

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

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN AĞ ÖMRÜNÜ MAKSİMİZE  
ETMEK İÇİN İLETİM GÜCÜ SEVİYESİ İLE VERİ PAKET BOYUNUN  
MÜŞTEREK ENİYİLENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**  
**Ayhan AKBAŞ**

**Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. A.Murat ÖZBAYOĞLU**

**Nisan 2016**



Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

**Prof.Dr. Osman EROĞUL**  
Müdür

Bu tezin Doktora derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

**Prof.Dr. Murat ALANYALI**  
Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 101111007 numaralı Doktora öğrencisi **Ayhan AKBAŞ**'ın ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN AĞ ÖM-RÜNÜ MAKSİMİZE ETMEK İÇİN İLETİM GÜCÜ SEVİYESİ İLE VERİ PAKET BOYUNUN MÜŞTEREK ENİYİLENMESİ"** başlıklı tezi 05/04/2016 tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı:** **Yrd.Doç.Dr. A.Murat ÖZBAYOĞLU** \_\_\_\_\_  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

**Eş Danışman:** **Prof.Dr. Bülent TAVLI** \_\_\_\_\_  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

**Jüri Üyeleri:** **Yrd.Doç.Dr. Mehmet Efe ÖZBEK (Başkan)** \_\_\_\_\_  
Atılım Üniversitesi

**Yrd.Doç.Dr. Esra KADIOĞLU ÜRTİŞ** \_\_\_\_\_  
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

**Yrd.Doç.Dr. Enver ÇAVUŞ** \_\_\_\_\_  
Yıldırım Beyazıt Üniversitesi



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.

Ayhan AKBAŞ



## ÖZET

Doktora Tezi

KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN AĞ ÖMRÜNÜ MAKSİMİZE ETMEK  
İÇİN İLETİM GÜCÜ SEVİYESİ İLE VERİ PAKET BOYUNUN MÜŞTEREK  
ENİYİLENMESİ

Ayhan AKBAŞ

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. A.Murat ÖZBAYOĞLU

Tarih: Nisan 2016

Veri paket boyu ve iletim güç seviyesi, daha yüksek enerji verimliliği ve sonuç olarak daha uzun ağ yaşam süresi elde etmek için en hayati faktörlerden ikisidir. Veri iletiminde küçük paket boyu kullanımı, toplamda daha az bit hatası sağlaması nedeniyle iletimdeki veri paket kaybını azaltıcı etkisi olmaktadır. Öte yandan, daha küçük paket kullanımı, iletilecek verinin daha fazla parçalara bölünmesine sebebiyet vererek daha fazla veri paket üretilmesine, dolayısıyla da daha fazla enerji sarfiyatına yol açmaktadır. Bu sebeple, her bir büyük yada küçük paket boyutu kullanım kararının belli enerji verimsizliklerine sebep olmasından dolayı karşımıza hassas bir ödünleşme çıkmaktadır. İletim güç seviyesini artırmak paket kaybı ihtimalini azaltmaktadır ki bu da ağ yaşam süresini maksimize etmek için optimize edilmesi gereken karar değişkenlerinden biri olmaktadır. Bu önemli iki faktörün beraberce ele alınması, maksimum ağ yaşam süresi elde etme yolunda optimizasyon probleminin karmaşıklık seviyesini artırarak, çözümü oldukça zorlaştırmaktadır. Bu tez çalışmasında, deneysel olarak teyit edilmiş Mica2 düğümlerinin enerji sarfiyat karakteristikleri ve Kablosuz Algılayıcı Ağların (KAA) kanal modeli temel alarak bağlantı katmanı seviyesinde gerçekçi bir model temel alınmıştır. Bağlantı katmanı seviyesinde modeli kullanılarak iletim güç seviyesinin ve veri paket boyunun müşterek optimizasyonu sağlamaya yönelik bahsettiğimiz ödünleşmeye çözümlenmesi için özgün bir Karma Tamsayı Programlama

Çalışma erevesi kullanılmıştır. Veri paket boyu ve iletim güç seviyesinin müşterek optimizasyonun kablosuz algılayıcı ağların yaşam süresi üzerinde etkilerini karakterize etmek amacıyla geniş bir parametre uzayında geliştirilen ereve sistem (framework) ile sayısal hesaplamalar yapılarak, elde edilen neticeleri üzerinde değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kablosuz Algılayıcı Ağlar, Ağ mr Maksimizasyonu, Karma Tamsayı Programlama, İletim Gc Seviyesi Kontrolü, Veri Paket Boyu.





## ABSTRACT

Doctor of Philosophy

### JOINT OPTIMIZATION OF TRANSMISSION POWER LEVEL AND DATA PACKET SIZE FOR WIRELESS SENSOR NETWORK LIFETIME MAXIMIZATION

Ayhan AKBAŞ

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

Supervisor: Asst.Prof. A. Murat OZBAYOGLU

Date: April 2016

In pursuit of better energy efficiency and enhanced network lifetime in Wireless Sensor Networks (WSNs), two crucial factors are data packet size and the transmission power level. Smaller packet size reduces the overall impact of bit error rates on packet loss, however, the consequence of smaller packet size is fragmentation into more data packets and thereby dissipation of increased energy. Hence, there emerges a delicate engineering tradeoff in deciding the data packet size where both low and high data packet size decisions lead to certain energy inefficiency issues. On the other hand, increasing transmission power level decreases packet loss probability, which is another decision variable to optimize for maximizing network lifetime. Joint consideration of these two factors exacerbates the complexity of the optimization problem for the objective of the network lifetime maximization. In this study, we utilized a realistic WSN link layer model built on top of empirically verified energy dissipation characteristics of Mica2 motes and WSN channel models. We make use of the aforementioned link layer model to form a novel Mixed Integer Programming (MIP) framework for joint optimization of transmission power level and data packet size to take up the challenge introduced above. Numerical evaluations of the MIP framework with discussion of the results over a large parameter space are performed to characterize the effects of joint optimization of packet size and power level on WSN lifetime.

**Keywords:** Wireless Sensor Networks, Network Lifetime Maximization, Mixed Integer Programming, Transmission Power Level Control, Data Packet Size.



## TEŞEKKÜR

Doktora çalışmalarım boyunca değerli bilimsel katkılarıyla yardımlarını esirgemeyen, her zaman yanımda olan ve beni yönlendiren, çok değerli tez danışmanı hocalarım Sayın Prof. Dr. Bülent Tavlı'ya ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Murat Özbağcı'na sonsuz saygılarımla en derin teşekkürlerimi sunuyorum. Şuan bu satırları yazıyor olmamı sağladıkları için kendilerine müteşekkirim.

Doktora eğitimim boyunca hep yanımda olan, desteğini esirgemeyen sevgili eşim Kevser'e ve doktora çalışmalarım sebebiyle yeterli zaman ayıramadığım biricik çocuklarım Eylülnaz ve Atahan'a sonsuz sabırları için çok teşekkür ediyorum.

Bu tez, beni bugünlere getiren, başta rahmetli babam, Müh. Abdullah Akbaş'ın aziz hatırasına ve hep doktor olmamı isteyen canım annem, Şerif Fatma Akbaş'a adanmıştır. Manevi destekleri ile beni her zaman motive eden kardeşlerim, Psikolog Yrd. Doç. Dr.Ayla Akbaş, Yük.Müh. Aykan Akbaş, Biyolog Aynur Akbaş'a ayrıca sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> . . . . .	iv
<b>ABSTRACT</b> . . . . .	vi
<b>TEŞEKKÜR</b> . . . . .	viii
<b>İÇİNDEKİLER</b> . . . . .	ix
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> . . . . .	xi
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> . . . . .	xii
<b>KISALTMALAR</b> . . . . .	xiii
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> . . . . .	xiv
<b>1. GİRİŞ</b> . . . . .	1
1.1 Çalışmanın Hedefi . . . . .	1
1.2 Problem Tanımı ve Çalışmanın Önemi . . . . .	1
1.3 Problem Tanımı . . . . .	1
1.4 Sınırlamalar . . . . .	2
1.5 Varsayımlar . . . . .	2
1.6 Çalışmanın Katkıları . . . . .	3
1.7 Tez Konu Organizasyonu . . . . .	4
<b>2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR</b> . . . . .	5
2.1 Genel Yapı . . . . .	5
2.2 KAA Özellikleri . . . . .	5
2.3 KAA Uygulama Alanları . . . . .	6
2.3.1 Kablosuz Algılayıcı Ağlardaki Kısıtlar . . . . .	8
2.4 Kablosuz Algılayıcı Ağların Çalışma Prensipleri . . . . .	8
2.5 Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Ömür Tanımı . . . . .	9
2.6 Fonksiyonlarına Göre Düğümler . . . . .	10
2.7 KAA Topoloji Çeşitleri . . . . .	11
<b>3. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR</b> . . . . .	13
3.1 Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Enerji Verimliliği ve İletim Gücü Konularında Yapılan Çalışmalar . . . . .	13
3.2 Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Veri Paket Boyu Konularında Yapılan Çalışmalar . . . . .	13
<b>4. SİSTEM MODELİ</b> . . . . .	17
4.1 Sistem Modeli . . . . .	17
4.2 Genel Bakış . . . . .	17
4.3 Veri Bağlantı Katmanı Modeli . . . . .	20

4.4 KTP Çalışma Çerçevesi . . . . .	22
<b>5. MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA ALTYAPISI . . . . .</b>	<b>27</b>
5.1 Genel Bakış . . . . .	27
5.2 Karma Tamsayı Programlama . . . . .	27
5.3 GAMS ve Karma Tamsayı Programlama . . . . .	28
5.3.1 Simplex metodu . . . . .	29
5.4 MATLAB Programlama . . . . .	30
5.4.1 MATLAB-GAMS arayüz bağlantısı . . . . .	30
<b>6. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN AĞ ÖMRÜNÜ ETKİLEYEN PA- RAMETRELER . . . . .</b>	<b>31</b>
6.1 Sistem Modeli . . . . .	32
6.1.1 Genel Bakış . . . . .	32
6.2 Analiz . . . . .	32
6.3 Değerlendirmeler . . . . .	33
<b>7. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ OPTİMİZASYON MODELLERİ İÇİN NÖRAL AĞ TEMELLİ HIZLI PARAMETRE TAHMİN YAKLAŞIMI . . . . .</b>	<b>39</b>
7.1 Giriş . . . . .	39
7.2 Literatürde Yakın Çalışmalar . . . . .	39
7.3 Sistem Modeli . . . . .	41
7.4 Nöral Ağlar . . . . .	41
7.5 Sayısal Analiz . . . . .	43
7.6 Değerlendirmeler . . . . .	53
<b>8. ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELER . . . . .</b>	<b>55</b>
8.1 Sayısal Analizler . . . . .	55
8.2 Geçiş Bölge Analizi . . . . .	55
8.3 Izgara Topoloji Analizi . . . . .	57
8.4 Alıcı Hassaslık Seviyesi Kriterinin Etkisi . . . . .	60
8.5 Rastgele Ağların Analizi . . . . .	66
<b>9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER . . . . .</b>	<b>75</b>
9.1 Sonuç . . . . .	75
<b>KAYNAKLAR . . . . .</b>	<b>76</b>
<b>EKLER . . . . .</b>	<b>89</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ . . . . .</b>	<b>98</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Kablosuz Sensör Düğümünün iç yapısı . . . . .	6
Şekil 2.2: Mica2 düğümü . . . . .	7
Şekil 2.3: KAA'da bilgi akışı . . . . .	7
Şekil 2.4: Küçülen boyutların bir örnek: ısı-nem sensorü . . . . .	10
Şekil 4.1: Veri Paketi Yapısı . . . . .	17
Şekil 4.2: Tipik Kablosuz Algılayıcı Ağ Mimarisi . . . . .	18
Şekil 4.4: KTP Çerçevesi. . . . .	23
Şekil 5.1: Doğrusal Programlamada koşutların köşe kesişmesi . . . . .	29
Şekil 5.2: Simplex metodu ile köşe taşınması . . . . .	30
Şekil 7.1: Temel Nöron modeli . . . . .	42
Şekil 7.2: Ağ ömrü tahmini için NA modeli . . . . .	43
Şekil 7.3: Düğümler arası mesafe tahmini için NA modeli. . . . .	43
Şekil 7.4: İletim güç seviyesi için NA modeli . . . . .	44
Şekil 7.5: Ağ ömrü tahmininde epoch sayısı. . . . .	44
Şekil 7.6: İletim güç seviyesi tahmininde epoch sayısı . . . . .	45
Şekil 7.7: Düğümler arası mesafe tahmininde epoch sayısı. . . . .	45
Şekil 7.8: Ağ ömrü tahmini regrasyon sonuçları. . . . .	46
Şekil 7.9: Güç seviyesi tahmini regrasyon sonuçları . . . . .	47
Şekil 7.10: Düğümler arası mesafe regrasyon sonuçları . . . . .	48
Şekil 7.11: Düğümlerarası mesafe tahmini performans histogramı . . . . .	50
Şekil 7.12: Farklı grid boyları ve düğümler arası mesafe için koşma süreleri ve standart sapmaları . . . . .	51
Şekil 8.2: Izgara topoloji yapısı. . . . .	58





## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1: Topoloji Karşılaştırması.	12
Çizelge 3.1: Literatürdeki çalışmaların karakteristiklerine göre sınıflandırılması . . . . .	14
Çizelge 4.1: CC1000 ile donatılmış Mica2 düğümlerinde farklı güç seviyeleri ( $l$ ) için [1], her güç seviyesinde ( $l$ ), iletim güç harcaması ( $P_{tx}^{crc}(l)$ mW) ve anten çıkış gücü ( $P_{tx}^{ant}(l)$ mW) . . . . .	20
Çizelge 7.1: Doğrusal Regrasyon Modellerinin Tahmin Performansları. . . .	49
Çizelge 7.2: Nöral Ağ Tahmin Modellerinin Tahmin Performansları. . . .	49
Çizelge 7.3: Farklı grid boyları ve düğümler arası mesafe için koşma süreleri ve standart sapmaları ( $\pm$ işareti ile ekli). . . . .	52
Çizelge 8.1: Ölçüm noktaları, ilgili düğüm mesafesi $d_{int}$ , ve ortalama başarılı tokalaşma değerleri ( $E[p^{HS,s}]$ ). . . . .	57
Çizelge 8.2: Şekil 8.1'deki $Y$ , $Z$ , and $T$ nokta grupları gösterimi. . . . .	57
Çizelge 8.3: Güç seviyesi $l = 26$ iken farklı düğüm sayıları ( $N_N$ ) için $T_0$ 'den $T_1$ 'e $d_{int}$ arttıkça, ağ ömrünün düşüşü (%) . . . . .	60
Çizelge 8.4: Çeşitli veri yükleri, $d_{int}$ değerleri ve $N_N$ değerleri için Şekil 8.6'de verilen $P(p^{HS,s} \geq 0.99)$ değerleri. . . . .	67
Çizelge 8.5: Çeşitli veri yükü değerleri, $R_{net}$ ve $N_N$ değerleri için Şekil 8.11'da $P(l = 26)$ değerleri verilmiştir. . . . .	73



## KISALTMALAR

<b>ACK</b>	: Onay Paketi ( <b>ACK</b> nowledge)
<b>ARQ</b>	: Otomatik Tekrar İsteği (Automatic Repeat Request)
<b>AWGN</b>	: Additive White Gaussian Noise (Eklenen Beyaz Gauss Gürültüsü)
<b>BER</b>	: Bit Hata Oranı (Bit Error Rate)
<b>CDMA</b>	: Kod Bölmeli Çoklu Erişim (Code Division Multiple Access)
<b>CRSN</b>	: Bilişsel Radyo Algılayıcı Ağlar
<b>DP</b>	: Doğrusal Programlama (linear programming)
<b>DSN</b>	: Dağınmık Algılayıcı Ağlar (Distributed Sensor Networks)
<b>FEC</b>	: İleri Hata Düzeltme (Forward Error Correction)
<b>FSK</b>	: Frequency Shift Keying (Frekans Kaydırma Anahtarlama)
<b>GAMS</b>	: Genel Cebirsel Modelleme Sistemi (General Algebraic Modeling System)
<b>KA</b>	: Kablosuz Algılayıcı Ağlar
<b>KTP</b>	: Karma Tamsayı Programlama (Mixed Integer Programming)
<b>MAC</b>	: Ortam erişim kontrolü (Media Access Control)
<b>MIP</b>	: Mixed Integer Programming
<b>PRR</b>	: Paket alma oranı (Packet Reception Rate)
<b>RSSI</b>	: Radyo sinyal seviyesi göstergesi (Radio Signal Strength Indicator)
<b>SNR</b>	: Sinyal-Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio)
<b>WSN</b>	: Kablosuz Algılayıcı Ağlar (Wireless Sensor Network)
<b>TP</b>	: Tamsayı Programlama (integer programming)
<b>TDMA</b>	: Time Division Multiple Access (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim)
<b>QoS</b>	: Quality of Service (Hizmet Kalitesi)
<b>MLP</b>	: Multi Layer Perceptron (Çok Katmanlı Perseptron)
<b>NN</b>	: Neural Network (Nöral Ağlar-NA)
<b>LR</b>	: Linear Regression ( Doğrusal Regrasyon -DR)
<b>VAN</b>	: Vücut Alanı Ağı (Body Area Network -BAN)



## SEMBOL LİSTESİ

### Simgeler Açıklama

$N_{rnd}$	Tur sayısı
$T_{rnd}$	Tur Süresi (60 saniye)
$f_{ij}$	Düğüm- $i$ 'den düğüm- $j$ 'e akan veri paket sayısı
$\rho$	Başlangıçta herbir algılayıcı düğüme tanımlanan enerji (25 KJ)
$s_i$	Her turda düğüm- $i$ 'de üretilen veri miktarı
$N_N$	Düğüm Sayısı
$d_{ij}$	Düğüm- $i$ ve düğüm- $j$ arası mesafe
$E_{PP}$	Paket işleme enerjisi (120 $\mu$ J)
$P_{tx}^{crc}(l)$	$l$ -güç seviyesinde iletim için güç sarfiyatı
$P_{tx}^{ant}(l)$	$l$ -güç seviyesinde anten çıkış gücü
$P_{rx}^{crc}$	Paket alımı için güç sarfiyatı (35.4 mW)
$\xi$	Kanal veri hızı (19.2 kbps)
$E_{DA}$	Veri yakalama enerjisi (600 $\mu$ J)
$T_{DA}$	Veri işleme zamanı (20 ms)
$M_{PL}$	Veri yük boyu (30–240 Byte)
$M_H$	Başlık boyu(16 Byte)
$M_P$	Veri paket boyu
$M_A$	Alındı bildirim paket boyu (20 Byte)
$T_{slot}$	Zaman dilimi
$T_{grd}$	Guard Time (100 $\mu$ s) (Veri gönderimi ile onay alımı arasındaki zaman)
$T_{rsp}$	Tepki Zamanı (500 $\mu$ s)
$P_{slp}$	Uyku halinde güç sarfiyatı (3 $\mu$ W)
$T_{tx}(\varphi)$	$\varphi$ Byte verinin iletim süresi
$n$	Yol kaybı katsayısı (3.69)
$\Upsilon_{ij}$	$d_{ij}$ mesafedeki yol kaybı(dB)
$\Upsilon_0$	Referans mesafede yol kaybı (31 dB)
$X_\sigma$	Gölgelemeyi sembolize eden $\sigma = 1.42$ standart sapmaya sahip sıfır ortalamalı Gauss rastgele değişkeni (dB)
$P_n$	Gürültü seviyesi (-115 dBm)
$\psi_{ij}(l)$	Düğüm $i$ 'deki güç seviyesi- $l$ ile iletim nedeniyle düğüm $j$ 'deki sinyal-gürültü oranı (dB)
$P_{rx,ij}^{ant}(l)$	$(i, j)$ linkindeki $l$ güç seviyeli iletim kaynaklanan alış sinyal gücü
$p_{ij}^s(l, \varphi)$	$(i, j)$ linkindeki $l$ güç seviyesindeki $\varphi$ byte iletimi için başarılı paket alma olasılığı
$p_{ij}^f(l, \varphi)$	$(i, j)$ linkinde $l$ güç seviyesindeki $\varphi$ byte iletimi için başarısız paket alma olasılığı

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$P_{ij}^{HS,s}(l, k)$	Başarılı tokalaşma olasılığı
$P_{ij}^{HS,f}(l, k)$	Başarısız tokalaşma olasılığı
$\lambda_{ij}(l, k)$	$(i, j)$ linkinde paket tekrar gönderim oranı
$P_{sns}$	Hassasiyet seviyesi (-102 dBm)
$E_{tx}^P(l, \varphi)$	$l$ güç seviyesi ile $\varphi$ -Byte paket veri göndermek için gerekli enerji
$E_{tx}^{HS}(l, M_P)$	Bir zaman diliminde (slot) gönderici devrenin toplam enerji sarfiyatı
$E_{tx,ij}^D(l, k)$	Gönderici devrenin tekrar gönderimler dahil tokalaşmayı tamamlamak için gerekli enerji tüketimi
$E_{rx,ji}^D(l, k)$	Alıcı devrenin tekrar gönderimler dahil tokalaşmayı tamamlamak için gerekli enerji tüketimi
$E_{rx}^{HS,s}(k, M_A)$	Başarılı tokalaşma için alıcı devrenin enerji sarfiyatı
$E_{rx}^{HS,f}$	Veri paketi hataları nedeniyle başarısız bir tokalaşma durumunda alıcı devrenin enerji harcaması
$T_{bsy,i}$	$i$ düğümünün toplam meşgul olduğu süre
$I_{jn}^i$	Girişim Fonksiyonu
$l_{min}$	Minimum güç seviyesi (seviye-1)
$l_{max}$	Maksimum güç seviyesi (seviye-26)
$l_{ij}^{opt}$	$i$ düğümünden $j$ düğümüne bir veri paketi göndermek için optimum güç seviyesi
$k_{ji}^{opt}$	$j$ düğümünden $i$ düğümüne onay (ACK) paketi göndermek için Optimum güç seviyesi
$S_L$	Tüm güç seviyelerinin kümesi
$G = (V, A)$	Ağ topolojisini gösteren yönlü grafik
$V$	Baz istasyon düğüm-1 dahil düğüm kümesi
$W$	Algılayıcı düğümlerin kümesi

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Çalışmanın Hedefi

Bu çalışmada, kablosuz algılayıcı ağların (KAA) fonksiyonel kullanımını maksimize etmek için ağ ömürlerinin artırılması hedeflenerek, daha önce incelenmemiş olan iletim güç kontrolü ve veri paket boyu müşterek optimizasyonu ele alınmış ve oluşturulan deneysel verilerle teyit edilmiş model üzerinde etkilerinin saptanmasına odaklanılmıştır.

## 1.2 Problem Tanımı ve Çalışmanın Önemi

Kablosuz algılayıcı ağlar, bataryadan güç alan düğümlerden oluştuklarından sınırlı ömre sahiptirler [2]. İletim güç seviyesi, data paket boyutu ile beraber, iletişim performansı ve enerji verimliliği dolayısıyla ağ ömrü üzerinde direk etkiye sahip hayati değişkenlerden birisidir [3]. Fakat paket boyutunu üzerine karar vermemiz gerektiğinde bir ödünleşme ile karşı karşıya kalırız. Şöyle ki büyük paketler daha fazla veri taşıma kapasitesine sahip olduklarından dolayı enerji verimlilikleri yüksektir. Ancak olası bit bozulmalarının artacağından dolayı verinin tekrar gönderim ihtimali de artacaktır. Bununla beraber küçük paket boyutu çok daha yüksek güvenilirlik sağlar, ne var ki daha az enerji verimliliği sağlaması, daha fazla paket yönetimi gerektirmesi, paket kodlama/kod çözme işleminden dolayı gecikmelere neden olması olumsuz yönleridir. Enerji iletim güç seviyesinin iletişim performansı ile yakın bağlantısından dolayı, ağ ömrünü azamileştirme için objektif fonksiyonlar olarak bu parametreleri birlikte inceledik. Paket boyutunu optimize etmeyi hedef alarak, gerçek dünya verileriyle doğruluğu onaylanmış, bağlantı seviyesi tam el-sıkışması içeren gerçekçi bir kanal modeli kullandık. Bu modeli kullanarak GAMS üzerinde, karma tamsayı programlama teknikleri ile parametre uzayında ağ ömrünü azamileştiren optimal paket boyutları üzerinde çalışmalar gerçekleştirildi.

## 1.3 Problem Tanımı

Tez konusu çalışmada, kablosuz algılayıcı ağların ömürlerinde belirleyici olan enerji kısıtını en çok etkileyen iletişim güç seviyesi ile veri paket boyunun ele alınarak müşterek olarak ağ ömrünü üzerinde etkileri ile ilgili şu soruların cevabı aranmıştır:

1. İki düğüm ele alındığında bu düğümler arasında tam-tokalaşma başarılı gerçekleşme olasılıklarında düğümler arasındaki mesafenin rolü nedir? Düğümler arası linklerde başarılı tokalaşma olasılıklarına göre bölgeleri nasıl tanımlayabiliriz?
2. Başarılı tokalaşma olasılığının yüksek (bağlantılı) veya düşük (bağlantısız) ve geçiş bölgelerinin oluşumunda iletim güç seviyesinin etkisi nedir?

3. Başarılı tokalaşma olasılığının yüksek (bağlantılı) veya düşük (bağlantısız) ve geçiş bölgelerinin oluşumunda veri paket boyunun etkisi nedir?
4. Verilen bir iletim gücü için paket boyunun değişimi etkisi nedir?
5. Alıcı hassasiyet seviyesinin dikkate alınmasının düğümlerarası bağlantı bölge oluşumlarında etkisi nedir?
6. Alıcı hassasiyet seviyesinin hesaba katılmasının optimal paket boyuna pozitif yada negatif etkisi var mıdır?
7. Daha küçük boyutlu veri paketlerinin kullanımının ağ ömrünü maksimize ettiği bir bölge var mıdır?
8. Onay paket boyunun seçiminin ağ ömrüne etkisi var mıdır?
9. Sistem modelindeki KAA parametrelerinin değişiminin KTP çalışma çerçevesini ne derece zorlaştırmaktadır? çözümü nedir?

#### 1.4 Sınırlamalar

Çalışmada modelleme esas olarak Crossbow firması tarafından üretilen ve Kablosuz Algılayıcı Ağlar konusunda en çok temel alınan Mica2 düğümü kullanılmıştır [4]. RF iletim gücü seviyeleri ve birçok parametre, modülün CC1000 alıcı-vericisinin teknik özellikleri temel alınarak oluşturulmuştur. Farklı düğüm ve alıcı-vericiler için model parametreleri değiştirilerek adapte edilebilir.

#### 1.5 Varsayımlar

Bu çalışmanın temelini oluşturan modellemede bazı temel varsayımlar öngörülmüştür:

1. Ağ sabit düğümlerden oluşmaktadır (Hem algılayıcı düğümler, hem baz istasyon).
2. İlk düğümün enerjisi bitmesiyle ağın ömrünün tükendiği varsayıyoruz. Bunun sebebi, ağdaki düğüm kaybı ile işlevsellikte zaaf oluşması ve askeri uygulamalarda özellikle güvenlik, takip, gözlemleme gibi kritik işlevlerin güvenilirliğini kaybetmesidir.
3. Ağdaki tüm düğümlerin verilerini ilettikleri baz istasyonun tüm ağ topolojisi bildiği, veri akışını merkezi şekilde planlayabilecek yeterli düzeyde kompütasyon gücüne ve yeterli enerji kaynağına sahip olduğu kabul edilmiştir.
4. Ağ içindeki tüm düğümlerin kabaca zaman senkronizasyonuna sahiptir. Hiç bir gecikme olmaksızın ve tatminkar performansla sahip KAA için geliştirilmiş protokoller bulunmaktadır [5]



5. Tipik bir KAA için tekrar organize olma zamanı yeterince uzundur [6], dolayısıyla topolojinin keşifi ve rotaların yeniden oluşturulması, tüm enerji harcamasının çok küçük bir oranı oluşturmaktadır( %1 den daha az [7]). Dolayısıyla kontrol için yapılan enerji harcaması, toplam enerji harcaması üzerine ciddi bir maliyet getirmeyeceğinden ihmal edilebilir.
6. Düğümler arasında linklerin girişimini enaza indirgeyen, çatışma bağımsız, zaman bölmeli çoklu erişim algoritmasına sahip TDMA tabanlı MAC katmanı öngörülmüştür. Modelde, gerekli koşullar [8] oluşturulmuştur. Bunun ötesinde, dinamik TDMA yaklaşımı ile tasarlanan MAC protokollerinde, pratikte, veri çakışmalarını ihmal edilebilir seviyeye indirmek mümkündür [9].
7. Her bir link üzerindeki yol kaybı, kapalı halka güç kontrol mekanizması ile ölçülebilir ve modelde bu tip bir mekanizmanın etkin olduğu varsayılmaktadır.
8. Üretilen veri paketleri atomik veri paketleri olarak ele alınmaktadır ve hiç atlama düğümü üzerindeyken parçalanması yada toplanması söz konusu değildir.
9. Her turda linklerin yeniden oluşturulması ve yol kayıplarını yeniden hesaplanması öngörülmüştür.
10. Her düğüm her bir tur zamanında sabit  $s_i$  data üretir.
11. Ağ ömrü 60 saniyelik  $T_{RND}$  tur zamanlarından oluşmuştur. Tüm ağ ömrü  $N_{RND} * T_{RND}$ 'e eşittir.

## 1.6 Çalışmanın Katkıları

Bu tez çalışmasıyla KAA'ların ağ ömürlerinin incelenmesinde daha önce yapılmamış olan veri boyutunun ve iletim güç seviyesinin müşterek incelenmesi ve optimizasyonunun gerçekleştirilmesi sağlandı. Literatürde yapılmış çalışmalarda özellikle göz ardı edilen alıcı hassasiyet seviyesi gibi parametreler yapılan modellemede dikkate alınarak gerçekçi bir çalışma çerçevesi oluşturulması sağlanmıştır. Çalışmaların yapılması sürecinde özgün olarak yaptıklarımızı sıralayacak olursak:

1. Kablosuz algılayıcı ağların ağ ömrünün maksimize edilmesi için paket boyutu ile iletim güç seviyesini müşterek gözönüne alarak bir karma tamsayı programlama metodu (mixed integer programming) ile özgün bir çalışma çerçevesi oluşturuldu.
2. Kablosuz Algılayıcı Ağların temelini oluşturan Mica2 düğümlerinin enerji harcanım karakteristiğini kanal modeli ile beraber deneysel olarak teyit etmiş KAA karakteristiklerini soyutlayan bir bağlantı katmanı modeli tanımlandı.
3. Modelimizin gerçekçiliği ve detay seviyesi, düğümün iletişim modülünün ortaya çıkarılmamış yönlerini ve iletim güç seviyesi ile veri paket boyutunun KAA maksimum ağ ömrü için kanal bağımlı karakteristiklerin keşfedilmesi imkanı sağlandı.

## 1.7 Tez Konu Organizasyonu

Referanslar, ekler, özgeçmiş haricinde tez 9 ana bölümden oluşmaktadır. Bölüm 2’de Kablosuz algılayıcı ağlar konusunda genel kapsamlı bilgiler verilmiştir.

Bölüm 3’de tez konusu alanda daha önce yapılmış en yakın olan çalışmalar aktarılarak bilgilendirmeler yapılmıştır. Literatürdeki iletişim güç seviyesi ile veri paket boyu konusunda yapılmış araştırmalar özetlenmiş, yaptığımız çalışmalarla olan farklar öne konmuştur.

4.Bölümde tez çalışmasında yararlanılan sistem modeli tanıtarak modelle ilgili detaylı bilgiler paylaşılmıştır. Modeldeki KTP optimizasyon çalışma çerçevesinin tüm detayları ile adım adım anlatılmıştır.

Bölüm 5’te Bölümde ise yaptığımız çalışmada kullandığımız yazılım araçları tanıtarak, izlenen matematiksel altyapı anlatılmıştır.

Bölüm 6’da Kablosuz algılayıcı ağların ağ ömürlerine etki eden parametrelerden veri paket boyu ile ACK onay paket boyunun etkileri incelenerek sonuçlar paylaşılmıştır.

Bölüm 7.de bölüm 4’te verilen sistem modelini temel alarak sistem modelinin yetersiz kaldığı büyük ölçekli ağlarda kullanılmak üzere nöral ağ tahmin modelleri geliştirilmiş ve bu konu ile ilgili tüm çalışma detayları verilmiştir. Bölüm sonunda elde edilen sonuçlar yorumlanarak değerlendirilmiştir.

8.Bölümde de analiz ve değerlendirmeler yapılmıştır. Son bölümde ise, elde edilen sonuçların tartışılarak yorumlamalar yapılmış ve ileride yapılacak çalışmalar için öneriler ortaya konmuştur.

## 2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR

### 2.1 Genel Yapı

Algılayıcı ağlarla ilgili fikirlerin temeli 70'li yıllara kadar uzansa da o dönemlerin teknolojik yetersizlikleri nedeniyle hayata geçirilememişlerdir. Algılayıcılarının aşırı büyük yapıları nedeniyle bakım ve kullanım zorlukları başlıca problemlerdi. 2000 li yıllara gelindiğinde micro elektro-mekanik sistemdeki gelişmeler, minyatürleşen ve gücü artan işlemciler ve gelişen radyo alıcı-vericileri ile kablosuz algılayıcı ağlar ilgi çeken araştırma konularından biri olmuştur [10–15]. Kompakt yapıları, düşük enerji tüketimleri, kablosuz iletişim özellikleri, sürekli ilerleyen teknoloji sayesinde artan işlemci güçlerinin yanısıra, minyatür haline gelmekte olan geniş hafıza kapasiteleri ile kablosuz algılayıcı ağ düğümleri kendilerine özel gömülü bir sistem oluşturmaktadırlar [16]. Kablosuz algılayıcı ağların kabiliyetleri sebebiyle askeri alanlar önde olmak üzere her alanda uygulama şansı bulması, zaman içinde düşen maliyetlerle daha da artmıştır. Sahaya rastgele yada bir strateji çerçevesinde geniş bir coğrafik alana atılarak yüzlercesi yada binlercesi bir tasarsız ağ oluşturabilmekte ve düğümler algılayıcı donanımları ve RF alıcı-vericileri ile bir ağ oluşturmaktadırlar. Kollektive bir şekilde işbirliği yaparak bilgiyi sahadan toplayarak ve direk baz istasyona (tek-atlamalı) veya birbirleri üzerinden röle yaparak (çok-atlamalı) merkezi baz noktasına iletmekte ve algılayıcı ağı izlenmesi ve sorgulanmasına imkan sağlanmaktadır.

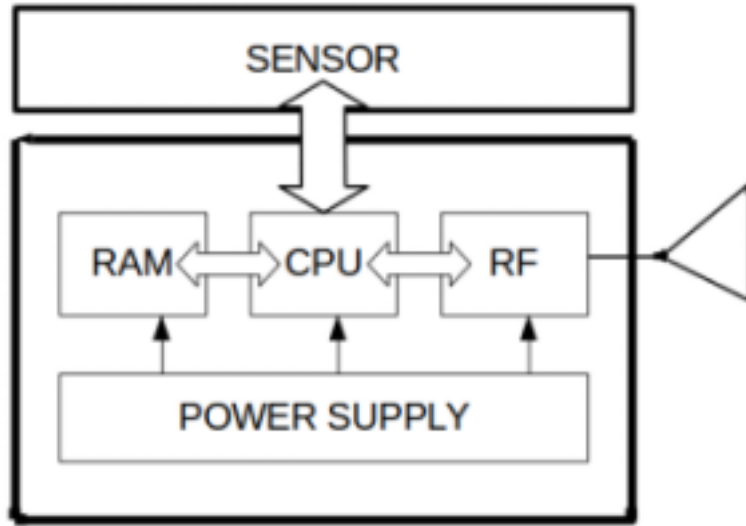
Kablosuz algılayıcı ağların kullanımında sıklıkla gözlenen parametreler ise sıcaklık, nem, basınç, rüzgar yönü ve hızı, aydınlatma yoğunluğu, titreşim yoğunluğu, gürültü yoğunluğu, güç hattı voltajı, kimyasal konsantrasyonlar, kirlilik seviyeleri vs. olmaktadır [17]. Algılayıcı düğümler çevresel faktörlerinden elde ettikleri verileri merkezi olarak izlenmesine olanak tanımaktadırlar. Kablosuz algılayıcı ağlar, alt yapının bulunmadığı yerlerde(yönlendiriciler, erişim noktaları vs) kendilerini organize ederek tasarsız ağ oluşturma kabiliyetindedirler.

Kablosuz algılayıcı ağ düğümlerinin güç kaynakları, işlem gücü kapasiteleri, maliyet unsurları ve teknolojik kaynaklı sebeplerle kısıtlı olmaktadır [18]. Bu kısıtlı kaynaklardan en verimli yararlanılması için enerji-verimli algoritmalar ve protokoller geliştirilmekte, haberleşme ve veri iletim rota stratejileri üzerinde çalışılmaktadır. Düğümlerin maliyetlerinin asgaride tutulması için genel olarak algılayıcı devrenin yanısıra AtMega128 gibi 8 bitlik bir mikrokontroller, CC1000 RF alıcı-verici, ve güç kaynağı olarak da 2 adet AA tipi pillerden yararlanılmaktadır [4, 19].

