

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DIŞBÜKEY ZARF TEKNİĞİNE DAYALI EĞİM KİRİNİMİ MODELİNİN
KABLOSUZ ENERJİ TRANSFERLERİ İLE BESLENEN BİR KABLOSUZ
ALGILAYICI AĞ ÜZERİNE UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet ZORLU

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

HAZİRAN 2019

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DIŞBÜKEY ZARF TEKNİĞİNE DAYALI EĞİM KİRİNİMİ MODELİNİN
KABLOSUZ ENERJİ TRANSFERLERİ İLE BESLENEN BİR KABLOSUZ
ALGILAYICI AĞ ÜZERİNE UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ahmet ZORLU
(151082306)**

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Barış TABAKCIOĞLU
Eş Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Selahattin KOŞUNALP**

HAZİRAN 2019

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 151082306 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ahmet ZORLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "DIŞBÜKEY ZARF TEKNİĞİNE DAYALI EĞİM KIRINIMI MODELİNİN KABLOSUZ ENERJİ TRANSFERLERİ İLE BESLENEN BİR KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ ÜZERİNE UYGULANMASI" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Barış TABAKCIOĞLU**
Bursa Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : **Dr. Öğr. Üyesi Selahattin KOŞUNALP**
Bayburt Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Cemal HANILÇI**
Bursa Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Metin BİLGİN
Bursa Uludağ Üniversitesi

Savunma Tarihi :

FBE Müdürü : **Doç. Dr. Murat ERTAŞ**
Bursa Teknik Üniversitesi/...../.....

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Ahmet ZORLU

İmzası :

X X X X X



Eşime ve çocuklarıma,

ÖNSÖZ

Bu tezi hazırlarken geçirdiğim süreçte bana her türlü desteği veren başta Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Barış TABAKCIOĞLU ve Dr. Öğr. Üyesi Selahattin KOŞUNALP olmak üzere Bursa Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğindeki tüm hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bu çalışmalar esnasında kendilerine vakit ayıramadığım değerli eşim ve çocuklarıma anlayışları, destekleri için teşekkür ederim.

Haziran 2019

Ahmet Zorlu

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	viii
SEMBOLLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ... ..	1
2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR	3
2.1 Uygulama Alanları	4
2.2 Algılayıcı Düğümü Yapısı	5
2.3 Algılayıcı Ağların Haberleşme Mimarisi	6
2.4 MAC Protokolleri.....	9
2.4.1 ALOHA.....	9
2.4.2 S-MAC.....	11
2.4.3 T-MAC.....	13
2.4.4 DMAC.....	14
2.4.5 B-MAC.....	14
3. KABLOSUZ ENERJİ TRANSFERİ.....	17
3.1 Kablosuz Enerji Transferi İçin Geliştirilen Protokoller	17
3.1.1 RF-HSN	18
3.1.2 RF-MAC	19
3.1.3 RI-MAC	20
3.2 Rectenna	21
3.3 Enerji Hasadı	23
3.3.1 Güneş enerjisi.....	24
3.3.2 Radyo frekans enerji hasadı	25
3.4 Enerji İletimi	27
3.4.1 Radyo frekans enerji iletimi.....	27
3.4.2 Manyetik rezonans kuplaj	29
4. ELEKTROMANYETİK DALGA YAYILIM MODELLERİ.....	32
4.1 Geometrik Optik.....	32
4.2 Fiziksel Optik	33
4.3 Geometrik Kırınım Teorisi.....	33
4.4 Fiziksel Kırınım Teorisi	34
4.5 Düzgün Kırınım Teorisi	34
4.6 Eğim Kırınımı Teorisi	35

4.7 Dışbükey Zarf Tekniğine Dayalı Eğim Kırınımı Teorisi	36
4.7.1 Fresnel bölgesi	37
4.7.2 Dışbükey zarf tekniği	44
4.7.3 Dışbükey zarf tekniği hesaplama programı kullanıcı arayüzü	46
5. KABLOSUZ ENERJİ İSTASYONU KONUMLANDIRMA SENARYOLARI..	49
5.1 FEKO Yazılımı ile MATLAB Programının Doğrulanması	49
5.2 Farklı Yüksekliklerde Bulunan Algılayıcı Düğümlerine 915 MHz Frekansında Enerji İletimi	56
5.3 Farklı Yükseklik ve Konumdaki Enerji İstasyonundan Yerdeki Algılayıcı Düğümlerine Farklı Frekanslarda Enerji İletimi	66
5.4 En Uygun Enerji İstasyonu Konumunun DKT, EK ve EKDZ Modelleri Kullanılarak Tespit Edilmesi	70
6. SONUÇ	73
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	81



KISALTMALAR

ACK	: Alınan veriyi doğrulama
AD	: Algılayıcı düğümü
ASEA	: Güneş enerjisinin tam tahsisi (accurate solar energy allocation)
CDMA	: Kod bölmeli çoklu erişim (Code division multiple access)
CFE	: Enerji için uygun (clear for energy)
CSMA	: Çoklu erişimde hat kontrolü (Carrier sense multiple access)
CTS	: Gönderim onayı (clear to send)
DKT	: Düzgün kırınım teorisi
EK	: Eğim kırınımı
EKDZ	: Dışbükey zarf tekniğine dayalı eğim kırınımı
EWMA	: Artan ağırlıklı hareket ortalama (exponentially weighted moving average)
FDMA	: Frekans bölmeli çoklu erişim (Frequency division multiple access)
FKT	: Fiziksel kırınım teorisi
FO	: Fiziksel optik
GKT	: Geometrik kırınım teorisi
GO	: Geometrik optik
ISM	: Endüstriyel, bilimsel, tıbbi (Industrial Scientific Medical)
KA	: Kablosuz algılayıcı ağ
MAC	: Ortam erişim kontrolü (Medium access control)
NBC	: Nükleer, biyolojik, kimyasal (nuclear, biological, chemical)
OSI	: Birbiriyle bağlantılı açık sistemler (Open Systems Interconnection)
RF	: Radyo frekansı
RFE	: Enerji isteği (request for energy)
RTS	: Gönderme isteği (request to send)
TDMA	: Zaman bölmeli çoklu erişim (Time division multiple access)
TCP	: İletim kontrol protokolü (Transmission Control Protocol)
UDP	: Kullanıcı veribloğu İletişim Kuralları (User Datagram Protocol)
WCMA	: Hava durumuna bağlı hareketli ortalama (weather conditioned moving average)
WCV	: Kablosuz şarj aracı (wireless charging vehicle)

SEMBOLLER

A(s)	: Yayılma faktörü
d	: Fresnel’de alıcıya olan uzaklık
dB	: Bağlı yol kaybı
D(α)	: Genlik kırınım katsayısı
$d_s(\alpha)$: Eğim kırınım katsayısı
E_i	: Engel üzerine gelen alan şiddeti
f	: Frekans
G_T, G_R	: Anten kazancı
L	: Genlik kırınım katsayısı için uzaklık parametresi
L_s	: Eğim kırınım katsayısı için uzaklık parametresi
P_T, P_R	: Güç
s	: Fresnel’de vericiye olan uzaklık
S	: Aloha’da başarılı paket iletim oranı
T, R	: Verici ve alıcı anten
y_{alt}	: Fresnel bölgesinin en düşük y değeri
W_{F_n}	: Fresnel yarıçapı
λ	: Mikrodalganın dalga boyu
α	: Fresnel yarıçapı ile bina y değeri arasındaki açı

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1 : 10x10'lık algılayıcı alanında bina yükseklikleri	57
Çizelge 5.2 : $V=(1,1)$ ve $A=(10,10)$ konumunda iken elektrik alan şiddeti	57
Çizelge 5.3 : $V=(1,1)$ ve $A=(10,10)$ konumunda iken yol kaybı	58
Çizelge 5.4 : $V=(2,3)$ ve $A=(2,8)$ konumunda iken elektrik alan şiddeti	59
Çizelge 5.5 : $V=(2,3)$ ve $A=(2,8)$ konumunda iken yol kaybı	59
Çizelge 5.6 : $V=(5,5)$ ve $A=(1,10)$ konumunda iken elektrik alan şiddeti	60
Çizelge 5.7 : $V=(5,5)$ ve $A=(1,10)$ konumunda iken yol kaybı	61
Çizelge 5.8 : $V=(2,4)$ ve $A=(7,9)$ konumunda iken elektrik alan şiddeti	62
Çizelge 5.9 : $V=(2,4)$ ve $A=(7,9)$ konumunda iken yol kaybı	62
Çizelge 5.10 : $V=(8,9)$ ve $A=(10,10)$ konumunda iken elektrik alan şiddeti	64
Çizelge 5.11 : $V=(8,9)$ ve $A=(10,10)$ konumunda iken yol kaybı	64

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Algılayıcı düğümü birimleri.....	5
Şekil 2.2 : Algılayıcı düğümlerinin alana dağılımı ve haberleşmesi	6
Şekil 2.3 : Algılayıcı ağlardaki haberleşme katmanları ve düzlemleri.	7
Şekil 2.4 : Aloha sistemi.....	10
Şekil 2.5 : Saf Aloha paket iletimi.....	11
Şekil 2.6 : Bölünmüş Aloha paket iletimi.....	11
Şekil 2.7 : S-MAC veri iletimi.....	12
Şekil 2.8 : T-MAC veri iletimi.	13
Şekil 2.9 : DMAC'te veri toplama ağacı	14
Şekil 2.10 : MAC protokollerinde kanal kullanımındaki enerji tüketimi.....	15
Şekil 3.1 : RF-HSN yapısı.	18
Şekil 3.2 : RF-MAC yapısı.	19
Şekil 3.3 : RF-MAC ET gruplandırma	20
Şekil 3.4 : RI-MAC çalışma prensibi	21
Şekil 3.5 : Rectenna kullanımı.....	22
Şekil 3.6 : Enerji hasadı birimi eklenmiş algılayıcı düğümü.....	23
Şekil 3.7 : RF enerji hasat etme devresi	26
Şekil 3.8 : Rectenna kullanılarak RF enerji iletimi.....	28
Şekil 3.9 : Manyetik rezonans kuplaj devre şeması.....	29
Şekil 3.10 : Kablosuz şarj aracı ile enerji iletimi.....	30
Şekil 4.1 : Fresnel bölgesi parametreleri	38
Şekil 4.2 : $T_y = R_y$ durumunda x_1, y_1 binasının fresnel bölgesi hesabı	38
Şekil 4.3 : $T_y < R_y$ durumunda x_1, y_1 binasının fresnel bölgesi hesabı	39
Şekil 4.4 : $T_y > R_y$ durumunda x_1, y_1 binasının fresnel bölgesi hesabı	39
Şekil 4.5 : Fresnel akış diyagramı.....	41
Şekil 4.6 : Fresnel MATLAB kodu elle girilen değerler	42
Şekil 4.7 : T_y ve R_y 'nin durumlarına göre y_{alt} hesabı yapan MATLAB kodu	43
Şekil 4.8 : Binanın fresnel hesabına dahil edilme kararını veren MATLAB kodu ...	44
Şekil 4.9 : Dışbükey zarf tekniği ile binaların elenmesi.....	45
Şekil 4.10 : Bıçak kenarlı kama çoklu kırınım'da ışın izleme parametreleri	46
Şekil 4.11 : 1800 Hz'de dışbükey zarf grafiği	47
Şekil 4.12 : 180 MHz'de dışbükey zarf grafiği	47
Şekil 4.13 : 1800 MHz'de dışbükey zarf grafiği	48
Şekil 4.14 : 18 GHz'de dışbükey zarf grafiği	48
Şekil 5.1 : Tek engel olduğu durumda algılayıcıdaki elektrik alanın ölçüm senaryosu	50
Şekil 5.2 : Tek engel olduğu durumda algılayıcıdaki elektrik alanın FEKO ile ölçümü.....	50
Şekil 5.3 : Tek engel olduğu durumda algılayıcıdaki elektrik alanın FEKO renk haritası.....	51

Şekil 5.4 : Tek engel olduğu durumda algılayıcıdaki elektrik alanın MATLAB ile ölçümü	51
Şekil 5.5 : Tek engel olduğu durumda yatay hat boyunca elektrik alanın FEKO ile ölçümü	52
Şekil 5.6 : Tek engel olduğu durumda algılayıcıda kırınan alanın FEKO ile ölçümü	52
Şekil 5.7 : Tek engel olduğu durumda algılayıcıda kırınan alanın FEKO renk haritası	53
Şekil 5.8 : Çift engel olduğu durumda algılayıcıdaki elektrik alanın ölçüm senaryosu	53
Şekil 5.9 : Çift engel olduğu durumda algılayıcıdaki elektrik alanın ölçüm senaryosu FEKO grafiği	54
Şekil 5.10 : Çift engel olduğu durumda algılayıcıdaki elektrik alanın FEKO ile ölçümü	54
Şekil 5.11 : Çift engel olduğu durumda algılayıcıda kırınan alanın FEKO renk haritası	55
Şekil 5.12 : Çift engel olduğu durumda algılayıcıdaki elektrik alanın MATLAB ile ölçümü.....	55
Şekil 5.13 : Çift engel olduğu durumda yatay hat boyunca elektrik alanın FEKO ile ölçümü.....	56
Şekil 5.14 : $V=(1,1)$ ve $A=(10,10)$ konumunda iken elektrik alan şiddeti renk haritası	58
Şekil 5.15 : $V=(2,3)$ ve $A=(2,8)$ konumunda iken elektrik alan şiddeti renk haritası	60
Şekil 5.16 : $V=(5,5)$ ve $A=(1,10)$ konumunda iken elektrik alan şiddeti renk haritası	61
Şekil 5.17 : $V=(2,4)$ ve $A=(7,9)$ konumunda iken elektrik alan şiddeti renk haritası	63
Şekil 5.18 : $V=(8,9)$ ve $A=(10,10)$ konumunda iken elektrik alan şiddeti renk haritası	65
Şekil 5.19 : $V=(5,8)$ konumunda iken elektrik alan şiddeti renk haritası	65
Şekil 5.20 :10m yükseklikteki vericinin (0,0) konumunda ve 100 MHz frekansında elektrik alan şiddeti renk haritası	66
Şekil 5.21 :10m yükseklikteki vericinin (120,120) konumunda ve 100 MHz frekansında elektrik alan şiddeti renk haritası.....	67
Şekil 5.22 :30m yükseklikteki vericinin (120,120) konumunda ve 100 MHz frekansında elektrik alan şiddeti renk haritası.....	68
Şekil 5.23 :10m yükseklikteki vericinin (0,0) konumunda ve 2400 MHz frekansında elektrik alan şiddeti renk haritası	68
Şekil 5.24 :10m yükseklikteki vericinin (120,120) konumunda ve 2400 MHz frekansında elektrik alan şiddeti renk haritası.....	69
Şekil 5.25 :30m yükseklikteki vericinin (120,120) konumunda ve 2400 MHz frekansında elektrik alan şiddeti renk haritası.....	70
Şekil 5.26 :DKT modeli kullanılarak elde edilen renk haritası	71
Şekil 5.27 :EK modeli kullanılarak elde edilen renk haritası	71
Şekil 5.28 :EKDZ modeli kullanılarak elde edilen renk haritası.....	72

DIŞBÜKEY ZARF TEKNİĞİNE DAYALI EĞİM KIRINIMI MODELİNİN KABLOSUZ ENERJİ TRANSFERLERİ İLE BESLENEN BİR KABLOSUZ ALGILAYICI AĞ ÜZERİNE UYGULANMASI

ÖZET

Algılayıcıların karmaşık görevleri yerine getirebilmeleri veya birden fazla fonksiyonu yapabilmeleri için bir ağ oluşturup merkezi bir noktadan yönetilmeleri gerekmektedir. Bu yapının kurulabilmesi için algılayıcıya işlemci, enerji birimi ve anten eklenerek Algılayıcı Düğümü (AD) olarak adlandırılan bir modül geliştirilmiştir. Birden fazla AD'nin biraraya gelmesi ile Kablosuz Algılayıcı Ağ (KAA)'lar meydana gelmektedir. KAA'lardaki en önemli çalışma alanı enerji verimliliği ve AD'ye enerji sağlanarak sürekli çalışmalarını sağlamaktır.

Bu tezde AD'deki enerji verimliliğini sağlamak için geliştirilen MAC protokollerine değinilmiştir. AD'ye harici bir kaynaktan enerji sağlamak konusu ise detaylı bir şekilde incelenmiştir. Özellikle ortamdaki enerji hasadı yapılması ve sabit bir kaynaktan KAA'ya enerji transfer edilmesinin avantajları/dezavantajları karşılaştırılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda RF enerji iletimi yöntemi üzerine yoğunlaşmıştır. Enerjinin iletilmesi esnasında mesafe ve araya giren engeller sebebiyle kayıplar yaşanmakta ve enerji iletimi verimsiz olmaktadır.

Verici ve alıcı arasındaki enerji transferini hesaplayabilmek için Elektromanyetik Dalga Yayılım modelleri incelenmiştir. Bu modellerden Geometrik Optik (GO) , Fiziksel Optik (FO) , Geometrik Kırınım Teorisi (GKT), Fiziksel Kırınım Teorisi (FKT), Düzgün Kırınım Teorisi (DKT) ve Eğim Kırınımı Teorisi (EK) incelenmiştir. Sonrasında ise Dışbükey Zarf Tekniğine Dayalı Eğim Kırınımı Teorisi (EKDZ) detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda hesaplama süresi avantajı sebebiyle EKDZ'nin kullanılması kararlaştırılmıştır.

EKDZ'nin en önemli özelliklerinden birisi olan etkin olmayan binaların hesaplamalardan çıkarılması için Fresnel Bölgesi ve Dışbükey Zarf oluşturulmasını sağlayan yeni bir algoritma yazılıp MATLAB kodu geliştirilmiştir. Geliştirilen MATLAB kodu ile farklı senaryolar için hesaplamalar yapılmıştır. Frekansın artması ile Fresnel yarıçapının azaldığı gözlemlenmiştir. Geliştirilen MATLAB kodunda elde edilen çıktılar doğrulamak için yüksek frekans hesaplama programı FEKO ile kıyaslamalı olarak yapılan testlerde benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Son olarak farklı noktalara konumlandırılan enerji istasyonu olarak kullanılan verici ile farklı konumlardaki ve yüksekliklerdeki alıcılar için test senaryoları oluşturulmuştur. Testler DKT, EK ve EKDZ metodları ile farklı frekanslarda yapılmıştır. Bu modellerden elde edilen çıktıların kıyaslamaları yapılmıştır. KAA'larda alıcı AD'lere en yüksek enerjinin sağlanabilmesi için vericinin konumlandırılacağı en uygun nokta tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kablosuz Algılayıcı Ağlar, Algılayıcı Düğümü, Kablosuz Enerji Transferi, Enerji Hasadı, Elektromanyetik Dalga Yayılım Modelleri, Dışbükey Zarf Tekniğine Dayalı Eğim Kırınımı Teorisi



APPLICATION OF SLOPE UNIFORM THEORY OF DIFFRACTION WITH CONVEX HULL MODEL ONTO A WIRELESS SENSOR NETWORK POWERED BY WIRELESS ENERGY TRANSFER

SUMMARY

In order to perform complex tasks or multiple functions for sensors, they must build a network and be managed from a central point. In order to build this structure, a module called Sensor Node (SN) has been developed by adding processor, energy unit and antenna to the sensor. When multiple SNs come together, Wireless Sensor Networks (WSN) are formed. The most important work area in the WSNs are energy efficiency and providing energy to the SNs permanently.

In this thesis, the MAC protocols developed to provide energy efficiency in SNs were mentioned. Providing energy from an external source to SN subject was examined in details. Especially, the advantages/disadvantages of energy harvesting from the environment and transfer energy from a fixed source to WSNs were compared. As a result of researches, we were focused on RF energy transfer. During energy transfer, losses occur due to the distance and disrupting obstacles between antennas, hence energy transfer was inefficient.

In order to calculate energy transfer between transmitter and receiver, electromagnetic wave propagation models were examined. Geometrical Optics (GO), Physical Optics (PO), Geometrical Theory of Diffraction (GTD), Physical Theory of Diffraction (PTD), Uniform Theory of Diffraction (UTD) and Slope Diffraction (S-UTD) models were mentioned. Afterwards, Slope Uniform Theory of Diffraction with Convex Hull (S-UTD-CH) was analyzed in detail. As a result of examinations, it was decided to use S-UTD-CH due to the advantage of calculation time.

The elimination of ineffective buildings from the calculations is one of the most important features of S-UTD-CH. To provide this a new algorithm was generated and a MATLAB code was developed to calculate Fresnel Zone and Convex Hull. Calculations were made for different scenerios with the MATLAB code developed. Fresnel zone radius is decreased with increasing of the frequency. To verify the outputs obtained in the developed MATLAB code, the high frequency calculation program FEKO was used. Similar results were obtained in both programs.

Finally, test scenerios have been generated for recievers at different location and heights with the transmitter used as an energy station positioned at different points. The tests are performed at different frequencies with UTD, S-UTD and S-UTD-CH models. The results of these models are compared. In WSNs the most suitable point for locating the transmitter has been identified to ensure the highest energy to receiving SNs.

Keywords: Wireless Sensor Networks, Sensor Node, Wireless Energy Transfer, Energy Harvesting, Electromagnetic Wave Propagation Models, Slope Uniform Theory of Diffraction with Convex Hull



1. GİRİŞ

Günümüz teknolojilerinde kullanılan ana ekipmanların başında algılayıcılar (sensörler) gelmektedir. Hayatımıza giren Akıllı Binalar, Nesnelerin Interneti (IOT), Endüstri 4.0 gibi teknolojilerle birlikte gelecekteki birçok teknolojinin temel yapı taşlarından birisinin algılayıcılar olacağı öngörülmektedir. Algılayıcılar sıcaklık, nem, basınç, titreşim gibi fiziksel ortam değişikliklerini algılamaları, esneklikleri, düşük hata oranları ve düşük maliyetleri sebebi ile yoğun bir şekilde tercih edilmektedir [1]. Algılayıcılar tarafından elde edilen verilerin merkezi bir noktaya iletilip analiz edilebilmesi çok önemlidir. Birçok algılayıcının bir araya gelmesi ile oluşan ağ Kablosuz Algılayıcı Ağ (KAA) olarak adlandırılmaktadır. KAA'lar askeri, çevresel, sağlık ve bina uygulamalarında yoğun olarak kullanılmaktadır.

Her teknolojiye olduğu gibi KAA'larda da gelişime açık bir çok alan bulunmaktadır. KAA'larda bulunan ve algılayıcı, işlemci, anten, enerji biriminden oluşan modül Algılayıcı Düğüm (AD) olarak adlandırılmaktadır [2]. KAA'daki her bir AD genellikle pille veya süper kondansatörle beslenmektedir. Bu yüzden enerjisinin çok verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir [3]. Verimliliğin sağlanması için birçok farklı protokol geliştirilmektedir. Geliştirilen protokoller genellikle veri katmanında olan MAC protokolleridir. Bir müddet haberleşmeden sonra AD'lerin enerjisi tükenmekte ve konuldukları yerler sebebiyle pil değişimleri çok zor olmaktadır. Bu yüzden enerji verimliliğinin yanında harici kaynaklardan AD'ye enerji sağlanması çalışma yapılan bir diğer alandır.

Harici kaynaklardan AD'ye enerji sağlarken alıcı ve verici arasında engel bulunması en çok karşılaşılan durumdur. Bu engeller sebebiyle iletilen enerji zayıflamaktadır. Mobil haberleşme sistemlerinde de kullanılan elektromanyetik dalga yayılım modelleri ile zayıflama miktarı tespit edilmektedir. Zayıflama hesaplamaları dikkate alınarak AD'ye sabit bir kaynaktan enerji sağlanabilmesi için enerji istasyonu en uygun noktaya konumlandırılmaktadır.

Farklı elektromanyetik dalga yayılım modelleri incelenmiştir. En hızlı hesaplamanın yapılacağı Dış Bükey Zarf Tekniğine Dayalı Eğim Kırınım Teorisi (EKDZ) ise daha

detaylı bir şekilde incelenmiştir [4]. Fresnel bölgesi ve dışbükey zarf oluşturulması için MATLAB kodu yazılarak sonuçlar gözlenmiştir.

Tezin ikinci bölümünde KAA'ların uygulama alanları, AD'nin yapısı, KAA'ların haberleşme mimarisi incelenmiştir. KAA'lardaki enerji verimliliğinin sağlanması için önemli bir parametre olan MAC protokolleri detaylı bir şekilde analiz edilip karşılaştırılmıştır.

Üçüncü bölümde AD'ye kablosuz enerjinin sağlanacağı yöntemler incelenip KAA için en uygun olanı tercih edilmiştir [5]. Kablosuz enerji transferi için geliştirilen MAC protokolleri incelenmiştir. Bir doğrultucu ve antenden oluşan rectenna modülü incelenmiştir. Kablosuz ortamdan enerjinin sağlandığı Enerji Hasadı (EH) ve sabit bir kaynaktan enerjinin sağlandığı Kablosuz Enerji İletimi için yapılan çalışmalar [6] incelenmiştir.

Dördüncü bölümde elektromanyetik dalga yayılım modelleri incelenmiştir. Sonrasında Fresnel Bölgesi ve Dışbükey Zarf Tekniğine Dayalı Eğim Kırınım Teorisi (EKDZ) detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Beşinci bölümde ise geliştirilen MATLAB kodundan elde edilen çıktılar ile yüksek frekans hesaplama programı FEKO ile elde edilen çıktılar karşılaştırılmıştır. Sonrasında farklı frekanslarda uygulanan simülasyonlarla enerji istasyonundan iletilen enerjinin AD'lerde elde edilen sonuçları gözlenmiştir. Son olarak da Düzgün Kırınım Teorisi (DKT), Eğim Kırınımı Teorisi (EK) ve Dışbükey Zarf Tekniğine Dayalı Eğim Kırınımı Teorisi (EKDZ) ile edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Son bölümde de tezden elde edilen sonuçlar belirtilmiştir.

2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR

Günümüzde birçok uygulama alanı olan ve fiziksel ortam değişikliklerini algılayan ekipmanlara algılayıcı denir. Esnekliği, hata toleransı, yüksek algılama kalitesi, düşük maliyeti, hızlı yayılma özelliği birçok alanda kullanım imkanı sağlamaktadır. Böylece hayatımızda çok daha önemli bir yer edinmektedir. Algılayıcılar basınç, nem, ses, titreşim, insan sağlığındaki kan basıncı, kalp atışı, stres gibi fiziksel ortamdaki değişiklikleri algılamaktadır. Elde edilen bu verilerin anlamlı bir sonuca dönüşmesi için merkezi bir noktaya iletilip analiz edilmesi gerekmektedir. Verilerin işlendiği ve uzaktaki toplama noktasına iletiildiği ağa Kablosuz Algılayıcı Ağ (KAA) denir. KAA'ların önemi gerçek hayattan sürekli gözlem yapabilmelerinden kaynaklanmaktadır. Algılanacak nesnenin içine veya çok yakınına konumlandırılan birçok algılayıcı düğümünün bir araya gelmesi ile KAA meydana gelir. Bu bölümde KAA'ların uygulama alanları, AD yapısı, algılayıcı ağların haberleşme mimarisi incelenmiştir. KAA'lardaki en önemli gelişim alanı enerji verimliliğinin sağlanmasıdır. Bunun sağlanması için üzerinde yoğun bir çalışma yapılan MAC protokolleri son kısımda detaylı bir şekilde anlatılmıştır. AD'lerde algılama, veri işleme ve haberleşme ekipmanları bulunmaktadır [1].

KAA'larda sismik, termal, optik, kızılötesi, akustik ve radar tipi algılayıcılar da kullanılmaktadır. Bu algılayıcılar ile ortamdan sıcaklık, nem, araç hareketi, yıldırım, basınç, toprak durumu, ses seviyesi, bir nesnenin varlığı veya yokluğu, hız, yön, boyut gibi veriler elde edilmektedir [7].

Bu alandaki uygulamalar askeri, çevresel, sağlık, ev ve diğer ticari alanlar olarak sınıflandırılmaktadır. Uzay keşfi, kimyasal işleme ve afet kurtarma gibi detaylı sınıflandırmalar da yapılabilmektedir [1].

2.1 Uygulama Alanları

KAA'ların bir çok kullanım alanı bulunmaktadır. Askeri uygulamalarda komuta, kontrol, haberleşme, istihbarat, gözetleme, keşif ve hedefleme (C4ISRT) gibi alanlarda çok önemli bir tamamlayıcı görev görmektedir. Cephane, donanım ve dost birliklerin izlenmesi, savaş alanı gözetleme, düşman birliklerin ve arazinin keşfi, hedefleme, savaş hasar tespiti, nükleer, biyolojik ve kimyasal (NBC) atak tespiti benzeri birçok örnek uygulamada kullanılabilir [1].

Çevresel uygulamalarda bir çok kullanım alanı vardır. Kuşların, küçük hayvanların ve böceklerin hareketlerinin izlenmesi, mahsulleri etkileyen çevresel şartların gözlenmesi, sulama, kimyasal ve biyolojik etkilerin algılanması, hassas tarım, orman yangın algılama, sel algılama, meteorolojik ve jeofizik araştırmalar, çevre kirliliği çalışmaları, su, hava ve arazi şartlarının izlenmesi gibi birçok örnek uygulamada kullanılabilir [1,8].

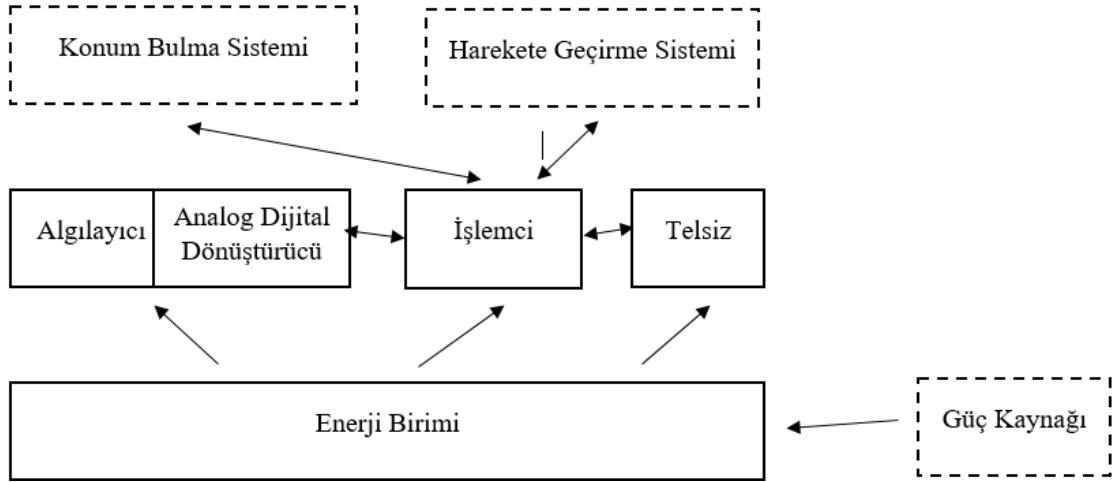
Sağlık uygulamalarında ise engelliler için arayüz sağlama, bütünlük hasta izleme sistemleri, teşhis koyma, hastanelerde ilaç yönetimi, insanın psikolojik durumunun gözlenmesi, hastane içinde hasta ve doktorların gözetimi gibi uygulamalarda kullanılmaktadır [1,9].

Ev uygulamalarında ise kullandığımız buzdolabı, süpürge, fırın gibi aletlerin çalıştırılması için kullanılabilir. Bu aletlerde bulunan AD'ler ev içinde birbiri ile iletişim kurmalarını sağlarken dış ortamdaki bir ağ ile iletişimi internet veya uydu üzerinden sağlayabilmektedir. Böylece evdeki cihazlar kullanıcılar tarafından yönetilebilmektedir [1]. Akıllı çevre uygulamaları insan odaklı veya teknoloji odaklı olabilmektedir. İnsan odaklı yaklaşımlarda son kullanıcıların ihtiyaçları göz önünde bulundurularak giriş/çıkış kapasiteleri dikkate alınmaktadır. Teknoloji odaklı yaklaşımda ise donanım teknolojileri, ağ çözümleri ve ara katman servisleri geliştirilmektedir [10].

Diğer ticari uygulamalar ise malzeme ömrünün tükenmesinin takibi, envanter takibi, ürünlerin kalite kontrolleri, akıllı ofis alanlarının kurulması, otomatik üretim alanlarında robot kontrol ve idaresi, interaktif oyuncaklar, interaktif müzeler, fabrikalardaki süreç kontrol ve otomasyonu, felaket alanlarının izlenmesi, makine sorunlarının tespiti, taşımacılık, araç takibi, rüzgar tünelleri, araç hırsızlık tespitleri olarak adlandırılabilir [1,11].

2.2 Algılayıcı Dügümü Yapısı

KAA'larda yer alan AD'ler Şekil 2.1'de gösterilen 4 ana kısım ve ihtiyaca göre ilave edilebilecek ekipmanlardan oluşmaktadır. Birinci kısım ortamdan veri toplayan algılayıcının ve bu verileri ikinci kısma ileten analog dijital dönüştürücünün bulunduğu algılama birimidir. İkinci ve en önemli kısım ise düşük kapasiteli bir hafızaya sahip genellikle bir mikroişlemciden oluşan veri işleme birimidir. Veri işleme biriminde daha önceden belirlenmiş prosedürelere göre diğer algılayıcı düğümleri ile birlikte çalışması organize edilmektedir. Üçüncü kısım diğer algılayıcı düğümleri ve ağla iletişimi sağlayan alıcı verici birimidir. Dördüncü kısım ise algılayıcı düğümünün enerjisinin sağlandığı enerji birimidir. Bunların dışında uygulamaya göre konum belirleme kısmı, harekete geçirme kısmı veya güç kaynağı kısmı gibi birimler ilave edilebilmektedir [1,2].

