

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA ATLAMA SAYISINI  
KISITLAMANIN YAŞAM SÜRESİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

**MURAT TEMİZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

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

**AĞUSTOS 2013**

**ANKARA**

Fen Bilimleri Enstitü onayı

---

Prof. Dr. Necip CAMUŐCU

Müdü

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

---

Doc. Dr. Hamza KURT

Anabilim Dalı Başkanı

MURAT TEMİZ tarafından hazırlanan KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA  
ATLAMA SAYISINI KISITLAMANNIN YAŞAM SÜRESİ ÜZERİNE ETKİLERİ  
adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

---

Doc. Dr. Bülent TAVLI

Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Tolga GİRİCİ

Üye : Doc. Dr. Bülent TAVLI

Üye : Yrd. Doc. Dr. Esra KADIOĞLU ÜRTİŐ

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

MURAT TEMİZ

Üniversitesi : TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
Enstitüsü : Fen Bilimleri  
Anabilim Dalı : Elektrik Elektronik Mühendisliği  
Tez Danışmanı : Doc. Dr. Bülent TAVLI  
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Ağustos 2013

## MURAT TEMİZ

### KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA ATLAMA SAYISINI KISITLAMANIN YAŞAM SÜRESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

#### ÖZET

Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA), buldukları ortamdaki çeşitli olayların ölçümlerini yapan ve verilerinin bir merkezde toplandığı ağlardır. KAA'lar su kaynakları ve ormanların korunmasında, askeri uygulamalarda, sağlık sektöründe, doğa olaylarının tahmininde, canlıların doğal ortamlarında izlenmesinde kullanılabilir. KAA ölçüm yapabilen algılayıcı düğümlerden ve verilerin toplandığı baz istasyonlarından oluşur. Algılayıcı düğümler enerjilerini dahili bataryalarından sağlarlar. Düğümlerin buldukları ortamların koşullarından dolayı bataryalarını değiştirmek çoğu zaman mümkün olmaz. Bu nedenle düğümlerin yaşam süreleri bataryalarında bulunan enerjileri bitinceye kadardır. Tüm ağın yaşam süresini en uzun yapabilmek için düğümler enerjilerini en verimli biçimde kullanılmalıdır. Düğümler baz istasyonuna ürettikleri verileri doğrudan (tek atlamalı) veya diğer düğümleri röle olarak kullanarak çok atlamalı şekilde ulaştırabilirler. Enerjilerinin büyük kısmını kablosuz olarak veri göndermek için kullanan düğümler, enerjilerini daha verimli kullanmak için en yakındaki düğüme veri göndererek baz istasyonu ile iletişim sağlamaya çalışacaktır. Bu durumda ağda yapılan toplam atlama sayısı artacaktır. Ağın yaşam süresi en uzun olurken toplam atlama sayısı da çok fazla olacaktır. Toplam atlama sayısının artışı bir kablosuz algılayıcı ağ için önemli olan gecikme, gürbüzlük, karmaşıklık, girişim, güvenlik, servis kalitesi gibi değişkenleri olumsuz etkileyecektir. Bu çalışmada yaşam süresini en uzun yaparken atlama sayısını belirli değerlerin altında tutmak hedeflenmiştir. İlk kısımda toplam atlama sayısı en düşük olduğu değerinden kademeli olarak artacak bir şekilde kısıtlanırken yaşam süresi en uzun yapılmaya çalışılmıştır. İkinci kısımda ise en uzun yaşam süresinin belirli değerlerine ulaşmak için gereken en düşük atlama sayıları analiz edilmiştir. Çalışmada tüm ağ bir en iyileme problemi

olarak modellenmiş ve Karışık Tamsayılı Programlama (KTP) ile çözümlenmiştir. Sonuçlarda, en uzun yaşam süresi ve en küçük atlama sayısı arasında optimum bir nokta önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Liner Programlama, Karışık Tamsayılı Programlama, Optimizasyon, Kablosuz Algılayıcı Ağlar, Minimum Atlama Sayısı, Enerji Verimliliği, En Uzun Yaşam Süresi.

**University** : **TOBB University of Economics and Technology**  
**Institute** : **Institute of Natural and Applied Sciences**  
**Science Programme** : **Electrical and Electronics Engineering**  
**Supervisor** : **Asoc. Prof. Dr. Bülent TAVLI**  
**Degree Awarded and Date** : **M.Sc. – AUGUST 2013**

**MURAT TEMİZ**

**IMPACT OF LIMITING HOP COUNT ON LIFETIME OF  
WIRELESS SENSOR NETWORKS**

**ABSTRACT**

Wireless Sensor Networks (WSNs) sense various events in their deployment area and collect data to one center. WSN can be used for protecting water resource and forests, military applications, medical applications, prediction of natural events, tracking animals in nature. A WSN consist of multiple sensor nodes and one or more base stations which gather data from nodes. Sensor nodes uses their internal batteries for energy. Due to the difficulties of the conditions of deployment area, most of time it is not possible to change the batteries of the nodes. Therefore, when the batteries is depleted, lifetime of nodes will be finished. Nodes should use their battery energy efficiency to prolong to lifetime of network. Nodes reach their generated data to base station with single hop or multi hop by using other nodes as a relay. Nodes consume a large part of the energy for wireless communication, so they send data to near nodes to communicate base station to spend their energy more efficiently. Total hop count of network will be increase in this case. When lifetime of network increases on the other hand total hop count will be reach higher numbers. Increasing of hop count effect negatively other parameters such as congestion, delay, complexity, data security, interference, robustness in networks. In this study, we aimed to maximize lifetime in network with maximum hop count limit. Firstly, we tried to maximize lifetime with different hop count limits from minimum hop count. Secondly, we tried to minimize total hop count when network lifetime limited with a lower bound. We modelled all network as a mathematical optimization problem and we used different MIP (Mixed-Integer Programming) frameworks to solve these optimization problems. According to the results, we suggest optimum points for trade of between lifetime and total

hop count.

**Keywords:** Linear Programming, Mixed Integer Programming, Optimization, Wireless Sensor Networks, Minimum Hop Count, Energy Efficiency, Maximum Lifetime.

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim süresince danışmanlığımı yapan ve çalışmalarım süresince desteklerini esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Bülent Tavlı'ya çok teşekkür ederim. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı bünyesinde bulunan tüm öğretim üyelerine yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Eğitimim süresince burs imkanı sağlayan TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne ve TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı'na (BİDEB) teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca benden maddi manevi yardımlarını esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.



# İçindekiler

<b>1</b>	<b>GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR</b>	<b>4</b>
2.1	Algılayıcı Düğümler . . . . .	4
2.2	Kablosuz Algılayıcı Ağların Kullanım Alanları . . . . .	9
<b>3</b>	<b>KABLOSUZ İLETİŞİM AĞLARINDA ÇOK ATLAMALI İLETİŞİM</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>EN İYİLEME VE DOĞRUSAL PROGRAMLAMA</b>	<b>18</b>
4.1	Doğrusal Programlama . . . . .	19
4.2	Karışık Tamsayılı Programlama . . . . .	20
4.3	Genel Cebirsel Modelleme Sistemi (GAMS) . . . . .	21
<b>5</b>	<b>KABLOSUZ AĞ MODELİ</b>	<b>23</b>
5.1	Algılayıcı Düğümlerin Enerji Tüketim Modelleri . . . . .	23
5.2	Kablosuz Ağ Modeli . . . . .	24

<b>6</b>	<b>NUMERİK ANALİZLER VE SONUÇLARI</b>	<b>33</b>
<b>7</b>	<b>SONUÇLAR</b>	<b>43</b>
7.1	Öneriler ve Gelecekteki çalışmalar . . . . .	44
	<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>50</b>

# Şekil Listesi

2.1	Bir algılayıcı düğümde bulunan temel birimler. . . . .	5
2.2	CoSeN algılayıcı düğüm prototip devresinin çeşitli birimlerinin enerji tüketim değerleri [1]. . . . .	7
2.3	CoSeN prototip algılayıcı düğüm devresi [1]. . . . .	7
2.4	Piyasada bulunabilecek algılayıcı düğümlerin donanım özellikleri ve kullanılan işletim sistemleri [2]. . . . .	8
2.5	Bir kablosuz algılayıcı ağ [3]. . . . .	10
2.6	Berkeley Laboratuvarları tarafından geliştirilen ve ABD Maine Eyaleti Grand Duck Adasında doğal yaşamın gözlenmesi kullanılan bir algılayıcı düğüm [4]. . . . .	10
4.1	Bir en iyileme ve doğrusal programlama problemi . . . . .	22
4.2	Bir karışık tam sayılı en iyileme probleminin grafik üzerinde gösterimi [5]. . . . .	22
5.1	Analizlerde kullanılan $R = 200m$ yarıçaplı KAA modeli. Algılayıcı düğümlerin veri gönderebildikleri en uzun mesafe $R_{max} = 82.92$ 'dir. Algılayıcı düğümler her seferinde rastgele dağıtılmıştır. Düğümler arası örnek veri iletişimi kesik çizgili oklar ile gösterilmiştir. . . . .	28
5.2	En küçük atlama sayısını hesaplamak için kullanılan KTP modeli.	28

5.3	Atlama sayısı kısıtlandığı durumda yaşam süresini en büyükleyen KTP modeli. . . . .	29
5.4	En uzun yaşam süresinin belirli değerlerine ulaşabilmek ( $\beta$ ) için gereken en küçük atlama sayılarını ( $\gamma$ ) çözümlleyen KTP modeli .	30
5.5	GAMS'de düğümlerin rastgele yerleştirilmesi için kullanılan kodlar.	31
6.1	Ağdaki toplam atlama sayısı ( $Hc$ ) en küçük değeri ile sınırlandığında ulaşılacak en uzun yaşam süresi ( $Lt$ ) . . . . .	34
6.2	Ağdaki toplam atlama sayısı ( $Hc$ ) en küçük değerinin bir fazlası ile sınırlandığında ulaşılacak en uzun yaşam süresi ( $Lt$ ) . . . . .	34
6.3	Ağdaki en uzun yaşam süresi ( $Lt$ ) ve bu durumdaki atlama sayısı( $Hc$ ). . . . .	35
6.4	Düğüm sayısına göre en küçük atlama sayıları. . . . .	36
6.5	Ağ içerisinde en büyük yaşam süresine ulaşmak için gereken en küçük atlama sayıları. . . . .	37
6.6	Düğüm sayılarına göre farklı yarıçaplı ağlarda en uzun yaşam süreleri.	37
6.7	Atlama sayısını en küçük değeri ile kısıtlandığında ağda ulaşılacak en uzun yaşam süreleri . . . . .	38
6.8	Atlama sayısı en küçük değeri ile kısıtlandığında yaşam süresinde ağın en uzun yaşam süresine göre meydana gelen kayıplar. . . . .	38
6.9	Yaşam süresinin en uzun değerine ulaşmak için en küçük atlama sayılarını arttırmamız gereken yüzdelik oranlar. . . . .	39
6.10	En uzun yaşam süresine ulaşmak için ağda bulunan her bir düğüm için gereken atlama sayısı artışı . . . . .	39
6.11	100m yarıçaplı atlama sayısı kısıt ve yaşam süresi arasındaki ilişki.	40
6.12	150m yarıçaplı atlama sayısı kısıt ve yaşam süresi arasındaki ilişki.	40

6.13	200m yarıçaplı atlama sayısı kısıt ve yaşam süresi arasındaki ilişki.	41
6.14	100m yarıçaplı ağda yaşam süresinin belirli değerlerine ulaşmak için gereken atlama sayısı artış oranları. . . . .	41
6.15	150m yarıçaplı ağda yaşam süresinin belirli değerlerine ulaşmak için gereken atlama sayısı artış oranları . . . . .	42
6.16	200m yarıçaplı ağda yaşam süresinin belirli değerlerine ulaşmak için gereken atlama sayısı artış oranları . . . . .	42

# Tablo Listesi

5.1	Mica2 Algılayıcı Düğümlerinin Veri Gönderirken Kullandıkları Enerji Seviyelerinde Harcadıkları Enerjiler ve İletişim Mesafeleri (veri almak için $E_{rx} = 922nJ/bit$ enerji harcanmaktadır) . . . . .	25
5.2	Algılayıcı düğümlerin enerji tüketim değerlerini ve ağ modelini açıklamada kullanılan semboller ve değerleri . . . . .	32

# 1. GİRİŞ

Kablosuz iletişim ve elektronikteki son gelişmeler ucuz, düşük güçlü, çok amaçlı algılayıcı düğümlerin küçük boyutlarda geliştirilmesini mümkün kılmıştır [3]. Bu gelişmelerle birlikte KAA'lar günümüzde bir çok alanda etkin olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada günümüzde çok önemli bir yere sahip olan ve gelecekte daha da önemli olacak KAA'lar üzerine matematiksel modeller oluşturularak araştırmalar yapılmıştır. KAA'larda atlama sayısının kısıtlanmasının nedenleri ve yaşam süresi üzerine etkileri araştırılmıştır.

Kablosuz algılayıcı ağlar çevrelerindeki olayları algılayarak veri üreten çok sayıda algılayıcı düğümlerden ve verilerin toplandığı en az bir baz istasyonundan oluşur. Algılayıcı düğümler dahili batarya veya pil ile çalıştıkları ve bataryalarının değiştirilmesi sonradan mümkün olmadığı için, kablosuz algılayıcı ağın yaşam süresi bataryalarda depolanan enerjiye ve bu enerjinin verimli bir biçimde kullanılmasına bağlı olarak değişir. Baz istasyonları enerjilerini harici kaynaklardan sağladıkları için onların enerjileri sonsuz olarak kabul edilebilir.

Algılayıcı düğümlerin enerjilerinin kısıtlı olması dolayısıyla bu enerjinin en verimli biçimde kullanılması en önemli araştırma alanlarından biridir. Bu çalışmada kablosuz iletişim ağlarında diğer önemli noktalardan biri olan atlama sayısı ile ağdaki yaşam süresi üzerindeki ilişki incelenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda kablosuz ağlarda en az atlama sayılı iletişim algoritmalarının verimli olmadıkları belirtilmiştir. Bu çalışmalarda en az atlama sayısına ulaşmayı çalışan algoritmalar tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Bu geliştirilen algoritmalar yaşam süresini en uzun yapan algoritmalar ile karşılaştırılmıştır [6] [7] [8] [9].

Bizim çalışmamızda ise algoritmadan bağımsız olarak, tüm ağ bir eniyileme problemi olarak modellenmiştir. Bu model ile tüm ağın sürekli iletişimde kalabilmesi

için gereken en az atlama sayısı ve yaşam süresinin en uzun değerleri hesaplanmıştır. Bir sonraki analizde ise en az atlama sayısı bir kısıt olarak kullanılmış ve bu durumda en uzun yaşam süresine ulaşılmaya çalışılmıştır. Daha sonra kısıt olarak kullanılan en az atlama sayısı kademeli olarak artırılarak yaşam süresinin en uzun değerleri çözümlenmiştir. Son olarakta istenilen yaşam sürelerine ulaşmak için gereken en küçük atlama sayıları hesaplanmaya çalışılmıştır. Bunun için ise yaşam süresinin kısıt olduğu ve atlama sayısını en küçükleme hedefleyen bir eniyileme modeli kullanılmıştır.

Geliştirilen eniyileme modellerinin çözümünde doğrusal programlama kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan modelde atlama sayısı kısıtı bir tam sayı olmak zorunda olduğu için doğrusal programlamanın bir alt türü olan karışık tam sayılı programlama kullanılmıştır. Karışık tam sayılı programlama kullanıldığı için analiz işlemleri bazı durumlar için 24 saatten fazla sürmüştür. Modellerin karışık tamsayılı programlama ile analizinde ise GAMS [10] ve NEOS [11] kullanılmıştır.

Geliştirilen KTP modelleri dairesel bir topolojide yer alan rastgele dağıtılan düğümler ve dairesel diskin tam ortasında yer alan bir baz istasyonu içeren kablosuz algılayıcı ağ modellerine uygulanmıştır. Ağlarda yer alan düğüm sayıları 30 ile 100 düğüm arasında ve ağ yarıçapları ise 100m, 150m ve 200m değiştirilerek analizler her durum için ayrı ayrı yapılmıştır. Her sonuç için düğümlerin rastgele dağıtılması ile oluşan 40 ile 100 arasında farklı ağ durumu için analizler yapılmış ve elde edilen sonuçların ortalamaları alınmıştır.

Bu tez çalışması aşağıda anlatıldığı şekilde hazırlanmıştır.

2. bölümde Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA) tanıtılmıştır. KAA'lar tanımlanmış, özellikleri ve kullanım alanları belirtilmiştir. KAA'larda genel olarak kullanılan algoritmalarından bahsedilmiştir. Algılayıcı düğümlerin iç yapıları, iletişim algoritmaları, mimarileri ve yazılımsal yapıları açıklanmıştır.

3. bölümde matematiksel eniyileme (optimizasyon) ve doğrusal programlama açıklanmıştır. Karışık tam sayılı programlama ve kullanımı hakkında bilgi verilmiştir. Bunların çözümlerin yapımında kullanılan GAMS ve Neos-Server'ın kullanımından bahsedilmiştir.

