

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARINDA VERİ BENZERLİĞİNİN YAŞAM  
SÜRESİNE ETKİLERİNİN DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE  
İNCELENMESİ**

**HAKAN EZGİ KIZILÖZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**

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

**TEMMUZ 2010**

**ANKARA**

Fen Bilimleri Enstitü onayı

---

Prof. Dr. Ünver KAYNAK

Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

---

Doç. Dr. Erdoğan Doğdu

Anabilim Dalı Başkanı

Hakan Ezgi KIZILÖZ tarafından hazırlanan KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARINDA VERİ BENZERLİĞİNİN YAŞAM SÜRESİNE ETKİLERİNİN DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

---

Doç. Dr. Bülent Tavlı

Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Mehmet Ali GÜLER

Üye : Yrd. Doç. Dr. Tansel ÖZYER

Üye : Doç. Dr. Bülent TAVLI

## 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.

.....

Hakan Ezgi Kızılöz

**Üniversitesi** : TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
**Enstitüsü** : Fen Bilimleri  
**Anabilim Dalı** : Bilgisayar Mühendisliği  
**Tez Danışmanı** : Doç. Dr. Bülent Tavlı  
**Tez Türü ve Tarihi** : Yüksek Lisans – Temmuz 2010

**Hakan Ezgi Kızılöz**

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARINDA VERİ BENZERLİĞİNİN YAŞAM  
SÜRESİNE ETKİLERİNİN DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE  
İNCELENMESİ**

**ÖZET**

Elektronikteki gelişmeler, ucuz kablosuz algılayıcıların üretilmesine izin verirken bu da kablosuz algılayıcı ağların kullanıldığı uygulamaların artmasını beraberinde getirmiştir. Algılayıcıların yaygın kullanılmasına etken olan en önemli özellikleri altyapısız, erişimden uzak ve farklı koşullar altında çalışabilmeleridir. Ancak bu özellikler sebebiyle algılayıcıların enerji kısıtlamaları kablosuz algılayıcı ağların planlama ve kullanımında önemli bir yer tutmaktadır. Algılayıcıların enerjisini en iyi şekilde kullanmak ve ağ ömrünü eniyilemek için çeşitli protokoller ve yönlendirme algoritmaları geliştirilmiştir. Algılayıcıların enerjilerini uzun süre kullanabilmeleri için ağ içindeki trafiği dengeli bir şekilde yönlendirmek önemlidir. Kablosuz algılayıcı ağlarda yaşam süresini uzatma problemi bir eniyileme problemi olup eniyileme problemlerinin çözümünde doğrusal programlama kullanımı yaygındır. Bu tez çalışmasında da kablosuz algılayıcı ağının yaşam süresini eniyilemek için doğrusal programlama modelleri kurulmuş, ayrıca algılayıcıların topladıkları veriler arasında olabilecek korelasyon durumu da doğrusal programlama içerisine katılmıştır. Yapılan testler sonucunda kullanılan modelin sadece akış eniyilemesi yapılan sistemlerden daha uzun bir ağ ömrü sağladığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kablosuz algılayıcı ağlar, Algılayıcı ömrü, Doğrusal programlama, Korelasyon, Yönlendirme.

**University** : TOBB University of Economics and Technology  
**Institute** : Institute of Natural and Applied Sciences  
**Science Programme** : Computer Engineering  
**Supervisor** : Assoc. Prof. Bülent Tavlı  
**Degree Awarded and Date** : M. Sc. – July 2010

**Hakan Ezgi KIZILÖZ**

**INVESTIGATION OF THE INTERPLAY BETWEEN DATA  
CORRELATION AND LIFETIME IN WIRELESS SENSOR NETWORKS  
THROUGH LINEAR PROGRAMMING**

**ABSTRACT**

The application of wireless sensor networks increased due to the production of inexpensive wireless sensors with the advances at the electronics. Sensors became to be widely used because they can operate at remote places under different conditions without having an infrastructure. On the other hand, power constraints of the sensors is a very important aspect at the design and applications of wireless sensor networks also because of these features. There are some routing algorithms and protocols that are developed for the optimization of network lifetime and effective usage of energy at the sensors. It is important to route the traffic through the network and split equally between sensors for achieving longer sensor lifetimes. Maintaining longer wireless sensor lifetime is an optimization problem and linear programming is widely used as a solution of the optimization problems. Hence, linear programming is used in this study for lifetime optimization of wireless sensor networks considering correlation between data produced from sensors. Simulation results show that, linear programming provides better lifetimes compared to the systems that only use flow optimization strategies when correlation is considered.

**Key Words:** Wireless Sensor Networks, Sensor Lifetime, Linear programming, Correlation, Routing.

## **TEŐEKKÖR**

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren çok değerli hocam Bülent TAVLI'ya, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, desteklerini esirgemeyen asistan arkadaşlarıma ve bana verdikleri manevi destekten dolayı ailem ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR.....	xii
SEMBOL LİSTESİ.....	xiii
Simgeler Açıklama .....	xiii
BÖLÜM 1 .....	1
1. GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR .....	3
2.1. KAA'ların Yapısı.....	3
2.2. KAA Tasarım Kısıtları.....	5
2.3. KAA'ların kullanım alanları .....	7
2.4. KAA'larda Yaşam Ömrü .....	8
BÖLÜM 3 .....	13
3. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA (LP).....	13
3.1. Doğrusal Programlama Modeli.....	14
3.2. Standart Maksimum Problemi .....	21
3.3. Standart Minimum Problemi.....	21
3.4. Kullanılan Doğrusal Programlama Modeli .....	22
BÖLÜM 4.....	24
4. KABLOSUZ AĞLARDA YAŞAM SÜRESİ EN İYİLEMESİ .....	24

4.1.	Kablosuz Ağlarda Aktif Nokta Problemi .....	24
4.2.	Akış Eniyilemesi .....	26
4.3.	Enerji Modeli .....	27
4.4.	Modelde Kullanılan Veriler .....	27
4.5.	İncelenen Veri Benzeşim Durumları.....	28
4.5.1.	SK (Sıfır Korelasyon) .....	29
4.5.2.	TKTK (Tek Kaynak Tam Korelasyon).....	30
4.5.3.	ÇKÇKn (Çok Kaynak Çakışmayan Korelasyon).....	32
4.5.4.	ÇKÇKp (Çok Kaynak Çakışan Korelasyon).....	33
BÖLÜM 5 .....		35
5.	NÜMERİK ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELER .....	35
5.1.	Doğrusal Topolojide İncelemeler.....	35
5.2.	Dairesel Topolojide İncelemeler .....	43
BÖLÜM 6 .....		50
6.	SONUÇLAR.....	50
KAYNAKLAR .....		52
ÖZGEÇMİŞ .....		55



## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1 TKTK modelinde üretilen bilgilerin algılayıcılara dağılımı.....	37

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Bir algılayıcı düğümün şeması.....	4
Şekil 3.1. Doğrusal programlama probleminin grafiksel çözümü.....	20
Şekil 4.1. KAA'larda tek atlamalı iletim akış şeması.....	25
Şekil 4.2. KAA'larda çok atlamalı iletim akış şeması.....	25
Şekil 4.3. Doğrusal Topoloji.....	28
Şekil 4.4. Basit bir KAA topolojisi.....	29
Şekil 4.5. TKTK modeli için düğümlerin akış şeması.....	31
Şekil 4.6. ÇKÇKn modeli için düğümlerin akış şeması.....	33
Şekil 4.7. ÇKÇKp modeli için düğümlerin akış şeması.....	34
Şekil 5.1. Doğrusal topolojide TKTK ve SK modellerinin yaşam süreleri.....	36
Şekil 5.2. Doğrusal topolojide TKTK, ÇKÇKp, ÇKÇKn ve SK modellerinin yaşam süreleri.....	38
Şekil 5.3. Doğrusal topolojide ÇKÇKn'de değişen korelasyon yarıçapının yaşam süresine etkisi.....	39
Şekil 5.4. Doğrusal topolojide 10 tane sanal kaynağa sahip ağda korelasyon yarıçapı değişiminin yaşam süresine etkisi.....	40
Şekil 5.5. Doğrusal topolojide 128 tane sanal kaynağa sahip ağda korelasyon yarıçapı değişiminin yaşam süresine etkisi.....	41
Şekil 5.6. Doğrusal topolojide sanal kaynak ve korelasyon yarıçapı değişimlerinin yaşam süresine etkisi.....	42
Şekil 5.7. Dairesel topolojide TKTK, ÇKÇKp_low, ÇKÇKp_high ve SK modellerinin yaşam süreleri.....	44
Şekil 5.8. Dairesel topolojide 10 tane sanal kaynağa sahip ağda korelasyon yarıçapı değişiminin yaşam süresine etkisi.....	45
Şekil 5.9. Dairesel topolojide 128 tane sanal kaynağa sahip ağda korelasyon yarıçapı değişiminin yaşam süresine etkisi.....	45
Şekil 5.10. Dairesel topolojide sanal kaynak ve korelasyon yarıçapı değişimlerinin yaşam süresine etkisi.....	46

Şekil 5.11. Dairesel topolojide algılayıcı düğüm başına düşen alan 1000 m<sup>2</sup> iken sanal kaynak ve korelasyon yarıçapı değişimlerinin yaşam süresine etkisi.....48

Şekil 5.12. Etki alanları Voronoi diyagramları ile sınırlandırılan sanal kaynaklara sahip dairesele topolojili ağlarda sanal kaynak değişiminin yaşam süresine etkisi....48

## KISALTMALAR

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>KAA</b>	Kablosuz Algılayıcı Ağlar – Wireless Sensor Networks
<b>GTA</b>	Gezgin Tasarısız Ağlar – Wireless Ad hoc Networks
<b>LP</b>	Doğrusal Programlama – Linear Programming
<b>TKTK</b>	Tek Kaynak Tam Korelasyon – Single Source Full Correlation
<b>ÇKÇKp</b>	Çok Kaynak Çakışan Korelasyon – Multi Source Overlapping Correlation
<b>ÇKÇKn</b>	Çok Kaynak Çakışmayan Korelasyon – Multi Source Non-Overlapping Correlation
<b>SK</b>	Sıfır Korelasyon – Zero Correlation

## SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler Açıklama

$P_{tx,ij}$	i düğümünden j düğümüne 1 bit veri iletimi için harcanan enerji
$P_{rx}$	1 bit veri almak için harcanan enerji
$\rho$	algılayıcı düğümünün elektronik donanımında harcanan enerji
$\varepsilon$	alıcı-vericinin verimlilik faktörü
$\alpha$	yol kayıp faktörü
$d_{ij}$	i düğümü ve j düğümü arasındaki mesafe
$f_{ij}$	i düğümünden j düğümüne sıkıştırılmamış veri akışı
$h_{ki}$	k sanal kaynağından i düğümüne veri akışı
$h_k$	k sanal kaynağı
$s_k$	birim zamanda k sanal kaynağında üretilen bit sayısı
$e_i$	i düğümünün enerjisi

## BÖLÜM 1

### 1. GİRİŞ

70'li yılların sonu ile 80'li yılların başında ilk olarak ortaya çıkan kablosuz algılayıcı ağlar fikri zamanın kısıtlı imkanlarından dolayı tutunamamıştır. O zamanlar bir kamyonet kasasına ancak sığacak kadar büyük olan algılayıcıların taşınması, bakımı ve gizlenmesi gibi önemli özelliklerin sağlanması kolay değildi. 90 lı yılların sonunda mikro elektro-mekanik sistemlerdeki gelişmeler ve kablosuz haberleşme sistemlerindeki ilerlemelerle birlikte önemli bir araştırma alanı haline gelmeye başlamıştır. İlk zamanlarda askeri alanda kullanılan kablosuz algılayıcı ağları; zamanla maliyetlerinin düşmesi, gelişen algılayıcı teknolojisi ve algılayıcı kabiliyetlerinin artmasıyla çok yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. [3]

Kablosuz algılayıcı ağlar (KAA) fiziksel bir olayı izleyen çok sayıda algılayıcıdan oluşurlar. Algılayıcı düğümler veri işleme, veri toplama ve veri iletme görevlerini yerine getirmek zorundayken kısıtlı kaynaklara sahiptir. Topladıkları verileri kablosuz iletişim kullanarak baz istasyonuna iletirler. En önemli özelliklerinden birisi yerleştirildikleri alanda herhangi bir altyapı bulunma zorunluluğunun olmamasıdır. Bu yüzden ulaşılması veya bulunulması çok zor olan yerlerde oldukça kullanışlıdır. Ancak bu özellik aynı zamanda bakım ve onarımı da zor kılıp, en zayıf kaldığı noktadır. Bu yüzden sahip olunan enerjinin verimli bir şekilde kullanılması, kablosuz algılayıcı ağların işleminde önemli bir yer tutar. Kablosuz algılayıcı ağlar tasarlanırken hataya toleranslı, kendi kendine organize olabilen ve enerjisini ağ içinde dengeli bir şekilde kullanabilecek şekilde tasarlanmalıdır.

Bu tez çalışması kapsamında kablosuz algılayıcı ağların yaşam sürelerinin en iyi seviyelere ulaşmasına çalışılmıştır. Kablosuz algılayıcı ağların veri alımı ve gönderimi incelenmiş, matematiksel olarak modellenmiş ve doğrusal programlama

kullanılarak veri alışverişleri, dolayısı ile yaşam süreleri en üst seviyeye çıkarılmaya çalışılmıştır. Ağın içinde veri trafiğinin dengeli bir şekilde dağılması sağlanarak algılayıcı düğümlerin enerjilerini uzun zamanda tüketmesi sağlanmıştır. Kablosuz algılayıcı ağda akış eniyilemesi ile beraber algılayıcıların topladıkları veriler arasında korelasyon olması durumunun ağ ömrü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Toplanan verilerdeki korelasyon durumlarının farklı çeşitlerinin ağ ömrü üzerindeki etkileri incelenmiş ve karşılaştırılmaları yapılmıştır. Bu amaçla MATLAB ve GAMS kullanılarak nümerik analizler yapılmıştır. Farklı ağ büyüklükleri ve farklı ağ topolojileri de nümerik yöntemle incelenmiştir.

Kablosuz algılayıcı ağlarda algılayıcılar, enerjiyi en çok veri gönderirken ve veri alırken harcarlar. Bu sebeple, haberleşme için harcanan enerjinin eniyilemesi ağ ömrünü belirgin şekilde uzatacaktır. Birbirine yakın yerleştirilmiş olan algılayıcıların benzer verileri toplayacakları tahmin edilebilir bir gerçektir. Bu çalışmada algılayıcılar tarafından toplanmış olan benzer verilerin tekrar tekrar baz istasyonuna gönderilmediği durum doğrusal programlama ile modellenmiş, böylece gereksiz haberleşme yapılmayarak harcanan enerji eniyilemeye çalışılmıştır. Ayrıca baz istasyonuna gönderilen bilgiler de ağın trafiğini eniyileyecek şekilde baza iletilmektedirler. Bu çalışmada algılayıcıların hem eşit aralıklarla doğrusal bir şekilde yerleştirildiği durum hem de bir daire içerisine rastgele dağıtılmış olduğu durum farklı ölçütler içerisinde ayrı ayrı incelenmiştir.

Bölüm 2’de kablosuz algılayıcı ağların yapısı, kullanım alanları, kablosuz algılayıcı ağ tasarımını etkileyen faktörler ve literatürde kablosuz algılayıcı ağlarla ilgili çalışmalar verilmiştir. Bölüm 3’te doğrusal programlama anlatılmış, bölüm 4’te geliştirilen doğrusal programlama ve korelasyon modelleri açıklanmıştır. Bölüm 5’te elde edilen sonuçlar sunulmuş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Bölüm 6’da ise çalışmanın sonuçları değerlendirilmiştir.

## BÖLÜM 2

### 2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR

#### 2.1. KAA'ların Yapısı

Kablosuz iletişimde ve elektronikte ilerleme ile birlikte oldukça az enerji harcayan, ucuz ve fonksiyonel kablosuz algılayıcı düğümleri üretilmeye başlanmıştır. Algılayıcı düğümler fiziksel olayların takip edilmesini ve incelenmesini veri toplama, veri işleme ve haberleşme gibi görevleri yerine getirerek mümkün kılmaktadırlar. Algılayıcı düğümler sayesinde belirli bir alandaki sıcaklık, basınç, nem, hareket gibi veriler toplanabilmektedir. Farklı ortam ve alanlara dağılabilen ve fiziksel olayları gözlemleyen birçok algılayıcı düğümü, kablosuz algılayıcı ağlar kavramını oluşturmaktadır [3]. KAA kablosuz olarak haberleşen yüzlerce algılayıcı düğümün, fiziksel bir olayı gözlemlemek amacıyla belirli bir alana yayılması ile oluşur. KAA'ların çalışabilmesi için belirli bir alt yapı ya da topoloji yoktur; algılayıcı düğümler rastgele olarak yerleştirilmektedir. Bu yüzden KAA'lar farklı alanlarda ve değişik koşullarda çalışabilmeli ve kendi ağlarını organize edebilmelidirler.

