T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DERİN ÖĞRENME KULLANILARAK HORN ANTEN IŞIMA MODELİNİN VERİYE DAYALI VEKİL MODELLENMESİ

Onur Can PİLTAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı
Haberleşme Programı

Danışman
Prof. Dr. Ahmet KIZILAY

Aralık, 2022

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DERİN ÖĞRENME KULLANILARAK HORN ANTEN IŞIMA MODELİNİN VERİYE DAYALI VEKİL MODELLENMESİ

Onur Can PİLTAN tarafından hazırlanan tez çalışması 22.12.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı Haberleşme Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ahmet KIZILAY
Yildiz Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ahmet KIZILAY, Danışman
Yildiz Teknik Üniversitesi _____

Dr. Ögr. Üyesi Alper ÇALIŞKAN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Ögr. Üyesi Ahmet Arif ULUSLU, Üye
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa _____

Danışmanım Prof. Dr. Ahmet KIZILAY sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Derin Öğrenme Kullanılarak Horn Anten Işıma Modelinin Veriye Dayalı Vekil Modellenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Onur Can PİLTAN

İmza

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 119N196 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Aileme

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği anabilim dalı Haberleşme programında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans eğitimim boyunca gösterdiği ilgi ve anlayış ile yardımlarını her zaman yanımda hissettiğim değerli danışmanım Prof. Dr. Ahmet KIZILAY'a teşekkürlerimi sunar, çalışma sürecimde destek olan Doç. Dr. Peyman MAHOUTİ' ye teşekkürlerimi iletmeyi borç bilirim.

Son olarak, eğitim hayatım boyunca bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, bu günlere gelmemdeki katkısı ve moral desteği her zaman yanımda olan aileme sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Onur Can PİLTAN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ x

TABLO LİSTESİ xi

ÖZET xii

ABSTRACT xiv

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1

1.2 Tezin Amacı 2

1.3 Hipotez 2

2 HORN ANTENLER VE HASSASİYET ANALİZİ 4

2.1 Piramit Horn Anten 5

2.1.1 Piramit Horn Anten Tasarımı 5

2.2 Hassasiyet Analizi 8

2.2.1 Hassasiyet Analizi Çıkarımları 10

3 VERİ GÜDÜMLÜ YAPAY ZEKA ALGORİTMALARI 13

3.1 Destek Vektör Makineleri 13

3.2 Gauss Süreci Regresyonu 14

3.3 Topluluk Öğrenimi 15

3.4 Çok Katmanlı Algılayıcılar 17

3.5 Modifiye Edilmiş Çok Katmanlı Algılayıcılar 18

4 YAPILAN ÇALIŞMALAR 20

4.1 Veri Setinin Üretimi 21

4.2 Veri Güdümlü Vekil Modele Dayalı Tasarım Optimizasyonu 21

4.3 Deneysel Sonuçlar 26

5 SONUÇ VE ÖNERİLER **28**

KAYNAKÇA **30**

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **34**

SİMGE LİSTESİ

C_i	Ağırlıklar
λ	Dalga boyu
a	Dalga Kılavuzunun Genişliği
r	Dalga Kılavuzunun Uzunluğu
b	Dalga Kılavuzunun Yüksekliği
f	Frekans
d	Hassasiyet Değeri
A	Horn Açıklığının Genişliği
R	Horn Açıklığının Uzunluğu
B	Horn Açıklığının Yüksekliği
θ	X-Z Düzlemi Boyunca Hüzme Yönü

KISALTMA LİSTESİ

2B	İki Boyutlu
3B	Üç Boyutlu
BAÇO	Bal Arısı Çiftleşme Optimizasyonu
ÇKA	Çok Katmanlı Algılayıcı
DVM	Destek Vektör Makineleri
EM	Elektromanyetik
ESA	Evrişimli Sinir Ağları
GSR	Gauss Süreci Regresyon
MÇKA	Modifiye Edilmiş Çok Katmanlı Algılayıcı
OMH	Ortalama Mutlak Hata
RTF	Radyal Temel Fonksiyon
TÖ	Topluluk Öğrenmesi
YZ	Yapay Zeka

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Piramit horn antenin parametre gösterimi 5
Şekil 2.2 Tasarlanan X bant piramit horn antenin S_{11} grafiği [21] 7
Şekil 2.3 X bant piramit horn antenin ışıma diyagramı [21] 7
Şekil 2.4 Dalga kılavuzu (r) uzunluğunun kazanç değerine etkisi 9
Şekil 2.5 Horn genişliğinin (A) kazanç değerine etkisi [21] 9
Şekil 2.6 Horn yüksekliğinin (B) kazanç değerine etkisi [21] 10
Şekil 2.7 Horn uzunluğunun (R) kazanç değerine etkisi [21] 11
Şekil 3.1 Temel DVM sınıflandırıcı gösterimi [27] 13
Şekil 3.2 Torbalama yönteminin çalışma şeması [31] 16
Şekil 3.3 Yükseltme yönteminin çalışma şeması [31] 16
Şekil 3.4 Çok katmanlı algılayıcıların yapısı 18
Şekil 4.1 Yapılan çalışmanın akış diyagramı 20
Şekil 4.2 Vekil modelin giriş ve çıkış parametreleri 22
Şekil 4.3 Durum 1 için: (a) Tasarlanan anten, (b) S_{11} grafiği, (c) Kazanç grafiği 24
Şekil 4.4 Durum 2 için: (a) Tasarlanan anten, (b) S_{11} grafiği, (c) Kazanç grafiği 24
Şekil 4.5 Durum 3 için: (a) Tasarlanan anten, (b) S_{11} grafiği, (c) Kazanç grafiği 25
Şekil 4.6 Deney için tasarlanmış anten 26
Şekil 4.7 Antenin tahmin edilen, simüle edilen ve ölçülen kazanç karakteristikleri (a) f = 8 GHz (b) f = 10 GHz (c) f = 12 GHz (d) f = 14 GHz 27

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 WR90 dalga kılavuzu [24] 6
Tablo 2.2 Piramit horn parametre değerleri 6
Tablo 3.1 XOR Problemi 17
Tablo 4.1 Veri seti parametreleri ve sınır değerleri 21
Tablo 4.2 Vekil modeller ve performans sonuçları 23

ÖZET

Derin Öğrenme Kullanılarak Horn Anten Işıma Modelinin Veriye Dayalı Vekil Modellenmesi

Onur Can PİLTAN

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ahmet KIZILAY

Horn anten tasarımları, ultra geniş bant çalışma aralığının talep edildiği birçok uygulamada tercih edilmektedir. Horn anten tasarlanırken, saçılma parametreleri özellikleri, girişteki verimsizliğin gerçekleşen kazancı büyük ölçüde düşüreceği önemli bir tasarım ölçüsüdür. Bununla birlikte, tasarımın ışıma karakteristiğinin saçılma parametreleri davranışından bağımsız olarak değiştirilebildiği yüksek performanslı sonuçlara sahip bir antene sahip olmak için saçılma parametreleri gereksinimini karşılamak yeterli değildir. Bir tasarım yüksek verimlilikte tasarlanmış olabilir ancak ışıma karakteristikleri kabul edilebilir olmayabilir. Ayrıca, üretim maliyetini doğrudan etkileyen ve olası uygulamaları sınırlayan bu özelliklerin yanı sıra tasarımın boyutu ve hacmi gibi başka tasarım hususları da vardır. Bu çalışmada, veri güdümlü vekil modelleme kullanılarak, istenen uygulama limitleri içinde veya sınırları içinde küçük olmanın yanı sıra yüksek ışıma performansına sahip horn antenler için hesaplama açısından verimli bir tasarım optimizasyonu süreci elde etmek amaçlanmaktadır. Burada tasarımın geometrik tasarım değişkenleri, çalışma frekansı ve yayılım yönü girdi olarak, tasarımın gerçekleşen kazancı ise vekil modelin çıktısı olarak alınacaktır. Derin Öğrenme de dahil olmak üzere bir dizi güçlü ve yaygın olarak kullanılan yapay zeka algoritmaları, ele alınan problem için veriye dayalı bir vekil model temsili oluşturmak için kullanılmıştır. Çalışılan optimizasyon probleminin doğrulanması için, optimum şekilde tasarlanmış bir antenin üç boyutlu (3B) yazıcı kullanılarak prototipi yapılmış ve deneysel sonuçlar, vekil model sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zeka, derin öğrenme, veri güdümlü modelleme, vekil modelleme, optimizasyon

ABSTRACT

Data Driven Surrogate Modelling of Horn Antennas Radiation Pattern Using Deep Learning

Onur Can PİLTAN

Department of Electronic and Communication Engineering
Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet KIZILAY

Horn antenna designs are favoured in many applications where ultra wide-band operation range alongside of a high performance radiation pattern characteristics are requested. Scattering-parameter characteristics of antennas is an important design metric, where inefficiency in the input would drastically lower the realized gain. However, satisfying the requirement for scattering parameters are not enough for having an antenna with high performance results, where the radiation characteristic of the design can be changed independently than the scattering parameters behaviour. A design might have a high efficiency performance, but the radiation characteristics might not be acceptable. Furthermore there are other design considerations such as size and volume of the design alongside of these conflicting characteristics, which directly affect the manufacturing cost and limits the possible applications. In this work, by using data driven surrogate modelling, it is aimed to achieve a computationally efficient design optimization process for horn antennas with high radiation performance alongside of being small in or within the limits of the desired application limits. Here, the geometrical design variables, operation frequency and radiation direction of the design will be taken as the input while the realized gain of the design is taken as the output of the surrogate model. Series of powerful and commonly used artificial intelligence algorithms including Deep Learning had been used to create a data driven surrogate model representation in consideration the problem. As for the verification of the studied optimization problem, an optimally designed antenna is prototyped via the use of three dimentional (3D) printer and the experimental results ware compared with the results of surrogate model.

Keywords: Artificial intelligence, deep learning, data driven modelling, surrogate modelling, optimization

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Kablosuz iletişim sistemlerinin gelişmesiyle, yüksek performanslı kompakt ve verimli anten tasarımına duyulan ihtiyaç artmıştır. Kablosuz iletişim sistemlerinin temel bileşeni olan antenlerin uygulama amacına göre kazanç, ışıma diyagramı, çalışma bandı ve geri dönüş kaybı gibi performans ölçütlerinin belirli düzeylerde olması gerekmektedir [1]. Boyutlarına göre antenler genellikle iki şekilde tanımlanır: (i) mikroşerit yama antenler gibi düzlemsel [2, 3] veya 2B antenler ve (ii) horn antenler gibi karmaşık 3B antenler [4–7]. Belirtilen yapılardaki antenlerin, performans ölçütleri açısından, kendi avantajları ve dezavantajları vardır. Mikroşerit yapıdaki antenler daha az tasarım alanı ve hacmi gerektirdiğinden üretim maliyeti düşüktür ancak sınırlı bant genişliğine ve yalnızca dizi tasarımı ile iyileştirilebilen düşük kazanç değerlerine sahiptir [1]. Horn anten yapılarında mikroşerit antenlere kıyasla daha büyük tasarım hacmi gereklidir. Ancak horn antenler daha iyi ışıma özelliklerine, kazanç değerlerine ve bant genişliğine sahiptir [8]. Bu özellikleri nedeniyle yüksek performanslı ışıma diyagramı özelliklerinin yanısıra ultra geniş bant çalışma aralığının talep edildiği birçok uygulamada horn anten tercih edilir [9].