### 2.2 KAA Özellikleri

Kablosuz algılayıcı ağların kendilerine özgü yönleriyle diğer kablosuz ağ tiplerinden ayrılırlar:

- Algılayıcı düğümler boyut olarak oldukça küçük, maliyet olarak düşük maliyetlidirler.
- Bir KAA'daki düğüm sayısı yüzlerce yada binlerce olabilir.
- Esas güç kaynağı düğüm üzerindeki pildir.
- Mümkün oldukça yoğun olarak alana atılırlar.
- Düğümler kablosuz olarak haberleşirler.
- Kendi kendine otonom çalışırlar.
- Kendi kendilerine organize olurlar.
- Güvenlik önemli bir unsurdur.
- Sınırlı enerji, işlem gücü ve belleğe sahiptirler.
- Buldukları topoloji değişkenlik gösterebilir.



Şekil 2.1: Kablosuz Sensör Düğümünün iç yapısı

### 2.3 KAA Uygulama Alanları

Düşen maliyetler sebebiyle her geçen gün daha fazla kullanım alanı bulmakla kullanım alanları şu şekilde sıralanabilir:

**Endüstriyel Otomasyon** Üretimde ürünlerin gözlenmesi, takibi ve yerleştirilmesi vb.[20, 21]

**Akıllı Evler** Evlerin akıllı ısıtma, soğutma ve aydınlatma sistemleri vb. kontrolü [22, 23], akıllı binalarda ısı kontrollü ve enerji tasarrufu [22, 24–27]

**Tarım** Tarım alanının nem ve sıcaklık parametrelerinin takip edilmesi [28–33]

**Doğal Yaşam** Vahşi hayatın takip ve kontrolü [34]

**Sağlık** Hastaların uzaktan takip edilerek gerçek zamanlı izlenmesi [35–37]

**Fiziksel Değişim** Sıcaklık, nem, rüzgar gibi parametrelerin takibi [38, 39]

**Araç Takibi** Araç trafiğinin izlenmesi [40, 41]

**Orman Yangını Tesbiti** Orman yangınlarının başlangıç aşamasında tesbiti [42]

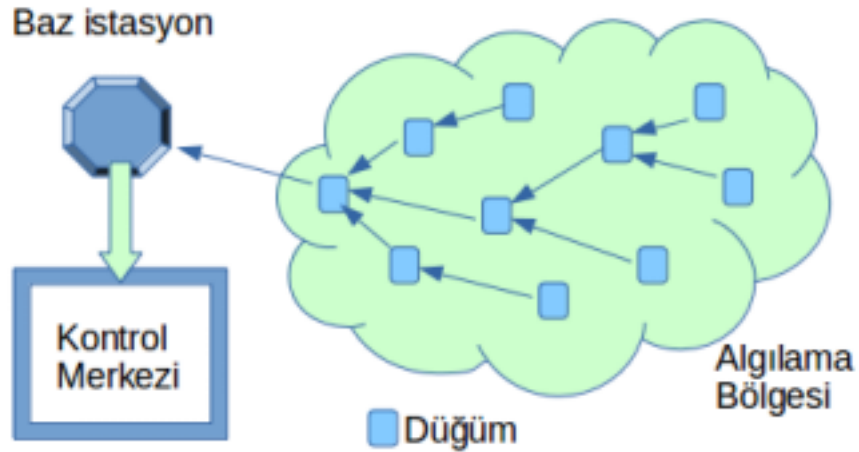
**Doğal Felaket Önlenmesi** Deprem ve toprak kayması gibi felakete karşı yer hareketlerinin izlenmesi [43–47]

**Çevre** Çevre faktörlerinin izlenmesi [48], hava kirliliği [49–51], su kirliliği [52]

**Doğalgaz** Petrol Boru hatlarının takibi ve boru hatlarının kaçaklara karşı gözlenmesi [53]



Şekil 2.2: Mica2 düğümü



Şekil 2.3: KAA'da bilgi akışı

### 2.3.1 Kablosuz Algılayıcı Ağlardaki Kısıtlar

Diğer kablosuz ağ yapılarından farklı olarak kablosuz algılayıcı ağlar kendisine özgü kısıtlara sahiptir:

- Düşük maliyetlere ulaşılması için algılayıcı düğümler kısıtlı kaynaklar ile donatılmıştır. Hesaplama yetenekleri ve bellek miktarı sınırlıdır. Hesaplama yeteneklerinin sınırlı olması verilerin ham olarak gönderimi öne çıkarsa da bu da güvenlik sorunlarına neden olmaktadır.
- Sensör ağlarında düğümler hareketli olabilir. Bu sebeple ağ topolojisi değişme uğrayabilir. Bu ise düğümleri daha fazla enerji sarfiyatına sebebiyet vermektedir.
- Veri yönlendirmesi noktadan noktaya olabileceği gibi ve çok nokta atlamalı olabilir. Topoloji değişimi veri paket rotasını değiştirebilir.
- Yoğunlukla çevresel değişimlerin takibi amacıyla kullanıldıklarından çevresel koşullardan kolay bozulabilir yada enerjileri tükenebilir.
- Çok sayıda ve düzensiz dağıtıldıklarından yoğunluktan kaynaklı girişim yaşanabilir ve veri paket kaybı oluşabilir. Etkileşimin önüne geçilmesi için yakın düğümlerin aynı anda iletimde olmamaları gerekmektedir.
- Ad-hoc yapı nedeniyle düğümlerde bağlantı tanımlamalarının yapılması gerekir.
- Doğru veri toplamasını gerçekleştirmek yeterli algılayıcı düğüm yoğunluğuna sahip olunmalıdır.
- Algılayıcı düğümler öz-örgütlenme (self-organising) yapabilmeli ve komşuluğundaki düğümlere ilişkin topoloji bilgisine sahip olmalıdır.
- Komşuluğundaki düğümlerle veri işleme ve veri taşıma işbirliği yapabilmelidir.
- Ağ üzerindeki tüm düğümler zaman senkronlu olmak zorundadır.

### 2.4 Kablosuz Algılayıcı Ağların Çalışma Prensipleri

Bir sensör düğümü oluşturan parçalar, algılayıcı birim, merkezi işlemci (CPU), RF Transceiver ve güç kaynağı (batarya) dır. Kablosuz algılayıcı ağ düğümleri kaynak kısıtlı oldukları ve sınırlı enerjiye sahip batarya ile çalıştıklarından enerjinin verimli kullanımını çok önemlidir. Düğümlerin üzerindeki bataryaların tekrar şarj edilmeleri yada yenileri ile değiştirilmeleri teknik olarak mümkün olmaması yada tercih edilmedikleri için düğümün ömrü, üzerindeki bataryanın ömrüyle sınırlı kalmaktadır. Bir Kablosuz Algılayıcı Ağın (KAA) operasyonel ağ ömrü, sahaya ilk kurulum ile ölen ilk düğümün arasında kalan zaman periyodu [54, 55] olarak tanımlanmıştır. Dolayısıyla ağdaki tüm düğümlerin enerjilerini öyle dengeli şekilde harcamalıdır ki herhangi bir düğümün erken batarya ölümü mümkün olduğu kadar ötelenebilsin ve ağ ömrü olabildiğinde uzasın [56]. Tüm araştırmalar düğümlerin gereksiz enerji sarfiyatını azaltmayı hedeflemekte ve eldeki enerjinin verimli kullanımını sağlayarak ağın fonksiyonel ömrünü maksimize etmek için güç yönetim politikaları üzerinde yoğunlaşmaktadırlar. KAA ağ

ömrünü maksimizasyonu hedefini başarmak için, iletim enerji harcamasının en akıllıca yönetilmesi gerekliliği, toplam enerji tüketiminde en baskın harcama kaleminde iletişim olması sebebiyle belirgin hale gelmektedir.

## 2.5 Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Ömür Tanımı

KAA'lar limitli kaynakları (enerji, hız, saklama alanı) gibi özellikleri diğer tasarsız ağlardan farklılaştırır [13]. Bu sınırlamaların yanısıra kendilerine özel gereksinimleri (çeşitli yoğunlukta saha kullanımları, tehlikeli ortamlarda da çalışabilmeleri gibi) [57] karşılama da farklı bir yönleridir. Rota ve veri yayılma şemaları [58], kendi kendilerine organize olabilme özellikleri [59], sensör düğümlerinin verimli dağıtılması [60], sensör düğümlerinin diğer ağlarla (SANET) etkileşimi [61] gibi KAA'ların tüm yönleri incelenmiştir.

Kaynak kısıtlı bir ortamda, tüm kaynakların kullanımı göz önünde tutulmalıdır. Ağ ömrü, algılayıcı ağın faydalı olduğu zaman için bir üst sınır koymaktadır. Bir ağ canlı kabul edildiği sürece görevlerini yerine getirebilir. Bu açıdan ağın sağlayacağı maksimum fayda için bir indikatör olarak düşünülebilir, gerçek bir saha uygulamasına maliyetlerin hesaplanmasında teyit için faydanılabilir. Ağ ömrü aynı zamanda ağ güvenliği ve erişilebilirlik için temel parametre olarak da görülmektedir [62].

Ağ ömrü ilk düğümün ölmesi ile sona ermektedir. Bu yaklaşım tüm düğümlerin eşit öneme sahip olduğu ve bir düğümün işlevsiz kalmasının tüm ağa etki ettiği durumlar için doğrudur [63]. Baz istasyonun şebekeden enerji aldığı kabul edilerek düğümlerden hariç tutulmaktadır [63]. Bu yaklaşım hesaplama kolaylığından dolayı da tercih edilmektedir.

n-of-n tanımında algoritmalar her düğümün için maksimum ömrü garanti eder. Şöyle ki KAA algoritmalar enerjiyi düzenli bir şekilde tükenmesini sağlar, böylelikle çoğu düğüm ilk düğümün hemen sonrasında tükenir. Bu modeli kullanan bir çok araştırmacı da vardır [64, 65]. Mhatre ve arkadaşları [66] bunun özellikle tek atlamalı ağlar için korumacı bir yaklaşım olduğunu belirtmektedirler.

"k out of n nodes are alive" (k-of-n lifetime) yaklaşımı ise k adet düğüm tükendiği zaman ağ ömrü tamamlandığı kabul edilmekle beraber bu yaklaşımda n-k düğümün stratejik noktalarda olabileceği ve sonucunda ağın fonksiyonlarını yerine getirip getiremeyeceği belirsiz olacağı da aşıkardır [67]. Hellman [68] bunun çözümü için kritik olan m düğüm ve olmayan düğümler olarak ayırarak m-in k-of-n şeklinde tanımladıysa da k-of-n için karşıt görüşler geçerliliğini korumaktadır. Diğer bir tanım da ilk küme başının enerjisinin tüketmesidir [69][70] ki çok sınırlı olarak ve kümeleme yapılarından kullanılır; bu durumda da gene n-of-n tanımı kuralları geçerlidir.

Tüm düğümlerin tüm enerjilerini tüketmeleri [71] ömür tanımı ise çok nadiren kullanılmıştır. Bunun yanısıra kapsanan alana göre ağ ömrü, enaz k-düğüm ile kapsandığı süre [72], %100 kapsama ile tüm hedeflerin tümünün kapsandığı süre [73], tüm alanın enaz bir düğüm tarafından kapsandığı süre [74, 75] olarak yapılmaktadır. Ayrıca, tüm alanın enaz alfa kadarının enaz bir düğüm tarafından kapsandığı süre [76–78], kapsama alanının daha önceden belirlenmiş alfa eşik değerinin altına düşmesine kadar geçen süre [79] olarak da verilmektedir.

Kablosuz Algılayıcı Ağların ağ ömürlerine ilişkin kabul gören birçok tanımlamalar bulunmaktadır[2]. Bunlar sırasıyla,

- (All-nodes-die) Düğümlerin algılama alanına atıldıktan sonra tüm düğümlerin batarya enerjilerinin tükenmesine kadar geçen süre.
- (k-of-N) Düğümlerin algılama alanına atıldıktan sonra tüm N adet düğümden k adedinin batarya enerjilerinin tükenmesine kadar geçen süre.
- (First-node dies) Düğümlerin algılama alanına atıldıktan sonra ilk bataryası biten düğümün enerjisinin tükenmesine kadar geçen süre.

Ağ ömrü için önerilen diğer metrikler bazıları ise:

- Başarılı veri toplama atlamalarının sayısı [80–82]
- Baz istasyona doğru rotaya sahip düğümlerin yüzdesi [83]
- Toplam gönderilen mesaj sayısı [84, 85]
- Bağlantılığın veya kapsamanın kaybedildiği ana kadar geçen süre [66, 86–88]
- Ağın kabul edilebilir olay tesbit edebilme oranını sağlayamadığı zamana kadar geçen süre [71]
- Ağın uygulamanın gereksinimlerini karşılayabildiği süre [89–92]



Şekil 2.4: Küçülen boyutların bir örneği: ısı-nem sensörü

## 2.6 Fonksiyonlarına Göre Düğümler

KAA'larda bir düğüm birçok işlevi üstlenebildiği gibi bir düğümün tek bir işlevi de olabilir. Üstlendikleri rollere göre düğümleri sınıflandırabiliriz:

**Algılayıcı Düğüm** Algılayıcı düğümler, buldukları ortamdaki ısı, nem, ışık, hareket, ses gibi fiziksel olayları algılayıp rapor edecek şekilde tasarlanmışlardır. Olay gerçekleştiğinde, yada periyodik olarak algılama gerçekleştiğinde düğüm, gerekli bilgiyi yakalayıp yada ölçerek sayısallaştırır. Sonrasında bu veriyi diğer düğümler üzerinden baz istasyona aktarımını gerçekleştirir. Algılayıcı düğüm, enerjisini algılama ve veri iletimi için harcar.



**Baz İstasyon** Bir KAA'da baz istasyon fonksiyonunu üstlenen sadece 1 düğüm bulunabilir. Ağda toplanan tüm bilgi bu düğümde toplanır. Bu düğümün sınırsız enerjiye, tüm KAA topoloji bilgisine ve görevlerini yerine getirecek ölçüde yeterli hesaplama gücüne sahip olduğu kabul edilir. Dolayısıyla bu düğümün enerji harcamaları, enerji sarfiyatı yada verimlilik hesaplarına dahil edilmez.

**Röle Düğümü** Bir algılayıcı düğüm bir algılama yaptıktan sonra elindeki veriyi baz istasyona direk göndermesi mümkün değilse yada enerji verimliliği açısından anlamlı değilse başka bir düğüme gönderir. Bu olay bilgi baz istasyona ulaşmaya kadar bilgiyi alan tüm düğümlerce tekrarlanır. Röle işlevi görürken düğümler veriyi sadece iletirler. Veri üzerinde işlem yapılmaz, verinin parçalanması yada diğer verilerle birleştirilmesi yapılmaz. Bu işlevi yaparken düğüm bilgi alımı ve gönderiminde enerji sarfiyatında bulunur.

**Kümebaşı Düğümü** Büyük topolojilerde baz istasyonun düğümlere uzak kalması sebebiyle düğümlerin enerjilerinin büyük bir kısmını veri iletimine harcamaları ve tüm düğümlerin diğer düğümler için röle vazifesi görmesi, düğümlerin enerjilerinin daha hızlı tükenmesine ve gereğinden fazla trafik oluşmasına neden olmaktadır. Bu sebeple, düğümleri kümelere ayırarak her bir düğümün kendi küme başına veriyi aktarması ve küme başında baz istasyon gibi kendi kümesi içindeki düğümlerden veri toplaması daha enerji verimli olduğu görülmüştür. Küme başı düğüm kendisine gelen verileri toplayarak baz istasyona aktarır. Küme başı düğümün algılama özelliği bulunmamaktadır.

## 2.7 KAA Topoloji Çeşitleri

KAA'lar daha yoğun düğüm dağılımı ağ için daha fazla enerji ve daha hassas ölçümler anlamına gelse de düğüm yoğunluğunun yaratacağı trafik iyi yönetilmediği takdirde paket çarpışmalarına ve ağ tıkanıklıklarına yol açacaktır. Bu durumun devamında artan gecikmeler, düşen verimlilik ve sonuç olarak enerji kaybı ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerin önüne geçilmesinde ağ topolojileri büyük öneme sahiptir. Her topolojinin kendine özel avantaj ve dezavantajları vardır [93].

1. Yıldız Topoloji: Tüm düğümleri merkezi tek bir düğüme bağlandığı topolojidir. Tüm düğümler merkezi düğümlerle direk haberleşme yapabileceği 30-100 metrelik alan içindedir. Merkezi düğüm tüm trafiği yönetme ve karar verme yeteneğine sahiptir.
2. Örgü Topoloji: Örgü topolojisi tüm düğümlerin hem direk birbiriyle hem de merkezi düğümlerle haberleştiği temel olarak çok atlamalı bir yapıdır. Her düğüm tüm düğümlerle bağlı olduğundan hataya karşı çok korumalıdır. Herhangi bir düğüm arızalandığında yapı kendini yeniden ayarlar. Bu yapıda temel problem, enerji yada gecikmeden ziyade yapının büyütülebilirliğidir.
3. Halka Topoloji: Adından da anlaşılacağı gibi, yapı halka şeklinde olduğundan herhangi bir düğüm yada link arızası durumunda tüm algılayıcı ağı etkilenir. Günümüzde halka ağ topolojisi tercih edilmemektedir. Bu topolojinin bir avantajı merkezi düğüm olmamasıdır.

4. Küme Topoloji: KAA'da düğümler verilerini baz istasyon yerine dahil oldukları küme içinde belirlenmiş küme başına aktarırlar. Küme başı düğümleri kendilerine iletilen bilgileri baz istasyona aktarırlar. Bu şekilde oluşan kümeler kendi aralarında da örgü ağı gibi başka bir topoloji oluşturabilirler. Küme topolojisinin de bir çok varyantı bulunmaktadır. Bu topoloji enerji verimliliği nedeniyle çoğunlukla tercih edilmektedir.

Topolojilerin avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1: Topoloji Karşılaştırması.

Topoloji	Avantajları	Dezavantajları
Yıldız	Düğüm arızası ağı etkilemez	Merkezi düğüm arızası tüm ağı etkiler
Örgü	Arızaya karşı yüksek koruma	Aşırı kompleks oluşu
Küme	Düğüm arızası ağı etkilemez	Küme oluşu, organizasyon gerektirir
Halka	Çok basittir	Düğüm arızası ağı etkiler

### 3. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR

#### 3.1 Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Enerji Verimliliği ve İletim Gücü Konularında Yapılan Çalışmalar

Kablosuz algılayıcı ağlarında veri iletiminde optimum veri paket boyutu için geliştirilen tekniklerin çoğunda optimal sabit paket boyutunun kullanımını önerilmektedir. Sankarasubramaniam [94] ve arkadaşları, kablosuz haberleşme ve iletişim parametrelerinin bir kümesi üzerinde enerji verimliliğinin bir maksimize edilmesinin bir ölçütü olarak optimal paket boyutu konusunda araştırma yaparak hata düzeltmenin paket boyutunu üzerindeki etkisini incelediler. Buradan yola çıkarak veri paketlerinin tekrar gönderiminin enerji açısından verimli olmadığı belirterek her ne kadar parite bitlerinin ve kodlama/çözme işleminin enerji sarfiyatını arttırmasına rağmen ileri hata düzeltme tekniğinin (FEC) verimliliği arttıracağı iddiasında bulundular. Diğer yandan, Dong [95] ve arkadaşları tarafından yapılan bir araştırma ise iletişim kanalının fiziksel durumu ve girişimleri belirlemek için link tahmini metodunu kullanılması suretiyle değişken boyutlu paket yaratılması şemasını içeren dinamik paket boyu kullanımı desteklemektedirler. Onların önerdikleri şemada, iletişim kanalında parazitik gürültüler bulunduğu nispeten daha küçük boyutlu paketlerin kullanımı, kanal boştayken ise daha büyük paketlerin kullanımı fikri iletişim kalitesi kaybından kaçınmayı sağlayacaktır.

Song[96] ise iletim çerçeve boyutunun tahmini çözümü ile değişken çerçeve boyutu kullandı. Bunu yapmak için bağlantının durumunu tahmin edecek geliştirilmiş bir Kalman Filtresinden faydalandılar ve enerji verimliliğini iyileştirmek için MAC parametrelerini (çerçeve boyutu, data oranı, uyku süresi) ayarladılar. Li [97] ve arkadaşları benzer şekilde vücut algılayıcı ağı (BSN) ve WiFi ağlarının birleşik paket boyutu analizinde değişken çerçeve boyutundan faydalandılar ve %70'e kadar enerji tasarrufu yapılabilmesinin mümkün olabileceğini gösterdiler. [98] çalışmadaki araştırmacılar da paket boyutu optimizasyonu metodlarının kısa bir derlemesini yaparak, bunların Kablosuz Algılayıcı Ağların (KAA) performanslarına etkisinin değerlendirmesini yapmışlardır.

#### 3.2 Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Veri Paket Boyu Konularında Yapılan Çalışmalar

Son yıllarda optimal paket boyutu ve iletim güç seviyesi kontrolü konusundan çok sayıda yapıldı. Bu çalışmaları karakteristiklerine göre karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.1'de özetlenmiştir.

Vuran ve arkadaşları [104], paket verimliliği (packet throughput), enerji sarfiyatı, kaynak kullanımını hedef olarak alan sualtı ve yeraltı için katmanlar arası paket optimizasyonu şeması önerdi. Çalışmalarında, nispeten daha büyük paketlerin kullanılması

Çizelge 3.1: Literatürdeki çalışmaların karakteristiklerine göre sınıflandırılması

Kanal Modeli	Boşluk: [95, 99–101] Sualtı: [102, 103] Karasal & Yeraltı: [104] Uygulamaya Özel: [97, 105, 106]
El Sıkışma/ Geri Besleme	ARQ planı: [99, 101, 102, 104, 105, 107–109] Özel Şemalar: [95, 110] Şema Kullanmadan: [96, 111] Tokalaşma: [97, 103]
Yol Kaybı/Gölgeleme	Rayleigh Zayıflama: [94, 104, 112] Log-normal Gölgeleme: [99, 101] BPSK modülasyon: [102, 103] AWGN: [105] AWGN + Rayleigh Zayıflama: [100, 109, 111]
Araştırma Hedefi	Enerji verimliliğini ve/veya muhafazasını optimize ve/veya maksimize etmek: [94, 97, 101, 102, 105, 107, 109, 111, 113, 114] Diğer ölçütleri optimize etmek: [95, 96, 99, 108, 109, 112]
İletim Güç Kontrolü	Basit Ölçüt: [107] Sabit Sayı: [106, 111, 113] Sabit Ortalama Değerler: [94] Farklı İletim Güç Seviyeleri: [95] Donanımsal Ayarlama: [108] Sabit & Uyarlanabilir Şemalar: [99, 101]

paket çarpışma ihtimalini azaltsa da, iletişim kanal hataları nedeniyle enerji verimliliği açısından paket boyu üzerinde etkisi sınırlı kalmakta olduğunu gösterdiler.

Oto ve arkadaşları [112] bilişsel radyo algılayıcı ağlar (CRSN) üzerinde, lisanslı birincil kullanıcılar (PU) için kabul edilebilir girişim seviyesini muhafaza ederken enerji verimliliğini maksimize edecek optimal paket boyutunu belirlemek yönelik çalışmalar gerçekleştirmişler. Elde ettikleri sonuçlar, birincil kullanıcılar ve kanal bit hatası oranı (BER) parametrelerinin CRSN için enerji-verimli optimal paket boyutu belirleyecek en önemli parametreler olduklarını ortaya çıkarmıştır.

Jung ve arkadaşları [102] ise sualtı kablosuz ağlarda optimal paket boyu ile enerji verimliliği ilişkisini araştırmıştır. Xia ve arkadaşları [114] enerji sarfiyat verimliliğini (ECE) maksimize edecek Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation algoritmasını temel alan bir simulasyon modeli hazırlayarak tek hop modeli kurmuşlar ve maksimal ECE elde edecek optimal paket veri yükünü hesaplamışlardır.

Datta ve arkadaşları [108] Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) temelli kablosuz algılayıcı ağlarda (KAA) başarılı veri paketi iletimi için gölgeli iletim ortamında enerji verimliliğini optimizasyon parametresi olarak kullanarak optimal paket boyutunu hesaplamışlardır. Farklı düğüm yoğunlukları üzerinde çalışmalar yaparak optimal paket boyu belirlemeye yönelik tek hop ile sink düğümüne başarılı iletim için enerji ihtiyaçla-

rını ve gecikmeleri araştırmışlardır. Varılan sonuçlar, optimal paket boyutunun enerji verimliliğini maksimize ettiği ve optimum paket boyu seçilerek enerji sarfiyatının azaldığı ve dolayısıyla ağ ömrünün uzadığını göstermiştir.

Holland ve arkadaşları [100] da fiziksel katman parametresi üzerine odaklanarak gürültülü bir iletim kanalında enerji verimli veri transferini incelemiştir. Farklı modülasyon şemalarını (yani enerji-optimal zıplama mesafesi ve optimal iletim enerjisi) kanal gürültü seviyelerinin ve yol kaybı değerinin bir fonksiyonu olarak değerlendirerek iletilen bit başına minimize edilmiş enerjiyi ölçüt olarak kullanmışlardır. Yaptıkları araştırma göstermiştir ki başarılı paket alım olasılığı, sadece paket başına düşen genel yük gözönüne alınmadığında takdirde, paket boyu arttıkça, azalır ve küçük paketler için enerji verimliliğinde artış olur. Bundan başka optimal paket boyu ile en yüksek enerji verimliliğinin elde edileceği iddiasında bulundular.

Farklı kanal modelleri için paket boyu optimizasyonu ile ilgili literatürde bir çok yayın yapılmıştır. Kanal modellerinin çoğunluğu boşluk [95, 99–101], olmakla beraber sualtı [102, 103], karasal ve yeraltı [104] çalışmaları da bulunmakla beraber vücut alanı ağı (BAN) [97, 105] ve akıllı sayaç ağı [106] gibi uygulamaya özel çalışmalar literatürde yer almaktadır.

Bu doktora tezindeki çalışmalar, literatürdeki çalışmalardan birçok yönden ayrılmaktadır. Çalışmaların bir çoğu [99, 101, 102, 104, 105, 107–109], Otomatik Tekrar İsteği (Automatic Repeat Request- ARQ) şemasını temel almışlardır ki bu şemada kayıpsız mükemmel geri besleme kanalı öngörülür. Diğer yapılan iki çalışmada [95, 110], sırasıyla çalışmaya özel AggACK şeması ve RTS-CTS-ACK paket-sırası kullanılmıştır. Bu yaklaşımlar bit hatalarına açıktır. Bu tez çalışmasında bağlantı-katmanı seviyesinde tam bir tokalaşma çevrimi ve ACK geri beslemesi kullanılmıştır. Diğer Eklenen Beyaz Gauss Gürültüsü (AWGN) ve Rayleigh azalan kanal modeli kullanan çalışmaların aksine tez çalışmasında [99, 101]’daki gibi deneysel olarak doğrulanmış mica2 düğümünün enerji harcanım modelinden dolayı log-normal gölgeleme yol kaybı iletim modeli kullanıldı.

İletim gücü konusunda [94, 106, 107, 111, 113] çalışmalarında iletim güç seviyesi basit bir şekilde dikkate alındı yada sabit değer kullanıldı. [100] çalışmada Sinyal-Gürültü Oranı (SNR) aşmak için yüksek güç kullanıldı.

Yapılan bir çalışmada [108] da göndericinin iletim gücünü arzu edilen alıcıdaki istenen alım gücünü elde etmek için otomatik ayarladığını varsaymaktadır. [99] ve [101] tolere edilebilen bit hata oranına (BER) sahip sürdürülebilir iletim kanalını incelemek ve algılama olasılığı için en yüksek enerji verimine ulaşmak için sabit ve uyumsal güç şemaları kullandılar. Çalışma [95], optimal paket boyunun farklı şartlara göre değişeceğine vurguyla, farklı mesafelerde ve farklı iletim güçlerindeki iletimdeki paket boyu üzerinde etkin parametre iletim gücü olduğunu gözlemlemiştir.

Literatürde bir çok çalışma olmasına rağmen paket boyunun optimasyon yapımlarındaki amaç çok farklı olmuştur. Bu tezdeki temel optimizasyon hedefi ağ ömrünün maksimize edilmesiyken, [94, 97, 102, 105, 107, 111, 113, 114] araştırmalarını odak noktası KAA’ların enerji verimliliği optimize etmek yada maksimize etmek olmuştur. Aynı şekilde paket boyunun optimize edilmesinde, [104] kaynak kullanımının, [95, 100] kanal parametrelerinin optimize edilerek daha iyi kanal kullanımı/performansı, [99]

sürdürülebilir kanal iletişimi, [96] daha iyi QoS kanal kalitesi, [101] daha yüksek yakalama olasılığı yada [112] girişim optimizasyonu amacı yatmaktadır.

Bugüne kadar yapılan yayınlanmış hiç çalışma KAA'ların ağ ömrünü maksimize etmek için paket boyunun ve iletim gücünün müşterek optimizasyonunu amaçlamamıştır. Yakın çalışma olarak nitelenebilecek bir çalışmada [99] sürdürülebilir kanal iletişimi hedeflenmiş, maksimum ağ ömrü yerine gölgelenme etkileri üzerine odaklanılmış, ve çok daha farklı varsayımların üzerinden sonuçlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Tez çalışmamızdaki bağlantı-katmanı seviyesindeki geri besleme içeren tam tokalaşma şeması yerine realistic olmayan sonsuz Otomatik Tekrar İsteği (ARQ) şeması temel alınmıştır.

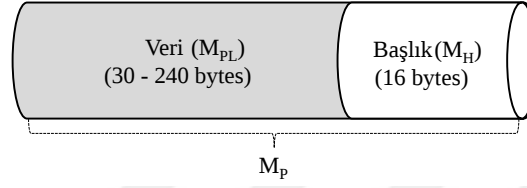
Bunların ötesinde sabit yada ağı her yanında aynı kullanılan değişken boylu paketleri öngören mevcut çalışmaların aksine tez çalışmamızda her bir düğümler arası bağlantı, paket boyu için tek tek ve birbirinden bağımsız olarak ayrı ayrı optimize edilmiştir.



## 4. SİSTEM MODELİ

### 4.1 Sistem Modeli

Bu modelde bir veri paketi şekil 4.1’de gösterildiği gibi bir başlık alanı ve veri yük alanından oluştuğunu kabul etmekteyiz.



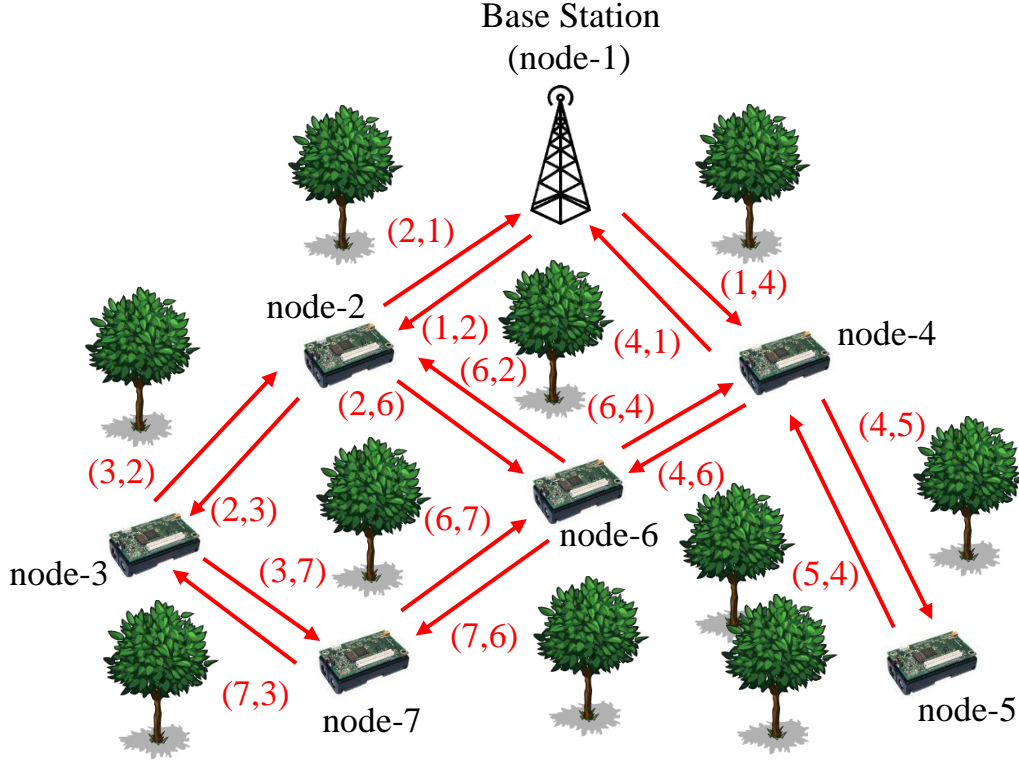
Şekil 4.1: Veri Paketi Yapısı

Paket başlığı güncel segment numarasını, toplam segment sayısını, olay / olay yeri / özellikler belirteçleri gibi bilgileri taşır. Veri yük alanı ise bilgi bitlerini saklar. Paket başlık kısmı her pakette kaçınılmaz olarak bulunmak durumdadır ve sabit bir alan işgal etmektedir, bu sebeple ağ ömrünü maksimize etmek için veri yükünün paket boyuna oranının maksimize edilmesi gereklidir, Eğer mükemmel kanal durumu olması halinde yani hiç bir paket kaybı yaşanmıyorsa, en iyi sonuçlar (en uzun ağ ömrü) tek bir paketin kanalın müsaade ettiği en uzun paket boyu ile kullanımı sonucu edilir. Tek pakette en çok data kullanımı ile kanalın en yüksek veri taşıma kapasitesinin tam kullanılması anlamına gelir. Gerçek hayat pratiğinde iletişim kanallarındaki bit hatalarından dolayı mükemmel kanal durumu söz konusu değildir. İleri Hata Düzeltme (FEC) algoritmaları bu hataları kısmen düzeltebilmesine rağmen hata durumunda paketlerin tekrar kaçınılmazdır. Fakat, paket boyu büyüdükçe, tekrar gönderim olasılığı yükselir. Diğer taraftan, küçük paketler daha yüksek başarılı gönderim oranına sahiptir, ancak bu ise küçülen veri yükü/paket boyu oranı, eklenen iletişim gecikmesi, artan paket adedi ile zorlaşan paket yönetimi, ilave kodlama/kod çözmeden kaynaklanan daha çok kaynak israflarına neden olur.

Bu kısmın kalan bölümünde, sistem modeline genel bir bakış atıp, varsayımlarımızdan ve bunun üzerine kurulan Karma Tamsayı Programlama (KTP) çerçevesi ve kullanılan bağlantı katmanı modeli sunacağız [115].

### 4.2 Genel Bakış

Çalışmalarımızı bir sabit merkezi baz istasyon ve birçok mobil olmayan  $N_N$  algılayıcı düğümlerden oluşan kablosuz algılayıcı ağ üzerinde yaptık. Düğümler veri toplamak üzere algılama yapılacak alana Şekil 4.2’de gibi yerleştirilmiş olduğu varsayılmaktadır.



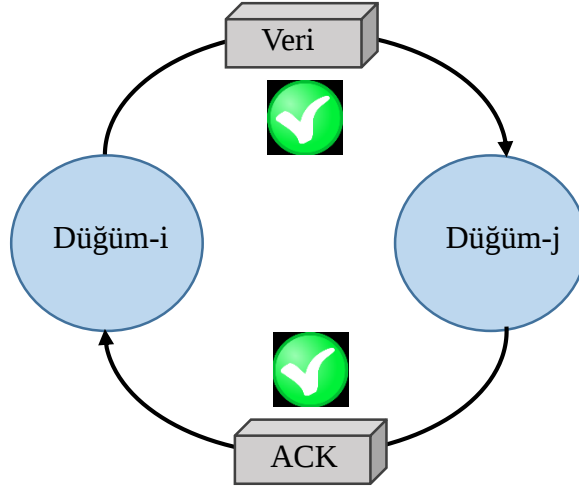
Şekil 4.2: Tipik Kablosuz Algılayıcı Ağ Mimarisi

WSN topolojisini, baz istasyon olan node-1 haricindeki tüm düğümleri  $V$  olarak belirterek  $G = (V, A)$ , yönlü bir grafik ile temsil edebiliriz. Aynı şekilde,  $W$  kümesini baz istasyon olan node-1 haricindeki tüm düğümlerin kümesi olarak tanımlayabiliriz yani,  $W = V \setminus \{1\}$ .  $A = \{(i, j) : i \in W, j \in \{V - i\}\}$  ise okların sıralı kümesidir.  $A$  tanımında hiç bir düğümün kendine veri göndermeyeceği belirtilmiştir. Düğüm- $i$  den düğüm- $j$ 'e akan data paket sayısı,  $f_{ij}$  ile gösterilmektedir.