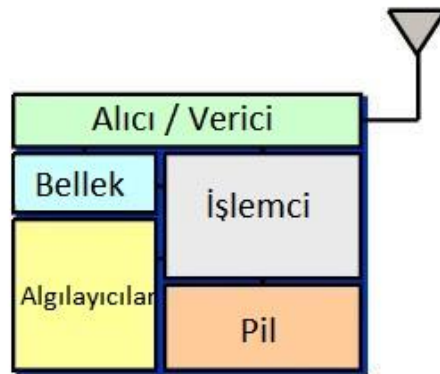
KAA'larla ilgili çalışmalar 1970 li yılların sonunda askeri uygulamalarla başlamış ve gelişen teknoloji ile günümüze kadar gelmiştir. KAA'larda elde edilen sonuçlar, birçok askeri ve sivil uygulamanın geliştirilmesini sağlamıştır [4]. Günümüzde KAA; güvenlik, yangın alarm sistemleri, trafik kontrolü, izleme ve kayıt, arazi keşfi, doğal yaşamın gözlenmesi, vb. birçok alanda kullanılmaktadır [5]. Özellikle askeri alanda kolay yerleştirilme, kendi kendine organize olabilme ve hata toleransı sayesinde KAA'lar haberleşme, haber alma, keşif, hedef alma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.



KAA'ların sağladığı yarar ve kolaylıklar şu şekilde sıralanabilir:

- Kurulumu ve bakımı kolay, maliyeti düşüktür. İnsanların ulaşamayacağı veya bulunmasının zor olduğu fiziksel koşullar dahil çok geniş alanlarda bulunabilirler. Yerleştirildikleri yerde yüzlerce algılayıcı bulunacağından bazı algılayıcıların bozulması bütün sistemi etkilemeyeceğinden bakım maliyeti azdır.
- Herhangi bir kablolama ve enerji alt yapısı gerektirmediği, fiziksel olarak da küçük olduğu için taşınabilirlikleri yüksektir.
- Algılayıcıların görevi fiziksel olayları incelemek olduğundan farklı amaçlarla, defalarca kullanılabilirler.
- Algılayıcılar yerleştirildikleri alana yoğun bir biçimde yerleştirildiğinden ağ, hataya karşı toleranslıdır. Bir düğümün yaptığı hata, diğer düğümlerden gelen bilgiler ile düzeltilebilir.

KAA'lardaki algılayıcı düğümler; radyo alıcı ve vericisi, bellek, algılayıcılar, işlem birimi ve güç kaynağı olmak üzere beş temel birimden oluşmaktadır (Şekil 2.1). Algılayıcıların boyutları izlenecek fiziksel olayların değişimi ile birlikte değişmekte, bir kibrit kutusu boyutunda veya daha küçük boyutlarda olabilmektedir [6,7]. Görüldüğü gibi bir kibrit kutusu veya daha küçük boyutlardaki bir algılayıcının bütün birimlerini besleyen tek güç kaynağı pildir. Bu sebepten KAA'ların çalışma koşulları ve ortamları göz önüne alındığında en kısıtlayıcı birimin güç kaynağı olduğu görülür.



Şekil 2.1. Bir algılayıcı düğümün şeması

## 2.2. KAA Tasarım Kıstasları

KAA'lar tasarlanırken hata toleransı, ölçeklenebilirlik, üretim maliyeti, donanım kısıtları, çevre kısıtları, ağ topolojisi, haberleşme ortamı ve güç tüketimi gibi birçok faktör etkilidir. Bunlardan kısaca bahsetmek gerekirse;

**Güç tüketimi:** KAA'lar tasarlanılırken hesaplanması gereken en önemli kıstas algılayıcı düğümlerinin güç tüketimidir. Algılayıcı düğümler sınırlı güç kaynaklarına sahiptir ve güç kaynaklarının yenilenmesi genellikle mümkün değildir. Bu yüzden KAA'ların ömürlerinin uzun olması için güç tüketimi efektif bir şekilde ayarlanmalıdır.

**Çevre kısıtları:** KAA'lar izlenilecek fiziksel olaya göre okyanus tabanı, volkanik bir yanardağın ağzı, biyolojik veya kimyasal olarak kirletilmiş bir ortam, hatta gelecekte insan vücuduna yerleştirilebileceği için bakım gerektirmeden çalışabilecek bir yapıda olmalıdır.

**Üretim maliyeti:** KAA'larda fiziksel olarak gözlenecek olan alana çok fazla sayıda algılayıcı düğüm dağıtılacağından algılayıcı düğümlerinin birim maliyeti, ağın toplam maliyetini kabul edilebilir düzeylerde tutmalıdır. Toplam maliyet aynı işi başka türlü yapan sistemlerin maliyetini aştığı takdirde sistemin düzgün çalışması pek bir şey ifade etmeyecektir.

**Hata toleransı:** KAA'nın faaliyetleri, ağdaki algılayıcı düğümlerin bazıları bozulsa, devre dışında kalsa bile devam etmelidir.

**Ölçeklenebilirlik:** KAA, inceleyeceği fiziksel olaya ve alana uygun sayıda algılayıcıya sahip olacağından algılayıcı sayısı ne olursa olsun düzgün biçimde çalışabilmelidir.

**Ağ topolojisi:** KAA'lar belirli bir alana çok fazla sayıda algılayıcı yerleştirilerek oluşturulabileceğinden ve fiziksel koşullardan dolayı daha sonradan bu algılayıcıların yerlerinde değişiklikler meydana gelebileceğinden ağ topolojisi değişken yapıda olabilmelidir.

**Donanım kısıtları:** Algılayıcıların donanımları seçilirken maliyeti düşük ürünlerin seçilmesi gerektiği kadar zor şartlarda ve farklı ortamlarda çalışabilecek durumda olması da önemlidir. Sadece maliyeti düşük tutmak için KAA'nın kurulacağı bölgede hemen bozulacak algılayıcılar oluşturmak hem vakit hem de maddi açıdan zararlıdır.

Gezgin Tasarısız Ağlar (GTA) için önerilmiş olan birçok tekniğin, her ne kadar KAA'lar da bir GTA gibi gözükse de, KAA'larda bulunan birçok kendine has özellik yüzünden aslında kullanılamayacağını görürüz. KAA ve GTA arasındaki temel farklılıklar ise kısaca şöyle sıralanabilir:

- KAA'lardaki algılayıcı düğümü sayısı GTA'lardaki düğüm sayısından çok daha fazla olabilir.
- Algılayıcı düğümler daha yoğun bir biçimde yerleştirilmiştir.
- Algılayıcı düğümler hataya daha yatkın olsalar da birçok algılayıcıdan gelen veri sayesinde hataya karşı toleranslıdırlar.
- Algılayıcı ağların topolojisi sık değişmektedir.
- Algılayıcı düğümler kısıtlı güç kaynaklarına, kısıtlı bellek ve işlem kapasitesine sahiptir.

- Tasarımsız gezgin ağlar noktadan noktaya haberleşme yöntemini kullanırken algılayıcı düğümleri tüme gönderim haberleşme sistemini kullanırlar.
- Algılayıcı düğümler gözetimsiz, erişimi zor bölgelerde çalışabilirler.

### **2.3. KAA'ların kullanım alanları**

KAA'lar yüksek taşınabilirlik özelliklerinden dolayı birçok avantajla günümüze kadar gelmiş olan ağ uygulamalarına alternatif olmuş ve eskiden, özellikle kablolu ağlarla, yapılamayan birçok uygulamanın gerçekleştirilebilmesini sağlamıştır. KAA'ların genel kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır:

#### **Üretim Otomasyonu**

- Süreç izleme ve kontrol
- Enerji hatlarının izlenmesi ve bütünlüğünün sağlanması
- Benzin-Gaz üretim ve taşımacılığı
- Titreşim izleme

#### **Depolama ve Taşımacılık Uygulamaları**

- Ürün takibi
- Envanter takibi
- Ürün yer tayini

#### **Yapı Otomasyonu**

- Metropoldeki araçlara algılayıcılar yerleştirilerek trafiğin gözlenmesi ve bu gözlemlere dayanarak rotaların etkin planlanması
- Kablosuz gözetim algılayıcı ağlarıyla alışveriş merkezi, araba garajı veya benzeri tesislerde güvenlik sağlama
- Işıklandırma kontrolü
- Bir park yerindeki boş ve dolu alanların belirlenmesi
- Küçük çocukların konumlarının aileleri tarafından takip edilmesi

- Akıllı evler

### **Çevresel Uygulamalar**

- Habitat (bitki, hayvan) izleme ve çevresel gözlem
- Hava durumu tahmin sistemleri
- Hava kirliliği tespiti ve ayrıntılı rapor alımı
- Ormanların yangın için gözlenmesi ve nesli tükenmekte olan hayvanların izlenmesi
- Deprem Tahmini

### **Sağlık Uygulamaları**

- Hastaların sağlık durumunu uzaktan izleme (ateş, kan basıncı, nefes alma vb.)
- Yaşlı ve özürülülerin durumlarının takibi

### **Askeri uygulamalar**

- Gözetleme, keşif sistemleri
- Hedef alma sistemleri
- Haberleşme sistemleri
- Kontrol ve haber alma sistemleri

## **2.4. KAA'larda Yaşam Ömrü**

KAA'ların yaşam süresini, algılayıcıların pil ömürleri belirlemektedir. Algılayıcılar pillerini ne kadar verimli kullanabilirse, ağın yaşam süresi de o kadar artmaktadır. KAA'larda algılayıcılar pillerini veri toplama, veri işleme ve haberleşme işlemlerinde kullanılmaktadırlar. KAA'lar günümüzde birçok alanda kullanıldığından, KAA'ların verimliliğini arttıracak protokoller ve algoritmalar geliştirilmeye çalışılmaktadır. KAA'ların yaşam süresini etkileyen en önemli faktörlerden birisi, KAA'nın ömrünün algılayıcıların pil ömürlerine bağlı olmasıdır. Bu yüzden düğümler veri toplama, veri işleme ve haberleşme işlemlerini yaparken enerjisini en

efektif şekilde kullanması gerekmektedir. Bu da KAA tasarımcılarının donanım, sinyal işleme işlemleri, haberleşme ve ağ protokollerinin çeşitli aşamalarında harcanan enerjiyi azaltmak için çalışmalarda bulunmalarını gerektirir. Bununla birlikte düğümlerin bireysel olarak enerji tüketimini azaltmak yeterli olmayıp, bunun yanında ağdaki trafik de dengelenerek bütün sistemin enerji tüketimini düşürmek gerekmektedir. Bu sayede çoğu düğümün hala enerjisi varken bazı düğümlerin enerjisinin erken tükenmesi ile ağ içinde izlenemeyen alanların oluşması engellenecektir.

KAA'ların karakteristik özellikleri gezgin tasarısız ağlardan ve diğer haberleşme yöntemlerinden farklı olduğu için yönlendirme işlemi daha zordur. KAA'lar çok fazla sayıda düğümden oluşabileceği ve düğümlerin yerleri fiziksel olarak değişebileceği için genel bir adresleme şeması oluşturulamaz. Bu da klasik IP-tabanlı protokollerin KAA'lara uygulanmasını engeller. Yine tipik haberleşme yöntemlerinden farklı olarak KAA'larda, farklı bölgelerde bulunan düğümlerde toplanan veriler bir alıcı istasyonunda toplanır. Ayrıca birbirlerine yakın olan algılayıcı düğümlerin aynı veriyi kaydedip bahsi geçen istasyona yollamasından dolayı, ağda toplanan verilerin oluşturduğu trafikte fazla sayıda gereksiz veri bulunabilir. KAA'lar haberleşme enerjisi, elektronik donanımın harcadığı enerji, depolama ve işlem gücü bakımından diğer haberleşme yöntemlerine göre daha fazla kısıtlamalara sahiptir.

Bu farklılıklar, KAA'larda yönlendirme problemini çözmek için yeni algoritmalar geliştirilmesine sebep olmuştur. Bu algoritmalar geliştirilirken algılayıcı düğümlerinin karakteristik yapıları ile kablosuz algılayıcı ağların uygulama ve mimari kısıtlamaları göz önünde bulundurulmuştur. Bu algoritmalar genel olarak veri-merkezli, hiyerarşik, konuma ve ağ akışına göre ya da bazı kalite servis parametrelerini sağlama amaçlıdır. Veri-merkezli protokoller verilerin tanımlanmasını, böylece ağda fazlalık yaratan verilerin dolaşmasını azaltma amaçlı olarak çalışır. Hiyerarşik protokollerde ise düğümlerde kümeleşme sağlanır. Küme

başları, enerji tüketimini azaltmak için fazlalık olan verileri eler ve verileri alıcı istasyona bu şekilde gönderir. Konum tabanlı protokollerde ise düğümlerin fiziksel konumu bilgisinden yararlanır ve verinin en verimli şekilde istenilen yere gönderilmesi sağlanır.

KAA'larda enerjiyi verimli bir şekilde kullanarak KAA'nın ömrünü uzatmak için yapılan farklı türde çalışmalar vardır. Bu çalışmalardan bazıları KAA'lar için özel MAC protokolleri geliştirerek [11-13], bazıları da farklı yönlendirme algoritmaları tasarlayarak KAA'nın ömrünü uzatmaya çalışmışlardır. Önceden var olan MAC protokollerinde esas amaç servis kalitesini artırmak ve bant genişliğini verimli bir şekilde kullanmaktır. Bluetooth, tasarısız gezgin ağlar ve diğer mobil sistemlerde güç kaynaklarının kullanımı KAA'larda olduğu gibi büyük bir sorun oluşturmadığı için kullanılan MAC protokollerinde bu durum göz önüne alınmamıştır. Bu açığı gidermek için Woo ve Culler KAA'lar için CSMA tabanlı özel bir protokol tasarlanmış [11], Sohrabi ve diğerleri ise var olan SMACS ve EAR [12] MAC protokollerini KAA'ya uyarlayarak geliştirmişlerdir. Bu protokollerde, algılayıcı düğüm boş kaldığında algılayıcının geçici bir süre kapanması ve ortamı belirli aralıklarla dinlemesi gibi yöntemler kullanılarak enerji kazanımı sağlanmıştır.

MAC protokolleri dışında, KAA'ların ömrünü uzatmak için tasarlanan birçok yönlendirme algoritması da vardır [14-16]. Sankar ve Liu [14] ile Madan ve Lall [15] dağıtık yönlendirme algoritmaları tasarlayarak izlenecek en iyi yolun bulunmasını sağlamıştır. Hua ve Yum'un tasarladığı yönlendirme algoritması ise geometrik bilgilere dayanmaktadır. Park ve Srivastava [17], Singh ve diğerleri [18], Youssef ve diğerleri [19], Shah ve Rabaey [20] KAA'larda enerji odaklı yönlendirme protokolleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu protokollerde en iyi yollar, yol üzerindeki algılayıcı düğümlerinin enerjilerine göre seçilir. Daha uzun olmasına karşın daha çok enerjiye sahip düğümlerin oluşturduğu yollar, daha kısa ancak az enerjiye sahip düğümlerden oluşan yollara tercih edilir. Bazı yönlendirme algoritmaları yol seçerken harcanan iletim enerjisinin en az olduğu yolları seçerler [21,22]. Bu algoritmalarda iletim enerjisini azaltmak için ortalarda yer alan düğümler

sıkça tercih edilmektedir. Cristescu ve diğeri [23] ile Goel ve Estrin [24] KAA'nın ömrünü uzatmak için veri kümelenmesi yöntemini kullanıp, ağda bulunan gereksiz veriyi eleme ve trafiği azaltma yolunu kullanmışlardır. Ancak veri kümelenmesi yönteminde elde edilen verinin tek bir yol üzerinden yönlendirildiği gözlenmiştir. Bu durum ise ağda bir enerji dengesizliği meydana getirmektedir. Seçilen yol üzerinde olan düğümlerin enerjisi erken biterken yol üzerinde olmayan düğümlerin enerjisi sabit kalır ve ağın enerjisinde bir dengesizlik meydana gelir. Bu dengesizliği engellemek ve trafiği ağ üzerinde dağıtmak için Sadagopan ve Krishnamachari [25] ile Heinzelman ve diğeri [26] yeni ağ akış modelleri tanımlamıştır.

KAA'larda algılayıcı düğümlerin ürettikleri veriler arasındaki benzerlik ve bunun KAA'nın yaşam üzerine etkileri üzerine de çalışmalar yapılmıştır. Patten ve diğeri [2] üç farklı yönlendirme şeması modeli oluşturmuştur: DSC, RDC ve CDR. Bunlardan DSC, algılayıcı düğümlerin düğümler arası korelasyonu tam olarak bildiği durum olup bu duruma göre yaşam süresini maksimize etmektedir. Bu durum, düğümler arası korelasyonun bilinmediği RDC ve CDR den enerji koruma olarak çok daha iyidir. Bu çalışmada da korelasyon arttıkça bir bit transferi için harcanan enerjinin azaldığı gözlenmiştir. Bu çalışmada ayrıca kümeleme üzerine durulmuş; değişen küme boyutları ile değişen korelasyonun harcanan enerjiye etkisi incelenmiştir. Burada da boyutu küçük olan kümeler için düşük, boyutu yüksek olan kümeler için fazla korelasyonun olması gerektiği belirtilmişken boyutu ortalama (yaklaşık 15) olan kümeler için her korelasyon değerinin iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Akyildiz ve diğeri [1] de Alansal Korelasyon ve Zamansal Korelasyon kavramları üzerinde durmuştur. Alansal korelasyon, birbirine yakın düğümlerin benzer bilgiler toplayacağını söylerken zamansal korelasyon bir düğümün benzer zamanda benzer bilgiler toplayacağını söyler. Bu tez çalışmasında incelenen durum alansal korelasyona uymaktadır. Alansal korelasyon ile ilgili makalede geçen durumları incelersek, bütün algılayıcı düğümlerin bilgi göndermesi durumu en az hataya sebep



olurken bu durum fazla enerji harcatmaktadır. Bilgi gönderen düğüm sayısı azalsa bile kabul edilebilir bir hata ile bilgiye ulaşmak mümkün olup bu durumda enerji korunumu çok daha fazla olmaktadır. Bu yüzden kabul edilebilir hata değeri aşılmadıkça bilgi gönderen düğüm sayısı azaltılmalıdır. Ayrıca uzaklıkla ilgili iki durum da incelenmiş olup, düğümlerle kaynak arasındaki mesafe arttıkça hatanın da artacağı; fakat bilgi gönderen iki düğüm arası mesafe arttıkça hatanın azalacağı belirtilmiştir. Yani bilgi gönderen düğümlerin belli bir alana yığılmasındansa genele yayılmalarının daha iyi olduğu belirtilmiştir. Böylece hem daha fazla alan kapsanacağından daha doğru bilgi geleceği, hem de baz istasyonuna bilgi gönderirken çakışma olma ihtimalinin azalacağı söylenmiştir.