4. bölümde kablosuz iletişim ağları ve atlama sayısı ile ilgili açıklamalar yapılmıştır.



Kablosuz iletişim ağlarında atlama sayısının 3nemi ve atlama sayısına dayalı algoritmalar açıklanmıştır. Atlama sayısının yaşam süresi üzerine etkilerinin incelendiği önceki çalışmalardan bahsedilmiştir.

5. bölümde bu çalışmada kullanılan sistem modeli ve bu modelin çözümünde kullanılan matematiksel model açıklanmıştır. Bu modelin enerji kullanımı, yapısı ve iletişim yapısı açıklanmıştır. Model üzerinde yapılan çalışmalar ve analizler belirtilmiştir.

6. bölümde numerik analiz sonuçlarına yer verilmiştir. Atlama sayısının yaşam süresi üzerine etkileri, oluşturulan çeşitli senaryolar üzerinde analiz edilmiştir. Yaşam süresinin belirlenen hedeflerine ulaşmak için gereken atlama sayıları hesaplanmıştır.

7. bölümde tez çalışması ve sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışmanın devamında yapılabilecekler üzerine açıklamalar yapılmıştır.

## 2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR

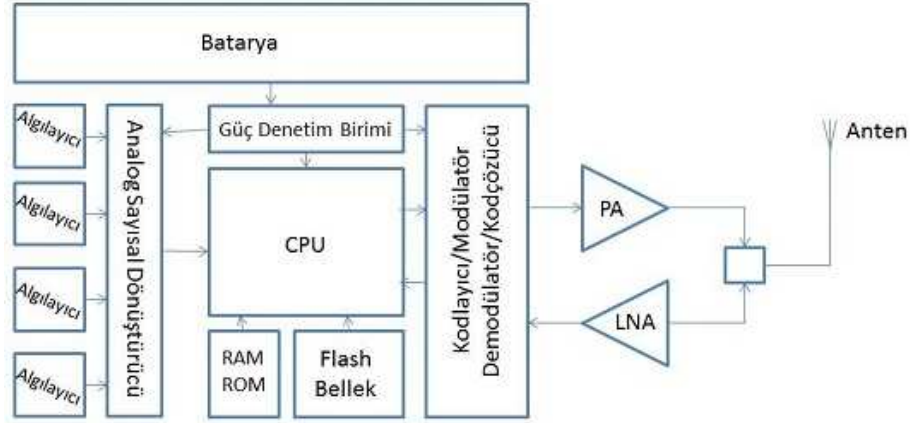
Bu bölümde kablosuz algılayıcı ağlar (KAA) ve algılayıcı düğümler açıklanmıştır. KAA'ların kullanım alanları, özellikleri verilmiştir.

Kablosuz algılayıcı ağlar (KAA) çok sayıda algılayıcı düğüm ve bir veya daha fazla sayıda baz istasyonu içeren ağlardır. KAA'larda algılayıcı düğümler buldukları ortamda meydana gelen olayları algılar ve algıladıkları olaylara ait verileri işleyerek baz istasyonuna gönderirler. Baz istasyonu ile iletişimi tek atlamalı veya diğer düğümlerden bir kaçını röle olarak kullanarak çok atlamalı olarak yapabilirler [12]. Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte algılayıcı düğümler daha küçük boyutlarda ve daha düşük maliyetlerle üretilmektedir [3].

### 2.1 Algılayıcı Düğümler

KAA'lar çok sayıda algılayıcı düğüm ve bu düğümlerin ürettikleri verilerin toplandığı baz istasyonlarından oluşur. Algılayıcı düğümler KAA'da algılama, verileri iletme, röle olarak çalışma görevlerini yürüttükleri için donanımsal olarak bir çok modül içerirler. Algılayıcı düğümler genel olarak aşağıdaki birimlerden oluşurlar:

1. Algılayıcılar (*ing.* sensor): Düğümün etrafında meydana gelen olayları algılayan ve bunları elektriksel sinyallere çeviren birimlerdir. KAA'nın kullanım amacına uygun olarak sıcaklık, basınç, nem, ışık, hareket, görüntü ve benzerlerini algılayan algılayıcılar bulunabilir.



Şekil 2.1: Bir algılayıcı düğümde bulunan temel birimler.

2. ADC ve DAC: Analog sensör verilerini işlemcinin işleyebileceği sayısal verilere dönüştürmek için analog sayısal dönüştürücü (*ADC*) ve işlenen verileri analog sinyallere dönüştürmek için sayısal analog dönüştürücü (*DAC*) kullanılır.
3. Merkezi İşlem Birimi: Algılayıcıların ürettikleri verileri işleyen, düğümün yazılımında belirtilen görevleri yürüten birimdir. Genellikle Atmel, Microchip, ARM firmalarının ürettiği düşük güç tüketimli mimariye sahip mikrodenetleyiciler kullanılmaktadır.
4. Depolama Birimleri: Mikroişlemci tarafından yazılımın yürütülmesinde kullanılan RAM ve ROM ile birlikte yazılımın ve diğer verilerin saklandığı flash belleklerdir. RAM ve ROM mikrodenetleyicilerde dahili birim olarak bulunmaktadır.
5. İletişim Birimleri: Algılayıcı düğümün diğer düğümler veya baz istasyonu ile iletişim kurmasını sağlayan birimdir. Sayısal haberleşme arayüzü, modülatör, kodlayıcı, kod çözücü, düşük gürültülü yükselteç (*LNA*), güç yükseltici (*PA*), anten birimlerinden oluşur. Bu birim (*ing.* transceiver) verici (*ing.* transmitter) ver alıcı (*ing.* receiver) birimlerini içerir. Bu sayede veri alış-verişini sağlar.
6. Yükselteçler: Algılayıcıların ürettikleri işaretleri ve anten işaretlerini yükseltmek için çeşitli özelliklere sahip yükselteçler kullanılır. (düşük gürültülü yükselteç, güç yükseltici, önyükselteç)

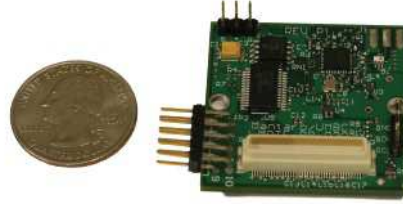
7. Batarya: Algılayıcı düğümlemler enerjilerini dahili bataryaları ile sağlarlar. Düğümlemler dağıtıldıkları ve çalıştıkları ortamda bataryalarını değiştirmek mümkün olmayacağı için bataryaların uzun ömürlü olması gerekir. Düğümlemler boyutları küçük olduğu için aynı zamanda bataryaların boyutları da küçük olmalıdır. Bu nedenlerle kullanılan bataryalar uzun süre çalışacak şekilde seçilmelidir veya tasarlanmalıdır. Enerjinin verimli kullanılması algılayıcı düğümlemler ve kablosuz algılayıcı ağın yaşam süresini uzatacaktır. Algılayıcı düğümlemler kullandıkları yerlere göre enerji sağlamak için güneş panelleri de bulunabilir.

Şekil 2.1’de temel bir algılayıcı düğümün donanımsal yapısı gösterilmiştir. İşlemci tarafından düğümün tüm işlemleri yürütölmektedir. Düğüm üzerinde çalışan bir yazılım (işletim sistemi) ile düğüm dışarıdan bir müdahale edilmesine gerek kalmadan algılama, veri iletme ve veri alma işlemlerini yürütölmektedir. Şekil 2.4’de piyasada bulunabilecek düğümlemler sahip oldukları işlemcileri, bellek kapasiteleri, iletişim hızları, yazılımları verilmiştir. Kablosuz algılayıcı ağların kullanım yerlerine uygun algılayıcı düğüm seçimi yapılırken özellikleri dikkate alınmaktadır. Düğümlemler çevrelerindeki olayları algılarken, işlem yaparken, veri iletirken ve alırken harcadıkları enerji miktarları donanımlarına göre değişmektedir. Düğümlemler bataryalarını değiştirmek çoğu durumda mümkün olmadığı için harcadıkları enerji ve dahili batarya kapasiteleri düğüm seçiminde önemli etkenlerdir. Şekil 2.3’de CoSeN [1] algılayıcı düğümünün boyutlarının madeni para ile karşılaştırılması verilmiştir. Algılayıcı düğümlemler oldukça küçük boyutlarda ve çok düşük boyutlarda üretilmesi hedeflenmektedir. Bu sayede kablosuz algılayıcı ağların binlerce algılayıcı düğümünden oluşabilmesi sağlanabilecektir. Gelecekte algılayıcı düğümlemler 1 Amerikan Dolarından daha düşük bir maliyet ile üretilebilmesi hedeflenmektedir.

Şekil 2.2’de geliştirilen CoSeN algılayıcı düğümüne ait prototip devresinin algılama, işlem, uyku, veri iletme ve veri alma durumlarında harcadığı enerji miktarları verilmiştir [1]. Burada en fazla enerji iletişim modöülü tarafından veri gönderirken ve veri alırken harcanmıştır. Aynı süre içerisinde iletişim modöülü tarafından harcanan enerjinin diğer kısımlarda harcanan enerjiye oranı 10 kattan fazladır. Bu nedenle iletişim sırasında harcanan enerjinin en iyilenmesi düğümün yaşam süresini oldukça uzatacaktır.

Mode	$V_{\text{batt}} = 2.7\text{v}$	$V_{\text{batt}} = 3.0\text{v}$	$V_{\text{batt}} = 5.0\text{v}$
<b>Power Down</b>	1.7 $\mu\text{A}$	1.35 $\mu\text{A}$	1.307 $\mu\text{A}$
<b>Power Save (with RTC)</b>	3.0 $\mu\text{A}$	3.6 $\mu\text{A}$	2.0 $\mu\text{A}$
<b>Idle (2 MHz)</b>	273.9 $\mu\text{A}$	297 $\mu\text{A}$	135 $\mu\text{A}$
<b>Run (2 MHz)</b>	637.8 $\mu\text{A}$	728 $\mu\text{A}$	368 $\mu\text{A}$
<b>Radio Rx (no signal)</b>	10.01mA	8.89mA	5.84mA
<b>Radio Tx (+3dBm)</b>	11.50mA	10.40mA	6.75mA

Şekil 2.2: CoSeN algılayıcı düğüm prototip devresinin çeşitli birimlerinin enerji tüketim değerleri [1].



Şekil 2.3: CoSeN prototip algılayıcı düğüm devresi [1].

Düğümelerde kullanılan işletim sistemleri düşük işlemci hızında çalışacak şekilde tasarlanmışlardır. İşletim sistemi olayları algılama, veri işleme, veri iletme ve alma zamanlarını kontrol etmekte ve düğüm aktif değil iken uyku konumuna alarak enerji tasarrufu yapacak şekilde tasarlanmıştır. Algılayıcı düğümlerin temel işlevi olayları algılamak, hızlı bir biçimde verileri işlemek ve baz istasyonuna iletmektir. Bu nedenle güç tüketimi bir algılayıcı düğüm için üç bölümde incelenebilir: algılama, veri işleme ve haberleşme [3]. Bu üç farklı aşamada harcanan enerji miktarları en düşük duruma getirilerek düğümlerin yaşam süreleri uzatılabilmektedir. Güç tüketimini en düşük duruma getirmek ve yaşam süresini en uzun hale getirmek için çeşitli algoritmalar, teknikler ve iletişim protokolleri geliştirilmiştir.

Algılama sırasında ve düğümdeki işlemci ile diğer donanımın çalışması sırasında harcanan enerji sabit ve az olduğu için bu kısımlarda harcanan enerjiyi en iyileme gerek yoktur [13]. Uyku-uyanma zamanlaması (*ing.* sleep-wake scheduling) ile bu kısımlarda harcanan enerji en düşük miktarlarda tutulur. Fakat iletişim sırasında harcanan enerjiyi çeşitli iletişim protokolleri ve yöntemler ile en düşük duruma getirmemiz gerekir. Özellikle veri gönderme işlemi algılayıcı düğümün enerjisinin büyük kısmını kullandığı işlemdir. Bu işlem sırasında kullanılan enerji optimize edilerek tüm ağın yaşam süresi uzatılabilir [9].

Platform	CPU	Clock (MHz)	RAM/Flash/EEPROM	Radio Transceiver	BW (kbps)	Freq. MHz	OS	Year
WeC	Atmel AT90LS8535	4	512/8K/32K	RFM TR1000	10	916.5	TinyOS	1998
Rene 1	Atmel AT90LS8535	4	512/8K/32K	RFM TR1000	10	916.5	TinyOS	1998
AWAIRS 1	Intel StrongARM SA1100	59-206	1M/4M	Conexant RDSSS9M	100	900	MicroC/ OS	1999
µAMPS	Intel StrongARM SA1100	59-206	1M/4M	National LMX3162	1000	2400	µOS	1999
Rene 2	Atmel Atmega 163	8	1K/16K/32K	RFM TR1000	10	916.5	TinyOS	2000
Dot	Atmel Atmega 163	8	1K/16K/32K	RFM TR1000	10	916.5	TinyOS	2000
Mica	Atmel Atmega 128L	4	4K/128K/512K	RFM TR1000	40	916.5	TinyOS	2001
BT Node	Atmel Atmega 128L	8	4K/128K/4K	ZV4002 BT/ CC1000	1000	2400	TinyOS	2001
SpotON	Dragonball EZ	16	2M/2M	RFM TR1000	10	916.5		2001
Smart-its	PIC 18F252	8	3K/48K/64K	Radiometrix	64	433	Smart-its	2001
Mica2	Atmel Atmega 128L	8	4K/128K/512K	Chipcon CC1000	38.4	900	TinyOS	2002
Mica2Dot	Atmel Atmega 128L	4	4K/128K/512K	Chipcon CC1000	38.4	900	TinyOS	2002
iBadge	Atmel Atmega 128L	8	4K/128K	Ericsson ROK101007 BT	1000	2400	Palos	2002
CENS Medusa MK2	Atmel Atmega 128L/ Atmel AT91FR4081	4/40	4K/32K 136K/1M	RFM TR1000	10	916	Palos	2002
iMote	Zeevo ZV4002 (ARM)	12-48	64K/512K	Zeevo BT	720	2400	TinyOS	2003
U3	PIC 18F452	0.031-8	1K/32K/256	CDC-TR-02B	100	315	Pavenet	2003
Spec	8-bit AVR-like RISC	4-8	3K	FSK Transmitter	100		TinyOS	2003
RFRain	Chipcon CC1010 (8051)	3-24	2K/32K	Chipcon CC1010	76.8	0.3 - 1000	RFRain Libraries	2003
Nymph	Atmel Atmega 128L	4	4K/128K/512K	Chipcon CC1000	38.4	900	Mantis	2003
Telos	TI MSP430F149	8	2K/60K/512K	Chipcon CC2420	250	2400	TinyOS	2004
MicaZ	Atmel Atmega 128L	8	4K/128K	Chipcon CC2420	250	2400	TinyOS	2004
CIT Sensor Node	PIC 16F877	20	368/8K	Nordic nRF903	76.8	868	TinyOS	2004
BSN node	TI MSP430F149	8	2K/60K/512K	Chipcon CC2420	250	2400	TinyOS	2004
MITes	nRF24E1 (8051)	16	4K/512	Nordic nRF24E1	1000	2400		2004
AquisGrain	Atmel Atmega 128L	4	4K/128K/512K	Chipcon CC2420	250	2400		2004
RISE	Chipcon CC1010 EM (8051)	3-24	2K/32K	Chipcon CC1010 EM	76.8	0.3 - 1000	TinyOS	2004
Particle2/29	PIC 18F6720	20	4K/128K/512K	RFM TR1001	125	868.35	Smart-its	2004
Pluto	TI MSP430F149	8	4K/60K/512K	Chipcon CC2420	250	2400	TinyOS	2004
DSYS25	Atmel Atmega 128L	4	4K/128K	Nordic nRF2401	1000	2400	TinyOS	2004
EnOcean TCM120	PIC 18F452	10	1.5K/32K/256	Infineon TDA 5200	120	868	TinyOS	2005
eyesIFXv2	TI MSP430F1611	8	10K/48K	Infineon TDA 5250	64	868	TinyOS	2005
iMote2	Intel PXA 271	13-104	256K/32M	Chipcon CC2420	250	2400	TinyOS	2005
uPart0140 ilmt	rfPIC 16F675	4	64/1K	rfPIC 16F675	19.2	868	Smart-its	2005
TelosB/ Tmote Sky	TI MSP430F1611	8	10K/48K/1M	Chipcon CC2420	250	2400	TinyOS	2005
Ember RF Module	Atmel Atmega 128L	8	4K/128K	Ember 250	250	2400	EmberNet	2005
XYZ sensor node	OKI ML67Q500x (ARM/THUMB)	1.8-57.6	4K/256K/512K	Chipcon CC2420	250	2400	SOS	2005
Ant	TI MSP430F1232	8	256/8K	Nordic nRF24API	1000	2400	Ant	2005
ProSpeckz II	Cypress CY8C2764	12	256/16K	Chipcon CC2420	250	2400	Speckle net	2005
Fleck	Atmel Atmega 128L	8	4K/128K/512K	Nordic nRF903	76.8	902-928	TinyOS	2005
Sun Spot	Atmel AT91FR40162S	75	256K/2M	Chipcon CC2420	250	2400	Squawk VM (Java)	2005
ECO	nRF24E1 (8051)	16	4K/512/32K	Nordic nRF24E1	1000	2400		2006
SHIMMER	TI MSP430F1611	4/8	10K/2G	WML-C46A BT/ CC2420	250	2400	TinyOS	2006
IRIS	Atmel ATmega 1281	8	8K/640K/4K	Atmel ATRF230	250	2400	TinyOS	2007

Şekil 2.4: Piyasada bulunabilecek algılayıcı düğümlerin donanım özellikleri ve kullanılan işletim sistemleri [2].