Anten tasarımlarında saçılma parametreleri büyük önem teşkil eder. Özellikle ultra geniş bantlı antenlerde anten girişinde oluşan verimsizlik, antenin kazancını ve dolayısıyla ışıma performansını büyük ölçüde düşürür. Ancak ultra geniş bant anten tasarımlarında, yalnızca saçılma parametreleri gereksinimini karşılamak yeterli olmaz. Amaçlanan tasarım, istenen saçılma parametreleri özelliklerine sahip olduğunda, ışıma performansı istenen düzeyde olmayabilir. Bundan dolayı tasarımın ışıma performansı, saçılma parametresinden bağımsız olarak incelenebilir. Ayrıca bu özellikler dışında, anten tasarımının kullanılabileceği olası uygulamaları sınırlandıran ve üretim maliyetini doğrudan etkileyen, tasarımın boyutu ve hacmi gibi dikkate alınması gereken başka parametreler vardır [10–13]. Bu nedenle, istenen performans ölçütlerini sağlayan horn antenin tasarımı, karmaşık ve zorlu bir problemdir.

Bu gereksinimlerin karmaşık bir tasarımda uygulanması ancak doğru bir elektromanyetik (EM) karakterizasyonunun kullanılmasıyla elde edilebilir. Bunun için tam dalga EM analizi yapabilen tasarım araçları zorunlu hale gelmiştir. EM simülasyonlar, yüksek hassasiyette ölçüm sağlama avantajına rağmen, optimizasyon ve tolerans analizleri gibi hesaplama açısından büyük ve karmaşık problemlerin çözümünde dezavantajlıdır.

Veri güdümlü vekil modelleme, yüksek maliyetli ve hesaplama açısından verimsiz tam dalga EM modellemenin getirdiği dezavantajların üstesinden gelmek için etkili çözüm yöntemlerinden biridir. Saçılma parametreleri [14, 15], yansıtıcı dizi antenlerin yansıma fazı [16], karakteristik empedans [17] ve anten tasarımlarının rezonans frekansı tahmini [18–20] gibi aşamaların hesaplanmasında düşük maliyetli bir yöntem olarak, yüksek frekanslı cihazların tasarım prosedüründe kullanımını kanıtlamıştır.

1.2 Tezin Amacı

Anten tasarımlarında saçılma parametresi özellikleri, antenin kazancını etkileyen temel parametrelerden biridir. Ancak yüksek performanslı bir antene sahip olmak için saçılma parametreleri gereksinimini karşılamak yeterli değildir. Yapılan tasarım yüksek verimde çalışabilir ancak ışıma performansı istenen düzeyde olmayabilir. Ayrıca üretimde sınırlandırılan antenin boyutu ve hacmi, istenen koşulları sağlamalıdır.

Bu çalışmada veri güdümlü vekil modelleme kullanılarak, istenen uygulama limitleri içerisinde küçük olmanın yanı sıra yüksek ışıma performansına sahip horn antenler için hesaplama açısından verimli bir tasarım optimizasyonu süreci elde etmek amaçlanmıştır.

Derin öğrenme de dahil olmak üzere sıklıkla kullanılan bir dizi yapay zeka algoritmaları, ele alınan problem için veri güdümlü bir vekil model temsili oluşturmak için kullanılmıştır.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada, ilk olarak X bantta çalışan bir piramit horn anten temel alınarak hassasiyet analizi yapılacak ve istenen uygulama limitleri içerisinde antenin örnek uzayı belirlenecektir. Daha sonra bu örnek uzayı içerisinde, farklı boyutlardaki horn antenlerin üç boyutlu modelleri, üç boyutlu EM tam dalga simülatörlerinde modellenerek gerekli veri setleri oluşturulacaktır.

Tasarımın geometrik parametreleri, çalışma frekansı ve ışıma yönü girdi olarak, tasarımın kazancı ise vekil modelin çıktısı olarak alınacaktır. Ardından optimizasyon sürecinde, vekil modellerin hiper parametre belirlemesi için Bayes Optimizasyon algoritması kullanılırken, Bal Arısı Çiftleşme Optimizasyonu ise verilen kriterler için horn antenin optimum tasarım değişkeninin belirlenmesi için kullanılır.

Son olarak önerilen hipotezin doğrulanması için, 3B yazıcı teknolojisi ile tasarlanan anten prototiplenir ve deneysel sonuçlar vekil modelin sonuçlarıyla karşılaştırılır.

2
HORN ANTENLER VE HASSASİYET ANALİZİ

Mikrodalga anten türlerinde, sıklıkla kullanılan antenlerden birisi olan horn antenler üzerine ilk çalışmalar 1800'lü yılların sonunda ortaya çıkmıştır. Daha sonra, İkinci Dünya Savaşı ile birlikte ihtiyaçtan dolayı artan önemi ile birlikte horn anten yapıları üzerine bu yıllardan itibaren birçok çalışma yapıldığı gözlemlenmektedir [1].

Horn antenlerin önemi, farklı kullanım alanları olmasıyla ilişkilendirilebilir. Geniş radyo astronomisi, uydu takibi, radar, test ve besleme gibi kullanım alanları bu duruma örnektir. Ayrıca, yüksek kazançlı antenlerin, ölçüm ve kalibrasyonları için evrensel standart elemanı olarak kullanılır. Horn antenlerin yaygın kullanılmasındaki tasarımsal sebepler ise, tasarımın ve uygulanabilirliğin basitliği, çok yönlülüğü, yüksek kazanç ve performans sağlaması olarak açıklanabilir [1].

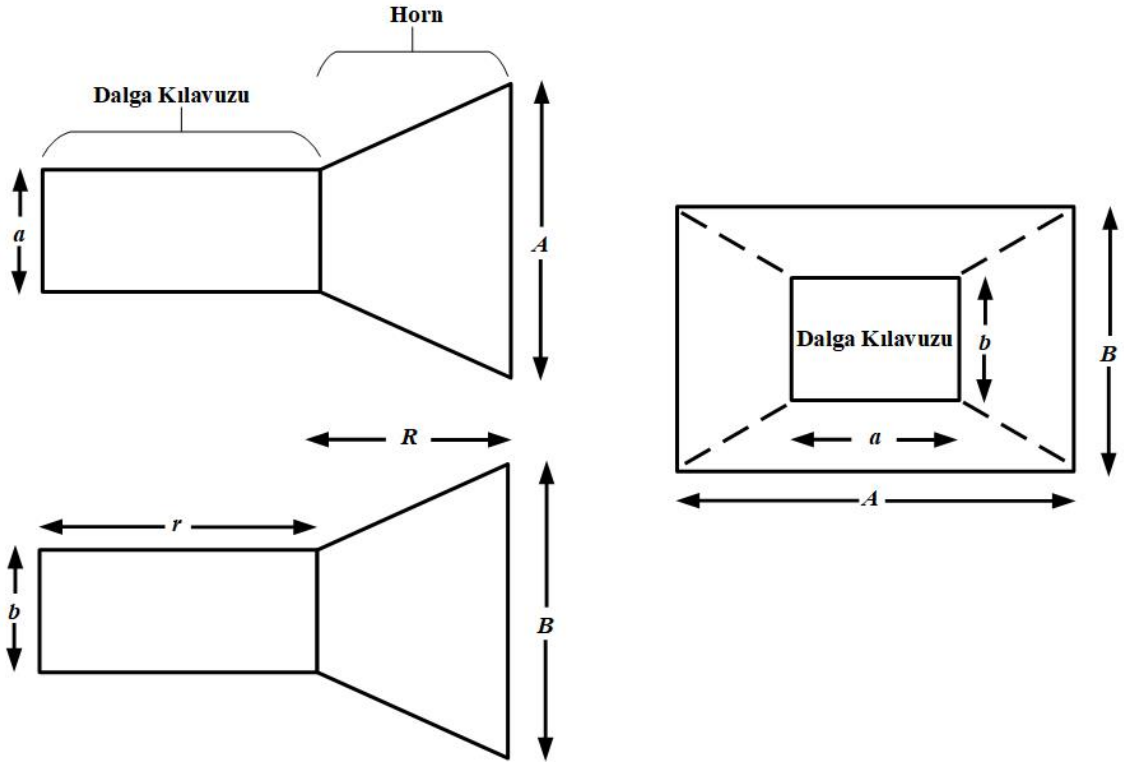
Mikrodalga sistemlerine artan ilgiyle birlikte horn antenlerin sağladığı avantajlar birleştiğinde, horn antenler üzerine çalışmalar artmış ve birçok yayın yapılmıştır. Bu çalışmalar genellikle horn antenlerin tasarım yöntemleri, ışıma performansı ve uygulamaları üzerinedir. Yapılan çalışmalar, horn geometrisinin biçimi, yönü ve sivriltme miktarının antenlerin ışıma karakteristiklerini etkilediğini göstermektedir [21].

Anten tasarımları yapılırken antenin davranışı iki temel parametre ile incelenebilir. Bunlar, antenin hangi frekans aralığında çalıştığını gösteren saçılma parametreleri ile hangi yönde ne kadar kazançla ışıma yaptığını gösteren antenin ışıma diyagramıdır. Bu parametreler, antenin geometrik yapısının değişiminde oluşacak etkinin gözlemlenmesini sağlar.

Bu çalışma için incelenecek horn anten yapısı, piramit horn antendir. Bu bölümde piramit horn anten yapısı incelenecek ve yapay zeka tabanlı veri güdümlü modellemeler için gerekli olan hassasiyet analizleri yapılacaktır.

2.1 Piramit Horn Anten

Piramit horn anten, horn açıklığının dikdörtgensel yapıda olduğu anten tipidir. Piramit horn tasarımında, anteni oluşturan yapı iki kısımdan oluşur: Dalga kılavuzu (besleme) kısmı ve horn açıklığı kısmı.



Şekil 2.1 Piramit horn antenin parametre gösterimi

Şekil 2.2'de piramit horn anten yapısı gösterilmiştir. Piramit horn antenin geometrik yapısını gösteren parametreler, dalga kılavuzu kısmı için genişliği (a), yüksekliği (b) ve uzunluğu (r), aynı şekilde horn kısmı için genişliği (A), yüksekliği (B), uzunluğu (R) ifade eden yapılardır.