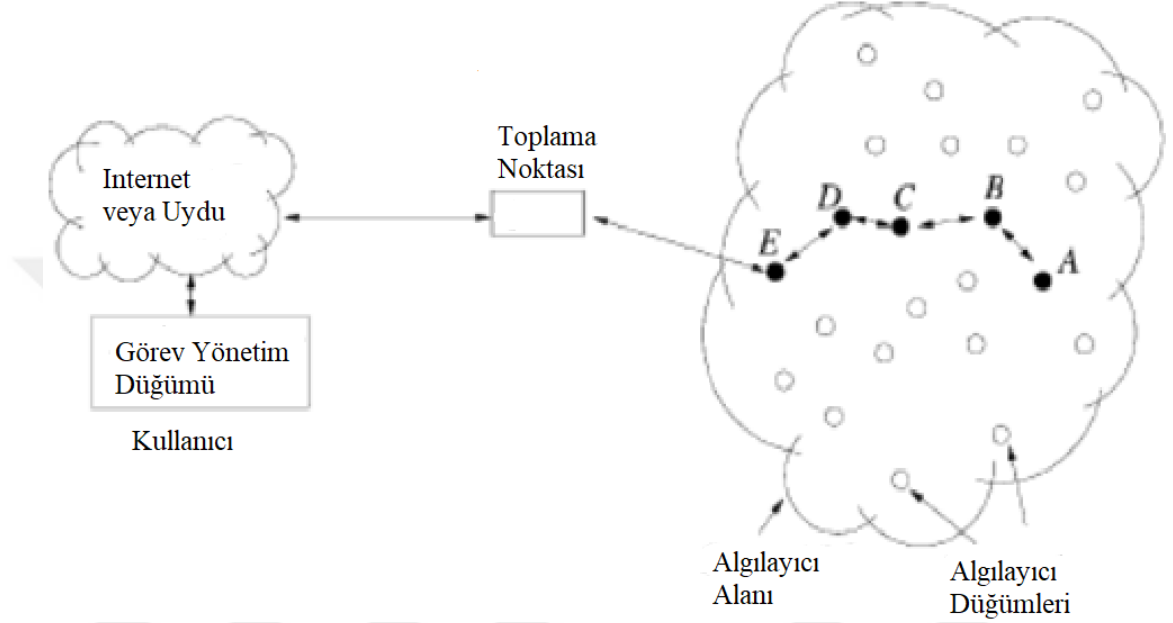


Şekil 2.1 : Algılayıcı düğümü birimleri

Algılayıcı düğümlerinin birbirleri ile iletişimleri radyo, kızılötesi veya optik olmak üzere kablosuz olarak gerçekleşmektedir. Bu iletişim için endüstriyel, bilimsel, tıbbi (ISM) alanlar için ayrılmış olan lisans gerektirmeden yayın yapılabilen frekanslar kullanılmaktadır. Ancak dünya çapındaki yaygınlığı ve en yüksek veri iletim kapasitesine sahip olması sebebiyle 2.4 GHz frekansı kullanılmaktadır [1].

2.3 Algılayıcı Ağların Haberleşme Mimarisi

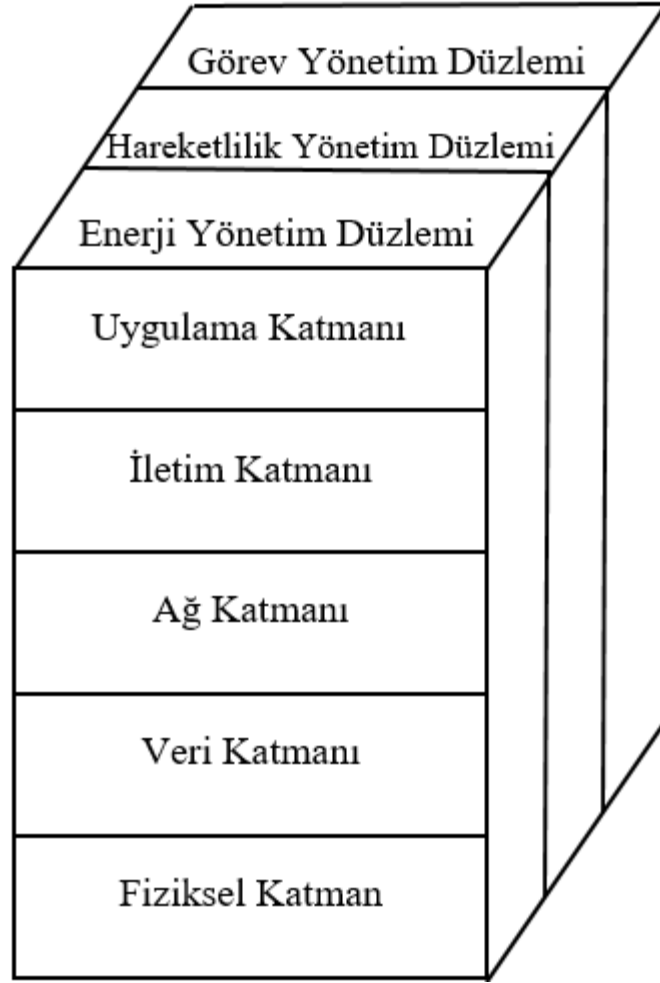
AD'ler genellikle Şekil 2.2'de gösterildiği gibi alana dağılmış şekilde bırakılmaktadır. Her bir algılayıcı düğümü veriyi toplayıp toplama noktasına veya son kullanıcıya yönlendirme kabiliyetine sahiptir. Toplama noktası da internet veya uydu aracılığı ile bilgileri yönetim merkezine iletmektedir [1].



Şekil 2.2 : Algılayıcı düğümlerinin alana dağılımı ve haberleşmesi [1]

Her bir haberleşme sisteminde olduğu gibi KAA'larda da haberleşme protokolleri kullanılmaktadır. Bu protokol yapısında enerji ve yönlendirme hassasiyeti birleştirilmiştir. Veri ile ağ protokolleriyle bütünleştirilmiş, kablosuz iletimin enerji verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi dikkate alınmıştır.

KAA'larda OSI katmanına benzer bir mimari bulunmaktadır. Bu katmanlara ilaveten yapı üç farklı düzlem üzerine oturmaktadır. KAA'lar Şekil 2.3'te gösterildiği gibi uygulama, iletim, ağ, veri ve fiziksel katman olmak üzere beş katmandan oluşmaktadır. Enerji yönetimi, hareketlilik yönetimi ve görev yönetimi düzlemi olmak üzere üç düzlem yer almaktadır.



Şekil 2.3 : Algılayıcı ağlardaki haberleşme katmanları ve düzlemleri

Uygulama Katmanı'nda algılama görevine göre farklı uygulama yazılımları kullanılmaktadır. Ayrıca algılayıcı yönetim protokolü (SMP) ile nitelik veya lokasyon bazlı isimlendirilen algılayıcılar tanımlanıp yönetilebilmekte, görev atama ve veri duyurma protokolü (TADAP) ile algılayıcılara anlık görev atamaları yapılabilmekte , algılayıcı sorgu ve veri yayma protokolü (SQDDP) ile algılayıcı üzerinden sorgu yapıp dönüş alınabilmektedir.

İletim Katmanı'nda algılayıcı ağının ihtiyacı olan veri akışı sağlanmaktadır. Algılayıcı ağa internet veya dış bir ağdan erişimin sağlandığı katmandır. Standart ağlarda kullanılan TCP protokolü algılayıcı ağlarda da kullanılmaktadır. Toplama noktası ile internet arasındaki iletişimde TCP kullanılırken toplama noktası ile algılayıcı düğümleri arasında UDP gibi daha az veri içeren farklı bir iletim katmanı protokolü geliştirilebilir.

Ağ Katmanı'nda iletim katmanı'ndan gelen verinin yönlendirmesi yapılmaktadır. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi algılayıcı düğümleri algılanacak nesne veya ortamın içine yoğun bir şekilde serpilmiştir. Ad hoc ağlarda arada herhangi bir kablosuz erişim noktası veya yönlendirici kullanmadan kablosuz ekipmanların birbiri ile haberleşmesi sağlanmakta iken algılayıcı ağlardaki enerji ihtiyacı ve veri iletimini en azda tutma ihtiyacı sebebiyle bu yöntem ihtiyacı karşılamamaktadır [12]. Enerji kullanımını dikkate alarak en fazla enerjinin olduğu yolun seçimi, en az enerji tüketilecek yolun seçimi, en az atlamalı yolun seçimi gibi metodlarla yönlendirme yapılmaktadır. Veri iletimi merkezli yaklaşımda ise toplama noktasının veri talep etmesi veya algılayıcı düğümlerin gönderecekleri veriyi ortama duyurması şeklindedir. Veri iletimi merkezli yaklaşımda nitelik tabanlı adresleme kullanılmaktadır [13]. Bu yaklaşımda birçok algılayıcıdan aynı verinin gelme ihtimaline karşın veri birleştirme işlemi yapılarak doğru verilerin toplama noktasına ulaşması sağlanmaktadır. Ağ katmanının en önemli görevlerinden birisi diğer ağlarla kontrol merkezi ile veya internet ile iletişimin sağlanmasıdır. Toplama noktası bu ağlara geçiş noktasıdır.

Veri Katmanı'nda veri akışı çoklanır, veri çerçevesi tespiti yapılır, ortam erişimi ve hata kontrolü yapılır. KAA'larda MAC protokolünün iki ana görevi vardır. Bunlardan birincisi binlerce algılayıcının olduğu bir alanda haberleşme bağlantılarını kurarak ağ altyapısını oluşturmak, ikincisi de algılayıcı düğümleri arasındaki haberleşme kaynaklarının verimli bir şekilde kullanımını sağlamaktır. Bu MAC protokollerinin enerji tasarruf modlarının olması ve hata düzeltme algoritmalarını kullanmaları gerekmektedir. Verici kullanılmıyorken kapatılarak enerji tasarrufu yapılabilirken FEC ve BER gibi hata kontrol, düzeltme algoritmaları kullanılabilir. Mobil, bluetooth ve MANET gibi haberleşme ağlarında kullanılan MAC protokollerinde yüksek QoS (servis kalitesi) ve bant genişliğinin yönetimi öncelikli olup enerji verimliliği ikinci planda yer almaktadır.

KAA'larda çevre gürültülü olduğu için ve algılayıcının hareketli olma durumuna karşın enerji hassasiyeti olan MAC protokolleri geliştirilmektedir. Ayrıca komşularından veri çarpışması olmaması da enerji verimliliği için önemli bir etkidir. MAC protokolleri ile ilgili detaylar bir sonraki kısımda anlatılacaktır [1,14].

Fiziksel Katman'da iletim, veri alışı, frekans seçimi, taşıyıcı frekans oluşturma, sinyal algılama, modülasyon ve veri şifreleme işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Enerji Yönetim Düzlemi'nde algılayıcı düğümünün enerjisini nasıl kullanması gerektiği yönetilmektedir. Herhangi bir komşusundan veri alıp almayacağı veya alıcısını kapatıp açması gerektiğine bu düzlemde karar verilmektedir. Ayrıca enerjisi azaldığında yönlendirme fonksiyonunda yer almayıp sadece algılama yapacağı mesajının iletilmesini sağlamaktadır.

Hareketlilik Yönetim Düzlemi'nde algılayıcı düğümünün hareketi tespit edilmekte ve kayıtlanmaktadır. Böylece komşu algılayıcı düğümlerini öğrenilerek enerji ve görev dağılımları düzenlenmektedir.

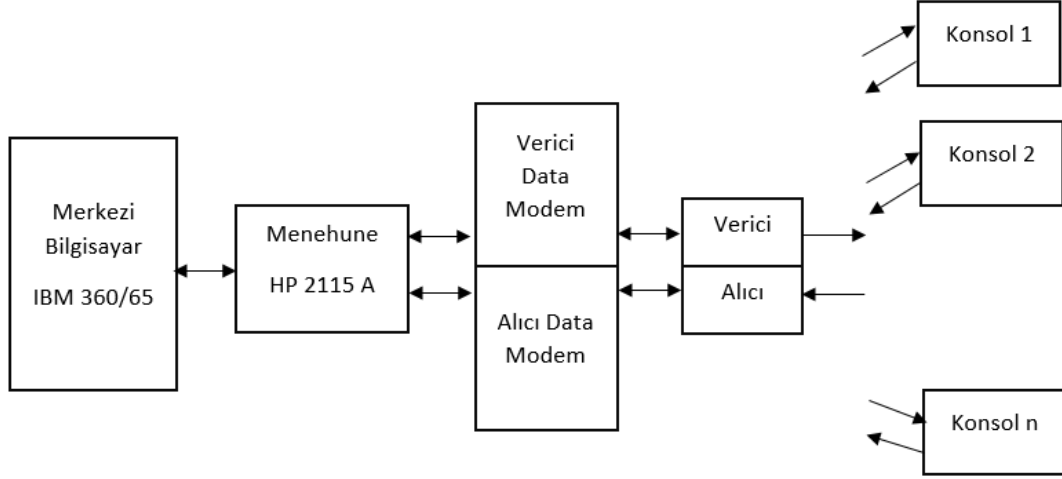
Görev Yönetim Düzlemi'nde belirli bir alandaki algılayıcı düğümlerinin görevleri dengelenmekte ve programlanmaktadır. Böylece bazı algılayıcı düğümleri yetersiz enerjileri sebebiyle görev almazken bazıları ise yüksek enerji seviyeleri sebebiyle çok daha fazla görev üstlenmektedir.

Bu üç düzlem algılayıcı düğümlerinin birbirleri ile koordinasyonunu sağlamaktadır. Bu düzlemlerin olmaması halinde algılayıcı düğümleri birbirinden bağımsız olarak çalışacaktır [1,15].

2.4 MAC Protokolleri

2.4.1 ALOHA

ALOHA, yerel ağ bağlantı protokolü olup bilgisayar-bilgisayar arası ve konsol-bilgisayar arası radyo haberleşmesi ile iletişimin sağlanması için 1970 yılında Hawaii Üniversitesinde geliştirilmiştir. Kablolu bağlantının sağlanamadığı veya radyo haberleşmesinin kablolu sistemden daha uygun olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Kablolu haberleşmede iki yönde farklı kapasite kanalı düzenlemek genellikle mümkün değildir ve bu asimetri kablo iletişim kanalının verimsiz kullanımında başka bir faktördür. Geliştirme sürecinde temel alınan ortam kablosuz ağlardır, bu yüzden birbirinden uzak noktalar arası haberleşme, dağınık yapıdaki yerleşim ve uydu iletişimi de dahil olmak üzere pek çok yerde kullanılabilir. Sistem zaman paylaşımıdır ve UHF radyo kanallarını kullanmaktadır. ALOHA sisteminin yapısı Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Merkezi bilgisayar iletilen ve gelen verinin yönetimini yaparken Menhune arayüzü ile modemlere bağlantı sağlanmaktadır. Modemler alıcı, vericilere bağlanır ve böylece uzak noktadaki konsollarla, bilgisayarlarla iletişim sağlanmaktadır [16].

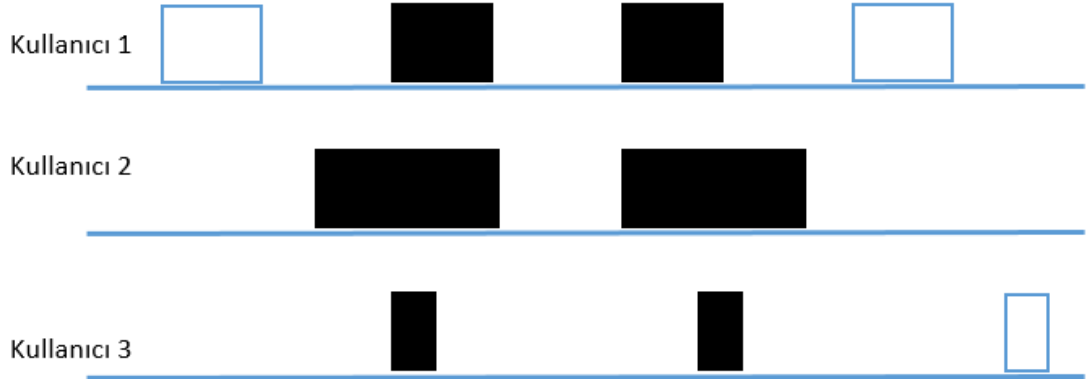


Şekil 2.4 : Aloha sistemi

Menehune'e gelen ve gönderilen bilgilere paket denir. Bu paketlerde hata tespiti için eşlik bitleri de bulunmaktadır. ALOHA tarafından kullanılan rasgele erişim yöntemi, bu hata tespit kodunun kullanımına dayanır. Bir konsoldaki her kullanıcı, aynı yüksek veri hızı kanalı üzerinden Menehune'e paket gönderir. Yalnızca bir paket hatasız alınırsa, Menehune tarafından onaylanır. Paketi gönderen konsol onay için belirli bir süre bekler ve bir dönüş alamazsa paket tekrar gönderilir. Bu işlem, başarılı bir iletim ve onay alınana kadar veya işlem kullanıcı konsolu tarafından sonlanıncaya kadar tekrarlanır. İletilen bir paketin yanlış alınması rastgele gürültü hataları ve başka bir konsol tarafından iletilen bir paketle girişimden kaynaklıdır. İlk hata türünün ciddi bir sorun oluşturması beklenmemektedir. Girişimden kaynaklanan ikinci hata türü, yalnızca çok sayıda kullanıcı tarafından kanalın aynı anda kullanılmaya çalışıldığı zaman önem kazanmaktadır. Girişim hataları, bu rastgele erişimli kanal üzerindeki kullanıcı sayısını ve iletilebilecek veri miktarını sınırlamaktadır [16].

ALOHA protokolü Saf Aloha (pure) ve Bölünmüş Aloha (slotted) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Şekil 2.5'te gösterilen Saf Aloha'da veri iletimi gönderici her istediğinde gerçekleşmektedir. Ancak farklı kullanıcılardan aynı zamanda veri iletim talebi olursa çarpışma meydana gelmekte ve şekilde gösterilen siyah paketlerde veri iletimi tekrarlanmaktadır. Bu yöntemle eşitlik 2.1'de $G=1/2$ olduğunda kanal kullanımını %18 olmaktadır [16,17].

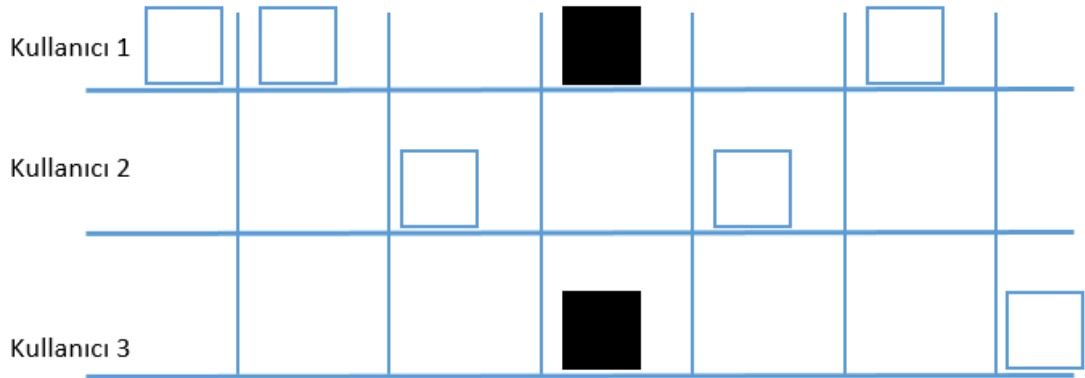
$$S = G * e^{-2G} = 1/2e \quad (2.1)$$



Şekil 2.5 : Saf Aloha paket iletimi

Şekil 2.6’da gösterilen Bölünmüş Aloha’da ise iletim kanalı eşit zaman dilimlerine bölünür, her paket eşit boyuttadır ve zaman dilimini beklemek durumundadır. Böylece çarpışma daha az gerçekleşir. Bu yöntemle eşitlik 2.2’de $G=1$ olduğunda kanal kullanımını %37 olmaktadır [16].

$$S = G * e^{-G} = 1/e \quad (2.2)$$



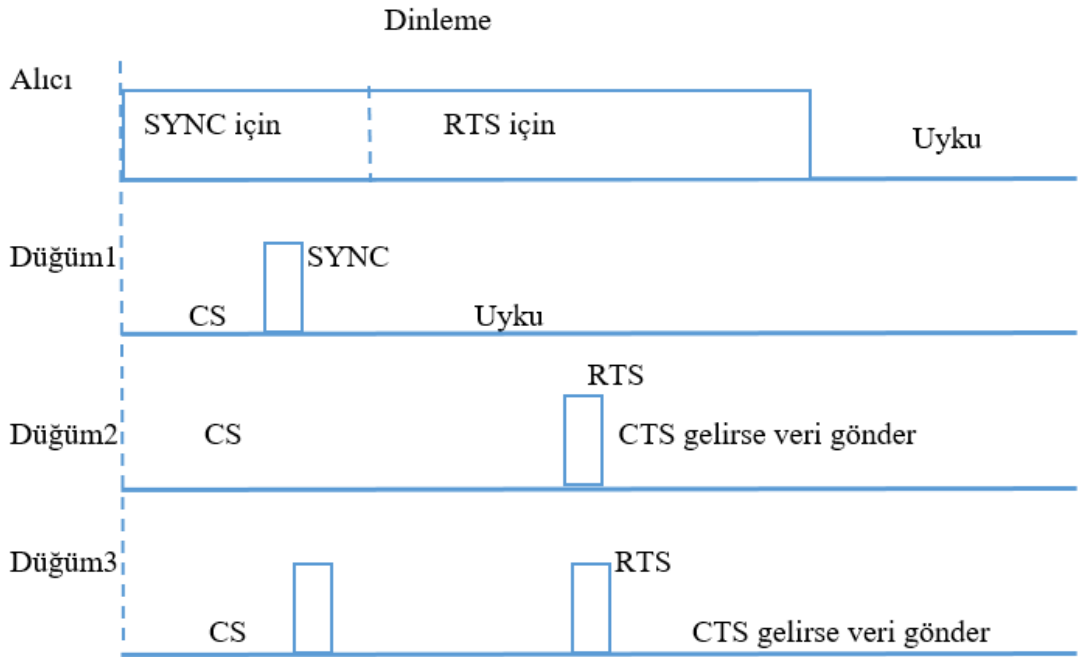
Şekil 2.6 : Bölünmüş Aloha paket iletimi

2.4.2 S-MAC

KAA’lar için en önemli sorun enerji tüketimidir. Dikkate alınması gereken diğer bir konu algılayıcıların yer değişikliklerine, ağ topolojisindeki değişimlere uyum sağlayabilmesidir. MAC protokollerinin en önemli görevi çarpışmanın engellenmesi ve verinin sağlıklı bir şekilde iletilmesidir. KAA’lar için geliştirilen S-MAC (sensör MAC) protokolünde bu üç durum göz önüne alınmıştır. Ayrıca MAC protokollerinde her kullanıcı için veri iletimi ve gecikme önemliken KAA’larda görev bazlı bir veri iletimi söz konusudur [18]. Enerji tüketimini artıran birçok etken bulunmaktadır. Birincisi aynı anda veri iletiminin yapıldığı durumda çarpışmanın meydana gelmesi ve bu sebeple tekrar iletilmesidir. İkincisi diğer AD’lere giden verinin duyulmasıdır.

Üçüncüsü verinin sağlıklı iletilmesinin kontrolünün yapıldığı kontrol paket başlığıdır. Dördüncü ve en önemlisi alıcı radyonun veri iletimi yapılmadığı zamanlarda açık olması sebebiyle meydana gelen boşta dinleme işlemidir [19].

S-MAC'te daha yüksek verisi olan algılayıcının veriyi iletmesi beklenir. AD'ler periyodik olarak dinleme ve uyku modundadır. Dinleme ve uyku modlarının ağdaki diğer AD'lerde de aynı olması için birbiri arasında SYNC paketleri gönderilir. Her AD'nin hafızasında komşu düğümün uyku zamanı depolanmaktadır. Düğümler arası bilgiler paylaşılmaktadır. Komşu düğümden plan bilgisi alınamazsa kendi planı oluşturulup diğer komşu algılayıcı düğümlere bildirilir. Veri göndermek için RTS (gönderme isteği) gönderilir ve alıcıdan CTS (gönderim onayı) gelmesi beklenir. Sonrasında çarpışmayı önlemek için 802.11'de olduğu gibi DATA ve ACK paketleri gönderilerek veri iletimi sağlanır. Şekil 2.7'de S-MAC'te veri iletimi gösterilmiştir [18].



Şekil 2.7 : S-MAC veri iletimi

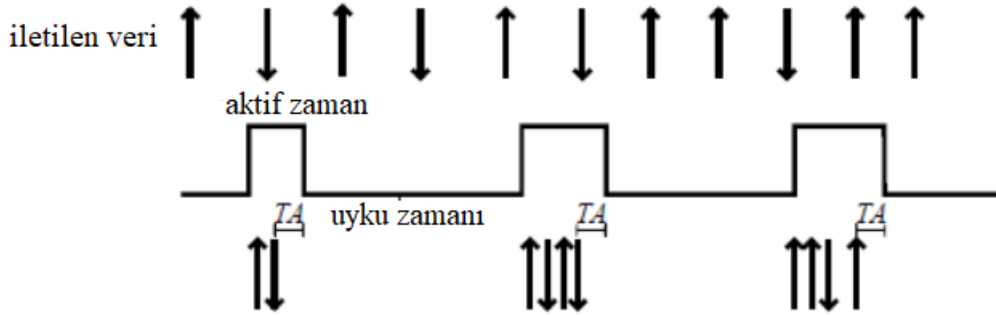
Şekil 2.7'de bir alıcı ve 3 adet gönderici bulunmaktadır. İlk gönderici senkronizasyon (SYNC) için paket gönderirken ikinci gönderici veri gönderme isteği (RTS) için paket göndermektedir. Üçüncü gönderici ise hem senkronizasyon hem de gönderme isteği paketi göndermektedir. Şekilde görülen CS kısmında çarpışmayı önlemek için hattı dinlemektedir.

S-MAC'te lokal olarak AD'ler senkron oldukları için bazı uyumsuzluklar yaşanabilmektedir [19]. Buna rağmen standart MAC protokollerindeki enerji tüketiminin S-MAC'tekine göre 2-6 kat daha fazla olduğu görülmüştür [18].

2.4.3 T-MAC

KAA'lar için daha iyi enerji tüketimi sağlamak amacıyla geliştirilen bir diğer MAC protokolü T-MAC (timeout MAC) 'tir. CSMA ve S-MAC gibi çakışmayı temel olarak geliştirilmiştir. CSMA'de görev döngüsü bulunmamaktadır. S-MAC'te sabit bir görev döngüsü vardır. T-MAC'te de uyarlanabilir görev döngüsü geliştirilmiştir. Buradaki en önemli amaç boşa dinlemeyi azaltmaktır. Çünkü çarpışma, protokol başlıkları ve ortamdaki gereksiz bilgilerin duyulması daha az enerji harcamaktadır.

S-MAC'te karşımıza çıkan verideki azalma ve gecikmedeki artışa da T-MAC'in bir çözüm olabileceği öngörülmüştür. Veri iletimi bitip bir süre bekledikten sonra uyku durumuna geçilmektedir. Uyku durumunda gelen veriyi bekletip aktif zamanda iletmektedir. Böylece dinleme zamanı gelen verinin durumuna göre değişkenlik göstermektedir. Şekil 2.8'de T-MAC'te veri iletimi gösterilmiştir. 802.11 standart kablosuz protokollerinde olduğu gibi RTS, CTS, Data ve ACK paketleri ile veri iletimi sağlanmaktadır [20].



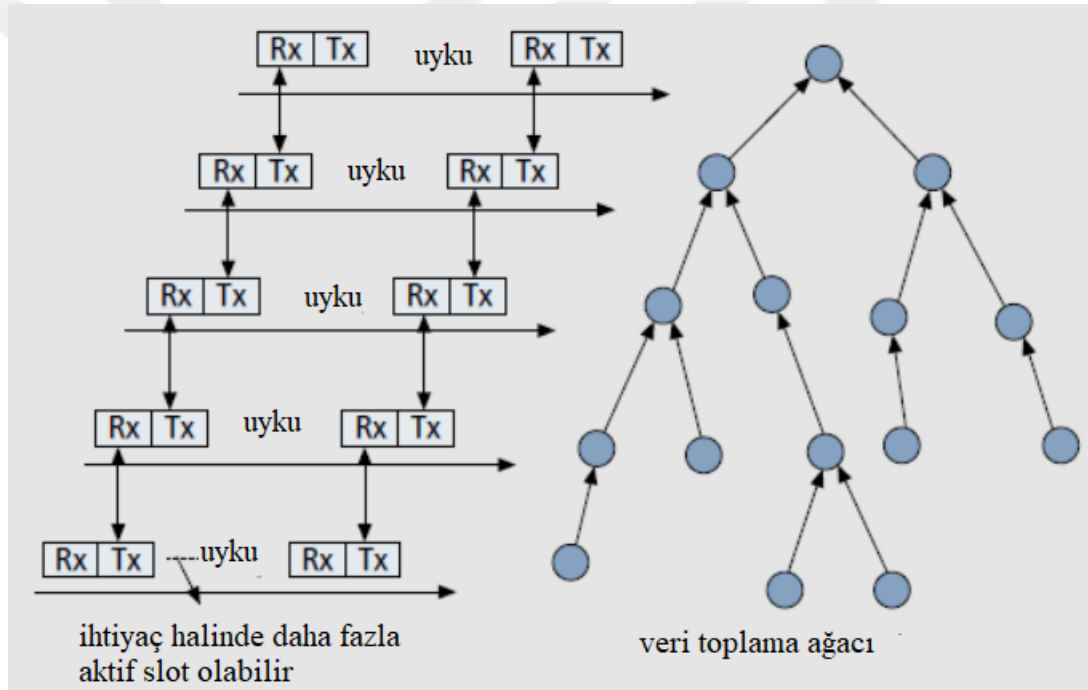
Şekil 2.8 : T-MAC veri iletimi [20]

Şekil 2.8'de görüleceği üzere uyku zamanında iletilen veri bekletilip aktif zamanda iletilmektedir. Bir süre veri gelmezse TA ile gösterilen zaman sonunda uyku zamanına geçmektedir.

2.4.4 DMAC

KAA'lar için daha iyi enerji tüketimi ve veri iletimindeki gecikmeyi azaltmak için TDMA/Bölünmüş Aloha tabanlı DMAC protokolü geliştirilmiştir. Birden çok algılayıcı üzerinden geçerek iletilecek veride yaşanan kesintilerin önüne geçilmesi ve sürekliliğin sağlanması hedeflenmiştir. Aşamalı aktif ve uyku zamanları belirlenerek çok atlamalı verinin iletilmesi sağlanmıştır [21].

KAA'larda veri iletimi 3 şekilde olmaktadır. Birincisinde komşu algılayıcı düğümünden alınan verilerdir. İkincisi toplama noktasından algılayıcılara iletilen mesajlardır. Üçüncüsü ve önemlisi de verilerin toplanıp toplama noktasına iletilmesidir. Mesajların iletimi Şekil 2.9'da gösterilmiştir [19].



Şekil 2.9 : DMAC'te veri toplama ağacı [19]

2.4.5 B-MAC

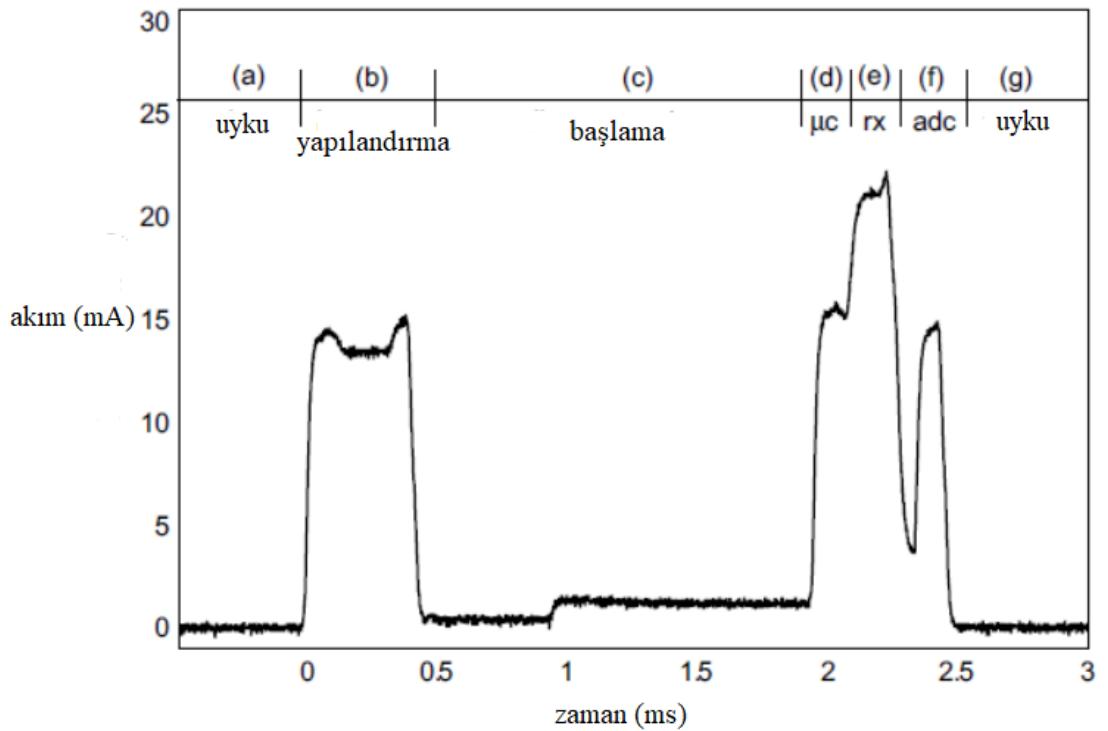
KAA'larda düşük güç kullanımını sağlamak, görev döngüsünü azaltmak ve boşta kalan dinlemeyi en aza indirmek için uyarlamalı bir başlangıç sinyali örnekleme metodu ile CSMA tabanlı olarak B-MAC (Berkeley MAC) protokolü geliştirilmiştir.

B-MAC protokolü geliştirilirken düşük güç tüketimi, çarpışmadan etkin korunma, düşük kod ve RAM belleği ile basit uygulama, düşük ve yüksek veri hızlarında etkin kanal kullanımı, ağ protokolleri ile yeniden uyarlanabilme, rf/ağ durumlarına karşı

toleranslı, yüksek sayıdaki algılayıcı düğümlerinde ölçeklenebilirlik parametreleri dikkate alınmıştır.

S-MAC ve T-MAC'te veri katmanı işlevlerine ek olarak organizasyon ve ağ protokolleri de yer almaktadır. B-MAC'te ise sadece ortam erişim fonksiyonları gerçekleştirilmektedir. B-MAC, çalışma esnasında sistemin yeniden yapılandırılmasını destekler ve performansı optimize etmek için sistem hizmetlerine çift yönlü arayüzler sağlar. Etkili bir çarpışma önleme için MAC protokollerinde CCA (kanal boşluk tespiti) ile kanalın temiz olup olmadığı doğru bir şekilde belirlenmektedir. B-MAC'te gürültü akışını kontrol etmek için otomatik kazanç kontrolü yazılımı kullanılmaktadır. LPL (düşük güç kullanımı ile dinleme) protokolü ile uyku moduna geçmesi sağlanmaktadır. Şekil 2.10'da standart bir MAC protokolü'nün kanal kullanımındaki enerji tüketimi gösterilmektedir [22].