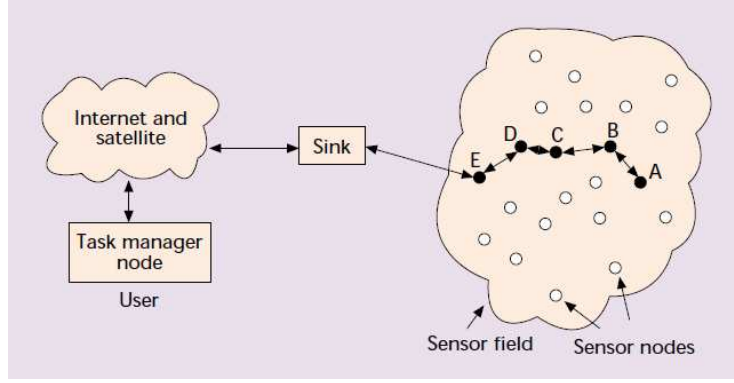
## 2.2 Kablosuz Algılayıcı Ağların Kullanım Alanları

KAA'lar çevre olaylarının görüntülemesinde, doğal yaşamı izlemede, doğal afetlerin tahmini ve algılanmasında, tıbbi görüntülemede ve bina sağlamlığının izlenmesinde kullanılmaktadır [14]. Şekil 2.5'de görüldüğü şekilde düğümler buldukları konumdaki olayları algırlar, diğer düğümleri röle olarak kullanarak bir veri toplama istasyonuna (baz istasyonu) aktarırlar. Aktarılan veriler internet veya özel ağlara aktarılabilir veya yerel olarak işlenebilirler.

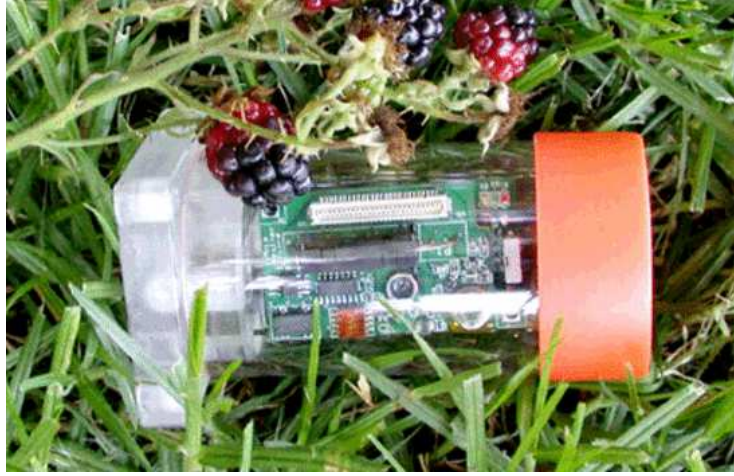
KAA'ların kullanım alanlarına örnekler [15] [3] [16] [17] [18] [19] [4]:

- Gizlice izleme sistemleri: Güvenlik amaçlı olarak çok geniş bir bölgenin izlenmesinde KAA'lar kullanılabilir. Algılayıcı düğümler böyle bir durumda kamera, hareket ve ısı algılayıcılar, kızılötesi algılayıcılar, ses algılayıcıları içerebilir.
- Trafik izleme: Büyük şehirlerde trafiğin anlık izlenmesinde.
- Biyotelemetri sistemleri: EKG, EEG, kalp atışı, kan basıncı gibi sağlık ile ilgili ölçümlerde.
- Doğa olayları: Ormanların güvenliği, hava tahminleri, deprem ve diğer felaketlerin tahminlerinde.
- Endüstride: Fabrikalarda üretim sürecinin ve ürünlerin denetlenmesinde, depolarda ürün miktarlarının tespitinde
- Hayvanların izlenmesinde: Hayvanların doğal yaşamlarında izlenmelerinde, yaşam alanlarının korunmasında

Kablosuz algılayıcı ağlar son on yıl içerisinde üzerinde yoğun olarak çalışılan alanlardan biridir. Gelecekte daha da önemli hale gelecek ve günlük yaşamda bir çok noktada kullanılacaklardır. KAA'lar ile ilgili çalışmalar algılayıcı düğümlerin tasarlanması, işletim sistemlerinin geliştirilmesi, enerji tüketimlerinin azaltılması, daha iyi iletişim algoritmaları tasarlanması, yaşam sürelerinin uzatılması, haberleşme sistemlerinin geliştirilmesi gibi onlarca farklı alanda devam etmektedir.



Şekil 2.5: Bir kablosuz algılayıcı ağ [3].



Şekil 2.6: Berkeley Laboratuvarları tarafından geliştirilen ve ABD Maine Eyaleti Grand Duck Adasında doğal yaşamın gözlenmesi kullanılan bir algılayıcı düğüm [4].

Daha küçük boyutlarda, daha ucuz ve daha uzun yaşam süresine sahip algılayıcı düğümler üretilmesi ile algılayıcı düğümler hemen hemen her alanda kullanılabilir duruma geleceklerdir.



# 3. KABLOSUZ İLETİŞİM AĞLARINDA ÇOK ATLAMALI İLETİŞİM

Bu bölümde kablosuz iletişim ağlarında çok atlamalı (*ing.* multi-hop) haberleşme ile ilgili yapılan önceki çalışmalardan bahsedilmiştir. Bu çalışmalar ışığında ağdaki toplam atlama sayısı artışının çeşitli ağ parametrelerine olumlu ve olumsuz etkileri açıklanmıştır.

Algılayıcı düğümlerin diğer düğümleri röle olarak kullanarak baz istasyonu ile iletişim kurmasına çok atlamalı iletişim (*ing.* multi hop communication) denir. Kablosuz iletişim ağlarında enerji verimliliği önemlidir. Ağın yaşam süresini en uzun yapabilmek için algılayıcı düğümlerin enerjilerini en verimli şekilde kullanması gerekir. Yaşam süresini en uzun yapabilmek için bir çok iletişim protokolü tasarlanmıştır. Kablosuz algılayıcı ağlar için bir çok yönlendirme protokolü ve tekniği tasarlanmış ve incelenmiştir [20] [21] [22] [23]. Bu protokoller geliştirilirken algılayıcı düğümlerin sınırlı enerji kaynakları, boyutları, radyo güçleri, donanımları dikkate alınmış ve bu kısıtlı kaynaklar ile, ağın yaşam süresini uzatmak, veri kaybını engellemek, gecikmeyi azaltmak, güvenliği arttırmak gibi bir ağ için önemli olan konularda iyileştirmeler amaçlanmıştır. Diğer araştırma grupları ise geliştirilen yönlendirme tekniklerinin yaşam süresine etkileri, kaynak kullanımları, servis kaliteleri, ölçeklenebilirlik konularında araştırmalar yapmış ve birbirlerine olan üstünlüklerini karşılaştırılmıştır [24] [6]. Kablosuz algılayıcı ağlar için geliştirilen iletişim protokolleri genel olarak yaşam süresini uzatmayı, servis kalitesini artırmayı ve kaynakların etkili kullanılmasını amaçlar. Bu yönlendirme protokollerinin bir kısmı ağdaki atlama sayısını azaltacak şekilde en kısa yolu

seçmeye çalışan protokollerdir.

Yankun Li ve arkadaşları [25]'te yer alan çalışmalarında KAA'larda en küçük atlama sayısına dayalı iletişim protokolü geliştirilmiştir. En küçük atlama sayılı protokollerde algılayıcı düğümler en az sayıda atlama yaparak baz istasyonu ile haberleşirler. Bu tip bir protokolda temel amaç atlama sayısını azaltmak olduğu için verimli enerji kullanımına dikkat edilmez. Bu çalışmada ise geliştirilmiş bir en küçük atlama sayılı protokol önermişlerdir. Önce algılayıcı düğümlerin bulunduğu bölge bölümlere ayrılmıştır(Örneğin 20 derecelik daire dilimlerine). Daha sonra her bölümde en fazla enerjisi kalan düğüm seçilerek diğer düğümlerin bu düğüm ile en küçük sayıda atlama yaparak iletişim kurmaları amaçlanmıştır. Her turda bu düğüm seçimi tekrarlanmıştır. Sonuçlarda enerjinin daha verimli kullanıldığı ve ağın yaşam süresinin uzadığı gösterilmiştir.

Tran The Son ve arkadaşları [26]'te yer alan çalışmalarında atlama sayısı ve düğüm yoğunluğunun hareketli tasarsız ağların (*ing.* mobile ad-hoc networks) performanslarına etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada performans ölçekleri olarak kanal kapasitesi (*ing.* throughput), paket iletim oranı (*ing.* packet delivery ratio - PDR) ve ortalama gecikme (*ing.* average end-to-end delay - AED) kullanılmıştır. Kanal kapasitesi verinin bir düğümden baz istasyonuna gönderilebileceği en yüksek hız olarak tanımlanmıştır. Paket iletim oranı (PDR) baz istasyonu tarafından alınan toplam paket sayısının kaynaktan gönderilen toplam paket sayına oranı şeklinde tanımlanmıştır. Ortalama gecikme (AED) ise kaynak düğümden gönderilen paketlerin baz istasyonuna ulaşması için geçen sürelerin ortalaması olarak tanımlanmıştır. Tek atlamalı bir iletişimde kanal kapasitesinin deneysel olarak  $2Mbps$ 'lik bir kanalda en fazla  $1.8Mbps$  olabileceği ifade edilmiştir. Atlama sayısı iki olduğu durumda kanal kapasitesi tek atlamalı durumun en fazla  $1/3$ 'ü kadar olabilmektedir. Atlama sayısı 3 olduğunda ise kanal kapasitesinin  $1/4$ 'üne ineceği gösterilmiştir. Atlama sayısının artışının kanal kapasitesini azaltmasının nedeni düğümlerin aynı anda hem veri alıp hem de gönderememesidir. Üç atlama yapılması gerektiğinde 4 tane düğüm arasında veri iletişimi yapılacağı düşünülürse veri alma ve veri gönderme süreleri arasında geçen zamanların iletişim hızını çok fazla düşüreceği öngörülebilir. Çalışmada ikinci olarak iletişim sırasında yapılan atlama sayısı arttıkça ortalama gecikmenin (AED) doğrusal olarak artacağı gösterilmiştir. Her atlama sırasında veri alma, veri işleme ve tekrar veriyi gönderme işlemlerinin tekrarlanacağı göz önüne

alınırsa verinin baz istasyonuna ulaşma süresinin artacağı tahmin edilebilir. Üçüncü olarak Paket iletim oranı (PDR) ile atlama sayısı artışı arasındaki ilişki açıklanmıştır. İki atlamalı bir haberleşmede PDR'nin, tek atlamalı bir duruma göre %10 azaldığı gösterilmiştir. Atlama sayısı 4 ve üzeri olduğu durumlarda PDR %45 oranında azalmaktadır. Sonuç olarak atlama sayısının artışının iletişim hızını, ortalama gecikmeyi ve paket iletim oranını olumsuz yönde etkilediğini göstermişlerdir.

Azad ve arkadaşları [27]'de yer alan çalışmalarında heterojen algılayıcı ağlarda atlama kısıtı ve enerji verimliliği üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada rastgele dağıtılan algılayıcı düğümler kullanılmış ve tek bir bağlantı üzerinde yapılan atlama sayısını kısıtlamanın yaşam süresini olumsuz bir şekilde etkilediği gösterilmiştir. Atlama sayısını 2 ile kısıtlamanın yaşam süresini %40 oranında azaltabildiği gösterilmiştir.

J. Kim ve arkadaşları [13]'da yer alan çalışmalarında KAA'larda gecikmeyi azaltmayı ve yaşam süresini uzatmayı amaçlamışlardır. Veri iletişimde izin verilen en fazla gecikme miktarını arttırmanın yaşam süresini arttıracağını göstermişlerdir. Çalışmada atlama sayısını azaltmanın gecikmeyi (*ing. end-to-end delay*) azaltacağını ifade etmişlerdir. Bunun için geliştirdikleri atlama sayısına dayalı bir algoritmayı araştırmalarında kullanmışlardır.

Zhi Ren ve arkadaşları [28]'da yer alan çalışmalarında KAA'larda en küçük atlama sayısına dayalı ve uyuma-uyanma (sleep-wake) algoritması içeren bir protokol üzerinde çalışmışlardır. Algılama işlemi gerçekleştiren düğümden sadece algılama modülünü etkin, röle olarak kullanılan düğümlerde ise sadece kablosuz haberleşme modülünü etkin kılacak bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu çalışmalarında bu sayede ağır yaşam süresini uzatmayı hedeflemişlerdir.

Zhang Jizan ve arkadaşları [29]'da yer alan çalışmalarında en küçük atlama sayısına ve enerji verimliliğine dayalı iletişim protokolü geliştirmişlerdir. Düğümlerin etrafında yer alan diğer düğümleri çeşitli sınıflara ayırmışlar ve düğümün veri gönderebileceği en doğru yolu seçmesini sağlamışlardır. Seçilecek yol (*ing. path*) en küçük atlamalı yollardan biri olmasının yanında enerji verimliliğinde yüksek olduğu yol olmalıdır. Geliştirdikleri algoritmanın gecikme, enerji verimliliği ve yaşam süresi ölçülerine göre diğer algoritmalar ile karşılaştırılmasını yapmışlardır.

Hung Quoc Vo ve arkadaşları [30]'da yer alan çalışmalarında ağdaki tıkanıklığı (*ing.* congestion<sup>1</sup>) azaltmak için en küçük atlama sayısına dayalı iletişim algoritması geliştirmişlerdir. En küçük atlama sayısına dayalı iletişim algoritmaları karmaşık (*ing.* complex) olmadıkları için ağdaki çeşitli problemlerin çözümünde değişik varyasyonları geliştirilmiştir.

Jae-Young Choi ve arkadaşları [31]'de yer alan çalışmalarında hareketli algılayıcı ağlar (*ing.* mobile sensor networks) için en küçük atlamalı iletişim protokolü önermişlerdir. Hareketli algılayıcı düğümler buldukları konumlarına göre kümeler (*ing.* cluster) halinde gruplandırılmışlardır. Küme içerisinde yer alan her düğümün enerji açısından verimli ve en kısa yolu seçmesi sağlanmıştır. Geliştirdikleri algoritmayı rastgele dağıtılmış, düzgün olmayan (*ing.* non-uniform) ağlarda test etmişler ve veri kaynak ile baz istasyonu arasındaki iletişim başarımlarını oranın %89.3'a ulaştırmışlardır.

G.Sandhya Devi ve arkadaşları [32]'de en küçük atlama sayılı ve enerji verimliliği sağlayan iletişim protokolü üzerinde çalışmışlardır. Geliştirdikleri protokole göre düğümler en az atlama sayısına sahip ve aynı zamanda en az enerji harcayacakları iletişim yolunu seçmektedirler. Geliştirdikleri protokolü yaşam süresi, yol uzunluğu ve enerji verimliliği ölçütlerine göre analiz etmişlerdir.

Fai Cheong Choo ve arkadaşları [33]'de ağdaki düğüm sayısındaki artış ile ağın saldırılara olan dayanıklılığının azaldığından bahsetmişlerdir. Ağdaki düğüm sayısı arttıkça ağa yapılan saldırıların çok daha fazla etkili olduğunu göstermişlerdir. Bu nedenle yüksek sayıda atlama sayısı gerektiren kablosuz ağlar tasarlanırken güvenlik ve doğrulama mekanizmasının daha iyi tasarlanması gerektiği tavsiyesinde bulunmuşlardır.

Mohammad Siraj ve arkadaşları [34]'de yer alan çalışmalarında kablosuz ağlarda girişimi (*ing.* interference) azaltmayı hedeflemişlerdir. Bu çalışmalarında düğümler arası girişimi aynı yol üzerindeki iki farklı atlamada meydana gelen girişim ve farklı yollar arasında meydana gelen girişim olarak iki farklı durumda incelemişlerdir. Atlama sayısında meydana gelen artış düğümler arası girişimi artıracaktır. Bu nedenle girişimi azaltmak için önerdikleri yöntemlerden biri atlama sayısının ve ağdaki atlamaların yerlerinin düzenlenmesi ile ilgili bir

---

<sup>1</sup>Tıkanıklık: Veri iletişim kanalının kapasitesinden fazla yüklenmesi sonucu oluşan durum.

algoritmadır. Ayrıca atlama sayısında meydana gelecek artışın ağdaki veri iletimini geciktireceğinden ve tıkanıklığa yol açacağından bahsetmişlerdir.

