

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK BAŞARIMLI HESAPLAMA KULLANAN ELEKTROMANYETİK
DALGA YAYILIM MODELLERİ GELİŞTİRİLEREK EN UYGUN VERİCİ
YÜKSEKLİK VE KONUMUNUN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alp Eren AYDIN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

OCAK 2020

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK BAŞARIMLI HESAPLAMA KULLANAN ELEKTROMANYETİK
DALGA YAYILIM MODELLERİ GELİŞTİRİLEREK EN UYGUN VERİCİ
YÜKSEKLİK VE KONUMUNUN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Alp Eren AYDIN
(171082305)**

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet Barış TABAKCIOĞLU

OCAK 2020

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 171082305 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Alp Eren AYDIN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YÜKSEK BAŞARIMLI HESAPLAMA KULLANAN ELEKTROMANYETİK DALGA YAYILIM MODELLERİ GELİŞTİRİLEREK EN UYGUN VERİCİ YÜKSEKLİK VE KONUMUNUN BELİRLENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Uğur YALÇIN**
Bursa Uludağ Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ömer ZOR
Bursa Teknik Üniversitesi

Savunma Tarihi : 08/01/2020

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: Alp Eren AYDIN

İmzası :

X X X X X



Sevgili kardeşim ve aileme,

ÖNSÖZ

Bursa Teknik Üniversitesi'nde gerçekleştirdiğim yüksek başarımlı hesaplama kullanan elektromanyetik dalga yayılım modelleri geliştirilerek en uygun verici yüksekliğinin ve konumunun belirlenmesi ve kapsama haritalarının çıkarılması konulu tez çalışmamın sonucunda elde ettiğim sonuçları dikkatinize sunmaktayım. Bu tez çalışmasını hazırlarken benden yardımlarını esirgemeyen başta Doç. Dr. Mehmet Barış TABAKCIOĞLU olmak üzere Bursa Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğindeki hocalarıma, ilaveten manevi desteklerini de esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 215E360 proje numarası ile desteklenmiştir.

Ocak 2020

Alp Eren AYDIN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	vii
SEMBOLLER	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTROMANYETİK DALGA YAYILIM MODELLERİ	4
3. DÜZGÜN KIRINIM TEORİSİ (DKT)	11
3.1 Yayılma Faktörü.....	11
3.2 Kırınım Katsayısı	12
4. EĞİM KIRINIM (EK) METODU	13
5. DIŞBÜKEY ZARF TEKNİĞİNE DAYALI EĞİM KIRINIMI (EKDZ)	15
5.1 Fresnel Bölgeleri	15
5.2 Dışbükey Zarf Metodu	17
6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE BENZETİM SONUÇLARI.....	19
7. SONUÇ	56
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ.....	63

KISALTMALAR

A	: Alıcı
DKT	: Düzgün Kırınım Teorisi
DZ	: Dışbükey Zarf tekniği
DKDZ	: Dışbükey Zarf tekniğine Dayanan Düzgün Kırınım Teorisi
EK	: Eğim kırınım
EKDZ	: Dışbükey Zarf tekniğine Dayanan Eğim Kırınım
FKT	: Fiziksel Kırınım Teorisi
GKT	: Geometrik Kırınım Teorisi
GTD	: Geometrical Theory of Diffraction
GO	: Geometrik Optik
GHz	: Giga Hertz
IT	: İntegral Tekniği
MIMO	: Multi Input Multi Output (Çoklu Giriş Çoklu Çıkış)
MM	: Moment metodu
MT	: Mod Tekniği
PO	: Physical Optics
SKM	: Spektral Kırınım Teorisi
SBR	: Shooting and Bouncing Rays (Fırlatma ve Sıçrama Işınları)
UTD	: Uniform Theory of Diffraction
V	: Verici

SEMBOLLER

$A(s)$: Yayılma Faktörü
B	: Uzaklık Parametreleri
c	: Işık hızı
D	: Genlik Kırınım Katsayısı
d	: Uzaklık Parametresi
d_s	: Eğim Kırınım Katsayısı
E_i	: Vericinin Oluşturduğu Elektrik Alan Şiddeti
$F[x]$: Geçiş Fonksyonu
k	: Dalga sayısı
L	: Uzaklık Parametresi
L_s	: Eğim kırınım İçin Uzaklık Parametresi
PL	: Path Loss (Yol Kaybı)
$R_{s,h}$: Yatay ve Dikey Polarizasyon İçin Yansıma Katsayıları
r	: Alıcı ve Verici Arası Mesafe
RPL_{dB}	: Bağlı Yol Kaybı
s	: Alıcı ve Verici Arası Uzaklık
W_{FM}	: Fresnel Bölgesinin Yarıçapı
α	: Kırınım Açısı
λ	: Dalga Boyu

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 6.1 : Yol boyunca tüm kırımların listesi.....	25
Çizelge 6.2 : Senaryodaki rastgele dağıtılmış binaların yükseklikleri	29
Çizelge 6.3 : Senaryodaki binaların yükseklikleri	42
Çizelge 6.4 : Bina yüksekliklerin 19-21 m arası için en uygun konumlar.	55
Çizelge 6.5 : Bina yüksekliklerin 5-25 m arası için en uygun konumlar.	55
Çizelge 6.6 : DKT, EK, EKDZ ve DKDZ metotlarının Cpu ve Gpu kullanılarak simülasyon yapıldığında geçen süreler.	55

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Geometrik optik keskin gölge oluşumu.....	11
Şekil 3.2 : Bıçak kenarlı kama engel	12
Şekil 3.3 : Kırınım senaryosu	12
Şekil 3.4 : Açılı 180° olduğu durumda kırınım katsayısı.....	12
Şekil 5.1 : Fresnel bölgesi.....	15
Şekil 5.2 : Alıcı ve verici anten arasındaki Fresnel bölgesi.....	16
Şekil 5.3 : Fresnel bölgesinde engel olmadığı durum	16
Şekil 5.4 : Fresnel bölgesinde engel bulunduğu durum.....	17
Şekil 5.5 : Bıçak kenarlı kama engellerin elenme işlemi.....	17
Şekil 5.6 : İç açılı engellerin elenme işlemi.....	18
Şekil 5.7 : Bıçak kenarlı engellerin elenme işlemi	18
Şekil 5.8 : İç açılı engellerin elenme işlemi.....	18
Şekil 6.1 : Baz istasyonu konumlandırması için MATLAB'ta oluşturulan bina senaryosunun arayüzü	20
Şekil 6.2 : Baz istasyonu konumlandırması için MATLAB'ta oluşturulan daha detaylı bina senaryosu arayüzü	20
Şekil 6.3 : EKDZ metoduna göre en uygun baz istasyonu konumunun belirlendiği arayüz ve simülasyonda geçen süre	21
Şekil 6.4 : Işın izleme algoritmasının MATLAB'da oluşturulan arayüzü.....	21
Şekil 6.5 : X-ekseni yönünde binalar.....	22
Şekil 6.6 : Köşegen boyunca binalar	22
Şekil 6.7 : En uygun konum için kapsama alanı haritasının 3 boyutlu gösterimi	23
Şekil 6.8 : En uygun konum için kapsama alanı haritasının 2 boyutlu gösterimi	23
Şekil 6.9 : (1,1)-(1,10) 3B gösterim.....	24
Şekil 6.10 : (1,1)-(1,10) 3B gösterim.....	25
Şekil 6.11 : Senaryo	26
Şekil 6.12 : En iyi kapsama alanı konumu: $(x, y) = (700, 4000)$	26
Şekil 6.13 : Şehir Senaryosu	27
Şekil 6.14 : $(x;y) = (130000 ; 60000)$ pozisyonu için kapsama alanı haritası.	27
Şekil 6.15 : $(x;y) = (110000 ; 10000)$ pozisyonu için kapsama alanı haritası	28
Şekil 6.16 : En uygun konum	28
Şekil 6.17 : Vericinin (1,1) alıcı (1,11) durumu.	29
Şekil 6.18 : Vericinin (1,1) alıcı (1,11) durumu için tüm ışınlar.	29
Şekil 6.19 : Vericinin (1,1) alıcı (1,11) durumu için üstten görünüm.	30
Şekil 6.20 : Vericinin (1,1) alıcı (11,11) durumu.	30
Şekil 6.21 : Vericinin (1,1) alıcı (11,11) durumu için tüm ışınlar.	30
Şekil 6.22 : Vericinin (1,1) alıcı (11,11) durumu için üstten görünüm.	31
Şekil 6.23 : DKT metodunda 1800 MHz'de binaların 3 boyutlu görünümü ve kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	31

Şekil 6.24 : DKT metodunda 1800 MHz’de binalarin 2 boyutlu görünümü ve kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	31
Şekil 6.25 : DKT metodunda 2100 MHz’de binalarin 3 boyutlu görünümü ve kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	32
Şekil 6.26 : DKT metodunda 2100 MHz’de binalarin 2 boyutlu görünümü ve kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	32
Şekil 6.27 : EK metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (6,6) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu	32
Şekil 6.28 : EK metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (6,6) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu	33
Şekil 6.29 : EK metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (5,3) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu	33
Şekil 6.30 : EK metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (5,3) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu	33
Şekil 6.31 : EKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (5,3) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.....	34
Şekil 6.32 : EKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (5,3) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.....	34
Şekil 6.33 : EKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (5,3) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.....	34
Şekil 6.34 : EKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (5,3) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.....	35
Şekil 6.35 : DKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu	35
Şekil 6.36 : DKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	35
Şekil 6.37 : DKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu	36
Şekil 6.38 : DKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu	36
Şekil 6.39 : DKT metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu	37
Şekil 6.40 : DKT metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu	37
Şekil 6.41 : DKT metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	37
Şekil 6.42 : DKT metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	38
Şekil 6.43 : EK metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (300,200) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	38
Şekil 6.44 : EK metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (300,200) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	38
Şekil 6.45 : EK metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (300,200) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu	39
Şekil 6.46 : EK metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (300,200) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu	39
Şekil 6.47 : EKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (300,200) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.....	39
Şekil 6.48 : EKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (300,200) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.....	40

Şekil 6.49 : EKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (300,200) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.....	40
Şekil 6.50 : EKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (300,200) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.....	40
Şekil 6.51 : DKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	41
Şekil 6.52 : DKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	41
Şekil 6.53 : DKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	41
Şekil 6.54 : DKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	42
Şekil 6.55 : Vericinin (1,1) alıcı (1,11) durumu.	42
Şekil 6.56 : Vericinin (1,1) alıcı (1,11) durumu için tüm ışınlar.	43
Şekil 6.57 : Vericinin (1,1) alıcı (1,11) durumu için üstten görünüm.	43
Şekil 6.58 : Vericinin (1,1) alıcı (11,11) durumu.	43
Şekil 6.59 : Vericinin (1,1) alıcı (11,11) durumu için tüm ışınlar.	44
Şekil 6.60 : Vericinin (1,1) alıcı (11,11) durumu için üstten görünüm.	44
Şekil 6.61 : DKT metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	44
Şekil 6.62 : DKT metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	45
Şekil 6.63 : DKT metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	45
Şekil 6.64 : DKT metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	45
Şekil 6.65 : EK metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	46
Şekil 6.66 : EK metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	46
Şekil 6.67 : EK metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	46
Şekil 6.68 : EK metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	47
Şekil 6.69 : EKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	47
Şekil 6.70 : EKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	47
Şekil 6.71 : EKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	48
Şekil 6.72 : EKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	48
Şekil 6.73 : DKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	48
Şekil 6.74 : DKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	49
Şekil 6.75 : DKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	49
Şekil 6.76 : DKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	49

Şekil 6.77 : DKT metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu	50
Şekil 6.78 : DKT metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	50
Şekil 6.79 : DKT metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	50
Şekil 6.80 : DKT metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu	51
Şekil 6.81 : EK metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	51
Şekil 6.82 : EK metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	51
Şekil 6.83 : EK metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	52
Şekil 6.84 : EK metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	52
Şekil 6.85 : EKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	52
Şekil 6.86 : EKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu	53
Şekil 6.87 : EKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	53
Şekil 6.88 : EKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	53
Şekil 6.89 : DKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	54
Şekil 6.90 : DKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu	54
Şekil 6.91 : DKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	54
Şekil 6.92 : DKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.	55

YÜKSEK BAŞARIMLI HESAPLAMA KULLANAN ELEKTROMANYETİK DALGA YAYILIM MODELLERİ GELİŞTİRİLEREK EN UYGUN VERİCİ YÜKSEKLİK VE KONUMUNUN BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu tezde çeşitli elektromanyetik dalga metotları; moment metodu, sonlu elemanlar metodu, zaman domeninde sonlu farklar metodu, geometrik optik, düzgün kırınım teorisi (DKT), eğim kırınımı (EK), dışbükey zarf tekniğine dayalı eğim kırınım (EKDZ) metotları ve bu metotların birbirine göre üstünlükleri ve eksiklikleri incelendi.

Işın izleme metoduna dayanan DKT, EK ve EKDZ metotları hesaplama süresi ve baz istasyonunun konumunu belirleme kapasiteleri açısından kıyaslandı ve hesaplamada kullanılan formüller tanıtıldı.

Öne sürülen metotların hesaplama süresi ile doğruluk arasında ödünleşme olmasından dolayı birbirlerine göre avantajlı ve dezavantajlı yönleri vardır. Özellikle EK metodunda binaların sayısı arttıkça göreceli olarak türevli bileşenlerin de sayısı artacağından hesaplama süresi epey zaman almaktadır.

Kullanılan EK metodunun geliştirilmiş hali olan EKDZ metodunda toplam elektrik alana etkisi çok az olan binaların simülasyondan çıkarılmasını sağlayan fresnel alanlarından faydalanıldı.

11×11 boyutunda bir şehir senaryosu tanımlandı. Her bina geçici olarak verici anten görevi görmektedir. En uygun baz istasyonunun konumunu hesaplamak için baz istasyonu yükseklikleri rasgele atanmış olan her bir binanın üzerine yerleştirildi. Elektrik alan hesaplandıktan sonra en uygun baz istasyonunun yerleştirilmesi gereken yer gösterildi.

Kullanıcıya kendi şehir senaryosunu oluşturabilmesine, ışın izleme algoritmasını kullanabilmesine ve kapsama alanını elde edebilmesine imkan veren MATLAB kullanıcı arayüzü oluşturuldu. MATLAB kullanılarak simülasyonlar 220 ve 1800 MHz için belirlenen senaryonun yükseklikleri ve binaların aralarındaki mesafe değiştirilmesi vasıtasıyla üç farklı metot kullanılarak elektrik alan haritası ve hesaplama süreleri çıkarıldı. Hesaplama süreleri bilgisayarın grafik kartı kullanılarak ve kullanılmayarak hesaplandı.

Anahtar kelimeler: Elektromanyetik dalga kırınımı, ışın izleme, geometrik optik, düzgün kırınım modeli, eğim kırınım modeli, dış bükey zarf tekniğine dayalı eğim kırınımı.

THE DETERMINATION OF AN OPTIMAL TRANSMITTER'S HEIGHT AND POSITION BY DEVELOPING ELECTROMAGNETIC WAVE PROPOGATION MODEL USING HIGH-PERFORMANCE COMPUTING

SUMMARY

This thesis analysed a variety of electromagnetic prediction models, Method of Moments, Finite Element Method, Finite Difference Time Domain, Geometrical Optics, Uniform Theory of Diffraction (UTD), Slope Uniform Theory of Diffraction (S-UTD), Slope Uniform Theory of Diffraction with Convex Hull Model (S-UTD-CH), and the pros and cons of these models amongst themselves.

Based on ray tracing algorithm, the models of UTD, S-UTD and S-UTD-CH are compared to one another in terms of calculation times and accuracy and their formulas are introduced in detail.

The proposed models have positive and negative sides owing to the trade-offs between simulation time and accuracy. Particularly in S-UTD method, the more the number of buildings are, relatively speaking, the more complex derivative of the diffracted fields are and the longer time simulations run.

Efficient method of S-UTD, S-UTD-CH has fresnel fields, used in the model to eliminate the buildings, exerting negligible effect on overall coverage map.

In an urban broadcast scenario, the size of buildings are defined as 11×11 . Every building is employed temporarily as a transmitter antenna. To determine the optimum location of base station, the antenna position is deployed and changed on the top of each building, having the height randomly assigned. Upon calculating the electrical field of all buildings, the coverage map, illustrate the best position of the base station, is obtained by utilizing MATLAB.

MATLAB Graphical User Interface is created, enabling users to make their own urban scenario, run the ray-tracing algorithm and obtain the coverage map. By utilizing MATLAB for two frequencies 220 and 1800 MHz, the simulations are implemented for the same scenario in three promising models to calculate simulation time including elapses time, both using the graphics processing unit of the computer and not using. The effect of these methods are observed simultaneously on the coverage map. In addition, various scenarios are implemented including different frequency and the height of building, almost very close to one another, to observe also differences of these crucial parameters.

Keywords: Electromagnetic wave diffraction, ray tracing, geometric optics, the uniform theory of diffraction, the slope uniform theory of diffraction, the slope uniform theory of diffraction with convex hull model.

1. GİRİŞ

Altyapı olarak kablolu bağlantının hızlı ve güvenli sağlanmasına rağmen, bireylerin her zaman ve her durumda iletişim halinde olma eğilimlerinden dolayı kablosuz bağlantıya olan ihtiyaç daha da artmıştır. Yapay zeka ve makine öğrenmesi algoritmalarının arka planda internet üzerinde dolaşırken ağa var olandan daha fazla yük eklemesiyle ağda yavaşlama ve aksaklıklar ortaya çıkmaktadır. Bu hariçten gelen yavaşlama probleminin üstesinden gelmek için daha esnek ve hızlı çalışan sistemler geliştirilmektedir.

Kablosuz haberleşmenin yeterince hızlı ve arz talep dengesini göz önünde bulunduracak nitelikte tasarlanması zaruridir. Bunlardan bir tanesi yazılımsal olarak kapsama alanını arttıracak şekilde bir çalışma yapmaktır. Diğeri ise fiziksel katmanla ilgili bir tasarım sunmaktır. Fiziksel katman diğeri üst düzey yazılımsal katmanlara da destek olmakta ve radyo iletişim sisteminin temelini oluşturmaktadır. Bu yüzden etkin ve hızlı haberleşmenin sağlanabilmesi için mobil iletişim sistemleri en iyi biçimde ve titiz bir şekilde planlanmalıdır. Tabi bu tasarımın gereği gibi yapılabilmesi için derin teorik bilgiye ihtiyaç vardır.

Belirli bir bölgeye yerleştirilmeden önce baz istasyonunun konumunun belirlenebilmesi için bir çok metot mevcuttur. Bu metotlar radyo kanalının davranışını anlamamızı sağlar. Baz istasyonunun önüne engeller çıktığı zaman ve gideceği yol uzadığında yayılan sinyalin gücü azalmaktadır. Maliyet ve başarımlar arasındaki dengeyi göz önünde bulunduracak biçimde bir tasarım gereklidir. Bu yüzden engel ve bağıl yol kayıpları göz önünde bulundurularak baz istasyonunun konumunun belirlenmesi gerekmektedir.

Geçtiğimiz üç asırdan fazla süredir elektromanyetik alan ile ilgili problemleri çözmek için çeşitli metotlar geliştirildi, sonlu farklar metodu (finite difference method), sonlu eleman metodu (finite element method), moment metodu (method of moments), değişken motodu (variation method), iletim yolu matris metodu (transmission-line-matrix-method), monte karlo metodu (Monte Carlo method) gibi metotlar birbirleriyle rekabet etmekten ziyade birbirlerini tamamlamaktadır.

Literatüre bakıldığında nümerik metotların bir kaçının birlikte kullanıldığı zaman çözümün gerçeğe yakın olduğu fakat hafıza ve hızdan ödün verdikleri için yakın zamanda alternatif teknikler geliştirme ihtiyacı doğmuştur.

Hesaplama yükü ve süresi kısa olmasından dolayı ışın izleme metodunu baz alan Düzgün Kırınım Teorisi (DKT) kullanılır [1]. Binaların birbirlerine yakın olduğu durumda binalar birbirlerinin geçiş düzlemine düşmektedir ve böyle bir koşulda DKT metodu alıcı üzerinde meydana gelen elektrik alan şiddetini hesaplayamamaktadır. Kırınımın az olduğu zamanlarda DKT metodu kısa bir süre içinde doğru sonuçlar vermektedir. Eğim Kırınımı (EK) geçiş bölgesindeki süreklilik sorununu çözmek için tasarlanmıştır [2]. Bu mototda alıcı alana ek olarak gelen alanların türevleride eklenmektedir. Fakat türevsel bileşenlerden dolayı işlemcinin hesaplayacağı yük çok fazla olmaktadır ve bina sayısı arttıkça baz istasyonunun konumuda yanlış hesaplanmaktadır.

Asimptotik metotlardan biri olan Geometrik Optik (GO) ışığın yansımaları, saçılması, kırılmasını inceleyen ve aynı zamanda elektromanyetik dalgaların doğrusal olarak yayıldığını kabul eder. Fiziksel optik (FO), GO'in eksik kalan kısımlarına açıklık getirir, yani girişim, kırınım ve kutuplanma gibi. Aynı zamanda ışığın davranışını dalga yapısı olarak kabul eder. Geometrik optik kırınım kavramını açıklamada yetersiz kalmaktadır, bunun sonucu olarak engelin arkasında kalan elektrik alan şiddeti hesaplanamamaktadır. Joseph B. Keller 1962 yılında Geometrik Kırınım Teorisi (GKT)'ni öne sürmüştür ve savunulan metot iç açılı kamalar için alan hesabında başarı göstermiştir. Fakat Keller'in metodunda kusurlu olduğu noktalar vardı. GKT metodu optik sınır bölgesinde geçişlerde yanlış sonuçlar vermekteydi. GKT özellikle yüksek frekans kırınım hesaplamalarında kullanılan başlıca metotlardandır. Bu metot geometrik optik'e kırınan elektrik alanlarında eklenmesiyle oluşur.

EK metodunun eksik yönlerini telafi etmek için Dışbükey Zarf Tekniğine Dayalı Eğim Kırınımı (EKDZ) metodu bu tezde kullanıldı. Nümerik metotlara ek olarak tezde ışın izleme tekniğini baz alan metotlardan bahsedilmiştir. Eğim kırınım katsayısı, geçiş fonksyonu ve bunların toplam alan şiddetine etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde elektromanyetik dalga yayılım metotları kısaca açıklanmıştır. Işın izleme tabanlı elektromanyetik dalga yayılım modelinin nasıl

çalıştığı ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. Literatürde olan diğer nümerik elektromanyetik dalga yayılım metotlarından da bahsedilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde DKT metoduna değinilmiş ve formülasyonları verilmiştir. Geometrik optikteki hatalarını DKT metodunun nasıl giderdiği gösterilmiştir. Engelin arkasında da elektrik alan değerinin oluşabileceği ve o bölgenin tamamen karanlık olmadığı gösterilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde DKT metodunun eksiklerini kapatmış olan ve daha doğru sonuçlar vermiş olan EK metoduna değinilmiştir. EK metodunun formülleri elde edilmiş ve teorisine değinilmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde EK (eğim kırınım) metodunun eksik yönlerinden bahsedilmiştir. EK metodunun DKT metoduna göre türevli bileşenlerin etkisinden dolayı optimum konumu hesaplama süresinin arttığı gösterilmiştir. Fresnel bölgesinden bahsedilmiştir. Optimum konumu hesaplama süresini kısaltan ve fresnel metodunu kullanan EKDZ metodu gösterilmiştir.

Çalışmanın altıncı bölümünde tüm bu adı zikredilen metotların yani DKT, EK ve EKDZ metoduyla en uygun baz isyonunun tespiti için simülasyonlar gerçekleştirildi ve elektrik alan haritaları çıkarıldı. Elektromanyetik dalganın yayılma yönleri gösterildi. Üç metotla hesaplama süreleri belirlenmiştir ve birbiriyle kıyaslanmıştır.

2. ELEKTROMANYETİK DALGA YAYILIM MODELLERİ

Geometrik optik (GO) en eski ve en çok kullanılan ışık yayılma teorilerinden biridir. Fakat kırınım diye adlandırılan optik alanında başarısızlığa uğramıştır. GO'de ışık bir dalga olarak değilde bir tanecik olarak düşünülmüştür. Bu metotta elektromanyetik dalga doğrusal bir şekilde yayılır. Işığın dalga biçiminde yayıldığını ve aynı zamanda kırınım ve kutuplanmayı da inceleyen optik dalı ise fiziksel optiktir (PO). Bu adı zikredilen olaylar fiziksel optikle açıklanabilmesine rağmen geometrik optik ile açıklanamamaktadır. Kırınım elektromanyetik dalganın önüne geçen engellere çarparak veya aralarından geçerek ilerlemesi demektir. Engelin boyu gelen elektromanyetik dalganın boyundan aşırı fazla olduğu koşullarda yüksek frekans asimptotik metotlar kullanılması gerekmektedir [3]. En çok karşılaşılan elektromanyetik dalganın yayılım biçimi direk olarak alıcı ve verici arasında gerçekleşir. Fakat kaynak ile alıcı arasında saçılan dalgalarda hesaba katılması gerekir. Bu kırınan elektromanyetik dalga direk gelen alana da eklenmesi suretiyle toplam elektrik alan hesaplanır. Elektromanyetik dalganın saçılması ve yayılması ile ilgili farklı yaklaşımlar literatürde vardır. Bu yaklaşımlar imaj teorisi, mod tekniği (MT), integral tekniği (IT), fiziksel optik (PO) ve geometrik optiktir (GO). Tüm bu metotları gerçek hayattaki kısıtlamalardan dolayı uygulamak kolay değildir. Kırılma karmaşık olan Snell yasaları ile açıklanırken yansıma yalnızca yansıma yasaları ile açıklanır [4].

Geometrik optiğin açıklayamadığı iki alandan birisi ışık yayan cismin birleştiği bölgedir, diğeri boş uzayda yayılımı açıklayamamaktadır. Geometrik optik modelinde engelin arkasında kalan gölge bölgesi tamamen karanlık ve elektrik alan sıfır olarak kabul edilir [5]. Işığın gölge sınırına girememesinin nedeni doğrusal yayılmasından dolayıdır. Fiziksel optik metodu Macdonald tarafından öne sürüldü [6]. Fiziksel optik metodunun kusurlu olduğu nokta gözlem noktasının saçılma yüzeyine yaklaşmasıdır ve bu noktalarda hesaplama yapamaz [5]. İntegral formülleri kaustik aydınlık bölgeyi hesaplamada kullanılır [7]. Kapsamsal olarak fiziksel optik kırınımların tamamını açıklayabilmektedir [4].

Keller geometrik kırınım teorisini (GKT) ortaya koymuştur [8]. İç açılı kamalar için mükemmel iletken alanların hesabında başarılıdır. Fakat kusurlu olduğu bölge ise optik sınır geçiş yerleridir [1]. GKT modelinin kusurlu olduğu yer ise alan hesap bölgesi, kama ve kaynak aynı noktadan geçtiği bölgedir [9]. Özellikle yüksek frekans kırınım hesaplamalarında çokça kullanılan bir yöntemdir. Bu metoda geometrik optik metodunun kırınan alanlarında ilave edilir [10]. Geometrik optik metodunda engeller dalga boyundan küçük olduğunda anlamlı sonuç almak mümkündür [7]. GKT metodu geometrik optik metodunun eksiklik ve kusurları kapattı. Geometrik optik modeli dar geçişlerde hesaplama yapamamasına rağmen GKT geçiş bölgelerinde çalışmaktadır. Yansıyan ve kırınan ışınlar geometrik optiğin kapsamına girer. Gölge alanlar tamamen karanlık olmadığı için kırınan alanlar GKT metodu ile elektrik alanına eklendi [4]. Fiziksel optik metodunun bir uzantısı olan Fiziksel Kırınım Teorisi (FKT) Ufimtsev tarafından öne sürülmüştür [5]. Bu metod bıçak kenarlı kama engelleri için kullanıldı. Fakat metodun kullandığı karmaşık integralleri çözmek pratik değildi. Kompleks integral hesaplamalarına rağmen zaman zaman GKT modelinin yerini alabilmektedir [7]. FKT fiziksel optiğin genişletilmiş bir türevidir. FKT metodu ve fiziksel optikteki yüzey kırınımalarının hesaplanmasını mümkün hale getirmiştir [3].

Deygout birden fazla bıçak kenarlı kama engelleri için yayılım metodu geliştirdi [11]. Bahsedilen metod birden fazla olan bıçak kenarların tek bir bıçak kenara indirgenmesine dayanır. Hesaba katılmayan bıçak kenarlar için ayrı bir kırınım hesaplanır. Temel kama ise en çok kırınımına sahip olan bıçak kenarlı engeldir. Temel kamaya iki farklı görev atfedilir birincisi alıcı, diğeri ise vericidir. Bıçak kenarlı kamalar ikişerli dizilerde hesaplanır ve en çok kırınım kaybı olan tespit edilir. Bu metodun kusuru ise bıçak kenarlı kamalar arasındaki mesafe çok az olduğundadır [12].

Moment metodu (MM) boyutları nispeten küçük olan engellerindeki sorunların analizlerinde Harrington'un kullandığı bir metottur [13]. Deygout metodunun yeniden iyileştirilmiş şekli olan Causebrook metodudur [14]. Nedeni ise her ikisinde de kırınım kayıpları için benzer bir metod izlenmiş olmasıdır. Farklı olan nokta ise Deygout metodu fazla yol hesabını telafi etmesidir.

