

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA VERİ SAÇILIM
POTANSİYELİ ve AĞ YAŞAM SÜRESİNİN ÖDÜNLEŞMESİNİN
MODELLENMESİ ve ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yıldız KARAKURT

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 sağladığımı onaylarım.

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

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **151211035** numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Yıldız KARAKURT**'un ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA VERİ SAÇILIM POTANSİYELİ ve AĞ YAŞAM SÜRESİNİN ÖDÜNLEŞMESİNİN MODELLENMESİ ve ANALİZİ**" başlıklı tezi **06.04.2018** tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

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

Eş Danışman: **Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Uğur YILDIZ**
TED Üniversitesi

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

Prof. Dr. Coşku KASNAKOĞLU
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ayhan AKBAŞ
THK 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.

Yıldız KARAKURT

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA VERİ SAÇILIM POTANSİYELİ ve AĞ YAŞAM SÜRESİNİN ÖDÜNLEŞMESİNİN MODELLENMESİ ve ANALİZİ

Yıldız KARAKURT

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

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bülent TAVLI

Tarih: Nisan 2018

Kablosuz algılayıcı ağlar (KAA) belirli bir coğrafi alana dağılmış küçük algılayıcı düğümlerden ve baz istasyonundan oluşmaktadır. Hedeflenen düğüm çiftleri dışında diğer düşman düğümlerin haberleşme menzili içine girmesi kulak misafirliği olarak tanımlanmaktadır. KAA'lara karşı bir tehdit olan gizli dinleme riskinin en aza indirgenmesi gerekmektedir. Gizli dinlemeyi azaltma çalışmaları, KAA'lara ait en önemli parametrelerden yaşam süresini olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada, gizli dinlemeyi en aza indirmeye ve gizli dinleme kısıtına bağlı ağ yaşam süresini eniyilemeye yönelik bir model tasarlanmıştır. Bu modelle gizli dinleme ve ağ yaşam süresi arasında ilişkin analiz edilmiştir. Bu çalışma sonucunda, gizli dinlemeyi minimuma indirmenin ağ yaşam süresinde azımsanmayacak ölçüde düşüşe neden olduğu gözlenmiş, kısıtlar belirli bir miktar genişletildiğinde KAA ömrünün maksimum seviyeye çıktığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz algılayıcı ağlar, Matematiksel programlama, Ağ yaşam süresi, Enerji verimliliği, Ağ güvenliği, Kulakmisafirliği.

ABSTRACT

Master of Science

EAVESDROPPING POTENTIAL IN WIRELESS SENSOR NETWORKS AND MODELING AND ANALYSIS OF NETWORK LIFE TIME RECOVERY

Yıldız KARAKURT

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

Wireless sensor networks (WSN) consist of tiny sensor nodes distributed over a specific geographical area. Eavesdropping can be considered as an attack against WSNs when an adversary node overhears the transmissions among the sensor nodes. Hence a WSN needs to minimize the risk of overhearing in order to operate safely. An effort to reduce eavesdropping can make worse the energy efficiency of WSN due to the suboptimal routing paths that are used. In this study, We designed two optimization model jointly reduce eavesdropping and increase the network lifetime. The analysis of the relationship between eavesdropping and network lifetime is investigated. As a result, it was observed that the minimizing overhearing causes a significant decrement in lifetime. With a specific amount of relaxation in overhearing limit network lifetime converges to the maximum.

Keywords: Wireless sensor networks, Mathematical programming, Network lifetime, Energy efficiency, Network Security, Eavesdropping.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince kıymetli katkılarıyla bana yardımcı olup yönlendiren tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Bülent Tavlı'ya ve çalışmalarında desteklerini esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Uğur Yıldız'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca yüksek lisans eğitimimi araştırma bursu kapsamında tamamlamamı sağlayan TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'ne, tecrübelerinden yararlandığım Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ve sonsuz desteklerinden dolayı aileme ve eşime çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT | v |
| TEŞEKKÜR | vi |
| İÇİNDEKİLER | vii |
| ŞEKİL LİSTESİ | viii |
| ÇİZELGE LİSTESİ | ix |
| KISALTMALAR | x |
| SEMBOL LİSTESİ | xi |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1 Problem Tanımı | 2 |
| 1.2 Literatür Araştırması | 2 |
| 2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR | 5 |
| 2.1 Kablosuz Algılayıcı Ağların Tarihçesi | 5 |
| 2.2 Algılayıcı Düğümlerin Donanımsal Yapısı | 6 |
| 2.3 Kablosuz Ağ Yapısı | 8 |
| 3. MATEMATİKSEL OPTİMİZASYON | 11 |
| 3.1 Doğrusal Programlama (DP) | 11 |
| 3.2 İki Bileşenli Programlama (IBP) | 12 |
| 3.3 Tamsayılı Programlama (TP) | 12 |
| 3.3.1 Tamsayılı programlama çözüm yöntemleri | 13 |
| 4. AĞ TOPOLOJİSİ | 15 |
| 4.1 Özet | 15 |
| 4.2 Algılayıcı Düğüm Modeli ve Enerji Seviyesi | 16 |
| 4.3 Ağ Topolojisi | 16 |
| 4.3.1 Kare Şeklinde Yerleştirilmiş Ağ Topolojisi | 16 |
| 4.3.2 Disk Şeklinde Yerleştirilmiş Ağ Topolojisi | 17 |
| 5. PROBLEM MODELİ | 19 |
| 5.1 Gizli Dinleme Eniyileme KTDP Modeli | 19 |
| 5.2 Yaşam Süresi Eniyileme KTDP Modeli | 21 |
| 6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME | 23 |
| 7. SONUÇ | 29 |
| KAYNAKLAR | 31 |
| ÖZGEÇMİŞ | 34 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | Sayfa |
|--|--------------|
| Şekil 2.1: Bir algılayıcı düğümdeki bileşenler. | 7 |
| Şekil 3.1: DP modeli. | 12 |
| Şekil 3.2: TP modeli. | 13 |
| Şekil 4.1: Gizli dinleyen düğüm örnek grafiği. | 15 |
| Şekil 4.2: Kare ağ topolojisi. | 17 |
| Şekil 4.3: Disk ağ topolojisi. | 18 |
| Şekil 6.1: Ağdaki düğüm sayısına bağlı olarak üç farklı R_{net} değeri için ağdaki toplam dinleme sayısı. | 24 |
| Şekil 6.2: Maksimum ağ yaşam süresinde meydana gelen yüzdesel düşüş. | 25 |
| Şekil 6.3: Maksimum ağ yaşam süresine ulaşabilmek için ağdaki toplam gizli dinleme miktarındaki artış. | 25 |
| Şekil 6.4: Ağdaki toplam gizli dinleme sayısı artışına bağlı olarak üç farklı düğüm sayısı için maksimum ağ yaşam süresinde meydana gelen düşüş $R_{net}=60$ m. | 26 |
| Şekil 6.5: Ağdaki toplam gizli dinleme sayısı artışına bağlı olarak üç farklı düğüm sayısı için maksimum ağ yaşam süresinde meydana gelen düşüş $R_{net}=100$ m. | 26 |
| Şekil 6.6: Ağdaki toplam gizli dinleme sayısı artışına bağlı olarak üç farklı düğüm sayısı için maksimum ağ yaşam süresinde meydana gelen düşüş $R_{net}=140$ m. | 27 |

ÇİZELGE LİSTESİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Çizelge 4.1: Mica2 düğüm platformu için güç seviyesi (N_l), iletim güç tüketimi ($E_{tx}(l)$ – nJ/bit) ve iletim menzil ($R_{max}(l)$ – m) tablosu [28]. Veri alımı için güç tüketimi sabittir. ($E_{rx} = 922$ nJ/bit). | 16 |



KISALTMALAR

| | |
|---------------|---|
| ABD | : Amerika Birleşik Devletleri |
| ADC | : Analog Dijital Dönüştürücü (İng. Analog-to-Digital Converter) |
| DARPA | : Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı İleri Araştırma Projeleri Ajansı (İng. United States Defense Advanced Research Projects Agency) |
| DP | : Doğrusal Programlama (İng. Linear Programming) |
| GAMS | : Genel Cebirsel Modelleme Sistemi (İng. The General Algebraic Modeling System) |
| İBP | : İki Bileşenli Programlama (İng. Binary Programming) |
| KAA | : Kablosuz Algılayıcı Ağ (İng. Wireless Sensor Networks) |
| KTDP | : Karma Tamsayı Doğrusal Programlama (İng. Mixed Integer Linear Programming) |
| MATLAB | : MATris LABORatuvarı (İng. Matrix Laboratory) |
| MP | : Matematiksel Programlama (İng. Mathematical Programming) |
| NI | : Nesnelerin İnterneti (İng. Internet of Things) |
| RAM | : Rastgele Erişim Hafızası (İng. Random Access Memory) |
| RF | : Radyo Frekansı (İng. Radio Frequency) |
| SNR | : Sinyal Gürültü Oranı (İng. Signal-to-Noise Ratio) |
| TP | : Tamsayı Programlama (İng. Integer Programming) |

SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılan simgeler ve açıklamaları aşağıda sunulmuştur.

| Simgeler | Açıklamalar |
|-----------------|--|
| a_{kj} | b k düğümünden üretilen verinin j tarafından alınıp alınmadığını gösteren ikilik değer |
| b_k | k düğümü veri oluşturduğunda oluşacak kulak misafiri düğüm sayısı |
| c_{max} | t_{max} 'ın elde edildiği durumdaki gizli dinleme miktarı |
| c_{min} | toplam gizli dinleme miktarı |
| d_{ij} | düğüm i ve j arasındaki uzaklık |
| e_i | bir düğüme ait bataryadaki düğüm sayısı |
| f_{ij}^k | k sensörü tarafından oluşturulup, i düğümünden j düğümüne doğru veri akışı miktarı |
| g_{kj} | k kaynağından üretilip j düğümünün aldığı veri miktarı |
| $h_{i,l}^k$ | k düğümünün ürettiği verinin, i düğümü üzerinden güç seviyesi l ile gönderilip gönderilmediğini gösteren ikilik sistemdeki parametre |
| L_p | bir paketteki bit sayısı |
| M_1 | $h_{i,l}^k$ ikilik sistemdeki değişkenini elde etmek için gereken büyük sayı |
| M_2 | a_{kj} ikilik sistemdeki değişkenini elde etmek için gereken büyük sayı |
| M_3 | $h_{i,l}^k$ ikilik sistemdeki değişkenini elde etmek için gereken büyük sayı |
| N_l | güç seviyesi uzayı |
| t | gizli dinleme olduğu durumdaki yaşam süresi |
| t_{max} | gizli dinleme olmadığı durumdaki yaşam süresi |
| V | baz istasyonu dahil tüm düğümlerin uzayı |
| W | baz istasyonu dışındaki diğer düğümlerin uzayı |
| $w_{i,l}^k$ | k kaynağı tarafından üretilip i düğümünden l güç seviyesiyle iletilen veri sayısı, |
| z_{ij}^l | f_i düğümünden l güç seviyesi ile gönderilen verinin j düğümü tarafından alınıp alınmadığını gösteren data |
| γ_{ij}^l | düğüm i den j ye veri gönderebilmek için yeterli minimum enerji seviyesi |

1. GİRİŞ

Son yıllarda Nesnelerin İnterneti teknolojisi (Internet of Things) hızlı bir gelişme göstermiştir. Nesnelerin interneti konseptinin bir parçası olan Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA) da bu genişlemenin bir parçası olarak bir çok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Entegre ve mikroelektro-mekanik sistemlerindeki (MEMS) ilerlemeler ile kablosuz haberleşme, sinyal işleme ve algılayıcıların düşük maliyetli küçük paketlerde toplandığı tasarımlar geliştirilmiştir. [1]. Bu sayede, güç verimi, boyut ve maliyet açısından avantajlı düğümlerden oluşan KAA'lar da çok çeşitli yerlerde kullanılabilir hale gelmiştir [2].