Rainer Baumann ve arkadaşları [35] çalışmalarında mobil kablosuz ağlar için çok atlamalı yol seçiminde daha geçerli bir method önermişlerdir. Geliştirdikleri yöntem sinyal gücüne, tahmini veri kayıp oranına, yol uzunluğuna bağlı olarak en uygun kablosuz iletişim yolunu seçmeye çalışmaktadır. Önerdikleri yöntem ile veri kaybını azaltmayı hedeflemişlerdir. Bu yöntemi, bir şehri referans alan simülasyonları sayesinde en az atlama sayılı yollar ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, geliştirdikleri yöntem ile seçilen yolların en az atlama sayısına sahip (en kısa) yollara göre 7 kat daha az bağlantı kesilmesi ihtimaline sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Richard Draves ve arkadaşları [8] çalışmalarında çok atlamalı ağlarda yönlendirme (*ing.* routing) ölçeklerini karşılaştırmışlardır. Bu çalışmalarında en küçük atlama sayısını hedefleyen tekniklerin düğümler arası mesafe fazla olacağı için düşük performanslı olacağını söylemişlerdir. En az atlama sayısına dayalı protokollerin seçilmesinin temel nedeninin basitlikleri olduğunu ifade etmişlerdir. Fakat bu protokoller düğümler arası band genişliğini veya paket kayıp oranını dikkate almadığı için düşük performanslı olabilmektedir. Çalışmalarında değerlendirdikleri diğer ölçekler ise düğümler arası veri gönderme ve cevap süresi (RTT <sup>2</sup>), paket ulaşma süresi, paket ulaşma oranıdır.

Yiming Ji ve arkadaşları [36]'de yer alan çalışmalarında çok atlamalı ağlarda girişimi azaltmak için atlama sayısına dayalı bir yöntem önermişlerdir. Atlama sayısında meydana gelen artışın band genişliğini azaltacağını ifade etmişlerdir. Önerdikleri yöntem ile klasik en küçük atlama sayılı yönlendirme protokollerine göre %30 oranında daha iyi bir band genişliği elde etmeyi başarmışlardır.

Yong-Jae Jang ve arkadaşları [37]'de ağda meydana gelen tıkanıklığı ve paket kaybını azaltmayı hedeflemişlerdir. Bunun için ağdaki atlama sayısı, paket yoğunluğu ve tıkanıklığa göre bir veri trafiği yönetme mekanizması geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri yöntemin enerji verimliliği açısından da etkili olduğunu simülasyon sonuçları ile göstermişlerdir.

Diogo Quintas ve arkadaşları [38] çalışmalarında çok atlamalı ağlarda en büyük

---

<sup>2</sup>round trip time

kapasiteye sahip ve en az enerji gerektiren yolları (*ing. paths*) kullanmayı hedeflemişlerdir. Bu çalışmalarında band genişliği ve enerji harcanması üzerinde durmuşlardır. Ağda yapılan her fazla atlama ile meydana gelen girişim ve bu girişimin neden olduğu band genişliği kaybını dikkate almışlardır. Çalışmalarında en büyük kapasiteli, en az enerjili ve her iki durum için en optimum olan yolların seçimi ve aralarındaki ödünleşimi (*ing. trade-off*) değerlendirmişlerdir.

KyoungGyu Lee ve arkadaşları [39] çalışmalarında tasarsız (*ing. ad-hoc networks*) ağlarda atlama sayısı üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmalarında atlama sayısında meydana gelen artış ile veri iletişimde meydana gelen gecikmelerin doğru orantılı olduğunu ve veri kayıplarının arttığını göstermişlerdir. Sonuçlarında düğüm ve baz istasyonu arasındaki atlama sayısı üç olduğu durumda veri kayıp oranının tek atlamalı durumun %80'ine düştüğünü göstermişlerdir.

KAA'lar da algılayıcı düğümlerin baz istasyonu ile haberleşirken diğer düğümleri röle olarak kullandığı ve bu şekilde bir çok atlamalı iletişimin olduğu ağdır. Atlama sayısı bu tip ağlarda önemli ölçeklerden biridir. Atlama sayısına göre geliştirilen yönlendirme protokolleri, nisbeten basit tasarımları ve her düğümün kapsama alanı içerisinde kalan düğümlere göre kolaylıkla uygulayabilmesi nedeniyle çoğu zaman tercih edilirler. Fakat literatürde yer alan ve bir kısmı yukarıda açıklanan çalışmalara bakılınca sadece atlama sayısını dikkate alan ve buna göre ağdaki iletişimi yönlendiren protokoller kullanmak çeşitli problemlere neden olabilmektedir. İki düğüm arasında olabilecek en küçük atlama sayısı ağ içerisindeki en kısa yolu hesaplama için iyi bir yöntem olmasına rağmen, en kısa yol her zaman en yüksek kapasiteli, verimli veya güvenli yol olmayabilir. Bu nedenle özellikle kablosuz ağlarda yönlendirme protokolleri geliştirilirken atlama sayısını azaltmayı hedeflemek bir amaçtan çok diğer değişkenlerle birlikte değerlendirilerek kullanılabilir bir araç olmalıdır.

KAA'larda ağın yaşam süresini uzatabilmek için düğümler verilerini en yakınlarındaki düğümlere göndermeye çalışırlar. Bu şekilde daha kısa mesafe ile iletişim kurmak için daha az enerji harcayacak olan algılayıcı düğümün yaşam süresi dolayısıyla ağın yaşam süresi uzayacaktır. Ayrıca bir düğüm en yakınındaki düğümlere göndereceği veriyi düğümlerin kalan enerji miktarlarına göre paylaşabilir, bu sayede ağdaki düğümlerin hepsinin dengeli bir biçimde enerji harcamaları sağlanabilir ve ağın yaşam süresi uzatılabilir. Düğümün hem en yakındaki

düğümüleri seçmesi hem de veriyi birden çok düğüme paylaşırması ağın yaşam süresini uzatacağı gibi ağ içerisinde yapılan toplam atlama sayısını da arttıracaktır. Yukarıda incelenen çalışmalarda görüldüğü gibi ağdaki atlama sayısındaki artış:

1. ağdaki verinin güvenli bir şekilde iletilmesini zorlaştırmaktadır ve ağ saldırılara daha açık hale getirmektedir.
2. ağdaki düğümler arası girişimin artmasına neden olmakta, sinyal gürültü oranını (SNR) düşürdüğü için band genişliğinin azalmasına neden olmaktadır.
3. ağda içerisinde iletişim sırasında meydana gelen gecikmeyi ve veri ulaşamama olasılığını artırmaktadır.
4. ağ içerisinde tıkanıklığa ve bu şekilde band genişliğinin azalmasına neden olabilmektedir.

Ağın yaşam süresini teoride uzatmak için ağ içerisinde fazla sayıda atlama yapılması gerekebilir. Fakat atlama sayısının artması pratikte çeşitli sorunlara neden olacağı için uygulamada o kadar iyi sonuç vermeyecektir. Bu çalışmada teorik olarak ağda yapılabilecek toplam atlama sayısını kısıtlamanın yaşam süresini nasıl etkileyeceği ve en uzun yaşam süresinin belirli değerlerine ulaşmak için gereken en düşük atlama sayıları araştırılmıştır. Bu sayede atlama sayısı artışı ile yaşam süresi arasında ödünleşme için en optimum değerler bulunmaya çalışılmıştır.

Bu tez çalışması sırasında yönlendirme tekniklerinden bağımsız olarak teorik değerler belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için tüm ağ bir optimizasyon problemi olarak modellenmiş ve bu modeller doğrusal programlama (karışık tamsayılı programlama) ile analiz edilmiştir.

## 4. EN İYİLEME VE DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

Bu kısımda en iyileme (*ing.* optimization), doğrusal programlama (*ing.* linear programming ) ve çözüm yöntemleri ile kullanılan yazılımlar açıklanmıştır.

En iyileme kaynakların en iyi şekilde kullanılarak en iyi sonucu almayı hedeflemektir. Bir havalimanına gün içerisinde en fazla kaç tane uçağın ne şekilde inip kalkış yapabileceğini bulurken yapılan işlem en iyilemedir. Bir fabrikada işçilerin en doğru şekilde çalışmalarını araştırmak veya elde bulunan hammaddenin en doğru şekilde kullanılıp en yüksek kâr elde edecek şekilde fabrikayı çalıştırmak bir en iyileme probleminin konusudur. Üç veya dört tane değişken içeren bir en iyileme problemini biraz zamanımızı alsada kağıt ve kalem ile çözebiliriz. Fakat değişken sayısının yüzlerce hatta binlerce olduğu en iyileme problemlerinin çözümünü sadece bu problemleri matematiksel bir denklem sistemi olarak ifade edebilirsek çözebiliriz. En iyileme problemleri matematiksel olarak ifade edilebilir ve matematik biliminde en iyileme sıklıkla üzerinde çalışılan alanlardan biridir. Fakat bu problemlerin çözümü matematiksel olarak ifade etsek bile her zaman mümkün olmayabilir. Doğrusal en iyileme problemlerinin çözümü, doğrusal olmayan problemlere göre daha kolaydır.

Doğrusal en iyileme problemleri sadece bir değişkenin en iyi sonucunu bulmaya çalıştığımız ve bu değişkenin herhangi bir başka değişkenle çarpım veya bölüm konumunda olmadığı problemlerdir. Bu tip problemlerin çözümünde doğrusal programlama (*ing.* Linear Programming) kullanılır.



## 4.1 Doğrusal Programlama

Doğrusal programlama matematiksel olarak ifade edilmiş doğrusal en iyileme problemlerinin bilgisayar tarafından çözülmesi için kullanılır. George Dantzig tarafından geliştirilmiş simpleks algoritması sayesinde popüler olmuş ve bir çok alanda kullanılmıştır. Doğrusal programlarda temel amaç elde olan kaynakların en verimli şekilde kullanılması ve hedeflenen bir değişkenin en iyi değerini almasını sağlamaktır. Bir işletmenin kârının en büyük değerini bulmak ve ona göre kaynakları en iyi şekilde kullanmak gibi. Doğrusal programlama ile çok sayıda kısıtın yer aldığı bir durumda bu kısıtlar dahilinde en iyi sonuca ulaşmak mümkündür. Şekil 4.1’te örnek bir en iyileme probleminin doğrusal programlama ile ifadesi gösterilmiştir. Bu problemde amaç  $T$  değişkeninin en büyük değerini hesaplamaktır. İfadede yer alan her bir denklem bir kısıt ifade eder. Sonucun en iyi değerinde tüm kısıtlar sağlanmalıdır. Denklemlerde değişkenlerin birbirleri ile çarpım halinde olmadıkları görülmektedir. Doğrusal programlama kullanılabilmesi için değişkenler çarpım halinde olmamalıdır. Çarpım halinde değişkenler varsa o zaman doğrusal olmayan programlama (*ing.* non-linear programming) kullanılır. En iyileme problemi bir değişkenin en büyüklenmesi veya en küçüklenmesi şeklinde olabilir.

Kablosuz algılayıcı ağlarda enerjinin verimli bir biçimde kullanılması veya yaşam süresinin en büyüklenmesi için doğrusal programlama kullanılabilir. Algılayıcı düğümlerin baz istasyonu ile hangi düğümleri röle olarak kullanacağına karar verme durumu bir yaşam süresinin en büyüklenmesi problemi olarak ifade edilebilir. Böyle bir problemin çözülebilmesi için ağdaki düğümlerin enerji durumları, konumları, gönderdikleri veri miktarları, veri gönderme mesafeleri, iletişim için harcadıkları enerjileri birer kısıt olarak yazılarak ifade edilir. Yaşam süresi ise bir amaç olarak yazılır. Bu şekilde ağda yer alabilecek tüm parametreler ve değişkenler matematiksel olarak ifade edilirse ağın doğrusal programlama modeli çıkarılmış olur. Bu çalışmada tüm ağ bir en iyileme problemi olarak ifade edilmiş ve düğümlerin harcadıkları enerjileri en küçüklenirken ağın yaşam süresi en büyüklenmiştir.

Doğrusal programlama ile ifade edilen problemlerin çözümünde farklı firmalar

tarafından geliştirilmiş bir çok çözücü (*ing. solver*) kullanılabilir. Cplex, Cbc, Gurobi, XPress bu çalışma sırasında kullanılan ve test edilen çözücü yazılımlarıdır.

## 4.2 Karışık Tamsayı Programlama

Karışık Tamsayı Programlama (KTP<sup>1</sup>) doğrusal programlamanın bir alt türüdür. Doğrusal programlamada kullanılan değişkenlerden bir kısmı veya tamamı tamsayı olmak zorunda ise bu durumda KTP kullanılır. KTP problemlerin çözümünde değişkenlerin bir kısmı sürekli olmadığı için daha farklı algoritmalar kullanılmak zorundadır. Dakin tarafından geliştirilmiş KTP çözücüsü KTP problemini tam sayı kısıtları olmadan bir doğrusal programlama modeli gibi çözer, daha sonra bulunduğu en iyi değerleri kullanarak dal ve sınır (*ing. branch and bound*) arama algoritması ile tamsayı değerlerini bulmaya çalışır. Tam sayı olmayan en iyi değer her seferinde iki tam sayı değerine dallanır ve en iyi tamsayı değeri bulununcaya kadar bu işlem devam eder. Bu algoritma KTP çözümünde kullanılan en basit algoritma olup verimli değildir. Çözümün iki aşamada gerçekleşmesi ve tam sayı değerlerini dallanarak araması hesaplama için gereken süreyi arttırmaktadır.

Şekil 4.2’de bir KTP probleminin grafik üzerinde çözümü gösterilmiştir [5]. Bu problem bir doğrusal programlama (DP) problemi olsaydı en iyi değer *LP Optimum* ile gösterilen değer olacaktı. Bu değer yuvarlanması ile elde edilen (2,2) ve (2,1) değerleri KTP probleminde en iyi değerler değildir, KTP için en iyi değer (0,2) değeridir. Örnekte görüleceği gibi KTP problemlerinin çözümü tahmin edildiğinden daha fazla zaman alır.

Çeşitli firmalar tarafından geliştirilmiş daha güncel algoritmalar bulunmasına rağmen KTP problemlerin çözümü doğrusal programlama problemlerin çözümüne göre çok daha uzun sürmektedir. Bu çalışmada atlama sayısı kısıtı bir tam sayı olmak zorunda olduğu için KTP kullanılmıştır. Bu yüzden düğüm sayısının fazla olduğu problemlerde çözüme ulaşmak bazı durumlarda 24 saatten fazla sürmüştür. Çalışmada kullanılan en fazla düğüm sayısı bu nedenle 90 düğüm ile sınırlandırılmıştır. Düğüm sayısının daha fazla arttığı durumlarda çözüm elde edilememiştir.

---

<sup>1</sup>*ing.* Mixed Integer Programming - MIP

### 4.3 Genel Cebirsel Modelleme Sistemi (GAMS)

GAMS [10] doğrusal programlamada kullanılan bir geliştirici arayüzüdür. GAMS<sup>2</sup> ile doğrusal programlama (LP), karışık tamsayılı programlama (MIP), doğrusal olmayan programlama (NLP) gibi en iyileme problemleri yazılabilir ve çeşitli çözücülere çözdürülebilir. GAMS kendine has söz dizimine sahip bir programlama dili kullanmaktadır. Bu dil ile farklı firmalar tarafından geliştirilmiş Cplex, Cbc, XPress gibi çok farklı çözücüler aynı doğrusal programlama yazılımında kullanılabilirler. GAMS programlama dili yüksek seviyeli ve doğrusal programlama modelinin kolayca aktarılmasını sağlayan bir söz dizimine sahiptir. GAMS genel olarak bir kullanıcı arayüzü, derleyici, çözücüler içeren bir pakettir. Ayrıca GAMS makroları ve komut istemi ile çalıştırılmayı destekler. Bu özellikleri ile Visual C# benzeri bir dil ile birlikte kullanılabilir. Bu çalışmada ayrıca C# ile geliştirilen ve analizlerin hızlı bir biçimde yapılması sağlayan bir yazılım geliştirilmiş ve kullanılmıştır.

Bu çalışmada çok sayıda problem çözülmesi gerektiği için NEOS-SERVER [11] kullanılmıştır. NEOS<sup>3</sup> aynı anda çok sayıda optimizasyon problemini çözebilen ve ücretsiz olarak çevrimiçi bir şekilde kullanılan bir en iyileme problemleri çözümlene ağıdır. NEOS projesi bir çok üniversitenin desteği ile kurulmuş bir ağıdır. NEOS, GAMS programlama dilini desteklediği için GAMS için yazılan bir model hiç bir değişikliğe gerek duyulmadan NEOS üzerinde çalıştırılabilir.

