

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TOPOLOJİK DEĞİŞİMLERİN KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN
YAŞAM SÜRESİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mohammed Akram Ismail ALGARBALJE

Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Programı

ARALIK 2017

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TOPOLOJİK DEĞİŞİMLERİN KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN
YAŞAM SÜRESİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mohammed Akram Ismail ALGARBALJE

1406010012

Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hakan Ezgi KIZILÖZ

Türk Hava Kurumu Üniversitesi Fen Bilimler, Enstitüsü'nün 1406010012 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, "Mohammed Akram Ismail Algarbalje", ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "TOPOLOJİK DEĞİŞİMLERİN KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN YAŞAM SÜRESİNE ETKİSİ" başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Hakan Ezgi KIZILÖZ
Türk Hava Kurumu Üniversitesi



Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ahmet COŞAR
Orta Doğu Teknik Üniversitesi



: Yrd. Doç. Dr. İbrahim MAHARİQ
Türk Hava Kurumu Üniversitesi



: Yrd. Doç. Dr. Hakan Ezgi KIZILÖZ
Türk Hava Kurumu Üniversitesi



Tez Savunma Tarihi: 25 Aralık 2017

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum, “Topolojik Değişimlerin Kablosuz Algılayıcı Ağların Yaşam Süresine Etkisi” adlı çalışmamın, tarafımdan akademik etik ve kurallara aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım kaynakların kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.


25.12.2017

Mohammed Akram Ismail ALGARBALJE

TEŞEKKÜRLER

Tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hakan Ezgi Kızılöz'e, tezim boyunca sunduğu samimi desteği, rehberliği, anlayışı, cesaret verici önerileri, yapıcı eleştirileri ve değerli görüşleri nedeniyle en içten teşekkürlerimi sunarım. Öğrencilerine olan yaklaşımı ve sorun çözme biçimi, ilerideki yaşamımda bana kesinlikle yardımcı olacaktır.

Ayrıca, desteği, anlayışı ve cesaretlendiriciliğinden dolayı eşime de teşekkür ederim.

Aralık 2017 Mohammed Akram Ismail ALGARBALJE

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜRLER	iv
İÇİNDEKİLER	v
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
KISALTMALAR	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
BİRİNCİ BÖLÜM	1
1. GİRİŞ	1
1.1 Kablosuz Sensör Ağında Enerji Tüketimi	2
1.2 Çalışmanın Önemi	2
1.3 Çalışmanın Amacı	3
İKİNCİ BÖLÜM	5
2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR	5
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	8
3. PROBLEM TANIMI	8
3.1 KSA'lere Giriş	8
3.2 Kablosuz Sensör Ağındaki Zorluklar	11
3.3 Sensör Ağları Gereklere ve Tasarım Faktörleri	10
3.4 Kablosuz Sensör Ağ Uygulamaları	15
3.5 Ağ Ömrü Üzerine Yapılan Araştırmalar	18
3.6 Genel Cebirsel Modelleme Sistemi (GAMS)	10
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	22
4. SİSTEM MODELİ	22
4.1 Giriş	22
4.2 Enerji Modeli	22
4.3 Ağ Varsayımları	24
4.4 Sensör Düğüm Konuşlandırma Modeli	25
4.4.1 Dairesel Topoloji	25
4.4.2 Kare Topoloji	26
4.4.3 Doğrusal Topoloji	27
4.4.4 Rastgele Topoloji	27
4.5 Matematiksel Programlama	27
BEŞİNCİ BÖLÜM	31
5. SİMÜLASYON ORTAMI VE SONUÇ ANALİZİ	31
5.1 Giriş	31
5.2 Küçük Ölçekli Topoloji	32
5.3 Orta Ölçekli Topoloji	34
5.4 Rastgele Topoloji	35
5.5 Büyük Ölçekli Topoloji	36
5.6 Baz İstasyon Yerinin Değiştirilmesi	37

5.7 Kare ile Karşılaştırma	42
5.8 Farklı Topolojide Rastgele Sensör Dağıtımı.....	43
5.9 İki Baz İstasyonunun Etkisi	51
5.9.1 Kare Topoloji	52
5.9.2 Dairesel Topoloji.....	54
5.9.3 Doğrusal Topoloji	56
5.10 Yol Kaybı Üsünün Etkisi	61
ALTINCI BÖLÜM	60
6. SONUÇLAR	60
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	65



TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 : Enerji model parametreler açıklaması ve değerleri.	23
Tablo 4.2 : Mica2 mote Farklı güç seviyelerinde iletim enerjileri ($\mu\text{J} / \text{bit}$) ve mukabil maksimum iletim aralıkları (m)	24
Tablo 5.1 : Parametre listesi ve değerleri.	31
Tablo 5.2 : Küçük topoloji için ömür süresi.....	33
Tablo 5.3 : Orta ölçekli topoloji için ömür süresi.	34
Tablo 5.4 : Orta ölçekli topoloji için ömür süresi.	36
Tablo 5.5 : Büyük ölçekli topoloji ömür süresi.....	37
Tablo 5.6 : Rastgele dağıtımda ömür süresi.....	46
Tablo 5.7 : Rastgele dağıtımda ömür süresi.....	44
Tablo 5.8 : Rastgele dağıtımda ömür süresi büyük ölçek.....	47
Tablo 5.9 : Senaryo için ömür süresi.	50
Tablo 5.10 : İki baz istasyonun yerleri.....	50

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	: MICA 2 kablosuz sensör	2
Şekil 3.1	: Örnek bir kablosuz sensör ağı	9
Şekil 3.2	: Sensör düğümün bileşenleri.	12
Şekil 3.3	: KSA'ların savaş alanında kullanımı.....	16
Şekil 3.4	: Akriikle korunan sensör düğüm devresi.....	17
Şekil 3.5	: Tıbbi sensörlar (a) EMG entegre edilmi Telos mote (b) Nabız oksimetre entegre edilmi Mica2 mote	18
Şekil 4.1	: Dairesel topoloji.....	26
Şekil 4.2	: Tekdüze sensör dağıtımli kare topoloji.....	26
Şekil 4.3	: Tekdüze sensör dağıtımli doğrusal topoloji.....	27
Şekil 4.4	: Rastgele sensör dağıtımli dairesel topoloji.	28
Şekil 4.5	: Rastgele sensör dağıtımli kare topoloji.	28
Şekil 5.1	: Küçük ölçekli farklı topoloji için ömür süresi.	33
Şekil 5.2	: Küçük ölçekte tekdüze ve rastgele arasındaki karşılaştırma.	33
Şekil 5.3	: Orta ölçekli farklı topoloji için ömür süresi.....	34
Şekil 5.4	: Ömür süresi tekdüze ve rastgele dairesel R-100.....	36
Şekil 5.5	: Dairesel R100'de 100 sensörün rastgele dağıtım.....	35
Şekil 5.6	: Dairesel R100'de 100 sensörün tekdüze dağıtım.....	35
Şekil 5.7	: Yüksek ölçekli farklı topoloji için ömür süresi.....	37
Şekil 5.8	: Merkez ve köşede Bİ yerinin ömür süresi.	40
Şekil 5.9	: Bİ yerinin değiştirilmesinin ömür süresi üzerindeki etkisi.	40
Şekil 5.10	: Doğrusal sensör Bİ köşede.....	41
Şekil 5.11	: Doğrusal sensör Bİ merkezde.....	41
Şekil 5.12	: Bİ yerinin değiştirilmesinin ömür süresi üzerindeki etkisi.	40
Şekil 5.13	: Ömür süresi Kare topoloji Bİ yeri (1000X1000).....	40
Şekil 5.14	: 250 sensörün tekdüze dağıtımli.	41
Şekil 5.15	: Doğrusal'de merkez ve köşede Bİ yerinin ömür süresi.	42
Şekil 5.16	: Doğrusal Bİ köşede ve kare Bİ merkezde (1000) ömür süreleri.....	42
Şekil 5.17	: 10 M'de rastgele sensörler (10).....	43
Şekil 5.18	: 10 M'de rastgele sensörler (50).....	44
Şekil 5.19	: Sensör sayılarına göre ömür süresi.....	45
Şekil 5.20	: 10 sensörün karede 100 M rastgele dağıtımli.	45
Şekil 5.21	: 100 sensörün karede 100 M rastgele dağıtımli.	46
Şekil 5.22	: 500 sensörün karede 100 M rastgele dağıtımli.	46
Şekil 5.23	: Rastgele dağıtımda büyük ölçek.....	47
Şekil 5.24	: 100 sensörün karede 1000 M rastgele dağıtımli.	50
Şekil 5.25	: Kare 1000 M'de 100 sensörün rastgele dağıtımli.	50
Şekil 5.26	: Kare 1000 M'de 100 sensörün rastgele dağıtımli.	51
Şekil 5.27	: Dairesel topoloji 2 baz istasyon.....	50
Şekil 5.28	: Dairesel topoloji 2 baz istasyon.....	51
Şekil 5.29	: Kare topolojide iki baz istasyon.	51
Şekil 5.30	: Doğrusal topolojide iki baz istasyon.	51

Şekil 5.31 : Doğrusal topolojide iki baz istasyon.	52
Şekil 5.32 : Kare topoloji 100M karşılaştırma.....	53
Şekil 5.33 : Kare topoloji 1000M karşılaştırma.....	54
Şekil 5.34 : Dairesel topoloji 1000M karşılaştırma.	55
Şekil 5.35 : Dairesel topoloji 1000M karşılaştırma.	55
Şekil 5.36 : Doğrusal topoloji 100M karşılaştırma.	56
Şekil 5.37 : Doğrusal topoloji 100M karşılaştırma.	57
Şekil 5.38 : Doğrusal topoloji 1000M karşılaştırma.	58
Şekil 5.39 : Doğrusal topoloji 1000M karşılaştırma.	60
Şekil 5.40 : Yol kaybı ününün etkisi.....	61



KISALTMALAR

KSA	: Kablosuz Sensör Ağlar
SD	: Sensör Düğüm
Bİ	: Baz istasyon
LP	: Doğrusal programlama (Linear programming)
D	: Dairesel topoloji tekdüze düğüm dağılımı
MD	: Doğrusal topoloji baz istasyonu merkezde
KD	: Doğrusal topoloji baz istasyonu köşe
MK	: Kare topoloji baz istasyonu merkezde
KK	: Kare topoloji baz istasyonu köşede
MKR	: Kare topoloji rastgele dağılımlı baz istasyonu merkezde
DR	: Dairesel topoloji rastgele düğüm dağılımlı
KKK	: Kare topoloji baz istasyonu iki köşede
MKK	: Kare topoloji baz istasyonu merkezde ve köşede
MDK	: Dairesel topoloji baz istasyonu merkezde ve çevrede
KDK	: Dairesel topoloji iki baz istasyon çevrede
MDOK	: Doğrusal topoloji baz istasyonu merkezde ve köşede
KDOK	: Doğrusal topoloji baz istasyonu iki köşede

ÖZET

TOPOLOJİK DEĞİŞİMLERİN KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN YAŞAM SÜRESİNE ETKİSİ

Mohammed Akram Ismail ALGARBALJE

Yüksek Lisans, Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Tez Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hakan Ezgi KIZILÖZ

Aralık 2017, 65 sayfa

Endüstriyel, tarımsal, askeri, ulaşım ve sağlık gibi pek çok sektörü kapsayan geniş uygulama alanına sahip kablosuz sensör ağlar son birkaç yıldır önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Kablosuz sensör ağların önündeki en büyük güçlüklerden biri bu cihazların çalışmasını sağlayan sınırlı kapasiteli, değiştirilmelerinin oldukça güç ve pahalı olan bataryalara bağlı olarak sensör gücünün ve kullanım ömrünün kısıtlı olmasıdır. Gönderilen verinin miktarı ile mesafesi sensörlerin çalışması sırasında enerji tüketimi artışına sebep olan başlıca iki sorundur. Bu itibarla, bu tezin amacı kablosuz sensör ağların kullanım ömrüne ilişkin olarak doğrusal, dairesel ve kare gibi farklı topolojilerin etkililiğini inceleyecek baz istasyonunun konumunun değiştirilmesinin kullanım ömrü üzerindeki etkisini incelemektedir. Böylelikle, söz konusu topolojilerin alanının artırılmasının ve bağlı olarak sensör sayısının da artırılmasının kullanım ömrü üzerindeki etkisi tespit edilmektedir. Bununla birlikte, sensörlerin tekdüze veya rastgele yerleşimi ile ağa yeni baz istasyonu eklemenin kullanım ömrünü nasıl etkilediği ve yeni eklenen baz istasyonunun ömrünü uzatmak için en optimum konum incelenmektedir. Yol kaybı etkisi göz önünde tutulacak ve hesaplamalar GAMS yazılımı ile doğrusal programlama formülleri kullanılarak yapılmaktadır. Çalışma optimum sensör sayısına sahip en iyi topolojiyi belirleyerek kablosuz sensör ağlarda etkili ve verimli enerji sarfiyatı ve kullanım ömrünün iyileştirilmesi için önemli bulgular içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz sensör ağı, Tekdüze yerleşim, Baz istasyonu, Ağ kullanım ömrü.

ABSTRACT

THE EFFECTS OF TOPOLOGICAL VARIATIONS ON THE LIFETIME OF WIRELESS SENSOR NETWORKS

Mohammed Akram Ismail Algarbalje

Master, Department of Electrical and Computer Engineering

Thesis supervisor: Asst. Prof. Dr. Hakan Ezgi KIZILÖZ

December 2017, 65 page

The wireless sensor networks have become a major issue in many applications in last few years, since the large application field of it in many sectors like industrial, agricultural, military, health, other application. One of the most important challenges of wireless sensor network is the life time of sensors since limited power of sensors that depending on small battery for achieving its works and it is very difficult and expensive to replace it. The sensors are consumption energy during working the two major issues increasing energy consumption are the amount of sending data and the distance. Here in our thesis we will study the effective of different topology like linear, circular and square for the life time of wireless sensor network also we will see the effective of changing the location of base station on life time. By increasing the area of above topology's we will calculate the life time for each step also we will study the increase of the number of the sensors and see how it will impact to life time. Uniform deployment and random deployment of sensors will be a part of our study the also we will study how adding additional base station to the network will effect on the life time and what will be the best position for additional base station to increase the life time effective of path loss will be consider and all calculation will be done by using liner program formulas in GAMS program The results of our study

will let us to make good opinion to choose the best topology with suitable sensor number to achieve the wireless sensor network life time.

Keywords: Wireless sensor network, Uniform deployment, Base station, Network life time.



BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Kablosuz Sensör Ağlar (Wireless Sensor Networks) ile ilgili çalışmalar son zamanlarda yaygınlaşmaya başlamıştır. Kablosuz sensör ağlar ile çok fazla bir altyapı gerektirmeden kablosuz kanal yardımı ile bilgi toplayıp işlemek artık mümkün kılınmıştır. Binaenaleyh, bu ağlar hedef alandaki sensörler tarandıktan sonra, insan müdahalesine gereksinim olmaksızın bağımsız olarak çalışabilmektedir. Bu üstün özellikler, birçok uygulamada aranır hale gelmiştir.

Kablosuz sensör ağlar alanında üzerinde çalışılması gereken konulardan birisi belki de en ehemmiyetlisi güç tüketimidir. Zira küçük bir güç kaynağına, sınırlı aralığa, basit işleme kapasitesine sahip düşük fiyatlı bu cihazların önemli kaynak sınırlılıkları mevcuttur. Güneş enerji hücreleri marifetiyle enerji depolayabilen bazı cihazlar hariç, sensör düğümleri, izleme ve veri toplama uygulamaları için herhangi bir güç desteği olmaksızın hedef bölgeye konuşlandırılırlar. Bu, gerekli gücün bataryalarla veya güneş enerjisi hücreleri gibi enerji toplama/depolama araçlarıyla donatılmış olması gerektiği anlamına gelir.

Esasen sensör bataryaları şarj edilemez veya değiştirilemez. Bunun birinci nedeni, sensör ağlarının çok sayıda sensör düğümünden (100 ila 1000 arasına düğüm) oluşmasıdır. Dolayısıyla, tüketilen bataryalarını değiştirmek mümkün değildir. İkinci nedeni ise, bazı uygulamalarda sensör düğümleri, ulaşılması güç yerlere dağıtılmaktadır. Bununla birlikte, enerji depolamanın mümkün olduğu durumlarda bile, sağlanan enerji hala sınırlı düzeyde olduğu için, sensör düğümündeki enerji tüketimleri etkili ve verimli bir şekilde yönetilmelidir. Bu nedenle, her bir düğümün ömrü, batarya tüketimine bağlıdır ve sensör ağ ömrü de, sonraki bölümde açıklanacağı gibi, ilk sensör düğümü ölünceye diğer bir ifadeyle tükeninceye kadardır. Bu itibarla, bu tezde düğüm konumlandırma için kullanılmakta olan birçok topoloji incelenerek kablosuz ağ ömrü açısından en uygun topoloji tespit edilmeye çalışılmaktadır.

1.1 Kablosuz sensör ağında Enerji Tüketimi

Sensör düğümü, iletim, alma, boşa veya uyku gibi dört durumdan birinde olabilir. Düğüm, her bir modda farklı bir güç seviyesinde tüketim yapar, şöyle ki:

a) İletim: İletim gücü ile iletim modunda sensör düğümü E_{txij} .

b) Alma: Sensör düğümü, alma enerjili olarak alım durumundadır E_{rx} .

c) Uyku: İletişim aygıtları kapatılır, sensör düğümü sinyal algılayamaz ve iletişim mümkün değildir. Sensör düğümü önemli oranda diğer sensör düğüm enerjisinden daha küçük enerji olan E_{sleep} kullanır, dolayısıyla enerji tüketimi minimumdur.

d) Boşa (dinleme): Ortam üzerinden hiç veri gönderilmediğinde bile sensörler boşa kalır ve yine de ortamı E_{idle} ile dinlerler.



Şekil 1.1: MICA 2 kablosuz sensör [1].

1.2 Çalışmanın Önemi

Kablosuz sensör ağının ömrünün en üst seviyeye ulaştırılabilmesi için, ağda bulunan her bir düğümün görevini icra ederken batarya gücünü verimli şekilde kullanması gerekir. Öte yandan, her bir sensördeki batarya tüketiminin de mümkün olan son seviyeye kadar düşürülmesi ve buna ilaveten sensör ağ ömrünü maksimize etmek için ek prosedürler düşünülmelidir. Bu prosedürlerin en önemlisi, bazı sensör düğümlerinin batarya tüketimini ortadan kaldırmak için sensörler arasındaki trafik yükünü dengelemektir.

Ağdaki sensör düğümü, ömürleri boyunca iki farklı görev icra ederler. Bu görevlerden ilki, algılanan verileri toplayarak algılama (sense) görevini gerçekleştirmektir. İkinci görev ise, yakalanan verileri topladıktan sonra bu veriyi baz istasyonuna göndermektir. Düğümün iletim aralığına göre, her zaman veriyi doğrudan baz istasyonuna göndermek mümkün olmayabilir. Bu nedenle, baz istasyonuna giden bu yoldaki bir başka düğüm, baz istasyonuna ulaşınca kadar, bu veriyi aktarma görevini icra eder. Bu nedenle, verileri ileten sensör, kendisinin ürettiği veriye ek olarak diğer verileri almak ve başka düğümlere iletmek için enerji tüketir ve bataryasını diğer düğümlere göre daha hızlı tüketir. Tesis edilen iletişim yolunun kaç tane olacağı ve her bir düğümün hangi işlemleri yapacağı, konumlandırılan düğümler grubu, düğüm konumu ile belirlenir. Bazen trafik yükünün ağır olduğu bir alana konumlandırılan düğümler (örneğin, baz istasyonu yakınına veya civarına) bataryalarını daha erken tüketirler ve böylelikle ağ ömrü daha çabuk sona erer. Bu nedenle, şunu ifade etmek önem arz etmektedir; Kablosuz Sensör Ağı (KSA) ömrü, düğümün konumlama şekline ya da moduna bağlıdır.

KSA'larda sensörün yeri, hayati öneme sahiptir. Zira ağ işlemlerinin birçok özelliği, düğümün sensör ağındaki konumundan etkilenir. Örneğin, batarya yönetimi, ağ yolu ve ağ güvenliği ilgili sensör ağında genellikle rastgele ve tekdüze/belirlenmiş olmak üzere iki tür sensör düğüm konumu mevcuttur. Bu çalışmada, düğüm konumlandırma için birçok topoloji incelenip, ağ ömrü açısından en uygun topoloji tespit edilmeye çalışılmaktadır.

1.3 Çalışmanın Amacı

Önceki bölümlerde defaten belirtildiği üzere sensör düğüm yeri, kablosuz sensör ağının yaşam süresi için hayati öneme haiz bir meseledir. Bununla beraber, batarya yönetimi, ağ yönlendirmesi ve ağ güvenliği gibi birçok şebeke operasyonu da sensör ağlarındaki düğümlerin konumlandırılmasından ziyadesiyle etkilenir. Genellikle, rastgele ve belirlenmiş düğüm konumlandırma şeklinde sınıflandırılan iki farklı türde düğüm konumlandırma mevcuttur.

Sensör ağının ömrü, sensör düğüm konumlandırma stratejisine bağlıdır. Çünkü baz istasyonundan bir hop öteye konumlandırılan sensör düğümleri, verileri diğer sensörlerden alarak baz istasyonuna iletmek durumundadır. Bu iletim, söz konusu düğümlerde daha erken enerji tüketimlerine neden olur. Zira bu düğümler,

veri alım ve iletimi için fazladan enerji tüketirler. Bu türdeki ilk atlama sensör düğümleri, enerjilerinin tamamını boşalttığı anda ise, ağdaki diğer sensör düğümünde yeterli miktarda enerjinin var olmasının artık hiçbir faydası yoktur. Nitekim ağdaki sensör düğümlerinden birisi enerjisini tüketir ve ölürse, tüm ağ ölür. Bu nedenle, kablosuz sensör ağlardaki dengesiz ve ölçükleneemeyen enerji tüketimi bütün ağ etkiler ve kablosuz sensör ağ ömrünün erken tükenmesi ile sonuçlanır.

Diğer taraftan, yol kayıp üssü α 'nın ikiden fazla olduğu daha engelli ortamlardaki (ağ ortamına bağlı olarak α değeri üç ila dört arasında değişir) kablosuz sensör ağlarında, engelli ortam, daha fazla enerji kaybına neden olabilir. Yol kayıp üssü sensörler de, enerji sarfiyatı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir ve dolayısıyla, enerjinin iletimi d_{ij}^α 'dir. Bu nedenle, α arttırıldığında, iletilen aralığı, iletim enerjisinin aynı değerleri için düşürülür. Dolayısıyla, düğümler sadece daha kısa bağlantı mesafelerindeki baz istasyonu ile iletişim kurabilirler ve verilerini iletmek için baz istasyonuna yakın düğümleri kullanırlar. Ağdaki tüm düğümler, toplanan verileri baz istasyonuna göndermeye çalıştıklarından, baz istasyonuna yakın düğümlerde daha fazla trafik yükü (özellikle engelli ortamlarda ikinin üzerinde) vardır. Bu itibarla, düğüm dağıtım modeli boş alandaki sensör ağlarında ve engelli ortamlarda hayati öneme sahip bir husustur. Kablosuz sensör ağlarında enerji tasarrufu için sensör düğümlerinin, çevresel şartları dikkate alarak, nasıl konuşlandırılacağı çözümlenmesi icap eden önemli problemlerden biridir.

İKİNCİ BÖLÜM

İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Literatür Taraması

Poe ve Schmitt [2] sensör düğümlerinin üç konumlandırma yolunu incelemişlerdir. İlki tekdüze rastgele, ikincisi kare ağ ve üçüncüsü yola dayalı Tri-Hekzagon Tiling (THT) sensör düğüm konumlandırmasıdır. THT, etkili bir konumlandırma stratejisi olmasına rağmen, baş üstü planlaması düşünülmelidir. Ayrıca burada kullanılan sensör düğüm sayısı daha çoktur.

Tavlı ve arkadaşları [3] çalışmalarında, şebeke ömrü ve bant genişliği gereklilikleri üzerinde ayrı güç seviyesi kullanarak iletim güç kontrolünün etkisini araştırmışlardır. Böylelikle, çeşitli güç aktarım stratejilerine uygulanabilen yeni bir güç kontrol algoritması sunmuşlardır. Bu yaklaşım, bize çok çeşitli parametreler üzerinde sayısal analiz yapabilme olanağı sağlayabilir.

Tavlı ve arkadaşları [4] komşu sensör ağlar arasındaki işbirliğinin ağ ömrü üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Önerdikleri doğrusal programlama (LP) çerçevesi, çeşitli işbirliği stratejileri için ve farklı dağıtımda ağ ömrü kazanımlarını araştırmak için temel teorik senaryoları sağlamaktadır. Ayrıca, komşu sensör ağları ile işbirliği yapan birbirinden ayrılmış bölümlene sorununu da ele almışlardır. Analiz sonuçları, farklı ağların sensör düğümleri birbirleri ile işbirliği yaptığında ayrılmış bölümlene olasılığındaki azalmayı işaret etmektedir. Gelecekte komşu sensör ağlarındaki işbirliğinin, paket gecikmesi ve verim gibi diğer performans metriklerine olan etkisini araştırmayı önermektedirler.

