

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EŞİT MESAFELİ ÇOK SEKMELİ KABLOSUZ ALGILAYICI
AĞLARDA DÜĞÜM SAYISI OPTİMİZASYONU VE
UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali Soner KILINÇ

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Nükhet SAZAK

Şubat 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


EŞİT MESAFELİ ÇOK SEKMELİ KABLOSUZ ALGILAYICI
AĞLARDA DÜĞÜM SAYISI OPTİMİZASYONU VE
UYGULAMASI

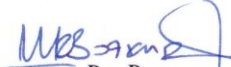
YÜKSEK LİSANS TEZİ


Ali Soner KILINÇ

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK

Bu tez 02.02.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr.
Nükhet SAZAK
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Mehmet Recep BOZKURT
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Burhanettin DURMUŞ
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Ali Soner KILINÇ

02.02.2018

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Nükhet SAZAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca yanımda olan, beni destekleyen, motivasyonumu kaybettiğim zamanlarda teşvik eden babam, annem, amcam ve kıymetli eşime teşekkür ederim.

Ayrıca destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çalışma arkadaşlarıma da teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

LİNEER KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR VE UYGULAMA ALANLARI	4
2.1. Giriş	4
2.2. Kablosuz Algılayıcı Ağların Uygulama Alanları	4
2.2.1. Askeri uygulamalar	4
2.2.2. Çevresel uygulamalar	5
2.2.3. Sağlık uygulamaları	6
2.2.4. Akıllı ev uygulamaları	7
2.2.5. Endüstri uygulamaları	7
2.2.6. KAA'ların diğer uygulama alanları	8
2.3. Lineer Kablosuz Algılayıcı Ağlar	8
2.4. Lineer Kablosuz Algılayıcı Ağ Uygulama Alanları	9
2.4.1. Petrol, gaz ve su boru hatlarının izlenmesi	9
2.4.2. Demir yollarının izlenmesi	10

2.4.3. Enerji nakil hatlarının izlenmesi	11
2.4.4. Karayollarının izlenmesi	12
2.4.5. Sınır izleme	12
2.4.6. Yer altı işletmelerinin izlenmesi	13
2.4.7. Tarımsal izleme	15
2.4.8. Köprü izleme	15
2.4.9. Kıyı şeridi izlenme	16

BÖLÜM 3.

LİNEER KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN SINIFLANDIRILMASI	18
3.1. Giriş	18
3.1.1. Topolojik sınıflandırma	19
3.1.2. Hiyerarşik sınıflandırma	20
3.2. Lineer Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Düğüm Aralıklarının Güç Tüketimine Etkisi	21

BÖLÜM 4.

UYGULAMA PROGRAMI VE YÖNTEM	23
4.1. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Tek-Sekmeli ve Çok-Sekmeli İletişim ...	23
4.1.1. Tek-sekmeli iletişim	23
4.1.2. Çok-sekmeli iletişim	24
4.2. Güç Tüketim Modeli	25
4.2.1. Haberleşme modülü güç tüketim modeli	25
4.2.2. Haberleşme kanal modeli	27
4.2.3. Basit güç tüketim modeli	27
4.3. Çok- Sekmeli Güç Tüketim Modeli	28
4.4. Uygulama Programı Tasarımı	30
4.4.1. Giriş	30
4.4.2. Uygulama programının ortaya çıkışı	31
4.4.3. Akış diyagramı ve uygulama programının çalışma prensibi	32
4.4.4. Uygulama programı veri giriş ve çıkış ekranlarının açıklanması.	34

4.5. Analitik Çalışma	36
4.5.1. Denklemlerin elde edilmesi	36
4.6. Optimum Sekme Sayısı Hesabının Kazanımları	37
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	39
KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	43

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Alıcı ve verici antenlerin özelliklerine bağlı parametre
b	: Bir kümedeki algılayıcı sayısı
CH_i	: i. kaynak düğümü
d_{min}	: İhtiyaç duyulan minimum düğüm sayısı
E_{elec}	: İletim ve yayındaki enerji tüketim değeri
H	: Hedef düğüm
I_{nmin1}	: Minimum sekme sayısında bir düğümün çektiği ortalama akım
I_{nopt1}	: Optimum sekme sayısında bir düğümün çektiği ortalama akım
K	: Kaynak düğüm
KAA	: Kablosuz algılayıcı ağ
k	: Bir düğüm tarafından toplanan veri
L	: Gözetlenen demir yolunun uzunluğu
LKAA	: Lineer kablosuz algılayıcı ağ
LWSN	: Linear wireless sensor network
LNA	: Düşük gürültülü yükselteç
m	: Metre
mA	: Miliamper
mAh	: Miliamper saat
mW	: Miliwatt
N	: Kaynak düğüm sayısı
n	: Sekme sayısı
n_{min}	: İhtiyaç duyulan minimum sekme sayısı
n_{opt}	: Optimum sekme sayısı
P_A	: Verici yükselticinin harcadığı güç
P_{DC}	: Giriş gücü
P_{R0}	: Bir algılayıcı düğümün veri alırken tükettiği güç

P_{RB}	: İşlemci ile alıcı haberleşmesinde harcanan güç
P_{Tx}	: Güç yükseltici tarafından antene iletilen güç
P_{Rx}	: Antenden gelen ve düşük gürültülü yükseltece iletilen güç
P_{max}	: Maksimum çıkış gücü
P_{TRF}	: Verici ile yükseltici haberleşmesinde harcanan güç
P_{RRF}	: Alıcı ile yükseltici haberleşmesinde harcanan güç
P_L	: Alıcı yükselticinin harcadığı güç
P_{TB}	: İşlemci ile verici haberleşmesinde harcanan güç
P_T	: Sistemin toplam güç tüketim değeri
P_{T0}	: Bir algılayıcı düğümün veri iletirken tükettiği güç
P_{nmin}	: Minimum sekme sayısındaki sistemin güç tüketim değeri
P_{nopt}	: Optimum sekme sayısındaki sistemin güç tüketim değeri
P_{nmin1}	: Minimum sekme sayısında her bir düğümün güç tüketim değeri
P_{nopt1}	: Optimum sekme sayısında her bir düğümün güç tüketim değeri
P_{Rx-min}	: Veri almak için ihtiyaç duyulan minimum güç
RF	: Radyo dalgası
S_{opt}	: İhtiyaç duyulan optimum düğüm sayısı
T_{nmin1}	: Minimum sekme sayısında her bir düğümün çalışma ömrü
T_{nopt1}	: Optimum sekme sayısında her bir düğümün çalışma ömrü
WSN	: Wireless sensor network
ϵ_{fs}	: Verici yükselticisinin harcadığı güç
η	: Savak verimi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Boru hatlarında kablosuz algılayıcı ağların kullanımı	10
Şekil 2.2. Yer altı işletmelerinde kablosuz algılayıcı ağların kullanımı	14
Şekil 3.1. Lineer kablosuz algılayıcı ağların sınıflandırılması	19
Şekil 4.1. Tek-sekmeli iletişim	24
Şekil 4.2. Çok-sekmeli iletişim	25
Şekil 4.3. Haberleşme modül yapısı	26
Şekil 4.4. Çok-sekmeli rastgele aralıklı 1-B lineer KAA modeli	28
Şekil 4.5. Çok-Sekmeli eşit aralıklı 1-B lineer KAA modeli	29
Şekil 4.6. R=760m, R=1000m ve R=1200m için Sekme Sayısına göre Güç Tüketim Grafiği	31
Şekil 4.7. Akış diyagramı	33
Şekil 4.8. Veri giriş ekranı	34
Şekil 4.9. Sekme sayıları ve güç tüketim değerleri	35
Şekil 4.10. Uygulama program çıktı ekranı	35

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Teorem parametre açıklamaları	22
Tablo 4.1. Farklı ortamlar için yol kaybı kuvveti değerleri tablosu	30

ÖZET

Anahtar kelimeler: Lineer kablosuz algılayıcı ağlar, çok-sekmeli iletişim, optimum güç tüketimi

Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA'lar) günümüzde askeri uygulamalardan, sağlık uygulamalarına, çevresel gözlem uygulamalarından su altı uygulamalarına, endüstriyel uygulamalardan habitat izleme uygulamalarına kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Kablosuz algılayıcı ağların düşük maliyette olması, erişimin zor olduğu bölgelere rahatlıkla yerleştirilebilmesi, bakıma ihtiyaç duymadan uzun süre çalışabilmesi, az yer kaplaması, kablolamaya ihtiyaç duymaması gibi avantajlarından dolayı kullanım alanları ve popülerliği her geçen gün artmaktadır. KAA'ların kullanımı hızla artarken sistemlerin yaşam sürelerini arttırmak için birçok çalışma yapılmaktadır. Erişiminin zor ve maliyetli olduğu KAA uygulamalarında pillerin değişimi veya şarj edilmesi çoğu zaman olası değildir. Bu sebeple düğümlerin ve dolayısıyla sistemin mümkün olan en fazla süre hayatta kalması hedeflenmektedir. KAA'larda güç tüketim değerleri kaynak ile hedef arasındaki mesafe, düğümler arasındaki mesafe, veri gönderim ve alım yoğunluğu, düğüm yerleşim şekilleri, iletişimdeki sekme yapısı gibi parametrelere bağlı olduğundan çalışmalar alt dallara ayrılarak ilerlemektedir.

Bu tezde eşit mesafeli yerleştirilmiş düğümlerden oluşan çok-sekmeli Lineer KAA sisteminin minimum güç tüketiminde kullanılması gereken düğüm ve sekme sayısını veren matematiksel model ve uygulama programı geliştirilmiştir. Uygulama programı iki mesafe arasındaki minimum güç tüketimi için gereken sekme sayısını, düğüm sayısını ve güç tüketim değerini vermektedir. Uygulama programı aynı zamanda ihtiyaç duyulan minimum düğüm sayısını ve bu düğüm sayısındaki güç tüketim değerini de çıktı olarak vermektedir. Uygulama programının yanında optimum sekme sayısının hesaplanması için matematiksel yöntem de geliştirilmiştir.

NODE NUMBER OPTIMIZATION AND APPLICATION IN EQUIDSTANT MULTI-HOP WIRELESS SENSOR NETWORKS

SUMMARY

Keywords: Linear wireless sensor networks, multi-hop communication, optimum power consumption

Nowadays, Wireless Sensor Networks (WSNs) have been used in many areas from military applications, to environmental monitoring from industrial applications to habitat monitoring applications. The use and popularity of wireless sensor networks have been growing day by day thanks to the advantages of the low cost installing sensors in places where are difficult to reach, long time operation without maintenance, occupying very little space, no need for cabling. While the use of wireless sensor networks is rapidly increasing, many studies have been conducted to increase the life span of the systems. Replacement or recharging of batteries is often not feasible in WSN applications where it is either difficult or not cost effective to access. For this reason, it is aimed that the nodes and thus the system survive as long as possible. In WSNs, the studies are divided into sub-branches because power consumption values depend on some parameters such as distance between source and destination, the distance between nodes, data sending and receiving density, node deployment schemes layout, hop structure in communication.

In this thesis, a mathematical model and application program which give the number of nodes and hops to be used for minimum power consumption in a multi-hop linear WSN system consisting of equally spaced nodes were developed. The application program gives the required number of hops, number of nodes and power consumption value for minimum power consumption over a given distance. The application program also gives the minimum required number of nodes and the power consumption value for the minimum required number of nodes as output. In addition to the application program, a mathematical method was developed to calculate the optimal number of hops.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1947 yılında transistörün icadı ile temelleri atılan, 70'li yıllarda mikroişlemcilerin icadı ile gelişimi hızlanan mikro-elektronik, günümüzde nano seviyelere ulaşmıştır. Silikon teknolojilerinin hızla gelişmesi yeni uygulamalar için gerekli altyapının oluşmasını sağlamıştır. Küçülen gömülü entegreler ve algılayıcılar bir araya gelerek algılayıcı düğümleri, algılayıcı düğümler de bir araya gelerek algılayıcı ağları oluşturmuştur. Algılayıcı ağlar ilk etapta kablolu olarak kurulan ağlardan oluşsa da pil teknolojilerinin gelişmesi, kablosuz iletim protokollerinin oluşması, gömülü entegrelerin küçülüp, düşük güç tüketim değerlerine ulaşması gibi etkenlerden dolayı kablosuz algılayıcı ağlara geçişi sağlamıştır.

Kablosuz Algılayıcı Ağların (KAA) ilk uygulama alanı askeri uygulamalar olmuş ancak sistemlerin gelişmesi ile ihtiyaçlara uygun ağ sistemleri ortaya çıkmıştır. Son yıllarda habitat izleme, akıllı ev uygulamaları, tarımsal uygulamalar, sağlık uygulamaları, endüstriyel uygulamalar gibi birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. KAA'ların uygulama alanı her geçen gün artmaktadır.

KAA'ların kullanım alanları günden güne artarken öte yandan algılayıcı düğümlerinin daha uzun süre hayatta kalabilmeleri üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. KAA'ların enerji kısıtlı düğümlerden oluşması, bu düğümlerin yerleştirildiği yerlere ulaşmanın zorlu ve zahmetli olması yüzünden pilleri değiştirmek veya şarj etmek çoğu zaman mümkün olamamaktadır. Verilerin daha uzun süre alınabilmesi için kullanılacak düğümün ve sistemin mümkün olan en uzun yaşam ömrüne sahip olması istenmektedir. Yaşam süresinin uzun olması istenen ancak güç kaynağı kısıtlı olan bu sistemler için güç tüketiminin optimum düzeyde tutulması gerekmektedir. Günümüzde KAA'lar üzerinde yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu düğümlerinin yaşam süresini arttırmak üzerinedir. Ancak yapılan çalışmalar düğümlerde kullanılan gömülü entegreler ve algılayıcıların güç tüketim değerlerine,

veri uzunluğuna, veri gönderim ve alım yoğunluğuna, düğüm yerleşimleri gibi birçok parametreye bağlı olduğundan çalışmalar özelleşmiş olarak ilerlemektedir.

