

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA ÖLÇEKLENEBİLİR
YÖNLENDİRMENİN YAŞAM SÜRESİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

AYTEN EVMEZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**

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

ARALIK 2014

ANKARA

Fen Bilimleri Enstitü onayı

Prof. Dr. Osman EROĞUL
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

Doç. Dr. Erdoğan DOĞDU
Anabilim Dalı Başkanı

Ayten EVMEZ tarafından hazırlanan KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA ÖLÇEKLENEBİLİR YÖNLENDİRMENİN YAŞAM SÜRESİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Bülent TAVLI
Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Erdoğan DOĞDU

Üye : Doç. Dr. Bülent TAVLI

Üye : Yrd. Doç. Dr. Esra Kadioğlu ÜRTİŞ

TEZ BİLDİRİMİ

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

Ayten EVMEZ

Üniversitesi : TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Enstitüsü : Fen Bilimleri
Anabilim Dalı : Bilgisayar Mühendisliği
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Bülent TAVLI
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Aralık 2014

Ayten EVMEZ

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA YERELLEŞTİRMEYLE
ÖLÇEKLENEBİLİR YÖNLENDİRMENİN YAŞAM SÜRESİ ÜZERİNE
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

ÖZET

Algılayıcı düğüm tasarımı, güvenlik, algılayıcı ağın diğer ağlarla entegrasyonu, enerji tüketimi gibi başlıklar kablosuz algılayıcı ağlardaki (KAA) başlıca çalışma alanları arasındadır. KAA 'larda konumlandırma, bakım yapma, enerji kaynaklarının yenilenmesi en temel zorluklardandır. Dolayısı ile ağın yaşam süresinin en büyüklenmesi kritik öneme sahiptir. Ayrıca tüm ağ tasarımlarında olduğu gibi KAA 'larda da ölçeklenebilirlik önemli amaçlardan birisidir. Ancak ağın en iyi şekilde ve en uzun sürede çalışmasını amaçlayan ölçeklenebilirlik ve enerji tüketiminin optimizasyonu (ağ ömrünün en iyilenmesi) konuları arasında bir ödünleşme mevcuttur. Bu çalışmada ölçeklenebilirlik yerleştirme ile sağlanmaya çalışılmış ve ideal şartlar altında yerleştirme stratejilerinin ağ ömrü üzerine etkileri incelenmiştir. Ağ ömrünü modellemek için incelenen duruma uygun yeni bir karmaşık tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir. Örneklemeye için büyük bir parametre uzayı kullanılmış ve elde edilen sonuçlar istatistiksel analizlerle değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeleri: Kablosuz Algılayıcı Ağlar, Ölçeklenebilirlik, Karmaşık Tamsayı Programlama

University : TOBB Economics and Technology University
Institute : Institute of Natural and Applied Sciences
Science Programme : Computer Engineering
Supervisor : Doç. Dr. Bülent TAVLI
Degree Awarded and Date : M.Sc. – December 2014

Ayten EVMEZ

**INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF ROUTE LOCALIZATION AND
SCALABILITY ON WIRELESS SENSOR NETWORK LIFETIME**

ABSTRACT

Sensor node design, security in wireless sensor network, power consumption, integration of wireless sensor network with other networks, power consumption are main research subjects wireless sensor networks. In WSN, deploying nodes, their maintenance, renewal of energy sources are challenging tasks. Thus, network lifetime maximization is critical issue in wireless sensor network. Furthermore, similar to in all networks scalability of wireless network is a primary goal to achieve. However, there is a tradeoff between optimization of energy consumption (maximization of network lifetime) and scalability that aim to achieve a high performance network. In this study, we try to achieve scalability through localization and we investigate the effect of localization strategy on network lifetime under ideal conditions. We build a novel Mixed Integer Programming (MIP) framework in order to study lifetime of network. For sampling a large space parameter are used and the results are analyzed statistically.

Keywords: Wireless Sensor Network, Linear Programing, Scalability, Mixed Integer Programing

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim süresince danışmanlığımı yapan, eğitimim boyunca bana emeği geçen, çalışmam sırasında desteklerini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu tez çalışmama yardımcı olan değerli hocam Doç. Dr. Bülent Tavlı ’ya sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunmayı bir borç bilirim. Yalnız akademik özellikleriyle değil, yüksek insani özelliklerini örnek aldığım hocamı bu tez vasıtasıyla tanıdığım için mutluyum.

Çalışmalarında desteğini esirgemeyen değerli arkadaşım Orçun Aydın’a teşekkürler ederim.

Beni bugünlere getiren üzerimde büyük emeği olan anneme, babama, tüm aileme, Varlığıyla hayatıma anlam katan ve bu zorlu dönemimde gösterdiği anlayışla bana güç veren eşim Serkan Evmez’e sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hayatım boyumca her zaman yanımda olan karşıma çıkan her zorlukla baş ederken en büyük destekçim olan canım teyzem Doç. Dr. Meryem Kaya’ya ve en bitap düştüğüm anlarda tatlı kahkahaları ile beni yeniden yaşam enerjisi ile dolduran minik kızım Nil Evmez’e sonsuz teşekkürler ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	ix
SEMBOLLER.....	xi
KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR.....	2
2.1 Kaa Ağların Kullanım alanları	4
2.1. Sağlık Alanı Uygulamaları:	5
2.2. Ev Uygulamaları:	6
2.3. Askeri Alan Uygulamaları:	6
2.4. Çevresel Uygulama	6
2.5. Diğer Ticari Uygulamalar:	7
2.6. Algılayıcı Düğüm.....	8
2.7. Enerji Verimliliği	10
2.8. Ad-Hoc Ağlar ve KAA'ların Geleneksel Ad-hoc Ağlardan Farkları	11
2.9. Ağ Güvenliği	12
2.10. Ölçeklenebilirlik	13
3. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA	14
3.1. Simpleks Yöntem.....	15
3.2. Standart Biçimli Doğrusal Programlama	17

3.3. Grafik Yöntem	17
4. KARMAŞIK TAMSAYILI PROGRAMLAMA.....	19
5. PROBLEM	21
5.1 Sistem Modeli	21
5.1.1 Modelde Kullanılan Veriler:.....	21
5.1.2 Karmaşık Tamsayı Programlama Modeli.....	24
5.1.2.1 Enerji Kısıtları:	26
5.1.3. Yerelleştirilmiş Yönlendirme Modelleri	30
5.1.3.1. Grup Bazında Yönlendirme Modeli.....	30
5.1.3.2. Kaynak Düğüm Bazında Yönlendirme Modeli	30
5.1.3.3. Nakil Düğüm Bazında Yönlendirme Modeli	31
6. ANALİZ	32
7. SONUÇLAR	47
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	52

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 5.1 Mica2 platformu için her bir güç seviyesinde, veri iletim gücü tüketimi, maksimum iletim aralıkları.....	24
Çizelge 6.1 Açık ve Yöntem Etkileşimi İçin İki Yönlü Varyans Analizi.....	41
Çizelge 6.2. Yöntemler Arası Fark İçin Tek Yönlü Varyans Analizi	42
Çizelge 6.3 Açıklar Arası Fark İçin Tek Yönlü Varyans Analizi.....	43
Çizelge 6.4 Açıklar için İkili Karşılaştırmalar.....	44

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1 Kablosuz Algılayıcı Ağ Topolojisi.....	3
Şekil 2.2 Algılayıcı Düğüm.....	8
Şekil 2.3 Algılayıcı Düğüm Elemanları	9
Şekil 3.1 Basit Kısıtsız Optimizasyon	14
Şekil 3.2 Simpleks Metot Akış Şeması.....	16
Şekil 3.3 Grafik Yöntem İle Çözüm Uzayı Gösterimi.....	18
Şekil 6.1 Yerelleştirilmiş yönlendirmenin GBY modeli ile $N=36$, $\Theta=30$ iken ağ ömrüne etkisinin gösterimi.....	32
Şekil 6.2 Yerelleştirilmiş yönlendirmenin GBY modeli ile $N=36$, $\Theta=60$ iken ağ ömrüne etkisinin gösterimi.....	32
Şekil 6.3 Yerelleştirilmiş yönlendirmenin KBY modeli ile $N=36$, $\Theta=30$ iken ağ ömrüne etkisinin gösterimi	33
Şekil 6.4 Yerelleştirilmiş yönlendirmenin KBY modeli ile $N=36$, $\Theta=180$ iken ağ ömrüne etkisinin gösterimi.....	33
Şekil 6.5 Yerelleştirilmiş yönlendirmenin NBY modeli ile $N=36$, $\Theta=30$ iken ağ ömrüne etkisinin gösterimi.....	34
Şekil 6.6 Yerelleştirilmiş yönlendirmenin NBY modeli ile $N=36$, $\Theta=90$ iken ağ ömrüne etkisinin gösterimi.....	34
Şekil 6.7 GBY modeli için normalleştirilmiş ağ ömürleri.....	35
Şekil 6.8 KBY modeli için normalleştirilmiş ağ ömürleri.....	36
Şekil 6.9 NBY modeli için normalleştirilmiş ağ ömürleri.....	36
Şekil 6.10: $N=36$ için normalleştirilmiş ağ ömürlerinin θ^x 'in fonksiyonu olarak gösterimi.....	37
Şekil 6.11: $N=48$ için normalleştirilmiş ağ ömürlerinin θ^x 'in fonksiyonu olarak gösterimi.....	38

Şekil 6.12: N=60 için normalleştirilmiş ağ ömürlerinin θ^x 'in fonksiyonu olarak gösterimi.....38

Şekil 6.13: N=72 için normalleştirilmiş ağ ömürlerinin θ^x 'in fonksiyonu olarak gösterimi.....39

SEMBOLLER

A	Ağdaki linklerin kümesi
$AR_{mak}(S)$	L güç seviyesindeki maksimum veri iletim aralığı
D_q^{GBY}	GBY modelinin alt domaini(domain-q)
D_{net}^{GBY}	GBY modelindeki tüm domainleri birleşimi
D_k^{KBY}	KBY modelindeki kaynak düğüm-k'nın yönlendirme domaini
D_i^{NBY}	NBY modelindeki nakil düğüm-i'nin yönlendirme domaini
e_i	Her bir düğümde yüklü pil enerjisi
E_{VI}	Veri paketi işlemek için harcanan enerjisi (120 μJ)
E_{VT}	Her bir turda veri toplama için harcanan enerji (600 μJ)
$E_{VPa,ji}^D$	Yeniden iletimin de dahil olduğu tokalaşmayı tamamlamak için alıcının tükettiği enerji
$E_{VPt,ij}^P(M)$	Düğüm-i'den düğüm-j'ye M-byte paket veri iletmek için gerekli enerji
$E_{VPt,ij}^t(M_{VP}, M_{AB})$	Başarılı bir tokalaşma için iletici düğümdeki(düğüm-i) enerji harcama miktarı
$E_{VPt,ij}^D$	Yeniden iletimin de dahil olduğu tokalaşmayı tamamlamak için ileticinin tükettiği enerji
$E_{VPa,ji}^{t,b}(M_{VP}, M_{AB})$	Başarılı bir tokalaşma için alıcı düğümdeki(düğüm-j) enerji harcama miktarı
$E_{VPa,ji}^{t,h}(M_{VP})$	Veri paketi hatasının neden olduğu hatalı tokalaşma için alıcının (düğüm-j) enerji harcama miktarı
f_{ij}^k	Düğüm-k tarafından üretilen ve düğüm-i'den düğüm-j'ye transfer edilen toplam paket sayısı
g_{ij}	Düğüm-i'den düğüm-j'ye transfer edilen toplam paket sayısı
G_{VT}	Veri toplamak için harcanan güç (30 mW)
$G_{VPt}(S)$	(S) Güç seviyesindeki transfer için güç tüketimi
G_{VPa}	Veri almak için harcanan güç
G_{um}	Uyku modundaki güç tüketimi (0.7 mW)
g_{jk}^{opt}	Düğüm-j ve düğüm-k arasındaki en uygun güç seviyesi (m)
I_{jl}^i	Müdahil akım fonksiyonu
K_{svy}	Güç seviyeleri kümesi
M_{VP}	Veri paket boyutu(255 Bytes)
M_Y	Senkronizasyon bilgisini içeren Veri paketinin yükü (25 byte)
M_{TK}	Veri paketi taşıma kapasitesi(230 Bytes)

M_{AB}	Alındı bildirim paket büyüklüğü(20 Bytes)
m	Maksimum veri iletim menzili (82.92 M)
N	Düğüm sayısı
N_{tur}	Ağ ömrü süresince gerçekleşen tur sayısı
O_{BHO}	Bit hata oranı (10^{-4}) [34]
$O_{VP,b}$	Veri paketi başarı oranı
$O_{VP,h}$	Veri paketi hata oranı
$O_{AB,b}$	Alındı bildirim paketlerinin başarı oranı
$O_{AB,h}$	Alındı bildirim paketlerinin hata oranı
$O_{t,b}$	Tokalaşma paketi başarı oranı
$O_{t,h}$	Tokalaşma paketi başarı oranı
p_{il}	İki adet AA pilinin başlangıç enerjisi ($25\mu J$)
ps_i	Her bir turda düğüm-i’de üretilen paket sayısı
u_{ij}	Düğüm-i ve düğüm-j arasındaki uzaklık (m)
$u_{thm,h}$	Uzaklık tahmin hatası (2 m)
u_{ij}^{thm}	Düğüm-i ve düğüm-j arasındaki tahmini uzaklık (m)
u_{ij}^{tlf}	Düğüm-i ve düğüm-j arasındaki telafi mesafesi (m)
V	Baz istasyonunu içeren düğümler kümesi
W	Baz istasyonunu hariç düğümler kümesi
Z_{VT}	Veri toplamak için her bir turda geçen zaman (20ms)
Z_{tur}	Tur süre (10 s)
Z_{snk}	Senkronlama zamanı (100 μ s)
$Z_{msg,i}$	Düğüm-i nin meşguliyet zamanı
Z_{ynt}	Yanıt verme süresi (500 μ s)
BG	Bant genişliği (38.4 Kbps)
$Z_{VPt}(M)$	M-Byte veri paketinin transfer etmek için geçen süre İletici ve alıcı düğüm arasındaki veri iletimi için gereken zaman
Z_{ara}	aralığı (58 ms)
γ	Müdahil akım Aralığı (1.7)
θ^{GBY}	GBY modelinin merkez açısı
θ^{KBY}	KBY modelindeki kaynak düğüm-k’nın yönlendirme domainin merkezi açısı
θ^{NBY}	NBY modelindeki nakil düğüm-i’nin yönlendirme domainin merkezi açısı
θ^x	Tüm modellerdeki merkez açı

KISALTMALAR

Kısaltmalar

KTP

KAA

DP

Açıklama

Karışık Tamsayılı Programlama

Kablosuz Algılayıcı Ağlar

Doğrusal Programlama

1. GİRİŞ

Kablosuz algılayıcı ağ (KAA) dâhilinde ki düğümler arasındaki veri akışının ağın yaşam ömrünün olabilecek en uzun sürede gerçekleşmesini sağlayacak biçimde yapılandırılmasına akım dengelenmesi denir. Algılayıcı ağların öne çıkan özelliklerinden birisi düğümlerin kendi kendini organize edebilmesi ve işbirliği içinde çalışabilmesidir. Bu işbirliği sayesinde verinin düğümler arasında iletiminin en optimal biçimde yapılması ile algılayıcı ağın yaşam ömrü iyileşmektedir. Mikro elektromekanik sistemlerde yaşanan ilerlemelerin mikro algılayıcıların gelişimi üzerine önemli etkileri olsa da kablosuz algılayıcı ağlarda yaşam ömrü en kritik kısıt olma durumunu korumaktadır. KAA' ların kullanım alanları çok çeşitlidir en başta askeri alan uygulamaları olmak üzere kişi bilgisihhtiva eden ticari uygulamalar, orman yangını tespit sistemleri gibi verilerin ele geçmesinin ya da bozulmasının hayati önem arz edeceği uygulamalar ağ güvenliğinin önemini gündeme getirmektedir. Güvenlik kavramı da algılayıcı ağ uygulamalarına dâhil olunca hem en uygun rotada hem de en güvenli şekilde verileri yollanması gerçekleşsin ve düğümlerin pilleri de uzun süre dayansın talebini karşılayacak şekilde çözüm arayışlarına gidilmiştir. Ayrıca tüm ağ tasarımlarında olduğu gibi KAA 'larda da ölçeklenebilirlik önemli amaçlardan birisidir. Ancak ağın en iyi şekilde ve en uzun sürede çalışmasını amaçlayan ölçeklenebilirlik ve enerji tüketiminin optimizasyonu (ağ ömrünün en iyilenmesi) konuları arasında bir ödünleşme mevcuttur. Bu çalışmada ölçeklenebilirlik yerleştirme ile sağlanmaya çalışılmış ve ideal şartlar altında yerleştirme stratejilerinin ağ ömrü üzerine etkileri incelenmiştir. Ağ ömrünü modellemek için incelenen duruma uygun yeni bir karmaşık tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir. Örnekleme için büyük bir parametre uzayı kullanılmış ve elde edilen sonuçlar istatistiksel analizlerle değerlendirilmiştir.