Alıcı radyosununun açılması için gereken maliyet tüm protokoller için aynıdır. Ancak farkı oluşturan radyonun başlatılmasından sonra ne kadar süreyle çalıştığı ve kaç kez başladığıdır.



Şekil 2.10 : MAC protokollerinde kanal kullanımındaki enerji tüketimi [22]

Şekil 2.10'da görüldüğü üzere alıcı radyosu açılırken algılayıcı düğümünde birçok işlem gerçekleşir. Düğüm öncelikle uyku durumunda başlar, daha sonra bir zamanlayıcı kesme noktası üzerinde uyanır. Düğüm, radyonun yapılandırmasını

sıfırlar ve radyonun başlangıç aşamasını başlatır. Başlangıç fazı, radyonun kristal osilatörünün sabitlenmesini bekler. Dengeleme üzerine, radyo alma moduna girer. Alım moduna geçiş süresinden sonra radyo alım moduna girer ve alınan sinyal enerjisinin bir örneği başlayabilir. ADC kazancı başlattıktan sonra, radyo kapanır ve ADC değeri analiz edilir. LPL ile, kanalda herhangi bir aktivite yoksa, düğüm uyku moduna geçer.

Önemli olan noktalardan birisi de protokollerin kullandıkları hafızadır. S-MAC'te 6274 byte ROM, 516 byte RAM kullanılırken B-MAC'te 3046 byte ROM, 166 byte RAM kullanılmaktadır. Paket başlığının büyüklüğü sebebiyle S-MAC'teki veri paket boyutu 60 byte iken B-MAC'te 46 byte'dır [22].



3. KABLOSUZ ENERJİ TRANSFERİ

KAA'ların amacı veriyi algılamak, işlemek ve uzaktaki toplama noktasına iletmektir. Buradaki en önemli darboğaz sınırlı bir pili olmasıdır. Bu sebeple KAA'larda enerji verimliliği en önemli konu haline gelmiştir [3].

KAA'larda bulunan AD'lerin buldukları ortamlar sebebiyle dayanıklı olması ve enerjisi verimli kullanması gerekmektedir. AD'lerin enerjisi pille olabileceği gibi mikrodalga ile de sağlanabilmektedir [23]. AD'ler genellikle sınırlı ve değiştirilemez enerji kaynaklarına sahiptirler. Ayrıca ulaşılması zor olan noktalara konulmaları sebebiyle ömürleri enerji kaynağının ömrü ile doğru orantılı olmaktadır [1]. Bir önceki bölümde anlatıldığı üzere enerji tüketimini azaltmak ve verimliliği artırmak için farklı MAC protokolleri geliştirilmiştir. Bu bölümün ilk kısmında algılayıcı düğümlerine kablosuz enerji iletimi için geliştirilmiş olan protokoller incelenecektir. Sonraki kısımda ise anten ve doğrultucunun birlikte kullanıldığı Rectenna'dan bahsedilecektir. Diğer kısımlarda ise kablosuz ortamdan enerjinin sağlandığı Enerji Hasadı (EH) [6] ve sabit bir kaynaktan enerjinin sağlandığı Kablosuz Enerji İletimi [24] incelenecektir.

3.1 Kablosuz Enerji Transferi İçin Geliştirilen Protokoller

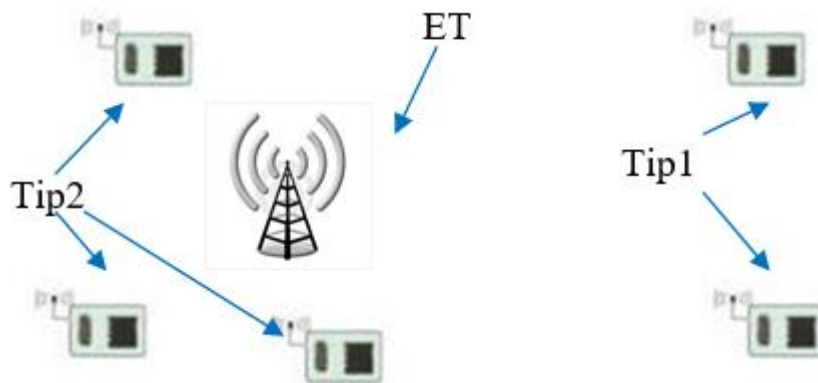
Kablosuz enerji transferi için çoğu veri katmanında olmak üzere ağ katmanında da protokoller geliştirilmiştir. Veri katmanında olan MAC protokollerinde zaman bölmeli çoklu erişim (TDMA), frekans bölmeli çoklu erişim (FDMA), kod bölmeli çoklu erişim (CDMA) ve çoklu erişimde hat kontrolü (CSMA) yöntemleri kullanılmaktadır.

TDMA tabanlı protokoller zaman dilimlerine ayrılmaktadır, veri belirlenen zaman dilimde iletilmektedir. FDMA tabanlı protokollerde tüm düğümlerin birden fazla kanalı kapsamasının sağlanabilmesi için yüksek karmaşık anten tasarımı ihtiyacı bulunmaktadır. CDMA her bir düğümdeki kod dizisini muhafaza etmek için büyük hafıza alanlarına ihtiyaç duymaktadır [25]. Yukarıda belirtilen dezavantajlar sebebiyle bu bölümde göreceğimiz MAC protokolleri CSMA tabanlı olacaktır.

Elektromanyetik dalga ile enerji transfer ederken konum ve uzaklık iki önemli parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer taraftan trafiğin yönlendirilmesi konusunda da incelemeler yapılmıştır. Veri iletimi ve şarj etme işlemi aynı ISM bandı üzerinden yapılacağı için farklı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Buna göre en yüksek enerjisi olan algılayıcı düğümü üzerinden trafik yönlendireceği için network ayakta kalma süresi artırılmıştır [26]. Bir baz istasyonu hasat ederek veya sabit bir enerji kaynağından enerjisini alıp enerji ileten düğümüne (ET) iletir. ET de en yakınındaki AD'ye enerji iletimini yapar. Yapılan testlere göre 12 m üzerindeki mesafelerde sağlıklı kablosuz şarj yapılamamaktadır. Elektromanyetik dalgalar enerjisi manyetik alan ve elektrik olarak taşımaktadır. Alıcıda bazı kayıplarla tutulmaktadır. RF iletimi birkaç metre ve %40-%60 verimlilikte çalıştığı için çoklu ET (enerji ileticisi) kullanılmalıdır. Bu yüzden hasat edilebilecek enerjiyi planlamak çok önemlidir. Planlama yaparken veri katmanında düşük görev döngüsü, ağ katmanında yönlendirmeler önceden hesaplanmakta ve verici-alıcı arası güç tahmin edilmektedir [27].

3.1.1 RF-HSN

Ortam enerji hasadı sistemleri digital TV yayını, GSM sinyalleri ve Wi-Fi radyo dalgaları gibi RF sinyallerini elektrik enerjisine çevirir. RF Heterojen Algılayıcı Protokolü ile iki farklı frekans bandında enerji hasadı yapılabilir. Ağdaki bir kısım algılayıcı düğümleri 614 MHz'de DTV yayını alırken bir kısmı da 915 MHz frekansında ISM bandındaki sinyalleri almaktadır [28]. RF-HSN'de optimum bir görev döngüsü ile enerji alışı optimize edilmektedir. En önemli katkısı ise gecikmeyi azaltmasıdır. Şekil 3.1'de RF-HSN çalışma prensibi gösterilmiştir.

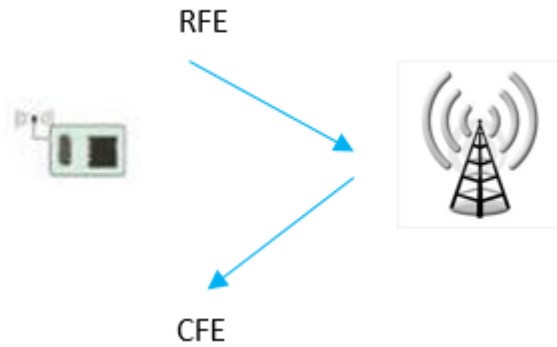


Şekil 3.1 : RF-HSN yapısı

Şekil 3.1’de gösterildiği üzere DTV bandından enerji hasat eden algılayıcı düğümleri Tip1, ISM bandından enerji hasat eden algılayıcı düğümleri de Tip2 olarak belirtilmiştir. ET ise algılayıcı düğümlerinde kalan enerjiyi kontrol ederek DTV veya ISM sinyallerinin kesilmesi durumunda düğümlerde kalan enerjiyi takip ederek enerji iletimi yapmaktadır.

3.1.2 RF-MAC

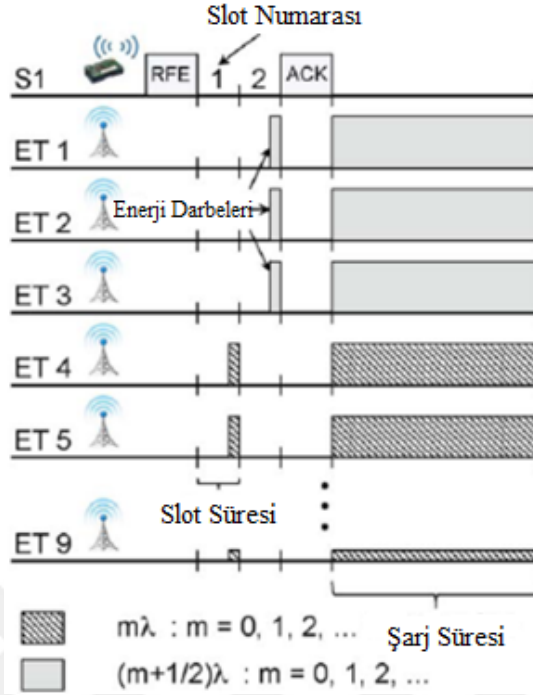
Kablosuz enerji transferinde en önemli sorunlardan birisi aynı radyo frekansları (RF) üzerinden enerji ve verinin iletilmesidir. İletimde karşılaşılan ilk sorun ağdaki hangi düğüme ne zaman ve nasıl enerji iletimi yapılacağıdır. İkinci sorun ise enerji iletimi devam ederken veri iletiminin ne zaman ve nasıl yapılacağıdır. Veri, toplama noktasına iletilirken birbirleri ile çakışma olmamalı ve frekans seçimi doğru yapılmalıdır. Çarpışmayı önlemek için önerilen çarpışma önleyici çoklu erişimde hat kontrolü (CSMA/CA) protokolü temel olarak geliştirilen RF-MAC protokolüdür. KAA’larda bir çok AD’nin birbirleriyle haberleşme içinde olması sebebiyle tercih edilmiştir. Şekil 3.2’de görüleceği üzere RF-MAC’te AD’nin kimliğinin (ID) yer aldığı enerji istek (RFE) paketi gönderilir. ET’ler de enerji için uygun (CFE) paketi gönderir. Birden fazla ET noktasından enerji alabilecek seviyede ise en verimli olandan enerji transferi yapılır [5].



Şekil 3.2 : RF-MAC yapısı

Şekil 3.3’te ise görüldüğü üzere AD’nin enerjisi alt sınırına (residual) ulaştığı zaman ET gruplarına RFE paketi yollamaktadır. CFE’deki sinyal gücüne göre alabileceği enerjiyi hesap ederek kalan enerjisi yüksek olan datayı yollamaktadır. Optimum frekans ve şarj süresinin tespit ettiği ET’ye ACK göndermektedir. Şekil 3.3’te

görüreceği üzere f_1 $[m\lambda - (\lambda/4), m\lambda + (\lambda/4)]$ şeklinde frekansta olan ET'ler 1.grup, f_2 $[(m + 1/2)\lambda - (\lambda/4), (m + 1/2)\lambda + (\lambda/4)]$ frekanslarındaki ET'ler 2.grup olmaktadır.

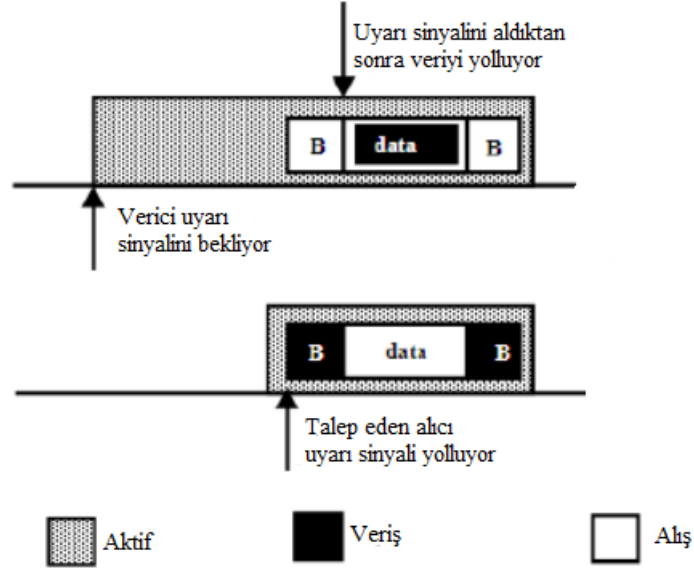


Şekil 3.3 : RF-MAC ET gruplandırma

3.1.3 RI-MAC

Gönderici başlamalı protokollerde düşük güç dinleme mekanizması kullanılmaktadır. Her gönderici veri iletiminden önce hedef alıcının uyku periyoduna eşit boyutta bir paket iletmekte ve alıcı uyandığında paketi fark ederek göndericinin veri göndermesine izin vermektedir. Bu durumda boşa dinleme süresi çok yüksektir. Boşa dinelemeyi azaltmak için Alıcı Başlamalı Asenkron MAC protokolü geliştirilmiştir [25].

Alıcı başlamalı MAC (RI-MAC) protokollerinde işaret paketi kullanılmaktadır ve bu paketi alıcı üretmektedir. RI-MAC'te süreç gönderici tarafından aktif edilmekte ve gönderici alıcıdan kısa işaret çerçevesi gelene kadar beklemektedir. Burada sadece kısa işaret paketi ve veri paketleri ortamı meşgul etmektedir. Bu yüzden gönderici ve alıcının ortamı meşgul etme süresi azalmakta ve böylelikle boş dinleme periyodunda enerji tüketimi azaltılmaktadır. Şekil 3.4'te RI-MAC'ın çalışma prensibi gösterilmiştir. Buna göre veri iletimi alıcı tarafından üretilen işaret paketi kullanılarak alıcı tarafından başlatılmaktadır. [25].



Şekil 3.4 : RI-MAC çalışma prensibi [25]

3.2 Rectenna

Kablosuz enerji transferinde kullanılan ekipmanlardan birisi de Rectenna olarak adlandırılan alıcı bir anten ve doğrultucudan oluşan kısımdır. Verici anten tarafından mikrodalga ışınları Rectenna'ya gönderilmektedir. Özellikle yüksek frekanslarda küçük kablosuz dönüştürücülerin gücü algılaması zor olduğu için RF gücünü kullanılabilir DC gücüne çeviren Rectenna kullanılmaktadır [27]. Rectenna sistemleri için düzenleme bulunmadığından lisans istemeyen ISM bantlarında çalıştırılmaktadır. Ünelere göre değişen kısıtlamalar dikkate alınmalıdır. Bu yüzden küçük boyutlu Rectenna'lar KAA'lar gibi küçük boyutlu uygulamalar için kullanabilmektedir [23,27].

Alıcı-verici çiftinde yayılım aşağıdaki 3.1 eşitliği ile hesaplanmaktadır. Eşitlikte belirtilen G_T verici kazancını, G_R alıcı kazancını, λ mikrodalğanın metre türünden dalga boyunu, R antenler arası uzaklığın metre türünden ifadesini, P_T vericinin iletmiş gücün miliwatt türünden ifadesini, P_R alıcıya ulaşan gücün miliwatt türünden ifadesini göstermektedir.

$$P_R = \frac{(G_T \cdot G_R \cdot \lambda^2)}{(4 \cdot \pi \cdot R)^2} \cdot P_T \quad (3.1)$$

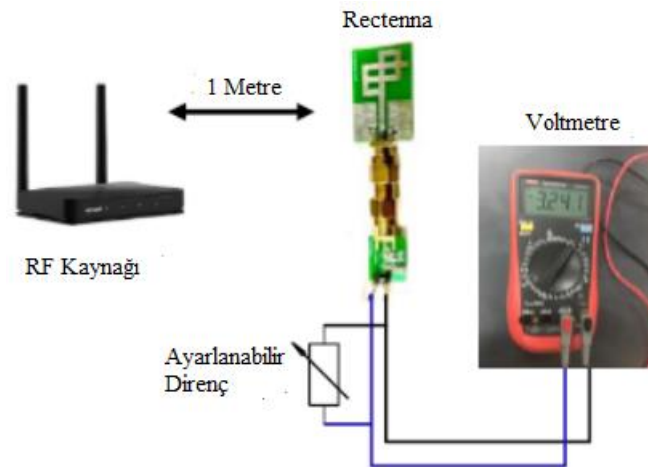
Anten ve doğrultucu arasına eşdeğer direnç ve yüksek harmonik frekansları önleyen filtre konulduğu zaman rectenna tasarımında en önemli parametre diyotun direnç seviyesi olmaktadır [24].

Doğrultucu devrede schottky diyot kullanılmakta ve bu diyotun giriş empedansına karar vermek için harici bir gerilim kaynağı kullanılmaktadır. Doğru bir anten empedans seçimi rectenna verimini önemli ölçüde etkilemektedir. RF gücü schottky diyot kullanılan devre ve doğrultucu ile DC gücüne dönüştürülmektedir. İki farklı tip anten ile yapılan denemelerde mesafe arttıkça DC gücün azaldığı görülmektedir.

DC'de çıkış gerilimi bir yaklaşım metoduyla ölçülmekte olup DC çıkış gerilimini artırmak için gerilimi iki katına çıkararak devre kullanılmaktadır [24]. Doğrultucu devrenin çıkış gerilimi bir uygulamayı çalıştırmak için düşük olduğunda DC-DC dönüştürücü kullanılmaktadır. Dönüştürücünün 2.1-4.5 V aralığındaki bir pili şarj edebilmesi için doğrultucunun çıkışının 0.21-1 V aralığında olması gerekmektedir.

Anten tasarımında dikkat edilecek en önemli konu antenin AD'ye uyabilecek küçüklükte olması ve çalıştığı frekansta giriş empedansının ayarlanabilmesidir. Antenler doğrusal (modem anteni), parabolik (uydu anteni), yağı (karasal yayın alan televizyon anteni) ve mikroşerit (cep telefonu antenleri) olmak üzere dört çeşittir.

[23]'te yapılan çalışmalarda 2.4 GHz'lik ISM bandını kullanan mikroşerit anten ile 1 W'lık gücün, 3.6 V'luk algılayıcı düğümüne 27 sn'de yüklendiği görülmüştür. Şekil 3.5'te görülen çalışmada ise 2.45 GHz'de 12.2 cm dalga boyunun 37.2 cm²'lik alana etki ettiği görülmüştür. Şekilde verilen tek bir anten için 1m mesafede verimlilik %1.2'dir. Şekildeki 18'li mikroşerit anten panelinde her bir antenin doğrultucusu üzerindedir. Testlere göre parabolik anten verici, 36'lık mikroşerit anten alıcı ile 910 mW'lık mikrodalga enerjisi 2.45 GHz ile 1m uzaklıktaki 0.1 F'lık bir kapasitörü 3 V'a 16.2 sn'de şarj edebilmektedir.



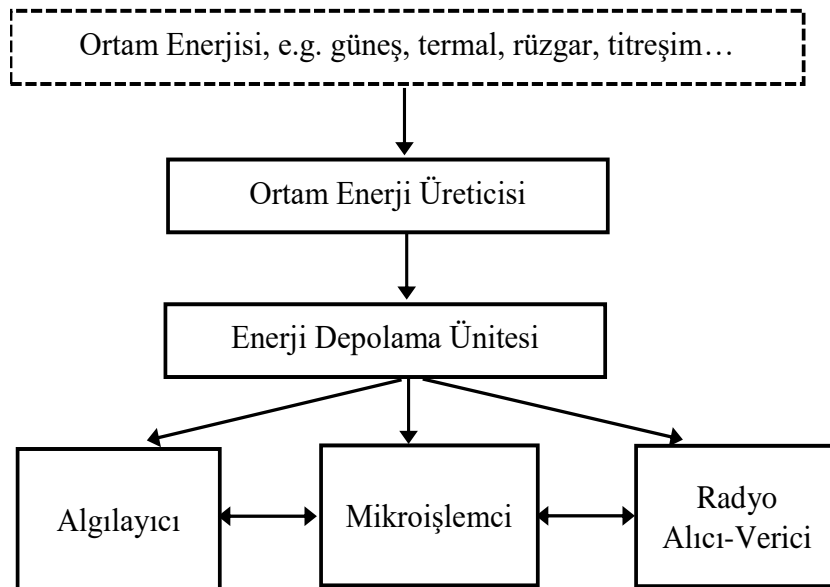
Şekil 3.5 : Rectenna kullanımı

3.3 Enerji Hasadı

Kablosuz Enerji Transferinde üzerinde en yoğun çalışılan kısım Kablosuz Enerji Hasadı'dır. Özellikle KAA'lar, Nesnelerin Interneti (IOT) ve Akıllı binalarda kendi enerjilerini sağlayan cihazlar kayda değer bir yer edinmeye başlamıştır [29]. Bunların dışında yapıların sağlık taraması için kullanılmıştır. Kablo ile ulaşılması güç noktalara kablosuz olarak konulmuştur. SHM uygulamalarında ortamdan enerji hasadı daha uygun olmaktadır. Isı değişiminden veya mekanik titreşimlerden elde edilmektedir [23].

Ortamdaki enerjiyi hasat edip elektrik enerjisine dönüştürmek bu yapının temelini oluşturmaktadır. Şarj edilebilir pil veya süper-kondansatörler enerjiyi depolamak için kullanılmaktadır [26]. Enerji Hasadı ile algılayıcının ihtiyacı olan enerji güneş, rüzgar, titreşim ve termal kaynaklardan elde edilmektedir [6]. Bunlara ilaveten ortam radyo dalgaları kullanılmaktadır [30].

Ortamdan elde edilen güneş, rüzgar, termal, titreşim enerjileri alınıp algılayıcı düğümde kullanılabilir forma çevrilmektedir [31]. Ortam enerjisinin kullanıldığı algılayıcı düğümlerde mevcut algılayıcı düğümüne ilave olarak enerji hasadı birimi eklenmektedir [6]. Enerji hasadı birimin eklendiği algılayıcı düğümü Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Ortamdan elde edilen enerjinin yoğunluğu güneş enerjisinde 100 mW/cm^2 , termal enerjide $60 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$, titreşim enerjisinde $200 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$ ve radyo frekansı ile hasat edilen enerjide $1 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$ olarak tespit edilmiştir [29].



Şekil 3.6 : Enerji hasadı birimi eklenmiş algılayıcı düğümü

Enerji Hasadını kullanan KAA'larda çevre enerjisinin zamanla değişmesindeki belirsizliklerin azaltılması için MAC protokolleri üzerinde çalışılmaktadır. Herhangi bir zaman dilimindeki enerjinin harcanan enerjiden büyük olması Enerji Dengeli Çalışma (ENO) olarak adlandırılmaktadır. Mevcut MAC protokolleri bunu sağlamaktadır [3].

3.3.1 Güneş enerjisi

Güneş enerjisi için Enerji Hasadı birimi güneşi kaynak olarak kullanmaktadır. Bu birimde enerjiyi üretmek için güneş paneli ve depolamak için kapasitör kullanılmaktadır. KAA'lara Enerji Hasatı ile sürekli enerji sağlanabilmektedir. Yüksek enerji yoğunluğu olması ve belirli bir periyodu olduğu için en tahmin edilebilir ortam enerjisi olması sebebiyle güneş enerjisi en etkili ortam enerjisidir. Buradaki en büyük sorun ortam enerjisinin zamana göre değişmesi ve havaya bağlı olmasıdır [26]. Kontrolsüz bir kaynaktan düzensiz olarak geldiği için gelecekteki enerji tahmininin çok iyi yapılması gerekmektedir [26]. Mevcut MAC protokolleri o andaki enerjiye bakarken üzerinde çalışılan MAC protokollerinde gelecekteki enerjinin tahmin edilebilmesine yoğunlaşmaktadır [6].

Geleneksel pille çalışan KAA'larda enerji kullanımını azaltmak için radyonun iş döngüsü (aktif ve uyku süreleri) temel alınmaktadır. Enerji Hasadı yapılan KAA'larda en çok çalışılan MAC protokolü sensör MAC (S-MAC) protokolüdür. Sabit bir iş döngüsü varsayımı ile tasarlanmıştır. S-MAC'in veriminin ölçümü için Enerji Hasatı'nda güneş enerjisi ile çalışılmıştır. Ortalama enerji seviyesi, iş döngüsünün bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. İş döngüsünü zaman çizelgesine ayırmak için iki dinamik model vardır. Birincisinde kalan enerji ikincisinde ise muhtemel enerji artışları dikkate alınmıştır [6].

Yenilebilir enerji tahminleri genelde uzun süreli (yıllık) olur ancak KAA'larda bu sürenin birkaç saat-dakika gibi daha kısa aralıklarda olması gerekmektedir. Güneş enerjisi tahminlerinde gün 24 eşit parçaya bölünmektedir. Bu zaman dilimlerinde elde edilen ve kullanılan enerji hesaplanmaktadır.

En çok kullanılan tahmin yöntemi artan ağırlıklı hareketli ortalama (EWMA)'dır. Bu algorithmada gün eşit parçalara bölünür ve her parçada elde edilen enerji hesaplanır.

Sezonluk tahminlerde başarılı olmasına rağmen ani değişimlerde elde edilen sonuçlar başarısızdır [3].

Güneş enerjisinin tam tahsisi (ASEA) algoritmasında ise ileride kullanılmak üzere enerji rezerve edilmektedir. ASEA sadece bir önceki slottaki durumu dikkate almaktadır. Kısa vadeli ve hızlı değişen hava koşullarında yanlış tahmin yapılmaktadır. Gelen enerji miktarından çok her slotta eşit enerji verme üzerine kurulmuştur. Bir önceki zaman dilimin enerjisini baz aldığı için EWMA'nın eksikliğini gidermektedir [3].

Hava durumuna bağlı hareketli ortalama (WCMA) algoritmasında ise mevcut ve geçmiş hava koşulları dikkate alınmaktadır. EWMA'dan farkı ise ağırlıklandırılmış ortalama yerine bir önceki slotta hasat edilen enerjiyi tahmin algoritmasına dahil etmesidir. Mevcut hava koşullarını dikkate almaktadır. Geçmiş enerji değerlerini bir matriste tutar. En belirgin özelliği geçmiş örnekleri hesaba dahil etmesidir [3].

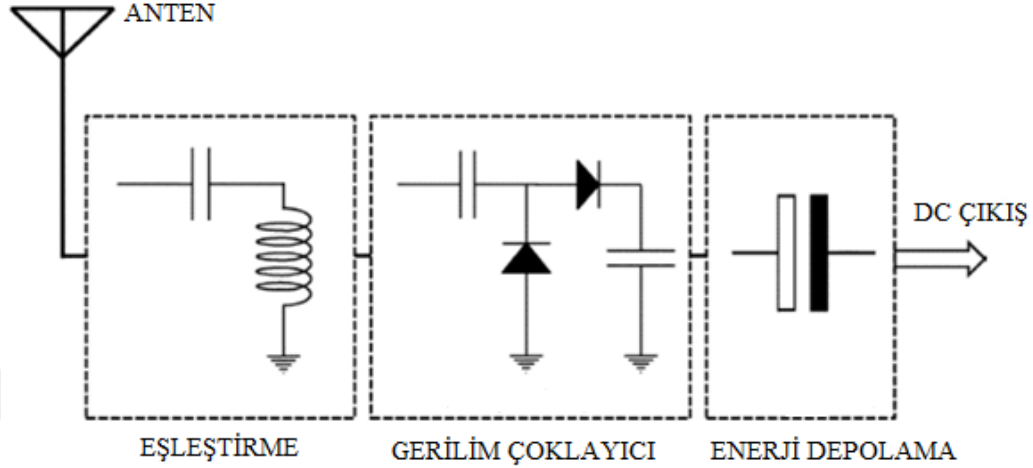
Güneş enerjisi kontrolsüz bir kaynaktan düzensiz olarak geldiği için gelecekteki enerji tahmininin çok iyi yapılması gerekmektedir. Q-öğrenme temelli güneş enerji tahmini (QL-SEP) ile sadece geçmiş günlerdeki değil şu andaki enerji de hesaba katılmaktadır [6]. Geçmiş günlerin tahminleri ile aynı gün içindeki en yakın hava koşulunu hesap ederek tahmin yapılmaktadır. Bu yöntemin en önemli özelliği edindiği anlık tecrübeyi de hesaplamalarda kullanabilmesidir. [6]

3.3.2 Radyo frekans enerji hasadı

Kablosuz Algılayıcıları radyo frekans (RF) enerji hasadı ile beslemek ise diğer bir yöntemdir [27]. RF enerji hasadı için en çok kullanılan Gsm900, Gsm1800 ve Wi-Fi frekanslarıdır. Bu frekanslarda şehir içinde 10-50 cm² boyutunda antenler kullanılırken broadcast için daha büyük boyutta antenler gerekecektir. Yapılan testlerde 100 µW'lık bir enerji yoğunluğu için 330-1000 cm² alan gerekmektedir. RF enerji hasadı düşük güç ihtiyacı olan KAA'lar için uygundur [32].

Radyo frekans (RF) elektromanyetik dalgalarından gelen enerjiyi hasatlamayı sağlayan bir enerji toplama cihazı ile kullanılabilir. Güneş ve rüzgâr gibi diğer alternatif enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında RF enerji, düşük yoğunluğuna sahiptir. Mevcut en son teknoloji çözümleri yalnızca dar frekans aralıkları üzerinde etkili olmakta ve daha yüksek seviyelerde giriş gücü

gerektirmektedir. Şekil 3.7’de gösterilen RF Enerji Hasadı devresi yaygın olarak bulunan bir Mica2 algılayıcı düğümüyle birleştirilmiştir. Yapılan testlerde hasat edilen enerjinin bu entegre cihazın çalışma döngüsü üzerindeki etkisini göstermektedir.



Şekil 3.7 : RF enerji hasat etme devresi [33]

RF enerji hasadında en önemli kavram enerji yoğunluğudur. RF enerji genelde -50 dBM ile -20 dBM arası güç yoğunluğuna sahiptir. Bu yüzden doğrultucu ve RF kaynağına uzaklık çok önemlidir. Şekil 3.7’de gösterilen devre ekipmanlarında RF’ten elde edilen 0.1 V ile 1 V arasındaki enerji birçok elektronik cihazı çalıştıramayacağı için voltaj çarpanı kullanılmaktadır. Kondansatör ve diyotla düşük voltaj yükseltilmektedir [29].

Genişbantta (1 GHz-3.5 GHz arası) ve darbantta (1.8 GHz-1.9 GHz). Enerjiyi direkt kullanmak yerine süperkapasitör ile depolamak gerekmektedir. KAA’larda güneş ve rüzgar verimli değilken RF yayın istasyonlarından iletmek daha verimlidir [34].

Geniş bir frekans aralığında en fazla enerjiyi elde etmek için genişbant ve kompakt bir anten tasarımı gerekmektedir. 2.4 GHz, 5.1 GHz, 5.8 GHz (Bluetooth/Wi-Fi), 2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.5 GHz, 5 GHz (WiMAX), 3.4-3.6 GHz gibi telekomünikasyon bantları kullanılabilir.

Frekans dışında makul bir kazanç ve çok yönlü yayılım da anten tasarımı için önemlidir.

Anten dışında doğrultucu devrenin de dönüşümdeki verimliliği önem arz etmektedir. Çıkış gücü elektronik cihazları beslemesi gerekiyorken yedek enerji depolaması da gerekmektedir [29].

3.4 Enerji İletimi

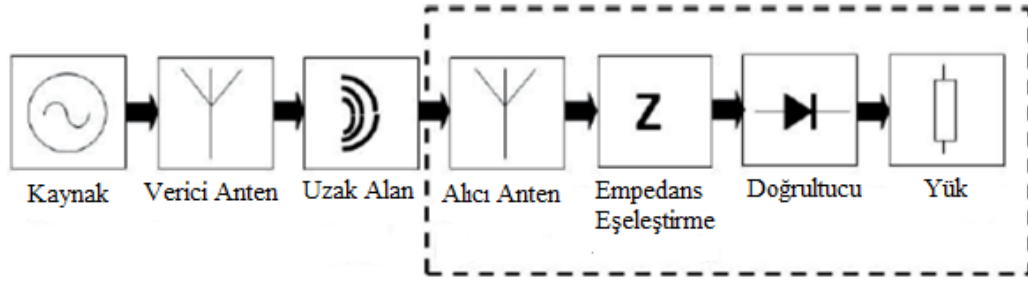
Kablosuz RF enerji hasadı 1990'ların başında ortaya çıkmışken mikrodalga enerjisiyi elektrik enerjisine çeviren Kablosuz enerji transferi Nikola Tesla tarafından 1900'lerin başında geliştirilmiştir [35].

RF enerji iletimi 1880'lerde Heinrich Hertz'in deneylerinde ortaya konmuştur. 1990'lardan sonra kısa mesafeli uygulamalarda (<2 m) sanayi-bilim-sağlık (ISM) için ayrılan frekans bantları (0.9, 2.4, 5.8 GHz ve üzeri) kullanılmaya başlanmıştır. Enerji Hasadı'ndan sağlanan gücün yeterli olmadığı durumlarda tercih edilmektedir.

Algılayıcı düğüme bağlanan cm seviyesindeki uzaklıkta bulunan bir kapasitör veya pili elektromanyetik dalga ile doldurma işlemi Kablosuz Enerji İletimi olarak adlandırılmaktadır. RF ile ve mikrodalga ışınımı ile olabilmektedir [23]. Kablosuz enerji iletimi için indükleyici kuplaj, elektromanyetik yayılım, manyetik rezonans kuplaj, radyo frekansları ile iletim yöntemleri kullanılmaktadır. Radyo dalgaları veri taşıyabildiği gibi enerjisi de taşıyabilmektedir [32]. Kablosuz enerji iletim sistemleri hava ortamında iki manyetik bobin arasında oluşan manyetik alandan elektrik enerjisini iletme prensibi ile çalışmaktadır. Normal trafolardaki kuplaj sayısında çok düşük olduğu için ekleme ihtiyacı bulunmaktadır [36].

