

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA BAĞLANTI SAYISININ
SINIRLANDIRILMASININ AĞ ÖMRÜ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

MEHMET BURAK AKGÜN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2010

Fen Bilimleri Enstitü onayı

Prof. Dr. Ünver KAYNAK

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığımı onaylarım.

Prof. Dr. M. Önder EFE

Mehmet Burak AKGÜN tarafından hazırlanan KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA BAĞLANTI SAYISININ SINIRLANDIRILMASININ AĞ ÖMRÜ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Kemal BIÇAKCI

Doç Dr. Bülent TAVLI

Tez Danışmanı

2. Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Kemal BIÇAKCI

Üye : Doç. Dr. Bülent TAVLI

Üye : Yrd. Doç.Dr. Tolga GİRİCİ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali Cafer GÜRBÜZ

Üye: : Yrd. Doç. Dr. Tansel ÖZYER

TEZ BİLDİRİMİ

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

Mehmet Burak AKGÜN

Üniversitesi : **TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi**
Enstitüsü : **Fen Bilimleri**
Anabilim Dalı : **Elektrik ve Elektronik Mühendisliği**
Tez Danışmanları : **Doç. Dr. Kemal Bıçakçı**
Doç. Dr. Bülent Tavlı
Tez Türü ve Tarihi : **Yüksek Lisans – Temmuz 2010**

Mehmet Burak AKGÜN

**KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA BAĞLANTI SAYISININ
SINIRLANDIRILMASININ AĞ ÖMRÜ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

ÖZET

Kablosuz algılayıcı ağlar, en az bir baz istasyonundan ve algılayıcıları vasıtasıyla ortamdaki ürettikleri veriyi baz istasyonuna iletmekle görevli çok sayıda düğümden oluşan ağlardır. Enerji gereksinimlerini bataryalarından karşılayan bu düğümler, genellikle şarj etmenin mümkün olmadığı ve uzun süre hizmet vermesi beklenen ortamlarda çalışmaktadırlar. Dolayısıyla enerji verimliliği, uzun ağ ömrü sağladığı için çok büyük önem arz etmektedir. Kablosuz algılayıcı ağlarda ağ ömrünün eniyilenmesi, düğümlerin enerjilerini dengeli bir tarzda tüketmesi ile mümkün olmaktadır. Dengeli enerji tüketimi de düğümlerin verilerini başka düğümler üzerinden, onları röle olarak kullanarak, baz istasyonuna ulaştırmalarını gerektirmektedir. Bunun sonucu olarak bazı düğümler çok fazla sayıda düğümden veri almakta ve bazıları da çok fazla sayıda düğüme veri göndermektedirler. Bu durum, pratik uygulamalarda ağ karmaşıklığına sebep olması ve büyük rotalama tabloları gerektirmesi nedeniyle istenilmemektedir. Bu çalışmada, öncelikle bir doğrusal programlama altyapısı kullanılarak, ağ ömrünün optimal değerinde, düğümlerin verilerini dağıtma karakteristiği incelenmiştir. Daha sonra ise bir tamsayı-doğrusal programlama modeli kullanılarak, ulaşılabilecek en uzun ağ ömrünün, düğümlerin oluşturdukları giriş ve çıkış bağlantı sayısının sınırlandırılmasıyla nasıl etkilendiği irdelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kablosuz algılayıcı ağlar, doğrusal programlama, enerji verimliliği

University : **TOBB University of Economics and Technology**
Institute : **Intitute of Natural and Applied Sciences**
Science Program : **Electrical and Electronic Engineering**
Supervisors : **Associate Professor Kemal Bıçakçı**
Associate Professor Bülent Tavlı
Degree Awarded and Date: **M.Sc. – July 2010**

Mehmet Burak AKGÜN

**INVESTIGATION OF THE IMPACT OF LIMITING NUMBER OF LINKS ON
THE LIFETIME OF WIRELESS SENSOR NETWORKS**

ABSTRACT

A wireless Sensor network consists of at least one base station and multiple sensor nodes. Sensor nodes transmit the data they produced from the environment through their sensors towards the base station. These nodes are battery powered devices and are expected to operate for a long time where recharging may not be the case. Since it results in maximal lifetime, energy efficiency is an important design objective. Optimization of the network lifetime can be achieved by balancing the energy consumption equally within the whole network. Balanced energy consumption requires nodes to split their flows to many other nodes in order to use them as relays towards the base station. Thus, some nodes have too many inward links and some have too many outward links. This situation is not desirable since it may increase the network complexity and require huge routing tables. In this study, at optimal network lifetime data splitting characteristics of sensor nodes has been examined through a linear programming framework. In the second stage, using a mixed integer programming framework, the impact of limiting number of inward and outward links on the lifetime of wireless sensor networks has been analyzed.

Keywords: Wireless Sensor Networks, Linear Programming, Energy Efficiency

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans çalıőmalarım boyunca bana her türlü yardımı sağlayan ve bana yol gösteren danıőman hocalarım Doç. Dr. Kemal BIÇAKÇI ve Doç. Dr. Bülent TAVLI'ya, ve hayatım boyunca maddi manevi destekleriyle başarılarımda çok büyük pay sahibi olduklarına inandığın aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Kablosuz Algılayıcı Ağlar	1
1.1.1. Dğüümlerin Yapısı	1
1.1.2. Kullanım Alanları	2
1.1.3. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Enerji Verimliliği	3
1.2. Doğrusal Programlama	4
1.3. Tamsayı Programlama	7
1.4. GAMS Genel Cebirsel Modelleme Sistemi	8
2. SİSTEM MODELİ	9
2.1. Doğrusal Programlama Modeli	10
2.2. Tamsayı Programlama Modeli	11
3.SONUÇLAR	13
3.1. Doğrusal Topoloji	13

3.1.1 Doğrusal Program Sonuçları	15
3.1.2. Tamsayı Program Sonuçları	17
3.2. Disk Topoloji	20
3.2.1 Doğrusal Program Sonuçları	21
3.2.2 Tamsayı Programlama Sonuçları	25
3.3. Izgara Topoloji	27
3.3.1. Doğrusal Programlama Sonuçları	27
3.3.2. Tamsayı Programlama Sonuçları	29
4. YORUMLAR	33
KAYNAKLAR	35
EK 1 Doğrusal Topoloji için Tamsayı Programlama Kodu	36
EK 2 Disk Topoloji için Tamsayı Programlama Kodu	38
EK 3 Izgara Topoloji için Tamsayı Programlama Kodu	41
ÖZGEÇMİŞ	43

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge		Sayfa
Çizelge 1.1	Genel Doğrusal Programlama Modeli	5
Çizelge 1.2	Sadeleştirilmiş Eniyileme Denklemleri	6
Çizelge 2.1	Bağlantı Sayısının Bulunmasında Kullanılan Algoritma	11
Çizelge 3.1	Disk Topoloji Rastgele Düğüm Yerleşimi Algoritması	21

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil		Sayfa
Şekil 1.1	Algılayıcı Düğümlerin İç Yapısı	1
Şekil 1.2	Çok Atlamasız Veri Akışı	3
Şekil 1.3	Bencil Davranış Durumunda Veri Akışı	4
Şekil 1.4	Optimal İletim Şeması	4
Şekil 1.5	Optimal İletim Örneği	5
Şekil 1.6	Ağ Ömrünün En İyilenmesi	7
Şekil 3.1	Bağlantı Kısıtları Sonucu Veri Akışı	14
Şekil 3.2	Doğrusal Topoloji Bağlantı Sayısı – Düğüm Sayısı	15
Şekil 3.3	Doğrusal Topoloji Bağlantı Sayısı-Düğüm Mesafesi	16
Şekil 3.4	Doğrusal Topoloji Bağlantı Sayısı-Düğüm Konumu	17
Şekil 3.5	Doğrusal Topoloji Ağ Ömrü Kaybı- Düğüm Sayısı	18
Şekil 3.6	Doğrusal Topoloji Ağ Ömrü Kaybı-Düğümler Arası Mesafe	19
Şekil 3.7	Disk Topoloji Bağlantı Sayısı- Düğüm Sayısı	22
Şekil 3.8	Disk Topoloji Bağlantı Sayısı- Ortalama Kapsama Alanı	23
Şekil 3.9	Disk Topoloji Bağlantı Sayısı- Düğüm Konumu	23
Şekil 3.10	Disk Topoloji Ağ Ömrü Kaybı-Düğüm Sayısı	25
Şekil 3.11	Disk Topoloji Bağlantı Sayısı- Ortalama Kapsama Alanı	26
Şekil 3.12	Izgara Topolojisi	27
Şekil 3.13	Izgara Topoloji Bağlantı Sayısı –Düğüm Sayısı	28
Şekil 3.13	Izgara Topoloji Bağlantı Sayısı –Düğüm aralığı	29
Şekil 3.13	Izgara Topoloji Bağlantı Sayısı –Düğüm Konumu	30
Şekil 3.13	Izgara Topoloji Ağ Ömrü Kaybı –Düğüm Sayısı	31

SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
a_{ij}	i düğümünden j düğümüne doğru bağlantı değişkeni
e	Düğüm bataryalarında ilk durumda bulunan enerji miktarı
f_{ij}	I düğümünden j düğümüne ağ ömrü boyunca iletilecek veri
L	Kurulabilecek en fazla bağlantı sayısı değişkeni
$P_{tx,ij}$	i düğümünden j düğümüne 1 bit iletimi için gereken enerji
P_{rx}	1 bit verinin algılanması için gereken enerji
s	Düğümlerin birim zamanda ürettikleri enerji
t	Ağ ömrü
ρ	1 bit ileitmi için devrede harcanan enerji
ε	antenin verimliliği
d_{ij}^α	i ve j düğümleri arasındaki mesafe
İndisler	Açıklama
α	Ortamdan kaynaklanan sönmülenme katsayısı

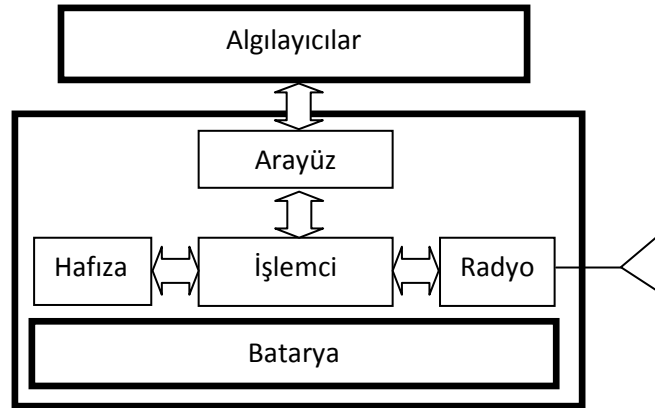
1. GİRİŞ

Bu kısımda öncelikle kablosuz algılayıcı ağlar tanıtılacaktır. Daha sonra küçük bir sistem modeli üzerinde enerji tüketimi dengelenerek ağ ömrünün eniyilenmesi örneklendirilecek ve problemin çözümünde kullanılan doğrusal programlama yöntemi tanıtılacaktır. Son olarak, bağlantı sayısının sınırlandırılmasında kullanılan tamsayı programlama yönteminden ve çalışma süresince kullanılan yazılımdan bahsedilecektir.

1.1. Kablosuz Algılayıcı Ağlar

Kablosuz algılayıcı ağların kullanım amacı, ortamdaki sıcaklık, nem, ses, titreşim, basınç, gaz oranları gibi çevresel faktörlerin düğümlerde bulunan algılayıcılar vasıtasıyla ölçülmesi, elde edilen verinin işlenmesi ve verinin baz istasyonuna ulaştırılması olarak tanımlanmaktadır. Baz istasyonu da elde ettiği veriyi merkezi birime ulaştırmakta ve çevresel faktörlerin merkezi olarak gözetlenmesi mümkün olmaktadır. Kablosuz algılayıcı ağlar, yönlenciler, erişim noktaları gibi altyapı elemanlarının bulunmadığı ortamlarda kendileri organize olarak çalışan tasarsız ağlardır.

1.1.1. Düğümlerin Yapısı



Şekil-1.1 Algılayıcı Düğümlerin İç Yapısı

Kablosuz algılayıcı ağı oluşturan düğümlerin depolayabildikleri enerji miktarı, hesaplama ve iletişim kabiliyetleri ekonomik ve teknolojik sebeplerle kısıtlı olmaktadır.[1]. Kablosuz algılayıcı ağlar hakkında yapılan çalışmaların enerji ve hesaplamsal olarak verimli algoritmalar, protokoller ve rotalar üzerine yoğunlaşması bu sebeptir. Ağın kurulması için çok sayıda düğüm gerekmesi düğüm maliyetlerinin olabildiğince düşük tutulmasını ve düğüm üzerindeki elemanların batarya ile çalışma zorunluluğu da enerji verimli elemanların kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Şekil-1.1'de bir algılayıcı düğümün temel elemanları görülmektedir. İşlemci olarak genellikle 8bitlik mikrokontrolörler ve batarya olarak 2 adet AA pil bulunmaktadır. Kullanılan algılayıcılar ise uygulamaya göre çok farklılık göstermektedir.

1.1.2. Kullanım Alanları

Son yıllarda algılayıcılar, kablosuz iletişim ve mikroelektronik alanındaki gelişmelere paralel olarak kablosuz algılayıcı ağların kullanımı yaygınlaşmaktadır[1]. Uygulamaya göre her bir düğüme bir yada daha fazla algılayıcı yerleştirilebilmektedir. Kablosuz algılayıcı ağların çok farklı uygulama alanları bulunmakla birlikte en temel alanlar şunlardır:

Askeri: Ortamın gözetlenmesi, hedef tespit sistemleri.

Tarım: Arazideki nem, sıcaklık gibi fiziksel parametrelerin gözetlenmesi

Üretim: Ortamdaki zararlı gazların gözlenmesi.

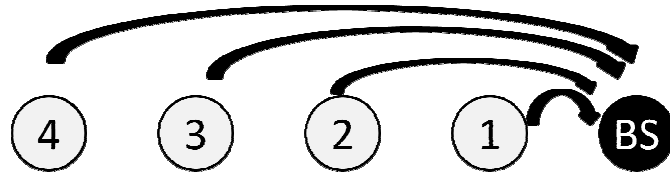
Akıllı Binalar: Sıcaklığın gözetlenmesi ve hareket tespiti

Ulaşım: Ulaşım araçlarının konumlarının, trafik yoğunluğunun gerçek zamanlı görüntülenmesi

Tıbbi: Hastaların biyolojik parametrelerinin gerçek zamanlı görüntülenmesi

1.1.3. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Enerji Verimliliği

Kablosuz algılayıcı ağlar enerji ihtiyaçlarını bataryalarından karşıladıkları için yüksek enerji verimliliği en önemli tasarım hedeflerinden biridir. Buna ilave olarak algılayıcı ağların, genellikle gözetleme amaçlı olarak kullanılması dolayısıyla insanlardan uzak konumlarda kullanımı, batarya değişimi ve tekrar şarj edilme gibi işlemleri çok zor kılmaktadır. Algılayıcı düğümlerin, ortama bırakıldıktan sonra olabildiğince uzun süre hizmet vermesi düğüm üzerindeki elemanların enerji tüketim değerlerine bağlı olduğu kadar, düğümler arasındaki yardımlaşmaya da bağlıdır. Düğümler toplam enerjilerinin çok büyük kısmını veri iletimi için harcamaktadırlar [2]. Ağ içerisindeki enerji tüketiminin dengelenmesinin önemi örnek bir model üzerinde anlatılacaktır. Şekil-2’de 4 düğüm ve bir baz istasyonundan oluşan doğrusal ve eşit aralıklı yerleştirilmiş bir kablosuz algılayıcı ağı verilmiştir. Düğümlerin ürettikleri veriyi gönderirken harcadıkları enerji alıcı düğüme olan uzaklıkla arttığını varsayılmaktadır. Eğer şekil-1.2 de görüldüğü gibi düğümler arasında hiç yardımlaşma olmaz ve bütün düğümler verilerini direk olarak baz istasyonuna gönderirlerse 4 numaralı düğüm enjisini diğer düğümlerden çok daha kısa sürede tüketecek ve ağın kapsama alanı düşecektir.