---

<sup>2</sup>*ing.* General Algebraic Modelling System

<sup>3</sup>Network-Enabled Optimization System

En büyükle  $T$   
Kısıtlar:

$$f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 \leq 100 \quad (4.1)$$

$$f_1 + f_2 \leq f_3 + f_4 + f_5 \quad (4.2)$$

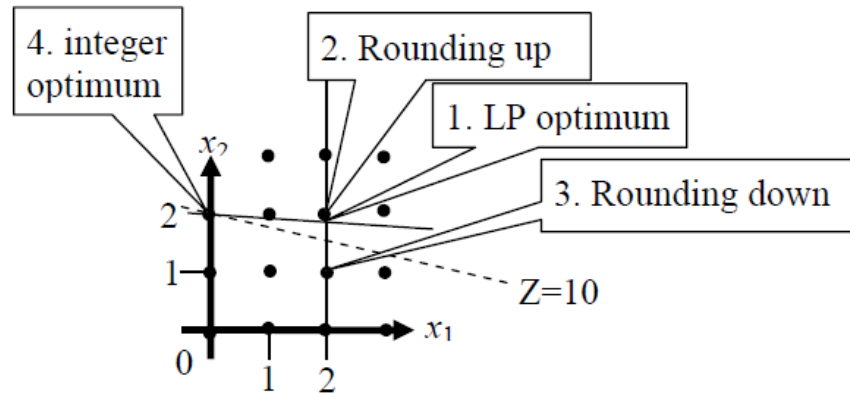
$$100 * f_1 + 50 * f_3 \leq 10 * f_4 + f_5 \quad (4.3)$$

$$f_5 - f_1 \leq f_2 - f_3 \quad (4.4)$$

$$f_4 + f_5 \geq 40 \quad (4.5)$$

$$T \geq f_1 - f_4 \quad (4.6)$$

Şekil 4.1: Bir en iyileme ve doğrusal programlama problemi



Şekil 4.2: Bir karışık tam sayılı en iyileme probleminin grafik üzerinde gösterimi [5].

## 5. KABLOSUZ AĞ MODELİ

Bu bölümde, algılayıcı düğümlerin enerji tüketim modelleri, kablosuz iletişim modelleri, kullanılan ağ modeli anlatılmıştır. Modeller karışık tamsayılı programlama (MIP) ile ifade edilmiş ve çözümlenmiştir.

### 5.1 Algılayıcı Düğümlerin Enerji Tüketim Modelleri

Çalışmada güç tüketim değerleri araştırmalar ile doğrulanmış Mica2 düğümleri kullanılmıştır. Mica2 düğümleri donanımsal olarak Atmel Atmega 128L mikrodenetleyicisi ve Chipcon CC1000 model kablosuz haberleşme birimi bulundurur. Bu düğümden kanal bant genişliği  $\zeta = 38.4$  Kbps'dir [40].

Mica2 düğümlerinin enerji tüketimleri [40] referans alınarak çalışmada kullanılan algılayıcı düğümlerin enerji tüketim modelleri geliştirilmiştir. Algılayıcı düğümler iki farklı çalışma moduna sahiptir. Aktif olarak algılama ve veri iletişimi yaptıkları durum ile düğümün algılama ve veri iletişimi yapmadığı uyku durumudur. Uyku durumunda bulunan düğümün harcadığı enerji ( $E_{slp}$ ), algılama ve iletişim sırasında harcanan enerjiye göre çok çok düşük olduğu için ( $E_{tx} + E_{rx} + E_{sens} + E_{cmp} \gg E_{slp}$ ) analizlerde uyku konumunda enerji harcanmadığı kabul edilmiştir.

Algılayıcı düğümler aktif konumdayken algılama, hesaplama ve iletişim için enerji harcarlar. Algılama ve iletişim için harcanan enerji ( $E_{sens} + E_{cmp}$ ) sabit ve iletişim için harcanan enerjiye ( $E_{tx} + E_{rx}$ ) göre çok düşüktür. Bu nedenle veri gönderme ve alma algılayıcı düğümün en fazla enerji harcadığı işlemidir. 26 farklı enerji seviyesine sahip Mica2 düğümleri, her enerji seviyesinde farklı uzaklıklara

veri gönderebilmekte ve bu enerji seviyesine ait enerji değerini harcamaktadır. Tablo 5.1’de Mica2 düğümlerine ait enerji seviyeleri ve bu seviyelerde bir bit veri iletmek için harcadıkları enerji değerleri ile en uzun iletişim mesafeleri görülmektedir [40]. Algılayıcı düğümler veri alırken ise her bit için  $E_{rx} = 922nJ/bit$  kadar enerji harcamaktadır. Düğümler 26. seviyede en uzağa veri gönderebilmekte ve bu mesafe 82.92m’dir. Bu mesafeye kadar düğümlerin çıkış güçleri -20dBm ile 5dBm arasında değişen 26 farklı çıkış gücü seviyesine sahiptir. Eğer iki düğüm veya düğüm ile baz istasyonu arası  $R \geq R_{max}$  ise yani 82.92m’den fazla ise bu durumda bu iki düğüm arasında veri iletişimi sağlanamamaktadır. Bu durumda düğümler baz istasyonu ile veri iletişimini sağlamak için başka bir yol izlemeli ve diğer düğümleri röle olarak kullanılmalıdır. Ağ içerisinde veri iletişimi mesafeye göre tek atlamalı (doğrudan baz istasyonuna veri gönderme) veya diğer düğümlerin röle olarak kullanılması ile çok atlamalı olarak sağlanabilir.

Düğümler dahili bataryaları sayesinde enerji sağlamaktadırlar ve bataryalarını sonradan değiştirmek mümkün değildir [41]. Bataryaları başlandıçta eşit miktarda enerjiye sahiptir ve  $\xi = 25KJ$  değerindedir. Düğümlerin herhangi bir anda bataryalarında kalan enerjileri  $e_i$  ile ifade edilmiştir. Bu kısımda kullanılan sembollerin açıklamaları ve değerli Tablo 5.2’de verilmiştir.

## 5.2 Kablosuz Ağ Modeli

Atlama sayısının kısıtlanmasının yaşam süresi üzerine olan etkilerini araştırmak için kullanılan kablosuz algılayıcı ağ modeli bu kısımda açıklanmış ve karışık tamsayılı programlama (MIP) ile ifade edilmiştir. Kullanılan kablosuz algılayıcı ağ modeli dairesel bir ağ topolojisine sahiptir. Ağ yarıçapının 100, 150 ve 200 metre olduğu farklı dairesel ağ modelleri oluşturulmuştur. Model çok sayıda algılayıcı düğüm ve bir tane baz istasyonu içermektedir.

Algılayıcı düğümler tarafından üretilen verilerin toplandığı baz istasyonu (*ing.* base station) dairesel ağın merkezine yerleştirilmiştir. Baz istasyonunun yeri sabit olduğu için çeşitli enerji kaynakları (güneş enerjisi, güç kaynağı) ile enerjisi sürekli olarak sağlanabilir, bu yüzden baz istasyonunun enerji miktarı sonsuz kabul edilmiştir. Baz istasyonunun kapsama alanı içerisinde kalan her algılayıcı

Tablo 5.1: Mica2 Algılayıcı Dügümlerinin Veri Gönderirken Kullandıkları Enerji Seviyelerinde Harcadıkları Enerjiler ve İletişim Mesafeleri (veri almak için  $E_{rx} = 922nJ/bit$  enerji harcanmaktadır)

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

düğüm ile doğrudan bağlantı kurabileceği kabul edilmiştir. KAA içerisinde yer alan düğümler rastgele dağıtılmıştır. Ağdaki algılayıcı düğüm sayılarının 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 ve 90 olduğu farklı senaryolar için tüm analizler tekrarlanmıştır. Her senaryoda düğümler 50 kez rastgele dağıtılarak, elde edilen verilerin ortalama değerleri alınmıştır. Şekil 5.1’de analizlerde kullanılan örnek bir ağ modeli görülmektedir. Bu ağdaki  $k$ -düğümünün bir turda ürettiği verinin  $i$ -düğümünden  $j$ -düğümüne akan kısmı  $f_{ij}^k$  ile ifade edilmiştir. Ağ topolojisi  $G = (V, A)$  şeklinde tanımlanmıştır, burada  $V$  tüm düğümlerin kümesi,  $A$  ise düğümler arasındaki bağlantıların kümesidir. Ayrıca baz istasyonu hariç diğer düğümlerin oluşturduğu  $W$  kümesi de tanımlanmıştır. Modelde düğümler arası girişim olmadığı ve düğümün ilettiği her verinin kapsama alanında olan ve verinin iletilmek istendiği düğüme tam olarak ulaştığı varsayılmıştır.

Modelde yer alan tüm algılayıcı düğümler eş zamanlı olarak çevrelerindeki olayları algırlar ve ürettikleri verileri iletirler. Bu algılama ve veri iletişiminin tamamlanma süresi bir tur ( $T_{rnd}$ ) olarak adlandırılmıştır. Düğümlerin bir turda  $L_p = 1024bit$  veri ürettikleri ve tüm ürettikleri verilerini eksiksiz olarak baz istasyonuna ilettikleri varsayılmıştır. Tüm düğümler algılama işlemini ve veri iletişimlerini tamamladıktan bir sonraki tura  $T_{rnd}$  kadar uyku konumuna geçmekte ve bu şekilde çok düşük enerji harcayarak enerjilerini korumaktadırlar. Düğümler olayları algılama, veri işleme, veri alma ve veri gönderme işlemlerini ( $T_{rnd}$ ) süresi içerisinde yapmaktadır. Düğümler iletişim için zaman bölmeli çoklu erişim (TDMA<sup>1</sup>) kullanmaktadır. TDMA kullanıldığı için düğümler eşzamanlı olarak çalışmak ve kendilerine ayrılan zaman içerisinde diğer düğümler ile haberleşmelidir. Bu çalışmada tüm düğümlerin tüm düğümlerin kendilerine ayrılan iletişim zamanlarına tam olarak uydukları bu yüzden düğümler arası girişim olmadığı kabul edilmiştir.

Algılayıcı düğümler çevresel olayları algıladıktan sonra ürettikleri verileri diğer düğümleri röle olarak kullanarak baz istasyonuna iletmeye çalışırlar. Algılayıcı düğümlerin veri göndermek için kullandıkları enerji modelleri bir önceki bölümde açıklanmıştır. Tablo 5.1’de yer alan enerji seviyelerine ve bu enerji seviyesinde veri gönderebilecekleri en uzak mesafeler gösterilmiştir. Düğümler iletişim kuracakları düğümlerle aralarında olan mesafeye uygun bir enerji seviyesi  $l$  seçerler. Bu enerji seviyesinde düğümün kapsama alanı  $R_{max}^l$  ile ve gönderdiği her bit için harcadığı

---

<sup>1</sup>ing. Time Division Multiple Access



enerji ( $E_{tx}^l$ ) ile edilmiştir.

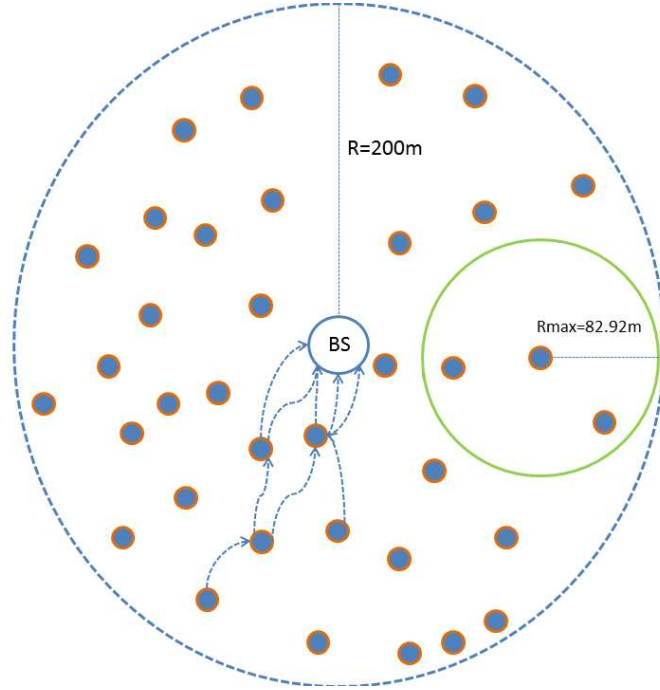
Şekil 5.2’de modellenen KTP problemi ile tüm düğümlerin baz istasyonu ile iletişimlerine devam edebilmesi için gereken en az atlama sayısını ( $\gamma$ ) bulmak hedeflenmiştir. Atlama sayısının en küçük olduğu durumda tüm düğümler kapsama alanlarında bulunan kendilerine göre en uzakta bulunan düğüm ile iletişim kurmaya çalışırlar. Düğümlerin en uzağa veri gönderebileceği seviye 26. çıkış seviyesidir. Bu seviyede çıkış gücü  $5dBm$ , en uzak iletişim mesafesi  $R_{max}^{26}=82.92m$ ’dir ve bu seviyede harcadıkları enerji  $E_{tx}^{26} = 1984.38$  nJ/bit’dir. En az atlama sayısına ulaşmak için düğümlerin daha uzaktaki düğüme veri göndermeyi tercih etmesi daha fazla enerji harcamalarına neden olacaktır. Ayrıca düğümler toplam atlama sayısını azaltabilmek için sadece bir düğüm ile iletişim kuracaklardır. Bu durum ağ içerisinde düğümlerin enerjilerini dengeli bir biçimde harcamalarını engelleyecektir.

Şekil 5.2’de modellenen KTP ile ise ağın yaşam süresini en büyük yapmak hedeflenmiştir. Şekil 5.2’deki model ile bulunan en az toplam atlama sayısı ( $\gamma$ ), Şekil 5.3’de bulunan modelde bir kısıt olarak kullanılarak, atlama sayısının kısıtlı olduğu durumlar için en fazla yaşam süresinin analizi yapılmıştır. Daha sonra  $\gamma$  değeri kademeli olarak artırılarak, en fazla yaşam süresi üzerine olan etkisi incelenmiştir.

Şekil 5.2’de denklem 5.1  $k$ -düğüm’ünde üretilen tüm verinin diğer düğümlerde kayıp olmadan baz istasyonuna tamamen iletilmesi gerektiğini belirtir. Denklem 5.2  $k$  düğümünde üretilen verinin ağı dolaşıp tekrar  $k$  düğümüne gelmesini engeller. Denklem 5.3 ise ağda yapılan toplam atlama sayısını bulmak içindir. Son olarak denklem 5.4 akımların negatif bir değer alamayacağını belirtir.

Şekil 5.3’de yer alan denklemlerden denklem 5.5, denklem 5.6 ve denklem 5.10 şekil 5.2’de açıklanan denklemler ile aynıdır. Denklem 5.7 ve denklem 5.8 düğümlerin veri göndermek ve almak için harcadıkları toplam enerjinin bataryalarında bulunan enerjiyi geçemeyeceğini ifade eder. Denklem 5.9 ağda yapılan toplam atlama sayısının  $\gamma$  değeri ile kısıtlanması için kullanılır. Bu sayede ağda yapılan toplam atlama sayısını kısıtlamanın, ağın yaşam süresi üzerine olan etkisi incelenmiştir.

Şekil 5.4’de yer alan denklemlerden denklem 5.11, denklem 5.12, denklem 5.17,



Şekil 5.1: Analizlerde kullanılan  $R = 200m$  yarıçaplı KAA modeli. Algılayıcı düğümlerin veri gönderebildikleri en uzun mesafe  $R_{max} = 82.92$ 'dir. Algılayıcı düğümler her seferinde rastgele dağıtılmıştır. Düğümler arası örnek veri iletişimi kesik çizgili oklar ile gösterilmiştir.

En küçük  $\gamma$   
Konular:

$$\sum_{(i,j) \in A} f_{ij}^k - \sum_{(j,i) \in A} f_{ji}^k = \begin{cases} 1 & i = k \\ -1 & i = 0 \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad \forall k \in W \quad (5.1)$$

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

$$\sum_i \sum_j \sum_k f_{ij}^k = \gamma \quad (5.3)$$

$$f_{ij}^k \geq 0 \quad \forall (i,j) \in A, \forall k \in W \quad (5.4)$$

Şekil 5.2: En küçük atlama sayısını hesaplamak için kullanılan KTP modeli.

En Büyükle  $Lt$

Konular:

$$\sum_{(i,j) \in A} f_{ij}^k - \sum_{(j,i) \in A} f_{ji}^k = \begin{cases} 1 * Lt & i = k \\ -1 * Lt & i = 0 \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad \forall k \in W \quad (5.5)$$

$$\sum_{(j,k) \in A} f_{jk}^k = 0 \quad (5.6)$$

$$\sum_{k \in W} \left( \sum_{(i,j) \in A} P_{tx,ij} f_{ij}^k + \sum_{(j,i) \in A} P_{rx} f_{ji}^k \right) \leq e_i \quad \forall i \in W \quad (5.7)$$

$$e_i = \xi \quad \forall i \in W \quad (5.8)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k f_{ij}^k \leq \gamma * Lt \quad (5.9)$$

$$f_{ij}^k \geq 0 \quad \forall (i,j) \in A, \forall k \in W \quad (5.10)$$

Şekil 5.3: Atlama sayısı kısıtlandığı durumda yaşam süresini en büyükleyen KTP modeli.

