi (örneğin, ders programının her hoca, derslik, ders ve öğrenci için çakışma olmayacak şekilde ayarlanması)
- Haberleşme ağlarının performansının eniylenmesi (örneğin, herhangi bir ortamda bulunan KAA'nın yaşam süresinin eniylenmesi )

Problemlerin bazıları ise DP veya TP ile tanımlanamaz. Karma tamsayılı programlama (İng. Mixed Integer Programming), değişkenlerden bazılarının tam sayı değer alırken bazılarının tam sayı olmayan değerler alabildiği durumları kapsamaktadır.

Bir diğer TP formu ise ikili tamsayılı doğrusal programlama (İng. binary integer linear programming) formudur. Bu modelde tüm karar değişkenleri ikili sayı düzeninde olduğu gibi 0 ya da 1 değerlerini almaktadır.

### **3.5 Doğrusal Olmayan Programlama**

Doğrusal programlama ile modellenebilen problemlerin sayısı gerçek hayatta oldukça azdır. Bu sebeple bu tip problemlerin çözümü için doğrusal olmayan programlama teknikleri kullanılır.

### **3.6 Dinamik Programlama**

Dinamik programlamada karmaşık problemler daha basit küçük problemlere ayrılır ve bu alt parçalar çözümlenerek sonuçları depolanır. İlerleyen zamanlarda aynı tipte bir problemin çözülmesi gerektiğinde, önceden yapılmış çözümler kullanılarak hem zamandan, hem de işlem gücünden kazanç sağlanır. Son yıllarda bilimsel araştırmalarda gittikçe artan bir şekilde kullanılan bu yöntem özellikle bilgisayar mühendisliği disiplinindeki araştırmacıların ilgisini çekmektedir [39].

### 3.7 KAA'ların Eniyilenmesi

Tezin önemli bir kısmını oluşturan ağ eniyileme problemleri de doğası gereği modellemeye uygun problemlerdendir. Bu sebeple yukarıda belirtilen matematiksel programlama teknikleriyle çözülebilir niteliktedir. KAA'larda eniyilemenin anlaşılabilmesi için eniyilemede ağ yapılarının anlaşılması gerekmektedir.

Matematiksel programlamada ağ modellenirken üç ana bileşen tanımlanmalıdır. Bunlar Tablo 3.1'de görüldüğü gibi: Düğüm (İng. Node), Yay (İng. Arc), ve Akış (İng. Flow)'tır.

Tablo 3.1: Ağ örnekleri.

Düğüm	Yay	Akış
Şehir	Otoban	Araç
Router	İletim Hattı	Veri
Elektrik Üretim Tesisi	Elektrik hatları	Elektrik

Ağ modellerinde eniyileme ile ilgili bazı temel problemler ve bunların çözüm yöntemleri vardır. Ayrıntılı incelendiğinde birçok ağ probleminin aslında LP ile çözülebildiği gözlemlenmektedir. Bunlara en kısa yol problemi (İng. shortest route problem), minimum içerikli ağaç problemi (İng. minimum spanning tree problem), taşıma problemi (İng. transportation problem) örnek olarak verilebilir. Az değişkenli durumlarda problemi grafiksel metotlarla çözmek daha kolayken, değişken ve kısıt sayısı arttığında grafiksel metotlar yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden bu tip problemleri LP olarak modelleyip bilgisayar yardımıyla çözüme ulaşmak en mantıklı ve uygulanabilir yöntemdir.

### 3.8 Kullanılan Programlar ve Yöntemler

Tezde kullanılan modelde ihtiyaç duyulan eniyileme problemlerinin çözümü için GAMS (İng. The General Algebraic Modelling System) programı kullanılmıştır. GAMS doğrusal programlama, tamsayılı programlama, karışık tamsayılı programlama, doğrusal olmayan programlama ve daha birçok problemin modellenmesinde kullanılan yüksek seviyeli programlama dilidir.

Tez çalışması kapsamında model tasarımı ve parametrelerin hesaplanması MATLAB ortamında (bkz Bölüm 4.1) yapılmıştır. MATLAB programı çıktısında elde edilen parametreler, GAMS'e beslenip oluşturulan MP çözdürülmüştür (bkz. Bölüm 4.2). Daha sonra elde edilen sonuçlar görselleştirilmek için tekrardan MATLAB'a aktarılmıştır.



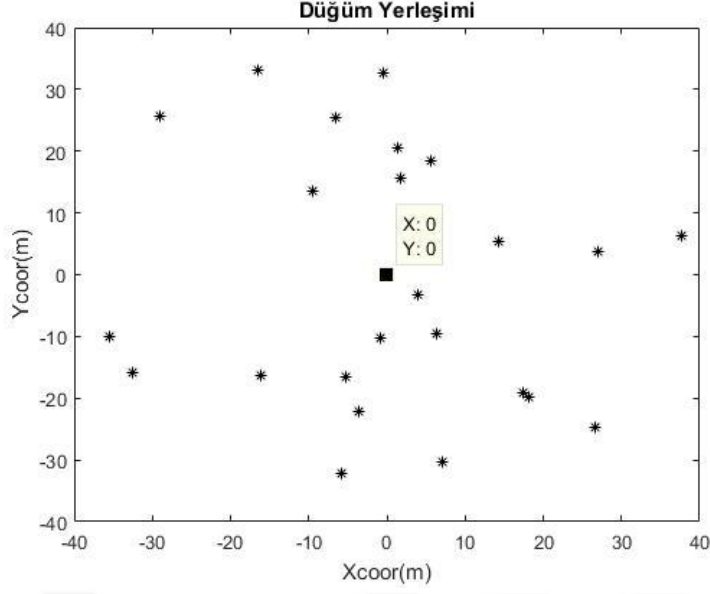
## 4 TASARLANAN ENİYİLEME ÇERÇEVESİ

### 4.1 Sistem Modeli

Kablosuz algılayıcı ağlarda veri ve ACK paketlerinin iletim güç seviyesinin kontrolüyle ilgili geniş açıdan bakıldığında iki temel yaklaşım vardır. Bunlar sürekli güç iletim varsayımı (İng. continuous transmission power assumption) ve ayrık güç iletim varsayımıdır (İng. discrete transmission power assumption). Bu çalışmada kullanılan platformdan kaynaklı olarak ayrık güç iletimi yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemde güç, ayrık seviyeleriyle gönderilmektedir.

Mica2 Mote düğümünde toplam 26 adet ayrık güç seviyesi mevcuttur. Sistemin yaşam süresinin eniyilenmesi konusunda en önemli nokta, bu güç seviyelerinin en uygun biçimde seçilmesidir. Bu şekilde hem veri paketi hem de ACK paketi başarılı bir şekilde iletilecek fakat gereksiz enerji harcanmayarak düğümlerin erken ölümüne engel olunacaktır.

Yaşam süresi hesabı için ele alınan KAA sistemi bir tane merkez düğüm (baz istasyonu) ve  $Nn$  tane rastgele yerleştirilmiş algılayıcı düğümlerden oluşmaktadır. Rastgele yerleştirilen düğümlerin yerleşimindeki önemli nokta, düğüm başına düşen alan (İng. Area Per Node : ApN) parametresidir. Çalışmada bu değer sırasıyla 100, 200 ve 300 olarak alınmıştır. Şekil 4.1’de sistem tasarımında kullanılan örnek ağ yerleşiminden biri görülmektedir. Ortada  $(x,y)=(0,0)$  koordinatında görülen baz istasyonudur. Ağ boyunca çember şeklindeki yüzeyde rastgele dağıtılan düğümler algılama görevini yaparak elde ettikleri veriyi merkezde bulunan bu baz istasyonuna aktarmaktadır.



Şekil 4.1: KAA'larda örnek düğüm yerleşimi.

Düğümler tarafından üretilen verinin, diğer bir düğüme veya baz istasyonuna başarılı bir şekilde aktarılması için iki yönlü tokalaşma (İng. two-way handshake) mekanizması kullanılmaktadır. Bu yapıya göre 3 ihtimal vardır:

- Başarılı tokalaşma: Veri başarılı bir şekilde  $i$  düğümünden  $j$  düğüme iletilir. Paketi doğru bir şekilde alan  $j$  düğümü ACK paketini  $i$  düğüme iletir.  $i$  düğümü ACK paketini doğru bir şekilde alır.
- Başarısız tokalaşma: Veri başarılı bir şekilde  $i$  düğümünden  $j$  düğüme iletilir. Paketi doğru bir şekilde alan  $j$  düğümü ACK paketini  $i$  düğüme iletir. ACK paketi hatalı iletildiği için  $i$  düğümü ACK paketini doğru bir şekilde alamaz.
- Başarısız tokalaşma: Veri hatalı bir şekilde  $i$  düğümünden  $j$  düğüme iletildiği için  $j$  düğümü paketi hatalı alır.