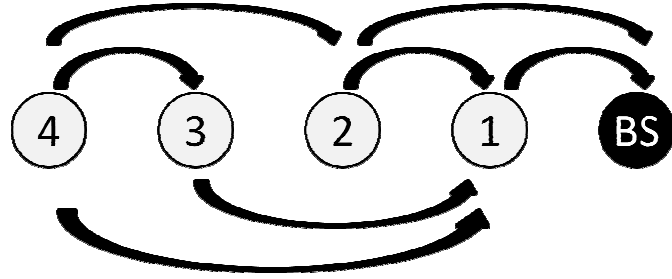
Şekil-1.2 Çok atlamasız veri akışı

İkinci olarak, düğümlerin sadece kendi enerji kısıtlarını düşünerek veri iletimi yaptığı durum Şekil-1.3’de verilmiştir. Buna göre her düğüm kendisine en yakın olan düğüme verisini göndermekte ve bu veriyi onlar üzerinden atlatmaktadır. Bu durumda 1 numaralı düğüm diğer düğümlerden gelen verilerin baz istasyonuna iletiminde de enerji harcayacağı için enerjisini ilk önce tüketecek ve ağın kapsama alanı düşecektir.



Şekil-1.3 Bencil davranış durumunda veri akışı

Şekil-1.2 ve şekil-1.3’de enerji tüketiminin verimsiz kullanıldığı iki uç durum örneklenmiştir. Ağdaki düğümlerin enerjilerini en verimli şekilde kullanması düğümlerin enerjilerini dengeli harcaması ile mümkün olmaktadır. Bu da Şekil-1.4’de görüldüğü üzere düğümlerin çok atlama tekniğini akıllıca kullanmalarını ve gerektiğinde verilerini bölerek çok sayıda düğüme göndermelerini gerektirir. En uzun ağ ömrünü veren bu iletim şemasının bulunması ise doğrusal programlama ile mümkündür[4][6][7].



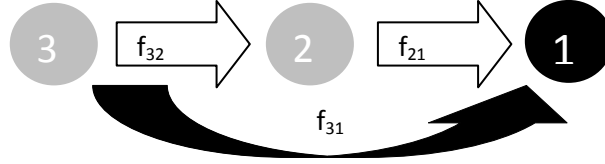
Şekil-1.4 Optimal iletim şeması

1.2.Doğrusal Programlama

Doğrusal programlama, verilen doğrusal kısıtlar çerçevesinde doğrusal bir amaç fonksiyonuna eniyi değeri veren çözümü bulmak için kullanılan yöntemdir. Eniyi değer bulunabilmesi için hangi yönde (pozitif, negatif) eniyileme yapılacağı problem tanımlanırken belirtilmelidir. Değişkenler reel sayıdır ve süreklidirler. Doğrusal programlama problemlerinin genel modeli Çizelge 1.1’de görülmektedir. Bu ifadelerde X değişkenler vektörü, c ve b katsayı vektörü ve A ise katsayı matrisidir.

Çizelge 1.1 Genel Doğrusal Programlama Modeli

Amaç Fonksiyon:	$C^T X$
Kısıtlar:	$AX \leq B$



Şekil-1.5 Optimal iletim örneği

Doğrusal programlamanın kablosuz algılayıcı ağlar üzerinde uygulanması, 2 düğüm ve 1 baz istasyonundan oluşan şekil-1.5'teki model üzerinde örneklendirilecektir.[3] Bu modele göre i düğümünden j düğümüne ağ ömrü boyunca iletilen veri miktarı f_{ij} değişkeni ile belirtilmiştir. Düğümler birim zamanda $s=1$ bit veri üretmektedirler. Düğümlerin ilk batarya enerjileri e sabitidir. i düğümünden j düğümüne 1-bit veri gönderilirken harcanan enerji $P_{tx,ij}$ ve alırken harcanan enerji P_{rx} ile belirtilmiştir. İletimde mesafenin karesi kadar birim enerji harcanmakla birlikte verinin alınmasında harcanan enerji 1 birimdir. Ardışık düğümler arası mesafe 1 birimdir. Amaç değişkeni ağ ömrü t 'dir ve pozitif yönde eniyilenecektir. Bu modele göre (1.1) ve (1.2)'deki kısıtlar çıkarılabilir. (1.1.a) ve (1.1.b) denklemleri düğümlerin enerji kısıtlarını temsil etmektedirler. Herbir düğümün veri alırken ve gönderirken harcadığı toplam enerji, ilk andaki batarya enerjisinden büyük olamaz. (1.2.a) ve (1.2.b) ifadeleri ise algılayıcı düğümlerin ilettikleri veri miktarını, algıladıkları ve ürettikleri verilerin toplamına eşitlenmiştir.

$$f_{32}P_{tx,32} + f_{31}P_{tx,31} \leq e \quad (1.1.a)$$

$$f_{21}P_{tx,21} + f_{32}P_{rx} \leq e \quad (1.1.b)$$

$$f_{32} + f_{31} - s \cdot t = 0 \quad (1.2.a)$$

$$f_{21} - f_{32} - s \cdot t = 0 \quad (1.2.b)$$

İletim ve alım için harcanan enerji değerleri yerine konulduğunda (1.3) ve (1.4) denklemleri elde edilir.

$$f_{32} + 4f_{31} \leq e \quad (1.3.a)$$

$$f_{21} + f_{32} \leq e \quad (1.3.b)$$

$$f_{32} + f_{31} - t = 0 \quad (1.4.a)$$

$$f_{21} - f_{32} - t = 0 \quad (1.4.b)$$

t, (1.6.a) ifadesinden çekilip (1.6.b) İfadesinde yerine yazıldığında

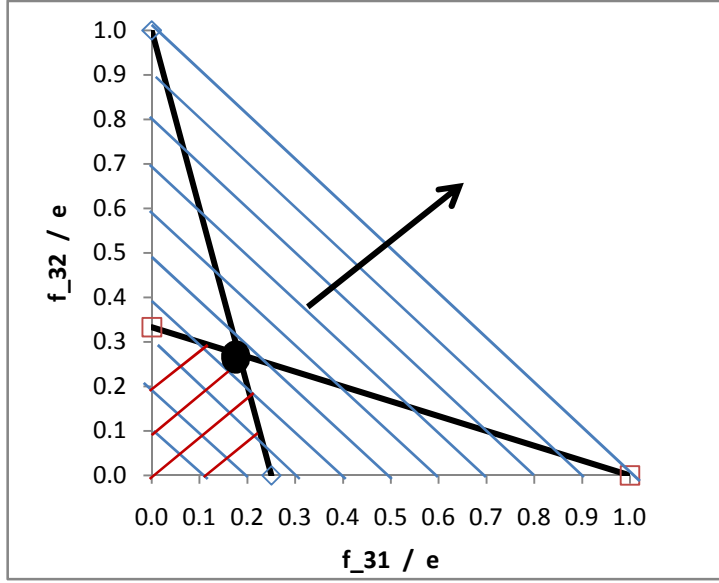
$$f_{21} = 2f_{32} + f_{31} \quad (1.5)$$

elde edilir. 1.4.a denkleminde görüldüğü üzere, amaç değişkeni olan t, f_{32} ve f_{31} toplamına eşittir. Gerekli sadeleştirmeler yapıldığında Çizelge 1.2'deki sonuçlar elde edilir.

Çizelge 1.2 Sadeleştirilmiş eniyileme denklemleri

Kısıtlar:	$f_{32} + 4f_{31} \leq e$ $3f_{32} + f_{31} \leq e$
Amaç fonksiyonu:	$f_{32} + f_{31}$

Bu kısıtların belirttiği alan şekil-1.6'da gösterilmiştir. Taralı dört kenarlı alan kısıtları sağlayan çözüm uzayıdır. Amaç fonksiyonu eksenlere 45^0 açıyla çizilen doğrular üzerinde değerler almaktadır ve ok yönünde ilerledikçe artmaktadır. Dolayısıyla çözüm noktası kısıtları sağlayan alanın köşesinde olup siyah nokta ile işaretlenmiştir.



Şekil-1.6 Ağ ömrünün Eniyilenmesi

Çözümleme yapıldığında ağ ömrü $(5/11)e$ olarak bulunur. Modelleme sonucu oluşacak denklem ve bilinmeyen sayısı düğüm sayısının karesiyle artmaktadır. Ancak örnekte görüldüğü gibi doğrusal programlama problemlerinde çözüm genellikle kısıtların oluşturduğu uzayın sınırları üzerindedir. Bu sebeple doğrusal programlama problemlerinde, tamsayı programlama problemlerine kıyasla çok daha yüksek düğüm sayıları ile çözüm mümkündür.

1.3.Tamsayı Programlama

Bazı problemlerde, problemin yapısından dolayı bütün değişkenler reel olarak tanımlanamamaktadır. Bir kablosuz algılayıcı ağda bulunan düğümlerin kurdukları bağlantı sayılarının kısıtlanmasıyla ağ ömründeki düşüş gözlenmek istenildiğinde düğümlerin kurdukları bağlantı sayıları tamsayı değişkeni olarak tanımlanmak zorundadır[7]. Genel olarak problemlerde doğrusal olarak tanımlanamayan değişkenler tamsayı yada ikili olarak tanımlanmış olabilir. Hem doğrusal hem de tamsayı değişkenlerinin bulunduğu problemlere karışık tamsayı problemleri denilmektedir. Tamsayı problemlerinin çözümleri doğrusal problemlere göre çok

daha fazla zaman almaktadır. Sistemde reel olmayan değişkenler bulunduğu için kısıtların çevrelediği uzay sürekli değildir ve optimal noktası uzayın sınırlarında olmak zorunda değildir.

Bu tip problemlerin çözümünde bir çok yöntem kullanılmaktadır. Örneğin dal-sınır algoritması bütün değişkenleri reel kabul ederek problemi doğrusal programlamaya çözdürür ve çıkan sonuçta tamsayı olması gereken değerlerden bir tanesini seçer. Bu değişken için bulunan değer ardışık iki tamsayı arasında olduğu düşünülürse, problem iki dala ayrılır ve herbir dalda bu değişken bir ardışık tamsayıya eşitlenerek dallanmaya devam edilir. Reel sayı farzedilerek yapılan çözümlerinde bütün istenilen değişkenler tamsayı çıkmış ise optimal çözüm bulunduğu anlamına gelir ancak bu durum çok zaman gerektirir. Optimal bulunmasa dahi bulunan doğrusal çözüm ile eniyi tamsayı çözümü arasındaki fark hatayı verir. Dolayısıyla çözüm esnasında en fazla hatanın ne kadar olduğu bilinebilir. Bu çalışmada izin verilen hata sınırı %1 olarak ayarlanmış ve çözücü programların (solver) standart bir PC ile 1 haftaya kadar sonuçlanması beklenilmiştir.

1.4.GAMS Genel Cebirsel Modelleme Sistemi

Doğrusal(LP), tamsayı(MIP), doğrusal olmayan (NLP) gibi birçok problemin modellenmesini sağlayan yüksek seviyeli bir programlama dilidir. Kullanıcı tarafından kodlanan modeli çözücülere verilmek üzere genel bir forma getirir ve kullanıcının tercih edebileceği çözücüye çözdürür.

2. SİSTEM MODELİ

Bu çalışmada kullanılan kablosuz algılayıcı ağ modeli bir baz istasyonu ve çok sayıda algılayıcı düğümden oluşmaktadır. Algılayıcı düğümler veri üretilmesinde ve ağda üretilen verinin baz istasyonuna iletilmesinde görevlidirler. Ağ topolojisi $G = (V, A)$ olan tam ve yönlü bir çizge olarak ifade edilmektedir. V , baz istasyonunu(düğüm-1) da içeren düğümler kümesidir. W ise baz istasyonu hariç bütün düğümlerin kümesidir. $A = \{(i, j): i \in V, j \in V - \{i\}\}$ çizgedeki bütün kenarların kümesidir. i düğümünden j düğümüne ağ ömrü boyunca iletilecek toplam veri miktarı f_{ij} ile ifade edilmiştir. Ağ ömrü, ilk düğümün enerjisini tükettiği ana kadar geçen süre olarak tanımlanmıştır [4],[5]. Bu çalışma genelinde [6]'de önerilen enerji modeli kullanılmıştır.

$$P_{tx,ij} = \rho + \varepsilon d_{ij}^{\alpha} \quad (2.1)$$

$$P_{rx,ij} = \rho \quad (2.2)$$

(2.1) İfadesinde i düğümünden j düğümüne 1 bit verinin gönderilmesi için gereken enerji verilmiştir. Bu ifadede " ρ " devrede harcanan enerjiyi ve " ε " antenin verimliliğini, d_{ij} i düğümü ve j düğümü arasındaki mesafeyi, α ise yol boyunca oluşacak kaybı temsil etmektedir. En ideal durum, yani ortamdan kaynaklanan bir sönmelenme olmadığı ve elektromanyetik enerjinin küresel yüzeye yayıldığı varsayılırsa, $\alpha = 2$ olmaktadır. Elektromanyetik sinyalin farklı yüzeylerden yansımaları, dolayısıyla yansıyan sinyalin alıcıya kadar farklı mesafeler katederek, farklı zamanlarda ulaşmasından dolayı çok yönlü iletim modeli önerilmiştir [6] ve bu modele göre $\alpha = 4$ olarak seçilmiştir. Genel olarak α , ortamdan kaynaklanan kayıplar da hesaba katıldığında 2-5 aralığında değerler alabilir. (2.2) ifadesinde ise 1 bit verinin algılanması için gereken enerji verilmiştir ve sadece devrede harcanan enerjiden oluşmaktadır.

2.1 Doğrusal Programlama Modeli:

Bu modelde algılayıcı düğümlerin verilerini dağıtma karakteristiği incelenmektedir. Bunun için düğümlerin oluşturduğu bağlantı sayısı serbest bırakılmakta ve ağ ömrünün en uzun olmasını sağlayacak eniyileme problemi çözdürülmektedir. Bilgisayar optimal çözümü bulduktan sonra düğümlerin ortalama ve en fazla kaç çıkış ve giriş bağlantısı kurdukları incelenmektedir.

$$f_{ij} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A \quad (2.3)$$

$$\sum_{j \in V} f_{ij} - \sum_{j \in W} f_{ji} - s_i t = 0 \quad \forall i \in W \quad (2.4)$$

$$\sum_{j \in V} P_{tx,ij} f_{ij} + P_{rx} \sum_{j \in W} f_{ji} \leq e_i \quad \forall i \in W \quad (2.5)$$

(2.3) İfadesi bağlantılarda oluşacak veri akışının negatif olmayan değerler almasını sağlamaktadır. (2.4) ifadesi verinin korunumunu sağlamaktadır. Buna göre ağ ömrü boyunca i düğümünden çıkan verinin tamamı, bu düğüme ağ ömrü boyunca giren veri ve ağ ömrü boyunca bu düğümde üretilen verinin toplamına eşittir. Burada s_i , i düğümünde birim zamanda üretilen veri miktarını ve t ise ağ ömrünü ifade etmektedir. (2.4) ifadesi baz istasyonu için geçerli değildir ve bu sayede üretilen verinin tamamının sistemi baz istasyonu üzerinden terk etmesi sağlanmaktadır. (2.5) İfadesi düğümlerin enerji kısıtını tanımlamaktadır. Herhangi i düğümünün ağ ömrü boyunca veri iletirken ve alırken harcadığı enerjilerin toplamı o düğümün ilk enerjisinden fazla olamaz. Burada e_i düğümlerin ilk enerjisidir. (2.5) ifadesi baz istasyonu için geçerli değildir, dolayısıyla baz istasyonunun enerji kısıtı yoktur. Bu doğrusal programlama altyapısında amaç fonksiyonu olan t (ağ ömrü), pozitif yönde eniyilenmekte yani maximize edilmektedir.