3.4.1 Radyo frekans enerji iletimi

Anten, doğrultucu üzerinden geçince enerji hasadı verimsiz olmaktadır. Eğer kaynak olarak çevresel enerji kullanılacaksa RF enerji hasadı, sabit bir kaynak kullanılacaksa RF enerji iletimi olarak adlandırılmıştır [27]. RF enerji iletimi enerji hasadına göre daha verimlidir. Rectenna'daki ekipmanların verimliliğe etkisi bulunmaktadır [24]. Uzak noktalara enerji transferi yol kaybı sebebiyle verimsizdir. Rectenna üzerindeki güç çok düşüktür, ayrıca RF'ten DC'ye dönüştürürken de verimlilik çok düşüktür [30]. Şekil 3.8'de Rectenna kullanılarak oluşturulan RF enerji iletim sistemi şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.8 : Rectenna kullanılarak RF enerji iletimi [30]

Elektromanyetik ışıma, çok yönlü elektromanyetik yayılım ile ISM bantları kullanılmakta ve 30 cm'ye kadar mesafede 10 mW'tan daha düşük enerji ihtiyacı olan KAA'lar için uygundur. Çok yönlü anten ile yapılan iletimde çok düşük seviyede enerji transferi olmaktadır. Mikrodalga ile tek yönlü iletişimde ise kilometre seviyesinde iletim olmaktadır [35].

Mobil şebekelerde olduğu gibi KAA'larda da baz istasyonları gibi enerji istasyonları konumlandırılmaktadır [23]. Kısa mesafelerde bu yöntem daha sonra bahsedeceğimiz manyetik kuplaj yöntemine göre daha verimlidir. Kablosuz enerji iletiminde mikrodalga ışınları kullanılarak iki şekilde iletim yapılabilir. Birincisinde çevredeki mikrodalga ışınları kullanılarak enerji sağlanabilir, ancak bu çok verimli değildir. Daha verimli olan RF anten kullanarak mikrodalgayı karşı tarafa iletip doğrultucu bir devre kullanarak DC enerjiye dönüştürme veya rectenna kullanılan yöntemdir [31]. Dağınık olarak kurulan bir algılayıcı ağın hem enerji ihtiyacını karşılamak hem de iletilecek veriyi toplamak için bir mobil platform yapısı kurulabilir. Bu platform RF enerji kaynağı ve veri alışverişini sağlayacak bir baz istasyonu olarak kullanılabilir. Yapısal sağlık denetimi (SHM) uygulamalarında hem RF enerji hem de sorgu komutları mobil kullanıcı tarafından taşınmaktadır. Bu örnekten yola çıkarak ulaşılması zor olan algılayıcı ağlar için de aynı yöntem GPS kullanılarak uygulanabilir. Ortam enerjisi kullanılan ağlar için de yedek ve destekleyici enerji kaynağı olarak kullanılabilir [31].

MIMO anten kullanılarak (çoklu giriş, çoklu çıkış) bir antenden enerji transferi yaparken diğerinden veri alışverişini yapılırlar [32].

Piezoelektrik algılayıcıların (PZT) elektrik empedansı kullanılarak yapıların sağlıklı çalışması gözlemlenmektedir. Mekanik bir yapıda ise mekanik empedans kullanılmakta ve herhangi bir değişim anında elektrik empedansa dönüşmektedir. Elektrik empedansı takip etmek için geliştirilen algılayıcı sistem kablosuz empedans

cihazı (WID) olarak adlandırılmaktadır. İlk nesil WID'ler bir piezoelektrik algılayıcıyı takip edip ölçümleri kaydedebilmekte ve radyo ile veri iletebilmekteydi. Sonraki modellerde çoklayıcı kullanılarak ölçüm yapılabilecek PZT algılayıcı sayısı artırılmıştır. Son modelde ise ortam enerjisi, RF enerji iletimi gibi farklı kaynaklardan enerji alınabilmesi sağlanmıştır [31].

Elektromanyetik yayınımda ise tek yönlü iletişimde çok hassas, çok yönlü iletişimde ise radyo dalgaları ile iletildiğinden enerji verimliliği %1,5 değerlerinde olup çok düşük olmaktadır.

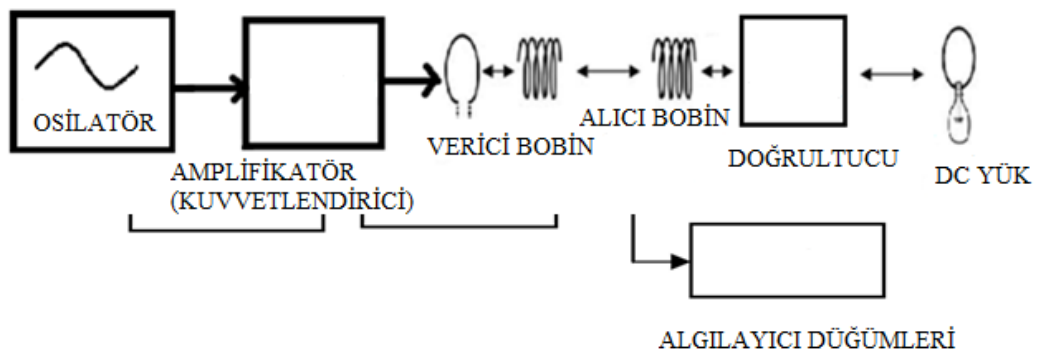
3.4.2 Manyetik rezonans kuplaj

Endüktif kuplajda kaynak ve hedef bobinleri arası yakın olmalı ve aynı hizada olmalıdır.

Endüktif Kuplaj elektrik trafosuna benzemektedir. Kısa mesafede (cm seviyesinde) kullanıldığı için KAA'lara uygun değildir. Düz bir link olması gerekmektedir. Genellikle cep telefonu şarjı için kullanılmaktadır [35].

Manyetik rezonans kuplaj ile kablosuz enerji iletimi, KAA'ların enerjisini yeniden doldurmak için umut verici bir yöntemdir. Manyetik Rezonans Kuplaj yönteminde aynı rezonans frekansında indükleme yapılmaktadır. Birkaç metre mesafede LOS ihtiyacı olmaması ve çok yönlü iletim yapabilmesi sebebiyle KAA'lar için uygun bir yöntemdir [35].

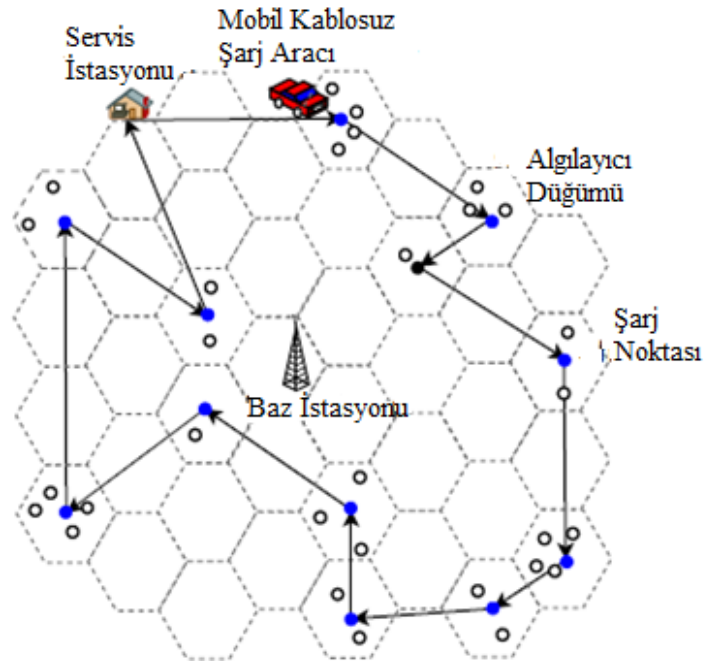
Radyo frekans ile enerji transferi düşük verim ve kayıplar sebebiyle verimsizdir. Elektromanyetik indüksiyonda ana bir bobin manyetik alanı üretmekte ve ikinci bir bobin de aynı alan içinde olduğu için akımı almaktadır [37]. Bu sebeple kayıplar çok düşük olmaktadır. Şekil 3.9'da devre şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Manyetik rezonans kuplaj devre şeması

Bu yöntemle aynı anda birden fazla düğümün şarj edilebileceği öngörülmektedir. [24]'te Kablosuz Şarj Aracı'nın (WCV) KAA'da gezerek şarj işlemini yapması sağlanmıştır. Manyetik rezonans kuplajın tercih edilmesinin en önemli nedeni tek yönde değil her yöne iletim yapabilmesidir. Yapılan testlerde WCV her bir algılayıcıyı gezerek belirli bir periyotta şarj etmektedir. Ancak çok yoğun algılayıcıların olduğu bir ortamda sağlıklı bir sonuç elde edilememiştir. Burada önemli olan WCV'nin yolu, şarj süresi ve ağdaki akış yönlendirmesinin nasıl yapılacağı ve yoğun ağlardaki ölçeklenebilirliğidir. Çözüm olarak iki boyutlu yüzeylerden oluşan altıgen hücreli bir yapı kullanılması önerilmektedir. WCV hücrenin merkezine gelip hücredeki tüm algılayıcıları şarj edebilmektedir [24].

Manyetik rezonans kuplajda alıcı ve verici aynı rezonans frekansında çalıştığı için daha verimlidir. Şekil 3.10'da gösterilen yapıda hem mobil WCV hem de sabit baz istasyonu bulunmaktadır [24]. Her AD üzerine alıcı bir bobin konulur. Algılayıcı ağ içine sabit bir baz istasyonu konularak tüm algılayıcılardan alınan verinin toplanmasını sağlamaktadır. Mobil WCV servis durağından çıkıp her hücrenin merkezindeki AD'de durur. Durduğu zaman o hücre içindeki tüm algılayıcılar eş zamanlı şarj edilmektedir. Çoklu alıcı bobinler arasında etkileşim olmaması için rezonans ve frekans ayarlaması yapılmaktadır. WCV bir döngüde her hücreyi bir kere ziyaret eder ve servis durağına geri gelir. Dolu ve dinlenme zamanını geçirdikten sonra sonraki döngü için hareket etmektedir.



Şekil 3.10 : Kablosuz şarj aracı ile enerji iletimi

Önemli konulardan birisi de çok atlamalı veri yönlendirmesindeki veri akışının sağlanması ve bu esnada tüketilen enerjidir. Tek düğümü şarj ederken enerji verimliliği döngüsü kullanılmaktadır. Eğer düğümün şarj ettiği enerji WCV'nin düğümüne geliş periyodunda harcadığı enerjiye eşitse veya E_{min} altına düşmüyorsa enerji verimliliği döngüsü kullanılmaktadır. Her düğümün enerji tüketimi farklı olduğundan çoklu şarjda bu yöntem kullanılmamaktadır. Enerji ihtiyacı az olan E_{max} üzerinde saturasyon yaşayacaktır. Bunun önüne geçmek için E_{max} üzerinde bir şarj işlemini engellemek için matematiksel formüller ortaya konmuştur [24]. Mevcut kısıtlamaların aşılması için iyileştirmeler yapılması gerekmektedir. Bunun en önemlisi de tüm sistemin enerji tüketimini azaltmaktır, yani WCV'nin dinlenme zamanını artırmaktır. Bunu sağlamak için zaman, akış yönlendirme, enerji tüketim modeli ve hücre temelli enerji değişkenleri kullanılmaktadır.

[24]'te yapılan simülasyonda 1000 m x 1000 m'lik kare bir alan kullanılmıştır. Alanın tam ortasına (500,500) baz istasyonu konmuştur. WCV'nin servis istasyonu da 0,0 noktasındadır. 100 algılayıcı ve 32 hücrelik bir yapı kurulmuştur. Bu senaryoda tüm algılayıcılar WCV hücreden ayrılırken E_{max} tam dolmuş değerine ulaşmıştır. Her hücrede en az bir dengeleyici düğüm bulunur, böylece hücrede saturasyon yaşanmasının önüne geçilmiş oluyor. Çoklu şarjda hücre içindeki node sayısı 1'den 8'e çıkınca ulaşılabilecek değer çok az düşüş gösterirken tekli şarjda ciddi düşüş yaşanmıştır. Sonuç olarak yeni tekniklerle çoklu şarjın yapılabileceği ve kazançları ortaya konmuştur.

RF iletimininin sağlığa olan etkisi insanlar açısından dikkat edilen bir konu olmaktadır. Bilinen etkileri ve gelecekte oluşabilecek etkileri şeklinde ayırmak gerekiyor. İnsan vücudunun maruz kaldığı ısınının 4 W/kg'a kadar hasar bırakmadığı ve RF iyonlaşmadığı için direkt olarak kansere sebebiyet vermediği tespit edilmiştir. Ancak sağlık açısından etkilerinin incelenmesi sürmektedir.

4. ELEKTROMANYETİK DALGA YAYILIM MODELLERİ

KAA'lardaki enerji ihtiyacını gidermek için kullanacağımız kablosuz şarj yöntemlerinde karşımıza çıkan en önemli sorun şarj esnasında alıcı ve verici arasında engel bulunmasıdır. Bu engeller sebebiyle iletilen enerji zayıflar ve bu zayıflayan dalganın gücü elektromanyetik dalga yayılım modelleri ile hesaplanabilmektedir. Böylece algılayıcıların en verimli şekilde şarj edilmesini sağlayacak enerji istasyonu konumu tespit edilebilmektedir.

Bu bölümde Elektromanyetik dalga yayılım modelleri incelenmiştir. Öncelikle Geometrik Optik (GO) , Fiziksel Optik (FO) , Geometrik Kırınım Teorisi (GKT), Fiziksel Kırınım Teorisi (FKT), Düzgün Kırınım Teorisi (DKT), Eğim Kırınımı Teorisi (EK)'nden bahsedilmiştir. Sonrasında ise Dışbükey Zarf Tekniğine Dayalı Eğim Kırınımı Teorisi (EKDZ) detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bölüm sonunda Fresnel Bölgesi ve Dışbükey Zarf hesaplaması yapan MATLAB program koduna yer verilmiştir.

Elektromanyetik dalga yayılım modelleri, ışın izleme ve nümerik integrasyon olarak iki kısma ayrılmıştır. Nümerik modellerde elde edilen sonuçlar kesin olmasına rağmen hesaplamak için geçen süre yüksektir [4]. Buna karşın ışın izlemeyi temel alan modellerde elde edilen sonuçların kesinliği düşük olmakla birlikte hesaplamak için geçen süre düşüktür [38,39].

Birçok yayılım modeli kapalı alan, metropol ve kırsal gibi farklı çevrelerdeki elektrik alan büyüklüklerini öngörmeyi hedeflemektedir. Ancak fiziksel optik temelli nümerik modeller ve ışın izleme algoritmalarını temel alan ışın teorileri olarak modellemek daha genel bir yaklaşımdır [40].

4.1 Geometrik Optik

Geometrik Optik (GO)'te ışığın bir kaynaktan tanecikler şeklinde yayıldığı düşünülmektedir ve elektromanyetik dalga yayılımının doğrusal olduğu hesap edilmektedir. Kırılma, yansıma, aydınlanma olaylarını incelediği halde kırınım, girişim ve kutuplanma olayları bu modelde açıklanamamaktadır [4].

Modelin gölge sınırı kesin olarak kabul edilmektedir. Bu sebeple elektrik alan gölge bölgesinde sıfırdır. Bu yüzden geometrik optik'in gölge bölgesi içinde kullanımı mümkün değildir [41,42].

4.2 Fiziksel Optik

Geometrik Optik'te eksik kalan kırınım, girişim, kutuplanma olayları Fiziksel Optik (FO) ile çözülmektedir. Ayrıca geometrik optikteki sınır bölgelerden uzak kısımlarda yansıyan ve sınırlara yakın noktalarda kırınan ışınlar da hesaplanmaktadır. Işığı tanecik olarak değil dalga olarak kabul eden optik dalıdır. Bu model 1912 yılında Macdonald tarafından önerilmiş ve günümüzde de kullanılmaktadır. Çoklu kenar geçiş bölgelerindeki ortam alan tahminleri FO temelli nümerik modellerle çözümlenebilmektedir. Kırınım olayı dalgaların dar aralıklardan geçmesi, engelleri dolaşarak geçmesi, doğrusal olarak gitmesi gereken yoldan sapması veya keskin kenarı bulunan yerlerden geçmesi ile oluşmaktadır. Kırınımın gerçekleşebilmesi için dalga boyundan daha küçük veya ona yakın bir aralıktan geçmesi gerekmektedir. Metalik yüzeylerin çok büyük olduğu durumlarda ortama saçılan elektromanyetik dalga analizinde kullanılır. Işın izleme modelleri öncesinde FO modeli yüksek doğruluğu ile referans alınmaktaydı [4,43].

4.3 Geometrik Kırınım Teorisi

Geometrik Kırınım Teorisi (GKT), 1962 yılında Keller tarafından ileri sürülmüştür. Geometrik optik'in uzantısı olup gölge bölgesinde olan alan bileşenlerini hesaplamak için kullanılmıştır ve kırınan alanlar hesap edilmektedir. Geometrik optik kırınımının olduğu dar geçiş bölgelerinin uzağında çalışmakta iken GKT modeli geçiş bölgeleri ile birlikte her yerde geçerlidir. İç açılı kama olarak ifade edilen elektriksel iletkenliği yüksek olan alanların hesaplamalarında kullanılmaktadır. Dalga boyunun engellerden daha büyük olduğu durumlarda daha kesin sonuçlar elde edilmektedir. Yüksek frekanslarda kırınımın kestiriminde kullanılır. Sonraki dönemlerde çoklu kırınımın olduğu durumlarda alıcıdaki elektrik alanı hesap edebilmek için ikinci derece kırınım eklenerek model geliştirilmiştir. Ancak bu model optik ve gölge sınırlar civarında süreksizlikler oluşturmaktadır. Kaynak, alan hesabının yapılacağı nokta ve iç açılı kama aynı hizada ise GKT hatalı sonuç vermektedir.[4,41]. Özellikle kentsel bölgelerde bina yüksekliklerinin birbirine yakın olması sebebiyle binalar

birbirinin geçiş bölgesinde yer almakta ve alıcıda hesap edilen alan şiddeti hatalı sonuçlar vermektedir. Bunun sebebi çoklu kırınım olmasıdır. Bu yüzden alıcı ve verici arasında yer alan engellerin yüksekliklerinin birbirine yakın olduğu çoklu kırınım senaryolarında kullanılması uygun değildir [39,44].

4.4 Fiziksel Kırınım Teorisi

Fiziksel Kırınım Teorisi (FKT), 1962 yılında Ufimtsev tarafından ileri sürülmüştür. Fiziksel optik'in uzantısı olup düzgün olmayan kaynaklardan üretilen ilave alanların eklenmesiyle oluşturulan bir modeldir. Böylece yüzeylerin kenarlarında meydana gelen kırınımlardaki kusurlar ortadan kaldırılmıştır. FKT anten ve saçılma problemlerinde kullanılır. Buradaki temel yaklaşım engelin yüzeyinde indüklenmiş olan akımların indüklediği ışınımın kırınan alanlar olduğudur. FKT'de karşılaşılan en önemli zorluk diğer nümerik yöntemlerde olduğu gibi sonuç integral hesaplamasındadır. Ancak buna rağmen GKT'nin kullanılamayacağı senaryolarda tercih edilmektedir [4].

4.5 Düzgün Kırınım Teorisi

Düzgün Kırınım Teorisi (DKT) , 1974 yılında Kouyoumjian ve Pathak tarafından ileri sürülmüştür. Bu model Geometrik Optik'in genişletilmiş halidir, bu sebeple kama yüzeyinden yansıyan ışınların hesaba katılması gerekmektedir. Geçiş fonksiyonu kırınım katsayısının eklenmesiyle GKT'deki hatalar büyük oranda giderilmiştir. Başlangıçta sadece iç açılı kama senaryolarında doğru sonuçlar vermekte iken sonraki geliştirmelerle tek iç açılı kama, tek bıçak kenarlı kama veya birden fazla kama içeren senaryolarda engeller birbirinin geçiş bölgesini kesmediği sürece doğru sonuçlar vermektedir. Çoklu kırınımın olduğu senaryolarda alıcı üzerinde oluşan elektrik alan şiddetini hesaplamada kullanılmıştır. Optik sınırların uzağında doğru sonuç vermesi ile birlikte çoklu kırınım senaryolarında hataları ortadan kaldırmak için farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. DKT'de iç açılı kamanın yansıma ve gölge sınırları için kırınım katsayısı ileri sürülmüştür. Hesap edilecek elektrik alan kaynaktan alıcı noktaya farklı yollardan gelebilmektedir. Bu yollar doğrudan, yansıyan veya kırınan alanlar olabileceği gibi birleşimleri de olabilmektedir [4,41,45].

Elektrik alan şiddetinin tahmininde bıçak kenarlı kama ile iç açılı kamanın kırınan alana etkilerini ortaya konmuştur. İç açılı kamanın kırınımları fresnel'deki integral hesaplarına dayanmaktadır. İç açılı kama yapıların bıçak kenarlı kamalardan farkı yüzeylerinden yansıyan alanların alıcı üzerindeki elektrik alan şiddetine eklenmesidir. Bıçak kenarlı kamalarda hesap dışında tutulan iletkenlik, kutuplanma, bağıl elektrik geçirgenliği ve engel yapısı gibi parametreler iç açılı kama yapılarında hesaba katıldığı için daha karmaşık hale gelmektedir. DKT'de kırınım katsayılarının yanına geçiş fonksiyonları da eklenmiştir [4,42].

DKT'nin hesaplama süresi kısa olmasına rağmen alan şiddetinin kestirimdeki kesinliği sınırlıdır. Komşu iç açılı veya bıçak kenarlı kamaların diğerinin geçiş bölgesinde olması, engellemesi durumunda kesin sonuçlar elde edilememektedir [40,41].

Sayısal haberleşmenin daha güvenilir ve verimli olması için sonuçların kesin ve hızlı hesaplanabilir olması önemlidir. Bu yüzden DKT çoklu kırınım olmayan kırsal kesimlerde, tek engel içeren kentsel bölgelerde ve bina yükseklik varyasyonları çok büyük olan şehir merkezlerinde çok az hatayla kullanılabilir. Bina yükseklik varyasyonlarının büyük olması binaların birbirinin geçiş bölgesinde olmaması sonucunu doğurur ve az hata ile tahmin yapılmasına olanak vermektedir [41,46]. Buradaki en büyük sorun karmaşık bina yapılarında meydana gelen geçiş bölgesindeki çoklu kırınımın kestirilememesidir [43]. Diğer taraftan dalganın yayılımı boyunca kırsal alandaki yükseklik farkları, kentsel bölgelerdeki binaların çevresindeki küçük baz istasyonları ve iç mekanlardaki köşeler gibi engellerin meydana getirdiği çoklu kırınımlar kestirimi zorlaştırmaktadır [47].

4.6 Eğim Kırınımı Teorisi

Eğim Kırınımı Teorisi, DKT modelinde geçiş bölgelerinde meydana gelen hataları ortadan kaldırmak için Andersen tarafından 1994 yılında ileri sürülmüştür. Eğim kırınımı modeli, süreksizlik problemlerinde çözüm sağlamasına rağmen gölge sınır noktasında hataların meydana gelmesini engelleyememektedir. Sonrasında geliştirilen iyileştirilmiş eğim kırınımı modeli ile kırınım katsayılarını belirlemek için kullanılan uzaklık parametrelerinin hesabında genlik, eğim, faz süreklilikleri kullanılmıştır. Model geliştirilip iç açılı kama içeren çoklu kırınım senaryolarında uygulanmıştır [41,48,49].

Geçiş bölgesinde oluşan süreksizlikleri ortadan kaldırmak için gelen alanların türevsel bileşenleri alıcı üzerindeki toplam alana eklenerek hesaplanmaktadır. Senaryoda engel sayısı çok fazla ise sonuçlar hatalı olmakta ve hesaplama zamanı yükselmektedir [39,47].

Kaynaktan yayılan dalga ve sonrasında her kırınan dalga için süreklilik denklemleri tüm gölge sınırlarında hesap edilmelidir. Bu denklemler alıcı tarafındaki kırınımı hesap etmek için gerekli olan uzaklık parametrelerinin çıkarılmasını sağlamaktadır. DKT'de geçiş bölgelerindeki çoklu kırınım hesap edilirken yayılımın dikey düzlemdeki etkisinin hesaba katılmaması önemli bir eksikliklerdir. EK ile yapılan karşılaştırmalarda geçiş bölgesinin, ekranlar arası mesafe, frekans ve bina yüksekliklerine bağlı olduğu dikkate alınmalıdır [48]. İki ve üç bıçak kenarlı kama içeren senaryolarda her bir kama için genlik kırınımı ve eğim kırınımı bulunmaktadır. Her bir ışın için ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir.

Eğim kırınımı modeli çoklu bıçak kenarlı ve iç açılı kama için faz sürekliliğinin sağlanması ile geliştirilmiştir. Ancak bina sayısının 10 ve üzeri olduğu durumlarda sonuçların kesinliği ortadan kalkmakta ve hesaplama zamanı çok uzun sürmektedir [49].

4.7 Dışbükey Zarf Tekniğine Dayalı Eğim Kırınımı Teorisi

Dışbükey Zarf Tekniğine Dayalı Eğim Kırınımı (EKDZ) modeli, başlangıçta bıçak kenarlı kama yapılarında EK'nın hatasını ortadan kaldırmak için Tabakcıoğlu ve Kara tarafından 2009 yılında ileri sürülmüştür. Bu model dışbükey zarf tekniği ve eğim kırınımı teorisinin birleştirilmesi ile ortaya çıkarılmış olup yeni bir model değildir. Daha sonra detaylı olarak bahsedeceğimiz Fresnel bölgesi çizilerek kırınımına katkısı olmayan engeller senaryodan elenir. Sonrasında kalan engellerde Dışbükey Zarf oluşturularak alıcı üzerinde oluşan alana etki edecek bıçak kenarlı kamalar tespit edilmektedir. Oluşturulan dışbükey zarfa ışın izleme tekniği uygulanarak alıcı üzerinde oluşan alan bileşenleri tahmin edilmektedir. Son olarak da EK modeli kullanılarak etkin bıçak kenarlı kamalar üzerinden alan kestirimi yapılarak alıcı üzerindeki alan hesap edilmiş olur. Etkin olmayan bıçak kenarlı kamalar senaryodan çıkarıldığı için hesaplama süresinin düştüğü görülmektedir. Ortalama bir engelin elenmesi durumunda bile hesaplama süresi yaklaşık 5 kat düşmektedir. Diğer taraftan etkin olmayan bıçak kenarlı kamanın senaryodan çıkarılması sebebiyle alan

hesabı kestirimindeki kesinlikten ödün verilmemektedir. Sonrasında iç açılı kamalara da bu model uygulanmıştır. İç açılı kama hesabında kamanın iç açısı, iletkenliği, elektrik geçirgenlik sabiti ve kutuplanmanın türü dikkate alınmaktadır [4,44].

Işın izleme tekniğine dayalı modellerde kaynaktan çıkıp alıcıya ulaşan ışınların tamamı ayrı ayrı tespit edilmekte ve her bir ışının alıcı üzerinde oluşturduğu alanın şiddeti hesaplanmaktadır. En sonunda da tüm ışınların alıcı üzerindeki etkisi toplanarak alıcıda sonlanan alan şiddeti kestirimi yapılmaktadır. EKDZ modelinde hesaplama süresi ve bağlı yol kaybı (dB) hesabında yüksek kesinlik bulunmaktadır. DKT, EK ve EKDZ modellerinin hesaplama zamanı ve kesinliği karşılaştırıldığında EKDZ'nin en optimum model olduğu görülmüştür. Ayrıca EK ve EKDZ aynı sonucu vermesine rağmen EKDZ modeli 5 kat daha hızlı hesaplama yapmaktadır [39,49].

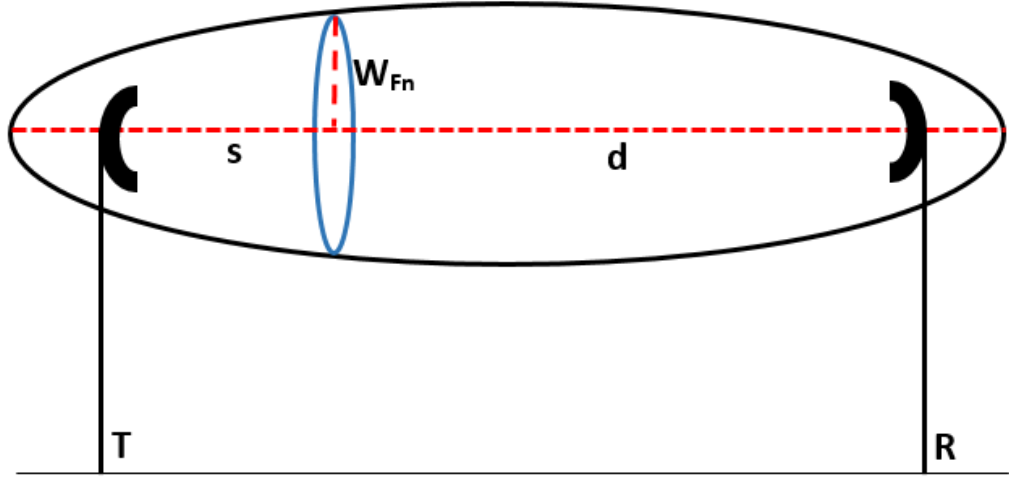
4.7.1 Fresnel bölgesi

EKDZ modelinde etkin olmayan binaların senaryodan çıkarılması için kullanılan kavram Fresnel Bölgesi'dir. Fresnel bölgesi, verici ve alıcının bir elipsin odak noktaları olduğu varsayılarak çizilir. Ayrıca alıcı ve verici arasında bir doğru çizilerek elipsin merkezinden geçtiği kabul edilir [46,50].

Verici ve alıcı arasında birincil fresnel bölgesi çizilir. Bu bölge dışında kalan binalar senaryodan çıkarılır. Daha sonra verici ve alıcı arasında çizilen doğruyu kesen en yüksek bina seçilerek ikincil fresnel bölgesi çizilir. Sonrasında bu bölgeler dışında kalan binalar da senaryodan çıkarılır [41].