Lineer Kablosuz Algılayıcı Ağlar ise, KAA'ların özelleşmiş alt sistemlerinden bir tanesidir. Düğüm sayısının çok fazla olduğu demiryolu izleme, otoyol izleme, boru hattı izleme, sınır izleme gibi uygulamalarda algılayıcıların aynı hat üzerine yerleştirilmesiyle oluşan ağ sistemleri lineer kablosuz algılayıcı ağlar olarak adlandırılmaktadır. Bu uygulamalarda da diğer kablosuz algılayıcı ağ sistemlerinde olduğu gibi g tktm değerinin çok düşük olması hedeflenmektedir. Ancak kurulum maliyeti olarak yüksek değerlerde olmasından dolayı algılayıcı düğümlerinin optimum sayıda olması gerekmektedir. Bu sebeple algılayıcı sayıları ve algılayıcı dizilimleri optimum olması amaçlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında kablosuz algılayıcı ağlarla izleme yapılırken düğüm sisteminin yaşam süresinin maksimum olması için gereken düğüm sayılarını hesaplayan uygulama ve matematiksel modelleme üzerine çalışılmıştır. Tez içinde mica2dot düğüm ailesinin donanımsal verileri kullanılmıştır. Geliştirilen uygulama ile minimum güç tktmi için gerekli optimum düğüm sayısı hesaplanmaktadır. Aynı zamanda minimum güç tktm değerindeki sekme sayısı, g tktm miktarı, her bir düğüm arasındaki mesafe gibi parametreler de çıktı olarak verilmektedir. Geliştirilen matematiksel model ile de optimum düğüm sayısı hesaplanabilmektedir. Geliştirilen uygulama çok sayıda algılayıcı dğm içeren demiryolu, otoyol izleme, sınır hatlarının izlenmesi, maden işletmeleri ve boru hatlarının izlenmesi gibi alanlarda minimum kurulum maliyeti ve sistem için en uzun yaşam süresini sağlayacak olan verileri hesaplanmaktadır.

Bölüm 2'de genel olarak kablosuz algılayıcı ağlar ve uygulamalarından söz edildikten sonra lineer kablosuz algılayıcı ağlar ve onların uygulama alanlarından örnekler verilerek bahsedilmektedir. Bölüm 3'de lineer kablosuz algılayıcı ağların (LKAA) hiyerarşik ve topolojik sınıflandırılmaları hakkında bilgiler verilmektedir. Son olarak LKAA'da düğüm aralıklarının g tktmine etkisi teoremi açıklanmaktadır. Bölüm 4'de Kablosuz Algılayıcı Ağlarda tek-sekmeli, çok sekmeli

haberleşme türlerinden söz edilmektedir. Geliştirilen uygulama ve matematiksel yöntem yer almaktadır. Tezde kullanılan güç tüketim modeli hakkında açıklamalar yapılarak ilgili matematiksel denklemler belirtilmektedir. Uygulamanın tasarımı akış diyagramı ve açıklamaları ile matematiksel yönteme ilişkin ayrıntılar da bu bölümde bulunmaktadır. Bölüm 5’de tez çalışması ile elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, çalışmanın gelecekteki hedeflerine dair görüşlere yer verilmektedir.

BÖLÜM 2. LİNEER KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR VE UYGULAMA ALANLARI

2.1. Giriş

İzleme, gözetleme gibi amaçlarla birbirleri ile kablosuz olarak haberleşen ve organize olabilen sistemlere kablosuz algılayıcı ağ sistemleri denir. Teknolojinin gelişmesi, elektronik komponentlerin küçülmesi ve düşük güç tüketimleri ile kablosuz algılayıcı ağların gelişimi de hızlanmıştır. Algılayıcıların çeşitliliğinin artması, küçük olması, çok düşük güç tüketmeleri, bakım maliyetlerinin düşük olması ve güvenilir olmasından dolayı kullanım alanları da hızla artmaktadır. Her geçen gün uygulama örnekleri çoğalmaktadır.

2.2. Kablosuz Algılayıcı Ağların Uygulama Alanları

2.2.1. Askeri uygulamalar

Kablosuz algılayıcı ağlar, askeri komuta, kontrol, iletişim, bilgi işlem, istihbarat, gözetim, keşif ve hedefleme gibi askeri uygulamalarda kullanılmaktadır. Hızlı dağıtım, kendi içinde organize olma, altyapıya ihtiyaç duymama nedenlerinden dolayı askeri alanda önemli bir izleme tekniği haline gelmektedir. Yoğun yerleşimli algılayıcıların olduğu savaş alanında bir sensör düğümünün karşı kuvvetler tarafından yok edilmesi, kablosuz ağlarda olduğu gibi izleme sistemini bütünüyle koparmaz [1]. Kablosuz algılayıcı ağlar aynı zamanda savaş alanlarında dost birliklerin ekipmanlarının mevcudiyetini ve durumunu izlemek için de kullanılabilir. Her kritik araç ve muhimmat algılayıcı ağlarla birbirine bağlanarak komutanlara ve birlik liderlerine gönderilir böylece savaş alanı sürekli izlenebilir. Ayrıca kritik bölgeler, yaklaşma alanları, yollar, geçitler algılayıcı ağlarla donatılarak düşman

güçleri izlenebilir. KAA ile keskin nişancı yer tespiti ile ilgili uygulamalar da yapılmaktadır. Bunların yanı sıra kimyasal ve biyolojik saldırıların tespiti için de kablosuz algılayıcı ağlar kullanılabilir [2].

2.2.2. Çevresel uygulamalar

KAA sistemlerinin günümüzde en çok kullanım alanlarının başında çevresel uygulamalar gelmektedir. Genellikle izlemesi zor olan şartların takibi için KAA sistemleri kurulum, maliyet açısından en uygun yöntemdir.

Ormanlar izlemesi en zor alanların başında gelmektedir. Ağaçlardan ve ormanların fiziki yapılarından dolayı kablolu bir sistem kurulumu ve sistemin daha sonrasındaki bakımı için uygun değildir. Orman yangınlarının takibi çoğu zaman mümkün olmamakta ya da tespiti yapılana kadar geniş alanlara yayılmaktadır. Ormanlara ya da gerekli kritik bölgelere kurulan KAA sistemleri ile yangınlarının takibi yapılabilmektedir. Yangının yerinin tespit edilmesinin ardından hızlı müdahaleye imkan sağlanmaktadır. Rüzgar ve hava şartlarının takibi de KAA sistemi ile yapılarak yangının büyümesi engellenebilmektedir. Orman içindeki habitatın, yaşam çeşitliliğinin takibi uygulamalarında da KAA sistemleri kullanılmaktadır. Nehir, göl, akarsu gibi yaşam alanlarının izlenmesi ve habitat çeşitliliği haritasının çıkarılması gibi uygulamalarda son yıllarda KAA sistemleri kullanılmaktadır.

Buzullar son yılların önemli sorunlarından birisi haline gelmiştir. Buzullardaki erimeler hem o bölgelerdeki doğal yaşamı etkilemekte hem de dünyadaki su seviyelerinin yükselmesine neden olmaktadır. Bu nedenle buzulların izlenmesi ve araştırmalar yapılması önemli hale gelmiştir. Bu izleme ve takip için de KAA'lar kullanılmaktadır. Southampton Üniversitesi'nden araştırmacılar, Norveç'te sorun çıkarabilecek kablolar olmadan, kablosuz algılayıcılar kullanarak bir buzulu izlemek için buz içine algılayıcı düğümler yerleştirerek buzul verileri toplamaktadır [3].

Bunların yanı sıra sulardaki kirliliğin izlenmesi, toprak erozyonunun takibi gibi uygulamalarda da KAA'lar kullanılmaktadır. Tarımsal uygulamalarda da KAA

sistemlerin kullanımı son yıllarda hızla artmaktadır. Tarlalar ve bahçeler için nem, sıcaklık, ilaç seviyesi gibi parametrelerin takibi KAA sistemleri ile yapılmaktadır.

Çığ riskinin olduğu yerlere yerleştirecek algılayıcı sistemler ile erken uyarı ve hızlı müdahale için KAA sistemleri kullanılmaktadır. İsviçredeki teknik üniversite olan EFPL'den araştırmacılar İtalya ile İsviçre arasındaki dağ yolunda çığ sebebi ve kaza ile ölümlerin önüne geçmek için kablosuz algılayıcı ağ sistemi kurmuşlardır [3].

2.2.3. Sağlık uygulamaları

Kablosuz iletişim standartlarının gelişmesi ve algılayıcıların küçülmesi, hassasiyetlerinin artması ile KAA'larla sağlık alanında çok önemli uygulamalar geliştirilmektedir. Hastaların yaşam kalitelerini arttırmak ve sağlık hizmetlerinde kaliteyi arttırmak için kullanılmaktadır. Kablosuz ağ algılayıcıları ile donatılan bir hastanın doktorunun sürekli olarak yakınında olması durumu ortadan kalkmaktadır. Hasta ile ilgili gerekli bilgiler algılayıcılar aracılığı ile doktoruna iletilmektedir [4].

Sensör ağları hastaların fiziksel durumlarının anlık olarak takibi, hastaların sağlık verilerinin takibi, hastaların hastane içi yer tespiti, ilaç takibi, doktorların hastaların sağlık durumlarının anlık olarak takibi gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. KAA'lar ile saniyeler içinde hastanın durum tespiti yapılabilmekte ve müdahale için gereken zamanları kısaltmaktadır. Ayrıca hasta uzakta iken gerekli verilerin istenen aralıklarda kaydını tutabilmektedir. Son yıllarda kullanımı hızla artan akıllı saatler mini KAA sisteminin en güzel uygulamalarındandır.

Bunların yanı sıra deney hayvanlarının izlenmesi için KAA'lar en uygun yöntem olarak görünmektedir. Sürekli olarak kablolu cihazlara bağlı olmadan normal yaşam rutininde denek hayvanlarının rahatlıkla gözetlenmesi, verilerin alınması ve gerektiğinde uzaktan müdahale edilmesi için KAA'ların kullanımı mümkündür.

2.2.4. Akıllı ev uygulamaları

Teknolojinin ilerlemesi ile ev otomasyon sistemleri de hızla gelişmiştir. Ancak kablolu sistemler ev otomasyonu için uygun değildir. Kablolu sistem tasarımlarında sistemin toplam maliyetinin %50-90'ını kablolama maliyetleri oluşturmaktadır. Kablosuz algılayıcı ağların kullanımı maliyetleri aşağıya çekmektedir [5].

Algılayıcıların klima, kombi, fırın, televizyon gibi elektronik eşyaların içine yerleştirilmesi ile uzaktan kontrolü yapılabilmektedir. Ayrıca elektronik kapılar, aydınlatmalar, perdeler içine yerleştirilen algılayıcılar aracılığı ile kontrol edilebilir bir hale gelmektedir. Doğalgaz kaçaqları, elektrik kesintileri, su kesintileri, pencere kontrolleri de algılayıcılar aracılığı ile yapılabilmektedir. KAA sistemleri akıllı binalar ve evler için de uygun yöntem olarak görünmektedir. Her geçen gün ev otomasyonunda KAA sistemlerinin uygulamaları artmaktadır.

Otel, iş yerleri, hastane gibi yerlerde sıcaklık, hava akışı, gün ışığına göre sistemlerin ısıtma, soğutma, aydınlatma sistemlerini optimize eden kablosuz algılayıcı uygulamalar da yapılmaktadır. Bu sistemler sayesinde güç tasarrufunun yanı sıra, ortam şartları en verimli seviyelerde tutulabilmektedir.

2.2.5. Endüstri uygulamaları

KAA'ların uygulama alanlarının en yoğun olduğu ve kullanım alanı en hızlı uygulamalar endüstri uygulamalarıdır. Endüstriyel otomasyonda özellikle güvenilirlik ve gerçek zamanlı izlenebilirlik uygulamalar için önemlidir [6].

Hareket halindeki makine, teçhizatların izlenmesinde, verilerin kontrol edilmesinde kablolu sistemlerin kullanımı mümkün değildir. Bu sebeple KAA sistemlerinin fabrika, sanayi tesisi, depo gibi yerlerde kullanımı uygundur. KAA'lar endüstriyel alanda, malzeme yoğunluğu izleme, ürün kalitesinin izlenmesi, otomatik üretimlerde izleme ve kontrol, depo takibi, fabrika üretim takibi, tank seviye kontrolleri gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

2.2.6. KAA'ların diğere uygulama alanları

Demiryollarının izlenmesi, enerji nakil hatlarının izlenmesi, volkanların izlenmesi, su, petrol, doğalgaz boru hatlarının izlenmesi, heyelan algılama, sismik hareket algılama, sel su baskınları izleme, hava durumu izleme, yağış izleme, hava kirliliği izleme, kıyı şeritlerinin izlenmesi, hayvan popülasyonu izleme uygulamaları kablosuz algılayıcı ağlarla yapılan ve her geçen gün uygulama örnekleri artan uygulama alanlarıdır.

2.3. Lineer Kablosuz Algılayıcı Ağlar

Uygulama alanları her geçen gün artan kablosuz algılayıcı ağların kullanım alanlarını etkileyen en önemli parametre yaşam süresidir. Yaşam sürelerini etkileyen düğüm yerleşimi, donanımsal etkenler, veri yoğunluğu, düğümler arası mesafeler, çevresel koşullar gibi birçok etken bulunmaktadır. Etkenlere bağlı olarak düğümlerin ve bütün sistemin yaşam süresi değişmektedir. Bu sebeple etkenlere bağlı olarak uygulamalara özel şartlar oluşmuştur. Yaşam süresinin optimum seviyede olacağı ve düğüm sayılarının çok fazla olduğu özel uygulamalarda kullanılmak üzere ortaya çıkan KAA çeşidi, Lineer Kablosuz Algılayıcı Ağlar olarak isimlendirilmektedir.