Düzgün kırınım teorisi (DKT) Kouyoumjian and Pathak tarafından tanıtılmıştır [15]. Bu metod yalnızca bir açılı empedans kama hesabında istenen sonucu sağlamaktadır

[1]. Çoklu kırınımlarda DKT metodu alıcı üzerinde oluşan elektrik alan şiddetini hesaplamada da kullanılmıştır ve optik sınırlardan uzak kısımlarda daha doğru kestirim yapılabilmiştir. DKT metodunun sonuçlarının doğru olabilmesi için bazı şartlar vardır. Bunlar gerçekleştirilen alan hesabında tek iç açılı empedans kama, tek bıçak kenarlı veya çoklu kamalarda birbirlerinin geçişini engellemediği sürece kullanılabilir. DKT metodunun kusurlarını kapatmak için farklı metotlar geliştirilmiştir. Kırınım katsayıları gölge ve yansıma olan iç açılı kama kırınımında kullanılmaktadır. Kamanın üzerindeki yansıyan ışınlar da eklendiğinden dolayı DKT metodu geometrik optiğin geliştirilmiş halidir [9]. Elektromanyetik dalga farklı noktalardan alıcıya ulaşabilir. Bu ulaşım direk olabileceği gibi, kırınım ve yansıma ile de mümkündür. 3 farklı bileşenin toplamı alıcı üzerindeki elektrik alanıdır. Hesaplamadaki kusurları daha aza indirmek hemen hemen kaldırmak için eğim kırınımı metodu geliştirildi [16]. Mitra tarafından ileri sürülen spektral kırınım teorisi (SKT) engelin üzerindeki akım ile saçılan elektrik alan arasında ilişki olduğunu söyler [17]. Elektrik alan hesabında daha kesin sonuçlar alabilmek için 2. dereceden kırınımları Kouyomian ve Tiberio çoklu kırınımlar için öne sürmüştür [18].

Vogler metodu da nümerik hesaplamalar içerisinde başarılı ve hatası az olan metottur [19]. Fakat metot senaryo beş binadan fazla elemana sahip olduğunda hesaplama yapmakta zorlanmaktadır [20]. Clarkowski spektral kırınımı iç açılı kamalar için düzlem dalga kırınımı üzerine uygulamıştır [21]. Giovaneli tarafından ileri sürülen metot Deygout metodunu izlemektedir [22]. Walfish ve Bertoni tarafından yüksek frekans radyo yayılımı için nümerik bir metot geliştirilmiştir [23]. Bu metotta bina yükseklikleri, binalar arasındaki mesafe ve anten yüksekliği önemlidir. Anten yüksekliğinin ortalama bir bina yüksekliğine denk olduğu varsayılır. Deygout öne sürdüğü metodu tekrar düzenlemiş ve bu metoda göre doğrulama terimleri kırınım kaybındaki hatayı azaltır [24]. Andersen EK modelini modifiye ederek DKT' ye gelen türevleri de eklemiştir [25]. Bu metodun gölge sınırlarındaki geçiş bölgelerinde hesaplamakta sorun yaşar. Fakat bıçak kenarlı kama benzeri engellerde başarılıdır. Bıçak kenarlı kama engelleri için Holm integralin çözümü asimptotik olarak formülize etmiştir [26]. Bu formülde elektrik alan bir tek bıçak kenar kama olarak dizayn edilir. Andersen gölge sınırlarındaki geçişleri soğurmaya yarayan çoklu ekran metodunu eğim kırınımı üzerinde gerçekleştirdi [27]. DKT metodunda mükemmel iletken iç açılı kamaları için kırınım katsayısı ortaya koymuştur [28]. Bu yeni katsayı

aslında Luebbbers'in ileri sürdüğü katsayının geliştirilmiş şeklidir. Maliuzhinet'in öne sürdüğü katsayı bu yeni katsayıya ileri saçılma koşulu ve yüzey dalgaları göz ardı edildiğinde aynı soruna yol açmaktadır [29]. DKT metodunu baz alan yeni bir katsayı metodunu da Tzaras öne sürmüştür [30]. Metot ikinci dereceden eğim kırınımını da işleme dahil eder.

Kırınımına etkisi olmayan engelleri elektrik alan hesabına eklemeyen bir fiziksel optik metodunu Bertoni ve Chung geliştirmiştir [31]. Bu metot esasında Walfish metodunun daha genele yayılmış biçimidir [23]. Verici yüksekliği bina yüksekliğine yakın olduğunda alıcı üzerindeki elektrik alan alıcı ve verici arasında çatı sayısına göre ters orantılıdır [32]. Bertoni ve Chung tarafından geliştirilen Fiziksel Optik modelinde kırınımına etkisi olmayan binalar alan hesabı senaryosundan çıkarılmaktadır [33]. Bina elemelerde Fresnel bölgesi kullanılmıştır. Fresnel bölgesi aslında elipsoid bölgeye dayanır. Bu bölge dışında da kırınım yaşanır fakat toplam elektrik alana katkısı neredeyse yok denecek kadar azdır. Fresnel bölgesinde kalan binalar ise toplam elektrik alana aşırı bir şekilde etki eder [34]. Fresnel metodunda hesaplama süresi bina sayısı azaldığı için azalmıştır. Fakat kesin sonuç ve hesaplama süresi arasında ödünç alma vardır. Bu yapılan işlem dışbükey zarf metodu olarak adlandırılır. Çözümün hata oranını azaltmak için Holm birden fazla bıçak kenar kama kırınımı metodunu geliştirilmiştir [35]. Kırınan alanlardaki yüksek derece terimler seri halinde toplanmış ve elektrik alana katılmıştır. Seri toplama işlemleri çok zaman almaktadır. Bu seri toplama işleminin süresini daha verimli hale getirmek için DKT metoduna yeni bir metot eklendi [36]. Bu metotta bazı şartlar vardır. Verici diğer binalardan daha yüksek veya aynı boyda olmak zorundadır. Aynı olduğu zamanda tek kırınım olup işlem süresi azalmaktadır. Silindir, bıçak kenarlı kama ve iç açılı kama olmak üzere kırınım farklı yapılar üzerinde gerçekleştirilmiştir [37]. Binalardan farklı yapılarda böylelikle modellenenmiştir. Karousos ve Tzaras frekans alanından farklı olarak zaman alanında kırınım formülleri geliştirildi ve çoklu kırınım bu alanda gerçekleştirildi [38]. Tajvidy ve Ghorbani'nin geliştirdiği yeni bir model de çoklu kırınım uygulanabilmektedir fakat kusuru ise binalar paralel ve aynı boyda olduğunda çalışmamaktadır [39]. DKT metoduna ek bir metotta ise binalar dikdörtgen değilde silindir şeklindedir ve çözüme ulaşabilmek için verici, silindir şekillerindeki binalardan daha yüksek veya aynı yükseklikte olmalıdır [40].

Bıçak kenarlı kama yapısı için eğim kırınımı (EK) ile dış bükey zarf tekniğini (DZ) birleştiren bir metot geliştirildi ve metot eğim kırınımına dayanan dışbükey zarf

EKDZ olarak adlandırıldı [41]. Kırınım hesaplanmadan önce Fresnel bölgesinden yararlanılarak katkısı çok az olan binalar senaryodan çıkarılmakta ve bunu mütakip elektrik alan hesaplanmaktadır. Bazı binaların senaryoya dahil edilmemesi kesinliği azaltmakta fakat hız olarak aşırı bir katkı sağlamaktadır. DKT'de binalar bıçak kenarlı ve iç açılı kama olarak ve aynı zamanda silindir biçiminde de modellenebilmiştir [42]. Bu metotta verici binalarla aynı boyda veya daha yüksek olmalıdır. EKDZ metodu iç açılı kama yapılarında kullanılmıştır [43]. Bu metotta kutuplanma türü, kamanın iletkenliği, elektrik geçirgenlik sabiti ve iç açısı hesaba katılmaktadır. Bu metotla daha doğru ve etkin sonuçlar elde edilmiş oldu. Bir çalışmada yayılım kayıpları geometrik optik ve DKT metoduna dayanan basitleştirilmiş analitik metot vasıtasıyla hesaplanmıştır [44]. Bu çalışmada analitik metot geliştirirken çevre koşulları ihmal edilmiştir. Yol kaybı metodu geliştirirken bu demir yolları için kabul edilebilir olarak varsayılmıştır.

Feko yazılımının sunmuş olduğu adaptif çapraz yaklaşım metodunda çözümlemesi gereken elektromanyetik problemin boyutu arttıkça daha avantajlı hale gelmektedir [45]. Bu metot MM ile kıyaslanmıştır ve hem hafıza kullanımı hemde hız açısından daha avantajlı olduğu öne sürülmüştür. Geliştirdikleri WinProp aracı ile elektromanyetik dalga yayılımı, kablosuz ağ planlama gibi simülasyonları yapmaya olanak sağlamaktadır. Bir çalışmada eğimli yüzeyler için kullanılan DKT metodunun uygulaması özetlenmiştir, özellikle gölge bölgelerde faz yolunun nasıl bulunacağı açıklanmıştır ve böyle yüzeyler için kırınım katsayıları hesaplanmıştır [46]. Bu metot konkav engellerin iç kısımlarında direk kırınımları hesaplayabilmektedir. Öne sürülen metodun tam dalga integral çözümüyle yakın sonuçlar verdiği açıklanmıştır. RADIOGIS yazılımı, haberleşme mühendisliği öğrencilerinin coğrafi bilgi sistemlerinin yanı sıra kapsama alanı hesaplanması gibi kavramları daha iyi anlamalarına olanak sağlamak için geliştirildi [47]. Geliştirilen yazılım ile bina içi ortamlarda GO kullanılarak kapsama alanı hesabı yapılabilmektedir. 64 öğrenci, 320 saatlik deney vasıtası ile yazılımı test etti. Deneylerin ardından yazılımın değerlendirilmesi için 2 farklı grup belirlendi ve bu gruplar yazılımı kullandıktan sonra haberleşme sistemleri için kapsama alanı haritasının hesaplanmasında daha fazla bilgiye sahip olduklarını söylediler. Bir çalışmada ışın izleme metoduna ve FO'e dayanan dalga yayılım modeli incelendi [48]. Oluşturulan şehir modelinde verici yüksekliği ile 800 MHz, 2.3 GHz ve 38 GHz frekansları arasındaki ilişki incelendi. Boş uzay yayılımı için ışın izleme metodu, duvar üzerinde ve zemin

üzerindeki yansımalar için ise FO kullanıldı [48]. Çalışmada yapılan simülasyonlar kaybedilen gücün verici anten yüksekliği ile ters orantılı olduğunu gösterdi. Deney sonuçları frekans arttıkça güç kaybının da arttığını gösterdi. Çift yönlü ışın izleme ve karşılıklılık teoremine dayanan yeni bir ışın izleme algoritması öne sürüldü [49]. Bu metodun aynı zamanda bilgisayar grafik kartlarında da uygulaması mevcuttur. Hem alıcı hem de verici anten ışın fırlatma için kullanıldı ve ışınlar kesişim yüzeylerinde yakalandı. Her iki yönden gelen ışınlar kesişim yüzeylerinde alan ifadelerini örneklemek için kullanıldı ve alanlar karşılıklılık teoremi gereği iki anten arasındaki eşleşmeyi hesaplamak için kullanıldı. Böylelikle belli dereceye kadar kesinliği koruyarak büyük boyuttaki senaryoların simülasyonunu yapmak daha kolay oldu. Öne sürülen metot kırınımı FO yaklaşımına benzer bir şekilde senaryonun simülasyonunun yapılmasına olanak sağladı. Bir çalışmada ise DKT metodu kullanılarak mükemmel iletken yüzeyler üzerine yerleştirilen çeyrek dalga boylu monopol antenin elektrik alan desenleri elde edildi [50]. DKT kırınım katsayıları sonlu iletken yüzeyler üzerinde monopol antenin normalize elektrik alan desenlerini elde edildi. Öne sürülen metot MATLAB'ın moment metodu kullanan anten aracı ile karşılaştırılarak doğrulandı.

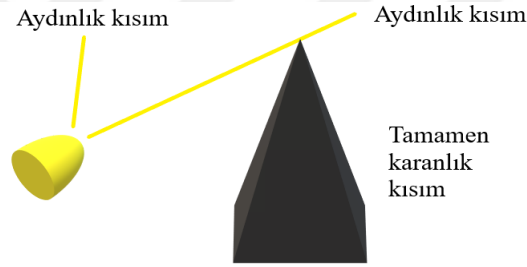
Çift yönlü ışın izleme metodu kullanılarak şehir senaryosunda devasa Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (MIMO) ağlarının performansı incelendi [51]. Alıcı ve verici bölgelerinde ışın fırlatma gerçekleştirildi ve ışınlar kesişim bölgelerinde yakalandı. FO'de bulunan karşılıklılık integralleri değerlendirilerek antenin transfer fonksiyonu elde edildi. Tekrarlı Fırlatma ve Sıçrama Işınları (SBR) algoritmaları, geleneksel SBR metodlarındaki hesaplama zorluğunu çözmek için ileri sürüldü. Bulgu sonuçları deneysel çatı yayılım modelleri ile kıyaslandı. Şehir tipi bölgelerde mobil vericiler için etkin bir ışın izleme algoritması tanıtıldı [52]. Bu metot önceden hesaplanmış birbirlerini direk görebilen duvarlar ve kenarlar içeriyordu. Lineer yol boyunca çoklu vericiler için görünür olan duvarlar ve kenarlar listesini ihtiva eden görünürlük tablosu, ışının etkileşimde olduğu sıra boyunca hesaplandı. Vericinin yolu boyunca bahsi geçen engeller görünür olmaktadır ve ışın izleme metodu kullanılabilirliydi. Hızlandırılmış ışın izleme algoritması önemli derecede zaman tasarrufu sağladı. Bu metot verilerin ön işleme zamanını yüzde 90'a kadar azaltmaktadır ki bu vericinin hareket etmesi gerektiği ağ planlama senaryolarında avantaj sağlamaktadır. Arazi yapısı engebeli olan ada gibi bölgelere radar vericilerinin pasif olarak yerleştirilmesine yönelik bir çalışma öne sürüldü [53]. Bu metot çok yönlü saçılma

merkezlerini belirleyerek başlamaktadır. Çok yollu saçılma yolunun merkezi güvenilirlik tabanlı ağırlıklı ortalama metodu kullanan sanal bir sensör olarak kabul edildi. Sanal sensörler belirlendikten sonra, karşılaşılan problem çoklu sanal sensörlerin pozisyonunu belirlemeye dönüştü. Öne sürülen metodun doğruluğu elde edilen simülasyon sonuçları ile de desteklenmiştir.



3. DÜZGÜN KIRINIM TEORİSİ (DKT)

Karasal yayın sistemlerinde elektrik alan tahmini ve alan haritası elde edilmesi çok büyük öneme sahiptir. Düzgün kırınım metodu binalar arasındaki mesafe fazla ise yüksek doğruluk ve düşük hesaplama süresine sahiptir. Daha önceki bölümde geometrik optik tanıtılmıştı. Şekil 3.1’de gösterildiği gibi geometrik optik metodunda binaların arkasında kalan elektrik alan sıfır olmaktadır. Gerçek hayatta böyle bir durum söz konusu değildir. Düzgün kırınım teorisinde engelin arkasında kalan kısımda da elektrik alan mevcuttur.



Şekil 3.1 : Geometrik optik keskin gölge oluşumu.

Düzgün Kırınım Teorisi geometrik optiğin eksiklerini kapatmıştır. Bu bölümde DKT metodunun güçlü ve zayıf yönleri ile formülleri gösterilecektir. Tek bir engelin arkasında kalan elektrik alan düzgün kırınım teorisinde Denklem 3.1’deki gibi gösterilir.

$$\mathbf{E}=[\mathbf{E}_i \mathbf{D}]A(s)e^{-jks} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1’de E_i gelen alanlar, D genlik kırınım katsayısı, $A(s)$ yayılma faktörü, k dalga sayısı, s ise alıcı ve engel arası mesafeyi ifade etmektedir.

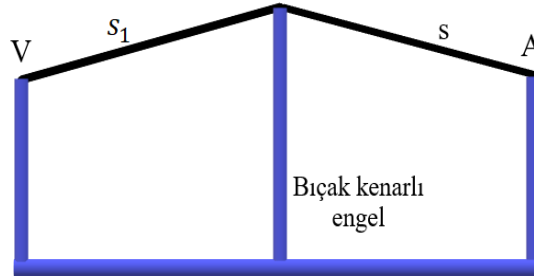
3.1 Yayılma Faktörü

Tekli kırınımlar için yayılma faktörü Denklem 3.2’de hesaplanmaktadır. Uzaklık parametresi ise Denklem 3.3’teki gibi hesaplanır.

$$A(s) = \sqrt{\frac{s_1}{s(s_1+s)}} \quad (3.2)$$

$$L = \frac{ss_1}{s+s_1} \quad (3.3)$$

Şekil 3.3'te görüldüğü üzere s_1 verici (V) ile bıçak kenarlı engel arasındaki mesafedir. s ise bıçak kenarlı engel ile alıcı (A) arasındaki mesafedir.



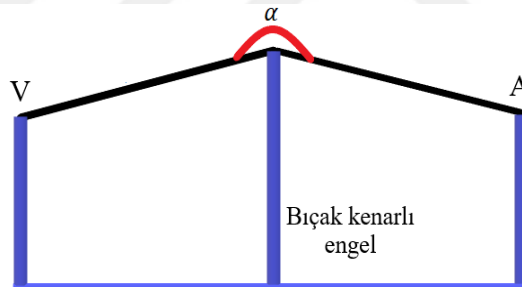
Şekil 3.2 : Bıçak kenarlı kama engel.

3.2 Kırınım Katsayısı

Bıçak kenarlı kamalar için genlik kırınım katsayısı Denklem (3.4)'teki gibi hesaplanır.

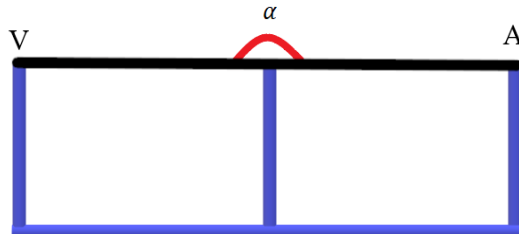
$$D(\alpha) = -\frac{e^{-j\frac{\pi}{4}}}{2\sqrt{2\pi k \cos(\alpha/2)}} F[x] \quad (3.4)$$

Denklem (3.4)'te k , α , $F[x]$ sırasıyla dalga sayısı, kırınım açısı, geçiş fonksiyonunu ifade etmektedir. Kırınım açısı Şekil (3.3)'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : Kırınım senaryosu.

Kırınım açısının 180° olduğu Şekil 3.4'teki durumda kırınım etkisi en büyüktür.



Şekil 3.4 : Açısı 180° olduğu durumda kırınım katsayısı.

Şekil (3.4)'te kırınım açısı 180° derece olup bu durumda geçiş fonksiyonu $F[x]$ hesaplanmadan Denklem (3.5)'teki gibi genlik kırınım katsayısı bulunabilir. Burada L uzaklık parametresidir.

$$D = 0.5\sqrt{L} \quad (3.5)$$

4. EĞİM KIRINIM (EK) METODU

Düzgün kırınım teorisinde geçiş bölgelerinde süreksizlikler yaşanmaktadır. Eğim kırınımı metodu ile kırınan alanların türevsel bileşenleri de eklenir. Kırınan engel sayısı iki veya daha fazla ise eğim kırınımı geçerlidir. Türevin mertebesi arttığı zaman alıcıdaki elektrik alan şiddet tahmininin zaman almasına rağmen elde edilen sonuç daha doğru olmaktadır. Radyo vericisi ve alıcısı birbirlerini direk görüyorlarsa elektrik alanı hesaplamak için Denklem (4.6) kullanılır.

$$\mathbf{E} = \left[\frac{E_i}{s} \right] e^{-jks} \quad (4.6)$$

Denklem (4.6)'da E_i vericinin oluşturduğu elektrik alan şiddeti, s alıcı ve verici arasındaki mesafe ve k dalga sayısıdır. Engelin arkasında kalan elektrik alan türevsel bileşenlerin eklenmesi ile daha doğru sonuçlar alınmaktadır. Denklem (4.7)'de türevsel bileşenlerin eklenmiş hali gösterilmektedir.

$$\mathbf{E} = \left[\mathbf{E}_i D + \frac{\partial \mathbf{E}_i}{\partial n} d_s \right] A(s) e^{-jks} \quad (4.7)$$

Denklem (4.7)'de $\frac{\partial \mathbf{E}_i}{\partial n}$ gelen elektrik alanın birinci derece türevidir. d_s ise eğim kırınım katsayısını göstermektedir. Eğim kırınım katsayıları Denklem (4.8)'de ifade edilmiştir.

$$d_s(\alpha) = - \frac{e^{-j\pi/4}}{\sqrt{2\pi k}} L_s \sin(\alpha/2) (1 - F(x)) \quad (4.8)$$

Kırınan elektrik alan 3'ten az olduğu durumda eğim kırınım katsayısı Denklem (4.8)'deki gibi hesaplanır. α kırınım açısıdır. $F[x]$ geçiş fonksiyonudur. L_s eğim kırınımı için uzaklık parametresidir.

Kırınan elektrik alan 3'ten fazla olduğu zaman Denklem (4.9)'da verilen eğim kırınım katsayısının türevi kullanılır.

$$\frac{\partial d_s(\alpha)}{\partial n} = - \frac{1}{2s} \frac{e^{-j\pi/4}}{\sqrt{2\pi k}} \left\{ L_s \cos(\alpha/2) [1 - F(x)] + 4L_s^2 k \sin^2(\alpha/2) \cos(\alpha/2) F'(x) \right\} \quad (4.9)$$

Denklem (4.9)'da α kırınım açısıdır. $F[x]$ geçiş fonksiyonudur. L_s eğim kırınım uzaklık parametresini ifade eder, k dalga sayısı, s yayılım mesafesidir.

Kırınım kaybınının toplam alana ne kadar etki ettiğini belirlemek için bağıl yol hesaplanır. DKT, EK ve EKDZ metodunda vericiden çıkan ışın binalar boyunca alıcıya ulaşana kadarki tüm kırınan alanlar toplanır. Yayılma faktörü, geçiş fonksiyonu, kırınım katsayısı, uzaklık parametreleri hesaplanarak toplam elektrik alan bulunmuş olur [30]. Böylece baz istasyonunun olduğu alıcı antene kadarki yol kaybı bulunur. Kırınım parametreleri bulunduktan sonra Denklem (4.7) ile alıcı üzerindeki tüm katkılar hesaplanabilir.

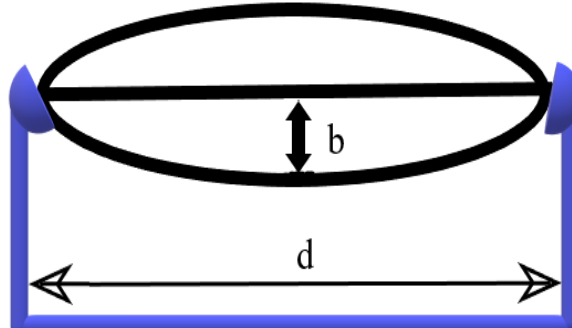


5. DIŞBÜKEY ZARF TEKNİĞİNE DAYALI EĞİM KIRINIMI (EKDZ)

Eğim kırınım metodunda kırınım sayısı 10'dan fazla olduğunda kapsama alanı kestiriminde sonuçlar doğru olmamakta ve kırınan alanların türevleri de hesaplama dahil olacağından simülasyon süresi epey artmaktadır. Bu yüzden hesaplama zamanı ile daha kesin sonuç arasında ters orantı vardır. Hesaplama zamanını kısaltmak için daha önce bahsedilen eğim kırınım metodu ile dışbükey zarf tekniğinin birlikte kullanılması simülasyon süresini kısaltmaktadır. Fresnel bölgesi içinde kalan engellerin toplam elektrik alana katkısı dışında kalanlara göre daha fazladır. Bu yüzden Fresnel dışındaki engeller hesaplama dahil edilmez. Böylelikle kapsama alanı hesaplanacak senaryo büyük bir yükten kurtulmuş olur. Fresnel dışındaki engeller çıkarıldıktan sonra ışın izleme tekniği uygulanır ve elektrik alan hesaplanır.

5.1 Fresnel Bölgeleri

Radyo alıcılarının birbirlerini direk görmesi her zaman mümkün değildir. Alıcı ve verici arasında istenmeyen ve elektromanyetik alan şiddetini azaltan engeller bulunur. Fresnel bölgesinde radyo alıcısı ve vericisi birbirlerini Şekil 5.1'deki gibi elips şeklinde hayali bir bölge üzerinden gördüğü kabul edilir. Antenlerin konumları bu hayali elipse göre belirlenir.

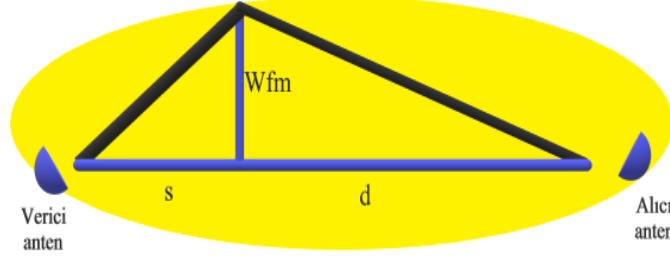


Şekil 5.1 : Fresnel bölgesi.

Denklem (5.1)'de elipsoidin yarısından geçen çizginin altında kalan ve elipsoidin en alt sarkalına kadarki uzaklık b , d ise alıcı ve verici arasındaki uzaklıktır.

$$b = 0.5\sqrt{d\lambda} \quad (5.1)$$

Fresnel bölgesini belirlemek için alıcı ve vericinin üst noktalarını kapsayacak biçimde elips çizilir. Elipsin ortasını alacak bir biçimde bir antenden diğerine bir çizgi çekilir. Elips bu çizilen direk doğru boyunca döndürülmesiyle fresnel bölgesi elde edilir.

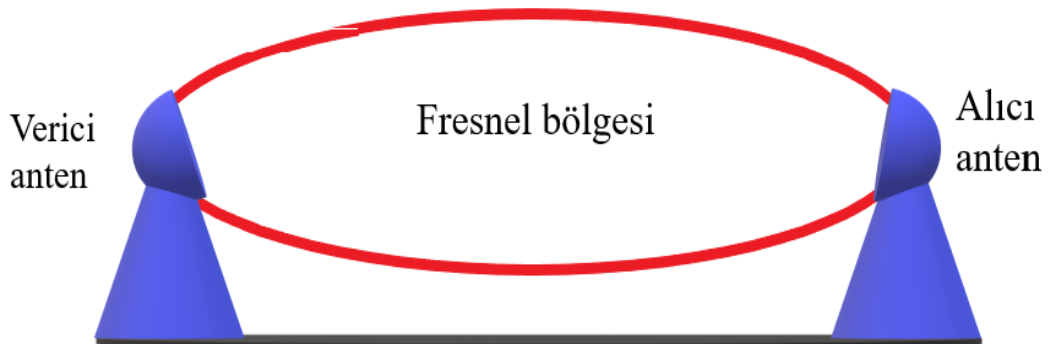


Şekil 5.2 : Alıcı ve verici anten arasındaki Fresnel bölgesi.

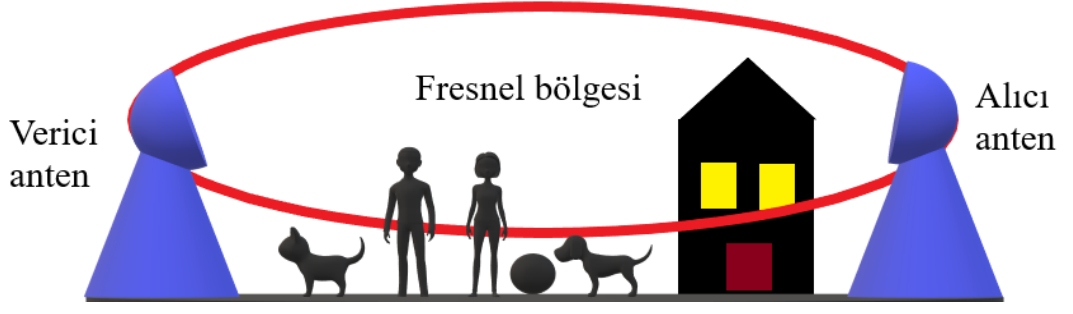
Şekil 5.2’de W_{fm} fresnel bölgesinin istenilen noktadaki yarıçapıdır [43].

$$W_{fm} = \sqrt{m \frac{\lambda s d}{s+d}} \quad (5.2)$$

Denklem (5.2)’de λ dalga boyu, s alıcı ve yarıçap ölçülmesi belirlenen yer arası uzaklık, d ölçülecek noktanın vericiye olan uzaklığıdır. Alıcı ile verici arasındaki uzaklığın ortasında fresnel bölgesinin yarıçapının en büyük olduğu noktadır. Fresnel bölgesinin yarıçapı frekans ile doğru orantılı, elektromanyetik dalganın dalga boyu ile ters orantılı olarak değişir. Yarıçapı arttıran diğer bir faktör ise fresnel bölgesinin derecesidir. Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’te sırasıyla engel olmadığı ve engeller olduğu durum gösterilmiştir. Fresnel bölgesinde elektrik alanın en iyi şekilde alıcıya ulaştığı bölgedir. Fresnel bölgesinden geçmeyen yani bölge dışında kalan engellerin elektrik alana katkısı çok az olduğundan bunlar senaryoya dahil edilmez. Fakat fresnel bölgesi içinde kalan engeller alıcı üzerindeki elektrik alana çok fazla katkıda bulduklarından çıkarılmaz ve hesaba katılır.