En küçükle  $\gamma$   
 Subject to:

$$\sum_{(i,j) \in A} f_{ij}^k - \sum_{(j,i) \in A} f_{ji}^k = \begin{cases} 1 * Lt & i = k \\ -1 * Lt & i = 0 \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad \forall k \in W \quad (5.11)$$

$$\sum_{(j,k) \in A} f_{jk}^k = 0 \quad (5.12)$$

$$L_p \sum_{k \in W} \left( \sum_{(i,j) \in A} E_{tx,ij} f_{ij}^k + \sum_{(j,i) \in A} E_{rx} f_{ji}^k \right) \leq e_i \quad \forall i \in W \quad (5.13)$$

$$e_i = \xi \quad \forall i \in W \quad (5.14)$$

$$Lt \geq \beta \quad (5.15)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k f_{ij}^k \leq \gamma * \beta \quad (5.16)$$

$$f_{ij}^k \geq 0 \quad \forall (i,j) \in A, \forall k \in W \quad (5.17)$$

Şekil 5.4: En uzun yaşam süresinin belirli değerlerine ulaşabilmek ( $\beta$ ) için gereken en küçük atlama sayılarını ( $\gamma$ ) çözümlen KTP modeli

```
seed = 100;
angle = 360 * uniform(0, 1);
randomradius = 100 * uniform(0, 1);
x(i)$(ord(i) = index) = randomradius * cos(angle);
y(i)$(ord(i) = index) = randomradius * sin(angle);
```

Şekil 5.5: GAMS’de düğümlerin rastgele yerleştirilmesi için kullanılan kodlar.

denklem 5.14 şekil 5.3’de açıklanan denklemler ile aynıdır. Denklem 5.13 ve denklem 5.14 düğümlerin veri göndermek ve almak için harcadıkları toplam enerjinin bataryalarında bulunan enerjiyi geçemeyeceğini ifade eder. Denklem 5.15 ağın yaşam süresinin, en uzun yaşam süresinin ( $\beta$ ) belirli bir oranından daha az olamayacağını ifade eder. Denklem 5.16 ise belirlenen yaşam süresine ulaşmak için gereken en az atlama sayısını çözümlmek için kullanılır.

GAMS programının ağ içerisinde düğümleri rastgele yerleştirilmesi için *seed* özelliği kullanılmıştır. Şekil 5.5’de yer alan kodlar düğümlerin rastgele yerleştirilmesi içindir. Burada *seed* değerine göre GAMS rastgele bir değer üretir ve düğümleri bu değeri kullanarak yerleştirir. Farklı programlarda aynı *seed* değeri ile düğümler aynı şekilde yerleştirilecektir. Bu sayede düğümlerin aynı şekilde yerleştirildiği ağlar kullandığımız farklı KTP modelleri ile çözümlenmiştir. Aynı ağ yerleşimi üzerinde yaşam süresinin en büyüklmesi, atlama sayılarının en küçüklmesi, atlama sayısı kısıtlanırken yaşam süresinin en büyüklmesi ve yaşam süresinin belirli değerlerine ulaşmak için gereken en küçük atlama sayılarının bulunmasını amaçlayan 4 farklı KTP modeli çalıştırılmıştır.

Şekil 5.2’de yer alan KTP modeli ile bulunan ağ içerisindeki en küçük atlama sayıları ( $\gamma$ ) aynı ağ yerleşimi için Şekil 5.3’de yer alan KTP modelinde bir kısıt olarak kullanılmış ve bu şekilde atlama sayısının kısıtlanmasının yaşam süresine etkileri araştırılmıştır. Aynı ağ yerleşimi için atlama sayısı kısıtı kademeli olarak artırılarak yaşam süresinde elde edilen kazançlar çözümlenmiştir.

Şekil 5.4’de yer alan KTP modeli ile ise aynı ağ yerleşimi üzerinde yaşam süresinin en uzun değerinin belirli oranlarına ( $\beta$ ) (en uzun yaşam süresinin %99’u gibi) ulaşmak için gereken en küçük atlama sayıları ( $\gamma$ ) hesaplanmıştır. Bu şekilde aynı ağ yerleşimi üzerinde 4 farklı KTP modeli kullanılarak yaşam süresi ile atlama sayısı arasındaki ilişki araştırılmıştır.

Tablo 5.2: Algılayıcı düğümlerin enerji tüketim değerlerini ve ağ modelini açıklamada kullanılan semboller ve değerleri

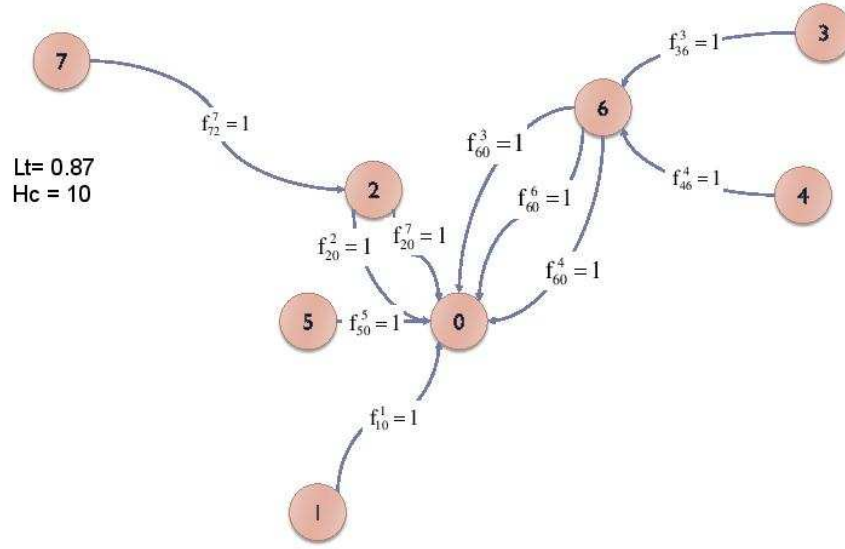
Sembol veya Kısaltma	Tanımı ve Değeri
$\xi$	Başlangıç Batarya Enerjisi
$e_i$	Batarya Enerjisi
$E_{tx}^l$	$l$ -seviyesinde harcanan veri gönderme enerjisi
$R_{max}^l$	$l$ -seviyesinde maksimum iletişim mesafesi
$d_{ij}$	Düğüm- $i$ ve düğüm- $j$ arası mesafe
$E_{rx}$	Veri alırken harcanan enerji (923 $nJ/bit$ )
$\zeta$	Kanal bandgeniřliđi (38.4 Kbps)
$L_p$	Paket uzunluğu 1024bit
$E_{cmp}$	Hesaplama için harcanan enerji
$E_{com}$	Haberleşme için harcanan enerji
$\zeta$	Ağdaki toplam düğüm sayısı
$G = (V, A)$	Ağ topolojisi
$V$	Baz istasyonu dahil tüm düğümler
$W$	Baz istasyonu hariç tüm düğümler
$A$	Arklar kümesi
$f_{ij}^k$	Düğüm- $k$ 'nın verilerinin düğüm- $i$ 'den düğüm- $j$ 'ye gönderilen kısmı
$Lt$	Ağ yaşam süresi
$T_{rnd}$	Bir tur süresi (500 s)
$s_i$	Düğüm- $i$ 'de bir turda üretilen veri miktarı
$\rho$	Her düğümün batarya enerjisi(25 KJ)
$E_{tx,ij}$	Veri gönderme enerjisi
$E_{sens}$	Algılama enerjisi
$E_{slp}$	Uyku konumunda harcanan enerji
$\gamma$	En büyük toplam atlama limiti
$\beta$	En küçük yaşam süresi limiti
$R_{net}$	Disk yarıçapı

## 6. NUMERİK ANALİZLER VE SONUÇLARI

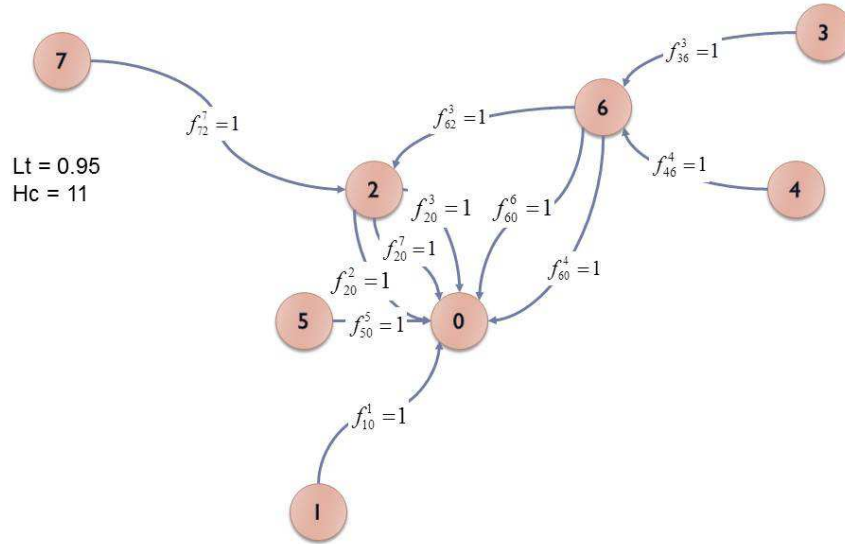
Bu bölümde KTP modellerinin GAMS ve NEOS ile analizleri sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Atlama sayısı ile yaşam süresi arasındaki ilişki açıklanmaya çalışılmıştır. Elde edilen veriler 100m, 150m ve 200m ağ yarıçapına sahip ve 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 ve 90 şeklinde farklı sayılarda düğümler içeren toplam 18 farklı ağ senaryosuna aittir. Her farklı senaryoda düğümler 50 farklı şekilde yerleştirilmiş ve elde edilen sonuçların ortalama değerleri kullanılmıştır.

Şekil 6.1, şekil 6.2 ve Şekil 6.3’de yedi düğüm ve bir baz istasyonu içeren küçük bir ağda atlama sayısının kısıtlanmasının yaşam süresine etkileri gösterilmiştir. Bu ağ için yaşam süresinin en uzun değeri 1’e normalize edilmiştir. Yaşam süresi en uzun olduğu durumda ağ içerisinde düğümler arasında toplam 17 atlama yapılmaktadır. Ağ içerisinde tüm düğümlerin baz istasyonu ile iletişimde kalabilmesi için gereken en küçük atlama sayısı ise 10’dur. Atlama sayısı bu değeri ile kısıtlandığında yaşam süresinde %13 oranında kayıp olmaktadır. Atlama sayısı kısıtı bir arttırıldığında yani 11 yapıldığında ise yaşam süresindeki kayıp %5’e düşmektedir.

Şekil 6.4’de ağda tüm düğümlerin baz istasyonu ile iletişimlerini sürdürebilmesi için gereken en küçük atlama sayıları verilmiştir. Düğüm sayısı arttıkça gereken atlama sayısı da doğal olarak artmaktadır. Daha büyük yarıçaplı ağlarda düğümler ile baz istasyonu arasındaki mesafe artacağı için yine atlama sayısı daha fazla olmaktadır. Şekil 6.5’de yaşam süresinin en uzun değerine ulaşmak için gereken en küçük atlama sayıları gösterilmiştir. Yaşam süresini uzatmak için düğümler enerjilerini daha verimli harcamaktadır bu nedenle kısa mesafelerdeki komşu

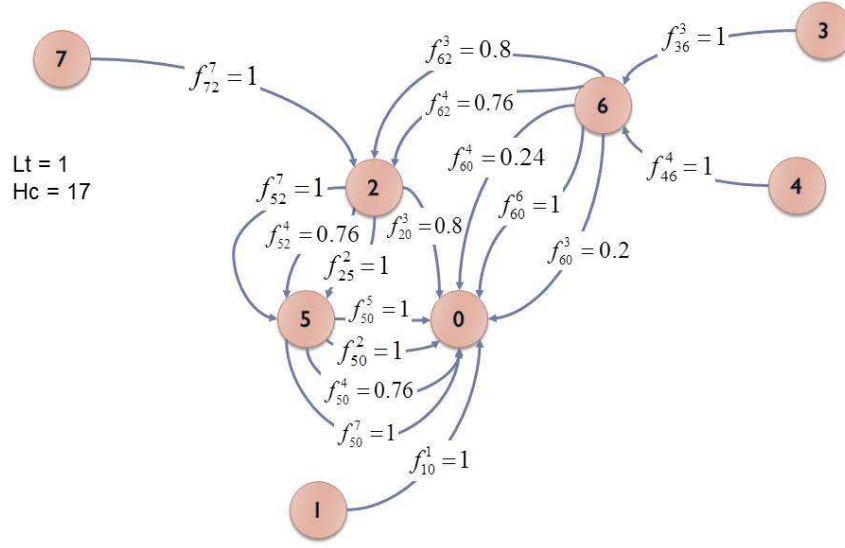


Şekil 6.1: Ağdaki toplam atlama sayısı ( $Hc$ ) en küçük değeri ile sınırlandırıldığında ulaşılabilecek en uzun yaşam süresi ( $Lt$ )



Şekil 6.2: Ağdaki toplam atlama sayısı ( $Hc$ ) en küçük değerinin bir fazlası ile sınırlandırıldığında ulaşılabilecek en uzun yaşam süresi ( $Lt$ )



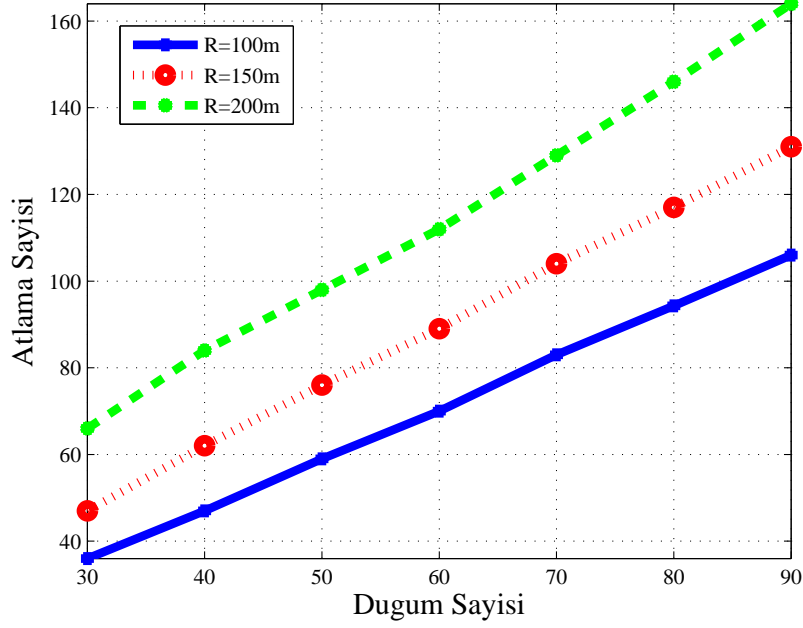


Şekil 6.3: Ağdaki en uzun yaşam süresi ( $Lt$ ) ve bu durumdaki atlama sayısı( $Hc$ ).

düğümlemler ile iletişim kurmakta ve verilerini farklı düğümlere dağıtabilmektedirler. Bu durum dolayısıyla daha fazla sayıda atlama gerçekleşmektedir.

Şekil 6.6’de farklı yarıçaplı ağlarda farklı düğüm sayılarında herhangi bir atlama sayısı kısıtı olmadan ulaşılacak en uzun yaşam süreleri gösterilmiştir. Düğüm sayısı arttıkça düğümler daha kısa mesafelerde komşu düğümleri olduğu için iletişim sırasında bunları tercih etmekte ve daha az enerji harcamaktadırlar. Bu nedenle ağın yaşam süresi artmaktadır. Ağ yarıçapının artması ise düğümlerin baz istasyonundan daha uzakta bulunma olanaklarını arttırdığı için iletişim sırasında harcadıkları enerjiyi arttırmakta bu nedenle ağ yaşam süresi azalmaktadır. Şekil 6.7’de ise ağ içerisindeki toplam atlama sayısı en küçük değere kısıtlandığında ağın ulaşabileceği en uzun yaşam süreleri gösterilmiştir. Atlama sayısını en küçük değeri ile kısıtlamak ağın yaşam süresinde ciddi kayıplara neden olmaktadır.

Şekil 6.8’de atlama sayısını en küçük değeriye kısıtlamanın ağın yaşam süresinde neden olduğu kayıplar gözükmemektedir. Düğüm sayısı ve ağ yarıçapı arttıkça yaşam süresinde meydana gelen kayıplarda artmaktadır. Şekil 6.9’de ise yaşam süresinin en uzun değeriye ulaşabilmek için en küçük atlama sayısını arttırmamız gereken

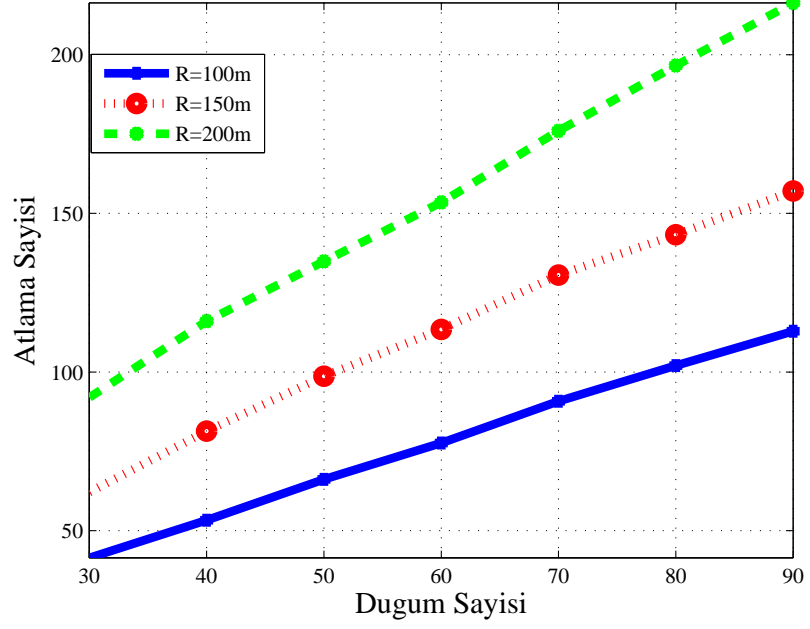


Şekil 6.4: Düğüm sayısına göre en küçük atlama sayıları.