## BÖLÜM 3

### 3. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA (LP)

LP, eniyileme problemlerinin çözümünde kullanılan bir yöntemdir. 1947’de George Dantzig, LP problemlerinin çözümünde kullanılan etkin bir yol olan Simpleks Algoritması’ni bulduktan sonra doğrusal programlama, sıklıkla ve hemen hemen her sektörde kullanılmaya başlandı [27]. Özellikle bankacılık, eğitim sektörlerinde ve askeri alanda, eniyileme problemlerinin çözümünde LP çok defa kullanılmıştır ve günümüzde de işletme, ekonomi ve muhasebe dallarını en yakından ilgilendiren konulardan birisidir.

Doğrusal Programlama, kaynakların en uygun dağılımını elde etmeye, maliyetleri minimize, karı ise maksimize etmeye yarayan bir tekniktir. Bir eniyileme modeli eğer sürekli değişkenlere ve tek bir doğrusal amaç fonksiyonuna sahipse ve tüm kısıtlamaları doğrusal eşitlik veya eşitsizliklerden oluşuyorsa, doğrusal (lineer) program olarak adlandırılır. Başka bir deyişle, modelin tek-amaçlı fonksiyonu ve tüm kısıtlamaları, süreklilik gösteren karar değişkenlerinin ağırlıklı toplamlarından oluşmalıdır.

Doğrusal programlamadaki (LP) doğrusal (lineer) sözcüğü, modeldeki tüm matematiksel fonksiyonların doğrusal (lineer) olması gerektiğini belirtir. Programlama kelimesi ise bilgisayar programlamaya işaret etmez; daha çok planlama ile eş anlamlıdır. Dolayısıyla doğrusal programlama, birçok uygun alternatif arasından belirlenmiş bir hedefe uyan en uygun çözümü bulacak aktivitelerin planlanmasını içerir.

Doğrusal programlama problemi doğrusal kısıtlara bağımlı olarak bir doğrusal fonksiyonu maksimize ya da minimize etme problemi olarak tanımlanmaktadır. Temel olarak LP, kıt kaynakların en iyi şekilde dağılımını içeren deterministik bir matematiksel tekniktir. Sonuç olarak doğrusal programlama, değişkenlere ve kısıtlayıcı şartlara bağılı kalarak amaca en iyi ulaşma tekniğidir.

### 3.1. Doğrusal Programlama Modeli

Doğrusal programlama, lineer denklemlerden oluşan kısıtlara sahip bir matematiksel modeldeki en iyi sonuca (en yüksek kar ya da en düşük maliyet gibi) ulaşabilmek için kullanılır.

Doğrusal programlar aşağıdaki gibi kanonik formda gösterilirler:

$$\text{maks} \quad c^T x \quad (3.1)$$

$$\text{kısıtlar} \quad Ax < b \quad (3.2)$$

$$x > 0 \quad (3.3)$$

Burada

$c$ , amaç fonksiyonu katsayılarını kapsayan  $(1 \times n)$  uzunluğunda bir vektör olup  $T$ -üstü transpoz gösterimidir.

$x$ , değişkenleri kapsayan  $(1 \times n)$  uzunluğunda bir vektördür.

$A$ ,  $(m \times n)$  büyüklüğünde bir katsayılar matrisidir.

$b$ ,  $(m \times 1)$  uzunluğunda bir sabit değerler vektörüdür.

Genel olarak bir doğrusal programlama probleminde  $A$  matrisi ve  $b$  vektörü sayısal değerler halinde problem başlangıcında verilir ve  $x$  vektörü için sayısal değişken değerleri sonuç olarak, problem çözülerek bulunur.

Her doğrusal program problemi bir genel standart doğrusal program problemine (yani kanonik şekle) dönüştürülebilir. Matematiksel olarak bir genel standart doğrusal program problemi basitçe bir şekilde şöyle ifade edilir:

- **Amaç fonksiyonu** - Bir maksimize edilecek doğrusal amaç fonksiyonu

- Genel olarak n değişkenli problem için:

$$\text{maks } c^T x \quad (3.4)$$

veya

$$\text{maks } c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (3.5)$$

- Örnek olarak 2 değişkenli problem için:

$$\text{maksimum bul } c_1x_1 + c_2x_2$$

- **Kısıtlamalar** - Doğrusal eşitsizlik veya eşitlik halinde kısıtlayıcı koşullar:

- Genel olarak n değişkenli m kısıtlamalı problem için:

$$\text{kısıtlar } Ax < b \quad (3.6)$$

veya

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

⋮

⋮

⋮

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \quad (3.7)$$

- Örnek olarak 2 değişkenli ve 3 kısıtlamalı problem için

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 \leq b_2$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 \leq b_3$$

- **Negatif olmama kısıtlamaları** - Sonuç değişken değerlerinin 0 veya pozitif değerde olmaları:

- Genel olarak n değişkenli problem için:

$$x > 0 \quad (3.8)$$

veya

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0 \quad (3.9)$$

- Örnek olarak 2 değişkenli problem için

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

Bu problem kolaylıkla matris şekline dönüştürülebilir:

maksimum bul: maks  $c^T x$

kısıtlamalar: kısıtlar  $Ax \leq b, x \geq 0$

Doğrusal programlama başka şekillerde de olabilir. Bunlara örnek vermek gerekirse: minimizasyon problemleri; değişik şekillerde ( $\geq$  veya  $=$  halinde) verilen kısıtlamalar; negatif değişken kapsayan problem vb. Bütün bu değişik şekiller uygun dönüşümler kullanılarak standart forma dönüştürülebilirler.

LP modelinden tutarlı sonuçların elde edilebilmesi için aşağıdaki varsayımlar sağlanmalıdır.

### **Doğrusallık ve Toplanabilirlik Varsayımı**

Bir LP modelinin amaç fonksiyonunun karar değişkenlerinin bir doğrusal fonksiyonu olması (doğrusal olması) gerçeğinin iki gerekçesi vardır:

1. Amaç fonksiyonuna her karar değişkeninden gelen eklemeler karar değişkenlerinin değerleri ile doğru orantılıdır. Yani bir üründen dört tane üretmenin maliyeti, o üründen bir tane üretme maliyetinin tam dört katı olmalıdır.
2. Bir amaç fonksiyonuna bir karar değişkeninin yaptığı katkı, diğer karar değişkenlerinin yaptığı katkıdan bağımsızdır. Yani  $x_1$  değişkeni amaç fonksiyonuna  $3x_1$  değerinde katkı yapıyorsa, diğer değişkenlerin değeri ne olursa olsun  $3x_1$  değerinde katkıda bulunacaktır.

LP kısıtlarının bir doğrusal eşitlik ya da doğrusal eşitsizlik olmaları gereğinin iki gerekçesi vardır:

1. Her değişkenin, her kısıtın sol tarafında yaptığı katkı, değişkenin değeriyle doğru orantılıdır.
2. Bir değişkenin herhangi bir kısıtın sol tarafına yaptığı katkı, diğer değişkenlerden bağımsızdır.

Bir LP modelinde karar değişkenleri, her iki varsayımı da sağlamak zorundadır.

### **Bölünebilirlik Varsayımı**

Bu varsayım, her karar değişkeninin bir ondalıklı sayı olabilmesine imkan verir. Eğer problemin tanımlı olduğu değerler arasında ondalıklı sayılar yoksa (örneğin 1,73 insan) bu durumda tamsayılı programlama yöntemi kullanılır.

### **Kesinlik Varsayımı**

Bu varsayım, tüm parametrelerin (amaç fonksiyonu katsayısı, sağ el tarafı ve teknolojik katsayı) kesin olarak bilinmesini öngörür. Eğer bu değerler tam olarak bilinmiyorsa, sonuç güvenilir olmayacaktır.

Bu aşamada, doğrusal programa ile ilgili doğrusal fonksiyon ve doğrusal eşitsizlik kavramlarını açıklayalım.

**Tanım 1:**  $x_1, x_2, \dots, x_n$  in bir fonksiyonu olan  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , sadece ve sadece bir sabitler seti ile birlikte  $(c_1, c_2, \dots, c_n)$  kullanıldığında bir doğrusal fonksiyondur.

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (3.10)$$

Örneğin;  $f(x_1, x_2) = 2x_1 + x_2$ ,  $x_1$  ve  $x_2$  nin bir doğrusal fonksiyonudur. Fakat,  $f(x_1, x_2) = x_1^2x_2$  fonksiyonu  $x_1$  ve  $x_2$  nin bir doğrusal fonksiyonu değildir.

**Tanım 2:** Herhangi bir  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  doğrusal fonksiyonu ve herhangi bir  $b$  sayısı için,  $f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b$  ve  $f(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq b$  eşitsizlikleri birer doğrusal eşitsizliklerdir.

Örneğin;  $2x_1 + 3x_2 \leq 3$  ve  $3x_1 + x_2 \geq 3$  birer doğrusal eşitsizliktir. Fakat  $x_1^2x_2 \geq 3$  bir doğrusal eşitsizlik değildir.

**Tanım 3:** Bir LP problemi, aşağıdakilerin gerçekleştirilmesi ile yürütülen bir eniyileme problemidir:

1. Karar değişkenlerinin oluşturduğu bir eniyileme problemini maksimize ya da minimize etmeye çalışır. Maksimize ya da minimize edilmeye çalışılan fonksiyona amaç fonksiyonu denir.
2. Karar değişkenlerinin değerleri bazı kısıtları sağlamalıdır. Her kısıt bir doğrusal eşitlik ya da doğrusal eşitsizlik olmalıdır.
3. Bir işaret sınırı, her değişkenle ilgili olarak belirlenmelidir. Herhangi bir  $x_i$  değişkeni için, bir işaret sınırı belirlenmelidir.

LP problemlerini daha iyi anlatmak için basit bir örnek verirsek; Fonksiyonumuz  $x_1 + x_2$  kısıtlarımız ise aşağıdaki gibi olsun;

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$$

$$x_1 + 2x_2 \leq 4$$

$$4x_1 + 2x_2 \leq 12$$

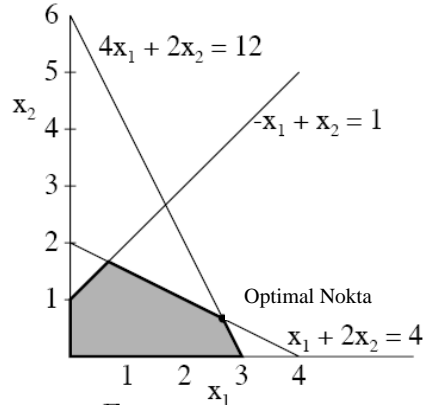
$$-x_1 + x_2 \leq 4 \quad (3.11)$$

Amacımız  $x_1 + x_2$  fonksiyonunu maksimum yapacak  $x_1$  ve  $x_2$  değerlerini bulmaktır. Bu problemde beş adet eşitsizliğimiz ve iki adet bilinmeyenimiz vardır. Problemimizdeki tüm kısıtlar eşitsizlik olup doğrusaldır. İlk iki kısıtımız  $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$  negatif olmama kısıtlarıdır ve LP problemlerin büyük bir kısmında bulunurlar. Kalan kısıtlar ise ana kısıtlar olarak adlandırılırlar. Problemde maksimize veya minimize edilecek fonksiyon ise amaç fonksiyonudur ve bu problemde amaç fonksiyonumuz  $x_1 + x_2$  'dir.

Bu problemde sadece iki adet değişkenimiz olduğu için problemi analitik düzlemde tüm kısıtları sağlayacak şekilde çizerek gösterebiliriz ve amaç fonksiyonumuzu maksimize edecek noktayı grafik üzerinde bulabiliriz. Her eşitsizlik kısıdı düzlem üzerinde taralı noktalardan oluşmakta, bu noktaların keşişimi ise kısıt kümesini meydana getirmektedir.



Problemimizde  $x_1 + x_2$  fonksiyonu, eğimi -1 olan bir doğrudur ve düzlemde sağa veya sola doğru kaydırılabilir.  $x_1 + x_2 = 1$  fonksiyonunu ele alırsak ve bu doğruyu orijinin üst ve sağ tarafına doğru hareket ettirirsek fonksiyonun değeri artmaya başlayacaktır. Bu yüzden bizim bulmamız gereken doğrunun da eğimi -1 olmalı ve kısıt kümesi içinde kalmalıdır. Bu doğru,  $x_1 + 2x_2 = 4$  ve  $4x_1 + 2x_2 = 12$  doğrularının kesişim noktası olan  $x_1 = \frac{8}{3}, x_2 = \frac{2}{3}$  değerleridir (Şekil 1).



Şekil 3.1. (3.11) de verilen doğrusal programlama probleminin grafiksel çözümü

LP problemlerinin çözümü yukarıda anlatıldığı gibi olup LP problemleri içinde standart maksimum ve standart minimum problemleri önemli bir yer tutar. Bu problemlerde değişkenlerin hepsi pozitif değerli ve kısıtların tümü eşitsizlik şeklindedir. Elimizde  $m$  boyutlu  $b = (b_1, b_2, b_3, \dots, b_m)$  vektörü,  $n$  boyutlu  $c = (c_1, c_2, c_3, \dots, c_n)^T$  vektörü ve reel sayılardan oluşan  $A_{m \times n}$  matrisi olsun.

### 3.2. Standart Maksimum Problemi

$$c^T x = c_1 x_1 + \dots + c_n x_n$$

fonksiyonunu,

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

·

·

·

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

ve

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0 \quad (3.12)$$

kısıtları ile maksimize edecek  $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  vektörü bulunmalıdır.

### 3.3. Standart Minimum Problemi

$$b^T y = b_1 y_1 + \dots + b_n y_n$$

fonksiyonunu,

$$a_{11}y_1 + a_{12}y_2 + \dots + a_{1n}y_n \leq c_1$$

$$a_{21}y_1 + a_{22}y_2 + \dots + a_{2n}y_n \leq c_2$$

·

·

·

$$a_{m1}y_1 + a_{m2}y_2 + \dots + a_{mn}y_n \leq c_m$$

ve

$$y_1 \geq 0, y_2 \geq 0, \dots, y_n \geq 0 \quad (3.13)$$

kısıtları ile minimize edecek  $y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)$  vektörü bulunmalıdır.

Lineer programlama, KAA'da enerjinin verimli bir şekilde kullanılarak KAA'nın ömrünü maksimize edecek çalışmalarda yaygın olarak kullanılmıştır. Madan ve Lall [15] doğrusal programlama ile birlikte dağıtık bir model kullanarak KAA ömrünü eniyilemeye çalışmışlardır. Modelleri düşük algoritma karmaşıklığına sahiptir ve optimal yönlendirme şemasını bularak KAA ömrünü eniyilemektedir. Ergen ve Varaiya [10] KAA ömrünü LP ve iki farklı çok atlamalı yönlendirme şeması kullanarak araştırmışlardır. Bu şemalardan birinde toplam enerji kullanımını en aza indirmeye, diğerinde ise ağ ömrünü en uzuna çıkarmaya çalışmışlardır. Chang ve Tassiulas [28] LP kullanarak KAA'lardaki yönlendirme problemini modellemiştir. Bu model ile haberleşme enerjilerini ve düğüm enerjilerini kapsayan bir "en kısa yol algoritması" sunmuşlardır. Analizlerinde optimal ağ ömrüne doğrusal programlama ile ulaşıldığı görülmektedir. Cheng ve diğerleri [29] ise KAA'lardaki aktif nokta problemini çözmek için LP modeli oluşturmuşlardır. Modelleri ile ağ büyüklüğünün, düğüm sayısının, baz istasyonu sayısının, kümeleşmenin yaşam süresi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. LP ile KAA ömrünü inceleyen başka çalışmalar da mevcuttur [30-33]. KAA'larda amaç fonksiyonu olarak algılayıcı düğümlerinin ömürleri ve kısıt olarak da algılayıcı düğümlerinin enerji denklemleri kullanılarak doğrusal programlar tanımlanmış ve akış eniyilemeleri ile maksimum ömre ulaşılmaya çalışılmıştır.