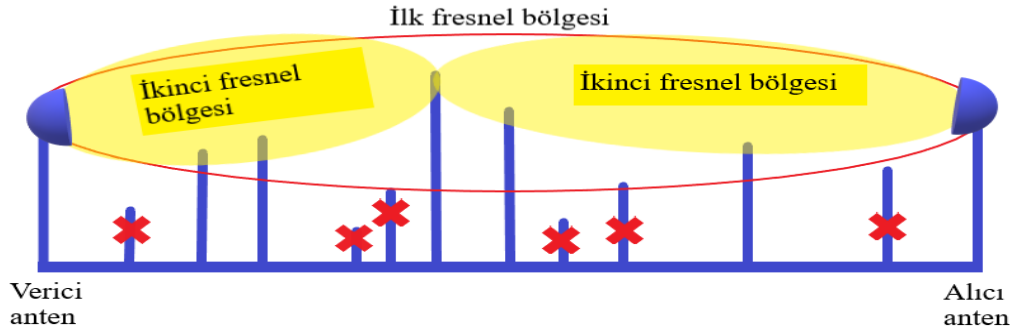
Şekil 5.3 : Fresnel bölgesinde engel olmadığı durum.



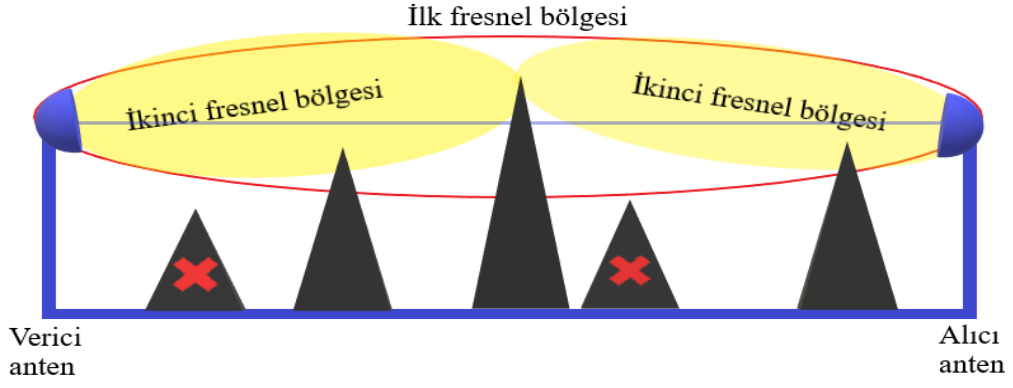
Şekil 5.4 : Fresnel bölgesinde engel bulunduğu durum.

5.2 Dışbükey Zarf Metodu

Dışbükey zarf metodu temel olarak fresnel bölgesi ile ilgilidir. Dışbükey zarf metodu alıcı ve verici anten arasında kalan engellerin oluşturduğu çokgendir [41]. Dışbükey zarf metodu fresnel bölgesi dışında kalan engellerin belirlenmesi ve hesaplamadan çıkarılması demektir. Bu dışarıda kalan engellerin çıkarılması ışın izleme algoritmasının ve dolayısı ile elektrik alanın daha hızlı hesaplanmasını sağlar. Alıcı ve verici antenler arasındaki engellerin yükseklikleri ve aralarındaki uzaklıklar birbirlerinden farklıdır. Yani bu engellerin de toplam elektrik alana katkıları farklıdır. Diğer bir deyişle binalar arasındaki mesafe azaldıkça kırınım daha çok olacağından elektrik alana katkıları artar. Verici ve alıcı anten arasındaki kırınan alanları hesaplamadan önce Fresnel bölgesi çizilir. Öncelikle Fresnel bölgesi dışında kalan binalar elenir. Ardından alıcıdan vericiye doğru düz bir çizgi çizilir ve çizginin üzerinde kalan kısımda en büyük uzunluğa sahip olan bina seçilir. Bu seçilen bina ile ilk Fresnel bölgesi Şekil 5.5'teki gibi iki kısma ayrılır. İlk kısımda en büyük anten alıcı olur ve verici ile en büyük anten arasındaki Fresnel bölgesi dışında kalan binalar çıkarılır. Fresnel bölgesinin ikinci kısmında ise daha önce seçilen en büyük bina verici olur ve verici ile en başta belirlenen alıcı arasında Fresnel bölgesi çizilip dışarıda kalan engeller elenir. Her hesaplanacak yol için böyle bir senaryo uygulanır.

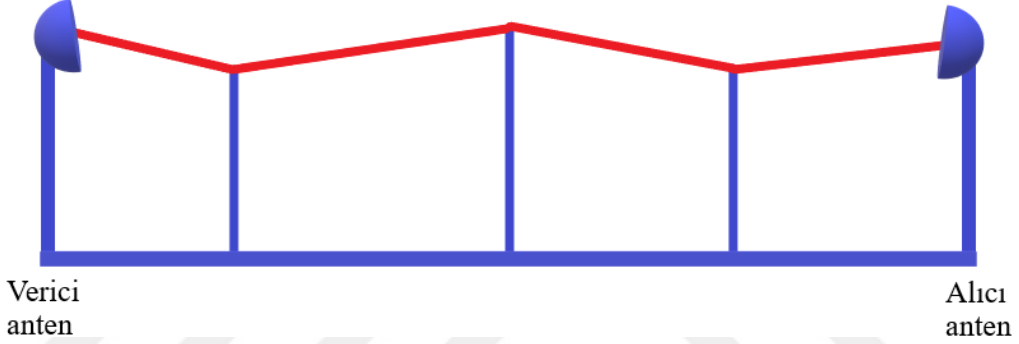


Şekil 5.5 : Bıçak kenarlı kama engellerin elenme işlemi.

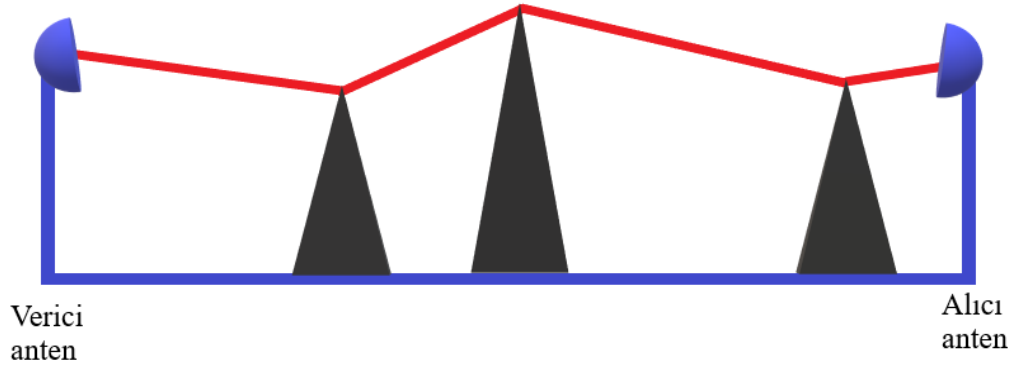


Şekil 5.6 : İç açılı engellerin elenme işlemi.

Şekil 5.5'teki ve 5.6'daki Fresnel bölgesi dışındaki engeller algoritmaya dahil edilmedi. Geriye kalan binalar üzerinden Şekil 5.7 ve 5.8'de dışbükey zarf meydana getirildi.



Şekil 5.7 : Bıçak kenarlı engellerin elenme işlemi.



Şekil 5.8 : İç açılı engellerin elenme işlemi.

Alıcı üzerindeki elektrik alanın pek değişmemesinin nedeni kırınımı az etkileyen engellerin çıkarılmış olmasıdır. Engel sayısı azaldığı için algoritma daha hızlı bir şekilde alıcıda oluşan elektrik alanı hesaplayacaktır. Bina eleme işlemi ile kapsama alanı haritası daha hızlı elde edilmektedir.

6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE BENZETİM SONUÇLARI

Simülasyonlar DKT, EK, EKDZ metodu için 11×11 adet yani 121 bina senaryosu üzerinde gerçekleştirildi. Binaların yükseklikleri 19-21 m ve 5-25 m olarak ve binaların aralarındaki uzaklıklar 20 m ve 50 m olacak şekilde her biri için 1800 MHz ve 2100 MHz frekansında kapsama alanı haritası çıkarıldı ve hesaplama süresi bulundu. Binaların yüksekliklerinin birbirlerine yakın olması ve uzak olmasının elektrik alan haritasına katkısı belirlendi. Binaların aralarındaki mesafenin yakın ve uzak olmasının elektrik alan haritasına katkısı gösterildi. Frekans değişiminin bu parametrelere etkisi incelendi. Tezde kullanılan ışın izleme tekniğinde radyo vericisinden çıkan elektromanyetik dalgalar alıcıya ulaşana kadar engellere çarpar ve bu engeller kaynak görevi görür. Tüm bu elektrik alanın katkısı toplandığında alıcı üzerindeki elektrik alan değeri hesaplanmış olur. Elektrik alanı haritasını tespit edilmesinde elektrik alan katkısında bulunan direk ve kırınan ışınlar bulunur. Işın izleme bahsedilen üç metot içinde kullanılır. En uygun baz istasyonu konumunu hesaplamak için aşağıdaki adımlar izlenir.

- Her bina üzerine baz istasyonu yer değiştirilerek konuşlandırılır.
- Diğer noktalar senaryoda alıcı olarak belirlenir.
- Işın izleme algoritması ile gelen direk ve kırınan ışınlar tespit edilir.
- Işın izleme algoritması tüm binalar için uygulanır.
- Elektrik alan tüm alıcı anten konumu ihtimalleri için hesaplanır.
- Elektrik alan kuvvetlerine göre alan haritası çıkarılır.
- Diğer nokta yeni baz istasyonu olarak seçilir, diğeri alıcı olarak belirlenir ve yol boyunca elektrik alan değeri hesaplanır.
- Üretilen haritalar kıyaslanarak en sonunda elektrik alan haritası çıkarılmış olur.

Tasarlanacak şehir senaryosu için Şekil 6.1, bina yükseklikleri, bina sayıları, binalar arası uzaklık ve frekans gibi parametrelerin kullanıcıya arayüz üzerinden girme imkanı sağlamaktadır.

Senaryo Oluştur Detaylı Senaryo Oluştur DK EK EKDZ DKDZ Işın İzleme Algoritması

Bina Senaryosu Oluşturma

Oluştur

Binalar arasındaki mesafe En yüksek bina yüksekliği

Bina sayısı En düşük bina yüksekliği Frekans

x

y

z

Verileri al

Şekil 6.1 : Baz istasyonu konumlandırması için MATLAB'ta oluşturulan bina senaryosunun arayüzü.

Şekil 6.2'de kullanıcı binaların arasındaki farkı değişken olarak girebilmektedir ki bu kullanıcıya daha esneklik sağlamaktadır.

Senaryo Oluştur Detaylı Senaryo Oluştur DK EK EKDZ DKDZ Işın İzleme Algoritması

Bina Senaryosu Oluşturma

Oluştur

Frekans

En yüksek bina yüksekliği

En düşük bina yüksekliği

x

y

z

Şekil 6.2 : Baz istasyonu konumlandırması için MATLAB'ta oluşturulan daha detaylı bina senaryosu arayüzü.

Şekil 6.3'teki menüde kullanıcı seçeceği metoda göre kapsama alanını hesaplayabilmektedir.

Senaryo Oluştur Detaylı Senaryo Oluştur DK EK EKDZ DKDZ Işın İzleme Algoritması

EKDZ yöntemine göre en iyi baz istasyonu konumunu çiz

tx ty Simülasyonda geçen süre

EKDZ yöntemine göre en iyi baz istasyonu konumunu belirle

Şekil 6.3 : EKDZ metoduna göre en uygun baz istasyonu konumunun belirlendiği arayüz ve simülasyonda geçen süre.

Şekil 6.4'teki menüde kullanıcı ışın izleme algoritmasını çalıştırıp alıcı ve verici anten arasındaki tüm ışınların yolunu görebilmektedir.

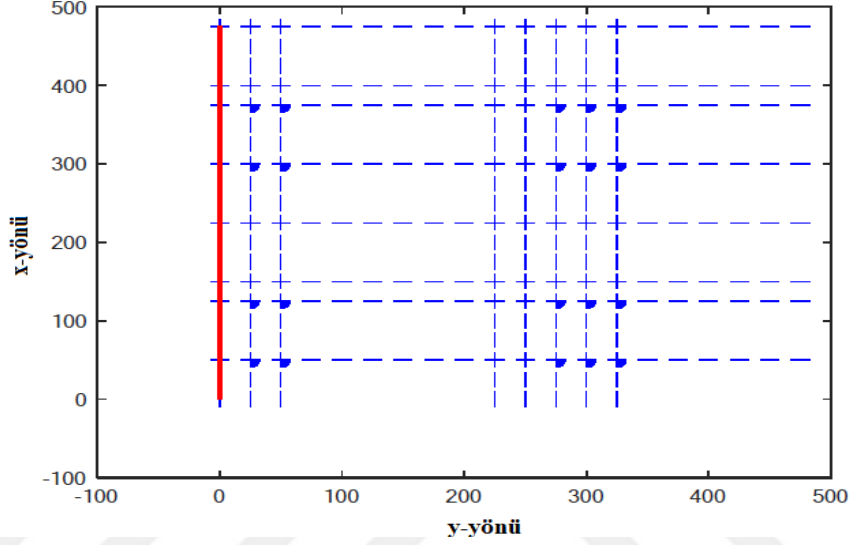
Senaryo Oluştur Detaylı Senaryo Oluştur DK EK EKDZ DKDZ Işın İzleme Algoritması

IŞIN İZLEME ALGORİTMASINI ÇALIŞTIR

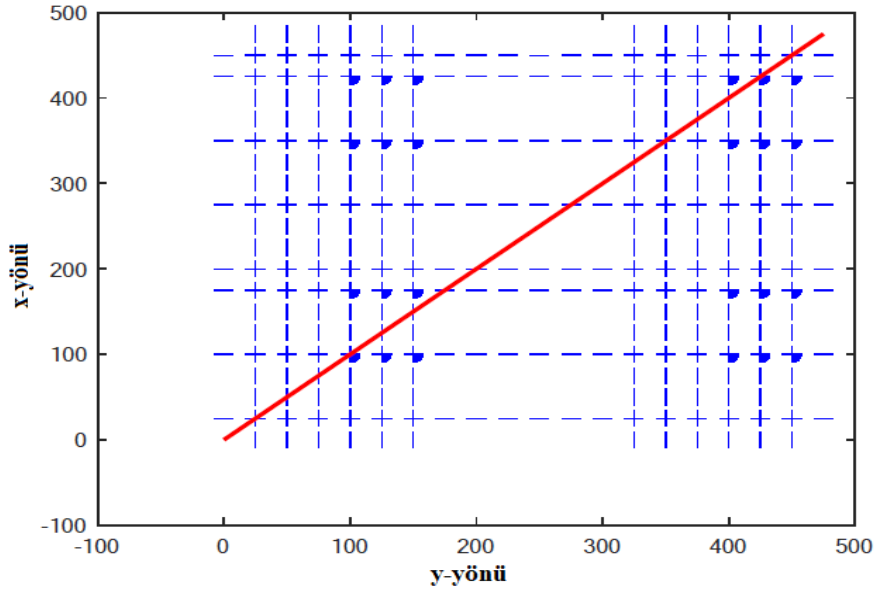
tsx
tsy
sx
sy

Şekil 6.4 : Işın izleme algoritmasının MATLAB'da oluşturulan arayüzü.

Örnek bir kapsama alanı problemi için [54]'teki senaryo kullanıldı. 400 adet 0-50 m arasında rastgele belirlenmiş yüksekliklerde binalar için şehir senaryosu olarak tanımlandı. Binalar arası mesafe 25 m ve GSM baz istasyonu kapsama alanı için frekans 1800 MHz seçildi. DKT metodu kullanılarak her binanın üzerindeki elektrik alan şiddeti hesaplanmış ve elektrik alan haritası oluşturulmuştur. Öncelikle ışın izleme tekniği kodu çalıştırılarak Şekil 6.5 (x-ekseni boyunca) ve Şekil 6.6 (diyagonal) muhtemel tüm ışınlar tespit edildi.

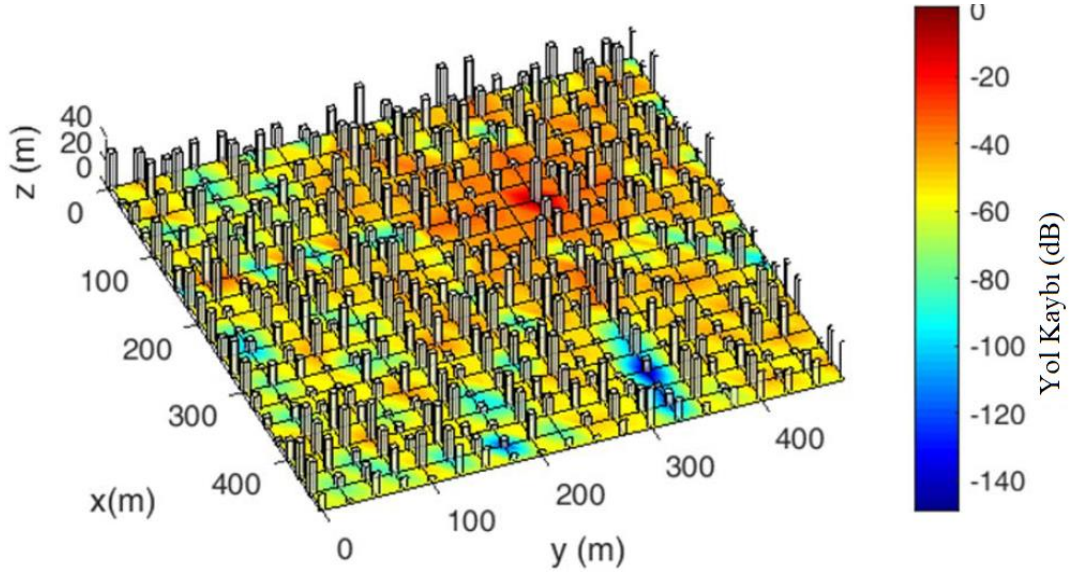


Şekil 6.5 : X-ekseni yönünde binalar.

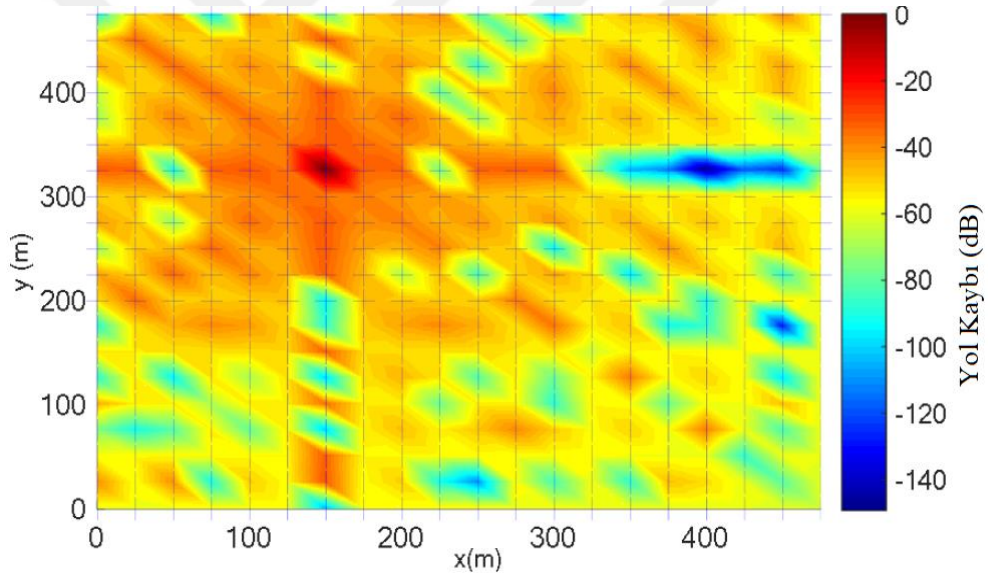


Şekil 6.6 : Köşegen boyunca binalar.

Tüm ışınlar tespit edildikten sonra muhtemel herbir baz istasyonu konumu için kapsama alanı haritası çıkarıldı ve en iyi olanı Şekil 6.7'deki gibi tespit edildi.



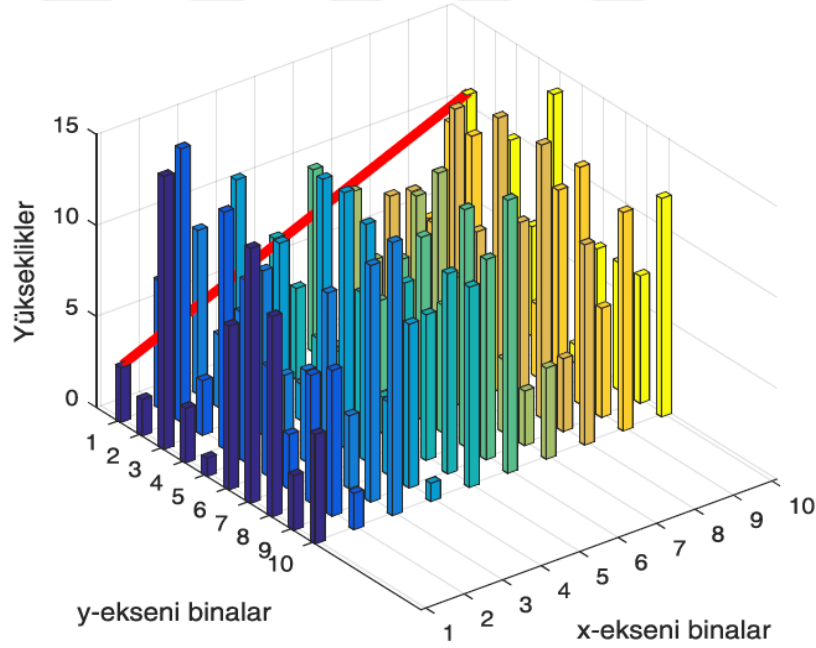
Şekil 6.7 : En uygun konum için kapsama alanı haritasının 3 boyutlu gösterimi. Şekil 6.8’de binalar çıkarıldığı durum için baz istasyonunun en uygun konumu gösterilmiştir.



Şekil 6.8 : En uygun konum için kapsama alanı haritasının 2 boyutlu gösterimi. İkinci örnek senaryo [55]’ten alınmıştır. Frekansı 100 MHz olan senaryoda yükseklikleri 0 ile 20 arasında değişen ve binalar arasında 50 m mesafe bulunmaktadır. Toplamda 21x21 hücre biçiminde 441 adet bina yer almaktadır. İlk ve ikinci simülasyonda verici anten 0,0 noktasına alıcı ise 0,1000 konumuna yerleştirilmiştir. İkinci simülasyonda ise verici 1000,1000 noktasına yani diyagonal eksene yerleştirildi. Vericinin konumu 50 m adımlarla son noktaya kadar yerleştirilip elektrik alan değeri hesaplandı. Vericinin önündeki engellerin sayısı arttıkça vericiye ulaşan elektrik alan değeri azalmaktadır. Son simülasyonda verici anten tüm binaların üzerinde gezdirilip en uygun konum bulunmuştur.

Üçüncü olarak baz istasyonunun en uygun konumu DKT ve geometrik optik vasıtası ile bulunması ile ilgili bir çalışmada yansıyan, direk ulaşan ve kırılan ışınlar gemi modeli üzerinde gösterilmiştir [56]. Bu çalışmada 17x17 boyutlarında bir senaryo 289 adet bina ihtiva etmektedir. Bina yükseklikleri 0 ve 50 m arasında rastgele dağıtılmıştır. Elektrik alan vericiden uzaklaştıkça azalmakta ve eğer çoklu kırınım varsa -160 dB'e kadar düşmektedir. En uygun konum verici antenin kapsama alanı her bina üzerinde yerleştirilerek tespit edildi ve (13,11) en uygun olarak belirlendi. Bu konum x yönünden 600 m, y yönünden 250 m uzaktadır. En uygun konumda elektrik alan -20 dB bulunmuştur.

Dördüncü olarak bir çalışmamızda, binalar arası mesafe 20 m olup x ve y ekseninde 10 adet engel tanımlandı ve işlem frekansı 100 MHz seçilmiştir [57]. X ekseninde boyunca binalar arasındaki uzaklıklar [0 20 40 60 80 100 120 140 160 180] olarak tanımlanmıştır. Y eksenindeki binalar da aynı şekilde senaryoya dahil edildi. Şekil 6.9'da yüksekliği rastgele belirlenen binaların 3 boyutlu halleri ve kırınımın yönü gösterilmiştir.



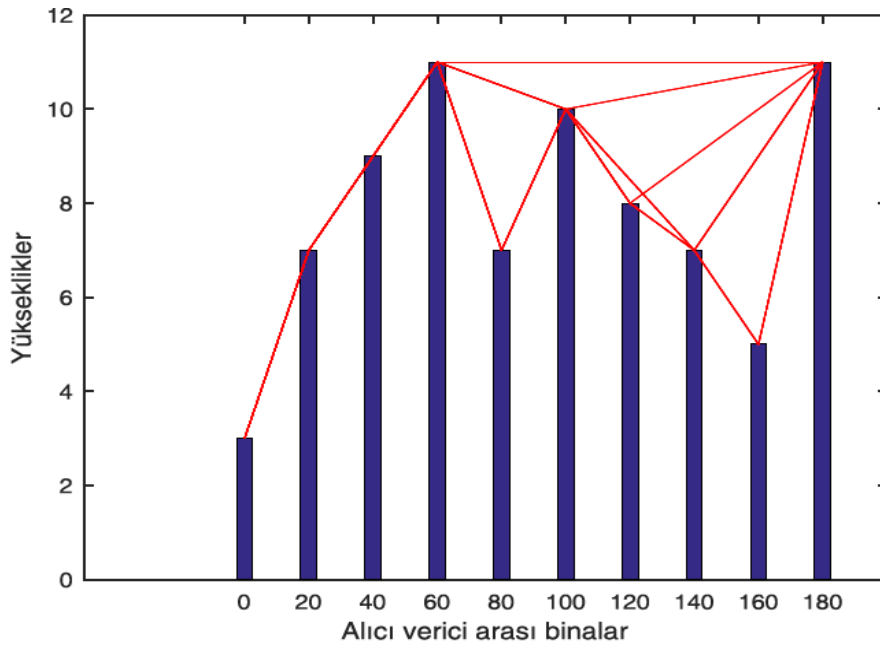
Şekil 6.9 : (1,1)-(1,10) 3B gösterim.

Çizelge 6.1'de kenar boyunca ilk binadan gösterilen 10. binaya kadar kırınım yolları ayrıntılı olarak gösterildi ve hesaplanan alan katkıları toplam elektrik alanına eklenmiştir.

Çizelge 6.1 : Yol boyunca tüm kırınımların listesi.

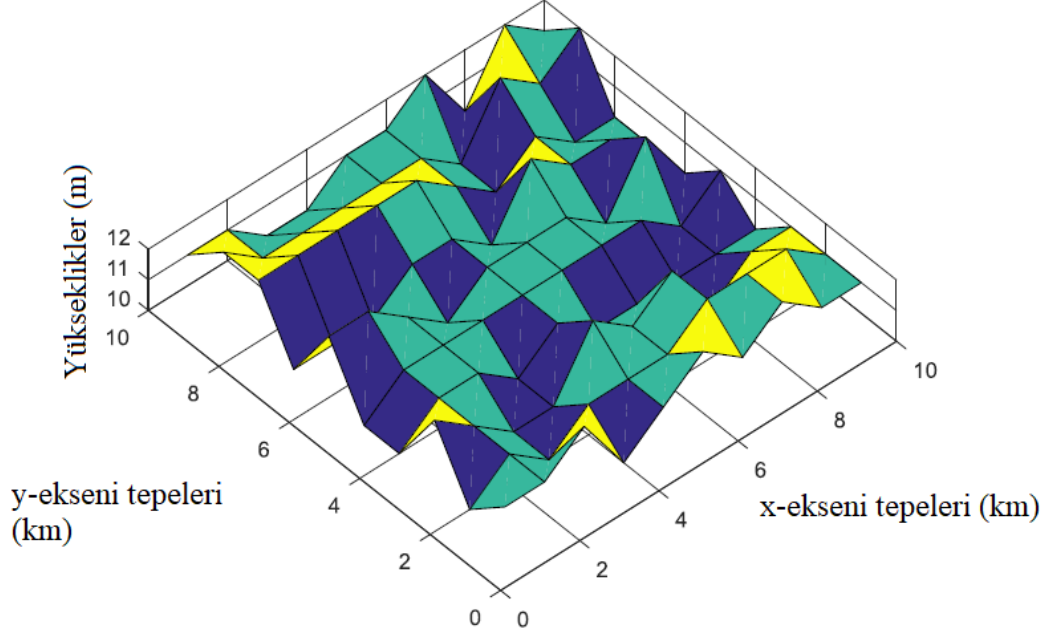
1 2 3 5 6 7 10
1 2 3 6 7 8 9 10
1 2 3 6 7 8 10
1 2 3 6 7 10
1 2 3 7 8 9 10
1 2 3 7 8 10
1 2 3 7 10
1 3 4 5 6 7 8 9 10
1 3 4 5 6 7 8 10
1 3 4 5 6 7 10
1 3 4 6 7 8 9 10
1 3 4 6 7 8 10
1 3 4 6 7 10
1 3 4 7 8 9 10
1 3 4 7 8 10
1 3 4 7 10
1 3 5 6 7 8 9 10
1 3 5 6 7 8 10
1 3 5 6 7 10
1 3 6 7 8 9 10
1 3 6 7 8 10
1 3 6 7 10
1 3 7 8 9 10
1 3 7 8 10
1 3 7 10

Şekil 6.10'da vericiden çıkan ışınların alıcıya kadar olan tüm muhtemel yolları verilmiştir.