Doğrusal program sonuç olarak ağ ömrünü ve bu ağ ömrü boyunca hangi bağlantıda ne kadar veri iletilmesi gerektiğini (f_{ij}) hesaplamaktadır. Bulunan f_{ij} değerleri analiz edilmekte ve i düğümünün ilettiği toplam verinin 1/1000'ini yada daha

fazlasını oluşturan bütün bağlantılar i düğümü için çıkış bağlantısı olarak kabul edilmektedir. Benzer şekilde i düğümünün ağ ömrü boyunca aldığı tüm verinin $1/1000$ yada daha fazlasını oluşturan tüm giriş bağlantıları i düğümü için giriş bağlantısı olarak kabul edilmiştir. Çıkış bağlantı sayısının hesaplanmasında kullanılan algoritma çizelge 2.1de verilmiştir.

Çizelge 2.1.Bağlantı Sayısının Bulunmasında kullanılan Algoritma

```

for (i = 1; i ≤ Düğüm_sayısı; i++) {
    Çıkış_bağlantı_sayısı[i] = 0;
    for (j = 1; j ≤ Düğüm_sayısı; j++) {
        if (  $\frac{f_{ij}}{\sum_j f_{ij}} \geq 0.001$  ) Çıkış_bağlantı_sayısı[i]++; } }

```

Giriş bağlantıları için de, “if” ifadesindeki i ve j ’lerin yerleri değiştirilerek elde edilecek algoritma geçerlidir.

2.2 Tamsayı Programlama Modeli

Bu kısımda bağlantı sayısı kısıtları eklenmiştir. Düğümlerin kurdukları bağlantıların sayısı tamsayı olması gerektiği için problem doğrusal programlama modeli olarak ifade edilememekte ve tamsayı programlama teknikleri uygulanmaktadır. Doğrusal programlama kısmında verilen (2.3),(2.4),(2.5) ifadelerine ilave olarak aşağıdaki kısıtlar eklenmektedir.

$$f_{ij} \leq M a_{ij} \quad (2.6)$$

$$\sum_{j \in V} a_{ij} \leq L_{\text{çıkış}} \quad \forall i \in W \quad (2.7)$$

$$\sum_{j \in W} a_{ji} \leq L_{\text{giriş}} \quad \forall i \in W \quad (2.8)$$

(2.6) İfadesinde M yeterince büyük bir sayı alınarak programa çalışma öncesi girilmektedir. M , bağlantı sayısı kısıtı olmadığı durumda modelin çözdürülmesi sonucu (doğrusal program) hesaplanan bütün f_{ij} değerlerinden büyük olması yeterlidir. a_{ij} değeri, i düğümünden j düğümüne doğru bir bağlantının olup olmadığını tutan ikili değerdir. Bu ifadeye göre f_{ij} sıfırdan büyük olduğu durumlarda yani i - j bağlantısı kurulduğu durumlarda a_{ij} mutlaka 1'dir. Ancak $a_{ij}=1$ olduğu durumlarda $f_{ij}=1$ olmak zorunda değildir. (2.7) İfadesinde $L_{\text{çıkış}}$ düğümler için izin verilen en fazla çıkış bağlantı sayısını belirtir. Bu değer çalışma öncesi atanmak zorundadır. Sonuç olarak i düğümünün veri gönderdiği düğümlerin toplam sayısının en fazla $L_{\text{çıkış}}$ kadar olması sağlanmaktadır. (2.8) İfadesinde $L_{\text{giriş}}$ düğümler için izin verilen en fazla giriş bağlantı sayısını belirtir. Benzer şekilde bu değer de çalışma öncesi atanmaktadır. (2.8) ifadesine göre i düğümüne veri gönderen düğümlerin toplam sayısı en fazla $L_{\text{giriş}}$ kadar olabilmektedir. Bağlantı sayısı kısıtı baz istasyonu için geçerli olmadığı ve çok sayıda giriş bağlantısı kurabileceği için (2.6) ve (2.7) ifadelerinde baz istasyonu hariç tutulmuştur. Sonuç olarak (2.3-2.8) kısıtları çerçevesinde ağ ömrü (t) pozitif yönde eniyilenmektedir. Örneğin $L_{\text{giriş}} = 2$ ve $L_{\text{çıkış}} = 1$ seçilerek program çalıştırıldığında düğümlerin en fazla 2 giriş ve 1 çıkış bağlantısı oluşturmasına izin verilmekte ve bu şartlarda ulaşılabilecek en uzun ağ ömrü hesaplanmaktadır.

3. SONUÇLAR

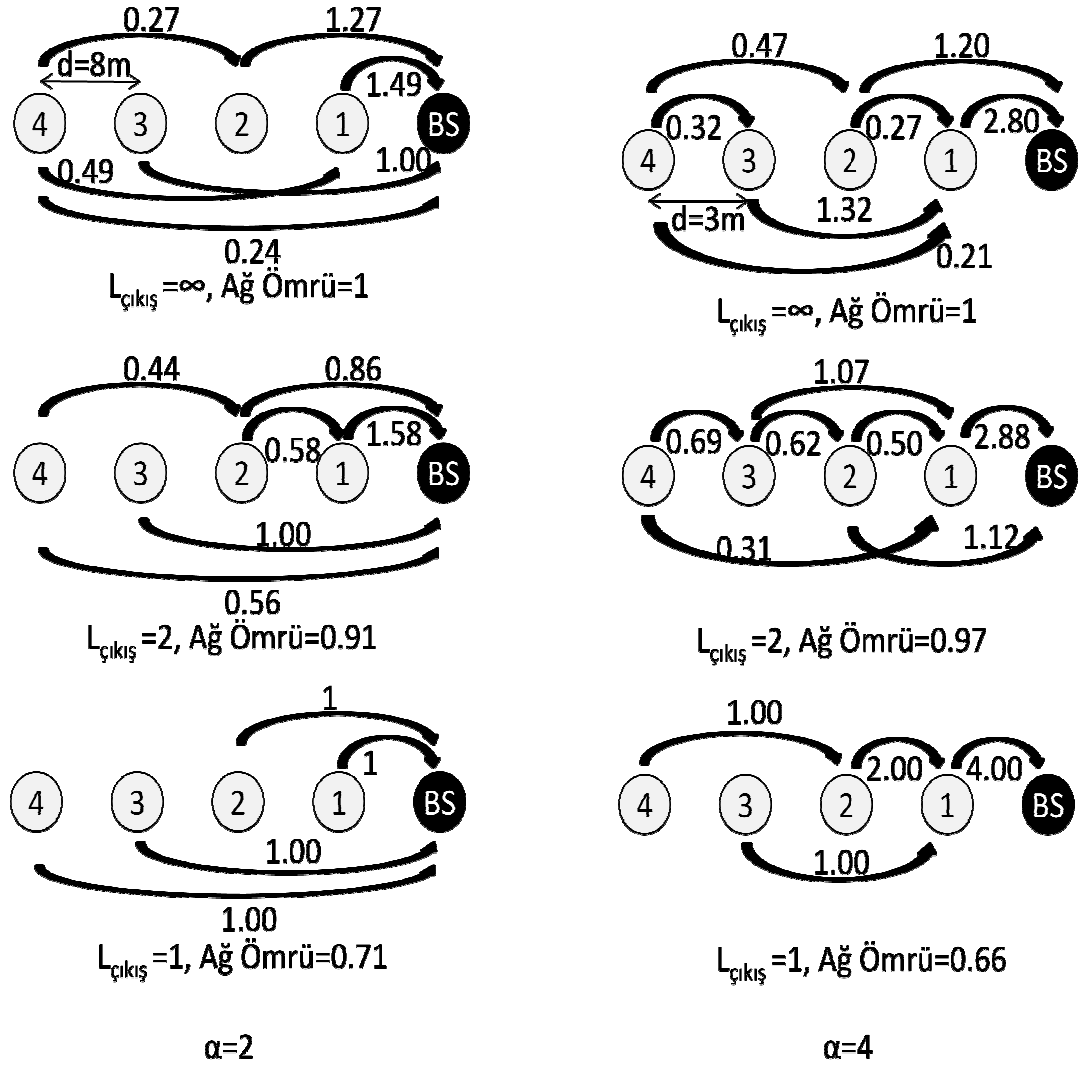
Enerji modeli parametreleri $\rho = 50\text{nJ}$ ve $\varepsilon = 100\text{pJ}$ olarak alınmıştır [6]. Düğümlerin başlangıç enerjileri 1joule ve bir saniyede ürettikleri veri miktarı 1 bit (1 bps) olarak seçilmiştir. Analizler farklı düğüm sayısı ve düğüm yoğunluklarında, farklı $L_{giriş}$ ve $L_{çıkış}$ değerleri için doğrusal, dairesel ve ızgara topolojilerinde, $\alpha = 2$ ve $\alpha = 4$ durumları için gerçekleştirilmiştir.

3.1. Doğrusal Topoloji:

Bu topolojide düğümlerin eşit aralıklarla doğrusal olarak sıralanmış olduğu ve baz istasyonunun en başta olduğu varsayılmaktadır. Veri akış rotasının ve kurulan bağlantı sayısının kolayca takip edilebilmesi için az sayıda düğümden oluşan bir ağ üzerinde durum incelenmiştir. Baz istasyonu (BS) ve 4 adet düğümden oluşan bir algılayıcı ağında çıkış bağlantılarının sayısının sınırlandırılmasıyla, veri akışının ve ağ ömrünün değişimi şekil-3.1'de verilmiştir. Sol kolondaki değerler $\alpha = 2$ ve sağ kolondaki değerler ise $\alpha = 4$ enerji modeli ile elde edilmiştir. En üst satırda en fazla çıkış bağlantı sayısı sınırlandırılmamış ($L_{çıkış} = \infty$), ikinci satırda 2 ile sınırlandırılmış ($L_{çıkış} = 2$) ve en alt satırda 1 ile sınırlandırılmıştır ($L_{çıkış} = 1$). Veri akış değerleri bir düğümün ağ ömrü boyunca ürettiği toplam veri miktarıyla normalize edilmiştir. Benzer şekilde ağ ömrü de bağlantı sayısının sınırlandırılmadığı durumdaki ağ ömrü ile normalize edilmiştir.

Buna göre $\alpha = 2$ durumunda çıkış bağlantı sayısı 2 ile sınırlandırıldığında ağ ömründe %9; 1 ile sınırlandırıldığında %29 ve $\alpha = 4$ durumunda 2 ile sınırlandırıldığında %3; 1 ile sınırlandırıldığında %34'lük kayıp söz konusudur. Veri akış rotasında da ciddi değişiklikler olduğu söylenebilir. Örneğin, $\alpha = 2$ durumunda $L_{çıkış} = 1$ ise ulaşılabilecek en uzun ağ ömrü, bütün düğümlerin ürettikleri verileri direk olarak baz istasyonuna göndermeleri durumunda mümkündür. Bu durumda ise, 4 no'lu düğüm ilk olarak enerjisini tüketecek, dolayısıyla ağ ömrü bitecek ve diğer düğümlerin artan enerjilerinden sistem yararlanamamış olacaktır. Düğüm sayısı

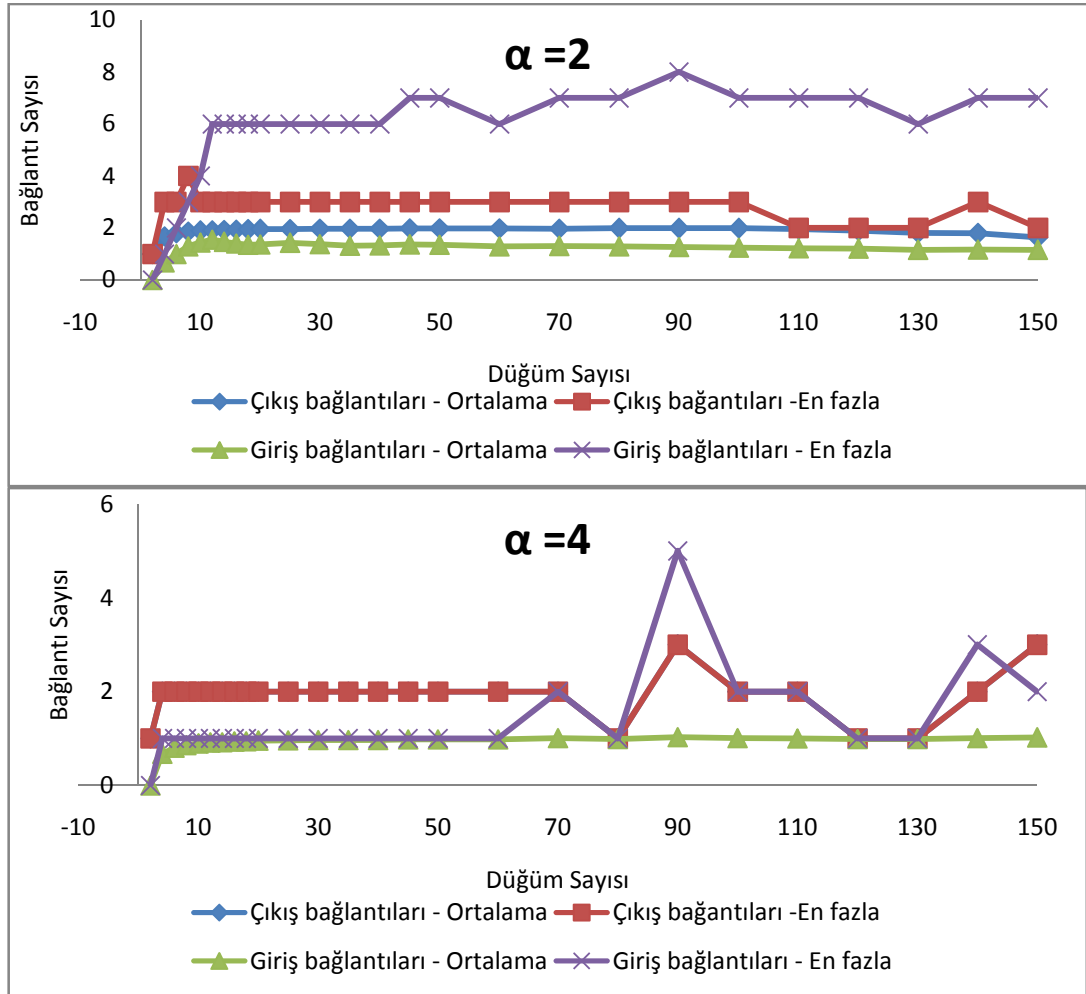
artırıldığında, farklı düğüm yoğunlukları ve giriş çıkış bağlantılarının farklı kombinasyonlarla sınırlandırıldığı da düşünüldüğünde veri akışının bu şekildeki şemalar ile incelenmesi zorlaşmaktadır. Bu sebeple, bundan sonraki kısımlarda kurulan bağlantı sayısı yada ulaşılabilecek en uzun ağ ömrü grafikler üzerinde incelenecektir.