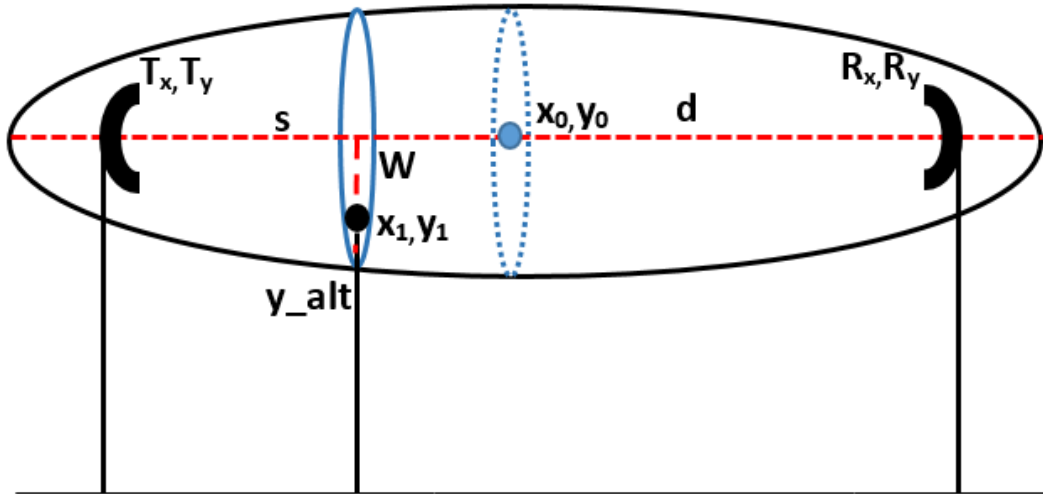
Şekil 4.1'de Fresnel Bölgesi parametreleri gösterilmiştir. T verici anteni, R alıcı anteni göstermektedir. Fresnel bölgesi hesap edilecek noktanın fresnel yarıçapı W_{Fn} , vericiye olan uzaklığı s, alıcıya olan uzaklığı d ile gösterilmiştir. W_{Fn} 'yi hesap ettiğimiz Denklem 4.1'de bu parametrelere ilaveten dalga boyu λ , fresnel bölgesinin sırası da n ile ifade edilmektedir.

$$W_{Fn} = \sqrt{n\lambda s d / (s + d)} \quad (4.1)$$

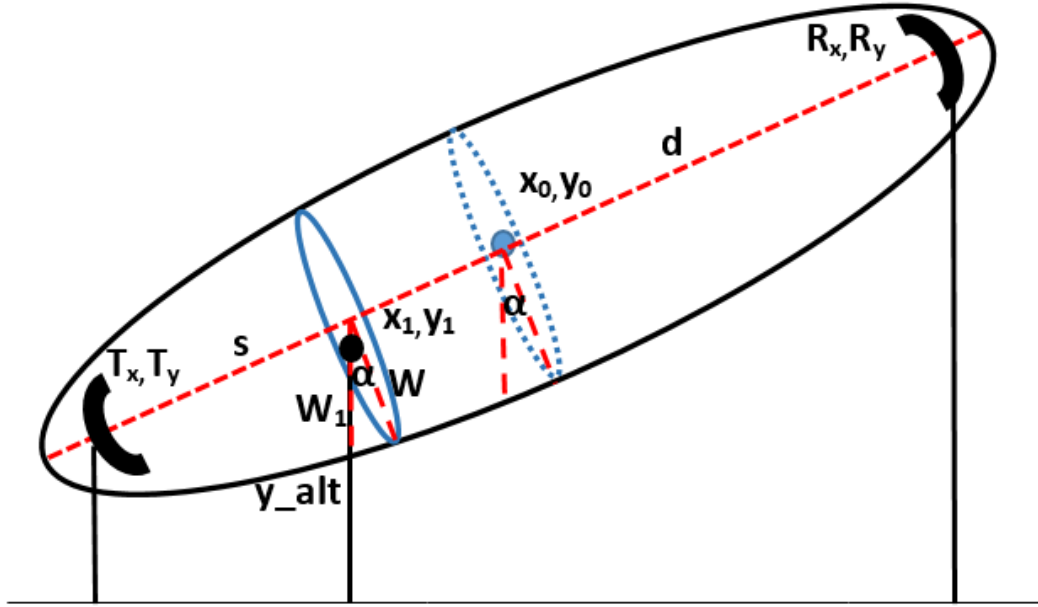


Şekil 4.1 : Fresnel bölgesi parametreleri

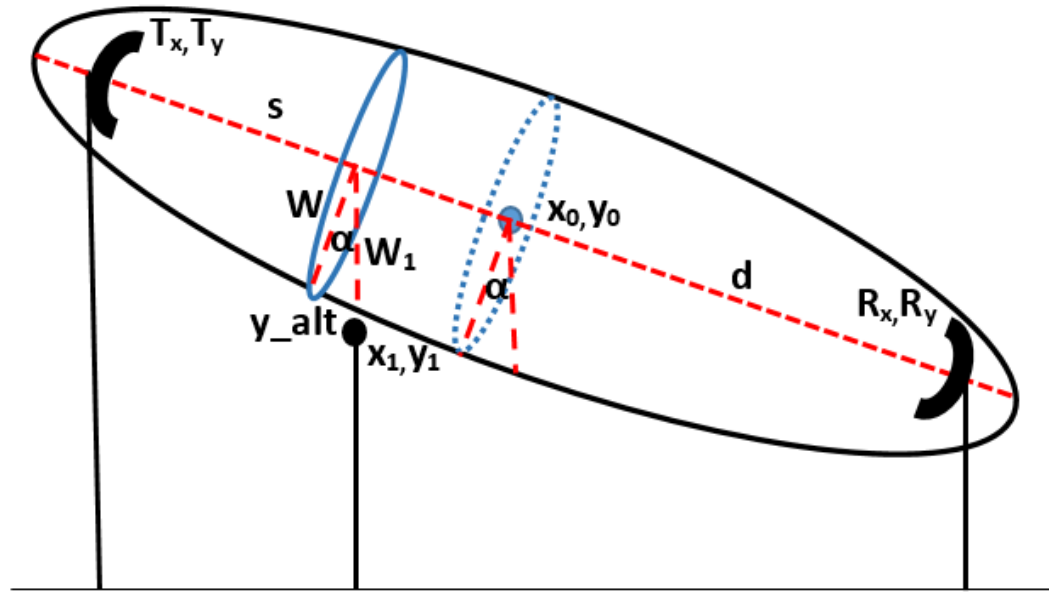
Fresnel bölgesi hesap edilirken verici ve alıcının yükseklikleri önem arz etmektedir. Verici ve alıcının yükseklikleri $T_y = R_y$, $T_y < R_y$ ve $T_y > R_y$ olmak üzere 3 farklı durumda olabilir. $T_y = R_y$ durumunda x_1, y_1 binasının fresnel bölgesi hesabı Şekil 4.2'de, $T_y < R_y$ durumunda x_1, y_1 binasının fresnel bölgesi hesabı Şekil 4.3'te ve $T_y > R_y$ durumunda x_1, y_1 binasının fresnel bölgesi hesabı Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : $T_y = R_y$ durumunda x_1, y_1 binasının fresnel bölgesi hesabı



Şekil 4.3 : $T_y < R_y$ durumunda x_1, y_1 binasının fresnel bölgesi hesabı



Şekil 4.4 : $T_y > R_y$ durumunda x_1, y_1 binasının fresnel bölgesi hesabı

Yukarıda verilen şekillere göre 3 durum için x_1, y_1 binasının fresnel bölgesi içinde olup olmadığı tespit edilmiştir. Elipsin orta noktasının x_0 değeri, T ile R arasındaki doğru denklemiindeki y değeri aşağıdaki eşitlikler ile bulunmaktadır.

$$x_0 = \frac{(R_x - T_x)}{2} \quad (4.2)$$

$$y = \frac{(x - T_x) \cdot (R_y - T_y)}{(R_x - T_x)} + T_y \quad (4.3)$$

Diğer parametreler duruma göre farklılık göstermektedir. $T_y = R_y$ durumundaki hesaplamalar aşağıdaki eşitliklerde belirtilmiştir.

$$y_0 = T_y \quad (4.4)$$

$$s = x_1 - T_x \quad (4.5)$$

$$d = R_x - x_1 \quad (4.6)$$

$$W = \sqrt{\frac{n\lambda s d}{s+d}} \quad (4.7)$$

$$y_{alt} = \frac{(x_1 - T_x)(R_y - T_y)}{(R_x - T_x)} + T_y - W \quad (4.8)$$

$T_y < R_y$ durumunda α açısının dikkate alındığı hesaplamalar aşağıda belirtilmiştir. W değeri $T_y = R_y$ durumda olduğu gibi 4.7 eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$y_0 = R_y - \frac{R_y - T_y}{2} \quad (4.9)$$

$$\alpha = \arctan \frac{(R_y - T_y)}{(R_x - T_x)} \quad (4.10)$$

$$s = \frac{x_1 - T_x}{\cos(\alpha)} \quad (4.11)$$

$$d = \frac{R_x - x_1}{\cos(\alpha)} \quad (4.12)$$

$$W_1 = \frac{W}{\cos(\alpha)} \quad (4.14)$$

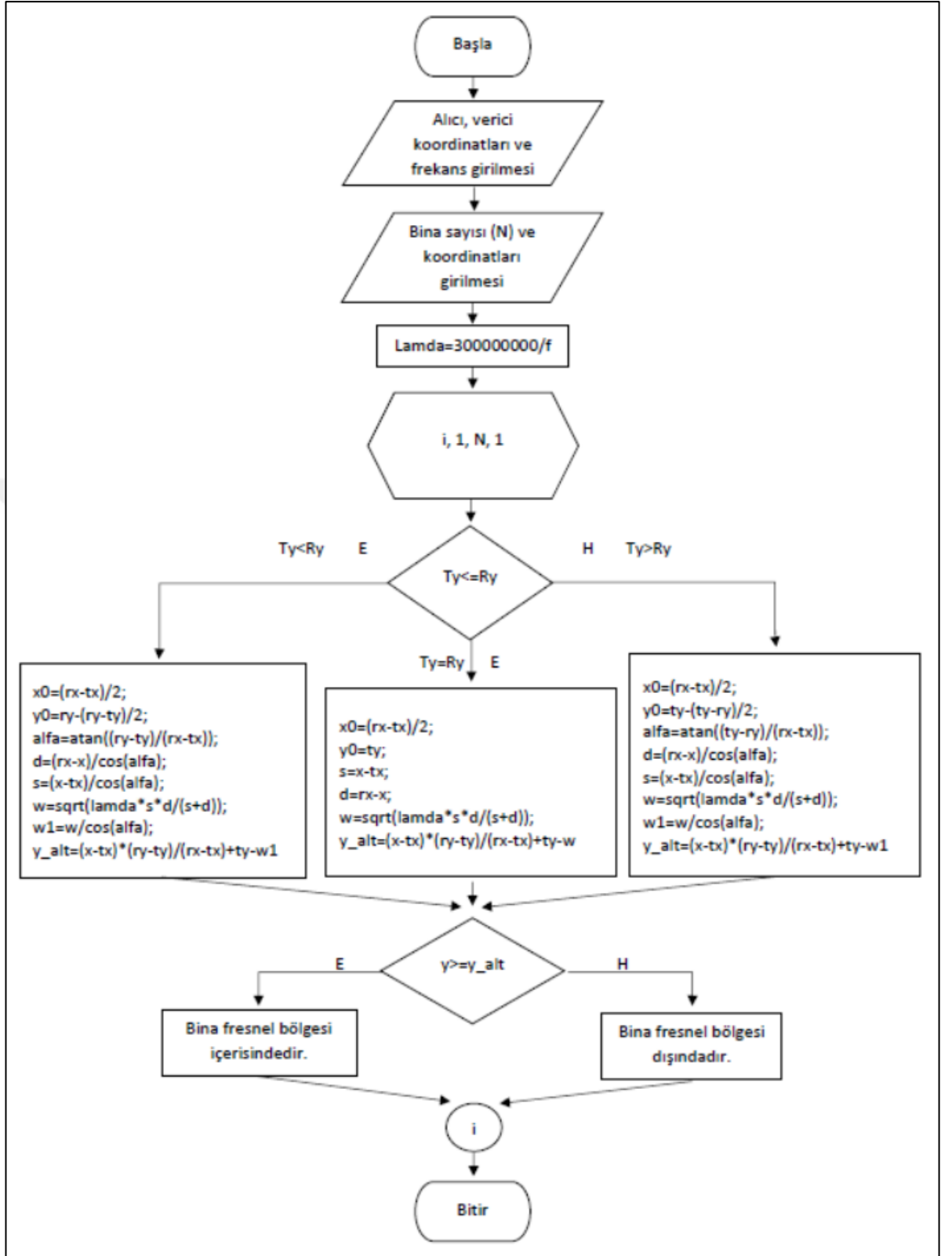
$$y_{alt} = \frac{(x_1 - T_x)(R_y - T_y)}{(R_x - T_x)} + T_y - W_1 \quad (4.15)$$

$T_y > R_y$ durumunda y_0 ve α açısı aşağıdaki eşitliklerde belirtilmiştir. Diğer değerler $T_y < R_y$ durumunda kullandığımız eşitliklerle hesap edilmiştir.

$$y_0 = T_y - \frac{T_y - R_y}{2} \quad (4.16)$$

$$\alpha = \arctan \frac{(T_y - R_y)}{(T_x - R_x)} \quad (4.17)$$

Fresnel bölgesini hesap etmek için kullandığımız akış diyagramı Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : Fresnel akış diyagramı

Akış diyagramını temel alınarak oluşturulan MATLAB kodları aşağıda yer almaktadır. MATLAB kodunda elle girilen değerlerin gösterildiği kısım Şekil 4.6'da, T_y ve R_y 'nin durumlarına göre y_alt hesabının yapıldığı kısım Şekil 4.7'de, binanın hesaba dahil edilip edilmeyeceğinin kararının verildiği kısım ise Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

```
tx=1;  
ty=10;  
rx=50;  
ry=50;  
f=1800000000;  
x=[tx 10 15 20 30 40 rx];  
xf=[tx 0 0 0 0 0 rx];  
y=[ty 41 35 31 24 16 ry];  
yf=[ty 0 0 0 0 0 ry];  
lamda=3000000000/f;  
sayac=length(x)-1  
for i=2:sayac
```

Şekil 4.6 : Fresnel MATLAB kodu elle girilen değerler

```

if (ty==ry)
x0=(rx-tx)/2;
y0=ty;
s=x(i)-tx;
d=rx-x(i);
w=sqrt(lamda*s*d/(s+d));
y_alt=(x(i)-tx)*(ry-ty)/(rx-tx)+ty-w
end

if (ty<ry)
x0=(rx-tx)/2;
y0=ry-(ry-ty)/2;
alfa=atan((ry-ty)/(rx-tx));
d=(rx-x(i))/cos(alfa);
s=(x(i)-tx)/cos(alfa);
w=sqrt(lamda*s*d/(s+d));
w1=w/cos(alfa);
y_alt=(x(i)-tx)*(ry-ty)/(rx-tx)+ty-w1
end

if (ty>ry)
x0=(rx-tx)/2;
y0=ty-(ty-ry)/2;
alfa=atan((ty-ry)/(rx-tx));
d=(rx-x(i))/cos(alfa);
s=(x(i)-tx)/cos(alfa);
w=sqrt(lamda*s*d/(s+d));
w1=w/cos(alfa);
y_alt=(x(i)-tx)*(ry-ty)/(rx-tx)+ty-w1
end

```

Şekil 4.7 : T_y ve R_y 'nin durumlarına göre y_alt hesabı yapan MATLAB kodu

```

if (y(i)<y_alt)
    sprintf('%f.bina fresnel bölgesi hesaplamasına
dahil edilmeyecek',i-1)
else
    sprintf('%f.bina fresnel bölgesi hesaplamasına
dahil edilecek',i-1)
    xf(i)=x(i)
    yf(i)=y(i)

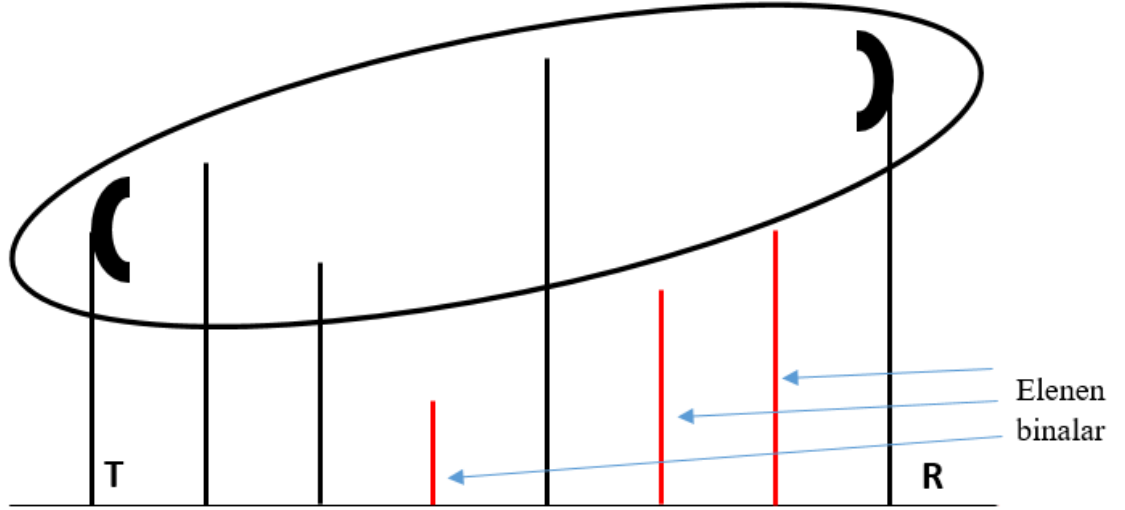
end
end
if tx==0
    x2f=[tx xf(xf ~= 0)];
else
    x2f=xf(xf ~= 0);
end
y2f=yf(yf ~= 0);

```

Şekil 4.8 : Binanın fresnel hesabına dahil edilme kararını veren MATLAB kodu

4.7.2 Dışbükey zarf tekniği

Dışbükey zarf tekniği 2003 yılında Bertoni ve Chung tarafından kullanılmıştır. Bu yöntem ile kırınımına çok az etkisi olan binalar tespit edilip alıcı hesaplamalarda göz ardı edilmektedir. Verici ve alıcı arasındaki bir binaya ulaşan alan ışın bir verici görevi görmektedir. Hesaplama etkisi göz ardı edilecek binalar belirlenirken daha önce detaylı bir şekilde açıkladığımız fresnel bölgesi kullanılmaktadır. Dışbükey zarf tekniğinde ilk olarak alıcı ve verici arasında fresnel bölgesi çizilmektedir. Bu bölgenin dışında kalan engeller elenmektedir. Daha sonra en yüksek engel ile alıcı ve verici arasında ikinci fresnel bölgeleri çizilmektedir. Tekrar dışarıda kalan engeller elenmektedir. Bu işlem eleme işlemi bitene kadar devam etmektedir. Bizim kullanacağımız senaryolarda sadece birinci fresnel bölgesi kullanılmış ve Şekil 4.9'da gösterildiği üzere bunun dışında kalan binalar elenmiştir. Kalan engeller bir dışbükey zarf oluşturmaktadır. Sonrasında ışın izleme algoritması ve toplam alana katkısı hesap edilir. Son olarak EK algoritması dışbükey zarf için çalıştırılır ve kesinliği yüksek tahminler yapılır [40,50,51].



Şekil 4.9 : Dışbükey zarf tekniği ile binaların elenmesi

İç açılı kamada hem kırınan ışınlar hem de yüzeyden yansıyan ışınların alıcıda oluşan alana etkisi hesap edilirken bıçak kenarlı kamalarda sadece kırınan ışınların alıcıda oluşan alana etkisi hesap edilmektedir. Kullanacağımız senaryolarda binalar bıçak kenarlı kama olacaktır. Vericiden çıkan bir ışının aradaki bıçak kenarlı binalarda oluşturduğu alanlar ve aşağıdaki eşitliklerde kullanılan parametreler Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Alıcıdaki toplam alanı hesap etmek için aşağıdaki eşitlikler kullanılmaktadır [38,40,41,46].

EK yöntemi ile bir engelden kırınım sonucu gözlem noktasındaki elektrik alanı 4.18'deki eşitlik ile hesap edebilmektedir. Bu eşitlikte görülen E_i engel üzerine gelen alan şiddeti, $D(\alpha)$ genlik kırınım katsayısı, $\frac{\partial E_i}{\partial n} d_s(\alpha)$ engel üzerine gelen elektrik alan şiddetinin türevi, $d_s(\alpha)$ eğim kırınım katsayısı, $A(s)$ yayılma faktörü, k dalga sayısı ve s ise yayılım mesafesidir.

$$E = \left[E_i D(\alpha) + \frac{\partial E_i}{\partial n} d_s(\alpha) \right] A(s) e^{-jks} \quad (4.18)$$

Genlik kırınım katsayısı denklem 4.19'da hesap edilmektedir. Eşitlikte görülen k dalga sayısını, α kırınım açısını, L ise genlik kırınım katsayısı için uzaklık parametresidir ve süreklilik denklemleri ile hesap edilmektedir.

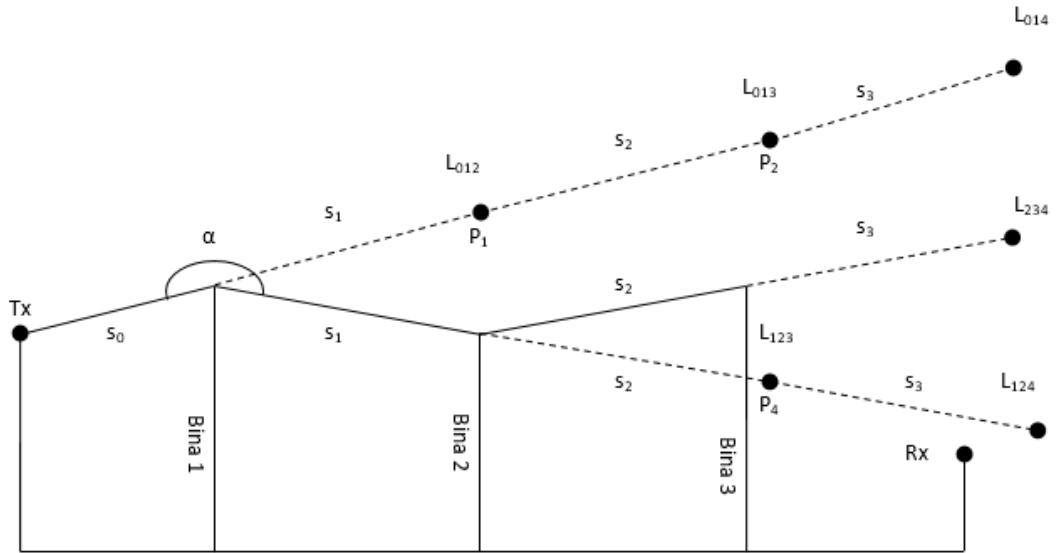
$$D(\alpha) = - \frac{e^{-j\pi/4}}{2\sqrt{2\pi k \cos(\alpha/2)}} F[2kL \cos^2(\alpha/2)] \quad (4.19)$$

Eğim kırınım katsayısı denklem 4.20’de hesap edilmektedir. Eşitlikte görülen $\frac{\partial D(\alpha)}{\partial \alpha}$ genlik kırınım katsayısının kırınım açısına göre türevi, k dalga sayısı, L_s ise eğim kırınım katsayısı için uzaklık parametresi ve süreklilik denklemleri ile hesap edilmektedir.

$$d_s(\alpha) = \frac{1}{jk} \frac{\partial D(\alpha)}{\partial \alpha} = - \frac{e^{-j\pi/4}}{\sqrt{2\pi k}} L_s \sin(\alpha/2) (1 - F[2kL_s \cos^2(\alpha/2)]) \quad (4.20)$$

Yayıma faktörü denklem 4.21’de hesap edilmektedir. Eşitlikte görülen s_0 kırınımın olacağı binaya kadar olan mesafeyi, s ise bu binadan sonra alıcıya kadar olan mesafeyi ifade etmektedir.

$$A(s) = \sqrt{\frac{s_0}{s(s+s_0)}} \quad (4.21)$$



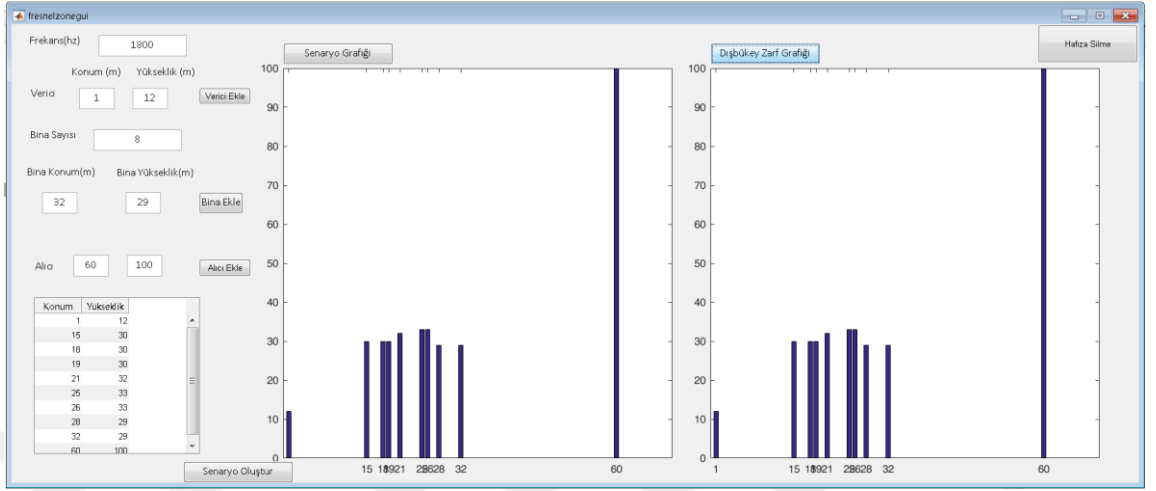
Şekil 4.10 : Bıçak kenarlı kama çoklu kırınım’da ışın izleme parametreleri [40]

4.7.3 Dışbükey zarf tekniği hesaplama programı kullanıcı arayüzü

Dışbükey zarf tekniği hesabını yapmak için oluşturulan fresnel kodunun kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Verici, alıcı ve arasındaki binalara ait değerler girilmektedir. Sonrasında senaryo oluşturulup fresnel uygulandıktan sonraki dışbükey zarf grafiği elde edilmektedir [52]. Fresnel yarıçapı ile frekans arasındaki ters orantıyı görmek amacıyla farklı frekanslarda testler yapılmıştır.

Senaryoda verici konumu 1 m ve yüksekliği 12 m verilmiştir. Alıcı konumu 60 m ve yüksekliği 100 m olarak belirlenmiştir. Alıcı ve verici arasındaki bina sayısı 8 olup

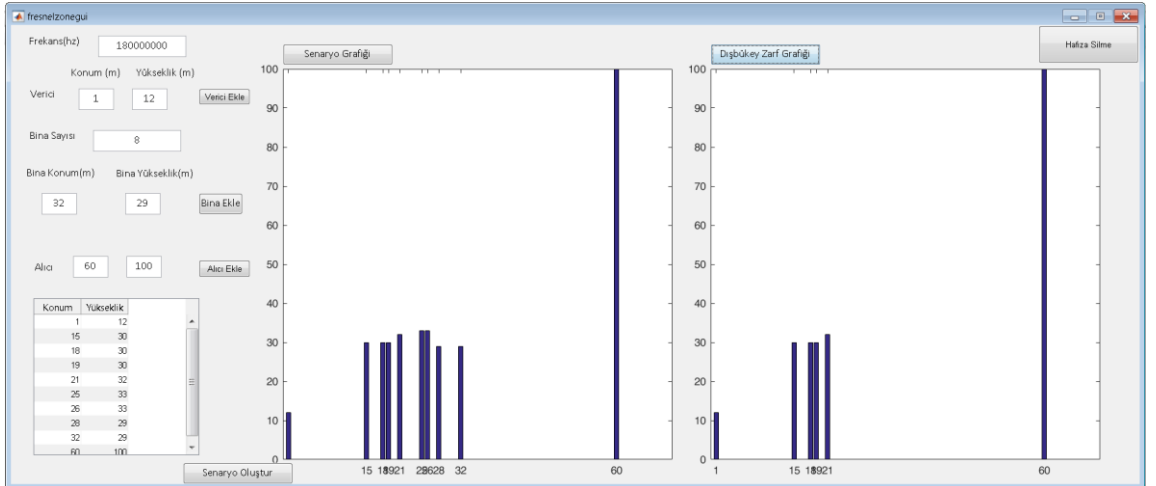
konumları sırası ile [15 18 19 21 25 26 28 32] m ve yükseklikleri de sırası ile [30 30 30 32 33 33 29 29] m olarak belirlenmiştir. İlk senaryoda 1800 Hz frekansında elde edilen sonuç Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 : 1800 Hz’de dışbükey zarf grafiği

Şekil 4.11’de görüleceği üzere frekans 1800 Hz olduğu zaman fresnel yarıçapı yüksek olduğu için verici ve alıcı arasındaki tüm binalar fresnel bölgesi içinde yer almaktadır. Elenecek bina olmadığı senaryo grafiği ile dışbükey zarf grafiği aynı çıkmıştır.

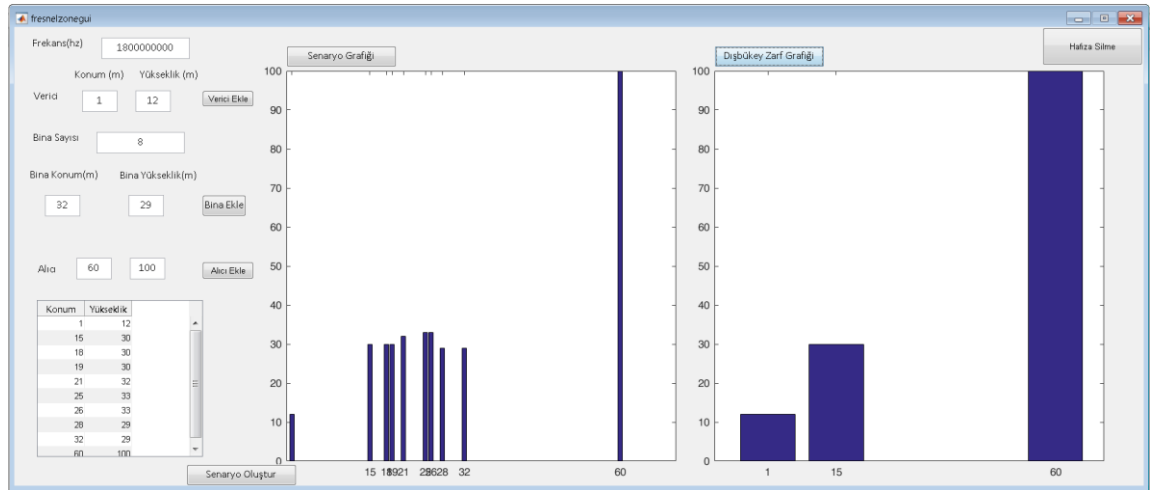
Şekil 4.12’de frekans 180 MHz seçilmiştir.



Şekil 4.12 : 180 MHz’de dışbükey zarf grafiği

Şekil 4.12’de görüleceği üzere frekans 180 MHz olduğu zaman fresnel yarıçapı düştüğü için verici ve alıcı arasındaki 4 bina fresnel bölgesi dışında kalmıştır. Elenen 4 bina sonrasında dışbükey zarf grafiğindeki bina sayısı azalmıştır. Böylece hesaplama süresi düşmektedir.

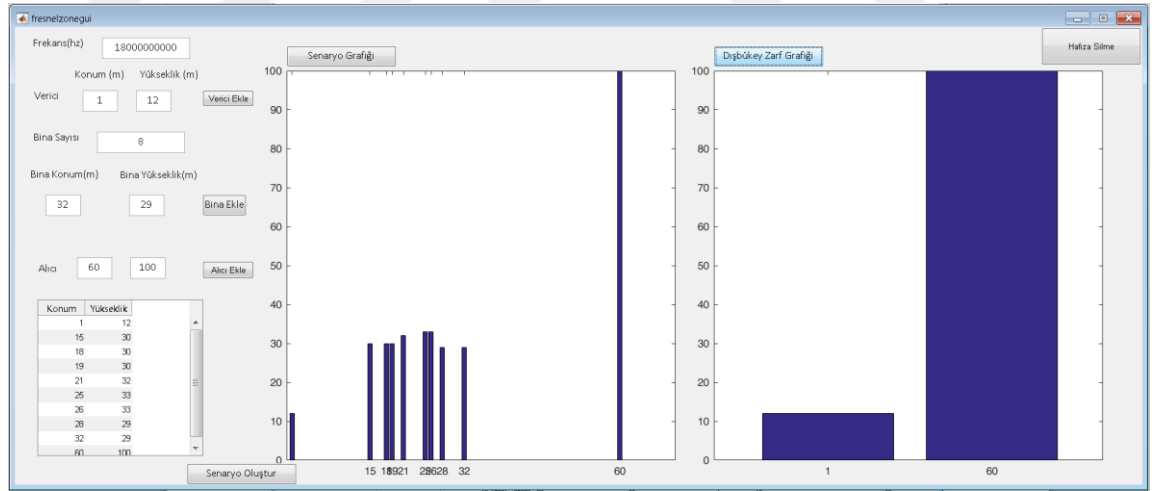
Şekil 4.13'te frekans 1800 MHz'e çıkarılmıştır.



Şekil 4.13 : 1800 MHz'de dışbükey zarf grafiği

Şekil 4.13'te görüleceği üzere frekans 1800 MHz olduğu zaman fresnel yarıçapı düştüğü için verici ve alıcı arasındaki 7 bina fresnel bölgesi dışında kalmıştır. Elenen 7 bina sonrasında dışbükey zarf grafiğinde sadece 1 bina kalmıştır. Böylece hesaplama süresi düşmektedir.

Şekil 4.14'te frekans 18 GHz'e çıkarılmıştır.



Şekil 4.14 : 18 GHz'de dışbükey zarf grafiği

Şekil 4.14'te görüleceği üzere frekans 18 GHz olduğu zaman fresnel yarıçapı çok azaldığından verici ve alıcı arasındaki tüm binalar fresnel bölgesi dışında kalmıştır. Tüm binalar elendikten sonra dışbükey zarf grafiğinde sadece alıcı ve verici yer almaktadır.

5. KABLOSUZ ENERJİ İSTASYONU KONUMLANDIRMA SENARYOLARI

Bu bölümde Elektromanyetik Dalga Yayılım Modellerini kullanarak KAA'lara Kablosuz Enerji Transferi ile ilgili farklı simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

İlk kısımda geliştirilen MATLAB programından elde edilen çıktıların doğrulanması için FEKO yazılımı ile aynı senaryo çalıştırılıp gözlem yapılmıştır.

İkinci kısımda farklı yüksekliklerde bulunan AD'lere sabit bir enerji kaynağı kullanarak 915 MHz frekansında enerji iletilip sonuçları gözlemlenmiştir.

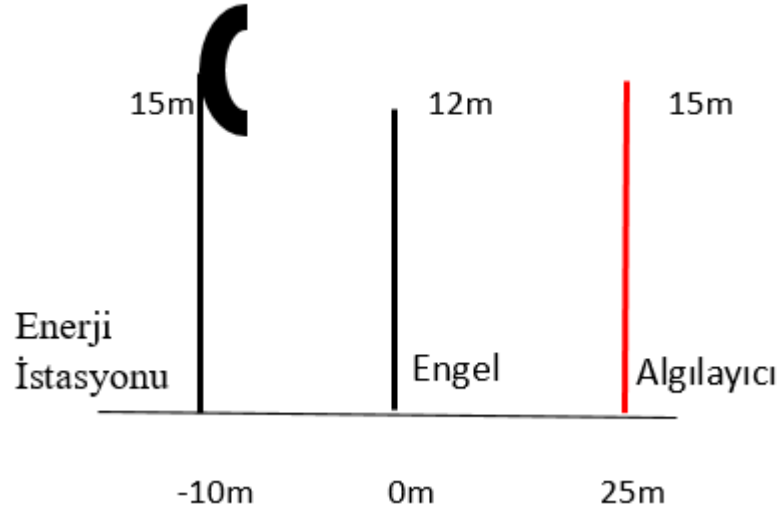
Üçüncü kısımda enerji istasyonunun konumu ve yüksekliği değiştirilerek yer seviyesindeki AD'lere farklı frekanslarda yapılan enerji iletimi gözlemlenmiştir.

Dördüncü kısımda ise farklı yüksekliklerde bulunan AD'ler için en uygun enerji istasyonu konumlandırma tespit çalışması yapılmıştır. Hesaplamalar DKT, EK ve EKDZ yöntemleri kullanılarak yapılmış ve farklılıkları gözlemlenmiştir.

5.1 FEKO Yazılımı ile MATLAB Programının Doğrulanması

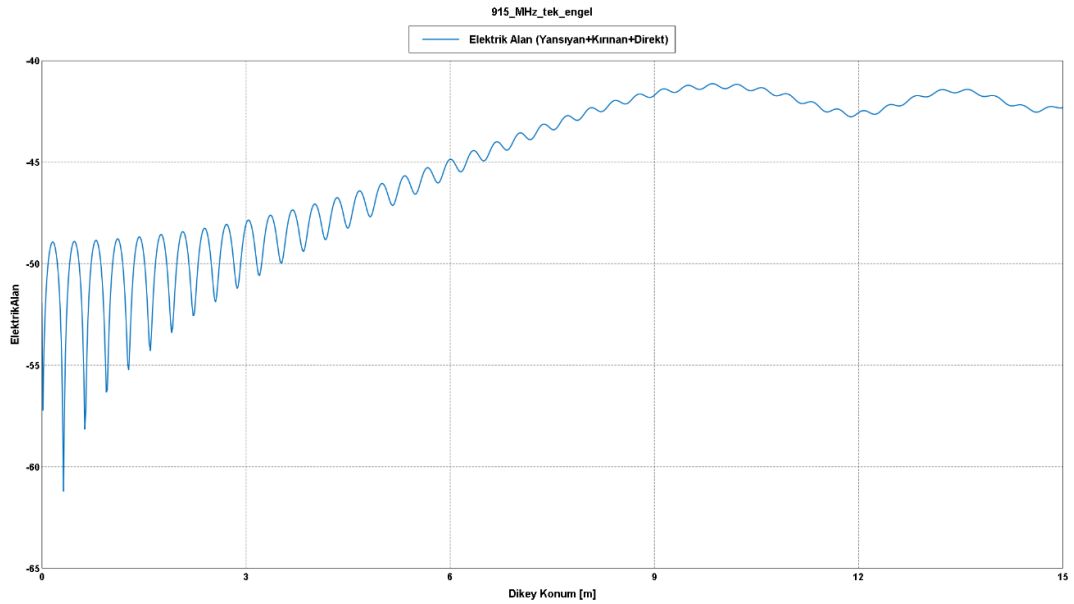
Yazılan MATLAB programında elde edilen sonuçları doğrulamak amacıyla FEKO yazılımı kullanılmıştır [53]. FEKO yazılımı ile MATLAB'daki ölçümlerde farklı yöntemler kullanılmıştır.