### **3.4. Kullanılan Doğrusal Programlama Modeli**

Bu tez çalışmasında kullanılan doğrusal programlama modeli aşağıdaki gibi gösterilebilir:

Maks  $t$ ,

Kısıtlar

$$f_{ij} \geq 0, h_{ki} \geq 0 \quad (3.14)$$

$$\sum_j f_{ij} - \sum_j f_{ji} = h_{ki} t \quad (3.15)$$

$$\sum_i h_{ki} = s_k t \quad (3.16)$$

$$t \left\{ \left[ P_{rx} \left( \sum_j f_{ji} \right) + P_{tx,ij} \left( \sum_j f_{ij} \right) \right] \right\} \leq e_i \quad (3.17)$$

Bu modelde amaç  $t$  yi yani algılayıcı düğümlerin yaşam süresini maksimize etmektir. (3.1) de  $f_{ij}$  ile  $i$ -düğümden  $j$ -düğümüne olan veri akışları,  $h_{ki}$  ile  $k$  sanal kaynağından  $i$ -düğümüne gönderilen veri miktarı gösterilmekte ve bu değerlerin negatif olamayacağı belirtilmektedir. (3.2) de  $i$ -düğümünden gönderilen veri miktarının, bu düğüme başka düğümlerden gelen veri miktarı ile bu düğüme sanal kaynaklardan gönderilen veri miktarının toplamı kadar olabileceği söylenmektedir. (3.3) de bir  $k$ -sanal kaynağının düğümlere gönderdiği veri miktarının toplamı, KAA'nın yaşam süresi boyunca o kaynağın ürettiği veri miktarı kadar olabileceğini göstermektedir. (3.4) de ise KAA'nın yaşam süresi boyunca düğümlerin veri gönderirken ve alırken harcayacağı enerjilerin toplamının, o düğümün başlangıç enerjisinden küçük eşit olması gerekliliği vurgulanmıştır. Baz istasyonu ilk düğüm olarak tasarlandığından, ilk düğüm hariç bütün düğümler bu kısıtlara uyacaktır.

## BÖLÜM 4

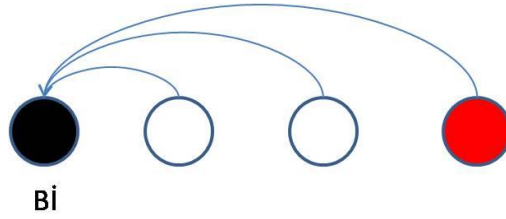
### 4. KABLOSUZ AĞLARDA YAŞAM SÜRESİ EN İYİLEMESİ

#### 4.1. Kablosuz Ağlarda Aktif Nokta Problemi

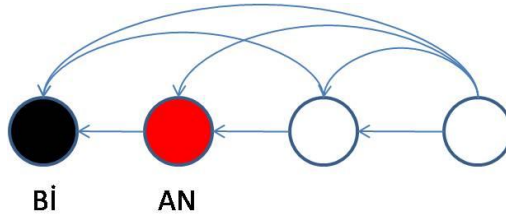
Geçmişte yapılmış olan çalışmaları incelediğimizde, kablosuz ağlarda alıcı ve kaynak haberleşmesinin çok atlamalı yönlendirme ile sağlandığı durumda, direkt iletimle sağlandığı durumdan daha fazla enerji tasarrufu sağladığını görmekteyiz. Kablosuz ağın yapısı değiştikçe kullanılan enerji modeli de değişeceğinden her farklı yapı için enerji tüketimini en aza indirecek optimal bir iletim mesafesi bulunabilmektedir. Örneğin GTA'larda kaynak ve alıcı düğümler ağ içinde dağıtık olduğundan sabit bir iletim mesafesi bulunabilir ve ağ içinde enerjinin dengeli bir biçimde kullanılması sağlanabilir. Fakat KAA'lar genelde tek bir baz istasyonundan oluştuğundan ve ağ içinde çoktan teke doğru bir trafik olduğundan alıcı etrafında aktif noktalar oluşabilir ve enerji, ağda dengesiz bir şekilde tüketilmeye başlanabilir. Bu aktif noktalardaki düğümler, diğer düğümlere göre daha fazla veri taşıyacağından enerjileri daha çabuk tükenecektir. KAA'nın ömrünü ağda enerjisi biten ilk algılayıcı düğümün ömrüne eşit olarak tanımlarsak [34-36], aktif nokta problemi KAA'nın ömrünün kısalmasına neden olacaktır.

KAA'larda veri yönlendirilirken tek atlamalı veya çok atlamalı iletim teknikleri kullanılmaktadır. Tek atlamalı iletimde algılayıcı düğümler topladıkları veriyi direkt olarak baz istasyonuna iletmektedir (Şekil 4.1). Çok atlamalı iletimde ise toplanan veri birden fazla düğümden geçerek baz istasyonuna yönlendirilebilmektedir (Şekil 4.2). Veri gönderirken harcanan enerji, gönderilecek mesafenin karesiyle doğru orantılı olduğundan tek atlamalı yöntemde baz istasyonuna uzak olan düğümlerin veri gönderebilmesi için daha fazla enerji harcaması gerekmektedir ve böylece enerjilerini çok daha çabuk bir şekilde tüketerek KAA'nın ömrünü önemli ölçüde

kısaltırlar. Çok atlamalı sistemlerde ise düğümler uzağa veri yollayıp enerji harcamak istemediğinden verilerini genellikle baz istasyonu yönünde kendisine en yakın olan düğüme gönderir. Ancak bu, ağ üzerindeki trafiğin büyük bir çoğunluğunun baz istasyonuna yakın düğümlerden geçmesine sebep olur ve burada oluşan aktif noktalar KAA'nın ömrünü sınırlar.



Şekil 4.1. Aktif Nokta (AN) ve Baz İstasyonu (Bİ) görülen KAA'larda tek atlamalı iletim akış şeması



Şekil 4.2. Aktif Nokta (AN) ve Baz İstasyonu (Bİ) görülen KAA'larda çok atlamalı iletim akış şeması

Aktif nokta problemini çözebilmek için yapılan çalışmalarda iletim enerjisini kontrol etme, en iyi iletim menziline bulma ve kümeleme protokolleri gibi çözümler önerilmiştir [30,33,37]. Huang ve diğerleri [37] iletim menzili dağılımının eniyileme problemini ele almış ve alternatif stratejiler olarak da çoklu veri alıcısı ve hareketli veri alıcıları yerleştirme ile kümeleme stratejilerini incelemiştir. Heinzelman ve diğerleri [33] kümeleme tabanlı olan ve küme başlarının yönetilmesini içeren LEACH protokolünü, Huang ve diğerleri [37] ise yine kümeleme tabanlı LESCS protokolünü tasarlamıştır.

## 4.2. Akış Eniyilemesi

Bu tez çalışmasında KAA'nın ömrü, literatürde de geçtiği gibi enerjisi biten ilk algılayıcı düğümün ömrü olarak kabul edilmiştir. Bunun sebebi, algılayıcı düğümlerden herhangi birisi servis dışı kaldığında, KAA ile izlenen olayın bir kısmının da kapsama alanı dışında kalacak olmasıdır. Bu da KAA'larla yapılan güvenlik uygulamalarında önemli bir açık oluşturacaktır.

KAA'larda ağın ömrünü belirleyici en önemli etken, algılayıcının veri iletim enerjisidir. Çünkü algılayıcının veri iletim enerjisinin, algılayıcı düğümlerinin çalışma ve veri alma için harcadıkları enerjilerden çok daha fazla olduğu kabul edilmektedir. Bu yüzden düğümler arası trafik eniyelenmeli ve iletme harcanan enerji en iyi şekilde kullanılmalıdır.

KAA'larda düğümler birbirlerine yakın yerleştirildiklerinden topladıkları veriler arasında benzerlik vardır. Bu yüzden birbirine yakın düğümlerin topladıkları benzer veriler baz istasyonuna defalarca gönderilmekte, ağda gereksiz bir şekilde hem iletim hem de veri alma enerjisi harcanmaktadır. Birbirine yakın düğümlerin topladıkları veriler arasında benzerlik olduğu bilindiği durumlarda bir verinin birden fazla düğüm tarafından tekrar tekrar gönderilmesi anlamsızdır. Bu yüzden fazlalık olan veriler elenerek ağdaki verilerin boyutları azaltılabilir ve daha az enerji harcanarak aynı bilgi elde edilebilir.

Yapılan çalışmada farklı ağ topolojileri ele alınmış ve eniyileme problemlerinde yaygın olarak kullanılan LP modeli ile akış eniyilemesi yapılarak enerjinin ağ içinde dengeli bir şekilde kullanılması sağlanmış, ayrıca LP modeline ek olarak veri benzeşme modelleri incelenerek her durumda KAA'nın ömrünün uzatılması amaçlanmıştır. İncelenen veri benzeşme modelleri Sıfır Korelasyon (SK), Tek Kaynak Tam Korelasyon (TKTK), Çok Kaynak Çakışmayan Korelasyon (ÇKÇKn)

ve Çok Kaynak Çakışan Korelasyon (ÇKÇKp)'dir. Her veri benzeşme modeli doğrusal ve dairesel dağılım topolojileri için incelenmiştir.

### 4.3. Enerji Modeli

Algılayıcı düğümler için yaygın olarak kullanılan enerji modelinde düğümün bir bitlik veri göndermek için harcadığı enerji (4.1) ve bir bit almak için harcadığı enerji (4.2) ile verilir [38].

$$P_{tx,ij} = \rho + \varepsilon d_{ij}^{\alpha} \quad (4.1)$$

$$P_{rx} = \rho \quad (4.2)$$

$P_{tx,ij}$  :  $i$  düğümünden  $j$  düğümünde 1 bit veri iletimi için harcanan enerji

$P_{rx}$  : 1 bit veri almak için harcanan enerji

$\rho$  : algılayıcı düğümünün elektronik donanımında harcanan enerji

$\varepsilon$  : alıcı-vericinin verimlilik faktörü

$\alpha$  : yol kayıp faktörü

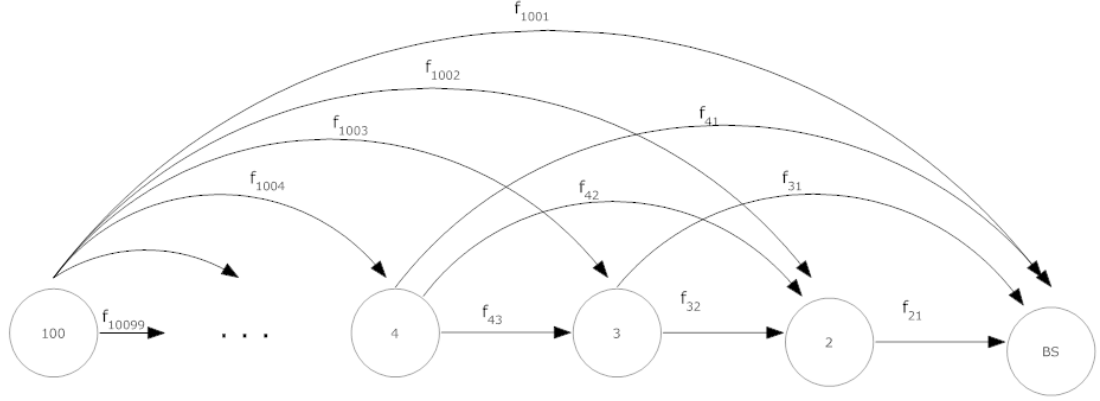
$d_{ij}$  :  $i$  düğümü ve  $j$  düğümü arasındaki mesafe

### 4.4. Modelde Kullanılan Veriler

Bu araştırmada sistem parametreleri olarak  $\rho = 50\text{nJ}$ ,  $\varepsilon = 100\text{pJ}$  ve  $\alpha = 2$  seçilmiştir. Basit bir KAA topolojisi olan Şekil 4.3'te 1 numaralı düğüm baz istasyonu olup  $i$ -düğümünden  $j$ -düğümüne olan veri akışları  $f_{ij}$ 'ler ile belirtilmiştir.



Şekil 4.3'teki doğrusal topoloji benzeri N adet algılayıcı doğrusal olarak yerleştirildiği gibi rastgele biçimde dairesel ağlara da yerleştirilmiş ve incelenmiştir.



Şekil 4.3. Doğrusal Topoloji

Baz istasyonları da her ağ topolojisi için merkezde veya kenarda olmak üzere 2 farklı yerde bulunabilirler. Bu çalışmada baz istasyonları, doğrusal topolojiler için kenarda bulunurken dairesel topolojilerde merkezde bulunmaktadır. İncelemeler farklı algılayıcı sayıları için yapılmakta ve ayrıca algılayıcıların başlangıç enerjileri 2 Joule olarak kabul edilmektedir.

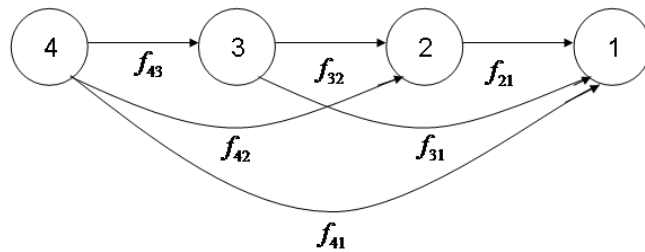
#### 4.5. İncelenen Veri Benzeşim Durumları

Geçmişte yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde, algılayıcı düğümlerin birim zamanda 1 bitlik bilgi ürettiği görülmektedir. Ancak algılayıcıların topladıkları veriler arasında korelasyon olduğu durumu inceleyebilmek için; algılayıcıların veri üretmediği ve ağda bulunan sanal kaynakların ürettiği verileri algılayıcı düğümlere veri iletim ve alım enerjisi harcamadan gönderdiği varsayımında bulunulmuştur. Veri üretimi pratikte düğümün kendisi tarafından yapılırken, modellemede kolaylık sağlamak açısından bu işlem sanal kaynaklar tarafından yapılmaktadır. Her bir sanal kaynak birim zamanda 1 bitlik veri üretmekte ve ürettiği bu veriyi, kendi korelasyon yarıçapı içerisinde kalan algılayıcılara, ağdaki trafiği eniyileyecek şekilde

paylaşmaktadır. Korelasyon yarıçapı, metre cinsinden olup bizim belirlediğimiz değerlere sahiptir. Sanal kaynak sayısı ve korelasyon yarıçapı değiştikçe farklı veri benzeşim durumları ortaya çıkmıştır.

#### 4.5.1. SK (Sıfır Korelasyon)

Şekil 4.4'te üç algılayıcı düğümlü basit bir KAA topolojisi verilmiştir. Düğümler aynı enerji eniyilemesi stratejisini kullanarak harcadığı enerjiyi en aza indirdiğinde ağın ömrünün en iyi duruma gelmediği daha önce söylenmişti [28,29]. Ağın ömrünü en iyi duruma getirebilmek için düğümlerin veri akışlarının ( $f_{ij}$ ) da dengelemesi gerektiği, veri akışları dengelendiğinde ağda enerjinin de dengeli bir şekilde tüketileceği ve böylece ağın ömrünün uzayacağı belirtilmişti. Bunlar göz önüne alınarak SK modelinde LP ile KAA ömrü en iyi seviyeye çıkarılmaya çalışılmıştır. LP için matematiksel kısıtlar (4.3-4.5) tanımlanmış olup doğrusal ve dairesel topolojiler için değerlendirmeler yapılmıştır. İlk kısıtımız herhangi bir akışın negatif olamayacağını, ikinci kısıtımız bir düğümden çıkan ve düğüme giren akışların toplamının sıfır olacağını, üçüncü kısıtımız ise her düğümün iletim ve alım işlerinde harcadığı enerjinin kendi güç kaynağının sahip olduğu enerjiden fazla olamayacağını söylemektedir.



Şekil 4.4. Basit bir KAA topolojisi.