KAA'lar genellikle yüksek miktarda birbirinden ayrı duran algılayıcı düğümler ve en az bir tane baz istasyonundan oluşmaktadır. Toplanması gereken veriye göre düğümler, vahşi doğa gibi insanların ulaşması zor ve tehlikeli olan alanlara yerleştirilir. Algılayıcı tipine bağlı olarak düğümler sıcaklık, nem, basınç gibi değerleri toplayıp, çeşitli fonksiyonları gerçeklemek için dataları işler. Daha sonra verilerin düğümlere ya da baz istasyonuna iletimi sağlanır. Bu haberleşmeler doğrudan ya da düğümlerin röle işlevi görmesiyle yapılmaktadır.

Tüm avantajları ile bize geniş bir kullanım alanı sunan KAA'lar, üstün taraflarının getirdiği, sistem performansını etkileyen kısıtlamalara da sahiptir. Özellikle küçük olması, sınırlı kapasite ve batarya problemini doğurmaktadır. Kablosuz haberleşme özelliği ise, veri iletiminin güvenilirliği, veri iletim gecikmesi konularında sıkıntılara neden olabilmektedir. Kablosuz algılayıcı ağların yerleştirildikleri ulaşılması zor ortamlar nedeniyle düğümlerin tehditlere açık olması da değerlendirilmesi gereken başka bir durumdur.

Kablosuz ağlarda kullanılan algılayıcı düğümler küçük olması nedeniyle düşük batarya gücüne sahiptirler. Kısıtlı enerji kaynağı nedeni ile sistemin yaşam süresini uzatmak için düşük güç tüketimi de şarttır. Yaşam süresini arttırmak kablosuz algılayıcı ağlarda temel motivasyonlardan biridir. Bu konuda protokol, düğüm yol, iletim güç atama algoritmaları oluşturmak gibi birçok çalışma yapılmıştır [2–4].

Kablosuz ağların yerleştirildikleri ortam ve kullanım amacı dışarıdan gelecek tehditlere daha çok açık olmasına neden olmuştur. Algılayıcı ağlara yönelik oluşabilecek tehditleri temelde iç ve dış tehditler olarak ikiye ayırabiliriz. İç tehditler daha çok ağ içerisindeki düğümlerin gasp edilmesi değiştirilmesi gibi senaryolarla oluşabilecek tehditlerdir. Dış tehditler ağ elemanları dışındaki oluşumlardan meydana gelebilecek saldırılardır. Dış tehditleri pasif ve aktif saldırılar olarak kategorize edebiliriz. Gizli dinleme(eavesdropping) ve veri iletimi bölünmesi (transmission interference) pasif dış tehditlere örnek olarak verilebilir [5].

1.1 Problem Tanımı

Bu tez çalışmasında yukarıda bahsedilen KAA'ların açık olduğu tehditlerden kulak misafirliğini kısıtlayan bir en iyileme çerçevesi çizilerek

1. Rastlantısal disk topolojisinde düğüm sayısı ile kulakmisafiri düğüm miktarı artışı,
2. Düğüm sayısı $|W|$ ve gizli dinleme miktarına bağlı yaşam süresindeki değişim,
3. KAA'nın enerji verimliliğinin en iyilenebilmesi ve gizli dinleme kısıtındaki rahatlatma ilişkisi

analiz edilmiş ve bu sonuçlara göre değerlendirilmelerde bulunulmuştur.

Bu tez çalışmasının organizasyonu şu şekilde gerçekleştirilmiştir: Tez çalışması hakkında kısa bilgilendirme, problem tanımı ve literatür araştırması Bölüm 1'de sunulmuştur. Bölüm 2'de detaylı olarak KAA'lar, ve bileşenleri anlatılmıştır. Bölüm 3'te genel matematiksel optimizasyon tekniklerinden bahsedilmiştir. Bölüm 4'te bu tezde üzerinde çalışılmış ağ topolojilerini göstermektedir. Bölüm 5 sistem modelleri özetlenmiştir. Bölüm 6 bir önceki bölümde sunulan programlama modellerinin analizleri sunulmuş ve yorumlanmıştır. Bölüm 7 de bu tez çalışmasının sonuçları özetlenmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Kablosuz ağların açık olduğu tehditleri en aza indirgemeye yönelik literatürde bir çok çalışma bulunmaktadır. Parazit ve kulak misafirliği oluşumlarını azaltıp ağ güvenliğini maksimize etmek için bir çok teori ortaya atılmıştır. Gizli dinlemeyi azaltmak adına *karıştırıcı dost sinyalleri* (İng. *friendly jammer*) kavramı sunulmuş, algılayıcı ağında belirli bölgelere yerleştirilmiş bu karıştırıcılar sayesinde bilgi sızıntısı en aza indirgenmeye çalışılmıştır [6].

Benzer bir şekilde bir başka çalışmada karıştırıcı dost sinyal konsepti ile oyun teorisi arasındaki ilişki analiz edilmiş, gönderilen veri kaynağı ve hedef düğümüne göre karıştırma yapması istenen karıştırıcılar seçilmiştir. Fiziksel katman güvenliği için, güç bölünmeli eşzamanlı kablosuz bilgi ve enerji iletimi haberleşme sistemi ile güvenlik oranını ve enerji verimliliğini arttırmıştır [7]. Bu çalışmada sonuç olarak, her bir kaynağın tek bir karıştırıcı görevlendirdiği gözlenmiştir.

Fiziksel katman güvenliğini korumak adına diğer bir çalışmada [8], ikili eşik değerine dayalı iletim şeması sunulmuştur. Bu sistemde üst ve alt bağlantı (İng. down link-up link) olmak üzere iki farklı protokol uygulanmaktadır. Alt bağlantı, sinyal gürültü oranı (İng. Signal to Noise Ratio SNR) eşikğine göre dinamik olarak bilgi güç atama değişikliği yaparken, üst bağlantıda kullanıcıya enerji eşik değerleri verilir.

Veri iletim yolları ve karıştırıcı konseptleri dışında, algılayıcı ağa ait donanımsal değişikliklerin de ağ güvenliği üzerinde olumlu etkileri olabileceği teorisi de popüler çalışmalar arasındadır [9]. Kanal belirsizliğini göz önünde bulundurarak gizli dinleme

riski için gerçekçi analitik bir model oluşturmuşlardır. Yönlü antenlerin gizli dinlemeyi azaltmakta oldukça etkili olduğu sonucu çıkmıştır.

[10]'da çok yönlü ve tek yönlü antenleri performansları karşılaştırılmıştır. Yönlü antenlerin algılayıcı ağların sistem güvenliğini arttırdığı doğrulanmıştır.

Bilgi sızıntısına karşı Kao ve Marculescu [11] güvenli yönlendirme yaklaşımı uygulamışlardır. Bu çalışmada öncelikle w adet düşman düğümün bulunduğu ortamda maksimum bilgi sızıntısı ihtimali olan düğüm w . dereceden kulak misafirliği olarak tanımlanmıştır. Daha sonra çoklu erişim etkisinden kurtulmak için El Gamal'a ait eşit dağılımlı düğümler kullanılarak 1. derece kulakmisafirliği için iletim yarıçapına bağlı genel bir formülasyon elde edilmiştir [12]. El Gamal'ın örneği genelleştirilerek güç iletim kontrolü ile iletim menzilinün düğürülmesinin kulak misafirliğini düşürdüğü gözlenmiştir.

[13] akıllı karıştırıcı sadece iletim sırasında ortamı karıştırmayıp, aynı zamanda kulakmisafiri düğümün dinlemesinide karıştırdığını göz önünde bulundurarak bir iletim modeli oluşturmuştur. Güç iletim ayarlamasını Steckelberg oyun teorisi şeklinde modellemiştir. Tasarlanan kontrol geribesleme mekanizması ve stokastik algoritma ile optimal güç iletim şeması oluşturulmuştur.

[14]'de dallara ayrılma algoritmaları ile kaynağın esas konumu gizlenmeye çalışılmıştır. Bu şekilde kötü niyetli düğümlerin geriye doğru bilgi sızıntısı yapması engellenir. Bu algoritma çalışmasında yaşam süresinin maksimizasyonu da göz önünde bulundurulmuştur. Alınan sonuçlar dallanmanın hem kaynak lokasyonunun takibini zorlaştırdığını hem de yaşam süresini geliştirdiğini göstermektedir.

[15]'de gizli dinlemeye karşı optimal yönlendirme stratejisi geliştirilmiştir. Ara linklerdeki bilgi sızıntısı ne kadar az olursa olsun, bilginin düğümler arasında paylaşılması farklı yerlerden aynı bilginin dinlenebilmesine ortam hazırlamaktadır. Kümülatif gizli dinleme parametresi tanımlanmıştır. Bu parametrenin gizli dinlemedeki sinyal gürültü oranı (SGO) değeriyle ilişkisi belirlenmiştir. Daha sonra *çarpraz katman* (İng. *cross-layer*) yaklaşımı ile kümülatif gizli dinleme olasılığındaki değişim analiz edilmiştir. Çalışmada dinamik programlamalı psüdo polinomik algortimayı da??t?lm?? yönlendirme algoritması? (İng. *distributed routing algorithm*) içerisine entegre etmiş ve kaynak ve hedef arasındaki yolu sinyal gürültü oranını sınırlayarak kümülatif SGO'yu minimize etmeye çalışmışlardır. Sunulan çözüm en kısa yol ve en güvenli yol algoritmalarına göre daha yüksek performansa sahiptir.

[16]'ncı çalışmada KAAlara karşı olan tehdit düğümleri ayırabilmek için güven yönetim algoritması sunulmuştur. Bütün algılayıcıları yöneten yönetim merkezi, ağ düğümlerinin hareketine göre güvenlik derecelendirmesi yapan küme lideri, ve normal algılayıcılar olarak üç parçadan oluşmaktadır. Lider düğümler dinamik olarak normal algılayıcıların güven seviyesini günceller. Belirlenen eşik değerinin altında kalan düğümler yönetim merkezine yayın yapılır. Bu algoritma *hash algoritması* ile desteklenmiştir. Normal düğümler arasındaki haberleşmeler için şifreleme protokolü kullanılmıştır. Kompütasyon ve enerji verimliliği tartışılabilir olmasına karşın, yönetim merkezinin düşman düğümleri tespit edebildiği gözlenmiştir.

Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak gizli dinleme tehdit olasılığının azaltılması ve güç verimliliğinin maksimize edilmesi eş zamanlı olarak incelenmiştir.