Horn geometrisinin yapısal parametrelerini hesaplamak için bir dizi işlem gereklidir. Bu işlem dizilerinden en sıklıkla kullanılanları, C. Balanis'in "Antenna Theory and Design" kitabında gösterilen iterasyon yöntemi [1] ile K.T. Selvan'nın "Accurate Design Method for Optimum Gain Pyramidal Horns" isimli makalesindeki eski ve yaklaşık çözüm üreten yöntemdir [22].

2.1.1 Piramit Horn Anten Tasarımı

Piramit horn anten tasarlanırken, yapısal parametrelerin belirlenmesi için ilk olarak antenin hangi frekans aralığında çalışması gerektiği ve antenden beklenen kazanç değeri belirlenmelidir. Bu değerler belirlendikten sonra, çeşitli yöntemler kullanılarak antenin yapısal parametre değerleri hesaplanabilir [21].

Tasarlanacak olan piramit horn antenin çalışması istenen bant aralığı, 8.20 GHz ile 12.40 GHz frekans aralığında çalışan X banttır. X bant genellikle sivil, askeri ve devlet kurumlarında hava durumu izleme, hava trafik kontrolü, deniz aracı trafik kontrolü, savunma takibi ve kolluk kuvvetleri için araç hız tespitinde kullanılmaktadır. Geniş radyo astronomisi, uydu takibi, radar, test ve besleme gibi farklı amaçlarla sıklıkla kullanılmaktadır [23].

Frekans bantları için farklı dalga kılavuzu sistemleri, uluslararası standartlar ile belirlenmiştir. X bant aralığı için, WR90 dalga kılavuzu standartı kullanılmaktadır. WR90 dalga kılavuzunun çalışma frekansı, genişliği (a) ve yüksekliği (b) Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1 WR90 dalga kılavuzu [24]

Dalga Kılavuzu	**Çalışma Frekansı[GHz]**	***a* inç [mm]**	***b* inç [mm]**
WR90	8.20 - 12.40	0.9 [22.86]	0.4 [10.16]

Piramit horn antenin dalga kılavuzu parametrelerinden olan genişlik ve uzunluk parametreleri, uluslararası standartlar tarafından sabit olduğundan dolayı, hesaplanması gereken parametreler horn parametreleri olacaktır. Bunun için gerekli olan anten kazancı değeri ile merkez frekans değeri hesaplanmalıdır.

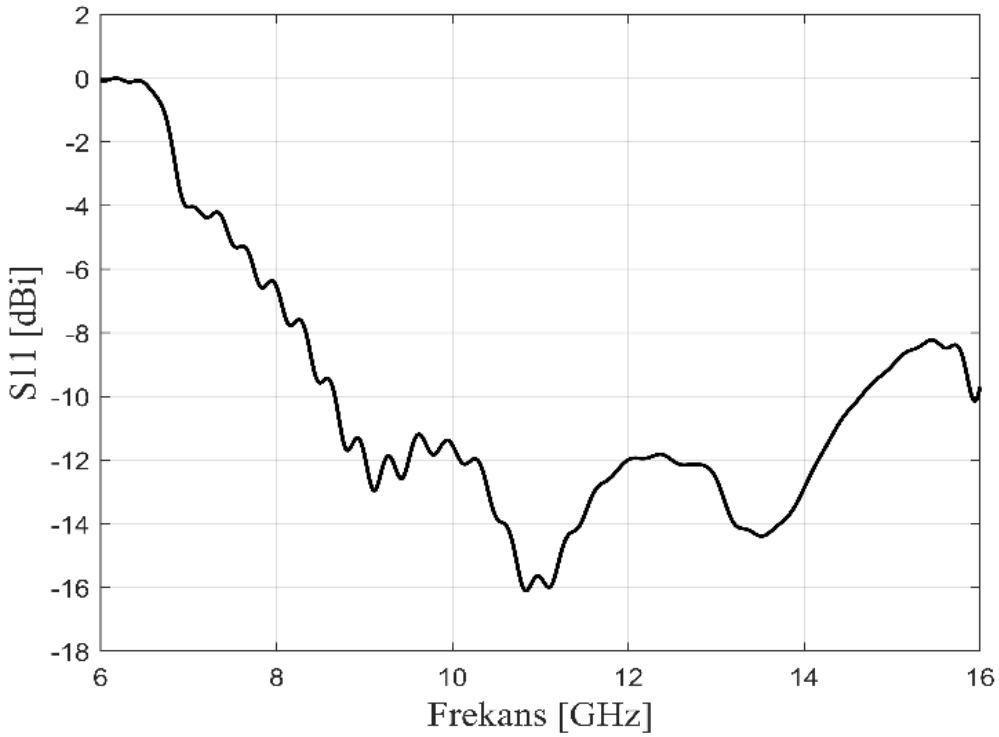
X bant frekans aralığı için merkez frekans yaklaşık olarak $f_m = 10$ GHz olarak alınabilir. Kazanç değeri ise bu çalışma için $G = 200$ (yaklaşık olarak $G = 23.01$ dB) olarak alınmıştır. İlgili kaynakta [25], bu değerler için gerekli parametre değerleri hesaplanmış ve bu değerler Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2 Piramit horn parametre değerleri

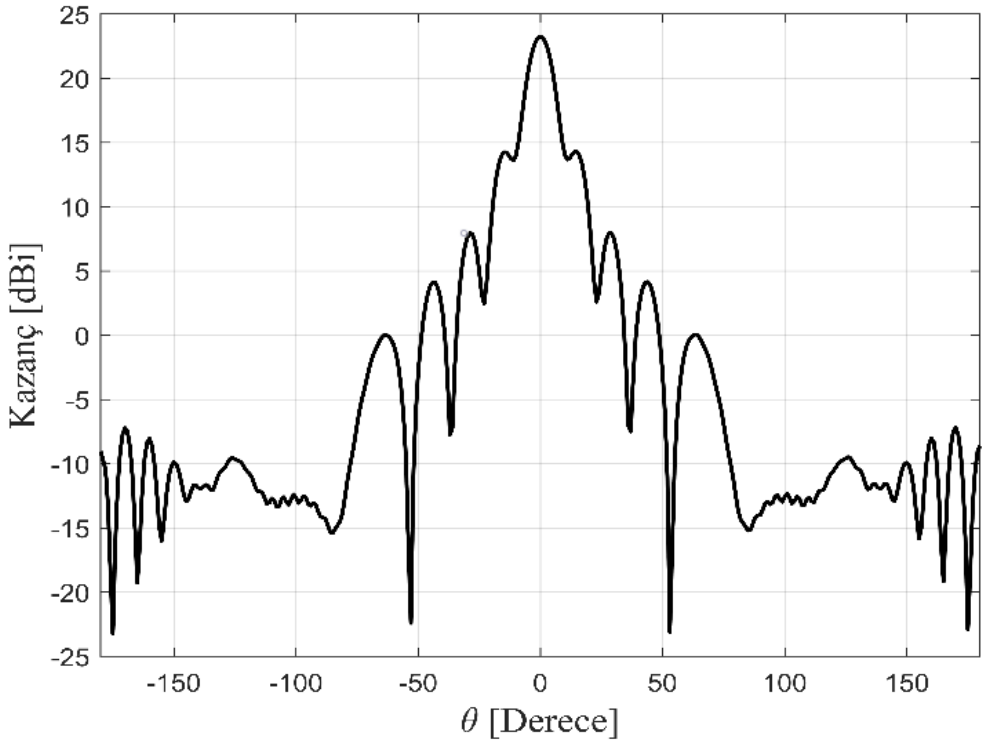
***A* [mm]**	***B* [mm]**	***R* [mm]**
192.4	152.1	342.8

Antenin tasarımı için gerekli olan parametre değerleri hesaplandıktan sonra, üç boyutlu simülasyon programları aracılığıyla piramit horn antenin tasarımı yapılmıştır. Bu simulasyon aracılığıyla antenin istenen tasarım özelliklerine sahip olup olmadığı incelenecektir. Bu incelemeler yapılırken gerekli olan S_{11} grafiği Şekil 2.2' de, ışıma diyagramı ise Şekil 2.3'de gösterilmektedir.

Şekil 2.2' de gösterilen S_{11} grafiği incelendiğinde görülmektedir ki, tasarlanan anten X bant frekans aralığında, -10 dB'in altında değerlerle çalışmaktadır. Bu tasarım için istenen ve verimli bir sonuçtur. Şekil 2.3'deki ışıma diyagramı incelendiğinde ise antenin ana lobta kazancı 22.9 dB olarak verilmiştir.



Şekil 2.2 Tasarlanan X bant piramit horn antenin S_{11} grafiği [21]



Şekil 2.3 X bant piramit horn antenin ışıma diyagramı [21]

Buradan şu sonuç çıkarılabilir: Antenin teorik olarak hesaplanan parametreleri, üç boyutlu simülasyon programları aracılığıyla doğrulanmış ve istenen gereksinimleri sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca Şekil 2.3' te antenin hangi yönde hangi kazanç değeri ile ışıma yaptığı gözlenebilir.

Tasarlanan bu anten temel alınarak, veri güdümlü modelleme için gerekli olan hassasiyet analizi yapılacaktır. Hassasiyet analizinde X bantta çalışan bir piramit horn anten temel alındığından dolayı antenin girişindeki dalga kılavuzu boyutları sabit olacaktır. Dolayısıyla hassasiyet analizinde bu iki parametre kullanılmayacaktır.