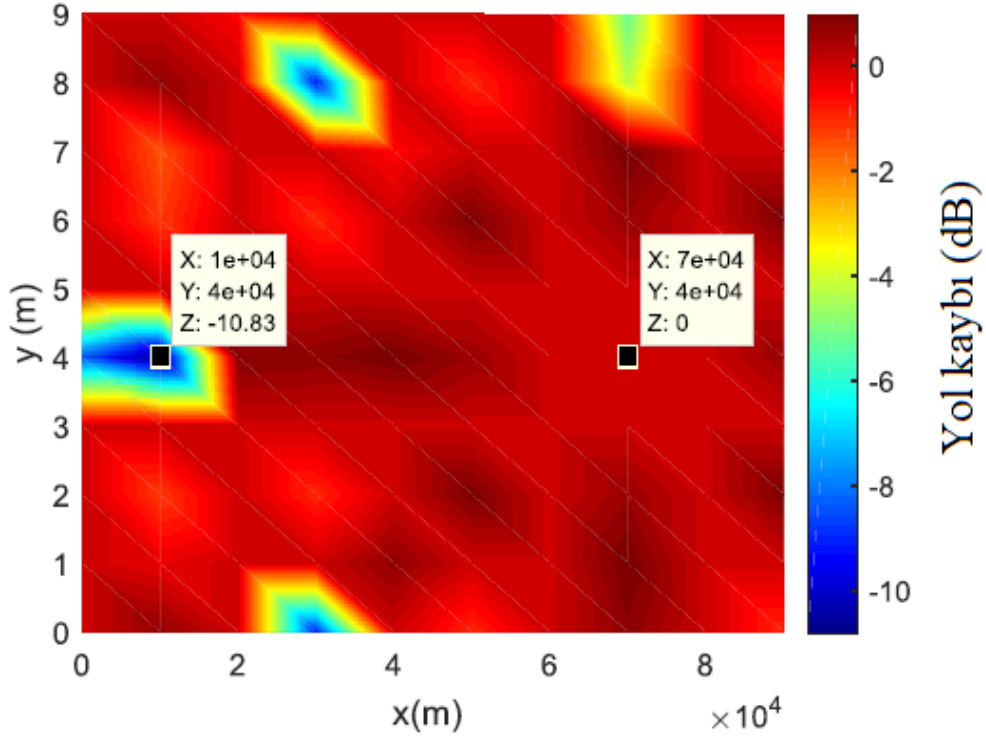
Şekil 6.10 : (1,1)-(1,10) 3B gösterim.

Beşinci olarak, bir çalışmamızda rastgele dağıtılmış 100 adet tepe üzerinden EK metodu için simülasyon yapılmıştır [58]. Tepe yükseklikleri 10-12 m arasında değişmektedir ve işlem frekansı 110 MHz olarak seçilmiştir. Senaryonun 3 boyutlu gösterimi şekil 6.11'dedir.



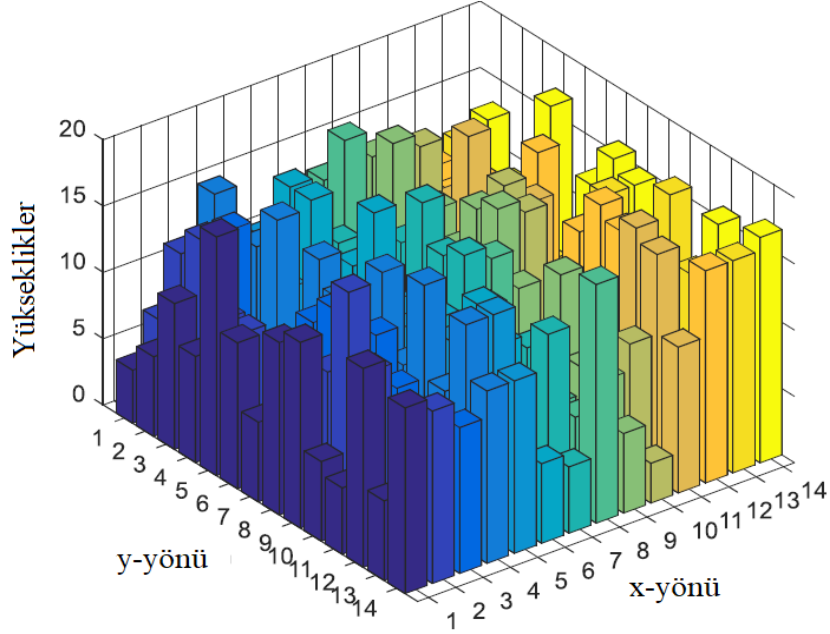
Şekil 6.11 : Senaryo.

Şekil 6.12'de baz istasyonunun en uygun konumu (700,4000) koordinatında bulunmuştur.



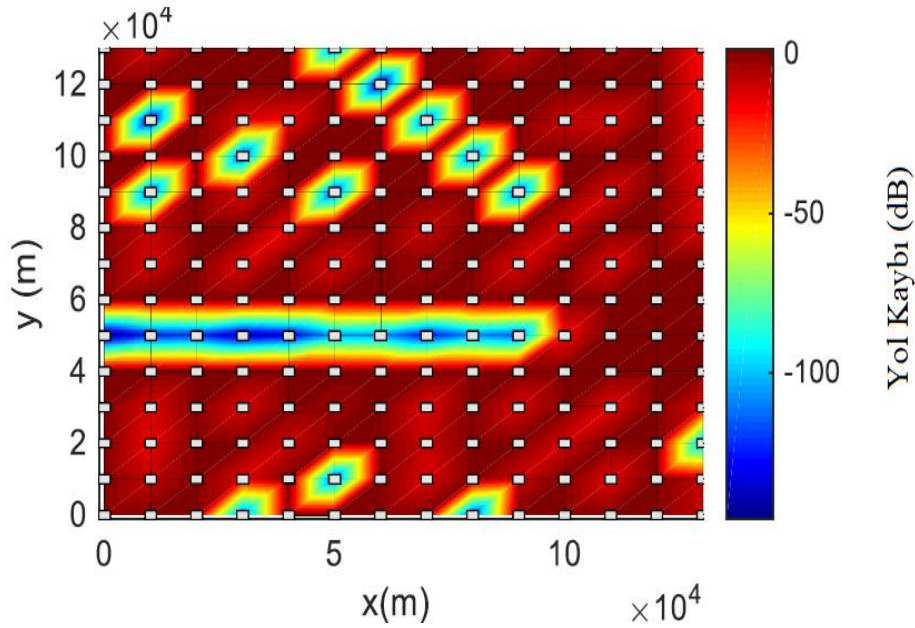
Şekil 6.12 : En iyi kapsama alanı konumu: $(x, y) = (700, 4000)$.

Başka bir çalışmamızda, MATLAB üzerinde algoritması geliştirilen EK metodunun arayüzü tasarlanmıştır ve bu arayüz kullanılarak yapılan simülasyonlar yapılmıştır [59]. 196 binaya sahip olan şehir simülasyonu için frekans 471.25 MHz seçildi. Binalar arası mesafe 10 km ve bina yükseklikleri 3 m ve 18 m arasında değişmektedir. Şekil 6.13'te oluşturulan senaryo 3 boyutlu olarak gösterilmiştir.



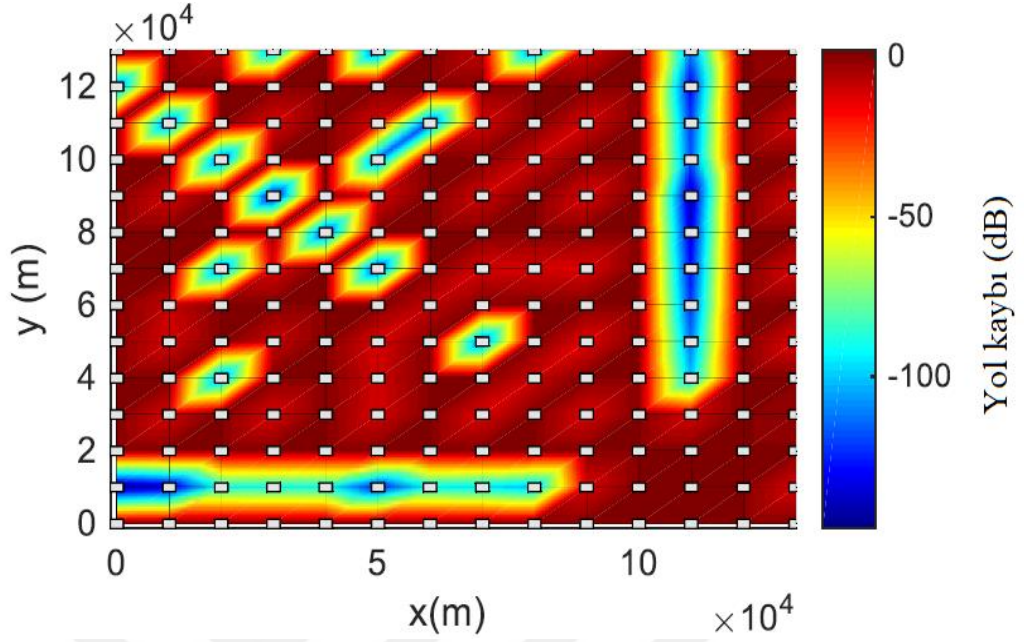
Şekil 6.13 : Şehir Senaryosu.

Şekil 6.14'te $(x;y) = (130000 ; 60000)$ pozisyonu için kapsama alanı haritası gösterilmiştir.



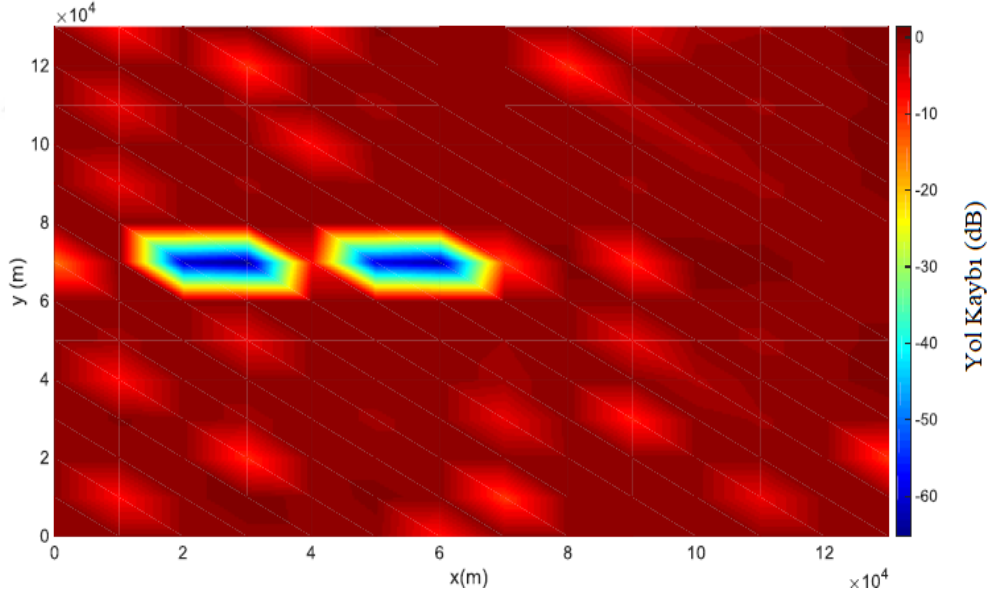
Şekil 6.14 : $(x;y) = (130000 ; 60000)$ pozisyonu için kapsama alanı haritası.

Şekil 6.15'te $(x;y) = (110000 ; 10000)$ pozisyonu için kapsama alanı haritası benzetimi yapılmıştır.



Şekil 6.15 : $(x;y) = (110000 ; 10000)$ pozisyonu için kapsama alanı haritası.

Şekil 6.16'da ise baz istasyonunun en uygun konumu gösterilmiştir.



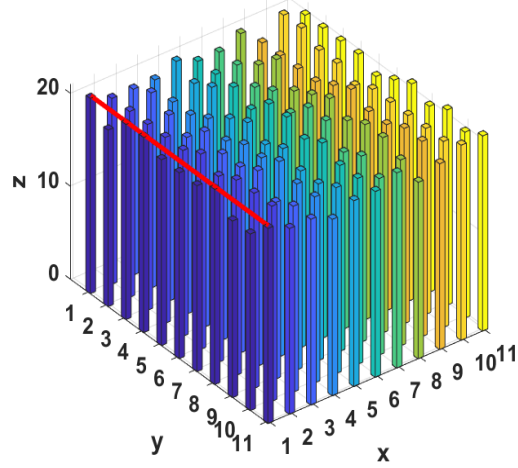
Şekil 6.16 : En uygun konum.

Bu tezde, binaların yüksekliklerinin aralığının 19-21 m ve binaların aralarındaki mesafe 20 m olması durumu için simülasyonlar gerçekleştirildi. Binalar rasgele Çizelge 6.2'deki gibi atanmıştır.

Çizelge 6.2 : Senaryodaki rastgele dağıtılmış binaların yükseklikleri.

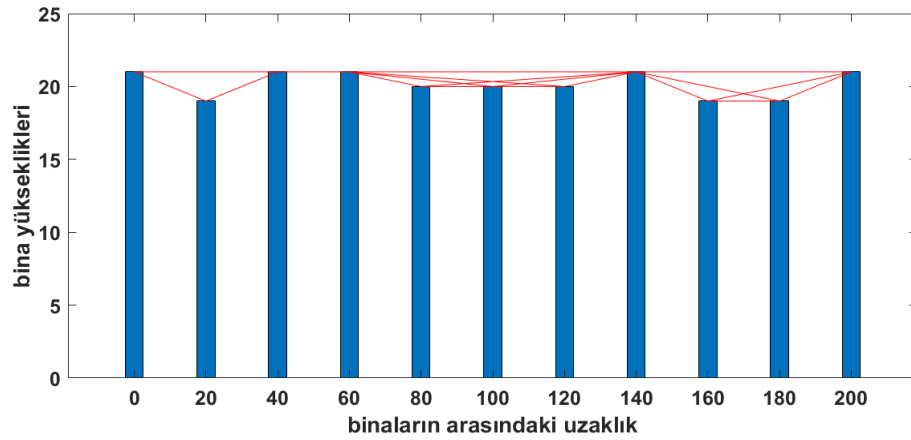
21	19	21	21	20	20	20	21	19	19	21
20	20	20	20	20	21	20	21	21	21	20
20	21	20	19	21	20	20	21	19	20	20
20	19	19	20	19	20	20	21	20	20	19
21	20	21	19	20	19	20	19	19	20	20
20	20	20	19	21	21	20	21	20	20	20
20	20	19	20	19	21	21	19	20	19	21
21	19	21	19	20	21	20	21	21	20	19
19	19	19	19	20	21	20	20	21	21	20
21	21	20	20	19	20	20	20	20	20	21
20	20	20	20	19	20	21	20	21	20	21

Şekil 6.17’de bina dağılımı ve (1,1) pozisyonundan (11,11) pozisyonuna bir hat çekilişi gösterilmektedir.



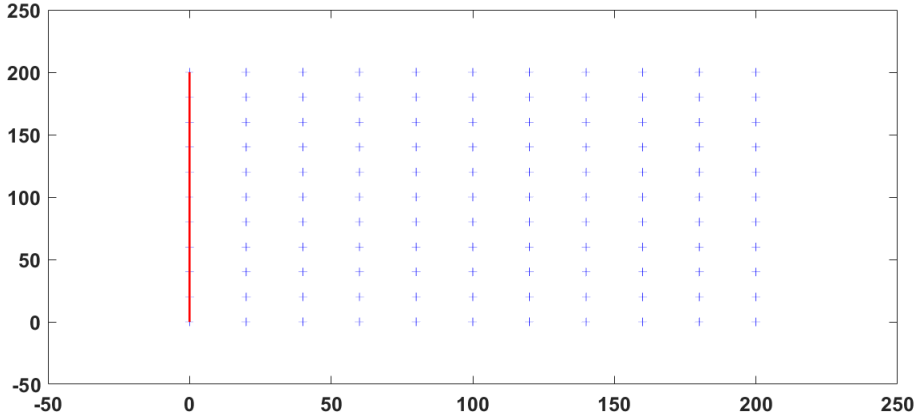
Şekil 6.17 : Vericinin (1,1) alıcı (1,11) durumu.

Şekil 6.19’da bu alıcı-verici pozisyonu için, alıcıdan çıkan ve vericide sonlanan tüm ışınlar gösterilmiştir.



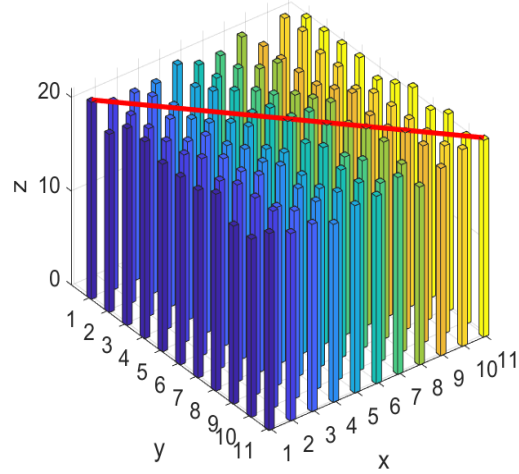
Şekil 6.18 : Vericinin (1,1) alıcı (1,11) durumu için tüm ışınlar.

Şekil 6.19’da bu alıcı-verici pozisyonu için senaryonun üstten görünüşü verilmiştir.



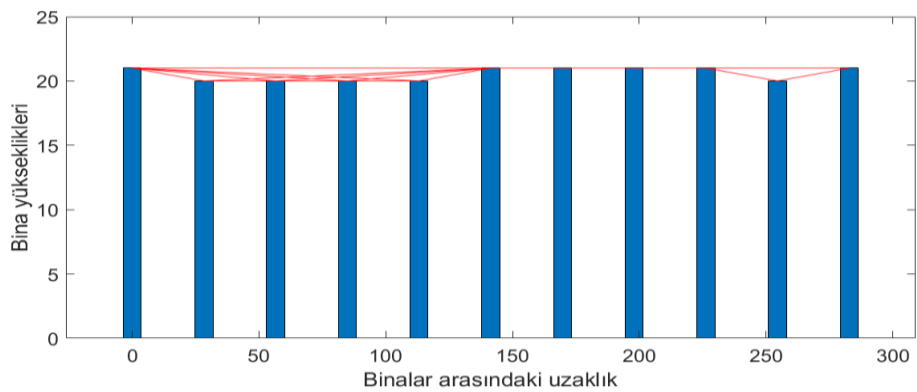
Şekil 6.19 : Vericinin (1,1) alıcı (1,11) durumu için üstten görünüm.

Şekil 6.20’de bina dağılımı ve (1,1) pozisyonundan (11,11) pozisyonuna bir hat çekilişi gösterilmektedir.



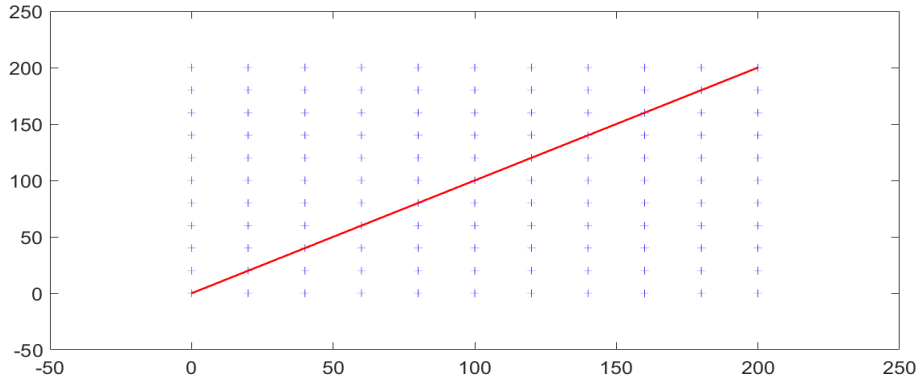
Şekil 6.20 : Vericinin (1,1) alıcı (11,11) durumu.

Şekil 6.21’de bu alıcı-verici pozisyonu için, alıcıdan çıkan ve vericide sonlanan tüm ışınlar gösterilmiştir.



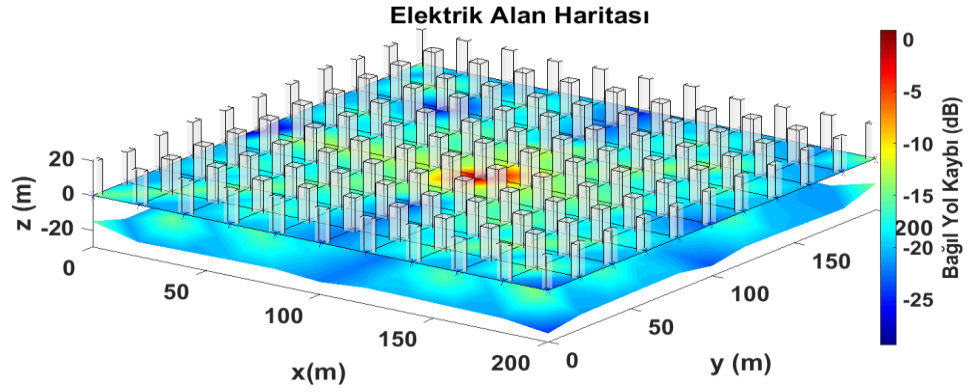
Şekil 6.21 : Vericinin (1,1) alıcı (11,11) durumu için tüm ışınlar.

Şekil 6.22’de bu alıcı-verici pozisyonu için senaryonun üstten görünüşü verilmiştir.

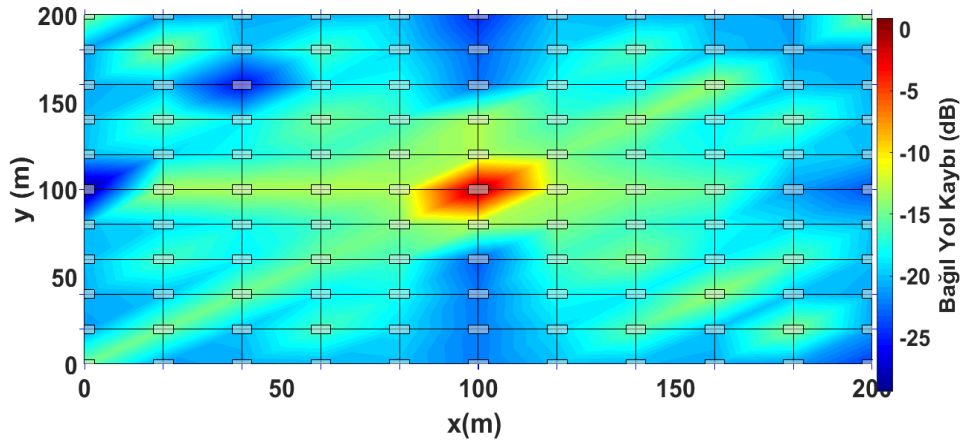


Şekil 6.22 : Vericinin (1,1) alıcı (11,11) durumu için üstten görünüm.

Baz istasyonunun rastgele oluşturulan senaryo için DKT, EK, EKDZ ve DKDZ metotları kullanılarak benzetimler yapılmıştır. 1800 MHz’de DKT metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.23 ve Şekil 6.24’te gösterilmiştir.

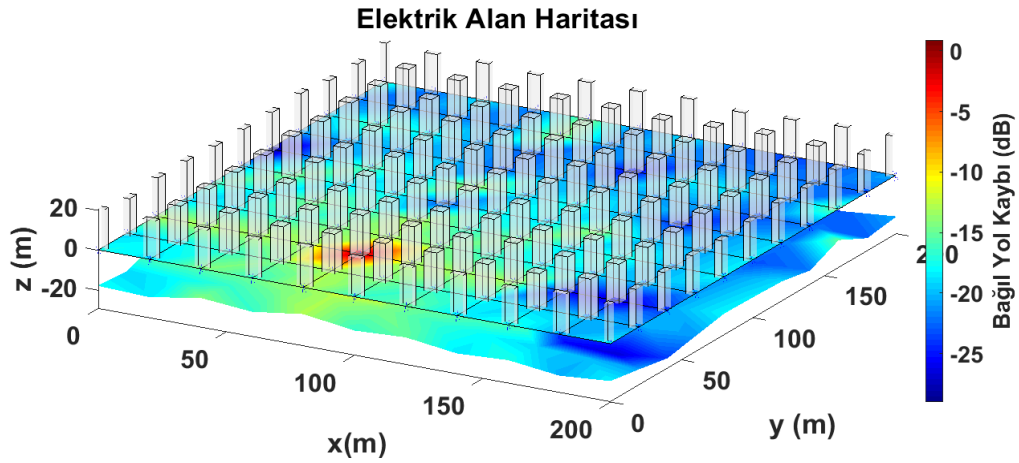


Şekil 6.23 : DKT metodunda 1800 MHz’de binaların 3 boyutlu görünümü ve kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

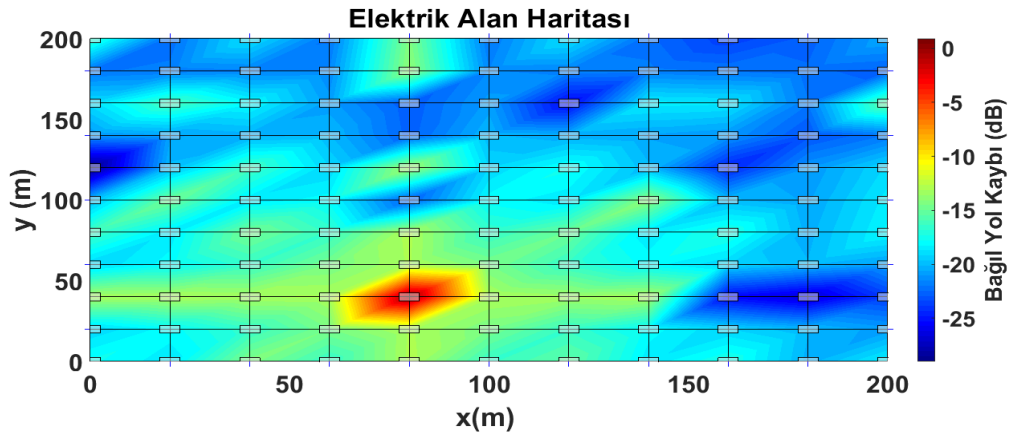


Şekil 6.24 : DKT metodunda 1800 MHz’de binaların 2 boyutlu görünümü ve kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

2100 MHz’de DKT metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.25 ve Şekil 6.26’da gösterilmiştir.

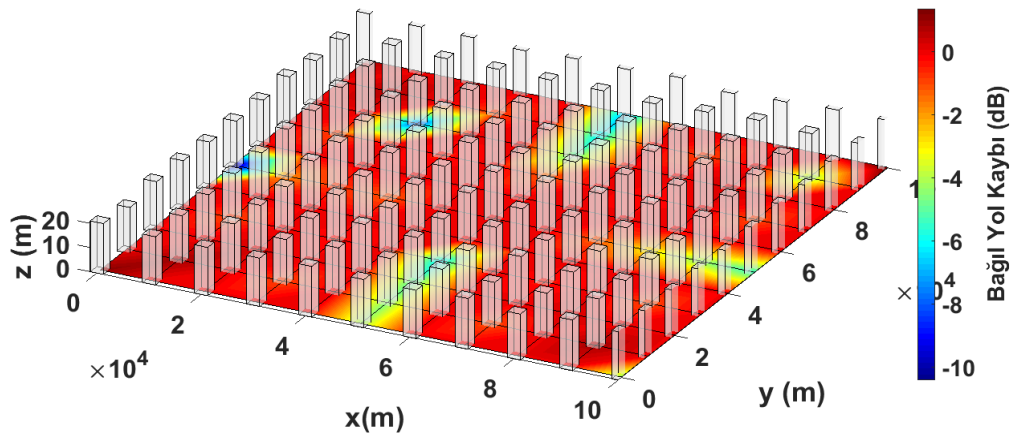


Şekil 6.25 : DKT metodunda 2100 MHz’de binaların 3 boyutlu görünümü ve kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