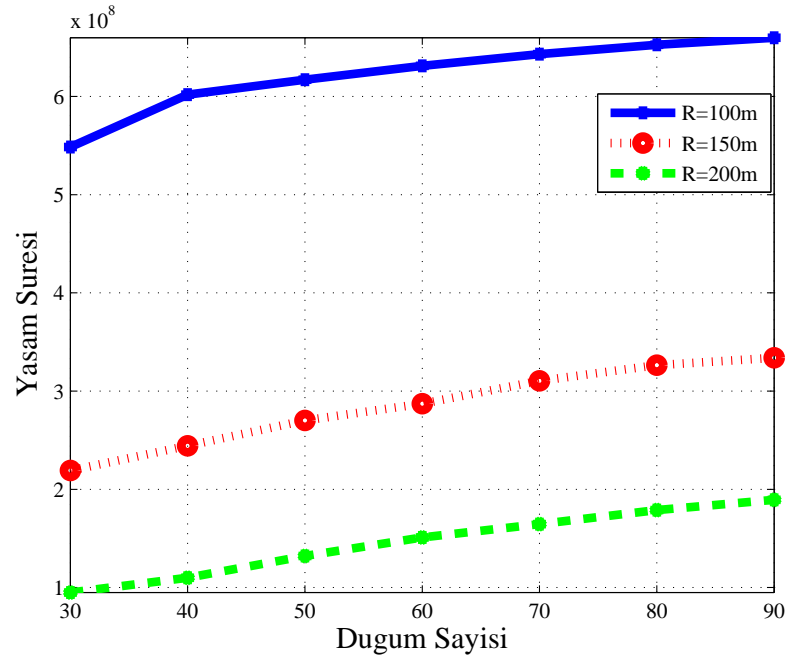
oranlar verilmiştir. Düğüm sayısı ve ağ yarıçapı arttıkça düğüm sayısını oran olarak daha fazla sayıda artırarak yaşam süresini en uzun değerine ulaştırabiliriz. Şekil 6.10'de yaşam süresini en uzun değerine ulaştırmak için her bir düğüm için gereken atlama sayısı artışı verilmiştir. Daha çok sayıda düğüm içeren ağlarda her bir düğüm için daha az sayıda atlama sayısı artışı yeterli olmaktadır.

Şekil 6.11, şekil 6.12 ve şekil 6.13'te farklı yarıçaplı ağlarda atlama sayısı limitini en küçük değerinden itibaren kademeli olarak arttırmanın yaşam süresine etkileri görülmektedir. Atlama sayısı en küçük değeri ile limitlendiğinde yaşam süresinde farklı ağlarda %20 ile %40 arasında kayıplar meydana gelmektedir. Atlama sayısı limitini %5 oranında arttırdığımızda yaşam süresi kaybı %5'e kadar düşmektedir. Atlama sayısı limitini %10 oranında arttırdığımızda ise yaşam süresindeki kayıp %1'e kadar düşmektedir ve bu kabul edilebilir bir miktardır.

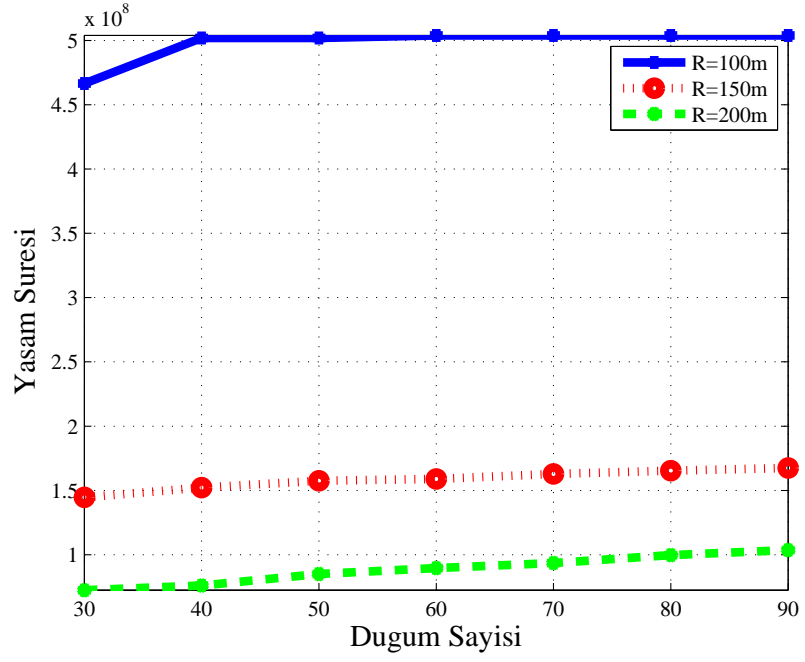
Şekil 6.14, şekil 6.15 ve şekil 6.16'da yaşam süresinin belirli değerlerine ulaşmak için atlama sayısı limitinde en küçük atlama sayısına göre yapılması gereken artış oranları farklı yarıçaplı ağlar için verilmiştir. Atlama sayısındaki %5 oranındaki artış yaşam süresinin en uzun değerinin %95'ine ulaşmamızı sağlamaktadır.



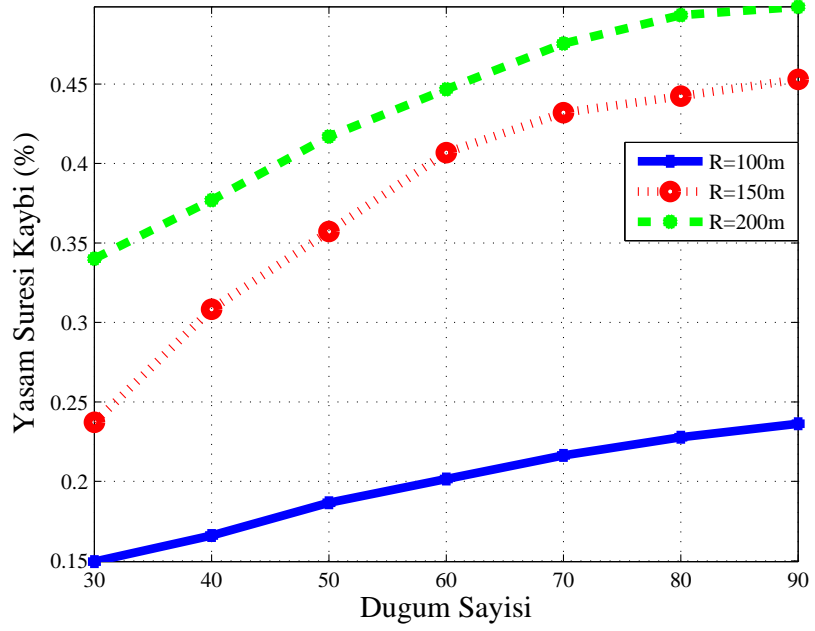
Şekil 6.5: Ağ içerisinde en büyük yaşam süresine ulaşmak için gereken en küçük atlama sayıları.



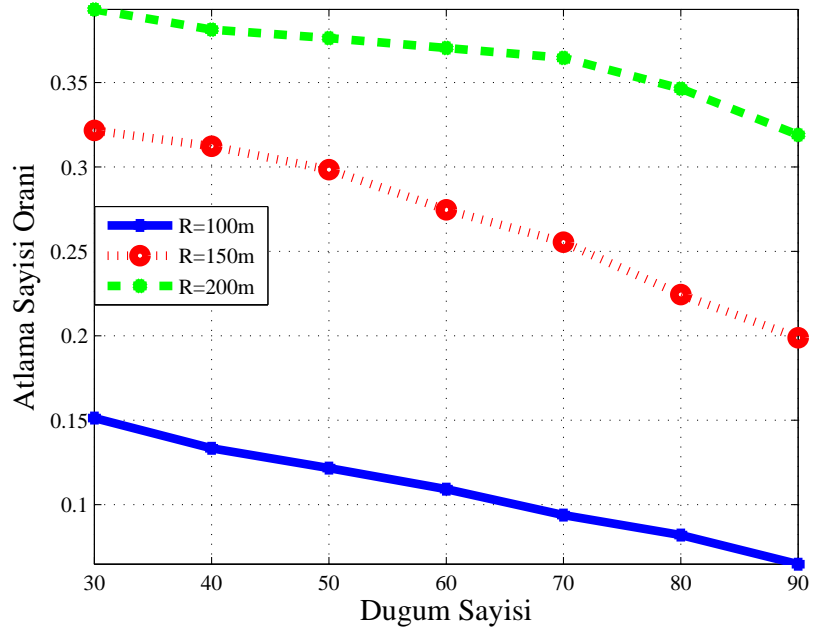
Şekil 6.6: Dugum sayılarına göre farklı yarıçaplı ağlarda en uzun yaşam süreleri.



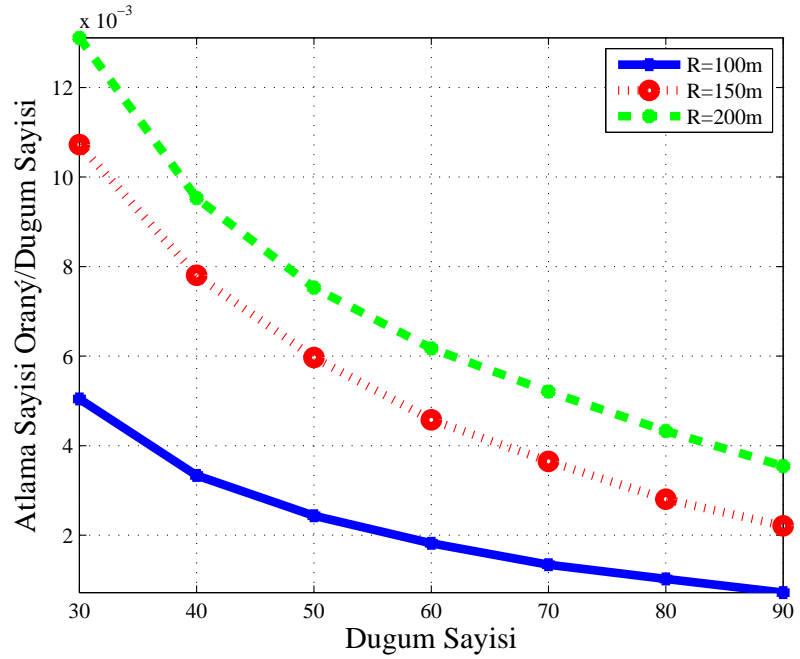
Şekil 6.7: Atlama sayısını en küçük değeri ile kısıtlandığında ağda ulaşılabilecek en uzun yaşam süreleri



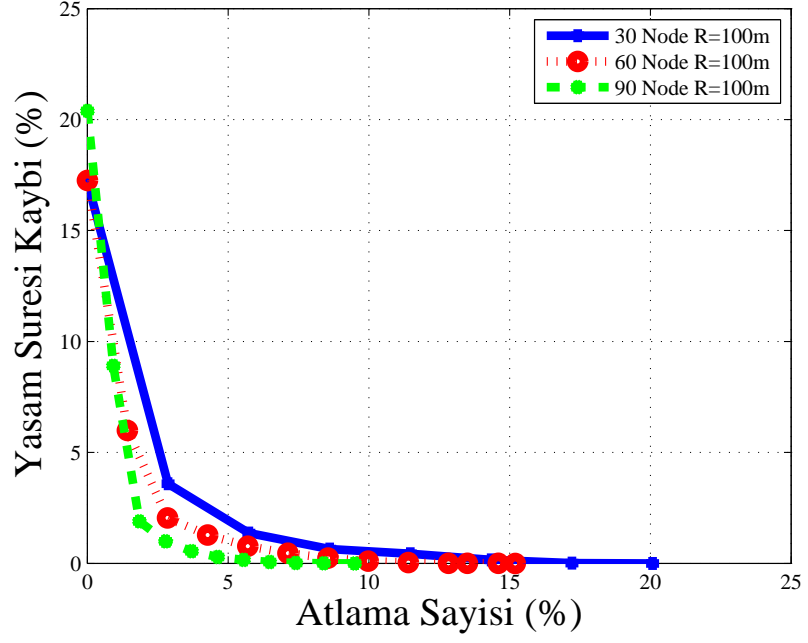
Şekil 6.8: Atlama sayısı en küçük değeri ile kısıtlandığında yaşam süresinde ağın en uzun yaşam süresine göre meydana gelen kayıplar.



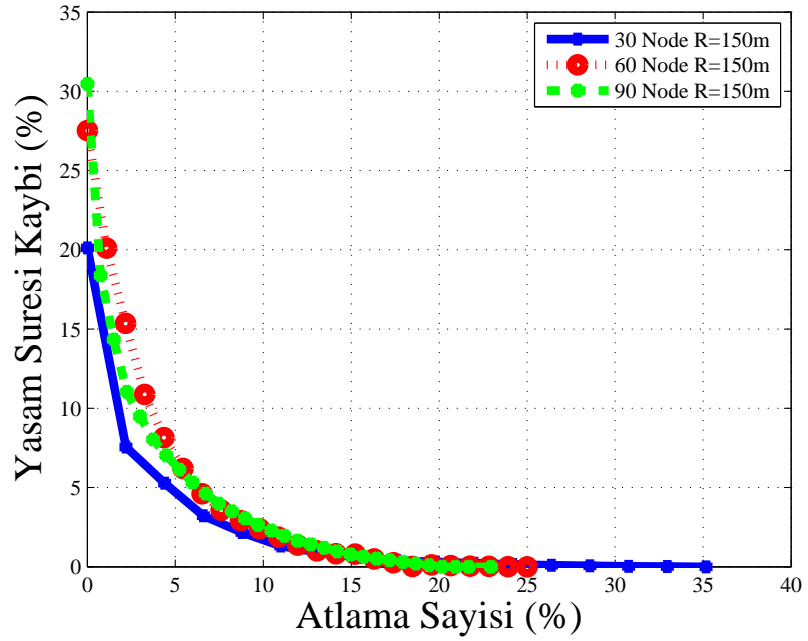
Şekil 6.9: Yaşam süresinin en uzun değerine ulaşmak için en küçük atlama sayılarını arttırmamız gereken yüzdelik oranlar.



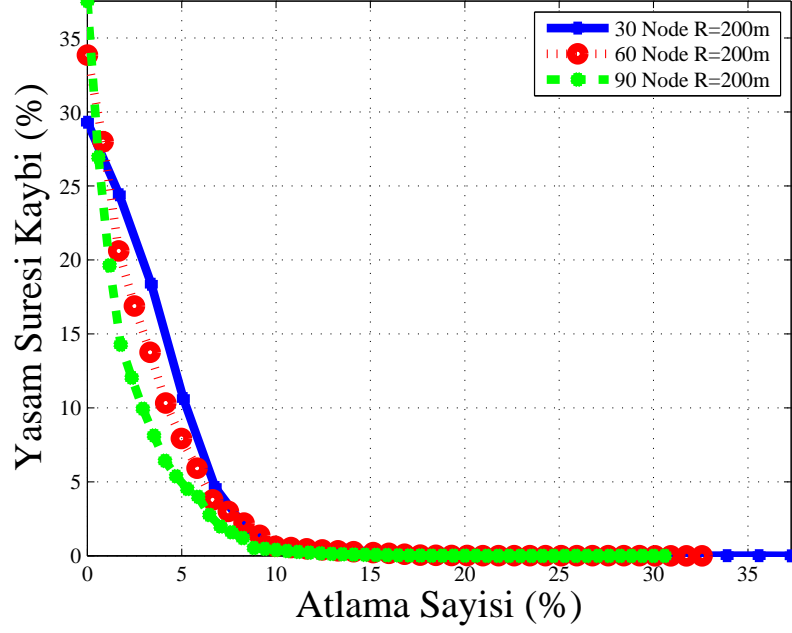
Şekil 6.10: En uzun yaşam süresine ulaşmak için ağda bulunan her bir düğüm için gereken atlama sayısı artışı



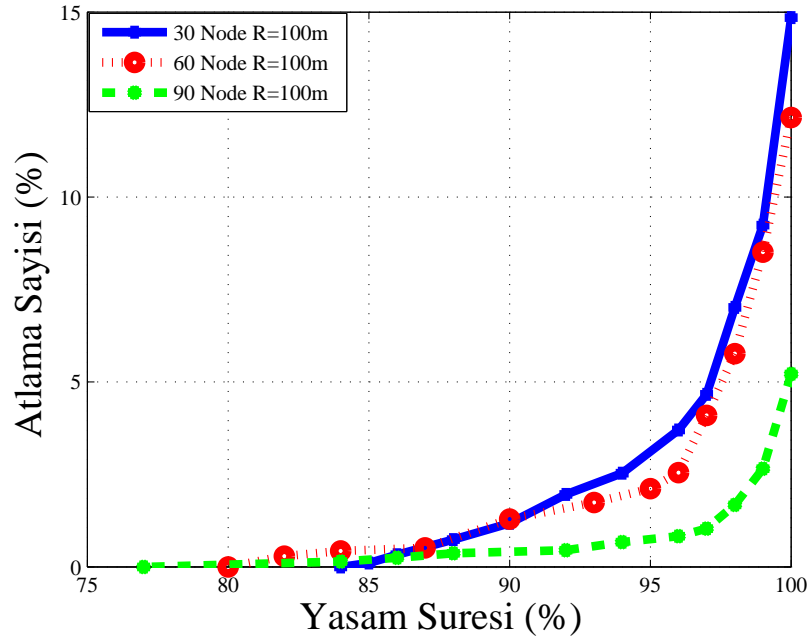
Şekil 6.11: 100m yarıçaplı atlama sayısı kısıt ve yaşam süresi arasındaki ilişki.