2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR

Kablosuz algılayıcı ağlar, nesnelerin interneti kavramının temel parçalarındandır. Algılayıcı ağlar çok sayıda algılayıcı düğüm ve en az bir adet ağ geçidi görevi gören baz istasyonundan (sink) oluşur. Kablosuz algılayıcı ağları, bir alanda ad-hoc ya da önceden planlanmış şekilde oluşturulabilir. Ad-hoc tarzı yerleşimde algılayıcı düğümler bölgeye rastlantısal şekilde yerleştirilir. Çevresel koşulların zorladığı, insan erişiminin güç olduğu durumlar için ad-hoc tipi ağların kullanılması daha uygundur. Önceden planlanmış ağlarda ise ağ içinde bulunan algılayıcı düğümlerin yerleşimleri daha önceden belirlenmiştir. Bu tür ağlarda düğüm sayısının optimizasyon nedeniyle daha az olacağı öngörülmektedir. Bu tür ağ tasarımlara ait uygulamaları özellikle ev içi gibi kapalı alanlarda gözlemekteyiz. Kablosuz ağda algılayıcı düğümler buldukları alandan topladıkları verileri birbiri üzerinden ya da doğrudan baz istasyonuna iletirler. Algılayıcı düğümler sistem ihtiyacına göre sıcaklık nem hareket basınç gibi verileri ölçüp baz istasyonuna yönlendirir. Baz istasyonlarının ağ geçidi görevi görür, daha sonra veriler uydur internet vs aracılığı ile gözlemciye yönlendirilir [17].

KAA'larda algılayıcı düğümler iki görev gerçekleştirmektedir. Temelde veri kaynağı olarak çalışmaktadır. Ek olarak röle görevi görür, diğer birimlerden gelen verileri iletmede rol alır. Algılayıcı Ağında bir alana yerleştirilen düğümleri öncelikle durumlarını etrafa yayın yapar. bu sırada yayın yapan diğer düğümleri de dinleyerek tespit eder. Ardından algılayıcı düğümler belirli bir topolojiye göre organize olur. Son olarak, uygun rotalar hesaplanarak ağ yolu oluşturulur [17].

Çalışmamızda Mica mote2 algılayıcı düğüm yapısı kullanılacaktır. Mica mote 2 işlemci, güç birimi ve alıcı verici ve opsiyonel algılayıcı ünitesi ile küçük bir algılayıcı düğümdür. İşlemci 128 KB komut hafızası, 4 KB RAM ve 512 KB flaş hafıza ile 4 MHz 8-bit Atmel ATMEGA103 CPU den oluşmaktadır. Alıcı-verici 916 MHz frekans ile düşük güç tüketimine sahiptir. Farklı algılayıcı tipleri seçmek mümkündür [18].

2.1 Kablosuz Algılayıcı Ağların Tarihçesi

Birçok gelişmiş teknolojiye olduğu gibi KAA'ların kökeni de ağır endüstriyel uygulamalar ve askeri kullanıma dayanmaktadır. Modern kablosuz algılayıcı ağların ilk örnekleri 1950'li yıllarda Sovyet denizaltılarını belirleyebilmek için Amerika Birleşik Devletleri ordusu tarafından tasarlanan ses tarama sistemlerinde görülmektedir. Bu algılayıcı düğümleri günümüzde daha barışçıl görevlerde olmak üzere halen işler durumdadır [19].

1960-1970'li yıllarda yapılan yatırımlarla birlikte DARPA (United States Defense Advanced Research Projects Agency) tarafından bugünkü internet donanımının altyapısını oluşturan Distributed Sensor Network (DSN) projesi başlatılmış ve dağıtılmış ve kablosuz algılayıcı ağların implementasyonu araştırılmıştır. Günümüzde ise sadece askeri

ve ağır endüstriyel uygulamalarda değil sağlık, işlem, güvenlik ve araç kontrolü gibi sivil alanlarda da yaygın olarak görülmektedir [20].

1980'lerde DARPA araştırmasından elde edilen bulgular ile KAA konsepti askeri alanda popüler olmaya başlamıştır. KAA'lar askeri amaçlar için de kullanılmaya başlanmıştır. Askeri alanda kullanımın artması KAA araştırmalarına yapılan yatırımın artmasına neden olmuş ve bu sayede 90'lı yıllarda KAA teknolojisi için yapılan araştırmalar önemli biçimde hızlandırılmıştır.

2000'lere geldiğimizde özellikle haberleşme teknolojilerinde meydana gelen büyük gelişmeler neticesinde KAA teknolojisi boyut değiştirmiş, askeri ve sivil alanlarda kullanımı hızla artmıştır. Şirketler KAA teknolojisini standartlaştırarak ticari uygulamalar gerçekleştirebilmek için önemli atılımlarda bulunmuştur. 1960-1980 yılları arası kullanılan protokoller yerini IEEE 802.15.4 radyo standardını kullanan protokollere bırakmıştır [21].

2.2 Algılayıcı Düğümlerin Donanımsal Yapısı

Aşağıda algılayıcı düğüm içerisinde bulunması gereken temel bileşenler verilmiştir [22]:

Algılayıcı (İng. Sensors): Algılayıcılar, sıcaklık, basınç, voltaj, akım, gibi fiziksel değişimlere ölçülebilir nitelikte cevap üreten donanımlardır. Algılayıcı tarafından üretilen analog sinyaller daha sonra sayısal çevirici (Analog to Digital Converter) ile sayısallaştırılır. Daha sonra dijital veri işlemciye iletilir.

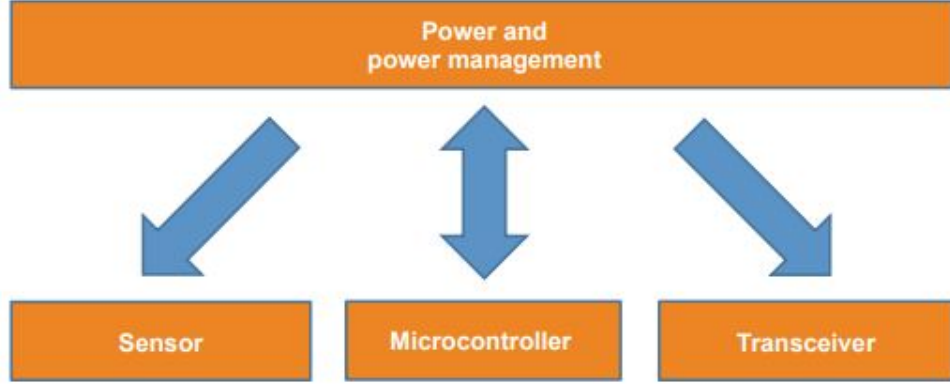
İşlemci birimi (İng. Microcontrollers): genellikle küçük bir depolama birimi ile birlikte bulunmaktadır. İşlemci veri işleme ve algılayıcı düğüm içerisindeki diğer birimlerin kontrolünde görevlidir.

Alıcı-verici birimi (İng. Transceivers): Bir alıcı verici birimi düğümü ağa bağlayan birimdir. Alıcı-vericiler genelde dört modda çalışmaktadırlar. Bunlar:

1. Gönderme
2. Alma
3. Boşta
4. Uyku

modlarıdır.

Güç Kaynağı (İng. Power Unit): Algılayıcı ağlarda güç tüketimi algılama, veri işleme ve haberleşme için kullanılan olarak üçe ayrılır. Algılama ve veri işleme işlemlerine göre haberleşme için çok daha fazla enerjiye ihtiyaç vardır.



Şekil 2.1: Bir algılayıcı düğümdeki bileşenler.

KAA'ların bir çok alanda geniş kullanım alanına sahip oluşu, KAA'ya ait bir çok güçlü noktanın olduğunu göstermektedir. KAA'ların ağ uygulamalarında tercih edilmesinin temel nedenleri aşağıda açıklanmıştır [21].

Sağlamlık: Küçük boyutu ile sensörler farklı materyalden üretilen paketlere girebilmektedir. Bu sayede zorlu iklim koşulları gibi bozulmaya yol açabilen faktörlere karşı daha sağlamdırlar.

Geniş ve tehlikeli alanlara yerleştirilebilmesi: Kablosuz yapısı ile alt yapı gereksinimi olmaması, KAA'ların girmesi zor ve tehlikeli alanlarda kullanılmasını cazip kılmaktadır.

Kendini düzenleme (İng. Self-organization): Birbirlerine yayın yapması ve algılayıcı tespit etme özellikleri KAA'nın kendi kendini organize etmesine olanak sağlamaktadır. Bu özelliği ile ağa salınan algılayıcıların dışarıdan bir kontrol gerektirmeden kendini organize edip, yapılacak iş için kısa zaman içerisinde adaptasyon sağlamaktadır.

Düğüm hatalarının üstesinden gelebilme: KAA'ların yerleştirildiği alana ait sert koşullar nedeniyle algılayıcılar arasındaki haberleşmede problemler gözlemlenebilir. Ek olarak bu tür sıkıntılı durumlar düğümlerin işlevsiz hale gelmesine neden olabilmektedir. Bu tür durumlarla karşılaşıldığında, KAA kullanılmayan ya da haberleşme yapılamayan düğümler yerine yeni rotalar belirleyerek, veri iletiminin devamlılığını sağlama yeteneğine sahiptir.

Düğümlerin taşınabilir yapısı: Bu konu geçmiş yıllarda araştırmacılar için oldukça popüler hale gelmiş bir çalışma alanıdır. Düğümlerin hareketli olabilmesi, KAA'ların hareket eden cisimlerin takibinde tercih edilmesini sağlar.

Dinamik ağ yapısı: KAA'larda dinamik ağ yapısı yeteneği gözlenmektedir. Dinamik ağ topolojisi yeteneği, topolojinin değişkenlik gösterebileceğini ve KAA'ların bu duruma kendilerini uyumlandırarak komşu algılayıcılarla iletişimi devam ettirebileceği anlamına gelmektedir.

Farklı algılayıcı çeşitlerinin kullanılabilirliği: KAA'larda ölçüm yapılan nitelik analog dan sayısal a dönüşür. Bu dönüşüm, farklı niteliklerin ölçümlerinin de uyumlandırılmasını sağlar. Bu sayede algılayıcı düğümler farklı nitelikleri ölçüp, ağ içerisinde paylaşabilirler.

2.3 Kablosuz Ağ Yapısı

Sensör düğümleri veri toplama ve yönlendirme özelliğine sahiptir. Baz istasyonu ve algılama düğümleri arasındaki protokol aşağıdaki gibidir. KAA'larda bu protokol kümesi enerji verimliliğini ve yönlendirmeyi bir araya getirmektedir. Protokol ile veri ağ içine entegre edilir, daha sonra kablosuz haberleşme ile güç kullanımı göz önünde bulundurularak haberleşme sağlanır. Protokol kümesi *uygulama, iletim, ağ, data link, fiziksel katmanları ve güç yönetim, hareketlilik yönetim, görev yönetim yüzeylerinden* oluşur. Katman ve yüzeylerin kullanım amaçları aşağıda sıralanmıştır[23].

Uygulama Katmanı (İng. Application Layer): Algılama görevine göre uygulama katmanında farklı uygulama yazılımları oluşturabilir.

İletim Katmanı (İng. Transport Layer):Algılayıcı ağ uygulaması ihtiyacı durumunda veri akışının devamlılığını sağlar.

Ağ Katmanı (İng. Network Layer): İletim Katmanının sağladığı verinin yönlendirilmesi ile ilgilenmektedir. Gürültüye neden olan bir çok çevresel etmenler ve algılayıcı düğümlerin mobil olabilmesi nedeniyle MAC (Media Access Control) protokolü güç tüketimi ve yayınların çakışmasını engellemek açısından farkındalığa sahip olmalıdır. MAC katmanı kanal ulaşım politikaları, hata kontrolü ve zamanlamada görevlidir.