2.2 Hassasiyet Analizi

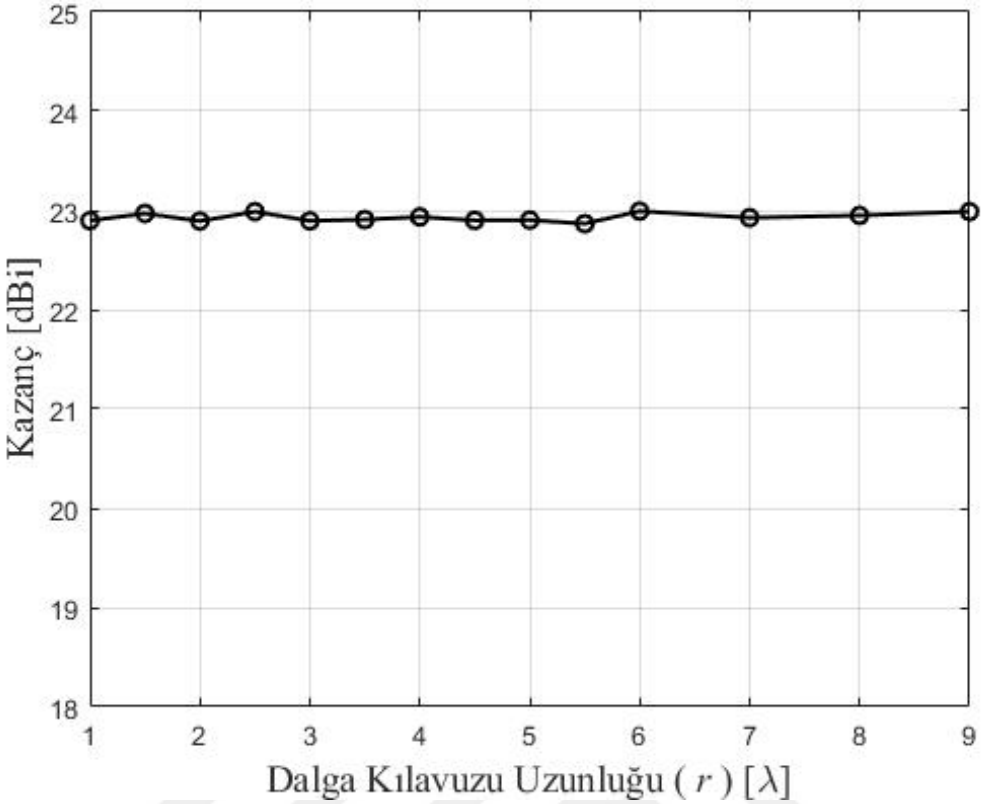
Piramit horn antenin yapısal parametreleri, dalga kılavuzu parametreleri olan dalga kılavuzunun genişlik (a), yükseklik (b) ve uzunluk (r) değerleri ile horn kısmı parametreleri olan hornun genişlik (A), yükseklik (B) ve uzunluk (R) parametreleridir. Bu parametrelerden dalga kılavuzu genişliği (a) ve yüksekliği (b) standart değerlere sahip olduğundan, diğer parametrelerde tek tek hassasiyet analizi yapılacaktır. Hassasiyet analizi yapılması istenen parametrenin değerleri, tasarlanan horn antenin diğer değerleri sabit tutularak değiştirilir ve denklem 2.1 ile değişim gözlemlenir [21].

$$d = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \tag{2.1}$$

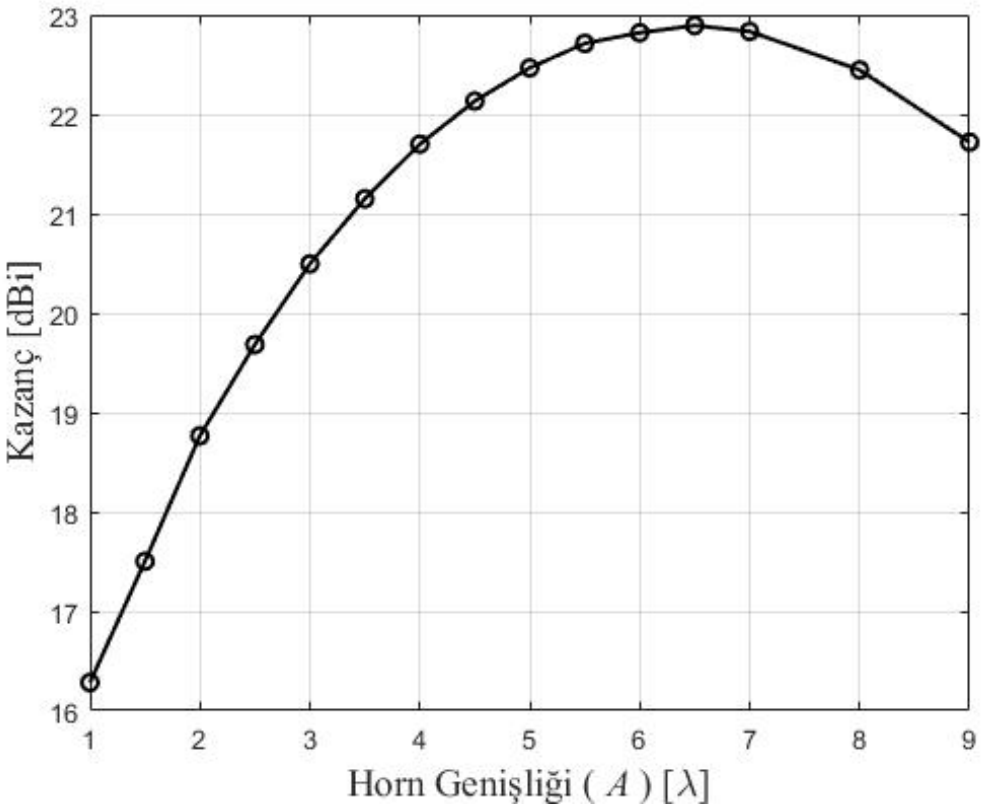
Denklemde y kazancı, x ise analiz yapılan parametrenin uzunluğunu vermektedir. Denklem sonucu sıfıra yakınsadığında, değişimin minimumda olduğu ve bir doyum değerine ulaştığı gözlemlenecektir. Değerler pozitiften negatife geçiş yaptığında bir tepe değeri, negatiften pozitife geçiş yaptığında ise bir çukur değeri olduğu söylenebilir.

İlk olarak dalga kılavuzunun uzunluk (r) değerinin hassasiyet analizi incelendiğinde, Şekil 2.4'de de görüldüğü üzere, dalga kılavuzu uzunluğunun kazanca olan etkisi göz ardı edilebilecek düzeydedir. Dolayısıyla hazırlanacak model kazanç değerine göre hazırlandığından dolayı, kazanç değerine etkisi olmayan bu parametre modellemede kullanılmayacaktır.

Bir diğer parametre, antenin horn kısmının parametresi olan hornun genişlik (A) parametresidir. Şekil 2.5'de görüldüğü üzere, kazanç değeri genişlik arttıkça değişim göstermektedir. Genişlik değeri, kazancın tepe değerine karşılık gelen dalga boyunun yedi katı değere yaklaştıkça, denklem 2.1' de verilen d değeri pozitif ve sıfıra yakınsayan özellik gösterirken, bu değerden sonra negatife dönmüştür.

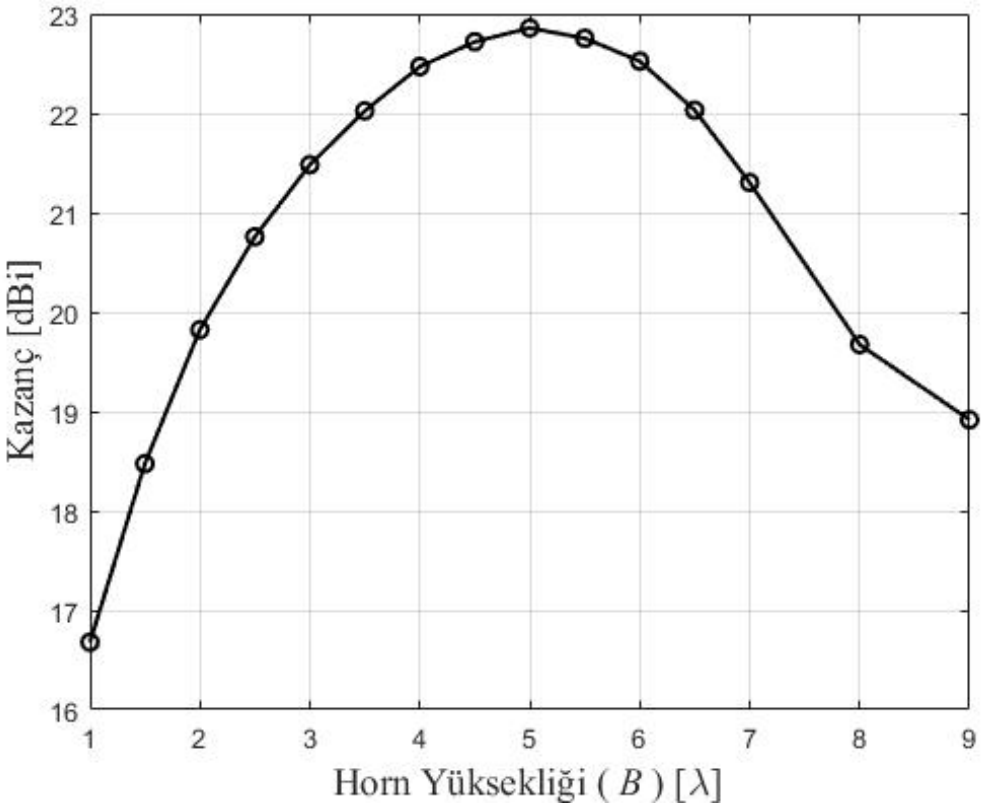


Şekil 2.4 Dalga kılavuzu (r) uzunluğunun kazanç değerine etkisi



Şekil 2.5 Horn genişliğinin (A) kazanç değerine etkisi [21]

Benzer şekilde diğer parametreler horn yüksekliği ve uzunluğunun kazanç değerine etkisi sırasıyla, Şekil 2.6 ve Şekil 2.7' de gösterilmiştir. horn yüksekliği için, horn genişliğine benzer çıkarımlar yapılabilir. Şekil 2.7' de görüleceği üzere dalga boyunun beş katı değerlerde, kazanç tepe değere ulaşmıştır. Ancak, horn uzunluğu değerinde benzer davranış gözlemlenmez.

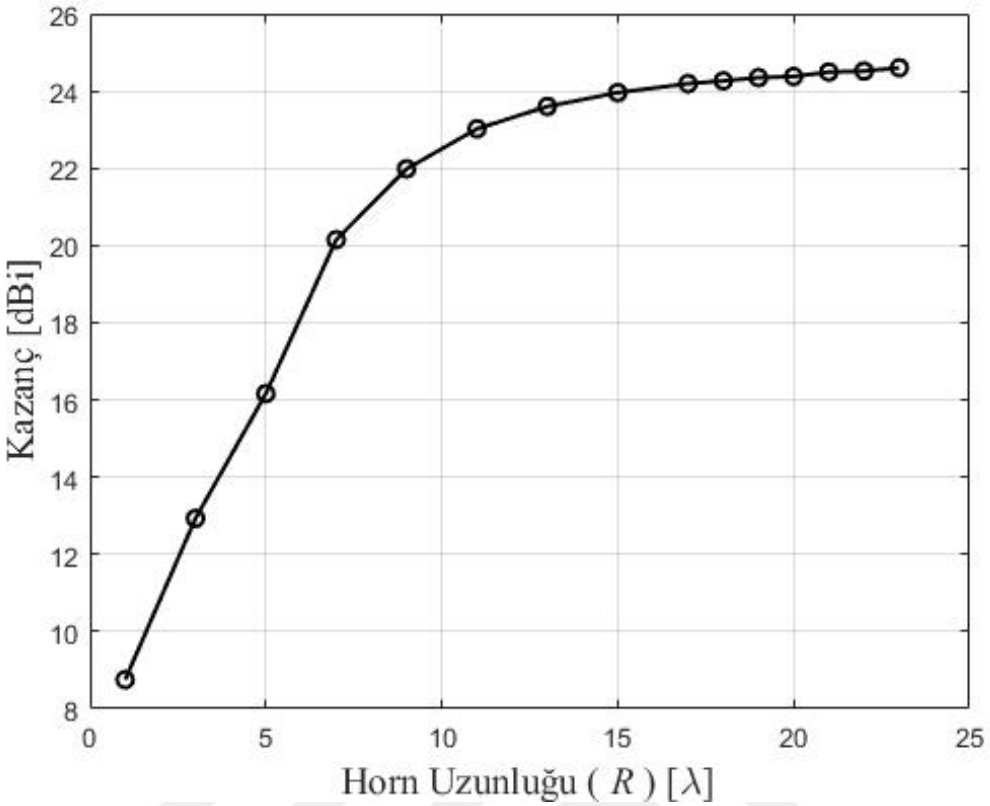


Şekil 2.6 Horn yüksekliğinin (B) kazanç değerine etkisi [21]

Horn uzunluğu değerinde, hornun genişlik ve yükseklik parametrelerine göre temel bir farklılık gözlemlenmektedir. Horn uzunluğu değeri arttıkça, kazanç değeri azalan hızda artmaya devam eder ancak tepe değere ulaşmaz. Yani denklem 2.1' de belirtilen d değeri sıfıra yakınsar ancak hiç bir zaman sıfır değerine ulaşmaz. Bundan dolayı, Şekil 2.7' de görüleceği üzere, dalga boyunun onbeş katından sonraki değişimler göz ardı edilebilecek düzeyde olduğundan, horn uzunluğunu bu değerde sınırlamak mantıklı olacaktır [21].