Rao ve Biswas [5], mobil baz istasyonlarının dolaylı olarak ekstra çabaya gerek olmaksızın yük dengeleme sunduğuna işaret etmiştir. Baz istasyon düğümü civarındaki enerji açığı problemi, baz istasyon düğümü hareket ettikçe değişir ve baz istasyonu civarında artan enerji tüketimi, tüm sensör ağına dağılır ve tek düze enerji tüketimi elde edilmesini destekler. Dolayısıyla, ağ ömrü uzatılmış olur.

Xie ve arkadaşları [6] sensör düğümleri bataryalarının taşınabilir şarj aracı ile şarj edilmesi durumunu incelemişlerdir. Dolayısıyla, düğüm ölümü nedenli ağda

olası açık oluşumunu önler. Bu taşınabilir şarj cihazı, kablosuz sensör ağı içinde periyodik olarak hareket eder ve kablosuz şarj aracı durma oranını, devir sayısı üzerinden maksimize etme amacıyla her bir düğüm bataryasını kablosuz olarak şarj edebilir. Araştırmacılar, sensör ağı için kablosuz güç transfer teknolojisindeki son teknolojiden yararlanmışlardır. Uygun şekilde tasarlanan kablosuz sensör ağı için, KSA'nın sonsuz şekilde çalışır halde kalmasının mümkün olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu şemadaki asıl soru; KSA'da sensör düğümleri sayısı arttığında bu sensör ağı ölçeklenebilirliğinin ne olduğudur.

Azad ve Kamruzzaman [7] enerji dengeleme için ideal hop büyüklüğü ve ring kalınlığını araştırdılar. Konsantrik ring bazlı sensör ağını baz istasyonunun olduğu ağ alanı merkezinde tasarladılar. Başlangıçta, enerji tüketimi ve sensörler arasındaki dağılımları gözlemlediler. İki ölçüt belirlediler: sensör düğümleri arasındaki enerji tüketimi için cevap verebilecek olan hop büyüklüğü ve ring kalınlığı. Çalışmaya göre, her bir sensör düğümü için, iletim aralık düzenleme sistemi tesis etmiş ve KSA ömrünün uzatılması için ideal hop büyüklüğü ve ring kalınlığını belirlemişlerdir. Simülasyon sonuçları, KSA ömründe ve diğer stratejilere göre enerji tüketiminin dengelenmesinde önemli artışlar göstermektedir. Bununla birlikte, optimal hop büyüklüğü ve ring kalınlığını tanımlayan iletim şemasından önce temel hesaplamaların yapılması şarttır. Ayrıca, sistem uygulaması için, en düşük düğüm yoğunluğu gerekmektedir.

Liu ve arkadaşları enerjinin dengesiz tüketimini minimize etmek için, tekdüze olmayan bir sensör konumlandırma şeması kabul etmişlerdir. Baz istasyonundan uzaklıkları arttıkça sensör düğüm yoğunluğunu düşürdüler. Simülasyon sonuçları, sensör ömrü sona erdiğinde iç koronaların neredeyse dengeli enerji tüketimine ulaştığını göstermiştir [8].

Wang, Xie ve Agrawal [9] iki boyutlu Gauss dağılımını kullanarak kablosuz sensör ağlarındaki ağ ömrü ve kapsama sorunları için analitik bir model geliştirmiştir. Gauss dağılımında kapsama olasılığı, Gauss standart sapması, istenen nokta ve merkez nokta arasındaki mesafe gibi değişkenlere bağlıdır. Yukarıda bahsedilen farklı parametre değerleri düzenlenerek, kapsama alanı ve ağın ömrü uzatılabilir. Planlanan düğüm dağıtım algoritması kullanılarak, daha uzun ağ ömrü ve daha geniş kapsama alanı, kısıtlı sensör düğüm sayısı kullanılarak elde edilir. Lakin algoritmanın enerji dengelenmesini sağlayıp sağlamadığını doğrulanmamıştır.

Basagni ve arkadaşları [10] bir mobil baz istasyonunu incelemişlerdir. Ağ ömrünün maksimize edilebilmesi için, ziyaret edilen her alanda baz istasyon geçici kalma zamanları ile birlikte, mobil baz istasyon başlama alanı ve güzergahı (route) belirlenmiştir. İlk olarak, geçici bekleme alanlarında baz istasyonu toplam süresinin en çoklanması için bir MILP formülasyonu önerilir. Bu formülasyon, alma ve iletme paketlerinde ve baz istasyonu her bir sensör için bir alana hareket ettiğinde, rotaları kurma/serbest bırakmadaki toplam enerjisinin batarya enerjisinden daha az olmasını garanti eder. Bununla birlikte, baz istasyon yolunun oluşturulmasını temin eder ve elde edilebilecek döngüleri ortadan kaldırır. Bu çalışmanın ikinci kısmında tamamen dağıtılıp lokalize edilen kontrollü baz istasyon hareketlerine ilişkin bulgular açıklanmaktadır. Simülasyonlar, bulguların ağ ömrünü önemli oranda arttırdığını göstermektedir. Çalışmanın başlıca sınırlılığı, verileri algılama, işleme ve paketlere yönlendirmedeki enerji tüketimini MILP formülasyonuna açık olarak dahil etmemiş olmasıdır. Bunun yanında, baz istasyonunun ağ ömrü sadece bir saat olabilmektedir ve bu da oldukça problemlidir.

Biagoini ve Sasaki [11] kare, üçgen ve altıgen ızgaralar da dâhil olmak üzere üç adet grid tabanlı düğüm dağıtım topolojisini incelemiş ve karşılaştırmıştır. Sensör düğümleri ızgaranın köşelerinden çok uzakta bulunduğu için, poligonlar çarpıtılır ve algılama alanındaki bazı noktaları artık kapsamayabilir. Bu ise yerleştirme hataları nedeniyle optimal düğüm kurulumuna erişilemediği ve bu hataları dikkate almadıkları anlamına gelir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

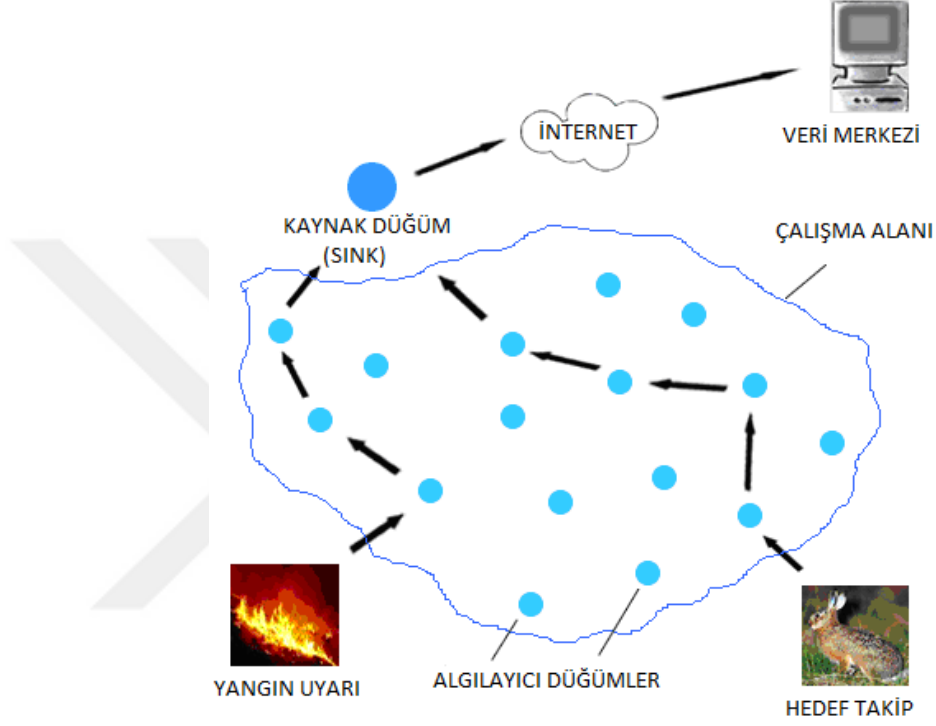
PROBLEM TANIMI

3.1 Kablosuz sensör ağı

Kablosuz sensör ağı (KSA), çevreden veri toplamak ve toplanan verilerin daha fazla işlenmesi için, kablosuz linkler üzerinden baz istasyonu diye anılan bir özel düğüme göndermek için birlikte çalışan ve çok sayıda düğümden oluşan yapıdır. Sensör düğümleri teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde, makro sensör düğümlerinin konumlandırılması ile bir kablosuz sensör ağı oluşturmak mümkün hale gelmiştir. Yapışma özellikli ve insanların ulaşamayacağı alanlara konumlandırılabilen sensör düğümleri, çok sayıda uygulamada kullanılmakta ve bu kullanım alanları hızla artmaktadır [12]. Kablosuz sensör ağlarında iki ayrı düğüm kategorisi vardır; ilk kategori hedef alanda yoğun olarak dağıtılan sensör düğümleri, ikincisi ise ağ alanı içine veya yakınına konumlandırılan tek ya da çoklu baz istasyon düğümleridir (baz istasyonları).

KSA'lar, uygulamanın ihtiyacına göre iki farklı yöntem ile oluşturulur. İlk yöntem, sensör düğümlerinin sabit konumlarda koordine edildiği ağ olup, buna statik sensör ağı adı verilir. Bu tür kablosuz sensör ağlarında, her bir sensör düğümü, kendisinin algılama menzilineki bilgileri toplar ve toplanan verileri baz istasyon düğümüne gönderir. Her bir düğümün kısıtlı iletim menzili nedeniyle, verilerin baz istasyon düğümüne ulaşmasının temini için, verinin çoklu hop veri iletimini kullanan diğer sensörlerce iletilmesine gerek vardır [13]. Statik KSA ile sensör ağından toplanan veriler, gözlemlenen ortamın geçici görünümünün oluşturulmasında ve dolayısıyla çok farklı alanlarda kullanılabilir [14]. Ancak bazen bu hareketsiz ağ yapısı, bazı uygulamalar için uygun olmayabilir. Mesela, hayvan veya hareketli araç takibi gibi hareketli nesnelere sürekli bilgi alınmasını gerektiren durumlarda, sensör

düğümünün doğrudan nesneyle bağlantılı (yapışık) olması ve nesneyle birlikte hareket etmesi gerekmektedir [15].



Şekil 3.1: Örnek bir kablosuz sensör ağı [16].

Bu durumda, statik KSA sorunlarının giderilmesi için mobil sensörlerin kullanılması gerekmektedir. Örneğin, ulaşılamaz bir alandaki rastgele konuşlandırma durumunda hareketli düğümlerle hedef alanın tam kapsama alanında olması garanti edilebilir. Böylelikle, bazı düğümlerin enerjileri bittiği için ölmeleri nedeniyle, ağ bağlantısının kesilmesi sorunu ortadan kalkabilir. Hareketli düğümler, değişim şartlarında çoklu görevlerin yapılmasını destekler. Son olarak, bazı uygulamalar karmaşık sensör (pahalı) kullanımını gerektirebilir. Karmaşık ağ, ağı pahalılaştıran çok sayıda düğüm içerir. Ancak sofistike algılama cihazları ile düğümlerin bir kısmının hareket ettirilmesi ile pahalı olmayan sensör ağları temin edilebilir [17].

3.2 Kablosuz Sensör Ağındaki Zorluklar

Kablosuz sensör ağındaki zorluklar, birçok servisin uygulanmasından kaynaklanmaktadır. Birçok kontrol edilebilir ve kontrol edilemez parametre söz konusu olup, bu parametrelerden kablosuz sensör ağı uygulaması aşağıdaki şekilde etkilenebilir.

Enerji koruması: Kablosuz sensör ağında her düğüm sensör ile teçhiz edilmiş olup, sensör cihazlar ekteki bataryanın sağladığı enerjiye bağlı olarak çalışma durumundadır. Daha iyi performans elde etmek için, ağ uzun süreli çalıştırılmalıdır. Sensör düğümünün ebadı küçüktür. Bu nedenle bataryanın kapasitesi de düşüktür ve mevcut enerjisi çok azdır ve bataryanın yeniden doldurulması veya değiştirilmesi imkansız olup, maliyetli bir iştir. Bu problemden kaçınmak için, daha fazla enerji tasarrufu sağlayan protokoller tasarlanarak sensör düğümü artan çıkış ve ağ kapasitesi ile etkili şekilde iletişim sağlanabilir [18].

Antagonistik ortamda işlem: Sensör ağı, antagonistik çevresel durumda çalıştırılabilir. Dolayısıyla, sensör düğümü tasarım hususları dikkatli bir şekilde düşünülmelidir. Sensör ağı protokolü sağlam bir protokol olmalıdır. Sistemde görülen arızalar konusunda sessizdir.

İletişim kalitesi: Farklı durumlara bağlı olarak sensör ağında çok düşük kalitede iletişim vardır. Örneğin, bazı uygun olmayan ortamlarda çalıştığında iletişim kalitesi çok kötüdür. Zira iletişim kalitesi çevreye duyarlıdır.

Kaynakların Varlığı: Sensör ağları, sensörün ihtiyaç duyduğu kaynaklar yoksa istenen servis kalitesini sağlamak için çok çaba sarf eder.

Veri işleme: Birçok sensörün topladığı veriler fazladan veriler içerebilir. Dolayısıyla, ağ işlemede birleştirme gerekir ve fazla veriler çoğu zaman iletilemez. Bu durum, daha sonra göndermek için bir miktar enerjinin korunmasına yardımcı olacaktır.

Ölçeklenebilirlik: Kablosuz sensör düğümü, çok sayıda sensör düğümünden oluşmaktadır ve tasarım aşamasında çok daha fazla düğüm eklenebilir [18].

Ticarilik: Son zamanlarda, birçok elektronik kökenli şirket sensör düğümü üretimine başlamıştır. Ancak ticarileştirme, özellikle sensör ağında çok zayıftır. Çünkü kâr çok düşüktür.

Uygulama niteliği: Sensör ağı, uygulamadaki değişimle birlikte değişmektedir. Farklı uygulama türü için farklı sensör ağı tasarlanmalıdır.

Düğüm ID: Sensör ağındaki her düğümün farklı bir kimliği yoktur. Nitekim sensör ağında veri, kimliğin bilinmesinden daha önemlidir.

3.3 Sensör Ağları Gereklileri ve Tasarım Faktörleri

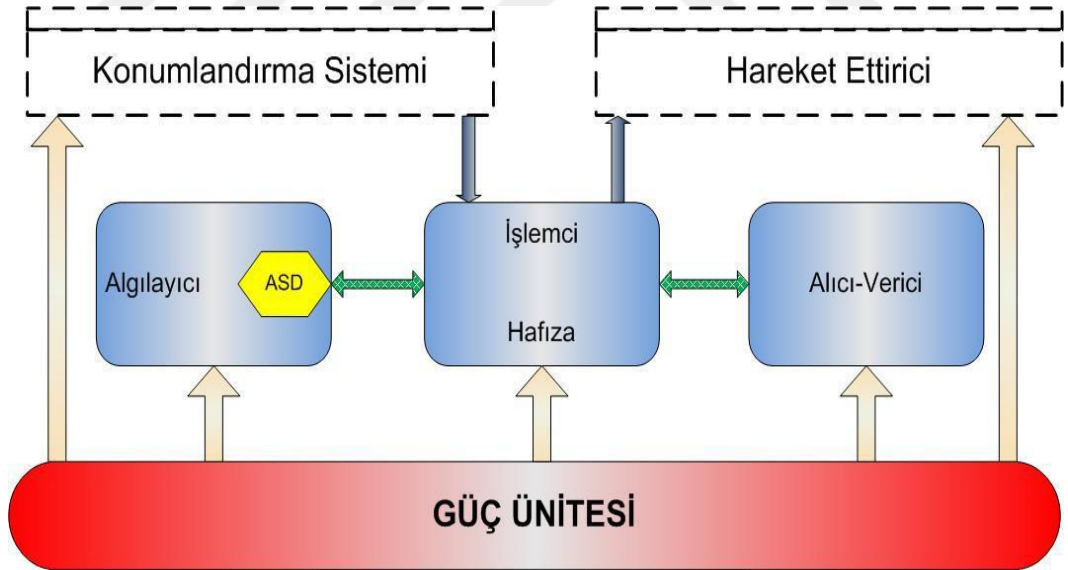
Bu bölümde, KSA iletişim mimarisinin tasarım özellikleri üzerinde duracağız. Araştırmacılarının birçoğu, pek çok tasarım faktörünü tartışmışlardır. Mevcut bulgular, kablosuz sensör ağları için bir algoritma veya protokol oluşturmak için bir rehber niteliğindedir. Başlıca tasarım faktörleri aşağıda incelenecektir.

Kablosuz ağın geçici olması: Sabit bir iletişim altyapısı mevcut değildir. Paylaşılan kablosuz ortam düğümler arasındaki iletişimde ek kısıtlamalar getirir ve güvenilir ve asimetrik bağlantılar gibi yeni sorunlar ortaya çıkarır. Ancak, yayın avantajı sağlar: Bir düğüm tarafından bir başka düğüne iletilen bir paket gönderen düğümün tüm komşuları tarafından alınır.

Hareketlilik ve topoloji değişiklikleri: KSA'lar dinamik uygulamalar içerebilir. Yeni düğümler ağa katılabilir ve mevcut düğümler ağ üzerinde hareket edebilir veya ağ dışına çıkabilir. Düğümler işlevlerini yerine getirmeyi durdurabilir ve hayatta kalan düğümler diğer düğümlerin iletim alanlarına girip çıkabilir. KSA uygulamaları düğüm hatası ve dinamik topolojiye karşı sağlam olmalıdır.

Güvenilirlik: Güvenilirlik veya hata toleransı, sensör düğümlerindeki arızadan dolayı durmaya gerek olmaksızın KSA işlevseliklerinin korunabilmesi kabiliyetidir. Bir düğüm enerji kaybı, iletişim sorunu ve devre dışı olması (düğümün askıda olması) sonucu olarak ölebilir.

Enerji tüketimi: Güç ünitesi, sensör düğümünün çok sınırlı olan unsurlarından birisidir. Sensör düğümü enerjisi batarya ile sağlanır. Sensör düğüm ömrü, özellikle güç ünitesini değiştirmenin mümkün olmadığı uygulamalarda, düğüm bataryasının ömrüne bağlıdır. Düğümlerin ana amaçları, olay verilerini toplamak, veri iletmek ve veri işlemektir. Dolayısıyla sensör güç kaynağının enerjisi bu üç işlemde (algılama, iletişim ve hesaplama) tüketilir. Ayrıca, bir sensör düğüm ömrü, sensör ağırları sağlamlığı ve enerji verimliliği üzerinde yadsınamaz bir role sahiptir. Bu nedenle, birçok araştırma, enerji tüketimini minimize etme amacıyla kablosuz sensör ağlar için enerji verimliliğini arttıran algoritmalar ve protokoller geliştirmeyi amaçlamaktadır. İşte bu tezde, enerji verimliliği için ve sensör ağ ömrünün, sensör düğümlerinin tekdüze olmayan konumlandırması ile en çoklanması durumu incelenmektedir [19].



Şekil 3.2: Sensör düğümün bileşenleri.

Donanım Kısıtları: Bir sensör düğümü, dört ana elemandan oluşur (Şekil 3. 2). Bu dört ana eleman; algılama ünitesi, saklama ve işleme ünitesi, güç ünitesi ve iletim ünitesidir. Bazı uygulamalarda, sensör düğümlerinde, güç jeneratörü, konum bulma sistemleri ve düğümlerin mobilitesini sağlayan eleman gibi uygulamaya bağlı

başka unsurlar da olabilir. Ayrıca, genel olarak algılama üniteleri iki alt üniteden oluşur: ASD (Analogdan Sayısala Dönüştürücü) ünitesi ve algılama ünitesi. Algılama ünitesinin oluşturduğu analog sinyaller gözlemlenen olaya bağlıdır ve bu analog sinyaller ASD tarafından sayısal sinyale dönüştürülür ve son olarak da işleme ünitesine gönderilir. Temel olarak, işleme ünitesi saklama ünitesine bağlı olup, sensör düğümlerinin görevlerini yapabilmek için birbirleri ile iş birliği yapma prosedüründen sorumludur. İletim ünitesi, sensör düğümlerini kablosuz linkler aracılığıyla birbirlerine bağlayarak KSA oluşturur. Bazı uygulamalarda güç ünitesi, güneş enerjisi hücreleri gibi bir güç yedekleme ile desteklenebilir. KSA'nın çok olması nedeniyle, algılama işleri ve yönlendirme (routing) teknikleri, sensör düğüm konumu ile ilgili tam bilgiye ihtiyaç duyar. Bu nedenle, birçok uygulamada sensör düğümleri, bir konum belirleme sistemine sahiptir. Bazen, mobil sensör ağındaki düğümleri işlerini yapmak üzere harekete geçirmek için bir mobilizör gerekmektedir. Dolayısıyla, KSA'da tasarım sorunlarından birisi de sensör düğümünün büyüklüğüdür.

Veri Füzyon veya Veri Birleştirme: Veriler KSA üzerinden yayınlanırken verileri hesaplama ile faydalı bilgi setine yineleyerek minimize etme işlemidir. Dolayısıyla, sensör ağları çok sayıda düğümden oluştuğundan ağı tıkalabilir ve bilgi seline neden olabilir. Sensör ağlarında veri tıkanma sorununu çözmek için, hesaplama kullanılarak veriler kablosuz sensör ağında toplanabilir veya birleştirilebilir ve sonrasında sadece toplanan veriler görev yöneticisine gönderilir.

Veri toplamaya yardımcı olmak üzere sensör ağlarında üç öneri vardır. İlki, difüzyon algoritması olup, benzer verilerin sensör ağında hedefe bir sensörden diğerine veri aktarımı ile gönderilmesini sağlar. Bu veri, defüzyon algoritmaları tarafından toplanabilir. İkincisi, sürekli sorgulama için SQL sorgusuna dayanan akıcı sorgulamalardır. Üçüncüsü ve sonuncusu, olay cebir işlemidir.

Hizmet Yönetimi Kalitesi: Hizmet kalitesi çeşitli anlam ve perspektiflere sahip ve sıklıkla kullanılan bir terimdir. Hizmet kalitesi genel olarak kullanıcı/uygulama tarafından algılanan kalite anlamına gelmekteyken, ağ topluluğunda hizmet kalitesi ağın uygulamalara/kullanıcılara sunduğu hizmet

kalitesinin bir ölçüsü olarak kabul edilmektedir. Hizmet kalitesi uçtan uca kullanıcılar ve uygulamalara atfedilen doğruluk, gecikme, sapma, ulaşılabilir bant genişliği ve paket kaybı gibi ölçülebilir hizmetlerin sağlanmasına ilişkin sunulan güvencedir. Bir ağ, ağın kaynak kullanımını maksimum düzeye çıkarırken hizmet kalitesi sağlamalıdır. Bu hedefi gerçekleştirmek için, ağın uygulama gereksinimlerini analiz etmesi ve çeşitli ağ hizmet kalitesi mekanizmalarını konumlandırması gerekir. Kablosuz sensör ağlarında hizmet kalitesi desteği araştırması [20]'de sunulmuştur.

Güvenlik: KSA'lardaki kablosuz bağlantılar gizlice dinlemeye, taklit edilmeye, mesaj bozma vb. durumlara açıktır. Düşmanca ortamlara giren ve gerektiği gibi korunmayan düğümlerden kolaylıkla ortaya çıkarılabilir. Dinamik topoloji nedeniyle düğümlerin idare edilmesi daha da zorlaşmaktadır. Kablosuz sensör ağlarına ilişkin çeşitli güvenlik zorlukları analiz edilmiş ve yeterli güvenliği sağlamak için çözülmesi gereken temel konular [21]'te özetlenmiştir. Yönlendirme saldırıları ve bunlara karşı alınacak önlemler [22]'de sunulmuştur. KSA'lar yönelik güvenlik tehditlerinin incelenmesi ve savunma mekanizmalarının değerlendirilmesi [23]'de sunulmuştur.

Kendinden konfigürasyon: Kendinden konfigürasyon, KSA için çok gereklidir. Zira hedef alanda çok sayıda sensör düğümünün dağıtılması, birçok nedenden dolayı (fiziksel darbe, enerji eksikliği, etkin olmama, çevresel sorunlar, iletişim sorunu vs.) başarısız olabilir ve KSA'ya ekstra yeni sensör eklenebilir. Öte yandan dinamik bir ortamda, sensör düğümleri sorunsuz çalışır. Bu nedenle, katı enerji sınırlamalarında iletişimin desteklenmesi ve sensör ağının bir topolojiyi düzenleyebilmesi için, kendinden konfigürasyonlu olmalıdır. Kablosuz sensör ağlarında kendinden konfigürasyon; kablosuz sensör ağının işlevlerinin doğru şekilde yapılması ve amaca ulaşmak için hayati öneme sahip bir unsurdur. Uygulamalara bağlı olarak, enerji tüketimi ile hizmet kalitesi (veri gönderim süresi) arasında bir denge kurulmalıdır.