Veri Link Katmanı (İng. Data Link Layer): Veri akışının çoklanmasında, veri çerçevesinin tespitinde, MAC, hata kontrolü ve iki nokta arasında ya da tek noktadan çok noktaya olan bağlantının güvenilirliğinden sorumludur.

Fiziksel Katman (İng. Physical Layer): Alma gönderme adreslemelerinden sorumludur.

Güç Yönetim Yüzeyi (İng. Power Management Layer): Ağdaki güç harcamalarını yönetmektedir.

Hareketlilik Yönetim Yüzeyi (İng. Mobility Management Layer): Algılayıcı hareketlerini kontrol eder. Algılayıcı hareketlerini takip eder ve konumuna göre gönderim gücünü günceller. Bu şekilde sensöre ait verinin her zaman gönderilecek hedefe iletilmesini sağlar.

Görev Yönetim Yüzeyi (İng. Task Management Layer): Algılama görevini belli bir takvime koyar ve bu şekilde algılama görevleri içerisinde dengeyi sağlar. Örneğin ağdaki tüm algılayıcıların aynı anda algılama görevi gerçekleştirmesi gerekmemektedir. Batarya enerjilerine göre bazı sensörler diğerlerinden daha çok algılama yapabilir. Bu

görevlerin düzenlenmesinden görev yönetim yüzeyi sorumludur. Yukarıda bahsi geçen üç yüzey de ağın enerji harcamasını azaltmaya yardımcı katmanlardır.





3. MATEMATİKSEL OPTİMİZASYON

Matematiksel optimizasyonun amacı bir problemde performansı en çok arttıracak, en verimli, en düşük maliyetli vs. gibi isterleri karşılayan en iyi çözümü bulabilmektedir. Optimizasyon teknikleri günümüzde endüstriyel planlama, karar alma, maliyet planlama gibi bir çok probleme çözüm üretmektedir. Bu problemlerin çoğunda sisteme ait başka kısıtlamalar bulunmaktadır. Örneğin bir araba fabrikasında üretimin en iyilemeye çalışılması sırasında, günlük üretilebilen motor miktarı üretimi kısıtlayan bir faktördür. Genellikle kısıtlamalı modeller ile en iyileme işlemi kısıtsız problemlere göre çok daha zordur. Optimal çözümün aynı zamanda belirtilen kısıtları da sağlaması gerekmektedir. Kısıtlamalı optimizasyonda en iyi çözüm, değişkenin en yüksek ya da en düşük olduğu değerler değil, bütün sınırlandırmaları sağlayan çözümler içerisinde en yüksek ya da en düşük değerdir. Kısıtlamalı eniyilemenin temel elemanları aşağıdaki gibidir:

Değişkenler: Değişkenler genelde değerlerini baştan bilmediğimiz etmenlerdir. Değişkenler genellikle kontrol edilmek istenen parametrelerdir.

Amaç fonksiyonu: En iyilemek istediğimiz değişkenin kontrol edilebilir diğer değişkenlerle ilişkisini gösterir denklem olarak tanımlanabilir. Amaç fonksiyonundaki kontrol edilebilir değişkenler ayarlanarak en iyilenmek istenen değişken maksimize ya da minimize edilir.

Kısıtlamalar: En iyilenmek istenen sistemde değişkenlerin aralığını belirleyen eşitsizliklerdir.

Değişken sınırları: Gerçek yaşam problemlerinde değişkenlerin ifade ettiği tanımlar sonsuz değildir. Bu nedenle modelde değişkenlerin sınırlandırılması gerekmektedir. Çalıştığımız konuda gizli dinlemenin minimum seviyede tutulması sağlanarak yaşam süresi en iyilenmeye çalışılmıştır. Eniyilenmek istenen parametreye göre Doğrusal Programlama, Tam Sayılı Programlama, İki Bileşenli Programlama, Karma Tamsayılı Programlama gibi temel optimizasyon teknikleri ile çözdürülebilir. Aşağıda matematiksel optimizasyon için kullanılan temel tekniklere değinilmiştir.

3.1 Doğrusal Programlama (DP)

Doğrusal Programlama (DP) kısıtlamalı optimizasyonda en çok kullanılan tekniklerden biridir. Doğrusal programlamada bahsedilen bütün eşitlikler doğrusaldır. Doğrusal modeller ile planlama olarak da tanımlanabilir. DP en basit tekniklerden biri olarak görünse de kullanımı çok yaygındır. Doğrusal Programlamalar, kısıtlı optimizasyonların en yaygın methoddur. Günümüzde çözdürülmek istenen en büyük optimizasyon problemleri, binlerce değişkenli ve kısıtlı doğrusal programlamalardır.

Bir DP modeli çözüldüğü zaman: *en iyi çözüm*, *olurlu çözüm*, *olurlu olmayan çözüm* ve *sınırlı olmayan problem* sonuçlarından birisi elde edilmektedir. Doğrusal programla sonucunda tüm kısıtlar sağlanıyorsa bu çözüm, *olurlu bölge* (İng. feasible region) içinde olup bulunan bu çözüme *olurlu çözüm* denilmektedir. DP modelinde olurlu çözüme bir değer karşılık gelebileceği gibi birden çok değer de olurlu çözümü sağlayabilir. Olurlu çözüm değerleri içerisinde amaç fonksiyonundaki isteri optimize eden (minimize ya da maksimize eden) çözüm *en iyi çözüm* olarak ifade edilmektedir. Eğer DP modeline ait olurlu çözümler içerisinde amaç fonksiyonunu sonsuza götüren bir değer var ise bu tür problemler *kısıtlamalı olmayan* problemlerdir diyebiliriz. DP modelinin çözümünde her zaman bütün kısıtlar sağlanamayabilir. Bu tür durumlarda elde edilen çözümler *olurlu olmayan çözümler* olarak adlandırılmaktadır.

DP modellerinin çözümünde simpleks yöntemi [24] ve grafik yöntemi [25] sıklıkla kullanılmaktadır. Doğrusal programlarda değişkenlerin alabileceği değerlerde tam sayı gibi bir kısıt yoktur. Ondalıklı değerler alabilirler. Fakat çözdürülecek problemlerde maksimize edilmek istenen değişken insan gibi tam sayı değeri almak zorunda ise doğrusal programla yerine tam sayılı programlama kullanılmalıdır.

$$\text{Maksimum } z = 3x_1 + 10x_2$$

$$8x_1 + x_2 \leq 40$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Şekil 3.1: DP modeli.

3.2 İki Bileşenli Programlama (IBP)

DP modellerinde karar değişkenlerinin *evet* veya *hayır* şeklinde atanması gerekmektedir. Örneğin, bir elemanın Cumartesi ya da Pazar günlerinden hangisinde çalışacağı, bir hastanenin polikliniğindeki yatak sayısının artırılıp arttırılmayacağı kararlarına *evet* veya *hayır* değerleri verilmektedir. Matematiksel olarak 0 ve 1 *evet* veya *hayır* değerlerine karşılık gelmektedir. Bu tip değişkenler ikili değişkenler olarak ifade edilmektedir. Karar değişkenlerinden bir kaçının ikili değişken diğerlerinin sürekli değerler alması gerektiği durumlarda DP modeli *ikili karma tamsayılı doğrusal programlama* modeline dönüşmektedir.

3.3 Tamsayılı Programlama (TP)

Birçok optimizasyon problemi modellemesinde değişkenlerinin tamsayı değerler alması beklenmektedir. Örneğin, bir hastanede maksimum yatak sayısı, bir üretim alanında çalışan personel sayısı gibi problemlerde değişkenlerin tam sayı olması gerekmektedir. Doğrusal Programlama modelinde bütün değişkenlerin tamsayı değer alması beklendiği durumlarda DP modeli tam sayılı doğrusal programlama modeline dönüşmektedir. Değişkenlerin bir kaçının tamsayı olarak atanması gerektiği problemlerde ise karma tam sayılı doğrusal programlama ile modelleme yapılmaktadır. Karma tam

sayılı doğrusal programlama ile değişkenlerin bazılarının ikili değişken birkaçının da tam sayı olduğu problemler de modellenenmektedir.

$$\text{Maksimum } z = 3x_1 + 10x_2$$

$$8x_1 + x_2 \leq 40$$

$$x_1, x_2 \geq 0 \text{ ve tamsayı}$$

Şekil 3.2: TP modeli.

3.3.1 Tamsayılı programlama çözüm yöntemleri

TP modelleri için kullanılan teknikler *genel* ve *özel* amaçlı olarak ikiye ayrılır. *Genel amaçlı* yöntemler tüm TP problemlerini çözebilecek şekilde tasarlanmış algoritmalarlardır. *Özel amaçlı* yöntemler tek bir modele yönelik oluşturulan algoritmalarlardır. TP modellerinin çözümü için *genel amaçlı* kullanılan çözüm yöntemleri:

- dal sınır (İng. branch and bound),
- kesen yüzeyler (İng. cutting planes) algoritmaları,
- dal sınır ve kesen yüzeyler algoritmalarının birleştiği yöntemler

olmak üzere üçe ayrılmaktadır, Aşağıda adı geçen algoritmaların genel açıklamaları verilmiştir [26].

Dal sınır: Bu yöntemde problem DP kabul edilerek çözüm aranır (İng. LP relaxation). Elde edilen çözümde değişkenlere atanan değerler tam sayı ise istenen TP çözümü bulunmuş olur. Ancak sonuç tamsayı değilse bu durumda dal-sınır ağacı ile devam edilir. Tamsayı değeri almayan değişkenlerden birtanesi seçilir. Bu değişkenin arasında olduğu ardışık iki tam sayı değerine göre çözüm iki dala ayrılır. Bu iki ardışık tam sayı DP için üst ve alt sınır olarak tanımlanır ($x \leq k$ ve $x \geq k + 1$). Dalkanma tüm değişkenler tamsayı koşulunu sağlayana kadar devam ettirilir.

Kesen yüzeyler: Diğer bir *genel amaçlı* yaklaşım kesen düzlem algoritmasıdır. Bu algortmada da KTDP problemi bir DP gibi kabul edilerek çözümlene yapılır. Bu metotta, tam sayı olmayan çözüme ait özel kısıtlar (kesme) oluşturularak çözüm uzayı düzenlenir. Eklenen kesmeler, çözüme uygun olan tamsayı noktalarının yok etmez. Kesmeler en az bir tane tamsayı noktasından geçmelidir.

Dal sınır ve Kesen yüzeyler: Literatürde dal sınır ve kesen yüzeyler yöntemlerinin birleştirilerek zor problemlerin çözülmesini hedefleyen çalışmalar giderek artmaktadır. Dal sınır uygulandıktan sonra kısıtlama değeri daha sıkı olan dala kısıt eklenerek optimal sonuç elde edilir.