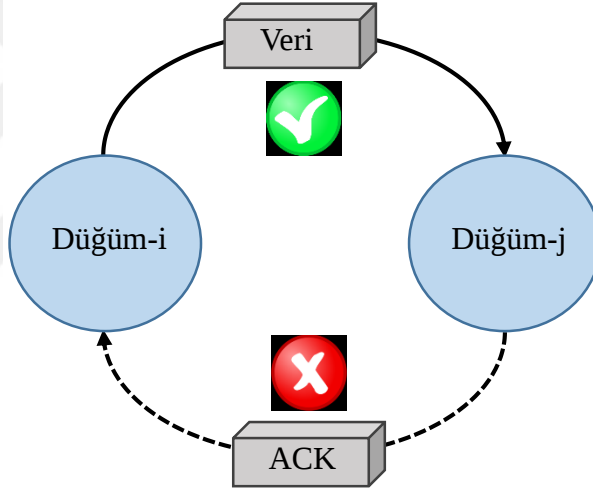
Baz istasyonun, her bir link üzerindeki yol kaybı dahil tüm topoloji bilgisine, yeterince yüksek işlem gücüne, data veri akış planını merkezi bir şekilde planlabilmesi için hesaplama gücüne gereken enerji kaynaklarına sahip olduğunu varsayıyoruz. Her bir link için yol kaybı, kapalı halka güç kontrol mekanizması ile ölçülmektedir. Topolojinin keşfinin ve rota yaratma işlemlerinin enerji maliyeti, tüm ağın toplam enerji sarfiyatının çok küçük küsuratını oluşturur. KAA'lar için yük getirmeyen ve tatminkar performans sağlayan bir çok zaman senkronizasyon protokolu [116] bulunmaktadır. Modelde de tüm düğümlerin zaman senkron olduklarını varsaymaktayız. Düğümler toplanmış verileri ya direk (tek hop) yada diğer düğümleri röle olarak kullanarak (çoklu hop) baz istasyona iletirler. Ayrıca, zaman bölmeleri atama (time-slot assignment) algoritması üzerinde aktif linklerin arasında girişimin azaltılması işlemi için Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA) temelli MAC katmanı kullanıldığını varsaymaktayız. Modelde zaman her birinin 60 saniye sürdüğü turlar olarak organize edilmektedir. Diğer bir deyişle,  $T_{rnd} = 60$  s. Her turda  $s_i$  veri paketi üretilmekte ve baz istasyona gönderilmektedir. Sensor düğümlerde üretilen veri paketleri, atomik birimler olarak değerlendirilmekte ve herhangi bir röle düğümünde parçalanamazlar yada birleştirilemezler. Eğer hem veri hem de ACK paketleri hatasız şekilde hedeflenen alıcılara başarılı ile ulaştı-



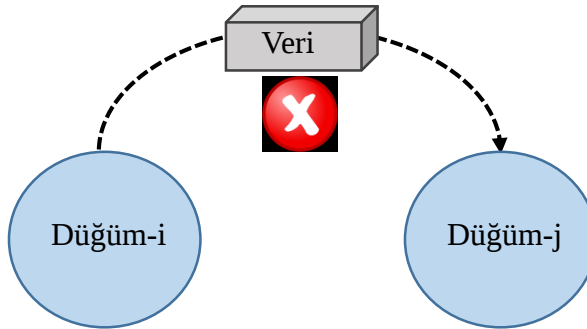
ğında başarılı bir tokalaşma gerçekleştirilmiş olur (Şekil 4.3a).



(a) Başarılı Tokalaşma



(b) ACK paket kaybı nedeniyle başarısız tokalaşma



(c) Veri paketi kaybı nedeniyle başarısız tokalaşma

Şekil 4.3: Bağlantı katmanında başarılı ve başarısız tokalaşma durumları gösterimi

Başarısız tokalaşma için iki durum söz konusudur. İlkinde, veri paketleri hata olmaksızın alımı gerçekleşir ancak ACK paketi başarısız olur (Şekil 4.3b). İkincisinde ise

Çizelge 4.1: CC1000 ile donatılmış Mica2 düğümlerinde farklı güç seviyeleri ( $l$ ) için [1], her güç seviyesinde ( $l$ ), iletim güç harcaması ( $P_{tx}^{crc}(l)$  mW) ve anten çıkış gücü ( $P_{tx}^{ant}(l)$  mW)

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

veri paketinin hatasız alımı gerçekleşmez, dolayısıyla ACK paketi gönderimi olmaz (Şekil 4.3c). Her iki durumda da tokalaşma tekrarlanmak durumundadır ki bu ekstra enerji sarfiyatına neden olacaktır.

### 4.3 Veri Bağlantı Katmanı Modeli

Modellemede, çok iyi karakterize edilmiş enerji sarfiyatı özellikleri [1] nedeniyle deneysel KAA araştırmalarında en yaygın şekilde kullanılan CC1000 alıcı-vericileri ile donatılmış olan Mica2 düğümlerini kullandık. Çizelge 4.1’de Mica2 düğümleri için alıcı-verici güç harcaması ve karşılık gelen anten çıkış güçleri verilmektedir. Bu tabloda,  $P_{tx}^{crc}(l)$  ve  $P_{tx}^{ant}(l)$  ile sırasıyla güç seviyesi- $l$ ’deki enerji harcaması ve güç seviyesi- $l$ ’deki çıkış anten gücü belirtilmektedir. Güç seviyelerinin kümesi  $S_L$  ile ifade edilmektedir. Alımdaki güç harcaması sabiti olup 35.4 mW’dır. Diğer bir ifadeyle,  $P_{tx}^{crc} = 35.4$  mW.

60 saniyelik her turda, veri yakalama için enerji sarfiyatı sabit  $E_{DA} = 600 \mu J$ ’dur ve her düğüm, aynı miktarda, 240 byte ham veri üretmektedir. Oluşturduğumuz çalışma çerçevesinde veri yükü paketi  $M_{PL}$  olarak ifade edilmektedir ve 240’ın tam bölenleri, yani, 240, 120, 80, 60, 48, 40, and 30 Byte olarak değişme göstermektedir. Bu sebeple 7 değişik veri yükü boyu kullanmaktayız. Her düğüm her turda veri yükü paketinin boyunu verilen boylardan birisine kendisi ayarlamaktadır. Örneğin, eğer bir düğüm 240 byte veri yükü kullanmışsa, her turda bir veri paketi gönderecektir. Eğer bu node 120 byte veri yükü tercih etmişse, o halde her bir turda iki data paketi gönderecektir. Bu prosedür tüm veri yükü boyları için de uygulanacaktır.  $s_i$  ifadesiyle düğüm- $i$  tarafından gönderilecek veri paket sayısını göstereceğiz. Bir veri paketinin boyu 16 byte’lık başlık kısmı ( $M_H = 16$  Byte) ile beraber 46 byte ile 256 byte arasında değişmektedir, diğer

bir ifadeyle  $M_P = M_{PL} + M_H$ . Paket yapısı Şekil 4.1’de gösterilmektedir.

ACK paketinin boyu ise  $M_A = 20$  Byte’tır. Guard zamanı  $T_{grd} = 100 \mu$  olarak ayarlanmıştır ki bu maksimum senkron hatasının [116, 117] yaklaşık iki katıdır. Veri paketinin kaynak düğümünden iletiminin tamamlanması ile ACK paketinin alımının başlaması arasındaki zaman süreci ki buna gecikme ve yayılma süreleri dahil  $T_{rsp} = 500 \mu s$  olarak modellenmektedir. Dolayısıyla, turdaki zaman dilimi,

$$T_{slot}, T_{slot} = [2 \times T_{grd} + T_{tx}(M_P) + T_{rsp} + T_{tx}(M_A)]$$

olarak hesaplanmaktadır. Buradaki  $T_{tx}(M_P)$  ve  $T_{tx}(M_A)$  sırasıyla, kanal veri hızının ( $\xi = 19.2$  Kbps) [19] bit sayısına bölünmesi ile hesaplanan veri ve ACK paket süreleridir.

$(i, j)$ -linki üzerindeki  $l$  güç seviyesi ile iletimden oluşan alış sinyali gücü ( $P_{rx,ij}^{ant}(l)$ )

$$P_{rx,ij}^{ant}(l)[\text{dBm}] = P_{tx}^{ant}(l)[\text{dBm}] - \Upsilon_{ij}[\text{dB}], \quad (4.1)$$

Burada  $\Upsilon_{ij}$ ,  $(i, j)$ -linki üzerindeki hesaplanmış yol kaybını göstermektedir. Matematiksel olarak, log-normal gölgeleme yol kaybı modelini ifade edersek;

$$\Upsilon_{ij}[\text{dB}] = \Upsilon_0[\text{dB}] + 10n \log_{10}(d_{ij}/d_0) + X_\sigma [\text{dB}], \quad (4.2)$$

Burada  $d_{ij}$  alıcı ile verici arasındaki mesafe,  $d_0$  referans uzaklık,  $\Upsilon_0$  referans uzaklıktaki yol kaybı,  $n$  yol kaybı katsayısı, başka bir deyişle, sinyalin yokolma hızı,  $X_\sigma$  büyük-çaplı azalma (gölgeleme) etkilerini modellemek için sıfır ortalamalı standart sapması= $\sigma$  dB olan Gauss rastgele değişkeni belirtmektedir.

Mica2 düğümlerinin parametre değerlerini  $n = 3.69$ ,  $\sigma = 1.42$  dB,  $d_0 = 1$  m, ve  $\Upsilon_0 = 31$  dB [118] olarak adapte edilmiştir.

Sinyal-Gürültü Oranı (SNR)

$$\psi_{ij}(l)[\text{dB}] = P_{rx,ij}^{ant}(l)[\text{dBm}] - P_n[\text{dBm}], \quad (4.3)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada gürültü gücü ( $P_n$ ), 300 Kelvin sıcaklıkta  $-115$  dBm’dir. [119].

Mica2 düğümlerinde kullanılan eşvreli olmayan frekans kaydırma anahtarlama (FSK) modülasyon şeması için,  $(i, j)$ -link üzerinde  $l$ -güç seviyesinde gönderilmiş  $\varphi$ -Byte paketin başarılı şekilde alımı olasılığı ise [119]

$$p_{ij}^s(l, \varphi) = \left( 1 - \frac{1}{2} \exp\left(\frac{-\psi_{ij}(l)}{2} \frac{1}{0.64}\right) \right)^{8\varphi}, \quad (4.4)$$

Başarısızlık olasılığı da dolayısıyla

$$p_{ij}^f(l, \varphi) = 1 - p_{ij}^s(l, \varphi). \quad (4.5)$$

hesaplanmaktadır.

$(i, j)$ -linki üzerinde  $l$ -güç seviyesiyle iletilen veri paketi başarılı bir tokalaşma ile gönderilmiş ve  $k$ -güç seviyesiyle teyit edilmiş (ACK) olması olasılığı

$P_{rx,ij}^{ant}(l) \geq P_{sns}$  ve  $P_{rx,ji}^{ant}(k) \geq P_{sns}$  olması koşuluyla:

$$p_{ij}^{HS,s}(l,k) = p_{ij}^s(l, M_P) \times p_{ji}^s(k, M_A), \quad (4.6)$$

Aksi halde, ( $P_{rx,ij}^{ant}(l) < P_{sns}$  veya  $P_{rx,ji}^{ant}(k) < P_{sns}$ ),  $p_{ij}^{HS,s}(l,k) = 0$  ki burada  $P_{sns}$  Mica2 düğümünün alış hassasiyetlerini ifade etmektedir. ( $P_{sns} = -102$  dBm) [1]. Bu durumu *hassasiyet kriteri* olarak adlandırıyoruz. Başarısız bir tokalaşma olasılığı ise:

$$p_{ij}^{HS,f}(l,k) = 1 - p_{ij}^{HS,s}(l,k). \quad (4.7)$$

Ortalama olarak, her bir paket  $\lambda_{ij}(l,k) = 1/p_{ij}^{HS,s}(l,k)$  defa ileilmek zorundadır.  $M_P$  Byte verinin  $i$ -düğümünden  $j$ -düğüme  $l$ -güç seviyesi ile iletiminin enerji sarfıyatı

$$E_{tx}^P(l, M_P) = P_{tx}^{crc}(l) T_{tx}(M_P). \quad (4.8)$$

Bir düğüm iletim yapmadığı zamanlarda alım durumunda beklemektedir. Dolayısıyla, bir alıcı-vericinin tek tokalaşma sırasındaki toplam enerji harcaması

$$E_{tx}^{HS}(l, M_P) = E_{tx}^P(l, M_P) + P_{rx}^{crc}(T_{slot} - T_{tx}(M_P)). \quad (4.9)$$

Paket kayıpları ve proses maliyetleri dahil göndericinin enerji harcaması

$$E_{tx,ij}^D(l,k) = E_{PP} + \lambda_{ij}(l,k) E_{tx}^{HS}(l, M_P), \quad (4.10)$$

Buradaki  $E_{PP} = 120 \mu\text{J}$ 'dur.

Bir veri paketinin başarılı alımı ve paket hatasızın ACK paketi ile teyitleşme, diğer bir ifadeyle, başarılı tokalaşma

$$E_{rx}^{HS,s}(k, M_A) = P_{rx}^{crc}(T_{slot} - T_{tx}(M_A)) + E_{tx}^P(k, M_A). \quad (4.11)$$

Eğer başarısız tokalaşma, bir alınmış veri paketinde bit hatası olmasından kaynaklanmışsa, o zaman paket alımının enerji maliyetinin ifadesi

$$E_{rx}^{HS,f} = P_{rx}^{crc} T_{slot}. \quad (4.12)$$

Paket hatalarının etkileri dahil alıcının enerji harcaması ise

$$E_{rx,ji}^D(l,k) = E_{rx}^{HS,s}(k, M_A) + E_{PP} + \lambda_{ij}(l,k) \times \left[ p_{ij}^s(l, M_P) p_{ji}^f(k, M_A) E_{rx}^{HS,s}(k, M_A) + p_{ij}^f(l, M_P) E_{rx}^{HS,f} \right] \quad (4.13)$$

#### 4.4 KTP Çalışma Çerçevesi

KAA ağ ömrünün maksimize edilmesi için iletim güç seviyesi ile paket boyunun müştereken optimizasyonunda kullanılan KTP çalışma çerçevesinden bahsedeceğiz. Optimizasyon problemi Şekil 4.4'de verilmiştir.

Maximize  $N_{rnd}$   
 Subject to:

$$\sum_{(i,j) \in A} f_{ij} - \sum_{(j,i) \in A} f_{ji} = N_{rnd} s_i \quad \forall i \in W \quad (4.14)$$

$$\underbrace{\sum_{(i,j) \in A} E_{tx,ij}^D(l,k) f_{ij}}_{\text{gönderim}} + \underbrace{P_{slp}(N_{rnd} T_{rnd} - T_{bsy,i})}_{\text{uyku}} + \underbrace{\sum_{(j,i) \in A} E_{rx,ji}^D(l,k) f_{ji}}_{\text{alm}} + \underbrace{N_{rnd} E_{DA}}_{\text{veri yakalama}} \leq \rho \quad \forall i \in W \quad (4.15)$$

$$T_{slot} \left[ \sum_{(i,j) \in A} \lambda_{ij}(l,k) f_{ij} + \sum_{(j,i) \in A} \lambda_{ji}(l,k) f_{ji} + \sum_{(j,n) \in A} \lambda_{jn}(l,k) f_{jn} I_{jn}^i(l,k) \right] \leq N_{rnd} T_{rnd}, \quad \forall i \in V \quad (4.16)$$

$$I_{jn}^i(l,k) = \begin{cases} 1 & \text{if } P_{rx,ji}^{ant}(l) \geq P_{sns} \text{ or} \\ & P_{rx,ni}^{ant}(k) \geq P_{sns} \\ 0 & \text{o.w.} \end{cases} \quad (4.17)$$

$$f_{ij} \geq 0 \quad \forall (i,j) \in A \quad (4.18)$$

Şekil 4.4: KTP Çerçevesi.

Burada, birimsiz değişken  $N_{rnd}$  ağ ömrünü tur sayısı cinsinden vermektedir. Gerçek ağ ömrü  $N_{rnd} \times T_{rnd}$  ile ifade edilmektedir.

Denklem 4.14 *akış denge koşutu*'dur. Bu ifade, her bir düğüm  $\forall i \in W$  için,  $i$ -düğümünde üretilen veri ile düğümün kendisine dışarıdan gelen veri toplamının, düğüm- $i$ 'den gönderilen data miktarına eşit olduğunu belirtir.

Denklem 4.15 ise *enerji denge koşutu*'dur. Baz istasyon hariç tüm düğümler için toplam enerji harcaması, bataryalarındaki enerji ( $\rho$ ) ile sınırlıdır.

Denklem 4.15'deki eşitsizliğin sol tarafında yer alan enerji harcaması terimleri, sırasıyla, iletim, uyku, alım ve veri yakalama enerjilerini ifade etmektedir. Eğer bir düğüm herhangi bir zaman diliminde alıcı yada verici değilse veya veri yakalama yapmıyorsa o durumda *uyku* modundadır. Toplam uyku zamanı, ağ ömründen toplam meşgul zamanı çıkararak, başka bir ifadeyle,  $N_{rnd}T_{rnd} - T_{bsy,i}$  olarak hesaplanabilir. Toplam meşgul zaman,  $T_{bsy,i}$  düğüm- $i$  meşgul olduğu toplam zaman olarak belirtilebilir ve denklemsel ifadesi ise Denklem 4.19'daki gibidir.

$$T_{bsy,i} = T_{slot} \left[ \sum_{(i,j) \in A} \lambda_{ij}(l,k) f_{ij} + \sum_{(j,i) \in A} \lambda_{ji}(l,k) f_{ji} \right] + N_{rnd} T_{DA}, \quad \forall i \in W. \quad (4.19)$$

Uyku modundaki güç tüketimi  $3 \mu W$ , yani,  $P_{slp} = 3 \mu W$ . Her düğüm, ağ operasyonun en başında, eşit ilk enerji ( $\rho = 25$  KJ) ile çalışmaya başlarlar.

Denklem 4.16'de *band genişliği koşutu* verilmektedir. Bu denklemle her bir düğümde iletişim operasyonlarını yapmak için gereken kanal band genişliği, katı bir şekilde eldeki band genişliği ile sınırlandırılması garanti altına alınmıştır.

Baz istasyon dahil tüm düğümler için, gelen veri akışları, giden veri akışları ve girişim akışlarının toplam süresi, toplam ağ ömrü zamanı ile sınırlıdır. Bu koşut, [8]'de verilen yeterli durumun değiştirilmiş versiyonudur.  $i$ -düğümünün çevresinde varolan, ancak  $i$ -düğümüne girmeyen ve  $i$ -düğümünden çıkmayan veri akışlarının  $i$ -düğümünün elindeki band genişliğini etkilemesi nedeniyle, *girişim akışları* diyoruz. Girişim fonksiyonu ( $I_{jn}^i(l,k)$ ) Denklem 4.17'de verilmektedir. Eğer  $i$ -düğümü,  $j$ -düğümünden  $n$ -düğümüne  $l$ -güç seviyesi ile yapılan iletimin (veri iletimi) yada  $n$ -düğümünden  $j$ -düğümüne  $k$ -güç seviyesi ile yapılan iletimin (ACK iletimi) girişim alanını içine dahil ise, girişim fonksiyonu değeri  $i$ -düğümü için 1, aksi halde 0'dır ( $i \neq j \neq n$ ).

Son olarak, Denklem 4.18 (*negatif olmama koşutu*) hiç bir veri akışının negatif değer olamayacağını şart koşar.

şekil 4.4'de gösterilen KTP modelinde, Denklem 4.10 ve Denklem 4.13'de verilen enerji harcamaları göz önüne alınarak veri ve ACK iletim güç seviyelerinin her bir link için tek tek ve birbirinden bağımsız olarak belirlendiği varsayılmaktadır. Dolayısıyla, her bir link- $(i, j)$  için tek bir optimal iletim güç seviyesi ( $l_{ij}^{opt}$ ) ve tek bir optimal ACK paket iletim seviyesi ( $k_{ji}^{opt}$ ) tesbit etmekteyiz. Bu da demektir ki,  $(i, j)$ -linki  $i$ -düğümü tarafından  $l_{ij}^{opt}$ -güç seviyesi ile veri paketleri gönderilmektedir ve ACK pa-

ketleri  $j$ -düğümü tarafından  $k_{ji}^{opt}$ -güç seviyesi ile iletilmektedir. Optimal güç seviyeleri Denklem 4.20'de belirtilen link kapsam optimizasyonu şeması kullanılarak belirlenmektedir. Kısaca ifade edersek, iletim güç seviyesi optimizasyonu her link için lokal olarak yapılmaktadır.

$$\{l_{ij}^{opt}, k_{ji}^{opt}\} =_{l \in S_L, k \in S_L} \left( E_{tx,ij}^D(l, k) + E_{rx,ji}^D(l, k) \right). \quad (4.20)$$







## 5. MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA ALTYAPISI

### 5.1 Genel Bakış

Bu bölümde matematiksel programlamada yararlanılan araçları ve kısaca araçların tercih edilmelerindeki faktörleri ve nasıl kullanıldıkları üzerinden geçeceğiz.

### 5.2 Karma Tamsayı Programlama

Matematiksel programlama modellerinde doğrusal programlama (DP) ve karma tamsayı programlama (KTP) geçerli kararları karakterize eden verilmiş koşut kümesini dikkate alarak en iyi çözümün bulunmasıdır [120, 121]. Alternatif kararlar objektif fonksiyon değerleri ile karşılaştırılır ve en iyi olan (fonksiyonun özelliğine bağlı olarak en büyük yada en küçük olabilir) optimal olarak seçilir. Aynı amaçlar için kullanılsa da DP ve KTP pek çok durumda birbirleri yerine kullanılamaz, dolayısıyla birbirlerinin alternatifi değildirler. Öne konan problemin modellemek için ne tip matematiksel model kullanacağını yapılacak kararların tipi belirler. Örneklendirmek gerekirse, önceki bölümde anlatılan modelde kullandığımız  $f_{ij}^{lk}$  data paketleri sayısını ifade etmektedir, dolayısıyla tamsayı değer alması gerekmektedir. Bu sebeble kullanılacak matematiksel modelin tipi, alınacak kararların tipine bağlıdır ki bizim durumumuz için karma tamsayı programlama uygun düşmektedir. Değişkenleri sürekli değerler alan doğrusal programlamada modellerin çözümü nispeten daha kolaydır. Bu da doğrusal programlamanın mümkün çözümler kümesinin özel geometrik yapısından kaynaklanmaktadır. Mümkün çözümler kümesinin köşeleri modelin koşutları tarafından tanımlanmıştır ve verilen boş olmayan mümkün çözüm kümesinde, optimal olan bir tepe çözüm her zaman var olduğu bilinir. Dolayısıyla, iyi bilinen Simplex algoritması optimal bir çözüm bulmak için köşe değerleri açgözlüce tarar, ki bu doğrusal programlama için ortalama oldukça etkili bir metottur. Fakat KTP modelleri genelde böyle bir özelliğe sahip değildirler ve haliyle branch-and-bound, branch-and-cut gibi daha ileri çözüm algoritmalarına gerek duyarlar. Bu metotlara optimal çözümü garantileyen kesin çözüm metotları denir.

Bu algoritmalarında her adımında, ilk olarak problem değişkenlerin üzerindeki bütünlük sınırlandırmaları olmaksızın çözülür. Sonra mevcut çözümde, tamsayı değişkenin kesirli bölümü varsa tamsayı değişken en yakın tamsayı değere atanarak problem iki alt probleme dönüştürülür. Bu yeni problemler, optimal bir çözüm bulana kadar öz-yinelemeli bir şekilde çözülmeye devam eder. Bu temel metot, alt problem yaratma aşamasında probleme özgü bilgiler dahil edilerek daha da sıkılaştırılabilir ve daha da iyileştirilebilir [122].

Literatürde KAA için optimizasyonu temel alan matematiksel programlama, modelleme ve analiz oldukça yoğundur ve son yıllarda hızla çoğalmıştır [123–129]. KAA üzerinde matematik programlama ile çok makale bulunmaktadır [130, 131].

### 5.3 GAMS ve Karma Tamsayı Programlama

GAMS (The General Algebraic Modeling System) [132], yaygın olarak kullanılan, matematiksel programlama ve optimizasyon yapmaya yönelik yüksek seviyeli modelleme sistemidir. İçindeki yüksek performanslı çözücülerini ile kompleks ve büyük ölçekli modellemeleri yapmaya olanak sağlar. Optimizasyon çalışmalarında kaynak kullanımını problemlerinin, verimlilik çalışmalarının vazgeçilmez aracıdır [133]

Bir doğrusal programlama, bir problemin matematiksel formulasyon olarak ifadesidir. Yapılacak kararları tam olarak tanımlayan karar değişkenleri kümesi tanımlanır. Sonra bu değişkenler, kullanarak minimize yada maksimize edecek objektif fonksiyonunu ve karar opsiyonlarını sınırlayacak kısıtlar kümesi tanımlamak için kullanılır. Bir lineer programda değişkenler devamlı olmalı ve objektif fonksiyonu ve kısıtlar doğrusal ifadeler olmalıdır. Doğrusal bir ifade,  $c_1..c_n$  sabit sayılar ise,  $c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$  formatında olmalıdır. Örneğin,  $3x_1 + 5x_2$  bir doğrusal ifadeyken  $x^2$  veya  $\sin(x)$  doğrusal bir ifade değildir. Doğrusal programlamayı üç bölümden oluştuğunu düşünebiliriz: objektif fonksiyonu, kısıtlar ve karar değişkenleri üzerinde işaret sınırlamaları.

Objektif fonksiyon, başarmaya çalıştığımız problemin matematiksel ifadesidir. Bu ifade her zaman ya "maksimize" yada "minimize" ile başlar ve bunu değişkenlerden oluşan doğrusal bir ifade takip eder. Örneğin,  $P_1$ ,  $P_2$  ve  $P_3$  adet şeklinde 3 ürün ürettiğimizi ve bunları sırayla \$2, \$4 ve \$5 fiyatla sattığımızı düşünürsek, kârımızı maksimize edecek objektif fonksiyonumuz:

$$\text{maximize } 2 * P_1 + 4 * P_2 + 5 * P_3$$

şeklinde olacaktır.

Modellediğimiz tüm sistemlerde, değişkenlerimizi sınırlayan kısıtlarla karşılaşırız. Onlarca kısıta sahip olabiliriz. Her kısıt, uygun katsayılarla beraber, denklemin sağ tarafında ne tür kısıt olduğu ve değerlerle hep birlikte değişkenlerimizin doğrusal ifadesinden oluşacaktır. Kısıt ifadesi şu şekilde görünecektir:

$$1 * P_1 + 2 * P_2 + 5 * P_3 \leq 300$$

Bütün değişkenler tüm kısıt ifadelerinde bulunması gerekli değildir. Değişkenler üzerinde ayrıca işaret kısıtları olması gerekir. Her zaman pozitif değer alması gereken bir değişken için

$$P_1 > 0$$

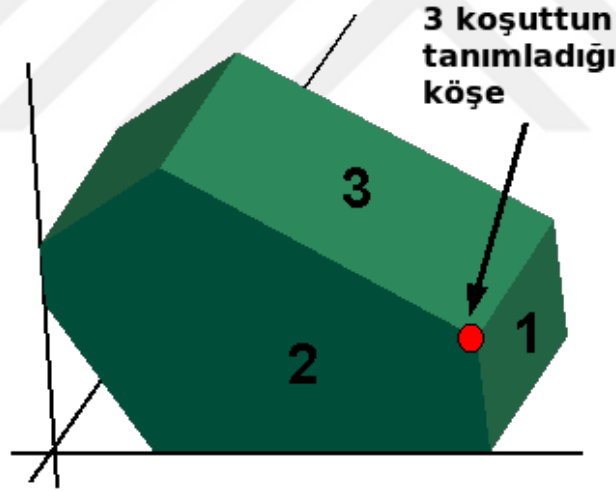
şeklinde işaret kısıtı öne koymak gereklidir.

Bir doğrusal programın koşulları karar değişkenlerinin değerini sınırlar. Doğrusal programlamaya için bir çözüm, karar değişkenleri için bir çözüm kümesidir. Her çözümde, çözüm tarafından verilen değişken değerleri için objektif fonksiyonu hesaplandığında

elde edilen değer objektif değerdir. Bir çözüme bütün kısıtları karşıyorsa mümkün (feasible) denir. Tersisi durumda bir yada daha koşul sağlanmıyorsa imkansız (infeasible) denir. Bir doğrusal programın çözüme işi objektif fonksiyonumuzu optimize edecek mümkün çözümleri bulmaktır. Eğer bu bir maksimizasyon problemi ise çözüm enbüyük objektif değerlerin olduğu çözüm olacaktır. Eğer bir minimizasyon problemi ise bu durumda da en küçük objektif değerde çözüm sağlanır. Bu çözüme optimal çözüm denir.

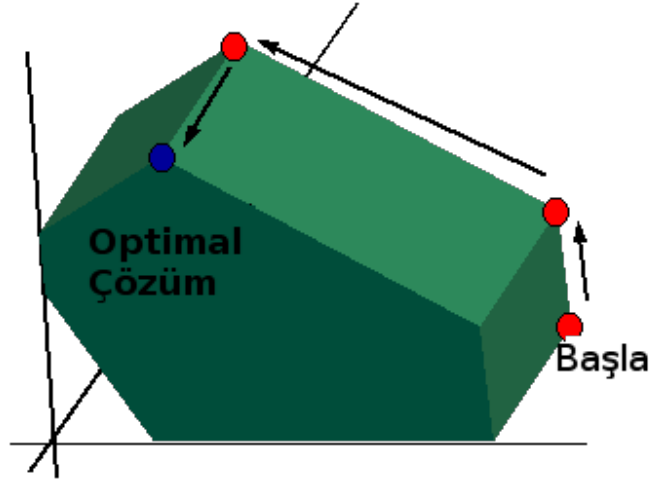
### 5.3.1 Simplex metodu

Önceki bölümde de gösterildiği gibi normal doğrusal programlama problemlerinde optimal sonuçlar köşe noktalarda elde edilmektedir. 5.1. Burada normal doğrusal programlama terimi ile mümkün olmayan (infeasible) ve bağlantısız (unbounded) DP problemleri göz ardı ediyoruz. Optimal değerin köşe noktalarda olabileceğinden yola çıkarak mümkün olan alanın köşelerini listelediğimizde ve her bir nokta için optimal çözümleri hesaplattığımızda en iyi sonucu seçme şansına sahip olabilmekteyiz. Bu noktada karşımıza iki soru çıkacaktır: 1. Bu köşeleri nasıl buluruz? 2. Çok sayıda köşe varsa ne yapacağız? Köşe noktaları koşulların kesiştiği yerlerde oluşur. 2 boyutta 2 koşul kesiştiği, 3 boyutta 3 koşulların kesiştiği noktalarlardır. Buradan da anlaşılacağı üzere n boyuttaki köşe kesişmesi için n koşul gerekir.



Şekil 5.1: Doğrusal Programlamada koşulların köşe kesişmesi

N koşulun kesiştiği n denklemi en verimli çözümler için Gauss eleme yöntemidir. Böylelikle n denklemden oluşan sistem serisini çözümler köşe noktaları bulabiliriz. 3 boyutlu bir sistemde bile polihedron örneğinde olduğu gibi onlarca köşe noktası bulunabilir. Bu durumda Simplex Metodu yaklaşımını kullanmamız en verimli yol olacaktır. Bu metod birçok ticari paketin kullandığı yaklaşımdır. Temel olarak bu metod akıllı bir şekilde bir optimal çözüm bulunana kadar köşeleri köşelere taşımaktadır. Ziyaret edilen her bir köşe bir öncekine göre ilerlemez. Daha iyi bir köşe bulunamadığı noktada optimal çözüm bulunmuş demektir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2: Simplex metodu ile köşe taşınması

## 5.4 MATLAB Programlama

MATLAB (**Matrix Laboratory**) ilk 1970'li yılların sonlarında piyasaya çıkmış [134], çok paradigmatlı sayısal hesaplama programı ve 4. nesil programlama dilidir [135]. MathWorks tarafından geliştirilmekte olan MATLAB kendine özel tescilli bir programlama diline sahiptir. Matris işlemleri, fonksiyon ve verilerin çizilmesi, algoritma ve uygulama geliştirilmesi, kullanıcılara yönelik arayüzü oluşturma ve diğer programlama dilleri ile (C, C++, Java, ve Fortran gibi) arabağlantıya imkanı sağlamaktadır. MATLAB'ın öncelikli geliştirilme sebebi sayısal işlemlerin rahatlıkla gerçekleştirilmesi için tasarlanmış olmasına karşın, sembolik hesaplama yapabilen MuPAD sembolik motoru ile de sembolik işlem yapma kabiliyetine de sahiptir. Ek paketleri yükleyerek dinamik ve gömülü sistemler için Simulink ile grafiksel çoklu alan simülasyonu ve model tabanlı tasarım yapılabilmesine olanak tanır. Yaygın olarak üniversite ve akademik çevrelerde, araştırma kurumlarında, endüstriyel işletmelerde kullanılmaktadır. Kullanıcıları çoğunlukla mühendislik, bilim, ve ekonomi gibi çeşitli alanlardan kişilerdir.

### 5.4.1 MATLAB-GAMS arayüz bağlantısı

Model simülasyonlarının bağlantı katmanı seviyesi enerji hesaplamalarında MATLAB yoğun bir şekilde kullanıldı. Özellikle topoloji, koordinat, enerji, yol kaybı gibi birçok hesaplamaları gerçekleştirilmesinde MATLAB'ın mühendislik çalışmalarına uygunluğu az kod yazarak çoğu işlevin gerçekleştirilmesini sağlamıştır. MATLAB ile üretilen KAA dataları ve parametreler GAMS'in diğer programlama araçları ile veri alışverişi yapmasına imkan tanıyan GDX (GAMS Data eXchange) dosya paylaşımı mekanizması ile GAMS'teki MIP çatısına aktarılmış ve optimizasyon çözümlerine ulaşılmıştır. Aynı şekilde GAMS'in optimizasyon sonuçlarının, gene aynı şekilde GDX dosyaları üzerinden MATLAB'a geçilerek verilerin çizimlerinin yapılması sağlanmıştır.

## 6. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN AĞ ÖMRÜNÜ ETKİLEYEN PARAMETRELER

Algılayıcı düğümler sınırlı enerji kaynakları, genellikle de pil içerirler. Dolayısıyla, KAA'lar ömürlerinin mümkün oldukça uzun olacak şekilde tasarlanmaları gerekir. Ağ ömrünü maksimize etmek için, sensor düğümleri verileri baz istasyona aktarmada işbirlikçi çalışmak ve enerjilerini öyle dengeli bir şekilde sarfetmek durumdadırlar ki hiç bir düğüm aşırı enerji kullanımı nedeniyle erken ölümünden kaçınılsın ve bu sayede KAA ağ ömrü maksimize edilebilsin [123].

Veri data boyu optimizasyonu KAA'larda ağ ömrü uzatma açısından potansiyel alanlardan birisidir ve literatürde bu konuda bir çok araştırmalar yapılmıştır. Paket boyu optimizasyonu teknikleri ile ilgili araştırma çalışması [98]'de sunulmuştur. Paket hatalarının yüksek hata oranının yüksek tekrar gönderime neden olan büyük paketlerin olduğu tartışılır. Diğer yandan, kısa boylu paketler ise daha düşük tekrar gönderim oranına sebep olur. Araştırmacılar enerji verimliliği için optimal bir paket boyunun seçilmesinin KAA için önemli olduğunu belirtmektedirler. Araştırmalar ayrıca göstermektedir ki değişken paket boyu şeması kullanmak kanalın işlem hacmini arttıracak ancak diğer yandan da eninde sonunda kaynak yönetimi maliyetlerinden dolayı sıkıntı yaşanmasına neden olacaktır.

Maksimum ağ ömrü için sabit paket boyunun belirlenmesi [94] araştırmasında incelenmiştir. Bir radyo ve kanal parametreleri kümesinde, enerji verimliliği için hata kontrolünün paket boyunun optimizasyon üzerine etkileri keşfedilmiş ve tekrar gönderimlerin enerji-verimli olmadıkları ortaya konmuştur.

Ağ bağlantısının devamlılığı için gerekli optimal iletim gücü üzerinde gölgelemenin etkileri araştırılmış [136] ve KAA ağ ömrü artmak için düğümler arası girişim azaltılarak optimizasyonlar yapılmıştır. Bu göstermiştir ki optimal paket boyunu kullanmak enerji sarfiyatını ciddi oranda düşürmektedir.

Dong ve arkadaşları [95], kanal durumuna göre değişken boylu paket boyu kullanma tekniği önermişlerdir. Eğer kanalda gürültüyse, diğer bir deyişle, kanalda ağır trafik nedeniyle tıkanıklık oluşmuşsa, daha küçük paketler üretilir. Kanal sessizse, diğer bir ifadeyle, kanal neredeyse boşsa, daha büyük boyutlu paketler üretilir. Bu yolla toplamda kanal kapasitesi iyileştirilerek enerji verimliliği sağlanmış olur.