Bağlantı: Ağ bağlantısı, KSA'da ağırlıklı olarak dağıtılan iki farklı düğüm arasındaki sürekli bağlantı olarak açıklanabilir. Bağlantı oldukça önemlidir, çünkü bağlantı veri iletim teknikleri ve iletişim protokolleri tasarımını etkiler. Ayrıca, ağ

bağlantısının, ağ topolojisinde esnekliği engellemediğini söylemek mümkündür. [17]'de belirtilen sebeplerden ötürü, belli sensör düğümlerinin ölmesi sonucunda ağ bağlantısı, ağ büyüklüğünde düşüşü engellemektedir.

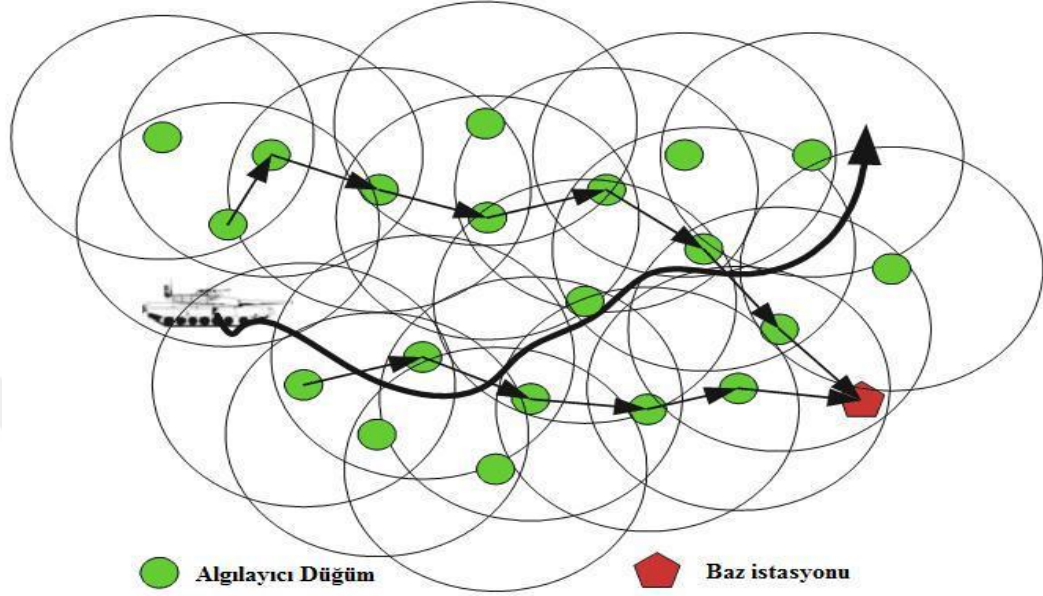
Kapsam: Sensör düğümleri ile çevre gözlemi hem doğruluk hem de menzil (kapsaman alanı) açısından sınırlıdır. Diğer bir ifadeyle, sensör düğümlerinin çevresel ve fiziksel şartlara bağlı olarak kapsama kabiliyetinin kısıtlı olduğunu söyleyebiliriz .

Programlama: Enerjiyi korumak için, tipik sensör düğümleri çoğu zaman uyku modunda kalır ve duyuşal verileri elde etmek ve iletmek için periyodik olarak aktif moda geçer. Maksimum ağ ömrünü sağlayabilmek için, bir düğümün ne zaman uyanması, algılaması, iletmesi (veya hareket etmesi) gerektiği konusunda sıkı bir programlamanın yapılması gerekmektedir. KSA programlamanın temel amacı KSA düğümlerinin doğru zamanda doğru eylemleri gerçekleştirmesini sağlamaktır.

3.4 Kablosuz Sensör Ağ Uygulamaları

KSA araştırmaları ilk olarak askeri uygulamalar gerekçesi ile başlatılmıştır. Okyanus gözlemi için geniş menzilde akustik gözlem sistemlerinden, yer hedef tespiti için küçük sensörlü ağlara kadar birçok uygulama geliştirilmiştir. Ancak yeni teknolojik ilerlemeler, trafik kontrol, habitat takip, altyapı güvenliği vb. gibi çoğunlukla sağlık, askeri, ev, çevre ve diğer ticari alanlar olmak üzere birçok diğer potansiyel uygulama alanını da mümkün kılmıştır:

Askeri Uygulamalar: Sensör ağları, muharebe sahasında kullanılabilir [19]. Zira sensör düğümleri, pahalı olmayıp büyük oranda bir muharebe yakınına kolayca konuşlandırılabilir. Bazı askeri uygulamalar arasında dost kuvvetlerin cephane ve ekipmanının gözlenmesi yer alabilir. Bu uygulamalarda komutanlar gerekli ekipman ve araçların en yeni konumunu görebilirler. Muharebe alanı gözleminde, tehlikeli yol ve güzergahlar, düşman kuvvetleri, saldırılar, atom, kimyasal veya biyolojik saldırı keşif ve muharebe zarar tespiti için kullanılırlar. KSA kimyasal veya biyolojik uyarı sistemi olarak da kullanılabilir.



Şekil 3.3: KSA'ların savaş alanında kullanımı [16].

Çevresel takip uygulamaları: KSA ayrıca, çevresel gözlem için de iyi bir yöntem olabilir. Alana dağıtılmış akrilik çitli sensör düğümü Şekil 3.4'te gösterilmektedir. Çevresel uygulamaların ilk örneği orman yangın tespiti olup, bu uygulamada sensör düğümleri yoğun olarak ormana dağıtılır. Bu uygulamada düğümler, yangın daha yayılmadan yangın başlama noktası izlenebilir. İkinci örnek ise sel tespitidir. Bu uygulamada, sel ve hassas tarım keşfi için uyarı sisteminde su seviyesi gibi sensörler ve hava sensörleri kullanılır. Böylelikle, hava kirlilik seviyesi veya toprak erozyon seviyesi gerçek zamanlı olarak izlenebilir.

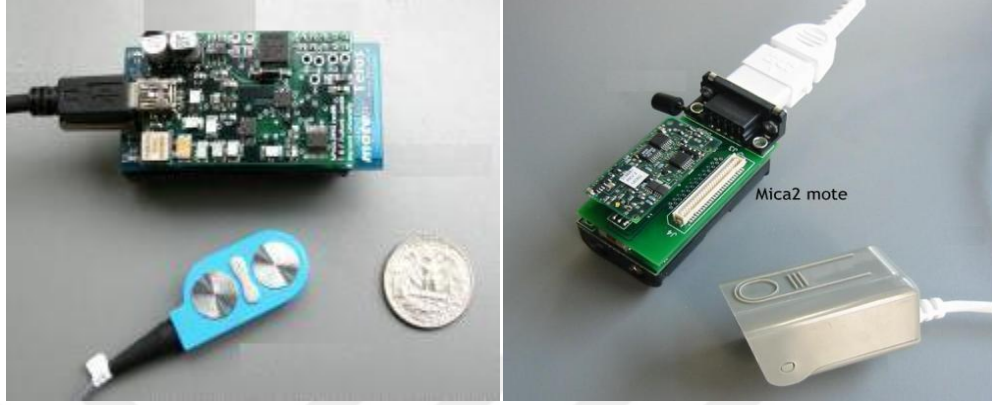
Sağlık Uygulamaları: KSA'lar, insan psikolojik verilerinin izlenmesinde kullanılabilir. Bu uygulamalar kullanılarak, hastalara tedavi merkezlerindeki daha iyi hareket özgürlüğü verilir. Bu uygulamalar doktor ve hastaların hastanede takip ve gözlenmesinde de kullanılır. Ayrıca, hastanelerde ilaç bölümü için de kullanılır. Bu düğümler de ilaçla bağlantılıdır ve dolayısıyla hatalı ilaç alınması ihtimalini düşürebilir.



Şekil 3.4: Akrilikle korunan sensör düğüm devresi [24].

Diğer Ticari Uygulamalar: Kablosuz sensör ağları, diğer ticari uygulamalarda da kullanılabilir. İlk uygulama, ofis ve binalardaki çevresel kontrol olup bu uygulamada kurulan sistemleri, araç soygunlarını algılayıp izlemek ve hava akışını yönetmek üzere ayarlanabilir. İkinci uygulama, etkileşimli müze uygulaması olup, bu uygulamada çocuklar daha fazla bilgi edinmek için müzedeki eserler ile etkileşim içine girebilirler. Üçüncü uygulama, stok kontrolü yönetimi olup bu uygulamada her kalemde bir sensör düğümü olabilir ve bu sensör düğümü kalemin ve aracın tam yerini takip edip tespit edebilir [18].

Ev Uygulamaları: Ev uygulamaları arasında, örneğin elektrik süpürgesi, buzdolabı, fırın vs. gibi ev aletlerine takılı akıllı sensörlerin olduğu otomasyon uygulamaları yer alır. Bu sensör düğümleri, bu cihazların birbirlerine ve harici ağa bağlanması için kullanılır. Böylece, yerel olarak veya uzaktan çalıştırılıp kontrol edilebilirler. Sunulan hizmetleri öğrenmek için sensörlerin elektrikli makine ve mobilyaya bağlandığı akıllı ortamlar (birbirleri ve diğer odalardaki cihazlarla iletişim kurabilen) gerekir.



Şekil 3.5: Tıbbi sensörler (a) EMG entegre edilmi Telos mote (b) Nabız oksimetre entegre edilmi Mica2 mote [25].

3.5 Ağ Ömrü Üzerine Yapılan Araştırmalar

Ağ ömrü, kablosuz sensör ağlarında maksimum düzeye çıkarılması gereken en önemli parametrelerden biridir. Yapılan birçok çalışma bu problemi ele almakta, ancak bu çalışmalar her seferinde hedeflenen uygulamaya göre kendi sensör ağı ömrü tanımlamalarını çıkarmaktadırlar. Bu bölümde, ağ ömrü tanımlarından bazılarına ve sensör ağ ömrünü en üst düzeye çıkarmaya yönelik çabalara ilişkin özet bir değerlendirme sunulmaktadır. Son olarak, uygun olan tanım seçilmiş ve sensör ağı modelimiz bu tanıma dayandırılmıştır. Kablosuz sensör ağları tasarımında karşılaşılan en zorlu husus uygun ağ performansını korurken düğümlerin enerjilerinden nasıl tasarruf edileceğidir. Herhangi bir sensör ağı yalnızca canlı olarak kabul edildiği sürece görevini yerine getirebilir, ancak bundan sonra görevini yerine getiremez. Sonuç olarak, bütün enerji verimlik tekniklerinin amacı, sensör ağı kullanım ömrünü maksimum düzeye çıkarmaktır. Ağın ömrü büyük ölçüde herhangi bir düğümün ömrüne bağlıdır. Bunun aksine, literatürde bulunan araştırmalarda, ağ ömrünün tanımlanması üzerinde herhangi bir mutabakat bulunmamaktadır. Yazarların çoğu kendi ağ modelleri için uygun bir tanım kullanmaktadır. Bu durum birlikte var olan ancak istenenden daha fazla bir tanım fazlalığına yol açmıştır.

Kablosuz sensör ağlarına ilişkin yapılan daha önceki çalışmalara bağlı olarak, en yaygın ağ ömrü tanımı özet olarak verilmiştir.

Sensör kapsamına bağlı ağ ömrü

Sensör ağlarının belirli özellikleri göz önüne alındığında, ilgi alanların sensör düğümleri tarafından kapsandığı zamanı ağ ömrü olarak ölçmek ağın ömrünü tanımlamak için doğal bir yol olarak görünmektedir. Burada kapsama ilgi alanının içeriğine ve elde edilen kapsama fazlalığına dayanılarak farklı şekillerde tanımlanabilmektedir. İlgilenilen bölge, alan veya hacim içindeki her noktanın kapsanması gereken iki boyutlu bir alan veya üç boyutlu bir hacim olabilir. Buna genellikle alan veya hacim kapsama alanı denir.

Bağlantısallığa dayalı ağ ömrü

Bir başka ölçüm grubu ise ağın bağlantısallığını hesaba katmaktadır. Bağlantısallık ad hoc kapsamında yaygın olarak karşılaşılan bir ölçümdür; çünkü, ad hoc ağlarda sensör kapsama kavramı bulunmaz ve veriyi istenen bir mesafeye iletme yeteneği ön önemli özelliktir.

Sensör kapsamına ve bağlantısallığına dayalı ağ ömrü

Açıklanan sınırlamalar nedeniyle, bazı yazarlar kapsama tabanlı ölçümler ile bağlantısallık ölçümlerini birleştirmektedir. [26]'da tanımlanmış olan ağ ömrü ölçümü kapsama alanı veya bağlantısallığın önceden tanımlanmış bir eşiğin altına düştüğü zamanı verir. Bu durumda, kapsama alanı, daha önce tartışıldığı gibi, α -kapsama alanı bakımından ölçülür. Bağlantısallık ise sink düğümünde paket dağıtım oranı bakımından ölçülür.

Canlı düğüm sayısına bağlı olarak KSA'larda ağ ömrü

Bu, ağ ömrü için sıklıkla doğrulanan tanımlardan birisidir. Bu tanım kapsamında yapılan birçok çalışma ilk düğümün ne zaman öldüğünü değerlendirmektedir. Ancak bu tanım bazen oldukça sınırlı kalmaktadır, çünkü her düğümün kritik olduğu ve uygulamanın bir düğümü bile kaybetmemesi gereken durumlar hariç, WSN'ler ilk düğümün ölümünden sonra bile çok miktarda veri sağlayabilmektedir. gibi diğer bazı

araştırmalar ağ ömrünü ağdaki düğümlerin bir kısmının ölme zamanı olarak tanımlar. Bu tanım, birçok sensör ağı uygulaması için en uygunu olarak görünmektedir. Ağ mr için en sık kullanılan tanımlardan birisi ise bütün düğümlerin öldüğü zamandır. Ancak, ağ bölümlerinden bahsedildiğinde, bu son tanım uygun olmamaktadır. Örneğin, canlı bir düğümün sink düğümüne giden bir yolu yoksa, düğümün kalan enerjisi işe yaramaz hale gelir ancak yine de etkili bir düğümdür [27].

Baz istasyonu ile bağlantılı düğüm sayısı temelinde ağ mr

Önceki tanımlarla karşılaştırıldığında, bu tanım dikkatli veri toplama uygulamaları için daha uygundur. Bunun yanında, yapılan bazı çalışmalarda sensör ağı ömrünün tanımında düğüm öneminin de düşünülmesi gerektiği tartışılmaktadır. Ancak sensör düğümlerinin önemini belirtme gereği, yalnızca veri toplama gibi ağda çalışan bazı özel mekanizmalar varsa geçerlidir [28].

3.6 Genel Cebirsel Modelleme Sistemi (GAMS)

Günümüzde, cebirsel modelleme dilleri matematiksel programlama sorunlarını göstermenin ve çözmenin en iyi yolu olarak kabul edilmektedir. Bu dillerin ana ayırt edici özellikleri ilişkisel cebirin kullanımı ve çok boyutlu, çok geniş ve seyrek yapılar üzerinde kısmi türev alma kabiliyetidir. Bu bölümde, GAMS'in kökenlerinden bazılarını ve ilk tasarım kararlarını şekillendiren arka plan bilgisi sunacağız. GAMS'in başlangıç araştırma ve geliştirilmesi genellikle Dünya Bankası olarak anılan Uluslararası İmar ve Kalkınma Bankası tarafından finanse edilmiştir. Matematiksel programlama ile ilgilenen bilim insanları, mühendisleri ve kullanıcılar gerçek yaşam problemlerini çözmek için optimizasyona odaklanmış ancak optimizasyon araçlarının yüksek maliyeti ve düşük güvenilirliği nedeniyle hayal kırıklığına uğramışlardır. Bu kullanıcıların güçlü araçlara ve zarif bir çerçeveye ihtiyaçları vardır. Yeni gelişmeler için girişimlerimizin ve desteğimizin çoğu finans ve ekonomi krizinden geliyordu. Bu nedenle GAMS geliştirilmiştir. Bu disiplinler, dünyayı ve davranışlarını

matematiksels bir program olarak g6rmek ve d6nyayı matematiksels bir program açısından anlamaya çalışmayı doğal bir yaklaşım olarak g6rmektedir.



DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

SİSTEM MODELİ

4.1 Giriş

Bu teze konu olan çalışmalar, doğrusal programlama kullanılarak kablosuz sensör ağ ömründe farklı sensör düğüm konumlandırma stratejilerinin etkilerinin gözlemlenmesine dayanmaktadır. Ayrıca, sensör düğümleri arasında dengeli veri akışını temin etmek için ağ alanında dağıtılan düğümler de incelenmiştir. Dolayısıyla, KSA'daki tüm sensör düğümleri, enerjilerini yaklaşık olarak eşit sürede tüketmektedir. Bu bölümde, optimizasyon formülasyonuna ilaveten, ağ modeli ve çalışmanın temel varsayımları sunulmaktadır.

4.2 Enerji Modeli

Sensör ağ modelimizde, sensör düğümleri enerji tüketimi, işleme ve algılamada enerji tüketiminden ziyade iletişimde yoğunlaşmaktadır. Her sensör düğümü, eşit miktarda enerji taşır ve ışık veya sıcaklık sensörleri gibi küçük sensörlü olarak sağlanan ağlarda, genel bir varsayım olan bir batarya ile temin edilmektedir. Örneğin: İletişim için harcanan enerji, tüm tüketilen enerjinin %91'ini oluşturmaktadır [30]. Bu nedenle, ağ ömrünü arttırmak için, verileri sensör düğümlerinden baz istasyonuna göndermek, odaklanması gereken ana işlemdir. Kapsam, KSA için önemli bir servis kalitesi kriteridir (özellikle kritik bölge gözetimi için kullanılan sensör ağları). Ağın bir kısmı, erken sensör ölümünden dolayı gözlenemiyorsa, tüm kapsam kaybedilir ve KSA'nın işlerliği durdurulur (örneğin; kritik düğümlerden birisinin ölmesi durumunda genel sistem güvenliğinin riske girdiği gözetlemede). Bu nedenle, ağ ömrü ağdaki ilk sensör düğümünün enerjisinin tükenip öldüğü ana kadardır.

Varsayımlarımızın tümü KSA topluluğunda genel geçerli olan standart varsayımlardır [31]. Araştırmamızda, sunulan enerji modelini kullandık. Bir bit veriyi göndermek için gerekli enerji miktarını aşağıdaki gibi hesapladık:

$$E_{t,ij} = E_{elec} + \epsilon_{amp} d_{ij}^{\alpha} \quad (3.1)$$

Ve bir bit veriyi almak için gerekli enerji miktarını aşağıdaki gibi gösterdik:

$$E_r = E_{elec} \quad (3.2)$$

Burada enerji E_r elektronik devrede tüketilen enerji olup, göndericinin verimini ve α yol kayıp üssü ve d (iletme düğümü) ile (alma düğümü) arasındaki mesafeyi gösterir. Tezimizde, sayısal analizi yapmak için, alıcı sabit standart değerini (50nJ/bit) ve gönderici amplifikatör verim standart değerini (100 pJ/bit/m²) kullandık. Sensör ağımızın, alıcı ile verici arasında herhangi bir engelin olmadığı, açık boş ortamda olduğunu varsaydık. Bu nedenle, elektromanyetik dalga yayılımı, yol kayıp üs değerinin ($\alpha = 2$ iken) kullanan bir serbest alan yayılım modeli olarak gösterilebilir. Tablo 4.1 sayısal analizimizde kullanılan parametreleri listelemektedir [32]. Sensör düğümlerin veri iletimi için harcadıkları enerji miktarı göndereceği mesafeye bağlı olarak 26 farklı seviyeden birisi olarak seçilmektedir. Her bir seviye için maksimum iletim aralıkları ve o seviyelerde harcanan enerji miktarları Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Enerji model parametreler açıklaması ve değerleri.

Parametre	Açıklama	Değeri
E_{elec}	Elektronik devre enerji dağılımı	50nJ/bit
E_{amp}	Gönderici amplifikatör verimi	100 pJ/bit/m ²
α	Yol kayıp üssü	2
t_{range}	Maksimum iletim mesafesi	82.9

Tablo 4.2: Mica2 mote farklı güç seviyelerinde iletim enerjileri ($\mu\text{J} / \text{bit}$) ve mukabil maksimum iletim aralıkları (m) [31].

Güç Seviyesi	E_{tx}	R_{max} (m)	Güç Seviyesi	E_{tx}	R_{max} (m)
1	671.88	19.30	14	843.75	41.19
2	687.50	20.46	15	867.19	43.67
3	703.18	21.69	16	1078.13	46.29
4	705.73	22.69	17	1132.81	49.07
5	710.94	24.38	18	1135.42	52.01
6	723.96	25.84	19	1179.69	55.13
7	726.56	27.39	20	1234.38	58.44
8	742.19	29.03	21	1312.50	61.95
9	757.81	30.78	22	1343.75	65.67
10	773.44	32.62	23	1445.31	69.61
11	789.06	34.58	24	1500.01	73.79
12	812.50	36.66	25	1664.06	78.22
13	828.13	38.86	26	1984.38	82.92

4.3 Ağ Varsayımları

Bu tez çalışmasında senaryoya göre bir veya iki baz istasyonu olduğu ve farklı büyüklüklerdeki dairesel, kare, ve doğrusal topolojilerde farklı sayıdaki sensörlerin tekdüze ve rastgele dağılımı olduğu varsayıldı. Sensör düğümleri homojen olup, her birine tekil indeks numarası ve eşit maksimum iletim mesafesi t_{range} tanımlandı.

KSA statik düğümlerden (hem sensör düğüm hem de baz istasyonu) oluşmaktadır. Mobil ad-hoc ağlardan farklı olarak, ağ modelindeki topoloji değişiklikleri nadirdir. Bu nedenle, topoloji ve yol oluşturma işlemleri bir kez yapılır ve bu fonksiyonlar toplam süre boyunca tekrarlanmaz. Ağ yeniden organizasyon süresi yeterince uzunsa, bu işlemler için tüketilen batarya güç miktarı, tüm KSA enerji tüketiminin küçük bir miktarına karşılık gelir. Bu nedenle, sabit kablosuz sensör ağlarında, ortalama göz ardı edilebilir.

Her sensör birim sürede eşit miktarda veri üretmektedir (s_i). Her bir düğümün topladığı veriler, ya doğrudan iletim ile ya da röle olarak hareket eden diğer sensör düğümlerinden yardım ile baz istasyonuna gönderilmelidir. Bu durumda N_i sensör düğümünden N_j sensör düğümüne gönderilen veri miktarı f_{ij} olarak gösterilir.

KSA'nın TDMA tabanlı erişim yaptığı varsayılır. Çakışmasız iletim takvimi oluşturan, zaman slot atama algoritması ile aktif linkler arasındaki çakışma etkileri göz ardı edilir. Bu algoritmanın olasılığı [34]'te gösterilmiştir. Dolayısıyla, çakışmasız olan ağ modeli, bant genişliği şartları yerine getirildiğinde gerçekleşebilir. KSA modelinde, ömür performans değerlendirmelerinde tekdüze ve rastgele olmak üzere iki değişik düğüm konumlandırma senaryosu planlandı. Kablosuz sensör ağlarındaki veri akışı dengelemesi, her bir sensör tarafından tüketilen enerjiyi dengelenecek ve sensör ağ ömrü ençoklanacak şekilde araştırıldı.

Farklı düğüm konumlandırma modellerinde baz istasyonu konumunun ağ performansı üzerindeki etkisi üç senaryo ile incelendi. İlkinde baz istasyonu, ağ topolojisinin merkezine konumlandırıldı ve ikincisinde ise baz istasyonu ağ topolojisinin köşesine konuldu. Üçüncü senaryoda iki farklı baz istasyonunun olduğu durum incelendi. Böylece, baz istasyonu konumları ve düğüm konumlandırma modellerinin her olası durumunu incelenmeye çalışıldı.

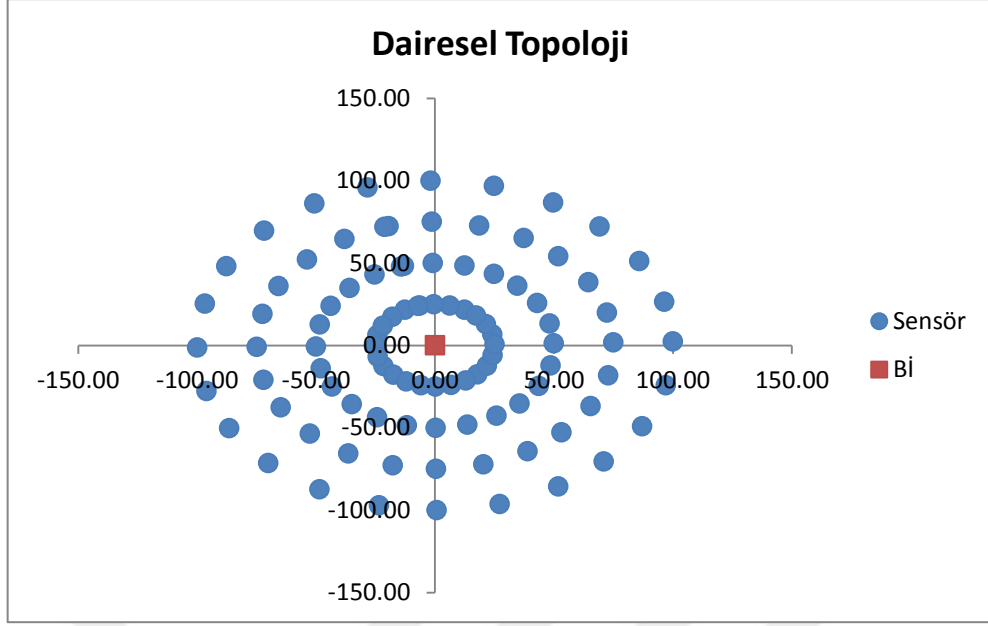
4.4 Sensör Düğüm Konumlandırma Modeli

KSA'larda temel zorluk, sensör düğümünün en uzun ömrü temin eden ağ alanına konulması ve tekdüze kapsamı sürekli algılamaktır. Uygulama şartlarına göre farklı sensör düğüm konumlandırma modelleri belirlendi. Bu bölümde, özellikleri ile beraber sensör düğüm konumlandırma modelleri sunulmaktadır [35].