2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR

Son yıllarda kablosuz ağ teknolojilerinin hızla gelişmesi, kablosuz teknolojinin ağ kurulumuna ve yönetimine getirdiği kolaylıklar, ayrıca algılayıcı (algılayıcı) mimarisindeki gelişmeler sayesinde çok işlevli ağ üzerinde kullanılabilir küçük, ucuz algılayıcı cihazların üretilebilmesi kablosuz algılayıcı ağları popüler bir çalışma alanı haline gelmiştir. [1]

Bu küçük algılayıcılar ortamdaki verileri topladıkları verileri iletebilme, gerektiğinde bu verileri işleyebilme kabiliyetine sahiptirler. Algılayıcıların kablosuz ortam vasıtası ile birbirine bağlanarak bir araya gelmesi ile kablosuz algılayıcı ağ oluşur. Bu ağlar birkaç düğüm ile oluşabileceği gibi binlerce düğümün bir araya geldiği ağ topolojileri de mümkün olabilmektedir. Bu topolojilerin organizasyonunu düğümler, algılayıcı ağ protokollerinin, algoritmalarının kendiliğinden organize olabilecek şekilde tasarlanması sayesinde, kendileri yapabilmektedirler.

Kendi kendine organize olabilmeye yeteneklerinin yanı sıra, düşük maliyetleri, küçük boyutlara sahip olmaları ve kurulum kolaylıkları sayesinde bu algılayıcı düğümlerden oluşan ağlar çok farklı coğrafyalarda kullanılabilirler. Kablolu ağların çalışabilmesinin mümkün olmadığı veya performanslı olmayacağı alanlarda örneğin atmosfer dışında, savaş alanlarında, su altı çalışmalarında, yaşam tehlikesinin olduğu alanlarda yer alabilirler. Çok miktarda ve sık aralıklarla konumlandırılabilmesinin ve işbirliği içerisinde çalışmalarını sayesinde veri iletiminin devamlılığını yüksek oranda sağlarlar.

Kablosuz algılayıcı ağlar 1978'lerde Amerikan savunma bakanlığının çalışmalarında varlığını göstermiş ve öncelikle askeri çalışmalarda uygulanmıştır. [2] Zamanla kablosuz ağ teknolojilerinin de gelişmesi ile kablosuz algılayıcı ağlarında kullanım alanları çevre, sağlık, ev uygulamaları kadar genişlemiştir. Algılayıcı ağlar konumlandıkları coğrafyalarda sıcaklık, nem, ışık, basınç, konum değişikliği gibi ortam değişikliklerini algılayıp bunlar hakkında bilgi toplayabilecek sismik,

2.1 Kaa Ağların Kullanım alanları

Kolay kurulum ve kendi kendini organize edebilme, kablosuz bağlanma, yaşam tehlikesi ihtiva edebilen çok çeşitli coğrafyada kullanılabilme, dört mevsim çalışabilme, gelişen teknolojik koşullar ile ucuzlayan maliyet gibi özellikleri sayesinde KAA 'lar oldukça geniş bir uygulama alanında kullanılabilirler. Örneğin hasta takip sistemlerinde hastanın fiziki durumu doktoru tarafından uzaktan takip edilebilir. Hayvanların hareketlerini izlemek, orman yangınlarını ve sel felaketlerini tespit etmek mümkün olabilir. Hava ve sudaki yabancı kimyasal maddeleri tespit etmek için kullanılabilir. Böylece kirliliğe sebep olan maddenin tipini yoğunluğunu ve konumunu belirleme konusunda başarılı olunabilir. Düşman askerinin hareketlerini izlemek için savaş alanında uygulanabilir. Yani algılayıcı ağ son kullanıcıya ağın bulunduğu bölgeye dair ne bilgi toplanmak isteniyorsa bu konuda ulaşılması zor alanlardan dahi yararlı olacak istihbaratı sağlar. Kablosuz algılayıcı ağlar günümüz teknolojik gelişmelerinin hızı sayesinde ve sağladığı pek çok kolaylık ve yarar nedeniyle gelecekte hayatın vazgeçilmez bir parçası olacaktır.[3-5]

Algılayıcı ağlardaki düğümler termik, sismik, manyetik, görsel, akustik, radar, kızılötesi, gibi çok farklı algılayıcı içerebilir ve farklı çeşitlilikteki durumları izleyebilirler. Bu durumlar aşağıdaki gibi listelenebilir:

- Işık ölçümü
- Sıcaklık ölçümü,
- Nem ölçümü,
- Basınç ölçümü,
- Sismik değer ölçümü,
- Görüntü algılama,
- Gürültü algılama,
- Canlı, cansız varlık tespiti,
- Nesneye ait ağırlık, hız, yön tespiti

KAA uygulama alanları bu bölümde sağlık, ev, askeri, çevre, diğer ticari alanlar olarak gruplandırılıp detaylandırılacaktır. Ancak algılayıcı ağların kullanım alanları uzay keşifleri, kimyasal işlemler, afet önleme ve daha başka kategorilere de genişletilebilir.

2.1. Sağlık Alanı Uygulamaları:

Zamanlamanın, etkin ve yüksek kalitede hizmet sağlanmasının insan hayatı açısından kritik öneme sahip olduğu bu alanda da algılayıcı ağlar tarafından sağlanan veri oldukça yararlı olacaktır. Hastaların hayati bulgularını anlık olarak doktora iletmekte, Yatalak hastaların gözlemlenmesinde, teşhiste, hastanelerde ilaç uygulamasında, KAA kullanılabilir.

KAA sayesinde her yerden tıbbi bakım almak kolaylaşır. Hasta sürekli olarak doktor monitöründen izlenebilir ve acil durumlarda uzaktan kumanda edilebilir. Algılayıcı ağ tarafından elde edilen fizyolojik veri uzun süre saklanabilir ve teşhiste kullanılabilir. Hastaya yerleştirilen algılayıcı düşme gibi yaşlı hareketlerini gözlemleyebilir. Hastaların ve doktorların hastane içindeki durum ve yer takibinde kullanılabilir.

Hasta ve hekim takibi ve gözlenmesi: Her bir hastanın küçük ve çok hafif bir algılayıcı düğümü vardır. Her bir algılayıcı düğümünün kendine ait özel bir görevi vardır. Örneğin bir algılayıcı durum kalp ritmini algılayırken diğeri kan basıncını tespit edebilir. Doktorlar da ayrıca algılayıcı düğümleri taşıyabilir böylece ulaşması gereken insanlar hastane içinde onlara ulaşabilir.

Hastanede ilaç uygulaması: Eğer algılayıcı düğümleri ilaca bağlanabilirse yanlış ilaç verme riski azaltılmış olur. Çünkü hastaların alerjilerini ve gerekli olan ilaçları tanımlayan algılayıcı düğümleri olabilir.[3]

2.2. Ev Uygulamaları:

KAA sayesinde daha rahat ve akıllı yaşam alanlarının oluşturulması mümkündür. Teknolojideki ilerlemeler hızla artan bir ivme ile devam ettikçe, akıllı algılayıcı düğümler elektrik süpürgesi, mikrodalga fırın ve buzdolabı gibi eşyalara gömülebilir hale gelmektedir. [6] Bunlar birbirleriyle ya da dış ortamla uydu ya da internet aracılığıyla iletişime geçebilir. Bu da kullanıcının ev aletlerini ev ortamında ya da uzaktan kolaylıkla kumanda etmesine olanak sağlar. Örnek olarak, akıllı bir buzdolabı doktordan alınan diyet programına göre buzdolabının içindeki maddelerin dökümünü tutup, alışveriş listesini tutan kişisel dijital asistana alınacaklar listesini gönderebilir. [3]

2.3. Askeri Alan Uygulamaları:

Kablosuz algılayıcı ağların ilk uygulama alanlarından biri askeri alandır. Algılayıcı ağların askeri uygulamaları çok çeşitlilik göstermektedir. İstihbarat, nezaret, keşif, hedef tespiti gibi pek çok askeri uygulama örneği mevcuttur.

Nükleer, biyolojik ya da kimyasal saldırı tespiti ve keşfi; Kimyasal ve biyolojik savaşta zemine yakın olmak kimyasal ve biyolojik ajanların zamanında ve doğru teşhisi için önemlidir. Algılayıcı ağları dost bölgede konumlandırılabilir ve biyolojik ya da kimyasal ajanlar için uyarı sistemi olarak kullanıldıklarında kayıpları ciddi oranlarda azaltırlar. [3]

2.4. Çevresel Uygulama

Algılayıcı ağlarının bazı çevresel uygulamaları: kuş hareketlerinin, küçük hayvanların takibi, ekinleri ve çiftlik hayvanlarını etkileyecek çevresel ortamın takibi, sulama, toprak gözlenmesi, kimyasal ve biyolojik algılama konusunda uygulamalar mevcuttur. Ayrıca dünyada denizlerde toprak ve atmosfer durumlarının çevresel olarak gözlenmesi, orman yangınlarının tespiti, meteorolojik ya da coğrafi araştırmalar, sel tespiti, hava kirliliği çalışmalarını içerir.

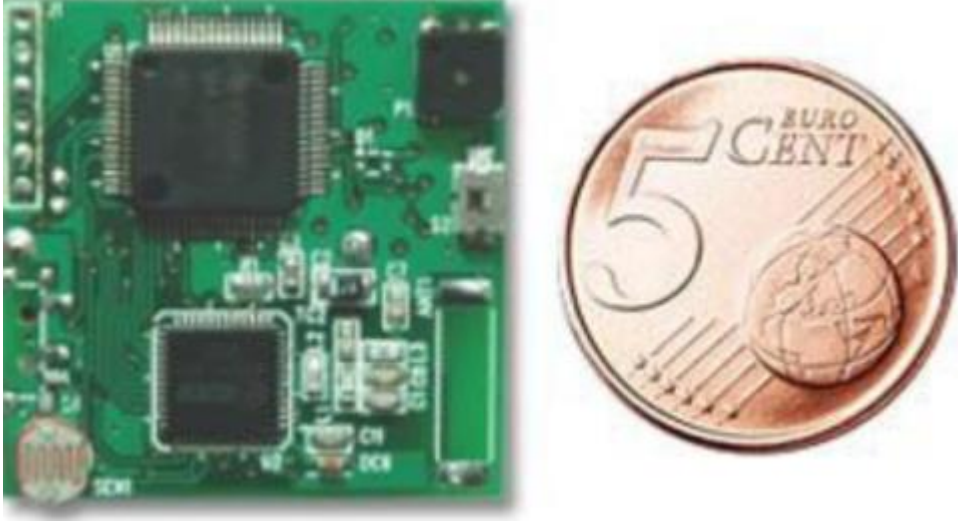
Orman yangınlarının tespiti: algılayıcı düğümler ormanda stratejik, rastgele ve yoğun bir şekilde dağılabildiğinde yangın kontrol edilemez bir şekilde yayılmadan yangının tam yerini son kullanıcıya bildirebilir. [3]

2.5. Diğer Ticari Uygulamalar:

Materyallerdeki yorgunluğun eskimenin tespiti, ürün kalitesinin tespiti akıllı ofis alanlarının oluşturulması, Ofislerde çevredeki ortamın kontrolü, otomatik üretimde robotla kontrol ve yönlendirme. İletişimde olan oyuncaklar, etkileşimde olan müzeler, afet alanlarının gözetimi, içlerine algılayıcı düğümlerle gömülmüş akıllı binalar, makinaların teşhisi, fabrika ürünlerinin nakli. Araba hırsızlıklarının teşhisi ve takibi, araç takibi ve kontrolü, hatta müşteri davranışlarının takibinin dahi KAA ile izlenmesi ve elde edilen verilerden insanlığa yararlı uygulamalar geliştirilmesi mümkündür.[3]

2.6. Algılayıcı Dügüm

Kablosuz algılayıcı ağların temel yapı taşı olan algılayıcı düğümler algılama, hesaplama kendi aralarında haberleşme yeteneklerine sahip küçük boyuttaki cihazlardır. Şekil 2.2.1’de bir algılayıcı düğüm örneği görülmektedir.

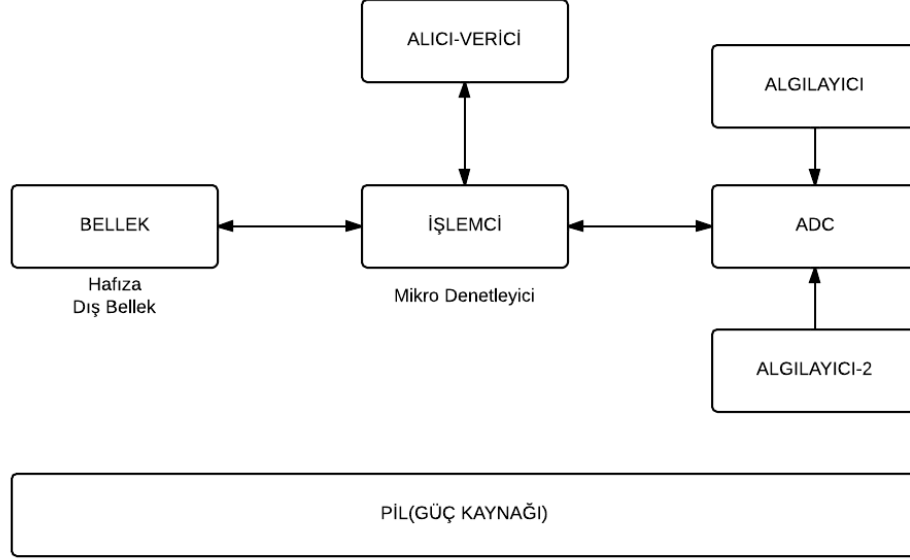


Şekil 2.2 Algılayıcı Dügüm

http://openi.nlm.nih.gov/detailedresult.php?img=3230956_algılayıcıs-10-08938f5&req=4

Algılayıcı düğümlerin kullanabileceği enerji miktarı, hesaplama ve iletişim kabiliyetleri teknolojiye bağlı olarak ve mali nedenlerle kısıtlı olabilmektedir.[7]

Bir algılayıcı çoğunlukla çok sayıda düğümden oluşması gerekebilmektedir, dolayısı ile düğüm birim maliyeti oldukça az-düşük olmalıdır. Şekil 2-2-2’de bir algılayıcı düğüme ait temel elemanların şeması görülmektedir.



Şekil 2.3 Algılayıcı Düğüm Elemanları

Düğüm bileşenleri

Bir algılayıcı düğümün ana bileşenleri işlemci, alıcı-verici, bellek, pil ve kullanım amacına uygun sayı ve tipte algılayıcıdan oluşur.

İşlemci: Bir işlemci algılayıcıların tarafından toplanan veriyi işler ve diğer bileşenlerin işlemlerini denetler yönetir.

Alıcı-verici: Kablosuz ortamda veri iletiminde lazer, kızılötesi veya radyo frekans tercihlerinden birisi kullanılabilir. Lazer iletişimi daha az enerji harcaması açısından avantajlıdır. Ancak iletişim esnasında fiziksel koşullar nedeniyle kesintilere uğraması daha olasıdır ve hava koşullarından etkilenebilmektedir. Kızıl ötesi iletişimde anten gerekmez ancak kapsama alanı kısıtlıdır. Radyo frekansı ile iletişim kablosuz algılayıcı ağların bulunduğu çok çeşitlilikteki uygulama alanı için daha uyumlu, daha az kesintili bir iletişim şeklidir. Kablosuz algılayıcı ağlarda 433 Mhz ve 2.4 GHz arası iletişim frekansı kullanılabilir. Bu birimde yapılan işlemler veri alma, gönderme ve bunların yapılmadığı durumlarda uyku moduna geçme şeklinde özetlenebilir.

Bellek: Düğüm içerisinde kullanılan bellek algılayıcı ağın görev yapacağı uygulama tipine göre bellek gereksinimi değişebilir. Uygulama ile ilgili bilgileri saklamak için kullanılan kullanıcı belleği ya da cihazın programlanması için program belleği kullanılabilir.

Güç kaynağı: Algılayıcı düğümde enerji sarfiyatına algılama, hesaplama ve iletişim görevleri sebep olmaktadır. Bunların arasında veri iletişimi daha çok enerji harcarken algılama ve hesaplama işlemleri daha az enerji kullanır. Pil bir algılayıcı düğümdeki enerjinin sağlandığı kaynaktır. Kullanılan pil çeşitlilik gösterebilir. Uygulamanın yapıldığı ortam müsaitse güneş enerjisi, ısı enerjisi gibi kaynaklar güç kaynağı için yenilenebilir enerji sağlamak üzere kullanılabilir.