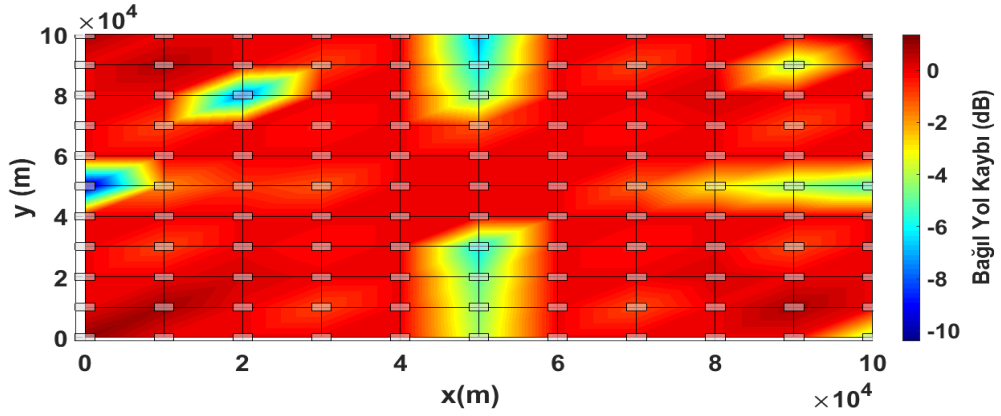


Şekil 6.26 : DKT metodunda 2100 MHz’de binaların 2 boyutlu görünümü ve kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

1800 MHz’de EK metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.27 ve Şekil 6.28’de gösterilmiştir.

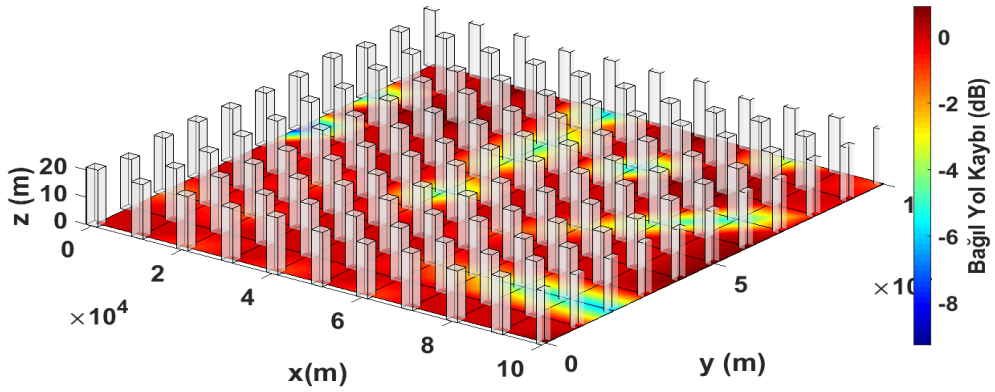


Şekil 6.27 : EK metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (6,6) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

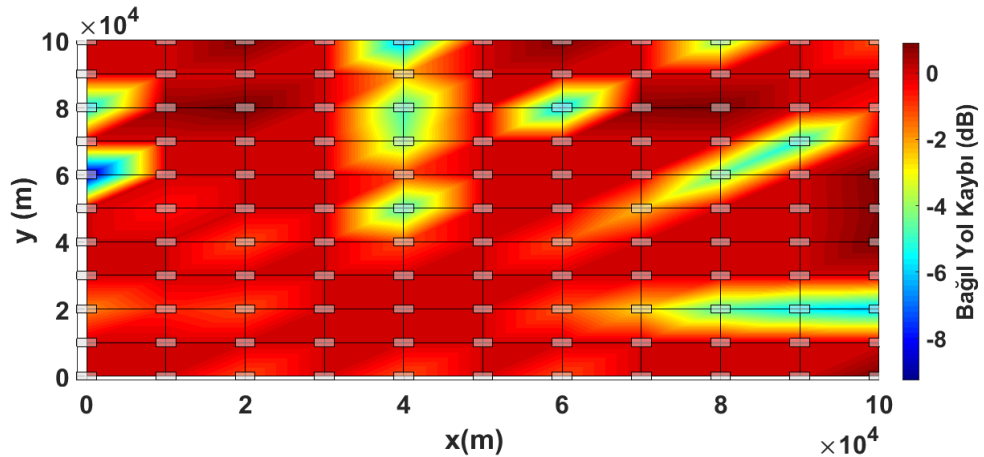


Şekil 6.28 : EK metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (6,6) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

2100 MHz’de EK metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.29 ve Şekil 6.30’da gösterilmiştir.

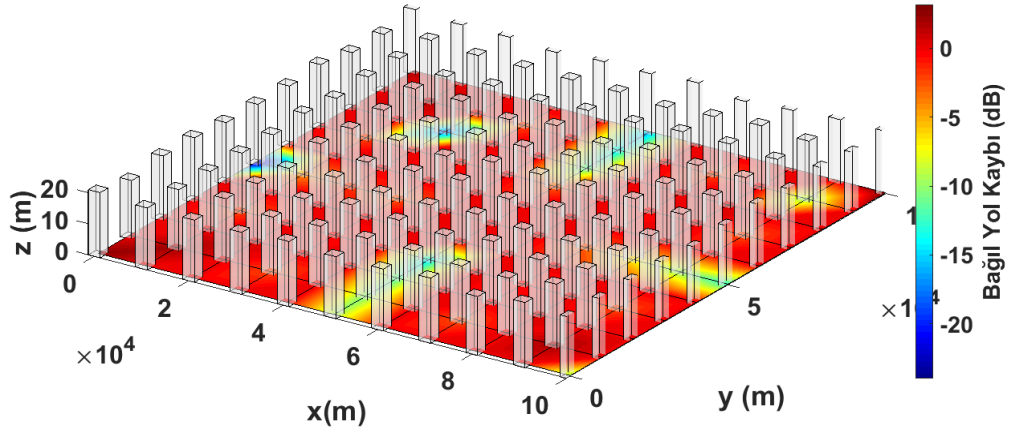


Şekil 6.29 : EK metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (5,3) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

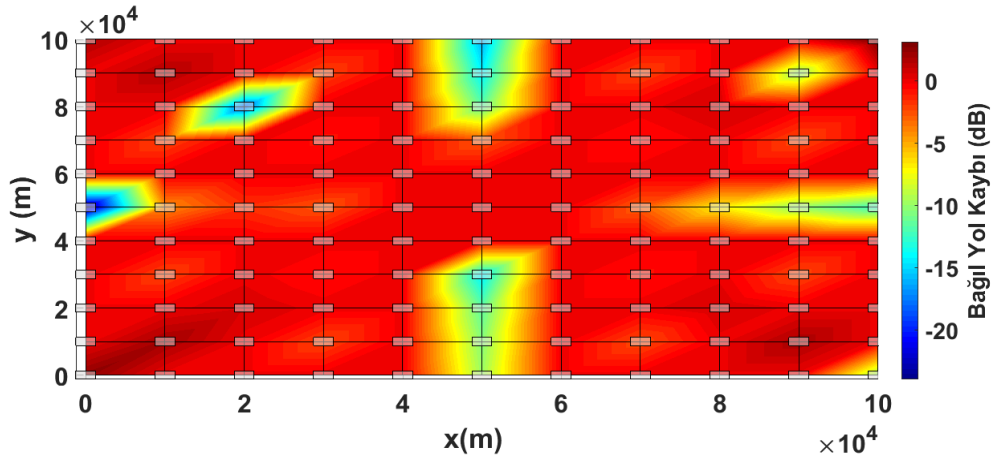


Şekil 6.30 : EK metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (5,3) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

1800 MHz’de EKDZ metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.31 ve Şekil 6.32’de gösterilmiştir.

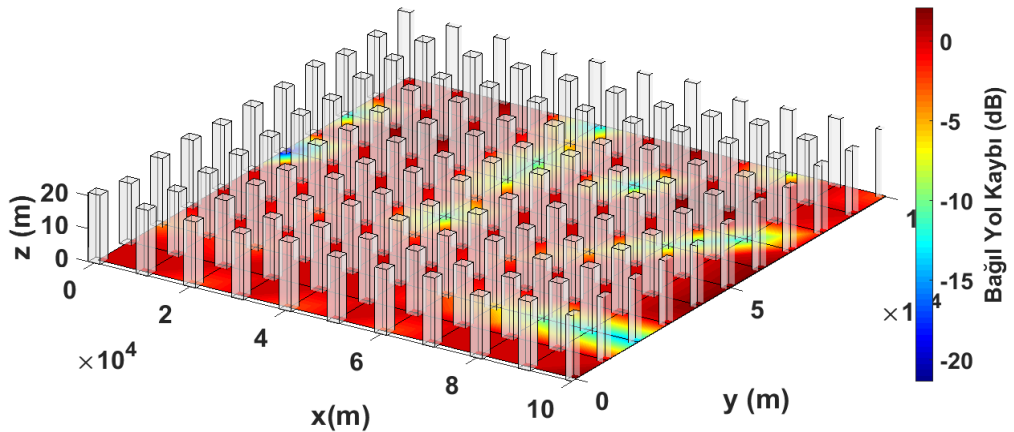


Şekil 6.31 : EKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (5,3) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

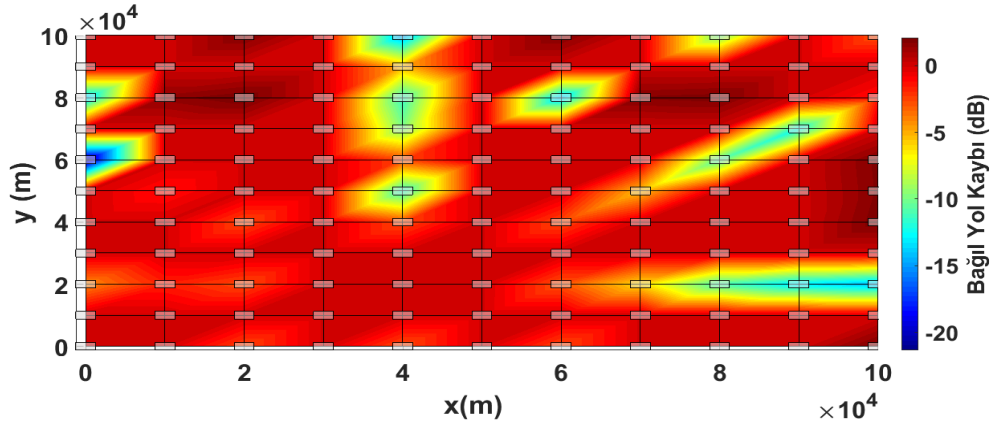


Şekil 6.32 : EKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (5,3) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

2100 MHz’de EKDZ metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.33 ve Şekil 6.34’te gösterilmiştir.

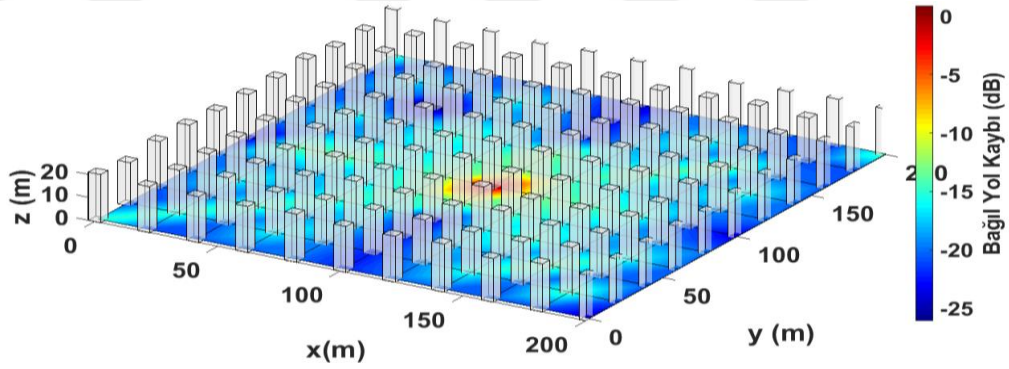


Şekil 6.33 : EKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (5,3) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

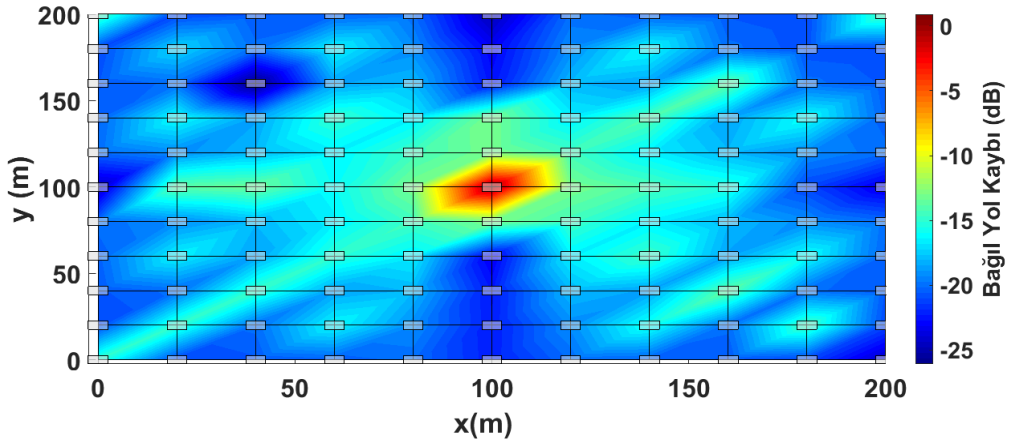


Şekil 6.34 : EKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (5,3) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

1800 MHz’de DKDZ metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.35’te ve Şekil 6.36’da gösterilmiştir.

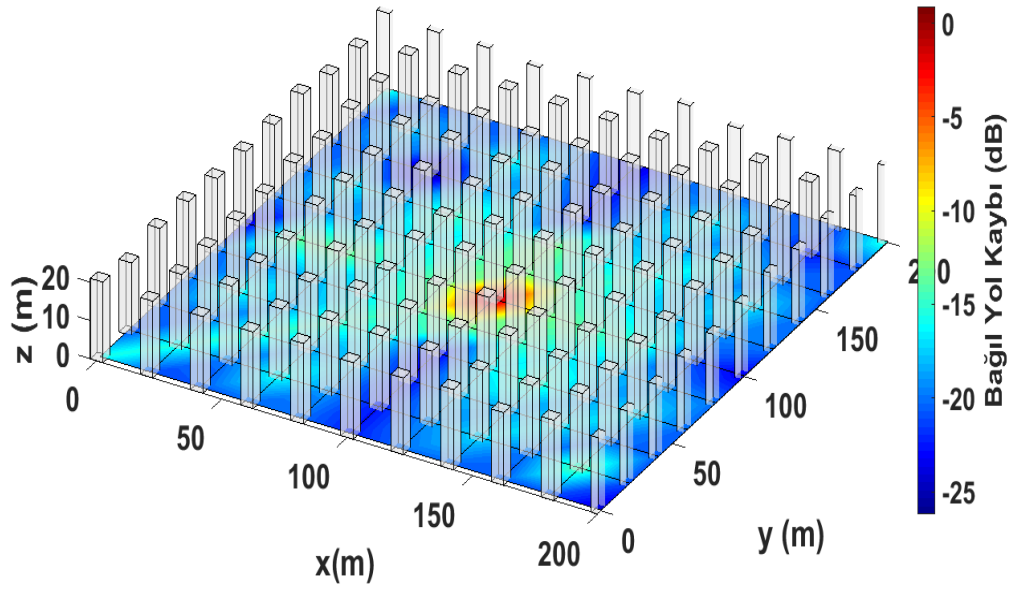


Şekil 6.35 : DKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

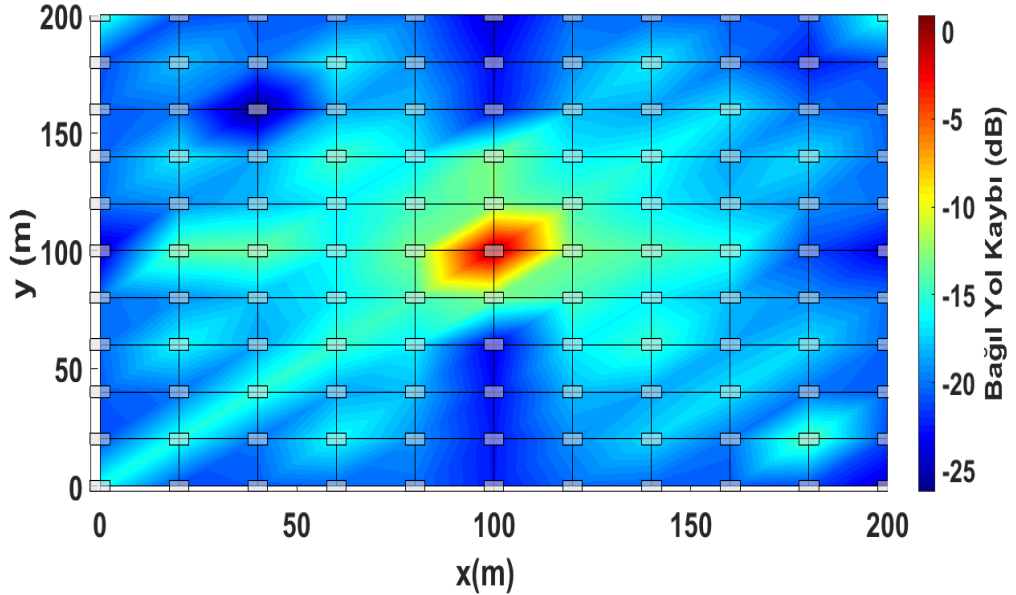


Şekil 6.36 : DKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

2100 MHz’de DKDZ metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.37’de ve Şekil 6.38’da gösterilmiştir.

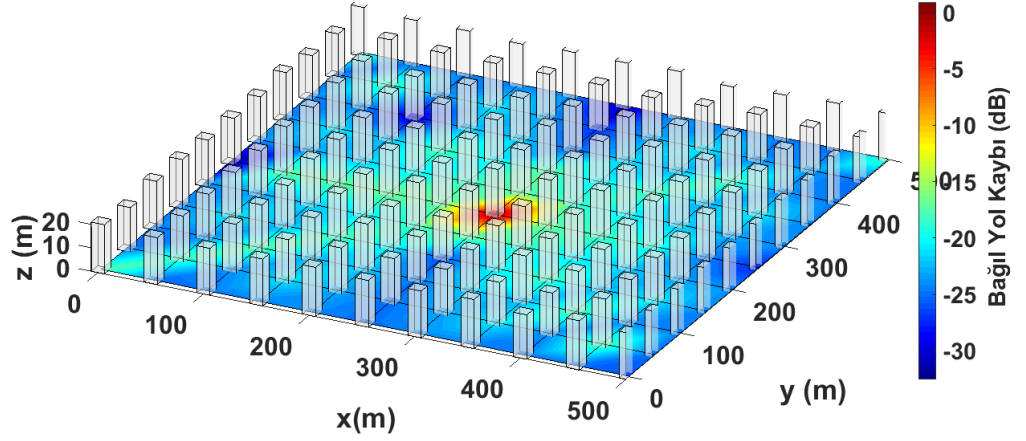


Şekil 6.37 : DKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

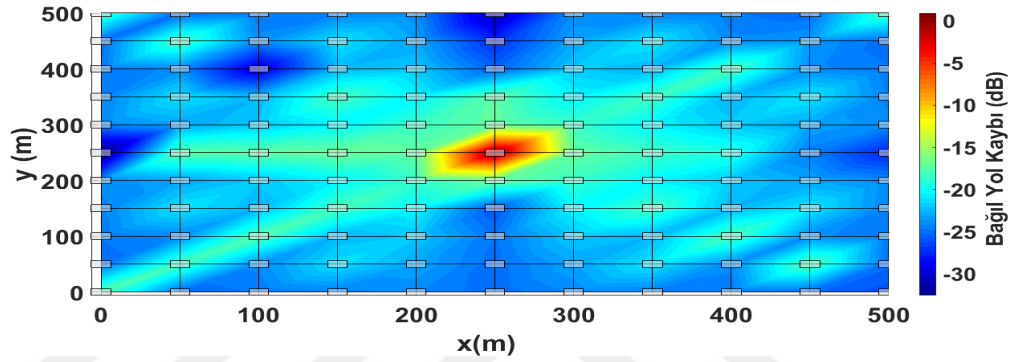


Şekil 6.38 : DKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

Bu tezde ikinci olarak, binaların yüksekliklerinin aralığının 19-21 m ve binaların aralarındaki mesafe 50 m olması durumu için simülasyonlar gerçekleştirildi. DKT, EK, EKDZ ve DKDZ metotları için benzetimler yapıldı. 1800 MHz’de DKT metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.39’da ve Şekil 6.40’ta gösterilmiştir.

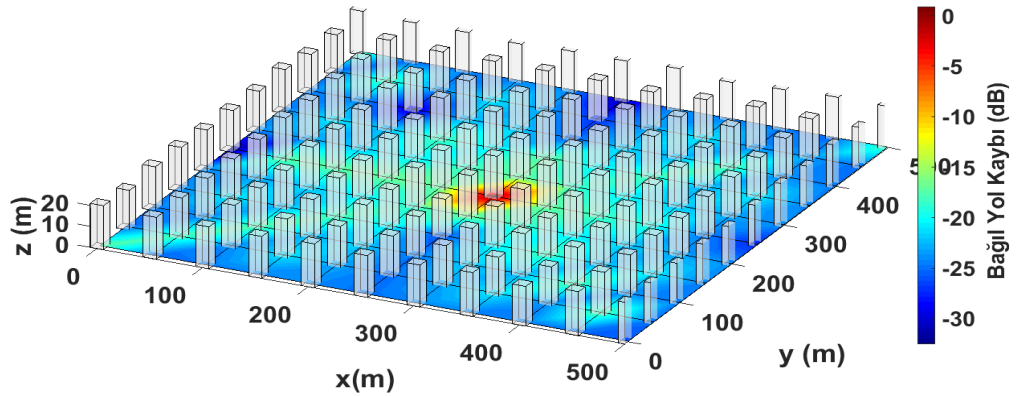


Şekil 6.39 : DKT metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

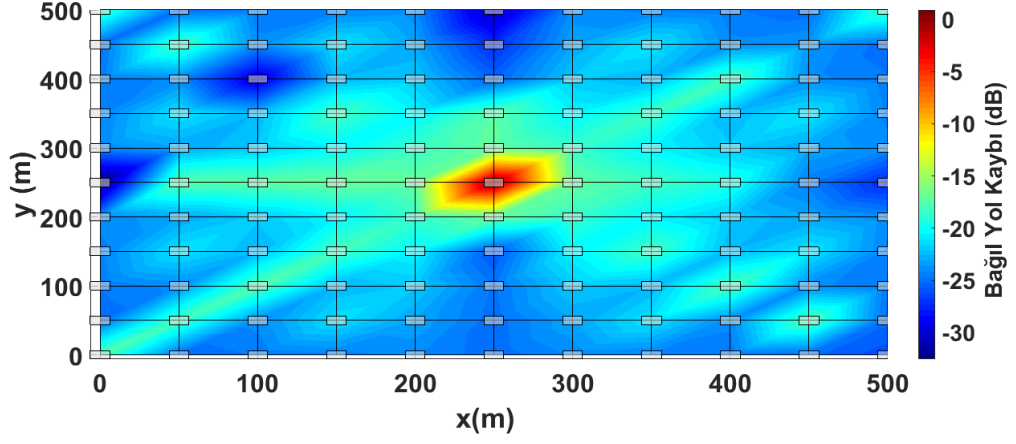


Şekil 6.40 : DKT metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

2100 MHz’de DKT metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.41 ve Şekil 6.42’de gösterilmiştir.

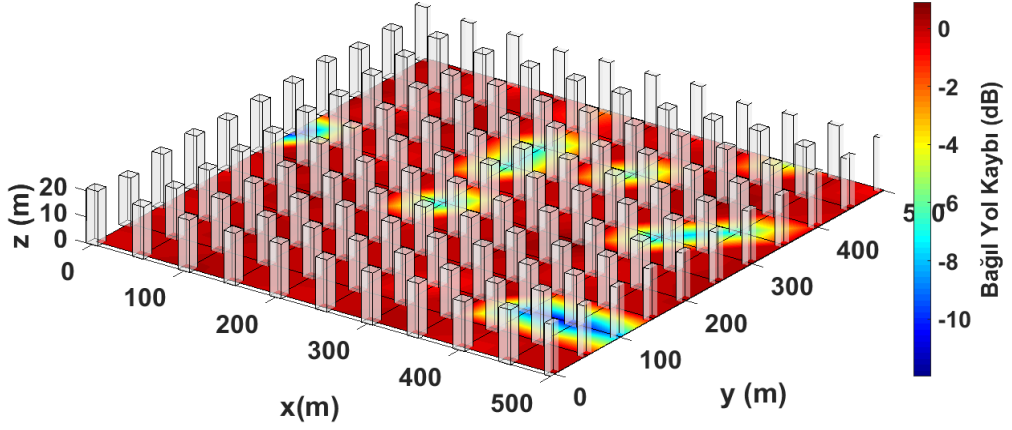


Şekil 6.41 : DKT metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

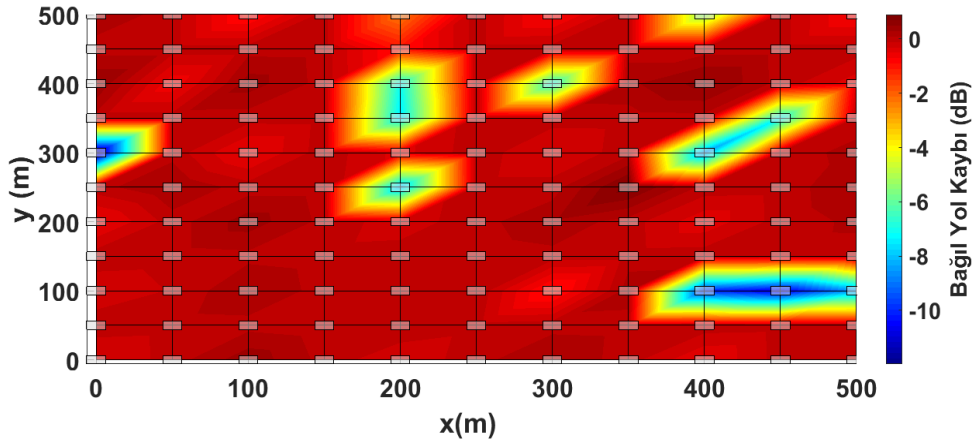


Şekil 6.42 : DKT metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

1800 MHz’de EK metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.43 ve Şekil 6.44’te gösterilmiştir.

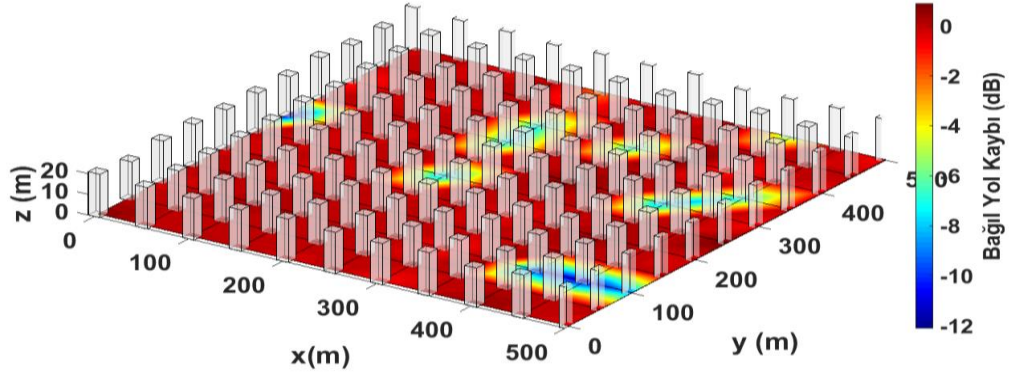


Şekil 6.43 : EK metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (300,200) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

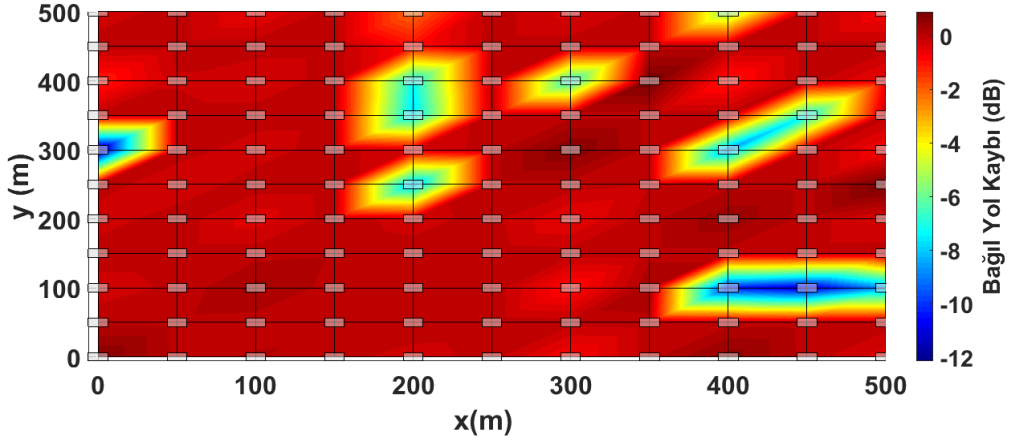


Şekil 6.44 : EK metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (300,200) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