4.4.1 Dairesel Topoloji

Bu topolojide, düğümlerin dairesel şekilde baz istasyon etrafında dağıtılır ve dışarıdan merkeze doğru yerleştirilir (halka daire çevresinden başlayarak merkeze doğru gider). Küçük yarıçap için sadece bir halka olacak ve aşağıda gösterildiği gibi yarı çapın artmasına bağlı olarak artacaktır.

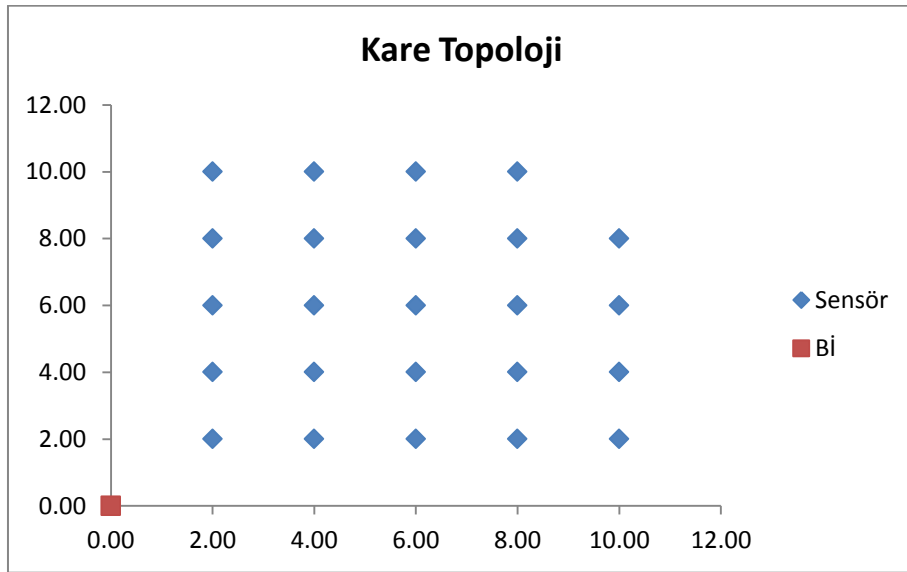
Sensörler, ilkinde tekdüze şekilde ve diğer seferde rastgele şekilde değişen çaplarda dağıtılıp, her bir durumda ömürleri hesaplanacaktır.



Şekil 4.1: Tekdüze sensör dağıtımli dairesel topoloji.

4.4.2 Kare Topoloji

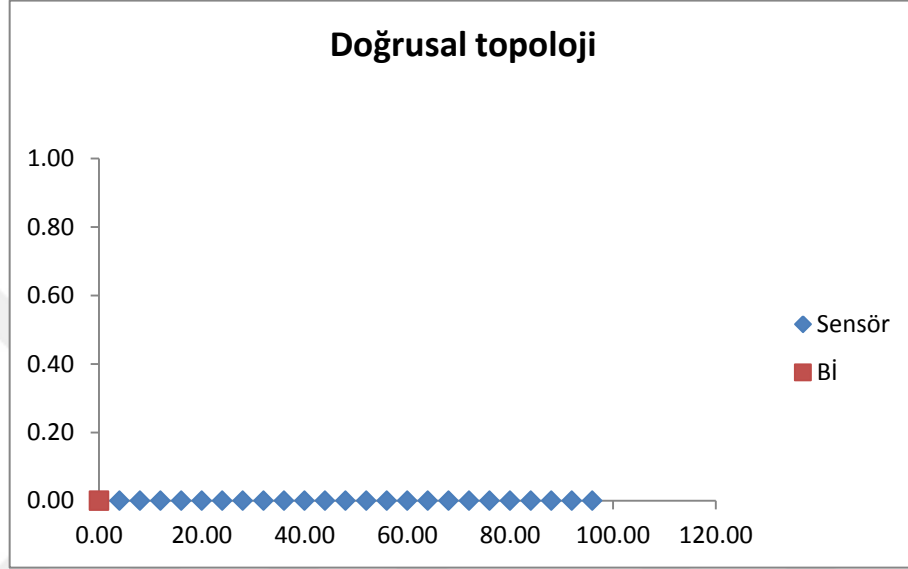
Bu topolojide, ağ alanının kare olduğunu ve baz istasyonun ilk seferde köşede ve diğerinde merkezde olduğu, düğümlerin ilk seferde tekdüze (her bir düğümün sonraki düğüme mesafesi eşit) ve diğer seferde rastgele dağıtıldığı (her bir düğümün diğer düğüm ile arasındaki mesafe farklı) senaryolar incelendi. Benzer şekilde, çeşitli sensör sayısı ve boyutlarda oluşturulan topolojilerde testler yapıldı.



Şekil 4.2: Tekdüze sensör dağıtımli kare topoloji.

4.4.3 Doğrusal Topoloji

Bu topolojide, düğümleri düz çizgi halinde ($Y=0$) yerleştirildi. Düğümler arası mesafe sabitlenip düğüm sayısı artırıldı. Sonrasında uzunluk artırılarak tekrar test edildi. Son olarak, baz istasyonu merkezden köşeye alınarak testler tekrarlandı.



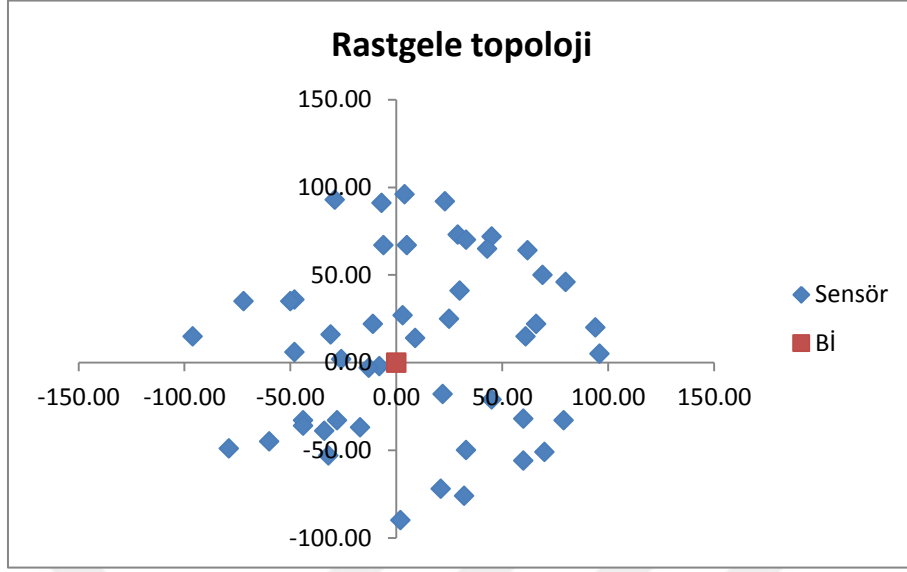
Şekil 4.3: Tekdüze sensör dağıtımli doğrusal topoloji.

4.4.4 Rastgele Topoloji

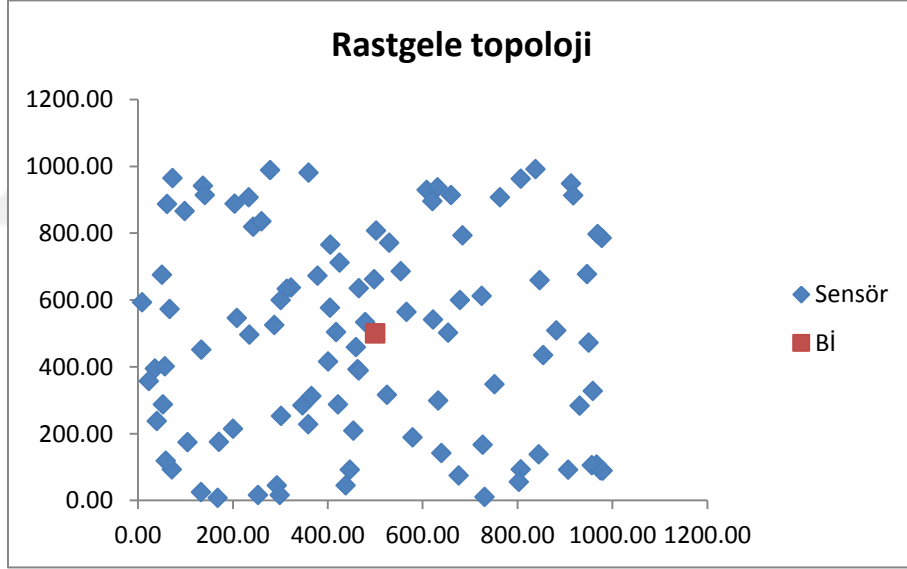
Yukarıda bahsedilen tüm topolojiler için düğümlerin rastgele dağıtımını da incelendi. Rastgele dağıtımda temel fikir, ağdaki düğümlerin konumunun; ağ içinde herhangi bir yer olabileceği ve birden fazla düğümün aynı konumda veya çok fazla düğümün ağ içinde küçük bir alanda olabileceğidir. Bu tür durumlara örnek uçaktan ağ alanına sensör durumunda olabilir.

4.5 Matematiksel Programlama

Doğrusal, doğrusal olmayan ve değişkenlerde tam sayı kısıtlamalarını konu alan minimum veya maksimum amaç fonksiyonu bulmayı amaçlayan, matematik alt sınıfından birisi olarak değerlendirilir. Genel olarak matematiksel programlama problemleri sonraki elemanları kapsar [36].



Şekil 4.4: Rastgele sensör dağıtımli dairesel topoloji.



Şekil 4.5: Rastgele sensör dağıtımli kare topoloji.

Değişkenler, karar vermede çok önemli bir role sahiptir. Değişken değerler, matematiksel programlama problemi çözüldükten sonra belirlenir. Bu nedenle, değişkenlerin değerleri, matematiksel programlama probleminin başında bilinmez. Örneğin, düğümler arasındaki veri akış değerleri, maksimum kablosuz sensör ağı ömrünü tespit etmek veya sensör düğümleri bataryaları için gereken minimum enerjiyi bulmak için düzenlenir [37].

Amaç fonksiyon, bir değişkenler kümesinden oluşur. Matematiksel programlama, amaç fonksiyonu minimize veya maksimize eden değişkenler değerini belirler. Örneğin, KSA ömrünün maksimize edilmesi bir amaç fonksiyondur [38].

Kısıtlar, amaç fonksiyon çözüm alanını belirler. Sonuç çözüm kısıtları karşılıyorsa, değerlerin değişkenlere verilebileceğini söyleyebiliriz. Örneğin, sensör düğüm iletim aralığı bir kısıttır ve iki düğüm arasındaki mesafe, düğüm iletim aralığından daha büyükse, sensör düğümleri arasında akış olamaz [39].

Değişken sınırları da kısıtlar olarak değerlendirilebilir. Değişkenlerin bazı değerleri kısıtları karşılama bile, bu değerlerin değişkenlere verilmesi gerçek dünyada mümkün olmayabilir. Bu nedenle, doğru sonuçları bulmak için değişkenler sınırlandırılır. Örneğin, düğümler arasındaki veri akışları negatif değer veremez [40].

Doğrusal program, matematiksel programlama modeline bir örnek olup, verilen kısıtlar dikkate alınarak daha iyi çözümün bulunmasını amaçlar ve gerçek kararlar kümesini belirler [35]. Diğer alternatif kararlar, amaç fonksiyon değerlerine göre ve optimal değerli kararlar (fonksiyon niteliğine göre en geniş veya en küçük olabilir) optimal olarak seçilir.

Bu tezde optimizasyon problemi, lineer programlama ile modellendi. Bu modelde amaç, ağın ömrünü (t) uzatmaktır. Problemimiz, kısıtları yerine getiren f_{ij} akış değerlerini, ağ ömrünü en çoklayacak şekilde belirlemektir. Tekdüze olmayan düğüm konumlandırması yardımı ile model, gerekli veri akış dengelemesini gerçekleştirerek ağ ömrünü uzatabilir. Model aşağıda detaylıca verilmiştir:

Amaç: t 'yi en çoklamak

$$f_{ij} \geq 0, \text{ bütün } i \text{ ve } j \text{ düğümleri için} \quad (1)$$

$$f_{ij} = 0, \text{ eğer } i = j \text{ veya } i \text{ düğümü baz istasyonu ise} \quad (2)$$

$$\sum_j f_{ji} + t s_i = \sum_j f_{ij}, \text{ } i \text{ ve } j \text{ düğümleri baz istasyonundan farklı ise} \quad (3)$$

$$E_r \sum_j f_{ij} + \sum_j E_{t,ij} f_{ij} \leq e_i, \text{ } i \text{ ve } j \text{ düğümleri baz istasyonundan farklı ise} \quad (4)$$

$$e_i \leq \text{Başlangıç Enerjisi, baz istasyonu hariç bütün düğümler için} \quad (5)$$

$$f_{ij} = 0, \text{ eğer } t_{range} < d_{ij} \text{ ise} \quad (6)$$

Eşitlik (1), veri akışlarının (f_{ij}) negatif olamayacağını gösterir. Eşitlik (2), anlamsız olan veri akışlarını tanımlamaktadır. Bu eşitlik ile düğümlerin kendilerine veri göndermesi ile baz istasyonunun sensör düğümlere veri göndermesi engellenmiştir. Eşitlik (3), akış dengeleme kısıtıdır ve baz istasyonu hariç tüm düğümler için tanımlanmıştır. Baz istasyonu için gelen ve giden veriler arasında denge yoktur çünkü baz istasyonu herhangi bir veri üretmez veya verileri diğer sensör düğümlerine rölelerle aktarmaz. Diğer bütün düğümler için bir sensörden gönderilen veri miktarı, bu düğüm tarafından alınan ve üretilen veri miktarının toplamına eşit olmalıdır. Bu eşitlikte t değeri yaşam süresini, ve s_i değeri ise N_i düğümünde birim zamanda üretilen veri miktarı olduğu belirtilmelidir. Eşitlik (4), baz istasyon hariç tüm sensör düğümlerin veri iletimi ve alımı için tükettikleri enerji miktarının, sensör bataryasında saklanan güce (e_i) eşit veya altında olduğunu gösterir. Eşitlik (5) ise tüm ağ düğümlerine eşit batarya gücü tahsis edildiğini ve herhangi bir zamanda sensör bataryasında kalan enerji miktarının, başlangıç gücünden düşük olamayacağını gösterir [41].

Eşitlik (5)'e kadar sunulan model, veri akışının dengelenmesi ve ağ ömrünün arttırılması için temel modeldir. Ağ ömrü, ilk sensör düğümü bataryası bittiğinde sona erer. Bu nedenle, bu tanım, LP'yi düzgün olarak gözlerken yanlış yorumlanmamalıdır. Ağın minimum ömrünü maksimize etmek için, tüm sensör düğümlerinin batarya güçlerini dengeli bir şekilde tüketmeye zorlanması gerektiğini gözlemlenebilir. Dolayısıyla, sensör ağ topolojilerindeki sensör düğümlerinin büyük bir kısmı (tümü olmasa da) batarya güçlerini aynı anda tüketmelidirler.

Bu noktaya kadar, temel doğrusal programlama modeli, sensör iletim menziline t_{range} sınırlayan kısıtlamaları elimine etmiştir (yani ağda her sensör düğümü diğer sensör düğümü ile iletişim kurabilir). Dolayısıyla, sensörlerin maksimum iletişim menziline sınırlamak için ağ modeline Eşitlik (6) eklenmiştir. Yani t_{range} 'den büyük mesafe ile ayrılan sensör düğümleri doğrudan iletişim kuramazlar. Öte yandan, çoklu hop iletişim olasılığı engellenmemiştir. İletim gücünde heterojenlik olmadığından (her düğüm eşit) bu sensör ağında tek yönlü link yoktur. Eşitlik (6) ve temel model, standart durumu modellemeyi amaçlamaktadır.

BEŞİNCİ BÖLÜM

SİMÜLASYON ORTAMI VE SONUÇ ANALİZİ

5.1 Giriş

Bu bölümde, KSA'nın, sensörlerin farklı stratejilerde konuşlandırıldığı daire, kare, doğrusal gibi farklı topolojilerde ağ ömrü incelenmektedir. Sensörlerin farklı dağıtma modellerinde konuşlandırıldığı (tekdüze ya da rastgele) topoloji ve baz istasyonu konumunun ağ ömrü üzerindeki etkisini incelemek için yapılan testlerin sayısal analiz sonuçları sunulmaktadır. Bir veya iki baz istasyonu ile 10 - 25 - 50 - 100 - 250 - 500 sensörün olduğu farklı ölçeklerdeki (10 metre, 100 metre ve 1000 metre) ağlar incelenmiştir. Deneysel analizde ağ ömrüne yoğunlaşıldı. Değişik konumlandırma modellerini ve değişik parametreler kullanılarak elde edilen sonuçları karşılaştırmak amacıyla geniş aralıkta hesaplama çalışması yapıldı. Bu çalışmada kullanılan parametreler Tablo 5.1'de sunulmuştur.

Tablo 5.1: Parametre listesi ve değerleri.

Parametreler	Sembol	Değeri
Düğüm sayısı	N	10-25-50-100-250-500
Ağ konumu		Tekdüze, Rastgele
Baz istasyonu düğüm sayısı		1, 2
Baz istasyonunun ağdaki yeri		Merkez, köşe
Ağ alan büyüklüğü Dairesel Doğrusal Kare	$\alpha \times \alpha$	R("10,100,1000") D("10,100,1000") D("10x10, 100x100, 1000x1000")
Düğüm tarafından her bir döngüde oluşturulan toplam trafik miktarı		1.0 Kbit/round
Düğümler için iletim aralığı		82.9
Batarya başlangıç enerjisi (J)		1.0

Bir önceki bölümde anlatılan LP modelinin sayısal analizi için GAMS (General Algebraic Modeling System) yazılımını kullanıldı. GAMS, maksimum çözüm performansını elde etmek için farklı yollarla temel yöntem üzerinde LP'yi arttıran etkin LP model çözümü için yüksek performans çözümleri içermektedir. Bu nedenle, LP modelini çözmek için GAMS kullanarak, GAMS çözümlerinin birisi optimal çözüm elde edilir.

Verilen ağ ömürleri gerçek değerleri değil, normalize edilmiş değerleri göstermektedir. Normalizasyon, ağ ömrünün elde edilen en büyük ağ ömrü değerine bölünmesi ile yapılır.

Sonuçlarımızın kolay anlaşılabilmesini sağlamak için, farklı topolojileri tanımlamak için aşağıdaki ifadeler kullanılmıştır:

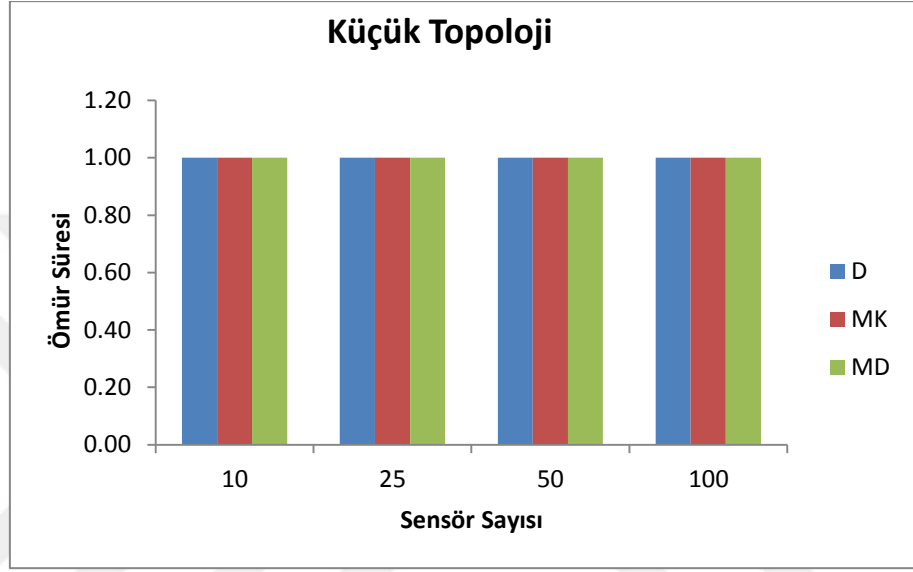
- D: Dairesel topoloji tekdüze düğüm dağılımı
- MD: Doğrusal topoloji baz istasyonu merkezde
- KD: Doğrusal topoloji baz istasyonu köşede
- MK: Kare topoloji baz istasyonu merkezde
- KK: Kare topoloji baz istasyonu köşede
- MKR: Kare topoloji rastgele dağılımlı baz istasyonu merkezde
- DR: Dairesel topoloji rastgele düğüm dağılımlı
- KKK: Kare topoloji baz istasyonu iki köşede
- MKK: Kare topoloji baz istasyonu merkezde ve köşede
- MDK: Dairesel topoloji baz istasyonu merkezde ve çevrede
- KDK: Dairesel topoloji iki baz istasyon çevrede
- MDOK: Doğrusal topoloji baz istasyonu merkezde ve köşede
- KDOK: Doğrusal topoloji baz istasyonu iki köşede

5.2 Küçük Ölçekli Topoloji

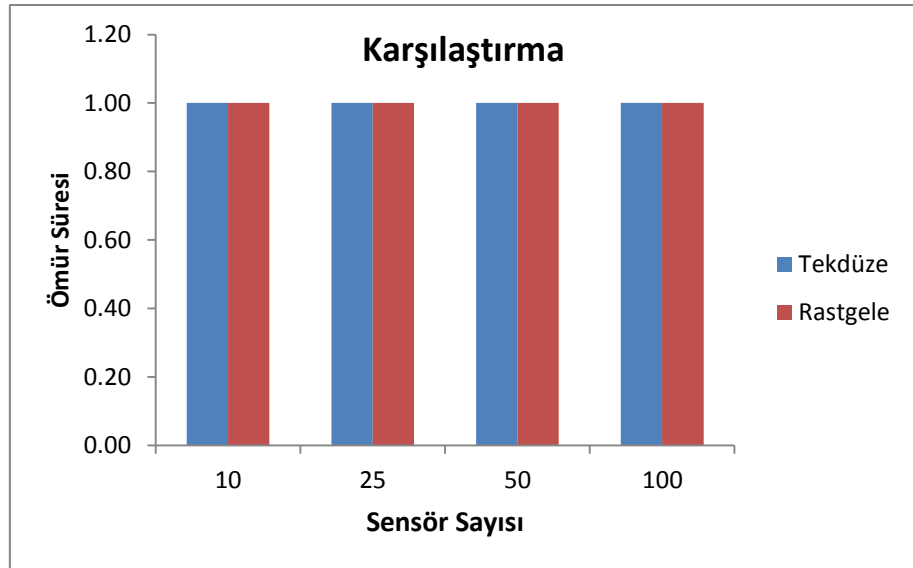
10M menzilli dairese, kare ve doğrusal için küçük ölçekte topoloji kullandık ve sensör sayısının arttırılmasının (10-25-50-100) ağ ömrü üzerindeki etkisini görmek için, sensör sayısını her bir topolojide kullandığımız girdi parametreleri ile aynı sayıda arttırdık. Tablo 5.2'de gösterildiği gibi, sensör sayısının arttırılmasının küçük ölçekte KSA için doğrudan hiç bir etkisi yoktur. Bunun nedeni, baz istasyonu bütün sensörlerin en düşük enerji harcayarak gönderim yapabilecekleri mesafede olduğundan röle düğüm kullanmadan verilerini doğrudan baz istasyonuna yollamalarıdır.

Tablo 5.2: Küçük topoloji için ömür süresi.

No	Topoloji	10 N	25 N	50 N	100 N
1	Dairesel	1	1	1	1
2	Kare	1	1	1	1
3	Doğrusal	1	1	1	1



Şekil 5.1: Küçük ölçekli farklı topolojiler için ömür süresi.



Şekil 5.2: Küçük ölçekte tekdüze ve rastgele arasındaki karşılaştırma.