Şekil-3.1 Bağlantı Kısıtları Sonucunda Veri Akışı

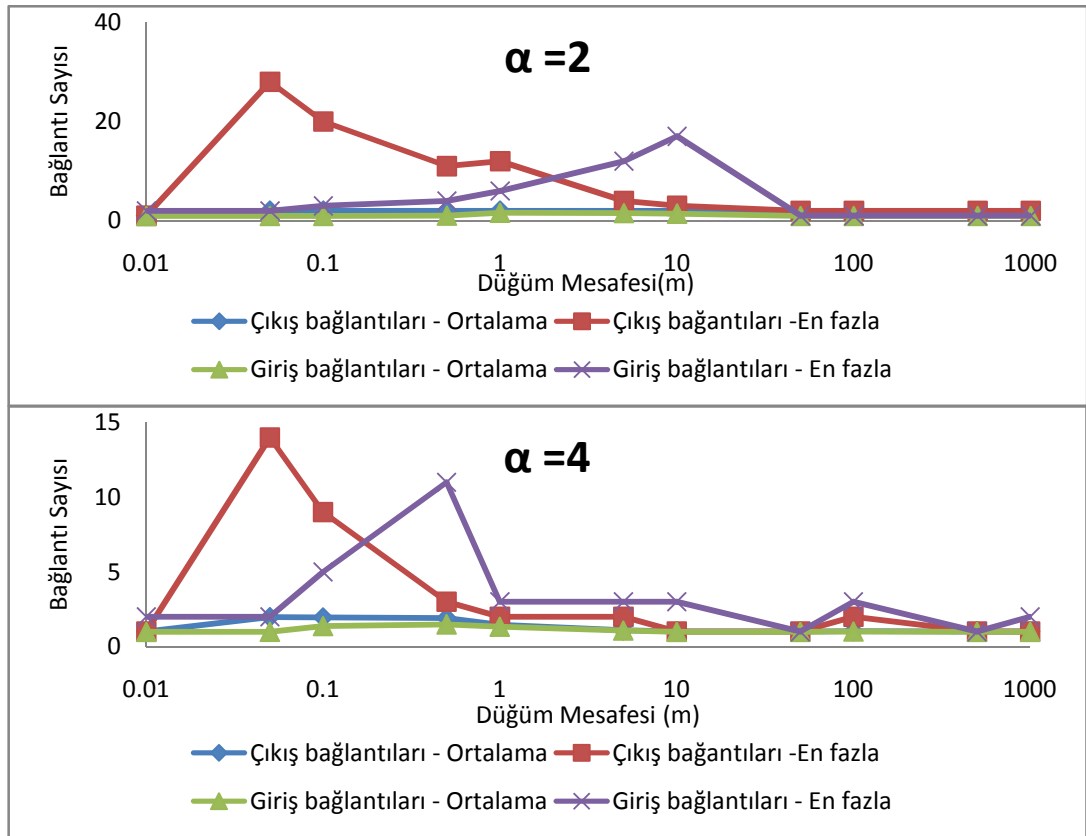
3.1.1. Doğrusal Programlama Sonuçları

Doğrusal bir yerleşimde, düğümler arası mesafe 20m olmak üzere düğümlerin oluşturduğu bağlantı sayısının algılayıcı ağındaki düğüm sayısına bağlı grafiği şekil-3.2’de verilmiştir. Yeterli düğüm sayısına ulaşıldığında $\alpha = 2$ durumunda düğümlerin ortalama 1.90 ± 0.1 ve en fazla 3 çıkış bağlantısı ile ortalama 1.3 ± 0.1 ve en fazla 8 giriş bağlantısı kurdukları gözlemlenmektedir. $\alpha = 4$ ve düğüm sayısı 30’ dan fazla ise ortalama 1.0 ± 0.1 ve en fazla 3 çıkış bağlantısı; ortalama 0.95 ± 0.1 ile en fazla 3 giriş bağlantısı kurdukları gözlemlenmiştir.

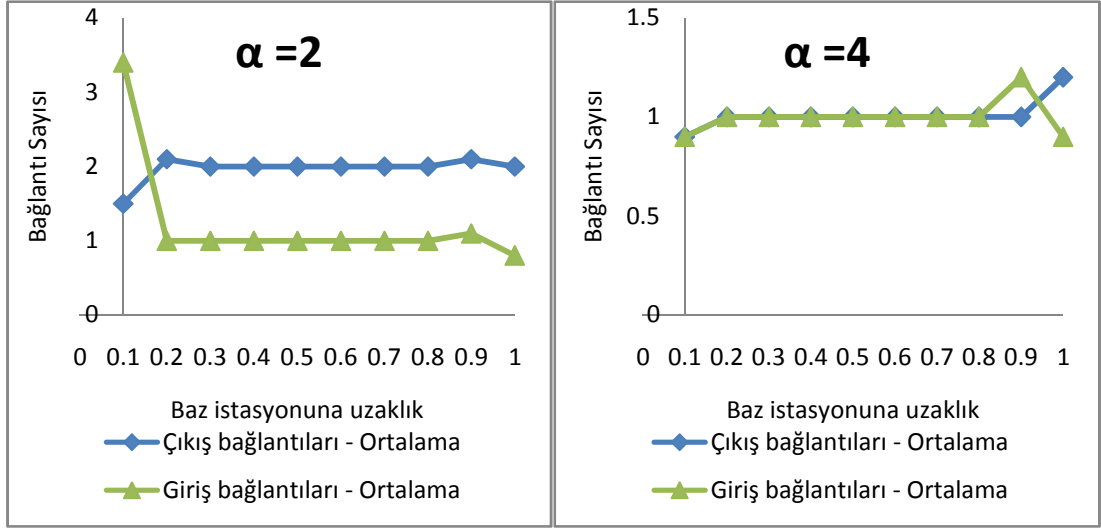


Şekil-3.2 Doğrusal Topoloji Bağlantı Sayısı-Düğüm Sayısı

Düğüm sayısı 100 olmak üzere, kurulan bağlantı sayısının düğümler arası mesafeye bağlı olarak değişimini gösteren grafik şekil-3.3'de verilmiştir. Yatay eksen logaritmik ölçektir. Grafiklere göre bağlantı sayısı değerlerinin mesafe değişiminden çok etkilendiği söylenebilir. Bu da düğümlerin yardımlaşma ve dolayısıyla verilerini dağıtma karakteristiğinin düğümler arası mesafeye bağlı olmasında kaynaklanmaktadır. Örneğin, $\alpha = 2$ durumunda düğümler sık yerleştirildiğinde ortalama 2 ve en fazla 28 çıkış bağlantısı kurulurken; düğümler arası mesafe 50 metreden büyük olduğunda ortalama 1.2 ve en fazla 2 çıkış bağlantısı kurdukları gözlemlenmiştir. Benzer durum $\alpha = 4$ için de geçerlidir. Grafikler arası benzerlik ve tepe noktalarının kayması, enerji modelinde veri iletim enerjisi hesaplanırken düğümler arası mesafenin α . üssü alınmasıyla açıklanabilir. $\alpha = 2$ için büyük değerlerde görülen etki, $\alpha = 4$ 'te daha küçük değerlerde görülmektedir.



Şekil-3.3 Doğrusal Topoloji Bağlantı Sayısı- Düğüm mesafesi



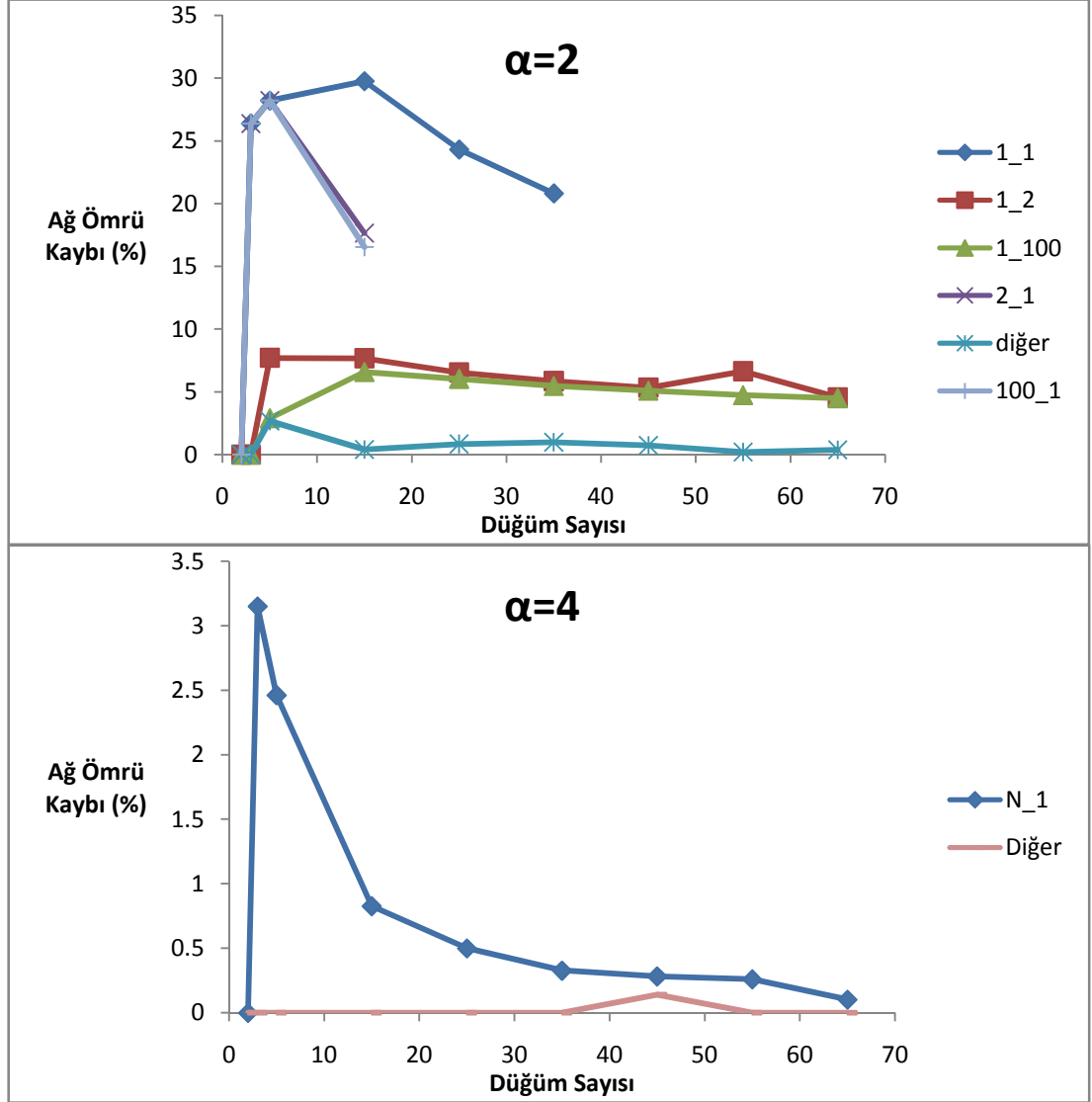
Şekil-3.4 Doğrusal Topoloji Bağlantı Sayısı- Düğümün Konumu

Şekil-3.4'te 100 düğümden oluşan, düğümler arası mesafenin 20metre olduğu bir algılayıcı ağında, oluşturulan bağlantıların düğümlerin konumuna bağlı grafiği verilmiştir. $\alpha = 2$ durumunda çıkış bağlantılarının ve $\alpha = 4$ durumunda hem çıkış hem de giriş bağlantılarının sayısının konumuna bağlı olmadığı görülmektedir. $\alpha = 2$ durumunda ise giriş bağlantıları göz önünde bulundurulduğunda, baz istasyonuna yakın düğümlerin çok daha yüklü olduğu görülmektedir.

3.1.2. Tamsayı Programlama Sonuçları

Bu kısımda doğrusal bir topolojide bağlantı sayısının kısıtlanması ile ağ ömründe meydana gelen düşüş incelenmiştir. Şekil-3.5'te dikey eksen bağlantı sayısı kısıtlandığında, kısıtlanmamış duruma göre ağ ömrünün kısalma oranını yüzde olarak göstermektedir. Eğriler ise $(L_{giriş}, L_{çıkış})$ ikilisine göre isimlendirilmiştir. Örneğin 2_1, giriş bağlantılarının 2 ve çıkış bağlantılarının 1 ile sınırlandırıldığı durumda ağ ömründe oluşan azalmayı gösteren eğridir. Eğrilerde bazı düğümlerin bağlantılarının 100 ile sınırlandırıldığı görülmektedir. Bu durum, ağda 100'den daha az düğüm bulunduğu için pratikte sınırsız olarak düşünülebilir. Örneğin 100_1 ile belirtilen eğri giriş bağlantılarında kısıt olmayan ve çıkış bağlantılarının sayısının 1

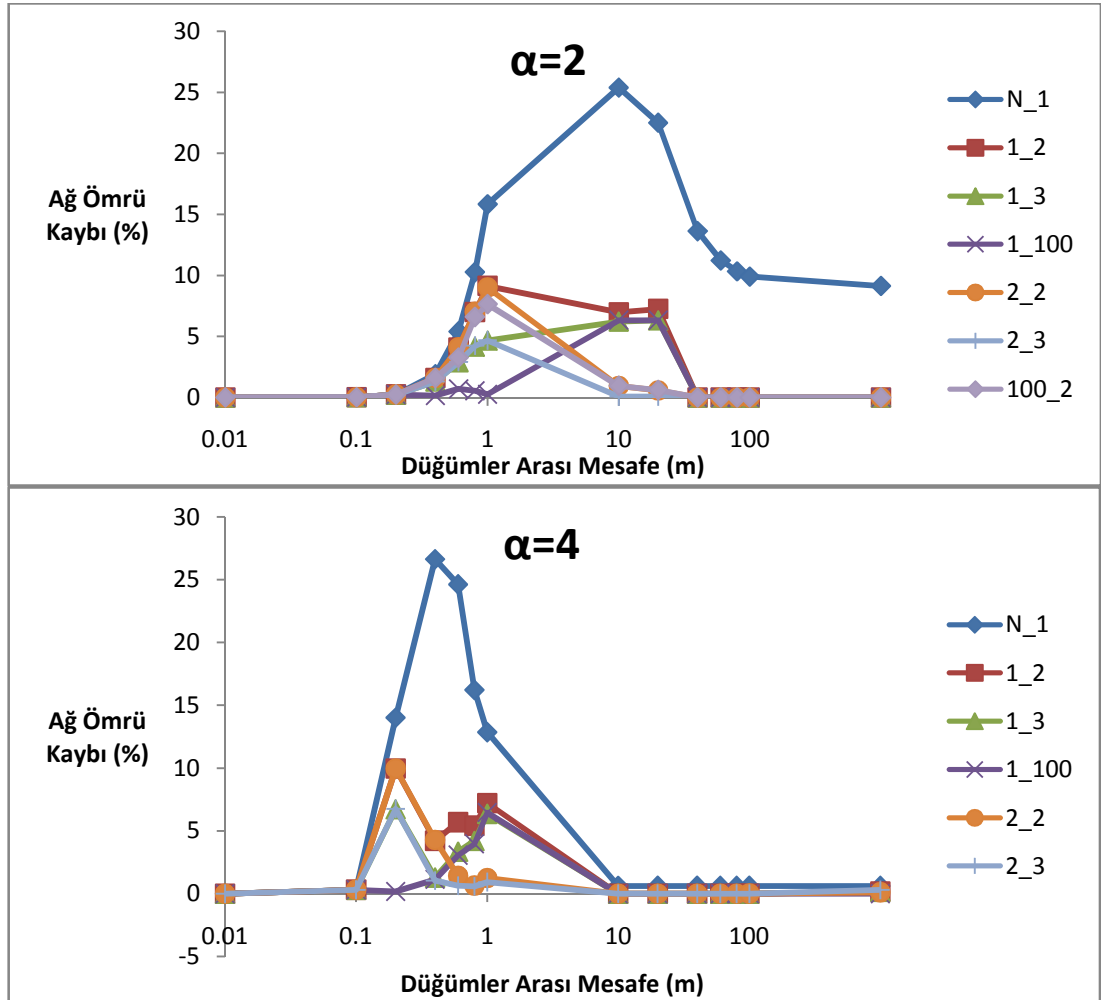
ile sınırlı olduğu bir algılayıcı ağını ifade etmektedir. Grafikte verilen değerler, düğümler arası 20m olduğu topolojide elde edilmiştir.