Basit bir KAA topolojisi. 1 numaralı düğüm baz istasyonu olup  $i$  düğümünden  $j$  düğümüne veri akışları  $f_{ij}$ 'ler ile belirtilmiştir.

$$f_{ij} \geq 0 \quad (4.3)$$

$$\sum_j f_{ij} - \sum_j f_{ji} = s_i t \quad i \in [2, N] \quad (4.4)$$

$$t \left\{ \left[ P_{rx} \left( \sum_j f_{ji} \right) + P_{tx,ij} \left( \sum_j f_{ij} \right) \right] \right\} \leq e_i \quad i \in [2, N] \quad (4.5)$$

$f_{ij}$   $i$  düğümünden  $j$  düğümüne veri akışı

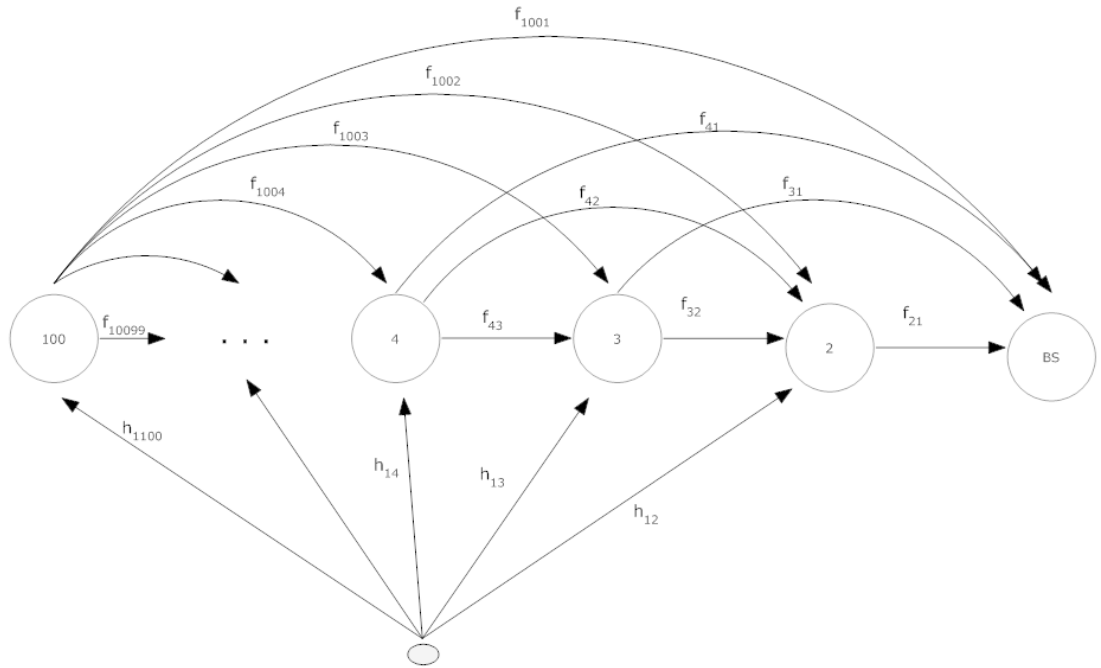
$s_i$  birim zamanda  $i$  düğümünde üretilen bit sayısı

$e_i$   $i$  düğümünün enerjisi

#### 4.5.2. TKTK (Tek Kaynak Tam Korelasyon)

SK modelinde her algılayıcı düğümünün birim zamanda 1 bitlik veri ürettiği varsayılıyordu. Bu durum aslında her algılayıcı düğümün üzerinde korelasyon yarıçapı 0 olan bir sanal kaynak olması durumuna eşdeğerdir. Bu yüzden SK modeli içerisine sanal kaynak katılmasına gerek duyulmamıştır. Ancak TKTK ve diğer veri benzeşim durumları için kullanılan modelde sanal kaynaklar da göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun için kullanılan model biraz değiştirilerek modele sanal kaynak parametreleri eklenir. TKTK modelinde sadece bir tane sanal kaynak vardır ve bu sanal kaynağın korelasyon yarıçapı, ağdaki bütün algılayıcı düğümlere veri gönderebilecek kadar büyüktür. Bu modelde sanal kaynak birim zamanda 1-bitlik veri üretir ve bu veriyi ağın trafiğini eniyileyecek şekilde algılayıcı düğümler arasında paylaşır (Şekil 4.5). Buna ek olarak sanal kaynaktan veri alan algılayıcı düğümler, aldıkları verileri baz istasyonuna yine trafiği eniyileyecek şekilde

göndererek ağ ömrünün iyileştirilmesini amaçlarlar. TKTK için akış grafiği şekilde verilmiş ve LP kısıtları (4.6-4.9) tanımlanmıştır. Birinci ve ikinci kısıtlarımız SK'daki ilk iki kısıtın sanal kaynakların olduğu durum için düzenlenmiş halidir. Üçüncü kısıtımız bir sanal kaynağın algılayıcı düğümlere göndereceği veri miktarını tanımlarken, dördüncü kısıtımız ise veri alım ve iletim işlemleri için harcanan enerjiyi tanımlar.



Şekil 4.5. TKTK modeli için düğümlerin akış şeması. 100 adet algılayıcı düğüm ve bu algılayıcılara veri üretip yollayan sanal kaynak görülmektedir.

$$f_{ij} \geq 0, h_{ki} \geq 0 \quad (4.6)$$

$$\sum_j f_{ij} - \sum_j f_{ji} = h_{ki} t \quad (4.7)$$

$$\sum_i h_{ki} = s_k t \quad (4.8)$$

$$t \left\{ \left[ P_{rx} \left( \sum_j f_{ji} \right) + P_{tx,ij} \left( \sum_j f_{ij} \right) \right] \right\} \leq e_i \quad (4.9)$$

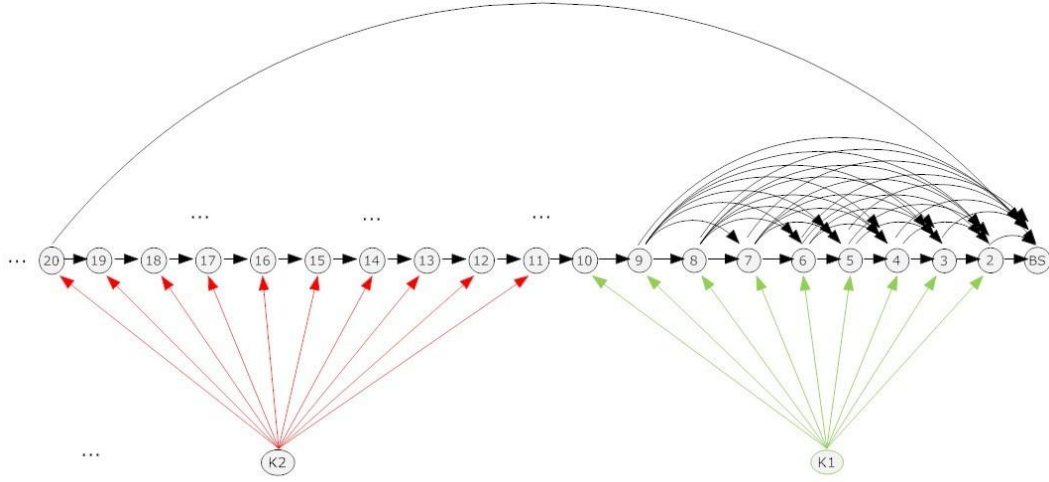
$h_{ki}$  k sanal kaynağından i-düğümüne veri akışı

$s_k$  k sanal kaynağının birim zamanda ürettiği veri miktarı

#### 4.5.3. ÇKÇKn (Çok Kaynak Çakışmayan Korelasyon)

KAA'larda düğümler birbirine yakın yerleştirildiklerinden toplanan veriler arasında korelasyon olması beklenmektedir. Ancak TKTK'daki gibi bütün düğümlerin topladığı verilerin birbirine benzeşmesi durumu göreceli olarak uzak bir ihtimaldir. Bu duruma karşılık sadece birbirine yakın bulunan algılayıcıların topladıkları veriler arasında benzerlik olması beklenmektedir. Bu durum ise bir tek sanal kaynak ile modellenemeyeceğinden birden fazla sanal kaynağın olduğu durumu inceledik. Bu sanal kaynaklar birbirlerinden ayrık veriler üretirken kendi korelasyon yarıçapları içerisinde bulunan algılayıcı düğümlere bu ürettikleri verileri trafiği eniyileyecek biçimde paylaşacaklardır. ÇKÇKn modeli doğrusal topolojide bir sanal kaynağın veri gönderdiği algılayıcı düğüme başka bir sanal kaynak veri göndermemesi şeklinde tasarlanmışlardır. Bunun için sanal kaynaklar birbirlerinden ayrık yerleştirilip, korelasyon yarıçapları açıkta algılayıcı düğüm bırakmayacak ancak bunu yaparken komşularının korelasyon yarıçapı ile kesişmeyecek kadar büyük seçilmiştir. Dairesel topolojide ise düğümler ve sanal kaynaklar rastgele yerleştirildiğinden bu durum bu kadar net olmamakla birlikte korelasyon yarıçapları göreceli olarak küçük seçilerek benzer metot elde edilmeye çalışılmıştır. ÇKÇKn modeli için de TKTK'daki model kullanılmakta, sadece korelasyon yarıçapı ve sanal kaynak sayısı değişkenleri değiştirilmektedir. Şekil 4.5'te görüldüğü gibi çok sayıda sanal kaynak, birbirlerinin veri gönderdiği algılayıcılara veri göndermeden ve gönderdikleri verileri de ağın trafiğini eniyileyecek şekilde göndererek ağın ömrünü eniyilerler. Ayrıca algılayıcı düğümler arasındaki akışlar da trafiği eniyileyecek biçimde gönderilmektedir.

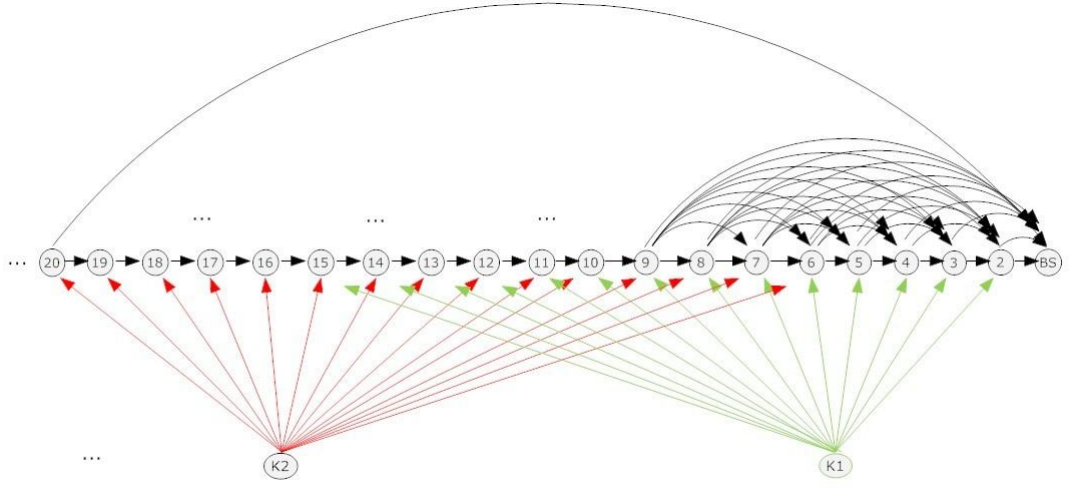
Doğrusal programlamada kullanılan kısıtlar daha önce anlatıldığı gibidir.



Şekil 4.6. ÇKÇKn modeli için düğümlerin akış şeması. Örnek olarak 20 tane düğüm ve bu düğümlere veri gönderen 2 tane sanal kaynak görülmektedir.

#### 4.5.4. ÇKÇKp (Çok Kaynak Çakışan Korelasyon)

Birbirine yakın bulunan düğümlerin benzer veri taşıdığını ve bu verilerin tekrar tekrar baz istasyonuna iletilmesinin enerji kaybı olacağını SK modelinde söylemiştik. TTKK modelinde ise bütün düğümlerin topladıkları verilerin birbirine benzer olduğu varsayımı vardı ki bu da çok olası bir durum değildir. ÇKÇKn modelinde buna engel olabilmek için kaynak sayısını artırıp algılayıcı düğümleri sanal kaynaklara atadık. Böylece bir sanal kaynağın veri gönderdiği algılayıcı düğüme başka bir sanal kaynak veri gönderemeyecekti. Ancak bu durumda da sanal kaynakların erişim mesafeleri çok net bir şekilde kesilmiş olup ÇKÇKn deki sanal kaynakların korelasyon yarıçapının hemen dışındaki algılayıcıların topladıkları verilerin de biraz benzerlik göstermesi beklenebilir. İşte bu duruma karşı önlem olarak ÇKÇKp modeli ortaya konulmuştur. ÇKÇKp modelinde yine çok sayıda sanal kaynak bulunup ÇKÇKn'den farklı olarak bir algılayıcı düğüme birden fazla sanal kaynak veri gönderebilmektedir. Diğer bir deyişle ÇKÇKn deki sanal kaynak sayısı ve fiziksel konumları aynı kalarak sanal kaynakların korelasyon yarıçapları artırılmıştır (Şekil 4.6). ÇKÇKn'de olduğu gibi ÇKÇKp'de de düğümler, KAA'nın ömrünü maksimize etmek için ağdaki akışları eniyileyerek yollarlar. Bu modelde de daha kullandığımız doğrusal programlama modeli kullanılmaktadır.



Şekil 4.7. ÇKÇKp modeli için düğümlerin akış şeması. Örnek olarak 20 tane düğüm ve bu düğümlere veri gönderen 2 tane sanal kaynak görülmektedir.

## BÖLÜM 5

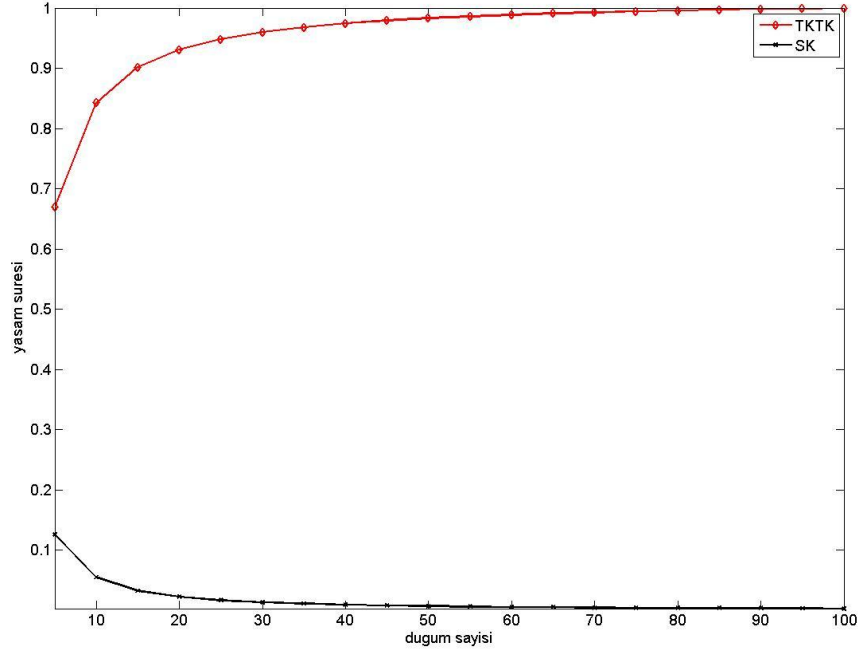
### 5. NÜMERİK ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELER

Yapılan nümerik analizlerde N adet algılayıcı, k adet sanal kaynak ve 1 adet baz istasyon düğümü içeren doğrusal ve dairesel ağ topolojileri incelenmiştir. Modelimizde her k sanal kaynağı birim zamanda  $s_k$  birim ham veri üretmektedir. Yukarıda anlatılmış olan modellerin nümerik analizleri, doğrusal topoloji ve dairesel topoloji olmak üzere iki kısımda incelenecektir.

#### 5.1. Doğrusal Topolojide İncelemeler

Sistem parametreleri olarak  $\rho = 50\text{nJ}$ ,  $\varepsilon = 100\text{pJ}$  ve  $\alpha = 2$  [38] seçilmiştir. Bu topolojide algılayıcı düğümler eşit aralıklarla bir doğru üzerine yerleştirilmiş ve baz istasyonu oluşan doğrunun sonunda yer almıştır. Kullanılan doğrusal topoloji sayesinde ağ büyüklüğünün, düğüm sayısının, sanal kaynak sayısının ve bu sanal kaynakların korelasyon yarıçaplarının değişiminin KAA'nın ömrü üzerindeki etkisini gözlemlemek kolay olmaktadır.





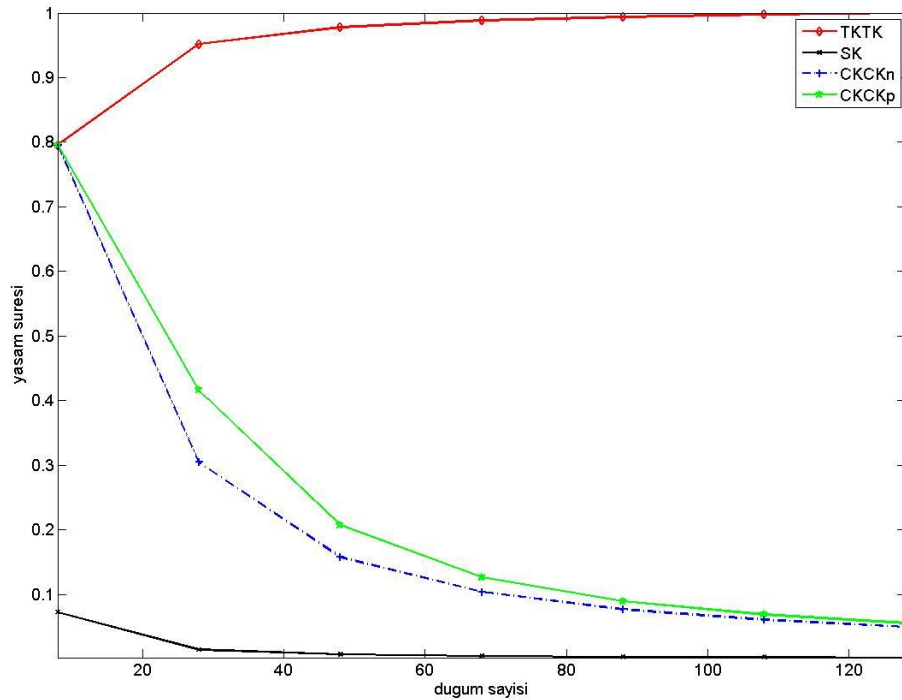
Şekil 5.1. TKTK ve SK'nın yaşam sürelerinin karşılaştırılması

Şekil 5.1'de 10 m aralıklarla yerleştirilmiş algılayıcı düğümlerinin düğüm sayısına karşı normalize edilmiş ağ ömrü süreleri verilmiştir. Nümerik analizlerde TKTK ve SK modelleri kullanılmıştır. Şekilde SK mavi ile, TKTK kırmızı ile gösterilmiştir. Görüldüğü üzere düğüm sayısı arttıkça SK'nın yaşam süresi azalırken TKTK'nın yaşam süresi artmaktadır. Bunun sebebi SK'da düğümler arası korelasyon olmadığından her düğüm aynı miktarda bilgi üretecek (1 bps) ve bunu diğer düğümler üzerinden göndermeye çalışacaktır. Bu da daha fazla yollama ve alma enerjisi harcatacağından düğüm sayısı arttıkça yaşam süresi azalır. Bu durumda TKTK için de düğüm sayısı arttıkça yaşam süresinin azalması beklenebilir. Fakat Şekil 5.1'de görüldüğü üzere TKTK modelinde düğüm sayısı arttıkça yaşam süresi artmaktadır. Bunun sebebi Tablo 1 incelenerek daha kolay açıklanabilir.