Literatürde paket optimizasyonu ve ağ verimliliği konusunda literatür zengin olmasına rağmen, bu çalışmalar ya bit hatası yüzünden paket kayıplarını dikkate almamış ve/veya tokalaşma mekanizmasını doğru olarak göz önüne almamışlardır. Örneğin, bir çalışmada [136], düğüm yoğunluğu verilen ağın tüm linkleri üzerinde tokalaşma hata oranı sabit olarak alınmıştır ki bu çok yanıltıcı bir hipotezdir zira tüm düğümler arasındaki mesafe sabit olsa da yol kayıpları aynı olmayacaktır. Başka bir deyişle, log-normal gölgeleme yol kayıpları linkten linke değişkenlik gösteren rastgele bir terim içerir. Daha ötesi, paket hataları oranı, veri ve onay (ACK) paketleri için aynı olmak

durumunda değildir. Öyle ki bu çalışmada [136] gözden kaçmıştır. Diğer çalışmaların aksine, kullandığımız model, hem veriyi hem de onay (ACK) paketlerini etkileyen kanal hataları nedeniyle linkten linke değişen paket kayıplarını gözardı etmeden iletim güç seviyesine göre optimize edilmiş KAA'ları incelemekte ve düşük girişim seviyeleri üzerine odaklanmaktadır ki bu tüm KAA'lar için genel durumdur.

## 6.1 Sistem Modeli

Paket boyunu arttırmak, paket başlığının faydalı yüke olan oranını düşürür, dolayısıyla, ağın ömrünü artırır. Ne var ki, uzun paketler yüksek paket hatası olasılığı nedeniyle bozulmaya meyillidirler. Diğer taraftan da, kısa paketler, hataya karşı daha az eğilimli ama başlık verilerinin faydalı yüke oranı kısa paketlerde daha yüksektir. Dahası, aynı miktarda veriyi taşıyacak paket sayısı, maksimum paket boyu daha kısa olduğunda, daha fazladır. Dolayısıyla, aynı anda ters yönlerde çalışan birçok mekanizma bulunmaktadır. Paket boyu seçiminin ağ ömrü üzerindeki net etkisini değerlendirmek için sayısal analizlerimizde KTP çalışma çerçevesinden faydalandık.

### 6.1.1 Genel Bakış

Sistem modelinde algılama alanına düzgünce dağıtılmış birçok algılayıcı düğüm ve bir baz istasyondan oluşan bir KAA'ı gözönüne alacağız. Algılayıcı düğümler toplanmış verileri direk olarak (tek-atlamalı) yada diğer düğümler için röle olarak (çoklu-atlamalı) baz istasyona iletirler. Zaman 60 saniyelik eşit turlar halinde organize edilmiştir ( $T_{rnd} = 60$  saniye). Her turda düğüm- $i$   $s_i$  adet paket üretir. Düğümler arasında veri değiş tokuşu tokalaşma ile gerçekleşir. Diğer bir ifadeyle, her başarılı iletim, alıcı düğümün onay paketi ile cevaplanır. Düğümler hem veri hem de onay paketi için iletim güç seviyesini sınırlı bir küme içinden seçerler. Problemimizin hedefi ağ ömrünü, diğer bir ifadeyle, ağın çalışmaya başladığı andan itibaren ilk düğümün tüm enerjisini tükettiği ana kadar olan zamanı [123, 131] maksimize etmektir.

## 6.2 Analiz

Kullandığımız KTP modeli ile parametre uzayında sayısal hesaplamalar gerçekleştirdik. Model için disk şeklinde KAA ve diskin merkezinde bir baz istasyon kullanıyoruz. Düğümler, en iyi disk paketleme geometrilerinin raporları [137] kullanılarak alana düzgün bir şekilde dağıtılmıştır. MATLAB [134] veri bağlantı katmanı oluşturmak için kullanılmakta ve optimizasyon problemlerinden General Algebraic Modeling System (GAMS) [132]'ten faydaniılmaktadır.

Şekil 6.1 ve 6.3'de gösterilen sonuçlar 100 rastgele koşmanın ortalama sonucudur. Başka bir ifadeyle, her bir koşmada tüm linklerin yol kaybı değerleri yeni baştan üretilmiştir. Her bir algılayıcı düğüm, baz istasyona gönderilmek üzere 1024 byte ham veri üretmektedir. Bilgi bitleri data paketlerinin içine gömülmüştür. Her bir paketin 20 byte başlığı bulunmaktadır ve ACK onay paketleri de aynı şekilde aksi belirtilmedikçe 20 byte ( $M_A = 20$  Bytes) olarak seçilmiştir. Üretilen veri paket boyunun ağ ömrü

üzerinde etkilerini gözlemlemek için birden çok parçaya bölünmektedir. Örneğin, eğer tek bir paket gönderimi yapılacaksa, her bir turda her düğümden sadece 1044 byte uzunluğunda veri paketi ( $M_P = 1044$  Byte) gönderilir. Eğer iki paketlik gönderim yapılacaksa, her bir turda, her bir algılayıcı düğüm iki tane 532 byte paket ( $M_P = 532$  Bytes) gönderilir.

Şekil 6.1'da farklı düğüm sayıları ( $N_N$ ) ve düğüm başına alan ( $ApN$ ) değerleri için veri paket boyunun ağ ömrü üzerinde etkilerini incelemekteyiz. Her bir şekilde, o şekildeki en büyük değerle tüm değerleri bölerek ağ ömrü değerlerini normalize etmekteyiz. Düğüm yoğunluğu azaldıkça (başka bir ifade ile  $ApN$  yükseldikçe), yüksek düğüm sayılı ( $N_N$ ) ağlar arasındaki normalize edilmiş ağ ömrü farkları da büyür. Bu tip davranışın sebebi, ağı yoğunluğu seyrekleştikçe iletim farkının etkisinin daha yüksek olmasıdır. Fakat, esas gözlem şudur ki tüm şekillerde veri paket boyu azaldıkça, ağ ömrü azalmasıdır ki bu bize paket boyu optimizasyonu baskın terimin başlık enerji sarfiyatı olduğunu ortaya koymaktadır.

Bunun yanısıra ACK onay paketlerinin gönderiminin enerji sarfiyatına olan etkilerini inceledik. Gerçekte cevabını aradığımız soru, ACK onay paketlerinin enerji sarfiyatı üzerinde ne derecede etkili olduğuydu. Başka bir şekilde ifade edersek, tüm veriyi tek bir paket olarak gönderilirse tek bir ACK onay paketi alınır, fakat 10 veri paketi kullanıp her pakete veri yükü olarak da tek paketin onda birini yük konması durumunda 10 ACK onay paketi olacaktır. Şekil 6.3'de gösterildiği üzere ACK onay paketleri sırasıyla 1 byte (farazi bir durum olarak) ve 20 byte seçilmiştir. Buradaki şekiller, Şekil 6.3a'deki en büyük değerle bölünerek normalize edilmiştir. Genel eğilim her iki şekilde de paket boyu büyüdükçe ağ ömrünün azalmasıdır. Bazı normalize edilmiş ağ ömrü şeklinin monoton azalmasını bozan bazı veri noktaları bulunmaktadır ki bunun sebebi azalan paket fonksiyonunun yeterince istatistiksel averajlanamamasıdır ancak bunlar oldukça nadirdir. Bu nedenle, ACK onay paketinin enerji harcamasının enerji maliyetlerinde baskın terim olmasını eledik. Çünkü azalan paket boyu ile ağ ömrünün azalmasının eğilimi kendisini diğer formlarda açıkça göstermektedir. Örneğin, normalize edilmiş ağ ömrünün veri paket boyunun azalması ile azalmasının hem kısa hem de uzun ACK onay paketi senaryolarında da aşikar olmasıdır.

Mica2 düğümlerinin gerçek ölçümlerine dayanan modelimizde, bit hata oranını artırmanın tek yolu düğümler arasındaki mesafeyi artırmaktır.  $ApN$  değerlerini geniş bir aralıkta alınarak, bit hata oranının (BER) etkileri araştırılmıştır. Bununla beraber çok seyrek ( $ApN > 36 \text{ m}^2$ ) KAA dağılımları analizimize dahil edilmemiştir zira KAA ağ ömrü keskin bir şekilde azalmaktadır. Başka bir deyişle, ağ kapıları çok seyrekleştiklerinden, ağ ömürleri  $M_P = 1044$  Byte,  $M_A = 20$  Byte, and  $N_N = 25$  olduğu durumda  $ApN = 1 \text{ m}^2$  ve  $ApN = 36 \text{ m}^2$  için sırasıyla  $2.0 \times 10^6$  ve  $1.1 \times 10^6$  olmaktadır. KAA tasarım felsefesi oldukça seyrek düğüm dağılımına karşıdır.

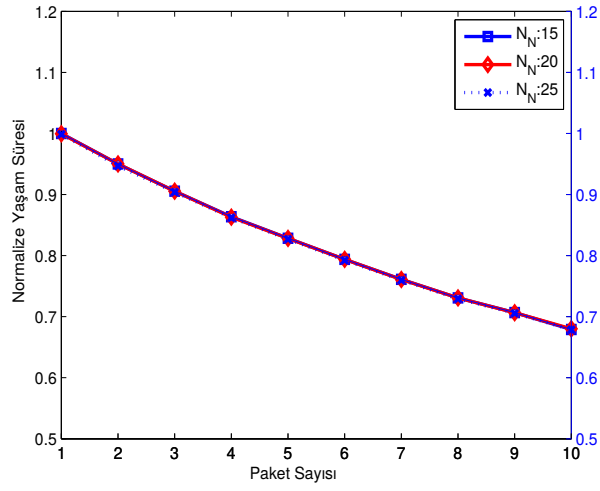
### 6.3 Değerlendirmeler

Tüm tokalaşma döngüsünü göz önünde bulundurarak KAA ağ ömrünü maksimizasyonu için paket boyunun belirlenmesindeki ödünleşmeyi araştırdık. Gerçekçi varsayımlar altında, veri paket boyu optimizasyonu problemini irdelemek için pratik KAA platformlardan yararlanarak, hemen hemen tüm ana enerji harcama kaynaklarını içe-

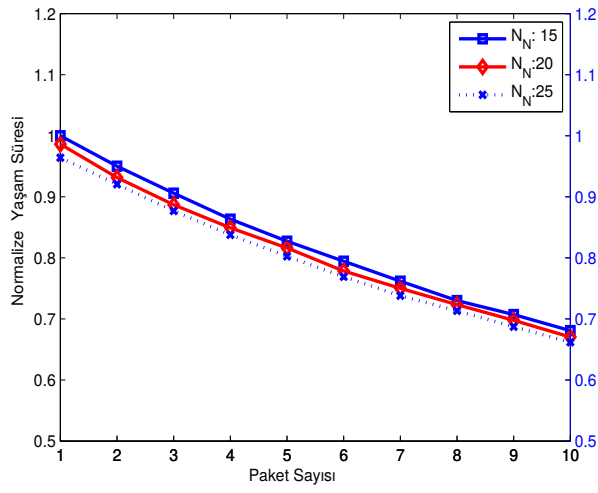
ren KTP çalışma çerçevesini oluşturduk. Ulaştığımız netice itibariyle, KAA ağ ömrünü maksimize etmek için en tercih edilebilecek yol, müsaade edilen en büyük veri paketini kullanmak olacaktır ki bunun dışında maksimum ağ ömrüne ulaşmak mümkün değildir. Başka bir ifade ile, 1024 byte veriyi 10 paket halinde göndermek ile aynı veriyi tek bir paket halinde göndermeye nazaran %30'dan fazla ağ ömrü kaybına neden olacaktır.



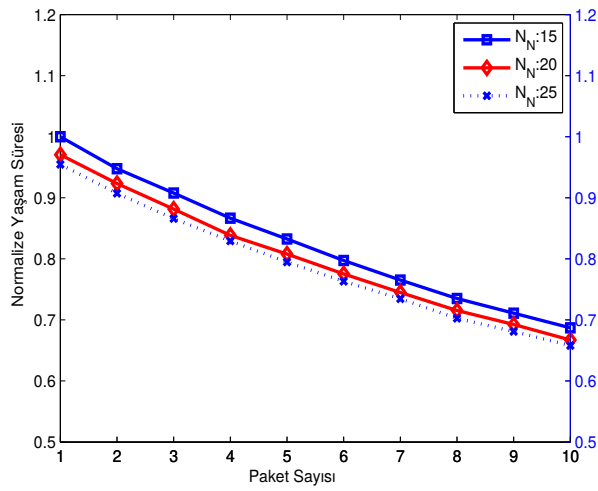




(a)  $ApN = 1 m^2$

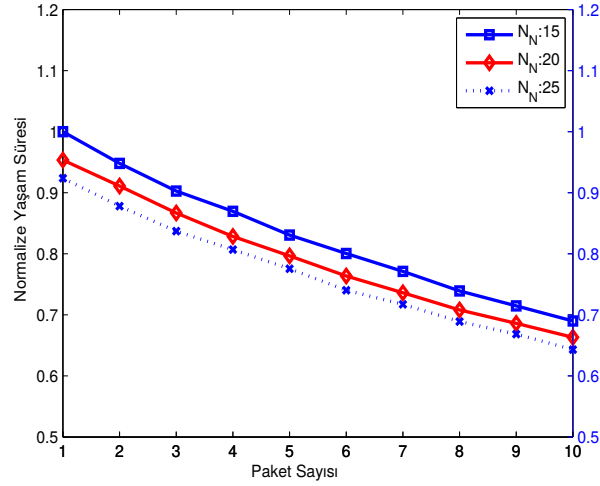


(b)  $ApN = 2 m^2$

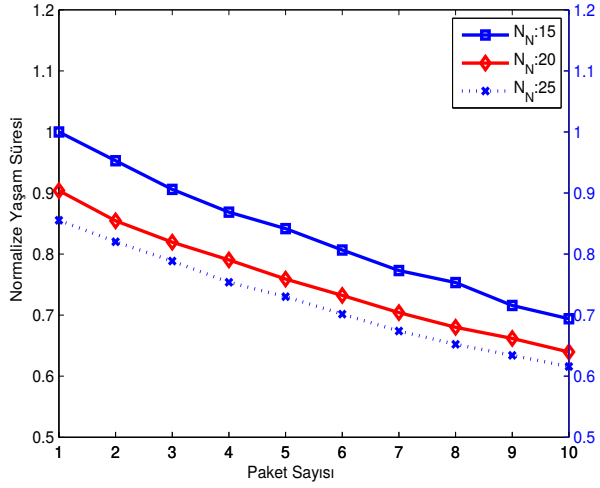


(c)  $ApN = 4 m^2$

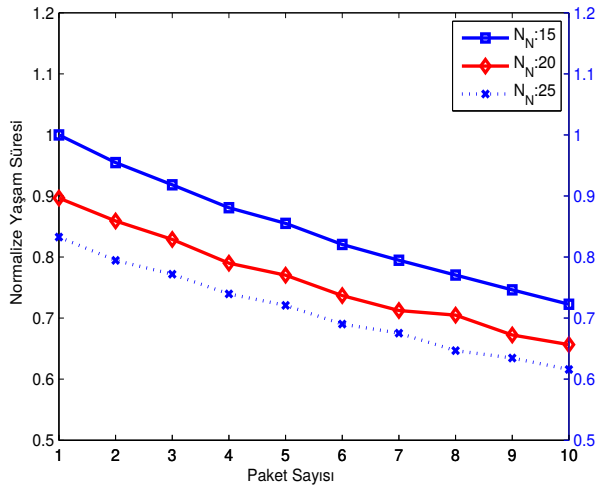
Şekil 6.1: Farklı  $N_N$  ve  $ApN$  değerlerine göre her bir turda ( $s$ ) üretilen Paket sayısına karşılık Ağ ömrü.



(a)  $ApN = 16 m^2$

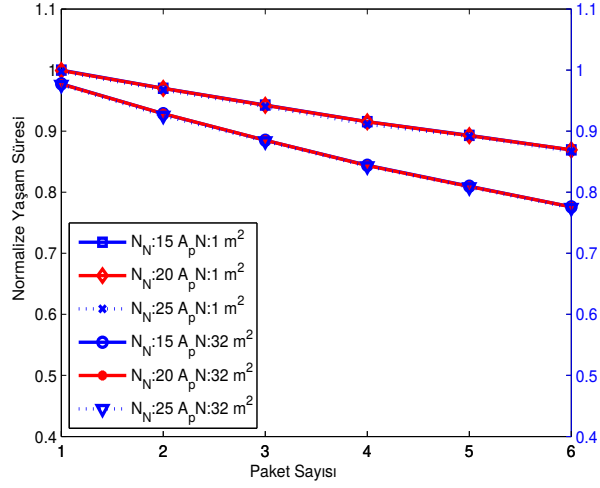


(b)  $ApN = 32 m^2$

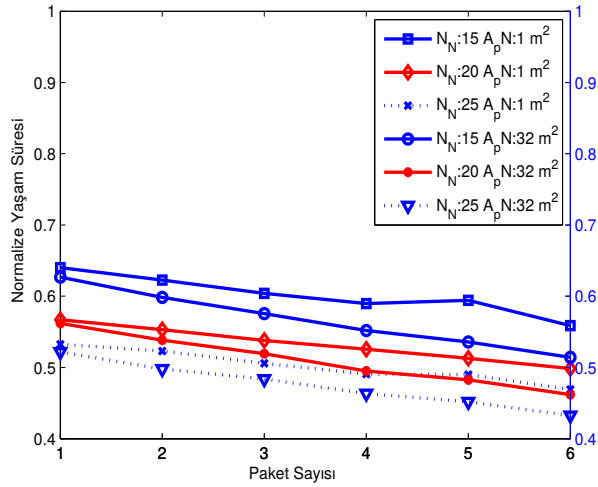


(c)  $ApN = 64 m^2$

Şekil 6.2: Farklı  $N_N$  ve  $ApN$  değerlerine göre her bir turda ( $s$ ) üretilen Paket sayısına karşılık Ağ ömrü.



(a)  $M_A = 1$  Byte



(b)  $M_A = 20$  Bytes

Şekil 6.3: İki farklı ACK onay paketi için, farklı  $N_N$  ve  $A_p N$  değerlerine göre her bir turda (s) üretilen Paket sayısına karşılık Ağ ömrü.



## 7. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ OPTİMİZASYON MODELLERİ İÇİN NÖRAL AĞ TEMELLİ HIZLI PARAMETRE TAHMİN YAKLAŞIMI

### 7.1 Giriş

Kablosuz algılayıcı ağların batarya ile enerjilerini karşılamaları onların enerji kullanımını konusunda kırılgan hale getirmektedir. Bu sebeple KAA parametrelerinin sahaya atılım öncesinde dikkatli bir şekilde tasarlanmaları gerekmektedir. Tez çalışmasında kullanılan model ve MIP çalışma çerçevesi optimizasyon hesaplamalarında çok yüksek hesaplama gücüne ve işlem zamanına ihtiyaç duymaktadır. KAA'lardaki düğüm sayısı arttıkça ve bu rakam yüzlerce olarak ifade edildiği noktada hesaplama karmaşıklığı eksponansiyel olarak artış göstererek makul bir zaman diliminde sonuç almak imkansız hale gelmektedir. Bu durumun üstesinden gelmek için, mevcut MIP çalışma modelinin üstüne Nöral Ağ (NA) modelleri geliştirdik. Bu sayede KAA maksimum ağ ömrü, iletim güç seviyesi ve düğümler arası mesafe gibi parametreler uzun optimizasyonlara gerek kalmaksızın tahmin edilmesi sağlandı. Geliştirilen modeller ile ağ ömrü %3, iletim güç seviyesi %6 yanılma payı ile tahmin edilebilmekte, düğümler arası mesafe ise 40 metrelik bir skalada 3 metrelik bir hata payı ile sonuçlar alınmaktadır. Bunun ötesinde, istenen değerlerin elde edilmesi yoğun optimizasyon hesaplamalarına ihtiyaç olmadan anlık denebilecek kadar hızlı bulunmaktadır.

### 7.2 Literatürde Yakın Çalışmalar

Kablosuz algılayıcı ağlar, algılayıcıları daha küçük boyutlarda üretimi, mikroişlemcilerin düşük enerjili ve çok daha güçlü hale gelmeleri ile popüler hale gelmişlerdir. Bataryalı olarak çalışma gereklilikleri ve bataryaların değiştirilebilirliğinin olmaması, KAAların operasyonel çalışma sürelerini kısıtlayıcı bir faktör olmuştur. KAAları maksimum ömre sahip olmaları için stratejilerin dikkatlice değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koyarak KAA ömrünün göz önüne alınması gereken en önemli karar parametresi olduğu görülmektedir. Bu açıdan parametre tahmininde nöral ağ kullanımı hayati bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Literatürde, Nöral ağların (NA) Kablosuz Algılayıcı Ağların enerji verimliliği, düğüm yer tesbiti ve diğer parametrelerin tahmin edilmesi çalışmalarından yararlanılması ile ilgili araştırmalar bulunmakla beraber KAA'da ağ ömrü tahminine ilişkin yapılanlar oldukça azdır. Mishra ve arkadaşları [138] NA'lardan Vücut Algılayıcı Ağları (VAA) kullanarak vücut üzerindeki algılayıcıların kullanılmasını yararına faydalanmışlar. NA kullanarak oluşturdukları çalışma çerçevesi (framework) ile hata seviyesini minimumda tutarak fiziksel parametrelerin transfer zamanını tahmin ederek enerji harcamasının en aza indirilmesini amaçlamışlardır. Bu çalışmanın sonucunda tahmin işlevi ile ağ enerjisinden tasarrufta bulunabildiklerini belirtmektedirler.

Payal [139] tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, felaket yönetimi, çevresel etki

yönetimi ve tarım idaresi için KAA ağlarda düğümlerin yerlerinin tesbiti için nöral ağlar kullanılarak yer belirleme çalışma çerçevesi geliştirilmiştir. Bu çalışma çerçevesine uygun düşük maliyetli düğümler geliştirilerek çalışmanın geçerliliğini göstermişlerdir.

Aram ve arkadaşları [140] ise ağ ömrünü uzatmak için iki veri yakalaması arasında kapanan KAA düğümleri önermektedir. Onların çalışmasında nöral ağlardan kablosuz algılayıcı ağların verimli enerji kullanımını yönetmek için faydalanmaktadır. Çalışmada ortaya koydukları fikirlerin yararlılığını teyit etmeye yönelik çevre koşullarını gözlemleme amaçlı bir deney gerçekleştirmiş ve metotları pratikte gereken hassasiyeti sağlayarak örneklemeyi daha az sayıya düşürmeyi başarmıştır.

Singh ve arkadaşları [141] geliş zamanı (Time of Arrival) bilgisini kullanarak daha hassas yer belirleme için 2 popüler algoritma önermişlerdir: M5P ağaç modeli (M5P) ve Regresyon için Ardışık Minimal Optimizasyon (Sequential Minimal Optimization for Regression). Aynı yer belirleme problemini nöral ağ modellerine (Çok Katmanlı Perceptron - MLP) de uygulamışlar ve karşılaştırmalı analizler yapmışlardır. Sonuç olarak başta Ardışık Minimal Optimizasyon daha iyi olsa da artan eğitim örneklemeleri sayısı ile performansta gelişme olmamıştır buna karşılık M5P algoritmasında daha çok eğitim örnekleme ile gelişme olduğu görülmüştür.

Başka bir araştırmasında Singh [142], geliş zamanı farkı bilgisini (Time Difference of Arrival - TDoA) kullanarak düğümlerin yer tesbiti için lokasyon-farkında servisler önermiştir. Bu metotta da geliş zamanı farkı verisi kullanılarak çapa düğümler ile algılayıcı düğümler arasındaki mesafe hesaplanmış ve bu bilgi nöral ağ modellerin eğitim örnek setinde faydalanmıştır. Simulasyon sonuçları, eğitim verileri yoğunluğunun yüksek olduğu durumlarda root-mean-square-error (RMSE) bakımından Radial Basis Function ağların, Backpropagation ağlara göre çok daha üstün olduklarını göstermiştir.

Roy [143] ve diğerleri, nöral ağ kullanarak farklı parametrelerle sofistike bir sel uyarı sistemi modellemiştir. Çıktılardan elde ettikleri sonuçlarının önerdikleri modelle mükemmel uyum içinde olduğunu ve tatmin edici seviyede kabul edilebilir olduğunu iddia etmektedirler. Çalışmadan sağlanan çıktılar, sel baskını gibi afet yönetim sistemlerine erken uyarı sağlamak ve sel sonrası durumlara karşı savaşmak için hazırlık yapılmasına imkan tanımaktadır.

Ağ topolojisinin verimli kontrolü şekli olarak, Guo ve arkadaşlarının [144] kablosuz ağların enerji tüketimini düşürecek ve ağın işlem hacmini (throughput) artırmak ve KAA enerji tüketimini düşürmek için kümeleme algoritması önerdiler. KAA için kümeleme algoritmasının öğrenme çalışma çerçevesi, düğümlerin ağırlıklarına oranına göre ilişkilendiren nöral ağ modeline dayanmaktadır. Simulasyon sonuçları göstermektedir ki algoritmanın veri fazlalığının eliminasyonundaki verimliliği ağ trafiğini azaltmakta ve ve ağ ömrünü uzatmaktadır.

Nakano ve arkadaşlarınca [145] yapılan araştırmayla kaotik darbe eşlikli nöral ağ (chaotic pulse-coupled neural network) kullanarak algılayıcı verisi toplanmasına ilişkin yeni bir senkronizasyon şemasının önerisi yapılmaktadır. Önerdikleri şema bilgisayar simulasyonları kullanarak yaptıkları test edilerek elde edilen sonuçlar, daha önceki darbe eşlikli osilasyon (pulse-coupled oscillator) modeline dayanan senkronizasyon şemasına göre verimli olduğu teyit edilmiştir.

Yaptığımız literatür taramasında, KAA ağ ömrünün, iletim güç seviyesinin ve düğümler arasındaki mesafenin tahmin edilmesi konusundan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bildiğimiz kadarıyla, KAA parametrelerinin nöral ağ modellemesi metotlarıyla tahmin edilmesi konusunda bir ilk olmaktadır. Nöral ağ metotlarıyla çalışmamızda bizi bu yola sevkeden unsur KAA üzerindeki düğüm sayısının artışı ile kullanılan MIP optimizasyon çalışma çerçevesinin pratik olmaktan uzaklaşması ve hesaplama süresi açısından da kabul edilebilir çalışma zamanlarının üzerinde çıkma eğiliminde olmasıdır.

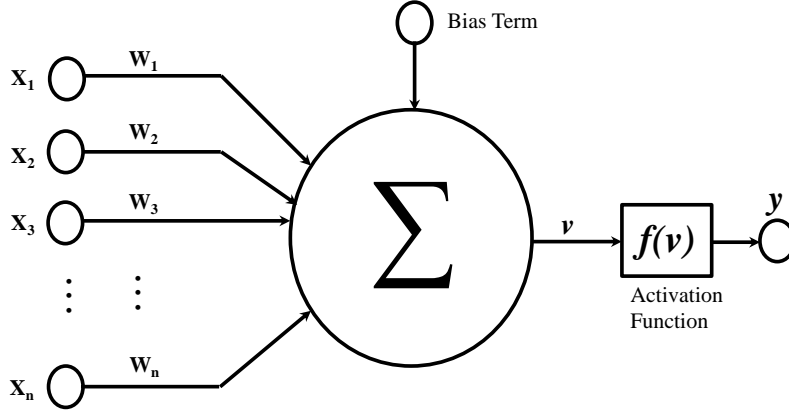
### 7.3 Sistem Modeli

Sistem modeli olarak, bölüm 4.1’de anlatılan fiziki ve bağlantı katman modellemesi ve MIP çalışma çerçevesi öngörülmüştür [115]. Modelde algılayıcı alan içerisine homojen dağıtılmış algılayıcı düğümler ve merkezinde verileri toplayan bir baz istasyon tasarlanmıştır. Baz istasyonun ağın tüm topolojisini bildiği ve yeterince güçlü hesaplama becerisine sahip olduğunu varsaymaktayız. Bir TDMA (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim) tabanlı MAC katmanının kullanıldığını ve bunun düğümler arasından girişimi önlediğini farzetmekteyiz. Tüm algılanan veriler baz istasyona yönlendirilmekte ve bunun için düğümler ya tek atlama ile direk baz istasyona göndermekte yada aradaki diğer düğümleri röle olarak kullanarak çoklu atlama ile veriyi gönderebilmektedirler. Çalışma zamanı turlara bölünmüş olup sabit 60 saniyedir ( $T_{rnd} = 60$  s). Her turda  $s_i$  veri paketi üretilerek baz istasyona aktarılmaktadır. İki yönlü el sıkışma mekanizmasıyla her paket ACK paketleri ile hatasız iletiildiği teyit edilmektedir. Her bir düğüm arasında link üzerinde tanımlı iletim güç seviyesi lokal olarak optimize edilmiştir. Modeldeki amaç ağ ömrünün ( $N_{rnd}$ ) maksimize edilecek şekilde iletim güçlerinin optimize edilmesi ve bunu sağlayacak veri paket boyunun tesbitidir. Ağ ömrü, ağ ilk çalışmaya başladıktan sonra ilk algılayıcı düğümün tüm enerjisini tüketmesine kadar geçen süredir.

### 7.4 Nöral Ağlar

Nöral ağlar, geçtiğimiz son onyıllar içinde birçok kalıp tanıma ve veri analizi problemleri çözümü için kullanılmaktadır [146]. Nöral Ağların (NA) çözüm için kullanıldıkları problemler, el yazısı tanıma [147], borsa finansal hareketleri önceden tahmini [148], trafik işareti algılama [149], parmak izi tanıma [150], ses kimlik tesbiti [151], hassasiyet analizi [152], akış kalıbı sınıflandırması [153], araç plaka tanıma [154], vb. gibi bir çok alanları içeren oldukça geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Araştırmacıların nöral ağları kullanmalarındaki temel sebep, nöral ağ modellerinin genelleme yapabilme ve kompleks kalıplardan öğrenebilmesidir ki geleneksel yaklaşımların (doğrusal yada doğrusal olmayan regrasyon ve/veya fonksiyon yakınlaştırma metodolojileri) bu kompleks problemleri çözmekten uzaktadır. Bahsettiğimiz problemlerin çoğu kompleks vasıf gösterimleri gerektirir ki bu da klasik tekniklerle modellenemez.

Özelliklerinin gösterim şekli, işlem yapısı ve veriden nasıl öğrenme yaptıklarına göre bir çok çeşit Nöral Ağ (NA) bulunmaktadır [146]. Eldeki probleme bağlı olarak özel bir NA, o durum için daha uygun bir tercih olabilir. Statik veri kullanan (karakter tanıma gibi) bir problem, yüksek başarı oranıyla, Çok Katmanlı Perceptron (Multilayer



Şekil 7.1: Temel Nöron modeli

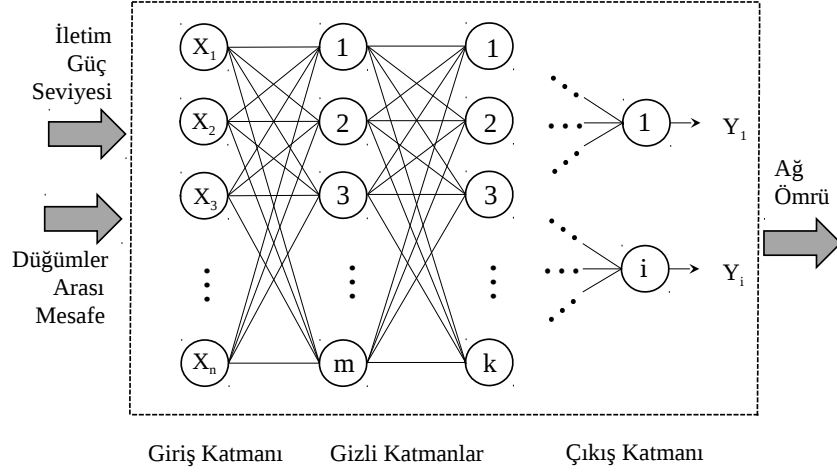
Perceptron-MLP) ile halledilebilir. Bunun yanında, zaman serisi hava tahmini problemleri için MLP zorludur ve çoğunlukla da vasat sonuçlar verir. Genellikle zaman serisi verisini MLP'ye veya NA modeline uygulamadan önce uygun veri ve/veya özellik işleme/biçim değiştirme yapılmasına gerek duyulur. Fakat, istenirse yenilemeli NA veya zaman-gecikmeli NA veya zaman serileri ile çalışabilecek benzer her bir ağ seçilebilir ve önemli bir özellik biçim değişimine gerekmeden üstün bir performans başarılabılır. Bu az örnekler farklı bir görev için uygun bir NA modeli seçmenin zorluklarını göstermektedir.

Birçok farklı çeşit NN modeli ve topolojisi olmasına rağmen, diğerlerinden farklı bir model en çok sıklıkla kullanılan olarak bir adım öne çıkmaktadır: Geri-Yayımlı öğrenme algoritması kullanarak Çok Katmanlı Perceptron [155]. Çoğu araştırmacı, nispeten kolay geliştirilmesi, geniş bir problem yelpazesinde üzerinde üstün performansı ve iyi çalışılmış çalışma yapısı nedeniyle MLP modelini kullanırlar. MLP geçen yüzyılın ikinci yarısından beri farklı problemlerin çözümünde araştırmacılar tarafından tercih edilmekte ve NA modelleri arasında literatürde açık ara en çok kullanılan model olmaktadır. Sonuçta, çalışmaların çoğu içinde, araştırmacılar analizlerinden bahsederken açıkça belirtmeseler de gerçekten kastettikleri MLP'dir.

Literatürde MLP bu derece yoğun çalışıldığından ve çalışmaların çokça bulunabilmesinden dolayı, modelin temel yapısını sunuyor olacağız. MLP ve tüm NA modelleri temel taş olarak nöronları kullanırlar. Bir nöronun temel yapısı Şekil 7.1'de gösterilmektedir. Her bir nöron bir önceki nörona ve takip eden nörona bağlıdır. Bu gösterim şekline tam bağlantılı ağ denir. MLP tam bağlantılı bir ağdır fakat bazı diğer NA tipleri tam bağlantılı değildir. MLP'de giriş katmanında veri modele özellik olarak temsil edilir. Giriş katmanındaki nöron sayısı özellik vektör boyu ile aynı olacaktır. Gizli katmanlar da (çoğunlukla bir yada iki tane) yer alır. Her katman belli sayıda gizli nöronlara sahiptir. Gizli katmanlarda hangi sayıda nöron olacağına ilişkin belli bir kural yoktur, ancak yapılan bazı çalışmalar öneriler getirmektedirler [156]. Veri gösteriminde çıkış katmanındaki nöron sayısı çıkışlarında sayısına eşittir. Bize özgü durumda, sadece ağ ömrü olduğundan bir tanedir. Genel olarak belirtmek gerekirse, bir regresyon probleminde (ağ ömrü tahmini gibi) çıkış katmanında tek bir nöron bulunur. Fakat sınıflandırma problemlerinde (karakter tanıma gibi) çıkış katmanındaki nöronların sayısı veri küme-

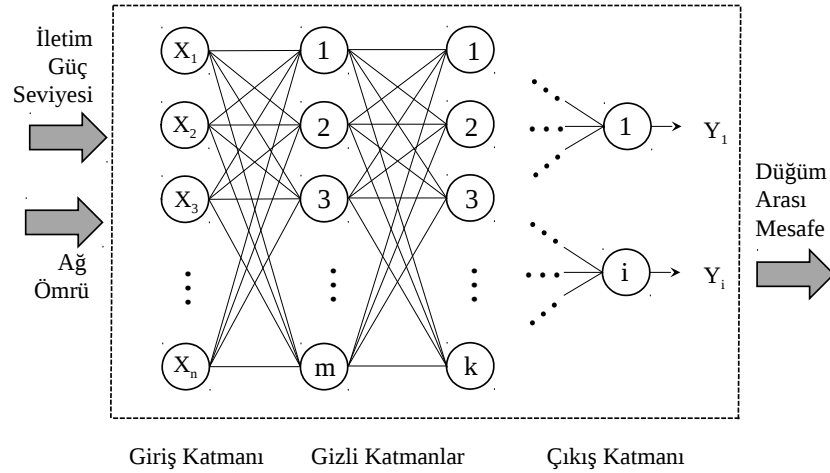


sindeki farklı sınıfların sayısına eşittir. Şekil 7.2’de ağ ömrünü tahmininde kullanılan NA modelini, Şekil 7.3’de düğümler arası mesafeyi tahmin NA modelini, Şekil 7.4’de de iletim güç seviyesi tahmin modelini gösterilmektedir.