Algılayıcıların lineer biçimde dizildiği kablosuz algılayıcı ağlar, lineer kablosuz algılayıcı ağlar (LKAA) olarak tanımlanmaktadır [7]. Lineer kablosuz algılayıcı ağların ortaya çıkmasındaki en önemli sebep kurulum ve bakım maliyetlerini azaltmak, ağ güvenliğini arttırmak, hata toleransını düşürmek, algılayıcıların yaşam ömürlerini uzatmak olarak belirlenmiştir [7].

LKAA'lar geniş alanlara ve uzun mesafelere yayılmış, tren yolu gözetimi, boru hatlarının izlenmesi, maden sahalarının takibi, kıyı şeritlerinin izlenmesi, otoyolların izlenmesi gibi düğüm sayısının fazla olduğu aynı zamanda lineer yerleşim için uygun olan uygulamalarda kullanılmaktadır. LKAA'larda algılayıcılar belirli mesafelerde dizilerek verileri birbirleri üzerinden hedefe ulaştırmaktadır. Algılayıcı ile hedef arasındaki mesafeler eşit olmaması durumu ya da eşit olması durumunda farklı güç

tüketim değerleri ortaya çıkmaktadır. Bu durumda uygulamada kullanılan algılayıcı çeşidine göre uygun yerleştirme yöntemi seçilmelidir.

2.4. Lineer Kablosuz Algılayıcı Ağ Uygulama Alanları

2.4.1. Petrol, gaz ve su boru hatlarının izlenmesi

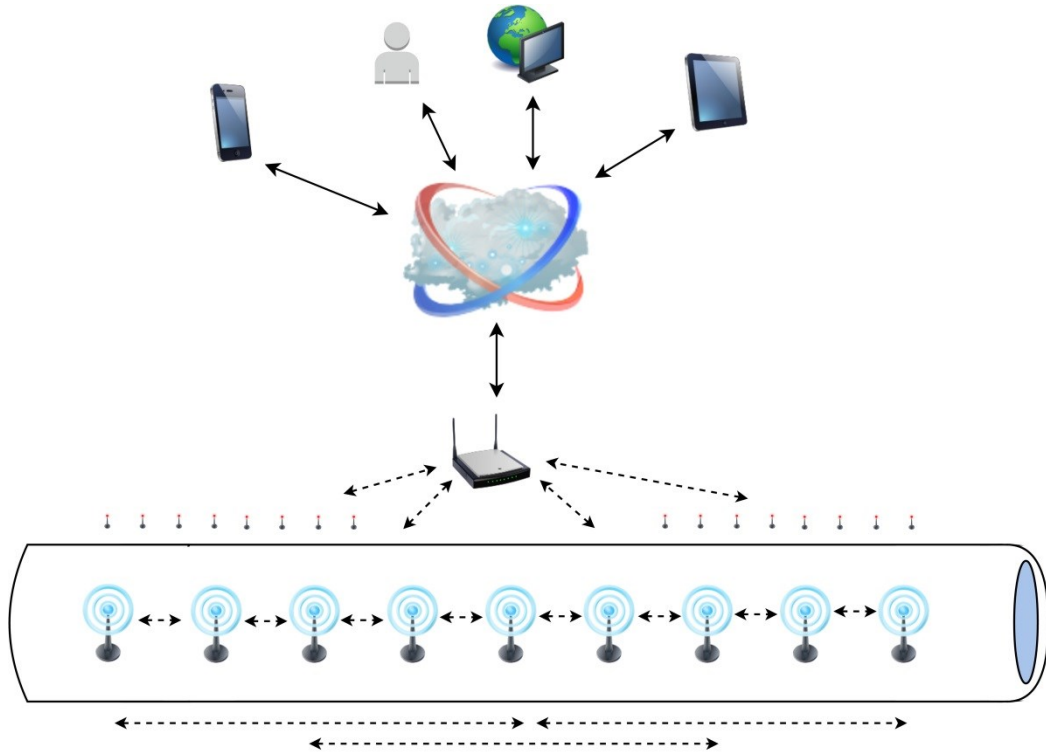
Lineer kablosuz algılayıcı ağların en önemli uygulama alanlarından birisi, boru hatlarının izlenmesidir. Boru hatları, taşıma maliyeti en düşük yöntemlerden birisidir. Dünya üzerinde boru hattı taşımacılığı binlerce kilometreyi bulmuştur. Boru hatları ile su, gaz ve petrolün bölgeler, ülkeler ve kıtalar arası taşınması yapılmaktadır. Bu boru hatlarının devamlılığı ekonomik ve sosyal olarak kritik öneme sahiptir. Örneğin Orta Doğu'da Riyad gibi 4 milyon insana ev sahipliği yapan büyük bir şehir, Suudi Arabistan'ın doğusundaki Shoabia tuzdan arıtma tesisinden uzun boru hatları ile aktarılan suya tamamen bağımlıdır. Suudi Arabistan bugün yaklaşık 3800 km arıtılmış su taşıma boru hattına sahiptir [7]. Ayrıca Birleşik Arap Emirlikleri 2580 km gaz boru hattına, 300 km likit petrol gazı boru hattına, 2590 km petrol boru hattına sahiptir.

Ancak bu boru hatlarının düzgün çalışmasını sağlamak için düzenli tetkik ve izleme gereklidir. Arızayı manuel olarak bulmak ve incelemek bu boru hatlarında zor ve zaman alıcı bir süreçtir. Ayrıca boru hatlarında sıcaklık, akışkan basıncı, akışkan hızı, metal korozyonu, fiziksel deformasyon, gaz sızıntısı gibi parametreleri de düzenli olarak takip etmek gerekmektedir [7].

Boru hatlarında oluşabilecek petrol hırsızlığı, terörizm sebebi ile boru hatlarının emniyetini sağlanması ve gerçek zamanlı kontrolünün yapılması da gerekmektedir. Örneğin 2002 yılında Kolombiya'da bulunan Cano Limon petrol boru hattına 900 saldırı olmuş, Kolombiya bu sebeple 2,5 milyon varil ham petrol kaybetmiştir. Irak'da boru hatlarının güvenliği büyük problem oluşturmaktadır [8].

Boru hatları genel olarak toprak altı, su altı ve yüzey boru hatları olarak sınıflandırılmaktadır. Her bir boru hattı sistemi için farklı algılayıcı kullanımı gerekmektedir.

Doğrusal ve çok uzun olan bu sistemler için LKAA düğüm sisteminin uygulanması verimlilik açısından en uygun yöntem olarak görülmektedir.



Şekil 2.1. Boru hatlarında kablosuz algılayıcı ağların kullanımı

2.4.2. Demir yollarının izlenmesi

Lineer kablosuz algılayıcı ağların uygulama alanlarından birisi de demir yollarının izlenmesi, kontrolü ve gözetimidir. Demir yollarının güvenliği her ülke ve kişi için önem arz etmektedir. Düzenli olarak izlenen demiryolları bakım-tamir kolaylığı sağlamasının yanı sıra kaza oranlarını düşürmektedir. Demir yollarının uzunlukları ve doğrusal bir formda olmaları, lineer kablosuz algılayıcı ağları bir çözüm olarak ortaya çıkarmaktadır [9]. Her uygulamada olduğu gibi bu uygulamada da maliyeti

düşürmek, bakımı en aza indirmek ve ölçeklenebilirliği artırmak adına kablosuz algılayıcı ağların kullanımını her geçen gün artırmaktadır.

2.4.3. Enerji nakil hatlarının izlenmesi

Enerji nakil hatlarında kablo kopmaları, enerji düşümleri, uzun mesafeli hatlarda uzun süren arıza yeri tespiti gibi sorunlar bulunmaktadır. Hat üzerindeki arızaların en kısa süre içinde giderilmesi ve son tüketicilerin kesintilerden, sorunlardan en az şekilde etkilenmesi gerekmektedir. Enerji nakil hatlarının anlık olarak bilgilerinin alınması, hatların kontrol altında olması demektir. Ancak yüzlerce kilometrelik hatların izlenmesi ve kısa sürede arıza tespiti yapıp müdahale edilmesi zor ve maliyetlidir. Ancak günümüzde enerji hatlarının anlık olarak takibi için kablosuz algılayıcı ağ sistemleri ile birçok proje geliştirilmeye başlanmıştır.

LKAA sistemlerinin en verimli kullanılacağı alanlardan biri, enerji nakil hatlarının izlenmesi uygulamaları olarak görülmektedir. Ek kablo ihtiyacı olmadan hat üzerindeki verilerin düzenli olarak alınması alınan verilere göre nakil hatlarına gerekli müdahalelerin yapılması hem işletmeci hem son kullanıcı tarafında faydalar sağlamaktadır. Elektrik nakil hatlarına kurulan algılayıcı ağlar enerji nakil hatlarından kaynaklı kesintileri öngörmek, elektrik hatlarındaki kopuklukların ve güç düşümlerin anlık olarak takibi için kullanılmaktadır. Hatların daimi olarak izlenmesi ile elde edilen veriler doğrultusunda olası arızaların öngörülerek gerekli bakım işlemlerinin yapılmasıyla kesintilerin azaltılması sağlanabilmektedir. Aynı zamanda kesintilere hızlı ve noktasal olarak müdahale etme imkanı sağlamaktadır. Ayrıca enerji nakil hattı uygulamalarında kullanılan algılayıcıların rüzgar, güneş ve birkaç farklı yol ile güç hasadı yaparak ihtiyacı olan enerjiyi elde edebilmesi üzerine de çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda uzun yıllar bakıma ve değiştirmeye ihtiyaç duymadan kendi kendine yetebilen sistemler geliştirilmiş olacaktır.

2.4.4. Karayollarının izlenmesi

Karayolları dünyada en çok kullanılan ulaşım yoludur. Yük taşımacılığı, yolcu taşımacılığı için en çok tercih edilen ulaşım yolunun başında gelmektedir. Ancak güvenilirlik bakımından havayolu, demiryolu ve denizyolu ulaşımından sonra gelmektedir. Günümüzde karayollarını güvenli hale getirebilmek adına birçok önlem alınmaktadır. Ancak alınan önlemler insan ve doğa faktörünün değişkenleri üzerinde etkin olamamaktadır. Belirlenen kuralların kontrolünün binlerce kilometreyi bulan karayollarında devamlı yapılması mümkün olmamaktadır. Ayrıca insan gücüne dayalı kontrol mekanizmaları önemli maliyet ve iş gücü gerektirmektedir.

Lineer kablosuz algılayıcı ağ sistemlerinin uygulama alanlarının başında karayolları uygulamaları gelmektedir. Uzun otoyollar boyunca yerleştirilmiş kablosuz algılayıcı düğümler trafik kurallarının denetimini sağlayabilecektir. Aynı zamanda trafik yoğunluğu durumunu tutabilecek, ortalama araç geçişleri bilgisini de vererek yapılacak yeni yatırımlarının öngörülmesini sağlayabilecektir. Bunların yanı sıra kazaların anlık olarak bilgisini de aktarabilecektir. Aynı zamanda hava sıcaklığı ve yağış durumu gibi bilgiler doğrultusunda sürücülerin uyarılması için gerekli verileri sağlayacaktır.

2.4.5. Sınır izleme

Günümüzün ülkeler için en önemli sorunlarından birisi sınır güvenliğini sağlamaktır. Özellikle uzun sınırlarda, yaşam popülasyonunun az olduğu yerlerde sınır güvenliğini sağlamak hayli zordur. Bu sınırların kontrolü için belirli kontrol noktaları ve birlikler bulundurulması gerekmektedir. Bu birlikler belirli sürelerde belirli aralıkların kontrollerini yapmaktadır. Ancak bu geleneksel yöntemler, zorlayıcı arazi koşulları ile birlikte büyük maddi harcamaların yanı sıra zaman kayıplarına da sebep olmaktadır. 8891 km olan Amerika-Kanada sınırı dünyanın en uzun sınırını oluşturmaktadır. Geleneksel yöntemler kullanılarak bu denli uzun sınırları sürekli gözlemek ve kontrol etmek neredeyse imkansızdır. Sınırların gözetlenememesi durumunda ise mal kaçakçılığı, yasa dışı göç, uyuşturucu sevkiyatı ve terörizm gibi