Çizelge 5.1 – TKTK modelinde üretilen bilgilerin algılayıcılara dağılımı

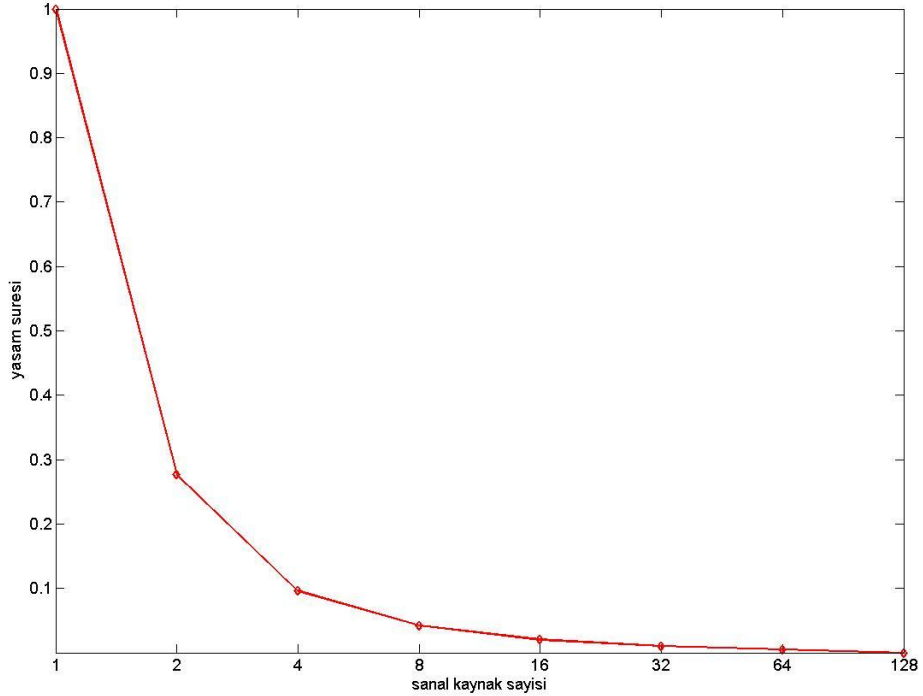
	<b>5 - düğüm</b>	<b>10 - düğüm</b>	<b>15 - düğüm</b>	<b>100 - düğüm</b>
<b>h11</b>	0	0	0	0
<b>h12</b>	333.333	333.333	333.333	333.333
<b>h13</b>	222.222	222.222	222.222	222.222
<b>h14</b>	142.857	142.857	142.857	142.857
<b>h15</b>	95.238	95.238	95.238	95.238
<b>h16</b>		66.667	66.667	66.667
<b>h17</b>		4.878	4.878	4.878
<b>h18</b>		37.037	37.037	37.037
<b>h19</b>		28.986	28.986	28.986
<b>h110</b>		23.256	23.256	23.256
<b>h111</b>			19.048	19.048
<b>h112</b>			15.873	15.873
<b>h113</b>			13.423	13.423
<b>h114</b>			11.494	11.494
<b>h115</b>			0.995	0.995
<b>h116</b>				0.8696
<b>h133</b>				0.1944
<b>h146</b>				0.0985
<b>h156</b>				0.066
<b>h172</b>				0.0396
<b>h183</b>				0.0297
<b>h191</b>				0.0247
<b>h199</b>				0.0208
<b>h1100</b>				0.0204

Tablo 1’de görüldüğü üzere TKTK modelinde izlenen politika, baz istasyonuna en yakın düğümün, enerjisi bitene kadar bilgi üretip bu bilgiyi baz istasyonuna göndermesi şeklindedir. Baz istasyonuna en yakın düğümün enerjisi tükendiği için ikinci en yakın düğüm ürettiği bütün bilgiyi baz istasyonuna kendisi göndermek zorunda kalır. Yalnız bu düğüm en yakın düğümünden daha uzak olduğundan ve de bilgi gönderme enerjisi uzaklığın karesiyle doğru orantılı olarak arttığından en yakın düğümün ürettiği ve gönderdiği bilgiden daha az bilgiyi ancak üretip yollayabilir. Bu düğüm de bütün enerjisini bitirene kadar bilgi üretip yollayacağından, enerjisi bitince sıra üçüncü en yakın düğüme gelir. O da ikinci en yakın düğüm gibi daha az bilgi üretir ve tüm enerjisini harcar. Bu durum bütün düğümler bitene kadar devam eder. Yani düğüm sayısının artmasının yaşam süresini azaltacağı öngörüsü yanlış olup tam tersine artırmaktadır. Bu durumda söyleyebiliriz ki düğümlerin topladıkları bilgiler arasında korelasyon olması, korelasyon olmamasından daha iyidir.



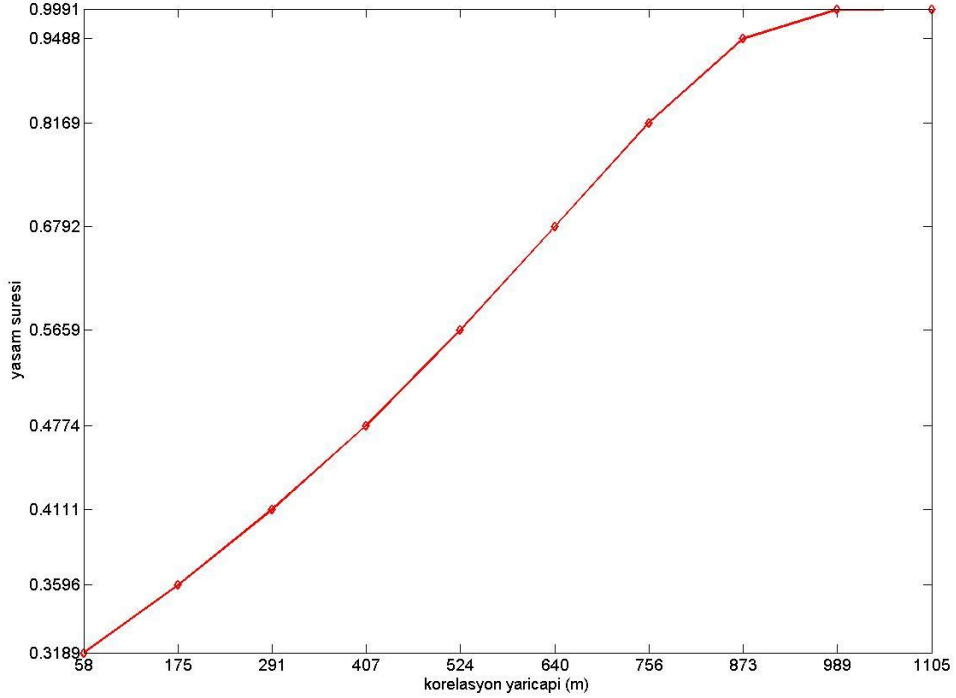
Şekil 5.2. TKTK, ÇKÇKp, ÇKÇKn ve SK'nın yaşam sürelerinin karşılaştırılması

Şekil 5.2’de 10 m aralıklarla yerleştirilmiş algılayıcı düğümlerinin düğüm sayısına karşı normalize edilmiş ağ ömrü süreleri verilmiştir. Nümerik analizlerde TKTK, ÇKÇKp, ÇKÇKn ve SK modelleri kullanılmıştır. Şekil 5.2’yi incelediğimizde, ÇKÇKn’nin yaşam süresinin SK’dan fazla ancak TKTK’dan az olduğunu görürüz. Bunun sebebi birbirine yakın düğümler arasında korelasyon olup birbirinden uzak düğümler arasında korelasyon olmamasıdır. Bu durumda az da olsa korelasyon bilgisinin hesaba katılmasının, korelasyon bilgisinin hesaba hiç katılmamasından daha iyi olduğu gözükmemektedir. ÇKÇKp için ise düğümlerin topladıkları veriler arasında ÇKÇKn’den daha fazla benzeşim olduğu bilindiğinden yaşam süresinin ÇKÇKn’den daha fazla olması doğaldır. Ancak fazla veri benzeşimi olmasına rağmen yine de TKTK’daki kadar veri benzeşimi sağlayamadığından yaşam süresinin TKTK kadar fazla olmaması da beklenen bir durumdur.

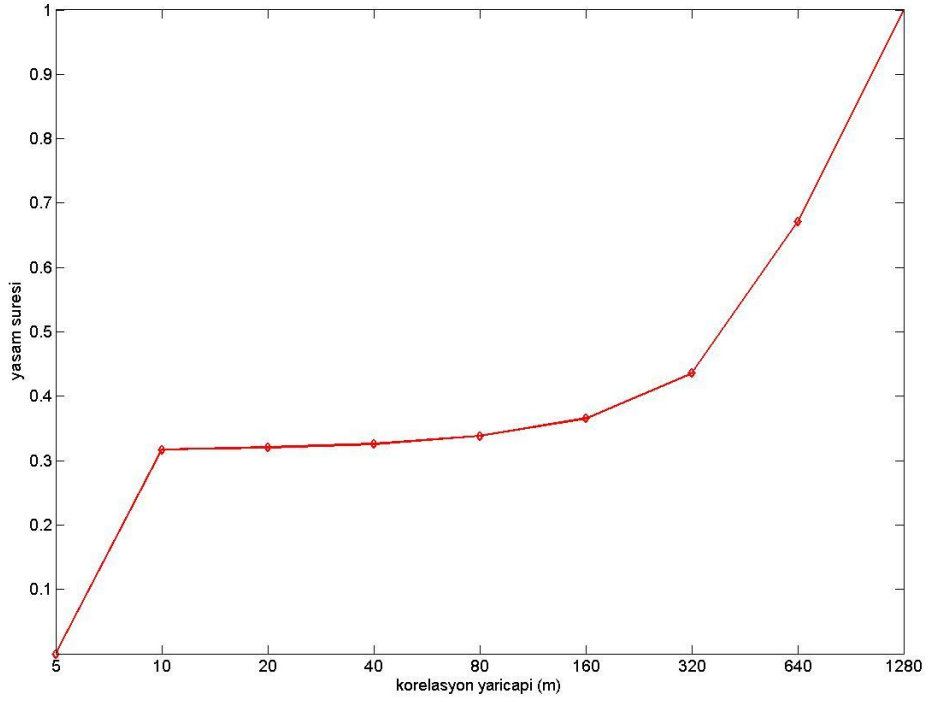


Şekil 5.3. ÇKÇKn’de değişen korelasyon yarıçapının yaşam süresine etkisi

Şekil 5.3’de 10 m aralıklarla yerleştirilmiş 128 algılayıcı düğümünün bulunduğu ağda sanal kaynak sayısına karşı normalize edilmiş ağ ömrü süreleri verilmiştir. Nümerik analizde ÇKÇKn modeli kullanılmıştır. Bu şekilde ÇKÇKn kuralları çerçevesinde sanal kaynak sayısının artması durumu incelenmiştir. ÇKÇKn kuralları gereği bir sanal kaynak, başka bir sanal kaynağın veri gönderdiği düğüme veri gönderemeyeceği için sanal kaynak sayısı arttıkça özdeş olan sanal kaynakların korelasyon yarıçapları azalmaktadır. Grafik incelendiğinde sanal kaynak sayısı arttıkça ağın yaşam süresinin azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi, kaynak sayısının artmasının birim zaman başına transfer edilmesi gereken bit sayısının da artmasına neden olmasıdır. Birim zamanda transfer edilmesi gereken bit sayısı arttıkça ağdaki veri miktarı artacak, böylece veri iletimi ve veri alımı için harcanan enerjiler artacak ve sonuçta ağın yaşam süresi kısıllacaktır.



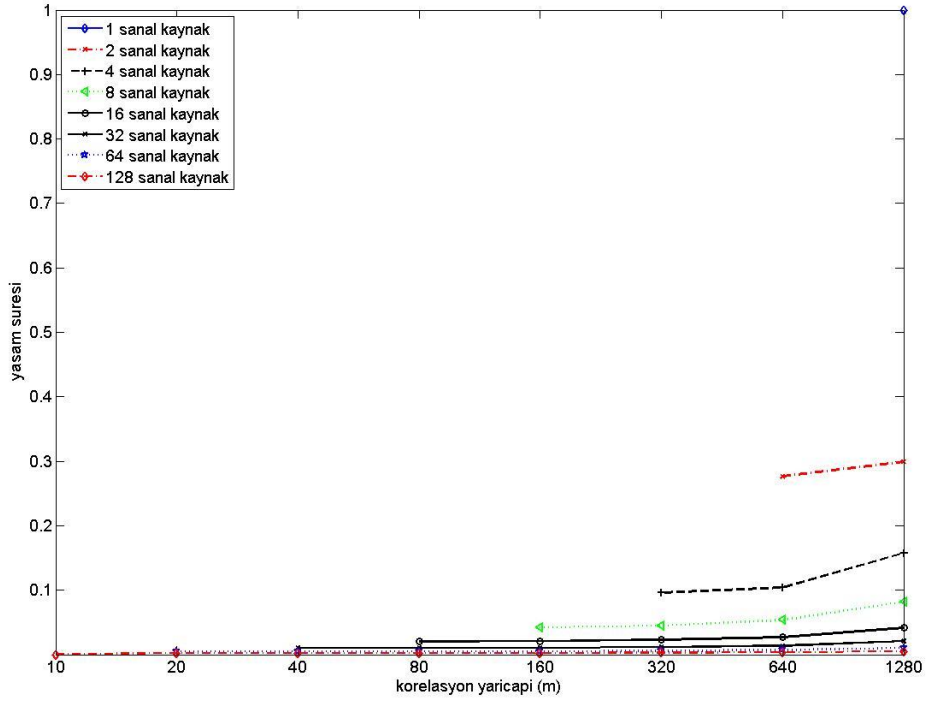
Şekil 5.4. 10 tane sanal kaynağa sahip ağda korelasyon yarıçapı değişiminin yaşam süresine etkisi



Şekil 5.5. 128 tane sanal kaynağa sahip ağda korelasyon yarıçapı değişiminin yaşam süresine etkisi

Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'de 10 m aralıklarla yerleştirilmiş 128 algılayıcı düğümünün bulunduğu ağda sanal kaynakların korelasyon yarıçaplarına karşı normalize edilmiş ağ ömrü süreleri verilmiştir. Nümerik analizde ÇKÇKp modeli kullanılmıştır. 128 düğümlük ağımızın içine Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te sırasıyla 10 ve 128 tane sanal kaynağın tamamen eşit aralıklarla dağıtıldığı ve korelasyon yarıçapının artırılarak yaşam süresinin gözlemlendiği durumlar incelenebilir. Burada korelasyon yarıçapları öyle seçilmişlerdir ki, ilk durumda bir kaynak başka bir kaynağın veri gönderdiği düğüme veri gönderemezken son durumda bütün kaynaklar bütün düğümlere veri gönderebilecek hale gelir. Yani ilk durumda incelenen ağ ÇKÇKn modeline uymakta iken son durumda her bir sanal kaynak için TKTK modeline uymaktadır. Bu yeni modele Çok Kaynak Tam Korelasyon (ÇKTK) diyebiliriz. Sanal kaynak sayısı değişmediği için toplamda üretilen ve gönderilen bit sayısı sabit kalır. Korelasyon yarıçapı arttıkça sanal kaynaklar ürettikleri verileri algılayıcı düğümlere daha dengeli

biçimde paylaşırabileceğinden yaşam süresinin de artması bekleniyordu ve bu beklenti Şekil 5.2'deki inceleme ile de destekleniyordu. Bu grafikler, bu savın doğruluğunu göstermektedir.