Bu çalışmada [19]'da yer alan varsayımlar kullanılmıştır:

- KAA'yı oluşturan düğümler ve baz istasyonu hareketsizdir
- Merkezde yer alan baz istasyonu, düğümler arasındaki her linkte olan yol kaybı değerlerini ve bütün ağ yerleşimini bilmektedir.
- Baz istasyonu zaman bölmeli çoklu erişim (Time Division Multiple Access : TDMA) kullanımı için zaman dilimi ayarlamalarını gerçekleştirir.
- KAA yapısını oluşturan bütün düğümler zaman olarak birbiriyle senkronudur.

- Toplam KAA enerji tüketimi KAA yeniden yapılanma ve rota oluşturmaya göre oldukça fazladır.
- Zaman bölmeli çoklu erişim protokolü iki şekilde kullanılmaktadır: paket çarpışmalarını engelleme ve düğümlerin birbirlerini dinlemelerini (İng. overhearing) engelleme.
- Düğümler arasında oluşan her bağlantının (İng. link) değeri kapalı devre güç kontrol sistemi tarafından hesaplanmaktadır
- Düğümler tarafından gönderilen veri paketlerine ara algılayıcı düğümler herhangi bir şekilde müdahale edemez.

Her düğüm ( $i$ ) ürettiği veriyi ( $s_i$ ) belirli aralıklarla direkt olarak veya diğer düğümleri kullanarak baz istasyonuna aktarmaktadır. Veri iletiminin gerçekleştiği bu süre çalışmada 60 saniye olarak belirlenmiştir ( $T_{round} = 60$  s). Ağın yaşam süresi boyunca gerçekleşen toplam tur sayısı ise  $N_{round}$  olarak tanımlanmıştır.

Veri iletimi sağlanırken düğümlerin kendi arasında zamansal olarak senkron olması gerekmektedir. Senkronizasyonun sağlanması için literatürde çeşitli metotlar önerilmiştir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde karşılaşılabilecek en büyük gecikmeden 2 kattan daha fazla bir hata seçilerek güvenli tarafta kalınması uygun görülmüştür. Bu yaklaşımla koruma zamanı  $100 \mu\text{s}$  olarak seçilmiştir ( $T_{guard} = 100 \mu\text{s}$ ) [41].

İki düğüm arasında zamansal senkronizasyon sağlandıktan sonra veri iletimi başlamaktadır. Veri iletiminin bittiği zaman ile karşıdaki düğümden gelecek olan ACK paketi arasında da çeşitli gecikmeler bulunmaktadır. Bu gecikmelerin en kötü durumda  $500 \mu\text{s}$  olacağı öngörülmüştür ( $T_{response} = 500 \mu\text{s}$ ) [19].

Gönderilecek olan verinin boyutu  $M_P$  bayt, geri dönülecek olan ACK paketinin boyutu ise  $M_A$  bayt olarak tanımlanmıştır.  $M_P$  veya  $M_A$  bayt verinin gönderilmesi için gereken süreyi ise verinin bit uzunluğunu kanalın veri hızına ( $\zeta = 19.2$  Kbps) bölerek bulunmaktadır. Tez çalışmasında kullanılan platform olan Mica2 Mote veri iletimini saniyede 256 bayta kadar desteklemektedir. Bu çalışmada veri paketi boyutu olarak 64 bayt, ACK paket boyutu olarak da 20 bayt seçilmiş ve hesaplamalar bu değerlere göre yapılmıştır. Verinin gönderilip karşılığında ACK paketinin döneceği toplam süre ise  $T_{slot}$  olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$T_{slot} = 2 \times T_{guard} + T_{tx}(M_P) + T_{response} + T_{tx}(M_A) \quad (4.1)$$

$M_P$  'nin 128 bayt ve  $M_A$  'nın 20 bayt olarak seçildiği durumda toplam süreyi Tablo 4.1 'deki gibi buluruz.

Tablo 4.1: Örnek Tslot hesaplaması.

$T_{guard}$	$T_{tx}(M_P)$	$T_{response}$	$T_{tx}(M_A)$	$T_{guard}$	Total
100 $\mu$ s	53.3 ms	500 $\mu$ s	8.33 ms	100 $\mu$ s	14.36 ms

Mica2 Mote'un veri alma sırasında harcadığı güç ise  $P_{rx}^{cr_c} = 35,4$  mW olarak verilmiştir. Bu güç sabit olup her veri iletimi sırasında harcanmaktadır.

Yol kaybı bir elektromanyetik dalganın gücünün uzayda yol alırken azalması olarak tanımlanmaktadır. Bu kayıp için literatürde çok sayıda yöntem önerilmiş ve bunlarla ilgili çalışmalar yapılmıştır. Burada eksik olan nokta ise yol kaybı denkleminin genel yapıda olmasıdır. Bu çalışmada kullanılacak olan model ve ilgili parametreler empirik olarak elde edilmiştir. Bir grup araştırmacı tarafından Madeira adasında farklı ağaç türleriyle çeşitli ağaç yoğunluğu ve gövde kalınlığına sahip ormanlarda 2 yılı aşkın bir sürede çok sayıda ölçüm alınmıştır [42]. Çeşitli yol kaybı modellerinin değerlendirildiği çalışmada log-normal yol kaybı denklemini kullanılmıştır.

$$PL_{ij}(dB) = PL(d_0) + 10n \log_{10} \left( \frac{d_{i,j}}{d_0} \right) + X_{\sigma} [dB] \quad (4.2)$$

Eşitlik (4.2) 'de verilen yol kaybı denkleminin parametreleri ise belirtilen ölçümler sonucunda empirik olarak eğri konumlandırma yöntemiyle orman ortamına özgü olarak elde edilmiştir.

Bu parametreler verilmeden önce ormanla ilgili olan ve yol kaybı denklemini etkileyecek olan parametreler incelenmelidir. Ormanda bulunan ağaçların ortalama gövde kalınlıkları  $D$  (İng. Density) parametresiyle, ormandaki ağaç yoğunluğu ise  $TD$  (İng. Tree Density) parametresiyle ifade edilmektedir. Eşitlik 4.3 'de bulunan sonuç ise  $VD$  (İng. Vegetation Density) olarak belirtilmiş olup ormandaki bitki örtüsü yoğunluğuna karşılık gelmektedir.

$$VD = TD \times D \quad (4.3)$$

Yol kaybını oluşturan değişkenlerden ilki bilinen bir mesafedeki yol kaybıdır ve  $PL(d_0)$  ile ifade edilmektedir.



$$PL(d_0) = x_{PL1}VD + x_{PL2} \quad (4.4)$$

$$x_{PL1} = -0.026d_m + 0.46 \quad (4.5)$$

$$x_{PL2} = 31.2 \quad (4.6)$$

Eşitlik 4.5’de yer alan  $x_{PL1}$  parametresi ve Eşitlik 4.6’da yer alan  $x_{PL2}$  parametresi  $PL(d_0)$ ’ı hesaplamak için kullanılan değişkenlerdir. Bu iki denklemde bulunan  $d_m$  ise iki düğüm arasındaki ölçülen uzaklık olarak tanımlanmaktadır.

Yol kaybını oluşturan diğer bir değişken ise yol kaybı katsayısıdır (İng. path loss exponent) ve  $n$  ile sembolize edilmektedir. Bu parametreyi de alınan ölçümlere dayanarak Eşitlik 4.7, 4.8 ve 4.9’deki gibi modelleyebiliriz:

$$n = x_{n1}VD + x_{n2} \quad (4.7)$$

$$x_{n1} = 0.044(d_m - 40)^{0.47} \quad (4.8)$$

$$x_{n2} = 301.1(d_m - 40)^{-2.42} + 2 \quad (4.9)$$

Eşitlik 4.8’te bulunan  $x_{n1}$  ve Eşitlik 4.9’da bulunan  $x_{n2}$  yol kaybı katsayısını hesaplamak için kullanılan değişkenlerdir.

Yol kaybını hesaplamak için kullanılan son parametre olan standart sapma parametresi  $X_\sigma$  olarak tanımlanmış olup 4.8 dB olarak alınmıştır [42].

Tanımlanan bu denklemler incelendiğinde yol kaybı parametresiyle  $VD$  arasında direkt bir bağlantı olduğu açıkça görülmektedir.

Çalışmada önceden belirtildiği gibi orman ortamı için gerçek ölçümlerden faydalanılmıştır. Bu ölçümler çimen, çam, sedir, okaliptüs gibi farklı bitki örtülerinde tekrarlanmıştır. Herhangi bir bitki örtüsünde tek bir yerde ölçüm alınmayıp değişen durumlara göre farklı ağaç yoğunluğu ve farklı gövde kalınlıklarıyla ( $D$ ) ölçümler alınmıştır. Bu sebeple aynı bitki örtüsü için farklı  $VD$  durumlarında da ölçümler alınmıştır. Yapılan ölçümlerden elde edilen bu sonuçlar Tablo 4.2’de görülmektedir.