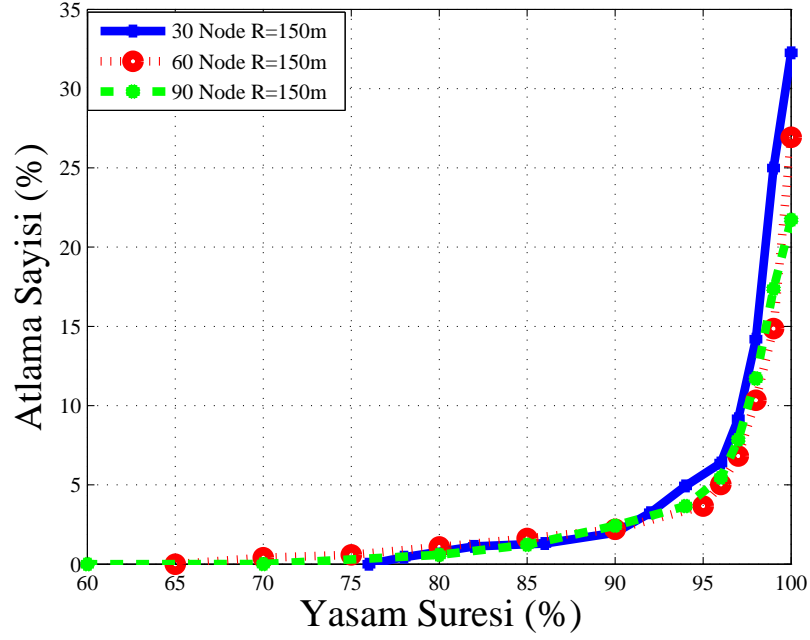
Şekil 6.12: 150m yarıçaplı atlama sayısı kısıt ve yaşam süresi arasındaki ilişki.



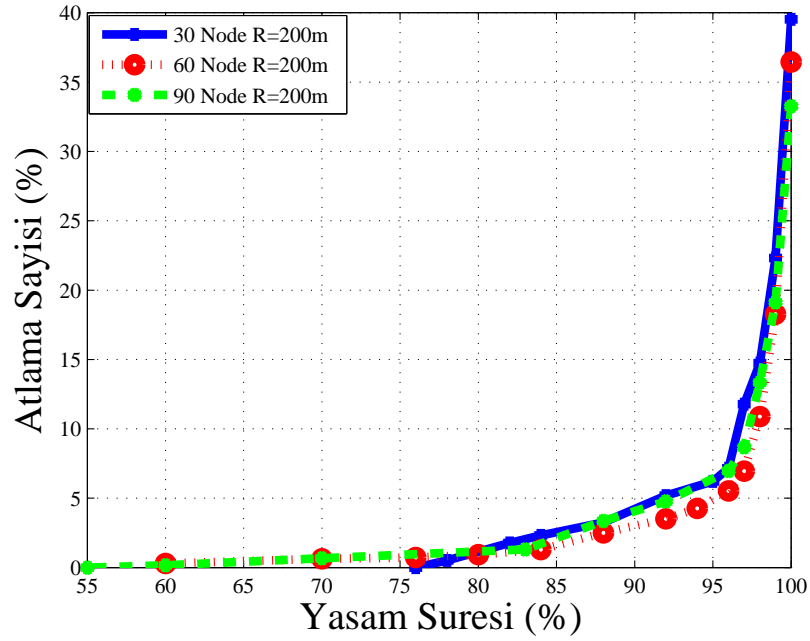
Şekil 6.13: 200m yarıçaplı atlama sayısı kısıt ve yaşam süresi arasındaki ilişki.



Şekil 6.14: 100m yarıçaplı ağda yaşam süresinin belirli değerlerine ulaşmak için gereken atlama sayısı artış oranları.



Şekil 6.15: 150m yarıçaplı ağda yaşam süresinin belirli değerlerine ulaşmak için gereken atlama sayısı artış oranları



Şekil 6.16: 200m yarıçaplı ağda yaşam süresinin belirli değerlerine ulaşmak için gereken atlama sayısı artış oranları



## 7. SONUCLAR

Bu tez çalışmasında ağdaki toplam atlama sayısını kısıtlamanın ağın yaşam süresinin nasıl etkilendiği incelenmiştir. Geliştirilen özgün KTP modelleri ile çeşitli büyüklük ve düğüm sayısına sahip ağ modelleri analiz edilmiştir. Analizlerde herhangi bir iletişim protokolü (*ing.* routing protocol) kullanılmamıştır, bu sayede olabilecek en iyi sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.

Sonuçlarımıza göre;

1. Atlama sayısını en küçük değeri ile sınırladığımız durumlarda ağın yaşam süresi %40 oranına kadar azalabilmektedir. Bu bir kablosuz algılayıcı ağ için çok ciddi bir kayıptır.
2. Yaşam süresinin en uzun değerine ulaşmak için atlama sayısını en küçük değerini %40 oranına kadar arttırmamız gerekebilir. Uygulamada atlama sayısında bu orandaki bir artış ağ içerisindeki karmaşıklığı arttırabilir, tıkanıklığa neden olabilir veya düğümleri arası girişimlere neden olabilir.
3. Atlama sayısı limitini en küçük değerinden %5 oranında arttırdığımızda yaşam süresi en uzun yaşam süresinin %95'ine kadar ulaşabilmektedir. Atlama sayısı limitini %10 oranında arttırmamız ise yaşam süresinin %99'una kadar ulaşabilmemizi sağlamaktadır.
4. Atlama sayısında izin verdiğimiz küçük bir artış genellikle baz istasyonuna yakın düğümler tarafından kullanılarak, onların üzerlerindeki veri trafiğini dağıtmalarını sağlamaktadır. Bu nedenle atlama sayısı limitindeki %5 oranındaki artış ağ yaşam süresi açısından oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

Sonuçları değerlendirirsek en küçük atlama sayısında küçük oranda bir artışa

izin vermek yaşam süresinde oldukça iyi sonuçlar elde etmemizi sağlamaktadır. KAA'lar için yönlendirme protokolleri tasarlanırken elde edilen sonuçlara göre bu durum dikkate alınabilir.

## 7.1 Öneriler ve Gelecekteki çalışmalar

En az atlama sayısına dayalı yönlendirme protokolleri geliştirilirken atlama sayısı en küçük değerinden %5 oranında daha büyük bir değerle sınırlandırabilir ve baz istasyonuna yakın düğümlerin daha fazla sayıda atlama yapabilmesine izin verilen protokoller geliştirilebilir. Ağın yaşam süresi en uzun değerine yaklaşırken, atlama sayısı en küçük değerine yakın tutulmuş olur. Bu sayede daha az girişim ve gecikmenin olduğu, daha basit, daha güvenli ve daha uzun yaşam süresine sahip KAA'lar ve yönlendirme protokolleri tasarlanabilir.

# Kaynakça

- [1] D. Riley and M. Younis. A modular and power-intelligent architecture for wireless sensor nodes. In *Local Computer Networks (LCN), 2012 IEEE 37th Conference on*, pages 304–307, 2012.
- [2] M. Healy, T. Newe, and E. Lewis. Wireless sensor node hardware: A review. In *Sensors, 2008 IEEE*, pages 621–624, 2008.
- [3] I.F. Akyildiz, Weilian Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci. A survey on sensor networks. *Communications Magazine, IEEE*, 40(8):102–114, 2002.
- [4] Alan Mainwaring, David Culler, Joseph Polastre, Robert Szewczyk, and John Anderson. Wireless sensor networks for habitat monitoring. In *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications*, pages 88–97. ACM, 2002.
- [5] John W. Chinneck. *Practical Optimization: a Gentle Introduction*. 2010.
- [6] J.N. Al-Karaki and A.E. Kamal. Routing techniques in wireless sensor networks: a survey. *Wireless Communications, IEEE*, 11(6):6–28, 2004.
- [7] M.E.M. Campista, P.M. Esposito, I.M. Moraes, L.H.M.K. Costa, O.C.M.B. Duarte, D.G. Passos, C.V.N. de Albuquerque, D.C.M. Saade, and M.G. Rubinstein. Routing metrics and protocols for wireless mesh networks. *Network, IEEE*, 22(1):6–12, 2008.
- [8] Richard Draves, Jitendra Padhye, and Brian Zill. Comparison of routing metrics for static multi-hop wireless networks. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 34(4):133–144, August 2004.

- [9] Jae-Hwan Chang and L. Tassiulas. Maximum lifetime routing in wireless sensor networks. *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, 12(4):609–619, 2004.
- [10] A. Meeraus A. Brooke, D. Kendrick and R. Raman. *GAMS: A User Guide*. The Scientific Press, 1998.
- [11] J. Czyzyk, M.P. Mesnier, and J.J. More. The neos server. *Computational Science Engineering, IEEE*, 5(3):68–75, 1998.
- [12] Shao-Shan Chiang, Chih-Hung Huang, and Kuang-Chiung Chang. A minimum hop routing protocol for home security systems using wireless sensor networks. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, 53(4):1483–1489, 2007.
- [13] Joohwan Kim, Xiaojun Lin, N.B. Shroff, and P. Sinha. Minimizing delay and maximizing lifetime for wireless sensor networks with anycast. *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, 18(2):515–528, 2010.
- [14] Chee-Yee Chong and S.P. Kumar. Sensor networks: evolution, opportunities, and challenges. *Proceedings of the IEEE*, 91(8):1247–1256, 2003.
- [15] I.F. Akyildiz, T. Melodia, and K.R. Chowdury. Wireless multimedia sensor networks: A survey. *Wireless Communications, IEEE*, 14(6):32–39, 2007.
- [16] R.V. Kulkarni, A. Forster, and G.K. Venayagamoorthy. Computational intelligence in wireless sensor networks: A survey. *Communications Surveys Tutorials, IEEE*, 13(1):68–96, 2011.
- [17] Th Arampatzis, J. Lygeros, and S. Manesis. A survey of applications of wireless sensors and wireless sensor networks. In *Intelligent Control, 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on, Mediterrean Conference on Control and Automation*, pages 719–724, 2005.
- [18] D. Puccinelli and M. Haenggi. Wireless sensor networks: applications and challenges of ubiquitous sensing. *Circuits and Systems Magazine, IEEE*, 5(3):19–31, 2005.
- [19] JohnA. Stankovic, AnthonyD. Wood, and Tian He. Realistic applications for wireless sensor networks. In Sotiris Nikolettseas and José D.P. Rolim,

- editors, *Theoretical Aspects of Distributed Computing in Sensor Networks*, Monographs in Theoretical Computer Science. An EATCS Series, pages 835–863. Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- [20] A.H. Shuaib and A.H. Aghvami. A routing scheme for the ieee-802.15.4-enabled wireless sensor networks. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 58(9):5135–5151, 2009.
- [21] R.R. Rout, S.K. Ghosh, and S. Chakrabarti. Co-operative routing for wireless sensor networks using network coding. *Wireless Sensor Systems, IET*, 2(2):75–85, 2012.
- [22] Y. Wu and W. Liu. Routing protocol based on genetic algorithm for energy harvesting-wireless sensor networks. *Wireless Sensor Systems, IET*, 3(2):–, 2013.
- [23] W.B. Heinzelman, A.P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, 1(4):660–670, 2002.
- [24] N.A. Pantazis, S.A. Nikolidakis, and D.D. Vergados. Energy-efficient routing protocols in wireless sensor networks: A survey. *Communications Surveys Tutorials, IEEE*, 15(2):551–591, 2013.
- [25] Yankun Li, Ming Zhu, Haiqin Qu, Nannan Wang, and Yichuan Song. Improved minimum hop routing protocol in wsn. In *Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel Distributed Computing (SNPD), 2012 13th ACIS International Conference on*, pages 609–614, 2012.
- [26] T.T. Son, Hoa Le Minh, G. Sexton, and N. Aslam. Investigation of the impact of hop-count and node density on manet’s performance. In *Communication Systems, Networks Digital Signal Processing (CSNDSP), 2012 8th International Symposium on*, pages 1–4, 2012.
- [27] A. K M Azad and J. Kamruzzaman. Energy efficient and hop constraint intra-cluster transmission for heterogeneous sensor networks. In *Wireless Communications and Networking Conference, 2008. WCNC 2008. IEEE*, pages 2117–2122, 2008.

- [28] Zhi Ren, Sainan Shi, Qingming Wang, and Yukun Yao. A node sleeping algorithm for wsns based on the minimum hop routing protocol. In *Computer and Management (CAMAN), 2011 International Conference on*, pages 1–4, 2011.
- [29] Zhang Jizan. An energy-related routing protocol of minimum-hop layer in wireless sensor networks. In *Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing, 2009. NSWCTC '09. International Conference on*, volume 1, pages 87–91, 2009.
- [30] Hung Quoc Vo and Choong seon Hong. Hop-count based congestion-aware multi-path routing in wireless mesh network. In *Information Networking, 2008. ICOIN 2008. International Conference on*, pages 1–5, 2008.
- [31] Jae-Young Choi, Jun-Hui Lee, and Yeong-Jee Chung. Minimal hop count path routing algorithm for mobile sensor networks. In *Computer and Computational Sciences, 2006. IMSCCS '06. First International Multi-Symposiums on*, volume 2, pages 616–621, 2006.
- [32] G.Sandhya Devi, G.Suvarna Kumar, and P.V.G.D Prasad Reddy. Article: Minimum hop energy efficient routing protocol. *International Journal of Computer Applications*, 34(4):32–36, November 2011. Published by Foundation of Computer Science, New York, USA.
- [33] Fai Cheong Choo, Mun Choon Chan, and E.-C. Chang. Robustness of dtn against routing attacks. In *Communication Systems and Networks (COMSNETS), 2010 Second International Conference on*, pages 1–10, 2010.
- [34] Mohammad Siraj and Kamalrulnizam Abu Bakar. To minimize interference in multi hop wireless mesh networks using load balancing interference aware protocol. *World Applied Sciences Journal*, 18(9):1271–1278, 2012.
- [35] Vincent Lenders Rainer Baumann, Simon Heimlicher and Martin Mays. A robust path metric for mobile wireless networks. Technical report, ETH Zürich, 2007.
- [36] Bing Qi, Saâd Biaz, Shaoen Wu, and Yiming Ji. An interference-aware routing metric in multi-radio multi-hop networks. In *Proceedings of the 45th*

*annual southeast regional conference*, ACM-SE 45, pages 549–500, New York, NY, USA, 2007. ACM.

- [37] Yong-Jae Jang, Kyoung-Wook Park, and Sung-Keun Lee. Hop-count based energy efficient traffic control mechanism in wireless sensor network. In Taihoon Kim, Hojjat Adeli, Dominik Slezak, FrodeEika Sandnes, Xiaofeng Song, Kyo-il Chung, and KirkP. Arnett, editors, *Future Generation Information Technology*, volume 7105 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 174–182. Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- [38] D. Quintas and V. Friderikos. Minimum energy and maximum capacity paths in multi hop wireless networks. In *Online Conference on Green Communications (GreenCom), 2011 IEEE*, pages 30–35, 2011.
- [39] KyoungGyu Lee, SangJin Lee, YoungGoan Kim, KooHyung Kwon, and WonGi Lim. A study for hop count on the ad-hoc of wireless communication. In *Advanced Communication Technology (ICACT), 2012 14th International Conference on*, pages 931–935, 2012.
- [40] Javier Vales-Alonso, Esteban Egea-López, Alejandro Martínez-Sala, Pablo Pavón-Mariño, M. Victoria Bueno-Delgado, and Joan García-Haro. Performance evaluation of {MAC} transmission power control in wireless sensor networks. *Computer Networks*, 51(6):1483 – 1498, 2007.
- [41] S.C. Ergen and P. Varaiya. On multi-hop routing for energy efficiency. *Communications Letters, IEEE*, 9(10):880–881, 2005.

# ÖZGEÇMİŞ

## Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : TEMİZ, Murat  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 23.03.1988 Ankara  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : 542 448 14 51  
e-mail : mtemiz@.etu.edu.tr

## Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Y. Lisans	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	2013
Lisans	Gazi Üniversitesi	2011

## Yabancı Dil

İngilizce

## Yayımlar

Tavlı, B., “Impact of Limiting Hop Count On Lifetime Of Wireless Sensor Networks”. 21. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU 2013)