FEKO'da 3 boyutlu modellemeler ve farklı yöntemlerle yüksek frekans ölçümleri yapılmaktadır. MATLAB'da 2 boyutlu hesaplamalar yaptığımız için FEKO'da 3.boyutun kırımına olan etkilerini ortadan kaldırmak amacıyla engelin genişliğine çok yüksek bir değer verilip kenarlardan kırımının gözardı edilmesi sağlanmıştır. FEKO'da ölçümler DKT ile yapılırken MATLAB'da EKDZ kullanılmıştır. FEKO'da alıcıya gelen direkt ışınlar, kırınan ışınlar ve yansıyan ışınlar hesaplanırken MATLAB'da alıcıya direkt gelen ışınlarla kırınan ışınlar hesap edilmiştir. İlk senaryoda Şekil 5.1'de enerji istasyonu ile AD arasına bir engel konulup 915 MHz'de ölçümler yapılmıştır.



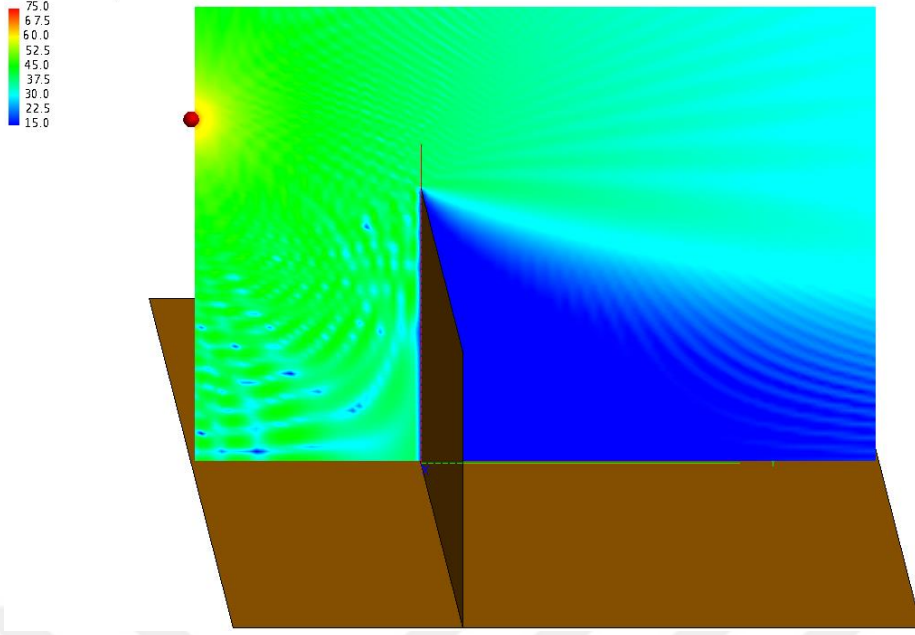
Şekil 5.1 : Tek engel olduğu durumda algılayıcıdaki elektrik alanın ölçüm senaryosu

Şekil 5.1’de görülen senaryoda enerji istasyonu -10 m konumunda ve 15 m yüksekliğindedir. Araya konulan engel 0 m konumunda ve 12 m yüksekliğindedir. Alıcı AD de 25 m konumunda ve 15 m yüksekliğindedir. Alıcının tüm noktaları üzerindeki ölçümler yapıp kıyaslanmıştır. Şekil 5.2’de FEKO’da elde edilen sonuçların alıcıdaki elektrik alanının alıcı yüksekliğine bağlı grafiği görülmektedir.



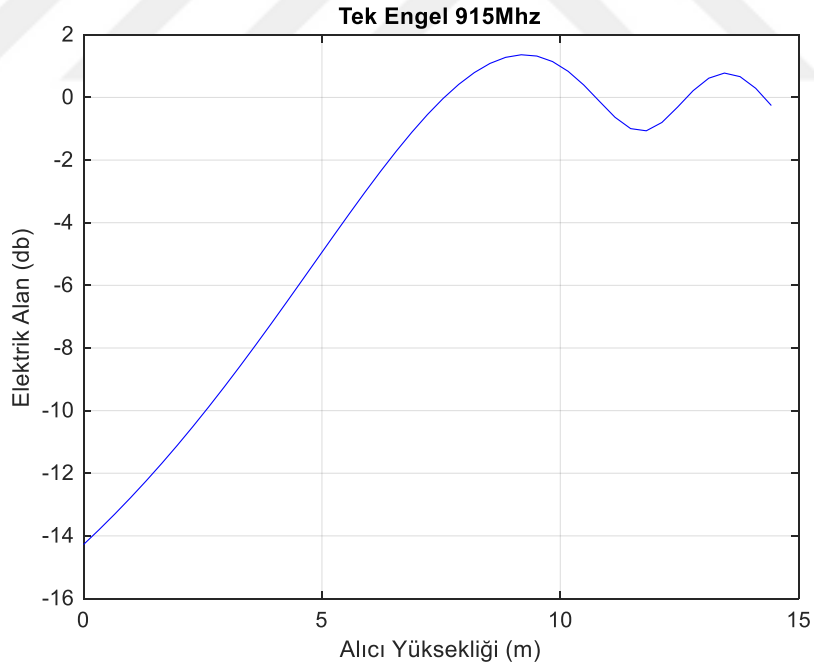
Şekil 5.2 : Tek engel olduğu durumda algılayıcıdaki elektrik alanının FEKO ile ölçümü

Şekil 5.2’de görüldüğü üzere alıcıda 9 m üzerindeki noktalarda elektrik alan en yüksek değerlerdedir. Aradaki engel sebebiyle kırınımın yüksek olduğu 9 m altındaki noktalarda elektrik alan azalmaktadır. Yansımanın etkisiyle grafikte faz kaymaları oluşmaktadır. Şekil 5.3’te ise FEKO’da elde edilen renk haritası gösterilmiştir.



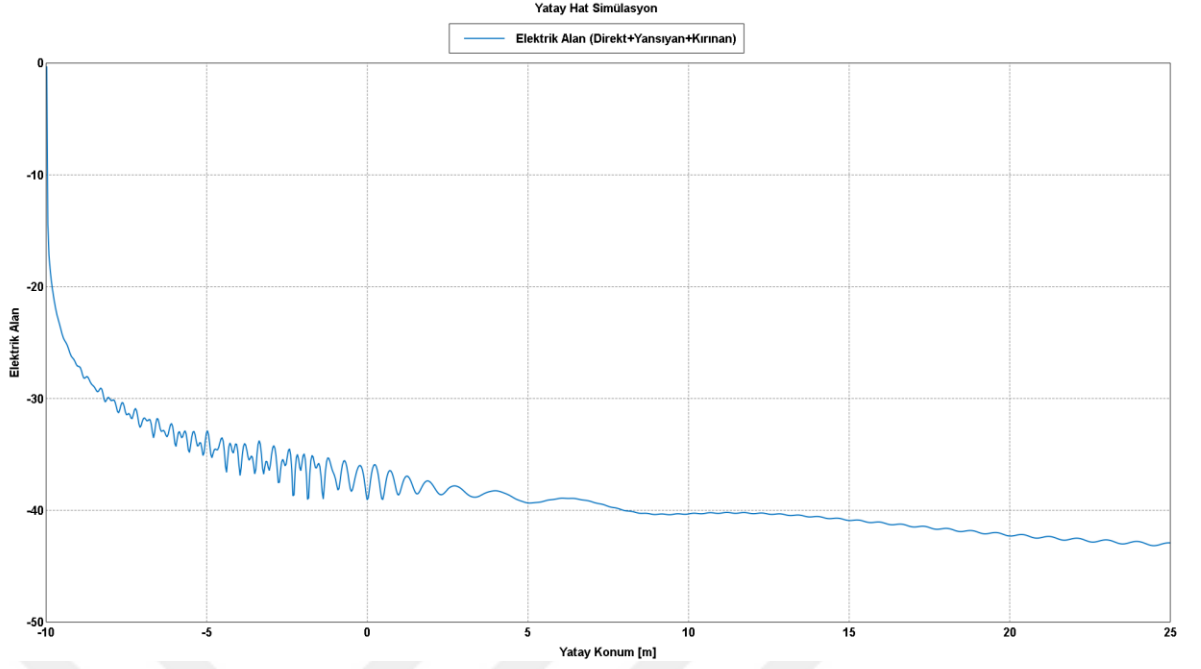
Şekil 5.3 : Tek engel olduğu durumda algılayıcıdaki elektrik alanın FEKO renk haritası

Şekil 5.4'te de MATLAB ile yapılan hesaplama sonucu elde edilen grafik görülmektedir.



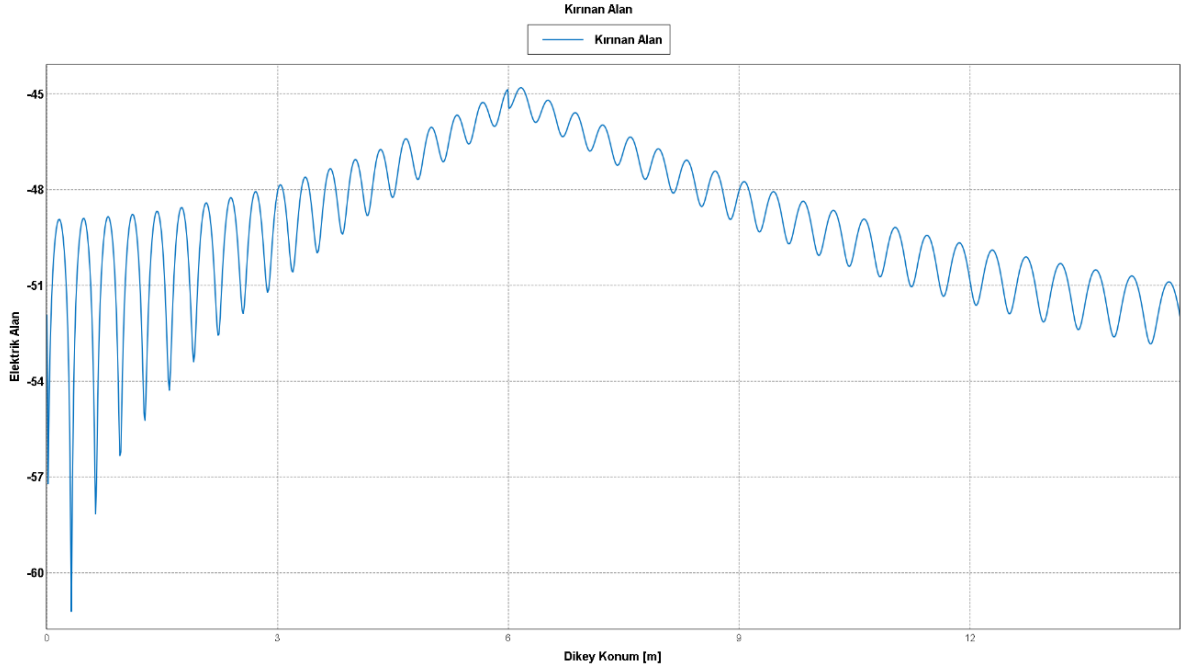
Şekil 5.4 : Tek engel olduğu durumda algılayıcıdaki elektrik alanının MATLAB ile ölçümü

Şekil 5.4'te görüldüğü üzere elde edilen grafik Şekil 5.2'deki grafik ile örtüşmektedir. Tek engelle yapılan testte 15m yükseklik seviyesinde alıcı ve verici arasındaki elektrik alan değişimi Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



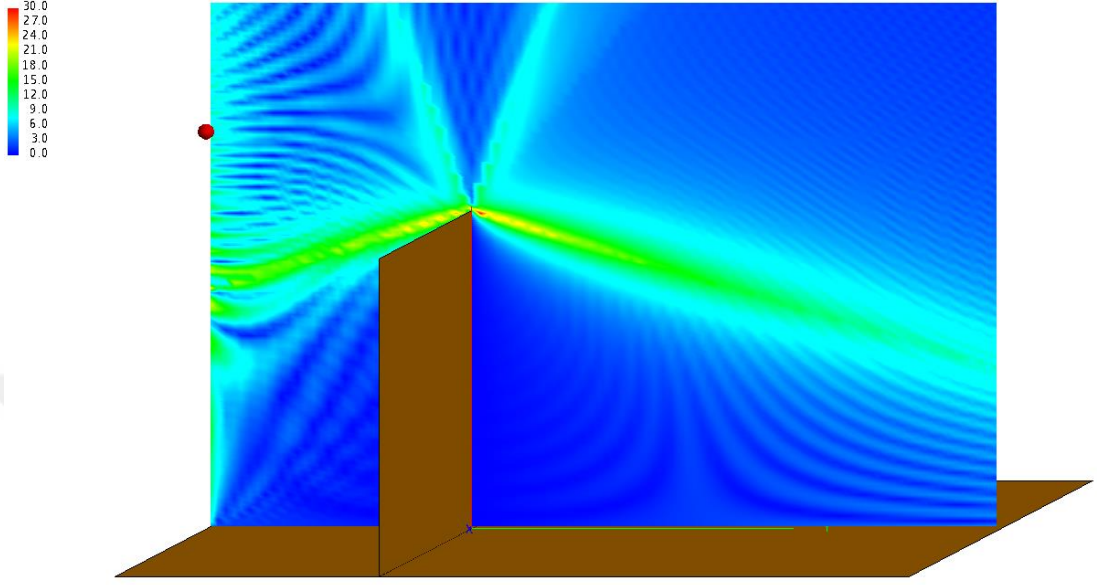
Şekil 5.5 : Tek engel olduğu durumda yatay hat boyunca elektrik alanın FEKO ile ölçümü

Şekil 5.5'te görüldüğü üzere engelin yüksekliğinin verici ve alıcının yüksekliğinden düşük olduğu durumlarda kırınımın etkisi çok düşük olduğundan elektrik alanda hat boyunca azalma olmamaktadır. Şekil 5.2'de direkt, kırınan ve yansıyan alanlar ölçülmüştü, Şekil 5.6'da ise FEKO'da sadece kırınan alanın etkisi gösterilmiştir.

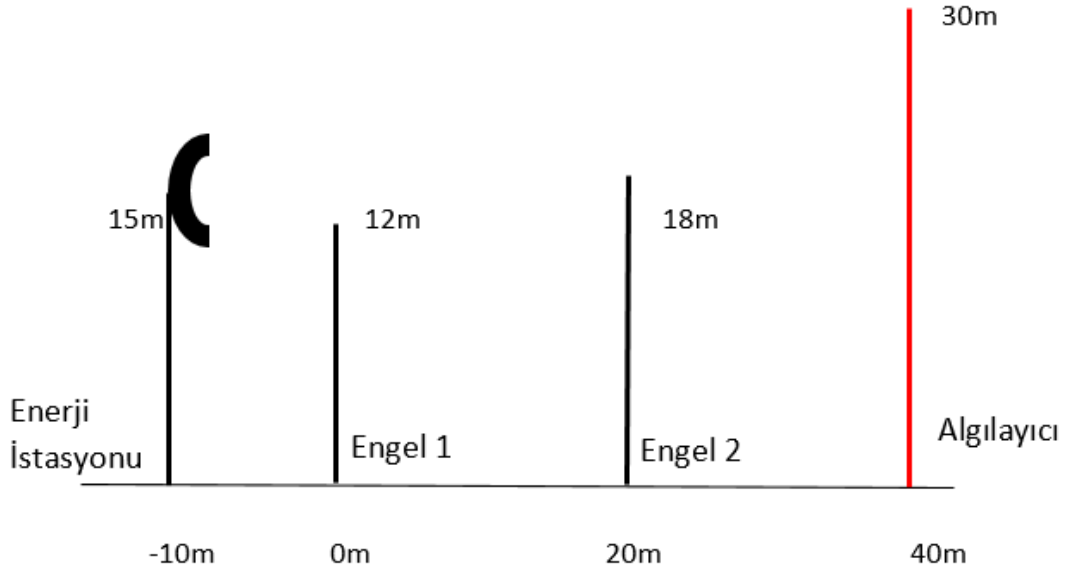


Şekil 5.6 : Tek engel olduğu durumda algılayıcıda kırınan alanın FEKO ile ölçümü

Şekil 5.6’da görüldüğü üzere alıcının 6 m yüksekliğindeki noktasında kırınımın elektrik alan etkisinin en yüksek olduğu kısımdır. Kırınımın etkisi kör noktalara gidildikçe azalmaktadır. Şekil 5.7’de kırınan alanın etkisini gösteren renk haritası yer almaktadır.

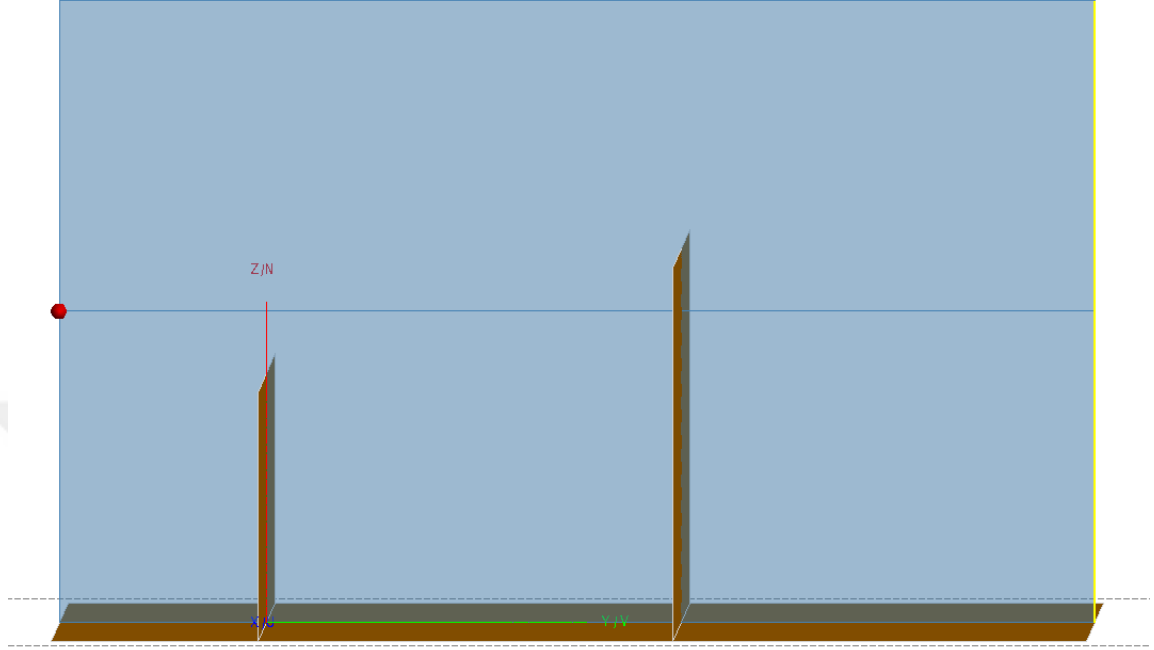


Şekil 5.7 : Tek engel olduğu durumda algılayıcıda kırınan alanın FEKO renk haritası
İkinci senaryoda Şekil 5.8’de enerji istasyonu ile AD arasına çift engel konulup 915 MHz’de ölçümler yapılmıştır.



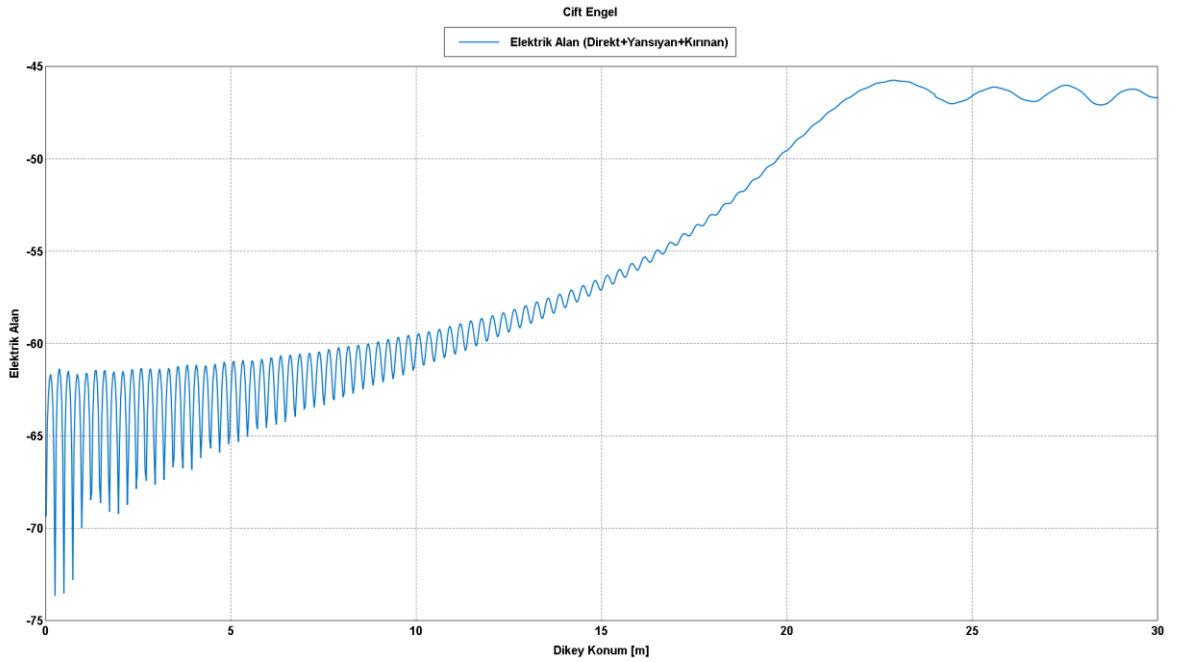
Şekil 5.8 : Çift engel olduğu durumda algılayıcıdaki elektrik alanın ölçüm senaryosu
Şekil 5.8’de görülen senaryoda enerji istasyonu -10 m konumunda ve 15 m yüksekliğindedir. Araya konulan ilk engel 0 m konumunda ve 12 m yüksekliğindedir. İkinci engel ise 20 m konumunda ve 18 m yüksekliğindedir. Alıcı

AD de 40 m konumunda ve 30 m yüksekliğindedir. Alıcının tüm noktaları üzerindeki ölçümler yapıp kıyaslanmıştır. Senaryonun FEKO'daki grafiği Şekil 5.9'da gösterilmiştir.



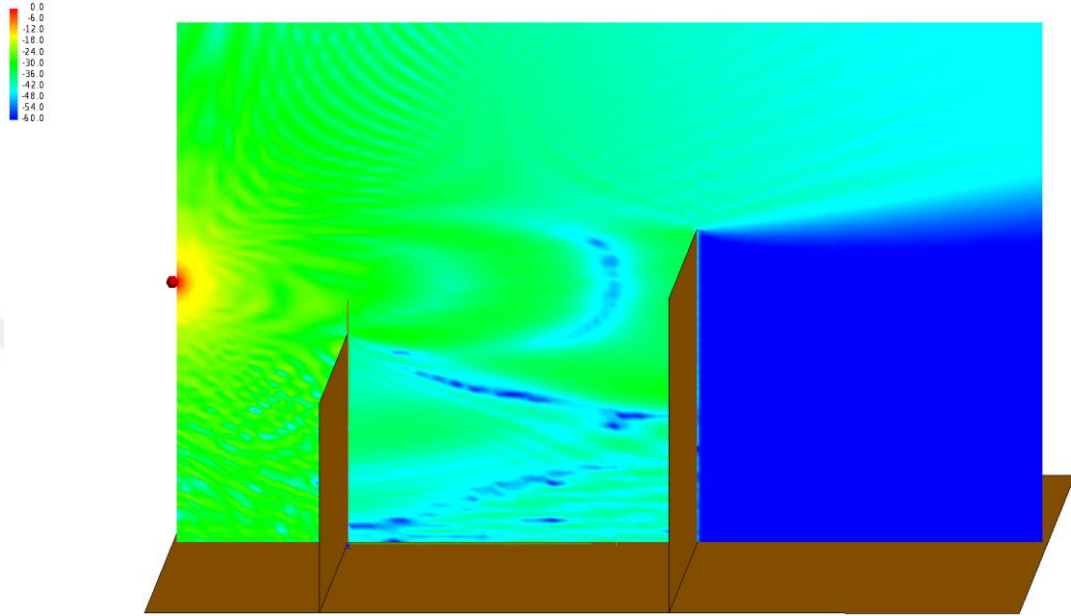
Şekil 5.9 : Çift engel olduğu durumda algılayıcıdaki elektrik alanın ölçüm senaryosu FEKO grafiği

Şekil 5.10'de FEKO'da elde edilen sonuçların alıcıdaki elektrik alanın alıcı yüksekliğine bağlı grafiği görülmektedir.



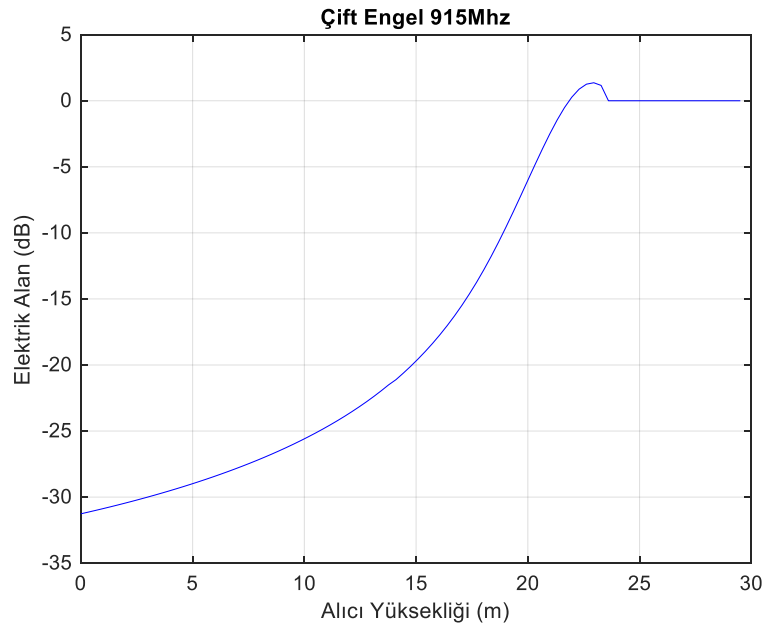
Şekil 5.10 : Çift engel olduğu durumda algılayıcıdaki elektrik alanın FEKO ile ölçümü

Şekil 5.10’de görüldüğü üzere alıcıda 22 m üzerindeki noktalarda elektrik alan en yüksek değerlerdedir. Aradaki engeller sebebiyle kırınımın yüksek olduğu 22 m altındaki noktalarda elektrik alan azalmaktadır. Yansımanın etkisiyle grafikte faz kaymaları oluşmaktadır. Şekil 5.11’de ise FEKO’da elde edilen renk haritası gösterilmiştir.



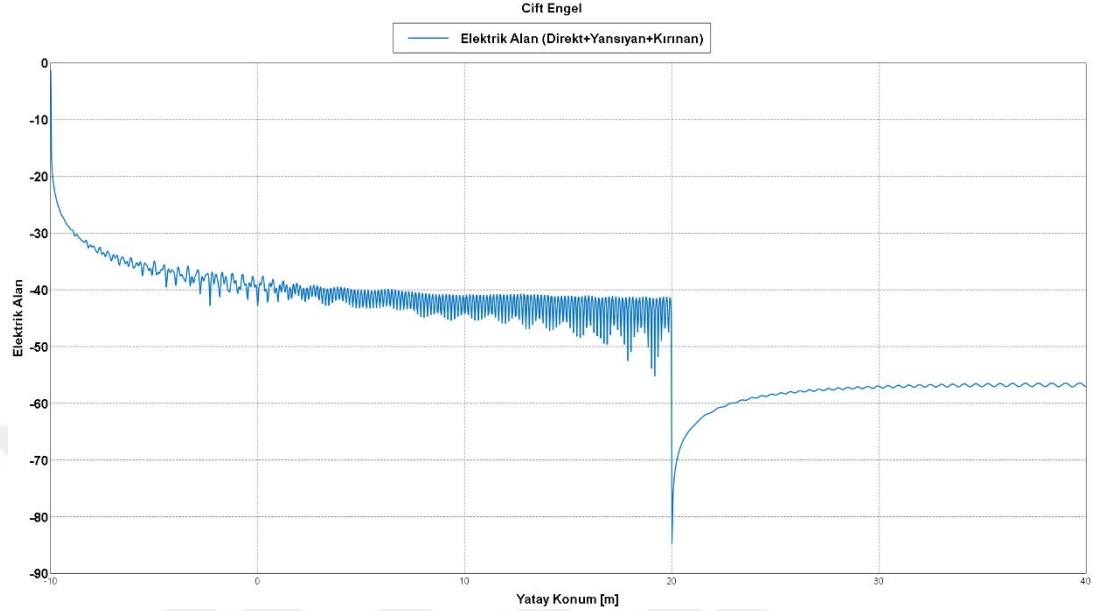
Şekil 5.11 : Çift engel olduğu durumda algılayıcıda kırınan alanın FEKO renk haritası

Şekil 5.12’de de MATLAB ile yapılan hesaplama sonucu elde edilen grafik görülmektedir.



Şekil 5.12 : Çift engel olduğu durumda algılayıcıdaki elektrik alanının MATLAB ile ölçümü

Şekil 5.12’te görüldüğü üzere elde edilen grafik Şekil 5.10’daki grafik ile örtüşmektedir. Çift engelle yapılan testte 15 m yükseklik seviyesinde alıcı ve verici arasındaki elektrik alan değişimi Şekil 5.13’te gösterilmiştir.



Şekil 5.13 : Çift engel olduğu durumda yatay hat boyunca elektrik alanının FEKO ile ölçümü

Şekil 5.13’te görüldüğü üzere ilk engelden geçerken elektrik alanda herhangi bir azalma olmazken vericiden daha yüksekte olan ikinci engelden geçerken elektrik alanda ciddi bir düşüş yaşanmıştır. Sonrasında kırınan ve yansıyan ışınların oluşturduğu elektrik alanın engel sonrasında birbirine yakın değerlerde olduğu gözlenmiştir.

5.2 Farklı Yüksekliklerde Bulunan Algılayıcı Dügümlerine 915 MHz Frekansında Enerji İletimi

İlk uygulayacağımız simülasyonda 100 adet AD’nin belirli bir alana yerleştirildiği varsayılmıştır. Sonra verici ve alıcının farklı noktalara konumlandırılması ile 915 MHz’de DKT ile elektrik alan şiddeti hesaplanmıştır. Hesaplanan elektrik alan şiddetinin logaritması alınarak ($10 \cdot \log_{10}(E)$) yol kaybı hesap edilmiştir. Son olarak vericinin konumlandırılacağı en iyi nokta belirlenmiştir. Algılayıcı düğümlerinin yerleştirildikleri yükseklikler rasgele belirlenmiş olup Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 : 10x10'lık algılayıcı alanında bina yükseklikleri

Y Düzlemi \ X Düzlemi	X Düzlemi									
	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m
0m	22	14	27	18	13	31	29	19	21	20
10m	9	12	17	9	28	8	9	8	9	16
20m	12	30	15	8	30	32	16	6	10	15
30m	20	10	21	24	9	6	11	12	15	18
40m	5	10	27	3	30	24	17	20	10	16
50m	31	19	18	9	17	21	23	14	14	32
60m	4	29	30	26	5	10	13	23	7	24
70m	6	22	17	26	24	30	29	13	23	8
80m	3	25	18	17	30	21	21	28	27	20
90m	8	10	29	3	17	8	32	24	18	17

Çizelge 5.1'de görüldüğü üzere algılayıcı düğüm yükseklikleri 3-32 m arasında değişmektedir. Bu yükseklikler baz alınarak 5 farklı senaryo için elektrik alan şiddeti ve yol kaybı hesaplamaları yapılmıştır.

İlk senaryoda Verici (V) (1,1) ve Alıcı (A) (10,10) noktasına konulduğu zaman ışının geçeceği binaların yükseklikleri [22 12 15 24 30 21 13 13 27 17] m'dir. Işının katedeceği mesafeler de [0 14.1421 28.2843 42.4264 56.5685 70.7107 84.8528 98.9949 113.1371 127.2792] m şeklindedir. DKT kullanılarak yapılan elektrik alan şiddetinin hesaplama sonuçları Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 : V=(1,1) ve A=(10,10) konumunda iken elektrik alan şiddeti

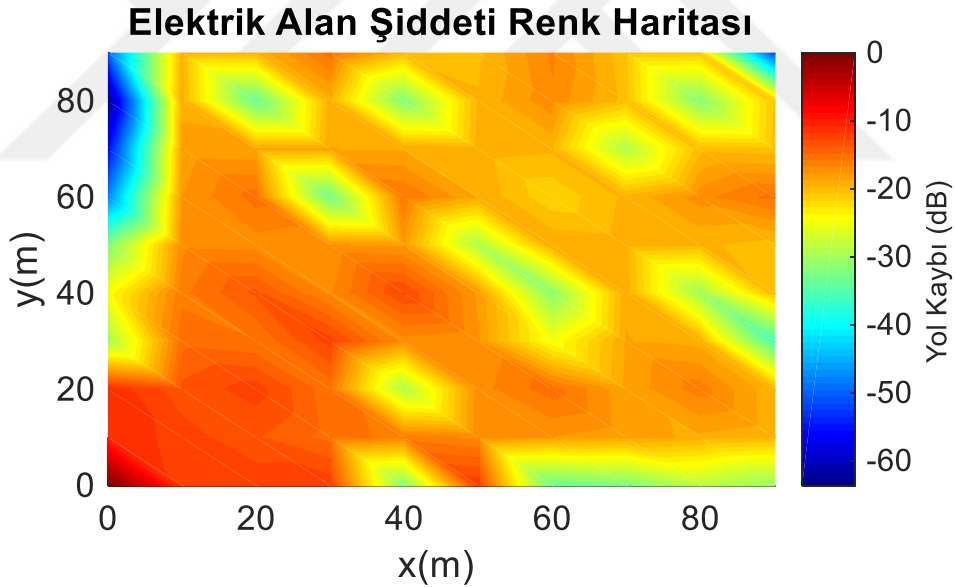
Y \ X	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m
0m	1,00	0,08	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10m	0,06	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
20m	0,06	0,04	0,06	0,03	0,04	0,02	0,03	0,01	0,00	0,01
30m	0,06	0,03	0,03	0,06	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,03
40m	0,00	0,02	0,00	0,02	0,05	0,02	0,03	0,01	0,00	0,01
50m	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
60m	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
70m	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
80m	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01
90m	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00

Çizelge 5.2'den görüleceği üzere vericinin görüş açısı dışında kalan bölgelerde ve vericiden uzaklaştıkça elektrik alan şiddeti azalmaktadır. Elektrik alan şiddeti kullanılarak dB cinsinden yol kayıpları hesaplanmış olup Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 : $V=(1,1)$ ve $A=(10,10)$ konumunda iken yol kaybı

Y X	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m
0m	0,00	-11,07	-11,10	-29,91	-24,74	-32,22	-48,14	-56,23	-63,60	-50,28
10m	-12,15	-12,39	-13,60	-15,34	-16,19	-17,23	-17,93	-18,59	-19,12	-19,57
20m	-12,23	-13,75	-12,40	-15,88	-13,67	-17,38	-15,40	-18,72	-33,49	-19,66
30m	-12,23	-15,29	-15,56	-12,45	-17,13	-17,81	-33,01	-18,84	-19,33	-15,34
40m	-31,51	-16,34	-29,19	-17,27	-12,76	-18,06	-15,79	-19,08	-31,73	-19,93
50m	-12,14	-17,08	-17,33	-17,77	-18,08	-29,33	-18,94	-19,35	-19,76	-20,13
60m	-33,85	-17,88	-15,29	-24,98	-31,38	-18,99	-21,74	-19,67	-17,12	-16,68
70m	-31,99	-18,49	-18,63	-18,83	-19,08	-19,35	-19,66	-28,93	-20,24	-20,60
80m	-28,56	-19,08	-16,34	-19,30	-30,25	-19,75	-17,29	-20,25	-32,16	-20,82
90m	-30,71	-19,62	-19,66	-35,48	-19,94	-20,18	-15,55	-20,57	-20,79	-52,16

Çizelge 5.3'te verici noktada yol kaybının sıfır olduğu görülmektedir. Elektrik alanında olduğu gibi araya fazla engel girmesi ve görüş açısı dışında olması sebebiyle yol kaybı -63.60 dB'ye kadar düşmüştür. Burada elde edilen sonuçlara ait renk haritası Şekil 5.14'de gösterilmiştir.