Tablo 4.2: Çalışmada kullanılan orman özellikleri.

Bitki Tipi	Gövde Çapı D (cm)	Ağaç/m <sup>2</sup> TD	VD	Bitki Tipi	Gövde Çapı D (cm)	Ağaç/m <sup>2</sup> TD	VD
Çimen	0	0	0.0	Çam	45	0.083	3.7
Çam	35	0.2	0.7	Ladin	40	0.1	4.0
Kayın	35	0.035	1.2	Çam	50	0.083	4.2
Sedir	43	0.033	1.4	Fıstık çamı	55	0.085	4.7
Kayın	37	0.043	1.6	Fıstık çamı	55	0.085	4.7
Meşe	30	0.055	1.7	Japon sediri	13	0.365	4.7
Sedir ve çam	30	0.057	1.7	Çam	50	0.1	5.0
Sedir ve çam	60	0.043	2.6	Okaliptüs	9	0.56	5.0
Çam	28	0.1	2.8	Japon sediri	14	0.365	5.1
Çam	65	0.057	3.7	Okaliptüs	8.5	0.7	6.0

Yol kaybı ile ilgili hesaplamalar yapıldıktan sonra modelde yer alan güç hesaplamaları yapılacaktır. Gönderim gücü  $l$  seviyesindeyken  $P_{tx}^{ant}(l)$  [dBm] ile yayın yapan  $i$  düğümünün yayını  $j$  düğümü

$$P_{rx,ij}^{ant}(l) [dBm] = P_{tx}^{ant}(l) [dBm] - PL_{ij}(dB) \quad (4.10)$$

ile alır. Alınan gücün yayın yapılan güçten yol kaybı çıkarılarak bulunduğu görülür.

Çalışmada gürültü değeri Mica2 Mote için 300 Kelvin sıcaklığında ( $P_n$ ) -115 dBm olarak alınmıştır. Gürültü sinyal oranı ise alınan gücün ortamda bulunan gürültüye bölünmesiyle aşağıdaki gibi bulunur:

$$SNR_{ij}(l) [dBm] = P_{rx,ij}^{ant}(l) [dBm] - P_n [dBm] \quad (4.11)$$

Gönderilen bitin başarılı olarak alınma ihtimalinin hesaplanması için denklem adımlar halinde türetilen olacaktır. Her bitin başarılı gönderilmesi durumu birbirinden bağımsız olduğundan olasılık hesabında aşağıdaki denklemi kullanabiliriz:

$$p_s = (1 - P_e)^r \quad (4.12)$$

Burada  $p_s$  1 bitin başarılı iletilme ihtimalini,  $P_e$  ise hatalı bit gönderilme ihtimalini (İng. bit error rate – BER) belirtir. Bu çalışmada tutarsız frekans kaydırmalı

anahtarlama (İng. non-coherent frequency shift keying : NCFSK) kullanılmaktadır. Kullanılan NCFSK modülasyon tekniğinde BER 4.13'teki denklemi kullanarak bulunur [19].

$$P_e = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{E_b}{2N_0}\right) \quad (4.13)$$

SNR ile bit başına düşen SNR arasında ise Denklem 4.14'teki gibi bir bağıntı mevcuttur.

$$SNR_{ij}(l) = \frac{E_b}{N_0} \frac{\zeta}{B_N} \quad (4.14)$$

Gerekli bütün parametreler elde edildikten sonra paketin başarılı olarak iletilme ihtimali aşağıdaki gibi hesaplanır [43]:

$$p_{ij}^s(l, \varphi) = \left(1 - \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{SNR_{ij}(l)}{2} \frac{1}{0.64}\right)\right)^{8\varphi} \quad (4.15)$$

Başarısız olma olasılığı ise Denklem 4.16'daki gibi hesaplanır.

$$p_{ij}^f(l, \varphi) = 1 - p_{ij}^s(l, \varphi) \quad (4.16)$$

$M_p$  bayt boyutundaki veri paketinin gönderici düğümden alıcı düğüme başarılı bir şekilde aktarılıyor olması başarılı bir iki yönlü tokalaşma mekanizması için sadece ilk adımdır. İkinci adım ise  $M_A$  bayt boyutundaki ACK paketinin başarılı bir şekilde alıcı düğümden verici düğüme gönderilmesidir. Bu iki ayrı durumun art arda gerçekleşmesi başarılı bir tokalaşma olarak kabul edilir ve ihtimal

$$p_{ij}^{HS,s}(l, k) = p_{ij}^s(l, M_p) \times p_{ij}^s(k, M_A) \quad (4.17)$$

ile hesaplanır. Tokalaşmanın başarısız olma ihtimali ise Denklem 4.18'de ifade edildiği gibidir.

$$p_{ij}^{HS,f}(l, k) = 1 - p_{ij}^{HS,s}(l, k) \quad (4.18)$$

Dikkat edilmesi gereken nokta Denklem 4.17'nin hassasiyet ile ilgili şartların sağlandığı durumda geçerli olmasıdır. Bu durum Denklem 4.19-a ve Denklem 4.19-b'deki gibidir.

$$P_{rx,ij}^{ant}(l) \geq P_{sns} \quad (4.19-a)$$

$$P_{rx,ji}^{ant}(k) \geq P_{sns} \quad (4.19-b)$$

Bu iki koşulun olmasının sebebi donanımsal olarak gelen sinyalin, Mica2 Mote'un algılayacağı asgari değerden ( $P_{sns}$ ) daha düşük olması durumunda herhangi bir algılamanın gerçekleşmeyecek olmasıdır. Bu yüzden hem gönderici düğüm için, hem de alıcı düğüm için bu kontroller sağlanmalıdır.

Tasarlanan KAA mimarisinde otomatik tekrar talebi (İng. Automatic Repeat Request : ARQ) hata kontrol metodu (İng. error control method) kullanılmaktadır. Bu metodun gereği olarak herhangi bir bit hatasından kaynaklanan bir paket düşmesi durumunda paketin tekrar iletilmesi (İng. retransmission) gerekmektedir. Paketin tekrar gönderileceği sayıya  $\lambda_{ij}(l, k)$  denirse, bu değer,

$$\lambda_{ij}(l, k) = 1 + \sum_n [p_{ij}^{HS,f}(l, k)^n] \quad (4.20)$$

şeklinde hesaplanır.  $\lambda_{ij}(l, k)$  değeriyle ilgili sık karşılaşılan iki durum vardır. Bunlardan ilki IEEE 802.15.4 standardına göre maksimum yeniden gönderim sayısı (İng. retransmission time) değerinin 3 alınması durumudur ( $N_{rtr} = 3$ ) [44]. Diğer bir durum ise bu değerinin sonsuza gitmesidir. Bu durumda denklem  $\frac{1}{p_{ij}^{HS,s}(l, k)}$  değerine yakınsamaktadır.

Enerjiyle ilgili hesaplamalara geçildiğinde ilk yapılması gereken hesaplama göndericinin  $M_p$  bayt veri göndermesi için harcadığı toplam enerjidir ve

$$E_{tx}^P(l, M_p) = P_{tx}^{crc}(l)T_{tx}(M_p) \quad (4.21)$$

denkleminle hesaplanır. Denklemde enerji hesabı yapılırken Mica2 Mote'un ilgili güç seviyesine karşılık gelen yayın gücü  $P_{tx}^{crc}(l)$  ve yayının yapıldığı süre  $T_{tx}(M_p)$  kullanılmıştır. Benzer bir yaklaşımla tokalaşma esnasında harcanan toplam enerji bulunabilir. Bunun için Denklem 4.21'de bulduğumuz  $E_{tx}^P(l, M_p)$  parametresini ve alıcı düğümün harcadığı gücü kullanırız. Burada harcanan güç  $P_{rx}^{crc}$ 'dir ve sabittir. Düğümün alıcı konumunda olduğu zamanı ise bir zaman biriminden ( $T_{slot}$ ) gönderim yaptığı süreyi çıkararak buluruz. Düğümler  $T_{slot}$  boyunca ya gönderme, ya da alma yaptıklarından bu yaklaşım doğru sonuç verir. Bu bilgiler ışığında toplam enerjiyi aşağıdaki gibi buluruz.

$$E_{tx}^{HS}(l, M_p) = E_{tx}^P(l, M_p) + P_{rx}^{crc} (T_{slot} - T_{tx}(M_p)) \quad (4.22)$$

Harcanan toplam enerjiyi ise Denklem 4.23'teki gibi ifade edebiliriz.

$$E_{tx,ij}^D(l, k) = E_{pp} + \lambda_{ij}(l, k)E_{tx}^{HS}(l, M_P) \quad (4.23)$$

Burada dikkate alınan iki unsur vardır. Birincisi, paketin bit hatası kaynaklı tekrar gönderilebilme durumudur. İkincisi ise Mica2 Mote'un aktif durumda tükettiği minimal güçtür [34]. Veri kâğıdı (İng. datasheet) incelendiğinde bu değer 120  $\mu$ J olarak bulunmaktadır.