Şekil-3.5 Doğrusal Topoloji Ağ Ömrü Kaybı- Düğüm Sayısı

Her iki α değeri için çıkış bağlantılarının kısıtlanmasının girişlerin kısıtlanmasından ağ ömründe çok daha fazla kısaltmaya sebep olduğu görülmektedir. Tamsayı programlama problemleri genellikle karmaşıklığı yüksek ve çözüm süreleri uzun problemlerdir. Şekil-3.5'te verilen grafiklerde bazı eğrilerin yüksek düğüm

sayılarında değerlerinin görülmemesi problemin standart bir PC tarafından 1 hafta süresinde çözülememesinden kaynaklanmaktadır. $\alpha = 2$ durumunda çıkış bağlantısı 1 ile sınırlandırıldığında ağ ömründe %32'lere varan kayıp görülebilir. $\alpha = 4$ 'te ise 1_1, 2_1 ve 100_1 eğrilerinin çakışık olması ağ ömrünün giriş bağlantılarının kısıtlanmasından etkilenmediği anlamına gelir. Bu sonuçlar şekil-3.2 deki grafiklerle de tutarlıdır. Örneğin $\alpha = 2$ için şekil-2'de düğümlerin ortalama 2'şer çıkış ve 1'er giriş bağlantısı oluşturduğu görülmekte ve şekil-3.5'te de giriş bağlantılarının 1'ile sınırlandırılması ağ ömrünü çok az etkilemekle birlikte çıkış bağlantılarının 1 ile sınırlandırılması ağ ömründe %32 kısalmaya sebep olabilmektedir.



Şekil-3.6 Doğrusal Topoloji Ağ Ömrü Kaybı – Düğümler Arası Mesafe

Şekil-3.6 da ise 20 düğümden oluşan doğrusal algılayıcı ağının ömründeki azalmanın düğümler arası mesafeye bağlı değişimi görülmektedir. Her iki durumda çıkış bağlantısı 1 ile sınırlandırıldığında giriş bağlantı kısıtına bakılmaksızın yaklaşık %25 kayıp görülebilmektedir. Hem giriş hem de çıkış bağlantısının 3 veya daha fazla olmasına izin verildiğinde ağ ömründeki kaybın %3'den daha az olduğu görülmektedir.

3.2.Disk topoloji:

Bu topolojide düğümler rastgele yerleştirilmekte ve eniyileme problemi çözdürülmektedir. Tek bir rastgele topolojiden elde edilen sonuçlar geçerli olmayacağı için aynı işlem 100 rastgele topolojide tekrarlanmakta ve sonuçların ortalaması alınmaktadır. Düğümlerin yerleşimi için kutupsal koordinatlardan faydalanılmıştır. Öncelikle düğümler birim yarıçaptaki dairesel alana yerleştirilmekte ve daha sonra istenen düğüm yoğunluğuna göre daire genişletilmektedir. Baz istasyonu birim yarıçaptaki diskin merkezine yerleştirilmektedir. Daha sonra yerleştirilecek bütün düğümler için $[0,2\pi]$ aralığında bir açı değeri ve $[0,1]$ aralığında bir yarıçap değeri rastgele üretilmektedir. Ancak bu işlem düğümlerin alanda homojen dağılması için yeterli değildir çünkü bu durumda düğümler dairesel alanda, konumun merkeze yakınlığıyla orantılı olarak dağıtılmış olur. Dairenin alanı yarıçapın karesiyle orantılı olduğu için $[0,1]$ aralığında üretilen rastgele yarıçap değerinin karekökü alınarak düğümlerin dairesel alanda homojen dağılması sağlanmış olur. İkinci aşamada ise istenilen düğüm yoğunluğuna göre diskin hangi yarıçapa sahip olması gerektiği hesaplanmakta ve birim disk bu değere göre genişletilmektedir. Enerji modeline göre veri iletimi için gereken enerjiyi hesaplarken düğümler arasında mesafe gerekli olmaktadır. Bunun için de kutupsal koordinatlar kartezyen koordinatlara dönüştürülmekte ve düğümlerarası mesafe matrisi oluşturulmaktadır. Bu kısımda kullanılan algoritma çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Disk Topoloji Rastgele Düğüm Yerleşimi Algoritması

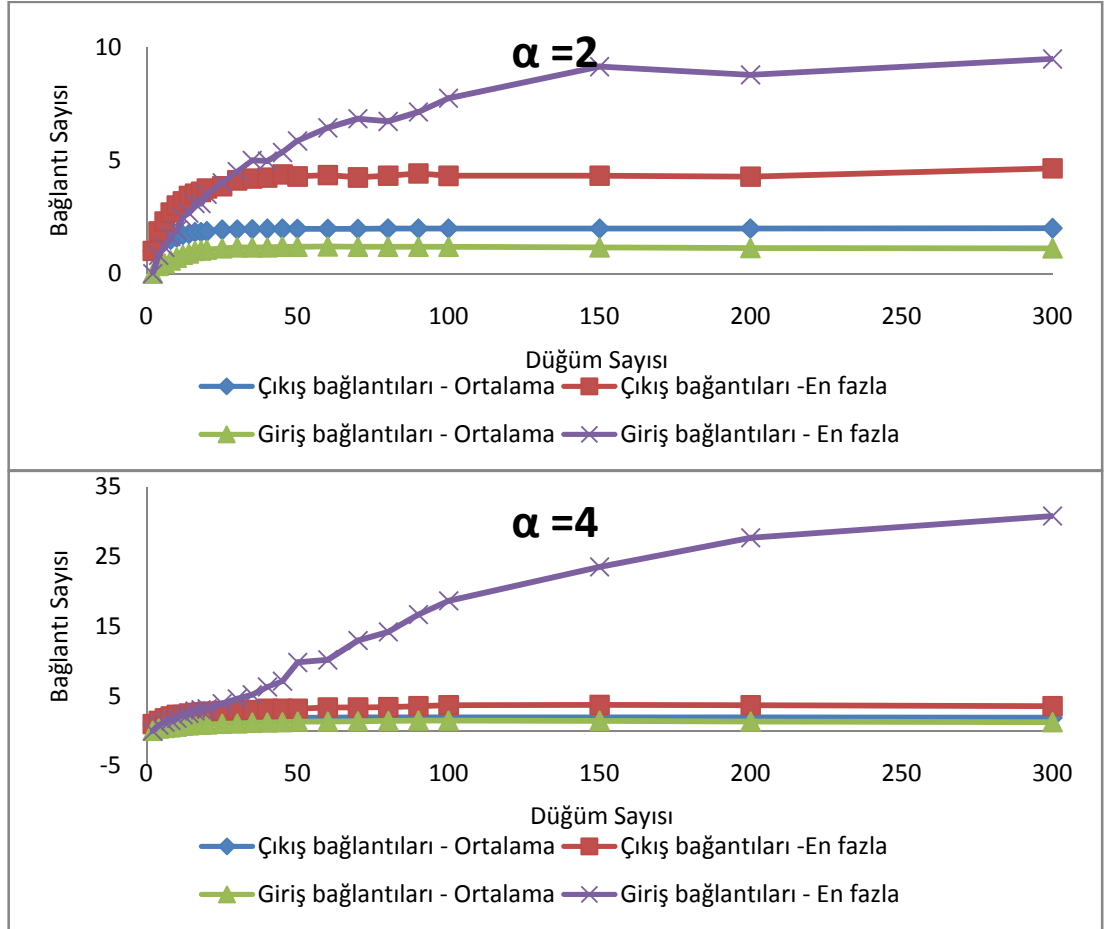
```
genişletme_katsayısı =  $\sqrt{(\text{düğüm\_yoğunluğu}^{-1} * \text{düğüm\_sayısı})/\pi}$  ;
for (i = 1; i ≤ Düğüm_sayısı ; i + +) {
    r[i] =  $\sqrt{\text{random}[0,1]}$  ;
     $\theta[i] = \text{random}[0,2\pi]$  ;
    r[i] = genişletme_katsayısı * r[i] ; }
r[1] = 0;
for (i = 1; i ≤ Düğüm_sayısı ; i + +) {
    for (j = 1; j ≤ Düğüm_sayısı ; j + +) {
        mesafe(i,j) =  $\sqrt{(r[i] * \cos \theta[i] - r[j] * \cos \theta[j])^2 + (r[i] * \sin \theta[i] - r[j] * \sin \theta[j])^2}$ 
    }
}
```

Düğümlerin oluşturdukları ortalama ve en fazla bağlantı sayıları hesaplanmış ve grafiklerde sunulmuştur. Ortalama bağlantı sayısı hesaplanırken her bir rastgele yerleşimde, düğümlerin oluşturdukları bağlantı sayısının ortalaması alınmıştır. Daha sonra herbir yerleşim için bulunan değerlerin ortalaması alınmıştır. Düğümlerin oluşturdukları en fazla bağlantı sayısı bulunurken de herbir yerleşimde en fazla sayıda bağlantı kuran düğümün sayısı en fazla bağlantı sayısı olarak seçilmiştir. Daha sonra da herbir yerleşim için bulunan en fazla değerlerinin ortalaması alınmıştır.

3.2.1 Doğrusal Program Sonuçları:

Düğümlerin oluşturdukları bağlantı sayısının, algılayıcı ağındaki düğüm sayısına bağlı olarak değişimini gösteren grafik şekil-3.7'de sunulmuştur. Tüm durumlarda düğüm sayısı arttıkça bağlantı sayısının bir miktar arttığı ve doyuma yaklaştığı görülmektedir. Buna göre $\alpha=2$ durumunda çıkış bağlantılarının ortalama sayısı 1.9 ± 0.1 aralığında, giriş bağlantılarının ortalama sayısı ise 1.1 ± 0.1 aralığında sabit kalmaktadır. 150 düğümden büyük ağlarda en fazla giriş bağlantı sayısı 9 ± 0.5 çıkış bağlantı sayısı ise 4.5 ± 0.5 aralığında olduğu görülmektedir. $\alpha=4$ durumunda ise ortalama çıkış bağlantı sayısı 1.9 ± 0.5 giriş bağlantı sayısı 1.5 ± 0.1 aralığında sabit

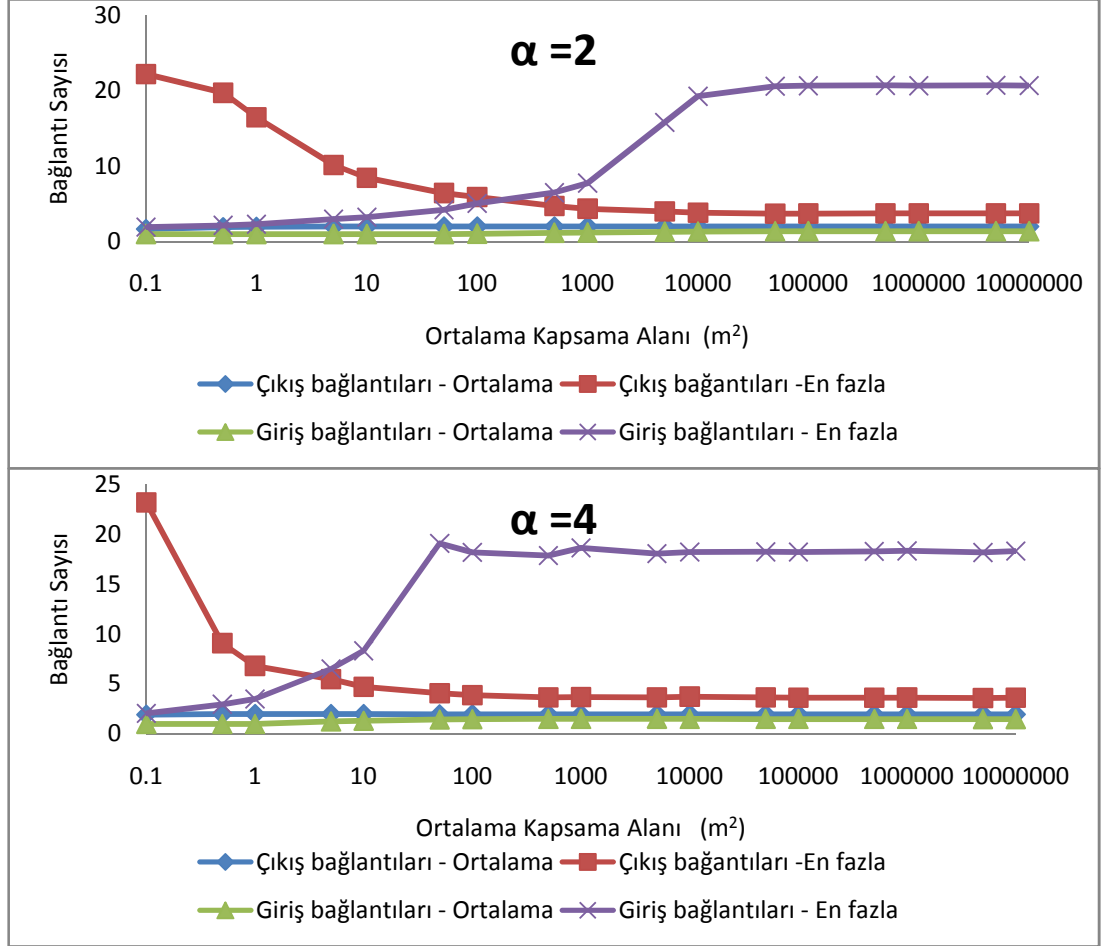
kalmaktadır. 150 düğümden büyük ağlarda en fazla bağlantı sayısı değerlerine bakıldığında ise çıkış bağlantıları 3.5 ± 0.5 giriş bağlantıları 28 ± 4 aralığında kaldığı görülmektedir.



Şekil-3.7 Disk Topoloji Bağlantı Sayısı – Düğüm Sayısı

Her iki durumda çıkış bağlantı ortalamasının giriş bağlantı ortalamasından fazla olması, ortalamalara baz istasyonun katılmadığı gerçeği ile açıklanmaktadır, yani birçok bağlantıda alıcı düğüm baz istasyonu olmaktadır. En fazla değerlerine bakıldığında ise önceki durumun aksine giriş bağlantılarının çıkış bağlantılarından fazla olduğu görülmektedir. Bu durum baz istasyonuna yakın düğümlerin de çok fazla giriş bağlantısı oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum bağlantı

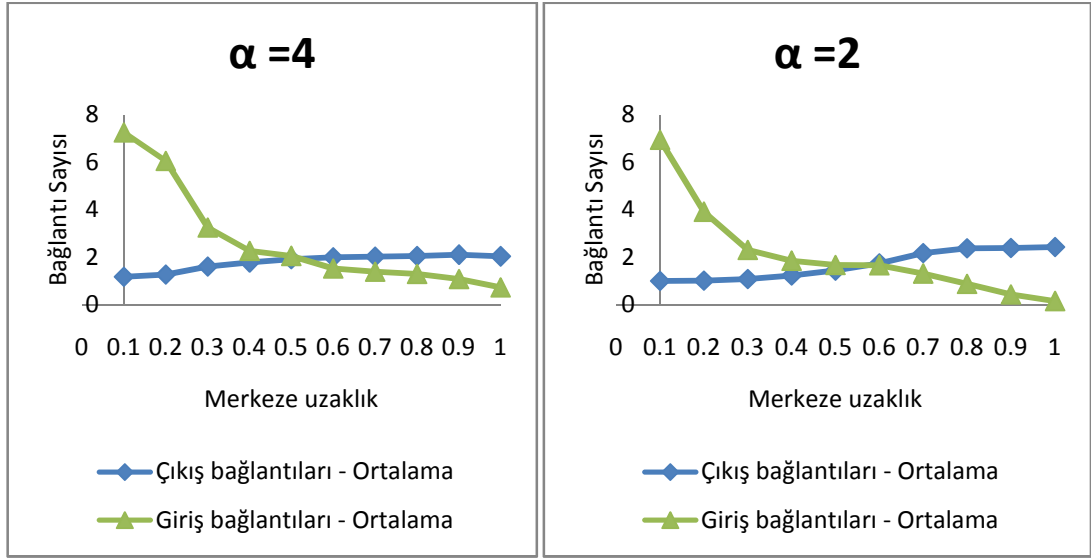
sayısının , düğümlerin konumlarına bağlı olarak değişiminin gösterildiği kısımda daha ayrıntılı olarak incelenecektir.