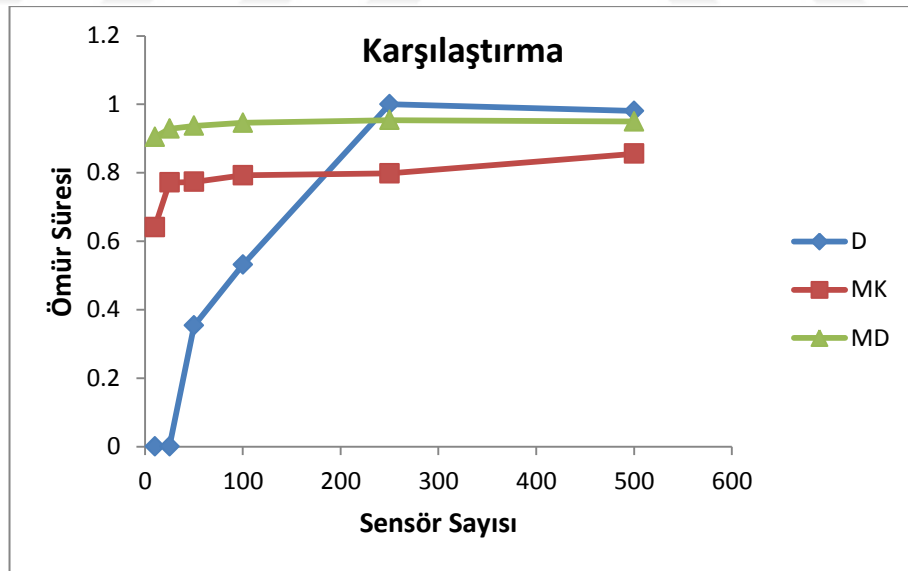
5.3 Orta Ölçekli Topoloji

100M menzilli dairesel, kare ve doğrusal için orta ölçekte topoloji kullandık ve sensör sayısının (10-25-50-100-250) artırılmasının ağ ömrü üzerindeki etkisini görmek için sensör sayısını her bir topoloji için kullandığımız girdi parametreleri ile aynı sayıda arttırdık. Yukarıdaki topolojiden elde ettiğimiz sonuçlar, doğrusal topolojinin, diğer topolojilere göre daha yüksek verim gösterdiği ve daire için çapın artırılmasının, az sayıda sensör var iken performansı yüksek sayıda sensörlü kareye göre daha iyi hale getirdiği görülmüştür.

Yukarıdaki sonuçtan, alanın artırılmasının ömür üzerinde doğrudan etkisi olduğu ve sensör sayısının artırılmasının ömrü arttıracığı açıktır.

Tablo 5.3: Orta ölçekli topoloji için ömür süresi.

No	Topoloji	10 N	25 N	50 N	100 N	250 N	500 N
1	Dairesel	N/A	N/A	0.35	0.53	1	0.98
2	Kare	0.64	0.77	0.77	0.79	0.80	0.86
3	Doğrusal	0.9	0.93	0.94	0.95	0.95	0.95

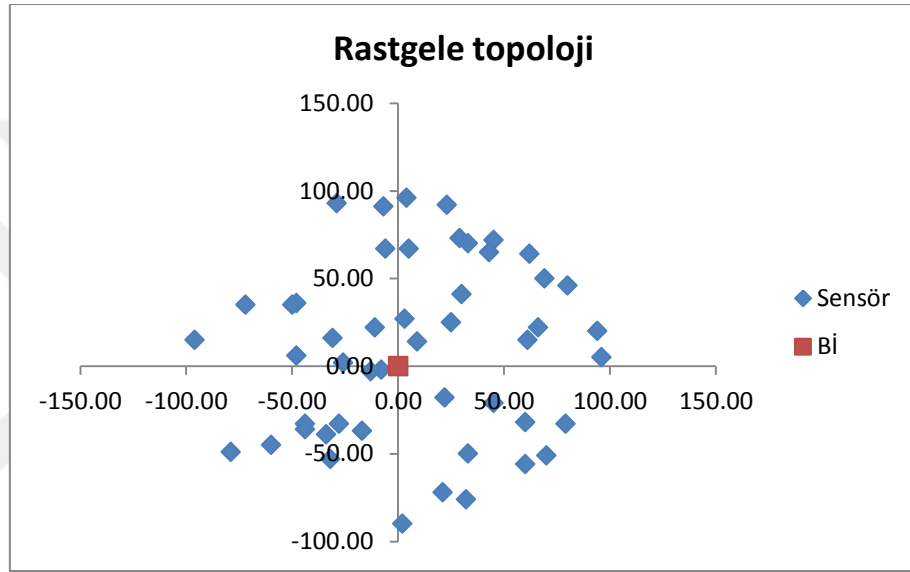


Şekil 5.3: Orta ölçekli farklı topoloji için ömür süresi.

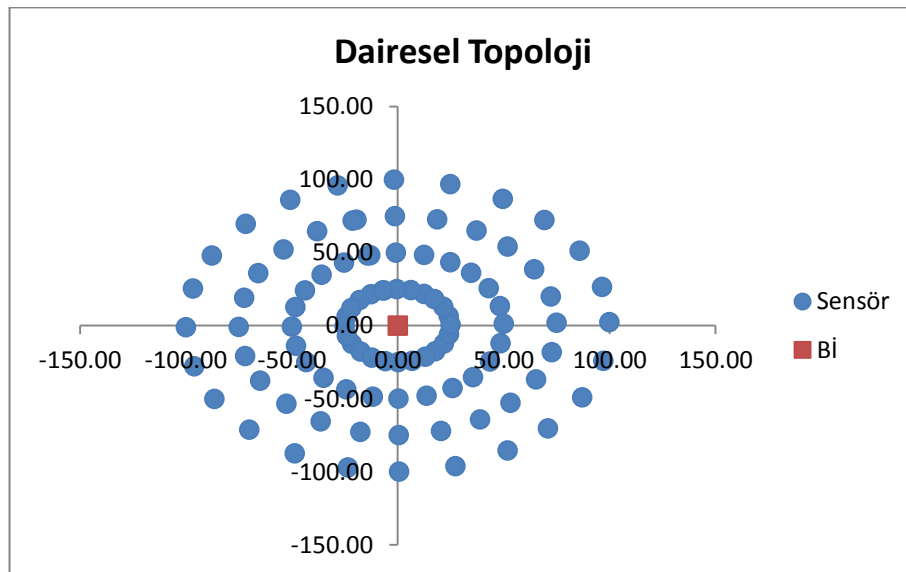
Şekil 5.3 sensör sayısının artırılması, ömrün her bir topolojide arttığını ama en yüksek artışın dairesel topolojide olduğunu göstermektedir (Özellikle sensör sayısı 100'e çıkarıldığında).

5.4 Rastgele Topoloji

Tablo 5.4, orta ölçekli topolojide rastgele (Şekil 5.4) ve tekdüze (Şekil 5.5) dağıtılan sensörlerin ömür sürelerini göstermektedir. Şekil 5.6, yaşam ömrü ile dairesel topolojide rastgele dağıtılmış sensörler arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Rastgele dağıtılanlarda ömür süresinin, alanın küçük ve sensör sayısının fazla olmasından dolayı daha iyi olduğu, ancak sensör sayısını 50'den 100'e arttırdığımızda, yarıçap çok büyüdüğünden, ömrün aynı olduğu gözlemlendi.



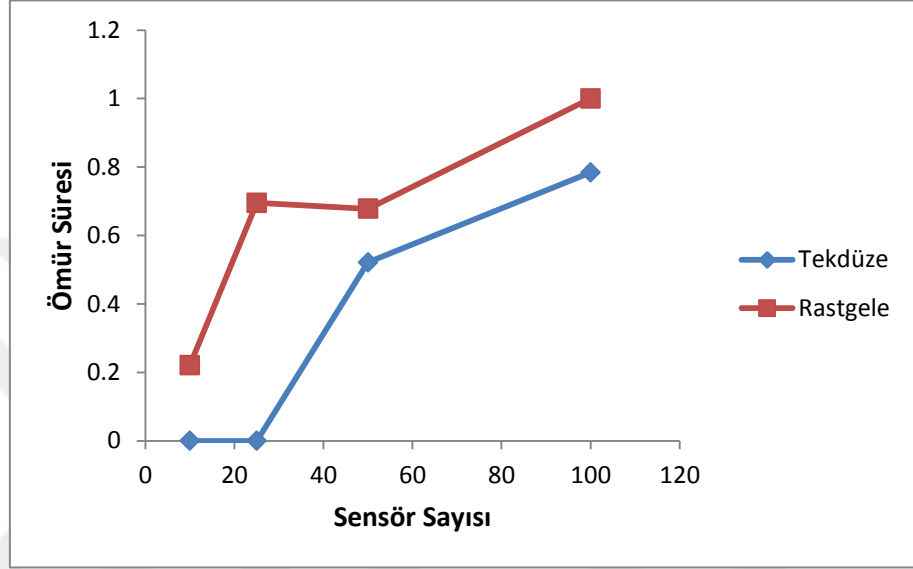
Şekil 5.4: Dairesel R100'de 100 sensörün rastgele dağıtım.



Şekil 5.5: Dairesel R100'de 100 sensörün tekdüze dağıtım.

Tablo 5.4: Orta ölçekli topoloji için ömür süresi.

Sensor No.	10	25	50	100
Tekdüze	N/A	N/A	0.52	0.78
Rastgele	0.22	0.69	0.67	1



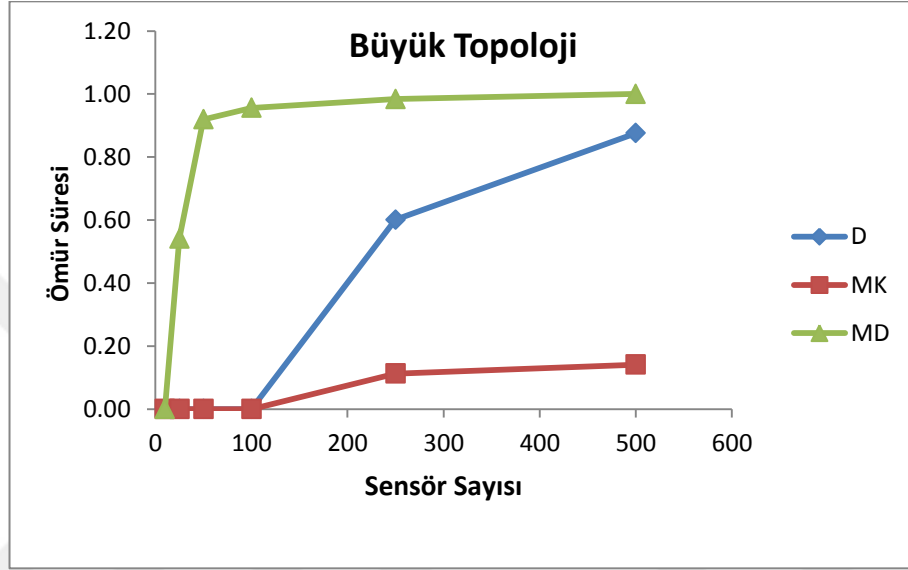
Şekil 5.6: Ömür süresi tekdüze ve rastgele dairesel R-100.

5.5 Büyük Ölçekli Topoloji

1000M menzilli dairesel, kare ve doğrusal için büyük ölçekte topoloji kullandık ve sensör sayısının (10-25-50-100-250-500) artırılmasının ağ ömrü üzerindeki etkisini görmek için, sensör sayısını her bir topoloji için kullandığımız girdi parametreleri ile aynı sayıda arttırdık. Yukarıdaki topolojiden elde ettiğimiz sonuçlar (Tablo 5.5), doğrusal topolojinin diğer topolojilere göre daha verimli olduğu ve daire çapının artırılmasının, az sayıda sensör var iken performansı yüksek sayıda sensörlü kareye göre daha iyi hale getirdiği görülmüştür. Yukarıdaki sonuçtan, alanın artırılmasının ömür üzerinde doğrudan etkisi olduğu ve sensör sayısının artırılmasının ömrü arttıracacağı anlaşılmaktadır.

Tablo 5.5: Büyük ölçekli topoloji ömür süresi.

Sensor No	10	25	50	100	250	500
Dairesel	N/A	N/A	N/A	N/A	0.60	0.88
Kare	N/A	N/A	N/A	N/A	0.11	0.14
Doğrusal	N/A	0.54	0.92	0.96	0.98	1



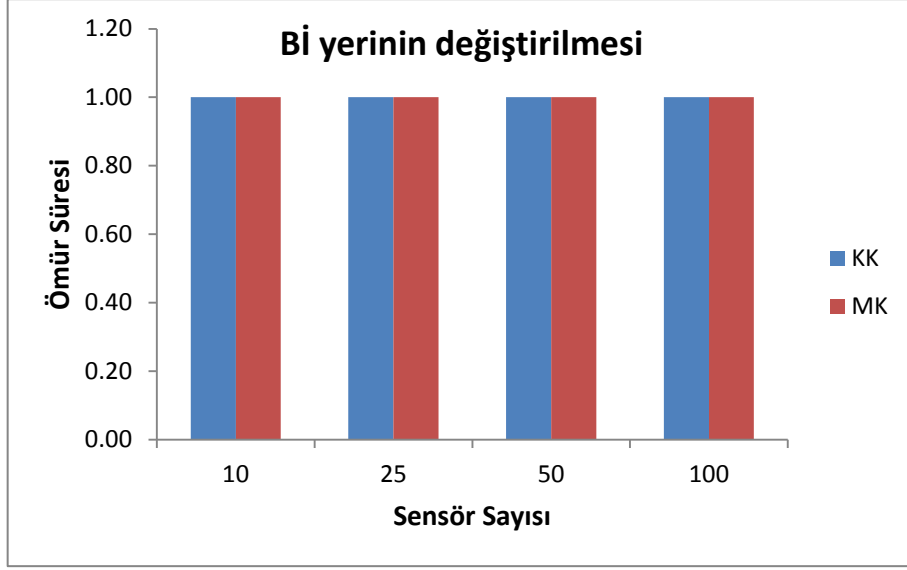
Şekil 5.7: Büyük ölçekli farklı topolojiler için ömür süresi.

5.6 Baz İstasyon Yerinin Değiştirilmesi

Burada, kare, dairesel ve doğrusal olan topolojide baz istasyonunun (Bİ) yerinin değiştirilmesini inceleyeceğiz. Bİ yerini ortadan köşeye getirip bu değişikliğin topoloji alanı ve sensör sayısına göre ömür üzerindeki etkisini değerlendireceğiz.

a) Küçük ölçekli alan

İlk olarak, 10Mx10M'lik küçük ölçekli bir kare topolojide alanda Bİ yerini merkezden (X=5, Y=5) köşeye (X=0, Y=0) alarak sensör sayısının (10-25-50-100) değiştirilmesi ve her bir durum için ömür süresi sonuçlarının karşılaştırılması ile Bİ yerinin etkisini inceleyeceğiz.

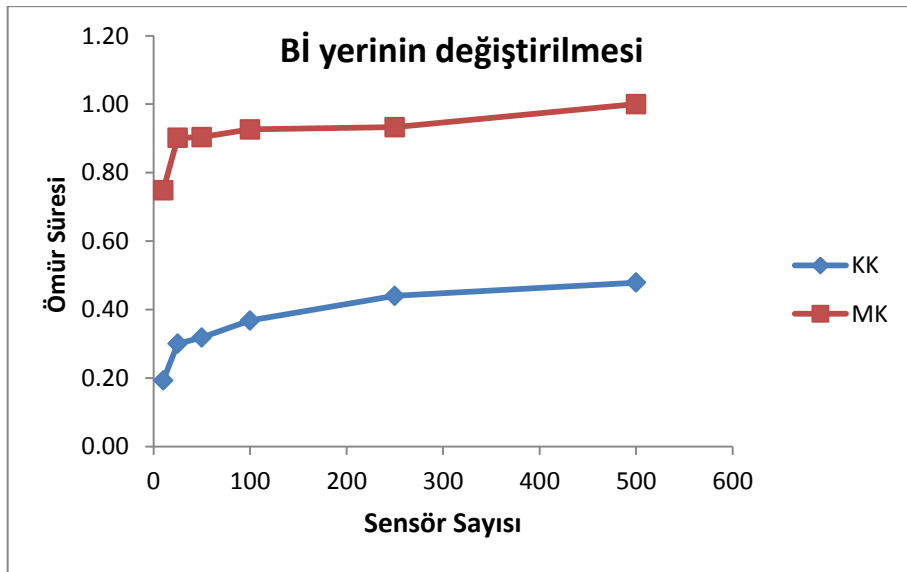


Şekil 5.8: Baz istasyonu merkezde ve köşede iken ömür süresi.

Şekil 5.8’de gösterildiği gibi, Bİ yerinin değiştirilmesinde etkisi olmayan topolojinin küçük alanından dolayı, Bİ yerinin merkezden köşeye değiştirilmesinin hiçbir etkisi yoktur.

b) Orta Ölçekli alan

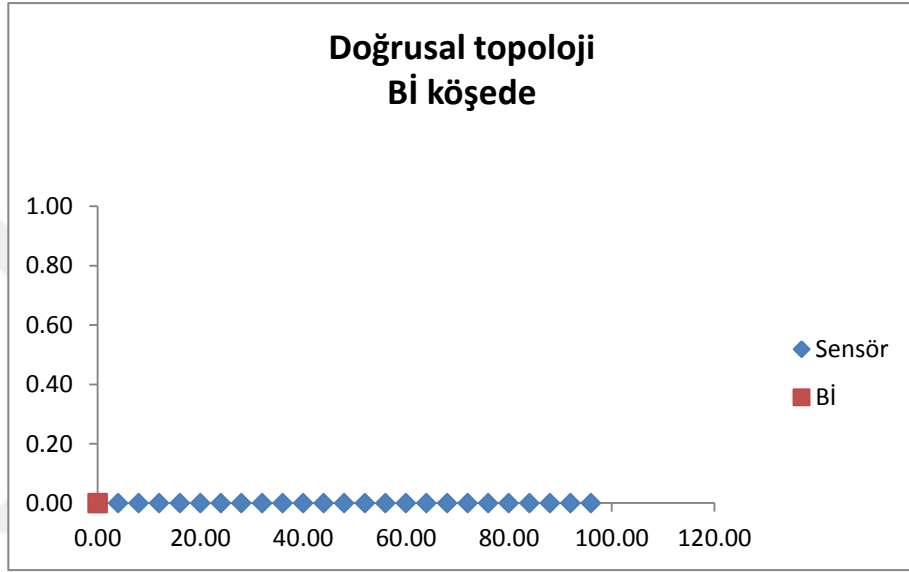
Orta ölçekli kare topolojide (100Mx100M) Bİ yerini merkezden köşeye ve sensör sayısını (10-25-50-100-250-500) değiştirip her seferinde ömür süresini hesaplayacağız ve daha iyi Bİ yeri için sonuçları karşılaştıracacağız.



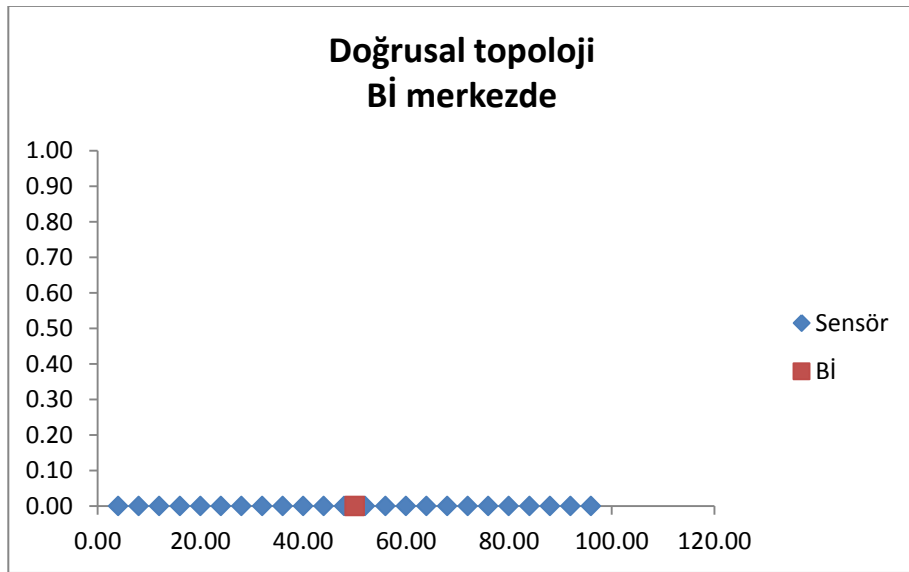
Şekil 5.9: Bİ yerinin değiştirilmesinin ömür süresi üzerindeki etkisi.

Şekil 5.9'dan, Bİ yerinin merkezden köşeye değiştirilmesinin ağ ömrünün artışında derin bir etkisi olduğu gözlenmektedir. Aynı zamanda, sensör sayısının arttırılmasının (100 sensörden sonra), alan küçük olduğundan ömür süresi üzerinde etkisinin az olduğu söylenebilir.

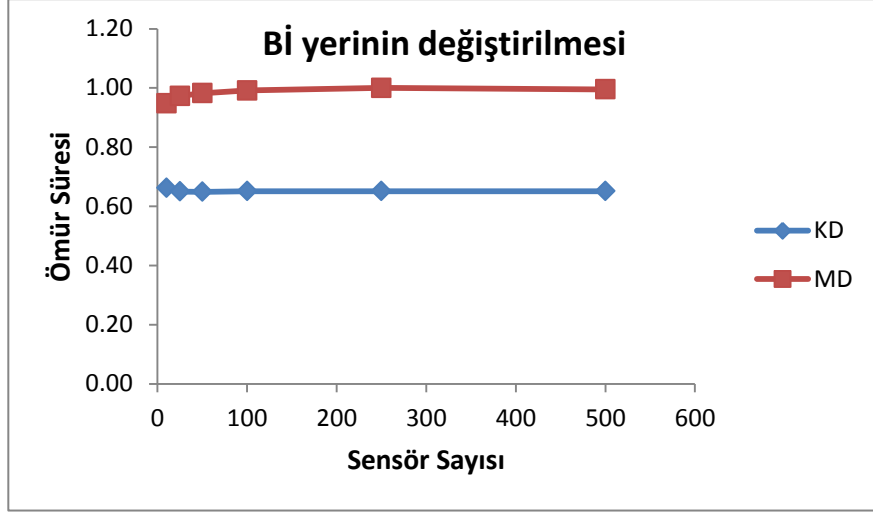
Doğrusal topolojide (100M) Bİ yerini merkezden (Şekil 5.11) köşeye (Şekil 5.10) alarak sensör sayısının (10-25-50-100-250-500) değiştirip her seferinde ömür süresini hesaplayacağız ve daha iyi Bİ yeri için sonuçları karşılaştıracacağız.



Şekil 5.10: Doğrusal sensör Bİ köşede.



Şekil 5.11: Doğrusal sensör Bİ merkezde.

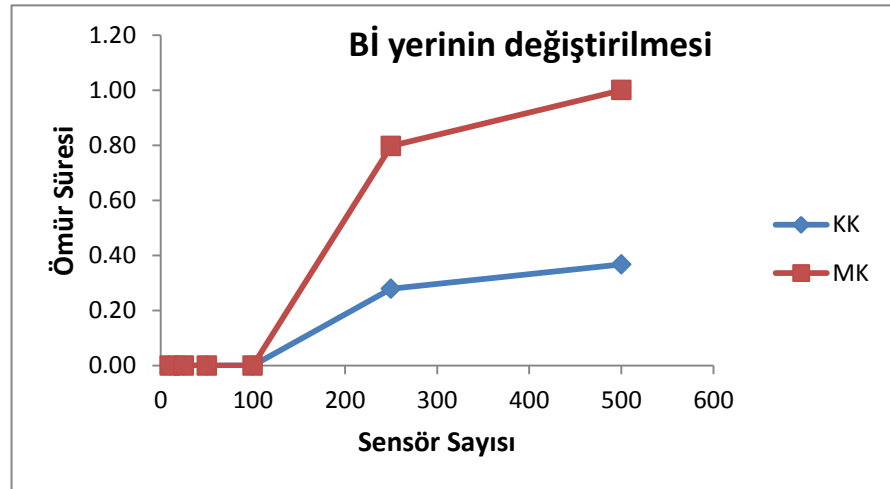


Şekil 5.12: Doğrusal topolojide Bİ yerinin değiştirilmesinin ömür süresi üzerindeki etkisi.