Tokalaşma sırasında gönderici düğümün harcadığı toplam enerjiyi ise

$$E_{rx}^{HS,s}(k, M_A) = P_{rx}^{crc} (T_{slot} - T_{tx}(M_A)) + E_{tx}^P(k, M_A) \quad (4.24)$$

denklemindeki gibi hesaplanmaktadır.

Tokalaşmadaki sorun veri paketi kaynaklı ise bu enerji Denklem 4.25'teki gibi hesaplanır:

$$E_{rx}^{HS,f} = P_{rx}^{crc} T_{slot} \quad (4.25)$$

Toplam enerjinin bulunması için ise yukarıda hesaplanan bütün denklemler dikkate alınmalıdır. Bu hesap yapılırken sistemin sabit paket işleme enerjisine iletim sırasında harcanan enerji eklenmelidir. Dikkate alınması gereken nokta ise paketin  $\lambda_{ij}(l, k)$  kere tekrarlanacak olmasıdır. Başarılı tokalaşma ihtimali ve bu sırada harcanan enerji ile başarısız tokalaşma ve bu sırada harcanan enerji parametreleri dikkate alınır ve sonuç aşağıdaki gibi hesaplanır [19]:

$$\begin{aligned} E_{rx,ji}^D(l, k) = & E_{pp} \\ & + \lambda_{ij}(l, k) \left[ E_{rx}^{HS,s}(k, M_A) \right. \\ & \times \left( p_{ij}^s(l, M_P) p_{ji}^s(k, M_A) + p_{ij}^s(l, M_P) p_{ji}^f(k, M_A) \right) \\ & \left. + p_{ij}^f(l, M_P) p_{ji}^f(k, M_A) \times E_{rx}^{HS,f} \right] \end{aligned} \quad (4.26)$$

## 4.2 Matematiksel Eniyileme Çerçevesi

Eniyileme için kullanılacak olan ağ topolojisi yönlendirilmiş çizgedir (İng. directed graph).  $G=(V,A)$  olarak ifade edilen bu topolojide  $V$  kümesi baz istasyonu dahil bütün düğümleri kapsamaktadır ve baz istasyonunu 1 numaralı düğüm olarak kabul etmektedir.  $V$  kümesinden farklı olarak baz istasyonunu içermeyen bir  $W$  kümesi daha oluşturulmuştur. Bu iki kümeyle KAA içerisindeki olası bütün rotalar  $A = \{(i,j) : i \in W, j \in V - i\}$  şeklinde tanımlanmıştır.  $A$  kümesi tanımında dikkat

edilmesi gereken bir nokta da herhangi bir düğümün kendine veri gönderemeyeceğidir. Belirlenen  $i$  düğümünden  $j$  düğümüne  $l$  gücüyle gönderilip  $k$  gücüyle onaylanacak (İng. acknowledged) olan veri miktarı  $f_{ij}^{lk}$  olarak tanımlanmıştır.

Gönderici ve alıcının harcadığı enerjiyle ilgili önceki bölümde yapılan hesaplamalar ışığında her düğümün mümkün olduğunca az enerji tüketecek şekilde veri akışını sağlaması gerekmektedir. Bu noktada algılayıcı ağ için optimizasyon hedefini ağın yaşam süresinin enbüyüklenmesi olarak tanımlamak gerekir. Bu çalışmada ağın yaşam süresi, ağın çalışmaya başladığı zaman ile ilk algılayıcı düğümün bütün enerjisini tükettiği zaman arasındaki süre olarak tanımlanmıştır. Özet olarak amaç, en düşük yaşam süresine sahip olan düğümün yaşam süresini enbüyüklemek olarak ifade edilebilir.

Ağın yaşam süresinin enbüyüklenmesi için önerilecek olan üç strateji için de toplam gerçekleşen veri iletimi tur sayısı ( $N_{tur}$ ) ile her turun süresinin ( $T_{tur}$ ) çarpımı olarak belirleyebiliriz:

$$\text{Enbüyükle} = N_{round} \times T_{round} \quad (4.27)$$

Önerilen metotlar yerel karar verme metodu (YKVM), genel karar verme metodu (GKVM) ve ağ bazlı karar verme metodudur (AKVM).

#### 4.2.1 Genel karar verme metodu (GKVM)

GKVM’de KAA üzerinde yer alan her linkteki veri ve onay paketi iletim güç seviyeleri herhangi bir kısıta maruz kalmadan eniyilenmiştir. Amaç fonksiyonu Denklem 4.27 ile tanımlanmıştır.

Kısıtların tanımlanmasına iletilen veri miktarının pozitif olması ile başlanmıştır:

$$f_{ij}^{lk} \geq 0, \forall l \in S_L, \forall k \in S_L, \forall (i, j) \in A, N_{rnd} \geq 0 \quad (4.28)$$

Denklem 4.28’de geçen  $S_L$ , Mica2 Mote’un kullandığı güç seviyelerine karşılık gelmektedir. Düğümler sadece bu seviyeleri kullanabildikleri için kısıt ona göre tanımlanmıştır.

Ağ yapısının özelliklerinden olan veri akışı kısıtı düğüme giren verinin belirlenen zaman aralığında üretilen veri ile gönderilen veriye eşit olduğunu belirtmektedir. Buna göre yazılacak olan kısıt Denklem 4.29-a’daki gibidir:

$$\sum_{l \in S_L} \sum_{k \in S_L} \sum_{(i,j) \in A} f_{ij}^{lk} - \sum_{l \in S_L} \sum_{k \in S_L} \sum_{(j,i) \in A} LR_{ji}(l,k) f_{ji}^{lk} = N_{rnd} \times s_i \quad (4.29-a)$$

$$LR_{ji}(l,k) = 1 - [p_{ij}^{HS,f}(l,k)]^{(N_{rtr}+1)} \quad (4.29-b)$$

Burada yer alan  $LR_{ji}(l,k)$  parametresi kayıp faktörünü temsil etmekte olup Denklem 4.29b'deki gibi hesaplanır.  $N_{rtr}$ 'nin sonsuza gittiği durumda ifade 1'e yaklaştığından denkleme herhangi bir etkisi olmayacaktır.

KAA'nın kısıtlarından diğeri ise zamansal kısıttır. Düğümün meşgul olduğu zaman baz alınarak oluşturulan bu kısıtta düğümün diğer düğümlerle iletişimde olduğu zamanlar kullanılmıştır.

Düğümlerin uykuda oldukları zamanı bulmak için herhangi bir zaman diliminde gönderici ya da alıcı olduğu zamanı ( $T_{busy}$ ) bulmak gerekir. Bununla ilgili kısıt Denklem 4.30'daki gibidir:

$$T_{busy,i} = T_{slot} \sum_{l \in S_L} \sum_{k \in S_L} \left\{ \sum_{(i,j) \in A} \lambda_{ij}(l,k) f_{ij}^{lk} + \sum_{(j,i) \in A} \lambda_{ji}(l,k) f_{ji}^{lk} \right\} + N_{rnd} \times T_{DA}, \forall i \in W \quad (4.30)$$

Sistemin en önemli kısıt olan güç kısıtı ise Denklem 4.31'deki gibi yazılabilir. Düğümün batarya enerjisi  $P_{battery}$  olarak alınırsa düğümün yaşamına devam etmesi için bu enerjinin sırasıyla iletim, uyku, alma ve veri toplama sırasında harcadığı enerjilerin toplamından daha büyük olması gerekmektedir:

$$\begin{aligned}
P_{battery} \geq & \sum_{l \in S_L} \sum_{k \in S_L} \sum_{(i,j) \in A} E_{tx,ij}^D(l,k) f_{ij}^{lk} + P_{sleep} (N_{rnd} \times T_{rnd} \\
& - T_{busy,i}) + \sum_{l \in S_L} \sum_{k \in S_L} \sum_{(j,i) \in A} E_{rx,ji}^D(l,k) f_{ji}^{lk} + N_{rnd} \\
& \times E_{DA}, \forall i \in W
\end{aligned} \quad (4.31)$$

Herhangi bir haberleşme ortamında alma veya gönderme sırasındaki bant genişliğinin toplam bant genişliği sınırından küçük olması gerekmektedir. Bununla ilgili olan kısıt da Denklem 4.32'deki gibi ifade edilmiştir:

$$\begin{aligned}
\xi(i) \geq & T_{slot} \sum_{l \in S_L} \sum_{k \in S_L} \left\{ \sum_{(i,j) \in A} \lambda_{ij}(l,k) f_{ij}^{lk} + \sum_{(j,i) \in A} \lambda_{ji}(l,k) f_{ji}^{lk} \right\} \\
& + T_{slot} \sum_{l \in S_L} \sum_{k \in S_L} \sum_{(j,n) \in A} \lambda_{jn}(l,k) f_{jn}^{lk} I_{jnlk}^i, \forall i \in V
\end{aligned} \quad (4.32)$$