Şekil 5.6. Sanal kaynak ve korelasyon yarıçapı değişimlerinin yaşam süresine etkisi

Şekil 5.6'da 10 m aralıklarla yerleştirilmiş 128 algılayıcı düğümünün bulunduğu ağda sanal kaynakların korelasyon yarıçaplarına karşı normalize edilmiş ağ ömrü süreleri verilmiştir. Nümerik analizde ÇKÇKp modeli kullanılmıştır. Şekil 5.6'da değişen sanal kaynak sayıları için değişen korelasyon yarıçapları incelenmiştir. Sanal kaynak sayısı 1 den başlayıp 128 e kadar 2 nin katları şeklinde artırılmıştır. Her sanal kaynak sayısı için de korelasyon yarıçapı mümkün olan minimum değerinden (ki bu durum ÇKÇKn ile özdeştir) başlanarak, bütün sanal kaynakların bütün düğümlere veri gönderebildiği değere (ki bu durum ÇKTK ile özdeştir) kadar artırılmış ve bütün bu durumlarda ağın yaşam süresi incelenmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere sanal

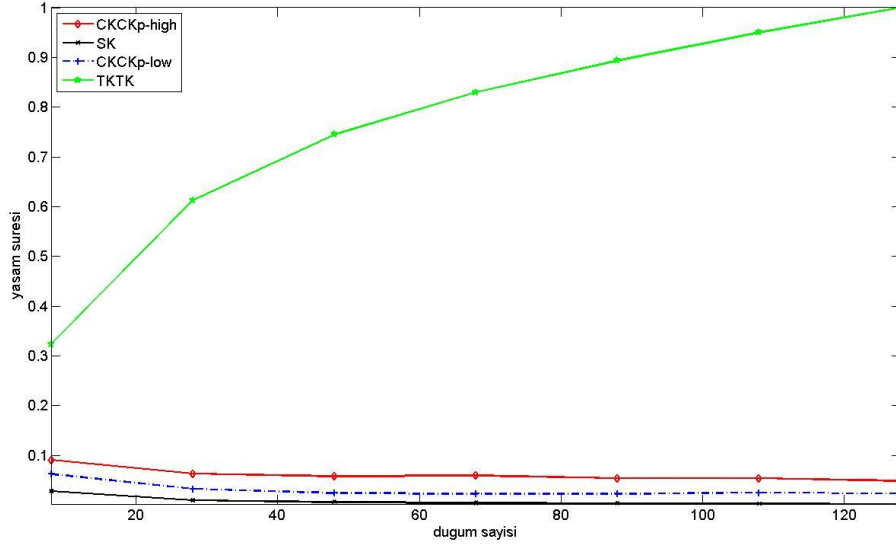
kaynak sayısı 1 den 2 ye çıktığı anda bile yaşam süresi yarıdan daha aza düşmektedir. Ağda dolaşan bilginin birim zamanda sadece 1 bit artmasının bile yaşam süresini bu kadar düşürdüğü gözlemlendiğinde, benzeşen verilerin ağda dolaşmamları gerektiği gerçeği daha da vurgulanmış oluyor. Bu grafikte artık çok kolay görülebilmektedir ki, bir ağda sanal kaynak sayısı arttıkça o ağın yaşam süresi düşerken eğer sanal kaynak sayısı sabitse korelasyon yarıçapı artarken ağın yaşam süresi de artmaktadır.

## 5.2. Dairesel Topolojide İncelemeler

Dairesel topolojide doğrusal topolojiden farklı olarak rastgele bir dağılım kullanılmıştır. Algılayıcı düğümler, dairesel bir alanın içerisine rastgele yerleştirilmektedir. Baz istasyonu, bu dairesel alanın ortasında yer almaktadır. Her bir algılayıcı düğüm başına verilen alan  $500m^2$  olarak seçilmiştir. Düğümler, dairesel alan içerisine rastgele yerleştirildiğinden lineer programı bir kere çalıştırıp sonuçları incelemek çok da doğru sonuçlar vermeyecektir. Lineer programın optimum değer olarak verdiği sonuçların gerçek sonuçlara yaklaşması için her LP 1000 kere çalıştırılmış ve bu 1000 tekrarda elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak gerçek sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır.

Düğümler dairesel alan içerisine rastgele yerleştirildiği için doğrusal topolojide yer alan ÇKÇKn modelini aynen gerçekleştiremeyeceğimizi daha önceden söylemiştik. Bunun yerine ÇKÇKp\_low ve ÇKÇKp\_high adında iki model ile doğrusal topolojideki duruma yaklaştırmaya çalışacağız. Buna karşın, doğrusal topolojidekinden farklı olmak üzere Voronoi diyagramını kullanarak elde etmeye çalıştığımız yeni bir ÇKÇKn modeli bulunmaktadır. Bu modelin incelemelerini de ilerleyen kısımlarda yapacağız.

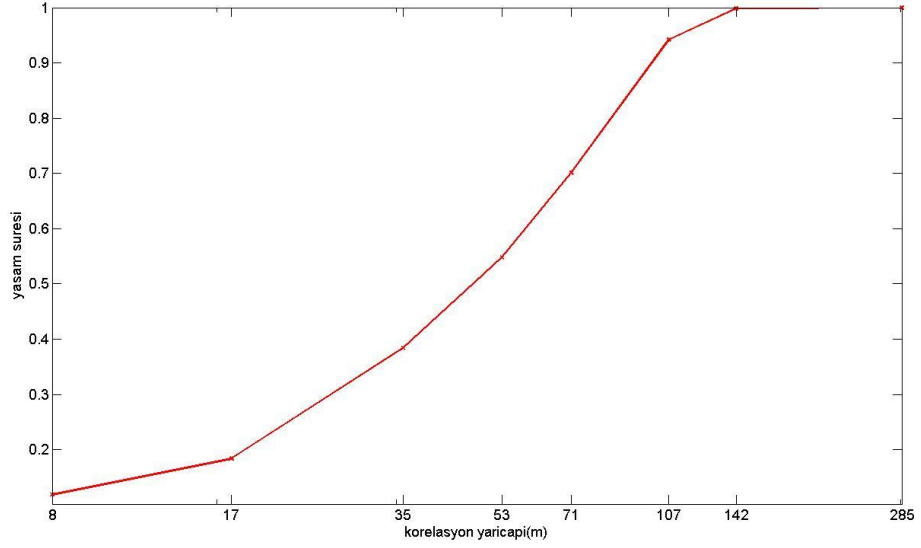




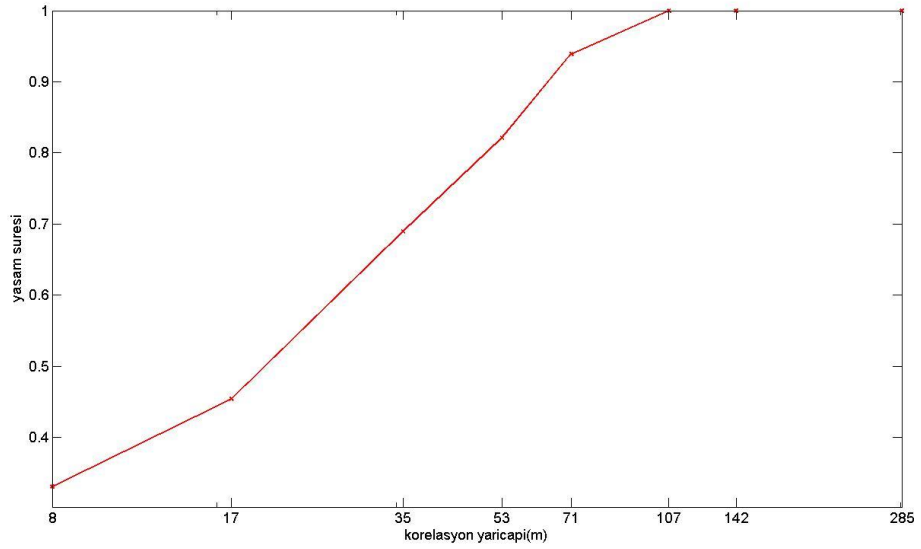
Şekil 5.7. TKTK, ÇKÇKp\_low, ÇKÇKp\_high ve SK'nın yaşam sürelerinin karşılaştırılması

Şekil 5.7'de düğüm başına 500 m<sup>2</sup> lik alana sahip bir daireye rastgele yerleştirilmiş algılayıcı düğümlerinin düğüm sayısına karşı normalize edilmiş ağ ömrü süreleri verilmiştir. Nümerik analizlerde TKTK, ÇKÇKp\_low, ÇKÇKp\_high ve SK modelleri kullanılmıştır. Şekil 5.7'yi incelediğimizde, Şekil 5.2'dekine benzer olarak yaşam süresi en fazla olan model TKTK, en az olan model ise SK dır. Yine Şekil 5.2'deki gibi TKTK modelinde düğüm sayısı arttıkça yaşam süresi artarken diğer modellerde düğüm sayısı arttıkça yaşam süresi azalmaktadır. Şekil 5.2'den farklı olarak ÇKÇKp\_low ve ÇKÇKp\_high modellerinin yaşam süreleri, TKTK modelinin yaşam süresinden çok daha azdır. Bunun sebebi, Şekil 5.2'de incelenmiş olan doğrusal topolojide yeni düğüm eklendikçe bu düğümün baz istasyonuna bir önceki düğümden daha uzak olması, böylece her yeni eklenen düğümden yaşam süresinin azalarak artmasıdır. Oysa Şekil 5.7'de incelenen dairesel topolojide yeni düğüm eklendikçe dairenin alanı büyüye bile eklenen düğümlerin doğrusal topolojidekine göre baz istasyonuna yakın olup yaşam sürelerini daha fazla artırabilmeleridir. TKTK modelinde düğüm eklendikçe yaşam süresi artarken diğer modellerde yaşam süresi azaldığından normalize etme işleminden dolayı aradaki fark artar. Normalize

etme işlemi, bütün modellerin bütün düğüm sayıları için hesaplanan yaşam süresi değerlerini, hepsinin en büyüğüne bölerek yapılmaktadır.

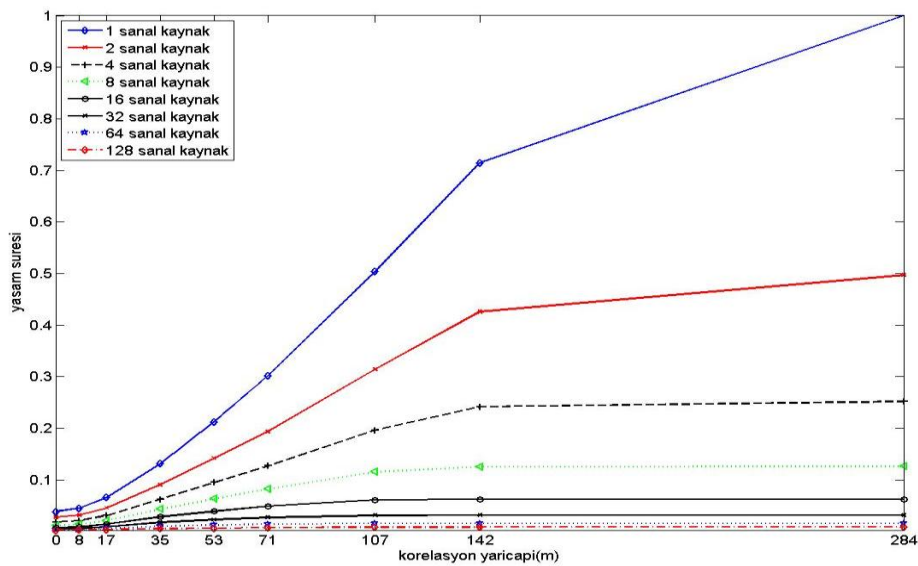


Şekil 5.8. 10 tane sanal kaynağa sahip ağda korelasyon yarıçapı değişiminin yaşam süresine etkisi



Şekil 5.9. 128 tane sanal kaynağa sahip ağda korelasyon yarıçapı değişiminin yaşam süresine etkisi

Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da düğüm başına 500 m<sup>2</sup> lik alana sahip bir daireye rastgele yerleştirilmiş 128 algılayıcı düğümünün bulunduğu ağda sanal kaynakların korelasyon yarıçaplarına karşı normalize edilmiş ağ ömrü süreleri verilmiştir. Nümerik analizlerde ÇKÇKp modeli kullanılmıştır. Şekil 5.8’de topoloji, dairesel alana 128 düğüm yerleştirildikten sonra bu düğümlerden rastgele 10 tanesi aynı zamanda sanal kaynak seçilerek oluşturulmuştur. Şekil 5.9’da ise bütün düğümler aynı zamanda birer sanal kaynaktır. Burada korelasyon yarıçapları öyle seçilmişlerdir ki, ilk durumda her sanal kaynak sadece üzerinde bulunduğu algılayıcı düğüme veri gönderebilirken son durumda bütün sanal kaynaklar bütün düğümlere veri gönderebilecek hale gelir. Sanal kaynak sayısı değişmediği için toplamda üretilen ve gönderilen bit sayısı sabit kalır. Korelasyon yarıçapı arttıkça sanal kaynaklar ürettikleri verileri algılayıcı düğümlere daha dengeli biçimde paylaştırabileceğinden yaşam süresi de artar. Şekil 5.8 ve Şekil 5.9, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5 ile karşılaştırıldığında korelasyon yarıçapı arttıkça dairesel topolojideki yaşam süresi artışının daha çabuk olduğunu görebiliriz. Bunun sebebi, dairesel topolojide korelasyon yarıçapının artmasının doğrusal topolojideki korelasyon yarıçapı artmasından daha fazla alan kapsamı; yani benzer miktardaki artışla dairesel topolojinin daha fazla algılayıcı düğüme erişebilmesidir.

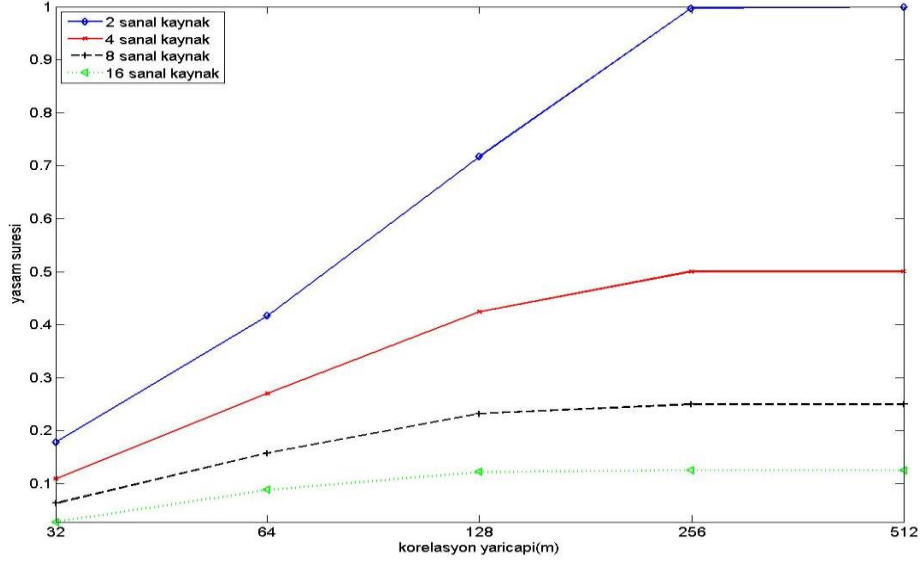


Şekil 5.10. Sanal kaynak ve korelasyon yarıçapı değişimlerinin yaşam süresine etkisi

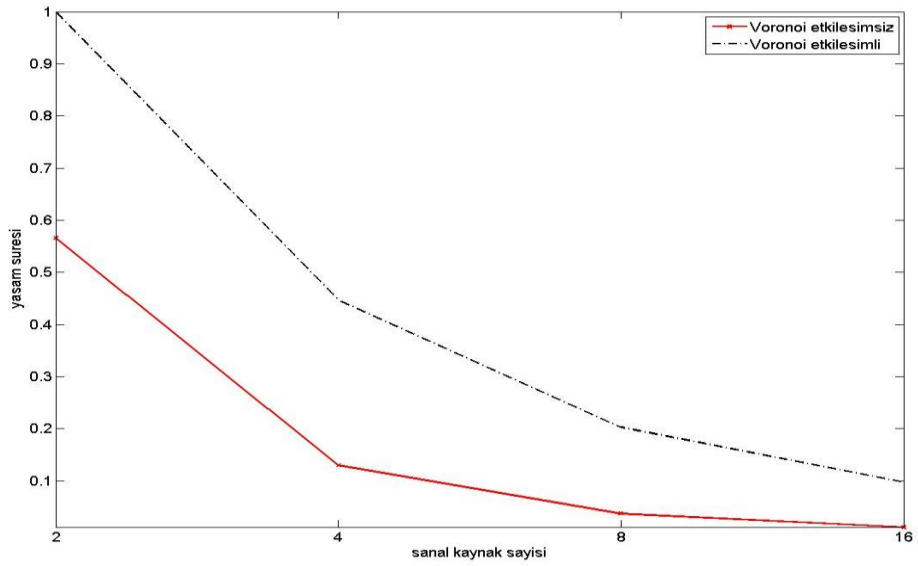
Şekil 5.10'da düğüm başına  $500 \text{ m}^2$  lik alana sahip bir daireye rastgele yerleştirilmiş 128 algılayıcı düğümünün bulunduğu ağda sanal kaynakların korelasyon yarıçaplarına karşı normalize edilmiş ağ ömrü süreleri verilmiştir. Nümerik analizlerde ÇKÇKp modeli kullanılmıştır. Şekil 5.10'da topoloji, dairesel alana 128 düğüm yerleştirildikten sonra bu düğümlerden sanal kaynak sayısı kadar rastgele seçilerek oluşturulmuştur. Şekil 5.10'da değişen sanal kaynak sayıları için değişen korelasyon yarıçapları incelenmiştir. Sanal kaynak sayısı 1 den başlayıp 128 e kadar 2 nin katları şeklinde artırılmıştır. Her sanal kaynak sayısı için de korelasyon yarıçapı mümkün olan minimum değerinden (her sanal kaynak sadece üzerinde bulunduğu algılayıcı düğümüne veri gönderebilir) başlanarak, bütün sanal kaynakların bütün düğümlere veri gönderebildiği değere kadar artırılmış ve bütün bu durumlarda ağın yaşam süresi incelenmiştir. Şekil 5.10'da da Şekil 5.6'dakine benzer şekilde sanal kaynak sayısı arttıkça ağın yaşam süresi azalmış fakat sanal kaynak sayısı sabitken korelasyon yarıçapı arttıkça ağın yaşam süresi de artmıştır. Korelasyon yarıçapı 142 m'ye ulaşana kadar yaşam süresindeki artışın daha fazla olduğu, 142 m'den 284 m'ye geçerken ise artışın azaldığı gözükmektedir. Bunun sebebi 142 m'nin orijin merkezli yarıçap uzunluğu olup sanal kaynakların birkaç metrelik kayma ile neredeyse bütün ağı kapsamasıdır. 142 m ile çoğu kapsanmış olan algılayıcı düğümlerin tamamı ancak korelasyon yarıçapı 284 m olduğunda bütün sanal kaynaklar tarafından kapsanabileceğinden yaşam süresinde artış olmuşsa da korelasyon yarıçapındaki bu artış, yaşam süresinde göreceli olarak düşük miktarda bir artış yaratmaktadır.