Algılayıcılar: bir algılayıcı sıcaklık, nem, hız gibi değişken verileri ortamdan elde etme yeteneğine sahiptir. Topladığı bu veriyi işlenmesi için algılayıcı düğümün işlemci birimine gönderir. Düğümler az miktarda güç tüketen (0-5 Ah ve 1.2 V gibi) mikro elektronik algılayıcıları içerebilir. [8]

2.7. Enerji Verimliliği

Kablosuz algılayıcı ağlara özgü yazılan protokollerden, ağ içerisinde alınacak güvenlik önlemlerine, düğümlerin mimarisine kadar pek çok alanda tasarımı etkileyen en önemli kısıt güç kaynağı yeterliliğidir. Algılayıcı ağların ulaşımı zor hatta yaşam tehlikesinin olabildiği çok çeşitli alanlarda bulunabilmesi nedeniyle bunların güç kaynaklarını yenilemek ya çok güç ya da imkânsız olabilmektedir. Güneş enerjisi vb. kaynaklardan enerjisini yenileyebilen güç kaynaklarının kullanımı göz önüne alınsa da genel olarak bir algılayıcı düğümün ömrü ihtiva ettiği pilin dayanma süresi kadardır.

KAA kullanım alanları ile ilgili bölümde de bahsedildiği üzere KAA uygulamaları askeri, sağlık, çevre gibi ciddi önem arz eden alanlarda kullanılmaktadır. Bu ve daha pek çok uygulama alanından sağlanan verilerin kıymeti aşikârdır. Verilerin KAA

tarafından etkili bir biçimde toplana bilmesi ulaşılmaması zor alanlarda ağın mümkün olan en uzun süre dayanabilmesi için enerji sarfiyatının optimizasyonu elzemdir. KAA' larda yaşam ömrünün en iyilenmesi kritik bir konu olduğundan bu alanda bu tez çalışmasında da olduğu gibi pek çok alternatif çözüm üretilmektedir.

2.8. Ad-Hoc Ağlar ve KAA'ların Geleneksel Ad-hoc Ağlardan Farkları

Algılayıcı ağların ve uygulamalarının anlaşılması için kablosuz ad hoc ağlar konusunda bilgi sahibi olmak gerekir. Ad hoc Latince bir kelimedir ve geçici anlamına gelmektedir. Kısaca kablosuz ad-hoc ağlar sabit bir kablo alt yapısı bulunmaksızın, ihtiyaçları karşılayabilecek düzeydeki minimum donanım ve yazılım kaynağına sahip cihazların kısa süre içerisinde oluşturabildikleri ağlardır. Genel anlamda mobil bir ad hoc ağ merkezi bir yönetici cihaz olmadan bir altyapı kurulmaksızın mobil düğümlerin (cihazların) bellibir süre için bir araya gelerek kablosuz ortam vasıtası ile birbirlerine veri yollayabilmesidir. Dolayısı ile böyle bir ağdaki düğümler hem host hem de yönlendirici (router) olarak çalışıp kendi aralarında veri paketlerinin yönetimini yapabilmektedirler. [9]

KAA 'lar güç kaynakları tükendiğinde ağ ömürleri biten bir çeşit kablosuz ad hoc (geçici) ağıdır.

Ad hoc ağ çeşitlerinden bazıları:

- Mobil ad hoc ağlar (Mobile ad hoc Networks - MANETs)
- Kablosuz Algılayıcı Ağları (Wireless Algılayıcı Networks)
- Kablosuz Örgü Ağları (Wireless Mesh Networks)
- Taşıtlı Kablosuz Ağ (Vehicular Ad hoc Networks (VANETs))

Geçici ağların tercih sebepleri arasında kurulum kolaylığı ve hızlı kurulum sağlaması ayrıca altyapıya olan bağılılığın oldukça az olması yer almaktadır. Geleneksel kablosuz ad hoc ağlara özgü birçok protokol ve algoritma tasarlanmış bulunmaktadır ancak bu protokol ve algoritmalar kablosuz algılayıcı ağlarının kendine has özelliklerine ve uygulama ihtiyaçlarıyla tam olarak uyumlu olmamıştır. [3]

Bu noktayı açıklamak için, algılayıcı ağlar ve geleneksel ad hoc ağlar aşağıda karşılaştırılmıştır:

Ortak özellikler

- Multi-hop (hop-by-hop) prensibi ile yönlendirme yapmaları.
- Kablosuz iletişim teknolojisi kullanmaları.

Farklılıkları

- Ad-hoc ağlarda devamlı olarak hareketlilik vardır bunun sonucunda topoloji değişmektedir.
- Algılayıcı ağlarda hareketlilik pek görülmemektedir, ancak ömrünü tamamlayan algılayıcılar nedeniyle topoloji değişmektedir.
- Ad-hoc ağların cihaz donanımları, algılayıcı ağlardakilere göre daha üstündür.
- Algılayıcı ağlarının güçleri, hesaplama kapasiteleri ve hafızaları sınırlıdır.
- Algılayıcı ağlarındaki algılayıcı düğümlerinin sayısı, ad hoc ağındaki cihazlardan bir kaç kat fazla olabilir
- Algılayıcı düğümler ağ içerisinde çok yoğun bir şekilde konumlandırılabilirler.
- Algılayıcı düğümleri (hataya yatkındırlar) hata verebilme olasılıkları vardır.

2.9. Ağ Güvenliği

KAA uygulamalarında güvenlik çok büyük öneme sahiptir. Bu uygulamalara örnek verecek olursak: araç takip sistemleri, savaşta kullanılan hedef izleme ve takip sistemleri, kanun yaptırım uygulamaları, benzin istasyonlarında sıcaklık ve basınç ölçümleri ve orman yangın tespit sistemleridir. Tüm bu uygulamalar çok sayıda yarara sahiptir, ancak algılanan bilgi düzgün bir şekilde korunmaz ise bilginin yanlış sonuçlara yol açacak şekilde tahrip edilmesi olasıdır.

KAA çalışmaları en öncelikli olarak askeri uygulamalarda kendini göstermektedir, bu alandaki güvenliğin önemi aşikârdır. Bilgi insan hayatını riske atmadan toplanabilse bile etkin bir şekilde korunamaz ise düşman tarafından ele geçirildiğinde risk oluşturacak bir silah haline gelebilir. Dolayısı ile bu tür uygulamalar için güvenlik daha kritik öneme sahiptir.

KAA uygulamaları karmaşıklaştığında ve daha yaygın bir şekilde kullanıldığında, sistemin yetkili olmayan kişilere karşı daha güvenli olmasının önemi artacaktır.

Uygulamalar farklılaştıkça her biri için farklı düzeyde güvenlik sistemi tasarlanması elzem olacaktır. Bu durum algılayıcı düğüm yapısında ve yazılım algoritmalarında değişikliklere gidilmesini gerektirecektir. Çünkü bu değişiklikler hesaplama ve depolama kaynağının kullanılmasını gerektirir. [10-12]

2.10. Ölçeklenebilirlik

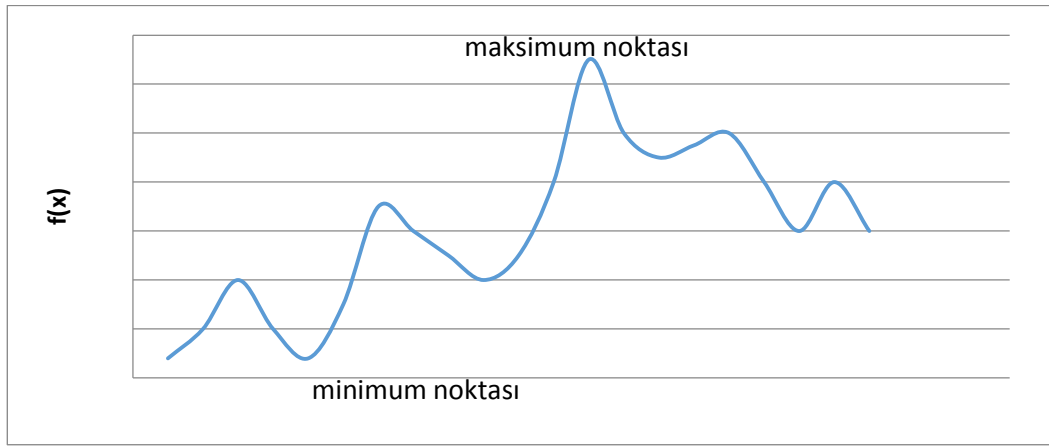
Ölçeklenebilirlik kelime olarak bir ağın artan iş yüküne cevap verebilmesi yani bu büyümeye cevap verebilmek için kendini adapte edebilme yeteneğidir ya da bir sistemin artan ya da azalan iş yüküne hızlı adapte olma yeteneğidir. [13]

Ölçeklendirme hızla artan veri yükü ve trafik sorununu desteklemek için kullanılan yöntemdir. Örneğin iyi bir yönlendirme protokolü ölçeklenebilir olmalı ayrıca ağ topolojisindeki değişikliklere uyum sağlayabilmelidir. Bir protokolün ölçeklenebilirliği ise ağın çalışma performansını düşürmeden ağ parametrelerinde sürekli artan talepleri destekleme yeteneğidir. [14]

Kablosuz algılayıcı ağlar çok sayıda düğüm ve farklı yoğunlukta dağılmış düğüm topolojisine sahiptir. Düğüm sayısı yüzler ve binler ile ifade edilebilir hatta bazı uç örneklerde düğüm sayıları milyonlara ulaşabilmektedir. Düğümler genellikle aynı bölgede algılama yapan birden fazla düğüm bulunacak şekilde dağıtılırlar. [15] Her bir düğüm baz istasyonuna veri paketlerini iletmek için en etkin yöntemi bulmalıdır ayrıca diğer düğümlerden gelen veri paketlerinin iletilmesini koordine etmelidir. Ayrıca veri paketi iletimindeki başarısızlık durumunda yönlendirilmenin yeniden anında şekillendirilmesi gerekir. Özellikle geniş bir alana dağılmış KAA da artan veri akışını yönlendirmek için ölçeklendirmenin önemi artmıştır. KAA büyüdüğünde ya da ağda iş yükü artığında sistem çalışabilmelidir. Ölçeklenebilir bir ağda düğüm sayısı, ağ topolojisinin karmaşık yapısı, veri kalitesi (yani örnekleme hızı, algılayıcı hassasiyeti), veri miktarı daha kolay artırılabilir olur. [16]

3. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

DP eldeki kaynakların sınırlı olduğu durumlarda belli amaca yönelik en iyi kaynak dağılımını sağlama sorununa çözüm getiren bir yöntemdir. Bu bağlamda, doğrusal programlama optimizasyon problemlerinin çözümünde başvurulan matematiksel bir tekniktir. Birden fazla çözüm olduğu durumlarda optimizasyon yapma gereksinimi ortaya çıkar. Problemin şekil 3.1'deki fonksiyon grafiği ile ifade edildiği düşünülecek olursa bu fonksiyon grafiği üzerinde yer alan noktalar problemin bir çözümüdür. Grafikten de anlaşılacağı gibi problemin sonsuz sayıda çözümü bulunduğu için en iyi çözümü bulmak üzere optimizasyon uygulamak gerekir. En iyi olan çözüm ise problem tipine göre değişir.[17]



Şekil 3.1: Basit Kısıtsız Optimizasyon

Problemlerin çözülmesi için modellenmesi gerekmektedir. En iyi sonuca ulaşmak için yapılan modellemede olayların durumların tanımlanabilmesi için değişkenler kullanılır. Değişkenler matematiksel model oluşturmak için kullanılır ve bazı varsayımlar altında bu modeller gerçek durumu yansıtmaya çalışır. En iyi çözümün bulunabilmesi için oluşturulan bu modeller ilk başlarda çok az değişken ile kurulan küçük modeller olmakla birlikte günümüzde artık daha büyük modeller üzerinde çalışılmaktadır ve çözüm aşamasında ise optimizasyondan yararlanılmaktadır.[18]

Bu büyük modeller içerisinde milyonlarca değişkene ve yüzbinlerce kısıta sahip olan çok büyük optimizasyon problemleri vardır. Doğrusal Programlamanın gelişen

çözümleme algoritmaları ve de günümüz bilgisayarlarının ulaşmış olduğu gelişmiş düzey sayesinde bu büyük modelli büyük problemlerin makul şekilde ve zamanda çözümü mümkün olmaktadır.

Doğrusal programlamada kurulan modeldeki tüm fonksiyonlar ve değişkenler doğrusaldır. Bu doğrusal olma gereksinimi problemleri modellemekte bir kısıt gibi görünmesine rağmen doğrusal programlama çok geniş bir alanda pek çok bilim dalı ve pratik eylemler için gerçek problemleri çözmekte kullanılabilir.

Bir işletmedeki üretimin düşük maliyetini optimize etmekten bir kargo şirketi için dağıtımda ele alınacak yolları optimize etmeye kadar pek çok alanda doğrusal programlama ile çözülen örneklere rastlayabiliriz.

Bu teknik kullanılarak formüle edilen problem çeşitlerine şu örnekleri verebiliriz:

Örnek-1: Karışım problemlerinde akışkanların ya da katı maddelerin belirli oranlarda karıştırılarak yeni bir ürünün üretimi için gereken minimum maliyeti bulmak bir optimizasyon problemidir.

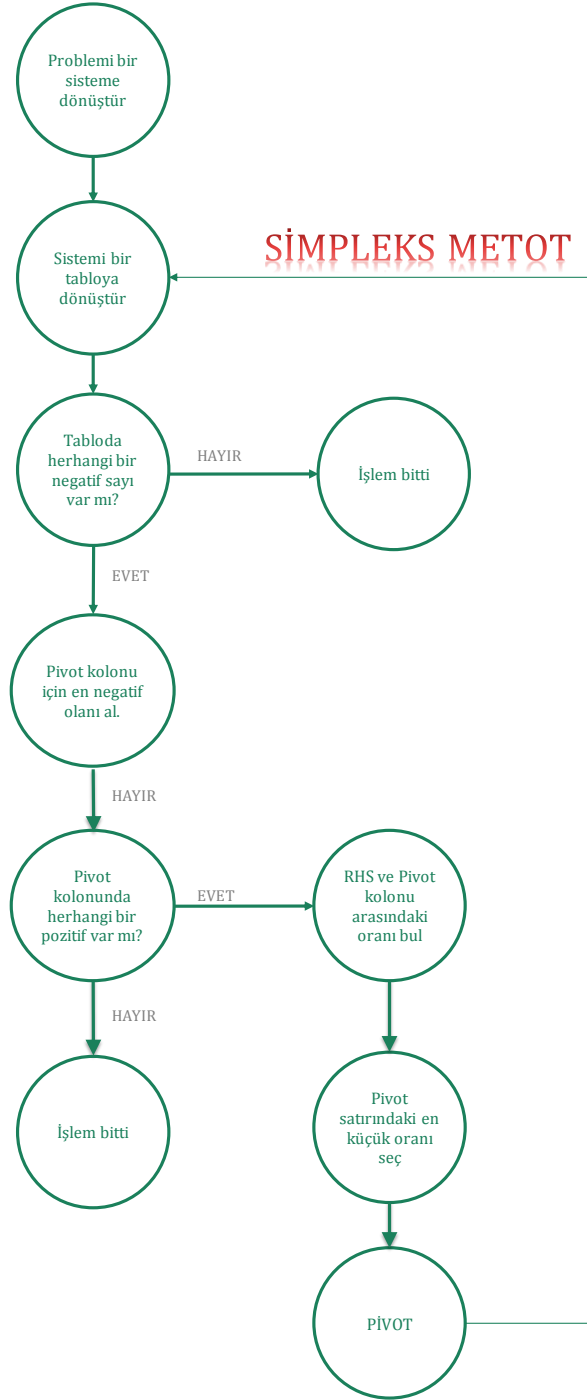
Örnek-2: Dökme demir sektöründe demirin içindeki alaşım miktarlarını ayarlayarak maksimum çekme mukavemetine ulaşmak da bir optimizasyon problemine örnektir.

Örnek-3: Yeni bir bilgisayar çipindeki transistör ve diğer cihazlar genel yerleşimleri en küçük alanı kaplayacak şekilde nasıl yerleşmelidir. [17]

3.1. Simpleks Yöntem

Simplex yöntem 1947 senesinden George Dantzig isimli bilim adamı tarafından bulunmuştur. Doğrusal programlama modellerinin çözümünde en temel yöntemlerden biridir. Çok kompleks bir yöntem olmamakla birlikte uygulama alanında iyi bir başarımla kullanılmaktadır. [18]

Bu yöntem belirli çözüm basamaklarının tekrarlanmasına dayanmaktadır ve bir algoritma biçimidir. Simplex algoritma ile çözüm basamaklarını bir şekilde anlatabiliriz.



Şekil 3.2: Simpleks Metot Akış Şeması

Bu algoritma ile belirli sayıdaki yinelemeler sonucunda optimizasyon probleminin en iyi değerine ulaşmış en uygun çözüm bulunmaktadır. “Simplex yöntem aynı zamanda cebirsel bir yöntem olup doğrusal denklem sistemlerinin çözüm yöntemi olan Gauss Jordan eleme yöntemine dayanmaktadır. [18]

Simplex yöntemin kullanabilmek için doğrusal programlama problemlerinin standart biçimde olması gerekmektedir.