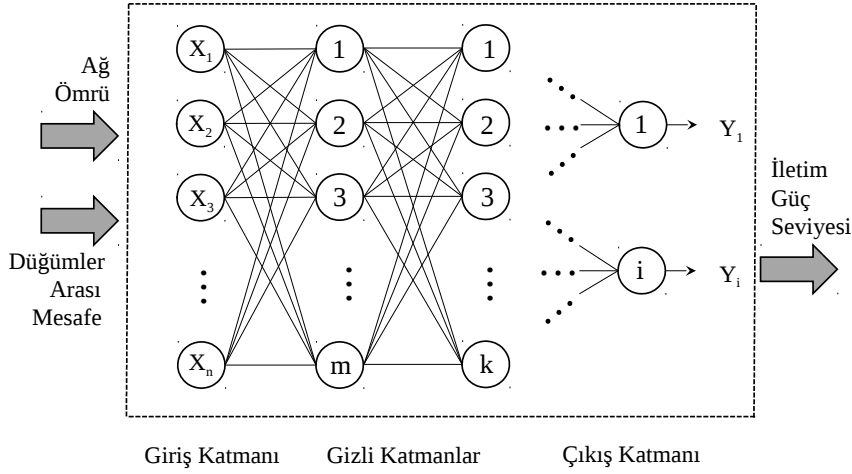
Şekil 7.2: Ağ ömrü tahmini için NA modeli

## 7.5 Sayısal Analiz



Şekil 7.3: Düğümler arası mesafe tahmini için NA modeli.

CPLEX çözücü ile GAMS kullanarak oluşturduğumuz modelin karma tamsayı programlama (KTP) ile çalışma çerçevesini oluşturmuştuk 4.4. Bu sistem modelinden faydalanarak, MATLAB Nöral Ağ araçları ile incelemek KAA ağ ömrü, iletim güç seviyesi ve düğümler arası mesafe için veri kümelerini yaratıldı. Bunun için merkezinde bir baz istasyon bulunan 25 adet sensor düğüm içeren statik bir grid ağ yapısı (Şekil 8.2) farzediyoruz. Ağda düğümler arası mesafe 1’den 40 metreye kadar 1 metre aralıklarla

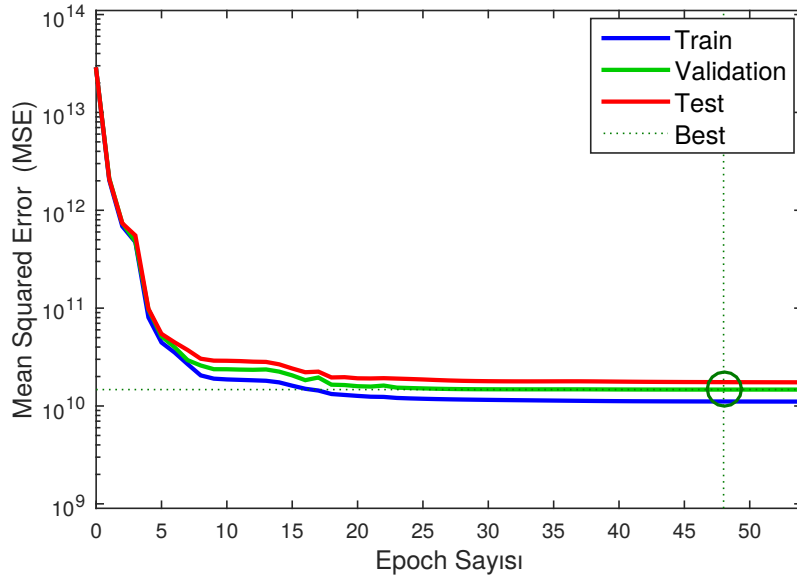


Şekil 7.4: İletim güç seviyesi için NA modeli

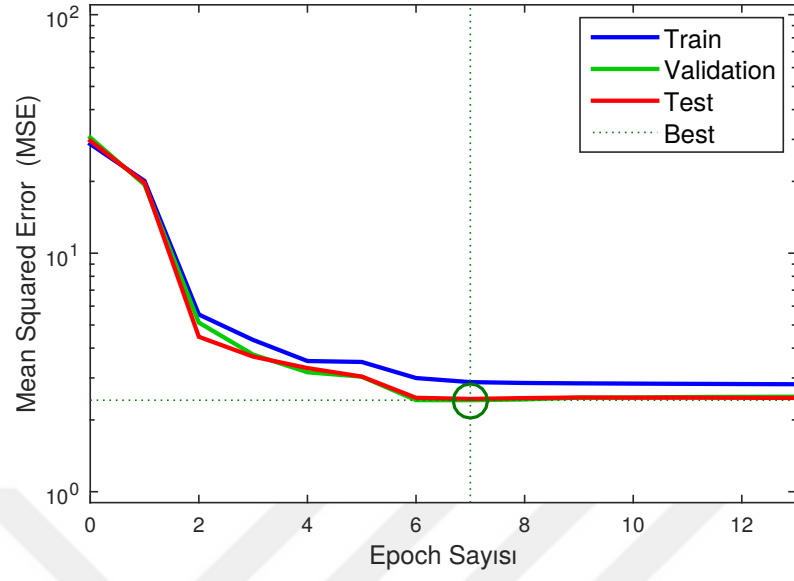
ve düğümler arasında da minimum 1'den maksimum 26'ya kadar 26 seviyeli veri iletim güç seviyesinde (Çizelge 4.1) değişken değerdedir.

Bilgisayar hesaplamalarında 100 defa koşturularak sonuçlar alındı. Bu yolla yol kaybı değerleri rastgele şekilde yeniden oluşturuldu. 100 rastgele çalışma sonuçlarının matematik ortalamalarını alarak log-normal gölgeleme etkilerini simülasyona yansıtılması sağlanmış oldu. Ağ ömrü, iletim güç seviyesi ve düğümler arası mesafeden oluşan 560 değer içeren veri kümesi yaratıldı.

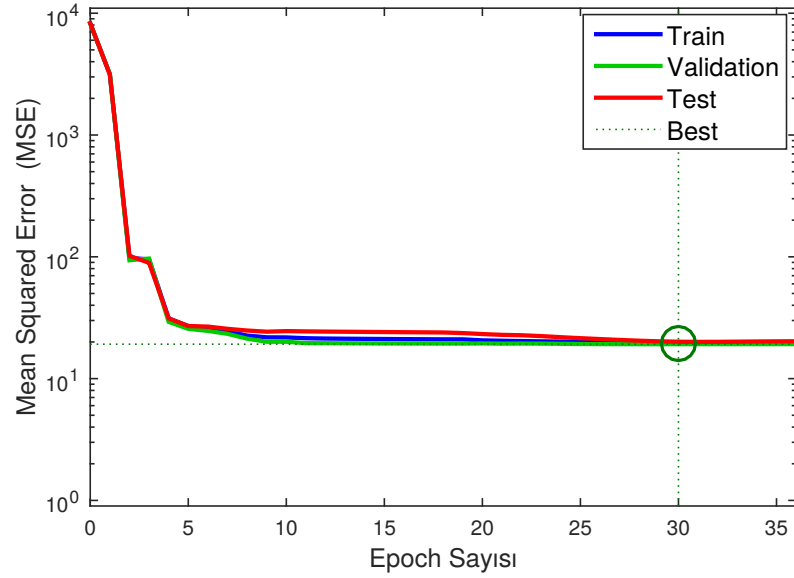
Bu çalışmada 3 ayrı NA tahmin modeli kullanıldı. İlk modelde düğümler arası mesafe ve iletim güç değerleri girdi olarak sunuldu ve ağ ömrü tahmin edildi (bkz. Şekil 7.9 ve Şekil 7.6)



Şekil 7.5: Ağ ömrü tahmininde epoch sayısı.

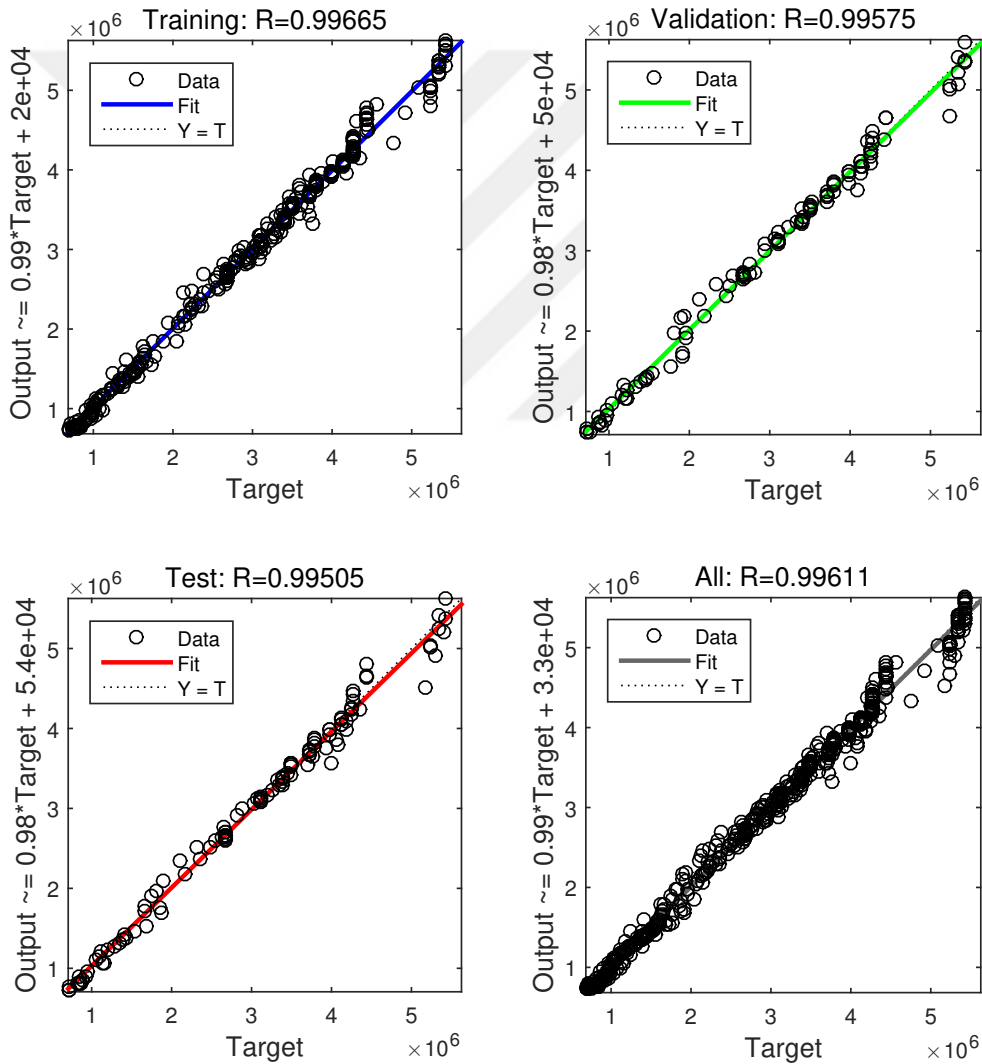


Şekil 7.6: İletim güç seviyesi tahmininde epoch sayısı



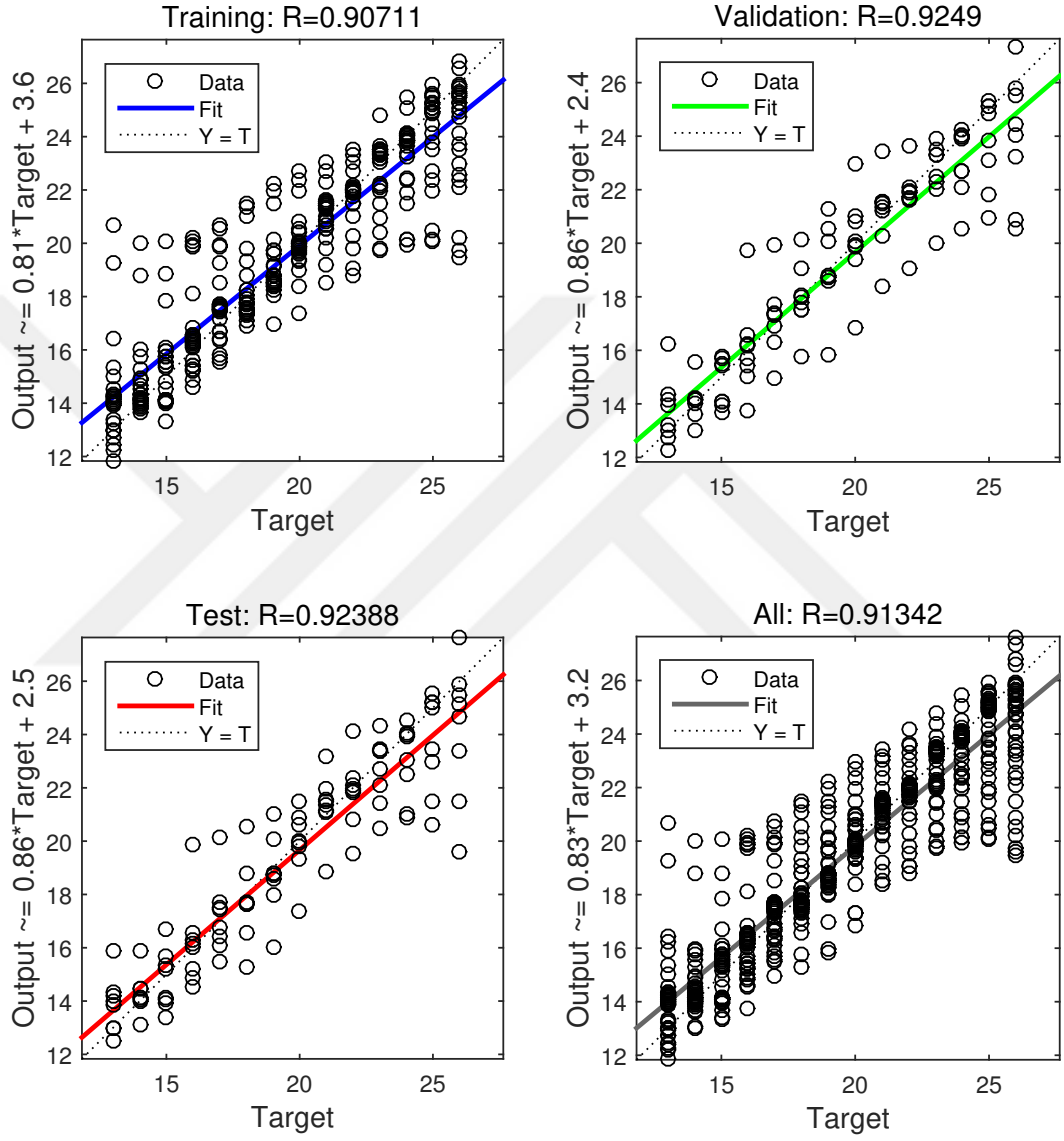
Şekil 7.7: Döğümler arası mesafe tahmininde epoch sayısı.

Çalışmada Üç ayrı tahmin modelinde 2 giriş olarak alınarak 1 çıkış değer elde edildi. İlk modelde, uzaklık değerleri ve iletim güç seviyesi giriş olarak kullanıldı ve ağ ömrü tahmin edildi Şekil 7.2. Analiz sonuçları Şekil 7.8’de ve Şekil 7.5’de sunulmuştur. İkinci modelde ise ağ ömrü ve mesafe giriş olarak tanıtılmış (Şekil 7.4) ve iletim güç seviyesi tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 7.9 ve 7.6’de gösterilmiştir. Son modelde ise ağ ömrü ve iletim güç seviyesi giriş değerleri olmuş (Şekil 7.3) ve düğümler arası mesafenin tahminine çalışılmıştır. Sonuç değerlere ilişkin grafikler Şekil 7.10 ve 7.7’de verilmektedir. Verilerin yüzde 60’ı eğitim için kullanılmış, yüzde 20’si çapraz doğrulamada (Cross Validation-CV), kalan yüzde 20’de tüm modellerde test amaçlı kullanılmıştır. Eldeki tüm veriyi test etmek için 5-kat çapraz doğrulama ve test geliştirildi. MATLAB Nöral Ağ araç kutusu test kümelerinde tahminlerin gerçekleştirilmesinde yararlanıldı.

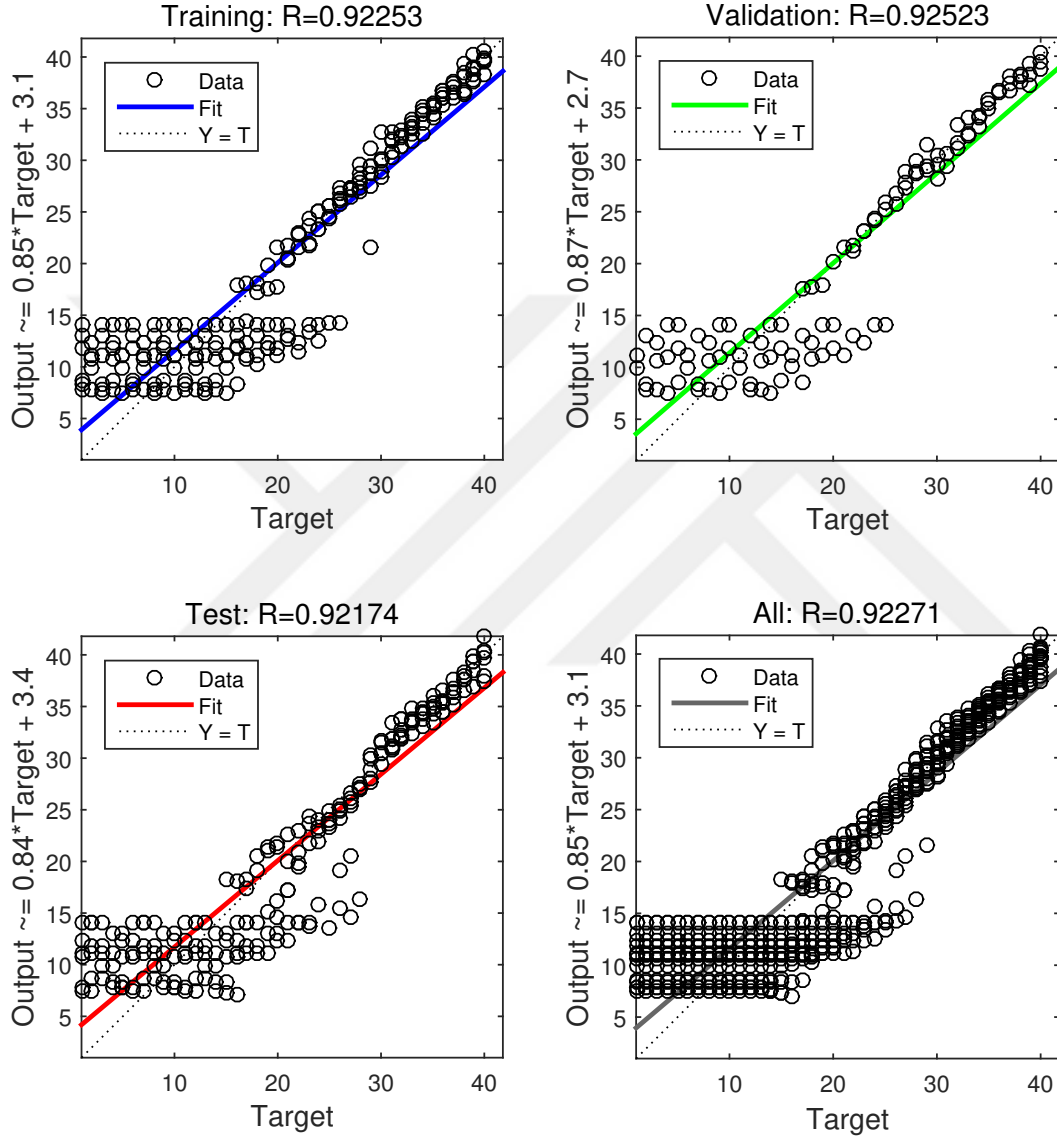


Şekil 7.8: Ağ ömrü tahmini regresyon sonuçları.

Tahminler tamamlandıktan sonra iki-yönlü T-testi ile istatistiksel olarak anlamlılıkları test edildi. T-testi p-değerleri diğer istatistiksel ölçümlerle beraber (örneğin, root-mean-square-error (RMSE), mean-percent-error (MPE), mean-absolute-percent-error (MAPE),



Şekil 7.9: Güç seviyesi tahmini regresyon sonuçları



Şekil 7.10: Düğümler arası mesafe regresyon sonuçları

correlation coefficient (R)) çizelge (Çizelge 7.2) haline getirildi. T-testi p-değerlerinin 0.5 üzerinde olması gerçek değerlerle tahmin edilen değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını göstermektedir. Ağ ömrü, iletim güç seviyesi ve düğümler arası mesafe için gerçekleştirilen tüm regrasyon testleri gerçekleştirilmiş, korelasyon değerleri sırasıyla, ağ ömrü tahmini için 0.995, iletim güç seviyesi tahmini için 0.924 ve düğümler arası mesafe tahmininde ise korelasyon değeri 0.922 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 7.1: Doğrusal Regrasyon Modellerinin Tahmin Performansları.

Model	RMSE	MPE	MAPE	R	T-test p-value
Ağ Ömrü Tahmini	729379	11.92	29.71	0.8254	0.863
Güç Seviyesi Tahmini	4.0198	4.64	19.155	0.0784	0.985
Mesafe Tahmini	6.5296	58.765	81.75	0.8246	0.814

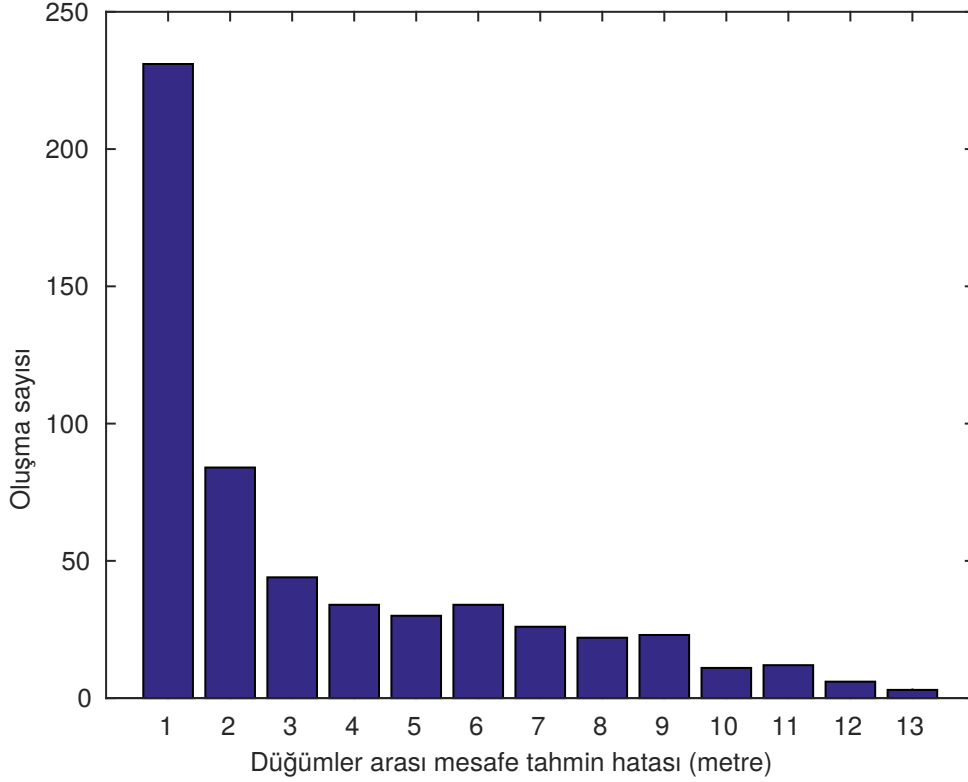
Çizelge 7.2: Nöral Ağ Tahmin Modellerinin Tahmin Performansları.

Model	RMSE	MPE	MAPE	R	T-test p-value
Ağ Ömrü Tahmini	119924	0.116	3.354	0.99577	0.959
Güç Seviyesi Tahmini	1.788	-0.9145	6.2275	0.92388	0.734
Mesafe Tahmini	4.507	-46.105	63.04	0.92174	0.921

Nöral ağ kullanarak elde ettiğimiz sonuçları, her bir tahmin modeli (ağ ömrü, iletim güç seviyesi ve düğümler arası mesafe) için doğrusal regrasyon (LR) sonuçları ile karşılaştırdık. Tahmin performans istatistiklerinin doğrusal regrasyon değerleri Çizelge 7.1’de gösterilmektedir, aynı şekilde nöral ağlar için regrasyon test sonuçları Çizelge 7.2’de verilmektedir. Sonuçlar göstermektedir ki her üç durumda da nöral ağ modelleri, doğrusal regrasyon modelleri üzerinde büyük bir üstünlük sağlamışlardır. NA Ağ ömrü ve iletim güç seviyesi tahminleri LR modelleri çok üzerinde performans göstermişlerdir. Düğümler arası mesafe tahmininde toplam tahmin performansı diğer iki NA tahmin modellerine göre, birbirine yakın kısa düğümlerarası mesafeleri tahmin güçlüğü sebebiyle, nispeten düşüktür. Bu durum Şekil 7.10’de kolaylıkla görülmektedir. Grafiğin sol tarafında mesafe değerlerinin küçük olduğu bölümde tahmin değerleri ideal tahmin çizgisinden oldukça uzakta, ancak çok daha büyük mesafe değerlerine geldikçe (sağ üst köşeye doğru) çok daha iyi tahmin performans ortaya koymaktadır. Bu performsta dahi NA modeli hala daha LR modelden çok daha iyi tahmin gerçekleştirmekte olduğunu performans çizelgelerinde (Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.2) görmekteyiz.

Nöral Ağ modellerini geliştirmekteki esas hedefimiz, optimizasyon modellerinde büyük düğüm sayılarına ulaşıldığında karşılaşılan aşırı zaman alan hesaplamaların derinliklerine girmeden hesaplamak istediğimiz değerleri en doğru şekilde tahmin edebileceğimiz bir NA sistem oluşturmaktır. Hesaplama kompleksliğinin artan düğüm sayısı ve düğümler arası mesafe artışı ile nasıl değiştiğini göstermek için, çalışmada kullandığımız topolojileri 9 düğümlü (ie., Grid: 3×3), 25 düğümlü (ie., Grid: 5×5), 49 düğümlü

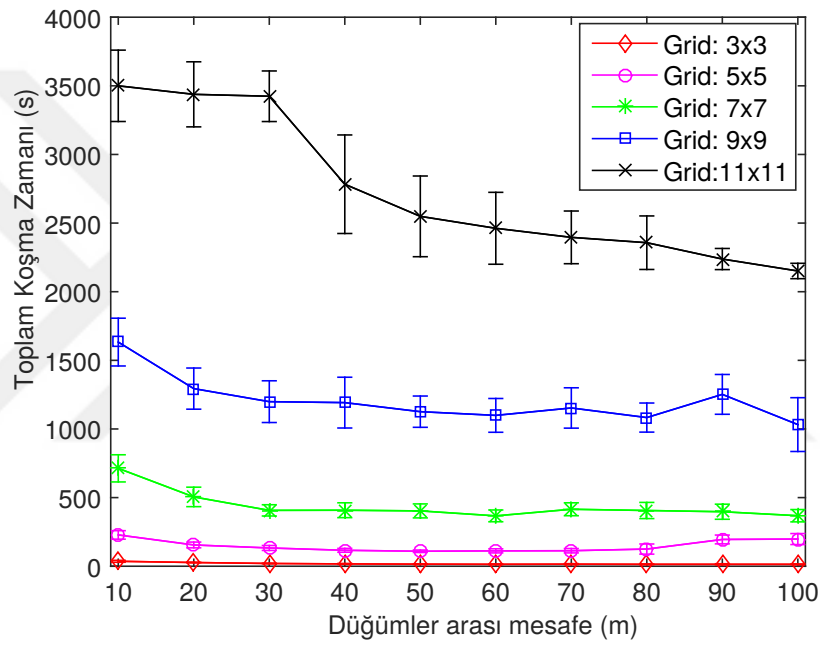
(ie., Grid:  $7 \times 7$ ), 81 düğümlü (ie., Grid:  $9 \times 9$ ), ve 121 düğümlü (ie., Grid:  $11 \times 11$ ) olarak seçtik. Yaptığımız hesaplama sürelerini farklı düğüm sayıları ve düğümler arası mesafe için standart sapmaları ile beraber bir Çizelge 7.3 halinde çıkarttık.



Şekil 7.11: Düğümlerarası mesafe tahmini performans histogramı

Şekil 7.11 metre cinsinden düğümlerarası mesafe tahminlerindeki hata dağılımını göstermektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi NA modelindeki gerçek hata mesafe miktarı, çoğunlukla 3 metrelik bir alanda yoğunlaşmış olduğundan RF iletişim bakış açısından bakıldığında önemli bir değer değildir. Çalışmamızda mesafe verilerini 1'den 40 metre olacak şekilde sınırladığımızdan, küçük mesafe değerlerinde gerçekte hata önemsiz olmasına rağmen ( 1 metre mesafe için yapılan tahmindeki  $\pm 1$  metrelik bir hata %100 hata olarak görünmesine karşın, esasen 1 metrelik hata, RF uygulayıcılar için önemsizdir) daha yüksek hata oranı eğilim bulunmaktadır.





Şekil 7.12: Farklı grid boyları ve düğümler arası mesafe için koşma süreleri ve standart sapmaları

Çizelge 7.3: Farklı grid boyları ve düğümler arası mesafe için koşma süreleri ve standart sapmaları ( $\pm$  işareti ile ekli).

Topology	Internode Distance (m)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Grid: 3 × 3	36±18	27±3	20±3	17±4	15±3	14±3	15±4	14±3	14±4	14±3
Grid: 5 × 5	228±31	155±21	133±18	116±14	109±9	112±15	113±16	125±37	195±32	198±40
Grid: 7 × 7	713±99	505±267	407±41	408±54	403±51	367±43	415±327	406±59	397±55	368±45
Grid: 9 × 9	1633±174	1294±150	1199±152	1192±325	1126±114	1099±123	1153±329	1083±106	1252±761	1032±336
Grid: 11 × 11	3500±400	3438±1217	3424±1174	2783±499	2549±294	2462±262	2396±192	2357±195	2238±77	2151±56

Çizelge 7.3’de de görüleceği gibi, ağdaki düğüm sayısı arttıkça hesaplama zamanı katlanarak artmaktadır. Düğümlerarası mesafeler için konuşmak gerekirse, büyük düğümlerarası mesafe değerleri hesaplama yapmak daha zaman almaktadır. Bunun sebebi ağda düğümlerarası mesafenin büyüdükçe ağda seyrekliğin artması çözümü kolaylaştırmakta, tam tersine mesafenin düşmesi ile seyrekliğin azalması, düğümler arasında girişimin artmasına ve dolayısıyla optimizasyon modelinin daralan mümkün alanda (feasible region) sonuç bulmaya sıkıştırmaktadır ki bu da daha az potansiyel çözümün taranması anlamına gelmektedir. Hesaplama süresindeki sert artışı gösterebilmek ve daha anlaşılabilir için Çizelge 7.3’deki değerleri Şekil 7.12’de grafik haline getirdik. Şekilde standart sapma değerleri hata çubukları ile temsil edilmektedir. Şekli inceledikçe 121 düğümlü ve 10 metre düğüm arası olan bir ağ için hesaplama süresi ile 9 düğümden oluşan 100 metre düğümlerarası mesafeli diğer bir ağ karşılaştırıldığında 250 kat büyük olmakta ve bu süre 8GB RAM 8 çekirdekli Intel i7 makinada tek bir ağ ömrü için 58 dakikadan fazla olmaktadır. Aynı işlemi nöral ağ modelinden faydalandığımızda, 3-5 saniyelik eğitim süresi sonrasında anlık olarak yapılabildiğini görmekteyiz.

## 7.6 Değerlendirmeler

Bu çalışmada verileri elde etmek için bağlantı katmanı tokalaşma kanal modeli kullanan ve mica2 düğümünün enerji karakteristiğinin MIP ile modellenmesi çalışma çerçevesini [115] temel aldık. KTP optimizasyon modelinden kaynaklanan hesaplama süresinin makul seviyelerinin çok üzerine çıktığının gözlenmesi neticesinde nöral ağ tekniklerini kullanılması gereği ortaya çıktı. NA hesaplamalarının kullanılması ile en donanımlı Intel makinelerde 58 dakikanın üzerinde süren KAA ağ ömrü hesaplamaları, inanılmaz şekilde optimizasyon süresi 3-5 saniyelik eğitim süresi ile anlık tahmin etmeye dönüştü. İşlemlerde ağ ömrü hesaplamalarında yüzde 3, iletim güç seviyesi tahminlerinde yüzde 6 hata olabileceği görüldü. Düğümlerarası mesafe tahminlerinde ise, tahminlerin %64’ünde 3 metreden az tahmin hatası görüldü ki 3 metrelik hata RF iletişimi için önemsiz kabul edilen bir değer olarak değerlendirilmektedir.

Tüm tahminler istatistik olarak T-testi ile test edilmiş ve elde edilen sonuçlar hesaplanan parametrelerle tahmin edilen parametreler arasındaki farkın istatistiksel olarak önemsiz olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışmanın altını çizilecek kısımlarını kısaca belirtmek gerekirse KAA ağ ömrü, düğümlerarası mesafe ve iletim güç seviyesi parametreleri için hızlı ve doğru sonuçlar ortaya koyan NA modeli sunulmuştur. Geliştirilen NA modeli farklı düğüm sayısı, iletim güç seviyeleri için de kullanılabilir ve fevkalade iyi sonuçlara ulaşılabilir. Bu tür NA modelleme ile yoğun düğüm içeren ve/veya farklı topolojik yapıdaki KAA’ların optimizasyon modelleri ile network parametreleri hesaplamalarının maliyetli olduğu durumlarda, anlık denecek kadar kısa zamanlarda tahmin yapılabilmesi çok yararlı olacaktır. İleriki çalışmalarda farklı ağ parametreleri ve topolojileri içinde çalışmalar devam edilecek ve dinamik olarak değişkenlik gösteren ağlarda tekrar hesaplamalar yapmaya gereksinim olmaksızın parametrik değerler saptanabilecektir. Düğümler arası mesafenin sürekli değişken olduğu mobil ortamlarda iletim güç seviyesinin çok hızlı olarak hesaplanması, mobil düğümlerin tasarımında yenilikler getirecektir.



## 8. ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELER

### 8.1 Sayısal Analizler

Bu bölümde, geliştirilen Karma Tamsayı Programlama (MIP) çerçeve sistemin performansını değerlendirmek için elde edilen sonuçlar paylaşılacaktır. Bölüm 4.3’de sunduğumuz veri bağlantı katmanı modeli oluşturmak için MATLAB kullanımı seçildi. Bölüm 4.4’de gösterilen KTP optimizasyon probleminin çözümü için de CPLEX çözücü içeren General Algebraic Modeling System (GAMS)’den yararlanıldı.

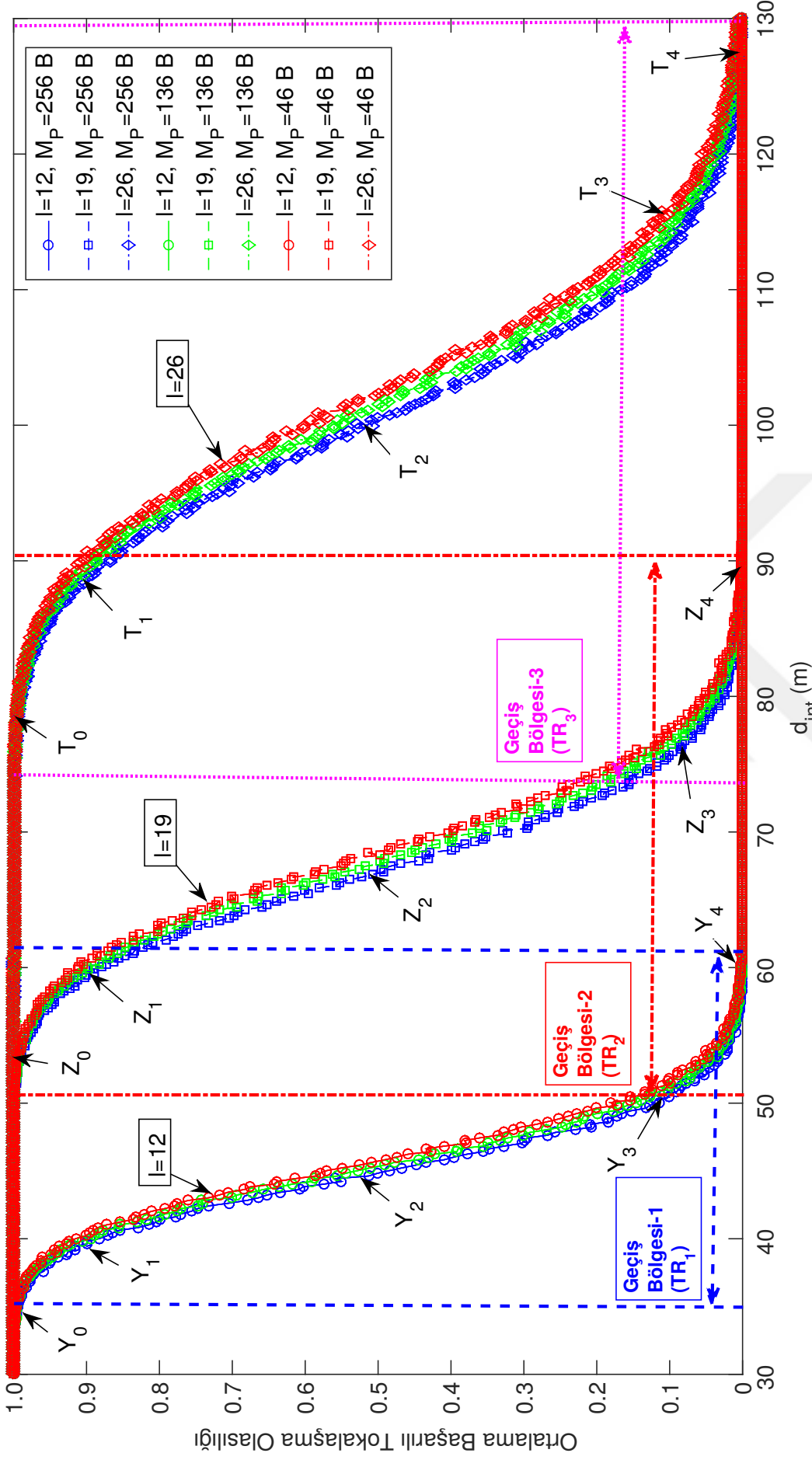
### 8.2 Geçiş Bölge Analizi

Bölüm 4.3’de önerilen kanal modeli için geçiş bölgelerini araştırarak analizimize başlayabiliriz. Tipik bir kablosuz bağlantıda 3 bölgeden bahsedebiliriz: *Bağlantılı*, *Geçiş* ve *Bağlantısız* [119]. *Bağlantılı* bölge mükemmel paket alımının gerçekleştiği bölgedir. *Bağlantısız* bölge paket alım oranının sıfıra kadar düştüğü bölgedir. Bu iki bölgenin arasında *Geçiş* bölgesi yer alır. Geçiş bölgesi, güvenilir olmaması nedeniyle üst-katman protokollerinin performansları üzerinde büyük ölçüde negatif etkiye sahip olduğu rapor edilmektedir [119].