Maksimum bant genişliğinin üst limiti ise ağ yaşam süresinin toplamı ile sınırlanmaktadır (Denklem 4.33)

$$\xi(i) \leq N_{rnd} \times T_{rnd} \quad (4.33)$$

Son kısıt ise düğümlerin birbirini etkilememesi için konulan girişim fonksiyonu kısıtıdır (Denklem 4.34) [19].

$$I_{jnlk}^i = \begin{cases} 1, & \text{eğer } P_{rx,ij}^{ant}(l) \geq P_{sns} \text{ veya } P_{rx,ni}^{ant}(k) \geq P_{sns} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (4.34)$$

#### 4.2.2 Yerel karar verme metodu (YKVM)

Bu metotta GKVM'de kullanılan kısıtlar aynen geçerli olmaktadır. GKVM'den farklı olarak herhangi bir link üzerindeki veri ve ACK paketleri için kullanılan enerji seviyeleri sadece iki düğümle ilgili parametreler kullanılarak hesaplanmaktadır. Her link için ayrı ayrı veri paketi iletim seviyesi  $l_{ij}^{en}$  ve doğrulama paketi iletim seviyesi  $k_{ij}^{en}$  bulunacaktır. Bu enerji seviyeleri, yukarıda belirtildiği gibi sadece iki düğüm



kullanılarak oluşturulan ve bu linke özel bir eniyileme olacaktır. Bu şekilde her seferinde farklı güç seviyeleri bulunmayacağı için hesaplama açısından GKVM'ye göre çok daha hızlı bir şekilde en iyi sonuç bulunacaktır.

Özet olarak GKVM'de düğümler arasındaki veri miktarı  $f_{ij}^{lk}$  iken YKVM'de  $f_{ij}$  olmuştur. Düğümler arasındaki en uygun güç seviyesi ise Denklem 4.35'deki yerel optimizasyon yöntemiyle bulunmaktadır [33].

$$\{ l_{ij}^{en} + k_{ij}^{en} \} = \underset{l \in S_L, k \in S_L}{\operatorname{argmin}} \left( E_{tx,ij}^D(l, k) + E_{rx,ji}^D(l, k) \right) \quad (4.35)$$

#### 4.2.3 Ağ bazlı karar verme metodu (AKVM)

AKVM'de ise yine GKVM'de kullanılan kısıtlar aynen geçerli olmakla birlikte güç seviyeleriyle ilgili eniyileme bütün ağ topolojisi göz önüne alınarak yapılmaktadır. Öncelikli olarak YKVM kullanılarak  $l_{ij}^{en}$  ve  $k_{ij}^{en}$  seviyeleri belirlenmektedir. Daha sonra oluşturulan tüm  $l_{ij}^{en}, k_{ij}^{en}$  enerji seviyeleri bütün model için tek tek denenerek en yüksek yaşam süresini veren enerji seviyesi çifti seçilmektedir. Bu şekilde bütün ağ için tek bir  $k^{en}$  ve  $l^{en}$  çifti bulunmaktadır [33].

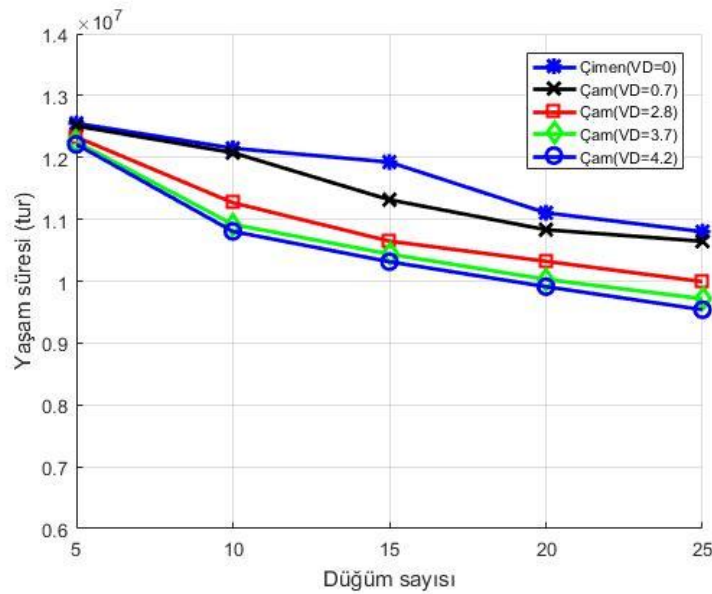


## 5 ANALİZ

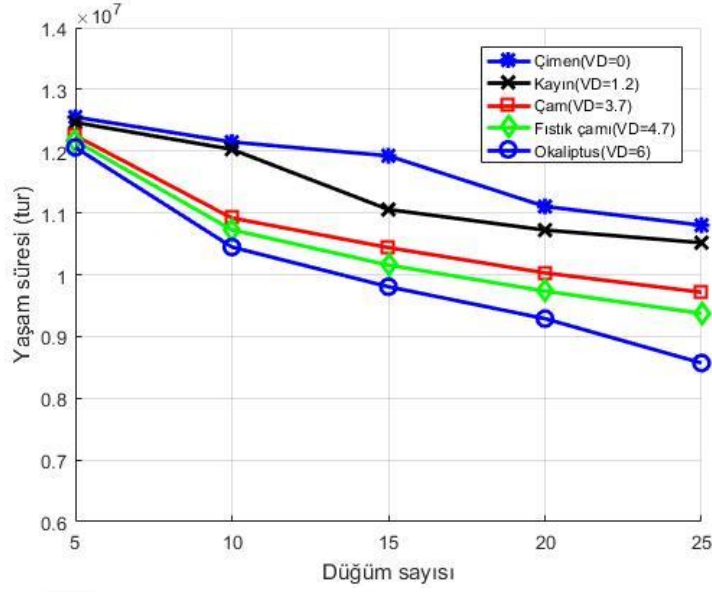
Sistem modeli ve bununla ilgili parametreler MATLAB’da hesaplanmıştır. Daha sonra ilgili parametreler optimizasyon programı olan GAMS’e aktarılıp eniyileme problemi bu program aracılığıyla çözülmüştür. Sonuçlar son olarak tekrar MATLAB’a yorumlanmak üzere aktarılmıştır. Sonuçların anlamlı olması için Monte Carlo yöntemi uygulanmış olup her sonuç 100 tekrarlamanın ortalaması olarak elde edilmiştir.

Yapılan ölçümlerde GKVM ile YKVM’nin sonuçlarının neredeyse aynı çıktığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple orman parametrelerinin etkisinin daha net görülebilmesi ve karşılaştırılma yapılabilmesi için grafiklerde GKVM-YKVM çıktıları tek bir çıktı gibi alınıp bu sonuçlar gerekli yerlerde AKVM ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de farklı ağaç tiplerinin yaşam süresine etkisi GKVM-YKVM kullanılarak incelenmiştir. Şekil 5.1’de kontrol grubu olarak alınan çimene göre çam ağacının yoğunluğu (VD) arttığında yol kaybı parametresinin artmasına bağlı olarak yaşam süresinin düzenli olarak azaldığı görülmektedir. Şekil 5.2’de ise VD’ye bağlı olarak çeşitli ağaç tiplerinde yaşam süresinin azaldığı gözlemlenmektedir.

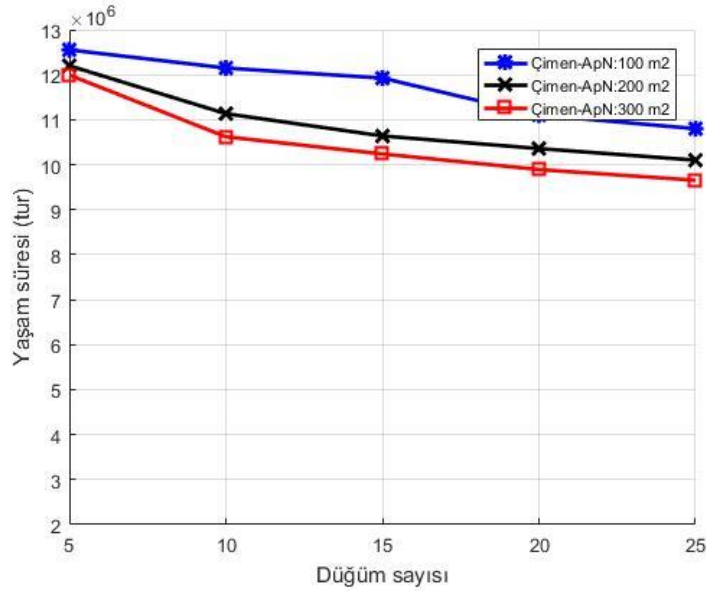


Şekil 5.1: Farklı ağaç tiplerinin etkisi – (a) (GKVM-YKVM).