Şekil 5.14 : $V=(1,1)$ ve $A=(10,10)$ konumunda iken elektrik alan şiddeti renk haritası

Şekil 5.14'te görüleceği üzere renk skalasında kırmızı ile görünen kısımlar vericiye yakın olan noktalardır. Mavi olan kısımlar ise vericiden uzak olan veya görüş açısı dışında kalan noktalardır.

İkinci senaryoda Verici (2,3) ve Alıcı da (2,8) noktasına konulduğu zaman ışının geçeceği binaların yükseklikleri [17 9 28 8 9 8] m'dir. Işının katedeceği mesafeler de [0 10 20 30 40 50] m şeklindedir. DKT kullanılarak yapılan elektrik alan şiddetinin hesaplama sonuçları Çizelge 5.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 : V=(2,3) ve A=(2,8) konumunda iken elektrik alan şiddeti

Y X	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m
0m	0,04	0,07	0,07	0,07	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
10m	0,09	0,09	1,00	0,08	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20m	0,04	0,05	0,10	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
30m	0,00	0,04	0,10	0,04	0,06	0,03	0,00	0,02	0,00	0,01
40m	0,03	0,03	0,12	0,03	0,03	0,06	0,02	0,02	0,00	0,01
50m	0,04	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,03	0,01
60m	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
70m	0,03	0,02	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
80m	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
90m	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01

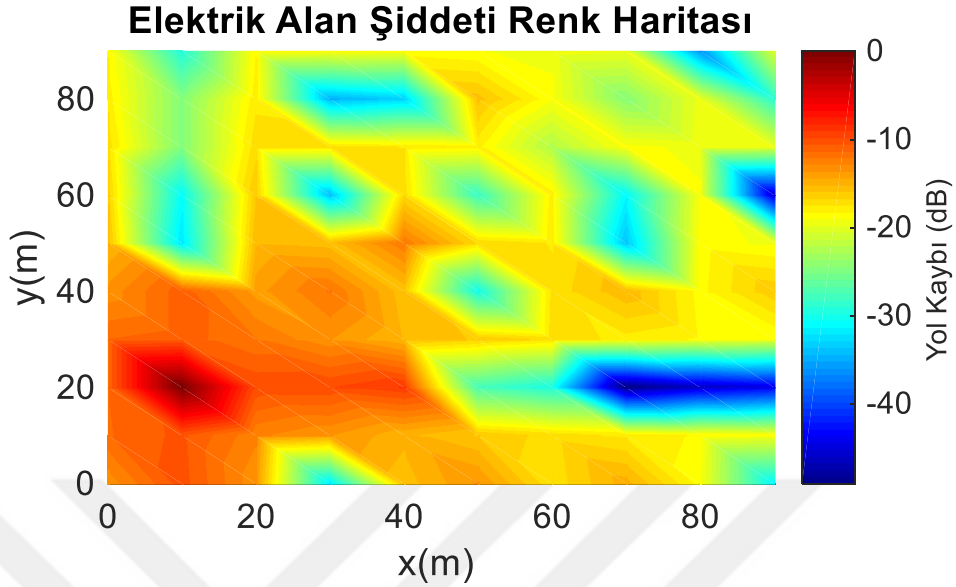
Çizelge 5.4'ten görüleceği üzere vericinin görüş açısı dışında kalan bölgelerde ve vericiden uzaklaştıkça elektrik alan şiddeti azalmaktadır. Elektrik alan şiddeti kullanılarak dB cinsinden yol kayıpları hesaplanmış olup Çizelge 5.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 : V=(2,3) ve A=(2,8) konumunda iken yol kaybı

Y X	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m
0m	-13,60	-11,60	-11,50	-11,52	-13,56	-15,38	-16,34	-17,08	-17,85	-18,50
10m	-10,33	-10,49	0,00	-11,07	-11,05	-31,94	-30,94	-24,81	-24,81	-29,52
20m	-13,60	-12,84	-10,08	-12,24	-14,13	-15,44	-16,16	-17,16	-17,88	-18,51
30m	-31,99	-13,70	-10,05	-13,70	-12,16	-15,76	-33,98	-17,33	-35,48	-18,63
40m	-15,79	-15,10	-9,14	-15,38	-15,83	-12,34	-16,99	-17,67	-33,49	-18,81
50m	-13,68	-16,16	-27,67	-16,23	-30,23	-17,00	-28,53	-18,06	-15,77	-19,12
60m	-17,44	-17,18	-29,66	-17,13	-17,42	-17,70	-18,08	-22,48	-18,96	-19,34
70m	-14,93	-17,85	-49,07	-17,90	-15,43	-33,85	-31,38	-18,94	-24,54	-19,66
80m	-18,70	-18,53	-45,87	-18,49	-18,69	-18,83	-19,08	-19,39	-19,67	-36,51
90m	-31,18	-19,10	-44,19	-19,12	-16,26	-19,33	-45,37	-19,77	-28,95	-20,28

Çizelge 5.5'te verici noktada yol kaybının sıfır olduğu görülmektedir. Elektrik alanında olduğu gibi araya fazla engel girmesi ve görüş açısı dışında olması

sebebiyle yol kaybı -49.07 dB'ye kadar düşmüştür. Burada elde edilen sonuçlara ait renk haritası Şekil 5.15'te gösterilmiştir.



Şekil 5.15 : $V=(2,3)$ ve $A=(2,8)$ konumunda iken elektrik alan şiddeti renk haritası

Şekil 5.15'te görüleceği üzere renk skalasında kırmızı ile görünen kısımlar vericiye yakın olan noktalardır. Mavi olan kısımlar ise vericiden uzak olan veya görüş açısı dışında kalan noktalardır.

Üçüncü senaryoda Verici (5,5) ve Alıcı da (1,10) noktasına konulduğu zaman ışının geçeceği binaların yükseklikleri [20 30] m'dir. Işının katedeceği mesafeler de [0 64.0312] m şeklindedir. DKT kullanılarak yapılan elektrik alan şiddetinin hesaplama sonuçları Çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 : $V=(5,5)$ ve $A=(1,10)$ konumunda iken elektrik alan şiddeti

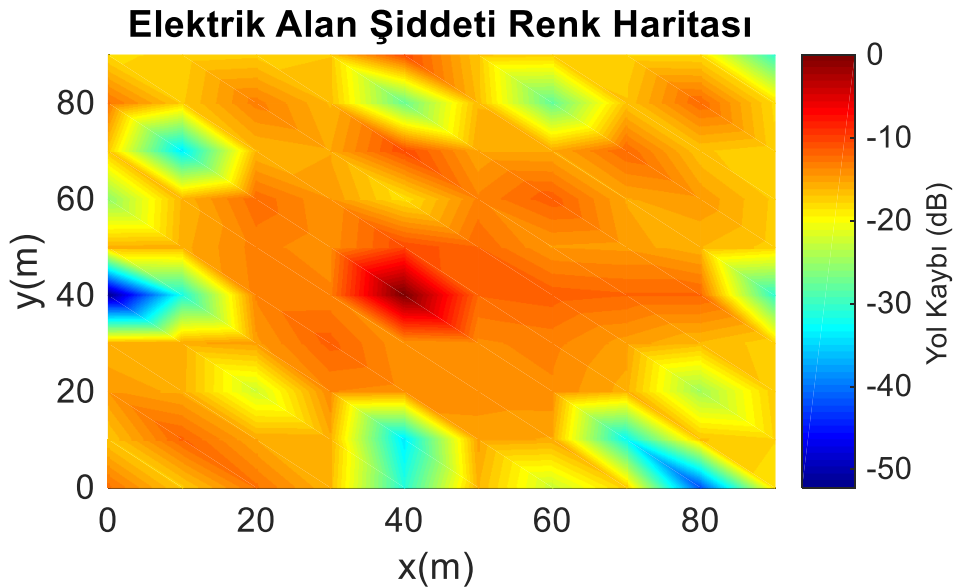
Y \ X	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m
0m	0,05	0,02	0,03	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,05	0,02
10m	0,02	0,06	0,03	0,03	0,00	0,03	0,02	0,00	0,02	0,02
20m	0,05	0,03	0,01	0,03	0,04	0,04	0,06	0,02	0,05	0,02
30m	0,02	0,03	0,04	0,07	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
40m	0,00	0,00	0,04	0,03	1,00	0,09	0,01	0,09	0,00	0,09
50m	0,02	0,03	0,04	0,04	0,06	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
60m	0,01	0,03	0,04	0,04	0,07	0,03	0,07	0,03	0,00	0,02
70m	0,02	0,00	0,03	0,03	0,06	0,03	0,03	0,06	0,02	0,02
80m	0,00	0,02	0,00	0,02	0,06	0,02	0,03	0,02	0,06	0,02
90m	0,01	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00

Çizelge 5.6'dan görüleceği üzere vericinin görüş açısı dışında kalan bölgelerde ve vericiden uzaklaştıkça elektrik alan şiddeti azalmaktadır. Elektrik alan şiddeti kullanılarak dB cinsinden yol kayıpları hesaplanmış olup Çizelge 5.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 : V=(5,5) ve A=(1,10) konumunda iken yol kaybı

Y X	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m
0m	-12,76	-17,20	-14,68	-16,34	-52,22	-16,16	-25,78	-17,09	-12,81	-18,10
10m	-17,35	-12,06	-15,83	-15,79	-32,16	-15,86	-16,20	-33,85	-17,35	-17,78
20m	-12,85	-15,57	-22,45	-14,96	-13,69	-13,51	-12,41	-16,37	-13,44	-17,47
30m	-16,28	-15,73	-13,83	-11,87	-13,67	-14,46	-14,67	-15,60	-16,43	-17,18
40m	-31,42	-33,85	-14,18	-14,60	0,00	-10,67	-18,58	-10,64	-27,70	-10,62
50m	-16,16	-15,25	-14,05	-14,03	-12,15	-12,24	-13,70	-15,49	-16,46	-17,08
60m	-22,59	-15,56	-14,02	-13,56	-11,74	-14,78	-11,65	-15,64	-28,01	-17,34
70m	-17,45	-33,01	-15,83	-15,04	-12,12	-15,00	-15,56	-12,25	-17,04	-17,95
80m	-40,00	-17,00	-24,80	-16,35	-12,13	-16,24	-14,80	-16,99	-12,25	-18,10
90m	-18,30	-17,89	-17,32	-17,60	-30,48	-17,44	-17,32	-17,68	-18,12	-30,48

Çizelge 5.7'de verici noktada yol kaybının sıfır olduğu görülmektedir. Elektrik alanında olduğu gibi araya fazla engel girmesi ve görüş açısı dışında olması sebebiyle yol kaybı -52.22 dB'ye kadar düşmüştür. Burada elde edilen sonuçlara ait renk haritası Şekil 5.16'da gösterilmiştir.



Şekil 5.16 : V=(5,5) ve A=(1,10) konumunda iken elektrik alan şiddeti renk haritası

Şekil 5.16’da görüleceği üzere renk skalasında kırmızı ile görünen kısımlar vericiye yakın olan noktalardır. Mavi olan kısımlar ise vericiden uzak olan veya görüş açısı dışında kalan noktalardır.

Dördüncü senaryoda Verici (2,4) ve Alıcı da (7,9) noktasına konulduğu zaman ışının geçeceği binaların yükseklikleri [9 30 6 17 14 7] m’dir. Işının katedeceği mesafeler de [0 14.1421 28.2843 42.4264 56.5685 70.7107] m şeklindedir. DKT kullanılarak yapılan elektrik alan şiddetinin hesaplama sonuçları Çizelge 5.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8 : V=(2,4) ve A=(7,9) konumunda iken elektrik alan şiddeti

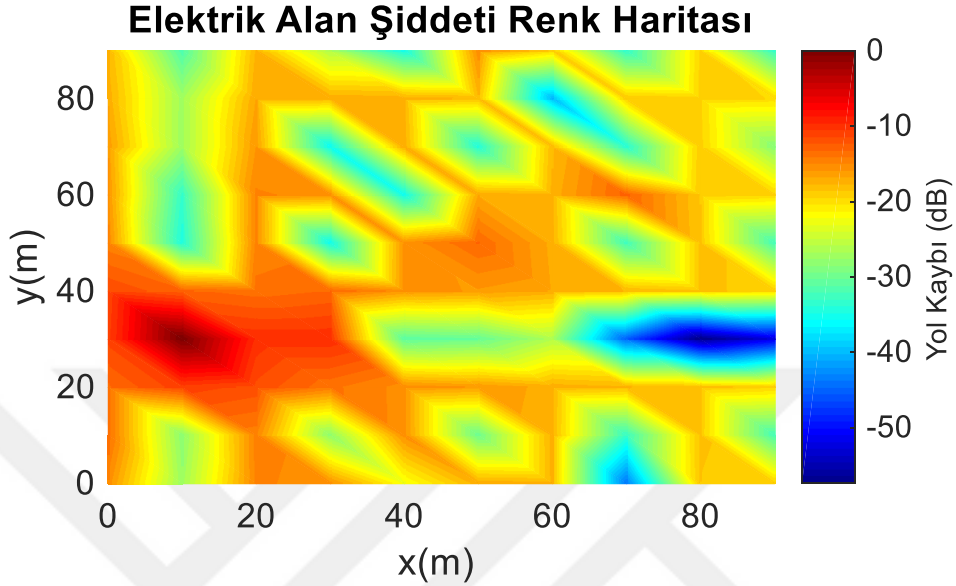
Y X	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m
0m	0,03	0,04	0,04	0,07	0,07	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
10m	0,00	0,00	0,08	1,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20m	0,03	0,03	0,07	0,10	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
30m	0,03	0,00	0,04	0,10	0,04	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00
40m	0,01	0,03	0,03	0,00	0,03	0,03	0,00	0,02	0,02	0,00
50m	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,05	0,02	0,00	0,02	0,03
60m	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,01
70m	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,05	0,00	0,01	0,00
80m	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
90m	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00

Çizelge 5.8’den görüleceği üzere vericinin görüş açısı dışında kalan bölgelerde ve vericiden uzaklaştıkça elektrik alan şiddeti azalmaktadır. Elektrik alan şiddeti kullanılarak dB cinsinden yol kayıpları hesaplanmış olup Çizelge 5.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.9 : V=(2,4) ve A=(7,9) konumunda iken yol kaybı

Y X	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m
0m	-15,34	-13,60	-13,60	-11,29	-11,67	-14,96	-15,73	-16,28	-17,18	-17,92
10m	-27,39	-28,44	-11,07	0,00	-13,32	-35,00	-33,01	-27,47	-27,24	-31,99
20m	-15,02	-14,87	-11,87	-10,02	-14,03	-15,06	-15,10	-16,16	-17,08	-17,85
30m	-15,76	-28,20	-14,05	-10,00	-13,50	-35,00	-15,57	-35,00	-17,34	-26,47
40m	-22,55	-15,56	-15,60	-30,94	-15,79	-15,91	-35,00	-17,09	-17,65	-35,00
50m	-17,37	-30,00	-16,24	-30,43	-16,23	-13,38	-17,15	-34,43	-18,08	-15,52
60m	-17,67	-17,60	-17,41	-26,37	-17,10	-17,32	-17,66	-18,17	-38,49	-19,00
70m	-43,73	-33,01	-17,89	-45,22	-17,96	-33,01	-13,06	-33,85	-18,99	-33,85
80m	-18,83	-18,72	-18,54	-57,38	-18,69	-18,69	-18,89	-19,17	-19,46	-19,69
90m	-19,31	-32,69	-19,21	-52,46	-19,07	-32,69	-19,46	-28,75	-19,76	-33,49

Çizelge 5.9’da verici noktada yol kaybının sıfır olduğu görülmektedir. Elektrik alanında olduğu gibi araya fazla engel girmesi ve görüş açısı dışında olması sebebiyle yol kaybı -57.38 dB’ye kadar düşmüştür. Burada elde edilen sonuçlara ait renk haritası Şekil 5.17’de gösterilmiştir.



Şekil 5.17 : $V=(2,4)$ ve $A=(7,9)$ konumunda iken elektrik alan şiddeti renk haritası

Şekil 5.17’de görüleceği üzere renk skalasında kırmızı ile görünen kısımlar vericiye yakın olan noktalardır. Mavi olan kısımlar ise vericiden uzak olan veya görüş açısı dışında kalan noktalardır.

Beşinci senaryoda Verici (8,9) ve Alıcı da (10,10) noktasına konulduğu zaman ışının geçeceği binaların yükseklikleri [23 17] m’dir. Işının katedeceği mesafeler de [0 22.3607] m şeklindedir. DKT kullanılarak yapılan elektrik alan şiddetinin hesaplama sonuçları Çizelge 5.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.10 : V=(8,9) ve A=(10,10) konumunda iken elektrik alan şiddeti

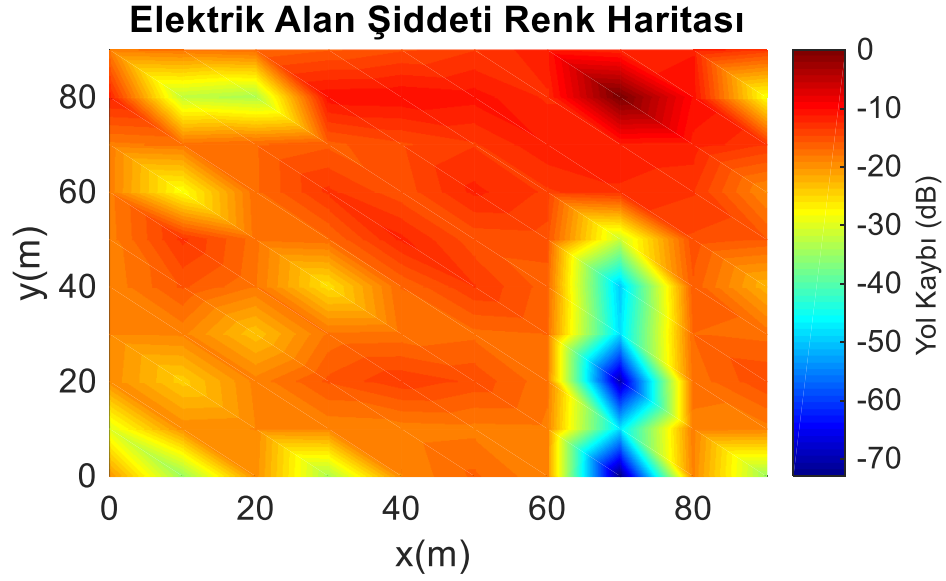
Y X	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m
0m	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,01
10m	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,05	0,00	0,02	0,00	0,02
20m	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02
30m	0,00	0,01	0,03	0,02	0,00	0,02	0,05	0,02	0,09	0,02
40m	0,01	0,01	0,04	0,02	0,02	0,06	0,03	0,03	0,09	0,03
50m	0,02	0,01	0,03	0,02	0,04	0,03	0,06	0,04	0,08	0,04
60m	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,07	0,05	0,07
70m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,07	1,00	0,06
80m	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,07	0,09	0,07
90m	0,00	0,01	0,03	0,02	0,01	0,03	0,01	0,04	0,00	0,04

Çizelge 5.10'dan görüleceği üzere vericinin görüş açısı dışında kalan bölgelerde ve vericiden uzaklaştıkça elektrik alan şiddeti azalmaktadır. Elektrik alan şiddeti kullanılarak dB cinsinden yol kayıpları hesaplanmış olup Çizelge 5.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.11 : V=(8,9) ve A=(10,10) konumunda iken yol kaybı

Y X	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m
0m	-20,24	-29,91	-19,65	-19,35	-19,12	-18,84	-18,64	-18,49	-11,96	-18,50
10m	-35,23	-19,69	-24,54	-18,99	-15,68	-13,31	-28,28	-17,96	-32,69	-17,88
20m	-19,78	-19,34	-18,96	-23,72	-18,09	-17,72	-17,34	-17,31	-33,72	-17,13
30m	-33,85	-19,12	-15,71	-18,05	-25,99	-17,22	-13,38	-16,31	-10,54	-16,19
40m	-19,40	-18,88	-13,94	-17,89	-17,04	-12,20	-15,62	-15,02	-10,35	-15,10
50m	-16,85	-18,63	-15,07	-17,46	-13,61	-15,57	-12,20	-13,83	-10,85	-13,83
60m	-19,17	-18,50	-17,88	-17,08	-16,54	-15,34	-13,89	-11,50	-12,76	-11,52
70m	-72,98	-48,04	-69,87	-48,42	-49,83	-31,38	-12,75	-11,50	0,00	-12,56
80m	-19,21	-18,51	-17,85	-17,11	-16,22	-15,01	-13,51	-11,76	-10,32	-11,60
90m	-35,00	-18,69	-14,90	-17,60	-22,52	-15,91	-19,57	-13,50	-28,23	-13,65

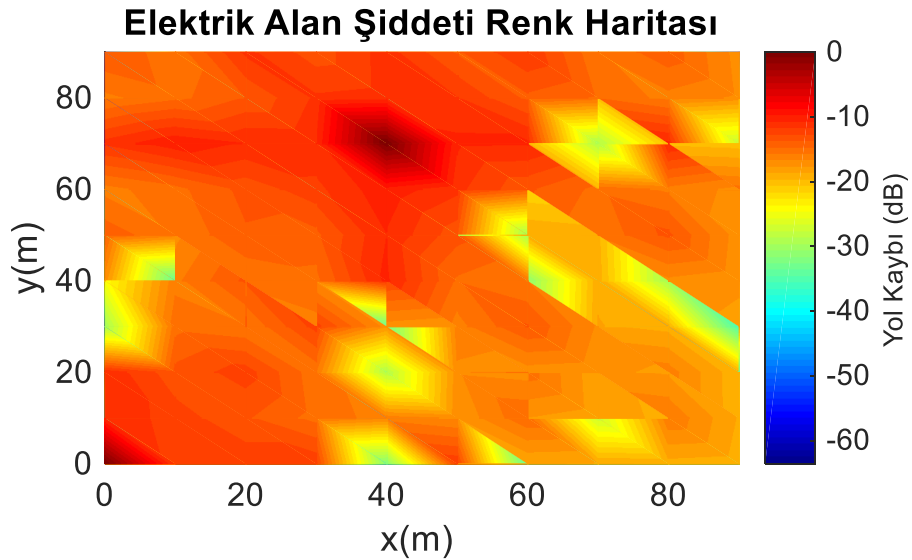
Çizelge 5.11'de verici noktada yol kaybının sıfır olduğu görülmektedir. Elektrik alanında olduğu gibi araya fazla engel girmesi ve görüş açısı dışında olması sebebiyle yol kaybı -72.98 dB'ye kadar düşmüştür. Burada elde edilen sonuçlara ait renk haritası Şekil 5.18'de gösterilmiştir.



Şekil 5.18 : $V=(8,9)$ ve $A=(10,10)$ konumunda iken elektrik alan şiddeti renk haritası

Şekil 5.18’de görüleceği üzere renk skalasında kırmızı ile görünen kısımlar vericiye yakın olan noktalardır. Mavi olan kısımlar ise vericiden uzak olan veya görüş açısı dışında kalan noktalardır.

Verici ve alıcının farklı noktalara konumlandırılması ile elektrik alan şiddetinde ciddi değişimler gözlenmiştir. Bu sebeple son olarak vericinin konumlandırılacağı en iyi noktanın tespiti için MATLAB kodu çalıştırılmıştır. Verici her noktaya sıra ile konularak diğer noktalarındaki elektrik alan şiddeti hesap edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre vericinin $(5,8)$ noktasına konulmasının en optimum çözüm olduğu görülmüştür. Hesaplama sonucu ortaya çıkan renk haritası Şekil 5.19’da gösterilmiştir.



Şekil 5.19 : $V=(5,8)$ konumunda iken elektrik alan şiddeti renk haritası

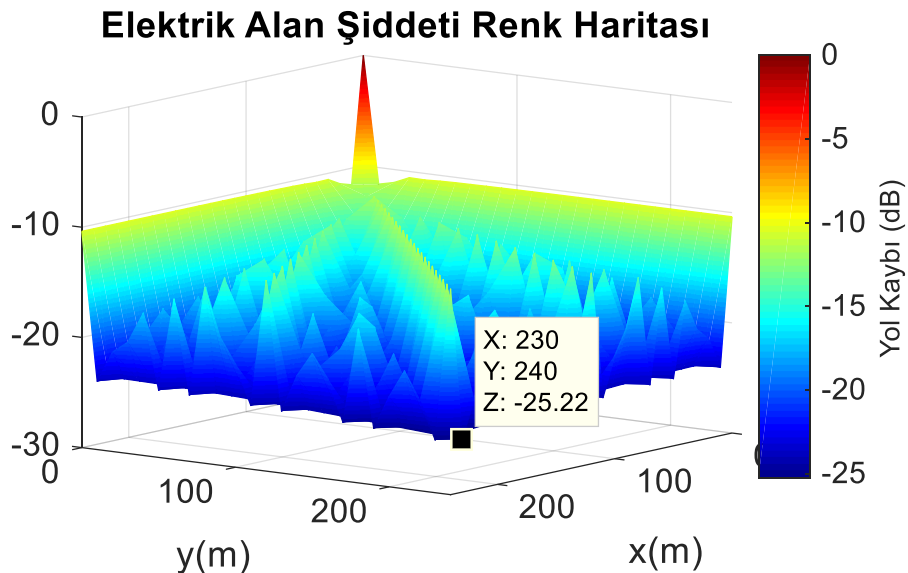
Şekil 5.19’da görüleceği üzere renk haritasında genellikle kırmızı ve turuncu kısımlar ağırlıkta iken az bir kısımda yeşil görünmektedir. Mavi olan bir kısım bulunmamaktadır.

5.3 Farklı Yükseklik ve Konumdaki Enerji İstasyonundan Yerdeki Algılayıcı Düzümlerine Farklı Frekanslarda Enerji İletimi

İkinci simülasyonda 240 m X 240 m’lik bir alana dağıtılan 625 AD bulunmaktadır. Yatay ve dikey düzlemde algılayıcı düğümleri 0m X 0m noktasından başlayarak 10’ar metre ara ile yerleştirilmiştir. Algılayıcı düğümlerinin düz bir alanda yerde olduğu varsayılmaktadır.

Enerji İstasyonu olarak konumlandırılacak olan verici antenin alandaki algılayıcı düğümlerine ileteceği elektrik alan şiddeti ve yol kaybı için 100 MHz frekansı’nda 3, 2400 MHz frekansı’nda 3 olmak üzere toplam 6 farklı durumda hesaplamalar yapılmıştır.

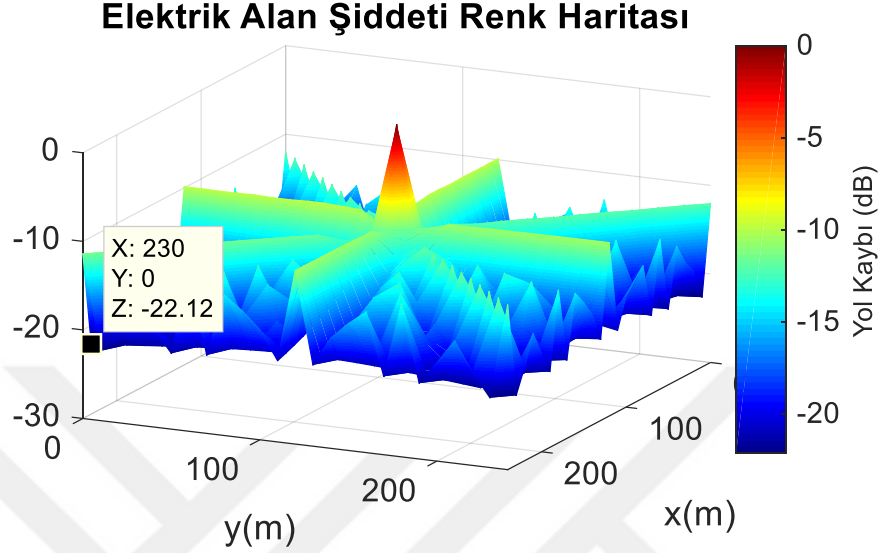
İlk durumda anten 10 m yüksekliğinde olup alanın başlangıç noktası olan 0m X 0m noktasına yerleştirilmiştir. 100 MHz frekansında DKT yöntemi ile Elektrik Alan şiddeti hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalara ait renk haritası Şekil 5.20’de gösterilmiştir.



Şekil 5.20 : 10m yükseklikteki vericinin (0,0) konumunda ve 100 MHz frekansında elektrik alan şiddeti renk haritası

Şekil 5.20’de görüleceği üzere yol kaybı -10.37 dB ile -25.22 dB arasında değişmektedir.

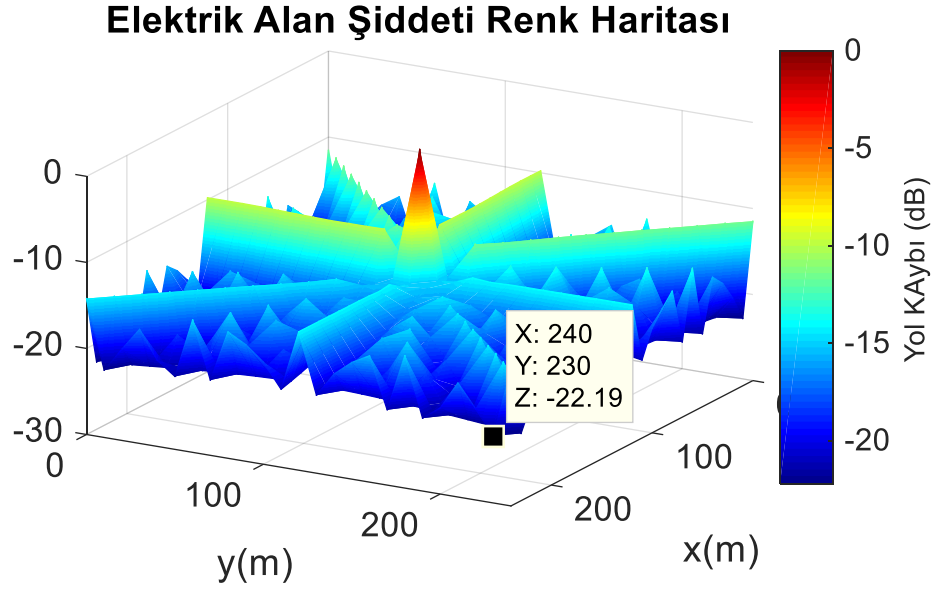
İkinci durumda anten 10 m yüksekliğinde olup alanın orta noktası olan 120 m X 120 m noktasına yerleştirilmiştir. 100 MHz frekansında DKT yöntemi ile Elektrik Alan şiddeti hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalara ait renk haritası Şekil 5.21’de gösterilmiştir.



Şekil 5.21 : 10 m yükseklikteki vericinin (120,120) konumunda ve 100 MHz frekansında elektrik alan şiddeti renk haritası

Şekil 5.21’de görüleceği üzere yol kaybı -9.84 dB ile -22.12 dB arasında değişmektedir. 100 MHz frekansında verici başlangıç noktasından orta noktaya alındığında elektrik alan şiddetinin arttığı ve yol kaybının azaldığı görülmüştür.

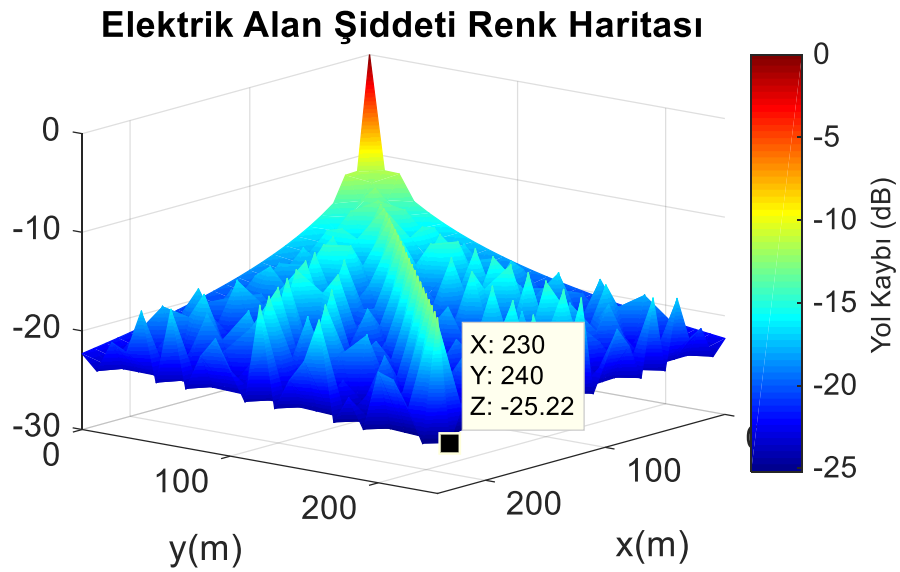
Üçüncü durumda anten 30 m yüksekliğinde olup alanın orta noktası olan 120 m X 120 m noktasına yerleştirilmiştir. 100 MHz frekansında DKT yöntemi ile Elektrik Alan şiddeti hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalara ait renk haritası Şekil 5.22’de gösterilmiştir.