Geçiş bölgesini araştırmak amacıyla  $d_{int}$  mesafe ile yerleştirilmiş iki düğüm kullanılarak farklı  $d_{int}$  mesafe değerleri için üzerinde Denklem 4.11’deki başarılı tokalaşma olasılık hesaplamaları gerçekleştirilmiş ve Şekil 8.1 elde edilmiştir. Şekildeki tüm veri noktaları 2000 rastgele koşturmanın ortalama değeridir, diğer bir ifadeyle, her koşturmada linkler tekrar üretilerek hesaplanmıştır. Bu grafikte 3 farklı paket boyu gösterilmektedir ( $M_P = 256, 136, \text{ve } 46$  Byte).

ACK paket boyu 20 Byte olarak ayarlanmıştır ( $M_A = 20$  Bytes). Elimizdeki 26 farklı güç seviyesinden 3 farklı güç seviyesi kullanıyoruz. Bu güç seviyeleri sırasıyla  $l = 12, 19$  ve  $26$ . Bu güç seviyesi değerleri için oluşacak geçiş bölgelerini  $TR_1, TR_2,$  ve  $TR_3$  olarak belirtiyoruz. Ortalama başarılı tokalaşma olasılığı "1" civarında düz bir seviyede kalmakta, bu %100 seviyesini keskin düşüşün başladığı geçiş bölgesine kadar sürdürmektedir. Bağlantısız bölgesi, olasılığın 0 seviyesinde olduğu yerleri kapsamaktadır.

Şekil 8.1’de görülebileceği üzere, düğümler arası mesafe  $d_{int}$  veya iletim güç seviyesi  $l$  ile karşılaştırıldığında, paket boyutunun başarılı tokalaşma olasılığı üzerinde etkisi önemsizdir. Diğer bir ifade ile, Şekil 8.1’de, en soldaki üç çizgiyi oluşturan veriler, güç seviyesi  $l = 12$  olduğu, paket boyları  $M_P = 256, 136,$  ve  $46$  Byte karşılık gelen başarılı tokalaşma olasılık grafikleridir. Burada net bir şekilde görüldüğü gibi veri paket boyunun ortalama başarılı tokalaşma olasılığı  $E[p^{HS,s}]$  üzerinde baskın bir istatistiksel etkiye sahip değildir. Aynı gözlemi, güç seviyeleri  $l = 19$  ve  $l = 26$  içinde görmekteyiz. Daha yüksek güç seviyelerinde (örneğin,  $l = 19$  ve  $l = 26$ ) geçiş bölgesi, daha zayıf güç seviyesi (örneğin,  $l = 12$ ) geçiş bölgesine nazaran daha geniş olma eğilimindedir.



Şekil 8.1: Düğümler arası mesafe ( $d_{int}$ ) vs. Seçilmiş 3 güç seviyeleri, paket boyları ve karşılık gelen geçiş bölgeleri için ( $TR_k$ ) ortalama başarılı tokalaşma olasılığı  $E[p^{HS,S}]$

Çizelge 8.1: Ölçüm noktaları, ilgili düğüm mesafesi  $d_{int}$ , ve ortalama başarılı tokalaşma değerleri ( $E[p^{HS,s}]$ ).

$l = 12 (TR_1)$			$l = 19 (TR_2)$			$l = 26 (TR_3)$		
Nokta	metre	$E[p^{HS,s}]$	Nokta	metre	$E[p^{HS,s}]$	Nokta	metre	$E[p^{HS,s}]$
$Y_0$	32.01	0.999	$Z_0$	48.09	0.999	$T_0$	70.70	0.999
$Y_1$	39.55	0.900	$Z_1$	59.15	0.900	$T_1$	87.79	0.900
$Y_2$	45.08	0.500	$Z_2$	67.19	0.500	$T_2$	100.4	0.500
$Y_3$	50.60	0.100	$Z_3$	75.73	0.100	$T_3$	111.4	0.100
$Y_4$	58.64	0.001	$Z_4$	88.29	0.001	$T_4$	129.0	0.001

Takip eden bölümlerde, daha ileri analizler için Şekil 8.1 üzerinde işaretlenen noktalar detaylı olarak Çizelge 8.1'da sunulmaktadır.

$Y$  ifadesini güç seviyesi  $l = 12$  için; aynı şekilde, sırasıyla  $Z$  güç seviyesi  $l = 19$  için ve  $T$  ifadesi  $l = 26$  için kullanılmaktadır. Bir güç seviyesi üzerinde "0" dan "4" kadar altsimgelerle belirtilen her bir nokta için, sırasıyla ortalama başarılı tokalaşma olasılığı değerleri ( $E[p^{HS,s}] = 0.999, 0.900, 0.500, 0.100, \text{ and } 0.001$ ) ifade etmektedir. Şekil 8.1'de altsimgeli noktaların yerleri ile geçiş bölgesini ilişkilendirmesini Table 8.2'da görülebilir.

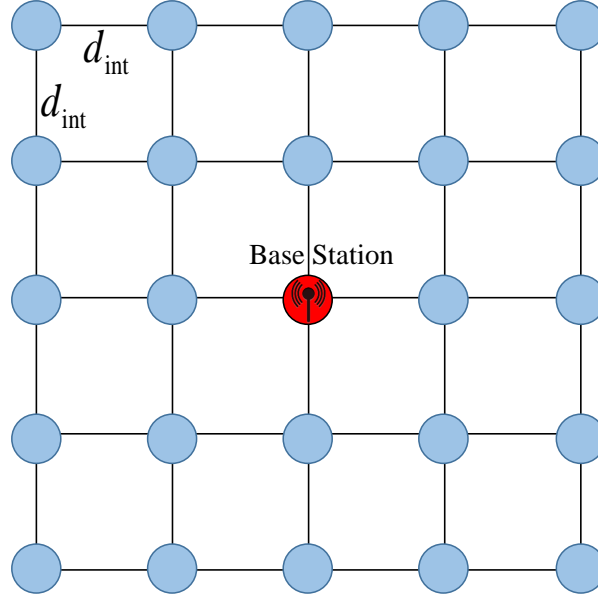
Çizelge 8.2: Şekil 8.1'deki  $Y$ ,  $Z$ , and  $T$  nokta grupları gösterimi.

$Y_0, Z_0, T_0$	Geçiş Bölgesinin başlangıcı
$Y_1, Z_1, T_1$	Geçiş Bölgesinin erken dönemi
$Y_2, Z_2, T_2$	Geçiş Bölgesinin ortası
$Y_3, Z_3, T_3$	Geçiş Bölgesinin geç dönemi
$Y_4, Z_4, T_4$	Geçiş Bölgesinin sonu

Şekil 8.1'deki  $E[p^{HS,s}] = 0.999$  ve  $E[p^{HS,s}] = 0.001$  noktaları sırasıyla geçiş bölgesinin başladığı ve son bulduğu en yakın noktalar olarak kabul edilir.

### 8.3 Izgara Topoloji Analizi

Önceki bölümde yapılan analizi ızgara topolojisi üzerinde daha da genişletebiliriz. Izgara topolojisinde baz istasyon ızgara alanının merkezinde yer almaktadır. Kenar komşuluğunda olan düğümler arasındaki mesafe  $d_{int}$ , Table 8.1'dan seçilmektedir. Eşit olarak dağıtılmış düğümlerden oluşan ızgara topolojisinde (Şekil 8.2) toplam düğüm sayısı sırasıyla 49,81 ve 121'e ayarlanmıştır. Bu bölümde ve alt bölümlerinde güç seviyelerinin belirlenmesi için Denklem 4.20 kullanılmamaktadır zira tüm linklerin önceden belirlenmiş aynı güç seviyesini  $l$  kullanacak şekilde ayarlanmaktadır.



Şekil 8.2: Izgara topoloji yapısı.

Denklem 4.20’i dikkate almayarak,  $l$ -güç seviyesi tüm linkler üzerinde kullanılmaktadır. Şekil 8.3’de de bu sunulmaktadır.

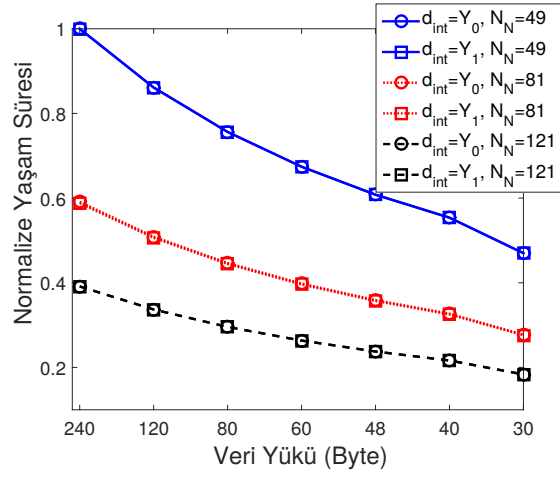
Bölüm 8.2’de verilen üç güç seviyesinde farklı paket veri yükü değerlerini esas alarak elde edilen normalize edilmiş ağ ömrü grafikleri Şekil 8.3’de verilmektedir.

Şekilde veri yük değerleri x-eksenine azalan sırada verilmektedir (yani, 240, 120, 80, 60, 48, 40, ve 30 byte) çünkü bu değerlere karşılık gelen, her turda üretilen veri paketi sayısı ( $s_i$ ) artan sırada olmaktadır (yani, 1, 2, 3, 4, 5, 6, ve 8).Örneğin veri yükü 240 byte ise, gönderilecek 1 paket vardır, veriyükü 120 byte ise, 2 paket, 80 byte ise, 3 paket, gibi..Şekil 8.3’deki tüm değerler, elde edilen en yüksek ağ ömrüne göre normalize edilmiştir. Bu şekilde yer alan tüm veri noktaları, tüm linklerdeki 100 rastgele yol kaybı değerinin ortalamasıdır.

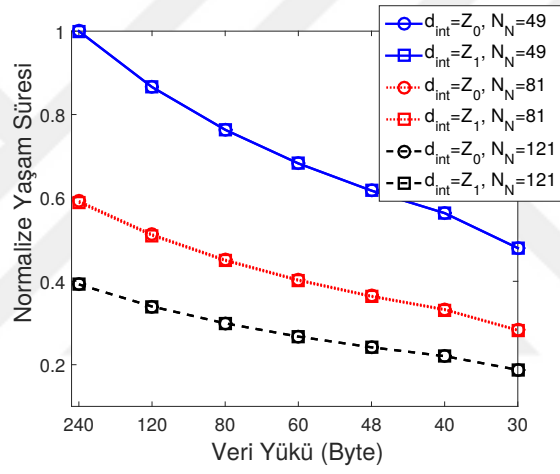
Ağ ömrü veriyükü boyu azaldıkça azalmaktadır. Örneğin  $d_{int} = Y_0$ ,  $N_N = 49$ ,  $l = 12$  için paket boyu 256 byte’tan 46 byte’a düştüğünde ağ ömrü %53’e inmektedir.Normalize edilmiş ağ ömrü, seçilen güç seviyesi ( $l$ ) gözetmeksizin en büyük paket boyu (yani,  $M_P = 256$  byte) için maksimum olmaktadır. Böyle bir sonucun nedeni, faaliyette bulunan noktanın *bağlı* bölgeye yakın olmasından dolayı, daha yüksek veriyükü-genelgider oranının etkilerinin tekrar iletim etkilerinden daha baskın olmasıdır.  $E[p^{HS,s}] < 0.900$  değerine sahip noktalar için ağ ömrü değerlerini sunulamamaktadır zira alıcı hassasiyeti, düşük alıcı güç alımı olan linklerin kullanımını mümkün kılmamaktadır. Dolayısıyla, alıcı hassasiyeti kriterini uyguladığımızda, elimizde sadece  $E[p^{HS,s}] \geq 0.900$  olan linkler kalmaktadır. Alıcı hassasiyeti, geçiş bölgesinde, iletme teşebbüs edilmesine engel olmasından dolayı, temel bir limit olmasına rağmen, ihmal edilmesinin sonuçlara etkisini karakterize etmek amacıyla alıcı hassasiyetini ileriki bölümde göz önünde bulundurmuyacağız.

Yapılan analizler veri taşıyan linklerin ortalama başarılı tokalaşma olasılığının 0.999’dan yüksek (yani,  $E[p^{HS,s}] \geq 0.999$ ) olduğunu ortaya çıkarmıştır. Başarılı tokalaşma ola-

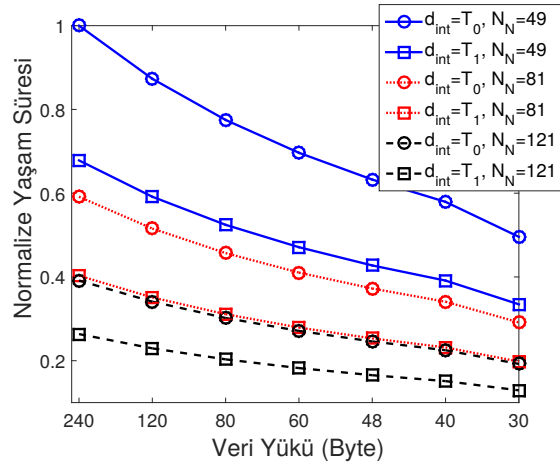




(a)  $l = 12$



(b)  $l = 19$



(c)  $l = 26$

Şekil 8.3: Izgara topolojisinde çeşitli güç seviyeleri ( $l$ ) ve düğüm sayıları ( $N_N$ ) için paket boyu esas alarak normalize edilmiş ağ ömürleri

sılığı  $E[p^{HS,s}] \geq 0.999$  olduğundan, linkler, paket hata oranı hemen hemen ihmal edilebilir seviyede olduğundan, mümkün olan en yüksek paket boyunu tercih etmişler, bundan dolayı ağ ömrünün maksimize etmişlerdir.

Ayrıca eldeki sonuçlar,  $E[p^{HS,s}] \leq 0.500$  değerlerine sahip  $d_{int}$  mesafelerde ağ bağlantısız olduğunda, ağ ömrü sıfır olarak elde edilmektedir. İletim güç seviyesini 26'ya çıkardığımızda ise, düğümler arasındaki mesafenin ( $d_{int}$ ) ağ ömrüne üzerine belirleyici etkisini açıkça görmekteyiz. Şekil 8.3a ve Şekil 8.3b'de farklı düğümler arası mesafe değerleri  $d_{int}$  için, normalize edilmiş ağ ömrü değerleri çakışmakta, fakat Şekil 8.3c'de daha net şekilde ayrıştıkları görülmektedir. Burada görüyoruz ki,  $d_{int}$  değeri  $T_0$ 'den  $T_1$ 'a doğru arttıkça, ağ ömrü düşmektedir. Düşüşlerin miktarı Çizelge 8.3'da görülebilmektedir.

Çizelge 8.3: Güç seviyesi  $l = 26$  iken farklı düğüm sayıları ( $N_N$ ) için  $T_0$ 'den  $T_1$ 'e  $d_{int}$  arttıkça, ağ ömrünün düşüşü (%).

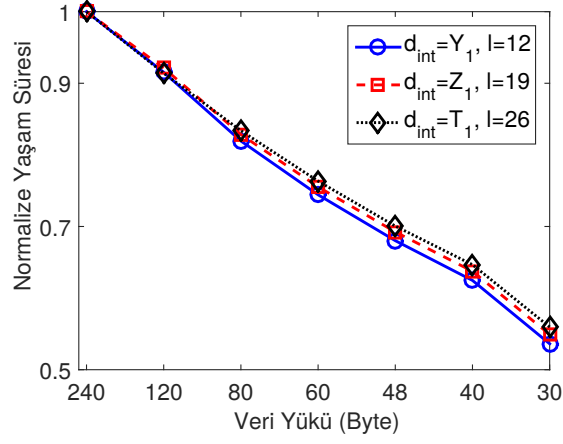
$N_N$	Veri yükü (byte)						
	240	120	80	60	48	40	30
49	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%
81	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%
121	33%	33%	33%	33%	33%	33%	33%

#### 8.4 Alıcı Hassaslık Seviyesi Kriterinin Etkisi

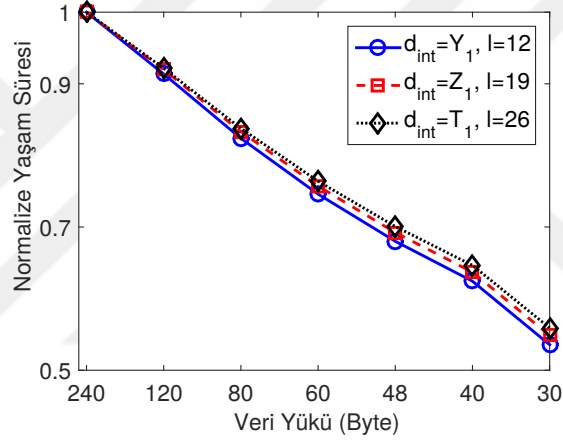
Şekil 8.3'deki analizde, bağlantısız ağ için sıfır ağ ömrü bulmamızdan dolayı, paket boyu ile ağ ömrü arasındaki ödünleşme tam olarak görülemez de, pratikte kullanılan alıcı-vericiler hassasiyet mekanizmasında istifade ettiğinden çoğu KAA uygulamasıyla tutarlıdır [1, 119]. Ne var ki, alıcı hassasiyeti, KAA için paket boyu optimizasyonu ile ilgili makalelerin hiç birinde kullanılmış değildir. Fakat, bizim amacımız geçiş bölgesinde optimal paket boyunun ağ ömrünün uzatılmasındaki etkisini ölçmek olduğundan, daha önce alıcı hassasiyetinin tanımlandığı Denklem 4.6'ini göz önüne almadan aynı analizler tekrar edilmektedir.

Şekil 8.4'da farklı veriyükü boyları yönünden normalize edilmiş ağ ömürleri gösterilmektedir. Her bir alt şekilde, üç tane aynı güç seviyesi (yani,  $l = 12$ ,  $l = 19$ , ve  $l = 26$ ) kullanılmaktadır.  $d_{int}$  değerleri seçilen güç seviyeleri için öyle bir alınmıştır ki bu değerlerde  $E[p^{HS,s}] = 0.500$  ve  $E[p^{HS,s}] = 0.900$  'dir.  $E[p^{HS,s}] < 0.500$  olduğu  $d_{int}$  değerlerinde ağ bağlantısızdır, bu nedenle sıfır ağ ömrüne sahiptir.  $d_{int} = Y_1$  (veya  $Z_1$  veya  $T_1$ ) olduğu mesafeleri aldığımızda, paket boyu azaldıkça normalize edilmiş ağ ömrü 0.54 civarına kadar iner (Şekiller 8.4a–8.4c).  $E[p^{HS,s}] = 0.900$  olduğunda, linkler, paket hataları neredeyse gözardı edilebilir olduğundan, mümkün olan en yüksek paket boyu değerini kullanırlar, böylelikle, ağ ömrünü maksimize ederler.

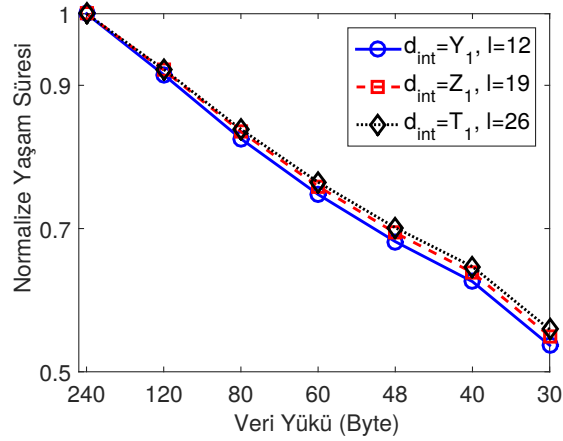
$d_{int}$  değerini  $Y_2$  metreye (veya  $E[p^{HS,s}] = 0.500$  olduğu  $Z_2 / T_2$  metreye) artırarak geçiş bölgesine adım attığımızda, ağ düzeyinde hangi güç seviyesini kullandığımızı bakılmaksızın, paket boyu ile ağ ömrü arasındaki ödünleşme ortaya çıkmaktadır (Şekiller 8.5a–8.5c). Burada maksimum paket boyunun maksimum ağ ömrünü vermediği



(a)  $N_N = 49$  and  $E[p^{HS,s}] = 0.900$

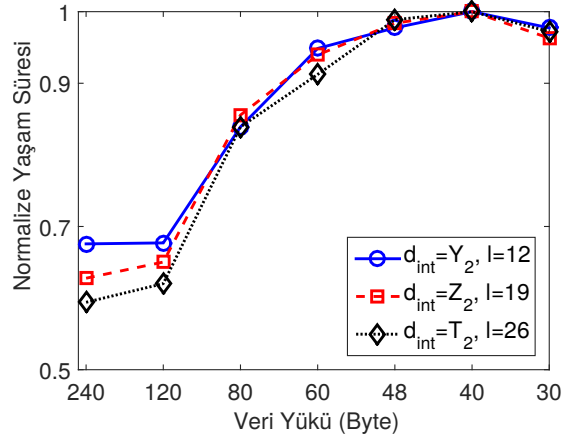


(b)  $N_N = 81$  and  $E[p^{HS,s}] = 0.900$

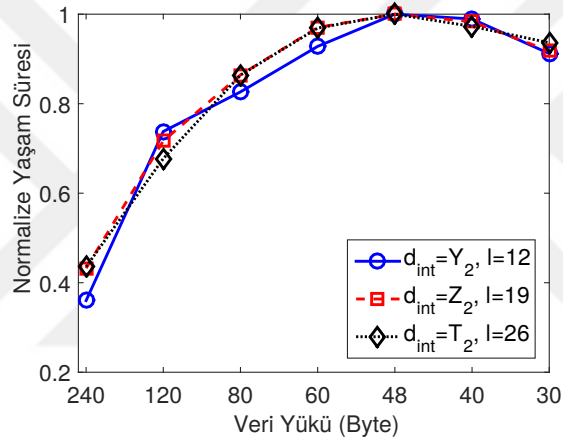


(c)  $N_N = 121$  and  $E[p^{HS,s}] = 0.900$

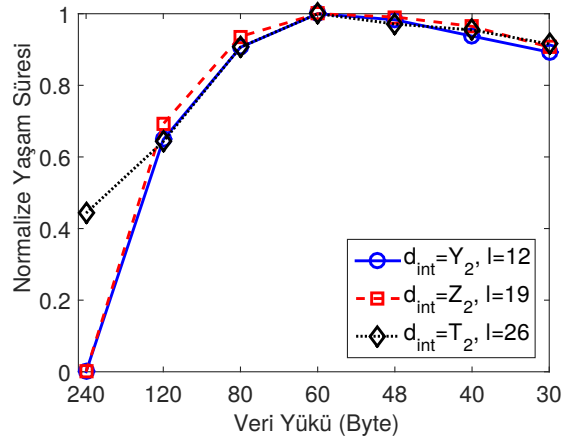
Şekil 8.4: Alıcı hassasiyeti kriteri olmaksızın ızgara topolojisinde çeşitli güç seviyeleri ( $l$ ) ve düğüm sayıları ( $N_N$ ) için veri yük boyları esas alınarak normalize edilmiş ağ ömürleri.



(a)  $N_N = 49$  and  $E[p^{HS,s}] = 0.500$

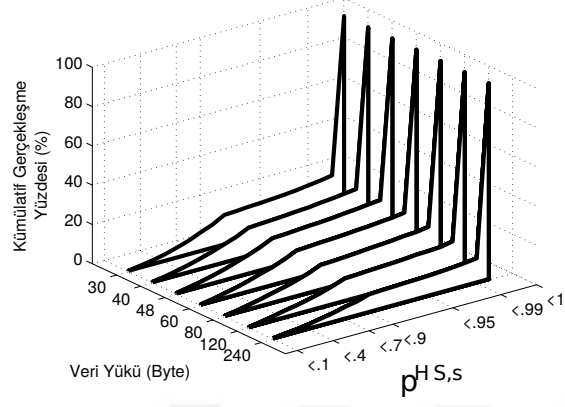


(b)  $N_N = 81$  and  $E[p^{HS,s}] = 0.500$

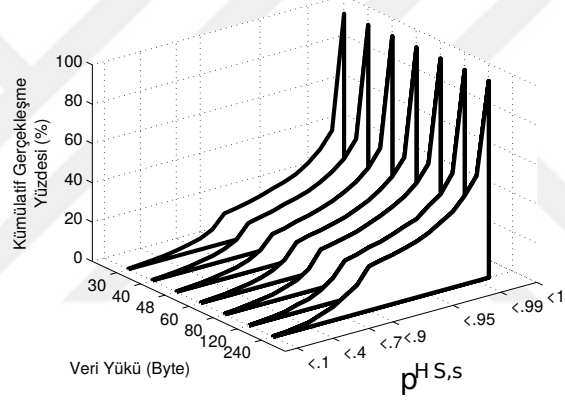


(c)  $N_N = 121$  and  $E[p^{HS,s}] = 0.500$

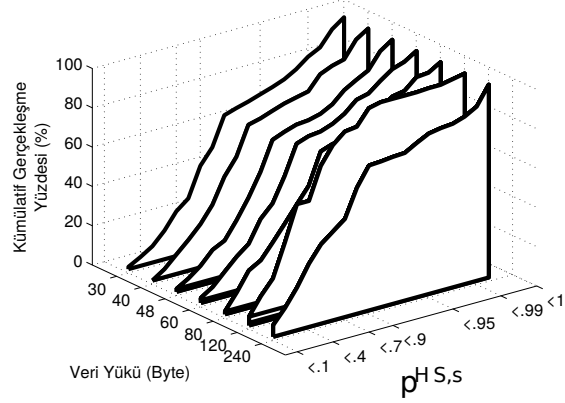
Şekil 8.5: Alıcı hassasiyeti kriteri olmaksızın ızgara topolojisinde çeşitli güç seviyeleri ( $l$ ) ve düğüm sayıları ( $N_N$ ) için veri yük boyları esas alınarak normalize edilmiş ağ ömürleri.



(a)  $N_N = 49$ ,  $d_{int} = Z_0$  m

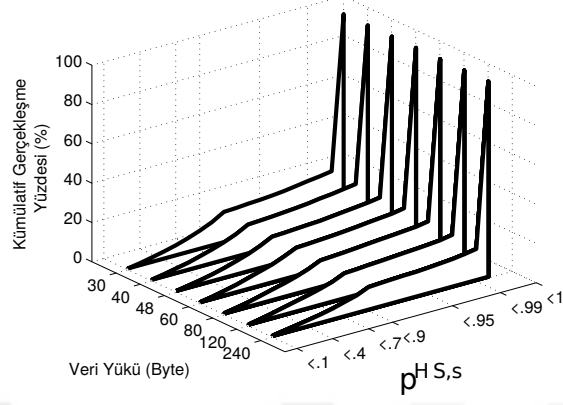


(b)  $N_N = 49$ ,  $d_{int} = Z_1$  m

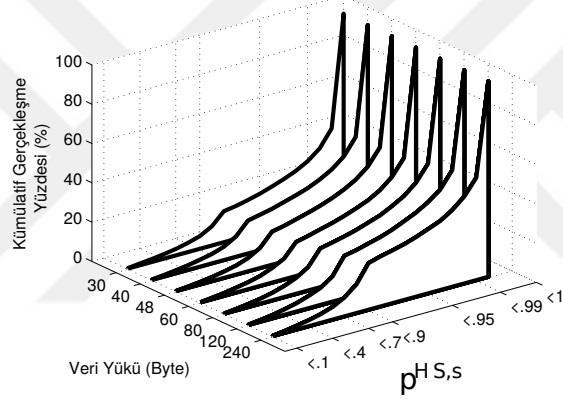


(c)  $N_N = 49$ ,  $d_{int} = Z_2$  m

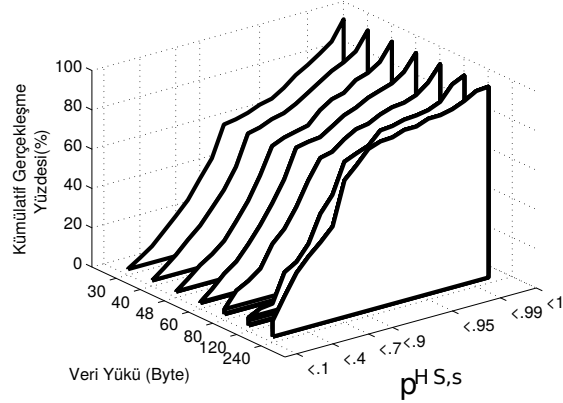
Şekil 8.6: Alıcı hassasiyeti kriteri olmaksızın ızgara topolojisinde  $N_N = 49$  ve  $l = 19$  durumunda  $p^{HS,s}$  yüzdesinin kümülatif oluşumu ( $P(p^{HS,s} < x)$ )



(a)  $N_N = 81$ ,  $d_{int} = Z_0$  m

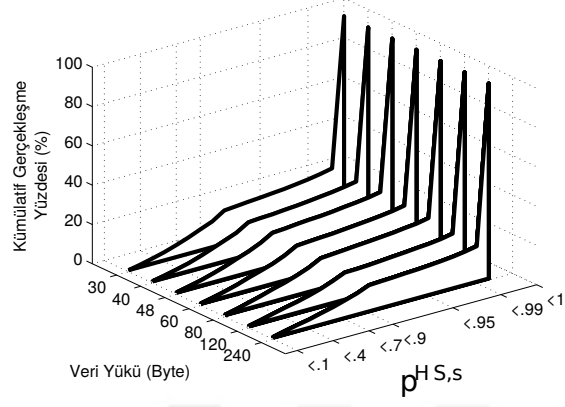


(b)  $N_N = 81$ ,  $d_{int} = Z_1$  m

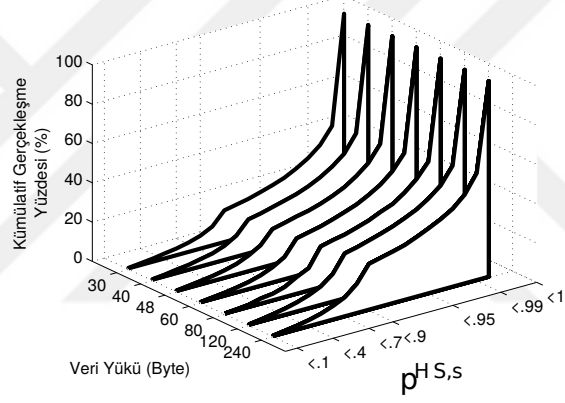


(c)  $N_N = 81$ ,  $d_{int} = Z_2$  m

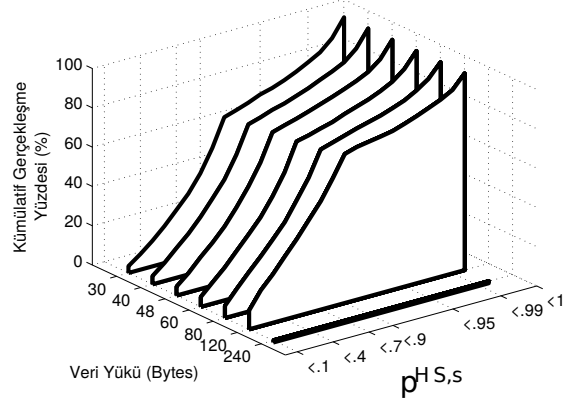
Şekil 8.7: Alıcı hassasiyeti kriteri olmaksızın ızgara topolojisinde  $N_N = 81$  ve  $l = 19$  durumunda  $p^{HS,s}$  yüzdesinin kümülatif oluşumu ( $P(p^{HS,s} < x)$ )



(a)  $N_N = 121$ ,  $d_{int} = Z_0$  m



(b)  $N_N = 121$ ,  $d_{int} = Z_1$  m



(c)  $N_N = 121$ ,  $d_{int} = Z_2$  m

Şekil 8.8: Alıcı hassasiyeti kriteri olmaksızın ızgara topolojisinde  $N_N = 121$  ve  $l = 19$  durumunda  $p^{HS,s}$  yüzdesinin kümülatif oluşumu ( $P(p^{HS,s} < x)$ )

görülmektedir. Dahası,  $N_N = 121$  ve  $l = 12$  (veya  $l = 19$ ) için,  $M_{PL} = 240$  byte olduğunda, normalize edilmiş sıfır ağ ömrü çıkmaktadır. Zira kanal koşulları daha çetin hale geldikçe, daha küçük paketler daha uzun ağ ömrünü sağlamaktadır. Örneğin, düğüm sayısı  $N_N = 49$  iken ne zaman ki veri yükü 40 byte seçilip 56 byte paket boyu oluşmakta, maksimum ağ ömrü elde edilmektedir.  $N_N$  artıkça, ağ ömrünü maksimize etmek için daha büyük veri yükü seçilmektedir. Örneğin, düğüm sayısı  $N_N = 81$  iken, 48 byte veri yükü maksimum ağ ömrünü sağlarken,  $N_N = 121$  için, 60 byte veri yükü boyu maksimum ağ ömrünü sağlamaktadır.

Alıcı hassasiyetini gözardı edersek, optimal paket boyu, faaliyet bölgesini *geçiş* bölgesinin derinlerine taşıdığı anda, farklı hale gelir. Bunun ötesinde paket boyu ile ağ ömrü arasındaki ödünleşme daha açık olarak görülebilir. Ancak pratikte düğüm üzerindeki alıcı-vericilerin tasarımı geçiş bölgesi içinde faaliyeti engellemektedir. Literatürde çoğu KAA paket boyu optimizasyonun etkileri konusundaki bu durumu dikkate almamışlardır. Ancak analizlerin geri kalanında gerçek karakterizasyonların elde edilmesi için alıcı hassasiyetinin etkilerinin göz ardı edilmemektedir.

Şekil 8.6'de  $N_N = 49, 81, ve 121$  olduğu ve  $l = 19$  alındığı durumda veri yüküne karşılık  $p^{HS,s}$  yüzdelerinin kümülatif oluşumlarının şelale çizimleri sunulmaktadır.  $P(p^{HS,s} < x)$  ifadesini, verinin taşındığı linklerde  $p^{HS,s} < x$  değerinin kümülatif oluşum yüzdesi (olasılığı) olarak tanımlamaktayız. Linklerin ağ ömrü boyunca  $p^{HS,s}$  değerlerini göze önünde bulundurarak,  $P(p^{HS,s} < x)$  değerlerini, linklerden akan veri paketlerini toplayarak elde etmekteyiz. Normalizasyon sonrasında  $p^{HS,s}$  değerlerinin kümülatif oluşum yüzdelerinin elde etmekteyiz.

Şekil 8.6'de  $d_{int}$  mesafesi  $Z_0, Z_1, ve Z_2$  metre olarak alınmaktadır. İletim gücü  $l = 19$  olarak sabitlenmiştir ve tüm ağ boyunca kullanılmaktadır. Şekil 8.6a'da, düğüm sayısını  $N_N = 49$  ve mesafeyi  $d_{int} = Z_0$  ayarlamakta ve  $0.13 \leq P(p^{HS,s} < 0.99) \leq 0.21$  olduğunu görmekteyiz. Veri yükü azaldıkça,  $P(p^{HS,s} < 0.99)$  artmaktadır. Örneğin,  $M_{PL} = 240$  byte iken,  $P(p^{HS,s} < 0.99) = 0.13$  elde etmekteyiz; aynı şekilde  $M_{PL} = 30$  byte iken  $P(p^{HS,s} < 0.99) = 0.21$  olarak hesaplanmaktadır. Dolayısıyla,  $M_{PL} = 240$  byte için  $P(p^{HS,s} \geq 0.99) = 0.87$  buluyoruz ki bu veri taşıyan linklerde tokalaşma hata oranı 0.87 olasılıkla 0.01'den daha küçüktür. Benzer şekilde,  $M_{PL} = 240$  byte için  $P(p^{HS,s} \geq 0.99) = 0.79$ 'dır ki bunun anlamı akış taşıyan linklerde hatalı tokalaşma oranı, 0.79 olasılıkla, 0.01'den azdır. Özetle, Şekil 8.6'deki  $P(p^{HS,s} \geq 0.99)$  değerlerini Çizelge 8.4 sunulmaktadır.