3.2. Standart Biçimli Doğrusal Programlama

Doğrusal programlamada amaç fonksiyonları maksimize ya da minimize edilir ayrıca büyük eşit, küçük eşit, eşittir.(\geq , \leq , $=$) olacak şekilde üstten ve alttan sınırlı değişkenler modelde bulunacaktır. Doğrusal programlama tipleri arasında önemli bir yer edinen biçim standart biçimdir. Standart biçimli doğrusal program modelinde amaç fonksiyonu maksimize edilir. Tüm kısıtlar (\leq) olacak şekilde yazılır. Kısıtlarda sağ taraflarda negatif değerler yer almaz ve değişkenler negatif olmayacak şekilde sınırlandırılmışlardır.

Standart biçimli doğrusal programlama en temel doğrusal programlama tipidir. Standart biçimi grafik üzerinde de anlatacak olursak orijin noktasında tüm değişkenler sıfır değerini aldığı durumda her zaman kabul edilebilir çözüm alanının içinde ilk olurlu köşe noktasıdır. Bu durum en iyi çözüm arayışında da kolaylık sağlar. [17]

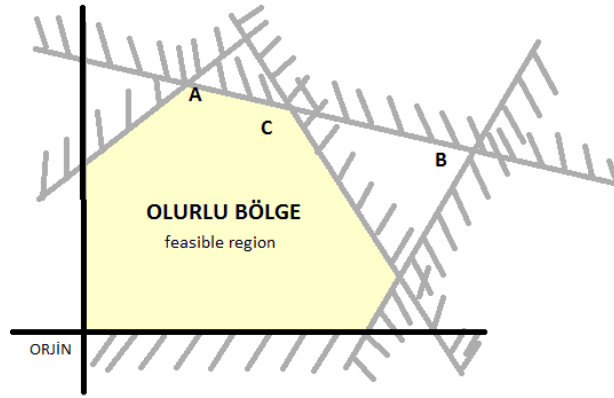
Standart biçimli bir doğrusal programlama modelinin m adet fonksiyon kısıtı n adet değişkeni olduğu durumda bunun cebirsel gösterimi şöyledir:

$$\begin{aligned} \text{Max (z)} &= c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n && \rightarrow \text{amaç fonksiyonu} \\ a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &\leq b_1 \\ \cdot & && \cdot \\ \cdot & && \cdot \\ \cdot & && \cdot \\ a_{m1}x_1 + \dots + a_{mn}x_n &\leq b_m && \rightarrow \text{Standart negatif olmama kısıtları} \end{aligned} \tag{3.2.1}$$

3.3. Grafik Yöntem

Doğrusal programlama problemleri grafik yöntem kullanılarak da çözülebilir. Grafik yöntem az değişkenli basit modeller için uygundur ancak en iyileme yaklaşımını

anlama yolunda yardımcı olacaktır. Standart negatif olmama kısıtından dolayı iki değişkenli bir doğrusal programlama probleminin çözüm alanı koordinat sisteminde değişkenlerin sıfır ve üzerinde değerler aldığı bölgede olacaktır. Doğrusal programlama problemine ait kısıtların fonksiyonları koordinat sisteminde konumlandırıldığında şekil 3.3.1'deki gibi muhtemel çözüm noktaları içeren tüm kısıtları birlikte sağlayan çözüm uzayı ortaya çıkacaktır. A ve C noktaları kısıtları ihlal etmeden uygun çözüm alanı içerisinde yer almaktadır. B noktası ise kısıtlardan birini ihlal ettiği için uygun olmayan bir çözüm noktası değildir. Uygun çözüm noktalarından amaç fonksiyonunu en iyileyen değeri veren nokta doğrusal programlama probleminin çözümüdür. [18]



Şekil 3.3: Grafik Yöntem İle Çözüm Uzayı Gösterimi

Bilgisayar teknolojilerinin hızla ilerlemesi ve DP problemlerini çözen bilgisayar programlarında gelişmesi ile detaylı ve karmaşık gerçek yaşama problemlerinin doğrusal programlama kullanarak etkin olarak çözümü mümkün oldukça bu tekniğin kullanımı yaygınlaşır. Doğrusal programlama tekniği bilimsel çalışmalarda en çok atf yapılan konulardan birisidir.

Doğrusal programlamanın ilk uygulama noktası askeri alan olmakla birlikte zaman içerisinde farklı sektörlerdeki problemlerin giderilmesinde de etkin olarak kullanılmıştır.

4. KARMAŞIK TAMSAYILI PROGRAMLAMA

Hem doğrusal hem de tamsayı değişkenlerinin bulunduğu problemlere karışık tamsayı problemleri denilmektedir. Bazı problemlerde, problemin yapısından dolayı problemde yer alan değişkenlerden bir kısmı gerçel değerli (ör: kesirli), bir kısmı tamsayı veya ikili olarak tanımlanmış olabilir. Dolayısıyla modeldeki değişkenlerin değer kümeleri karışıktır. Tam sayılı doğrusal programlama tekniği, doğrusal programlamanın bir uzantısı olup doğrusal programlamada meydana gelebilecek gerçekçi olmayan sonuçları ortadan kaldırmayı amaçlar. Bazı doğrusal programlama modellerinde sonuçların tam sayı çıkmaması problemin gerçek hayattaki problemlere uygunluğunu bozmaktadır. Örneğin kablosuz algılayıcı ağ problemlerinde kullanılacak düğüm sayısının toplam enerji tüketimine etkisini hesaplamak istiyorsak algılayıcı düğüm sayısının tam sayı olması gerekir. Sonuçların kesirli çıkması gerçekçi olmamaktadır. Tam sayılı doğrusal programlama tekniği, kısıtları bozmadan sonucun tam sayı olmasını sağlamaktadır.

Doğrusal programlama modeli ile tam sayılı programlama modeli arasındaki yegane farklılık, doğrusal programlama modellerindeki değişkenlerin pozitif olma koşulunun ($X_{ij} \geq 0$), tam sayılı olma koşuluna ($X_{ij}=0,1,2,3,4,5,\dots$) dönüşmesidir. Tam sayılı programlama da tüm X_{ij} değişkenlerinin değerleri sifıra eşit veya sifırdan büyük tamsayılardır. [19]

Bir kablosuz algılayıcı ağda düğümlerin kurdukları bağlantı sayısının hesaplanmasının sonuçların kesirli çıkması gerçekçi değildir. Problemin çözümünde elde edilen sonuçların tam sayıya yuvarlatılması bazı kısıtları bozabileceği için çözüm olmamaktadır.

Bazı durumlarda da modelde yer alan değişkenler sürekli değişken olarak tanımlanabilir. Örneğin her bir düğümün veri alırken ya da verirken harcadığı enerji tüketiminin kesirli değerler alabilmesi mümkündür.

Eğer değişkenlerin bazıları tamsayı, bazıları kesirli ise söz konusu sorun karışık tam sayılı programlama tekniğinin kapsamına girer. Karışık tam sayı programlama

kablosuz algılayıcı ağların farklı yönlerini analize etmek için kullanılan bir matematiksel programlamadır. [20]

Daha önce karışık tamsayı programlama yöntemini KAA'larda karşılaşılan problemleri çözmek için kullanan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. İncebacak ve arkadaşları [20] çalışmalarında çoklu yönlendirmede kullanılan güzergâh (routing path) sayısının enerji etkinliği üzerine etkisini incelemek için KTSP çerçevesi kullanımını önermişlerdir. Theoleyre and Darties [21] ise KTSP çerçevesini IEEE 802.15.4'ün ağ kapasitesi ve enerji tüketimin üzerine etkisini analiz etmek için önermiştir. Başka bir çalışmada ise KTSP modeliyle minimum sayıda nakil istasyonu kurarak ağ masrafı minimize etme problemin çözülmüştür. [22] KAA'larda enerji toplamak için kullanılan radyo frekans şarjlarının yerleşiminin optimisasyonu da karışık tamsayı programlaması şeklinde formüle edilmiştir. [23] Ayrıca gelen ve giden düğüm bağlantı sayısını kısıtlamanın ağ ömrüne etkisi KTSP çerçeve yöntemi ile araştırılan başka bir çalışmadır.[24]

5. PROBLEM

Bu kısımda yönlendirme ölçeklenebilirliği yerelleştirmeye sağlanırken, ölçeklenebilirlik ile KAA yaşam süresinin en büyüklenmesinin sağlanması arasındaki ödünleşme sistematik olarak geliştirilen KTSP modelleriyle anlatılmaktadır. Daha önce KAA 'larda yaşam süresinin yerellik derecesine göre nasıl bir değişim gösterdiği doğrusal programlama çerçevesi kullanılarak çalışılmıştır. [25] Bizim çalışmamızda daha geniş bir parametre uzayı daha ayrıntılı analizlerle incelenmiştir. Çalışmamızda, belirli bir yönlendirme protokolü göz önünde bulundurmamak. Ayrıca yönlendirme protokolü tasarlamak da bizim hedeflerimizden biri değil. Bundan ziyade, ağ ömrü üzerindeki etkisine göre yerel yönlendirmenin performans sınırlarını karakterize edecek genel bir çerçeve sunuyoruz. Bu çalışmada önerilen çerçeve doğrultusunda üç farklı yerel rejim (GBY, NBY, KBY) modelledik ve ağ ömrü üzerindeki etkilerini analiz ettik.

5.1 Sistem Modeli

5.1.1 Modelde Kullanılan Veriler:

Zamanın ağda gerçekleşen turlara (Z_{tur}) göre ayarlandığını ve her tur için sürenin 10 saniye sürdüğünü varsayıyoruz. Gerçekleşen her bir tur boyunca, düğümler veri toplamak için belirli bir miktarda enerji harcar ($E_{vt} = 600 \mu J$) ve baz istasyonuna nakledilmek üzere $M_{TK} = 230$ Bayt işlenmiş veri üretir. **Veri toplamak için harcanan enerji:** İşlemciyi çalıştırmak için harcanan güç, algılayıcı kartın aktif modda harcadığı güç ($G_{vt} = 30.0$ mW) ve toplam veri edinmesi, işlemden geçirilmesi sürecinde harcanan zaman ($Z_{vt} = 20$ ms) kullanılarak hesaplanır. Biz modelimizde Mica2 platformunun enerji harcama karakteristiğini kullanıyoruz

Algılayıcı düğümler arasında veri iletimi sırasında hata yaşanabilmektedir. Her veri paketinin $O_{vp,b}$ olasılığı ile başarılı olarak alındığı varsayılır ve veri paketi hata oranı $O_{vp,h} = 1 - O_{vp,b}$ olarak ifade edilir. Aynı şekilde doğrulama paketlerinin de

($M_{AB} = 20$ Bit) belirli miktarda başarı ($O_{AB,b}$) ve hata ($O_{AB,H} = 1 - O_{AB,b}$) oranı vardır. Mica2' de olduğu gibi gönderimde hata düzeltimi yoksa belirli bir bit hata oranı ($O_{BHO} = 10^{-4}$) için M Bit uzunluğunda bir paketin, paket başarı olasılığı $(1 - O_{BHO})^{8M}$, dir.

Her veri paketinin $M_y = 25$ Bayt işletim yükü vardır, bu nedenle, veri paket uzunluğu $M_{VP} = M_y + M_{TK} = 255$ Bayttır. İletici ile alıcı çifti arasındaki veri iletimi, önceden belirlenmiş bir zaman aralığında (Z_{ara}) gerçekleşir. Herhangi bir iletici/alıcı çifti arasında mükemmel senkronizasyon mümkün değildir. Bu nedenle, pratikte bu zaman aralığının başlangıcında ve sonunda belli bir senkronlama süresi (Z_{snk}) eklenir [26]. KAA'ler için özel olarak tasarlanmış ve neredeyse hiçbir işletim yükü olmayan ve tatmin edici senkronizasyon performansı olan çok sayıda senkronizasyon protokolü vardır [27]. Örneğin, Time-sync protokolü senkronizasyon için piggybacking kullanır [28], bu yöntemle ait ortalama senkronizasyon hatasının $16.9 \mu s$ ve en kötü durumda $44 \mu s$ olduğu rapor edilmiştir. Bu yüzden biz senkronizasyon süresini maksimum senkronizasyon hatasının yaklaşık iki katı olan Z_{snk} ($100 \mu s$) olarak seçtik. Düğümler arası veri alışverişinde oluşan diğer bir gecikmede kaynak düğümünden gelen veri paketinin tamamının alındığı an ile doğrulama paketi alımının başladığı ana kadar geçen süredir. Bu süre Z_{ynt} ($500 \mu s$) olarak tanımlanmıştır. Bahsettiğimiz bu tanımlardan yola çıkarak veri iletimi için geçen zaman aralığı $Z_{ara} = [2 * Z_{snk} + Z_{VPt}(M_{VP}) + Z_{ynt} + Z_{VPt}(M_{AB})] = 58 \text{ ms}$ olarak hesaplanır. $Z_{VPt}(M_{VP})$ veri paketi iletim süresini ve $Z_{VPt}(M_{AB})$ ise doğrulama paketi iletimi için geçen süreyi ifade eder. Bu süre paketlerin içerdiği bit sayısının bant genişliğine ($BG = 38.4 \text{ Kbps}$) bölünmesi ile elde edilir [29].

İletici ile alıcı arasındaki uzaklığı hatasız ölçmek mümkün değildir, yine de kabul edilebilir bir hata payı ile uzaklıkları tahmin etmek mümkündür. Örneğin, Saxena[30] ve arkadaşlarının yaptığı deneysel sonuçlara göre RSSI kullanılarak 2 m'den az bir hata payı ile konum tahminini yapmak mümkündür. Bu sebeple biz de, $u_{thm,h} = 2m$ parametresiyle uzaklık tahmini hatalarını biçimlendirdik. İki devre

arasındaki mevcut uzaklık u_{ij} metre ise, tahmini uzaklık (u_{ij}^{thm}) bir aralıkla sınırlandırılmıştır [$u_{ij} - u_{thm,h}$, $u_{ij} + u_{thm,h}$]. Tahmini hesaplama hatası yüzünden gerçekte gereken güç seviyesinden daha düşük güçle iletim yapılmasını engellemek için, paket iletiminde telafi mesafesi (u_{ij}^{tlf}) kullanırız. Telafi mesafesi $u_{ij}^{tlf} = u_{ij}^{thm} + u_{thm,h}$ denkleminde elde edilir.

Mica2 platformu: Enerji tüketim modeli olarak C1000 radyo donanımlı Mica2 platformu kullandık [31]. Mica2 platformu Atmel Atmega 128L işlemcisi ve Chipcon CC1000 radyosundan oluşur. Her ikisi de iyi nitelendirilmiş enerji harcama özelliklerine sahiptir.

Bu model için veri gönderilecek mesafeye göre tüketilecek enerji seviyeleri Tablo 5.1.1.1 de gösterilmiştir. 1 güç seviyesindeki veri transferi için gerekli olan enerji $G_{VP_t}(S)$ ile ifade edilir ve 1 güç seviyesindeki maksimum uzaklığı $AR_{mak}(S)$ ile ifade edilir. Güç seviyeleri seti K_{svy} olarak ifade edilir. Veri almak için harcanan güç tüketimi sabittir ve $G_{VP_a} = 35.4$ mW ile ifade edilir.

Çizelge 5.1.1.1 : CC1000 radyosuyla donatılmış Mica2 platformu için her bir güç seviyesinde, veri iletim gücü tüketimi $G_{VP_t}(S)$ ve maksimum iletim aralıkları $AR_{mak}(S)$ güç seviyesinin (S) fonksiyonu olarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Mica2 platformu için her bir güç seviyesinde, veri iletim gücü tüketimi, maksimum iletim aralıkları

S	$G_{VP_t}(S)$	$AR_{mak}(S)$	S	$G_{VP_t}(S)$	$AR_{mak}(S)$
1	25,80	19,30	14	32,40	41,19
2	26,40	20,46	15	33,30	43,67
3	27,00	21,69	16	41,40	46,29
4	27,10	22,69	17	43,50	49,07
5	27,30	24,38	18	43,60	52,01
6	27,80	25,84	19	45,30	55,13
7	27,90	27,39	20	47,40	58,44
8	28,50	29,03	21	50,40	61,95
9	29,10	30,78	22	51,60	65,67
10	29,70	32,62	23	55,50	69,61
11	30,30	34,58	24	57,60	73,79
12	31,20	36,66	25	63,90	78,22
13	31,80	38,86	26	76,20	82,92

5.1.2 Karmaşık Tamsayılı Programlama Modeli

Ağ modelimizde, tek bir baz istasyonu ve N sayıda algılayıcı düğüm vardır. Her bir algılayıcı düğüm (düğüm-i) periyodik olarak aynı sayıda veri paketi (ps_i) oluşturur. Veri paketleri bölünemez veri üniteleri olarak değerlendirilir, paketler baz istasyonuna ulaşana kadar parçalanamaz ve de başka veri paketiyle birleştirilemez. Ağ topolojisi, yönlendirilmiş bir diyagramla temsil edilir, $G=(V, A)$, buradaki V, düğüm-1 olarak ifade edilen baz istasyonu dahil olmak üzere tüm düğümlerin kümesidir. W kümesi ise Düğüm-1 dışında tüm düğümleri içeren küme ($W=V \setminus \{1\}$) olarak tanımlanmıştır. $A = \{(i, j) : i \in W, j \in V - i\}$ ağdaki linklerin kümesidir. Buradaki A kavramı, hiçbir düğümün kendisine veri göndermediğini ifade eder. Düğüm-k da üretilen Düğüm-i'den düğüm-j'ye aktarılan veri ise f_{ij}^k olarak gösterilir. Ağ ömrü ağdaki ilk düğüm enerjisini tükettiğinde biter. Ağ ömrünü maksimuma çıkarmak için, tüm düğümler enerjilerini dengeli bir biçimde kullanmaya zorlanırlar (pil enerjileri neredeyse aynı anda tükenir).