Çizelge 4.1: Mica2 düğüm platformu için güç seviyesi (N_l), iletim güç tüketimi ($E_{tx}(l) - \text{nJ/bit}$) ve iletim menzili ($R_{max}(l) - \text{m}$) tablosu [28]. Veri alımı için güç tüketimi sabittir. ($E_{rx} = 922 \text{ nJ/bit}$).

| l | $E_{tx}(l)$ | $R_{max}(l)$ | l | $E_{tx}(l)$ | $R_{max}(l)$ |
|-----------------|-------------|--------------|------------------|-------------|--------------|
| 1 (l_{min}) | 671.88 | 19.3 | 14 | 843.75 | 41.19 |
| 2 | 687.50 | 20.46 | 15 | 867.19 | 43.67 |
| 3 | 703.13 | 21.69 | 16 | 1078.13 | 46.29 |
| 4 | 705.73 | 22.69 | 17 | 1132.81 | 49.07 |
| 5 | 710.94 | 24.38 | 18 | 1135.42 | 52.01 |
| 6 | 723.96 | 25.84 | 19 | 1179.69 | 55.13 |
| 7 | 726.56 | 27.39 | 20 | 1234.38 | 58.44 |
| 8 | 742.19 | 29.03 | 21 | 1312.50 | 61.95 |
| 9 | 757.81 | 30.78 | 22 | 1343.75 | 65.67 |
| 10 | 773.44 | 32.62 | 23 | 1445.31 | 69.61 |
| 11 | 789.06 | 34.58 | 24 | 1500.01 | 73.79 |
| 12 | 812.50 | 36.66 | 25 | 1664.06 | 78.22 |
| 13 | 828.13 | 38.86 | 26 (l_{max}) | 1984.38 | 82.92 |

4.2 Algılayıcı Düğüm Modeli ve Enerji Seviyesi

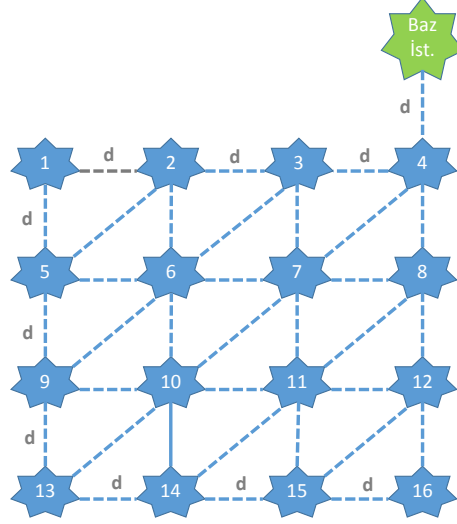
Bu tez çalışmasında veri link katmanı modeli kurulurken Mica2 algılayıcı düğümlerinin enerji tüketim karakteristiklerinden faydalanılmıştır. Mica2 düğümlerine ait alıcı-verici güç tüketimleri ve karşılık gelen menzili bilgileri Çizelge 4.1’de sunulmaktadır. Kullanılan güç seviyesinin verildiği aralığın üzerinde bulunan düğümlere veri gönderilemez. Alma güç seviyesi her düğüm ve uzaklık için sabittir. Her bir bitin l güç seviyesinde ki harcaması gereken enerji miktarı $E_{tx}(l)$ ise gösterilmiştir. Her düğümün veri alması için kullanması gereken enerji değeri E_{rx} ile ifade edilmektedir. ($E_{rx} = 922 \text{ nJ/bit}$).

4.3 Ağ Topolojisi

Bu bölümde GAMS işle oluşturulan modelin çözdürüldüğü ağ örnekleri verilmiştir. Ağ ömrü ve gizli dinlemenin eniyilemesini amaçlayan iletim güç atama problemlerini birlikte değerlendiren KTDP modellemelerinin uygulandığı ağ topolojileri sunulmuştur.

4.3.1 Kare Şeklinde Yerleştirilmiş Ağ Topolojisi

Bu bölümde değinilen ağ topolojilerinden kare topoloji (Manhattan topolojisi) [29] için model doğrulaması yapılmıştır. Dinleme ve yaşam süresi arasındaki etkileşim incelenmemiştir. 16 düğüm için olabilecek minimum dinlenme karşılaştırılmıştır. Düğüm sayısı artışı ve topoloji kompleksleştikçe modeli çözdürmek güçleşmektedir. Bu nedenle basit topoloji örnekleri ve çeşitli senaryolar ile modelin doğrulamasını gerçekleştirmek büyük önem taşımaktadır.



Şekil 4.2: Kare ağ topolojisi.

Kare şeklinde bir alan içerisine birbirilerine yatay ya da dikey d birim uzaklıkta yerleştirilen 16 adet algılayıcı düğüm ve en köşedeki düğüme d birim uzakta konumlandırılmış baz istasyonundan oluşmaktadır. Bu ağ topolojisi kulak misafiri düğüm sayısını en iyileyecek modelin doğrulanmasında kullanılmıştır. Ağ topolojisi $d=1$ m, $d=82$ m için denenmiştir. Aşağıda kare topolojiye ait şekil gösterilmiştir. $d=1$ m durumu için ağdaki herhangi bir düğüm en düşük enerji seviyesinde yayın yaptığında bile diğer 15 düğüm yayın menziline içinde kalır. Bu nedenle her bir düğüm için gizli dinleme yapan düğüm sayısı 15 olarak hesaplanmıştır. 16 düğüm için toplam gizli dinleme yapan düğüm sayısı 240 olarak belirlenmiştir.

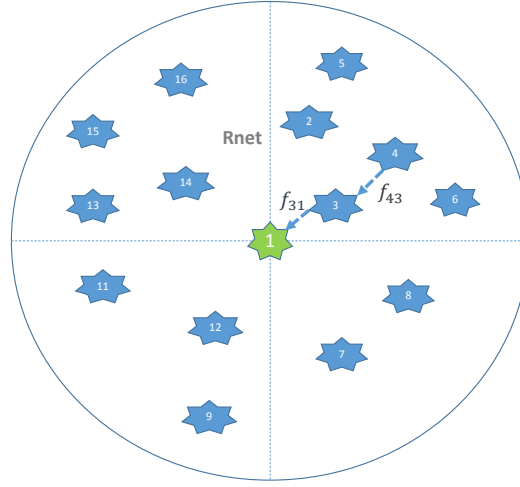
$d=82$ m için ağdaki her bir kaynak 26. enerji seviyesinde yayın yaptığında, düğümün d birim uzağındaki düğümler dışında diğer algılayıcılar dinleme yapamaz. Buna göre her bir düğüm için veri baz istasyonuna iletimi için minimum dinleme miktarını veren rotalar seçilmiş, oluşan toplam minimum gizli dinleme miktarı hesaplanmıştır. Bu değerler ile modelin doğrulaması sağlanmıştır.

4.3.2 Disk Şeklinde Yerleştirilmiş Ağ Topolojisi

Bu çalışmada ağ topolojisi olarak R_{net} yarı çaplı bir disk içerisine rastgele yerleştirilmiş $|W|$ adet düğüm ve diskin merkezinde konumlandırılmış baz istasyonundan oluşmaktadır. Önceki bölümde de bahsedildiği gibi veri düğümler üzerinden tek atlamalı ya da çok atlamalı olacak şekilde baz istasyonuna ulaştırılmaktadır.

Analizlerimiz R_{net} yarıçap uzunluğunun 60 m, 100 m, 140 m değerleri ve $|W|$ düğüm sayısının 10, 15, 20 olduğu kombinasyonları üstünde gerçekleştirilmiştir. Ağ topolojileri MATLAB programı ile oluşturulmuştur.

Çalışmada düğümlerin rastlantısal olarak ağ topolojisine yerleştirilmesi MATLAB ile gerçekleştirilmiştir. MATLAB programında *rand* fonksiyonu kullanılarak $[0,1]$ arasında



Şekil 4.3: Disk ağ topolojisi

rastlantısal bir değer seçtirilmiş ve bu değer konumlandırılacak düğümün orijine göre yaptığı açının sinüs değerini ifade etmektedir. Aynı şekilde Random fonksiyonu ile başka bir $[0,1]$ arasında rastlantısal değer elde edilmiştir. Bu değer yarıçapa (R_{net}) göre normalize edilmiş düğüm uzaklığını vermektedir. Aynı işlem $|W|$ düğüm sayısı kadar tekrarlanarak ağ topolojisi elde edilmiştir. Şekil 4.3 disk topolojisi örneğini göstermektedir.

5. PROBLEM MODELİ

Çalışmanın bu bölümünde; gizli dinleme eniyileme modeli (bkz. Bölüm 5.1), yaşam süresi eniyileme (bkz. Bölüm 5.2) KTDP modellerinden bahsedilmiştir.

5.1 Gizli Dinleme Eniyileme KTDP Modeli

Tez çalışmasının odaklandığı konu gizli dinleme miktarının minimize edilmesi ve kulak misafiri sayısını en iyilemesinin yaşam süresine olan etkilerinin incelenmesi olarak tanımlayabiliriz. Çalışma sırasında öncelikli amacımız gizli dinlemenin minimize edilmesidir. Daha sonra minimum gizli dinlemenin yaşam süresine olan etkisi incelenecektir. Bu nedenle ardışık iki durum için sistem modeli iki ayrı parçaya ayrılmıştır. İlk modelde minimum kulak misafiri sayısı çözdürülürken, ikinci modelde ilk modelde elde edilen çözüm parametre olarak kullanılmıştır. Denklemlerde ilk kısımda elde edilen parametre, gizli dinleme üst değeri olarak belirlenmiş, bu durum için bağlı maksimum yaşam süresi çözdürülmesi amaçlanmıştır.

Her iki topolojide de Mica2 algılayıcı düğüm platformuna ait güç seviyeleri ve menzil değerlerine yer verilmiştir. Mica2 platformuna ait 26 ayrı güç seviye ve menzil değerleri daha önce Çizelge 4.1 de sunulmuştur. Modeller GAMS aracı ile programlanmış CPLEX ile çözdürülmüştür.

Ağ topolojisi yönlü bir grafik olan $G = (V, A)$ şeklinde tanımlanmıştır. V sembolü ağdaki tüm düğümler kümesini temsil etmektedir. Ayrıca $W = V \setminus \{1\}$ simgesi ise algılayıcı düğümleri içeren küme olarak ifade edilmiştir. $A = \{(i, j) : i \in W, j \in V - i\}$ kümesi ağdaki tüm linkleri temsil etmektedir[30].

Ağ topolojisi MATLAB ile oluşturulmuş parametreler '.gdx' dosyalarına dönüştürülerek GAMS e parametre olarak verilmiştir. Ağ topolojisinde, düğümlerin konumları dışında MATLAB ile oluşturulan parametrelerden biri, herhangi iki düğüm i ve j arasında minimum hangi MICA2 enerji seviyesi ile veri iletiminin desteklendiğini gösteren vektör γ_{ij} sembolüdür. MATLAB ile oluşturulup modele gönderilen diğer bir parametre de z_{ij} parametresidir. z_{ij} sembolü i düğümünden l seviyesinde gönderilen verinin j düğümü tarafından duyulup duyulmayacağını gösteren vektör kümesidir. Diğer bir deyişle j düğümünün i düğümüne göre l seviyesinin desteklediği menzil içerisinde olup olmadığı kararını belirten vektördür. Bu veriler, topoloji atama sırasında hesaplanabilmesi ve daha hızlı olması nedeniyle MATLAB ile oluşturulmuştur.