2100 MHz’de EK metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.45’te ve Şekil 6.46’da gösterilmiştir.

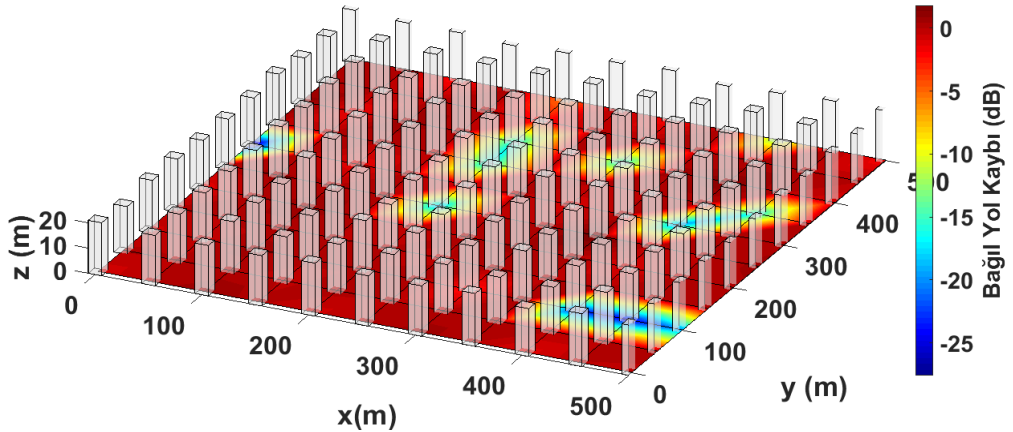


Şekil 6.45 : EK metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (300,200) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

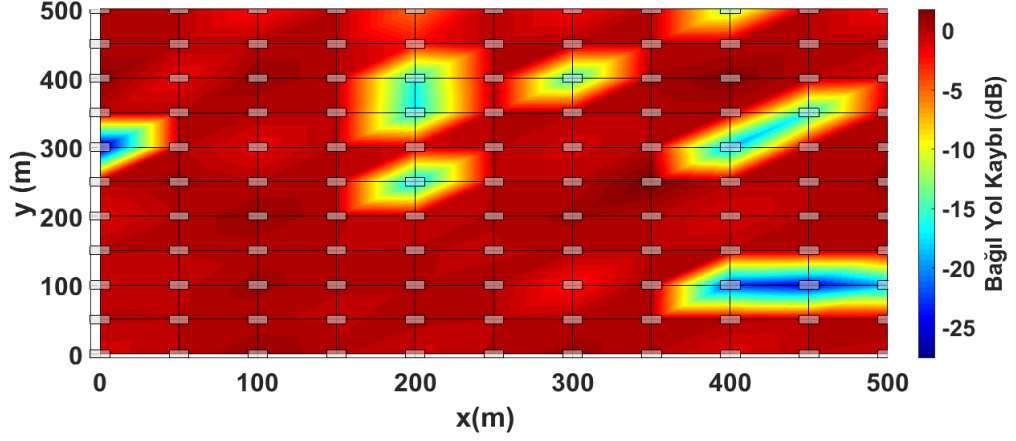


Şekil 6.46 : EK metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (300,200) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

1800 MHz’de EKDZ metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.47 ve Şekil 6.48’de gösterilmiştir.

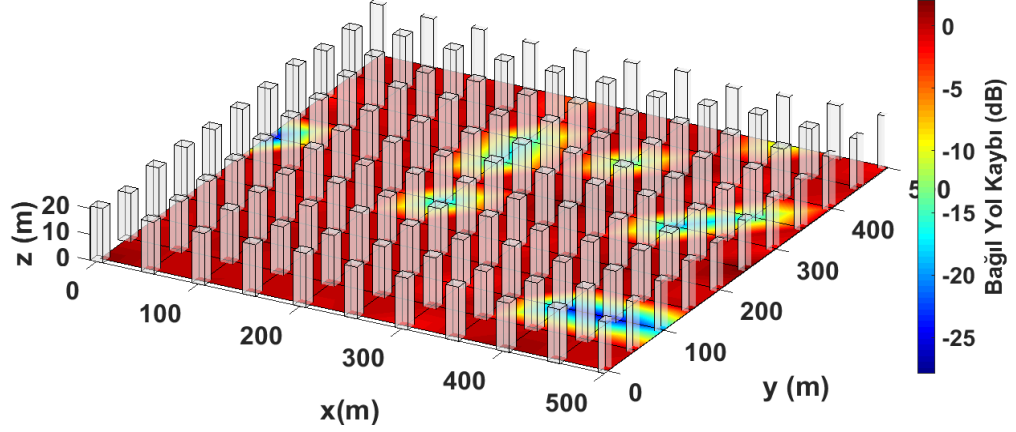


Şekil 6.47 : EKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (300,200) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

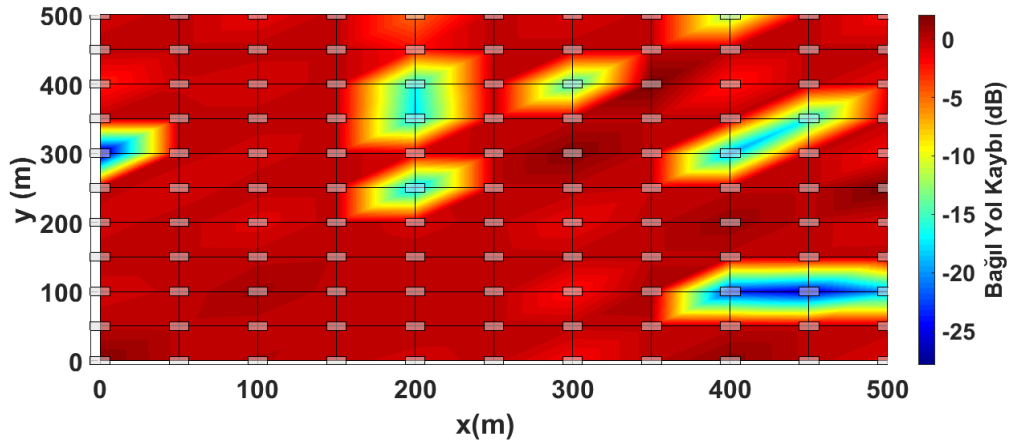


Şekil 6.48 : EKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (300,200) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

2100 MHz’de EKDZ metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.49’da ve Şekil 6.50’de gösterilmiştir.

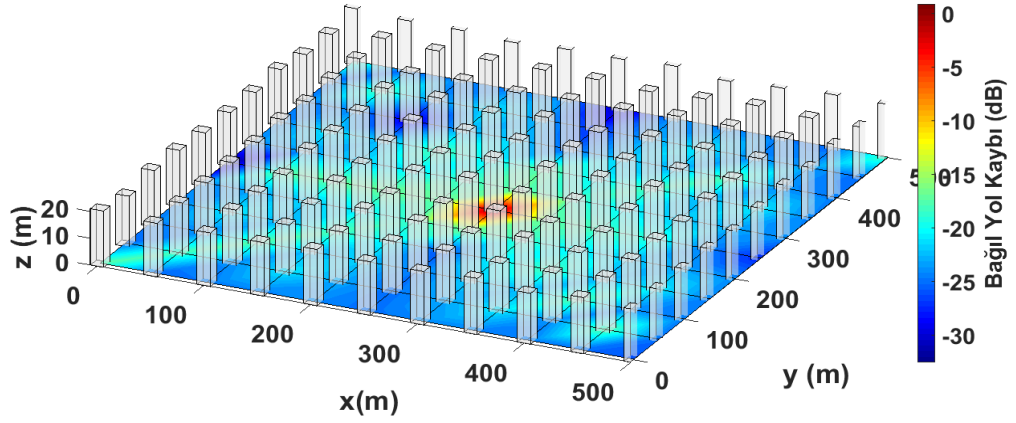


Şekil 6.49 : EKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (300,200) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

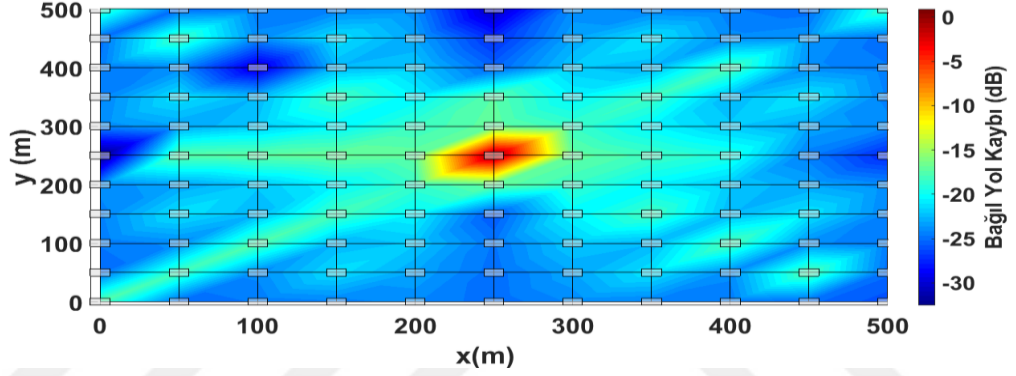


Şekil 6.50 : EKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (300,200) noktası ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

1800 MHz’de DKDZ metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.51 ve Şekil 6.52’de gösterilmiştir.

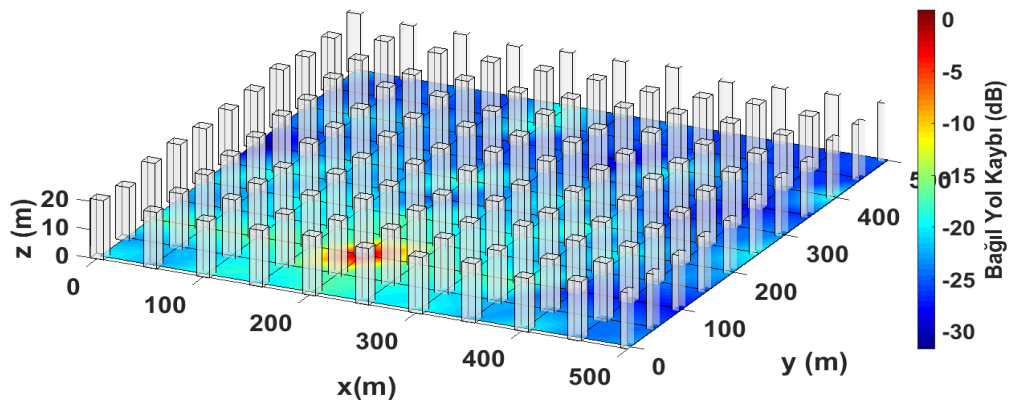


Şekil 6.51 : DKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

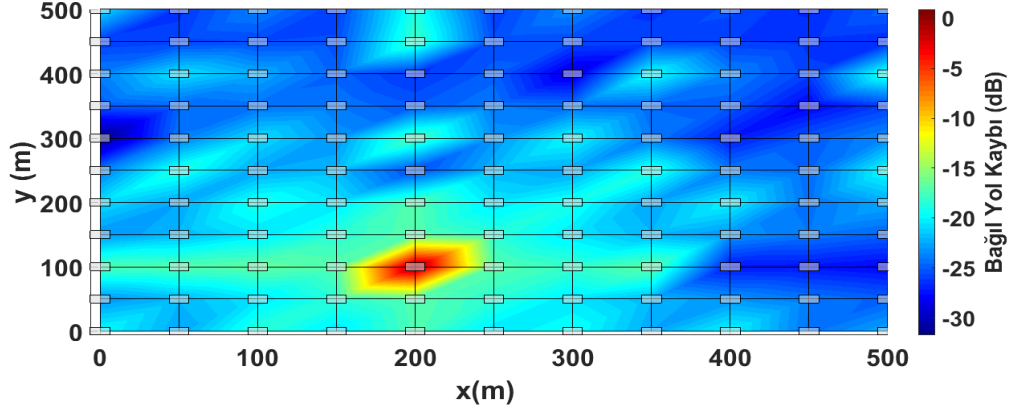


Şekil 6.52 : DKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

2100 MHz’de DKDZ metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.53 ve Şekil 6.54’te gösterilmiştir.



Şekil 6.53 : DKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.



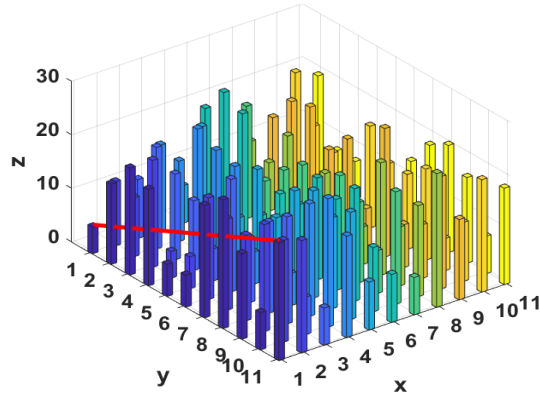
Şekil 6.54 : DKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

Bu tezde üçüncü olarak, binaların yüksekliklerinin aralığının 5-25 m ve binaların aralarındaki mesafe 20 m olması durumu için simülasyonlar gerçekleştirildi. Binalar rastgele Çizelge 6.3’teki gibi atanmıştır.

Çizelge 6.3 : Senaryodaki binaların yükseklikleri.

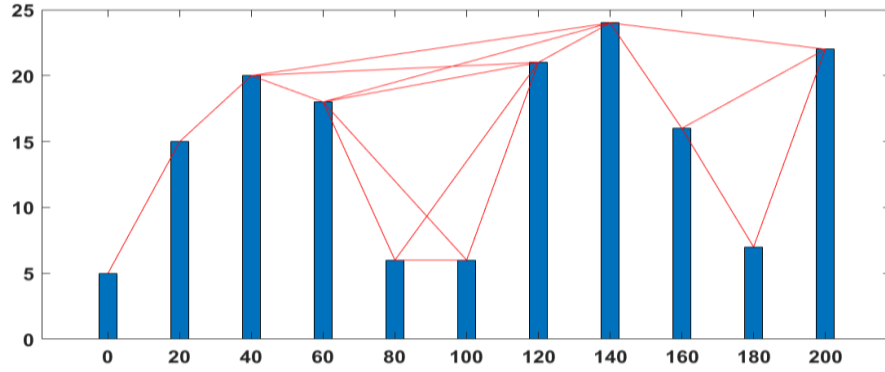
5	15	20	18	6	6	21	24	16	7	22
12	11	20	5	6	19	17	16	20	19	21
11	19	16	13	6	21	12	17	20	7	7
16	15	23	21	20	6	6	6	21	24	19
7	20	7	7	18	11	18	20	17	20	9
20	25	23	6	12	12	19	17	21	12	9
6	21	9	13	16	9	18	15	8	21	7
11	9	16	6	13	7	7	21	11	17	25
14	19	20	14	18	7	24	8	10	21	15
21	13	10	5	19	14	14	17	6	11	21
19	7	7	6	5	13	18	20	16	7	18

Şekil 6.55’te bina dağılımı ve (1,1) pozisyonundan (11,11) pozisyonuna bir hat çekilişi gösterilmektedir.



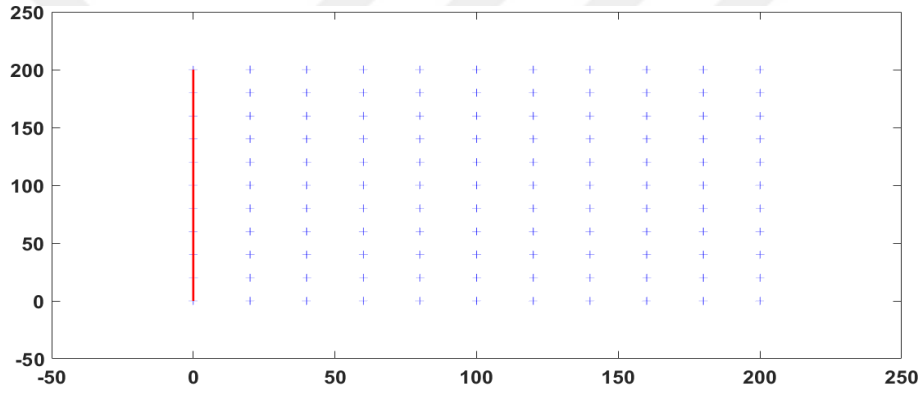
Şekil 6.55 : Vericinin (1,1) alıcı (1,11) durumu.

Şekil 6.56’da bu alıcı-verici pozisyonu için, alıcıdan çıkan ve vericide sonlanan tüm ışınlar gösterilmiştir.



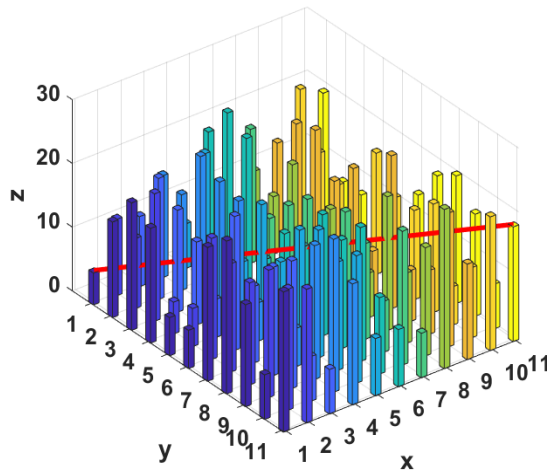
Şekil 6.56 : Vericinin (1,1) alıcı (1,11) durumu için tüm ışınlar.

Şekil 6.57’de bu alıcı-verici pozisyonu için senaryonun üstten görünüşü verilmiştir.



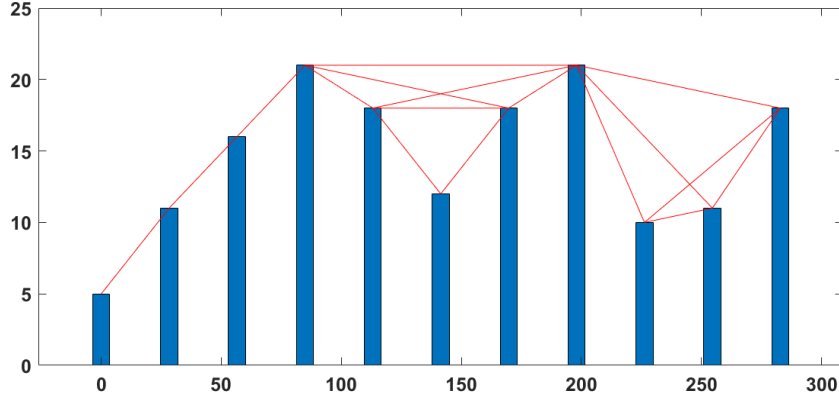
Şekil 6.57 : Vericinin (1,1) alıcı (1,11) durumu için üstten görünüm.

Şekil 6.58’de bina dağılımı ve (1,1) pozisyonundan (11,11) pozisyonuna bir hat çekilişi gösterilmektedir.



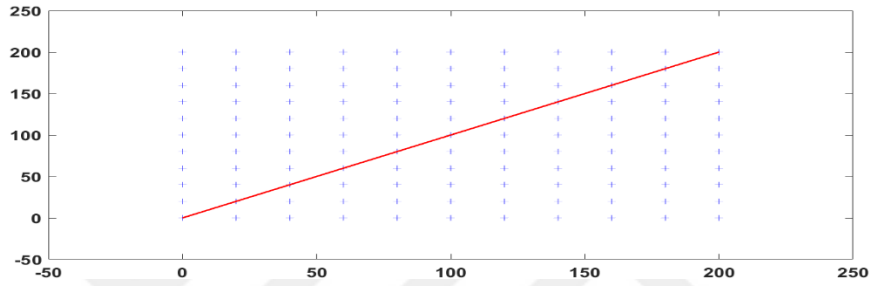
Şekil 6.58 : Vericinin (1,1) alıcı (11,11) durumu.

Şekil 6.59’da bu alıcı-verici pozisyonu için, alıcıdan çıkan ve vericide sonlanan tüm ışınlar gösterilmiştir.



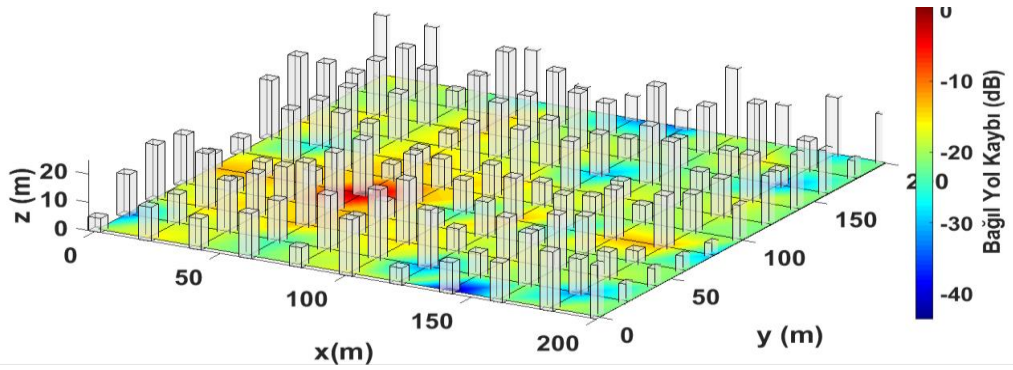
Şekil 6.59 : Vericinin (1,1) alıcı (11,11) durumu için tüm ışınlar.

Şekil 6.60'ta bu alıcı-verici pozisyonu için senaryonun üstten görünüşü verilmiştir.

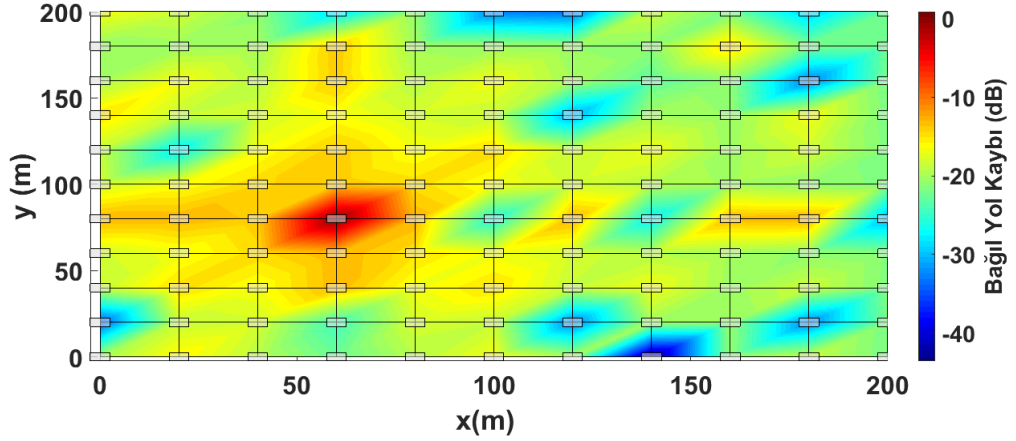


Şekil 6.60 : Vericinin (1,1) alıcı (11,11) durumu için üstten görünüm.

Baz istasyonunun rastgele oluşturulan senaryo için DKT, EK, EKDZ ve DKDZ metotları kullanılarak bembetimler yapılmıştır. 1800 MHz'de DKT metodu kullanılarak bembetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.61 ve Şekil 6.62'de gösterilmiştir.

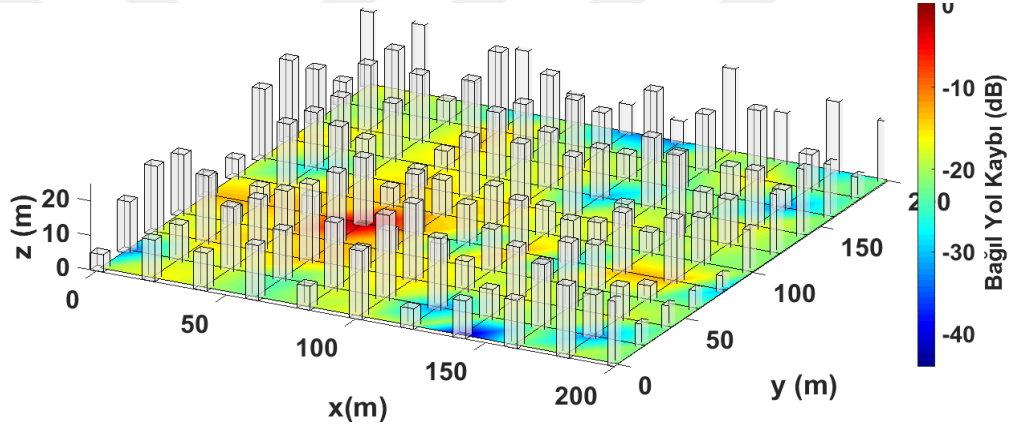


Şekil 6.61 : DKT metodunda 1800 MHz'de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

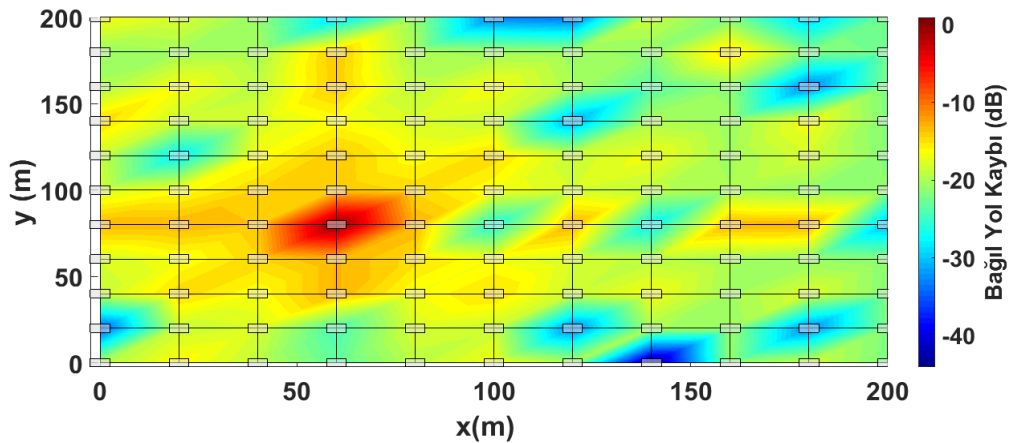


Şekil 6.62 : DKT metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

2100 MHz’de DKT metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.63 ve Şekil 6.64’te gösterilmiştir.

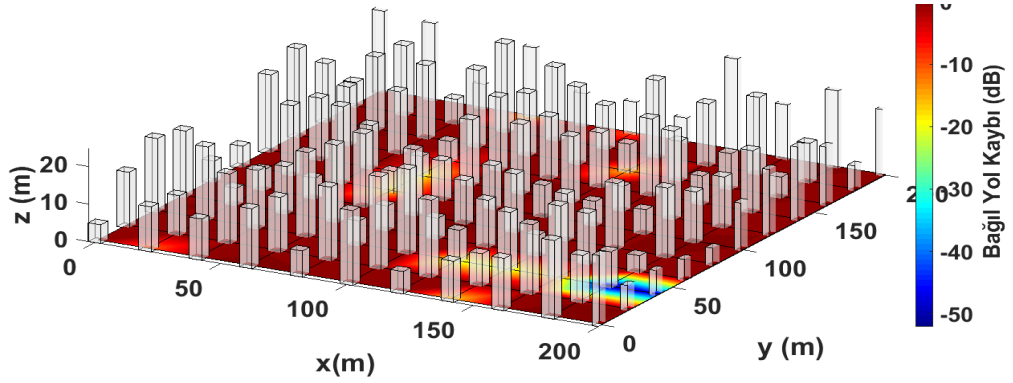


Şekil 6.63 : DKT metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

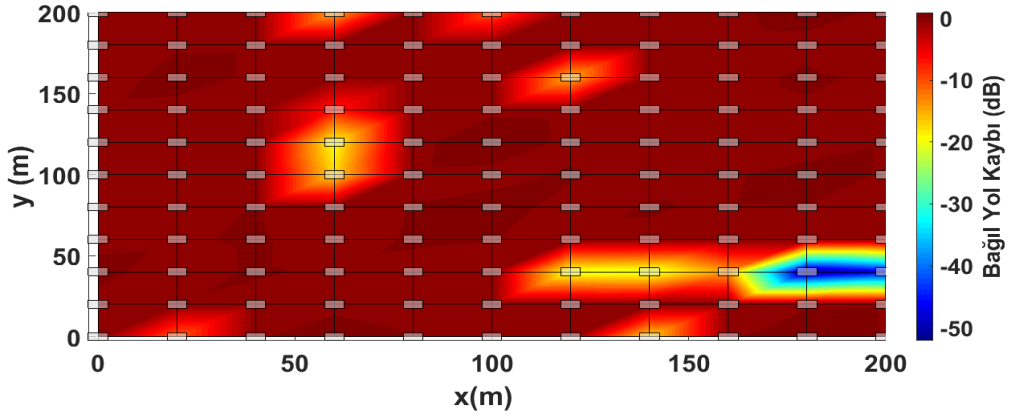


Şekil 6.64 : DKT metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

1800 MHz'de EK metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.65 ve Şekil 6.66'da gösterilmiştir.

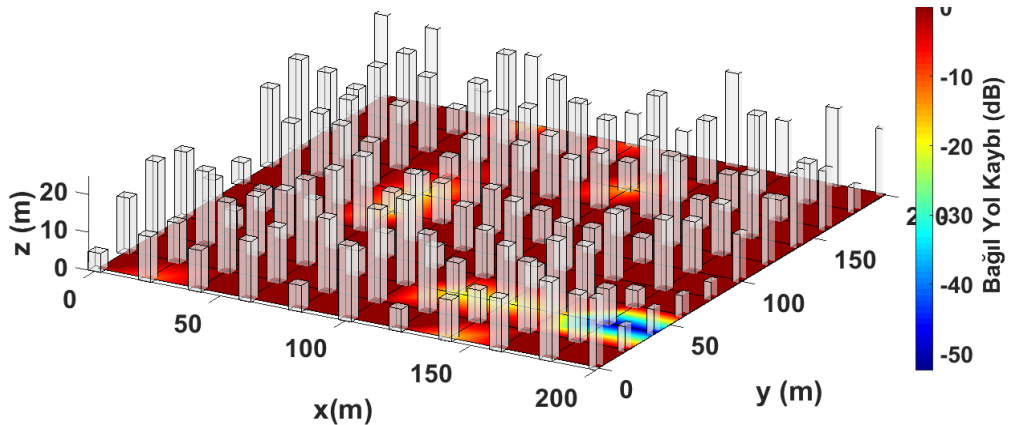


Şekil 6.65 : EK metodunda 1800 MHz'de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