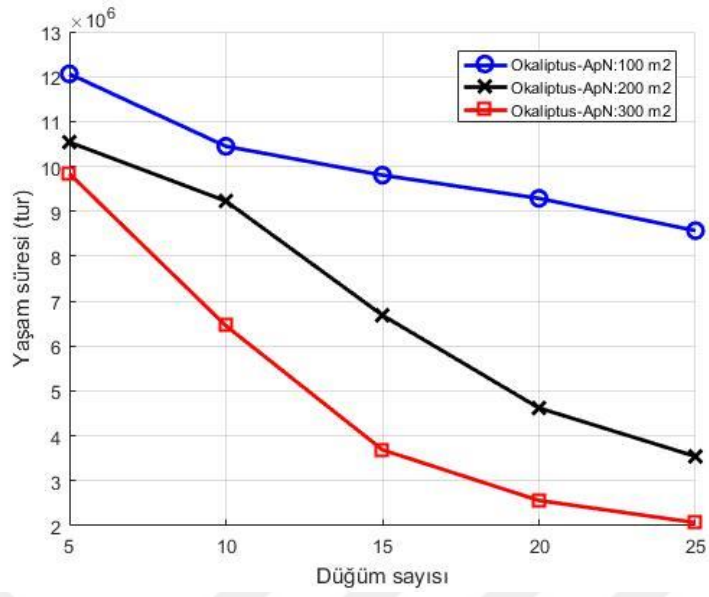


Şekil 5.2: Farklı ağaç tiplerinin etkisi – (b) (GKVM -YKVM).

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’de düğüm başına düşen alanın yaşam süresine etkisi YKVM ile hesaplanmıştır. İki grafikten de düğüm başına düşen alan arttıkça yaşam süresinin azaldığı net bir şekilde görülmekle birlikte farklı VD’ye sahip iki bitkinin olduğu ortamda yaşam sürelerinin çok ciddi farklılıklar gösterdiği tekrardan görselleştirilmiştir.

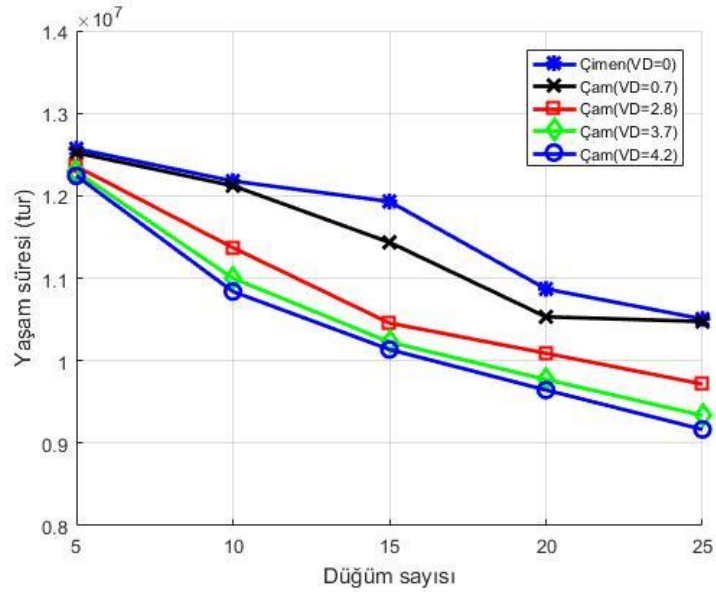


Şekil 5.3: Farklı düğüm alanlarının etkisi – (a) (YKVM-GKVM).

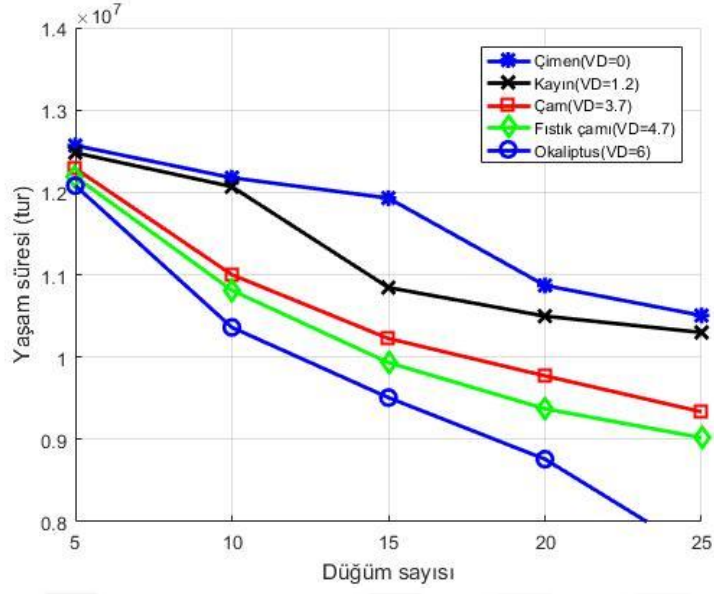


Şekil 5.4: Farklı düğüm alanlarının etkisi – (b) (YKVM-GKVM).

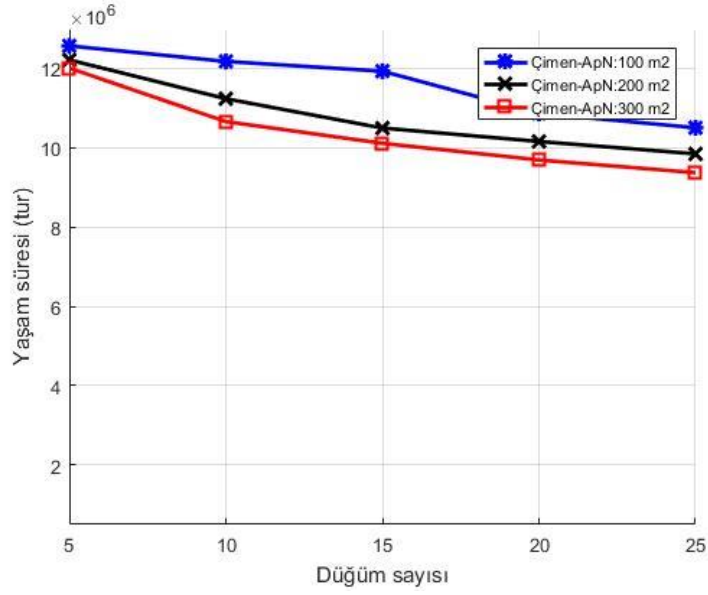
YKVM için yapılan bu ölçümler Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de görüldüğü gibi AKVM için tekrarlanmıştır.



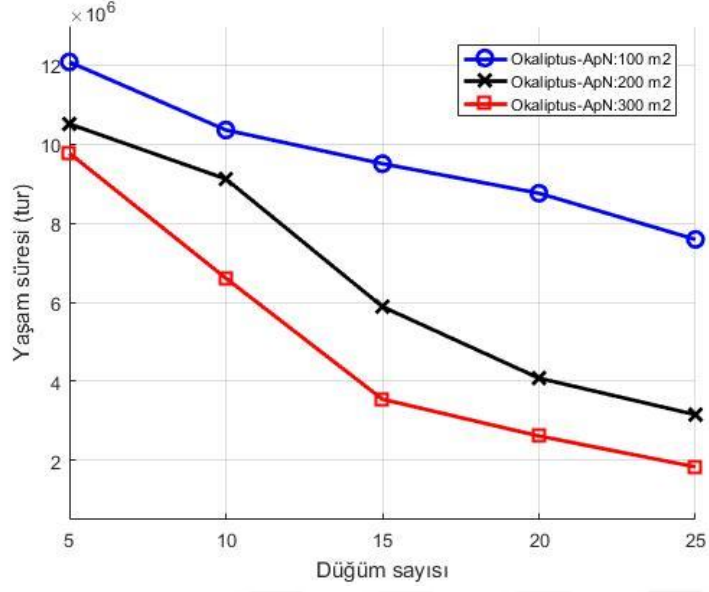
Şekil 5.5: Farklı ağaç tiplerinin etkisi – (a) (AKVM).



Şekil 5.6: Farklı ağaç tiplerinin etkisi – (b) (AKVM).



Şekil 5.7: Farklı düğüm alanlarının etkisi – (a) (AKVM).



Şekil 5.8: Farklı düğüm alanlarının etkisi – (b) (AKVM).

Her 3 metod için de elde edilen sonuçlar Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de verilmiştir. Burada elde edilen sonuçlar da saniye cinsindedir. Hesaplamalarda her  $VD$  değeri için 15 farklı tablo oluşturulmuş olsa da bitki yoğunluğunun etkisinin net anlaşılması açısından  $VD$ ’nin 0 ve 6’ya eşit olduğu uç değerleri vermek sonuçların anlaşılması açısından daha net olacaktır.