Üzerinde çalıştığımız KAA da k düğümünde üretilip i düğüm üzerinden j hedefine iletilen veri miktarı f_{ij}^k sembolü ile ifade edilmiştir. Gizli dinleme en iyileme modelinde her bir düğümün kaynak olarak baz istasyonuna doğru 1 birim veri ürettiği kabul edilmektedir. Bu sebeple f_{ij}^k in alabileceği değer 1 ya da 0 olarak değerlendirilmiştir. Bu kabule ait formülasyon 5.1 numaralı eşitlikte verilmiştir.

$$\sum_{\substack{j \in V \\ i \neq j}} f_{ij}^k - \sum_{\substack{j \in W \\ i \neq j}} f_{ji}^k = \begin{cases} 1 & \text{if } i = k \\ -1 & \text{if } i = 0 \\ 0 & \text{o.w.} \end{cases} \quad \forall i \in V, \forall k \in W \quad (5.1)$$

Topolojide bir veri kaynağından üretilen veri başka düğümler üzerinden tekrar kaynağına geri dönemez. Bu yöntemle olası döngülerin önüne geçilmektedir. Bu kısıt 5.2 numaralı denklem ile belirtilmiştir.

$$\sum_{j \in W} f_{jk}^k = 0 \quad \forall k \in W \quad (5.2)$$

k düğümü kaynaklı i algılayıcı düğümü üzerinden l enerji seviyesi ile gönderilmek istenen veri toplam miktarına ait ifade 5.3'de verilmektedir.

$$\sum_{j \in V} f_{ij}^k \gamma_{ij}^l = w_{il}^k \quad \forall i \in W \forall k \in W \quad (5.3)$$

Tamsayı değerli değişkenleri ikilik değişkene çevirmek için *Büyük M (Big-M)* methodu kullanılmaktadır [25]. Bu yöntem ile w_{il}^k değerinden k algılayıcısı tarafından oluşturulan verinin i düğümünün üzerinden l enerji seviyesi ile gönderilip gönderilmediği kararına karşılık gelen h_{il}^k ikilik değişkeni elde edilmiştir. h_{il}^k ikilik sistemde değer almaktadır. İletim durumunda 1, iletim olmadığı durumda 0 değerini almaktadır. Denklem 5.4 ve 5.5 numaralı denklemler ikilik sisteme çevirmek için kullanılmıştır. Modelde M_1 değeri her zaman w_{il}^k değerinden büyük olacak şekilde seçilmesi gerekmektedir. w_{il}^k değeri en fazla düğüm sayısı kadar olabileceği için M_1 en fazla düğüm sayısından fazla olan 25 seçilmiştir.

$$w_{il}^k \leq M_1 \times h_{il}^k \quad \forall (i, k) \in W, \forall l \in N_l \quad (5.4)$$

$$w_{il}^k \geq h_{il}^k \quad \forall (i, k) \in W, \forall l \in N_l \quad (5.5)$$

k algılayıcısından yayınlanan verilerin kaçının j düğümü tarafından duyulduğunu gösteren parametre g_{kj} 'yi veren Denklem 5.6'da sunulmuştur.

$$\sum_{i \in W} \sum_{l \in N_l} h_{il}^k \times z_{ij}^l = g_{kj} \quad (5.6)$$

k düğümünden iletilip j tarafından duyulan veri miktarı j düğümünün gizli dinleyici olup olmadığına belirlenmesinde kullanılmaktadır. Gizli dinlenen veri miktarı yerine gizli dinlemenin olup olmadığı belirlenmesi gerekir. Bu nedenle M_2 büyük sayısı kullanılarak, j düğümünün gizli dinleyici olup olmadığını gösteren a_{kj} değişkeni elde edilir. a_{kj} 'yi veren eşitsizlikler 5.7 ve 5.8 aşağıda verilmiştir.

$$g_{kj} \leq M_2 \times a_{kj} \forall (k) \in W, \forall j \in V \quad (5.7)$$

$$g_{kj} \geq a_{kj} \forall (k) \in W, \forall j \in V \quad (5.8)$$

M_2 değeri her zaman g_{kj} değerinden büyük seçilmek durumundadır. g_{kj} değeri düğüm sayısının karesi ile sınırlanmıştır. Analizlerimizde en fazla 20 düğümlü topoloji incelendiği için, modelde M_2 değerini 600 olarak belirlenmiştir.

a_{kj} bütün j değerleri için toplanarak b_k değeri elde edilir. b_k , k kaynak düğümü için gizli dinleyen sayısını ifade etmektedir. 5.10 a_{kj} 'yi veren ifadedir.

$$\sum_{j \in V} a_{kj} = b_k \forall k \in W \quad (5.9)$$

Tüm algılayıcı ağındaki gizli dinleme miktarı b_k değerlerinin toplamı ile bulunmaktadır. c_{min} parametresini veren denklem aynı zamanda modelin amaç fonksiyonudur.

$$\sum_{k \in W} b_k = c \quad (5.10)$$

$$f_{ij}^k \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A, \forall k \in W \quad (5.11)$$

5.2 Yaşam Süresi Eniyileme KTDP Modeli

Bu bölümde eniyileme uygulanan gizli dinleme miktarı parametre olarak ikinci modele verilmiştir. Kulak misafiri miktarının verilen parametre değerinin altında kalması kısıtı getirilerek; ağa ait yaşam süresi eniyilenmesi sağlanmaya çalışılmıştır. İkinci modelde de bir önceki modeldeki gibi birim zamanda her kaynağın bir birim paket veri ürettiği kabul edilmektedir. Yaşam süresi hesaplanacağı için t birim süre sonunda, ağa salınan veri paketinin t olduğu kabul edilir. Bu nedenle ilk modeldeki 5.1 numaradaki denklem aşağıdaki 5.12 denklemine dönüştürülmüştür.

$$\sum_{\substack{j \in V \\ i \neq j}} f_{ij}^k - \sum_{\substack{j \in W \\ i \neq j}} f_{ji}^k = \begin{cases} t & \text{if } i = k \\ -t & \text{if } i = 0 \\ 0 & \text{o.w.} \end{cases} \quad \text{for all } i \in V, \forall k \in W \quad (5.12)$$

5.7 ve 5.8'deki denklemlerdeki M_1 büyük sayısı da M_3 olarak güncellenmiştir. Çözüm sırasında yapılması gereken kompütasyon miktarını düşürebilmek için M_1 ve M_3 olarak iki farklı sabit kullanılmıştır. Yaşam süresi t boyunca üretilen, aktarılan veri miktarı t birim olduğu durumda w_{ii}^k değeri en fazla t kadar olmaktadır. M_3 sayısının her zaman w_{ii}^k değerinden büyük olacak şekilde seçilmesi gerekmektedir. Her bir algılayıcı düğümdeki batarya gücü göz önünde bulundurulduğunda, saatte 1 birim paket

veri iletimi yapan bir düğümün yaşam süresi 10^8 saatten az olduğu öngörülmüştür. Bu nedenle M_3 değeri 10^8 olarak belirlenmiştir.

Kulak misafiri düğüm eniyileme modelindeki diğer denklemler yaşam süresi en iyilemesi için de kullanılmaktadır. Bu denklemlere ek olarak üç farklı kısıt daha eklenmesi gerekmektedir. Yaşam süresi modeline:

- algılayıcı düğüm batarya gücü kısıtı,
- yaşam süresi boyunca alma-gönderme işlemlerinin toplam batarya gücünü geçmeyeceği
- gizli dinleme miktarının bir önceki modelde eniyilenenden küçük ya da eşit olması gerektiği.

için kısıtlar eklenmiştir.

5.13 ifadesi, her bir algılayıcı düğümün eşit ve sınırlı miktarda batarya gücüne sahip olduğunu göstermektedir. e_i modellemelerimizde 25kJ olarak alınmıştır. Bölüm 4.1 da geçen KAA yaşam süresi tanımına göre herhangi bir düğümün yaşam süresi boyunca yaptığı alma gönderme işlemlerinde harcadığı enerji miktarı batarya gücüne küçük ya da eşit olmalıdır. 5.14 denklemleri bu kısıtı ifade etmektedir. Kısıtta geçen L_P sembolü bir birim paket içerisinde bit sayısını göstermektedir. Modellere $L_P = 1024$ alınmıştır.

$$e_i = \xi \quad \forall i \in W \quad (5.13)$$

$$L_P \sum_{k \in W} \left(\sum_{j \in V} E_{tx,ij}^{opt} f_{ij}^k + E_{rx} \sum_{j \in W} f_{ji}^k \right) \leq e_i \quad (5.14)$$

$$\forall i \in W$$

KAA ömrünün kulak misafiri sayısına bağlı eniyilenmesi yapıldığı için gizli dinleme miktarı kısıtı da modele eklenmiştir. 5.15 gizli dinleme miktarını sınırlandıran ifadedir.

$$\sum_{k \in W} b_k \leq c_{min} \quad (5.15)$$

Bundan sonraki bölümde yapılan modellemeye ait analiz sonuçları tartışılacaktır.

6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Modeller GAMS ile oluşturulmuş olup CPLEX ile çözdürülmüştür. Şekil 6.1’de y eksenini gizli dinleme (c_{min}), x eksenini ise ağdaki düğüm sayısını (IW) ifade etmektedir. Grafikte en düşük disk yarıçap değeri ($R_{net} = 60m$) ve düğüm sayısını 15’den az olduğu durumlarda gizli dinlemenin en düşük olduğu görülmektedir. 15’den fazla olan değerler için $R_{net} = 100$ en düşük değeri almıştır.

15 düğüme kadar $R_{net} = 60$ m için alternatif rotalar kulak misafirliği miktarını minimize etmek için yeterlidir. Fakat $IW = 20$ değeri için, $R_{net} = 60m$ durumundaki düğüm yoğunluğu daha fazla düğümün gizli dinlemesine yol açmaktadır. Alternatif yol seçenekleri dinleme miktarını beklendiği kadar aşağı çekememektedir. $R_{net} = 100$ m ve $R_{net} = 140$ m’de yoğunluklar benzer olduğu için yaklaşık sonuçlar elde edilmiştir.

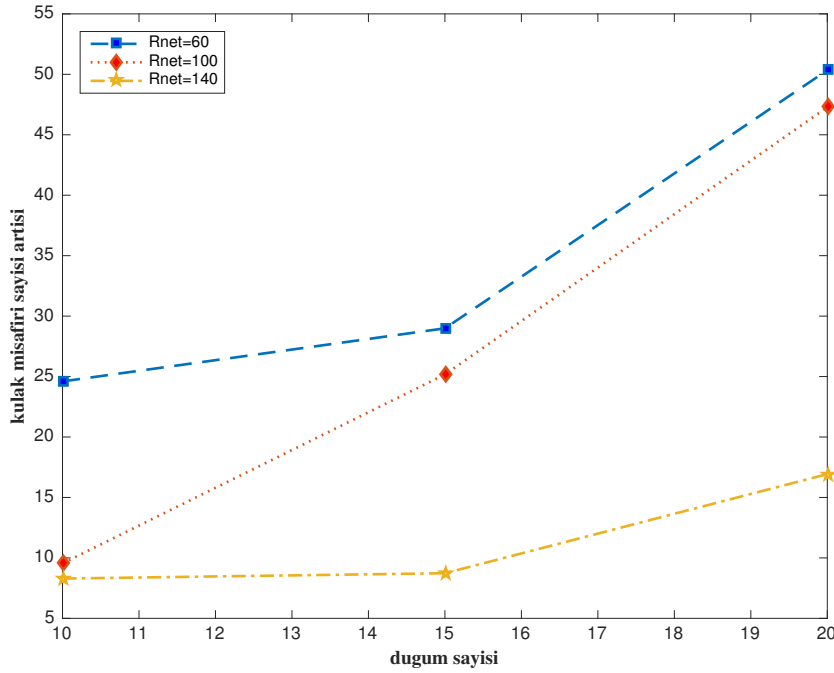
Şekil 6.2’de yaşam süresindeki azalma miktarı incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre algılayıcı ömründe en yüksek azalma $R_{net} = 60$ m olduğu durumda oluşmaktadır. Düğüm sayısı arttıkça düşüş oranı artmaktadır. t_{max} değeri minimum gizli dinleme kısıtlanması olmadığı durumda KAA’ya ait olan yaşam süresini belirtir. Yarıçap uzunluğunun en az olduğu durumda grafikteki en keskin düşüşleri görmemizin nedeni, gizli dinleme kısıtının da en düşük $R_{net} = 60$ m’de olmasıdır.