Tur sayısı ve tur süresinin çarpımından oluşan ($N_{tur}Z_{tur}$) ağ ömrünü en büyük değerine çıkarmayı hedefleyen en iyileme problemine ait ilk yedi kısıt (temel KTSP modeli) aşağıda anlatılmıştır.

Denklem 1 düğüm-k'da üretilen tüm verilerin, baz istasyonunu da dahil olmak üzere geri kalan tüm ağa yönlendirilebileceğini belirtir.

$$\sum_{(k,j) \in A} f_{kj}^k = N_{tur} ps_k \quad \forall k \in W \quad (5.1)$$

Denklem 2 düğüm-k da üretilen verinin tekrar bu düğüme geri dönmesini engellemek için kullanılır.

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

Denklem 3 bir düğüm (düğüm i) başka bir düğümün (düğüm k) verisini ilettiği zaman, düğüm k' da üretilmiş ve düğüm i ye gelen tüm verilerin toplamı düğüm i den çıkan düğüm k' nın tüm verilerinin eşittir. 3. Denklem, baz istasyonu dışında diğer tüm düğümlerin her biri için sağlanmalıdır. (1.düğüm dışında toplamda her düğümde sağlanması gereken N-2 sayıda kısıt vardır).

$$\sum_{(i,j) \in A} f_{ij}^k - \sum_{(j,i) \in A} f_{ji}^k = 0 \quad i \neq k, \quad \forall k \in W, \forall i \in W \quad (5.3)$$

Denklem 4 her düğüm kaynağında üretilen tüm verilerin sonunda baz istasyonuna (1. düğüm) gönderildiğinden emin olmak için kullanılır.

$$\sum_{(j,l) \in A} f_{jl}^k = N_{tur} ps_k \quad \forall k \in W \quad (5.4)$$

Denklem 5 baz istasyonundan ağadaki hiç bir düğüm düğüme veri paketi gönderilmemesini garantiler.

$$\sum_{(l,j) \in A} f_{lj}^k = 0 \quad \forall k \in W \quad (5.5)$$

Denklem 6, sanal veri akışını (f_{ij}^k) fiziksel veri akışına çevirmek için kullanılır. Verinin üretildiği düğümleri ifadesi için k dizini enerji veya bant aralığı kısıtları için gerekli değildir. Bu nedenle, daha açık olması için onu kaldırdık.

$$\sum_{k \in V} f_{ij}^k = g_{ij} \quad \forall k \in W \quad (5.6)$$

Denklem 7, Ağda negatif akım olamayacağını anlatır.

$$f_{ij}^k \geq 0 \quad \forall k \in W \quad \forall (i, j) \in A \quad (5.7)$$

5.1.2.1 Enerji Kısıtları:

Sekizinci denklem, her düğümdeki toplam enerji harcamasının pillerde depolanan enerjinin miktarıyla sınırlı olduğunu belirtir. Denklem 'in sol tarafındaki eşitsizlikteki dört ifade sırasıyla veri toplanmasını, iletimini, veri kabulünü ve uyku modunda ki gücünü gösterir.

$$N_{tur} E_{VT} + \sum_{(i,j) \in A} g_{ij} E_{VPt,ij}^D + \sum_{(j,i) \in A} g_{ji} E_{VPa,ji}^D + G_{um} (N_{tur} Z_{tur} - Z_{msg,i}) \leq e_i \quad \forall i \in W \quad (5.8)$$

Dokuzuncu denklem her bir düğüme ağ faaliyete başlamadan önce eşit miktarda güç yüklendiğini gösterir.

$$e_i = pil \quad \forall i \in W \quad (5.9)$$

Her bir düğüm her bir veri akışı için dinamik olarak en uygun veri akış gücünü seçer bu ifade 10. denklemde anlatılmıştır. 11. Denklem her bir düğüm için maksimum iletim aralığını sınırlandırmak için kullanılır. Bu denklemde m mümkün olan maksimum iletim aralığını (m=82.92) belirtir.

$$g_{ij}^{opt} = \arg \min_{g^s \in K_{vy}, u_{ij}^{lf} \leq AR_{mak}(g^s)} (E_{VPt}(g^s)) \quad (5.10)$$

$$g_{ij} = 0 \text{ if } u_{ij}^{lf} > m \quad \forall (i, j) \in A \quad (5.11)$$

Düğüm-i'den düğüm-j'ye M_{VP} Bayt uzunluğunda bir paket aktarmak için harcanan enerji 12. Denklem 'de verilmiştir.

$$E_{VPt,ij}^P(M_{VP}) = G_{VPt}(g_{ij}^{opt})Z_{VPt}(M_{VP}) \quad (5.12)$$

Gönderici düğüm, veri paketini ilettiği zaman dışında alıcı modunda kalır. Unutulmamalıdır ki CC1000 radyolarında, mevcut veri kabulü ile herhangi bir veri transferi yapmadığı dinlenme modunda harcanan enerjide herhangi bir farklılık yoktur. Bir aralıkta bir ileticinin harcadığı toplam enerji (doğrulama işleminin tek bir basamağı boyunca) 13. denklem 'de verilmiştir.

$$E_{VPt,ij}^t(M_{VP}, M_{AB}) = E_{VPt,ij}^P(M_{VP}) + G_{VPa}(Z_{ara} - Z_{VPt}(M_{VP})) \quad (5.13)$$

İletilen veri paketi, bit hataları yüzünden hedef düğüm tarafından alınamasa bile, gönderici düğüm tarafından harcanan enerji miktarı doğrulama paketini bekleyeceğinden aynıdır. Veri paketi iletimine cevap olarak doğrulama paketinin eksikliği bir paket kaybını işaret eder. Başarılı bir veri paketi transferi $O(t, b) = O_{VP,b} O_{AB,b}$ 'dır ve başarısız bir veri paketi transferi $P(t, h) = 1 - O(t, b)$ 'dir. Ortalama olarak, her veri paketi $1/O(t, b)$ kez iletmek zorundadır.

Veri gönderen düğümün harcadığı enerji, paket hatalarını ve paket işleme süresindeki enerji harcamalarında (E_{Vi}) içerir ve bu 14.üncü denklemde gösterilmiştir. (Bir veri paketinin tekrar gönderilmesi durumunda paket işleme enerjisi sadece bir kez tüketilir sonraki tekrarlayan gönderimler ilave paket işleme enerjisi gerektirmez). Her bir düğüm paket işleme için $E_{Vi}=120\mu J$ enerji tüketir. Paket işleme enerjisi

Mika 2 platformunun MCU aktif modundaki (24.0 mW) [32] güç tüketimi ve her bir paketin CPU dan faydalanma zamanı kullanılarak hesaplanır.

$$E_{VPt,ij}^D = \frac{1}{O(t,b)} E_{VPt,ij}^t (M_{VP}, M_{AB}) + E_{VI} \quad (5.14)$$

Veri paketi alımı ve alındığını bildiren doğrulama paketi gönderilmesi esnasında verilerde bit hatası olmadığı varsayımı altında harcanan enerji 15. Denklem 'deki gibi gösterilir. Doğrulama işlemi doğrulama paketindeki bit hataları nedeniyle başarısız olabilir ancak böyle bir başarısızlık oluşması durumunda alıcı düğüm tarafında harcanan enerji değişmemektedir. Doğrulama işlemindeki başarısızlık alınan veri paketindeki bit hatalarından kaynaklanıyorsa, bu durumda harcanan enerji 16. Denklem'de verilmiştir. Veri paketi başarılı bir şekilde alınmadığı için, alıcı düğüm, bir paketi almak için gereken maksimum sürenin dolmasının ardından uyku moduna geçer. Paket hatalarının etkilerini de içeren alıcı düğümün harcadığı enerji 17. Denklem'de gösterilmiştir.

$$E_{VPa,ji}^{t,b} (M_{VP}, M_{AB}) = G_{VPa} (Z_{ara} - Z_{VPt} (M_{AB})) + E_{VPt,ij}^P (M_{AB}) \quad (5.15)$$

$$E_{VPa,ji}^{t,h} (M_{VP}) = G_{VPa} Z_{ara} \quad (5.16)$$

$$E_{VPa,ji}^D = \left\{ E_{VPa,ji}^{t,b} (M_{VP}, M_{AB}) + E_{VI} + \frac{1}{O(t,b)} \left[\begin{array}{l} O_{VP,b} O_{AB,h} E_{VPa,ji}^{t,b} (M_{VP}, M_{AB}) + \\ O_{VP,h} E_{rx,ji}^{t,h} (M_{VP}) \end{array} \right] \right\} \quad (5.17)$$

Eğer düğüm bir zaman aralığında veri almıyorsa ya da iletmiyorsa veya veri toplamıyorsa o düğüm uyku modundadır.

Böylece, toplam uyku süresi 18. Denklemde hesaplanan toplam meşguliyet süresinden elde edilebilir. Unutulmamalıdır ki veri işleme sürecinin aktif olunan aralıklarda gerçekleştirildiğini varsayıyoruz.

$$\mathbf{Z}_{m\&g,i} = \frac{\mathbf{Z}_{ara}}{O(t,b)} \left[\sum_{(i,j) \in A} \mathbf{g}_{ij} + \sum_{(j,i) \in A} \mathbf{g}_{ji} \right] + N_{tur} \mathbf{Z}_{VT} \quad (5.18)$$

Ağdaki yayım ortamında, her düğümde veri iletimi ve alımı yapılması için gereken bant genişliğinin toplam bant genişliğine eşit veya ondan az olduğundan emin olmalıyız. Böyle bir kısıtlama paylaşılan akım kapasitesini de değerlendirmeye almak zorundadır. Düğüm-i'ye gitmeyen veya düğüm-i'den çıkmayan ve düğüm-i için müsait olan bant genişliğini etkileyen akımlardan müdahil akımlar olarak bahsediyoruz. Baz istasyonu da dahil olmak üzere tüm düğümlere ait gelen giden akımlar ve müdahil akımların toplanma süresinin ağın yaşam süresi ile sınırlandırıldığını ifade eden bant genişliği kısıtı denklem 19 'da gösterilmiştir. Baz istasyonu haricindeki düğümler için veri toplama süresi ($N_{tur} \mathbf{Z}_{VT}$) 19. Denklem'in sol tarafına eklenmiştir. Bu kısıtlama [17]'de verilen yeterli koşulun değiştirilmiş halidir.

$$\frac{\mathbf{Z}_{ara}}{O(t,s)} \left[\sum_{(i,j) \in A} \mathbf{g}_{ij} + \sum_{(j,i) \in A} \mathbf{g}_{ji} + \sum_{(j,k) \in A} \mathbf{g}_{jk} \mathbf{I}_{jk}^{opt} \right] \leq N_{tur} \mathbf{Z}_{tur} \quad \forall (i,j) \in A \quad (5.19)$$

Müdahil akımları ifade eden fonksiyon (I_{jk}^i) 20. Denklem 'de formüle edilmiştir. Düğüm-i, düğüm-j' den düğüm-k' ya olan iletimin müdahil bölgesinde yer alıyorsa, düğüm-i için müdahil akım fonksiyonunun (I_{jl}^i) değeri düğüm-j den düğüm-k' ya olan akımlardaki veri miktarına eşittir, böyle bir akım yoksa sıfırdır. Genel ifadeyle, akımların çakışma (müdahale) aralığı iletim aralığına eşit veya ondan daha büyüktür (i.e., $\gamma \geq 1$). Bu çalışmada $\gamma = 1.7$ olarak alınmıştır. Düğüm-j ile düğüm-k arasındaki mesafe düğüm-j ile düğüm-i arasındaki mesafeden daha az olsa bile γ 'nın değerine bağlı olarak düğüm-j'den düğüm-k' ya olan iletim düğüm-i'ye müdahil olabilir.

$$\mathbf{I}_{jk}^i = \begin{cases} 1 & \text{if } \gamma \mathbf{Ar}_{mak}(\mathbf{I}_{jk}^{opt}) \geq \mathbf{u}_{ji} \text{ and } i \neq j \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (5.20)$$

5.1.3. Yerelleştirilmiş Yönlendirme Modelleri

Modelimize ek olarak üç adet yerelleştirilmiş yönlendirme modeli denklemlerle anlatılmıştır:

5.1.3.1. Grup Bazında Yönlendirme Modeli

Grup Bazında Yönlendirme Model’inde (GBY) ağ çakışmayan domainlere ayrılmıştır (D_q^{GBY}) ve tüm domainlerin birleşimi ağı oluşturur (D_{net}^{GBY}) . Aslında, bu şema, İnternetin çeşitli yönlendirme bölgelerine ayrılmasıyla oluşturulan ölçeklenebilirlikten esinlenerek yapılmıştır [33]. GBY’de, alanlar arası veri transferine ölçeklenebilirliği geliştirmek için izin verilmemiştir. Yeni alan eklemenin yönlendirme operasyonlarını karmaşık hale getirmemesi için her alan birbirinden izole edilmiştir. Her bir alanda toplanılan veri, diğer alanların düğümlerinden gelen müdahaleler olmaksızın baz istasyonuna iletilmelidir. Bu nedenle, baz istasyonu birçok grubun elemanı durumunda olan tek düğümdür ve her alanın üyesidir. Dairesel bir ağ topolojisinde, dilim şeklindeki alanlar yukarıda bahsedilen tasarım kriterini gerçekleştirecek mantıklı bir tercihtir. Her dilim şeklindeki bölgenin zirvesi baz istasyonudur ve tüm bölgelerin yarıçapları ağın yarıçapına eşittir. Böylece, dilim şekilli bölgelerin boyutları yalnızca merkezi açıyla θ^{GBY} belirtilir. Bu kısıt 21. Denklem ‘de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} f_{ij}^k &= 0 \text{ if } i \in D_q^{GBY} \text{ and } j \notin D_q^{GBY} \\ \forall k \in W \quad \forall i \in W \quad \forall j \in W \quad \forall D_q^{GBY} &\in D_{net}^{GBY} \end{aligned} \quad (5.21)$$

5.1.3.2. Kaynak Düğüm Bazında Yönlendirme Modeli

GBY modelinde sınırlarına yakın konumlandırılmış algılayıcı düğümler veriyi daha az enerji harcayarak taşıyabilecek potansiyel nakil (röle) düğümleri kaynak düğümlerle aynı alanda olmadığı için dezavantajlı bir durum oluşur.

Bu nedenle Kaynağa Göre Yönlendirme Modeli’ni (KBY) öneriyoruz; bu modelde kaynak düğümü dilim şeklindeki alanın köşesinde (verteks) yer alır ayrıca dilim

şeklindeki alanların yarıçapı da kaynak düğüm ile baz istasyonu arasındaki mesafedir.