Tablo 5.1: Simülasyon sonucu ağ yaşam süresi ve çözüm süresi (VD=0).

<b>Area Per Node = 100 m2</b>				<b>Area Per Node = 200 m2</b>				<b>Area Per Node = 300 m2</b>			
<b>LIFETIME (mean)</b>				<b>LIFETIME (mean)</b>				<b>LIFETIME (mean)</b>			
# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM	# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM	# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM
5	12551944	12551944	12547260	5	12199413	12199413	12190525	5	11993266	11993266	11983153
10	12148351	12148351	12122505	10	11133936	11133936	10911809	10	10620628	10620628	10514772
15	11924535	11924535	11879523	15	10638763	10638762	10494974	15	10239202	10239202	10082235
20	11104390	11104390	10738117	20	10358256	10358255	10117065	20	9891478	9891477	9667704
25	10800627	10800626	10499913	25	10100156	10100154	9776992	25	9654374	9654373	9312534
<b>LIFETIME (std dev)</b>				<b>LIFETIME (std dev)</b>				<b>LIFETIME (std dev)</b>			
# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM	# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM	# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM
5	101377	101377	103284	5	120345	120345	121837	5	125551	125551	127408
10	61479	61479	62105	10	359221	359221	421078	10	171634	171634	141070
15	45564	45565	46180	15	106966	106966	3016	15	102998	102998	59544
20	182675	182676	187419	20	108643	108643	96673	20	94845	94845	55372
25	104820	104820	5908	25	97756	97756	85648	25	100899	100900	129398
<b>SOLVE TIME (mean)</b>				<b>SOLVE TIME (mean)</b>				<b>SOLVE TIME (mean)</b>			
# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM	# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM	# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM
5	0.04	0.27	2.23	5	0.05	0.27	2.45	5	0.05	0.27	2.43
10	0.04	1.81	2.39	10	0.05	1.79	2.54	10	0.05	1.64	2.56
15	0.05	5.58	2.71	15	0.05	5.52	2.79	15	0.05	5.14	2.75
20	0.06	12.93	3.06	20	0.06	12.85	3.04	20	0.06	12.04	3.05
25	0.07	25.53	3.52	25	0.07	24.80	3.55	25	0.07	23.32	3.47
<b>SOLVE TIME (std dev)</b>				<b>SOLVE TIME (std dev)</b>				<b>SOLVE TIME (std dev)</b>			
# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM	# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM	# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM
5	0.01	0.01	0.16	5	0.02	0.02	0.20	5	0.01	0.02	0.17
10	0.01	0.05	0.20	10	0.01	0.05	0.18	10	0.01	0.03	0.20
15	0.01	0.12	0.19	15	0.01	0.11	0.33	15	0.01	0.10	0.20
20	0.01	0.25	0.19	20	0.01	0.18	0.17	20	0.01	0.23	0.18
25	0.01	0.42	0.15	25	0.01	0.82	0.20	25	0.01	0.42	0.16



Tablo 5.2: Simülasyon sonucu ağ yaşam süresi ve çözüm süresi (VD=6).

<b>Area Per Node = 100 m<sup>2</sup></b>			
<b>LIFETIME (mean)</b>			
# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM
5	12059894	12059894	12041865
10	10447618	10447617	10214689
15	9805265	9805264	9393957
20	9288169	9288168	8667638
25	8569644	8569643	7167983
<b>LIFETIME (std dev)</b>			
# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM
5	181588	181588	186492
10	219043	219043	173680
15	178273	178273	188677
20	208272	208273	221380
25	357612	357612	578574
<b>SOLVE TIME (mean)</b>			
# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM
5	0.05	0.26	2.43
10	0.08	1.65	2.52
15	0.07	5.18	2.71
20	0.07	12.04	3.02
25	0.09	23.53	3.53
<b>SOLVE TIME (std dev)</b>			
# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM
5	0.02	0.01	0.19
10	0.16	0.03	0.19
15	0.05	0.10	0.17
20	0.08	0.20	0.22
25	0.08	0.40	0.20

<b>Area Per Node = 200 m<sup>2</sup></b>			
<b>LIFETIME (mean)</b>			
# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM
5	10539735	10539735	10442608
10	9228366	9228366	8865558
15	6685913	6685913	5401328
20	4620611	4620610	3692367
25	3543067	3543067	2827579
<b>LIFETIME (std dev)</b>			
# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM
5	475615	475615	489880
10	314172	314172	340874
15	1302061	1302061	1113941
20	1239168	1239169	953060
25	904320	904320	731607
<b>SOLVE TIME (mean)</b>			
# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM
5	0.04	0.26	2.42
10	0.07	1.63	2.51
15	0.06	5.11	2.72
20	0.08	11.94	3.03
25	0.09	23.38	3.47
<b>SOLVE TIME (std dev)</b>			
# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM
5	0.01	0.01	0.19
10	0.14	0.03	0.18
15	0.04	0.09	0.19
20	0.17	0.20	0.20
25	0.06	0.41	0.13

<b>Area Per Node = 300 m<sup>2</sup></b>			
<b>LIFETIME (mean)</b>			
# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM
5	9838640	9838639	9721365
10	6452719	6452719	5406234
15	3690106	3690106	2997188
20	2561671	2561671	2088510
25	2068776	2068775	1658217
<b>LIFETIME (std dev)</b>			
# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM
5	417703	417703	419998
10	1628914	1628915	1539907
15	1235712	1235713	1002796
20	934677	934677	753286
25	696691	696691	532158
<b>SOLVE TIME (mean)</b>			
# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM
5	0.04	0.26	2.46
10	0.06	1.63	2.50
15	0.06	5.09	2.73
20	0.09	11.86	3.01
25	0.09	23.26	3.45
<b>SOLVE TIME (std dev)</b>			
# of Nodes	YKVM	GKVM	AKVM
5	0.01	0.01	0.29
10	0.03	0.03	0.18
15	0.11	0.08	0.21
20	0.17	0.22	0.19
25	0.14	0.43	0.14



## 6 SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında orman ortamında bulunan kablosuz algılayıcı ağların yaşam süresinin gönderme güç seviyesi eniyilemesi yoluyla enbüyüklemesi araştırılmıştır. Literatürde yapılmış olan çalışmalarda KAA'lar için yol kaybı denklemi ortamdaki bağımsız, genel bir formda seçilmiştir. Bu yaklaşım her ortamda gerçekçi sonuçlar vermemektedir.

Orman ortamına özgü parametrelerin KAA yaşam süresine yol kaybı denklemi aracılığıyla olan etkisinin sistematik bir şekilde incelendiği bu çalışmada düğümler arasındaki linklerin eniyilenmesi için Mica2 düğümleri kullanılarak matematiksel programlama modeli oluşturulmuş ve bu model farklı yaklaşımlarla çözülmüştür. Önerilen üç metot için elde edilen sonuçlar birbirine yakındır. Sonuçlar incelendiğinde bitki yoğunluğunun yüksek olduğu ortamlarda GKVM ve YKVM metotlarının AKVM metoduna göre başarımının daha yüksek olduğunu görebiliriz. Hesaplama süresi de göz önüne alındığında incelenen metotlar içerisinde uygulama açısından en uygun metot YKVM'dir.

Çalışmada deneysel olarak uzun süreçte alınan ölçümler sonucunda oluşturulan yol kaybı denklemi kullanılarak elde edilen sonuçların gerçeğe oldukça yakın olması sağlanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde orman parametrelerinden olan ağaç tipi, ağaç yoğunluğu ve ağaç gövde çapının KAA'nın yaşam süresini ciddi miktarda etkilediği gözlemlenmiştir.