2.2.1 Hassasiyet Analizi Çıkarımları

Hassasiyet analizi sonucu, X bantta tasarlanmış horn antenin geometrik parametrelerinin, kazanç değerine etkisi görülmüştür. Hassasiyet analizi yapılmasının temel sebebi, modele eksik veya fazla eğitim verisi verilmesini engellemektir.



Şekil 2.7 Horn uzunluğunun (R) kazanç değerine etkisi [21]

Yapılan hassasiyet analizi sonucu şu çıkarımlar yapılabilir [21]:

- Horn uzunluğu parametresi, sürekli artan yapıda olduğundan bir tepe değere ulaşmaz. Ancak, Şekil 2.7'den anlaşılacağı üzere, 15λ'dan sonra horn uzunluğunu arttırmak gereksiz eğitim verisi üretilmesine sebep olacaktır.
- Horn genişliği parametresi, sürekli artan yapıda değildir, dolayısıyla yaklaşık 7λ değerinde tepe değere ulaşmıştır. Bu değerden sonra, alınan örnekler sistemin azalan yapıda olduğunu göstermektedir. Verimli bir eğitim verisi üretilmesi için en az 7λ değerine kadar örnek alınması gerekmektedir.
- Horn yüksekliği parametresi için de benzer durum geçerlidir, ancak burada farklı olarak tepe değeri 5λ değerine denk gelir. Dolayısıyla, en az 5λ değerine kadar örnek alınması gerekmektedir.

Verilen bu değerler, eğitim verisinin minimum koşullarda oluşturulmasını sağlar. Ancak, hassasiyet analizinin diğer parametreler sabitken yapıldığının unutulmaması gerekmektedir. Dolayısıyla, özellikle horn genişliği ve yüksekliğinin minimum gereksinimlerden fazla değerler alarak eğitim verisinin oluşturulması, modellemenin

daha doğru çalışmasını sağlar. Yine de sisteme gereksiz miktarda veri yüklenmesinden kaçınılması gerektiği unutulmamalıdır.

Bu bağlamda düşünüldüğünde, hassasiyet analizi yapılan parametrelerden alınan örnek sayısı minimum koşullar temel alınarak hesaplandığında, şu sonuçlara ulaşırız:

- Horn genişliği ve yüksekliği için alınacak örnek sayısı, kazanç değerin tepe noktasına ulaştığı değerde sınırlandırıldığı varsayılırsa, horn genişliği için alınan örnek sayısı 15'ten 12'ye, horn yüksekliği için ise 15'ten 9'a düşer.
- Horn uzunluğu için doyum değeri 15λ olarak kabul edilirse, alınan örnek sayısı 15'ten 8'e düşer.

Dolayısıyla, hassasiyet analizi yapılmadığı durum için alınan örnek sayısı, $15 \times 15 \times 15 = 3375$ iken, hassasiyet analizi yapıldığında bu değer $12 \times 9 \times 8 = 864$ değerine düşer. Yapılan hassasiyet analizi sonucu yapılması gereken simülasyon sayısı yaklaşık 4 kat azalmıştır. Bir simülasyonun hazırlanması ve sonucun elde edilmesi ortalama 10 dakika olduğu varsayıldığında bile, kazanılan zamanın ve artan verimliliğin ne kadar büyük olduğu gözlemlenmiştir.

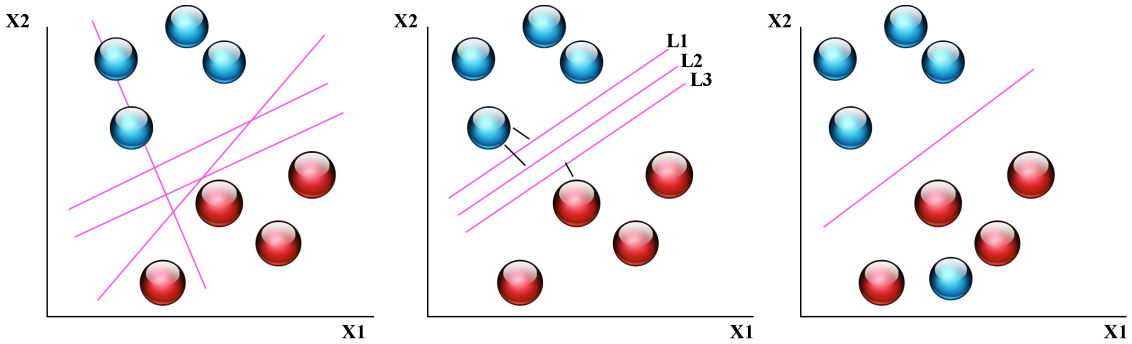
3
VERİ GÜDÜMLÜ YAPAY ZEKA ALGORİTMALARI

Bu bölümde, regresyon modellemeleri için kullanılan yapay zeka algoritmaları tanıtılmıştır. Kullanılan bu algoritmalar, antenin kazanç değerini geometrik parametrelere göre en iyi optimize eden modellemenin bulunmasında yardımcı olacaktır. Kullanılan bu algoritmalardan en iyisi seçilecek ve bu algoritma temel alınarak modellemeler yapılacaktır.

3.1 Destek Vektör Makineleri

Destek vektör makinesi (DVM), sinyal işleme, tıbbi uygulamalar, doğal dil işleme ve konuşma ve görüntü tanıma dahil olmak üzere birçok sınıflandırma ve regresyon sorunu için kullanılan denetimli bir öğrenme algoritmasıdır [26].

Destek vektörleri, ayırıcı hiperdüzlemin konumunu tanımlayan eğitim gözlemlerinin bir alt kümesini ifade eder. Standart DVM algoritmaları ikili sınıflandırma problemleri için formüle edilmiştir. Buradan yola çıkarak, çok sınıflı problemler ikili sınıflandırma problemlerine indirgenerek sınıflandırmalar yapılır. DVM algoritmalarının amacı, mümkün olan en iyi şekilde, bir sınıfın veri noktalarını başka bir sınıftan ayıran bir hiperdüzlem bulmaktır [26].



Şekil 3.1 Temel DVM sınıflandırıcı gösterimi [27]

Şekil 3.1' de temel bir DVM sınıflandırma örneği görülmektedir. Görüldüğü üzere veri noktalarını (kırmızı ve mavi noktalar) ayıran birden fazla çizgi, çizgiler buradaki

hiperdüzlem olmak üzere, olduğu görülmektedir. Bu hiperdüzlemler arasında en iyi seçim, iki sınıf arasındaki en büyük ayırımı veya marjı temsil eden L2 hiperdüzlemidir.

Hiperdüzlemin boyutu, verilerin özellik miktarıyla (kırmızı ve mavi olması gibi) ilişkilidir. Şekil 3.1'deki örnekte olduğu gibi eğer ikiyse çizgi, üç ise iki boyutlu düzlem ve N adet özellik varsa N-1 boyutlu bir hiperdüzlem olduğu varsayılabilir [27].

DVM'ler matematiksel olarak incelendiğinde, veri özelliklerinin bir kernel fonksiyonu kullanılarak dönüştürülebildiği kernel metotları adı verilen bir makine öğrenimi algoritması sınıfına girer [26]. Kernel fonksiyonu, düşük boyutlu giriş uzayını yüksek boyutlu uzaya dönüştüren yani ayrılamayan problemi ayrılabilir probleme dönüştüren bir fonksiyondur. Çoğunlukla lineer olmayan ayırma problemlerinde faydalıdır [27]. Lineer, polinom, sigmoid, RTF gibi fonksiyonlar, sıklıkla kullanılan kernel fonksiyonlarıdır [26–28] .

DVM eğitimi, ikinci dereceden bir optimizasyon problemini sınıflar arası yumuşak marjın en aza indiği hiperdüzleme uyacak şekilde çözülmesidir. Dönüştürülen özelliklerin miktarı, destek vektörlerinin sayısıyla ilişkilidir [26].

DVM kullanmasının sağladığı avantajlar, aşağıdaki gibi özetlenebilir [28]:

- Birden çok özelliğe sahip veri kümeleri üzerinde etkilidir.
- Özellik sayısının veri noktası sayısından fazla olduğu durumlarda etkilidir.
- Karar fonksiyonunda, destek vektörleri adı verilen ve hafızayı verimli hale getiren bir eğitim noktaları alt kümesi kullanır.
- Farklı kernel fonksiyonlarının kullanılmasına olanak sağlar.

3.2 Gauss Süreci Regresyonu

Gauss süreçleri, regresyon ve olasılıksal sınıflandırma problemlerini çözmek için tasarlanmış genel bir denetimli öğrenme yöntemidir. Gauss süreci regresyon (GSR), bilinen adıyla Gaussian Process Regression, ise parametrik olmayan çekirdek tabanlı olasılıksal modellerdir. Gauss süreci regresyonun sağladığı özellikler aşağıdaki gibidir [29]:

- Tahminler olasılıksal (Gauss) olduğu için, deneysel güven aralıkları hesaplanabilir ve bunlara dayanarak, tahminin ilgili bir bölgede yeniden ayarlanması gerekip gerekmediğine (uyarlamalı uydurma) karar verilebilir.

- Karar fonksiyonu için farklı Kernel fonksiyonları kullanılabildiğinden çok yönlüdür.

Gauss süreçleri bazı durumlarda dezavantajlıdır. Uzaydaki tüm örnekleri kullanması ve yüksek boyutlu uzaylarda, yani öznitelik sayısı birkaç düzineyi geçtiğinde etkinliklerini kaybetmesi örnek verilebilir. Gauss süreci regresyonun matematiksel modeli ve işleyişi ilgili kaynaklarda detaylı biçimde ele alınmıştır [29, 30].