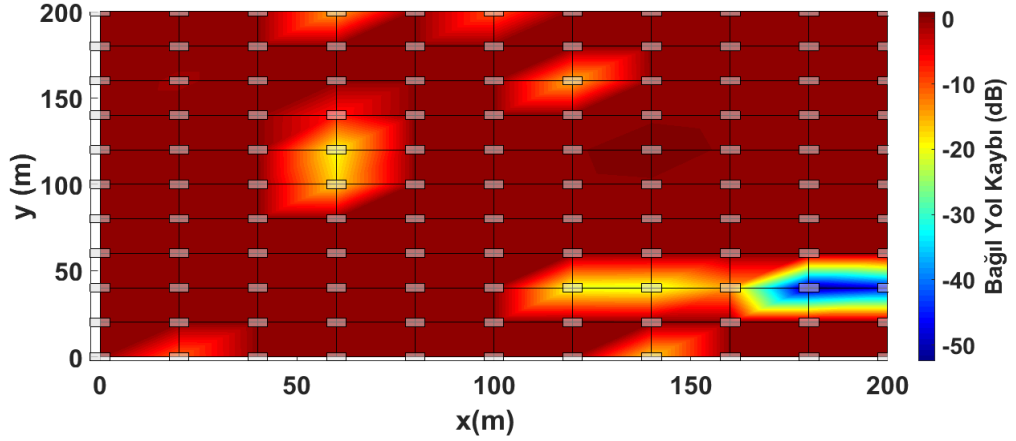


Şekil 6.66 : EK metodunda 1800 MHz'de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

2100 MHz'de EK metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.67 ve Şekil 6.68'de gösterilmiştir.

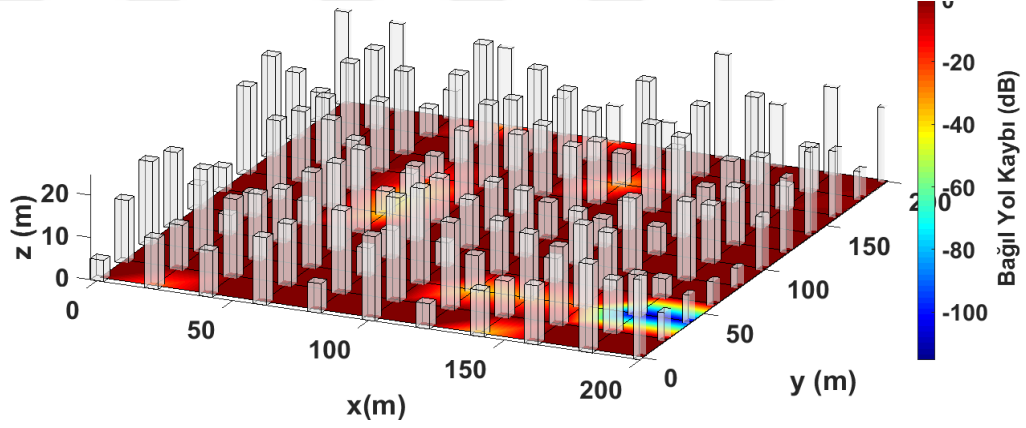


Şekil 6.67 : EK metodunda 2100 MHz'de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

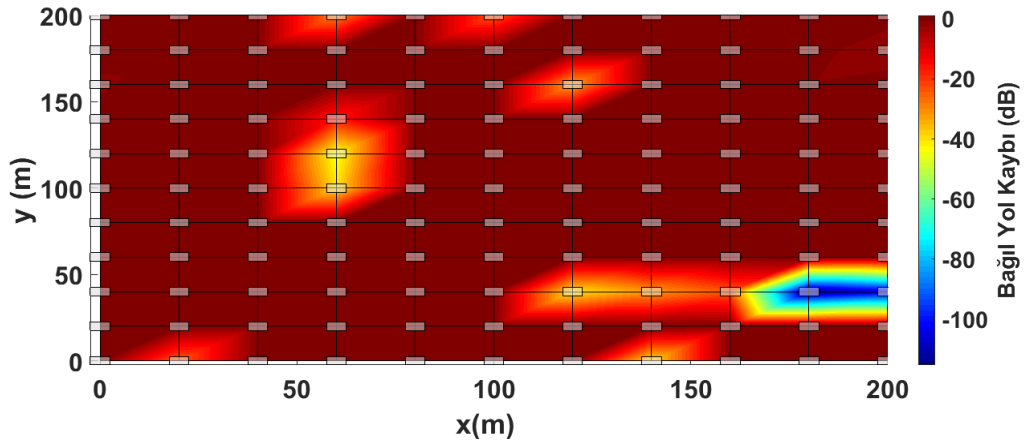


Şekil 6.68 : EK metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

1800 MHz’de EKDZ metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.69’da ve Şekil 6.70’te gösterilmiştir.

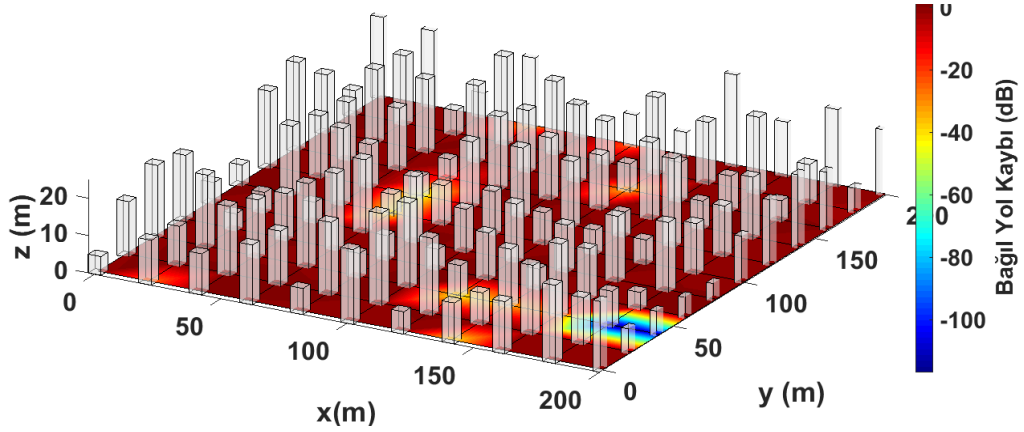


Şekil 6.69 : EKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

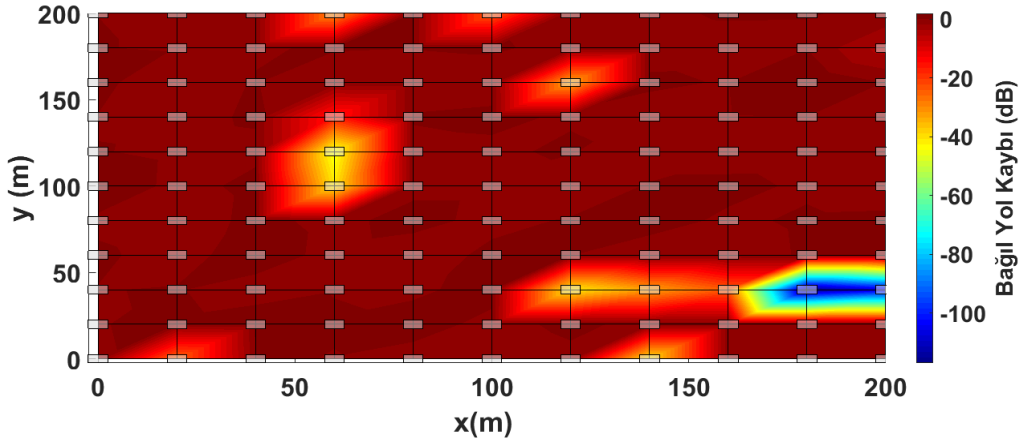


Şekil 6.70 : EKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

2100 MHz'de EKDZ metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.71 ve Şekil 6.72'de gösterilmiştir.

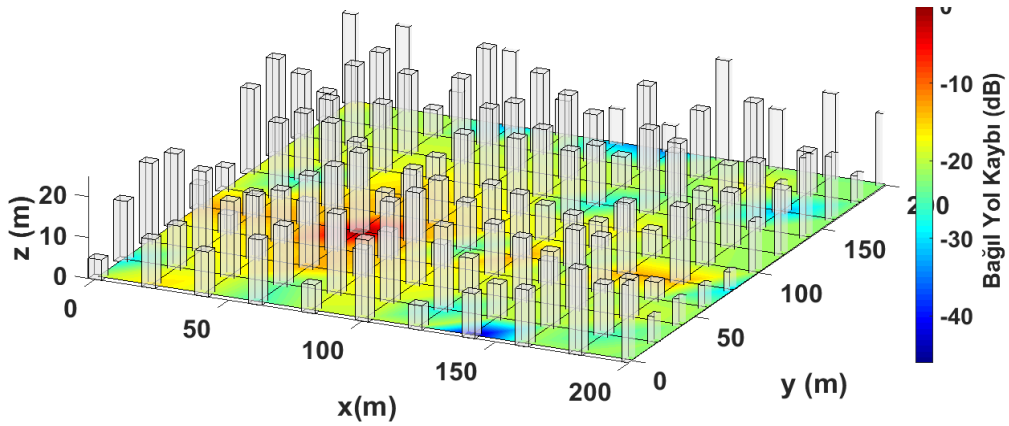


Şekil 6.71 : EKDZ metodunda 2100 MHz'de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

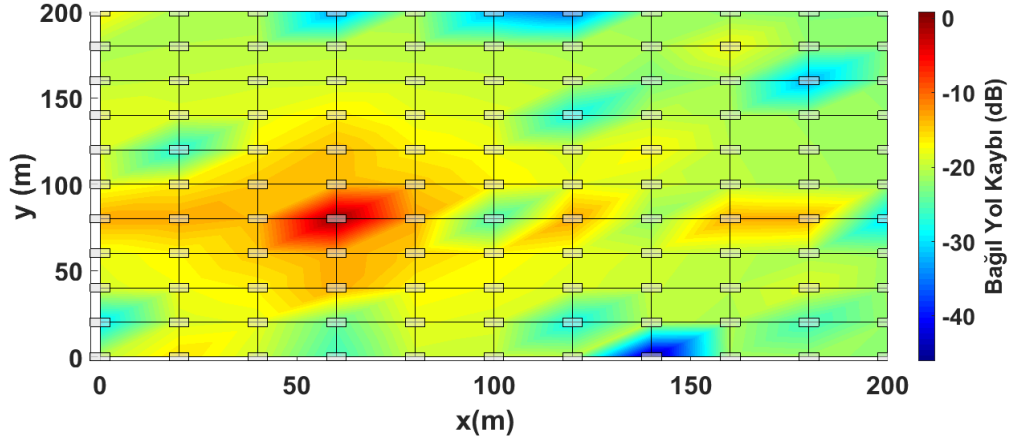


Şekil 6.72 : EKDZ metodunda 2100 MHz'de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

1800 MHz'de DKDZ metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.73 ve Şekil 6.74'te gösterilmiştir.

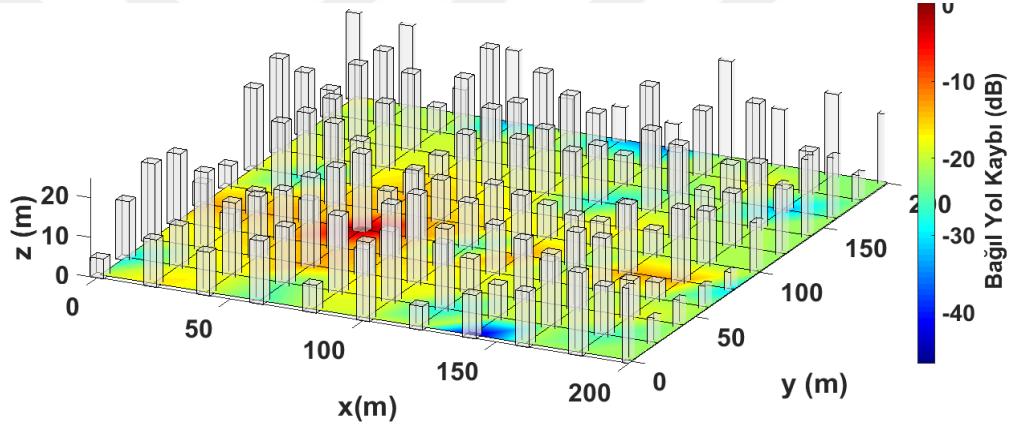


Şekil 6.73 : DKDZ metodunda 1800 MHz'de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

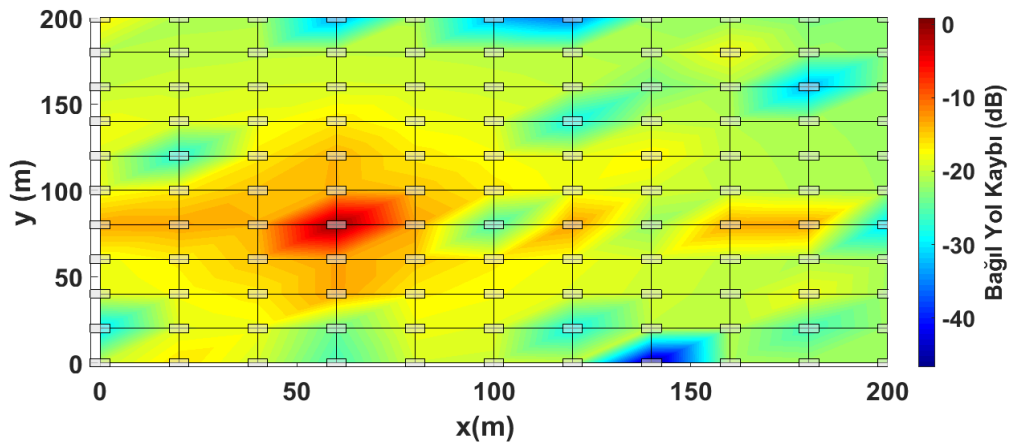


Şekil 6.74 : DKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

2100 MHz’de DKDZ metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.75’te ve Şekil 6.76’da gösterilmiştir.



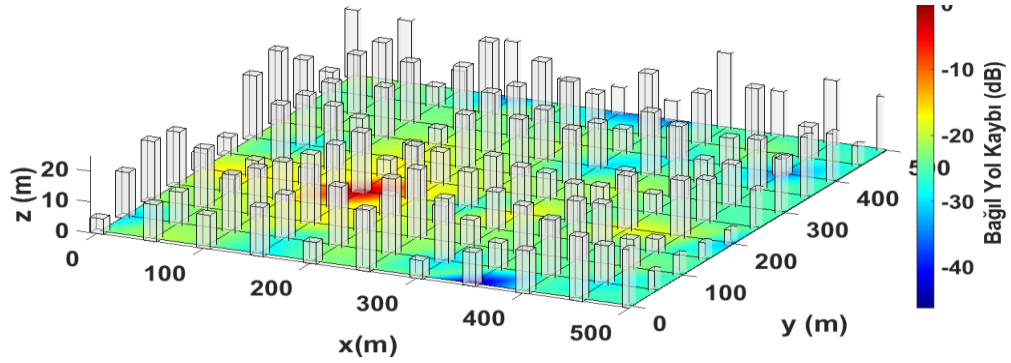
Şekil 6.75 : DKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.



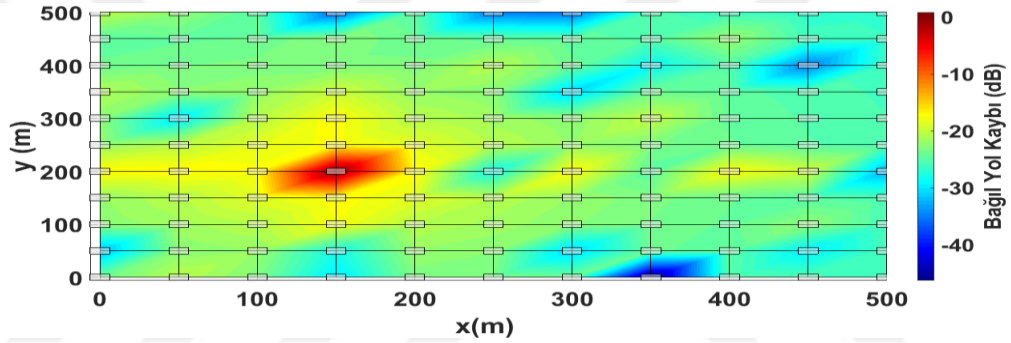
Şekil 6.76 : DKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

Bu tezde dördüncü olarak, binaların yüksekliklerinin aralığının 19-21 m ve binaların aralarındaki mesafe 50 m olması durumu için simulasyonlar gerçekleştirildi. DKT,

EK, EKDZ ve DKDZ metotları için benzetimler yapıldı. 1800 MHz’de DKT metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.77 ve Şekil 6.78’de gösterilmiştir.