Şekil 5.12'den, doğrusal topolojide Bİ yerinin merkezden köşeye değiştirilmesinin ağ ömrünün artışında derin bir etkisi olduğu söylenebilir. Aynı zamanda, sensör sayısının artırılmasının (100 sensörden sonrası için), alan küçük olduğundan ömür süresi üzerinde hiç bir etkisinin olmadığı ve 100 sensör ile çok iyi çalışılabileceği söylenebilir.

c) Büyük Ölçekli alan

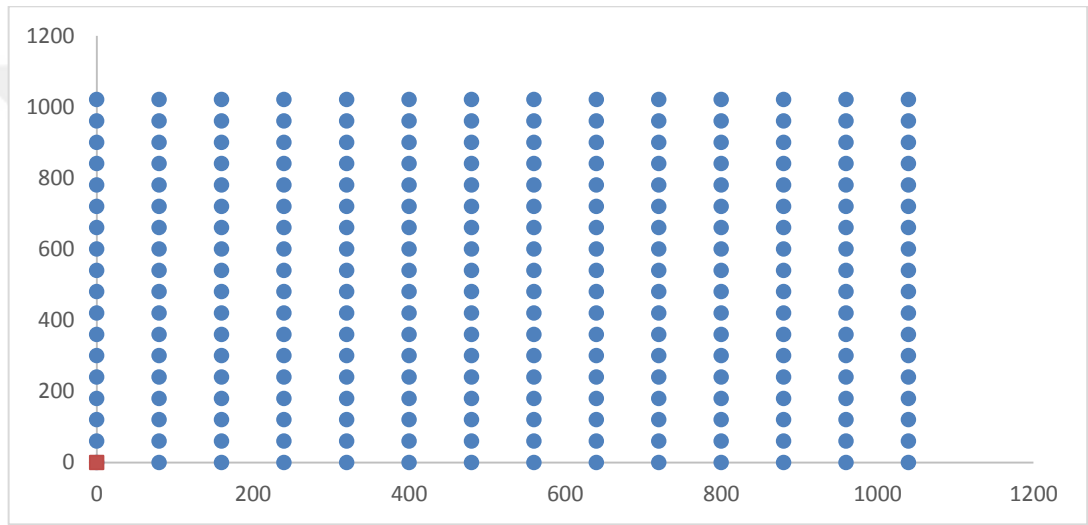
Büyük ölçekli topolojide (1000Mx1000M) Bİ yerini merkezden köşeye ve sensör sayısını (10-25-50-100-250-500) değiştirip ve her seferinde ömür süresini hesaplayacağız ve daha iyi Bİ yeri için sonuçları karşılaştıracacağız.



Şekil 5.13: Ömür süresi Kare topoloji Bİ yeri (1000Mx1000M).

Büyük ölçekli kare topolojide (Şekil 5.14) Bİ'nin merkezde ve köşede olması incelenmiştir. Şekil 5.13'te Bİ yerinin merkeze değiştirilmesinin, ömre etkisinin çok güçlü olduğu, hatta ömrü %100 oranında arttırdığı görülebilir. Ayrıca konumun 150 sensör için merkeze getirilmesinin Bİ merkezde iken 500 sensör için aynı ömür süresi olduğunu sensör sayısının 500'e artırılmasının ömür süresini de arttıracığı kaydedilebilir.

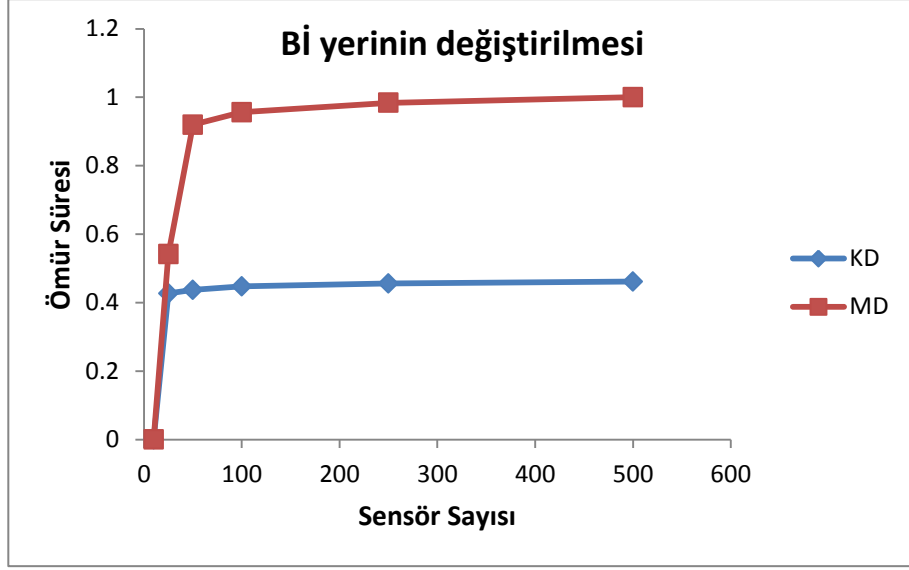
Dolayısıyla, bu değiştirmenin iki etkisi vardır. İlki ömür üzerindeki etkisi, ikincisi ise sensör sayısını arttırdığımızda ömür süresinin de artacağıdır.



Şekil 5.14: 250 sensörün tekdüze dağıtımı.

Büyük ölçekli doğrusal topolojide (1000M) Bİ yerini köşeden ($X = 0, Y = 0$) ağır merkeze ($X=500, Y=0$) getiriyoruz. Bu değişikliğin etkisi Şekil 5.15'te görülebilir.

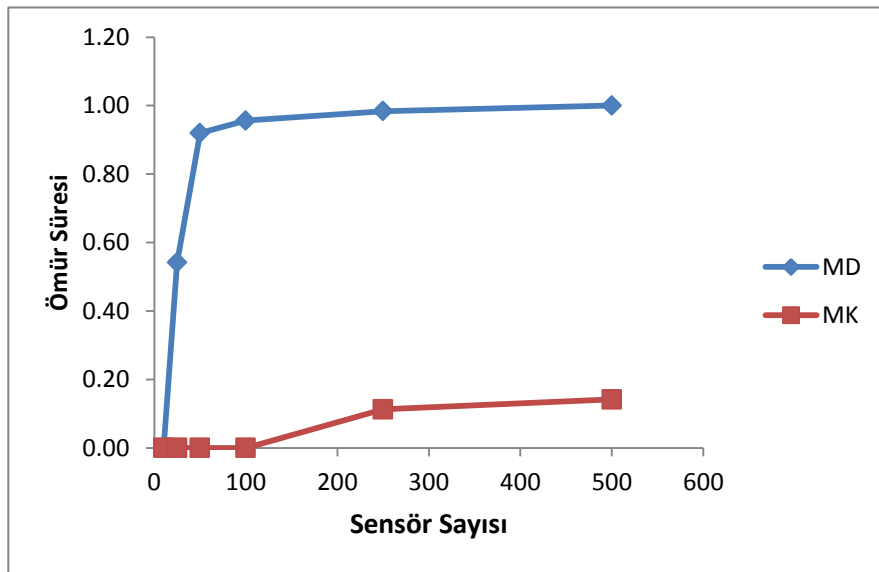
Sonuçlar, Bİ'nin merkezdeki ömür süresinin arttığını göstermektedir. Ayrıca sensör sayısının 250'den 500'e arttırmanın ağ ömrü üzerinde büyük etkisi olmadığını, küçük sensör sayısı (10) için, alanın tamamının az sayıda sensör ile kapsanamayacak kadar büyük olmasından çözümün bulunamadığını söyleyebiliriz.



Şekil 5.15: Doğrusal topolojide merkez ve köşede Bİ yerinin ömür süresi.

5.7 Kare ile Karşılaştırma

Burada, aynı sayıda sensörlü büyük ölçekli ağın farklı topolojisi ve alan merkezinde Bİ yeri arasında karşılaştırma yapacağız. Kare ve doğrusal topolojide ömür süreleri Şekil 5.16'de gösterilmiştir. Doğrusal ömür süresinin, kare topolojiye göre daha iyi olduğunu, sensör sayısının artırılmasının 100 sensörden sonra iyi etkiye sahip olduğunu, ancak sensör sayısının 250'den fazla olmasından sonra etkisinin daha fazla olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 5.16: Doğrusal Bİ köşede ve kare Bİ merkezde (1000) ömür süreleri.

5.8 Farklı Topolojide Rastgele Sensör Dağıtımı

Sensörlerin rastgele dağıtımı senaryosunda, sensörler tekdüze olmayan şekilde ağ alanında dağıtılır ve sensör yerinde herhangi bir kontrol yoktur.

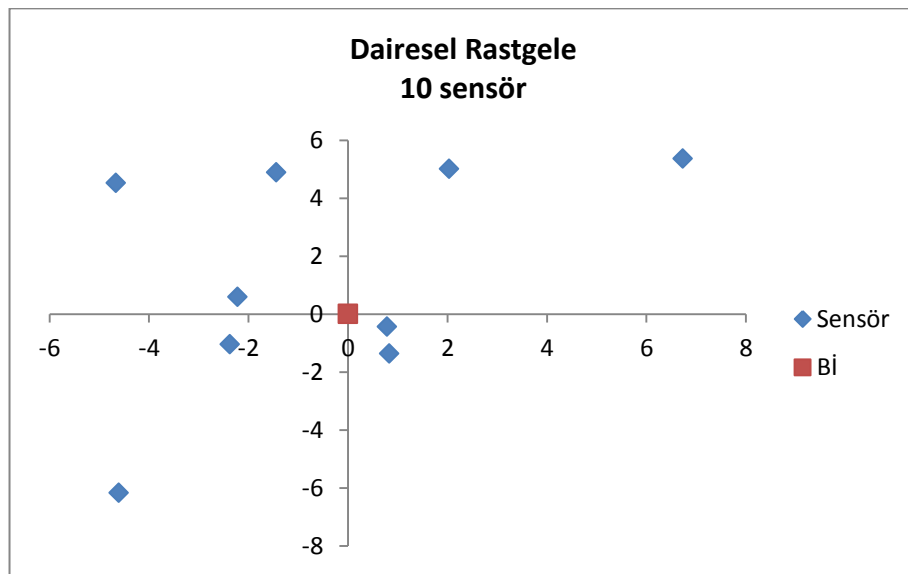
Bu durum, sensörlerin uçaktan dağıtılması ile sağlanabilir. Burada birçok çevresel faktör konumu etkileyebilir. Bu faktörler arasında rüzgar, uçak hızı ve diğer etkenler olabilir. Bu senaryoyu, önerdiğimiz ağda sensör sayısının artırılması ve ağ ömrü üzerindeki etkisini görmek için inceleyeceğiz.

Küçük ölçekli topoloji

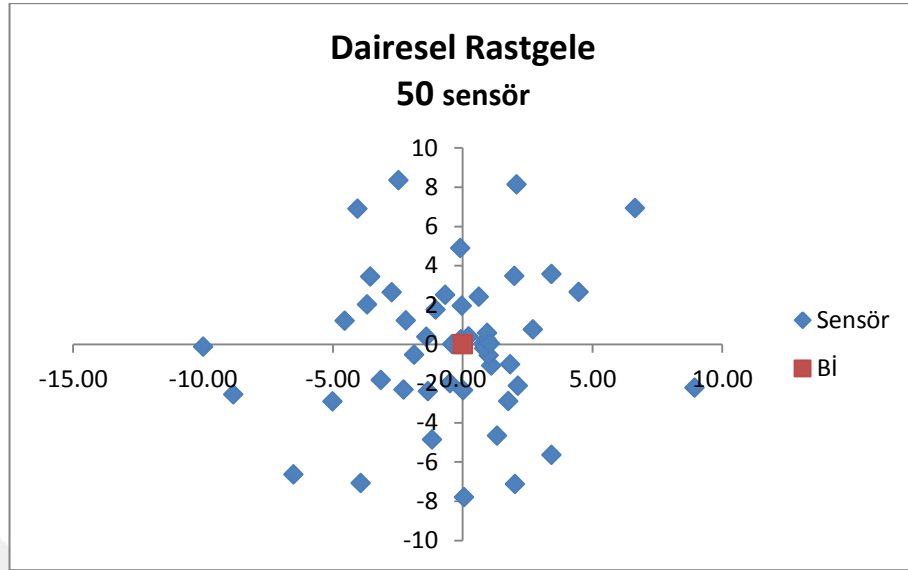
Burada, küçük alanda (10M) rastgele dağıtılmış sensörleri inceleyeceğiz. Sensörleri rastgele şekilde yerleştirip her durum için ömür süresini hesaplayacağız. Tablo 5.6, sensör sayısını arttırdığımızda da ağ alanının küçük olmasından dolayı ağların ömür süresinin aynı olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.6: Rastgele dağıtımda ömür süresi.

Sensör sayısını	10	25	50	100
Ömür süresi	1	1	1	1



Şekil 5.17: 10M'de rastgele dağıtılmış sensörler (N=10).



Şekil 5.18: 10M’de rastgele dağıtılmış sensörler (N=50).

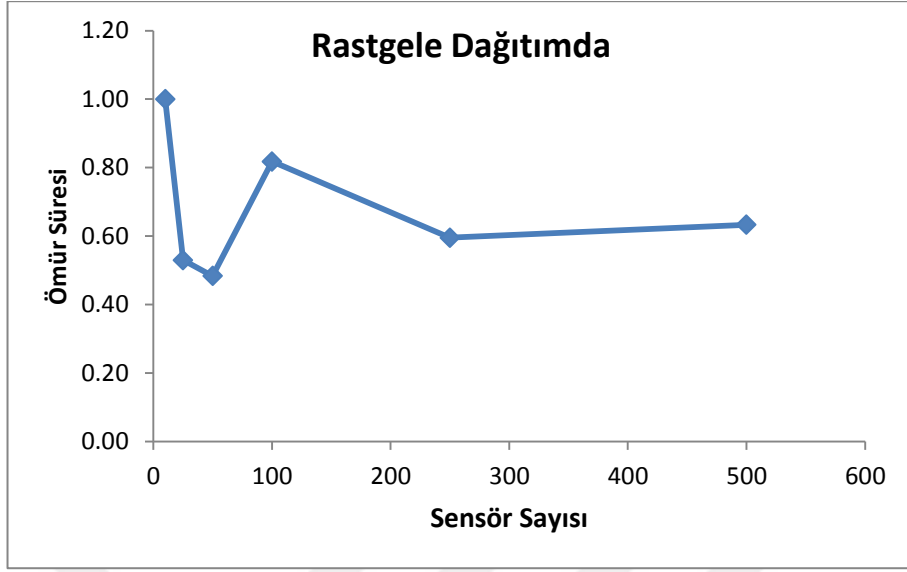
Orta ölçekli topoloji

Burada, orta ölçekli alanda (100M) rastgele dağıtılmış sensörleri inceleyeceğiz. Sensörleri rastgele şekilde yerleştirip her durum için ömür süresini hesaplayacağız. Sensör sayısı (10-25-50-100-250-500) olacak; rastgele ve sensör sayısının artırılmasının etkisi için, her adımda ömür süresi hesaplanacaktır.

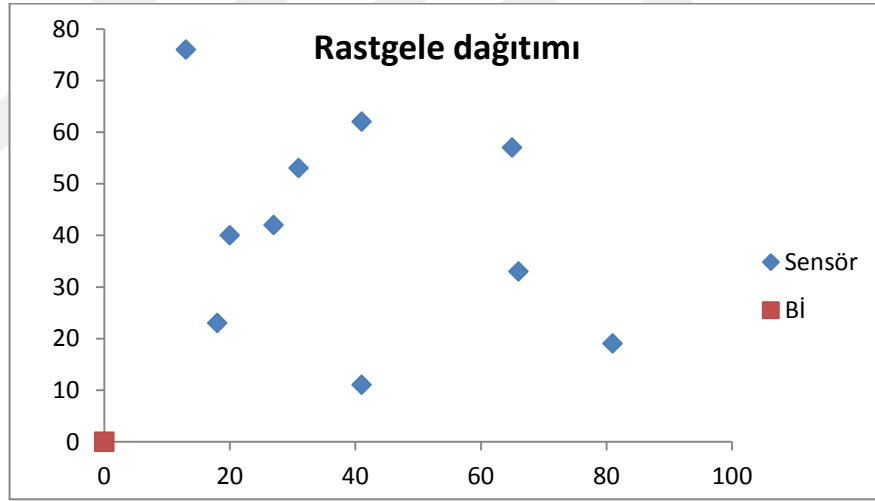
Tablo 5.7 ve şekil 5.19’deki ömür sürelerine baktığımızda, sensör sayısını 10’dan 25 ve 50’ye çıkarttığımızda ömür süresinde düşüş olduğunu görüyoruz. Çünkü rastgele dağıtımda bazı sensörler Bİ yerinden uzaktadır ve bu durum daha fazla enerji tüketimine neden olmaktadır. Ayrıca, bu alanında sensör sayısının artırılması gerekli değildir; zira 10 sensör bu alanı kapsayabilir. Ayrıca 100 sensöre çıkartıldığında minimal bir ömür artışı olduğunu, 250 sensör ve 500 sensörde ise ömür süresinde bir azalma olduğunu da söyleyebiliriz.

Tablo 5.7: Rastgele dağıtımda ömür süresi.

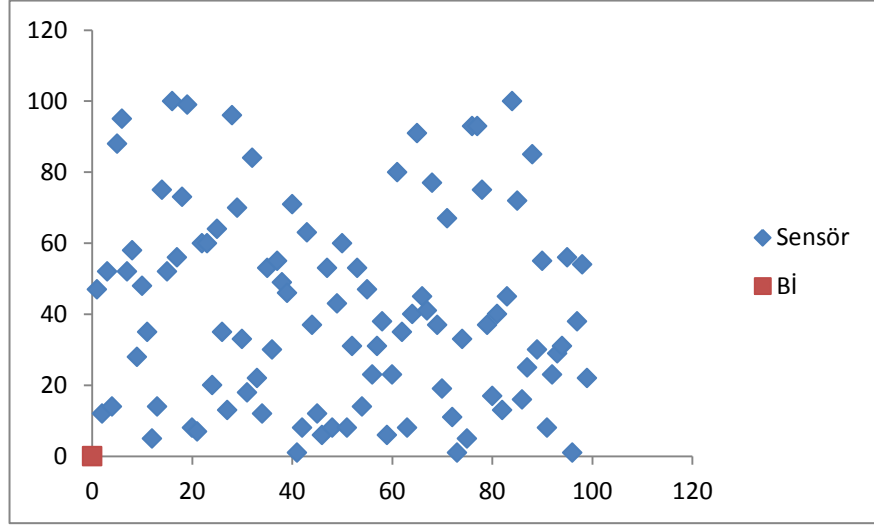
Sensör Sayısını	10	25	50	100	250	500
Ömür süresi	1	0.53	0.48	0.82	0.6	0.63



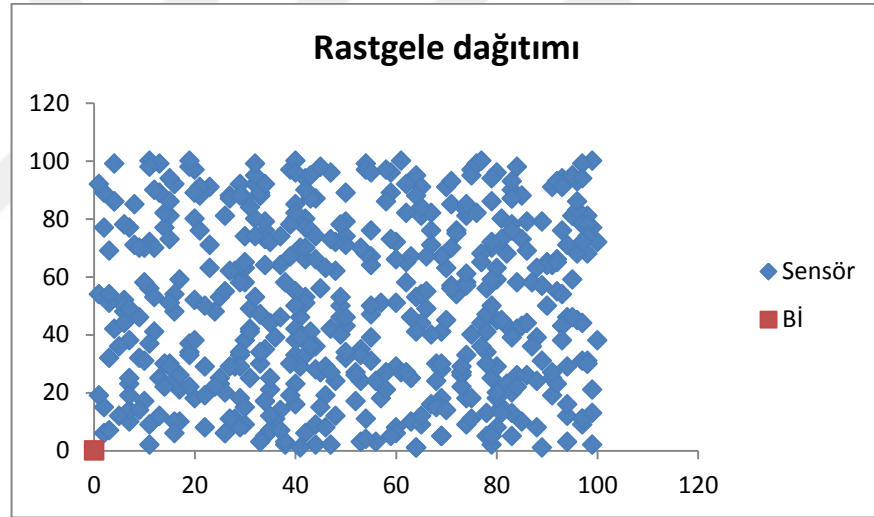
Şekil 5.19: Sensör sayılarına göre ömür süresi.



Şekil 5.20: 10 sensörün karede 100 M rastgele dağıtımı.



Şekil 5.21: 100 sensörün karede 100 M rastgele dağıtımı.



Şekil 5.22: 500 sensörün karede 100 M rastgele dağıtımı.

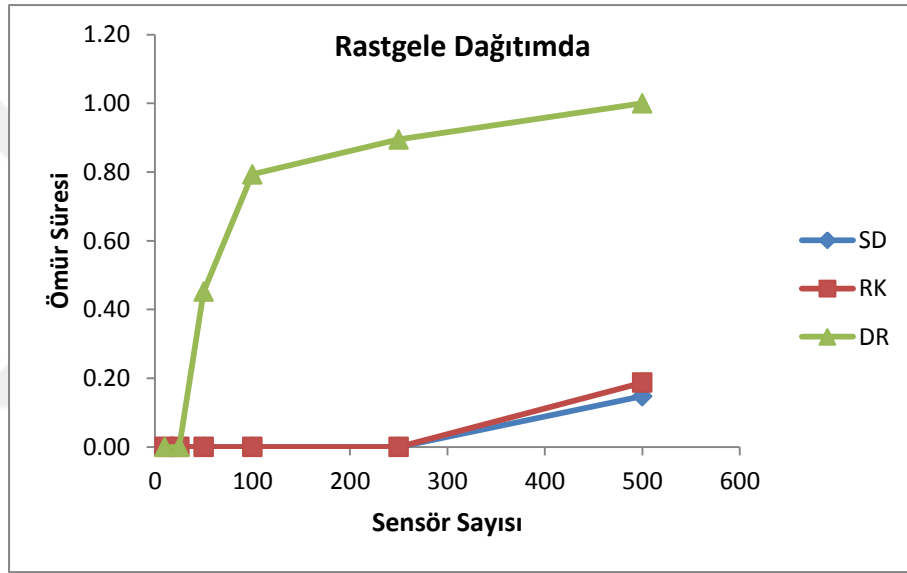
Büyük ölçekli topoloji

Burada, büyük alanda (1000M) rastgele dağıtılmış sensörleri inceleyeceğiz. Sensörleri rastgele şekilde yerleştirip her durum için ömür süresini hesaplayacağız. Sensör sayısı (10-25-50-100-250-500) olacak; rastgele ve sensör sayısının artırılmasının etkisi için, her adımda ömür süresi hesaplanacaktır.

Tablo 5.8: Rastgele dağıtımda ömür süresi büyük ölçek.

Sensör Sayısını	10	25	50	100	250	500
Dairesel	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.15
Kare	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.19
Doğrusal	N/A	N/A	00.45	0.79	0.89	1

Tablo 5.8'den, doğrusal topoloji hariç, rastgele dağıtımda 250 sensöre kadar ömür süresinin sıfıra eşit olduğu görülmektedir. Bu durum, bir sensör ve bu sensörü öldüren sonraki sensör arasındaki iletim mesafesinin fazla olması ile açıklanabilir.



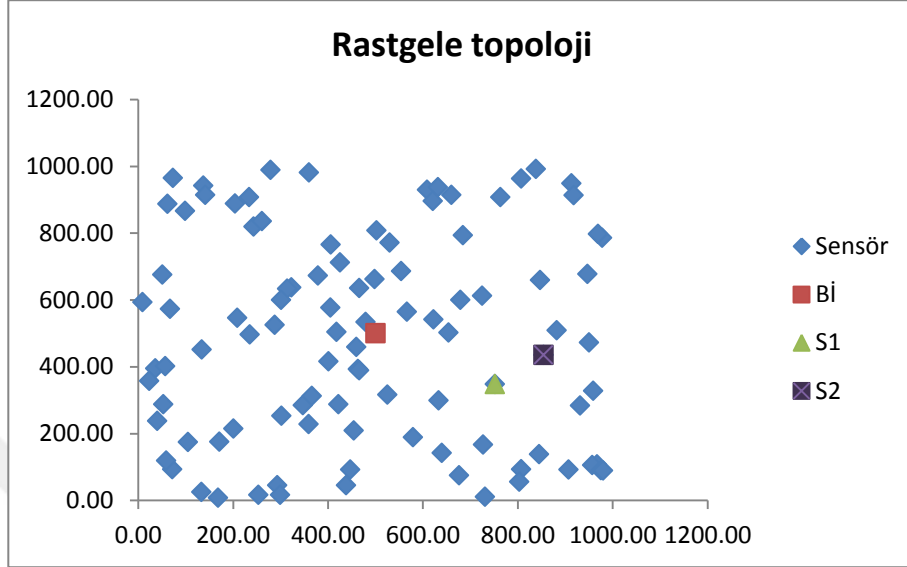
Şekil 5.23: Rastgele dağıtımda büyük ölçek.

Şimdi (1000Mx1000M) alanda 100 sensör için rastgele dağıtım senaryosunu inceleyeceğiz; sensörleri üç farklı seferde dağıtacağız (Şekil 5.24, Şekil 5.25 ve Şekil 5.26) ve belirtilen alanda 100 sensör için en iyi yerleştirmenin hangisi olduğunu görmek için ömür süresini hesaplayacağız.

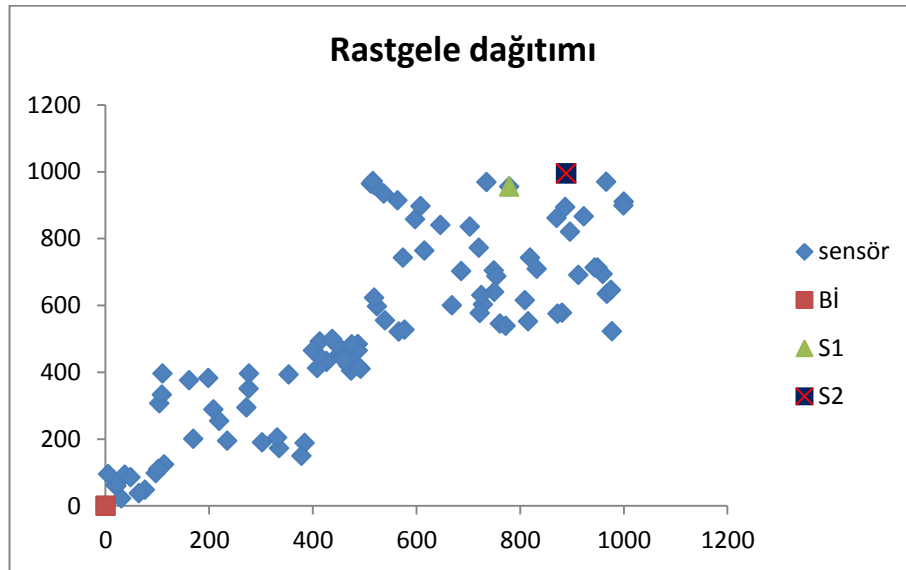
Tablo 5.9: Senaryo için ömür süresi.