Kaynak düğüm-k'nın dilim şeklindeki bölgesi (k'nın etki alanı) D_k^{KBY} ve merkezi açı (kutupsal açı) θ^{KBY} olarak ifade edilir. Kaynak düğüm-k'nın verisi D_k^{KBY} bölgeden dışarı yönlendirilemez. Bu kısıtlama 22. Denklem 'de biçimlendirilmiştir.

$$f_{ij}^k = 0 \text{ if } j \notin D_k^{KBY} \forall k \in W \forall i \in W \forall j \in W \quad (5.22)$$

5.1.3.3. Nakil Düğüm Bazında Yönlendirme Modeli

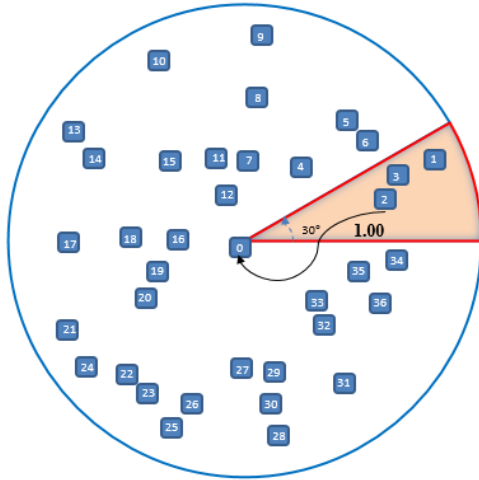
KBY, GBY' nin kaynak düğümleri için sınır etkilerini hafifletse de, nakil düğümlerinin benzer dezavantajlı durumu aynı şekilde azaltamamaktadır. Bu nedenle Nakil Düğüm Bazında Yönlendirme Model'inde (NBY), yalnızca kaynak düğümlerinin değil aynı zamanda nakil düğümlerinin de kendine ait alanları var (örneğin, her nakil düğümü kendi dilim şeklindeki yönlendirme alanının köşesindedir). Nakil düğüm-i'nin dilim şeklindeki bölgesi D_i^{NBY} olarak ve merkezi açı θ^{NBY} olarak ifade edilir. Nakil düğüm-i kendi alanı D_i^{NBY} dışına veri gönderemez. Bu kısıtlama 23. Denklem 'de modellenmiştir.

$$f_{ij}^k = 0 \text{ if } j \notin D_k^{NBY} \forall k \in W \forall i \in W \forall j \in W \quad (5.23)$$

6. ANALİZ

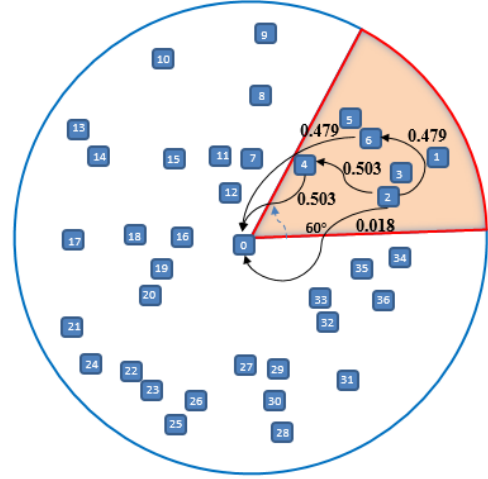
Analizimizde 100 m yarıçaplı dairesel şekilli bir ağ topolojisi kullanırız. Baz istasyonu dairenin merkezine yerleştirilmiştir. Algılayıcı düğümleri ağ alanının üzerine tekdüze dağılım uygulanarak yerleştirilmiştir, yani gelişigüzel bir şekilde dağıtılmıştır. Her düğümün iki AA pille donatılmış olduğu kabul edilir (pil = 25.0 KJ). , her düğüm tur başına bir veri paketi üretir ($ps_i = 1$). Geliştirdiğimiz MIP modelinin sayısal analizi için General Algebraic Modeling System (GAMS) kullandık. Sonuçların istatistiksel olarak analizi için ise SPSS programı kullandık.

Seçili üç topoloji kullanılarak yerleştirme seviyesinin etkileri gösterilmiştir.



Şekil 6.1 $A\ddot{O}=0.78$, $\Theta^{GBY} = 30$

Yerleştirilmiş yönlendirmenin GBY modeli ile $N=36$, $\Theta=30$ iken ağ ömrüne etkisinin gösterimi.



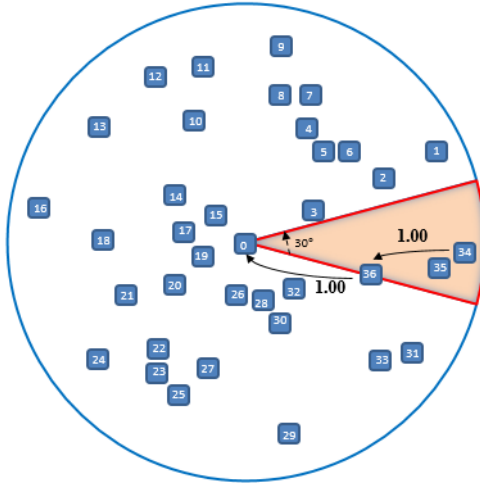
Şekil 6.2 $A\ddot{O} = 0.90$, $\Theta^{GBY} = 60$

Yerleştirilmiş yönlendirmenin GBY modeli ile $N=36$, $\Theta=60$ iken ağ ömrüne etkisinin gösterimi.

$\theta^{GBY} = 30$ için Şekil 6.1 'de ve $\theta^{GBY} = 60$ için Şekil 6.2'de akımlar çizilmiştir. Şekil 6.1 'de 2. Düğümün verilerini baz istasyonuna yönlendirirken kullandığı yollar gösterilmiştir. Bildiğimiz gibi tüm düğümler veri üretir, kendi ürettiği veriyi ve ilave olarak diğer düğümlerden gelen verileri baz istasyonuna yönlendirir. Ancak tüm veri akışını göstermek şekli fazla karmaşık hale getireceğinden, yalnızca 2. Düğümde

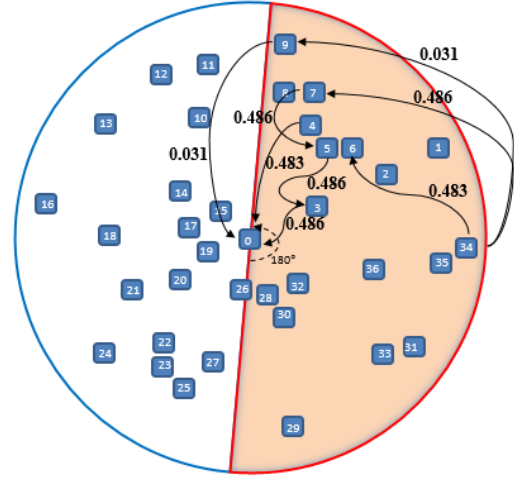
üretilem veri akışlarını sunuyoruz. 2. düğüm tarafından üretilem toplam trafik bir tane olmak üzere normalize edilmiştir. GBY rejiminde, düğümler verilerini yalnızca kendi alanlarında yönlendirebilirler, böylece, $\theta^{GBY} = 30$ olduğunda 2. düğüm tüm verilerini direkt olarak baz istasyonuna gönderir. Normalize edilmiş ömür $\theta^{GBY} = 30$ için (AÖ= 0.78) olarak elde edilmiştir. $\theta^{GBY} = 360$ ile elde edilmiş yaşam süresinin mutlak yaşam süresine bölünmesiyle normalize etme mümkün kılınmıştır. (rota seçimi üzerinde herhangi bir kısıtlama yoktur).

$\theta^{GBY} = 60$ Şekil 6.2 kullanılarak yönlendirme alanını genişletmek uzatılmış bir ağ ömrüne sebep olur (AÖ =0.90). $\theta^{GBY} = 60$ için 2. düğüm verilerin çoğunu 4. düğüm ve 6. düğüm aracılığıyla yönlendirir (örneğin, 2. düğümün yalnızca %1,8'i direkt olarak baz istasyonuna iletilir). 2. düğüm baz istasyonuna 6. düğümde daha yakın olmasına rağmen, 2. düğüm verilerinin % 47,9'unu 6. düğüme gönderir çünkü 2. düğüm enerjisinin büyük bir kısmını 1. düğümün verisini iletmek için kullanır ve bu maksimum ağ ömrünü elde etmek için en uygun karardır. (düğümler ağ ömrünü uzatmak için işbirliği yaparlar.)



Şekil 6.3 AÖ =0.81, $\theta^{KBY} = 30$

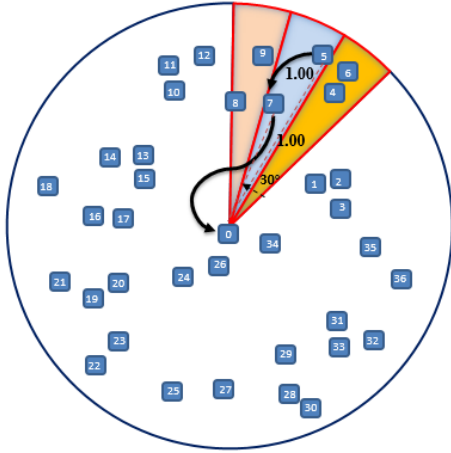
Yerelleştirilmiş yönlendirmenin KBY modeli ile $N=36$, $\Theta=30$ iken ağ ömrüne etkisinin gösterimi.



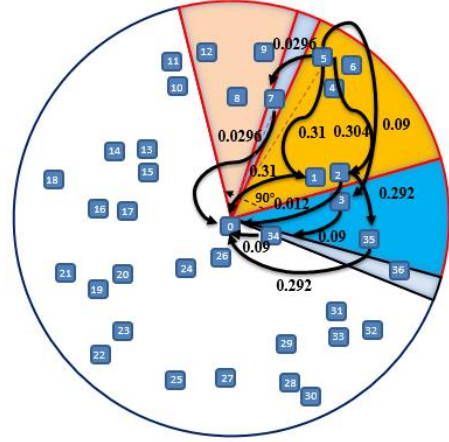
Şekil 6.4 AÖ =0.93, $\theta^{KBY} = 180$

Yerelleştirilmiş yönlendirmenin KBY modeli ile $N=36$, $\Theta=180$ iken ağ ömrüne etkisinin gösterimi.

Şekil 6.3 ve şekil 6.4 de, θ^{KBY} ı artırmanın 34. Düğüm için ağ ömrüne ve akım yollarına etkisi gösterilmektedir. KBY rejiminde, bir kaynak düğümü (34. düğüm) verilerini yönlendirmek için orijinine merkezlenmiş dilim şeklindeki bir bölgeyle sınırlıdır. $\theta^{KBY} = 30$ olduğunda, normalleştirilmiş ömür 0,81 olarak elde edilir ve 34. kaynak düğümü ürettiği tüm verileri 36. düğümüne gönderir ve sonra 36. düğüm 34. düğümün tüm verilerini baz istasyonuna aktarır. $\theta^{KBY} = 180$ olduğunda, 34. düğümün verileri 6 nakil düğümün yardımıyla (3.düğüm,4.düğüm,5.düğüm, 6. düğüm, 7. düğüm, 9.düğüm) baz istasyonuna aktarılır. 34. düğümün verilerinin %48,6'sı dört sekme yolu kullanılarak (düğüm-34 → düğüm-7 → düğüm-5 → düğüm-3 → düğüm-0) baz istasyonuna ulaşır. 34. düğümün verilerinin %48,3'ü üç sekme yoluyla baz istasyonuna ulaşır (düğüm-34 → düğüm-6 → düğüm-4 → düğüm-0). 9. Düğüm 34.düğümün verilerinin %3.1 ini baz istasyonuna aktarır. (iki sekmeli yol) Dahası, 36. Düğüm 34. Düğümün verilerini aktaran nakil düğümü değildir. Görüldüğü gibi yönlendirme alanını kısıtlamak yetersiz nakil atamalarına sebep olur. Tüm ağın işbirliği yaptığı durumlarla karşılaştırıldığında, ağın yarısının işbirliği ağ ömründe %7,0'lık bir düşüşü engellemeye yeterli olmadığını görmek de ilginçtir.



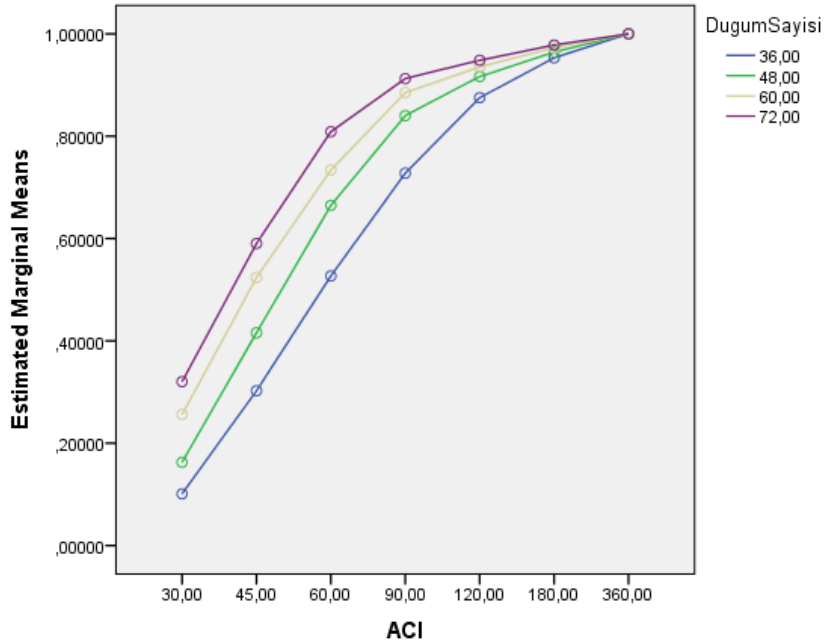
Şekil 6.5 $A\ddot{O} = 0.78$, $\Theta^{NBY} = 30$
Yerelleştirilmiş yönlendirmenin NBY modeli ile $N=36$, $\Theta=30$ iken ağ ömrüne etkisinin gösterimi.



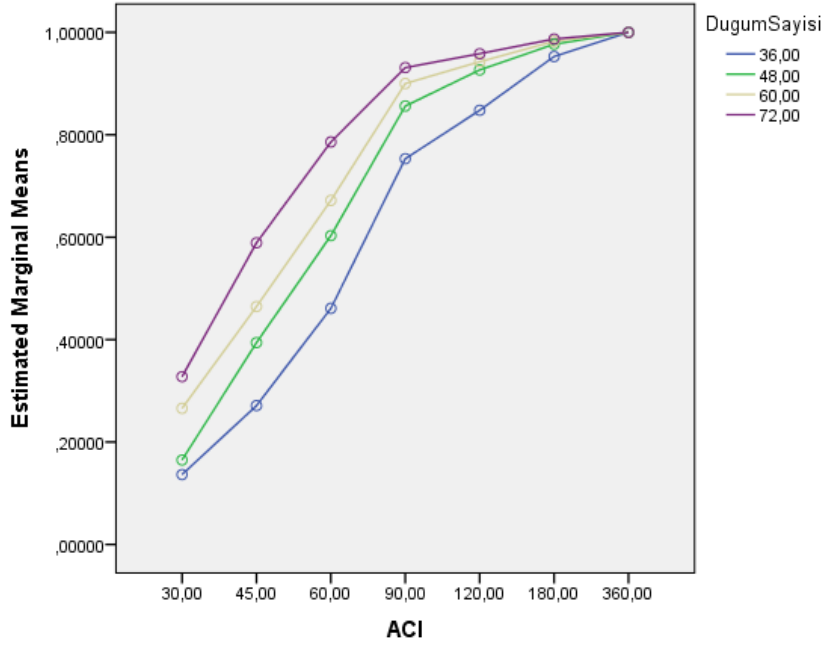
Şekil 6.6 $A\ddot{O} = 0.92$, $\Theta^{NBY} = 90$
Yerelleştirilmiş yönlendirmenin NBY modeli ile $N=36$, $\Theta=90$ iken ağ ömrüne etkisinin gösterimi.

Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da araştırdığımız algılayıcı düğümü 5. düğümdür. $\theta^{NB\bar{Y}}=30$ için normalleştirilmiş ağ ömrü 0,78 olarak elde edilir. 5. düğüm ürettiği tüm verileri baz istasyonuna iki sekmeli yolla (düğüm-5 → düğüm-7 → düğüm-0) yönlendirir. 4. düğüm ve/veya 6. düğüm 5. düğümün verilerini aktarabilmesine rağmen, verilerin böyle bölünmesi ağ ömrünü maksimize etmek için alınabilecek en iyi yönlendirme kararı değildir. $\theta^{NB\bar{Y}}=90$ olduğunda 5. düğümün verileri altı nakil düğümü aracılığıyla baz istasyonuna yönlendirilir (düğüm-1, düğüm-2, düğüm-3, düğüm-7, düğüm-34, ve düğüm-35). Normalize edilmiş ağ ömrü $\theta^{NB\bar{Y}}=90$ için 0,92'dir.

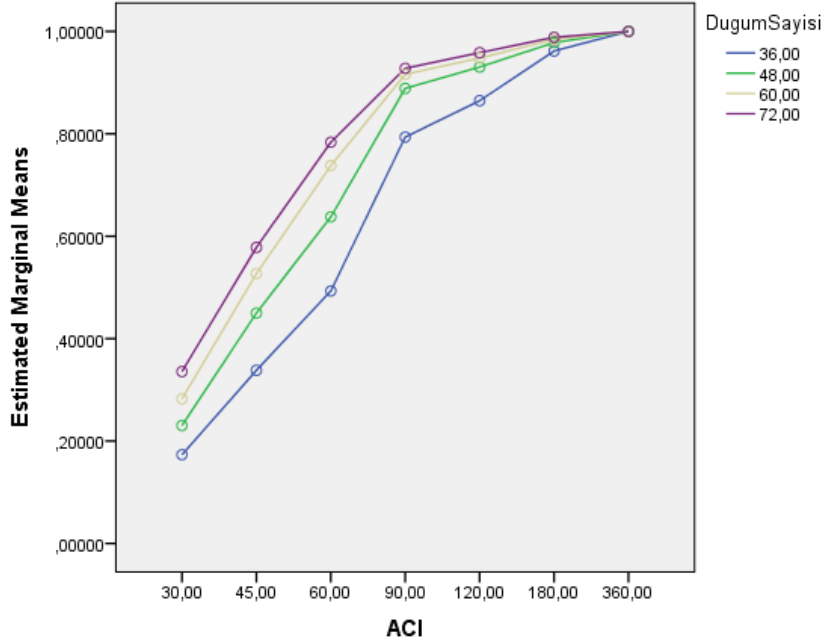
Şekil (6.1- 6.2- 6.3- 6.4- 6.5- 6.6) rotalama alanını sınırlandırma ile ağ ömrünü uzatma arasındaki değiş-tokuşu anlamak için açıklayıcıdır. Yine de, farklı ağ boyutları için parametre uzayını araştırmak gerekir. Dahası, istatistiksel olarak anlamlı sonuçları elde etmek için çok sayıda, gelişigüzel seçilmiş topolojilerin ortalamalarının alınması gereklidir.