Şekil 5.22 : 30 m yükseklikteki vericinin (120,120) konumunda ve 100 MHz frekansında elektrik alan şiddeti renk haritası

Şekil 5.22’de görüleceği üzere yol kaybı -9.76 dB ile -22.19 dB arasında değişmektedir. 100 MHz frekansında vericinin yüksekliği 10 m’den 30 m’ye çıkarıldığında vericinin tüm noktalarda elektrik alan şiddeti düşmektedir, yol kaybı artmaktadır.

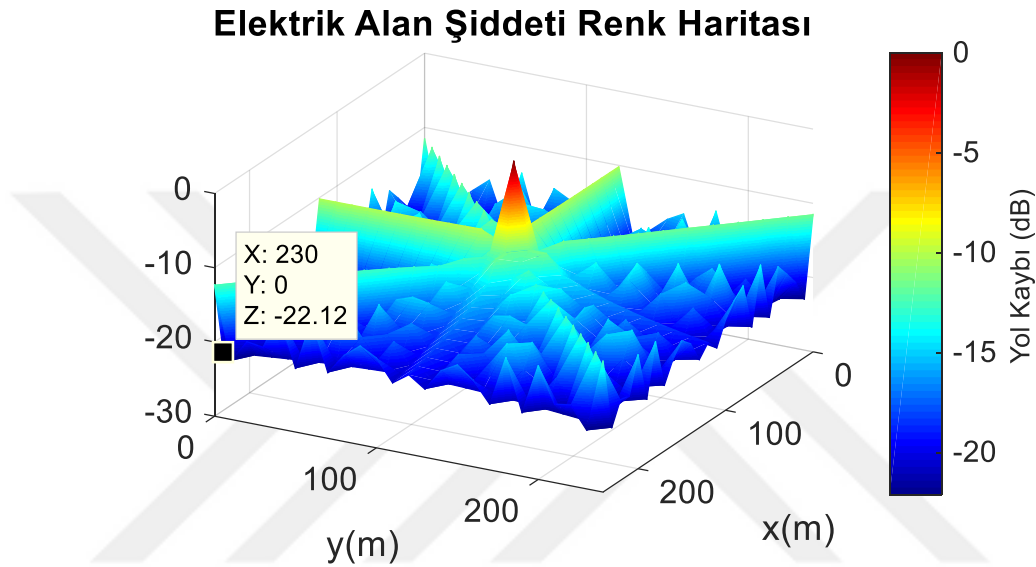
Dördüncü durumda anten 10 m yüksekliğinde olup alanın başlangıç noktası olan 0 m X 0 m noktasına yerleştirilmiştir. 2400 MHz frekansında DKT yöntemi ile Elektrik Alan şiddeti hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalara ait renk haritası Şekil 5.23’te gösterilmiştir.



Şekil 5.23 : 10 m yükseklikteki vericinin (0,0) konumunda ve 2400 MHz frekansında elektrik alan şiddeti renk haritası

Şekil 5.23'te görüleceği üzere yol kaybı -11.51 dB ile -25.22 dB arasında değişmektedir. Frekans 100 MHz'den 2400 MHz'e yükseldiği zaman tüm noktalara ulaşan elektrik alan şiddetinin azaldığı ve yol kaybının arttığı görülmektedir.

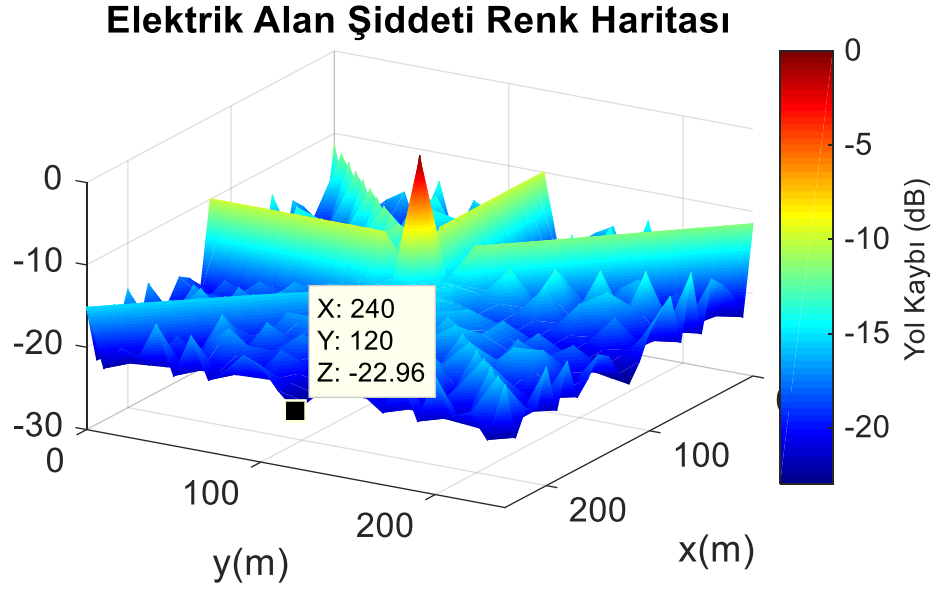
Beşinci durumda anten 10 m yüksekliğinde olup alanın orta noktası olan 120 m X 120 m noktasına yerleştirilmiştir. 2400 MHz frekansında DKT yöntemi ile Elektrik Alan şiddeti hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalara ait renk haritası Şekil 5.24'te gösterilmiştir.



Şekil 5.24 : 10 m yükseklikteki vericinin (120,120) konumunda ve 2400 MHz frekansında elektrik alan şiddeti renk haritası

Şekil 5.24'te görüleceği üzere yol kaybı -9.99 dB ile -22.12 dB arasında değişmektedir. 2400 MHz frekansında verici başlangıç noktasından orta noktaya alındığında elektrik alan şiddetinin arttığı ve yol kaybının azaldığı görülmüştür. Vericinin başlangıç noktasındaki durumuna benzer şekilde alanın ortasında olduğu durumda da frekans 100 MHz'den 2400 MHz'e yükseldiği zaman tüm noktalara ulaşan elektrik alan şiddetinin azaldığı ve yol kaybının arttığı görülmektedir.

Altıncı durumda anten 30 m yüksekliğinde olup alanın orta noktası olan 120 m X 120 m noktasına yerleştirilmiştir. 2400 MHz frekansında DKT yöntemi ile Elektrik Alan şiddeti hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalara ait renk haritası Şekil 5.25'te gösterilmiştir.



Şekil 5.25 : 30 m yükseklikteki vericinin (120,120) konumunda ve 2400 MHz frekansında elektrik alan şiddeti renk haritası

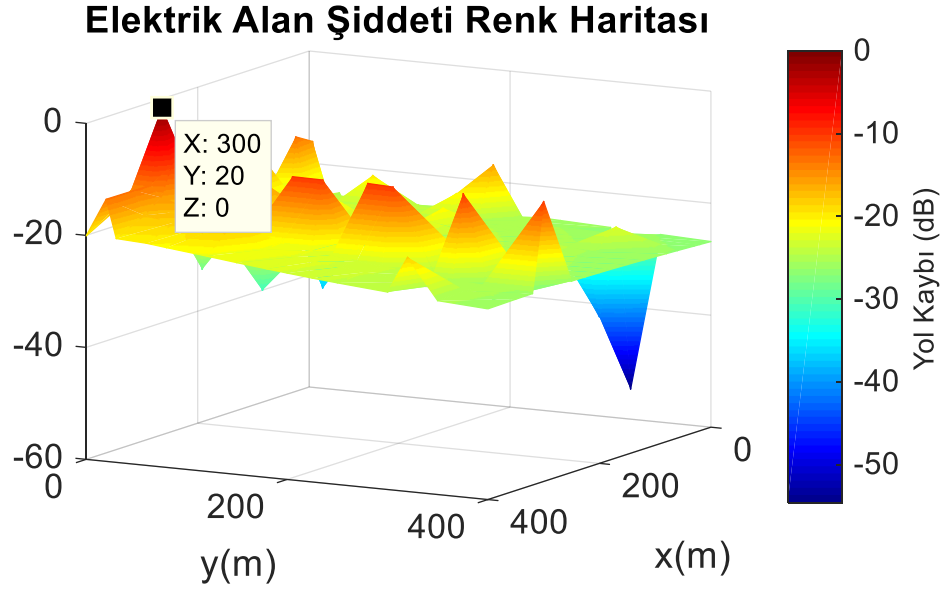
Şekil 5.25'te görüleceği üzere yol kaybı -9.96 dB ile -22.96 dB arasında değişmektedir. 2400 MHz frekansında vericinin yüksekliği 10 m'den 30 m'ye çıkarıldığında tüm noktalarda elektrik alan şiddeti düşmektedir ve yol kaybı artmaktadır. Ayrıca frekans 100 MHz'den 2400 MHz'e çıkarıldığında da vericiden uzaklaştıkça elektrik alan şiddeti düşmekte ve yol kaybı artmaktadır.

İkinci simülasyonda elde edilen sonuçlara göre Enerji İstasyonu olarak kullanılan verici 10 m yükseklikte olmalı ve alanın orta noktasına konulmalıdır. Bu durumda alıcı algılayıcı düğümlerinde en yüksek elektrik alan şiddeti ve en düşük yol kaybı gözlemlenmiştir.

5.4 En Uygun Enerji İstasyonu Konumunun DKT, EK ve EKDZ Modelleri Kullanılarak Tespit Edilmesi

Üçüncü simülasyonda 400 m X 400 m'lik bir alanda farklı yüksekliklere konumlandırılan AD'ler için en uygun Enerji İstasyonu noktası tespit edilecektir. Hesaplamalarda DKT, EK ve EKDZ modelleri kullanılacaktır. Algılayıcı düğümlerinin konumlandırıldığı X düzlemi [0 20 30 60 80 120 150 180 200 225 250 300 320 350 400] ve Y düzlemi [0 20 30 60 80 120 150 180 200 225 250 300 320 350 400] şeklindedir.

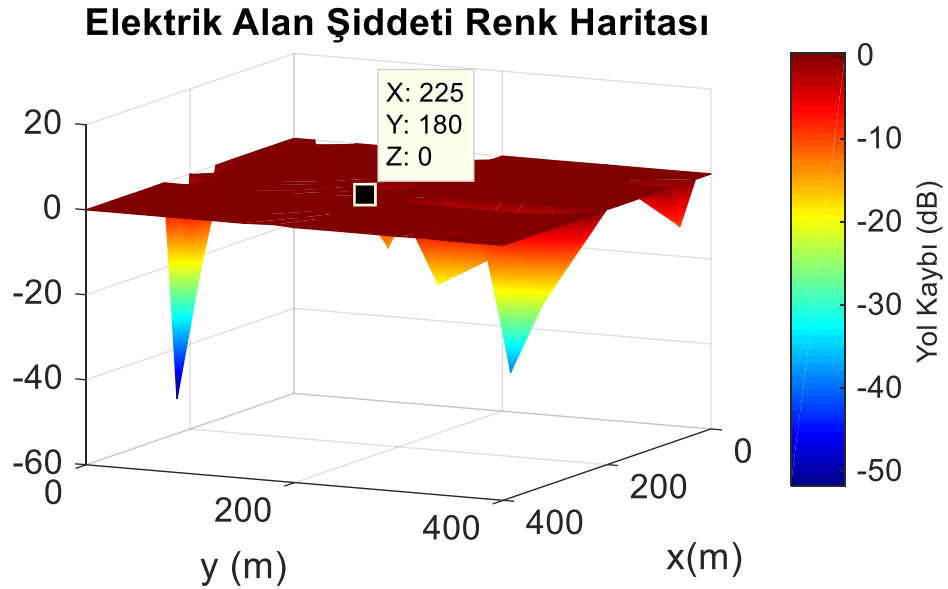
İlk durumda DKT modeli kullanılarak Şekil 5.26'daki renk haritası elde edilmiştir.



Şekil 5.26 : DKT modeli kullanılarak elde edilen renk haritası

Şekil 5.26'da görüleceği üzere DKT modeli kullanılarak yapılan hesaplamada Enerji İstasyonunun (300 m, 20 m) noktasına konulması sonucuna varılmıştır. Bu durumda (0 m, 320 m) noktasında yol kaybı alandaki en yüksek değer olup -54.61 dB olarak ölçülmüştür. Renk haritasındaki yoğunluk turuncu ve sarı kısımlardan oluşmakta olup yeşil kısımlar da bulunmaktadır.

İkinci durumda EK modeli kullanılarak Şekil 5.27'deki renk haritası elde edilmiştir.

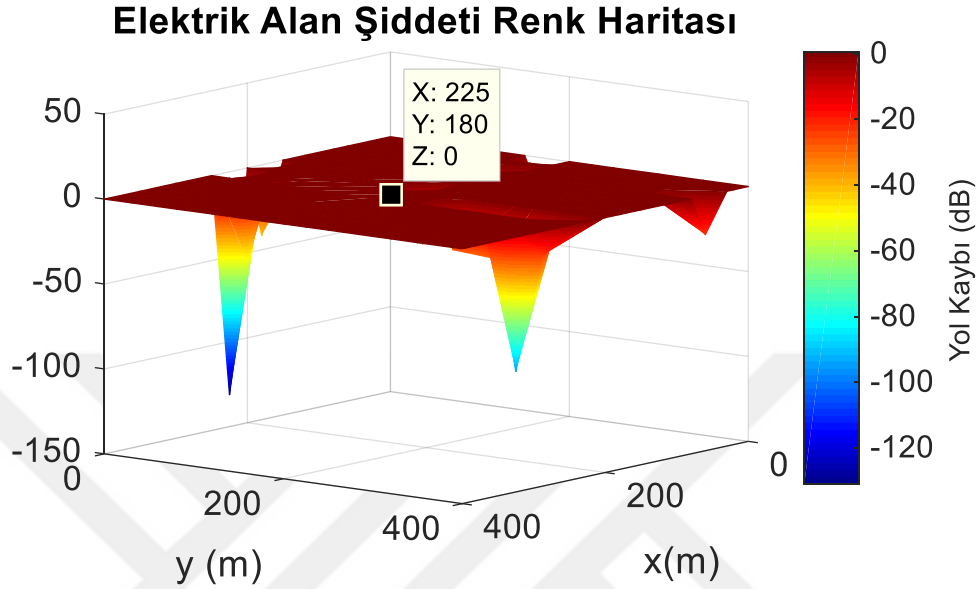


Şekil 5.27 : EK modeli kullanılarak elde edilen renk haritası

Şekil 5.27'de görüleceği üzere EK modeli kullanılarak yapılan hesaplamada Enerji İstasyonunun (225 m, 180 m) noktasına konulması sonucuna varılmıştır. Bu durumda (225 m, 0 m) noktasında yol kaybı alandaki en yüksek değer olup -51.75 dB olarak

ölçülmüştür. Renk haritasındaki yoğunluk yol kaybının sıfıra yakın olduğu kırmızı kısımlardan oluşmakta olup birkaç noktada yol kayıpları yer görülmektedir.

Üçüncü durumda EKDZ modeli kullanılarak Şekil 5.28'deki renk haritası elde edilmiştir.



Şekil 5.28'de görüleceği üzere EKDZ modeli kullanılarak yapılan hesaplamada Enerji İstasyonunun (225 m,180 m) noktasına konulması sonucuna varılmıştır. Bu durumda (225 m,0 m) noktasında yol kaybı alandaki en yüksek değer olup -131.1 dB olarak ölçülmüştür. Renk haritasındaki yoğunluk yol kaybının sıfıra yakın olduğu kırmızı kısımlardan oluşmakta olup birkaç noktada yol kayıpları görülmektedir. EKDZ modeli'ndeki hesaplamalar EK modeline çok yakın olmakla birlikte hesaplama süresi çok daha düşük olarak gerçekleşmektedir.

6. SONUÇ

Bu tezde ilk olarak Kablosuz Algılayıcı Ağ (KAA)'ların yapıları ve haberleşme mimarileri incelenmiştir. Diğer kablosuz ağlardaki iletişim protokolleri ile kıyaslanmıştır. Yapılan analizler sonucunda KAA'lardaki en önemli sorunun AD'nin enerjisinin tükenmesi sonucu işlevsiz hale gelmesi olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle enerji verimliliğini etkileyen boşta dinleme ve veri iletimindeki çarpışma olayları temel alınarak geliştirilen MAC protokolleri analiz edilip birbirleriyle kıyaslamalar yapılmıştır. Enerji verimliliğinin sağlanmasının yanında KAA'ları harici enerji kaynakları ile kablosuz olarak beslenebilmesi için Kablosuz Enerji Transfer yöntemleri incelenmiştir.

Kablosuz enerji transferi ortamdan enerjiyi alarak (enerji hasadı) veya sabit bir kaynaktan enerji iletimi yoluyla gerçekleşmektedir. Ortamdan elde edilen enerjinin yoğunluğu güneş enerjisinde 100 mW/cm^2 , termal enerjide $60 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$, titreşim enerjisinde $200 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$ ve radyo frekansı ile hasat edilen enerjide $1 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$ olarak tespit edilmiştir. Yüksek enerji yoğunluğu ve tahmin edilebilirliği yüksek olduğu için güneş enerjisinin en etkili ortam enerjisi olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer taraftan kablosuz enerji iletiminde de RF ile enerji iletimi üzerinde en çok çalışılan kısımdır. RF ile verinin iletilmesi temel alınarak enerji iletimi de modellenmektedir. Ancak mesafe uzadıkça enerji sinyali zayıflamakta ve iletilen enerjinin verimliliği azalmaktadır.

Mobil şebeke baz istasyon konumlandırmalarında kullanılan Elektromanyetik Dalga Yayılım Modelleri'nin enerji iletim hesaplamalarını yaparken de kullanılabileceği tespit edilmiştir. Elektromanyetik dalga yayılım modellerinde ışın izleme tekniğinin kullanıldığı modeller üzerinde durulmuştur. Özellikle Düzgün Kırınım Teorisi (DKT), Eğim Kırınım Teorisi (EK) incelenip eksiklikleri ortaya konmuştur. Bu eksikliklerin giderildiği Dışbükey Zarf Tekniğine Dayalı Eğim Kırınım Teorisi (EKDZ) detaylı bir şekilde incelenmiştir. Verici ve alıcı arasındaki engellerden kırınımına katkısı olmayanların hesaplama dışı bırakılması EKDZ'nin en önemli özelliğidir. Bunu gerçekleştirirken Fresnel Bölgesi çok önemli bir kavramdır. Bu

tezde verici ve alıcının 3 farklı durumu için fresnel bölgesi hesabı yapan yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Fresnel bölgesi hesabından sonra bölgenin dışında kalan binalar elenip dışbükey zarf hesaplamaları yapılmıştır. Oluşturulan MATLAB kodunun kullanıcı arayüzü tasarlanıp hızlı bir şekilde hesaplamaların yapılması ve dışbükey zarf grafiğinin ortaya çıkarılması sağlanmıştır. Yapılan farklı testler sonucunda elde edilen verilerden fresnel yarıçapı ile frekans arasındaki ters orantı gözlemlenmiştir.

EKDZ hesaplaması için geliştirilen algoritmanın doğruluğunu ölçmek için yüksek frekans hesaplamalarında kullanılan FEKO yazılımı kullanılmıştır. Verici ve alıcı arasında tek engelin ve çift engelin olduğu senaryolar oluşturulmuştur. FEKO hesaplamalarında DKT metodu kullanılırken MATLAB kodu hesaplamalarında EKDZ metodu kullanılmıştır. FEKO ile üç boyutlu hesaplamalar yapılırken MATLAB kodu hesaplamaları iki boyutlu olarak yapılmaktadır. Testlerde benzerlik oluşturmak için FEKO'daki tüm objelerin derinliği, uzunluk ve yüksekliğe göre çok daha büyük seçilmiş bu sayede iki boyutta bir yaklaşım temsil edilmeye çalışılmıştır. Sonuçlarda görüldüğü üzere elde edilen renk haritaları ve elektrik alan dağılımları algoritmanın doğruluğunu desteklemektedir.

Son kısımda ise KAA modellemeleri yapılarak enerji istasyonunun konumunun ve yüksekliğinin AD'lere iletilen enerjide oluşturduğu farklılıklar simüle edilmiştir. İlk olarak yükseklikleri 3-32 m arasında değişen 100 adet algılayıcının bulunduğu bir alana 915 MHz frekansında enerji iletimleri yapılmıştır. Elektrik alan hesaplamaları DKT modeli kullanılarak yapılmıştır. Verici istasyonunun konumunun değişimi ile görüş alanı içinde kalan AD'lerde yol kaybının daha az olduğu görülmüştür. Görüş alanı dışına çıkılan ve uzak noktalarda yol kaybının yükseldiği gözlemlenmiştir. Bu testlerde vericinin (5, 8) noktasına konulmasının en verimli durum olduğu ortaya çıkmıştır. İkinci olarak verici istasyonunun konum ve yükseklikleri değiştirilerek yer seviyesindeki 625 adet algılayıcıya enerji iletim testleri yapılmıştır. Testlerde 100 MHz ve 2400 MHz frekansları kullanılmıştır. Elektrik alan hesaplamaları DKT modeli kullanılarak yapılmıştır. 100 MHz frekansında verici başlangıç noktasından alanın orta noktasına alındığında yol kaybı azalmış ve daha fazla AD'ye daha yüksek enerji iletimi yapılabileceği gözlemlenmiştir. Vericinin yüksekliği 10 m'den 30 m'ye çıkarıldığında ise yol kaybının arttığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre verici istasyonu alıcı AD'ler için en uygun yüksekliğe konumlandırılmalıdır. Frekansın 100

MHz'den 2400 MHz'e çıkarılması ile tüm noktalardaki elektrik alan azalmakta ve yol kaybı artmaktadır. Üçüncü senaryoda ise 400 m x 400 m'lik bir alana konulan farklı yüksekliklerdeki AD'lerin şarj edilebileceği en uygun enerji istasyonu konumu belirlenmiştir. Elektrik alan hesaplamaları DKT, EK ve EKDZ modelleri kullanılarak yapılmıştır. EK ve EKDZ'de elde edilen sonuçlara göre enerji istasyonu (225 m, 180 m)'ye konulması gerektiği görülmüştür.

EKDZ modeli kullanılarak Kablosuz Algılayıcı Ağları Kablosuz olarak şarj edebilmek için hazırlanan bu tezde istenilen sonuçlara simülasyonlarla ulaşılmıştır.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda saha testlerinin de yapılması önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] **Akyildiz I.F., W. Su, Y. Sankarasubramaniam, Cayirci E.** (2002). Wireless sensor networks: a survey, *Computer Networks*, (38), 393–422.
- [2] **Moschitta A., Neri I.** (2014). Power consumption Assessment in Wireless Sensor Networks, <http://dx.doi.org/10.5772/57201>.
- [3] **Kosunalp S.** (2016). A Performance Evaluation of Solar Energy Prediction Approaches for Energy-Harvesting Wireless Sensor Networks, *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers*, (1), 424-427
- [4] **Tabakcioğlu M.B., Cansız A.** (2014). Çoklu Kırınımlar İçeren Senaryolar için Elektromanyetik Dalga Yayılım Modelleri, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19 (1), 37-46.
- [5] **Yusuf Naderi M., Nintanavongsa P., Chowdhury K.R.** (2014). RF-MAC: A Medium Access Control Protocol for Re-Chargeable Sensor Networks Powered by Wireless Energy Harvesting, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 13 (7), 3926-3937.
- [6] **Kosunalp S.** (2016). A New Energy Prediction Algorithm for Energy-Harvesting Wireless Sensor Networks With Q-Learning, *IEEE Access*, (4), 5755-5763.
- [7] **Estrin D., Govindan R., Heidemann J., Kumar S.** (1999). Next century challenges: scalable coordination in sensor networks, *ACM MobiCom '99*, (ss.263–270). Washington, USA, Ağustos 15-19.
- [8] **Heinzelman W.R., Kulik J., Balakrishnan H.** (1999). Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks, *Proceedings of the ACM MobiCom '99*,(ss. 174–185). Seattle, Washington.
- [9] **Warneke B., Liebowitz B., Pister K.S.J.** (2001). Smart dust: communicating with a cubic-millimeter computer, *IEEE Computer*, 34 (1) , Ocak.
- [10] **Abowd G.D., Sterbenz J.P.G.** (2000). Final report on the interagency workshop on research issues for smart environments, *IEEE Personal Communications*, (7), 36–40.
- [11] **Shih E., Cho S., Ickes N., Min R., Sinha A., Wang A., Chandrakasan A.,** (2001). Physical layer driven protocol and algorithm design for energy-efficient wireless sensor networks, *Proceedings of ACM MobiCom '01*, (ss.272-286). Rome, Italy.

- [12] **Perkins C.** (2000). *Ad Hoc Networks*, Addison-Wesley. Reading, MA.
- [13] **Elson J., Estrin D.** (2001). Random, ephemeral transaction identifiers in dynamic sensor networks, *Proceedings 21st International Conference on Distributed Computing Systems*, (ss.459-468). Mesa, AZ, USA.
- [14] **Wu S., Lin C., Tseng Y., Sheu J.** (2000). A new multi channel MAC protocol with on-demand channel assignment for multihop mobile ad hoc networks, *International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms, and Networks, I-SPAN*, (ss. 232-237). Dallas.
- [15] **Kahn J.M., Katz R.H., Pister K.S.J.** (1999). Next century challenges: mobile networking for smart dust, *Proceedings of the ACM MobiCom '99*, (ss.271-278). Washington, USA.
- [16] **Abramson N.** (1970). THE ALOHA SYSTEM: another alternative for computer communications, *AFIPS fall joint computer conference*, (ss. 281-285). Houston.
- [17] **Lawrence G. R.** (1975). ALOHA packet system with and without slots and capture, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 5 (2), 28-42.
- [18] **Wei Ye, Heidemann J., Estrin D.** (2002). An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks, *Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, (ss. 1567–1576). New York, USA.
- [19] **Demirkol I., Ersoy C., Alagöz F.** (2006). MAC Protocols for Wireless Sensor Networks: A Survey, *IEEE Communications Magazine*, (44), 115-121.
- [20] **van Dam T., Langendoen K.**(2003). An Adaptive EnergyEfficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks, *SenSys '03 Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems*, (ss.171-180). Los Angeles ,USA.
- [21] **Lu G., Krishnamachari B., Raghavendra C.S.**(2004). An Adaptive Energy-Efficient and Low-Latency MAC for Data Gathering in Wireless Sensor Networks, *Proc. 18th Int'l. Parallel and Distrib. Processing Symp.*, (ss.224). Nisan.
- [22] **Polastre J., Hill J., Culler D.** (2004). Versatile low power media access for wireless sensor networks, *SenSys '04 Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems*, (ss. 95-107). Baltimore ,USA.
- [23] **Farinholt K.M., Park G., Farrar C.R.** (2009). RF Energy Transmission for a Low-Power Wireless Impedance Sensor Node, *IEEE Sensors Journal*, 9 (7), 793-800.
- [24] **Visser H.J., Vullers R.J.M.** (2013). RF Energy Harvesting and Transport for Wireless Sensor Network Applications:Principles and Requirements, *Proceedings of the IEEE*, 101 (6), 1410-1423.

- [25] **Varghese J., Rao S.V.** (2014). Energy efficient exponential decision MAC for energy harvesting-wireless sensor networks, *International Conference on Advances in Green Energy (ICAGE)*, (ss. 239-244). Thiruvananthapuram, India.
- [26] **Doost R., Chowdhury K.R., Di Felice M.** (2010). Routing and Link Layer Protocol Design for Sensor Networks with Wireless Energy Transfer, *IEEE Global Telecommunications Conference GLOBECOM 2010*. Miami , USA.
- [27] **Naderi M.Y., Chowdhury K.R., Basagni S.** (2015). Wireless sensor networks with RF energy harvesting: Energy models and analysis, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, (ss. 1494-1499). New Orleans, USA.
- [28] **Nintanavongsa P., Naderi M.Y., Chowdhury K.R.** (2013). A dual-band wireless energy transfer protocol for heterogeneous sensor networks powered by RF energy harvesting, *International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)*. Nakorn Pathom, Thailand.
- [29] **Awais Q., Jin Y., Chattha H.T., Jamil M., He Q., Khawaja B.A.** (2017). A Compact Rectenna System With High Conversion Efficiency for Wireless Energy Harvesting, *IEEE Access*, (6), 35857 – 35866.
- [30] **Visser H.J.**(2012). Indoor Wireless RF Energy Transfer for Powering Wireless Sensors, *Radioengineering*,21 (4), 963-973.
- [31] **Xie L., Shi Y., Hou Y.T., Lou W., Sherali H.D., Midkiff S.F.** (2015). Multi-Node Wireless Energy Charging in Sensor Networks, *IEEE/ACM Transactions on Networking*,23 (2), 437-450.
- [32] **Zhang R., Ho C.K.** (2013). MIMO Broadcasting for Simultaneous Wireless Information and Power Transfer, *IEEE Transactions on Wireless Communications*,12 (5), 1989-2001.
- [33] **Nintanavongsa P., Muncuk U., Lewis D.R., Chowdhury K.R.** (2012). Design Optimization and Implementation for RF Energy Harvesting Circuits, *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*,2 (1), 24-33.
- [34] **Bouchouicha D., Dupont F., Latrach M.** (2010). Ambient RF Energy Harvesting *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'10)*. Granada ,Spain, Mart 23-25.
- [35] **Xie L., Shi Y., Hou Y.T., Lou W** (2013). Wireless power transfer and applications to sensor networks, *IEEE Wireless Communications*,20 (4), 140-145.
- [36] **Hsieh H.-C., Lin J.-Y., Hsieh Y.-C., Chiu H.-J.** (2015). High-efficiency wireless power transfer system, *IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*. Osaka, Japan.
- [37] **Sibakoti M.J., Hambleton J.** (2011). Wireless power transmission using magnetic resonance , *IEEE International Conference on Magnetics*.

- [38] **Tzaras C., Saunders S.R.** (2001). An improved heuristic UTD solution for multiple-edge transition zone diffraction, *IEEE Transactions on Antennas And Propagation*,49 (12), 1678-1682.
- [39] **Tabakcioğlu M.B., Özmen A., Kara A.** (2009). Karasal Yayıncılıkta Kapsama Alanı Kestirimi için Işın izleme Tekniğine Dayanan Hızlı Yayılım Modeli Geliştirilmesine Yönelik Bir Çalışma, *Signal Processing And Communication Application Conference*, 169-172.
- [40] **Tabakcioğlu M.B., Kara A.** (2009). Comparison of Improved Slope Uniform Theory of Diffraction with Some Geometrical Optic and Physical Optic Methods for Multiple Building Diffractions, *Electromagnetics*,29 (4), 303-320.
- [41] **Tabakcioğlu M.B., Çorapsız M.R.** (2016). EKDZ modelinin farklı bina dağılımları içeren senaryolara uygulanarak eğim kırınımı etkisinin araştırılması, *SAÜ Fen Bil Der*,20 (1), 39-45.
- [42] **Arık E.** (2018). *İki Kırınım İçeren Senaryolar İçin Kapsama Alanı Haritalaması* (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [43] **Tabakcioğlu M.B., Kara A.** (2008). Discussions of Various UTD and PO Solutions for Multiple-Edge Diffractions in Urban Radio Propagation Modeling, *5th International Workshop on Electromagnetic Wave Scattering*, (ss.1-6). Antalya, Ekim 22-25.
- [44] **Tabakcioğlu M.B., Cansız A.** (2013). EKDZ Modelinin Çoklu Kırınım İçeren bir Senaryoya Uygulanması. *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi*,15 (1), 60-67.
- [45] **Kouyoumjian R.G., Pathak P.H.** (1974). A Uniform Geometrical Theory of Diffraction for an Edge in a Perfectly Conducting Surface, *Proceedings of the IEEE*,62 (11), 1448-1461.
- [46] **Tabakcioğlu M.B., Kara A.** (2007). On the improvements in multiple edge transition zone diffraction, *2nd European Conference on Antennas and Propagation*, (ss.1-5). Edinburgh, Kasım 11-16.
- [47] **Andersen J.B.** (1997). UTD multiple-edge transition zone diffraction, *IEEE Transactions on Antennas And Propagation*,45 (7) , 1093-1097.
- [48] **K. Rizk, R. Valenzuela, D. Chizhik and F. Gardiol** (1998). Application of the slope diffraction method for urban microwave propagation prediction, *48th IEEE Vehicular Technology Conference. Pathway to Global Wireless Revolution* (ss.1150-1155). Ottawa, Mayıs 21.
- [49] **Ayberkin D., Tabakcioğlu M.B.** (2015). Işın İzleme Tekniğinin Radyo Dalga Yayılım Modellerinde Kullanılması, *AKÜ FEMÜBİD*, 15 (025201), 1-6.
- [50] **Hendricks M.C.** (2012). Rotated Ellipses and Their Intersections with Lines (Rapor:s.1-22) Mart 8.

[51] **Chung H.K. , Bertoni H.L.** (2003). Application of isolated diffraction edge (IDE) method for urban microwave path loss prediction, *The 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference*, (ss.205-209). Jeju, Nisan 22-25.

[52] **Daş M., Zorlu A., Dursun B., Tabakçioğlu M.B.** (2019). Rasgele Dağıtılmış Binalar İçeren Bir Senaryo İçin En Uygun Baz İstasyon Konumunu Tespiti, *21.Akademik Bilişim Konferansı* .Ordu, şubat 13-15.

[53] **Altair Engineering, Inc., World Headquarters.** *Numerical Methods in FEKO*. Erişim adresi <https://altairhyperworks.com/product/FEKO>.



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Ahmet ZORLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 06.03.1983 Babaeski
E-posta : zorluahm@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2006 Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektronik Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2019 Bursa Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Türk Telekom Bursa İl Müdürlüğü – Network Mühendisi (2007-2009)
- Türk Telekom Bursa Bölge Müdürlüğü – Uzman Network Mühendisi (2009-2014)
- Türk Telekom Bursa Bölge Müdürlüğü –Network Takım Lideri (2014-2016)
- Türk Telekom Bursa Bölge Müdürlüğü –Network Yönetim Sistemleri Müdürü (2016-devam ediyor)

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Tabakçioğlu M.B., Zorlu A.** (2016). Baz İstasyon Sayısını Azaltmaya Yönelik Bir Çalışma, *24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*. Zonguldak, Mayıs 16-19
- **Tabakçioğlu M.B., Kosunalp S., Zorlu A.** (2016). MAC Protocols For Energy Harvesting Wireless Sensor Networks With RF Energy Transfer, *International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'16)*. Konya, Eylül 1-3

- **Daş M., Zorlu A., Dursun B., Tabakçioğlu M.B.** (2019). Rasgele Dağıtılmış Binalar İçeren Bir Senaryo İçin En Uygun Baz İstasyon Konumunu Tespiti, *21.Akademik Bilişim Konferansı* .Ordu, şubat 13-15