Şekil 6.3’de ise en yüksek yaşam süresi sağlandığında oluşan kulak misafiri sayısındaki artış gözlenmiştir. Gizli dinlemeye ait bir kısıt olmaksızın maksimum yaşam süresi elde edildiği durumdaki kulak misafiri düğüm sayısı c_{max} ile c_{min} arasındaki farkın c_{min} ’e göre normalizasyonu ağdaki toplam gizli dinleme sayısındaki artışı oranını vermektedir. KAA’daki kulak misafiri artışı en çok $R_{net} = 60$ m’de gözlenmektedir. Bunun nedeni c_{min} değerinin en düşük değerlere $R_{net} = 60$ m iken oluşmasıdır. $R_{net} = 100$ m için doğrusal bir artış durumu söz konusudur. Şekil 6.3’den tüm yarıçap değerleri için c_{min} ’de %24-%50 oranındaki bir artışın yaşam süresini maksimuma çıkardığını gözlemleyebilmekteyiz.

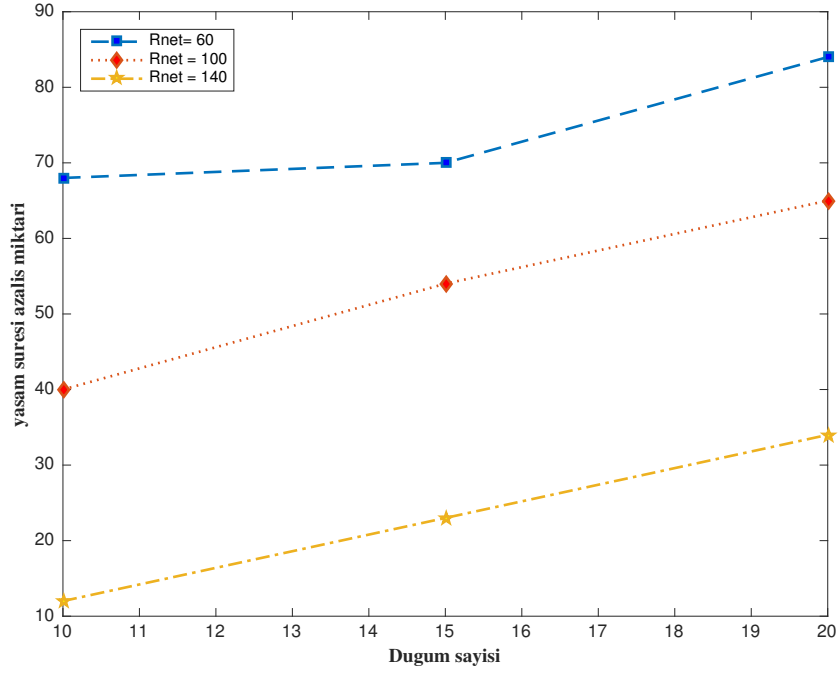
Şekil 6.4, 6.5 ,6.6’de üç farklı yarıçap değeri için KAA daki toplam gizli dinleme miktarındaki bağlı yaşam süresinde meydana gelen değişim incelenmiştir. Yaşam süresi düşüş miktarını, KAA nın kulak misafiri düğüm kısıtına bağlı ömrü t ile gizli dinlemeye ait bir kısıt olmaksızın maksimum elde edilen yaşam süresi t_{max} arasındaki farkın t_{max} değerine göre normalizasyonu olarak ifade edebiliriz. Her seferinde gizli dinleme kısıtı %5 gevşetilerek yaşam süresindeki düşüş analiz edilmiştir. Analizlerimiz üç farklı düğüm sayısı ($IW = 10$, $IW = 15$, $IW = 20$) için tekrarlanmıştır. Her bir durum 20 rastgele topoloji oluşturularak, elde edilen sonuçların ortalama ve standart sapma değerleri grafiklerde verilmiştir.

c_{min} kısıtında gevşetme olmadığı durumda 10 düğümlü ağ topolojisi için yaşam süresinde meydana gelen düşüş oranının %16-%67 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Yaşam süresindeki azalma en çok ağ yarıçapının en az olduğu durumda tespit edilmiştir. R_{net} değeri arttıkça bu düşüş %16'ya kadar gerilemektedir. $|W| = 15$ ve $|W| = 20$ durumları için ağ yaşam süresindeki azalmanın %23-%70 ve %34-%80 aralığında olduğu belirlenmiştir.

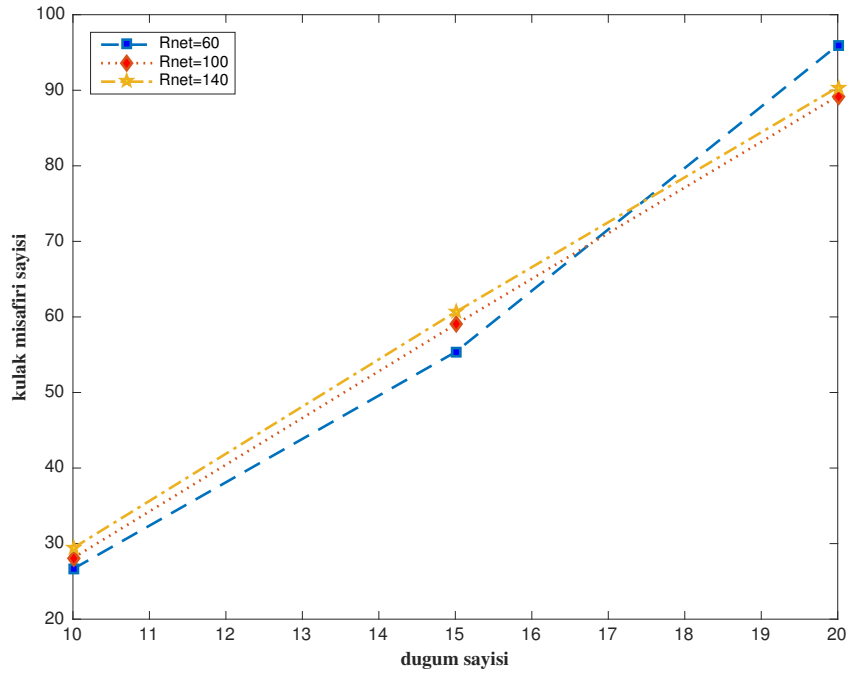
Gevşetme miktarı arttıkça ağ yaşam süresi düşüş miktarları da azalmaktadır. $R_{net} = 60$ m yarı çaplı durum için sistemin maksimum yaşam süresine ulaşması için %40 değerinde bir gevşetme oranına ihtiyaç duyulmaktadır. $R_{net} = 100$ m için düğüm sayısının 20 olduğu durum dışında gizli dinleme kısıtında %30 oranındaki gevşetme yaşam süresindeki azalmaya %6 değerlerine düşürmektedir. Düğüm sayısı 20 olduğu senaryo da göz önünde bulundurulduğunda gevşetme miktarının %40'a yakın olması beklenmektedir. $R_{net} = 140$ m değeri için yaşam süresindeki azalma daha çabuk dengelenebilmektedir. c_{min} değerindeki %15 lik bir artış tüm durumlar için elde edilen bağlı yaşam süresini maksimuma çekmektedir. Tüm sistem ve senaryolar göz önünde bulundurulduğunda minimum gizli dinleme miktarında %40 oranında bir artışla, ağ ömrü maksimum değerine ulaştırılabilmektedir.



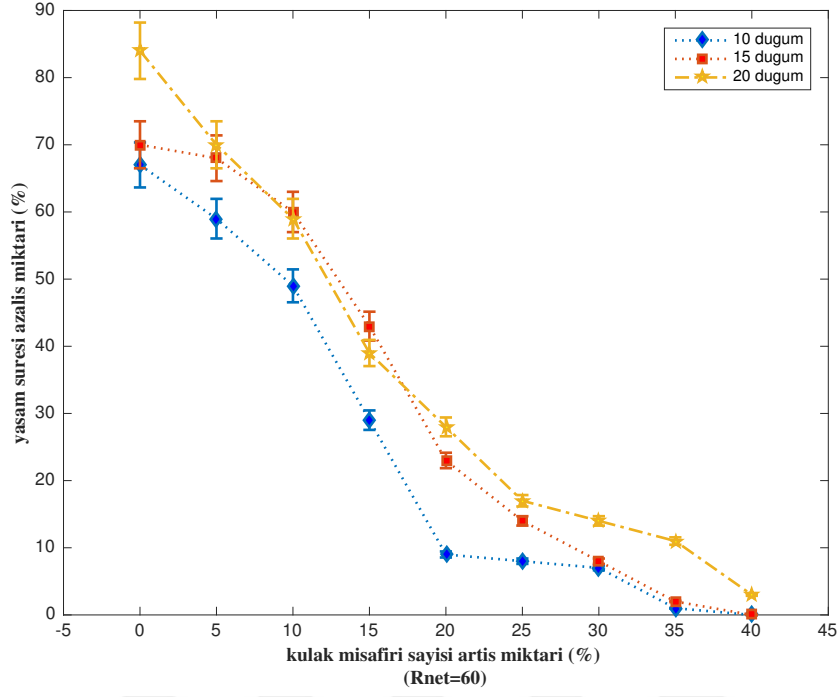
Şekil 6.1: Ağdaki düğüm sayısına bağlı olarak üç farklı R_{net} değeri için ağdaki toplam dinleme sayısı.



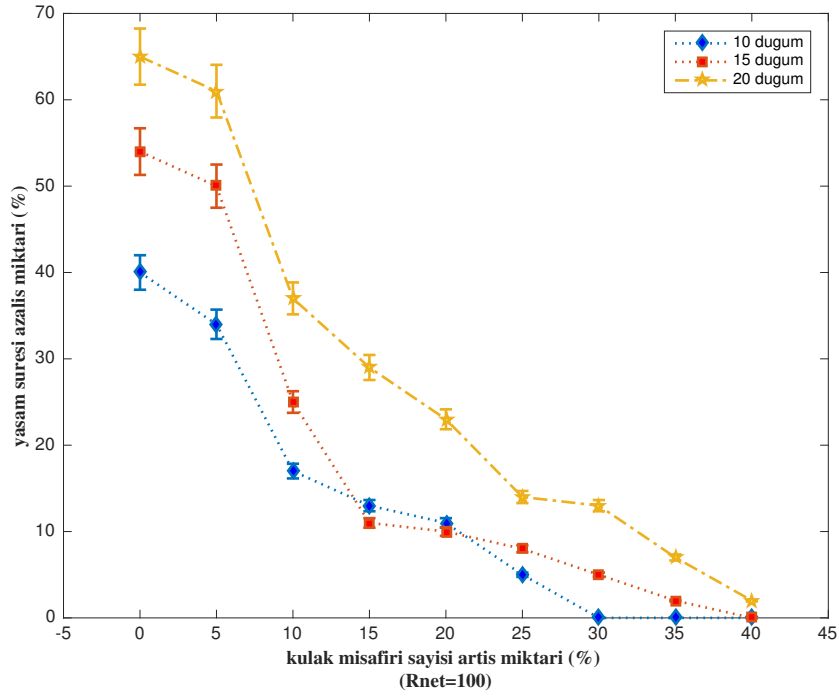
Şekil 6.2: Maksimum ağ yaşam süresinde meydana gelen yüzdesel düşüş.