Senaryo	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Sensör sayısını	N/A	N/A	N/A

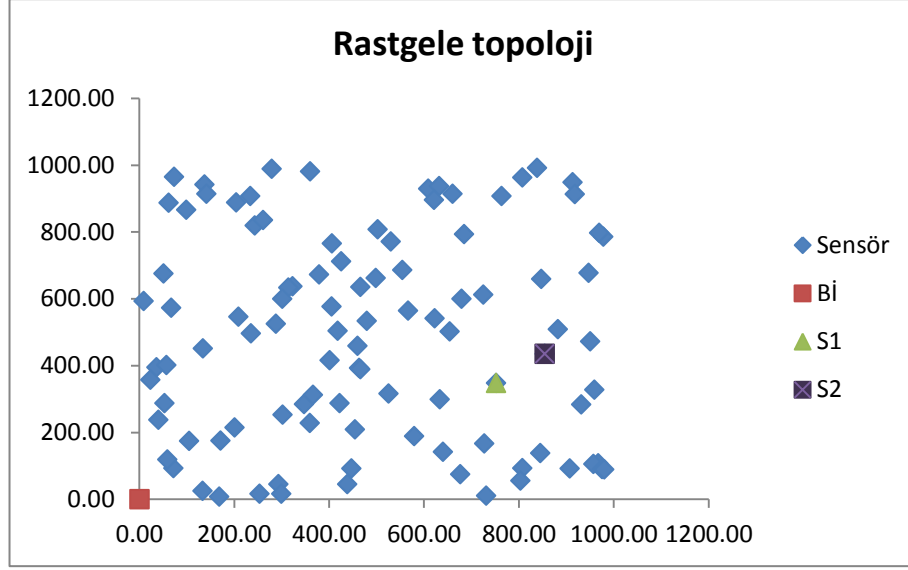
Tablo 5.9'a göre, bu alanda hiçbir senaryonun iyi çalışmadığı görülmektedir; ağı dolduran kontrolsüz dağıtılmış sensörlerden ve alanla karşılaştırmalı orta sayıda sensör etkisinden dolayı bu durumun yaşandığı söylenebilir.



Şekil 5.24: 100 sensörün karede 1000 M rastgele dağıtımı.



Şekil 5.25: kare 1000 M'de 100 sensörün rastgele dağıtımı.



Şekil 5.26: kare 1000 M’de 100 sensörün rastgele dağıtımı.

Şekil 5.24, 5.25 ve 5.26’da S1 simgesi ile gösterilen sensör düğüm, kendisine en yakın sensör olan S2’den 82.9M den fazla uzakta olduğundan modelimiz için bir çözüm bulunamamaktadır. Bu sensör diğer sensörlerle iletişim kuramaz, dolayısıyla ağın ömrü sıfırdır.

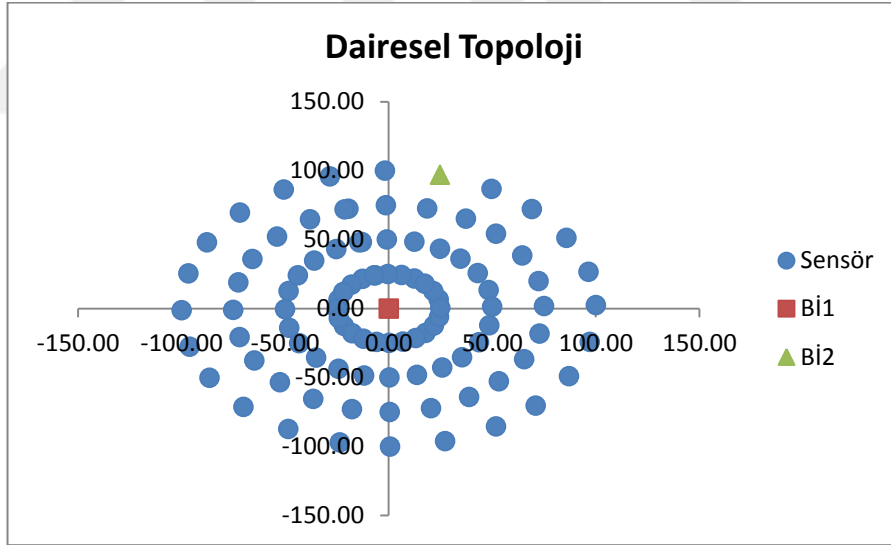
5.9 İki Baz İstasyonunun Etkisi

Bu bölümde kare, dairesel ve çizgisel topolojilere baz istasyonu ilave etmenin etkisini inceleyeceğiz. Yeni bir baz istasyonu eklediğimizde ömür süresinin nasıl değişeceğini gözlemleyeceğiz. Böylece, her bir topoloji iki tane baz istasyonuna sahip olacaktır. Bu modelde baz istasyonlarının yeri Tablo 5.10’da gösterilmektedir.

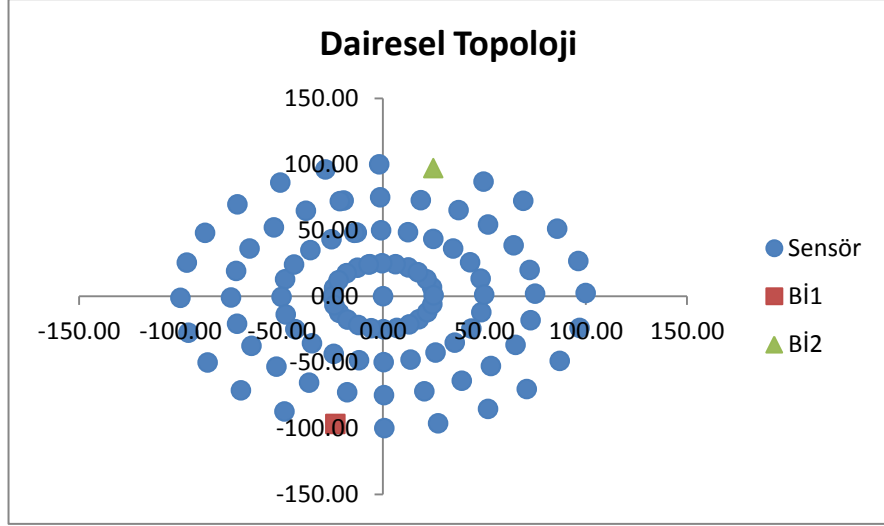
Ayrıca bir tane baz istasyonu ile yapılan diğer deneylerden elde ettiğimiz sonuçlarla, tablo üzerinden elde ettiklerimizi kıyaslayacağız. Bu kıyaslamamızın sonuçları, ilave baz istasyonlarının ağ ömrünü nasıl etkileyeceğini anlamamız açısından bize fikir verecektir.

Tablo 5.10: İki baz istasyonunun yerleri.

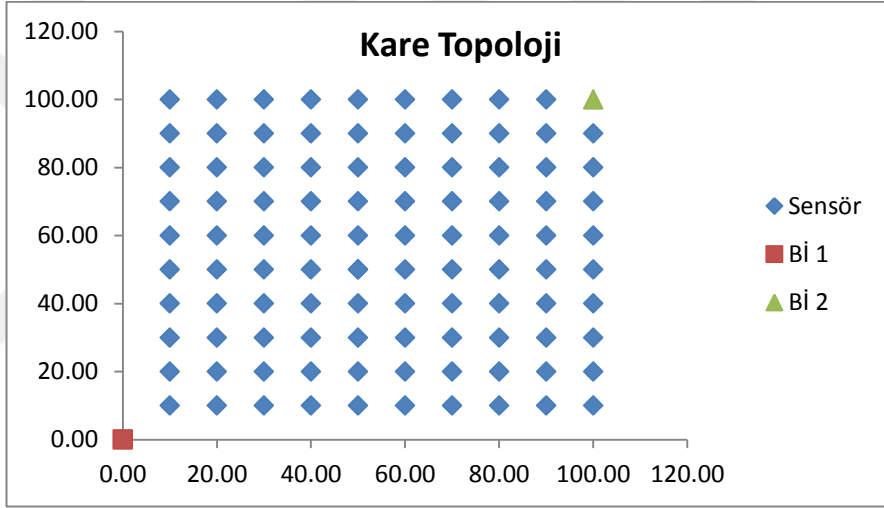
No	Topoloji	Boyut	1 baz istasyon	2 baz istasyonu
1	Dairesel	R=100	Merkez	Çeper
2	Dairesel	R=100	Çeper	Karşı çeper
3	Dairesel	R=1000	Merkez	Çeper
4	Dairesel	R=1000	Çeper	Karşı çeper
5	Kare	D=100	Merkez	Köşe
6	Kare	D=100	Köşe	Köşe (karşı)
7	Kare	D=1000	Merkez	Köşe
8	Kare	D=1000	Köşe	Köşe (karşı)
9	Doğrusal	D=100	Merkez	Köşe
10	Doğrusal	D=100	Köşe	Köşe (karşı)
11	Doğrusal	D=1000	Merkez	Köşe
12	Doğrusal	D=1000	Köşe	Köşe (karşı)



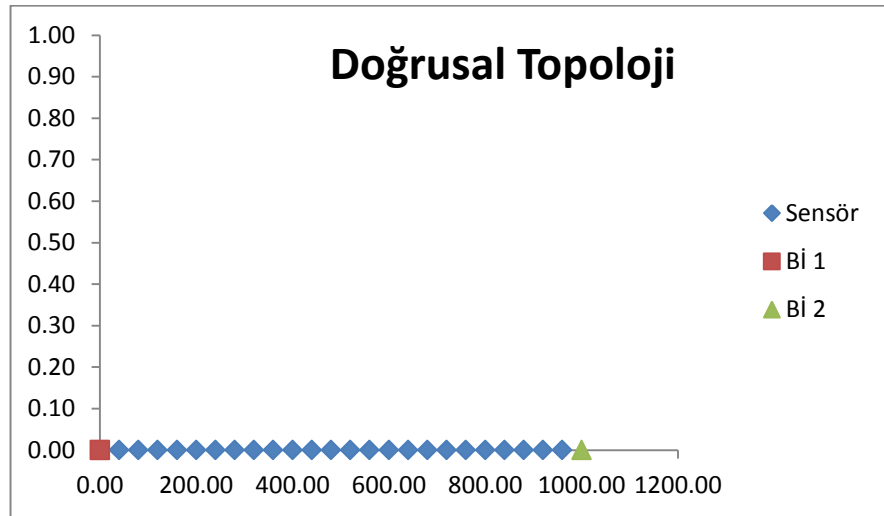
Şekil 5.27: Dairesel topoloji



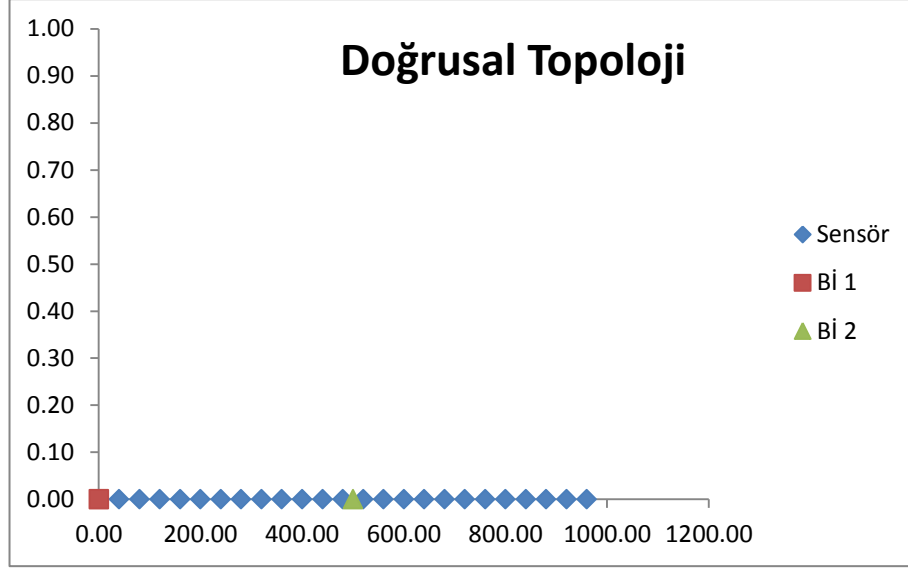
Şekil 5.28: Dairesel topoloji



Şekil 5.29: Kare topoloji



Şekil 5.30 : Doğrusal topoloji



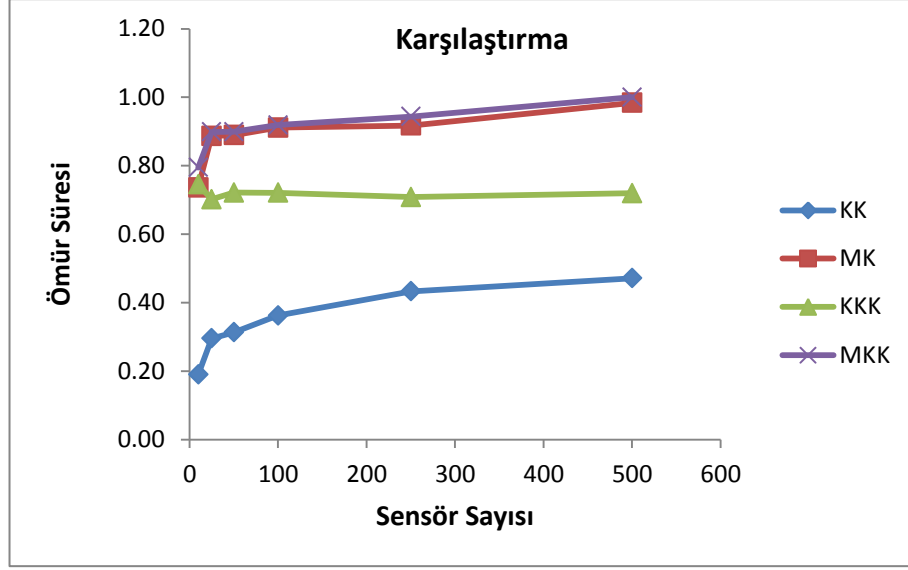
Şekil 5.31: Doğrusal topoloji

5.9.1 Kare Topoloji

a) 100Mx100M

Kare topoloji için merkeze yeni bir baz istasyonu ekleyeceğiz (birinci baz istasyonunun yeri köşede olacak) ve sensörlerin sayısını kademeli olarak arttıracacağız (10, 25, 50, 100, 250, 500). Her durum için istasyonun ömrünü hesaplayacağız ve sonuçları elde ettikten sonra yeni koyacağımız baz istasyonun yerini karşı köşeye değiştireceğiz (iki köşede de baz istasyonu). Önce merkeze kurulmuş bir baz istasyonu ve bir sonraki sefere köşedeki sensörlerin özdeş sayısı ile aynı topolojide (kare) kıyaslayacağız. Sonuçları elde ettikten sonra aynı aşamaları tekrar edeceğiz (10, 25, 50, 100, 250, 500).

Şekil 5.32'den en uzun ömrün merkezde ve köşede kurulmuş iki baz istasyonuna ait olduğunu gözlemleyebiliriz. Lakin eğer karenin tam merkezine yerleştirilmiş bir baz istasyonu ile kıyaslayacak olursak ikinci bir baz istasyonunu yerleştirmenin çok büyük bir etkisi olmayacaktır. Bunun sebebi, karenin ufak bir bölgesinden kaynaklıdır ve baz istasyonunu tam merkeze koyduğumuzda bütün sensörler baz istasyonu ile iletişim halinde olacaktır (82.9M).

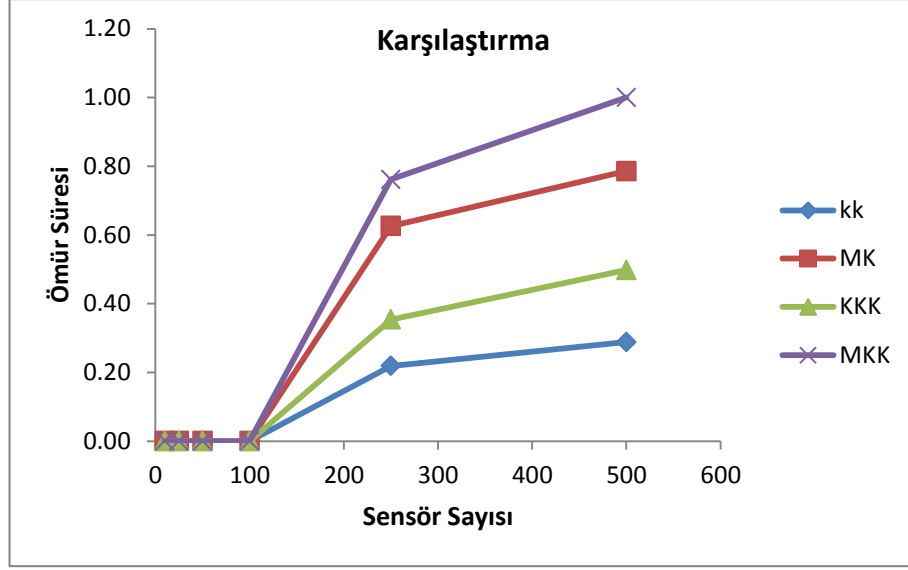


Şekil 5.32: Kare topoloji 100M karşılaştırma.

b) 1000Mx1000M

Kare topoloji için merkeze yeni bir baz istasyonu ekleyeceğiz (birinci baz istasyonunun yeri köşede olacak) ve sensörlerin sayısını kademeli olarak arttıracacağız (10, 25, 50, 100, 250, 500). Her durum için istasyonunun ömrünü hesaplayacağız ve sonuçları elde ettikten sonra yeni koyacağımız baz istasyonunun yerini karşı köşeye değiştireceğiz (iki köşede de baz istasyonu). Önce merkeze kurulmuş bir baz istasyonu, daha sonra da köşedeki sensörlerin özdeş sayısı ile aynı topolojide (kare) kıyaslayacağız. Sonuçları elde ettikten sonra, aynı aşamaları tekrar edeceğiz (10, 25, 50, 100, 250, 500).

Şekil 5.33'de yeni baz istasyonu eklemenin topolojinin ömrüne pozitif bir etki sağlayacağını gözlemleyebiliriz. Özellikle, bu baz istasyonunu merkeze (köşe+merkez) eklediğimizde merkezde sadece bir tane baz istasyonu olması durumunda %20 oranında sensör ömrü uzayacaktır. Ayrıca, köşeye baz istasyonu eklediğimizde yine aynı şekilde %80 oranında sensör ömrü uzayacaktır. Yeni bir baz istasyonu ekleyerek, bu topolojinin ömrü için daha iyi sonuçlar alabiliriz.



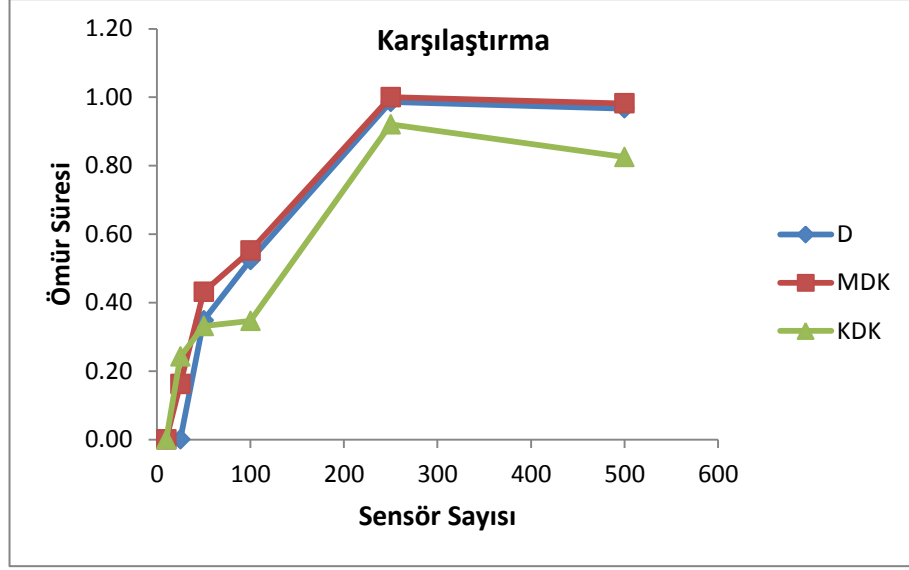
Şekil 5.33: Kare topoloji 1000M karşılaştırma.

5.9.2 Dairesel Topoloji

a) 100M

Dairesel topoloji için çap üzerine yeni bir baz istasyonu (ilk baz istasyonunun yeri merkezdedir) ekleyeceğiz ve sensörlerin sayılarını kademeli olarak arttırmaya başlayacağız (10, 25, 50, 100, 250, 500). Her bir durum için sensör ömrünü hesaplayacağız ve sonuçları raporlayacağız. Yeni baz istasyonunun yerini çapının tersine yerleştireceğiz (iki baz istasyonu da çapın içinde olacak) ve aynı aşamaları tekrar edeceğiz. Bütün sonuçları elde ettikten sonra, bunları merkezdeki o topolojide (çember) bulunan, aynı sensör numaralarıyla kurulmuş bir baz istasyonu içeren yeni sonuçlarla kıyaslayacağız.

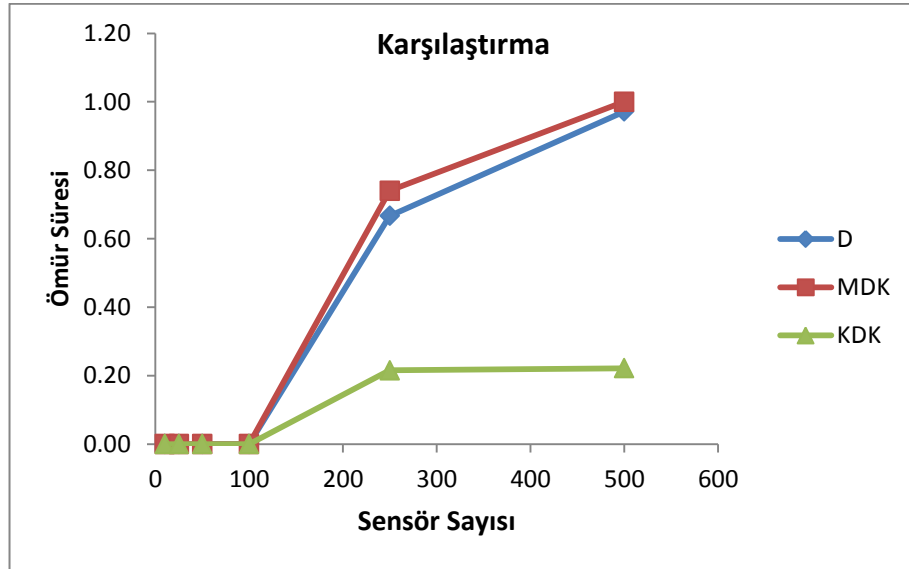
Şekil 5.34'den, en uzun istasyon ömrünün merkezde ve çapta kurulmuş iki baz istasyonuna ait olduğunu gözlemleyebiliriz. Ancak; eğer çemberin tam merkezine yerleştirilmiş bir baz istasyonu ile kıyaslayacak olursak, ikinci bir baz istasyonunu koymanın çok büyük bir etkisi olmayacaktır. Bunun sebebi, çemberin ufak bir bölgesinden kaynaklıdır ve baz istasyonunu tam merkeze koyduğumuzda bütün sensörler baz istasyonu ile iletişim halinde olacaktır (82.9M).



Şekil 5.34: Dairesel topoloji 1000M karşılaştırma.

b) 1000M

Dairesel topoloji için çapa yeni bir baz istasyonu (ilk baz istasyonunun yeri merkezdedir) ekleyeceğiz ve sensörlerin sayısını kademeli olarak arttırmaya başlayacağız (10, 25, 50, 100, 250, 500). Her bir durum için sensör ömrünü hesaplayacağız ve sonuçları elde edeceğiz. Yeni baz istasyonun yerini karşı çepere yerleştireceğiz (iki baz istasyonu da çepere olacak) ve aynı aşamaları tekrar edeceğiz. Sonuçları elde ettikten sonra, bunları merkezdeki o topolojide (çember) bulunan, aynı sensör numaralarıyla kurulmuş bir baz istasyonu içeren yeni sonuçlarla kıyaslayacağız.