Şekil 6.7 : GBY modeli için normalleştirilmiş ağ ömürleri



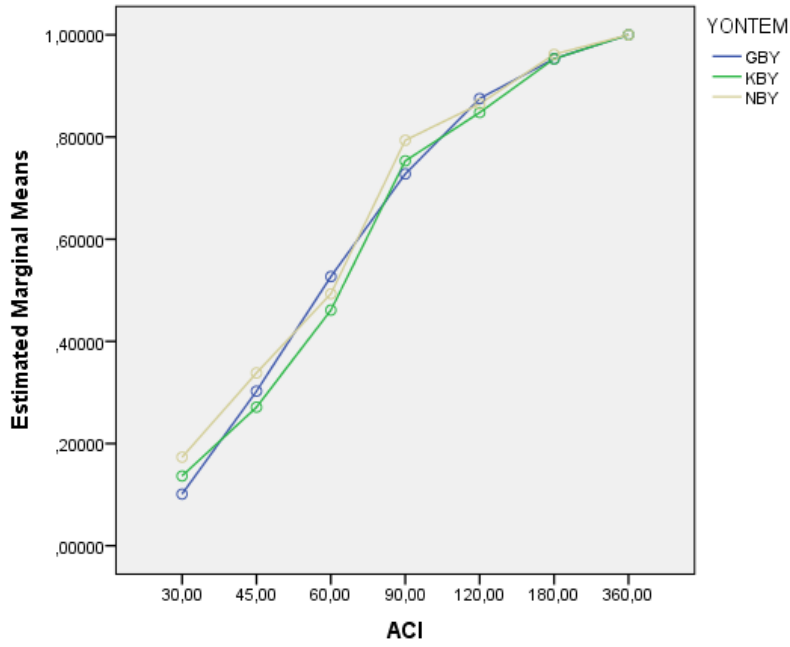
Şekil 6. 8 KBY modeli için normalleştirilmiş ağ ömürleri



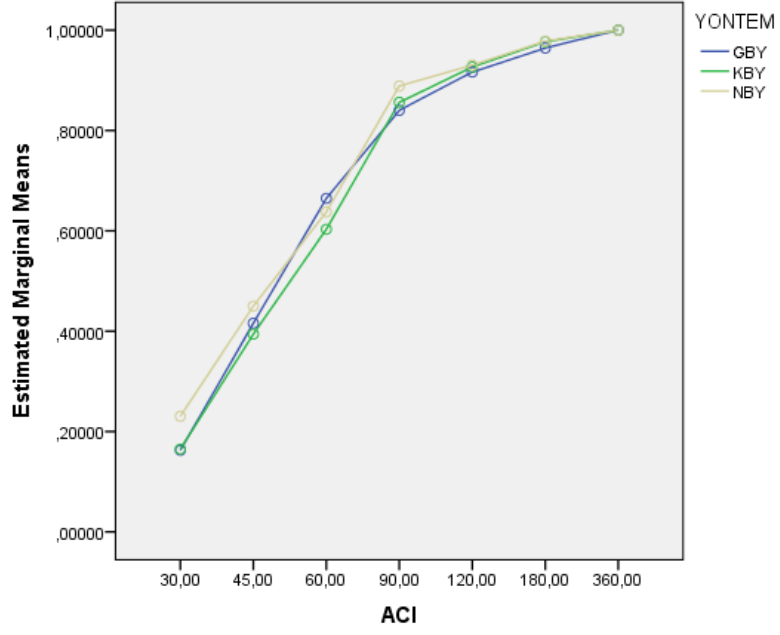
Şekil 6.9 NBY modeli için normalleştirilmiş ağ ömürleri

Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9, normalize edilmiş ağ ömrü θ^{GBY} , θ^{KBY} ve θ^{NBY} sırasıyla $N = 36$, $N = 48$, $N = 60$, ve $N = 72$ fonksiyonu olarak çizilmiştir. Normalleştirme tüm ağ ömrü değerlerinin $\theta^{GBY} = \theta^{KBY} = \theta^{NBY} = 360$ için hesaplanan

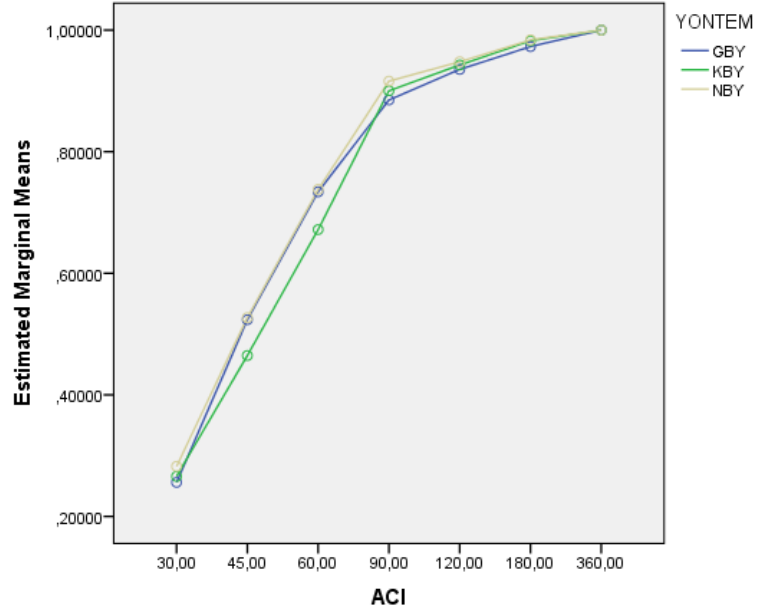
en uzun ağ ömrü değerine bölünmesiyle elde edilir. Tüm yönlendirme rejimleri için, yönlendirme bölgeleri üzerindeki kısıtlamalar rahatlatıldığında ağ ömrü doğrusal bir şekilde artar. Örneğin, normalleştirilmiş ömürler $N=60$ ve $\theta^x=30$ (θ^x tüm stratejiler için merkez açığı belirtir) için 0.26 (GBY), 0.27 (KBY), ve 0.28 (NBY)'dir, $N=60$ ve $\theta^x=120$ için ise normalleştirilmiş ömür süresi 0.93 (GBY), 0.94 (KBY), ve 0.95 (NBY)'dir. Düğüm yoğunluğu arttıkça nakil seçeneklerinde ki artış sebebiyle normalleştirilmiş ömür değerleri genişler. (örneğin KBY da normalleştirilmiş ömür süreleri $\theta^{KBY}=60$ olduğunda $N=36$ için 0.46, $N=72$ için 0.79'dur.



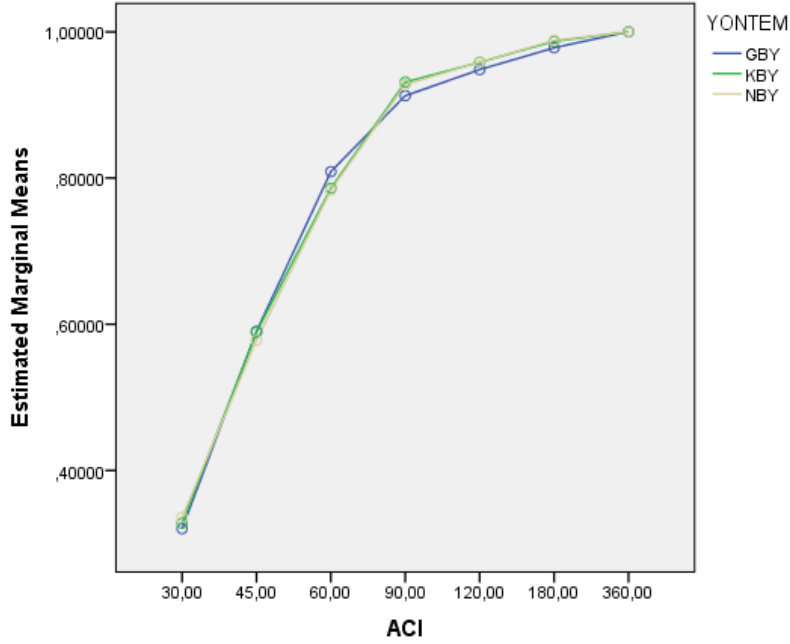
Şekil 6.10: $N=36$ için normalleştirilmiş ağ ömürlerinin θ^x 'in fonksiyonu olarak gösterimi



Şekil 6.11: N=48 için normalleştirilmiş ağ ömürlerinin θ^x 'in fonksiyonu olarak gösterimi



Şekil 6.12: N=60 için normalleştirilmiş ağ ömürlerinin θ^x 'in fonksiyonu olarak gösterimi



Şekil 6.13: N=72 için normalleştirilmiş ağ ömürlerinin θ^x 'in fonksiyonu olarak gösterimi

Şekil (6.10-6.11-6.12-6.13) farklı rejimler ve farklı düğüm yoğunluklarında normalize edilmiş ağ ömürlerini θ^x 'in fonksiyonu olarak gösterir. Bu şeklin ana amacı farklı rejimlerden elde edilen ağ ömründeki farklılıkları göstermektir. Aslında çalışmamızda, katı yönlendirme alanlarını rahatlatmanın ağ ömrünü uzatmada ve enerji kullanımını dengelemede iyileştirmeye sebep olup olduğunu görmek istiyoruz. Bu üç rejim karşılaştırıldığında, genel eğilim aynı parametreler kullanılması halinde NBY ömrünün KBY dan, KBY ömrünün GBY ömründen daha uzun olmasıdır. Daha kısıtlı yönlendirme alanları ve daha seyrek ağ kullanıldığında ağ ömründeki farklılıklar artmaktadır. Örneğin, $\theta^x=30$ ve N=36 için normalleştirilmiş ağ ömürleri GBY da 0.10, KBY da 0.13, ve NBY'da 0.17'dir. Öte yandan, $\theta^x=120$ ve N=60 için GBY, KBY ve NBY'nin normalleştirilmiş ağ ömürleri sırasıyla 0.93, 0.94, ve 0.95'dir. Yine de, farklılıkların boyutu önemli değildir (örneğin ortalama %2'den az)

Doğal olarak betimsel istatistikler vasıtası ile elde ettiğimiz çıkarımlarımız doğrultusunda hipotezlerimizi kurarak sonuçlarımızı istatistiksel testlerle sınavacağız ve çıkarımlarımızın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını göreceğiz. Uyguladığımız testlerde ortalama farklar olarak sonuçlar elde edildiği için SPSS

de kullanılan veri setleri normalleştirilmemiş ağ ömürleridir. Grafikselleştirmelerde özetlendiğinde yöntemler arasında özellikle 90 derecede ve üstünde NBY yönteminin diğer yöntemlere göre ağ ömrü üzerinde bir miktar olumlu yönde etkisinin olduğu görülmektedir. Yani NBY yöntemindeki bu öne çıkma bize yöntemler arasında ağ ömrü açısından fark olduğunu düşündürmektedir.

Yine 90 derece ve üzerindeki açılarda ağ ömrü açısından yüksek oranda fark olmadığı grafikten görülmektedir. Ancak 90'nın altındaki açı derecelerinde ağ ömründe ciddi bir düşüş gözlenmektedir yani ağ ömrü açısından 30, 45, 60, 90 açılarında ciddi bir fark vardır. En çok bölümlendirme 30 derecededir. Dairesel topoloji 30 derecelik 12 parçaya bölünmektedir. Yani bölümlenme sayısı artıp 30 derecelik küçük dilimler oluştuğunda ağ ömründe ciddi bir azalma görülmektedir. Bölümlendirme 90 derece ve üstünde yapıldığında yönlendirme kısıtı bulunmayan 360 derecelik topolojide ulaşılan maksimum ağ ömrüne yaklaşıldığı görülmektedir. Yani 90 derece ve üstündeki açı düzeylerinde bölümlendirme yapıldığında ağ ömründeki kayıp azalmaktadır. Bu değerlendirmeler doğrultusunda istatistiksel testler kısmında açılar ve yöntemler arasında ağ ömrü açısından anlamlı bir fark bulunup bulunmadığını görmek üzere hipotezler sınanmıştır.

Açı ve Yöntemin Ağ Ömrü Üzerindeki Etkisi

Hipotez: Açı ve Yöntem etkileşiminin ağ ömrü üzerine birlikte etkisi yoktur.

Hipotezimizi test etmek için iki yönlü varyans analizi yaptık.

Çizelge 6.1 : Açı ve Yöntem Etkileşimi İçin İki Yönlü Varyans Analizi

Dependent Variable: AG_OMUR

Source	Type I Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	54986673379544 280,000 ^a	21	26184130180735 37,000	347,206	,000
YONTEM * ACI	54986673379544 320,000	21	26184130180735 39,000	347,206	,000
YONTEM	,000	0	.	.	.
ACI	,000	0	.	.	.
Error	47510644884614 5,900	63	7541372203907,0 77		
Total	55461779828390 480,000	84			

a. R Squared = ,991 (Adjusted R Squared = ,989)

Açıklama: $P=0.000<0.05$ olduğundan hipotezimiz red olunmuştur. Yani açı ve yöntemin ağ ömrü üzerinde etkileşimi mevcuttur.

Bu doğrultuda açının ve yöntemlerin ağ ömrü üzerinde etkisini ayrı ayrı incelersek daha detaylı istatistiksel verilere ulaşmak mümkündür.

Yöntemlere Göre Ağ Ömrü

Hipotez: ağ ömrü açısından yöntemler arasında fark yoktur.

Analiz için tek yönlü varyans analizi (one way ANOVA) kullandık

Çizelge 6.2: Yöntemler Arası Fark İçin Tek Yönlü Varyans Analizi

Dependent Variable: AG_OMUR

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6886629157205 ,000 ^a	2	3443314578602 ,500	,039	,962
Intercept	4825440403902 3880,000	1	4825440403902 3880,000	542,825	,000
YONTEM	6886629157203 ,704	2	3443314578601 ,852	,039	,962
Error	7200489160209 362,000	81	8889492790381 9,280		
Total	5546177982839 0480,000	84			
Corrected Total	7207375789366 567,000	83			

a. R Squared = ,001 (Adjusted R Squared = -,024)

Açıklama: P değeri yöntemler için 0.962 çıkmıştır. $P > 0.05$ olduğundan hipotezimiz kabul edilmiştir. Yani yöntemler arasında ağ ömrü açısından fark görülmemektedir. Her ne kadar grafiklerden elde ettiğimiz verilere göre betimsel olarak incelendiğinde NBY yöntemi öne çıkıyor görülse de bu öne çıkma ağ ömrü açısından istatistiksel olarak anlamlı değildir. Sonuç olarak yöntemler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır.

Açıların Ağ Ömrü Üzerindeki Etkisi

Hipotez: Açılar arasında ağ ömrü açısından fark yoktur.

Analiz için tek yönlü varyans analizi (one way ANOVA) kullandık

Çizelge 6.3: Açılar Arası Fark İçin Tek Yönlü Varyans Analizi

Dependent Variable: AG_OMUR

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6712805349776 975,000 ^a	6	1118800891629 495,000	174,187	,000
Intercept	4825440403902 3872,000	1	4825440403902 3872,000	7512,760	,000
ACI	6712805349776 976,000	6	1118800891629 495,000	174,187	,000
Error	4945704395895 92,400	77	6422992721942 ,758		
Total	5546177982839 0480,000	84			
Corrected Total	7207375789366 567,000	83			

a. R Squared = ,931 (Adjusted R Squared = ,926)

Açıklama: P değeri yöntemler için 0.000 çıkmıştır. $P < 0.05$ olduğundan hipotezimiz red edilmiştir. Yani açılar arasında ağ ömrü açısından fark vardır.

Anlaşıldığı üzere iki yönlü varyans analizi ile tespit ettiğimiz açılı ve yöntem etkileşiminin ağ ömrü üzerinde ki etkisi büyük oranda açılar ile bölümlenmeden kaynaklanmaktadır.