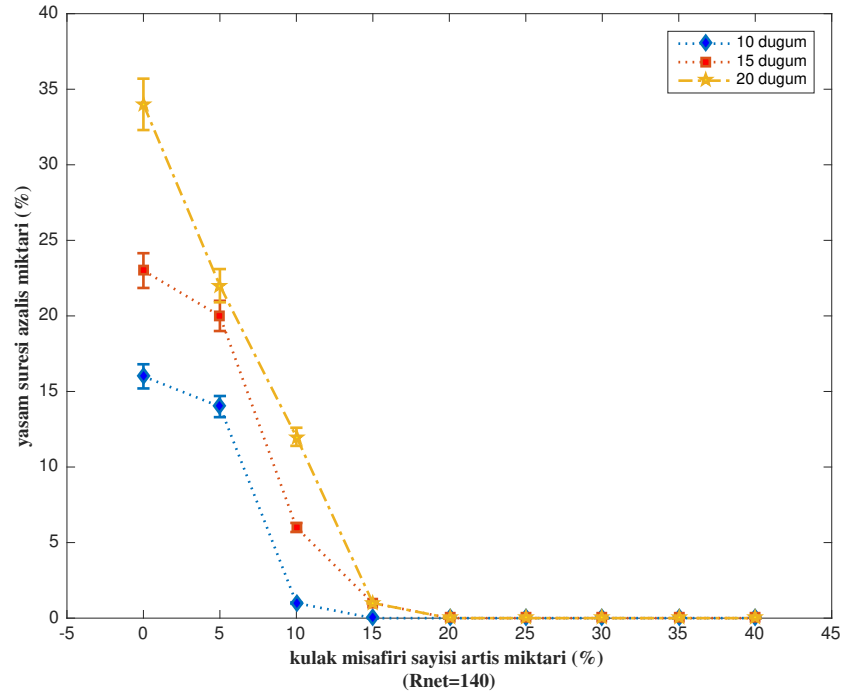
Şekil 6.3: Maksimum ağ yaşam süresine ulaşabilmek için ağdaki toplam gizli dinleme miktarındaki artış.



Şekil 6.4: Ağdaki toplam gizli dinleme sayısı artışına bağlı olarak üç farklı düğüm sayısı için maksimum ağ yaşam süresinde meydana gelen düşüş $R_{net}=60$ m.



Şekil 6.5: Ağdaki toplam gizli dinleme sayısı artışına bağlı olarak üç farklı düğüm sayısı için maksimum ağ yaşam süresinde meydana gelen düşüş $R_{net}=100$ m.



Şekil 6.6: Ağdaki toplam gizli dinleme sayısı artışına bağlı olarak üç farklı düğüm sayısı için maksimum ağ yaşam süresinde meydana gelen düşüş $R_{net}=140$ m.



7. SONUÇ

Bu çalışmada gizli dinleme miktarı ve yaşam süresinin birlikte gözetildiği bir model oluşturulmuştur. Gizli dinlemenin en iyislenmesinin KAA ömrü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Model yardımıyla gerçekleştirilen analizlerde kulak misafirliğinin sınırlandırılmasının ağ yaşam süresini önemli derecede etkilediği görülmüştür. Gizli dinleme seviyesindeki küçük azalmalar, yaşam süresinde büyük düşüslere yol açabilmektedir (%80'e varan düşüş görülmüştür).

Analizler sonucunda dinleyen kısıtındaki gevşetme ile yaşam süresinde artış arasında bir denge kurulmaya çalışılmıştır. Kulakmisafirliği kısıtındaki bir miktar artışın, kablosuz ağın maksimum yaşam süresine yakınsadığını göstermektedir (%40 oranındaki artış yaşam süresi düşüş miktarı %5'e kadar indirmektedir).



KAYNAKLAR

- [1] **Akyildiz I., Su W., Sankarasubramaniam Y., and Cayirci E.**, Wireless sensor networks: a survey, *Computer Networks*, vol. 38, no. 4., pp.393–422, 2002.
- [2] **Xiaomei Y., Ke M.**, Evolution of wireless sensor network security, *World Automation Congress (WAC) 2016*, pp. 1–5, 2016.
- [3] **Gambhir S., Parul**, OE-LEACH: An optimized energy efficient LEACH algorithm for WSNs", *Contemporary Computing (IC3) 2016 Ninth International Conference* ,pp. 1–6, 2016.
- [4] **Pantazis N. A., Nikolidakis S. A., and Vergados D. D.**, Energy-efficient routing protocols in wireless sensor networks: A survey, *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 15.,, pp. 551–591, Second 2013.
- [5] **Pang L. and Xue Z.**, A novel anti-jamming method in wireless sensor networks: Using artificial noise to actively interfere the intelligent jammer, In *Proc. Int. Conference on Systems and Informatics (ICSAI)*, 2017, pp. 954–959.
- [6] **Li X., Dai N., and Wang H.**, Friendly-Jamming: An Anti-Eavesdropping Scheme in Wireless Nets of Things, *IEEE Global Communications Conference (Globecom)*, Washington D.C., USA, 2016.
- [7] **Han Z., Marina N., Debbah M., and Hjørungnes A.** Physical layer security game: Interaction between source, eavesdropper, and friendly jammer, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2009, no. 1, p. 452907, 2010.
- [8] **Hu X., Huang K., Chen Y., and Jin L., Xu Y.**, Secure transmission scheme based on dual- thresholds for simultaneous wireless information and power transfer, *IBrowse Journals Magazines China Communications Vol.14 Iss.12* , page 25–44,December 2017
- [9] **Li X., Dai H. -N., and Zhao Q.**, An Analytical Model on Eavesdropping Attack-sin Wireless Networks, In *Proc. of the IEEE International Conference on Communication Systems (ICCS)*, Macau SAR, 2014
- [10] **Dai H. -N., Wang Q., Li D., and Wong W.**, On eavesdropping attacks in wireless sensor networks with directional antennas, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 2013, 2013.

- [11] **Kao J.-C., Marculescu R.,** Eavesdropping Minimization via Transmission Power Control in Ad-Hoc Wireless Networks, *3rd Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*, 2006,
- [12] **Gamal A. E., Mammen J., Prabhakar B., Shah D., and Wong W.,** Throughput-delay trade-off in wireless networks, In *Proc.IEEE INFOCOM, Hong Kong*, pp. 464–475, Mar. 2004,
- [13] **Yuan L., Wang K., Miyazaki T., Guo S. , and Wu M.,** Optimal transmission strategy for sensors to defend against eavesdropping and jamming attacks, . In *Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC)*, in 2017, pp. 1–6.
- [14] **Long J., Dong M., Ota K., and Liu A.,** Achieving source location privacy and network lifetime maximization through tree-based diversionary routing in wireless sensor networks, *Access IEEE, vol. 2*, pp. 633-651, 2014.
- [15] **Bashar S., Ding Z.,** Optimum routing protection against cumulative eavesdropping in multihop wireless networks, In *Proc. of IEEE Military Commun. Conf. (MILCOM)*,, pp. 1-7, 2009.
- [16] **Luo W., Ma W., and Gao Q.,** A dynamic trust management system for wireless sensor networks, *Sec. Commun. Netw.*2016,9, page 613–621, 2016
- [17] **Board I. M. S.,** Wireless Sensor Networks. *International Electrotechnical Commission, Switzerland*, 2014.
- [18] **Karlof C., Wagner D.,** Secure Routing in Wireless Sensor Networks: Attacks and Countermeasures, In *Proc. of the First IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications*,, pp. 113–127, 2003.
- [19] **Silicon Laboratories I.,** The Evolution of Wireless Sensor Networks. Silicon Laboratories, *Inc.*, 2013.
- [20] **Hwang R. J., Huang Y. Z.,** Secure Data Collection Scheme for Wireless Sensor Networks, *Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), 2017 31st International Conference*, March 2017.
- [21] **Nack F.,** An Overview on Wireless Sensor Networks, *Institute of Computer Science (ICS), Freie University, Berlin*, pp.1-8, 2010.
- [22] **Gungor V. C., Hancke G. P.,** Industrial wireless sensor networks: Challenges design principles and technical approaches, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 10,, Oct. 2009.
- [23] **Alkhatib A.A.A., Baicher G. S.,** Wireless Sensor Network Architecture. *International Conference on Computer Networks and Communication Systems (CNCS 2012)*,2012
- [24] **Dantzig G.,** Linear Programming and Extensions, *Princeton University Press*,1963

- [25] **Chinneck, J. W.** Practical optimization: a gentle introduction, *Erişim Adresi: <http://www.sce.carleton.ca/faculty/chinneck/po.html>*, *Erişim Tarihi: 26 Mart 2018.*,2011
- [26] **S. Albert**, Solving mixed integer linear programs using branch and cut algorithm. Master thesis, *Faculty of North Carolina State University*.
- [27] **Cheng, Z., Perillo, M., and Heinzelman, W.** General network lifetime and cost models for evaluating sensor network deployment strategies, *IEEE Trans. Mobile Computing*, 7(4):484–497, 2008.
- [28] **Yildiz H. U., Tavli B. , and Yanikomeroglu H.,** Transmission power control for link-level handshaking in wireless sensor networks, *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 2, pp. 561–576, 2016.
- [29] **Crichigno, J., Wu M. Y., Li D.,Khoury J., and Shu W.,** A joint routing and scheduling scheme for wireless networks with multi-packet reception and directional antennas *IWoWMMoM 2009*, 2009.
- [30] **Yildiz H.U., Temiz M., and Tavli B.,** Impact of limiting hop count on the lifetime of wireless sensor networks, *Commun. Lett.*, vol. 19, no. 4, pp.,569–572, Apr. 2015



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Yıldız KARAKURT
Uyruđu : T.C.
Dođum Tarihi ve Yeri : 04.05.1990, Konya
E-posta : ycanbilen@etu.edu.tr

ÖĐRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, Bilkent Üniversitesi,
Mühendislik Fakóltesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
- **Lisans** : 2010, Tampere Teknik Üniversitesi,
Mühendislik Fakóltesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2018, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi,
Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Arastırma Burslu Yük. Lis. Öğc.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

| Yıl | Yer | Görev |
|------------|---------|---------------------------|
| 2014-Halen | ASELSAN | Sayısal Tasarım Mühendisi |
| 2012-2014 | KAREL | Sayısal Tasarım Mühendisi |
| 2010 | Aselsan | Stajyer |

YABANCI DİL: İngilizce,

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Karakurt Y.**, Yıldız, H. U. and Tavli, B., 2018. Gizli Dinlemeye Karşı Önlemlerin Kablosuz Algılayıcı Ağ Yaşam Süresine Etkisi, *Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU)*, İzmir, Türkiye.