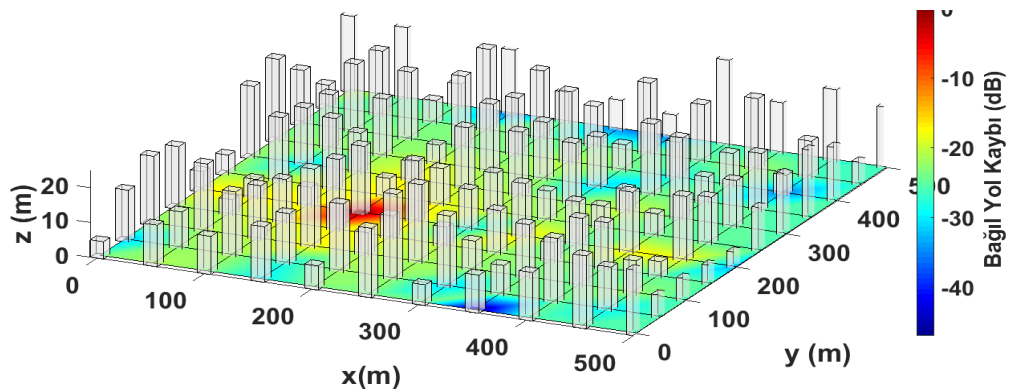


Şekil 6.77 : DKT metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

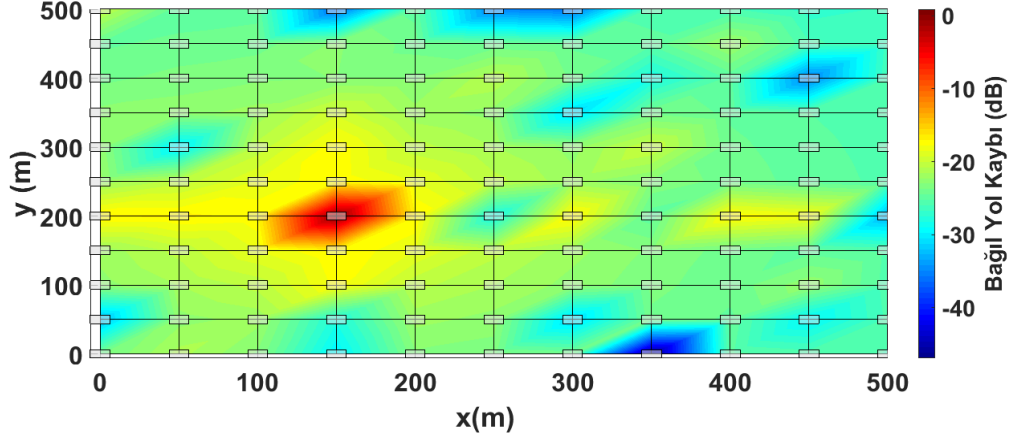


Şekil 6.78 : DKT metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

2100 MHz’de DKT metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.79’da ve Şekil 6.80’de gösterilmiştir.

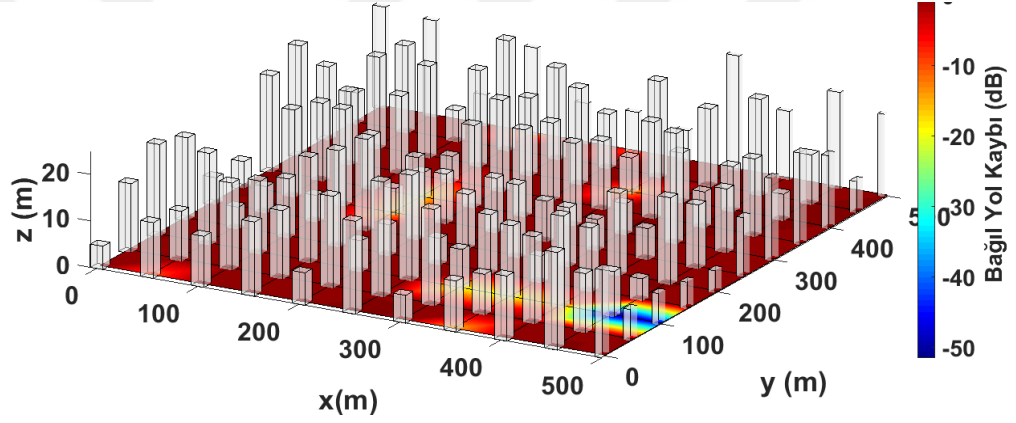


Şekil 6.79 : DKT metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

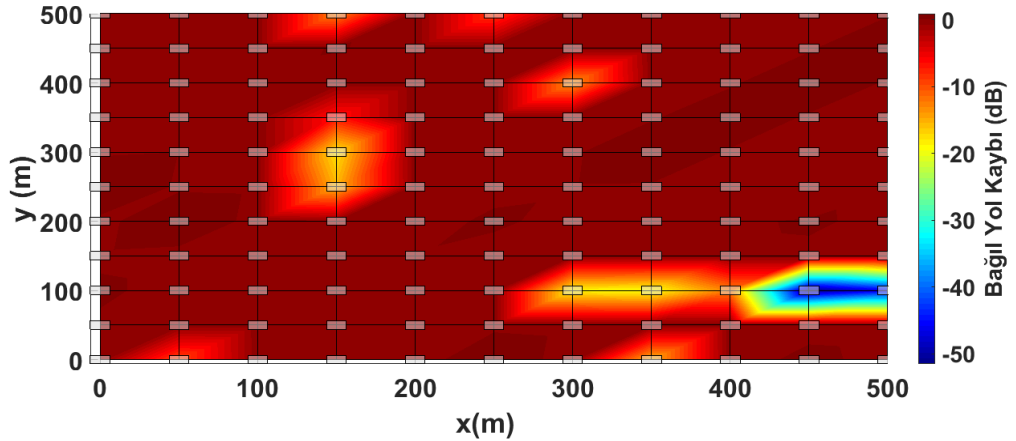


Şekil 6.80 : DKT metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

1800 MHz’de EK metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.81 ve Şekil 6.82’de gösterilmiştir.

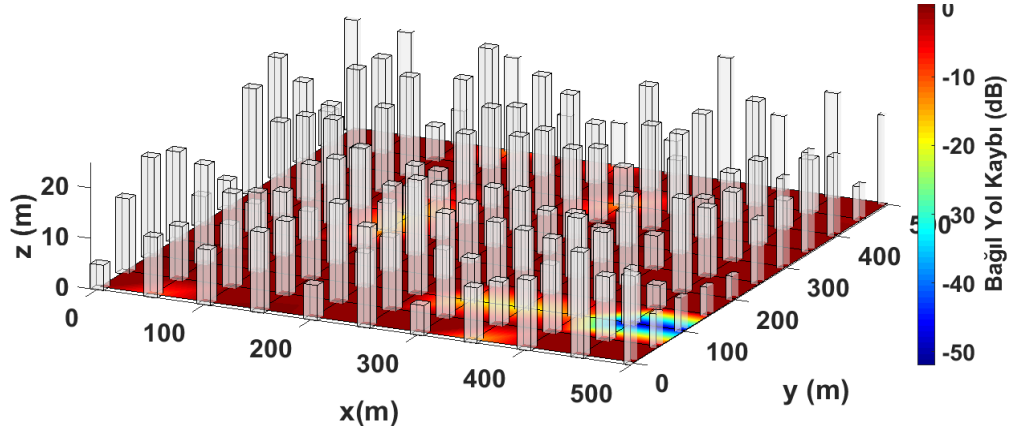


Şekil 6.81 : EK metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

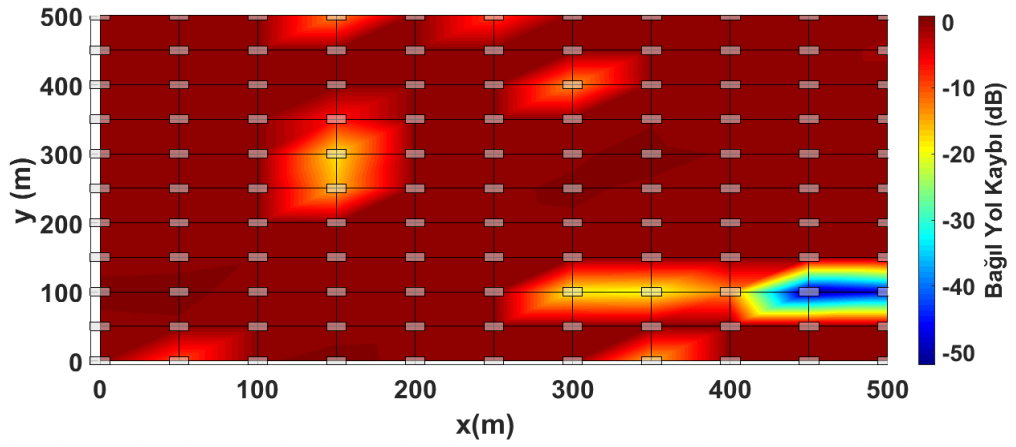


Şekil 6.82 : EK metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

2100 MHz’de EK metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.83 ve Şekil 6.84’te gösterilmiştir.

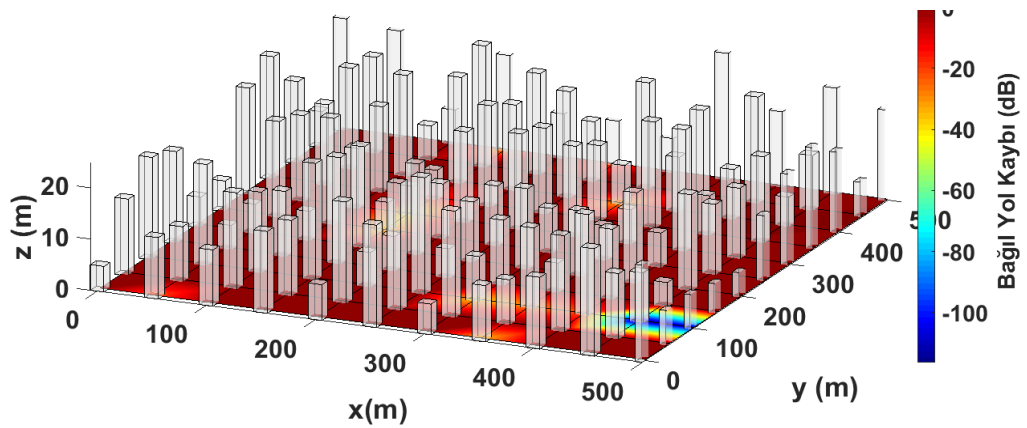


Şekil 6.83 : EK metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

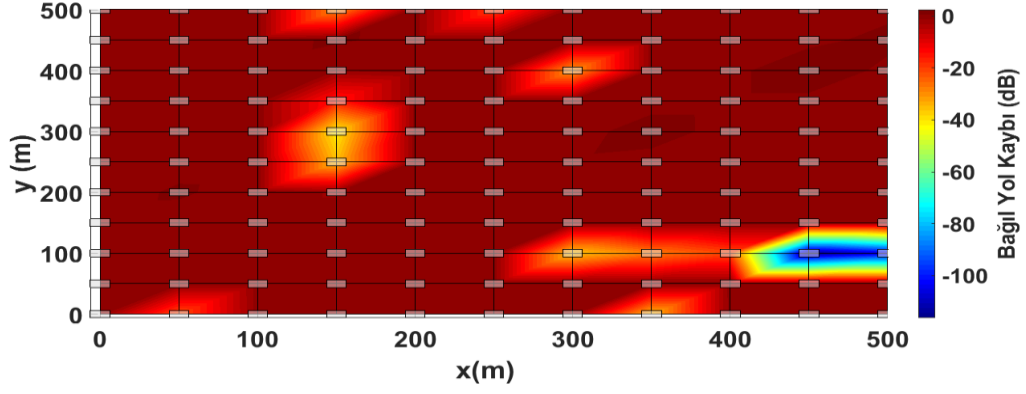


Şekil 6.84 : EK metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

1800 MHz’de EKDZ metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.85’te ve Şekil 6.86’da gösterilmiştir.

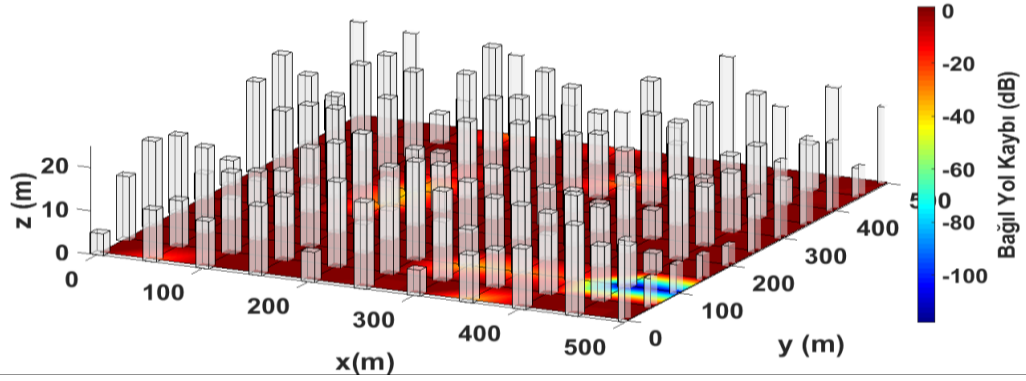


Şekil 6.85 : EKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

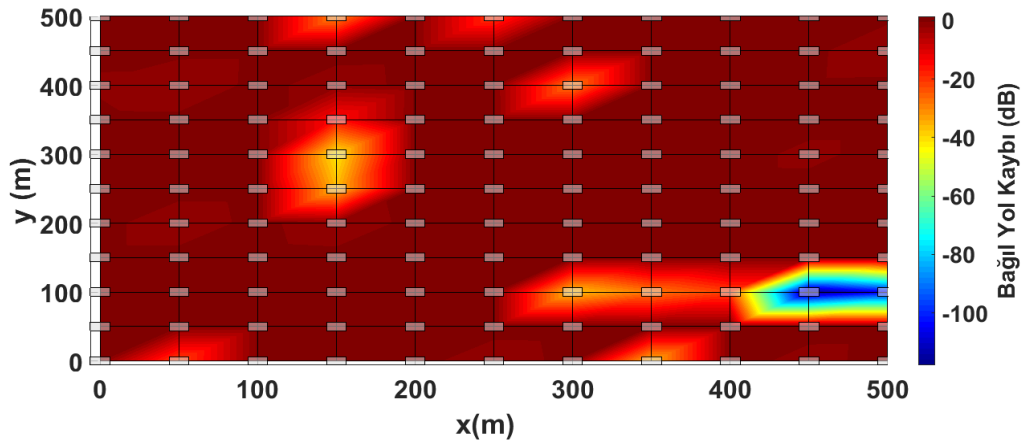


Şekil 6.86 : EKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

2100 MHz’de EKDZ metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.87 ve Şekil 6.88’de gösterilmiştir.

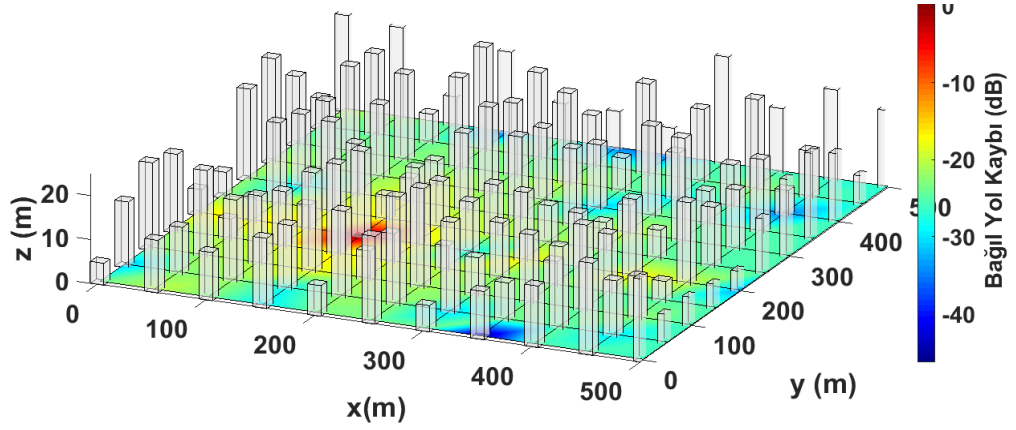


Şekil 6.87 : EKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

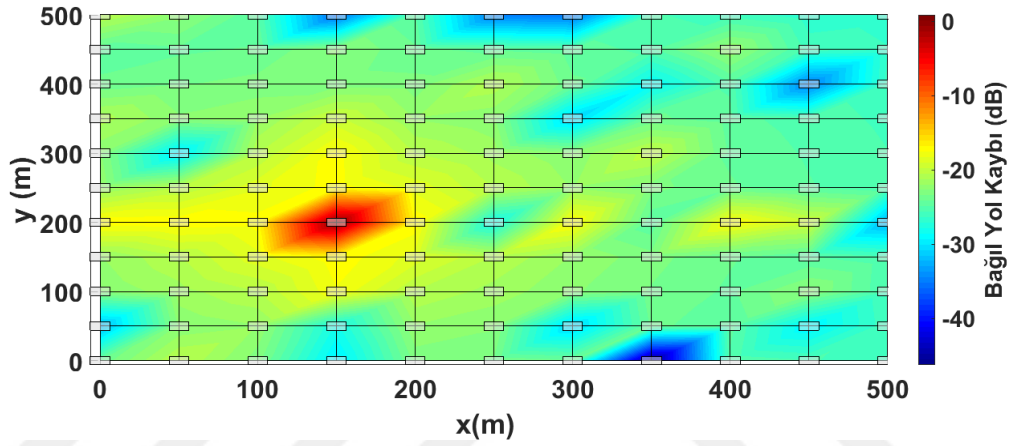


Şekil 6.88 : EKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü ve (100,200) ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

1800 MHz’de DKDZ metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.89 ve Şekil 6.90’da gösterilmiştir.

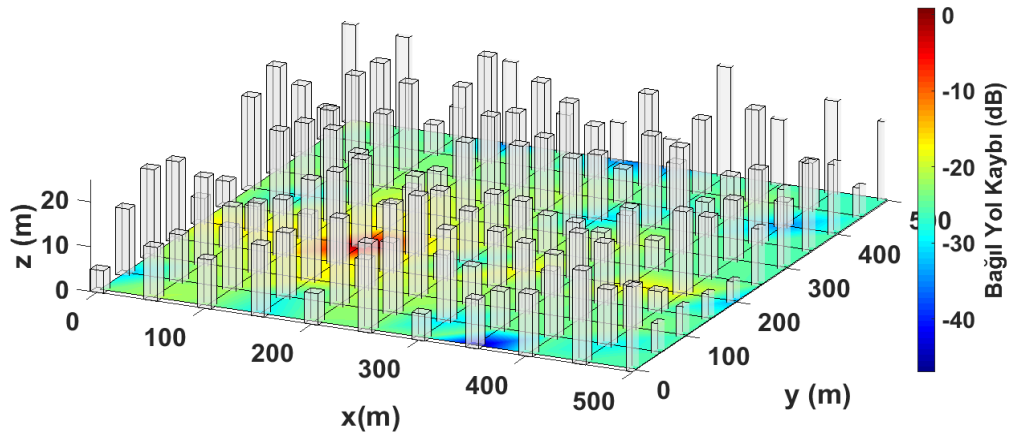


Şekil 6.89 : DKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

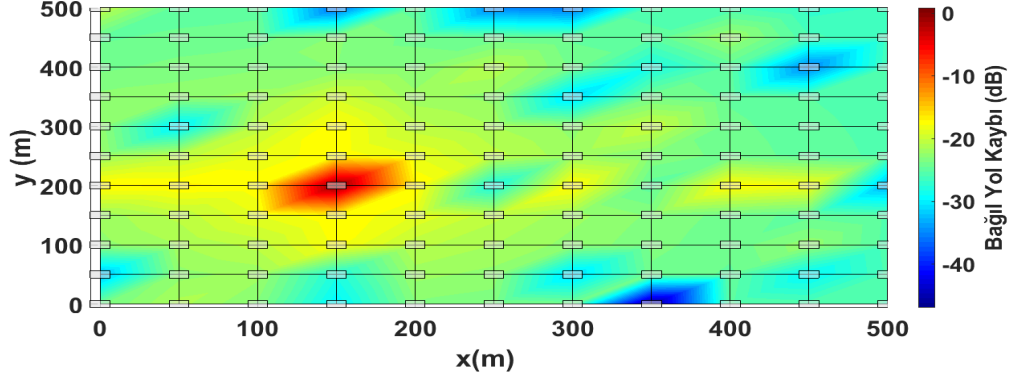


Şekil 6.90 : DKDZ metodunda 1800 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

2100 MHz’de DKDZ metodu kullanılarak benzetim yapıldığında en uygun baz istasyonu konumu 2B ve 3B olarak Şekil 6.91 ve Şekil 6.92’de gösterilmiştir.



Şekil 6.91 : DKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 3 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.



Şekil 6.92 : DKDZ metodunda 2100 MHz’de alan haritasının 2 boyutlu görünümü kırmızı renk ile belirtilen baz istasyonunun en uygun konumu.

Çizelge 6.4’te bina yüksekliklerinin 19-21 m arası atandığı durum için benzetim sonucu ile elde edilen en uygun konumlar gösterilmiştir.

Çizelge 6.4 : Bina yüksekliklerin 19-21 m arası için en uygun konumlar.

Bina aralıkları (m)	Frekans(MHz)	DKT (x,y)	EK (x,y)	EKDZ (x,y)	DKDZ (x,y)
20	1800	6,6	6,6	6,6	6,6
20	2100	5,3	5,3	5,3	6,6
50	1800	6,6	5,3	5,3	6,6
50	2100	5,3	5,3	5,3	5,3

Çizelge 6.5’te bina yüksekliklerinin 5-25 m arası atandığı durum için benzetim sonucu ile elde edilen en uygun konumlar gösterilmiştir.

Çizelge 6.5 : Bina yüksekliklerin 5-25 m arası için en uygun konumlar.

Bina aralıkları (m)	Frekans(MHz)	DKT (x,y)	EK (x,y)	EKDZ (x,y)	DKDZ (x,y)
20	1800	4,5	4,3	4,3	4,5
20	2100	4,5	4,3	4,3	4,5
50	1800	4,5	4,3	4,3	4,5
50	2100	4,5	4,3	4,3	4,5

Tezde yüksek başarımlı hesaplama kullanılarak metotlar çalıştırılmıştır. Benzetim süreleri Çizelge 6.6’da verilmiştir.

Çizelge 6.6 : DKT, EK, EKDZ ve DKTDZ metotlarının Cpu ve Gpu kullanılarak simülasyon yapıldığında geçen süreler.

METOT	DKT	EK	EKDZ	DKDZ
CPU için geçen süre	27 sn	6 dk 34.1 sn	2 dk 3.5 sn	21.1 sn
GPU için geçen süre	48 sn	8 dk 55 sn	4 dk 27.5sn	45.1 sn

7. SONUÇ

Bu tezde rastgele oluşturulan şehir senaryoları için ışın izleme tekniğine dayanan DKT, EK, EKDZ ve DKDZ metotlarına göre ayrı ayrı kapsama alan haritası çıkarılmış ve en uygun konum belirlenmiştir. Gerçek hayata uygun olması için farklı parametreler değiştirilerek öne sürülen metotların birbirlerine göre üstünlükleri ve dezavantajları tespit edilmiştir. Kapsama alanı haritasının bulunmasında ışın izleme metodundan yararlanılmıştır çünkü integral hesaplarına dayanan metotlarda simülasyon sonuçları daha kesin olmasına rağmen işlem süresi çok fazladır.

Kırınımın etkisinin şiddetli olabilmesi için gelen ve kırılan arasındaki açı 180° veya buna yakın olmalıdır. Binalar diğerlerinin geçiş bölgesine düştüğünden dolayı düzgün kırınım teorisi'nin sonuçları hatalı olmaktadır. Gölge sınırına yakın olan bölgelerde geçiş fonksiyonu 0, bu sınıra uzak olan bölgelerde 1 sonucunu vermektedir. DKT metodu çoklu kırınımında geçiş bölgelerinde hata verir. Senaryodaki bina yükseklikleri arasındaki fark çok fazla olduğunda bu hata da azalmaktadır.

DKT metodunun hatalarının giderilmesi için EK metodu kullanıldı. Bu metotta gelen elektrik alanlara ek olarak bu alanların türevsel bileşenlerinde toplam alana etkisi göz önünde bulundurulmuştur. DKT'nin geçiş bölgesindeki hatası en aza indirgenmiştir. EK metodunda uzaklık parametreleri hesaplanırken eğim ve genlik süreklilikleri sağlanmış fakat faz sürekliliği sağlanmamıştır. Bu yüzden gölge sınır bölgelerinde süreksizlikler meydana gelmiştir.

EK metodunda bina sayısı arttıkça hesaplama zamanı artmaktadır. Ayrıca kırınım sayısı 10'dan fazla olduğu durumlarda EK metodu alıcı üzerindeki bağıl yol kaybını kestirmede kesinliğini yitirmektedir. Bu metodun eksikliğini gidermek için kesinlikten daha az ödün veren fakat hesaplama zamanını düşüren EKDZ metodu kullanılmıştır.

EK metodunun kırınım sayısını azaltmak için fresnel bölgelerine dayanan dışbükey zarf (DZ) tekniği kullanıldı. Fresnel tanımında yayılan elektromanyetik dalgaların en

yoğun kısmı elipsoit içinde hareket eder. Elipsoit dışındaki elektromanyetik dalgaların kırınımına etkisi içindekilere göre çok azdır. Sonuç olarak elipsoit dışında kalan engeller kırınımına dahil edilmedi ve bu zarfa EK metodu uygulandı. Etkisi az olan elektrik alan şiddetleri çıkarılınca metodun doğruluğu azaldı fakat hesaplama süresinde artış oldu.

Engellerin yükseklikleri birbirlerine yakın olduğu zaman EK ve EKDZ metotları yaklaşık aynı sonucu vermektedir fakat EKDZ metodunun hesaplama süresi daha düşüktür. En kısa sürece sonuca ulaştıran metot DKT'dir fakat doğruluğu düşüktür. Engellerin elenmesi hesaplama süresine de katkıda bulunmaktadır. DKDZ ile de hesaplama süresini azaltmak için elektrik alan haritası çıkarılmıştır.

Bu tezde 11x11 boyutlarında bina senaryosu üzerinden metotlar Matlab üzerinden uygulanmıştır. Bina yükseklikleri birbirlerine yakın olarak rastgele atanmış ve birbirlerine uzak şekilde bir kombinasyonda yapılmıştır. Bağlı yol kaybını etkileyen faktörlerden bina yükseklik farkları, binalar arası mesafe, frekans incelendi. Frekans ve binalar arası mesafe geçiş bölgesi genişliği ile doğru orantılı artmaktadır. Bina yükseklikleri arası fark azalması geçiş bölgesi genişliği ile ters orantılıdır. Hesaplama süreleri CPU ve GPU işlemcileri üzerinden ayrı ayrı bulunmuştur fakat değişkenlerin aynı anda değiştirilmemesinden dolayı GPU'da verim düşmüştür. Çizelge 6.5 bina yükseklikleri birbirlerine çok yakın olduğunda, Çizelge 6.4 bina yükseklik farklarının fazla olduğunda simülasyon sonuçlarını göstermektedir. Çizelge 6.6'da her metot için hesaplama süreleri kıyaslanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Schneider, M. & Luebbers, R.J.** (1989). A Uniform double diffraction coefficient, *Antennas and Propagation Society International Symposium*, (ss.1270-1273). USA, June 26-30.
- [2] **Rizk, K. & Valenzuela, R. & Chizhik, D. & Gardiol, F.** (1998). Application of the slope diffraction method for urban microwave propagation prediction, *IEEE Vehicular Technology Conference*, (ss.1150-1155), Canada, May-21.
- [3] **Balanis, C.A.** (1989). *Advanced Engineering Electromagnetics*. USA: Wiley.
- [4] **Borovikov, V.A. & Kinber, B.E.** (1994). *Geometrical Theory of Diffraction*. London, UK: The Institution of Engineering and Technology.
- [5] **Ufimtsev, P.Y.** (2007). *Fundamentals of the Physical Theory of Diffraction*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons.
- [6] **Macdonald, H. M. (1912)**. The Effect Produced By An Obstacle On A Train of Electric Waves. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, 212 (484-496), 299-337.
- [7] **Graeme, L.J.** (1976). *Geometrical Theory of Diffraction for Electromagnetic Waves*. London, UK: Institution of Electrical Engineers.
- [8] **Keller, J.B.** (1962). Geometrical Theory of Diffraction, *Journal of the Optical Society of America*, 52 (2), 116-130.
- [9] **Luebbers, R.J.** (1984). Finite conductivity uniform GTD versus knife edge diffraction in prediction of propagation path loss, *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, 32, 70-76.
- [10] **Balanis, C.A. & Sevgi, L. & Ufimtsev, P.Y.** (2013). Fifty years of High Frequency Diffraction, *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 23 (4).
- [11] **Deygout, J.** (1966). Multiple knife-edge diffraction of microwaves. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 14 (4), 480-489.
- [12] **Tzaras, C. & Saunders, S.R.** (2000). Comparison of multiple-diffraction models for digital broadcasting coverage prediction, *IEEE Transactions on Broadcasting*, 46 (3), 221-226.
- [13] **Harrington, R.F.** (1968). *Field Computation by Moment Methods*. New Jersey, USA: Wiley-IEEE Press Series.
- [14] **Causebrook, J.H. & Davies, B.** (1971). Tropospheric radio wave propagation over irregular terrain: The computation of field strength for UHF broadcasting (Rapor No. 43). London: BCC Research Department.

- [15] **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, 1448–1461.
- [16] **Wang, H.** (2005). *Modeling and Wideband characterization of Radio wave propagation*. (Doktora Tezi). The University of Texas at Austin, Austin, USA.
- [17] **Rahmat-Sami, Y. & Mittra, R.** (1977). On the investigation of diffracted fields at the shadow boundaries of staggered parallel plates-A spectral domain approach, *Radio Science*, 12 (5), 659-670.
- [18] **Tiberio, R. & Kouyoumjian, R.G.** (1982). An analysis of diffraction at edges illuminated by transition region fields, *Radio Science*, 17 (2), 323-336.
- [19] **Vogler, L.** (1982). An attenuation function for multiple knife-edge diffraction, *Radio Science*, 17, 1541–1546.
- [20] **Lee, M.B.R. & Saunders, S.R. & Tzaras, C. & Montiel, E. & Scrivens, J.** (2002). The Digiplan project: Coverage prediction for digital broadcast services, *International Broadcasting Convention*, (ss.1-12). Amsterdam, September 12-17.
- [21] **Clarkowski, A. & Boersma, J. & Mittra, R.** (1984). Plane-Wave Diffraction by a Wedge-A spectral Domain Approach, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 32 (1), 20-29.
- [22] **Giovanelli, C.L.** (1984). An analysis of simplified solutions for multiple knife-edge diffraction, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 32, 297-301.
- [23] **Walfisch, J. & Bertoni, H.L.** (1988). A theoretical model of UHF propagation in urban environment, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 36 (12), 1788-1796.
- [24] **Deygout, J.** (1991). Correction factor for multiple knife-edge diffraction, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 39, 1256-1258.
- [25] **Andersen, J. B.** (1994). Transition zone diffraction by multiple edges, *IEEE Proceedings Microwave Antennas and Propagation*, 141 (5), 382-384.
- [26] **Holm, P. D.** (1996). UTD-Diffraction Coefficients for Higher Order Wedge Diffracted Fields, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 4 (6), 879-888.
- [27] **Andersen, J. B.** (1997). UTD multiple-edge transition zone diffraction, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 45, 1093–1097.
- [28] **Holm, P. D.** (2000). A new heuristic UTD Diffraction Coefficients for nonperfectly conducting wedges, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 48, 1211-1219.
- [29] **Maliuzhinets, G. D.** (1958). Excitation, reflection and emission of surface waves from a wedge with given face impedances, *Soviet Physics – Doklady*, 3 (4), 752-755.
- [30] **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.
- [31] **Chung, H. K. & Bertoni, H. L.** (2002). Range-dependent path-loss model in residential areas for the VHF and UHF bands, *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, 50 (1), 1-11.

- [32] **Chung, H.K.** (2000). *Radio Channel Studies from 30 MHz to 5 GHz* (Doktora Tezi). Graduated School Polytechnic Institute of New York University, New Jersey, USA.
- [33] **Chung, H. K and Bertoni, H. L.** (2003). Application of isolated diffraction edge method for urban microwave path loss prediction, *IEEE Vehicular Technology Conference*, (ss. 205-209), Jeju, South Korea, South Korea, April 22-25.
- [34] **Bertoni, H.L.** (2000). *Radio Propagation for Modern Wireless Systems*, Prentice-Hall, (ss. 258), New Jersey, USA, January 1.
- [35] **Holm, P. D.** (2004). Calculation of Higher Order Diffracted Fields for Multiple-Edge Transition Zone Diffraction, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 52 (5), 1350-1355.
- [36] **Rodriguez, J.V. & Molina-Garcia-Pardo, J.M. & Leandro, J.L.** (2005). An Improved Solution Expressed in Terms of UTD Coefficients for Multiple Building Diffraction of Plane Waves, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 4, 16-19.
- [37] **Koutitas, G. & Tzaras, C.** (2006). A Slope UTD Solution for a Cascade of Multishaped Canonical objects, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 54 (10), 2969-2976.
- [38] **Karousos, A. & Tzaras, C.** (2008). Multi Time-Domain Diffraction for UWB Signals, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 56 (5), 1420-1427.
- [39] **Tajvidy, A. & Ghorbani, A.** (2008). A New Uniform Theory-of-Diffraction-Based Model for the Multiple Building Diffraction of Spherical Waves in Microcell Environments, *Electromagnetics*, 28 (5), 75-387.
- [40] **Rodriguez, J.V. & Molina-Garcia-Pardo, J.M. & Leandro, J.L.** (2008). A Hybrid UTD-PO Solution for Multiple-Cylinder Diffraction Analysis Assuming Spherical-Wave Incidence, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 56 (9), 3078-3081.
- [41] **Tabakcioglu, M. B. & A. Kara.** (2009). Comparison of improved slope UTD method with UTD based methods and physical optic solution for multiple building diffractions, *Electromagnetics*, 29 (4), 303-320.
- [42] **Rodriguez, J.V. & Molina-Garcia-Pardo, J.M. & Leandro, J.L.** (2009). UTD-PO Formulation for the Multiple-Diffraction of Spherical Waves by an Array of Multimodeled Obstacles, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 8, 379-382.
- [43] **Tabakcioglu, M. B. & A. Kara.** (2010). *Improvements on Slope Diffraction for Multiple Wedges*, *Electromagnetics*, 30 (3), 285-296.
- [44] **R. He, Z. Zhong & B. Ai, K. Guan & R. Chen.** (2013). Simplified analytical propagation model for railway environments based on uniform theory of diffraction, *Electronics Letters*, 49 (6), 397-399.
- [45] **U. Jakobus et al.** (2018). Recent Advances of FEKO and WinProp, *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, (ss. 409-410). Boston, MA, USA, July 8-13.

- [46] **D. Kandimalla & A. De.** (2018). High Frequency Uniform Asymptotic Solution for Diffraction by the Edges of a Curved Plate, *IEEE Indian Conference on Antennas and Propagation (InCAP)*, (ss. 1-4). Hyderabad, India, July 25.
- [47] **Juan-Llacer, Leandro & Rodriguez, José Víctor & Molina-Garcia-Pardo, Jose-Maria & Pascual Garcia, Juan & Martinez Inglés, Mayte.** (2018). RADIOGIS: Educational software for learning the calculation of radio electric coverage in wireless communication systems, *Computer Applications in Engineering Education*, 27, doi:27. 10.1002/cae.22052.
- [48] **S. Z. Fathurrahman & E. T. Rahardjo.** (2018). Coverage of Radio Wave Propagation at UI Campus Surrounding Using Ray Tracing and Physical Optics Near to Far Field Method, *TENCON 2018 IEEE Region 10 Conference*, (ss. 1123-1126). Jeju, Korea (South), October 28-31.
- [49] **M. M. Taygur & I. O. Sukharevsky & T. F. Eibert.** (2018). A Bidirectional Ray-Tracing Method for Antenna Coupling Evaluation Based on the Reciprocity Theorem, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 66 (12). 6654-6664.
- [50] **G. P. Naga Sai & K. Suneel Kumar & S. M. Sunil Kumar & D. Kandimalla.** (2018). Quarter Wavelength Monopole Antenna on Flat Conducting Plates: Uniform Theory of Diffraction, *IEEE Indian Conference on Antennas and Propagation (InCAP)*, (ss. 1-4). Hyderabad, India, December 16-19.
- [51] **Taygur, Mehmet & Sukharevsky, Ilya & Eibert, Thomas.** (2019). Investigation of massive MIMO scenarios involving rooftop propagation by bidirectional ray-tracing, *Progress In Electromagnetics Research (PIER) C*, 91, 129-142.
- [52] **S. Hussain and C. Brennan.** (2019). Efficient Preprocessed Ray Tracing for 5G Mobile Transmitter Scenarios in Urban Microcellular Environments, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 67 (5), 3323-3333.
- [53] **Dalveren, Yaser & Kara, Ali.** (2019). Multipath Exploitation in Emitter Localization for Irregular Terrains, *Radioengineering*, 27, 473-482, doi:10.13164/re.2019.0473.
- [54] **Alp Eren Aydın & Mehmet Barış Tabakcioglu.** (2018). Determination of optimum base station location by using UTD model, *26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, (ss. 1-4). İzmir, Turkey: Altinyunus Resort and Thermal Hotel, May 2-5.
- [55] **Aydın, A. E. & Arık, E., & Tabakcioglu, M. B.** (2018). Coverage Mapping with UTD Model, *International Journal of Communication*, 3, 51–55.
- [56] **Arık, E., Aydın & A. E., & Tabakcioglu, M. B.** (2018). Base Station Location Optimization with UTD and GO Models, *International Journal of Communication*, 3, 39–42.
- [57] **Aydın, A.E. & Tabakcioglu, M.B.** (2018). En Uygun Baz İstasyon Konumunu Bulmaya Yönelik Bir Çalışma, *Akademik Bilişim*, (ss. 1-4). Karabük: Karabük Üniversitesi, Şubat 1-3.
- [58] **Ülker, B. & Aydın, A. E., & Tabakcioglu, M. B.** (2019). Determination of Optimum Base Station Location by Using S UTD Model, *5th EMC Türkiye Conference*, (ss. 1-4). İzmir: Gebze Teknik Üniversitesi, May 2-5.

[59] **A. E. Aydın & M. B. Tabakcioğlu.** (2019). A Tool Finding Optimum Base Station Location with S UTD Model, *41th Photonics Electromagnetics Research Symposium*, (ss. 171-175). Rome: Faculty of Engineering of University of Rome, June 16-20.



ÖZGEÇMİŞ

TARANMIŞ
VESİKALIK
FOTOĞRAF

Ad-Soyad : Alp Eren AYDIN
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.01.1992
E-posta : alp.eren.aydin@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016 Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2020, Bursa Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Ermaksan – Elektrik & Elektronik Mühendisi (2019 - Devam)

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Alp Eren Aydın & Mehmet Barış Tabakcıoğlu.** (2018). Determination of optimum base station location by using UTD model, *26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, (ss. 1-4). İzmir, Turkey: Altinyunus Resort and Thermal Hotel, May 2-5.
- **Aydın, A. E. & Arık, E., & Tabakcıoğlu, M. B.** (2018). Coverage Mapping with UTD Model, *International Journal of Communication*, 3, 51–55.
- **Arık, E., Aydın & A. E., & Tabakcıoğlu, M. B.** (2018). Base Station Location Optimization with UTD and GO Models, *International Journal of Communication*, 3, 39–42.
- **Aydın, A.E. & Tabakcıoğlu, M.B.** (2018). En Uygun Baz İstasyon Konumunu Bulmaya Yönelik Bir Çalışma, *Akademik Bilişim*, (ss. 1-4). Karabük: Karabük Üniversitesi, Şubat 1-3.
- **Ülker, B., Aydın, A. E., & Tabakcıoğlu, M. B.** (2019). Determination of Optimum Base Station Location by Using S UTD Model, *5th EMC Türkiye Conference*, (ss. 1-4). İzmir, Turkey, May 2-5.

- **A. E. Aydın & M. B. Tabakcioğlu.** (2019). A Tool Finding Optimum Base Station Location with S UTD Model, *41th Photonics Electromagnetics Research Symposium*, (ss. 171-175). Rome: Faculty of Engineering of University of Rome, June 16-20.