Şekil 5.11'de topoloji, şimdiye kadarki incelemelere benzer olarak dairesel alana 128 düğüm yerleştirildikten sonra bu düğümlerden sanal kaynak sayısı kadar rastgele seçilerek oluşturulmuştur ve nümerik analizlerde ÇKÇKp modeli kullanılmıştır. Ayrıca bu modelde de düğümler rastgele yerleştirildiğinden bu model de 1000 kere çalıştırılıp sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır. Önceki incelemelerden farklı olarak algılayıcı düğüm başına düşen alan  $1000 \text{ m}^2$  olarak belirlenmiştir. Şekil 5.11 temelinde Şekil 5.10'un daha sade ve daha anlaşılır biçimidir. Bu grafikte sanal

kaynak sayısı ve korelasyon yarıçapı değişimlerinin yaşam süresine olan etkisi daha açık biçimde gözükmektedir.



Şekil 5.11. Algilayıcı düğüm başına düşen alan  $1000 \text{ m}^2$  iken sanal kaynak ve korelasyon yarıçapı değişimlerinin yaşam süresine etkisi



Şekil 5.12. Etki alanları Voronoi diyagramı ile sınırlandırılan sanal kaynaklara sahip ağlarda sanal kaynak sayısı değişiminin yaşam süresine etkisi

Şekil 5.12’de düğüm başına 1000 m<sup>2</sup> lik alana sahip bir daireye rastgele yerleştirilmiş 128 algılayıcı düğümünün bulunduğu ağda sanal kaynakların sayısına karşı normalize edilmiş ağ ömrü süreleri verilmiştir. Nümerik analizlerde ÇKÇKn modelleri kullanılmıştır. Şekil 5.12’de sanal kaynaklar dairesel topoloji içerisine rastgele dağıtılmışlardır. Bu modelde algılayıcı düğümler rastgele yerleştirildiğinden 1000 tekrar yapılmış ve sonuçların aritmetik ortalamaları alınmıştır. Burada sanal kaynakların veri gönderebildiği algılayıcılar korelasyon yarıçapından ziyade Voronoi diyagramları kullanılarak belirlenmiştir. Yani her algılayıcı düğüm, kendisine Euclid mesafesi olarak en yakın olan sanal kaynaktan veri almaktadır. Bu modelde lineer programlama modelinin mantığından ötürü eğer bir sanal kaynağın etki alanında hiçbir algılayıcı düğüm bulunmuyorsa, o sanal kaynak veri üretmemektedir. Çünkü etki alanında hiçbir algılayıcı düğüm olmadığından üretilen bilgi baz istasyonuna iletilmeyecek ve böylece lineer program çözümsüz kalacaktır. Sanal kaynaklar ürettikleri bilgileri kendi etki alanındaki algılayıcı düğümlere trafiği eniyileyecek biçimde paylaşmışlardır. Bu model içinde ise Voronoi etkileşimli ve Voronoi etkileşimsiz olmak üzere iki farklı metot incelenmiştir. Voronoi etkileşimsiz metodunda algılayıcı düğümler baz istasyonuna veri gönderirken sadece aynı etki alanındaki algılayıcı düğümler üzerinden veri akışı sağlayabilirken Voronoi etkileşimli metodunda baz istasyonuna veri göndermek için diğer bütün algılayıcıları kullanabilmektedirler. Sanal kaynak sayısı arttıkça ağda dolaşan veri sayısı da arttığından yaşam süresi kısalmaktadır. Voronoi etkileşimli metodunun yaşam süresi ise beklendiği ve Şekil 5.12’de görüldüğü üzere Voronoi etkileşimsiz metodunun yaşam süresinden daha fazladır. Bunun sebebi algılayıcı düğümlerin kendilerine gelen verileri ağda daha dengeli biçimde yönlendirebilmeleridir. Şekil 5.12, dairesel topolojide ÇKÇKn metodunun nasıl olabileceğine dair bir fikir vermektedir.

## BÖLÜM 6

### 6. SONUÇLAR

Kablosuz algılayıcı ağlarda (KAA) algılayıcı düğümler birbirlerine yakın yerleştirildiklerinden birbirine benzer veriler ağda çokça ve gereksiz biçimde dolaşmaktadır. Kısıtlı enerji kaynaklarına sahip olan algılayıcı düğümler için bu gereksiz verilerin elenerek ağda dolaşmasının engellenmesi gerekli bir durum olmaktadır. Bunun yanında kablosuz ağların yapılarından meydana gelen aktif nokta problemi gibi sorunlardan dolayı kablosuz algılayıcı ağların yaşam sürelerini uzatmak için çeşitli çözüm yolları mevcuttur. Doğrusal programlama da bu problemin çözümünde kullanılan yaygın bir yöntemdir. Bu tez çalışmasında ise doğrusal programlama modeli benzer verilerin tekrar tekrar üretilmesini engelleyerek algılayıcı düğümlerin enerjilerini verimli biçimde kullanmasını sağlayacak şekilde oluşturulmuş ve KAA içinde veri trafiğinin dengeli bir biçimde dağıtılması ile KAA'nın yaşam ömrünü uzatacak yöntemler araştırılmıştır.

Bu çalışmada farklı modeller farklı ağ topolojileri üzerinde kullanılmış olup karşılaştırılmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmada bir protokol gerçekleştirimi yapılmamıştır. İdeal şartlar altında KAA ömrünün en iyi değerlere ulaşabileceği gösterilmiştir. Pratikte ise bu ideal değerlere ulaşılamayabilir, fakat yaşam ömrünün bazı durumlarda önemli derecede uzatılması sayesinde kabul edilebilir bir kazancımız olacaktır. Yaşam ömürlerinde küçük kazançlarımız olduğu durumların ise pratikte KAA ömrünü çok uzatmayacağı tahmin edilebilir. Kullanılan modellerden birincisi Tek Kaynak Tam Korelasyon (TKTK) modelidir. Bu modelde bir adet sanal kaynak ürettiği veriyi bütün algılayıcı düğümler arasında trafiği eniyileyecek biçimde paylaşmaktadır. İkinci model Çok Kaynak Çakışmayan Korelasyon (ÇKÇKn) modelidir. Bu modelde çok sayıda sanal kaynak vardır ve bir sanal kaynağın veri gönderdiği algılayıcı düğüme diğer sanal kaynaklar veri gönderemez. Üçüncü yöntem olan Çok Kaynak Çakışan Korelasyon (ÇKÇKp)

modeli ise ÇKÇKn modelinden bir noktada ayrılmaktadır. Yine çok sayıda sanal kaynak içeren modelde bir sanal kaynağın veri gönderdiği algılayıcı düğüme diğer sanal kaynaklar da veri gönderebilir. Dördüncü yöntem olan Sıfır Korelasyon (SK) modeli ise algılayıcı düğümlerin topladıkları veriler arasında korelasyon olmaması durumudur. Yapılan testlerde hem düşük hem de yüksek korelasyon yarıçapları kullanarak, fazla verileri eleme ve akış eniyilemesi yapmanın sadece akış eniyilemesi yapılan duruma göre (SK) ağ ömrünü belirgin şekilde uzattığı görülmüştür. Bunun da ötesinde algılayıcı düğümler arasında korelasyon arttıkça ağın yaşam süresinin arttığı gözlemlenmiştir.

Kullanılan tüm stratejilerde, aynı değerlerin kullanıldığı durumlarda kesin olarak söylenememekle birlikte KAA ömrünün belirleyici olarak sanal kaynak sayısına bağlı olacağı tahmini yapılmaktadır. Bu yüzden aynı korelasyon yarıçapı parametrelerinin kullanıldığı modellerde sanal kaynak sayısı arttıkça grafiklerin birbirine yakınsayacağı öngörülmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] M.C.Vuran, Ö.B. Akan and I.F. Akyildiz, "Spatio-temporal correlation: theory and applications for wireless sensor networks". *Computer Networks* 45, pp. 245-259, 2004.
- [2] S. Pattem, B. Krishnamachari and R. Govindan, "The impact of Spatial Correlation on Routing with Compression in wireless sensor networks" in *Proceedings of the IEEE Information Processing in Sensor Networks Symposium*, pp. 28-35, 2004.
- [3] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y.,Cayirci, E., *Wireless sensor network: a survey*, *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*,51(4), 393-422, 2002.
- [4] Tavli, B., Heinzelman, W.B., *Mobile Ad Hoc Networks: Energy-Efficient Real-Time Data Communication*, Springer, 2006.
- [5] Akyildiz, I. F.,Melodia, T.,Chowdhury, R. K. A survey on wireless multimedia sensor networks, *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, 921-960, 2007.
- [6] Intanagonwiwat, C., Govindan, R.,Estrin, D., *Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks*. *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, 56 – 67, Boston, Massachusetts, U.S.A, 2000.
- [7] Vardhan, S., Wilczynski, M., Portie, G.J., Kaiser, W.J., *Wireless integrated network sensors (WINS): distributed in situ sensing for mission and flight systems Aerospace Conference Proceedings*,7, 459 -463,2000.
- [8] O. Ceylan and B. Tavli, "Investigation of the Effects of Compression and Flow Balancing in Wireless Sensor Networks Lifetime," in *Proceedings of the IEEE Signal Processing and Applications Conference*, pp. 762-764, 2009.
- [9] M. C. Vuran, and I. F. Akyildiz, "Spatial Correlation-based Collaborative Medium Access Control in Wireless Sensor Networks", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 14, issue 2, pp. 316-329, Apr. 2006.
- [10] Ergen, S. C., Varaiya, P., *On multi-hop routing for energy-efficiency*, *IEEE Communications Letters*, 9, 880-881, 2005.
- [11]Woo, A., Culler, D., *A transmission control scheme for media access in sensor networks*. *Mobicom*, Rome, Italy, 2001.
- [12] Sohrabi,K., *Protocols for self-organization of a wireless sensor network*, *IEEE Personal Communications*,7(5), 16-27, 2000.
- [13] Clare, L.,Pottie, G., Agre, J., *Self-organizing distributed sensor networks*, in *Proc. SPIE Conf. Unattended Ground Sensor Technologies and Applications*, 229–237 Orlando, U.S.A,1999.
- [14] Sankar, A., Liu, Z., *Maximum Lifetime Routing In Wireless Ad-Hoc Networks*, *IEEE Conference on Computer Communications , Infocom*,Hong Kong, China, 2004.

- [15] Madan, R., Lall, S., Distributed Algorithms for Maximum Lifetime Routing in Wireless Sensor Networks. Global Telecommunications Conference GLOBECOM, IEEE, Dallas, Texas, U.S.A, 2004.
- [16] Hua, C., Yum, T.S.P., Optimal Routing for Maximizing Lifetime of Wireless Sensor Networks, Proc. of IEEE INFOCOM, Miami, U.S.A,2005.
- [17] Park S.,Srivastava M., Power aware routing in sensor networks using dynamic source routing, ACM MONET Special Issue on Energy Conserving Protocols in Wireless Networks, 1999.
- [18] Singh S.,Woo M.,Raghavendra C., Power-aware routing in mobile ad hoc networks, in Proc. 4th Annual ACM/IEEE Int. Conf. Mobile Computing Networking, 1998.
- [19] Youssef M.,Younis M.,Arisha K., A Constrained Shortest-Path Energy-aware Routing for Wireless Sensor Networks, Wireless Communication and Networking Conference (WCNC), Orlando, Florida,U.S.A, 2002.
- [20] R. Shah and J. Rabaey, Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks, in the Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Orlando, Florida, U.S.A, 2002.
- [21] Ettus M., System capacity, latency, and power consumption in multihop-routed SS-CDMA wireless networks, in Proc. Radio and Wireless Conf. (RAWCON), Colorado Springs, U.S.A, 55–58,1998.
- [22] Shepard T., A channel access scheme for large dense packet radio networks, in Proc. ACM SIGCOMM, Stanford, CA,U.S.A, 219–230,1996.
- [23] Cristescu, R.,Beferull-Lozano, B.,Vetterli, M. On Network Correlated Data Gathering, IEEE Infocom, Hong Kong, Mart 2004.
- [24] Goel, A.,Estrin, D., Simultaneous Optimization for Concave Costs: Single Sink Aggregation or Single Source Buy-and-Bulk, ACMSIAM Symposium on Discrete Algorithms, Baltimore, U.S.A, 2003.
- [25]Sadagopan, N., Krishnamachari, B., Maximizing Data Extraction in Energy-Limited Sensor Networks, IEEE Infocom, Hong Kong, Mart 2004.
- [26] Heinzelman, W., Kulik , J.,Balakrishnan,H., Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks, in the Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99), Seattle, WA,U.S.A, 1999.
- [27]Dantzig , G.B., Linear programming, History of Mathematical Programming: A Collection of Personal Reminiscences, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1991.
- [28]Chang,J. H.,Tassiulas, L., Maximum lifetime routing in wireless sensor networks, IEEE/ACM Transactions on Networking (TON ),609 – 619, 2004.
- [29] Cheng, Z.,Perrilo, M.,Heinzelman,W. B., General network lifetime and cost models for evaluating sensor network deployment, IEEE Transactions on Mobile Computing,484-497, 2008.
- [30] Perillo, M. A.,Cheng, Z.,Heinzelman, W., An analysis of strategies for mitigating the sensor network hotspot problem. MobiQuitous,474-478, 2005.
- [31] Ozturk,O.,Chen,G., Kandemir,M. ,Karakoy, M., An Integer Linear Programming Based Approach to Simultaneous Memory Space Partitioning and Data Allocation for Chip Multiprocessors, In Proc. IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI 2006 (ISVLSI 2006), Karlsruhe, Germany,2006.

- [32] Gandham, R. S., Dawande, M., Prakash, R., Venkatesan, S., Energy efficient schemes for wireless sensor networks with multiple mobile stations. Proceedings of IEEE Globecom, 2003.
- [33] Heinzelman, W., Chandrakasan, A., Balakrishnan, S., Energy-efficient communication protocols for wireless microsensor networks (LEACH), Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on Systems Science, 3005-3014, Ocah. 4-7, 2000.
- [34] Sha, K., Shi, W., Modeling the Lifetime of Wireless Sensor Networks. Technical Report MIST-TR-2004-011, Wayne State University, 2004.
- [35] Bhardwaj, M., Chandrakasan, A., Bounding The Lifetime of Sensor Networks via Optimal Role Assignments, Proc. of IEEE (INFOCOM 2002), 1587-1596, New York, USA, Haziran 2002.
- [36] Bhardwaj, M., Garnett, T., Chandrakasan, A.P., Upper Bounds on the Lifetime of Sensor Networks, Communications, IEEE International Conference (ICC 2001), 785-790, 2001.
- [37] Huang, B., Hao, F., Zhu, H., Tanabe, Y., Baba, T., Low-energy static clustering scheme for wireless sensor network, Proceedings of International Conference on Wireless Communications, 1-4, 2006.
- [38] Heinzelman, W., Chandrakasan, A., Balakrishnan, H., An applicationspecific protocol architecture for wireless microsensor networks, IEEE Transactions on Wireless Communications, 660-670, 2002.
- [39] I. F. Akyildiz, M. C. Vuran, and O. B. Akan, "On Exploiting Spatial and Temporal Correlation in Wireless Sensor Networks", WiOpt'04: Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks, Cambridge, UK, Mar. 2004.
- [40] C. Tang, C. S. Raghavendra, and V. K. Prasanna. Power Aware Coding for Spatio-Temporally Correlated Wireless Sensor Data. In IEEE Intl. Conf. on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems, 2004.
- [41] Jindal, A. and Psounis, K. Modeling spatially-correlated sensor network data. In Proceedings of the IEEE International Conference on Sensor and Ad hoc Communications and Networks, 2004.
- [42] B. Tavli, M. Kayaalp, O. Ceylan and I.E. Bagci, Data processing and communication strategies for lifetime optimization in wireless sensor networks, AEU – International Journal of Electronics and Communications, 2009.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : KIZILÖZ, Hakan Ezgi  
Uyruğu : T.C.  
Doğum Tarihi ve Yeri : 26.03.1986  
Medeni Hali : Bekar  
Telefon : 0 (312) 292 4295  
Faks : 0 (312) 292 40 91  
e-Posta : hekiziloz@etu.edu.tr

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Y. Lisans	TOBB ETÜ Bilgisayar Mühendisliği	2010
Lisans	TOBB ETÜ Matematik Bölümü	2008

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008 – 2010	TOBB ETÜ	Araştırma Görevlisi

### Yabancı Dil

İngilizce (ileri seviye), Almanca (başlangıç seviyesi)