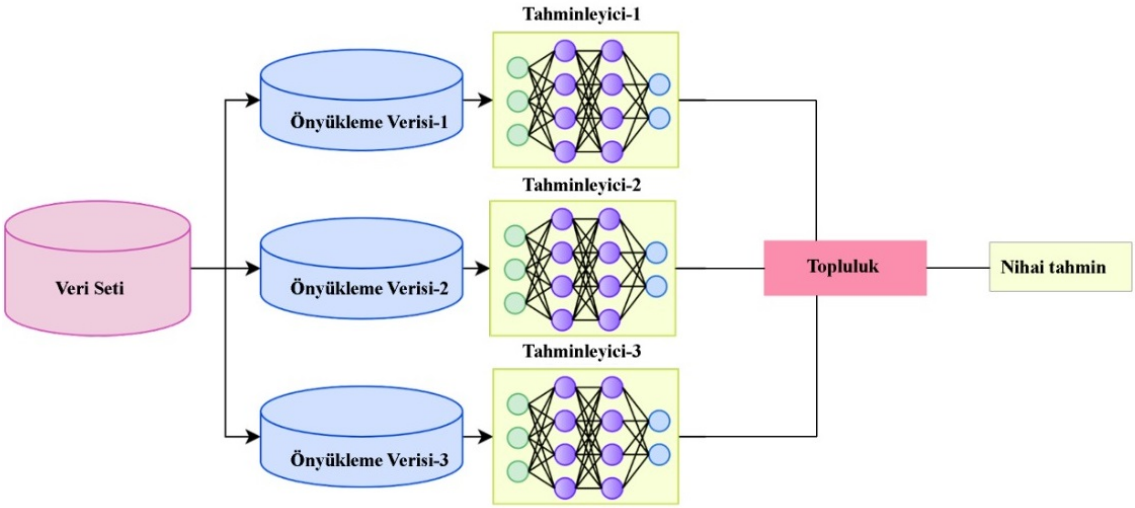
3.3 Topluluk Öğrenimi

Topluluk öğrenimi (TÖ) yöntemi, tek bir optimum tahmine dayalı model üretmek için birkaç temel modeli birleştiren bir makine öğrenme tekniğidir. Topluluk öğrenimi, farklı katkılarda bulunan modellerden tamamlayıcı bilgiler edinir, yani katkıda bulunan modeller istatistiksel olarak çeşitlendiğinde topluluk öğrenimi başarılı olacaktır. Topluluk öğreniminin verimli olduğu bazı senaryolar aşağıda verilmiştir [31]:

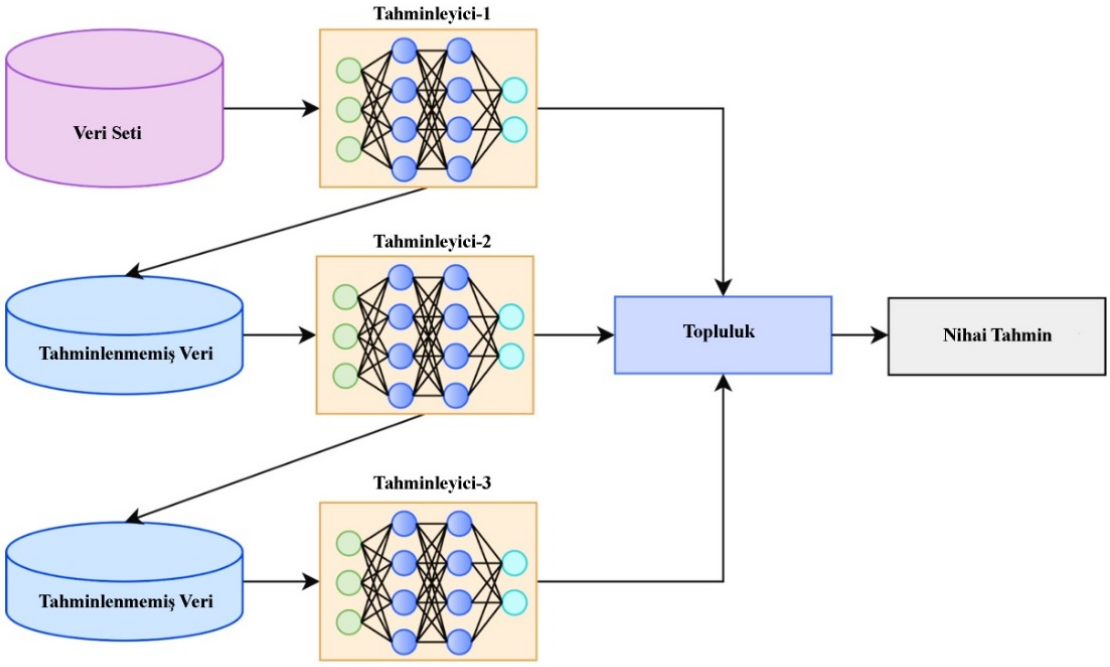
- Optimum modelin seçilemediği durumlar: Farklı modeller bazı durumlar için veri kümesine göre daha iyi performans gösterirken, bazı durumlar için performans verimliliği sağlanmaz.
- Veri fazlalığı veya eksikliği durumları: Veri miktarının büyük olduğu durumlarda, sınıflandırma görevi farklı sınıflandırıcılara bölünerek, büyük veriyle işlem yapmak yerine tahmin sürecinde bir araya getirerek kolaylık sağlar. Veri seti küçük olduğunda ise bir önyükleme topluluğu stratejisi kullanılarak veri eksikliğinin sürece etkisini en aza indirger.
- Tahmin güvenilirliği: Topluluk öğreniminde, daha doğru tahmin eden sınıflandırıcılara önem verilerek tahmin verimliliği artırılabilir.
- Karmaşık Problemler: Karmaşık karar sınırı olan problemlerde, tek bir sınıflandırıcı kulanmak yeterli olmayabilir. Bu sebeple, topluluk öğrenimini kullanmak verimli olabilir.
- Veri birleşimi: Farklı sınıflandırıcıların oluşturduğu modeller birleştirilerek, daha kesin ve güvenli bir sınıflandırıcı oluşturulabilir.

Topluluk öğrenimi yönteminde sıklıkla kullanılan iki yöntem vardır: Torbalama ve yükseltme.

Torbalama Yöntemi: Bu yöntemde veri kümesinden alt örnekler oluşturulur ve bunlar "önyükleme örneklemesi" olarak adlandırılır. İşlem süresi boyunca, aynı veriden oluşturulan farklı alt kümeler modellerde eğitildikten sonra, gelen tahminler bir toplama fonksiyonu aracılığıyla nihai tahmine dönüştürülür [32]. Şekil 3.2'den anlaşılacağı üzere, modeller birbirinden bağımsız şekilde paralel olarak çalışır.



Şekil 3.2 Torbalama yönteminin çalışma şeması [31]



Şekil 3.3 Yükseltme yönteminin çalışma şeması [31]

Yükseltme Yöntemi: Torbalama yönteminden farklı olarak, veriler paralel işlenmek yerine sıralı işlenir. İlk sınıflandırıcı tüm veri seti ile beslenir ve tahminler analiz edilir. İlk sınıflandırıcının doğru tahminler üretemediği durumlar, sıradaki sınıflandırıcının

beslendiği veri setidir. Bu süreç benzer şekilde son sınıflandırıcıya dek tekrarlanır [32].

Şekil 3.3' de görüldüğü üzere, her bir sınıflandırıcıdan elde edilen tahmin birleştirilerek, nihai tahmin oluşturulur. Böylelikle, topluluk öğrenimi gerçekleşmiş olur.

3.4 Çok Katmanlı Algılayıcılar

Yapay sinir ağının girdisi ve çıktısı arasındaki ilişkiler doğrusal olmadığı durumlarda, çok katmanlı algılayıcılar kullanılır. Bu durum için en genel geçer örnek, Tablo 3.1' de gösterildiği üzere XOR problemidir. Çünkü XOR problemi, doğrusal olmayan bir yapıyı temsil eder.

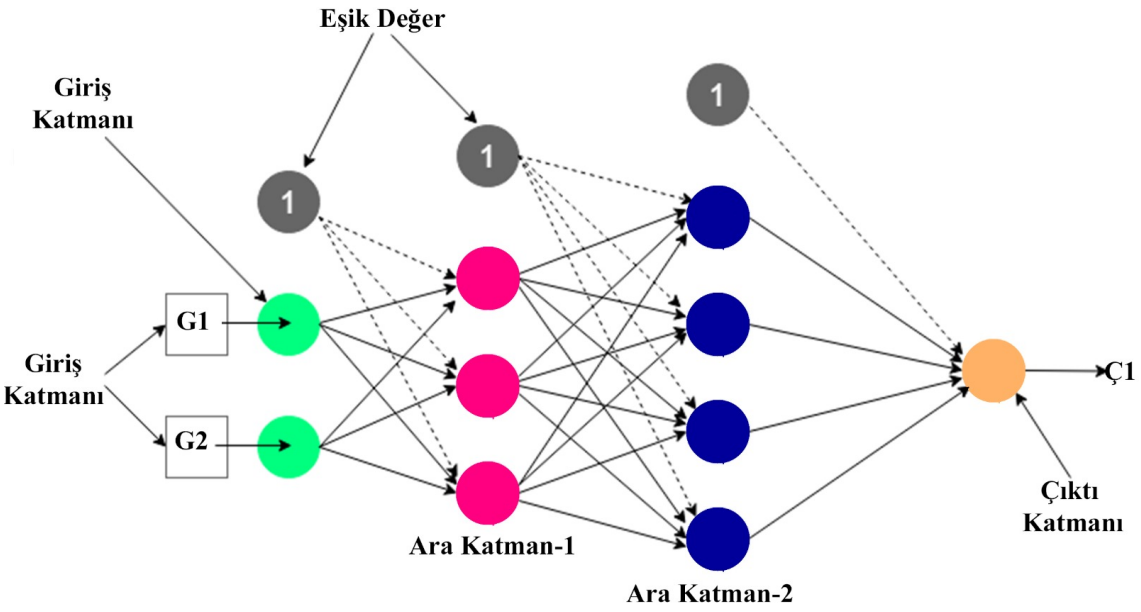
Tablo 3.1 XOR Problemi

Girdi 1	**Girdi 2**	**Çıktı**
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Minsky ve arkadaşları [33], basit algılayıcı sistemlerin bu problemlere uygun çözüm üretemediğini belirtmiş ve günlük olayların çoğunun doğrusal olmadığından yapay sinir ağları üzerine çalışmalar durmuştur. Daha sonra, Rumelhart ve arkadaşları [34] tarafından XOR problemini çözmek amacıyla geliştirilen "hata yayma modeli/geriye yayma modeli" olarak bilinen çok katmanlı algılayıcılar geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modelle beraber tekrardan yapay sinir ağları araştırmaları hızlanmış ve günümüzde birçok karmaşık problemin çözülmesine olanak sağlamıştır.