Şekil-3.8 Disk Topoloji Bağlantı Sayısı – Ortalama Kapsama Alanı

100 düğümün bulunduğu bir ağda, oluşturulan bağlantı sayısının ortalama kapsama alanına bağlı değişimini gösteren grafik şekil-3.8’de verilmiştir. Düğümler rastgele yerleştirildiği için ortalama kapsama alanı ifadesi toplam disk alanının düğüm sayısına bölünmesi ile elde edilir. Buna göre, $\alpha=2$ ve $\alpha=4$ durumlarında ortalama çıkış bağlantı sayısı 1.8 ± 0.2 ve giriş bağlantı sayısı 1.2 ± 0.2 aralığında bulunmaktadır. Sonuç olarak ortalama bağlantı sayısının düğüm yoğunluğu farklılığından çok etkilenmediği görülmektedir. En fazla bağlantı sayısında ise farklı düğüm yoğunluğu değerleri için çok farklı sonuçlar görülmektedir. En fazla çıkış

bağlantı sayısı düğümler çok sık yerleştirildiğinde($0.1 \text{ m}^2/\text{düğüm}$) 22 değerini alırken seyrek yerleştirildiğinde($10^7 \text{ m}^2/\text{düğüm}$) 4 değerine gerilemektedir. En fazla giriş bağlantı sayısı ise düğümler sık yerleştirildiğinde 2 değerinde iken düğümler çok seyrek yerleştirildiğinde 20 değerine yükselmektedir. En fazla giriş bağlantı sayısının düğüm yoğunluğu azaldıkça (grafikte sağa gidildikçe) artmasının sebebi yüksek mesafelerde iletimde harcanan enerjinin çok daha kritik olması ve baz istasyonuna yakın düğümlerin çok sayıda bağlantıda alıcı görevi üstlenmesidir.

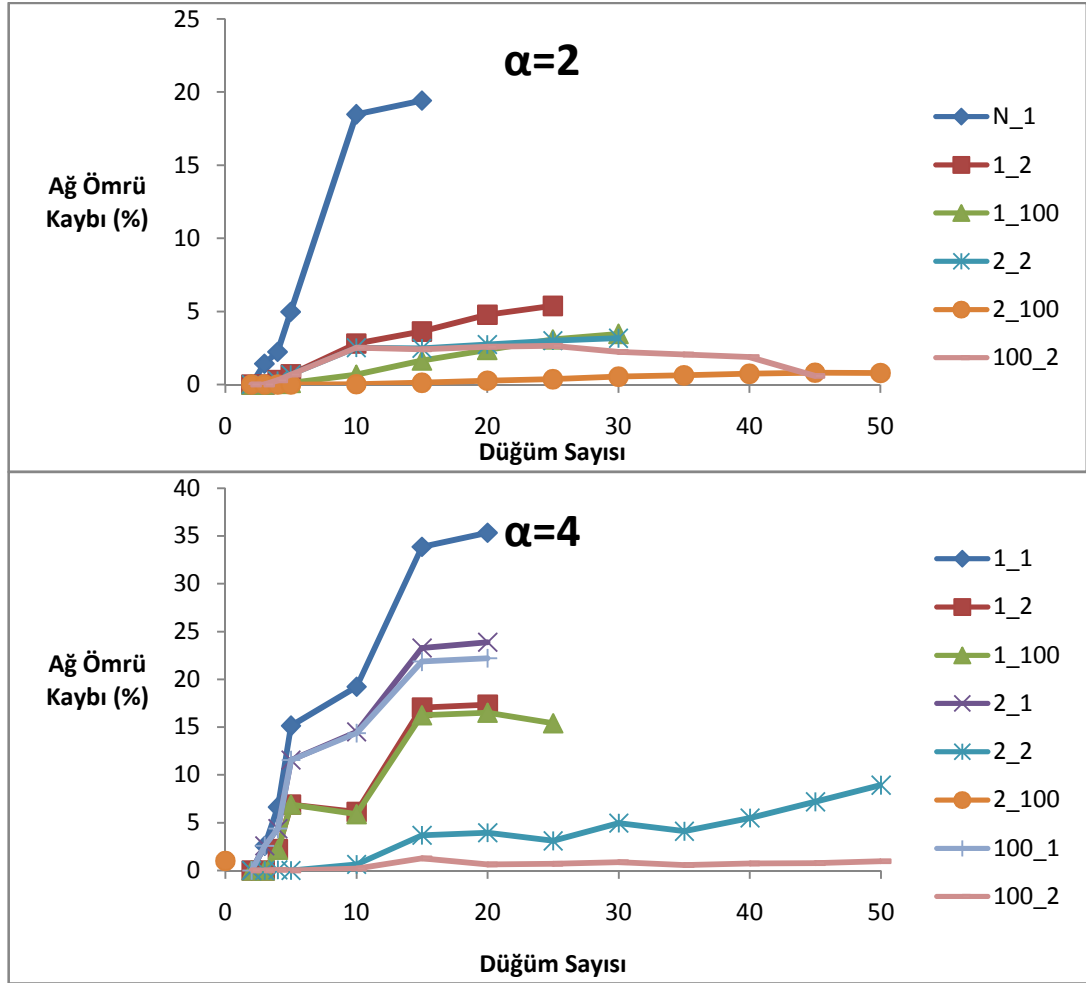


Şekil-3.9 Disk Topoloji Bağlantı Sayısı – Düğüm Konumu

Düğümlerin bağlantı karakteristiklerini inceleyebilmek için dairesel yüzey halka şeklinde içiçe 10 kabuğa bölünmüş ve bu kabuklara düşen düğümlerin ortalama bağlantı sayıları şekil3.9'da verilmiştir. Baz istasyonundan uzaklaşıldıkça (grafik üzerinde sağa doğru gidildikçe) düğümlerin oluşturdukları çıkış bağlantı sayısı artmakla birlikte giriş bağlantı sayısı azalmaktadır. Bu durum merkeze yakın düğümlerin kendi verilerini bölmeden doğrudan baz istasyonuna göndermeleri ve baz istasyonuna uzak düğümler tarafından röle olarak kullanılmasıyla açıklanmaktadır.

3.2.2. Tamsayı Programlama Sonuçları

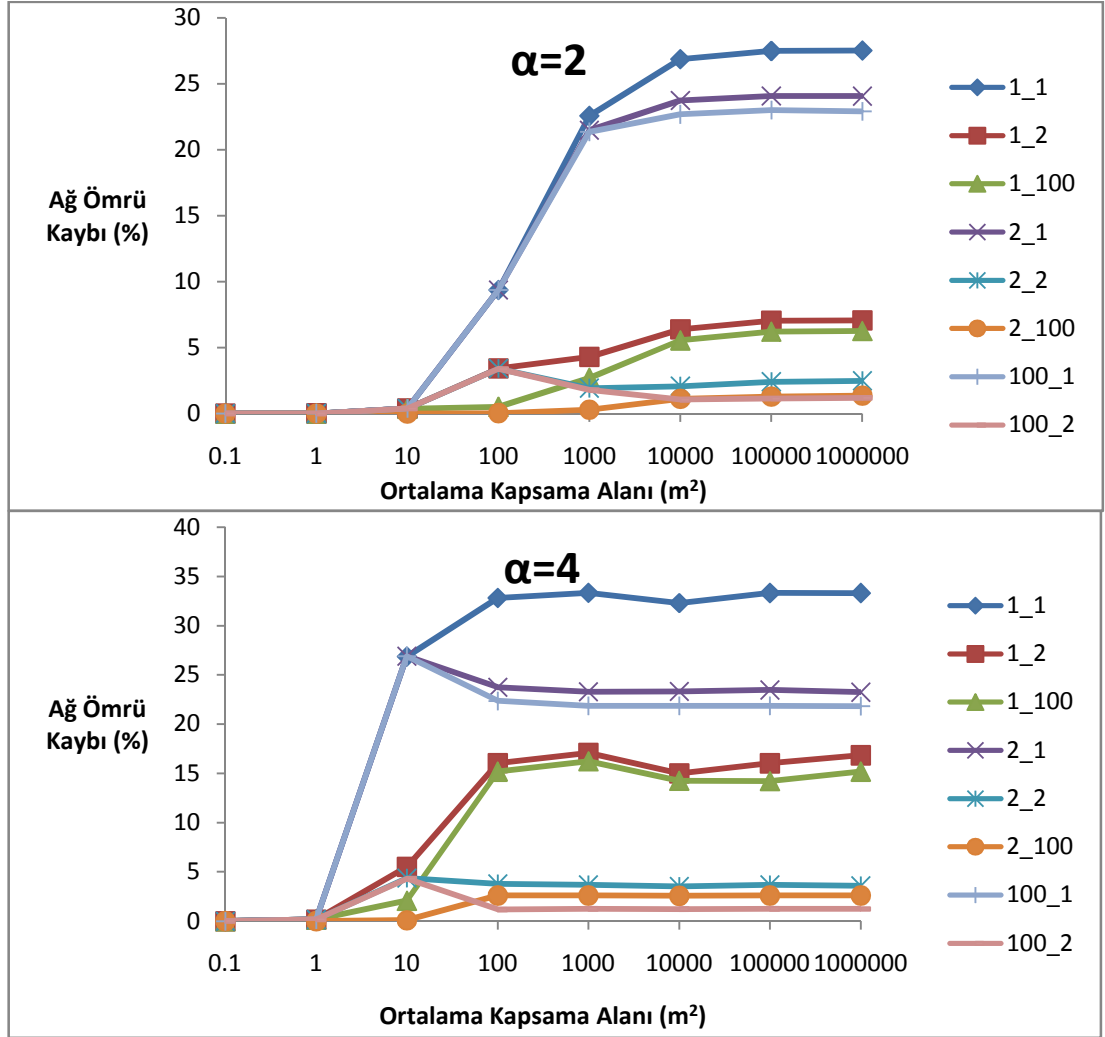
Bu kısımda düğümlerin kurdukları bağlantı sayısı kısıtlandığında ağ ömrünün nasıl etkilendiği incelenecektir.



Şekil-3.10 Disk Topoloji Ağ Ömrü Kaybı – Düğüm Sayısı

Şekil-3.10'da görüldüğü üzere $\alpha=2$ durumunda 1_1 , 2_1 ve 100_1 durumlarında %20 kayıp görülebilmektedir. Bağlantılar 2 yada daha büyük bir sayı ile kısıtlandığında ise kayıp %5'in altındadır. $\alpha=4$ durumunda ise kayıp %35lere ulaşmaktadır. N_1 durumunda eğriler yüksek düğüm sayısı için hesaplanamamaktadır. Ancak Şekil-3.7 ile birlikte düğün olduğünde yüksek düğüm

sayılarında ağ ömründeki kaybın $\alpha=2$ için %25'i ve $\alpha=4$ için %40'ı geçmeyeceği tahmin edilebilir. Çünkü şekil-3.7'ye göre ortalama bağlantı sayısı bir belirli düğüm sayısına kadar artmakta ve daha sonra sabit kaldığı görülmektedir.



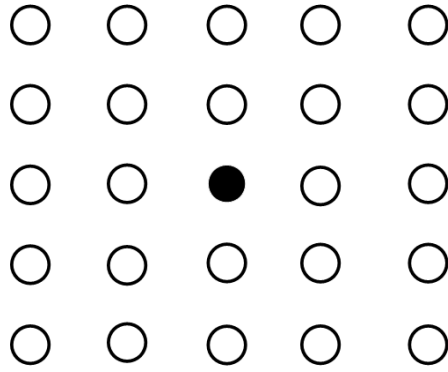
Şekil-3.11 Disk Topoloji Ağ Ömrü Kaybı – Düğüm Yoğunluğu

Şekil-3.11'de 15 düğümden oluşan bir kablosuz algılayıcı ağında bağlantı sayısı kısıtlandığında ağ ömründe oluşan kaybın ortalama kapsama alanına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Grafiklerde yatay eksen her bir düğüme ortalama ne kadar alan düştünü belirtmektedir ve dolayısıyla yatay eksen düğüm yoğunluğuyla ters orantılıdır. Düğüm yoğunluğu çok yüksek değerlerde iken düğümler birbirine ve baz

istasyonuna çok yakın oldukları için yardımlaşmaya ihtiyaç duymamakta ve verilerini bölmeden baz istasyonuna gönderdikleri görülmektedir. Dolayısıyla bağlantı kısıtı eklendiğinde ağ ömründe ciddi kayıplar görülmemektedir. Ancak $\alpha=2$ durumunda $10\text{m}^2/\text{düğüm}$ ve $\alpha=4$ durumunda $1\text{ m}^2/\text{düğüm}$ değerlerinden başlamak üzere %35'lere varan kayıplar görülmektedir. 2_2 durumu seçildiğinde 15 düğüm için ağ ömrü kaybı %3 değerinin altında kalmaktadır.

3.3.Izgara Topoloji:

Bu topolojide düğümlerin ızgara şeklinde eşit aralıklı doğruların kesişim noktalarına yerleştiği ve baz istasyonunun da ağın tam ortasında bulunduğu varsayılmaktadır. Ağ simetrisinin korunması için yatayda ve dikeyde tek ve eşit sayıda düğüm bulunması gerekmektedir. Bu da toplam düğüm sayısının tek sayıların karesi olmasını gerektirir. Şekil-3.12'de 25 düğümden oluşan örnek bir algılayıcı ağ görülmektedir.

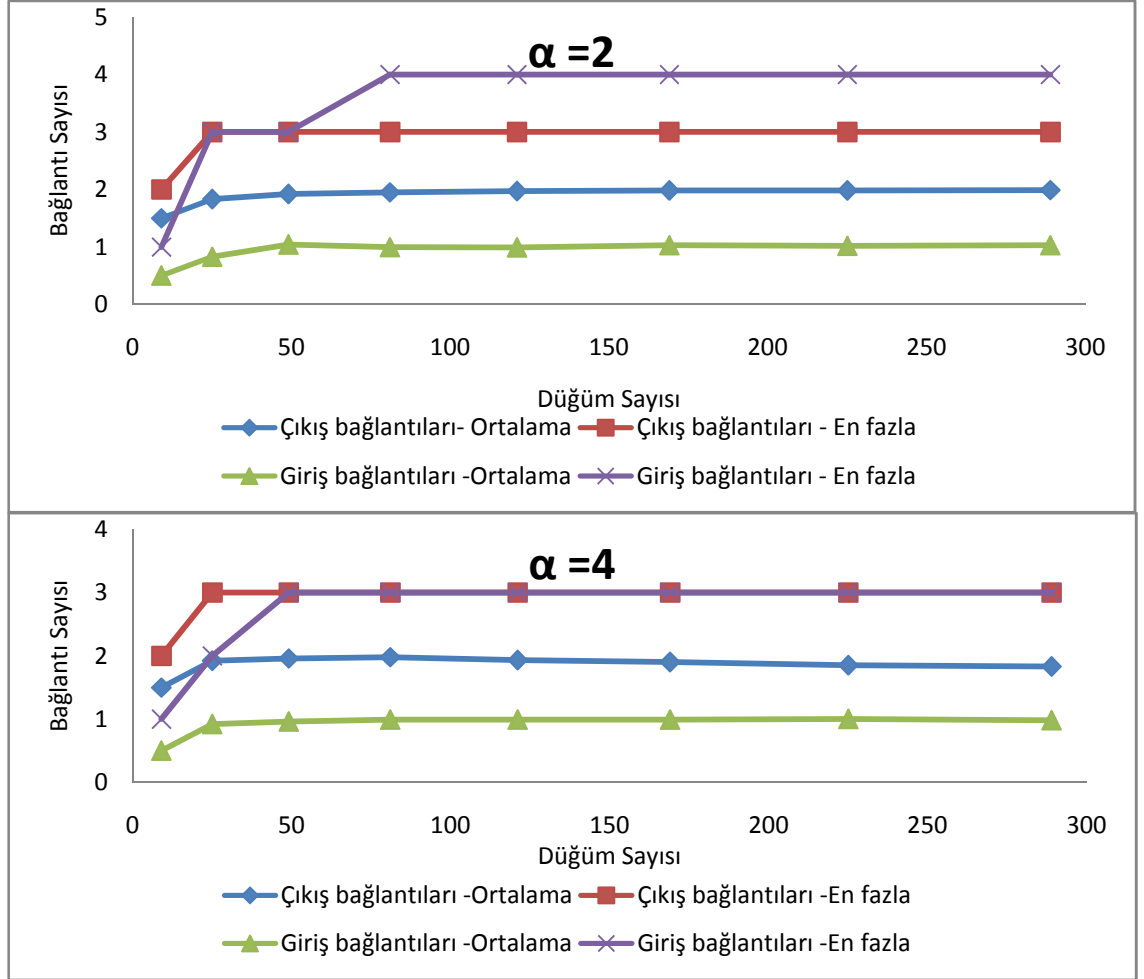


Şekil-3.12 Izgara Topolojisi

3.3.1. Doğrusal Programlama Sonuçları

Şekil 3.13'de ızgara yerleşimindeki bir kablosuz algılayıcı ağda düğümlerin oluşturdukları ortalama ve en fazla bağlantı sayısının, ağdaki düğüm sayısına bağlı değişim grafiği verilmiştir. Izgaradaki yerleşiminde birim mesafe 25 metre olarak alınmıştır. Grafiklere bakıldığında kurulan bağlantı sayısının düğüm sayısı ile çok