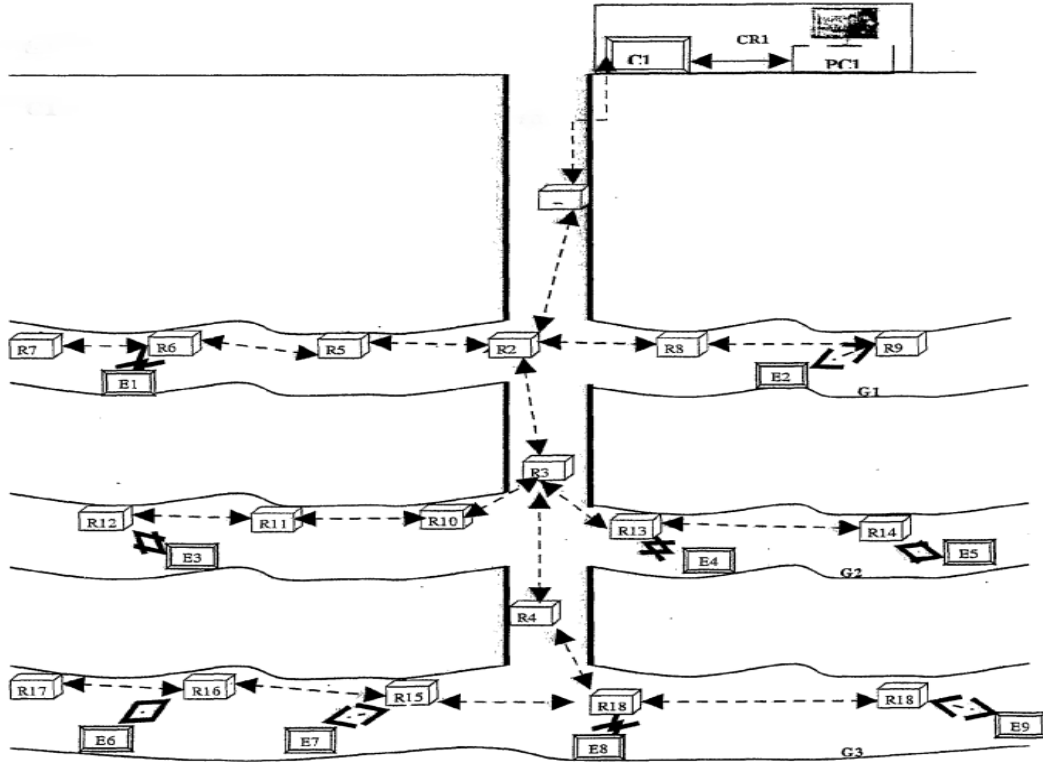
sorunlar ortaya çıkmaktadır. Sınır gözetiminde de diğer yöntemlerde olduğu gibi alternatif takip yöntemleri vardır. Örneğin optasens sistemi çeşitli sınır tehditlerini tespit etmek için basit fiber optik iletişim kabloları ve algılayıcıları kullanan bir sistemdir. Bu sistem sınır boyunca gerilmiş bir kablo üzerine yerleşiktir. Ancak kablolu ve yerleşik olması bu sistem için birçok dezavantaj ortaya çıkarmaktadır. Kablonun kesilmesi veya hasar görmesi, bakım ve tamirinin zor olması gibi durumlar en temel dezavantajları olarak görülmektedir [10]. Bütün bunların yanı sıra kablo maliyetlerinin yüksek olması ile de bu yöntem pratikte verimli görülmemektedir. Diğer bir sınır gözetim yöntemi ise insansız hava araçlarıdır. Ancak kötü hava koşullarının insansız hava aracının fonksiyonelliğini düşürmesi, aynı zamanda bütün sınırı gözetleyememesi ve çok maliyetli olmasından dolayı devamlı kullanımı mümkün değildir. Kablosuz algılayıcı ağlar ise bütün sınır boyunca sürekli izleme yapabilmesi, insan gücüne çok az ihtiyaç duyulması sebebi ile sınır gözetimindeki en verimli yöntem olarak görülmektedir. Sınır boyunca yer altı ve yer üstüne yerleştirilmiş algılayıcılar aracılığı ile sürekli veri akışı sayesinde sınırlarda düzenli kontrol sağlanabilmektedir. Uzun ve dağılmış arazi şartlarında ise standart KAA sistemlerinin adapte edilmesi verimli değildir. Bu sebeple bu gibi uzun ve geniş alanlarda lineer kablosuz algılayıcı ağ sistemlerinin kullanılması daha verimli sonuçlar verebilir.

2.4.6. Yer altı işletmelerinin izlenmesi

Maden işletmeleri küresel ekonominin en önemli ayaklarından birisidir. Yer altı işletmeleri, bir çok ülke için önemli ekonomik kaynaklardır. Madencilikten elde edilen küresel gelir yıllık 70 milyar doları aşmış durumdadır [11]. Yer altından çıkarılan madenler, ısınma ve ekonomik gelir elde etmenin yanı sıra elektronik ve bilimin gelişmesinde kullanılmalarından dolayı daha da önemli bir hal almıştır. Yer altı işletmelerinde izleme ve kontrol altında tutma, insan güvenliği ve maden sürekliliği için çok önemlidir. Ölümcül risklerden kaçınmak için gerçek zamanlı bir izleme ve kontrol yapısı kurulmalıdır. Tesislerin olası sorunlarına karşı sıcaklık, basınç, nem, rüzgar hızı, zehirli ve yabancı gaz ölçümleri gibi veriler gerçek zamanlı olarak alınıp analiz edilerek kontrol altında tutulmalıdır. Aynı zamanda yer altında

çalışan kişilerin çalışma lokasyonları, araç geç yerleşimleri de gerçek zamanlı olarak izlenmelidir.

Günümüzde yer altı işletmelerinin büyük çoğunluğunda kablolu algılayıcı sistemleri kullanılmaktadır. Ancak genelde geniş alanlara yayılan ve zorlu işletme şartlarına sahip olan yer altı işletmelerinde kablolu bir algılayıcı sisteminin bakımı ve tamiri maliyet, çalışmaya elverişlilik bakımından uygun değildir. Bunların yanında kablolar, yaşlanma ve yıpranmaya olan duyarlılıklarından dolayı sıkça arızalara sebebiyet vermektedir [11]. Yer altı işletmeleri için de kullanılabilir en etkili yöntem, kablosuz algılayıcı ağlar olarak görülmektedir. Geniş bir alana yatay ve dikey olarak yayılmış olan işletmeler için doğrusal bir tarzda dağıtılan ve verileri toplayarak yüzey istasyonuna gerçek zamanlı olarak iletecek şekilde tasarlanan lineer kablosuz algılayıcı ağ sistemleri, bu tesislerin gözetim ve kontrolü için verimli bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.2. Yer altı işletmelerinde kablosuz algılayıcı ağların kullanımı [12].

2.4.7. Tarımsal izleme

Tarımsal izleme son yıllarda hızlı bir biçimde gelişen bir alandır. Üretim açısından iş gücünü azaltıp verimliliği arttırmaktadır. Tarımsal alanda yaygın olarak kullanılan rastgele yayararak yapılan dikimlerin yerini sıralı dikim almaktadır. Sıralı dikim bitkilerin ışık emiliminde artış sağlaması, böylelikle bitkilerin daha fazla verimli fotosentez yapması ve sonuç olarak ekim veriminin artması gibi avantajları beraberinde getirmektedir. Aynı zamanda Sıralı dikimde rüzgar geçişi fazla olacağından gaz değişiminin artmasını ve toprakta aşırı derecede nem oluşmasını da önlemektedir. Bu ekim şekli ot toplama gibi işlemleri kolaylaştırıp ve bitkinin görünürlüğünü arttırarak kontrolünü kolaylaştırır. Bu avantajlardan dolayı hindistan cevizi, pirinç, mısır gibi birçok ürün bu şekilde ekilmektedir. Bütün bu avantajların yanı sıra uzaktan kontrol ve izleme içinde bu yöntem en elverişli yöntemdir. Lineer olarak yerleştirilen algılayıcı düğümleri sayesinde nem, sıcaklık, toprak durumu, su seviyesi, böcek yaralanması ve bitki hastalıkları takip edilebilir duruma gelmektedir. Bu alanda kullanılacak algılayıcı düğüm sistemlerinin ise kablolu olması maliyet, kablo sorunları, bakım-tamir zorluğu gibi konulardan dolayı tercih edilmeyen bir yöntemdir. Kablosuz olarak kurulacak bir sistem ise bakım-tamir maliyeti, uygulanabilir olması dolayısı ile en uygun yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Kullanılacak toprak altı ve toprak üstü algılayıcı düğümler ile gerçek zamanlı kontrol sağlanabilir. Düğüm sistemi ile çevresel şartlar, toprak durumu, su ihtiyacı gibi parametreler kontrol altında tutulur. Bu durum verimli hasatların olmasını, uygun zamanlarda ihtiyaca göre sulama yapılmasını ve işçilik maliyetlerinin düşmesini sağlayacaktır. Algılayıcıların ardışık olarak yerleştirilecek olmasından dolayı LKAA'lar bu uygulama için uygun bir yöntem olarak görülmektedir.

2.4.8. Köprü izleme

İnsanlar antik çağdan beri köprüler inşa etmektedirler. Bu köprüler birbirinden ayrı iki alanı birbirine bağlamak için kullanılmaktadır. Günümüzde köprüler insanların iki ayrı alanda hareket etmesi dışında enerji nakil hatları, su, petrol, gaz boru hatlarını taşımak için de kullanılmaktadır.

Nem, rüzgar ve günlük kullanım yıpranması gibi sebeplerden dolayı köprüler zarar görmektedir. Örneğin 2011 yılında Endonezya'da bulunan Kutai Kartanegara köprüsü işçilerin çalışması sırasında yıkılmıştır [10].

Köprülerin her türlü durum bilgisini gerçek zamanlı olarak izlemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Kablolü izleme ile yapılan bazı uygulamalar olsa da, bu sistemlerin yüksek maliyetli olması, sürekli güç kaynağına ihtiyaç duyması, kablolarla birbirlerine bağlanmış olması gibi sebeplerden kullanışlı ve faydalı değildir [13].

Kablosuz algılayıcı ağlar köprü gözetimi için en uygun yöntem olarak görünmektedir. Ek olarak kablolu, güç kaynağı gibi ihtiyaçlarının olmaması, kolay kurulum, düşük maliyet, bakım maliyetlerinin düşük olmasından dolayı gerçek zamanlı olarak köprülerin gözetimi için en uygun yöntemdir.

2.4.9. Kıyı şeridi izleme

Dörtte üçü su ile kaplı dünyamızda, ülkeler toplamda yüzlerce kilometre deniz veya okyanus kıyısına sahiptir. Kıyı şeritleri ülkeler için büyük önem taşımaktadır. Günümüzde kıyı şeritleri kaçak göçmenlerin, uyuşturucu maddelerin, silah ve diğer yasak maddelerin ülkelere girmesinin en kolay yolu olarak görünmektedir. Ayrıca terör eylemleri için ülkeler arası geçişte en çok kıyı şeritlerinin kullanılması kıyı şeritlerinin takibinin önemini ortaya çıkarmaktadır. Bunların dışında okyanus kıyılarında tsunami tehlikesinin öngörülebilmesi, gel-gitlerle oluşan su seviyesi değişimlerinin takibi için kıyı şeritlerinin izlenmesi önemlidir. Ancak kilometrelerce uzunluktaki kıyıların gözetimi çok ağır iş yükü ve maliyet getirmektedir. Uzun kıyı şeritlerinin ve sahillerin gözetiminin yapılması için en uygun yöntem olarak lineer kablosuz algılayıcı ağlar görülmektedir. Kilometrelerce uzunluktaki kıyı şeritlerinin anlık olarak izlenmesi, gerekli verilerin aktarılması ve gerekli durumlarda müdahalede bulunmayı sağlayacaktır. Aynı zamanda alınan veriler aracılığı ile kıyı şeritlerinde yaşayan habitatın izlenmesi de sağlanabilecektir.

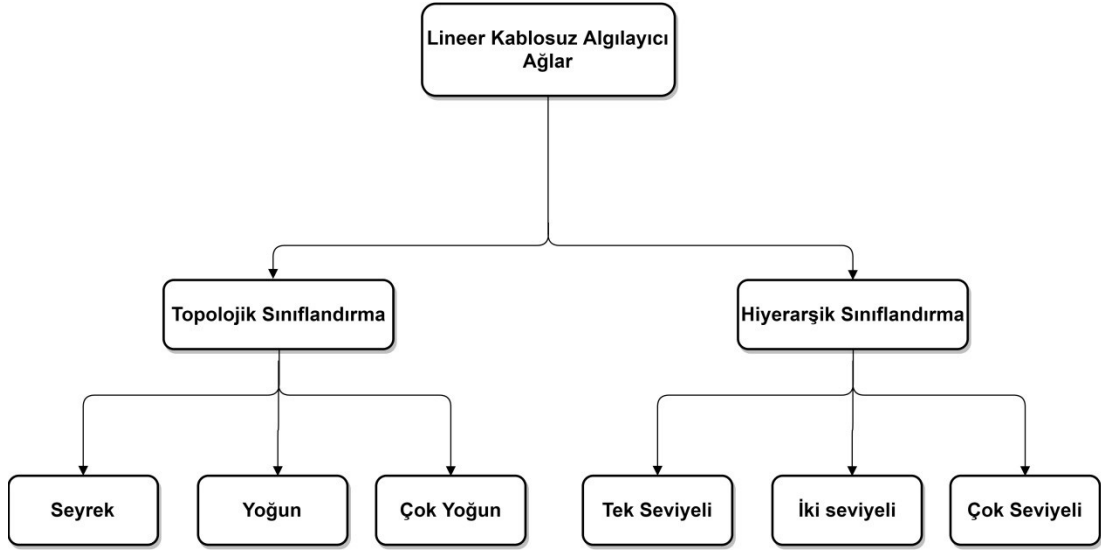
BÖLÜM 3. LİNEER KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARIN SINIFLANDIRILMASI

3.1. Giriş

Lineer kablosuz algılayıcı ağlar temelde hiyerarşik ve topolojik olarak sınıflandırılabilir (Şekil 3.1.). Sınıflandırmalarda kullanılan önemli parametrelerden birisi algılayıcı düğüm çeşitleridir. Düğümler, algılayıcı düğümler, veri aktarım düğümleri ve veri yayın düğümleri olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

Algılayıcı düğümler, ölçümler yapan ve bu ölçümü veri aktarım düğümlerine gönderen düğüm türüdür. Sistemler içinde en yaygın bulunan düğüm türüdür.

Veri aktarım düğümleri veri toplama, yönlendirme, veri sıkıştırma, veri iletimi özelliklerine sahip düğümlerdir. Bu düğüm algılayıcı düğümlerden aldığı verileri işlem yaparak veri yayın düğümlerine göndermektedir. Veri yayın düğümleri, veri aktarım düğümlerinden aldığı veriyi ağ kontrol merkezi ya da baz istasyonuna gönderen düğüm çeşididir.



Şekil 3.1. Lineer Kablosuz Algılayıcı Ağların Sınıflandırılması [7].

3.1.1. Topolojik sınıflandırma

Bu sınıflandırmada temel olarak düğüm yoğunluğu esas alınmıştır. Lineer KAA'lar topolojik olarak seyrek, yoğun ve çok yoğun lineer kablosuz algılayıcı ağlar olarak üçe ayrılmaktadır.

Seyrek (thin) LKAA'lar, en basit türdür. Bu türde düğümler tek bir hat üzerinde belirli aralıklarla dizilirler. Bu yapıya sahip ağlar, yönlendirme ve iletişim verimliliğini arttırmak, güç tüketimini en aza indirmek ve ağ güvenilirliğini arttırmak için düğümlerin doğrusallığından faydalanırlar [7]. Bu topoloji petrol, su ve gaz boru hatları izleme, otoyol izleme, tren yolları izleme gibi uygulamalara uygulanabilir.