Çok katmanlı algılayıcılar (ÇKA), özellikle sınıflandırma ve genelleme yapma durumlarında etkin çalışır. Çok katmanlı algılayıcılar, Şekil 3.4'te gösterildiği gibi, giriş katmanı, ara katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır; giriş ve çıkış arasındaki katmanlar gizli katman olarak da adlandırılabilir [35].

- Giriş Katmanı: Dış dünyadan gelen girdileri alarak ara katmana gönderilmesini sağlar. Bu katmanda bilgi işleme olmaz; gelen her bilgi bir sonraki katmana aktarılır.
- Ara Katman: Ara katmanlar girdi katmanından gelen bilgileri işleyerek sonraki katmana iletir. Bu katmanda birden fazla ara katman bulunabilir. Böylelikle karmaşık problemlerin çözümünde etkili olacaktır.



Şekil 3.4 Çok katmanlı algılayıcıların yapısı

- Çıktı Katmanı: Ara katmandan gelen bilgiler işlenerek verilen girdilere karşılık ağın ürettiği çıktıların dış dünyaya aktarıldığı katmandır.

Çok katmanlı ağda öğrenme işlemi, Delta Öğrenme Kuralı ile gerçekleşir. Delta öğrenme kuralı, iki aşamadan oluşur: İleriye doğru hesaplama ve geriye doğru hesaplama [36]. ÇKA'ya hem örnekler hem de örneklerden elde edilmesi gereken çıktılar verilmektedir. Ağ kendisine gösterilen örneklerden genellemeler yapar ve probleme çözüm sunar. Daha sonra benzer durumlar için bu örneklemeleri kullanarak çözüm üretir [35].

3.5 Modifiye Edilmiş Çok Katmanlı Algılayıcılar

Modifiye edilmiş ÇKA (MÇKA), standart çok katmanlı algılayıcının (ÇKA) eşdeğer bir evrişimli sinir ağı modelidir. ÇKA'nın geleneksel eğitim parametreleri yerine, evrişimli sinir ağları modellerinin toplu-norm katmanı, sızdıran-düzeltilmiş doğrusal birim (ReLU) katmanı ve Adam eğitim algoritması gibi daha gelişmiş eğitim parametreleri kullanılmıştır [37]. Modifiye edilmiş ÇKA, tasarım optimizasyon problemlerinde, oldukça doğru ve hesaplama açısından verimli bir model elde edilmesine olanak sağlar.

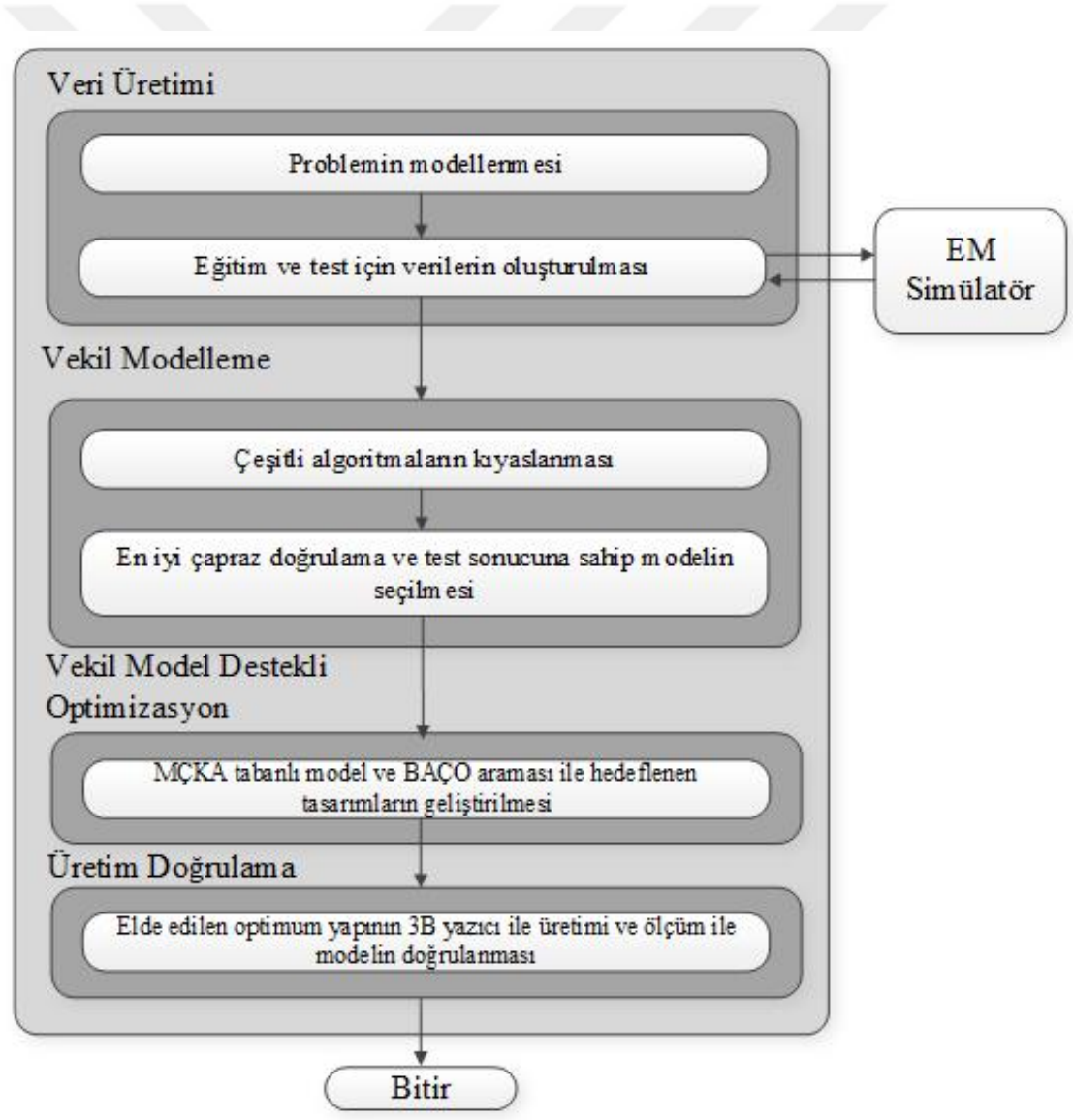
Evrişimli sinir ağı modelinin ÇKA'den temel farkı, çok sayıda girdi değişkenli modelleme probleminde, nöronları bir önceki katmandaki tüm nöronlara bağlamanın imkansız olmasıdır. Çünkü böyle bir mimari sadece veri setinin mekansal yapısını dikkate almayabilir, aynı zamanda eğitim sürecinin süresini de son derece uzatabilir.

ESA'da her nöron, önceki katmanın yalnızca sınırlı bir bölgesine bağlıdır.

ESA tabanlı regresyon, derin öğrenmede sınıflandırma, tespit ve bölütleme gibi alanlara göre daha yeni ve az kullanılan bir yapıdır [38]. Regresyon için, her problemin doğasına özel ağ modelleri tasarlamak ve uygun kayıp fonksiyonunu belirlemek gerekir. Dolayısıyla, modifiye edilmiş ÇKA, ÇKA'da yeni işlevler ve katmanlar kullanılarak oluşturulur [37].

4
YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, horn anten modellenmesi için yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Bu çalışmalar Şekil 4.1'deki akış diyagramıyla özetlenmiştir.



Şekil 4.1 Yapılan çalışmanın akış diyagramı

İlk olarak hassasiyet analizi yapılan horn anten tasarımı temel alınarak, EM simülatörler aracılığıyla veri setleri üretilmiştir. Üretilen her bir veri seti kullanılarak Bölüm 3' de tanımlanan yapay zeka algoritmaları aracılığıyla regresyon analizi yapılmıştır ve yapılan analizlere göre en iyi model seçilmiştir. Seçilen modelin verdiği sonuçlara göre bir anten tasarlanmış ve üretilmiştir. Üretilen antenin verdiği ölçüm sonuçları, simülasyon sonuçları ve modelin verdiği sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.1 Veri Setinin Üretimi

Veri seti oluşturulurken, hesaplama açısından verimli bir veri seti oluşturulmalıdır. Düşük etkiye sahip örnekleme noktalarını hariç tutmak ve etkili bir örnekleme stratejisine sahip olmak için, değişkenlerin kazanç değerine olan etkisi incelenmelidir. Bölüm 2' de görüleceği üzere, parametrelerin kazanç değerine etkisi, hassasiyet analizi aracılığıyla incelenmiştir. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere, parametrelerin değeri belirli bir kazanç değerine yakınsar ve belirli bölgelerde parametrelerdeki değerlerin değişiminin kazanç değerine etkisi yüksektir.

Bu çalışma için Tablo 4.1' de görüldüğü üzere, A ve B değerleri benzer aralığa sahipken, R ise daha geniş bir örnekleme aralığına sahiptir. Bu bağlamda, çalışılan problemin eğitim örnekleri olarak kullanılmak üzere 125 adet farklı geometrik tasarım hazırlanmıştır.

Tablo 4.1 Veri seti parametreleri ve sınır değerleri

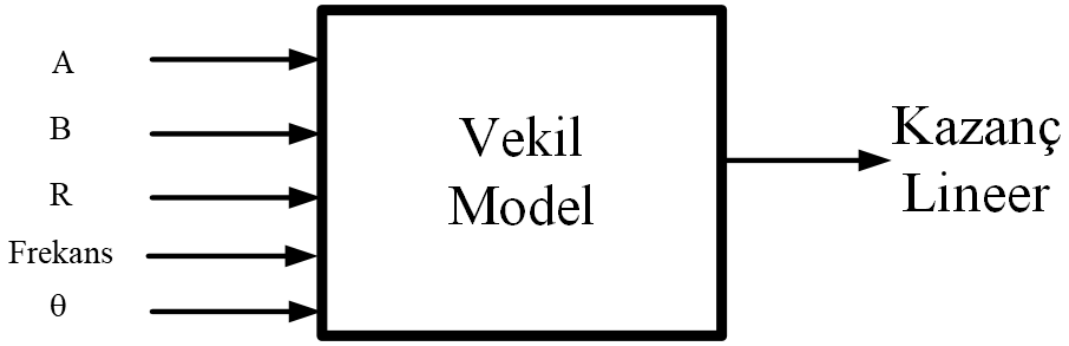
Veri Seti Parametreleri	**Alt Limit [mm]**	**Üst Limit[mm]**	**Örnek Sayısı**
A [mm]	20	250	5
B [mm]	10	250	5
R [mm]	50	450	5
θ [derece]	0	90	13
Frekans [GHz]	8	14	4

Bu veri setine ek olarak, bu aralıklarda rastgele örnekleme yöntemi ile regresyon modellerinin uyum performanslarını değerlendirmek için 25 adet test verisi oluşturulmuştur.