Açılar arasındaki ağ ömrü açısından çıkan bu farkın hangi açılar arasında olduğunu test etmek için analizimize post hoc testleriyle devam ettik ve post hoc testlerinden tukey testini seçtik.

Çizelge 6.4: Açılar İçin İkili Karşılaştırmalar

Dependent Variable: AG_OMUR

Tukey HSD

(I) ACI	(J) ACI	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
30,00	45,00	-7373028,60350 [*]	1034649,11298	,000	-10505596,2025	-4240461,0045
	60,00	-14129964,28517 [*]	1034649,11298	,000	-17262531,8842	-10997396,6862
	90,00	-20768143,84600 [*]	1034649,11298	,000	-23900711,4450	-17635576,2470
	120,00	-22736164,20933 [*]	1034649,11298	,000	-25868731,8083	-19603596,6103
	180,00	-24453224,84350 [*]	1034649,11298	,000	-27585792,4425	-21320657,2445
	360,00	-25328555,32433 [*]	1034649,11298	,000	-28461122,9233	-22195987,7253
	45,00	7373028,60350 [*]	1034649,11298	,000	4240461,0045	10505596,2025
	60,00	6756935,68167 [*]	1034649,11298	,000	-9889503,2807	-3624368,0827
45,00	30,00	7373028,60350 [*]	1034649,11298	,000	4240461,0045	10505596,2025
	60,00	6756935,68167 [*]	1034649,11298	,000	-9889503,2807	-3624368,0827
	90,00	13395115,24250 [*]	1034649,11298	,000	-16527682,8415	-10262547,6435
	120,00	15363135,60583 [*]	1034649,11298	,000	-18495703,2048	-12230568,0068
	180,00	17080196,24000 [*]	1034649,11298	,000	-20212763,8390	-13947628,6410
	360,00	17955526,72083 [*]	1034649,11298	,000	-21088094,3198	-14822959,1218
	30,00	-7373028,60350 [*]	1034649,11298	,000	-10505596,2025	-4240461,0045
	60,00	-14129964,28517 [*]	1034649,11298	,000	-17262531,8842	-10997396,6862

60,00	30,00	14129964,2851 7*	1034649,11298	,000	10997396,6862	17262531,8842
	45,00	6756935,68167*	1034649,11298	,000	3624368,0827	9889503,2807
	90,00	- 6638179,56083*	1034649,11298	,000	-9770747,1598	-3505611,9618
	120,00	- 8606199,92417*	1034649,11298	,000	-11738767,5232	-5473632,3252
	180,00	- 10323260,5583 3*	1034649,11298	,000	-13455828,1573	-7190692,9593
	360,00	- 11198591,0391 7*	1034649,11298	,000	-14331158,6382	-8066023,4402
90,00	30,00	20768143,8460 0*	1034649,11298	,000	17635576,2470	23900711,4450
	45,00	13395115,2425 0*	1034649,11298	,000	10262547,6435	16527682,8415
	60,00	6638179,56083*	1034649,11298	,000	3505611,9618	9770747,1598
	120,00	-1968020,36333	1034649,11298	,485	-5100587,9623	1164547,2357
	180,00	- 3685080,99750*	1034649,11298	,011	-6817648,5965	-552513,3985
	360,00	- 4560411,47833*	1034649,11298	,001	-7692979,0773	-1427843,8793
120,00	30,00	22736164,2093 3*	1034649,11298	,000	19603596,6103	25868731,8083
	45,00	15363135,6058 3*	1034649,11298	,000	12230568,0068	18495703,2048
	60,00	8606199,92417*	1034649,11298	,000	5473632,3252	11738767,5232
	90,00	1968020,36333	1034649,11298	,485	-1164547,2357	5100587,9623
	180,00	-1717060,63417	1034649,11298	,645	-4849628,2332	1415506,9648
	360,00	-2592391,11500	1034649,11298	,172	-5724958,7140	540176,4840
180,00	30,00	24453224,8435 0*	1034649,11298	,000	21320657,2445	27585792,4425
	45,00	17080196,2400 0*	1034649,11298	,000	13947628,6410	20212763,8390
	60,00	10323260,5583 3*	1034649,11298	,000	7190692,9593	13455828,1573
	90,00	3685080,99750*	1034649,11298	,011	552513,3985	6817648,5965
	120,00	1717060,63417	1034649,11298	,645	-1415506,9648	4849628,2332

	360,00	-875330,48083	1034649,11298	,979	-4007898,0798	2257237,1182
360,00	30,00	25328555,3243 3*	1034649,11298	,000	22195987,7253	28461122,9233
	45,00	17955526,7208 3*	1034649,11298	,000	14822959,1218	21088094,3198
	60,00	11198591,0391 7*	1034649,11298	,000	8066023,4402	14331158,6382
	90,00	4560411,47833*	1034649,11298	,001	1427843,8793	7692979,0773
	120,00	2592391,11500	1034649,11298	,172	-540176,4840	5724958,7140
	180,00	875330,48083	1034649,11298	,979	-2257237,1182	4007898,0798

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Açılar arasındaki çoklu karşılaştırmalar incelendiğinde şekillerde seçili p değerleri doğrultusunda:

- 90 derece 120 derece arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.
- 120 ve 180 derece arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.
- 120 ve 360 derece arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.
- 180 ve 360 derece arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.
- Diğer gruplardaki ikili karşılaştırmalarda p değerleri 0.05 den küçük olduğu için hipotezimiz kabul edilmiştir. 30 derece ile 45-60-90-120-180-360 derece arasında ağ ömrü açısından fark vardır. 45 derece ile 30-60-90-120-180-360 dereceli açılar arasında ağ ömrü açısından fark vardır. 60 derece ile 30-45-90-120-180-360 dereceli açılar arasında ağ ömrü açısından fark vardır. 90 derece ile 30-45-60-180-360 dereceli açılar arasında ağ ömrü açısından fark vardır.
- 120 derece ile 30-45-60 arasında ağ ömrü açısından fark vardır. 180 derece ile 30-45-60-90 arasında ağ ömrü açısından fark vardır. 360 derece ile 30-45-60-90 arasında ağ ömrü açısından fark vardır.

7. SONUÇLAR

Birçok alanda uygulama imkânına sahip olan kablosuz algılayıcı ağlar çok büyük ağ topolojilerine sahip olabilmektedirler, ağda bulunan çok fazla miktardaki düğüm ciddi boyutta yönlendirme yükü gibi ölçeklenebilirliği ön plana çıkaran sorunlara yol açmaktadır.

KAA üzerinde enerji tasarruflu ve ölçeklenebilir kablosuz algılayıcı ağ protokollerinin hazırlanması öncelikli konulardandır. Geniş alan ağ yerleştirmelerinde, çoktan bire iletişimin ihtiyaçlarına göre oluşturulmuş yönlendirme protokollerinin ölçeklenebilirliği göz önünde olan bir konudur. Geleneksel olarak, ölçeklenebilirlik problemi yerleştirilmiş yönlendirme yöntemiyle çözülebilir. Ancak yerleştirmede ağ alt bölümlere ayrılmaktadır ve düğümler sadece bu bölümlerin içindeki yönlendirme yollarını kullanabilmektedirler. Dolayısı ile ağ geneli ile bilgi alışverişi yapılamadığından yerleştirme yetersiz yönlendirme yollarına sebep olabilir. Maalesef böyle bir durum düğümlerin işbirliği yaparak ağ ömrünü uzatma çabasına ket vurabilir ve KAA uygulamalarında kritik öneme sahip ağ ömrü üzerinde negatif etki yaratabilir.

Bu tezde, hem KAA' ların enerji tüketim karakteristiği hem de enerjinin dengeli kullanımını için akış optimizasyonunu modelleyen yeni bir KTP çerçevesi sunduk. Bu çerçeveyi kullanarak, Üç yerleştirilmiş rejimle (GBY, KBY ve NBY) ağ ömrünün maksimizasyonu ile ölçeklenebilirlik için akım yerleştirilmesi arasındaki ödünleşmeyi değerlendirdik. Bizim sonuçlarımız başarılabılır maksimum ağ ömründen taviz vermeden herhangi bir yerleştirme seviyesine erişmenin mümkün olmadığını gösterdi. Ancak bazı KAA uygulamalarında (ör: çok geniş ve kalabalık topolojilerde) ölçekleme ihtiyacı da kaçınılmaz bir gerçektir. Ağ ömründeki düşmenin tolere edilebilir bir noktada olması durumunda, yerleştirme uygulanabilir bir seçenek olur.

İstatiksel testlerde de gördüğümüz gibi ağ ömrü açısından 120 derece ile 360 derece arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır.120 derecelik

bölümlendirmelerde ideal ağ ömrüne yaklaşılmaktadır. Elde ettiğimiz sonuçlar doğrultusunda görüyoruz bir miktar ağ ömrü ve bir miktarda yerelleştirmeden taviz vererek ölçeklenebilir bir ağa ulaşılabilir. Örneğin ağın 120 derecede 3 parçaya bölünmesi ile yönlendirme yükü bir miktar hafifletilirken ağ ömründeki $\theta^{NBY} = 120$ için %4 lik küçük bir kayıpta tolere edilebilir olabilir. Ayrıca $\theta^{NBY} = 90$ de bu kayıp %7 iken $\theta^{NBY} = 180$ de %1 düzeyine gelmektedir. Kalabalık ağlarda düğümlerin yönlendirme tablolarında yaşanacak şişme ve doğrultusundaki işlem yükünü belli ölçülerde azaltacak bir yerelleştirme ağ ömrü açısından bu kabul edilebilir düzeylerde yapılabilir.

Her ne kadar betimsel olarak yöntemler arasında bir fark gözlemlese de istatistiksel olarak yöntemler arasında anlamlı bir fark yoktur. Açık ve yöntem etkileşiminin ağ ömrü üzerindeki etkisinin asıl sebebi açılarla ile yapılan bölümlenmelerdir.

KAYNAKLAR

- [1] A Akyildiz, I.F. Su, W. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, “A survey on algılayıcı Networks”, IEEE Communications Magazine, vol.40, no.8 , 102-114, 2002.
- [2] W. Dargie and C. Poellabauer, Fundamentals of Wireless Algılayıcı Networks: Theory and Practice. Wireless Communications and Mobile Computing, Wiley, 2010.
- [3] Alaybeyođlu, A., Kantarcı, A., Erciyes, K., “Telsiz Duyarga Ağlarında Hedef İzleme Senaryoları”, Akademik Bilişim 2009 konferansı, Bildiri No: 69, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 11 - 13 Şubat 2009.
- [4] Akyildiz, I. F. Su, W. Sankarasubramaniam, Y. Cayirci, E. Wireless algılayıcı network: a survey, Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, 51(4), 393-422, 2002.
- [5] Wang, Q., Hassanein, H., Xu, K.,; Handbook of Algılayıcı Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems: “A Practical Perspective on Wireless Algılayıcı Networks” , 2005.
- [6] E.M. Petriu, N.D. Georganas, D.C. Petriu, D. Makrakis, V.Z. Groza, Algılayıcı-based information appliances, IEEE Instrumentation and Measurement Magazine, 31–35, 2000.
- [7] K. Akkaya and M. Younis, “A survey on routing protocols for wireless algılayıcı networks,” Ad Hoc Networks, vol. 3, 325–349, 2005.
- [8] Yıldırım, K.S., Kalaycı, T.E., Uđur, A., “Optimizing Coverage in a K-Covered and Connected Algılayıcı Network Using Genetic Algorithms”, 9th WSEAS International Conference on EVOLUTIONARY COMPUTING (EC’08), Sofia, Bulgaria, May 2-4, 2008.
- [9] Magnus Frodigh, Per Johansson and Peter Larsson, Wireless ad hoc networking—The art of networking without a network, 248, 2000
- [10] Slijepcevic S., Wong J. L., Potkonjak M., , Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems: “Security and Privacy Protection in Wireless Algılayıcı Networks”, CRC Press, 2005.
- [11] Shi E., Perrig A., “Designing Secure Algılayıcı Networks”, IEEE Wireless Communications, 38-43, 2004.

- [12] Perrig A., Szewczyk R., Wen V., Culler D., Tygar J. D., “SPINS Security Protocols for Algılayıcı Networks”, 8th Mobile Computing and Networking Conference, 189-199, Rome, Italy, 2001
- [13] <http://en.wikipedia.org/wiki/Scalability> erişim tarihi: 10 Haziran 2014
- [14] C. Santivanez, B. McDonald, I. Stavrakakis, and R. Ramanathan, “On the scalability of ad hoc routing protocols,” IEEE INFOCOM, 2002.
- [15] E. Shih, S. Cho, N. Ickes, R. Min, A. Sinha, A. Wang, A. Chandrakasan, Physical layer driven protocol and algorithm design for energy-efficient wireless sensor networks, Proceedings of ACM MobiCom’01, Rome, Italy, 272–286, 2001.
- [16] Jakob Eriksson, Michalis Faloutsos, Srikanth Krishnamurthy Routing Scalability in MANETs
- [17] Chinneck J. W., Practical Optimization: a Gentle Introduction, <http://www.sce.carleton.ca/faculty/chinneck/po.html> , Ottawa, Ontario, Canada, 2000
- [18] Sucu M., Doğrusal Programlama, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 1996
- [19] Öztürk A. “Yöneylem Araştırması”, Tam Sayılı Doğrusal Programlama Algoritması, Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa, 2001.
- [20] Incebacak, D."Optimal number of routing paths in multi-path routing to minimize energy consumption in wireless algılayıcı networks." EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 252, 2013.
- [21] F Theoleyre, B Darties, Capacity and energy-consumption optimization for the cluster-tree topology in IEEE 802.15.4. IEEE Commun. Lett. 15, 816–818, 2011.
- [22] C Prommak, S Modhirun, Optimal wireless algılayıcı network design for efficient energy utilization, in Proc. IEEE Workshops of International Conference on Advanced Information Networking and Applications (WAINA), 814–819, 2011.
- [23] Kantarci M. E. HT Mouftah, Mission-aware placement of RF-based power transmitters in wireless algılayıcı networks, in Proc. IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), 12–17, 2012.
- [24] DH Tran, DS Kim, Minimum latency and energy efficiency routing with lossy link awareness in wireless algılayıcı networks, in Proc. IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS), 75–78, 2012.
- [25] E. Uzun, A. Aksaç, O. Öztürk, H. E. Kızılöz, D. Incebacak, B. Tavlı, K. Bıçakcı, Network Lifetime Maximization and Localized Routing Tradeoff in Wireless Sensor Networks, 2013.

- [26] M. Schuts, F. Zhu, F. Heidarian, and F. W. Vaandrager, "Modelling clock synchronization in the Chess gMAC WSN protocol," in Proc. QFM, vol. 13, 41–54, 2009.
- [27] B. Sundararaman, U. Buy, and A. D. Kshemkalyani, "Clock synchronization for wireless sensor networks: a survey," Ad Hoc Networks, vol. 3, 7281–323, 2005.
- [28] S. Ganeriwal, R. Kumar, and M. B. Srivastava, "Timing-sync protocol for sensor networks," in Proc. SenSys, 138–149, 2003.
- [29] K. Bilinska, M. Filo, and R. Krystowski. Mica2, MicaZ. [Online]. Available: <http://wwwpub.zih.tudresden.de/dargie/wsn/slides/students/MICA.ppt>, 2007.
- [30] M. Saxena, P. Gupta, and B. N. Jain, "Experimental analysis of rssibased location estimation in wireless sensor networks," in Proc. COMSWARE, 503–510, 2008.
- [31] J. Vales-Alonso, E. Egea-Lopez, A. Martinez-Sala, P. Pavon-Marino, M. V. Bueno-Delgado, and J. Garcia-Haro, "Performance evaluation of MAC transmission power control in wireless sensor networks," Computer Networks, vol. 51, 1483–1498, 2007.
- [32] M. Rahimi, R. Baer, O. Iroezi, J. Garcia, J. Warrior, D. Estrin, and M. Srivastava, "Cyclops: in situ image sensing and interpretation in wireless sensor networks," in Proc. SenSys, 192–204, 2005.
- [33] L. L. Peterson and B. S. Davie, Computer Networks - A Systems Approach (3rd Edition). Morgan Kaufmann, 2003.
- [34] D. F. Macedo, L. H. A. Correia, A. L. dos Santos, A. A. F. Loureiro, J. M. S. Nogueira, and G. Pujolle, "A comprehensive evaluation of transmission power control on mobile ad hoc networks," Computer Science Department of the Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil, Tech. Rep. RT.DCC.003, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Soyadı, Adı :EVMEZ, AYTEN
Uyruğu :T.C
Doğum tarihi ve yeri :19.03.1980 ANKARA
Medeni hali :Evli
Telefon :
Faks: :
e-mail :aevmez@etu.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Y.Lisans	TOBB ETÜ Bilgisayar Müh.	2015
Lisans	Hacettepe Üniversitesi İstatistik	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2008	Başbakanlık ÖZİDA	Sistem Programcısı
2008-	Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı	Çözümleyici

Yabancı Dil

İngilizce(İyi)