Yoğun (thick) LKAA'larda doğrusallık her kademede eşit değildir. Bu türde düğümler kısmi olarak doğrusal bir yapı izler. Bu yapıda veri aktarım düğümleri ve veri yayın düğümleri belirli bir hat boyunca yerleşiktir. Ancak basit algılayıcı düğümleri iki veya üç boyutta dağılım gösterebilmektedir. Bu tür algılayıcı sistemlerin ise sınır gözetimi için uygulanması uygundur. Algılayıcılar rastgele konumlara yerleştirilmiş olsalar bile algılayıcıların yeterince uzak bir seviyede yerleşmesi doğrusal bir yapı izleyecektir [7].

Çok yoğun (very thick) LKAA'larda her bir algılayıcı düğüm sistemi aralarında düzensiz olarak yerleşiktir. Ancak veri yayın düğümleri birbirlerine belirli açılarda da olsa doğrusal bir yerleşimde bulunmaktadır.

3.1.2. Hiyerarşik sınıflandırma

Lineer kablosuz algılayıcı ağlar hiyerarşik olarak tek seviyeli, çift seviyeli ve üç seviyeli olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır [7].

Tek seviyeli LKAA'lar hiyerarşik olarak en basit yapıda olanlardır. Bu sınıfta bütün algılayıcılar aynı özelliklere ve kapasiteye sahiptir. Her bir düğüm algılama, aktarma, toplama, yönlendirme gibi işlemleri yerine getirebilir. Ancak bu ağın güvenilirliği düşüktür ve aynı zamanda yapısı itibari ile uzun menzilli uygulamalar için uygun değildir. Maliyetinin az olması ve ağ yapısından dolayı dar kapsamlı uygulamalar için uygundur.

Çift seviyeli Lineer KAA'lar iki algılayıcı düğüm tipini içeren sınıftır. Bu sınıfta algılayıcı düğümleri ve veri aktarım düğümleri vardır. Veri aktarım düğümleri yönlendirme, veri toplama ve hedef istasyona iletim görevini üstlenir. Basit yapıdaki algılayıcı düğümleri ise hedef istasyon ile iletişimde değildir. Bu durum düğüm sisteminin güç tüketimini azaltıp yaşam süresini arttırmaktadır. Bu tip sınıftaki düğüm sistemleri orta uzunluktaki ağlar için uygundur.

Üç seviyeli Lineer KAA'lar üç algılayıcı düğüm tipini de içermektedir. Basit algılayıcı düğümleri, veri aktarım düğümlerine verileri ulaştırmaktadır. Burada veri aktarım düğümleri, veri yayın düğümlerine verileri aktarmaktadır. Veri yayın düğümleri ise hedef istasyona veriyi göndermektedir. Bu düğüm sistemi geniş kapsamlı uygulamalar için uygun bir yöntemdir.

3.2. Lineer Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Düğüm Aralıklarının Güç Tüketimine Etkisi

Lineer kablosuz algılayıcı ağlar genellikle çok sayıda düğüm içeren uygulamalarda kullanılmaktadır. Düğüm sayısının artması ile orantılı olarak güç tüketimi de artmaktadır. Artan güç tüketimlerini sistemsel olarak optimum hale getirmek için düğümlerin güç tüketimlerinin minimum düzeyde tutulması gerekmektedir. Bunun için eşit aralıklarla yerleştirilmiş düğümlerden oluşan LKAA sistemlerinde güç tüketiminin minimum olduğu teoremi ortaya atılmıştır [17].

Teorem;

$$E = \sum_{i=1}^N bk (2E_{elec} + \epsilon_{fs}d_i^2) \quad (3.1)$$

E değeri sabitlerle minimize edilirse;

$$\begin{cases} E = \sum_{i=1}^N d_i = L \\ d_i > 0 \quad i = 1,2,3 \dots N \end{cases} \quad (3.2)$$

Minimize edildiğinde;

$$C = \sum_{i=1}^N bk (2E_{elec} + \epsilon_{fs}d_i^2) - \lambda (\sum_{i=1}^N d_i - L) \quad (3.3)$$

λ =Lagrange Çarpanı,

$$\partial C / \partial d_i = 0 ; \quad (3.4)$$

$$2bk\epsilon_{fs}d_i - \lambda = 0, d_i = \lambda / 2bk\epsilon_{fs} \quad (3.5)$$

Burada d_i den bağımsızdır, bu yüzden;

$$d_1=d_2=d_3 =\dots\dots\dots=d_n=L/N \quad (3.6)$$

Minimum güç tüketim denklemi şu şekilde olur;

$$E_{\min} = bk (2NE_{\text{elec}} + \epsilon_{fs}L^2/N) \quad (3.7)$$

N	Kaynak düğüm sayısı
E_{elec}	İletim ve yayındaki enerji tüketim değeri
L	Gözetlenen demir yolunun uzunluğu
CH_i	i. kaynak düğümü
b	Bir kümedeki algılayıcı sayısı
d_i	CH_i ile CH_{i-1} arasındaki mesafe
k	Bir seferde bir sensör düğüm tarafından toplanan veri biti
E_0	Bir kaynak düğümün başlangıç enerjisi

Tablo 3.1. Teorem parametre açıklamaları

Teorem sonucunda LKAA sistemlerinde düğümlerin eşit aralıklarla yerleştirilmesi durumunda optimum güç tüketim değerine ulaşılacağına ispatı sunulmuştur [17].

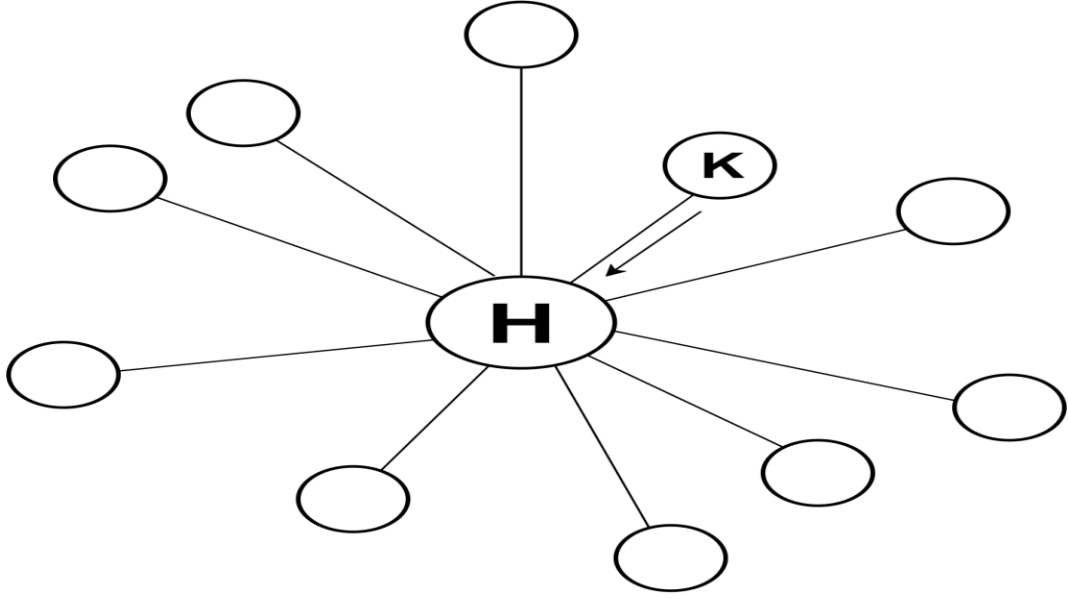
BÖLÜM 4. UYGULAMA PROGRAMI VE YÖNTEM

4.1. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Tek-Sekmeli ve Çok-Sekmeli İletişim

Kablosuz algılayıcı ağlarda temel olarak iki tür veri iletimi vardır, bunlardan birincisi tek-sekmeli iletim, diğeri ise çok-sekmeli iletimdir [14]. Her bir iletim şeklinin kendine has avantaj ve dezavantajları vardır. Literatürdeki çalışmalardan bazıları tek-sekmeli haberleşmenin çok-sekmeli haberleşmeye göre enerji verimliliği açısından daha iyi olduğu iddia ederken, bunun aksini iddia eden çalışmalarda bulunmaktadır [15,16].

4.1.1. Tek-sekmeli iletişim

Tek-sekmeli KAA'larda her bir algılayıcı düğüm, veriyi doğrudan hedefe göndermektedir. Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi, veri gönderici (kaynak) ve alıcı (hedef) arasında doğrudan bir haberleşme söz konusudur. Her biri K ile gösterilen tüm kaynak düğümler, hedefe (H) verilerini doğrudan iletmektedir. Hedef, toplayıcı düğüm, küme başı ya da baz istasyonu olabilir. Doğrudan iletim olduğu için bu tür haberleşme; daha düşük uçtan uca gecikme, daha düşük paket kaybı vb. bazı ağ parametreleri bakımından avantajlara sahiptir. Tek-sekmeli KAA'lar basit bir yapıya sahiptir ve küçük uygulamalar için uygundur. Diğer yandan güç tüketimi bakımından maliyetli olması ve düğümlerin sınırlı iletim mesafesi yüzünden kullanışlı olmaması gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Geniş alanları kapsamak üzere yerleştirilmiş uygulamalarda hedeften daha uzakta olan düğümlerin enerjilerini hızla tüketmeleri, KAA yaşam süresini sınırlamaya yol açmaktadır [5].



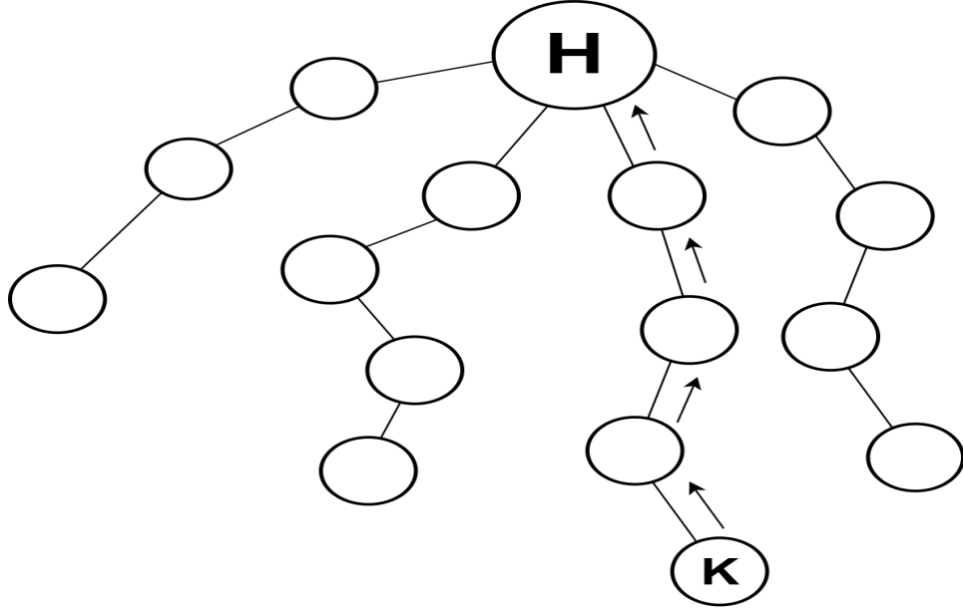
Şekil 4.1. Tek-Sekmeli İletişim

4.1.2. Çok-sekmeli iletişim

Çok-sekmeli iletişimde veri, ağı oluşturan düğümler üzerinden bir düğümden diğerine gönderilir. [10]. Çok-sekmeli iletişim yönteminde, gönderici düğümlerin bu düğümlere komşu olan diğer düğümlerin enerjileri, konumları, iletişim mesafesi gibi parametreleri dikkate alınarak en uygun yol üzerinden verinin hedefe ulaştırılması amaçlanmaktadır.

Çok-sekmeli haberleşme KAA' larda yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 4.2.'de çok-sekmeli haberleşme modeli gösterilmektedir. Her kaynak düğüm (K), her biri birer yönlendirici (router) olarak davranan ara düğümler üzerinden verisini hedefe iletmektedir. Veri, kaynak düğümden hedefe ulaşana kadar sekmeden sekmeye iletilmektedir. Çok-sekmeli KAA'lar enerji verimliliği açısından kullanışlıdır. Algılayıcı düğümler arasındaki mesafe daha kısaldığından daha az güç tüketilir. Çok-sekmeli iletim, özellikle çok yoğun KAA'larda, kanala erişmeye çalışan algılayıcı düğümler arasındaki haberleşme girişimini oldukça azaltmaktadır [5]. Çok-sekmeli iletimde, iletimler güç tüketimini algılayıcı düğümler arasında adil olarak dağıttığı için sistemin ömrü artmaktadır [14]. Öte yandan çok sayıda düğümden oluşan bir KAA'da bu iletim yöntemi gecikme sorununa sahip olur. Ayrıca KAA boyutu çok

geniş olursa, hedef düğümüne daha yakın olan algılayıcı düğümler çok sayıda veriyi iletecek ve sınırlı enerjisini hızlıca tüketecektir [14].