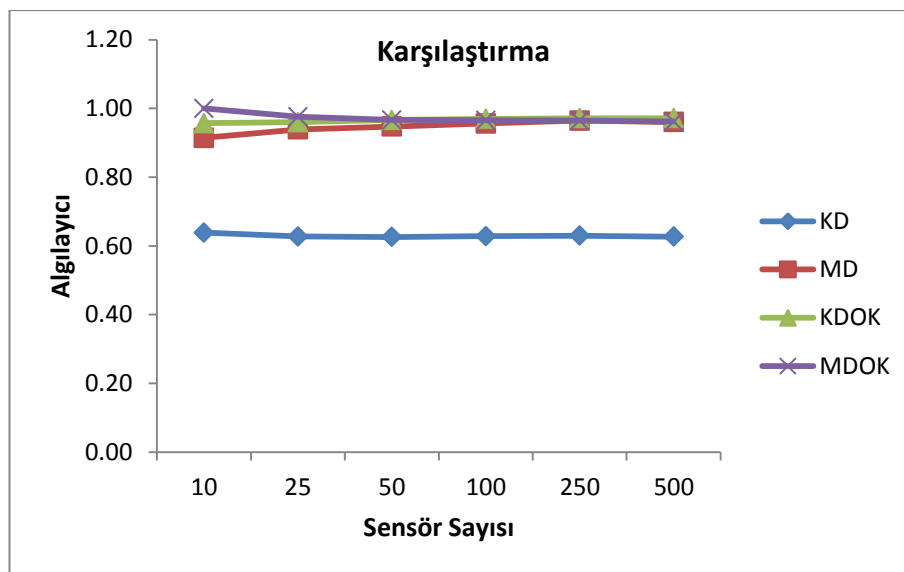
Şekil 5.35: Dairesel topoloji 1000M karşılaştırma.

Yukarıdaki şekilden merkezde ve kendi çapında kurulu iki tane baz istasyonu için en uzun istasyon ömrünü elde edebiliriz. Ancak çemberin merkezinde kurulu sadece bir baz istasyonu ile kıyaslayacak olursak, ikinci bir baz istasyonunu eklemek çok etkili olmayacaktır. Bunun sebebi, çemberin büyük bir bölgesinden kaynaklıdır. Çapta iki tane baz istasyonumuz olduğu zaman, sensör ömrü merkezdeki baz istasyonundan %80 civarlarında az olacaktır ve sensörlerin sayısı 250'den fazla olduktan sonra üç plan için de ömrü artmaya başlayacaktır. Bunun sebebi ise sensörlerin sayısını arttırdığımız zaman, sensörlerin (82.9M) tüm iletişimini kapsayacak olmasıdır ve böylece diğer sensörlerde çalışmaya başlayacaktır.

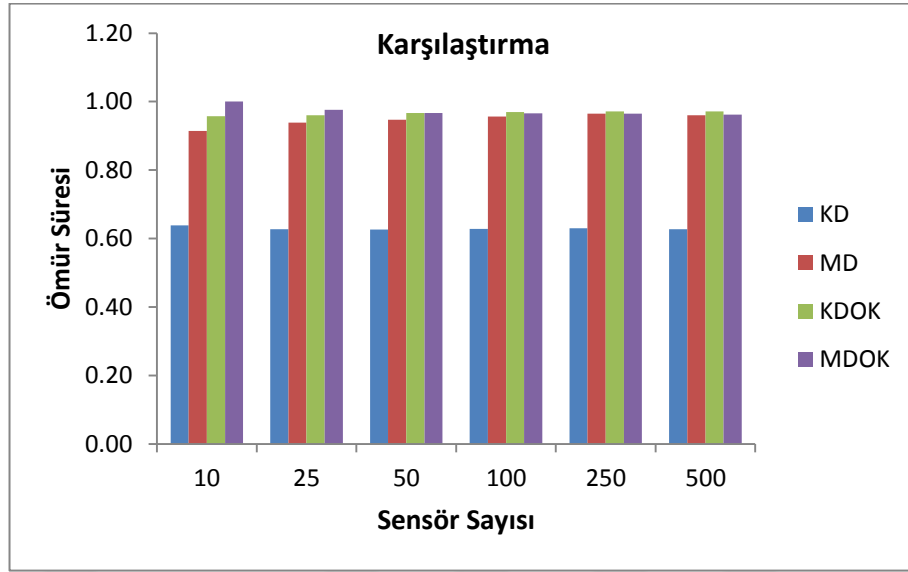
5.9.3 Doğrusal Topoloji

a) 100M

Doğrusal topoloji için merkeze yeni bir baz istasyonu ekleyeceğiz (birinci baz istasyonunun yeri köşede olacak) ve sensörlerin sayısını kademeli olarak arttıracakız (10, 25, 50, 100, 250, 500). Her durum için istasyonun ömrünü hesaplayacağız ve bütün sonuçları elde ettikten sonra yeni koyacağımız baz istasyonunu karşı köşeye değiştireceğiz (iki köşede de baz istasyonu). Önce merkeze kurulmuş bir baz istasyonu ve bir dahaki sefere köşedeki sensörlerin özdeş sayısı ile aynı topolojide (çizgi) kıyaslayacağımız bütün sonuçları elde ettikten sonra aynı aşamaları tekrar edeceğiz (10, 25, 50, 100,250,500).



Şekil 5.36: Doğrusal topoloji 100M karşılaştırma.

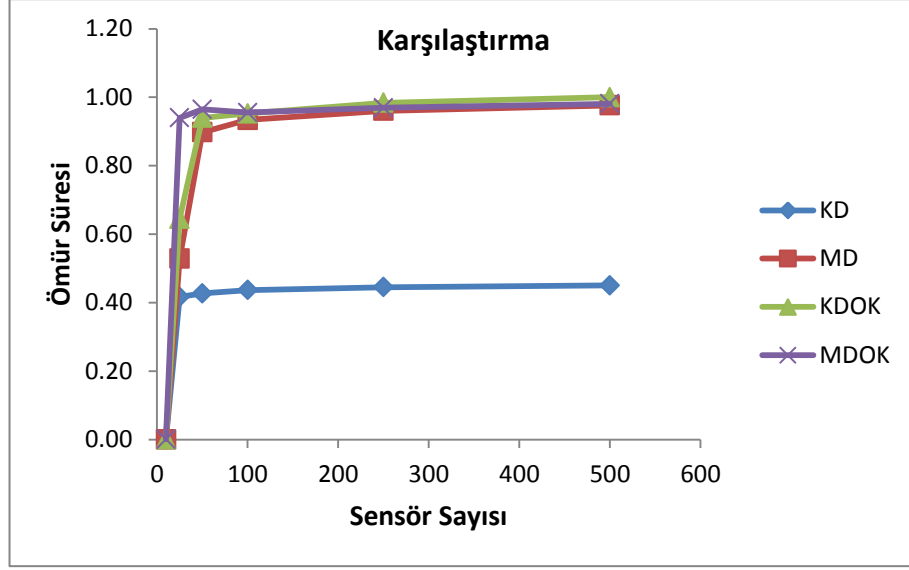


Şekil 5.37: Doğrusal topoloji 100M karşılaştırma.

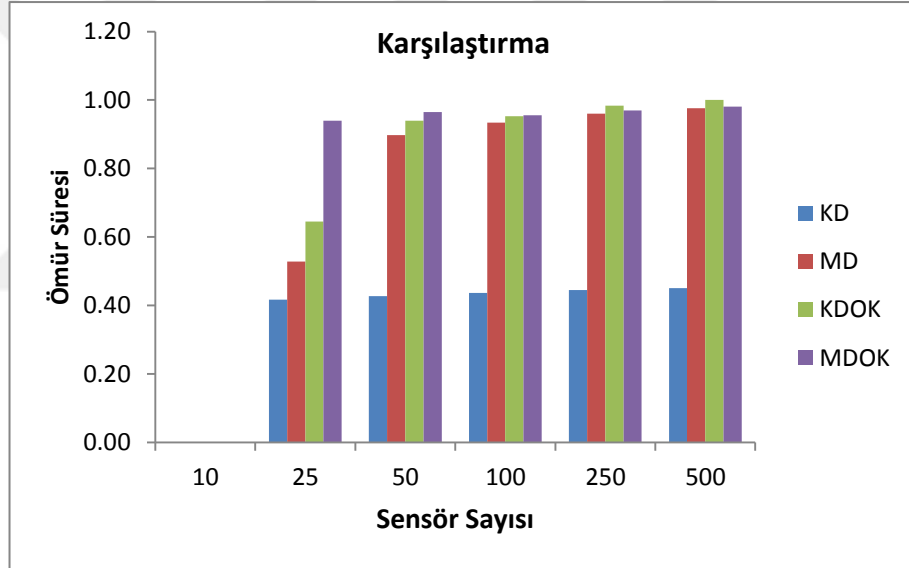
Yukarıdaki şekilden merkezde ve çemberde kurulu iki tane baz istasyonu için en uzun ömrü elde edebiliriz, ancak karenin merkezinde kurulu sadece bir baz istasyonu ile kıyaslayacak olursak ikinci bir baz istasyonu eklemek etkili olmayacaktır. Zira doğrusal topolojinin küçük bir mesafesinden kaynaklıdır ve merkeze baz istasyonunu yerleştirdiğimiz zaman; bütün sensörler hem baz istasyonu ile (82.9M) hem de elde ettiğimiz en kısa ömürle iletişim halinde olacaklardır. Köşede yalnızca bir tane baz istasyonu kurulu olduğu zaman, bazı sensörler iletişim menziline (82.9M) dışında kalacaklardır ve bunların ömrünü direkt olarak etkileyecek olan diğer sensörleri kullanarak bağlanacaklardır.

b) 1000M

Doğrusal topoloji için merkeze yeni bir baz istasyonu ekleyeceğiz (birinci baz istasyonunun yeri köşede olacak) ve sensörlerin sayısını kademeli olarak arttıracacağız (10, 25, 50, 100, 250, 500). Her durum için istasyonun ömrünü hesaplayacağız ve bütün sonuçları elde ettikten sonra, yeni koyacağımız baz istasyonunun yerini karşı köşede yer alacak şekilde değiştireceğiz (iki köşede de baz istasyonu). Önce merkeze kurulmuş bir baz istasyonu ile ve bir sonraki sefere köşedeki sensörlerin özdeş sayısı ile aynı topolojide (çizgi) kıyaslayacağımız bütün sonuçları elde ettikten sonra aynı aşamaları tekrar edeceğiz. (10, 25, 50, 100, 250, 500).



Şekil 5.38: Doğrusal topoloji 1000M karşılaştırma.

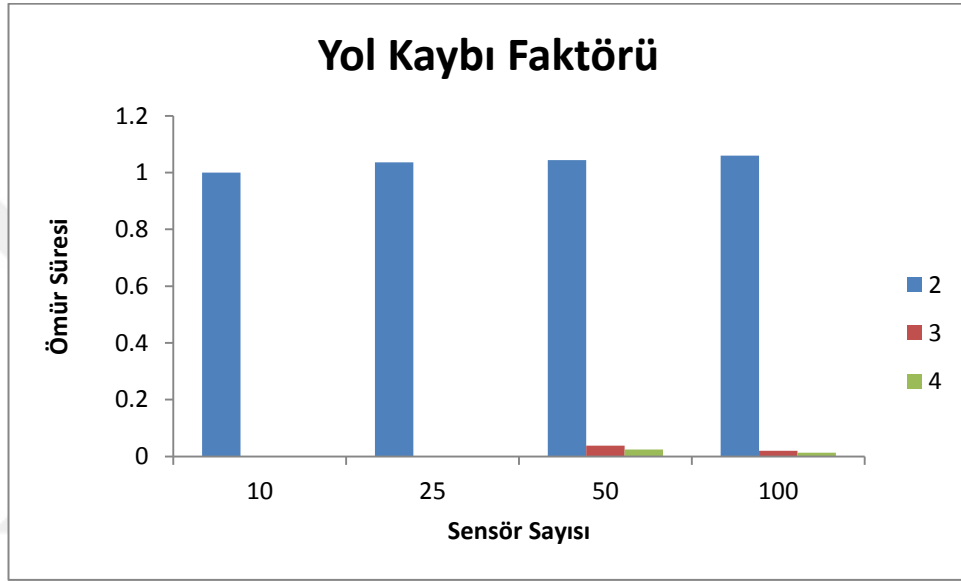


Şekil 5.39: Doğrusal topoloji 1000M karşılaştırma.

Yukarıdaki şekilden 25 sensör bir baz istasyonu kurmanın bunun ömrü üzerinde güçlü bir etkisi olacağını gözlemleyebiliriz. Bu planda, baz istasyonlarının ömrü fazlaca artmaktadır ve sensör sayıları 250 veya 500 bile olsa, maksimum yaşam süresine çok yakındır. Bunun sebebi ise, merkeze yeni bir baz istasyonu eklediğimiz zaman, 25 sensörün hepsinin de bu sensörleri çalışır hale getiren birinci veya ikinci baz istasyonunu tarafından kapsanacak olmasıdır. Bu planda sensör sayısı 25'i geçtiği zaman, sensörler 500'e bile arttırılmış olsa, yaşama ömrüne güçlü bir etkisinin olmadığı açıktır.

5.10 Yol Kaybı Faktörünün Etkisi

Bu durumda, KSA'nın ömrü boyunca yol kaybı faktörünün etkinliğini inceleyeceğiz ve aynı zamanda yarıçapı 100M olan doğrusal topoloji için yol kaybını kademeli olarak artıracacağız. Aynı zamanda sensörlerin sayısının kademeli olarak (10, 25, 50, 100) artışı ile yol kaybı faktörünün sensörün ömrünü nasıl etkilediğini inceleyecek ve her vakanın yaşam süresi hesaplayacağız.



Şekil 5.40: Yol kaybı faktörünün etkisi

Yukarıdaki şekilden, az sayıda sensör için yol kaybını arttırdığımızda, sensör sayısını arttırdıktan sonra yaşam kayıp faktöründe (3, 4) çok kısa ömür süresine sahip olacağımızı gözlemleyebiliriz (yol kaybı faktörü 2 ile karşılaştırıldığında). Bu nedenle, yol kayıp faktöründeki artışların kablosuz sensör ağı yaşam süresini azaltmada çok güçlü bir etkiye sahip olacağı çok açıktır.

ALTINCI BÖLÜM

SONUÇLAR

KSA'larda pratik ve enerji açısından verimli sensör düğümü dağıtımı çok büyük bir ihtiyaçtır. Bu durum bizi mevcut protokolleri gözden geçirmeye ve daha iyi çözüm bulmaya itmektedir. Bu itibarla, bu tezde farklı baz istasyonu konumlarına sahip düğümlerin tek biçimli ve düzgün olmayan dağılımı için sensör ağının kullanım ömrü incelenmektedir. Baz istasyonunun ağ ömrü üzerindeki etkisini araştırmak ve çeşitli düğüm dağıtım stratejilerinin performansını karşılaştırmak için bir doğrusal programlama (Linear Programming, LP) modeli incelenmiştir. Bu yaklaşım bize geniş bir parametre yelpazesini kapsayan sayısal analiz yapma şansı vermektedir. Değişken alanlı ve sensör sayılı dairesel, kare ve doğrusal olmak üzere üç farklı ağ topolojisi mevcuttur. Küçük ölçekli alan ağları için, sensör sayısını artırmanın kablosu sensör ağların yaşam süresi için güçlü bir etkisi olmadığını ve orta ölçekli alan ağların verimliliğini artırabileceğini düşünüyoruz. Büyük ölçekli alan ağları için ise az sayıda sensör tüm alanı kapsayamayacağı için makul bir çözüm değildir ve eğer sensörlerden biri iletim aralığından uzaklaşırsa, yaşam ömrü ilk ölü düğüm olarak tanımladığımızdan ömür süresine eşittir. Küçük ölçekli alan ağlarında sensörlerin rasgele dağılımı bir seçenek olabilir, ancak büyük ölçekli alanlar için kullanılamaz. 100 sensörlü birçok model bir veya daha fazla sensörün, sensör maksimum iletim aralığından daha uzakta olması nedeniyle başarısız olmuştur. Baz istasyonunun yerini değiştirmek kablosuz sensör ağın ömrü üzerinde derin etkiler oluşturur. Topolojinin yerini merkeze değiştirdiğimizde ise ağ daha iyi bir performans gösterebilir.

KAYNAKLAR

- 1- Yun Y., Xia Y., (2013), “*A Method for Deciding Node Densities in Non-uniform Deployment of Wireless Sensors*”, 11th International Symposium and Workshops on Modeling and Optimization in Mobile Ad Hoc and Wireless Networks, pp. 1-8.
- 2- Poe W. Y., Schmitt J. B., (2009), “Node Deployment in Large Wireless Sensor Networks: Coverage, Energy Consumption, and Worst-case Delay”, ACM Proceeding of Asian Internet Engineering Conference, pp. 77-84
- 3- H. Cotuk, KI Bicakci, B. Tavli, and E. Uzun., (2013). “the impact of transmission power control strategies on lifetime of wireless sensor networks”. IEEE Transactions on Computers, 63(11), 2866-2879
- 4- B.Tavli,K. Bicakci,I. E. Bagci,, Z. Pala,(2013). “Neighbor sensor networks: Increasing lifetime and eliminating partitioning through cooperation”. Computer Standards & Interfaces 35 (2013) 396–402
- 5- Rao J., Biswas S., (2010), “*Network-assisted sink navigation for distributed data gathering: Stability and delay-energy trade-offs*”, Computer Communications, vol. 33, no. 2, pp. 160–175.
- 6- Xie L., Hou Y. T., Sherali H. D., (2012), “*Making Sensor Networks Immortal: An Energy-renewal Approach with Wireless Power Transfer*”, IEEE Transactions on Networking, vol. 20, no. 6, pp. 1748-1761.
- 7- Azad A. K. M., Kamruzzaman J., (2011), “*Energy-balanced Transmission Policies for Wireless Sensor Networks*”, IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 10, no. 7, pp. 927–940.
- 8- Liu A. F., Wu X. Y., Chen Z. G., Gui W. H., (2010), “Research on the Energy Hole Problem Based on Unequal Cluster-radius for Wireless Sensor Networks”, Computer Communications, vol. 33, no. 3, pp. 302-321.
- 9- Wang D., Xie B., Agrawal D. P., (2008), “Coverage and Lifetime Optimization of Wireless Sensor Networks with Gaussian Distribution”, IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 7, no. 12

- 10- Bista R., Kim Y., Choi Y., Chang J., (2009), "A New Energy-balanced Data Aggregation Scheme in Wireless Sensor Networks", IEEE International Conference on Computational Science and Engineering, pp. 558-563.
- 11- Biagoini E. S., Sasaki G., (2002), "Wireless Sensor Placement for Reliable and Efficient Data Collection", IEEE Proceedings of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 1-10.
- 12- Chong C., Kumar S., (2003), "Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges", Proceedings of the IEEE, vol. 91, no. 5, pp. 1247-1256.
- 13- Akyildiz I. F., Weilian S., Sankarasubramaniam Y., Georgia E. C., (2002), "A Survey on Sensor Networks", IEEE Communications Magazine, pp. 102-114.
- 14- Min R., Bhardwaj M., Cho S., Shih E., Sinha A., Wang A., Chandrakasan A., (2001), "Low-power Wireless Sensor Networks", In Proceedings of the 14th International Conference on VLSI Design, pp. 1-6.
- 15- Rao J., Biswas S., (2010), "Network-assisted Sink Navigation for Distributed Data Gathering: Stability and Delay-energy Trade-offs", Computer Communications, vol. 33, no. 2, pp. 160-175.
- 16- Misra, S., Woungang, I., Misra, S. C. (2009). Guide to Wireless Sensor Networks 2009 Springer
- 17- Xie L., Hou Y. T., Sherali H. D., (2012), "Making Sensor Networks Immortal: An Energy-renewal Approach with Wireless Power Transfer", IEEE Transactions on Networking, vol. 20, no. 6, pp. 1748-1761.
- 18- Chong C., Kumar S., (2003), "Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges", Proceedings of the IEEE, vol. 91, no. 5, pp. 1247-1256
- 19- Mainwaring A., Culler D., Polastre J., Szewczyk R., Anderson J., (2002), "Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring", ACM Proceedings of the 1st International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, pp. 88-97.
- 20- D. Chen and P. Varshney, "QoS support in wireless sensor networks: A survey," June 2004.

- 21- F. Hu and N. K. Sharma, "Security considerations in ad hoc sensor networks," *Ad Hoc Netw.*, vol. 3, no. 1, pp. 69–89, 2005.
- 22- C. Karlof and D. Wagner, "Secure routing in wireless sensor networks: Attacks and countermeasures," *Elsevier's AdHoc Netw. J., Special Issue Sensor Netw. Appl. Protocols*, vol. 1, no. 2–3, pp. 293–315, Sept. 2003.
- 23- X. Chen, K. Makki, K. Yen, and N. Pissinou, "Sensor network security: A survey," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 11, no. 2, pp. 52–73, 2009.
- 24- Joseph P., Robert S., Alan M., David C., John A. "ANALYSIS OF WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR HABITAT MONITORING" chapter 18
- 25- CodeBlue project., Harvard University, Alındığı tarih 27.06.2012, Adres: <http://fiji.eecs.harvard.edu/CodeBlue>
- 26- Wang, X., Xing, G., Zhang, Y., Lu, C., Pless, R., and Gill, C. 2003. Integrated coverage and connectivity configuration in wireless sensor networks. In 1st ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (ACM SenSys 2003). Los Angeles, CA, 28-39
- 27- Tian D., Georganas N. D., (2002), "A Coverage-preserving Node Scheduling Scheme for Large Wireless Sensor Network", In Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, pp.32-41
- 28- Dietrich I., Dressler f., (2009), "On the Lifetime of Wireless Sensor Networks", *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, vol. 5, no. 1.
- 29- Rosenthal R. E., (2015), "GAMS: A User's Guide", GAMS Development Corporation, Washington, pp. 1-295
- 30- Chong C., Kumar S., (2003), "Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges", *Proceedings of the IEEE*, vol. 91, no. 5, pp. 1247-1256
- 31- Zeydin P.(2014) " Effects of Mica2-based discrete energy levels on the lifetime of cooperation neighbor sensor networks ", *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*.
- 32- Bista R., Kim Y., Choi Y., Chang J., (2009), "A New Energy-balanced Data Aggregation Scheme in Wireless Sensor Networks", *IEEE International Conference on Computational Science and Engineering*, pp. 558-563.

- 33- Martinez-sala A. S., Pardo J. M. M. G., Egea-lopez E., Vales-alonso J., Juanllacer L., Garcia-haro J., (2005), “*An Accurate Radio Channel Model for Wireless Sensor Networks Simulation*”, Journal of Communications and Networks, vol. 7, no. 4, pp. 401–407
- 34- Lin K., Chenb M., Zeadally S., Rodrigues J. J. P. C., (2012), “*Balancing Energy Consumption with Mobile Agents in Wireless Sensor Networks*”, Future Generation Computer Systems.
- 35- Cheng Z., Perillo M. A., Heinzelman W. B., (2008), “*General Network Lifetime and Cost Models for Evaluating Sensor Network Deployment Strategies*”, IEEE Transactions on Mobile Computing, pp. 484-497.
- 36- Hellman K., Colagrosso M., (2006), “*Investigating a Wireless Sensor Network Optimal Lifetime Solution for Linear Topologies*”, Journal of Interconnection Networks, vol. 7, no. 1, pp. 91-99.
- 37- Zhao Y., Wu J., Li F., Lu S., (2012), “*On Maximizing the Lifetime of Wireless Sensor Networks Using Virtual Backbone Scheduling*”, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 23, no. 8, pp. 1528-1535.
- 38- Neskovic A., Neskovic N., Paunovic G., (2000), “*Modern Approaches in Modeling of Mobile Radio Systems Propagation Environment*”, IEEE Communications Surveys, pp. 2–12.
- 39- Yun Y., Xia Y., (2013), “*A Method for Deciding Node Densities in Non-uniform Deployment of Wireless Sensors*”, 11th International Symposium and Workshops on Modeling and Optimization in Mobile Ad Hoc and Wireless Networks, pp. 1-8.
- 40- Wang F., Wang D., Liu J., (2011), “*Traffic-aware Relay Node Deployment: Maximizing Lifetime for Data Collection Wireless Sensor Networks*”, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 22, no. 8, pp. 1415–1423.
- 41- Sharmila D., Sujitha R., Rajkumar G., (2013), “*On Improving the Lifetime of Wireless Sensor Networks Using Virtual Scheduling Backbone Replacement*”, IEEE Proceedings of Conference on Information and Communication Technologies.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mohammed Akram Ismail Algarbalje
Uyruğu : Irak
Doğum Yeri ve Tarihi : Kerkuk 06.04.1979
Medeni Hali : Evli
Adres : Dikmen –Ata yol Sok 20/6
E-Posta Adresi : aksa.kirkuk@yahoo.com
İletişim (Telefon) : 00905356584915

EĞİTİM

Lise : Kerkuk lisesi / Irak - Kerkuk
Lisans : Bilgisayar Mühendisliği / Irak - Mousal
Yüksek Lisans : Türk Hava Kurumu Üniversitesi

MESLEKİ DENEYİM

2004- : Bilgisayar Mühendisi /Irak Elektrik Bakanlığı

DİLLER

Arapça, Türkçe, İngilizce