## 8.5 Rastgele Ağların Analizi

İki boyutlu algılama alanı üzerine rasgele düğüm dağıtımı kablosuz algılayıcı ağlarda yaygın bir senaryodur. Dolayısıyla, bu bölümde rasgele bir dağılım içeren bir ağ topoloji üzerinde çalışacağız. Burada disk şekilli,  $N_N$  algılayıcı düğüm içeren ve bir baz istasyondan oluşan topolojinde  $R_{net}$  yarı çapındaki dairesel alanın merkezinde bir baz istasyonun olduğunu ve düğümlerin alan içinde homojen dağıldığını varsayacağız. Ağ üzerindeki düğüm sayılarını  $N_N$  60, 90, ve 120 düğüm olarak alacağız. Disk yarıçapı  $R_{net}$  ise 400, 700, ve 1000 metre olarak alınacak. Bu bölümde alıcı hassasiyet kriterimizi bölüm 8.3 deki gibi hesaplamalarımıza katacağız.



Çizelge 8.4: Çeşitli veri yükleri,  $d_{int}$  değerleri ve  $N_N$  değerleri için Şekil 8.6’de verilen  $P(p^{HS,s} \geq 0.99)$  değerleri.

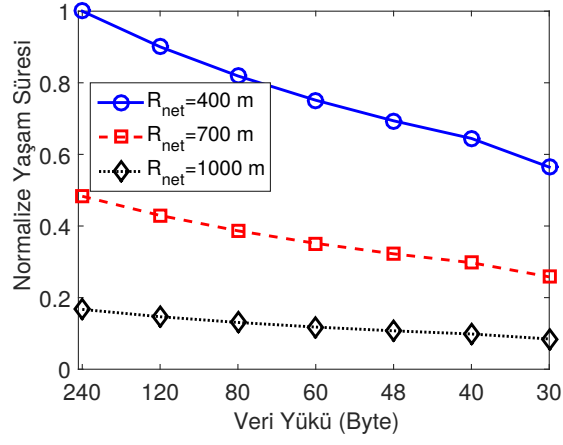
$d_{int}$	$N_N$	Veri yükü (byte)						
		240	120	80	60	48	40	30
$Z_0$	49	0.87	0.84	0.83	0.81	0.81	0.81	0.79
	81	0.46	0.51	0.52	0.54	0.55	0.56	0.58
	121	0.09	0.01	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
$Z_1$	49	0.84	0.82	0.81	0.80	0.80	0.79	0.78
	81	0.47	0.49	0.52	0.55	0.55	0.55	0.57
	121	0.005	0.03	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10
$Z_2$	49	0.81	0.80	0.78	0.78	0.76	0.77	0.76
	81	0.45	0.47	0.51	0.52	0.53	0.53	0.55
	121	0.00	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.09

Sonuçlar 100 bağımsız koşturmanın ortalama sonucudur. Diğer bir deyişle, 100 rastgele üretilmiş topolojilerden elde edilmiştir. Normalizasyon, ağ ömrü değerlerinin, aynı parametre kümesi için elde edilmiş ömür değerlerinin maksimum olanına bölünmesi ile oluşur. Son olarak, optimal güç seviyeleri, Denklem 4.20’indeki Link Kapsam Optimizasyon şeması kullanarak saptanmıştır.

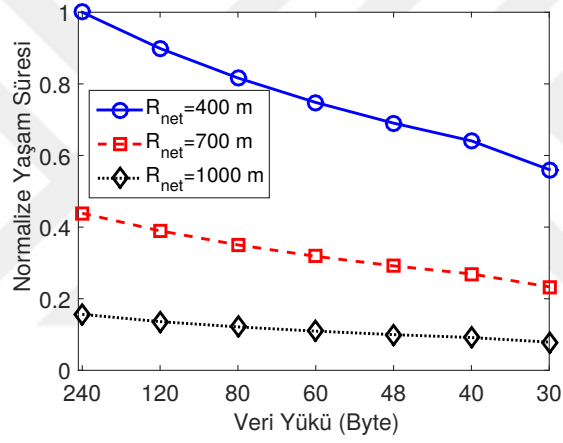
Şekil 8.9’de seçilmiş  $R_{net}$  ve  $N_N$  değerleri için paket boyuna karşılık normalize edilmiş ağ ömrü değerleri sunulmaktadır. Verilen bir  $N_N$  değeri için  $R_{net}$  arttıkça, ağ ömrünün azaldığını görmekteyiz. Örneğin,  $N_N = 60$  için  $R_{net}$  400 metreden 700 metreye arttığında, normalize edilmiş ağ ömrü 0.48’e düşmektedir. Bu düşüş,  $R_{net}$ ’deki artış 400 metreden 1000 metreye olduğunda 0.17 olarak hesaplanmaktadır. Bu ağ konfigürasyonunda  $N_N$  ve  $R_{net}$  değerlerine bakılmaksızın en büyük veri yükü değeri en iyi ağ ömrünü vermektedir.

Şekil 8.10’de aynı analizi, ağ yarıçapını sabitleyip, düğüm sayısını değiştirerek gerçekleştiriyoruz. Yarıçap  $R_{net} = 400$  metre olduğunda,  $N_N = 60$  düğümlü ağda normalize edilmiş ağ ömrü değerleri  $N_N = 90$  düğümlü ağa nazaran %13 – 14  $N_N = 120$  düğümlü ağa nazaran %8 daha büyük olmaktadır.  $R_{net}$  büyüdükçe bu değerler,  $N_N = 90$  için %21 – 25,  $N_N = 120$  için %17 – 18 civarında hesaplanmaktadır.  $R_{net} = 400$  metre olduğunda,  $N_N = 90$  ve  $N_N = 120$  düğümlü ağların ömürleri arası fark %4 – 5 olarak elde edilmektedir.  $R_{net}$  arttıkça, bu ağ ömrü farkı %2’den aza inmektedir. Her iki Şekil 8.9 ve Şekil 8.10’de veri taşıyan linkler, 0.999’dan ( $E[p^{HS,s}] \geq 0.999$ ) daha büyük ortalama başarılı tokalaşma olasılığına sahiptir.  $E[p^{HS,s}] \geq 0.999$  olduğundan paket hataları neredeyse önemsenmeyecek seviyede olacağından linkler mümkün olan en büyük paket boyunu kullanacak, bundan dolayı da ağ ömrünü maksimize edeceklerdir.

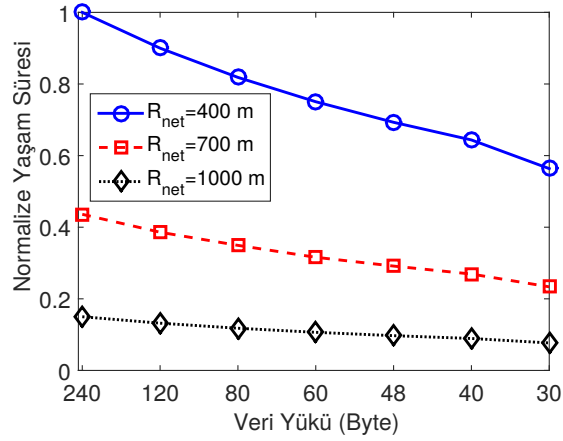
Şekil 8.9’de her bir alt şekilde, üç  $N_N$  değeri için paket boyuna karşılık normalize edilmiş ağ ömrü gösterilmektedir. Alt şekillerin her birinde, üç ağ alanı için ağ ömrü değerleri çizilmiştir. Şekil 8.10’deki her bir alt şekilde, paket boylarının fonksiyonu olarak üç ağ alanı için normalize edilmiş ağ ömürleri verilmektedir ve her bir alt şekil farklı  $N_N$



(a)  $N_N = 60$



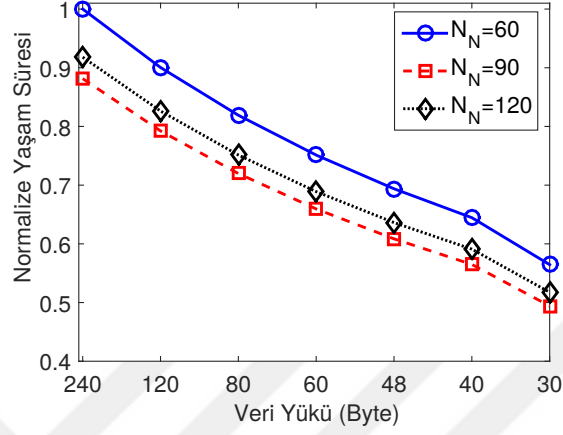
(b)  $N_N = 90$



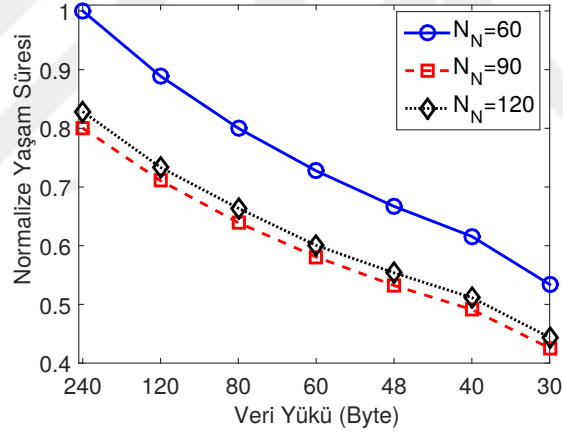
(c)  $N_N = 120$

Şekil 8.9: Rastgele ağlarda  $R_{net} = 400, 700$  ve  $1000$  metre olduğunda farklı  $N_N$  değerleri için paket boyları yönünden normalize edilmiş ağ ömürleri

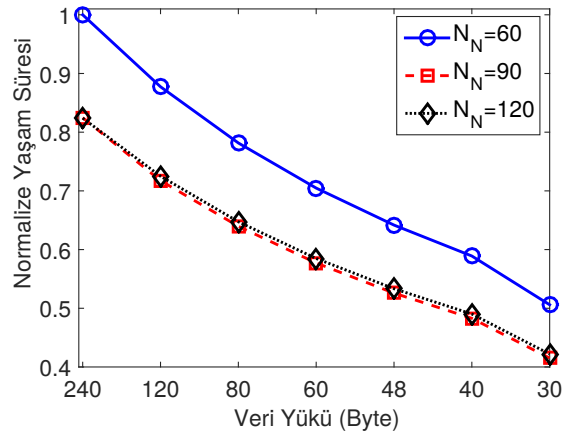
değerleri için 3 ağ ömrü çizimlerini içermektedir. Tüm parametre ayarlamalarında ağ ömrü her zaman en büyük paket boyunda gerçekleşmektedir. Bunun veri taşıyan linklerin ezici çoğunluğunun ortalama başarılı tokalaşma olasılığı  $0.999$  ( $E[p^{HS,s}] \geq 0.999$ ) daha yüksek olmasıyla açıklayabiliriz. ( $E[p^{HS,s}] \geq 0.999$ ) olduğundan paket hataları neredeyse önemsenmeyecek seviyede olacağından linkler mümkün olan en büyük paket boyunu kullanacak, bundan dolayı da ağ ömrünü maksimize edeceklerdir.



(a)  $R_{net} = 400$  m



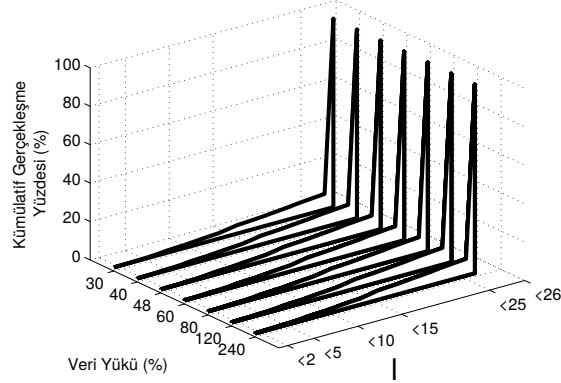
(b)  $R_{net} = 700$  m



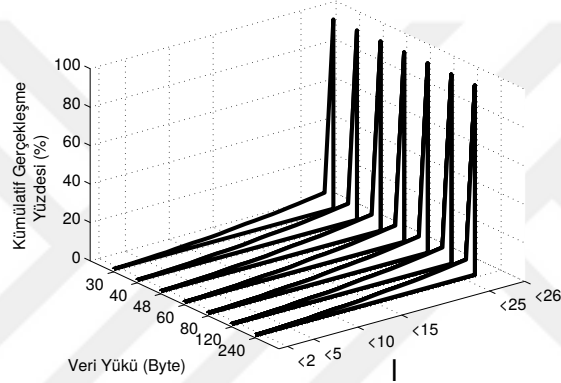
(c)  $R_{net} = 1000$  m

Şekil 8.10: Rastgele ağlarda  $N_N = 60, 90,$  ve  $120$  olduğu durumlarda farklı  $R_{net}$  değerleri için paket boyuna karşılık normalize edilmiş ağ ömürleri

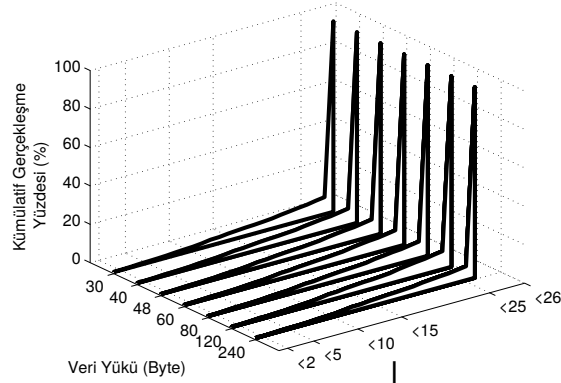
Şekil 8.11’de güç seviyesi ( $l$ ) değerlerini yüzdesel kümülatif oluşumlarına karşılık veri yükü boyunu şelale çizimi ile sunulmaktadır.



(a)  $N_N = 60, R_{net} = 400$  m



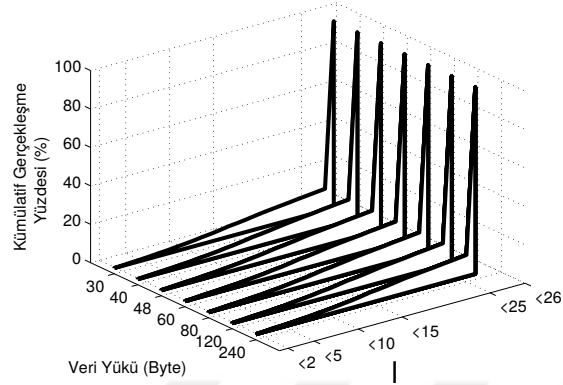
(b)  $N_N = 60, R_{net} = 700$  m



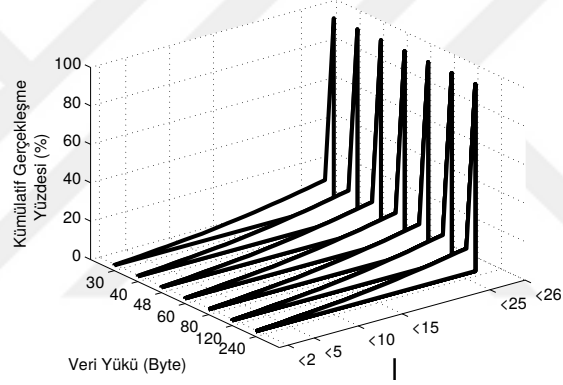
(c)  $N_N = 60, R_{net} = 1000$  m

Şekil 8.11: Rastgele ağlarda düğüm sayısı  $N_N = 60$  olduğunda  $R_{net} = 400, 700$  ve  $1000$  m değerleri için  $l$  değerlerinin ( $P(l < x)$ ) yüzdesel kümülatif oluşumu

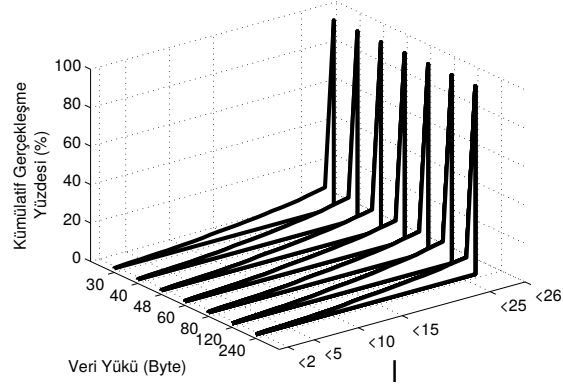
$N_N = 60, 90$  ve  $120$  ile  $R_{net} = 400, 700$  ve  $1000$  m değerleri için çizimler Şekil 8.11 – 8.13’de verilmektedir.  $P(l < x)$  ifadesini veri taşıyan linkler için  $l < x$  değerlerinin kümülatif oluşum yüzdesi (olasılığı) olarak tanımlamaktayız.  $P(l < x)$  değerlerini, Denklem 4.20’de tanımlanan Link kapsam optimizasyon şeması algoritması ile belirlenmiş linklerin optimal değerlerini gözönüne alarak linklerdeki akan veri paketlerinin miktarı toplayarak elde etmekteyiz. Normalizasyon sonrasında,  $l$  değerlerinin kümülatif oluşum yüzdesini elde etmekteyiz.



(a)  $N_N = 90, R_{net} = 400$  m

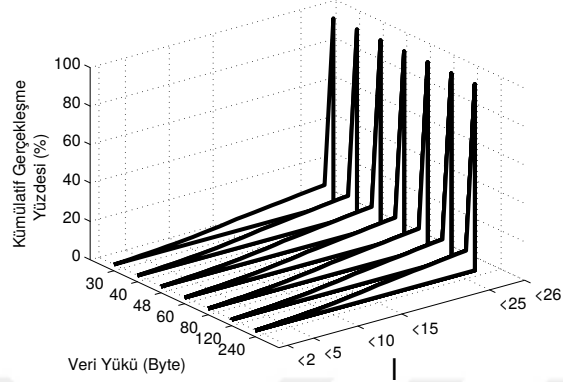


(b)  $N_N = 90, R_{net} = 700$  m

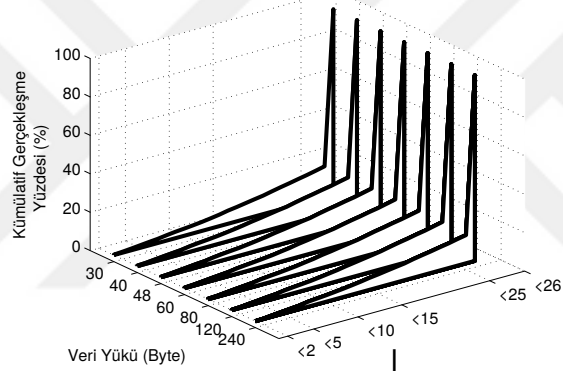


(c)  $N_N = 90, R_{net} = 1000$  m

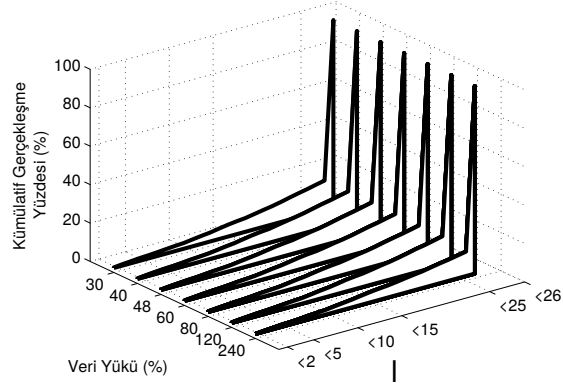
Şekil 8.12: Rastgele ağlarda düğüm sayısı  $N_N = 90$  olduğunda  $R_{net} = 400, 700$  ve  $1000$  m değerleri için  $l$  değerlerinin ( $P(l < x)$ ) yüzdesel kümülatif oluşumu



(a)  $N_N = 120, R_{net} = 400$  m



(b)  $N_N = 120, R_{net} = 700$  m



(c)  $N_N = 120, R_{net} = 1000$  m

Şekil 8.13: Rastgele ağlarda düğüm sayısı  $N_N = 120$  olduğunda  $R_{net} = 400, 700$  ve  $1000$  m değerleri için  $l$  değerlerinin ( $P(l < x)$ ) yüzdesel kümülatif oluşumu

Şekil 8.11a'de  $N_N = 60$  ve  $R_{net} = 400$  metre ayarladığımızda  $0.10 \leq P(l \leq 25) \leq 0.11$  olduğunu gözlemlemekteyiz. Bunun ötesinde,  $M_{PL} = 240$  byte için  $P(l \leq 25) = 0.11$  iken,  $M_{PL} = 30$  byte  $P(l \leq 25) = 0.10$ . Zira,  $P(l > 25) = P(l = 26)$  olduğundan  $0.89 \leq P(l = 26) \leq 0.90$  elde etmekteyiz. Bu demektir ki, veri taşıyan linkler 0.89 ve 0.90 arası olasılık en yüksek güç seviyesini ( $l = 26$ ) kullanmaktadır. Özet olarak, Şekil 8.11'deki  $P(l = 26)$  değerlerini Çizelge 8.5'da gösterilmektedir.

Çizelge 8.5: Çeşitli veri yükü değerleri,  $R_{net}$  ve  $N_N$  değerleri için Şekil 8.11'da  $P(l = 26)$  değerleri verilmiştir.

$R_{net}$ (m)	$N_N$	Payload (bytes)						
		240	120	80	60	48	40	30
400	60	0.89	0.89	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	90	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
	120	0.92	0.90	0.90	0.90	0.90	0.91	0.90
700	60	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
	90	0.84	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
	120	0.88	0.85	0.86	0.86	0.86	0.85	0.86
1000	60	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.86
	90	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
	120	0.85	0.83	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82





## 9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 9.1 Sonuç

Bu tez çalışmasında KAA'ların ağ ömürlerini maksimize etme hedefiyle, hem iletim güç seviyesini hemde veri paket boyunu müştereken alışılmışın dışında bir optimizasyon formülasyonu ile başararak çözüme ulaşmak amacı güdüldü. Kablosuz bağlantılar için, Mica2 düğümlerinin karakteristik özellikleri ve kanal modelleri kullanılarak deneysel olarak teyit edilmiş, link katmanı üzerinde realistik bir modelden yararlanıldı. Kullanılan ACK geri besleme içeren tam tokalaşma modeli ve üzerinde geliştirilen Karma Tamsayı Programlama çatısıyla optimizasyon probleminde tüm parametre uzayının detaylı taranarak sonuçlar elde edilmiştir. Tez konusu çalışma, literatürde bildiğimiz kadarıyla, kablosuz algılayıcı ağların ağ ömürlerini etkileyen parametrelerin anlaşılmasına yönelik adım olması açısından bir ilk olmaktadır.

Yoğun simülasyonlarından elde edilen sonuçlar aşağıdaki ilgi çekici değerlendirmelere ulaşmaktadır:

1. Başarılı tokalaşma olasılığını paket boyu üzerindeki etkisi, düğümler arasındaki mesafe veya iletim güç seviyesi ile karşılaştırıldığında, önemsiz kalmaktadır.
2. Paket hata oranı gözardı edilebilir olduğunda, mümkün olan en büyük paket boyunu kullanmak maksimum ağ ömrü değerlerine ulaşılmasını sağlayacaktır.
3. Düğümler arası mesafenin ağ ömrüne etkisinin büyüklüğü daha yüksek iletim güç seviyelerinde daha çok belirginleşmektedir.
4. Kablosuz iletim kanal durumu daha zorlaştıkça, nispeten daha küçük data paketleri kullanımı maksimum ağ ömrü değerleri elde edilecektir.

Tez çalışması sonuçları göstermiştir ki her bir farklı ortam ve senaryoda, diğer paket boylarına göre ağ ömrünün maksimum olduğu optimal bir paket boyu bulunmaktadır. Bu sonuçlar, konuyla ilgili tüm literatür makaleleriyle de uyumlu bulunmaktadır. Çalışmada kullandığımız "alıcı hassasiyet seviyesi" parametresi, literatürdeki paket boyu optimizasyonu çalışmalarında çok önemli bir faktör olmasına rağmen dikkate alınan bir parametre olmadığı ve bu şekliyle literatürdeki çalışmaların genel varsayımları içinde bulunmadığı görülmüştür. Eldeki sonuçlar, alıcı hassasiyeti etkin olduğu durum için, tüm parametre uzayı dikkate alındığında, maksimum ağ ömrü, kanalın müsaade ettiği maksimum paket boyu ile gerçekleştiği, diğer bir deyişle, maksimum paket boyundan farklı paket boyu değeri ile daha düşük maksimum ağ ömrü değerlerine ulaşıldığını göstermektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Vales-Alonso, J., Egea-Lopez, E., Martinez-Sala, A., Pavon-Marino, P., Bueno-Delgado, M. V., and Garcia-Haro, J.** Performance evaluation of MAC transmission power control in wireless sensor networks. *Computer Networks (Elsevier)*, 51:1483–1498, 2007.
- [2] **Dietrich, I. and Dressler, F.** On the lifetime of wireless sensor networks. *ACM Transactions on Sensor Networks*, 5, feb 2009.
- [3] **Akyildiz, I., Sankarasubramaniam, Y., and Cayirci, E.** A survey on sensor networks. *IEEE Communications Magazine*, 40(8):102–114, August 2002.
- [4] **Technology, C.** Mica Motes Datasheet.
- [5] **Sundararaman, B., Buy, U., and Kshemkalyani, A. D.** Clock synchronization for wireless sensor networks: a survey. *Ad Hoc Networks*, 3:281–323, 2005.
- [6] **Akkaya, K. and Younis, M.** A survey on routing protocols for wireless sensor networks. *Ad Hoc Networks (Elsevier)*, 3:325–349, 2005.
- [7] **Bicakci, K., Gultekin, H., and Tavli, B.** The impact of one-time energy costs on network lifetime in wireless sensor networks. *IEEE Communication Letters*, 13:905–907, 2009.
- [8] **Cotuk, H., Tavli, B., Bicakci, K., and Akgun, M. B.** The impact of bandwidth constraints on the energy consumption of wireless sensor networks. In *Proceedings of the IEEE Wireless Communication and Networking Conference (WCNC)*, pages 2787–2792, 2014.
- [9] **Demirkol, I., Ersoy, C., and Alagoz, F.** Mac protocols for wireless sensor networks: A survey. *IEEE Communications Magazine*, 44:115–121, 2006.
- [10] **Tubaishat, M. . M. and S.** Sensor networks: an overview. *IEEE Potentials 2003*, 22:20–30, 2003.
- [11] **Hac, A.** *Wireless Sensor Network Designs*. John Wiley & Sons Ltd: Etobicoke, Ontario, Canada, 2009.
- [12] **Raghavendra, C. . S. and T., K. . Z.** *Wireless Sensor Networks*. Springer: New York, NY, USA, 2004.
- [13] **Culler, D. . E., Srivastava, D. ., and M.** Overview of sensor networks. *IEEE Computer*, 37:41–49, 2004.

- [14] **Sohrabi, K. . G., Ailawadhi, J. ., Pottie, V. ., and G.** Protocols for self-organization of a wireless sensor network. *IEEE Personal Commun.* 2000, 7:16–27, 2000.
- [15] **Rajaravivarma, V. . Y., Yang, Y. ., and T.** An overview of wireless sensor network and applications. In *Proceedings of 35th Southeastern Symposium on System Theory, Morgantown, WV, USA*, pages 432–436, 2003.
- [16] **Verdone, R. . D., Mazzini, D. ., Conti, G. ., and A.** *Wireless Sensor and Actuator Networks*. Elsevier:London, UK, 2008.
- [17] **Akkaya, K. and Younis, M.** A survey on routing protocols for wireless sensor networks. *Ad Hoc Networks*, 3:325–349, 2005.
- [18] **Verdone, R.** Wireless sensor networks. In *Proceedings of the 5th European Conference, Bologna, Italy*, 2008.
- [19] **Bilinska, K., Filo, M., and Krystowski, R.** Mica, Mica2, MicaZ, 2007.
- [20] **Ram, G., Babu, N., and Sudhakar, N.** Tracking Objects Using Rfid and Wireless Sensor Networks. *Ijesat.Org*, (3):513–517, 2012.
- [21] **Nachman, L., King, R., Adler, R., Huang, J., and Hummel, V.** *The intel mote platform: a bluetooth-based sensor network for industrial monitoring*. IEEE, Information Processing In Sensor Networks, 2005.
- [22] **Ghayvat, H., Mukhopadhyay, S., Gui, X., and Suryadevara, N.** WSN- and IOT-based smart homes and their extension to smart buildings. *Sensors (Switzerland)*, 15(5):10350–10379, 2015.
- [23] **Chunlong Zhang, Min Zhang, Yongsheng Su, and Weilian Wang.** Smart home design based on ZigBee wireless sensor network. *7th International Conference on Communications and Networking in China*, pages 463–466, 2012.
- [24] **Suryadevara, N. K., Mukhopadhyay, S. C., Kelly, S. D. T., and Gill, S. P. S.** WSN-based smart sensors and actuator for power management in intelligent buildings. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 20(2):564–571, 2015.
- [25] **Mc Gibney, A., Klepal, M., and ODonnell, J. T.** Design of underlying network infrastructure of smart buildings. *Intelligent Environments, 2008 IET 4th International Conference on*, pages 1–4, 2008.
- [26] **Chan, Y. W. E., Chien, S. C., Soong, B. H., and Tseng, K. J.** WSN-based intelligent visual performance management in tropical buildings. In *Proceedings of 2014 International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid, IGBSG 2014*, 2014.
- [27] **Morvaj, B., Lugarcic, L., and Krajcar, S.** Demonstrating smart buildings and smart grid features in a smart energy city. *Proceedings of the 2011 3rd International Youth Conference on Energetics (IYCE)*, pages 1–8, 2011.
- [28] **Sakthipriya, N.** An effective method for crop monitoring using wireless sensor network. *Middle - East Journal of Scientific Research*, 20(9):1127–1132, 2014.

- [29] **Murad, M., Yahya, K. M., and Hassan, G. M.** Web based poultry farm monitoring system using wireless sensor network. In *Proceedings of the 6th International Conference on Frontiers of Information Technology FIT 09*, 2009.
- [30] **Crowley, K., Frisby, J., Murphy, S., Roantree, M., and Diamond, D.** Web-based real-time temperature monitoring of shellfish catches using a wireless sensor network. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 122(2):222–230, 2005.
- [31] **Hwang, J. and Yoe, H.** Study of the ubiquitous hog farm system using wireless sensor networks for environmental monitoring and facilities control. *Sensors*, 10(12):10752–10777, 2010.
- [32] **Zhu, Y., Song, J., and Dong, F.** Applications of Wireless Sensor Network in the agriculture environment monitoring. In *Procedia Engineering*, volume 16, pages 608–614, 2011.
- [33] **Yu, X., Wu, P., Han, W., and Zhang, Z.** A survey on wireless sensor network infrastructure for agriculture. *Computer Standards & Interfaces*, 35(1):59–64, 2013.
- [34] **Mainwaring, A., Culler, D., Polastre, J., Szewczyk, R., and Anderson, J.** Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring. *Proceedings of the 1st {ACM} International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*, pages 88–97, 2002.
- [35] **Virone, G., Wood, a., Selavo, L., Cao, Q., Fang, L., Doan, T., He, Z., Stoleru, R., Lin, S., and Stankovic, J. a.** An Advanced Wireless Sensor Network for Health Monitoring. *Transdisciplinary Conference on Distributed Diagnosis and Home Healthcare (D2H2)*, pages 2–5, 2006.
- [36] **Engel, A., Friedmann, A., Koch, M., Rohlfing, J., Siebel, T., Mayer, D., and Koch, A.** Hardware-accelerated Wireless Sensor Network for Distributed Structural Health Monitoring. *Procedia Technology*, 15:737–746, 2014.
- [37] **Triantafyllidis, A., Koutkias, V., Chouvarda, I., and Maglaveras, N.** An open and reconfigurable Wireless Sensor Network for pervasive health monitoring. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare 2008, PervasiveHealth*, pages 112–115, 2008.
- [38] **Garzón, C. A. L. and Riveros, O. J. R.** Temperature, humidity and luminescence monitoring system using Wireless Sensor Networks (WSN) in flowers growing. In *2010 IEEE ANDESCON Conference Proceedings, ANDESCON 2010*, 2010.
- [39] **Barroca, N., Borges, L. M., Velez, F. J., Monteiro, F., Górski, M., and Castro-Gomes, J.** Wireless sensor networks for temperature and humidity monitoring within concrete structures. *Construction and Building Materials*, 40:1156–1166, 2013.
- [40] **Padmavathi, G., Shanmugapriya, D., and Kalaivani, M.** A Study on Vehicle Detection and Tracking Using Wireless Sensor Networks. *Wireless Sensor Network*, 02(02):173–185, 2010.

- [41] **Sivaraman, S. and Trivedi, M. M.** Looking at vehicles on the road: A survey of vision-based vehicle detection, tracking, and behavior analysis. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(4):1773–1795, 2013.
- [42] **Sabit, H., Al-Anbuky, A., and GholamHosseini, H.** Wireless sensor network based wildfire hazard prediction system modeling. In *Procedia Computer Science*, volume 5, pages 106–114, 2011.
- [43] **Yuan, Y., Wang, D., and Ni, Y. Q.** Minimum cost deployment in earthquake early warning system for high-speed railways. In *IEEE ICIRT 2013 - Proceedings: IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation*, pages 227–232, 2013.
- [44] **Nachtigall, J., Zubow, A., Sombrutzki, R., and Picozzi, M.** The Challenges of Using Wireless Mesh Networks for Earthquake Early Warning Systems, 2009.
- [45] **Bahrepour, M., Meratnia, N., Poel, M., Taghikhaki, Z., and Havinga, P. J.** Distributed Event Detection in Wireless Sensor Networks for Disaster Management. *2010 International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems*, pages 507–512, 2010.
- [46] **Basha, E. a., Ravela, S., and Rus, D.** Model-based monitoring for early warning flood detection. In *Proceedings of the 6th ACM conference on Embedded network sensor systems - SenSys '08*, pages 295–308, 2008.
- [47] **Wenzel, F., Baur, M., Fiedrich, F., Ionescu, C., and Oncescu, M. C.** Potential of Earthquake Early Warning Systems. *Natural Hazards*, 23:407–416pp, 2001.
- [48] **Jang, W.-S., Healy, W. M., and Skibniewski, M. J.** Wireless sensor networks as part of a web-based building environmental monitoring system. *Automation in Construction*, 17:729–736, 2008.
- [49] **Khedo, K. K., Perseedoss, R., Mungur, A., Mauritius, U. O., and Mauritius.** A Wireless Sensor Network Air Pollution Monitoring System. *Science*, 2(2):15, 2010.
- [50] **Mansour, S., Nasser, N., Karim, L., and Ali, A.** Wireless Sensor Network-based air quality monitoring system. *2014 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*, 3(3):545–550, 2014.
- [51] **Tzeng, C.-B. and Wey, T.-S.** Design and Implement a Cost Effective and Ubiquitous Air Quality Monitoring System Based on ZigBee Wireless Sensor Network. *2011 Second International Conference on Innovations in Bio-inspired Computing and Applications*, pages 245–248, 2011.
- [52] **Nasser, N., Ali, a., Karim, L., and Belhaouari, S.** An efficient Wireless Sensor Network-based water quality monitoring system. *Computer Systems and Applications (AICCSA), 2013 ACS International Conference on*, pages 1–4, 2013.
- [53] **Stoianov, I., Nachman, L., Madden, S., Tokmouline, T., and Csail, M.** PIPENET: A Wireless Sensor Network for Pipeline Monitoring. *Information Processing in Sensor Networks, 2007. IPSN 2007. 6th International Symposium on*, pages 264–273, 2007.