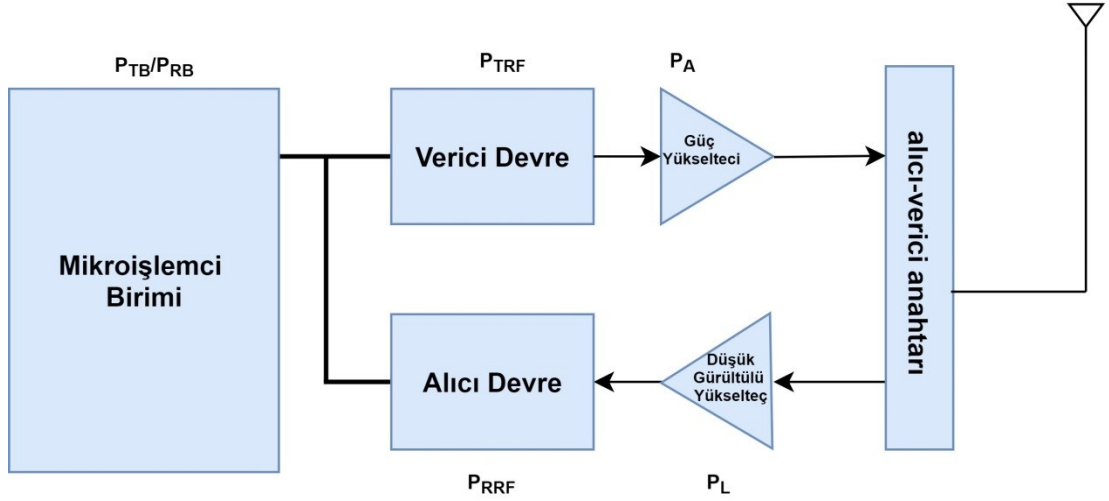


Şekil 4.2. Çok-Sekmeli İletişim

4.2. Güç Tüketim Modeli

4.2.1. Haberleşme modülü güç tüketim modeli

Düğümün haberleşme modülleri Şekil 4.3.'de görüldüğü gibi temel olarak dört parçadan oluşmaktadır. Her birim yaptığı işlemlere göre güç tüketmektedir. Güç tüketim türleri ise işlemcinin veri alıcı-verici birimleri ile haberleşirken harcadığı güç (P_{TB}/P_{RB}), veri alıcı-verici biriminin yükseltici kısımla haberleşirken harcadığı güç (P_{TRF}/P_{RRF}), alıcı yükselticisinin harcadığı güç (P_L), verici yükselticisinin harcadığı güç (P_A) olmak üzere dörde ayrılabilir [18].



Şekil 4.3. Haberleşme Modül Yapısı [18]

Her bir bileşen için ayrı olarak belirtilen güç tüketim değerleri alıcı ve verici devrelerinin güç tüketimi şeklinde toplanınca (Denklem 4.1) ve (Denklem 4.2) elde edilmektedir [18].

$$P_T(d) = P_{TB} + P_{TRF} + P_A(d) = P_{T0} + P_A(d) \quad (4.1)$$

$$P_R = P_{RB} + P_{RRF} + P_L = P_{R0} \quad (4.2)$$

(Denklem 4.1) de $P_A(d)$ haricindeki iki parametre, iletim mesafesinden (d) bağımsız oldukları için birleştirilip sabit P_{T0} olarak ifade edilmektedir. Benzer şekilde (Denklem 4.2) deki terimler de iletim mesafesine bağlı olmadıkları için P_{R0} sabiti olarak yazılabilmektedir [18].

RF güç yükselteci olarak kullanılacak çeşitli yükselteçler bulunmaktadır. Bu yükselteçlerin toplam güç tüketimi, yük karakteristiği, çalışma frekansı, PA çıkış gücü, P_{Tx} DC öngerilim koşulu ve belirli donanım uygulamasını da kapsayan birçok faktöre bağlıdır. RF çıkış gücünün (P_{Tx}), DC giriş gücüne (P_{DC}) oranı ise savak verimini vermektedir [18].

$$\eta = \frac{P_{Tx}}{P_{DC}} \quad (4.3)$$

Güç yükselteçlerinin savak verimleri, tanım gereği her zaman %100'ün altında olacaktır. Yüke verilen çıkış gücü değiştiğinde savak verimliliği de değişecektir. Çoğu güç yükselteci için P_{Tx} artarken savak verimi de artar ve P_{Tx} , maksimum çıkış gücüne (P_{max}) ulaştığında o da maksimum değerine ulaşır [19].

Daha önce oluşturulan (Denklem 4.1) ve (Denklem 4.2) denklemlerine savak verimi eklenince (Denklem 4.4) elde edilmektedir.

$$P_T(d) = P_{T0} + P_{Tx}(d) / \eta \quad (4.4)$$

$$P_R = P_{R0} \quad (4.5)$$

4.2.2. Haberleşme kanal modeli

RF ortamı ve iletişim kanalı sinyal zayıflamaları, çoklu yol ve diğer karmaşık etkilerini göz önüne almadan basit bir şekilde modellenmiştir ve (Denklem 4.6) ile ifade edilmiştir [20].

$$P_{Rx} = P_{Tx} / (A \times d^\alpha) \quad (4.6)$$

Burada, P_{Tx} , verici algılayıcı düğümün güç yükselteci tarafından antene iletilen RF gücüdür. P_{Rx} , alıcı algılayıcı düğümün anteni tarafından alınan ve LNA'ya iletilen RF gücüdür. A parametresi, alıcı ve verici antenin özelliklerine göre belirlenir. α ise, yol kaybı kuvvetini ifade etmektedir. Bu değerle ilgili bilgiler Tablo 4.1'de verilmiştir.

4.2.3. Basit güç tüketim modeli

(Denklem 4.3) ve (Denklem 4.4) birleştirilirse, belirli bir ortam için iletişim modülünün güç tüketimi (Denklem 4.7) elde edilir:

$$P_T(d) = P_{T0} + \frac{P_{RX} \times A \times d^\alpha}{\eta} \quad (4.7)$$

Alıcının sinyal-parazit ve gürültü oranı gereksinimleri, güvenilir iletişim için gereken minimum alım gücünü belirlemektedir (P_{RX-min}) [18]. Bu yüzden belirli mesafedeki diğer algılayıcı düğümlere güvenilir şekilde veri iletmek için minimum güç tüketimi denklemini aşağıdaki gibi elde edilir:

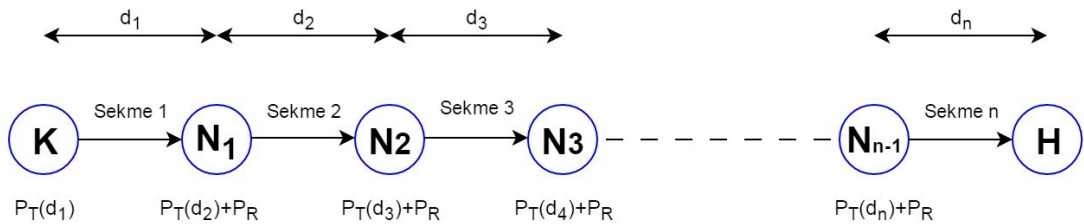
$$P_T(d) = P_{T0} + \frac{\varepsilon \times d^\alpha}{\eta} \quad (4.8)$$

$$\varepsilon = P_{RX-min} \times A \quad (4.9)$$

4.3. Çok Sekmeli Güç Tüketim Modeli

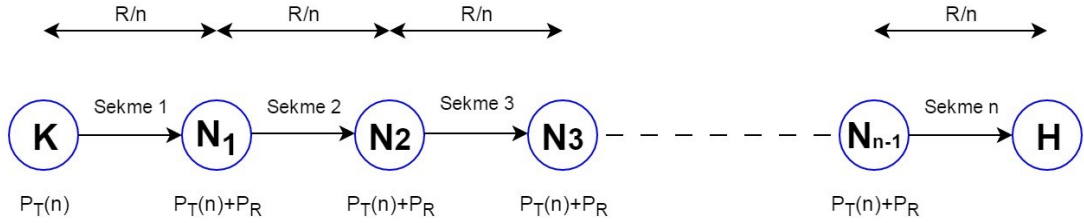
Bu tezde Wang ve ark. tarafından önerilen çok-sekmeli güç tüketim modeli kullanılmaktadır [18]. Bu modeli literatürdeki diğer modellerden farklı kılan özellik, güç tüketiminin güç amplifikatörünün performansına (η , savak verimi) bağlı olmasıdır. Söz konusu modelde haberleşme band genişliğinin, girişim ve iletim çarpışmalarından önemli ölçüde güç tüketimi gerektirmeyen basit protokoller kullanılarak kolayca sakınılabilecek kadar düşük olduğu varsayılmaktadır. Saniye başına B bit olan fiziksel haberleşme hızı da sabit olarak kabul edilmektedir [18].

1-boyutlu lineer KAA'lar kaynak düğüm, hedef düğüm ve ara düğümlerden meydana gelmektedir. Kaynak düğüm ve hedef düğüm belirli bir doğrusal çizgi üzerine yerleşiktir. Şekil 4.4.'de iletim düğümlerinin rastgele aralıklarda yerleştirilmiş hali görülmektedir.



Şekil 4.4. Çok-Sekmeli Rastgele Aralıklı 1-B lineer KAA Modeli

Algılayıcı düğümlerin kaynak ve hedef arasında eşit uzaklıklarda yerleştirildiği basit 1-boyutlu lineer KAA topolojisi Şekil 4.5.'de görülmektedir.



Şekil 4.5 Çok-Sekmeli Eşit Aralıklı 1-B lineer KAA Modeli

Rastgele aralıklarla yerleştirilmiş KAA için toplam güç tüketim değeri hesaplaması aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

Düğümlerin eşit mesafede yerleştirildiği n-sekmeli iletimde güç tüketimi (Denklem 4.10) ile verilmektedir.

$$P(n) = (n - 1)P_{R0} + nP_{T0} + \frac{n \times \varepsilon \times \left(\frac{R}{n}\right)^\alpha}{\eta} \quad (4.10)$$

n: sekme sayısı

P_{R0} : bir algılayıcı düğümün veri alırken tükettiği güç

P_{T0} : bir algılayıcı düğümün veri iletirken tükettiği güç

ε : sabit ($P_{R_{x-min}} \times A$)

R: kaynak ile hedef arasındaki mesafe

R/n: sekmeler arası mesafe (sekme uzunluğu)

α : yol kaybı kuvveti (Path loss exponent)

η : savak verimi (drain efficiency) (RF çıkış gücünün DC giriş gücüne oranı)

Kullanım Alanı	α
Serbest Uzay	2
Şehir İçi Görüş Hattı Olan Yerler	2,7 ila 3,5
Şehir İçi Görüş Hattı Olmayan Yerler	3 ila 5
Görüş Hattı Olan İç Alanlar	1,6 ila 1,8
Görüş Hattı Olmayan Fabrikalarda	2 ila 3
Görüş Hattı Olmayan Binalarda	4 ila 6

Tablo 4.1. Farklı Ortamlar için Yol Kaybı Kuvveti Değerleri Tablosu [21].

Yol kaybı kuvveti (Path loss exponent) α çevresel koşullara bağlıdır ve genellikle 2 ila 6 arasında değerler almaktadır [21]. Bu tezde α için serbest uzay (free space) değeri olan 2 kullanılmaktadır.

4.4. Uygulama Programı Tasarımı

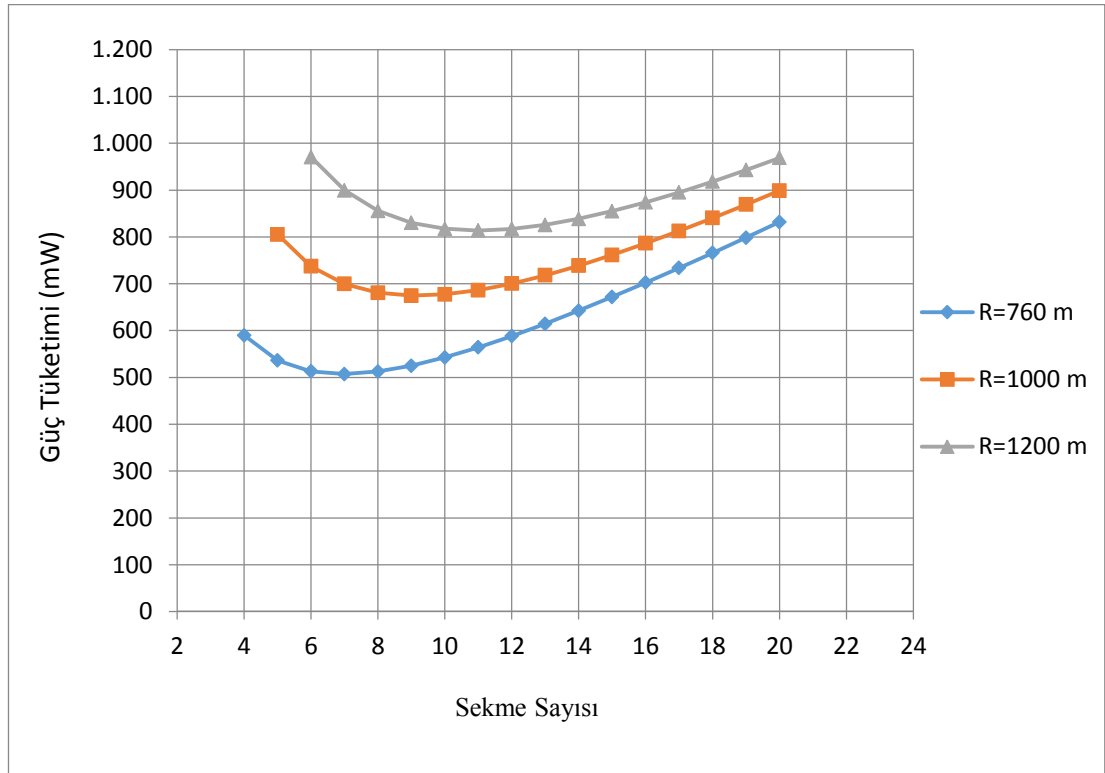
4.4.1. Giriş

İlk etapta uygulama programının girdileri ve çıktılarının neler olacağına karar verilmiştir. Uygulama programının tasarımından önce akış diyagramları oluşturup daha sonra kod tasarımına başlanmıştır. Bu çalışmada doğrudan optimum güç tüketim sekme sayısını veren bir uygulama programı oluşturulmuştur [22]. Bu uygulama programı, kullanıcıdan girdi olarak aldığı kaynak ile hedef arasındaki mesafeyi kullanarak güç tüketim değerinin optimum olduğu sekme sayısını hesaplamakta ve bunu çıktı olarak vermektedir. Uygulama programı, minimum güç tüketim değerini, minimum güç tüketim değerinin elde edildiği sekme sayısını ve bunun için gereken düğüm sayısını da çıktı olarak vermektedir.

Tasarlanan uygulama programı ilk etapta C programlama dili ile yazılmış, daha sonra ise html ve .NET kullanılarak grafiksel bir yapıya kavuşturulmuştur. Ancak tez içerisinde C tabanlı uygulama programı anlatılmıştır.