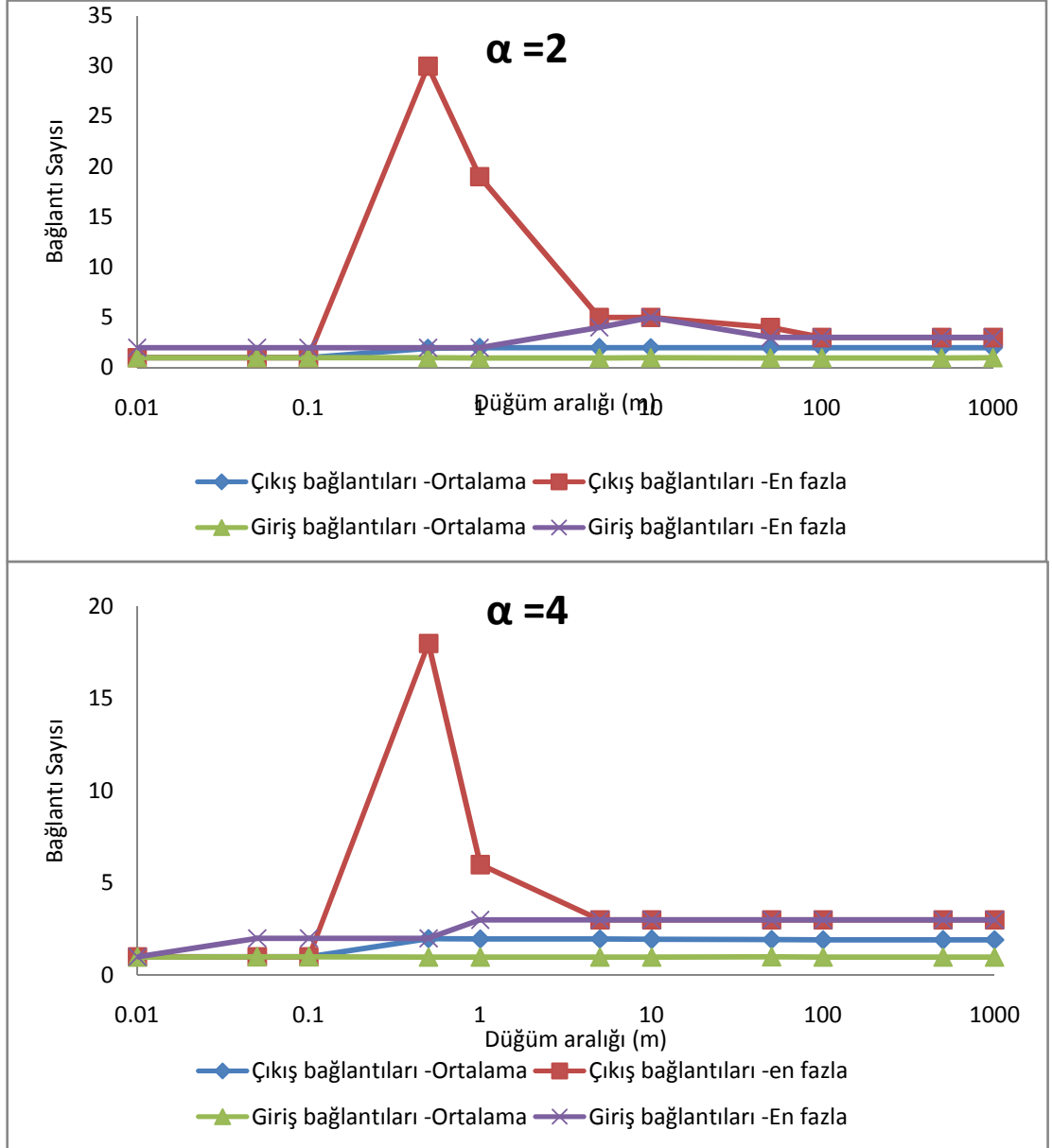
değişmediği, 25 düğümden daha büyük ağlarda her iki α değeri için ortalama 2 çıkış ve 1 giriş bağlantısı kurulduğu görülmektedir. En fazla değerlerine bakıldığında ise $\alpha=2$ için giriş bağlantıları 4, çıkış bağlantıları 3; $\alpha=4$ için hem giriş hem çıkış hem girişte 3 olduğu görülmektedir.



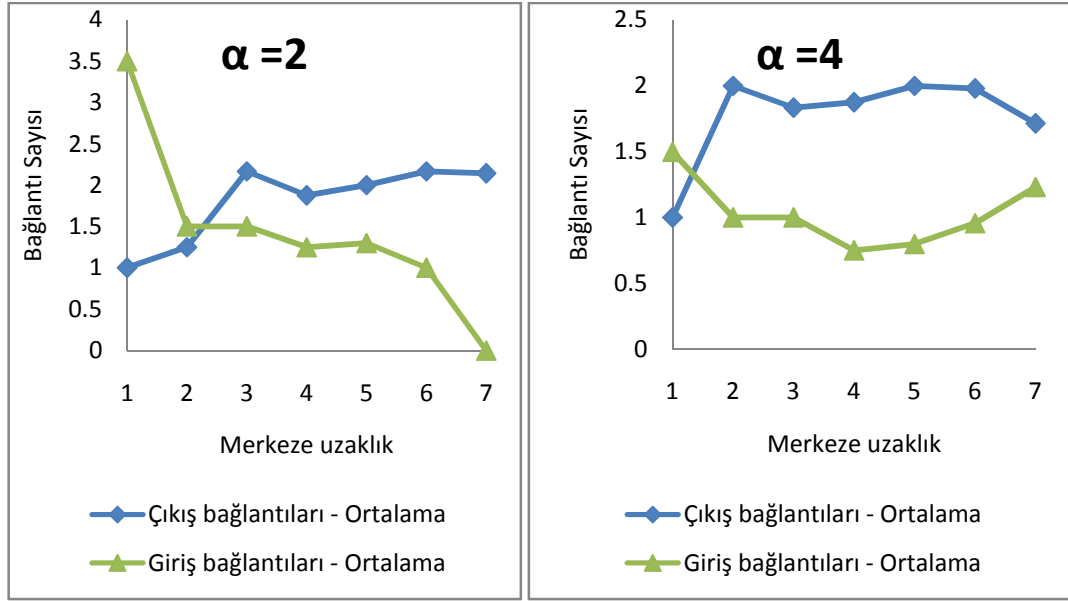
Şekil-3.13 Izgara Topoloji Bağlantı Sayısı - Düğüm Sayısı

Şekil-3.14'de 121 düğümden oluşan bir kablosuz algılayıcı ağında oluşturulan ortalama ve en fazla bağlantı sayılarının düğüm aralığına bağlı değişim grafiği görülmektedir. Düğüm aralığı ızgaradaki birim mesafe olarak düşünülmüştür. Her iki α değeri için düğümlerin ortalama 1'er giriş bağlantısı kurdukları gözlemlenmiştir. Ortalama çıkış bağlantı sayısında ise mesafeye bağlı olarak 2 farklı değer

görülmektedir. Düğüm aralığı 0.5m'den düşük seçildiğinde düğümler verilerini direk olarak baz istasyonuna göndermekte ve dolayısıyla ortalama çıkış bağlantı sayısının 1 olduğu görülmektedir. Düğüm aralığı 0.5m'den büyük değerler seçildiğinde ise bu değer 2'ye çıkmaktadır.



Şekil-3.14 Izgara Topoloji Bağlantı Sayısı – Düğüm Aralığı



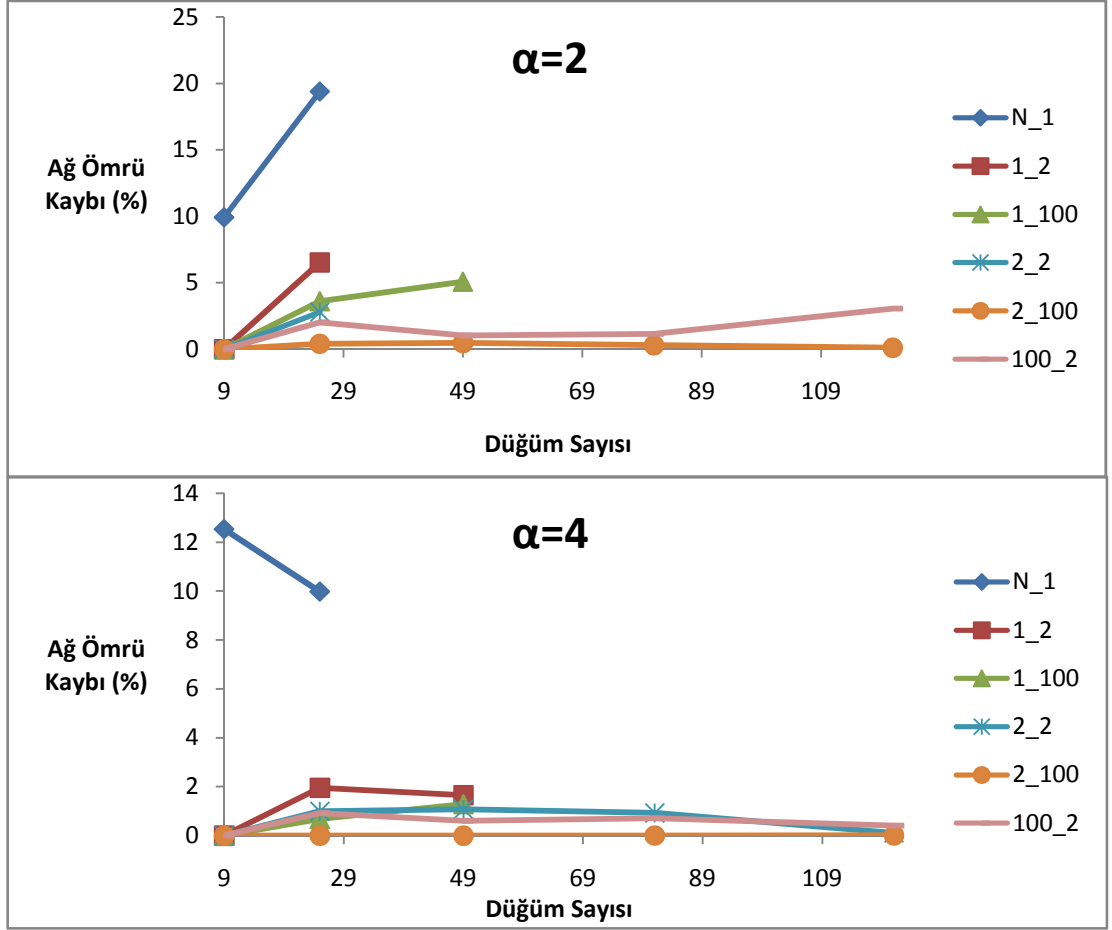
Şekil-3.15 Izgara Topoloji Bağlantı Sayısı – Düğüm Konumu

Şekil-3.15’de 225 düğümden oluşan ve düğüm aralığının 25 m olduğu ızgara şeklinde yerleştirilmiş bir kablosuz algılayıcı ağında, düğümlerin kurdukları ortalama bağlantı sayısının düğümün konumuna bağlı değişim grafiği verilmiştir. Izgara yerleşimi baz istasyonun merkezde olduğu simekrık ve bu bazistasyonunu merkez kabul içiçe kareler olarak düşünülebilir. Yatay eksen oluşturulurken bu eşmerkezli kareler üzerinde bulunan düğümlerin ortalaması alınmıştır. Örneğin en içteki kare üzerinde 8 adet düğüm vardır ve merkeze uzaklık 1 olarak ifade edilmiştir. 225 düğüm toplam 7 adet içiçe kare üzerine yerleşmiştir. Bu durumda Merkeze en yakın kare üzerinde çıkış bağlantıları ortalama 1 iken uzaklaştıkça 2 değerine yükselmekte ve sabit kalmaktadır. Giriş bağlantılarında ise tam aksine merkeze yakın yerlerde yüksek ve merkezden uzaklaştıkça azalan bir durum görülmektedir.

3.3.2. Tamsayı Programlama Sonuçları

Şekil-3.16’da düğüm aralığının 25m olduğu bir algılayıcı ağında bağlantı sayısının sınırlandırılmasıyla ağ ömründe oluşan kaybın düğüm sayısına bağlı değişimi verilmiştir. Bazı durumlarda eğrilerin 25 düğümün üzerinde devam etmemesinin

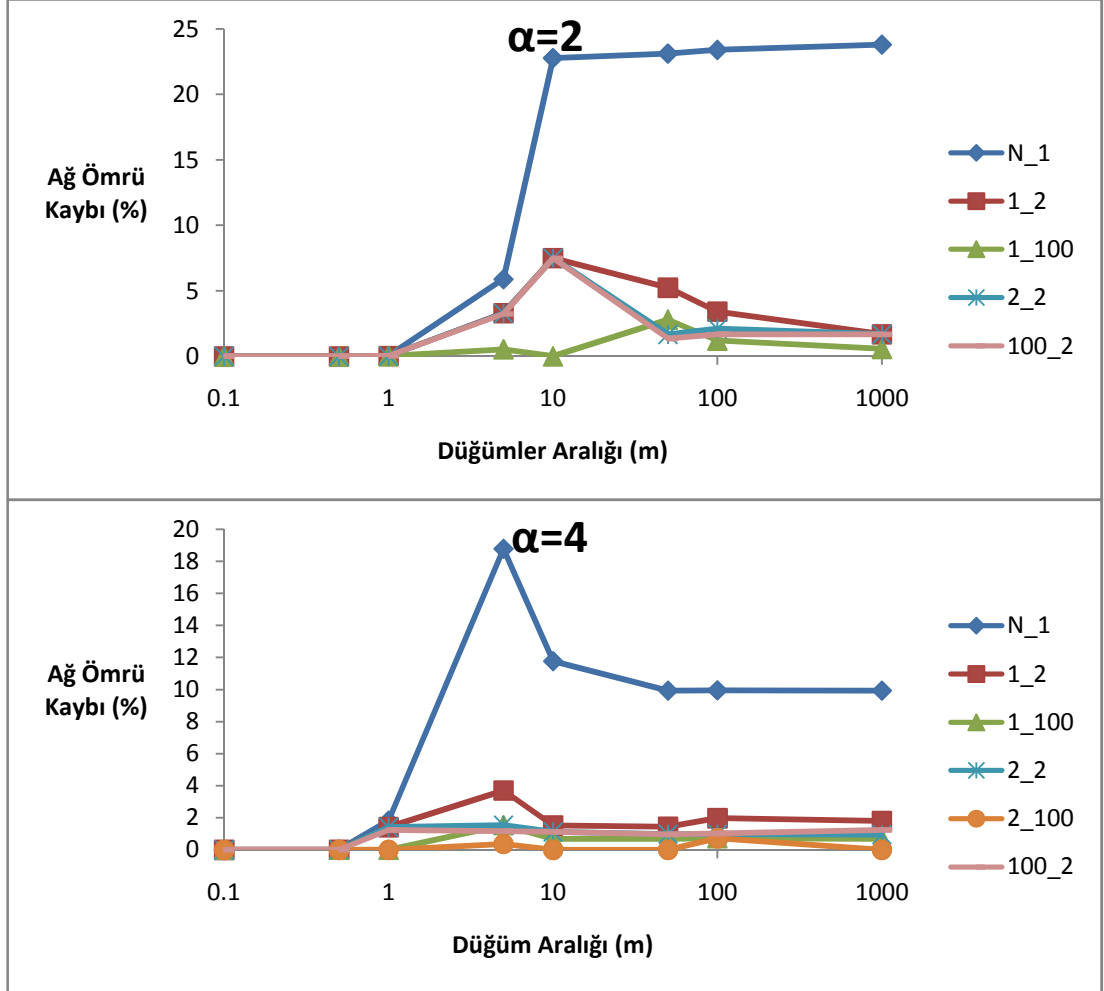
nedeni program karmaşıklığının yüksek olmasıdır. Çıkış bağlantılarının 1 ile sınırlandırıldığı bütün eğriler çakışık ve 25 düğümde $\alpha=2$ durumunda %20 $\alpha=4$ durumunda ise %10 kayıp görülmektedir. Bağlantı sayıları en 2 olarak seçildiğinde ise kaybın %3'ten az olduğu görülmektedir.