- [54] **Cheng, Z., Perillo, M., and Heinzelman, W.** General network lifetime and cost models for evaluating sensor network deployment strategies. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 7:484–497, 2008.
- [55] **Gogu, A., Nace, D., Dilo, A., and Meratnia, N.** Review of optimization problems in wireless sensor networks. *Telecommunication Networks - Current Status and Future Trends*, pages 153–180, 2012.
- [56] **Akyildiz, I., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., and Cayirci, E.** A survey on sensor networks. *IEEE Communications Magazine*, 40:102–114, 2002.
- [57] **Chong, C. Y. and P., K. S.** Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges. *Proceedings of the IEEE Sensor Networks*, 91(8):1247–1256, 2003.
- [58] **Akkaya, K. and Younis, M.** A survey of routing protocols in wireless sensor networks. *Elsevier Ad Hoc Networks*, 3, 2005.
- [59] **Dressler, F.** A study of self-organization mechanisms in ad hoc and sensor networks. *Elsevier Computer Communications*, 13:3018–3029, 2008.
- [60] **Bai, X., Kumary, S., Xuany, D., Yunz, Z., and Lai, T. H.** Deploying wireless sensors to achieve both coverage and connectivity. In *7th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (ACM Mobihoc 2006)*, pages 131–142, 2006.
- [61] **Akyildiz, I. F. and Kasimoglu, I. H.** Wireless sensor and actor networks: Research challenges. *Ad Hoc Networks*, 2:351–367, 2004.
- [62] **Khan, M. and Mistic, J.** Security in IEEE 802.15.4 cluster based networks. *Wireless Networks and Mobile Communications*, 6, 2008.
- [63] **Madan, R., Cui, S., Lall, S., and Goldsmith, A.** Cross-layer design for lifetime maximization in interference-limited wireless sensor networks. *IEEE Conference on Computer Communications (IEEE INFOCOM 2005)*, 3, 2005.
- [64] **Wang, W., Srinivasan, V., and Chua, K. C.** Using mobile relays to prolong the lifetime of wireless sensor network. *11th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (ACM MobiCom)*, 2005.
- [65] **Chang, J. and Tassiulas, L.** Energy conserving routing in wireless ad-hoc networks. *19th IEEE Conference on Computer Communications (IEEE INFOCOM)*, 2000.
- [66] **Mhatre, V. and Rosenberg, C.** Design guidelines for wireless sensor networks: communication, clustering and aggregation. *Elsevier Ad Hoc Networks*, 1:45–63, 2004.
- [67] **Deng, J., Han, Y. S., Heinzelman, W. B., and Varshney, P. K.** Scheduling sleeping nodes in high density cluster-based sensor networks. *Mobile Networks and Applications*, 6:825–835, 2005.
- [68] **Hellman, K. and Colagrosso, M.** Investigating a wireless sensor network optimal lifetime solution for linear topologies. *Journal of Interconnection Networks*, 1:91–99, 2006.

- [69] **Chiasserini, C. F., Chlamtac, I., Monti, P., and Nucci, A.** Energy efficient design of wireless ad hoc networks. In *IFIP Networking*, Springer, 2002.
- [70] **Soro, S. and Heinzelman, W. B.** Prolonging the lifetime of wireless sensor networks via unequal clustering. In *19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2005)*, 2005.
- [71] **Tian, D. and Georganas, N. D.** A coverage-preserving node scheduling scheme for large wireless sensor networks. *1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA 2002)*, 2002.
- [72] **Mo, W., Qiao, D., and Wang, Z.** Mostly-sleeping wireless sensor networks: Connectivity, k-coverage, and alpha-lifetime. In *The 43rd Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing*, 2005.
- [73] **Cardei, M., Thai, M. T., Li, Y., and Wu, W.** Energy-efficient target coverage in wireless sensor networks. In *24th IEEE Conference on Computer Communications (IEEE INFOCOM 2005)*, 2005.
- [74] **Bhardwaj, M. and Chandrakasan, A.** Bounding the lifetime of sensor networks via optimal role assignments. In *21st IEEE Conference on Computer Communications (IEEE INFOCOM 2002)*, volume 3, 2002.
- [75] **Bhardwaj, M., Garnett, T., and Chandrakasan, A. P.** Upper bounds on the lifetime of sensor networks. In *IEEE International Conference on Communications (IEEE ICC 2001)*, volume 3, pages 785–790, 2001.
- [76] **Zhang, H. and Hou, J. C.** Maintaining sensing coverage and connectivity in large sensor networks. *Wireless Ad Hoc and Sensor Networks: An International Journal*, pages 89–123, 2005.
- [77] **Zhang, H. and Hou, J. C.** Maximizing  $\alpha$ -lifetime for wireless sensor networks. In *3rd International Workshop on Measurement, Modeling, and Performance Analysis of Wireless Sensor Networks (SenMetrics 2005)*, 2005.
- [78] **Zhang, H. and Hou, J. C.** On the upper bound of  $\alpha$ -lifetime for large sensor networks. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN) 1*, 2:272–300, 2005.
- [79] **Wu, K., Gao, Y., Li, F., and Xiao, Y.** Lightweight deployment-aware scheduling for wireless sensor networks. *Mobile Networks and Applications*, 6, 2005.
- [80] **Giridhar, A. and Kumar, P.** Maximizing the functional lifetime of sensor networks. In *4th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks (IPSN 2005)*, 2005.
- [81] **Mhatre, V., Rosenberg, C., Kofman, D., Mazumdar, R., and Shroff, N.** A minimum cost heterogeneous sensor network with a lifetime constraint. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 1, 2005.
- [82] **Olariu, S. and Stojmenovic, I.** Design guidelines for maximizing lifetime and avoiding energy holes in sensor networks with uniform distribution and uniform reporting. In *25th IEEE Conference on Computer Communications (IEEE INFOCOM 2006)*, 2006.



- [83] **Carbunar, B., Grama, A., Vitek, J., and Carbunar, O.** Redundancy and coverage detection in sensor networks. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)* 2, 1:94–128, 2006.
- [84] **Baydere, S., Safkan, Y., and Durmaz, O.** Lifetime analysis of reliable wireless sensor networks. *IEICE Transactions on Communications*, 6, 2005.
- [85] **Yu, Y., Govindan, R., and Estrin, D.** Geographical and Energy Aware Routing: a recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks. In *Energy*, pages 2–3, 2001.
- [86] **Cardei, M. and Wu, J.** Coverage in wireless sensor networks. In Ilyas, M., editor, *Handbook of Sensor Networks*, 2004.
- [87] **Kansal, A., Ramamoorthy, A., Srivastava, M. B., and Pottie, G. J.** On sensor network lifetime and data distortion. In *International Symposium on Information Theory (ISIT 2005)*, 2005.
- [88] **Sha, K. and Shi, W.** Modeling the lifetime of wireless sensor networks. *Sensor Letters*, pages 126–135, 2005.
- [89] **Blough, D. M. and Santi, P.** Investigating upper bounds on network lifetime extension for cell-based energy conservation techniques in stationary ad hoc networks. In *8th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (ACM MobiCom 2002)*, pages 183–192, 2002.
- [90] **Kumar, S., Arora, A., and Lai, T. H.** On the lifetime analysis of always-on wireless sensor network applications. In *IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (IEEE MASS 2005)*, 2005.
- [91] **Tilak, S., Abu-Ghazaleh, N. B., and Heinzelman, W.** A taxonomy of wireless microsensor network models. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 2:28–36, 2002.
- [92] **Wieselthier, J. E., Nguyen, G. D., and Ephremides, A.** Resource management in energy-limited, bandwidth-limited. *transceiver-limited wireless networks for session-based multicasting*. *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, 39(5):113–131, 2002.
- [93] **Soparia, J. and Bhatt, N.** A survey on comparative study of wireless sensor network topologies. *International Journal of Computer Applications*, 87:40–43, 2014.
- [94] **Sankarasubramaniam, Y., Akyildiz, I., and McLaughlin, S.** Energy efficiency based packet size optimization in wireless sensor networks. In *Proceedings of the IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications*, pages 1–8, 2003.
- [95] **Dong, W., Liu, X., Chen, C., He, Y., G.Chen, Liu, Y., and Bu, J.** DPLC: dynamic packet length control in wireless sensor networks. In *Proceedings of the IEEE INFOCOM*, pages 1–9, 2010.

- [96] **Ci, S., Sharif, H., and Nuli, K.** Study of an adaptive frame size predictor to enhance energy conservation in wireless sensor networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 23:283–292, 2005.
- [97] **Li, Y., Qi, X., Ren, Z., Zhou, G., Xiao, D., and Deng, S.** Energy modeling and optimization through joint packet size analysis of BSN and Wi-Fi networks. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 24:1741–1751, 2013.
- [98] **Leghari, A., Abbasi, S., and Dhomeja, L.** Survey on packet size optimization techniques in wireless sensor networks. In *Proceedings of the International Conference on Wireless Sensor Networks, At Mehran University of Engineering and Technology*, 2013.
- [99] **Nandi, A., Bepari, D., and Kundu, S.** Optimal transmit power and packet size in wireless sensor networks in shadowed channel. *ACEEE International Journal on Communication*, 1(2):39–44, 2010.
- [100] **Holland, M., Wang, T., Tavli, B., Seyedi, A., and Heinzelman, W.** Optimizing physical-layer parameters for wireless sensor networks. *ACM Transactions on Sensor Networks*, 7(4):28:1–28:20, 2011.
- [101] **Nandi, A. and Kundu, S.** On energy level performance of adaptive power based WSN in shadowed channel. In *Proceedings of the International Conference on Devices and Communications (ICDeCom)*, pages 1–5, 2011.
- [102] **Jung, L. and Abdullah, A.** Underwater wireless network energy efficiency and optimal data packet size. In *Proceedings of the International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering (INECCE)*, pages 178–182, 2011.
- [103] **Basagni, S., Petrioli, C., Petroccia, R., and Stojanovic, M.** Optimized packet size selection in underwater wireless sensor network communications. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 37(3):321–337, 2012.
- [104] **Vuran, M. and Akyildiz, I.** Cross-layer packet size optimization for wireless terrestrial, underwater, and underground sensor networks. In *Proceedings of the Conference on Computer Communications*, pages 13–18, 2009.
- [105] **Mohammadi, M., Zhang, Q., Dutkiewicz, E., and Huang, X.** Optimal frame length to maximize energy efficiency in IEEE 802.15.6 UWB body area networks. *IEEE Wireless Communications Letters*, 3(4):397–400, 2014.
- [106] **Lendvai, K., Milankovich, A., Imre, S., and Szabo, S.** Optimized packet size for energy efficient delay tolerant sensor networks. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, pages 19–25, 2012.
- [107] **Datta, U., Kundu, C., and Kundu, S.** Performance of an optimum packet based cdma wireless sensor networks in presence of correlated interferers. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer & Communication (ICCCT)*, pages 23–27, 2010.

- [108] **Datta, U. and Kundu, S.** Packet size optimization for multi hop cdma wireless sensor networks with nearest neighbors based routing. In *Proceedings of the International Conference on Emerging Applications of Information Technology (EAIT)*, pages 408–412, 2012.
- [109] **Noda, C., Prabhi, S., and Alves, M.** On packet size and error correction optimisations in low-power wireless networks. In *Proceedings of the International Conference on Sensing, Communications and Networking (SECON)*, pages 212–220, 2013.
- [110] **Zhao, T., Guo, T., and Yang, W.** Optimal transmission radii and packet size for wireless sensor networks based on bi-level programming model. In *Proceedings of the International Conference on Intelligent Computing and Integrated Systems (ICISS)*, pages 840–844, 2010.
- [111] **Abdulhadi, S., Naeem, M., Jaseemuddin, M., and Anpalagan, A.** Optimized packet size for energy efficient cooperative wireless ad-hoc networks. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC)*, pages 581–585, 2013.
- [112] **Oto, M. and Akan, O.** Energy-efficient packet size optimization for cognitive radio sensor networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 11(4):1544–1553, 2012.
- [113] **Lendvai, K., Milankovich, A., Imre, S., and Szabo, S.** Optimized packet size for energy efficient delay-tolerant sensor networks with FEC. In *Proceedings of the International Conference on Telecommunications (ConTEL)*, pages 87–94, 2013.
- [114] **Xia, N., Feng, R., and Xu, L.** Spsa based packet size optimization algorithm in wireless sensor networks. *Wireless Algorithms, Systems, and Applications*, pages 1112–1119, 2012.
- [115] **Yildiz, H. U., Tavli, B., and Yanikomeroglu, H.** Transmission power control for link-level handshaking in wireless sensor networks. *IEEE Sensors Journal*, 16:561–576, October 2015.
- [116] **Sundararaman, B., Buy, U., and Kshemkalyani, A.** Clock synchronization for wireless sensor networks: A survey. *Ad Hoc Networks (Elsevier)*, 3:281–323, 2005.
- [117] **Ganeriwal, S., Kumar, R., and Srivastava, M. B.** Timing-sync protocol for sensor networks. In *Proceedings of the ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys)*, pages 138–149, 2003.
- [118] **Martinez-Sala, A. S., Pardo, J. M. M. G., Egea-Lopez, E., Vales-Alonso, J., Juan-Llacer, L., and Garcia-Haro, J.** An accurate radio channel model for wireless sensor networks simulation. *Journal of Communications and Networks*, 7(4):401–407, 2005.

- [119] **Zuniga, M. and Krishnamachari, B.** Analyzing the transitional region in low power wireless links. In *Proceedings of the IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON)*, pages 517–526, 2004.
- [120] **Wolsey, L.** *Integer Programming*. Wiley Interscience Publication, 1998.
- [121] **Chinneck, J. W.** *Practical optimization: A gentle introduction*, 2013.
- [122] **Akbas, A., Yildiz, H., and Tavli, B.** Data packet length optimization for wireless sensor network lifetime maximization. In *Proceedings of the International Conference on Communications (COMM)*, pages 321–326, 2014.
- [123] **Cheng, Z., Perillo, M., and Heinzelman, W.** General network lifetime and cost models for evaluating sensor network deployment strategies. *IEEE Transaction on Mobile Computing*, 7:484–497, 2008.
- [124] **Ozyer, S. T., Tavli, B., Dursun, K., and Koyuncu, M.** Systematic investigation of the effects of unidirectional links on the lifetime of wireless sensor networks. *Computer Standards & Interfaces*, 36:132–142, 2013.
- [125] **Karakus, C., Gurbuz, A. C., and Tavli, B.** Analysis of energy efficiency of compressive sensing in wireless sensor networks. *IEEE Sensors Journal*, 13:1999–2008, 2013.
- [126] **Batmaz, A. U., Tavli, B., Incebacak, D., and Bicakci, K.** The impact of link unidirectionality and reverse path length on wireless sensor network lifetime. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 388–392, 2013.
- [127] **Ozyer, S. T., Tavli, B., and Koyuncu, M.** Optimal energy efficient routing in wireless sensor networks with link asymmetry. In *Proceedings of the International Conference on Communications (COMM)*, pages 185–188, 2012.
- [128] **Bicakci, K., Bagci, I. E., and Tavli, B.** Lifetime bounds of wireless sensor networks preserving perfect sink unobservability. *IEEE Communications Letters*, 15:205–207, 2011.
- [129] **Tavli, B., Akgun, M. B., and Bicakci, K.** Impact of limiting number of links on the lifetime of wireless sensor networks. *IEEE Communications Letters*, 15:43–45, 2011.
- [130] **Ishmanov, F., Malik, A. S., and Kim, S. M.** Energy consumption balancing (ECB) issues and mechanisms in wireless sensor networks (WSNs): a comprehensive overview. *European Transactions on Telecommunications*, 22:151–167, 2011.
- [131] **Gogu, A., Nace, D., Dilo, A., and Meratnia, N.** Review of optimization problems in wireless sensor networks. In Hamilton Ortiz, J., editor, *Telecommunications Networks - Current Status and Future Trends*, pages 153–180. InTech, 2012.
- [132] **GAMS.** General algebraic modeling system (gams).

- [133] **Croxtton, K.** The linear programming tutorial.
- [134] **MathWorks.** Matlab.
- [135] **Wikipedia.Org.** Matlab.
- [136] **Nandi, A., Bepari, D., Jose, J., and Kundu, S.** Optimal transmit power and packet size in wireless sensor networks in shadowed channel. *ACEEE International Journal on Communication*, 1:39–44, 2010.
- [137] **Specht, E.** The best known packings of equal circles in the unit circle.
- [138] **Mishra, A., Chakraborty, S., Li, H., and Agrawal, D. P.** Error Minimization and Energy Conservation by predicting data in Wireless Body Sensor Networks using Artificial Neural Network and Analysis of Error. In *Proc. Consumer Communications and Networking Conf. (CCNC)*, pages 177–182, 2014.
- [139] **Payal, A., Rai, C. S., and Reddy, B. V. R.** Artificial Neural Networks for developing localization framework in Wireless Sensor Networks. In *Proc. Int. Conf. on Data Mining and Intelligent Computing (ICDMIC)*, pages 1–6, 2014.
- [140] **Aram, S., Mesin, L., and Pasero, E.** Improving lifetime in wireless sensor networks using neural data prediction. In *Proc. World Symposium on Computer Applications & Research (WSCAR)*, pages 4–6, 2014.
- [141] **Singh, P. and Agrawal, S.** Node Localization in Wireless Sensor Networks Using the MSP Tree and SMOreg Algorithms. In *Proc. Int. Conf. on Computational Intelligence and Communication Networks*, pages 104–104, 2013.
- [142] **Singh, P. and Agrawal, S.** TDOA Based Node Localization in WSN Using Neural Networks. In *Proc. Int. Conf. Communication Systems and Network Technologies*, pages 400–404, 2013.
- [143] **Roy, J. K., Gupta, D., and Goswami, S.** An improved flood warning system using WSN and artificial neural network. In *Proc. Annual IEEE India Conference (INDICON)*, pages 770–774, 2012.
- [144] **Guo, L., Chen, F., Dai, Z., and Liu, Z.** WSN Cluster Head Selection Algorithm Based on Neural Network. In *Proc. Int. Conf. on Machine Vision and Human-machine Interface*, pages 258–260, 2010.
- [145] **Nakano, H., Utani, A., Miyauchi, A., and Yamamoto, H.** Synchronization-based data gathering scheme using chaotic pulse-coupled neural networks in wireless sensor networks. In *Proc. IEEE Int. Joint Conf. on Neural Networks (IEEE World Congress on Computational Intelligence)*, pages 1115–1121, 2008.
- [146] **Haykin, S.** *Neural Networks: A Comprehensive Foundation, 2nd Edition*. Prentice Hall PTR, 1998.
- [147] **Cao, J., Ahmadi, M., and Shridhar, M.** A hierarchical neural network architecture for handwritten numeral recognition. *Pattern Recognition*, 30(2):289–294, 1997.

- [148] **Qiu, M., Song, Y., and Akagi, F.** Application of artificial neural network for the prediction of stock market returns: The case of the Japanese stock market. *Chaos, Solitons & Fractals*, 85:1–7, 2016.
- [149] **Stallkamp, J., Schlipsing, M., and J. Salmen, C. I.** Man vs. computer: Benchmarking machine learning algorithms for traffic sign recognition. *Neural Networks*, 32:323–332, 2012.
- [150] **Blue, J., Candela, G., Grother, P., Chellappa, R., and Wilson, C.** Evaluation of pattern classifiers for fingerprint and OCR applications. *Pattern Recognition*, 27(4):485–501, 1994.
- [151] **Shahamiri, S. R. and Salim, S. S. B.** Real-time frequency-based noise-robust Automatic Speech Recognition using Multi-Nets Artificial Neural Networks: A multi-views multi-learners approach. *Neurocomputing*, 129:199–207, 2014.
- [152] **Chen, L.-S., Liu, C.-H., and Chiu, H.-J.** A neural network based approach for sentiment classification in the blogosphere. *Journal of Informetrics*, 5(2):313–322, 2011.
- [153] **Ozbayoglu, A. M. and Yuksel, H. E.** Analysis of gas–liquid behavior in eccentric horizontal annuli with image processing and artificial intelligence techniques. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 81:31–40, 2012.
- [154] **Kocer, H. E. and Cevik, K. K.** Artificial neural networks based vehicle license plate recognition. In *Procedia Computer Science*, volume 3, pages 1033–1037, 2011.
- [155] **Rumelhart, D., Hinton, G., and Williams, R.** Learning representations of back-propagation errors. *Nature*, 323:533–536, 1986.
- [156] **Almási, A.-D., Woźniak, S., Cristea, V., Leblebici, Y., and Engbersen, T.** Review of advances in neural networks: Neural design technology stack. *Neurocomputing*, 174:31–41, January 2016.
- [157] **GAMS.** A gams example.

## **EKLER**

**EK 1** : Matlab Kod örnekleri

**EK 2** : GAMS Kodları



## EK 1

Örnek MATLAB kodları (Çizim dosyası)

```
clc;
clear all;
close all;

si=[1 2 3 4 5 6 8];

y0_n49=[1 0.928032495 0.84960178
         0.778196172 0.715685863 0.661369183 0.572787986];
y1_n49=[1 0.915361934 0.819377859
         0.744270968 0.680220065 0.624680866
         0.536180235];
y2_n49=[0.675716239 0.677083681
         0.839092152 0.948620885 0.97737051 1 0.977337158];

y0_n81=[1 0.926175071 0.846825148
         0.774957482 0.712173037 0.657744967 0.569183555];
y1_n81=[1 0.913657841 0.823823958
         0.745921369 0.68009866 0.624312799 0.5356453];
y2_n81=[0.360110248 0.737910298 0.826359308
         0.928063142 1 0.989200702 0.912077174];

y0_n121=[1 0.92546262 0.84662113
          0.773559239 0.710559462 0.655822423 0.565702441];
y1_n121=[1 0.914744131 0.825333559
          0.747655238 0.681776727 0.625885267 0.536936328];
y2_n121=[0 0.648518844 0.906217921
          1 0.98302537 0.937490834 0.892799531];

z0_n49=[1 0.93188248 0.857194863
         0.788435935 0.727675538 0.674504556 0.587016517];
z1_n49=[1 0.921267888 0.82850876
         0.75528688 0.692411395 0.637437475 0.549209576];
z2_n49=[0.62775155 0.650337869
         0.855614181 0.939553828 0.983837823 1 0.963010275];

z0_n81=[1 0.929871854 0.854052879
         0.78467059 0.723545579 0.670149289 0.582555176];
z1_n81=[1 0.919710535 0.833169207
```



```

0.757098846 0.692294488 0.637003442 0.548528734];
z2_n81=[0.432487597 0.716796598
0.864238129 0.970262225 1 0.983104181 0.917987243];

z0_n121=[1 0.929097483 0.852758011
0.783054823 0.721693629 0.668025905 0.57883141];
z1_n121=[1 0.921216102 0.83527625
0.758927838 0.693976959 0.638535424 0.549722245];
z2_n121=[0 0.6924325 0.936306527
1 0.990805841 0.96480426 0.906685526];

t0_n49=[1 0.939470314 0.868537876
0.80203097 0.742557167 0.690088924 0.603079508];
t1_n49=[1 0.914072067 0.833745136
0.763330459 0.700581838 0.646651354 0.559636551];
t2_n49=[0.594146562 0.620203641
0.839068064 0.912373978 0.988689372 1 0.972212469];

t0_n81=[1 0.93707508 0.864731191
0.797294469 0.737284391 0.684499399 0.597247955];
t1_n81=[1 0.921607942 0.837763161
0.763980243 0.700711544 0.646465511 0.559075238];
t2_n81=[0.435646615 0.6773473
0.863975969 0.969036432 1 0.972695063 0.93614727];

t0_n121=[1 0.935978929 0.862955809
0.795095113 0.734820018 0.681802751 0.593456248];
t1_n121=[1 0.922346771
0.838673339 0.764731953 0.701242821 0.646839394 0.559177116];
t2_n121=[0.443212366 0.643033154
0.906698029 1 0.971214158 0.9546931 0.915322581];

%%
figure;
hold all;
plot(si,y2_n49, '-bo','LineWidth',2, 'MarkerSize', 10);
plot(si,z2_n49, '--rs','LineWidth',2, 'MarkerSize', 10);
plot(si,t2_n49, ':kd','LineWidth',2, 'MarkerSize', 10);
%title(' N.Lifetime N_N=49 Nodes for PL=12');
set(gca,'XTickLabel',
{'240','120','80','60','48','40','30'},'FontSize',16);

```

```

h_legend=legend(
    'd_{int}=Y_2, l=12', 'd_{int}=Z_2, l=19', 'd_{int}=T_2, l=26',
    'Location', 'SouthEast');
x_label=xlabel('Payload (Bytes)');
y_label=ylabel('Normalized Lifetime');
set(gca, 'YTick',[0.5 0.7 0.9 1], 'FontSize',16);
ylim([0.5 1]);
set(h_legend, 'FontSize',16);
set(x_label, 'FontSize',16);
set(y_label, 'FontSize',16);
xlim([0.90 7]);
box on;

%%
figure;
hold all;
plot(si,y2_n81, '-bo', 'LineWidth',2, 'MarkerSize', 10);
plot(si,z2_n81, '--rs', 'LineWidth',2, 'MarkerSize', 10);
plot(si,t2_n81, ':kd', 'LineWidth',2, 'MarkerSize', 10);
%title(' N.Lifetime N_N=81 Nodes for PL=12');
set(gca, 'XTickLabel',
    {'240', '120', '80', '60', '48', '40', '30'}, 'FontSize',16);
ylim([0.2 1]);
h_legend=legend(
    'd_{int}=Y_2, l=12', 'd_{int}=Z_2, l=19', 'd_{int}=T_2, l=26',
    'Location', 'SouthEast');
x_label=xlabel('Payload (Bytes)');
y_label=ylabel('Normalized Lifetime');

set(gca, 'YTick',0.2:0.2:1, 'FontSize',16)
set(h_legend, 'FontSize',16);
set(x_label, 'FontSize',16);
set(y_label, 'FontSize',16);
xlim([0.90 7]);
box on;

%%
figure;
hold all;
plot(si,y2_n121, '-bo', 'LineWidth',2, 'MarkerSize', 10);
plot(si,z2_n121, '--rs', 'LineWidth',2, 'MarkerSize', 10);

```

```

plot(si,t2_n121,':kd','LineWidth',2, 'MarkerSize', 10);
set(gca,'XTickLabel',
    {'240','120','80','60','48','40','30'},'FontSize',16);
%title(' N.Lifetime N_N=121 Nodes for PL=12');
h_legend=legend(
    'd_{int}=Y_2, l=12', 'd_{int}=Z_2, l=19','d_{int}=T_2, l=26',
    'Location', 'SouthEast');
x_label=xlabel('Payload (Bytes)');
y_label=ylabel('Normalized Lifetime');
ylim([0 1]);
set(gca,'YTick',0:0.2:1,'FontSize',16)
set(h_legend,'FontSize',16);
set(x_label,'FontSize',16);
set(y_label,'FontSize',16);
xlim([0.90 7]);
box on;

%%
figure;
hold all;
plot(si,y1_n49, '-bo','LineWidth',2, 'MarkerSize', 10);
plot(si,z1_n49, '--rs','LineWidth',2, 'MarkerSize', 10);
plot(si,t1_n49, ':kd','LineWidth',2, 'MarkerSize', 10);
set(gca,'XTickLabel',{'240','120','80','60','48','40','30'},
    'FontSize',16);
%title(' N.Lifetime N_N=49 Nodes for PL=19');
h_legend=legend('d_{int}=Y_1, l=12', 'd_{int}=Z_1, l=19',
    'd_{int}=T_1, l=26');
x_label=xlabel('Payload (Bytes)');
y_label=ylabel('Normalized Lifetime');
ylim([0.5 1]);
set(gca, 'YTick',[0.5 0.7 0.9 1],'FontSize',16)
set(h_legend,'FontSize',16);
set(x_label,'FontSize',16);
set(y_label,'FontSize',16);
xlim([0.90 7]);
box on;

%%
figure;
hold all;

```

```

plot(si,y1_n81, '-bo','LineWidth',2, 'MarkerSize', 10);
plot(si,z1_n81, '--rs','LineWidth',2, 'MarkerSize', 10);
plot(si,t1_n81, ':kd','LineWidth',2, 'MarkerSize', 10);
set(gca,'XTickLabel',
    {'240','120','80','60','48','40','30'},
    'FontSize',16);
%title(' N.Lifetime N_N=81 Nodes for PL=19');
h_legend=legend(
    'd_{int}=Y_1, l=12', 'd_{int}=Z_1, l=19',
    'd_{int}=T_1, l=26');
x_label=xlabel('Payload (Bytes)');
y_label=ylabel('Normalized Lifetime');
ylim([0.5 1]);
set(gca,'YTick',[0.5 0.7 0.9 1],'FontSize',16)
set(h_legend,'FontSize',16);
set(x_label,'FontSize',16);
set(y_label,'FontSize',16);
xlim([0.90 7]);
box on;

%%
figure;
hold all;
plot(si,y1_n121, '-bo','LineWidth',2, 'MarkerSize', 10);
plot(si,z1_n121, '--rs','LineWidth',2, 'MarkerSize', 10);
plot(si,t1_n121, ':kd','LineWidth',2, 'MarkerSize', 10);
set(gca,'XTickLabel',{'240','120','80','60','48','40','30'},
    'FontSize',16);
%title(' N.Lifetime N_N=121 Nodes for PL=19');
h_legend=legend('d_{int}=Y_1, l=12', 'd_{int}=Z_1, l=19',
    'd_{int}=T_1, l=26');
x_label=xlabel('Payload (Bytes)');
y_label=ylabel('Normalized Lifetime');
ylim([0.5 1]);
set(gca, 'YTick',[0.5 0.7 0.9 1],'FontSize',16)
set(h_legend,'FontSize',16);
set(x_label,'FontSize',16);
set(y_label,'FontSize',16);
xlim([0.90 7]);

box on;

```

## Başarılı Tokalaşma Olasılık Grafiği

```
clc;
clear all;
close all;

d=linspace(30,130,500);

n=4;

% Güç seviyesi = 26 (maksimum) için
for i=1:length(d)
    for ii=1:2000;
        res_26_256_raw(i,ii)=HS_FreeSpace(d(i),26,256,n);
        res_26_136_raw(i,ii)=HS_FreeSpace(d(i),26,136,n);
        res_26_46_raw(i,ii)=HS_FreeSpace(d(i),26,46,n);
    end
    res_26_256(i)=mean(res_26_256_raw(i,:));
    res_26_136(i)=mean(res_26_136_raw(i,:));
    res_26_46(i)=mean(res_26_46_raw(i,:));
end

% Güç seviyesi = 19 (maksimum) için
for i=1:length(d)
    for ii=1:2000;
        res_19_256_raw(i,ii)=HS_FreeSpace(d(i),19,256,n);
        res_19_136_raw(i,ii)=HS_FreeSpace(d(i),19,136,n);
        res_19_46_raw(i,ii)=HS_FreeSpace(d(i),19,46,n);
    end
    res_19_256(i)=mean(res_19_256_raw(i,:));
    res_19_136(i)=mean(res_19_136_raw(i,:));
    res_19_46(i)=mean(res_19_46_raw(i,:));
end

% Güç seviyesi = 26 (maksimum) için
for i=1:length(d)
```

```

for ii=1:2000;
    res_12_256_raw(i,ii)=HS_FreeSpace(d(i),12,256,n);
    res_12_136_raw(i,ii)=HS_FreeSpace(d(i),12,136,n);
    res_12_46_raw(i,ii)=HS_FreeSpace(d(i),12,46,n);
end
res_12_256(i)=mean(res_12_256_raw(i,:));
res_12_136(i)=mean(res_12_136_raw(i,:));
res_12_46(i)=mean(res_12_46_raw(i,:));
end

```

```

% Hesaplamalar tamamlandı. Çizim zamanı

```

```

hold all;
plot(d,res_12_256, '-bo');
plot(d,res_19_256, '--bs');
plot(d,res_26_256, '-.bd');

```

```

plot(d,res_12_136, '-go');
plot(d,res_19_136, '--gs');
plot(d,res_26_136, '-.gd');

```

```

plot(d,res_12_46, '-ro');
plot(d,res_19_46, '--rs');
plot(d,res_26_46, '-.rd');

```

```

a = get(gca,'XTickLabel');
set(gca,'XTickLabel',a,'FontSize',16);
str1 = {'0'; '0.1'; '0.2'; '0.3'; '0.4';
        '0.5'; '0.6'; '0.7'; '0.8'; '0.9'; '1.0'};
set(gca, 'YTickLabel',str1, 'YTick',
        [0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1] , 'FontSize',16)

```

```

h_legend=legend('l=12, M_P=256 B', 'l=19, M_P=256 B', 'l=26, M_P=256 B', 'l=12, M_P=46 B');
set(h_legend,'FontSize',16);
x_label=xlabel('Internode Distance (m)');
set(x_label,'FontSize',16);
y_label=ylabel('Successful Handshake Probability');
set(y_label,'FontSize',16);

```

## EK 2

GAMS Kodlama örneği (arz-talep-nakliye probleminin LP ile çözümü) [157]

```
SETS
  I   kutulama fabrikasi   / ISTANBUL, IZMIR /
  J   marketler           / ANKARA, BURSA, ESKISEHIR / ;
PARAMETERS
  A(I)  i fabrikasinin kapasitesi
        /   ISTANBUL   350
          IZMIR   600 /
  B(J)  j marketin talebi
        /   ANKARA   325
          BURSA    300
          ESKISEHIR 275 / ;
TABLE D(I,J)  km olarak mesafe (x)1000
           ANKARA      BURSA      ESKISEHIR
  ISTANBUL  2.5        1.7        1.8
  IZMIR     2.5        1.8        1.4 ;
SCALAR F  her 1000 mil icin kargo ucreti dolar olarak /90/ ;
PARAMETER C(I,J)  nakliye maliyeti 1000 dolar olarak ;
           C(I,J) = F * D(I,J) / 1000 ;
VARIABLES
  X(I,J)  gonderim miktarlari
  Z       toplam tasima maliyeti;
POSITIVE VARIABLE X ;
EQUATIONS
  cost          hedef fonksiyon
  supply(i)     i fabrikasindaki kaynak limiti
  demand(j)     j marketin talebi;
cost ..        Z =E= SUM((I,J), C(I,J)*X(I,J)) ;
supply(I) ..   SUM(J, X(I,J)) =L= A(I) ;
demand(J) ..  SUM(I, X(I,J)) =G= B(J) ;
model transport /all/ ;
solve transport using lp minimizing Z ;
```

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Ayhan AKBAŞ  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 1968 - Ankara  
**E-posta** : aakbas@etu.edu.tr

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 1991, Orta Doğu Teknik Üniversitesi,  
Mühendislik Fakóltesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği, BSc.
- **Yüksek Lisans** : 1995, Orta Doğu Teknik Üniversitesi,  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği, MSc.
- **Doktora** : 2016, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Bilgisayar Mühendisliği, Ph.D.



## **MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:**

<b>Yıl</b>	<b>Yer</b>	<b>Görev</b>
2009-	Modula Teknoloji Ltd.	Founder & CEO
2007–2009	NEC Australia	System Support Manager
2005–2007	Forte Teknoloji	Destek Hizmetleri Müdürü
2001–2005	Sun Microsystems	Stratejik Destek Hizmetleri
1998–2001	MIKES (a.k.a Aselsan)	Kıdemli ArGe Mühendisi
1997–1998	SIEMENS	Sistem Integrasyon Uzmanı
1995–1997	Sahil Güvenlik K.lığı - Bilgi İşlem	Yedek Subay
1991–1995	TÜBİTAK AEAGE (a.k.a. UZAY)	ArGe Uzman Yardımcısı

## **SERTİFİKALAR:**

<b>Sertifika</b>	<b>Yer</b>
Solaris System Administration I	Sun, İngiltere
Solaris System Administration II	Sun, İngiltere
Solaris TCP/IP Network Administration	Sun, İskoçya
VERITAS Volume Manager 3.x	Sun, İngiltere
Ultra Enterprise 10000 Server Maintenance	Sun, İngiltere
Sun Fire 3800/48x0/6800 Server Maintenance	Sun, İngiltere
Sun T3 SAN Storage Maintenance	Sun, Fransa
Sun Fire 15000 Server Maintenance	Sun, İngiltere
Reliability-Availability-Serviceability Man. Administration Database 7.3	Sun, G.Afrika
Developer/2000 Foundation and Forms 4.5	Oracle, Türkiye
Developer/2000 Oracle Reports 4.5	Oracle, Türkiye
Introduction to SQL and PL/SQL	Oracle, Türkiye
Cisco Certified Network Associate (CCNA)	ODTU SEM, Türkiye
Digital UNIX System Administration	Digital, Türkiye
OpenVMS Network System	Digital, Türkiye
VXI Test Instruments	Racal, İtalya
Code development with NI-Lab Windows/CVI	National Inst., İtalya
Test Case Management	Siemens, Almanya
OMC of Italtel UT100 exchanges	Italtel, İtalya
ECM POD RF Module Test Systems	Israel Air Industries, İsrail
Scientific Instrumentation Workshop	Hsinchu, Tayvan
Project Management Professional	Türkiye

**YABANCI DİL:** İngilizce (Akıcı), Almanca (Temel)

**TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:**

- Akbaş A., Yıldız H.U., Tavli B., Data Packet Length Optimization for Wireless Sensor Network Lifetime Maximization, 10th International Conference on Communications (COMM), Bükreş, Romanya, Mayıs 29-31 2014.
- Akbas A., Yıldız H.U., Tavli B. and Uludag S. Joint Optimization of Transmission Power Level and Packet Length for WSN Lifetime Maximization, IEEE Sensors Journal.
- Akbaş A., Yıldız H.U., Ozbayoglu M., Tavli B., 2016. Neural Network based parameter prediction for Wireless Sensor Network optimization models, Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science [Değerlendirme Aşamasında]

**DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:**

- Akbas A., Interaktif Televizyon Sistemi. Patent numarası: 2007/04368

**İLGİ ALANLARI:**

- Bilgisayar Mimarisi
- Kablosuz Algılayıcı ve Mobil Ağlar
- Veri ve Ağ Güvenliği
- Gömülü Sistem Tasarımı
- Nesnelerin İnterneti (IoT)