4.4.2. Uygulama programının ortaya çıkışı

Yukarıda verilen güç tüketim modelinde her bir n için güç tüketimi hesabı yapıldıktan sonra sekme sayısı - güç tüketim grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerde ilk olarak sekme sayısındaki artışa oranla güç tüketiminin azaldığı daha sonra minimum noktaya ulaşip tekrar artmaya başladığı gözlemlenmiştir. Hedef düğüm ile kaynak arasındaki mesafeye göre sekme sayısı - güç tüketim grafiği Şekil 4.6.'da gösterilmektedir. Güç tüketiminin minimum olduğu noktalarındaki sekme sayıları optimum sekme sayıları olarak alınmıştır. Ancak farklı uzaklık değerleri için optimum düğüm sayılarının arasında orantısal bir artış ya da azalışın olmadığı görülmüştür. Her farklı mesafe değeri için optimum sekme sayısının değiştiği gözlemlenmiştir. Bunun üzerine uygulama programı geliştirilmiştir. Girilen hedef ile kaynak arasındaki mesafe için optimum sekme sayısı belirlenmiş daha sonra ise bulunan optimum sekme sayısındaki güç tüketimleri, optimum düğüm sayısı gibi parametreler de bulunmuştur.



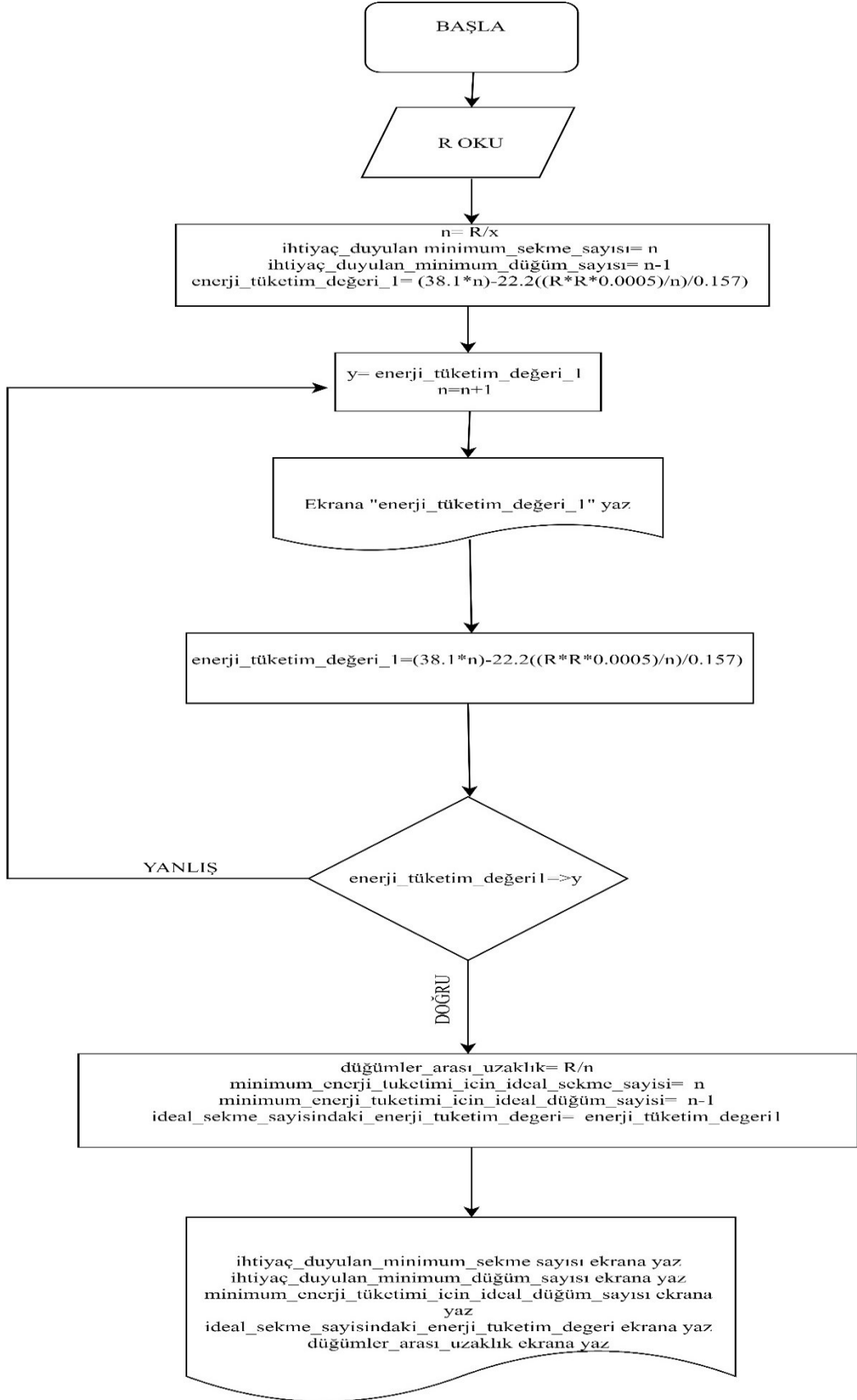
Şekil 4.6. R=760m, R=1000m ve R=1200m için Sekme Sayısına göre Güç Tüketim Grafiği

4.4.3. Akış diyagramı ve uygulama programının çalışma prensibi

Geliştirilen uygulama programı, kaynak ile hedef düğüm arasındaki mesafeyi kullanıcıdan girdi olarak almaktadır. Uygulama programı, girdi olarak alınan mesafeyi çalışmada kullanılan Mica2dot düğümleri için maksimum iletim mesafesine oranlayarak güç verimliliğine gerekli olan minimum sekme sayısını bulmaktadır. Bulunan değerın küsüratlı olması durumunda tam sayı olarak bir üst tam sayıya yuvarlama yapmaktadır. Bulunan değer tanımlı bir değişkene atanmaktadır.

İkincil olarak güç tüketim modeli formülüne göre gerekli olan en az sekme sayısından başlanarak, n (sekme sayısı) arttırılmaktadır. Her bir n için güç tüketim değeri bulunmaktadır. Her bir hesaplamada sekme sayısı ve o sekme sayısındaki güç tüketim değeri ekrana yazdırılmaktadır.

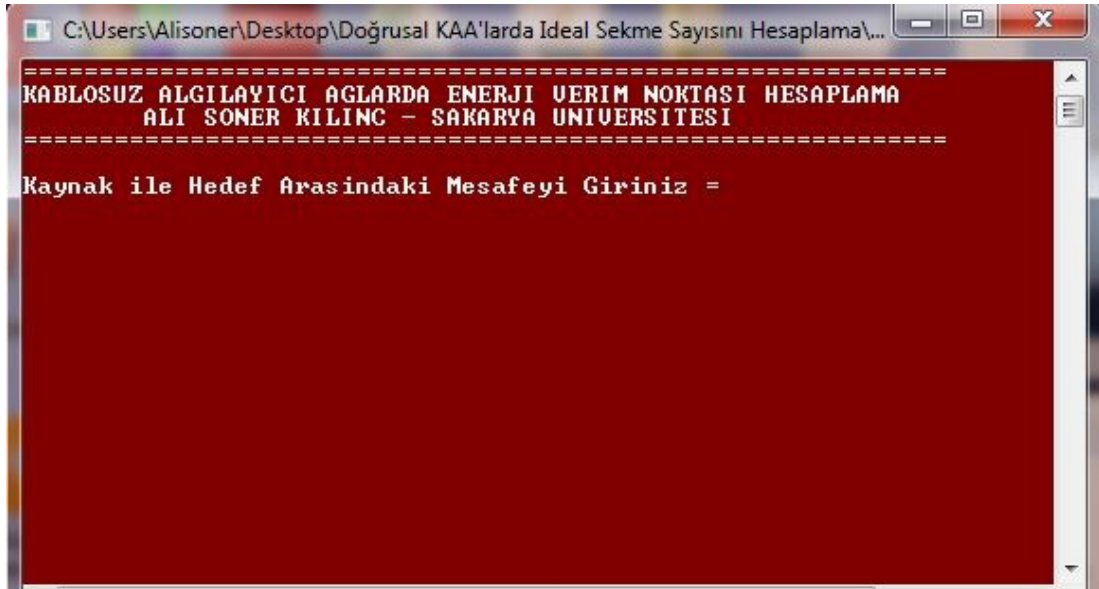
Uygulama programı içinde her bir n için hesaplanan güç tüketim değeri bir önceki n için bulunan güç tüketim değeri ile kıyaslanmaktadır. Bir önceki güç tüketim değeri bulunan güç tüketim değerinden büyük ise n arttırılarak hesaplamaya devam edilir. Hesaplanan güç tüketim değerinin ilk defa bir öncekinden yüksek çıktığı nokta ise dönüm noktası olarak kabul edilip optimum sekme noktası olarak işaretlenir ve iterasyonlara son verilir. Bu hesaplamanın akış diyagramı Şekil 4.7.'de görülmektedir.



Şekil 4.7. Akış diagramı

4.4.4. Uygulama programı veri giriş ve çıkış ekranlarının açıklanması

Uygulama programı, C programlama dili ile kodlanmıştır. Kod içine mesafe girilen ekran Şekil 4.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Veri giriş ekranı

Kaynak ile hedef arasındaki mesafe girildikten sonra bütün iterasyonlar gerçekleştirilip ilk olarak minimum sekme sayısından başlanarak birer birer arttırılarak, her bir düğüm değeri için güç tüketim değeri hesaplanır. Minimum güç tüketim sekme sayısını bulduktan sonra bulana kadar yaptığı iterasyon sayısı kadar tekrar hesaplama yapar ve bu verileri ekrana yazdırır. Bu çıktılar Şekil 4.9.'da görülmektedir.

```

C:\Users\Alisoner\Desktop\Doğrusal KAA'larda Ideal Sekme Sayısını Hesaplama\...
Kaynak ile Hedef Arasındaki Mesafeyi Giriniz =1200
n= 6   Enerji Tuketimi= 970.731201
n= 7   Enerji Tuketimi= 899.641052
n= 8   Enerji Tuketimi= 855.848389
n= 9   Enerji Tuketimi= 830.254150
n= 10  Enerji Tuketimi= 817.398743
n= 11  Enerji Tuketimi= 813.807922
-----
n= 12  Enerji Tuketimi= 817.165588
n= 13  Enerji Tuketimi= 825.868225
n= 14  Enerji Tuketimi= 838.770500
n= 15  Enerji Tuketimi= 855.032471
n= 16  Enerji Tuketimi= 874.024231
n= 17  Enerji Tuketimi= 895.263977

```

Şekil 4.9. Sekme Sayıları ve Güç tüketim Değerleri

Her sekme sayısı için güç tüketim değerlerini çıktı olarak verdikten sonra verilen mesafedeki en az gerekli sekme ve düğüm sayısını, minimum güç tüketimi için optimum sekme ve düğüm sayılarını, optimum sekme sayısındaki güç tüketim değerlerini, optimum sekme sayısındaki düğümler arasındaki mesafenin ne kadar olacağını vermektedir. Bu datalar Şekil 4.10.'da gösterilmektedir.

```

C:\Users\Alisoner\Desktop\Doğrusal KAA'larda Ideal Sekme Sayısını Hesaplama\...
Tasarlanan sistem için;
1>>İhtiyac duyulan minimum sekme sayisi= 6.0
2>>İhtiyac duyulan minimum dugum sayisi= 5.0
4>>Minimum enerji tuketimi icin ideal sekme sayisi= 11
3>>Minimum enerji tuketimi icin ideal dugum sayisi= 10
5>>İdeal sekme sayisindaki enerji tuketim degeri= 813.807922 mW
6>>Dugumler arasindaki mesafe= 109.090912 metre

>>GIRILEN DEGER ICIN ITERASYONLAR TAMAMLANDI<<

=====
=====

```

Şekil 4.10. Uygulama programı Çıktı Ekranı

4.5. Analitik Çalışma

4.5.1. Denklemlerin elde edilmesi

Bu bölümde Bölüm 4.2’de açıklanan model ve Şekil 4.5.’de verilen düğüm yerleşim düzenine göre güç tüketimi hesaplanmaktadır. Mica2dot düğümler CC1000 işlemcileri kullandıkları için Chen ve ark. tarafından verilen [6] donanım değerleri kullanılmaktadır. Bir Mica2dot algılayıcı düğümün veri almak için harcadığı güç (P_{R0}) 22,2 mW, veri iletmek için harcadığı güç (P_{T0}) ise 15,9 mW’dır. Savak verimi (drain efficiency) η %15,7, α değeri 2 ve ε ise 0,0005 olarak kabul edilmektedir.

Optimum sekme sayısı matematiksel olarak elde edilebilir. Minimum güç tüketiminin meydana geldiği sekme sayısı, optimum sekme sayısı olarak adlandırılmaktadır. Bu amaçla (Denklem 4.10)’ un sekme sayısına göre türevi alınması sonucunda optimum sekme sayısını (n_{opt}) veren ifade (Denklem 4.11)’de gösterildiği gibidir:

$$n_{opt} = R \left(\frac{\eta(P_{R0}+P_{T0})}{\varepsilon(-1+\alpha)} \right)^{-1/\alpha} \quad (4.11)$$

$\alpha=2$ değeri için bu ifade (Denklem 4.12)’deki gibi düzenlenebilir:

$$n_{opt} = R \left(\frac{\eta(P_{R0}+P_{T0})}{\varepsilon} \right)^{-0.5} \quad (4.12)$$

(Denklem 4.12)’den elde edilen optimum sekme sayısının, kendisine en yakın tamsayı değerine yuvarlanması sonucu KAA için minimum güç tüketimini sağlayan sekme sayısı belirlenmektedir. Denklemden de görüldüğü gibi optimum sekme sayısı; algılayıcı düğümün veri almak için harcadığı güç (P_{R0}), veri iletmek için harcadığı güç (P_{T0}), α , ε , η parametreleri ile kaynak-hedef arasındaki mesafeye bağlıdır. Bu çalışmanın amacı, minimum güç tüketimini veren optimum sekme sayısı hesaplandıktan sonra optimum düğüm sayısının belirlenmesidir. Optimum düğüm sayısı, eşit mesafelerle yerleştirilmiş çok-sekmeli KAA uygulamalarında minimum

güç tüketiminin gerçekleşmesi için gereken düğüm sayısı olarak tanımlanmaktadır. Buna göre optimum düğüm sayısını veren ifade şu (Denklem 4.14)'de gösterildiği şekildedir [23].

$$S_{opt} = n_{opt} - 1 \quad (4.13)$$

$$S_{opt} = R \left(\frac{\eta(P_{R0} + P_{T0})}{\varepsilon(-1 + \alpha)} \right)^{-1/\alpha} - 1 \quad (4.14)$$

Böylece eşit mesafeli yerleştirilmiş düğümlerden oluşan lineer bir kablosuz algılayıcı ağda minimum güç tüketimi için hem bir uygulama programı geliştirilmiş hem de analitik yaklaşım ortaya konulmuştur [24].