## KAYNAKLAR

- [1] **D. Tse and P. Viswanath**, *Fundamentals of Wireless Communication*. Cambridge University P, 2005.
- [2] **S. Li, L. Da Xu, and S. Zhao**, “The internet of things: a survey,” *Inf. Syst. Front.*, vol. 17, no. 2, pp. 243–259, 2015.
- [3] **J. Gubbi, R. Buyya, and S. Marusic**, “Internet of Things ( IoT ): A Vision , Architectural Elements , and Future Directions,” vol. 29, no. 1, pp. 1–19, 2013.
- [4] **S. Singh and Meenaxi**, “A Survey on Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks,” *Icact*, vol. 3, no. 7, pp. 200–205, 2013.
- [5] **Silicon Labs**, “The Evolution of Wireless Sensor Networks,” *White Pap.*, no. December 2008, pp. 1–5, 2013.
- [6] **I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci**, “Wireless sensor networks: a survey,” *Comput. Networks*, vol. 38, no. 4, pp. 393–422, 2002.
- [7] **A. Mainwaring, D. Culler, J. Polastre, R. Szewczyk, and J. Anderson**, “Wireless sensor networks for habitat monitoring,” *Proc. 1st ACM Int. Work. Wirel. Sens. networks Appl. - WSNA '02*, p. 88, 2002.
- [8] **R. Szewczyk, E. Osterweil, J. Polastre, M. Hamilton, A. Mainwaring, and D. Estrin**, “Habitat monitoring with sensor networks,” *Commun. ACM* , vol. 47, no. 6, p. 34, 2004.
- [9] **C. Otto, A. Milenković, C. Sanders, and E. Jovanov**, “System architecture of a wireless body area sensor network for ubiquitous health monitoring,” *J. Mob. Multimed.*, vol. 1, no. 4, pp. 307–326, 2006.
- [10] **G. Virone et al.**, “An Advanced Wireless Sensor Network for Health Monitoring,” *Transdiscipl. Conf. Distrib. Diagnosis Home Healthc.* , pp. 2–5, 2006.
- [11] **A. Milenković, C. Otto, and E. Jovanov**, “Wireless sensor networks for personal health monitoring: Issues and an implementation,” *Comput. Commun.*, vol. 29, no. 13–14, pp. 2521–2533, 2006.
- [12] **P. Padhy, K. Martinez, A. Riddoch, H. L. R. Ong, and J. K. Hart**, “Glacial Environment Monitoring using Sensor Networks,” *RealWSN* , 2005.
- [13] **V. C. Gungor and G. P. Hancke**, “Industrial Wireless Sensor Networks: Challenges, Design Principles, and Technical Approaches,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 10, pp. 4258–4265, 2009.
- [14] **D.-M. Han and J.-H. Lim**, “Smart home energy management system using

IEEE 802.15.4 and ZigBee,” *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 56 pp. 1403–1410, 2010.

- [15] **R. Beckwith, D. Teibel, and P. Bowen**, “Report from the field: results from an agricultural wireless sensor network,” *29th Annu. IEEE Int. Conf. Local Comput. Networks*, pp. 471–478, 2004.
- [16] **A. J. Garcia-Sanchez, F. Garcia-Sanchez, and J. Garcia-Haro**, “Wireless sensor network deployment for integrating video-surveillance and data-monitoring in precision agriculture over distributed crops,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 75, no. 2, pp. 288–303, 2011.
- [17] **A. Baggio**, “Wireless sensor networks in precision agriculture,” *Work. Real-World Wirel. Sens. Networks*, pp. 107–108, 2005.
- [18] **Y. Kim, R. G. Evans, and W. M. Iversen**, “Remote Sensing and Control of an Irrigation System Using a Distributed Wireless Sensor Network,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 57, no. 7, pp. 1379–1387, 2008.
- [19] **H. U. Yildiz, B. Tavli, and H. Yanikomeroglu**, “Transmission Power Control for Link-Level Handshaking in Wireless Sensor Networks,” *IEEE Sens. J.*, vol. 16, no. 2, pp. 561–576, 2016.
- [20] **S. Kurt, H. U. Yildiz, M. Yigit, B. Tavli, and V. C. Gungor**, “Packet Size Optimization in Wireless Sensor Networks for Smart Grid Applications,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 64, no. 3, pp. 2392–2401, 2017.
- [21] **Y. He**, “Wireless Sensor Network for Forestry Applications: Overcoming the Uncertainty,” *ProQuest Diss. Theses*, no. May, p. 123, 2010.
- [22] **Liyang Yu, Neng Wang, and Xiaoqiao Meng**, “Real time forest fire detection with wireless sensor networks,” *Proceedin. 2005 Int. Wirel. Commun. Netw. Mob. Comput. 2005.*, vol. 2, pp. 1214–1217, 2005.
- [23] **B. Son, Y. Her, and J. Kim**, “A design and implementation of forest-fires surveillance system based on wireless sensor networks for South Korea mountains *Int. J. Comput. Sci. Netw. Secur.*, vol. 6, no. 9, pp. 124-130, 2006.
- [24] **M. Hefeeda and M. Bagheri**, “Wireless Sensor Networks for Early Detection of Forest Fires,” *2007 IEEE International Conf. Mob. Adh. Sens. Syst.*, no. August 2003, pp. 1–6, 2007.
- [25] **M. Hefeeda and M. Bagheri**, “Forest Fire Modeling and Early Detection using Wireless Sensor Networks,” *Ad Hoc Sens. Wirel. Networks*, vol. 7, no. August 2003, pp. 169–224, 2009.
- [26] **J. Lloret, M. Garcia, D. Bri, and S. Sendra**, “A wireless sensor network deployment for rural and forest fire detection and verification,” *Sensors*, vol. 9, no. 11, pp. 8722–8747, 2009.
- [27] **Y. E. Aslan, I. Korpeoglu, and özgür Ulusoy**, “A framework for use of wireless sensor networks in forest fire detection and monitoring,” *Comput. Environ. Urban Syst.*, vol. 36, no. 6, pp. 614–625, 2012.
- [28] **S. Lin et al.**, “ATPC: Adaptive Transmission Power Control for Wireless Sensor Networks,” *ACM Tran.Sen.Netw.*, vol. 12, pp. 1–31, 2016.
- [29] **P. C. Nar and E. Çayirci**, “PCSMAC: A power controlled sensor-MAC

- protocol for wireless sensor networks,” *Proc. Second Eur. Work. Wirel. Sens. Networks, EWSN 2005*, vol. 2005, pp. 81–92, 2005.
- [30] **Y. C. Kim, I. C. Choi, B. Yun, and H. D. Kim**, “Enhancement of Sensor Network Lifetime Based on Simple Transmission Power Control Technique,” pp. 353–354, 2012.
- [31] **R. Srivastava and C. E. Koksal**, “Energy Optimal Transmission Scheduling in Wireless Sensor Networks,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 9, no. 5, pp. 1550–1560, 2010.
- [32] **C. Karakus, a. C. Gurbuz, and B. Tavli**, “Analysis of Energy Efficiency of Compressive Sensing in Wireless Sensor Networks,” *IEEE Sens. J.*, vol. 13, no. 5, pp. 1999–2008, 2013.
- [33] **H. U. Yildiz**, “Kablosuz algılayıcı ağlarda link seviyesinde tokalaşma için iletim güç kontrolü.pdf,” 2016.
- [34] **Crossbow Technology**, “Mica2 Datasheet,” *Prod. Datasheet*, p. 2, 2005.
- [35] **O. Eriksson**, “Error Control in Wireless Sensor Networks : A Process Control Perspective,” *ABB, Corp. Res.*, 2011.
- [36] **M. J. M. N. Scanail**, “Sensor Network Topologies and Design Considerations,” *Sens. Technol.*, vol. NA, pp. 79–95, 2013.
- [37] **J. W. Chinneck**, *Practical Optimization : a Gentle Introduction*, vol. I, no. 16. 2010.
- [38] **M. Kupferschmid**, *Introduction to Mathematical Programming : Theory and Algorithms of Linear and Nonlinear Optimization*. 2017.
- [39] **G. B. Dantzig**, “Mathematical Programming: An Overview.”
- [40] **G. H. Hurlbert**, *Linear Optimization: The Simplex Workbook*. 2000.
- [41] **R. Kumar and M. B. Srivastava**, “Timing-sync Protocol for Sensor Networks Categories and Subject Descriptors,” *Work*, 2003.
- [42] **J. A. R. Azevedo and F. E. S. Santos**, “An empirical propagation model for forest environments at tree trunk level,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 59, no. 6 PART 2, pp. 2357–2367, 2011.
- [43] **M. Zuniga and B. Krishnamachari**, “Analyzing the Transitional Region in Low Power Wireless Links,” vol. 0, no. c, pp. 517–526, 2004.
- [44] **M. Meghji and D. Habibi**, “Investigating transmission power control for wireless sensor networks based on 802.15.4 specifications,” *Telecommun.Syst.*, vol. 56, no. 2, pp. 299–310, 2014.





## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Yasin AYDINLI  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 29.06.1992 Bursa  
**E-posta** : y.aydinli@etu.edu.tr

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, TOBB ETÜ, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği  
(Başarı Burslu)
- **Lisans** : 2014, TOBB ETÜ, İşletme  
(Başarı Burslu)
- **Yüksek Lisans** : 2018, TOBB ETÜ, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği  
(Araştırma Burslu)

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Yıl	Yer	Görev
2014-2016	Meteksan Savunma	Sayısal Tasarım Mühendisi
2016-Devam	Tübitak İltaren	Araştırmacı Mühendis

**YABANCI DİL:** İngilizce (İleri Seviye), Rusça (Orta Seviye), Almanca (Temel Seviye)

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Y.Aydınlı, B.Tavlı**, “Gönderme Güç Seviyesi Eniyilemesi ile Orman Ortamındaki Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Yaşam Süresi Enbüyüklemesi”, 2018 26th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), İzmir, 2018