Şekil-3.16 Izgara Topoloji Ağ Ömrü Kaybı – Düğüm Sayısı

Şekil-3.17'da 25 düğümde oluşan bir algılayıcı ağında bağlantı sayısının kısıtlanması sonucunda ağ ömründe oluşan kaybın düğüm aralığına bağlı grafiği görülmektedir. Şekil-3.17'de görülen eğrinin şekil-3.14 ile tutarlı olduğu söylenebilir. 0.5'den daha büyük aralıklarda çıkış bağlantısının 1 ile sınırlandırılması %25'e varan kayıba sebep olmaktadır. Ancak giriş ve çıkış bağlantılarının 2 veya daha fazla

olmasına izin verildiği durumda ağ ömründe oluşacak kaybın %4'ten daha az olduğu görülmektedir.



Şekil-3.17 Izgara Topoloji Ağ Ömrü Kaybı – Düğümler Aralığı

4. YORUMLAR

Bu çalışmada bir kablosuz algılayıcı ağında doğrusal programlama sistemi kullanılarak ağ ömrünün eniyilenmesi sağlanmış ve bu durumda düğümlerin verilerini dağıtma karakteristiği incelenmiştir. Doğrusal, dairesel ve ızgara şeklindeki topolojilerde, farklı enerji modeli parametreleri kullanılarak yapılan analizler sonucunda düğümlerin kurdukları ortalama çıkış ve giriş bağlantı sayıları elde edilmiştir. Baz istasyonu dışındaki düğümlerin girişlerden daha fazla çıkış bağlantısı kurdukları gözlemlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında bir tamsayı programlama sistemi ile düğümlerin kurdukları bağlantı sayılarına kısıtlar konulmuş ve bu şartlarda ağ ömrü eniyilenmiştir. Yapılan analizler sonucu ağ ömrünün giriş bağlantılarına kıyasla çıkış bağlantılarının sınırlandırılmasından daha çok etkilendiği görülmüştür. Çıkış bağlantı sayılarının sınırlandırılmasıyla ağ ömründe %40'a varan düşüşler görülmüştür. Giriş ve çıkış bağlantı sayılarının en fazla 2 olması sağlandığında ağ ömründeki kaybın %10'un altında kaldığı; hem giriş hem de çıkış bağlantı sayılarındaki kısıt 3'ten az olmamak şartıyla, ağ ömründeki düşüşün ihmal edilebilecek kadar az olduğu(%1) gözlemlenmiştir.

Kablosuz algılayıcı ağlarda düğümlerin bağlantı karakteristiği ve bağlantıların sınırlandırılmasıyla oluşacak ağ ömrü kaybı üzerinde yapılan bu çalışma, ağ karmaşıklığı ve ağ ömrü arasındaki ödünleşmeyi göstermiştir. Herbir düğümün sadece bir düğümden veri aldığı ve 1 düğüme veri gönderdiği, dolayısıyla karmaşıklığın ve rotalama kayıplarının en aza indirildiği bir ağda, ağ ömrü optimal değerinin %40 altında olmaktadır. Bu çalışmada protokollerden, ortamdaki çarpışma ve gürültüden kaynaklanabilecek kayıplar gözardı edilmiş; böylelikle en ideal durumda, diğer etkenlerden bağımsız olarak, bağlantı sayısının düşürülmesinin ağ ömrü üzerindeki etkileri incelenebilmiştir. Diğer etkenlerden bağımsız olması ulaşılabilir ağ ömründeki üst sınırı ifade etmektedir. İleride bu etkenleri de gözönünde bulunduran çalışmalar yapılabilir. Örneğin, bağlantıların sayısının azaltılması aynı zamanda ortamdaki çarpışma olasılığını da düşürebileceği öngörülmektedir. Ortamda kullanılabilir olan bant genişliği de kurulacak bağlantı sayısı ve çok atlama durumunun kullanılmasıyla yakından ilgilidir. Algılayıcılar

üzerinde üretilen verinin en az atlama ile baz istasyonuna ulaşması ağı daha az meşgul ederek bant genişliğinin verimli kullanılmasına neden olacağı öngörülebilir. Ayrıca algılayıcı tarafından tespit edilen olayın en az gecikme ile baz istasyonuna iletilmesi dolayısıyla çok daha erken olarak merkezde görüntülenebilmesi anlamına gelmektedir. Fakat bu şekilde birkaç etkenin birlikte gözetlendiği problemler doğrusal programlama modeli olarak modellenemeyebilir. Sistem modeli kurulurken tamsayı programlamanın karmaşıklığı, uzun çalışma süresi ve büyük hafıza (RAM) gerektirebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Labrador, M.A., Wightman, P.W., Topology Control in Wireless Sensor Networks, Springer Science Business Media B.V. 2009.
- [2] Rahimi, M., Baer, R., Iroezi, O.I., Garcia, J.C., Warrior, J., Estrin, Srivastava, M., Cyclops: in situ image sensing and interpretation in wireless sensor networks, Proc. ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, 2005, pp.192–204
- [3] Bıçakçı, K., Tavlı, B., Prolonging Network Lifetime with Multi-domain Cooperation Strategies in Wireless Sensor Networks, Ad Hoc Networks 8,582-596, 2010
- [4] Ergen, S.C., Varaiya P., On Multihop Routing for Energy Efficiency, IEEE Communication Letters vol:9 No:10 880-881, 2005.
- [5] Cheng, Z., Perillo, M., Heinzelman, W., General Network Lifetime and Cost Models for Evaluating Sensor Network Deployment Strategies, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 7, pp. 484-497, 2008.
- [6] Heinzelman, W., Chandrakasan, A., Balakrishnan, H., An Application Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks, IEEE Transactions on Wireless Communications, vol.1, pp.660-670, 2002.
- [7] Tavlı, B., Akgun, M.B., Bıçakçı, K., The impact of Limiting the Number of Links on the Lifetime of Wireless Sensor Networks, submitted.

EK 1: Doğrusal Topoloji için Tamsayı Programlama Kodu

Sets

i düğümler /i1*i70/;

Alias (i,j);

Scalar

s veri üretim hızı /1/

cnst1 /500/

cnst2 Ptxij=cnst1+cnst2*dij^2 /1/

Erec /500/

enerji bütün düğümler için sabit /10000000000/

Dist düğümler arası mesafe /20/

M büyük sayı /100000000/

MAKSout çıkis linklerinin en fazla sayisi /100/

MAKSin giris linkleri en fazla sayisi /100/

Variable

t;

positive variable

f(i,j);

binary variable

a(i,j);

Equations

KCL(i) verinin korunumu

Energy(i) enerji kısıtı

flowcontrol(i,j) a sıfırsa akis sıfır

Linkout(i) linkout sayisini sinirla

Linkin(i) linkin sayisini sinirla;

KCL(i)\$ (ord(i)>1).. sum(j \$ (ord(i) ne ord(j)), f(i,j)) =e= s*t + sum (j\$ ((ord(j)>1) and (ord(i) ne ord(j))),f(j,i));

Energy(i)\$ (ord(i)>1).. sum(j,f(i,j)*(cnst1+cnst2*((Dist*abs(ord(i)-ord(j)))**2)))+ sum(j,f(j,i)*Erec) =l= enerji;

flowcontrol(i,j).. f(i,j)=l=a(i,j)*M;


```
Linkout(i)$ (ord(i)>1).. sum(j,a(i,j))=l=MAKSout;  
Linkin(i)$ (ord(i)>1).. sum(j,a(j,i))=l=MAKSin;
```

```
Model WSN /all/;  
option iterlim=10000000;  
option reslim=10000000;  
option optcr=0.01;  
file sonuc /D:\Documents and Settings\1,,1.txt/;  
put sonuc;  
*to append 1, to overwrite 0  
sonuc.ap=1;  
put sonuc;  
MAKSin=1;  
MAKSout=1;  
solve transport using mip maximizing t;  
put "MAKSin:" MAKSin "MAKSout:" MAKSout "  " /;  
put t.l:20:0/;  
putclose;
```

EK 2: Disk Topoloji için Tamsayı Programlama Kodu

*disc topology

sin,cos requires radians $2\pi=6.283=360\text{degree}$

set

i nodes /i1*i40/

tekrar repeat for different random topology /t1*t100/

Alias (i,j);

parameter

r(i) radius

teta(i) center angle

x(i) x-coordinate

y(i) y-coordinate

d(i,j) distance(for unit circle- multiply with radius in eq's);

Scalar

s rate of data produced at each node /1/

cnst1 /50E-9/

cnst2 $P_{txij}=\text{cnst1}+\text{cnst2}*d_{ij}^2$ /100E-12/

Erec /50E-9/

enerji bütün nodelar için sabit /1/

radius radius of disc /100/

NN number of nodes in topology

M büyük sayı /100000000000000/

MAKS_IN giris linklerinin maks sayisi /6/

MAKS_OUT cikis linkleri maks sayisi /6/

density node density m^2 per node /1000/;

NN = card(i);

Variable

t;

positive variable

f(i,j);

binary variable

a(i,j);

Equations

nonzero(i,j)

KCL(i) satisfy data flow within each node

Energy(i) satisfy energy requirement

flowcontrol(i,j) a sifirsa akis sifir

Linkin(i) in_link sayisini sinirla

Linkout out_link sayisini siinirla;

nonzero(i,j).. f(i,j) =g= 0;

KCL(i)\$ (ord(i)>1).. sum(j \$(ord(i) ne ord(j)), f(i,j)) =e= s*t + sum (j\$((ord(j)>1) and (ord(i) ne ord(j))),f(j,i));

Energy(i)\$ (ord(i)>1).. sum(j,f(i,j)*(cnst1+cnst2*((radius*d(i,j))**2)))+ sum(j,f(j,i)*Erec) =l= enerji;

flowcontrol(i,j).. f(i,j)=l=a(i,j)*M;

Linkin(i)\$ (ord(i)>1).. sum(j,a(j,i))=l=MAKS_IN;

Linkout(i)\$ (ord(i)>1).. sum(j,a(i,j))=l=MAKS_OUT;

Model transport /all/;

option iterlim=10000000;

option reslim=10000000;

option optcr=0.01;

file sonuc /D:\Documents and Settings\1,,100.txt/;

put sonuc;

*to append 1, to overwrite 0

sonuc.ap=1;

MAKS_IN=1;

MAKS_OUT=100;

loop(tekrar,

put sonuc;

r(i)=sqrt(uniform(0,1));

teta(i)=uniform(0,6.28);

r('i1')=0;

x(i)=r(i)*sin(teta(i));

```
y(i)=r(i)*cos(teta(i));
d(i,j)=abs( sqrt( (abs(x(i)-x(j)))**2 +(abs(y(i)-y(j)))**2 ) );
radius= sqrt((NN*density)/3.1415);
solve transport using mip maximizing t;
put sonuc;
put t.l:20:5/;
putclose sonuc;
)
```

EK 3: Izgara Topoloji için Tamsayı Programlama Kodu

*!!!!!!! node number should be square of an odd number

set

i nodes /i1*i121/

Alias (i,j);

parameter

d(i,j) distance(for unit grid multiply with node separation nS eq's)

x(i) x-coordinate

y(i) y-coordinate;

Scalar

s rate of data produced at each node /1/

cnst1 /0.00000005/

cnst2 $P_{txij} = cnst1 + cnst2 * d_{ij}^2$ /0.0000000001/

Erec /0.00000005/

enerji bütün nodelar için sabit /1/

nS node separation /25/

M büyük sayı /10000000000000/

MAKS_IN çıkis linklerinin maks sayisi /100/

MAKS_OUT cikis linkleri maks sayisi /100/;

Variable

t;

positive variable

f(i,j);

binary variable

a(i,j);

Equations

KCL(i) satisfy data flow within each node

Energy(i) satisfy energy requirement

flowcontrol(i,j) a sifirsa akis sifir

Linkout(i) link sayisini sinirla

Linkin(i) link sayisini sinirla;

```

KCL(i)$ (ord(i) ne (card(i)+1)/2)..    sum(j $ (ord(i) ne ord(j)), f(i,j)) =e= s*t + sum
(j$ ((ord(j) ne (card(i)+1)/2) and (ord(i) ne ord(j))),f(j,i));
Energy(i)$ (ord(i) ne (card(i)+1)/2)..  sum(j,f(i,j)*(cnst1+cnst2*((nS*d(i,j) )**2)))+
sum(j,f(j,i)*Erec) =l= enerji;
flowcontrol(i,j)..                      f(i,j)=l=a(i,j)*M;
Linkout(i)$ (ord(i) ne (card(i)+1)/2)..    sum(j,a(i,j))=l=MAKS_OUT;
Linkin(i)$ (ord(i) ne (card(i)+1)/2)..     sum(j,a(j,i))=l=MAKS_IN;

```

```

Model transport /all/;
option iterlim=10000000;
option reslim=10000000;
option optcr=0.01;
file sonuc /D:\Documents and Settings\100,,2.txt/;
put sonuc;
*to append 1, to overwrite 0
sonuc.ap=1;
*base station at the centre, note that we have excluded it in
equations(ord!=(card+1)/2)
loop(i,
    y(i)=floor((ord(i)-1)/sqrt(card(i)));
    x(i)=ord(i)-y(i)*sqrt(card(i))-1;
);
d(i,j)=abs( sqrt( (abs(x(i)-x(j)))**2 +(abs(y(i)-y(j)))**2 ) );
MAKS_IN=100;
MAKS_OUT=2;
solve transport using mip maximizing t;
put t.l /;
putclose;
put sonuc;

```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : AKGÜN, Mehmet Burak

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 18.08.1985 Eskişehir

Medeni Hali : Bekar

Telefon : 0554 2022029

e-mail : mburakgun@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	ODTU/ Elektrik Elektronik Mühendisliği	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008-2010	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dili

İngilizce

Yayınlar

The Impact of Limiting Number of Links on the Lifetime of Wireless Sensor Networks, IEEE Communication Letters.2010. Gönderildi.