4.6. Optimum Sekme Sayısı Hesabının Kazanımları

Bu bölümde optimum sekme sayısındaki güç tüketimi ile ihtiyaç duyulan minimum sekme sayısındaki güç tüketimlerinin sistemin ömrünü nasıl etkilediğinin hesaplanması yapılmıştır. Şekil 4.8.'de gösterilen kaynak ile hedef arasındaki mesafenin $R=1200$ metre olması durumunda hesaplamalar yapılmıştır. $R=1200$ metre için ihtiyaç duyulan minimum sekme sayısı $n_{min}=6$, optimum sekme sayısı $n_{opt}=11$, ihtiyaç duyulan minimum düğüm sayısı olan $d_{min}=5$, optimum düğüm sayısı $s_{opt}=10$, minimum sekme sayısındaki sistemin toplam güç tüketim değeri $P_{nmin}=970,73$ mW, optimum sekme sayısındaki sistemin toplam güç tüketim değeri $P_{nopt}=813,80$ mW olduğu Şekil 4.9. ve Şekil 4.10.'da görülmektedir. Her bir düğümün güç tüketimi, sistemin toplam güç tüketim değerinin (P_T), sistemde kullanılan düğüm sayısına (d) bölümü ile bulunmaktadır (Denklem 4.15).

$$P_1 = P_T / d \quad (4.15)$$

Minimum sekme sayısında her bir düğümün güç tüketim değeri $P_{nmin1} = 194,146$ mW, optimum sekme sayısında her bir düğümün güç tüketim değeri $P_{nopt1} = 81,38$ mW olarak hesaplanmıştır. Her bir düğümün aktif olduğu sürece pilden çektiği akım

değerini güç değerinin pilin voltaj değerine bölerek elde edilmektedir (Denklem 4.16).

$$I = P / V \quad (4.16)$$

Minimum sekme sayısında her bir düğümün aktif olduğu sürede çektiği ortalama akım değeri $I_{nmin1} = 64,71$ mA, optimum sekme sayısında her bir düğümün aktif olduğu sürede çektiği akım değeri $I_{nopt1} = 27,12$ mA olarak hesaplanmıştır.

Düğümün her birinin 2000 mAh, 3 V bir pil ile beslendiği kabul edilmektedir. Her bir düğümün pil ömrünü ne kadar sürede tüketeceğini pil kapasitesinin, anlık olarak çektiği ortalama akıma bölünür. Daha sonra Akshay ve ark. yaptığı [25] çalışmada belirtilen pillerin yaşam ömrünü etkileyen dış faktör oranı olarak 0,7 ile çarpılarak bulunur. Minimum sekme sayısında her bir düğümün çalışma ömrü $T_{nmin1} = 21,63$ saat, optimum sekme sayısında her bir düğümün çalışma ömrü $T_{nopt1} = 51,61$ saat olarak hesaplanmıştır. Ancak bu değerler düğümlerin sürekli aktif olması durumunda ortaya çıkan değerlerdir. Düğümlerin bir dakika içinde yalnızca 1 saniye boyunca aktif tutulması durumunda düğümler günlük olarak sadece 0,4 saat aktif kalacaktır. Bu durumda minimum sekme sayısı için her bir düğümün çalışma ömrü $T_{nmin1} = 54,08$ gün, optimum sekme sayısında her bir düğümün çalışma ömrü ise $T_{nopt1} = 129,04$ gün olacaktır. Pil güç değerleri ve paket gönderim sıklıklarının değiştirilmesi ile düğümlerin yaşam ömürleri üzerinde değişiklikler yapılabilir. Düğümün veri iletimi ve alımı yapmadığı zamanlardada güç kapalı durumunda sızıntı akımı 0.01 mA olarak verilmiştir [26]. Sızıntı akımı çok küçük olduğundan hesaplamalar sızıntı akımı ihmal edilerek yapılmıştır.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Kablosuz algılayıcı ağlar son yıllarda kullanım alanları hızla artan sistemlerdir. Nesnelerin interneti ve endüstri 4.0 ile birlikte kullanım alanlarının daha çok artacağı öngörülmektedir. Son yıllarda akademik dünyada ve uygulama alanlarında algılayıcılar, algılayıcı sistemler üzerine sayısız çalışmalar yapılmaktadır. Kablosuz algılayıcı ağlardaki günümüzde ve gelecekteki büyük sorun ise yaşam süresidir. Çalışmaların büyük çoğunluğu düğümlerin ve ağ sisteminin yaşam süresini uzatmaya yöneliktir.

Kablosuz algılayıcı ağlarda yaşam süresinin optimum seviyede olabilmesi için düğümlerin donanım tasarımı, yazılım tasarımı, ağ sisteminin yerleşimi, veri gönderim protokolleri, düğümlerin çalışma ortamı, düğümlerin veri gönderim sıklığı, düğümler arası mesafe vb. çok sayıda faktör bulunmaktadır. Bu faktörlerin her biri farklı çalışma alanlarını ortaya çıkarmaktadır. Lineer kablosuz algılayıcı ağlar da bu çalışma alanlarından birini oluşturmaktadır. Kilometrelerce uzunlukta sınır gözetimi, boru hatları izleme, tren yolu izleme gibi uygulamalarda binlerce algılayıcı gerekmektedir. Bu uygulamalarda da ağ sisteminin ve düğümlerin güç tüketiminin minimum olması, sistemin yaşam süresini uzatmak açısından önemlidir.

Bu tezde lineer kablosuz algılayıcı ağların uygulama alanları ve uygulamalarda en az güç tüketimi için düğüm yerleşimleri hesaplamaları yapmak üzere geliştirilmiş bir algoritma ve aynı sorunu çözmeye yönelik olarak analitik bir yaklaşım sunulmuştur. Algılayıcı düğüm sayılarının artması ile güç tüketiminin azaldığı belirli bir noktada en düşük seviyeye geldikten sonra tekrar artış içinde olduğu görülmüştür. Bu noktayı belirlemek için optimum nokta hesabının yapılacağı matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen model kaynak ile hedef düğüm arasındaki mesafeye göre optimum düğüm sayısını vermektedir. Bu matematiksel modelden yola çıkılarak

algoritma geliştirilmiştir. Hedef ile kaynak arasındaki mesafeyi girdi olarak alıp sistemde ihtiyaç duyulan düğüm sayısı, sekme sayısı, düğümler arası mesafe gibi değerleri çıktı olarak vermektedir. Geliştirilen algoritma, hesaplamaları yapıp kurulum için gerekli tüm verileri çıktı olarak vermektedir.

Tez çalışmasında Mica2dot algılayıcı düğümlerinin güç tüketim değerlerinden faydalanılmıştır. Ancak başka algılayıcı düğüm değerleri için de aynı algoritma kullanılabilir ya da algoritmanın başlangıcında algılayıcıya ait bilgiler girdi olarak verilmesi ile daha genel bir algoritma elde edilebilir. Algoritmanın geliştirilmesine yönelik bir çalışma olarak sistemde kullanılacak algılayıcı düğüm çeşidi seçilerek gerekli veriler piyasada mevcut algılayıcı düğümlerin donanım bilgilerinden oluşturulmuş veri tabanından girdi olarak alındıktan sonra ihtiyaç duyulan düğüm sayısı ve güç tüketim değerlerinin çıktı olarak verilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Akyildiz, I. F., Vuran, M. C., Wireless Sensor Networks. John Wiley & Sons Ltd., 17-21, 2010.
- [2] Akyildiz, I. F. Su, W. Sankarasubramaniam, Y., Wireless sensor networks: A Survey. IEEE Communications Magazine, 40(8): 102-114, 2002.
- [3] Merret, G., Tan, D. Y., Wireless Sensor Networks: Application-Centric Design. InTech, chapter 4, 2010.
- [4] Khan, P. Hussain, M. Kwak, K. S., Medical Applications of Wireless Body Area Networks. International Journal of Digital Content Technology and its Applications, 3(3): 185-193, 2009.
- [5] Sohrawy, K., Minoli, D., Znati, T., Wireless Sensor Networks - Technology, Protocols, and Applications. John Wiley & Sons, Inc., 53-56 2007.
- [6] Chen, F., German, R., Dressler, F., QoS-oriented Integrated Network Planning for Industrial Wireless Sensor Networks. Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks Workshops, Rome, 1-3, 2009.
- [7] Jawhar, I., Mohamed, N., A hierarchical and topological classification of linear sensor networks. Wireless telecommunications symposium, 1-8 2009.
- [8] Mohamed, N. Jawhar, I. Al-Jaroodi, J. Zhang, L., Sensor Network Architectures for Monitoring Underwater Pipelines. Sensors., 11(11): 10738-10764, 2011.
- [9] Varshney, Sudeep., Kumar, C., Swaroop, A., Linear Sensor Networks: Applications, Issues and Major Research Trends. Computing, Communication & Automation (ICCCA). Noida, 88-90, 2015.
- [10] Imran, M. C., Aldukhail, M., Almezeini, M., Alnuem, M., Potential Applications of Linear Wireless Sensor Networks: A Survey. International Journal of Computer Networks and Communications Security, 4(6): 183-200, 2016.

- [11] L-M, Y., Anqi, L., Zheng, S., Hui, Li., Design of Monitoring System for Coal Mine Safety Based on Wireless Sensor Network. *Mechronic and Embedded Systems and Applications*, Beijing, 409-414, 2008.
- [12] Bandyopadhyay, L. K., Chaulya, S.K., Mishra, P. K., Choure, A., Baveja, B. M., Wireless information and safety system for mines. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 68(1);107-117, 2009.
- [13] Harms, T., Sedigh S., Bastianini, F., Structural Health Monitoring of Bridges Using Wireless Sensor Networks, *Instrumentation & Measurement Magazine, IEEE*, 13(6):14-18, 2010.
- [14] Ilyas, M., Mahgoub, I., *Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems*. CRC Press, 1-256, 2005.
- [15] Yin, B.L., Shi, H.C. and Yi S., A Two-Level Strategy for Topology Control in Wireless Sensor Networks. *Proceedings of 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems*, Fukuoka, 358-362, 2005.
- [16] Haenggi, M., Twelve Reasons Not to Route over Many Short Hops. *Proceedings of IEEE 60th Vehicular Conference*, Piscataway, 3130-3134, 2004.
- [17] Lv, X., Li J., Shi T., Jia X., Topology Analysis Based on Linear Wireless Sensor Networks in Monitoring of High-speed Railways, *28th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, Yinchuan, 1797-1802, 2016.
- [18] Wang Q., Hempstead, M., Yang, W., A Realistic Power Consumption Model for Wireless Sensor Network Devices, In *Proc. 3rd Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*, Reston, 286-295, 2006.
- [19] Chee, Y. H., Rabaey J., Niknejad, A. M., A Class A/B Low Power Amplifier for Wireless Sensor Networks. *ISCAS'04*, Vancouver, 409-412, 2004.
- [20] Sikora, M., Laneman, J. N., Haenggi, M., Costello, J. D., Fuja, T., On the Optimum Number of Hops in Linear Wireless Networks. *Information Theory Workshop*, San Antonio, 165-169, 2005.
- [21] Kheireddine, M., Abdellatif, R., Analysis of hops length in wireless sensor networks. *Wireless Sensor Network SciRes*14. 6(6): 109–117, 2014.
- [22] Sazak, N., Kılınc, A. S., An Algorithm to Determine the Ideal Hop Length for Minimum Energy Consumption in WSNs. *2nd International Conference on Engineering and Natural Sciences*. Sarajevo, 1812-1818, 2016.

- [23] Sazak, N., Kılınç, A. S., Eşit Mesafeli Çok-sekmeli Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Minimum Güç Tüketimi İçin Optimum Düğüm Sayısının Belirlenmesi. Elektrik, Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı, Bursa, 701-704, 2016.
- [24] Sazak, N., Kılınç A. S., Analytical and Algorithmic Approaches to Determine the Number of Sensor Nodes for Minimum Power Consumption in LWSNs. ASTESJ, 2(3): 1487-1490, 2017.
- [25] Akshay, S., Bhonge V. N, Khandare A., Desing and Devlopment of Wireless Sensor Node for Anti Poaching. IJPRET, 324-332, 2016.
- [26] Anastasi, G., Falchi, A., Passarella, A., Conti, M., Gregori, E., Performance measurements of mote sensor networks. Proceedings of the ACM MSWiM, 174-181, 2004.

ÖZGEÇMİŞ

Ali Soner KILINÇ, 10.07.1990'da Malatya'da doğdu. İlk, orta, lise eğitimini Malatya'da tamamladı. 2008 yılında Turgut Özal Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında başladığı İnönü Üniversitesi Elektrik- Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü 2012 yılında bitirdi. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Elektrik- Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2012-2013 yılları arasında çeşitli firmalarda Elektronik Arge mühendisi olarak çalıştı. 2013 yılından bu yana Vestel Savunma Firmasında Elektronik Ar-Ge mühendisi olarak görev yapmaktadır.