4.2 Veri Güdümlü Vekil Modele Dayalı Tasarım Optimizasyonu

Bölüm 2'de yapılan hassasiyet analizinden görüldüğü üzere, parametrelerin her biri tasarımın ışıma diyaramını geniş bir yelpazede etkilemektedir. Bu nedenle istenen performans ölçütlerini karşılamak için, geometrik tasarım parametreleri geniş

bir aralıkta seçilebilse de, aynı anda sistemin çalışma aralığı, boyutu ve ışıma karakteristikleri gibi diğer ölçütlerinde sağlanması gerekmektedir. Dolayısıyla, böyle bir çözüm için, doğru bir tasarım optimizasyon süreci gereklidir.



Şekil 4.2 Vekil modelin giriş ve çıkış parametreleri

Bu bölümde horn anten için Şekil 4.2'de gösterilen veri güdümlü vekil modele dayalı tasarım optimizasyonu ayrıntılı biçimde anlatılacaktır. Burada, mikrodalga bileşenlerin modellenmesinde büyük potansiyel gösteren yapay zeka (YZ) regresyon algoritmaları, girdi değişken uzayını antenin ışıma modeli özelliklerine eşlemek için veri güdümlü bir vekil model oluşturmak üzere kullanılmıştır.

Horn antenin temsili modelini oluşturmak için çok katlı ağlar (ÇKA), destek vektör regresyon makinesi (DVRM), Gauss süreci regresyon (GSR), topluluk öğrenmesi (TÖ) ve MÇKA algoritmaları kullanılmıştır. Bunlar, çapraz doğrulama ile eğitilir ve ortalama mutlak hata (OMH) kullanılarak aşırı uydurmanın değerlendirilmesi için 25 örnekli (Tablo 4.1'de belirtilen aralıklarda) test verisi kullanılmıştır. Ortalama mutlak hata hesabı için vekiller tarafından tahmin edilen değer ile 3B tam dalga EM çözücünün oluşturduğu değer kullanılmıştır.

Her bir algoritmanın hiper parametre belirlemesi, maliyet fonksiyonu olarak, çapraz doğrulama metriğini kullanan Bayes optimizasyon yöntemine dayanmaktadır. Tablo 4.2' de Bayes optimizasyonu ile oluşturulan her bir vekil modelin performans sonuçları gösterilmiştir. Elde edilen OMH ve standart sapma sonuçları 10 farklı çalışma sonucu elde edilmiştir. Tablo 4.2'de görüleceği üzere, hem çapraz doğrulama hemde test veri seti ile OMH bakımından en iyi test ve doğrulama performansı gösteren vekil model olarak, MÇKA seçilmiştir.

Bu çalışma, mikrodalga anten tasarımlarının optimizasyonu için kullanılan optimizasyon algoritmalarının hızı ve yakınsama oranı konusu üzerine yapılan bir çalışma değildir. Bu çalışmanın amacı, genel tasarım optimizasyon sürecini önemli ölçüde artırabilecek, hesaplama açısından verimli, veriye dayalı vekil modelleme yaklaşımı sunmaktır.

Tablo 4.2 Vekil modeller ve performans sonuçları

Tasarım Modelleri	Çapraz Doğrulama	Test
ÇKA	1.65 ± 0.22	3.80 ± 0.45
DVRM	2.11 ± 0.26	5.05 ± 0.65
GSR	3.34 ± 0.29	5.53 ± 0.69
TÖ	2.26 ± 0.02	4.76 ± 0.06
MÇKA	1.12 ± 0.05	2.92 ± 0.1

Burada, bu görev için uygun bir optimizasyon algoritması olarak, Bal Arısı Çiftleşme Optimizasyonu (BAÇO) güçlü bir popülasyon tabanlı hibrit meta-sezgisel algoritma olarak alınmıştır [39–43]. BAÇO, sürecinde eş zamanlı olarak küresel ve yerel arama yapabilen bal arılarının çiftleşme davranışından esinlenen bir algoritmadır [40]. Bu çalışmada denklem 4.1, üç farklı tasarım optimizasyonu için vaka çalışması elde etmek için kullanılır.

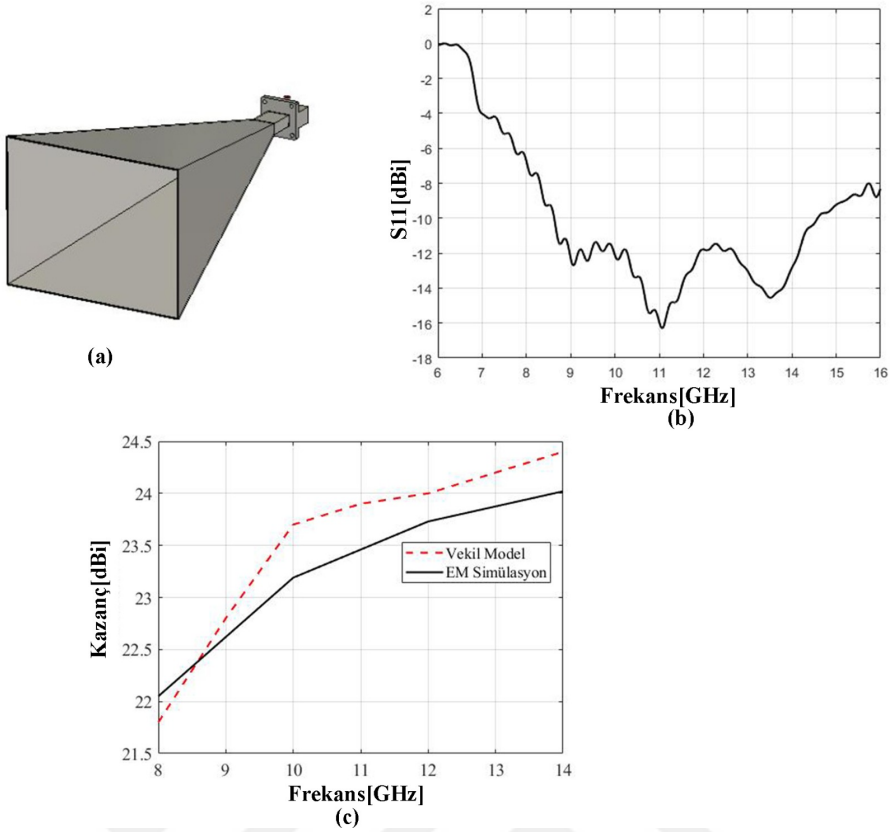
$$\begin{aligned} E(A,B;R,f) = C_1|Gain_{req}(f) - Gain_{P_{i,j}}(A,B;R,f)| \\ +C_2|\frac{1}{Gain_P(A,B;R,f)}| + C_3|V_P(A,B;R,f)| \end{aligned} \tag{4.1}$$

Denklem 4.1, üç farklı tasarım optimizasyonu ile vaka çalışması elde etmek için kullanılır. Bunlar, çalışma frekansı üzerinde maksimum kazanç elde edilmesi, çalışma bandı üzerinde sabit bir kazanç değerine eşitlenmesi ve minimum hacim sınırlamaları ile çalışma frekansı üzerinde maksimum kazancın elde edilmesini amaçlar.

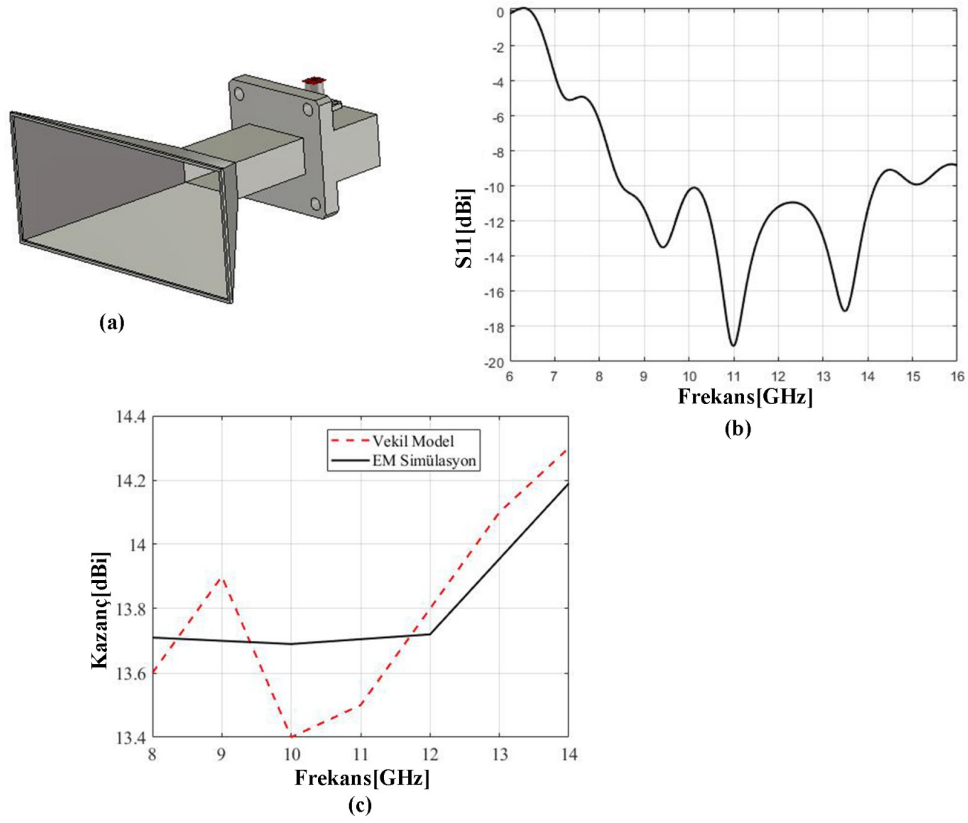
Hedeflenen tasarımların her biri için MÇKA destekli BAÇO algoritmasından elde edilen optimum seçilmiş tasarım değerleri aşağıdaki gibidir:

Durum 1 için çalışma frekansı boyunca antenin maksimum kazanç vermesi amaçlanmıştır. Bu durum için ağırlık katsayıları, $C_1 = 0$, $C_2 = 1$, $C_3 = 0$ şeklindedir. Şekil 4.3 (a)'da tasarlanan antenin simülasyon görüntüsü, (b)'de S_{11} grafiği, (c)'de ise kazanç grafiği verilmiştir. Antenin S_{11} grafiğinden antenin istenen frekans aralığında çalıştığı gözlemlenmiştir. Böylelikle antenin kazancı incelendiğinde, frekans hattı boyunca, $A = 197.6$, $B = 158.4$, $R = 344.4$ [mm] değerleri için, maksimum kazanç 22-24 dBi olarak hesaplanmıştır.

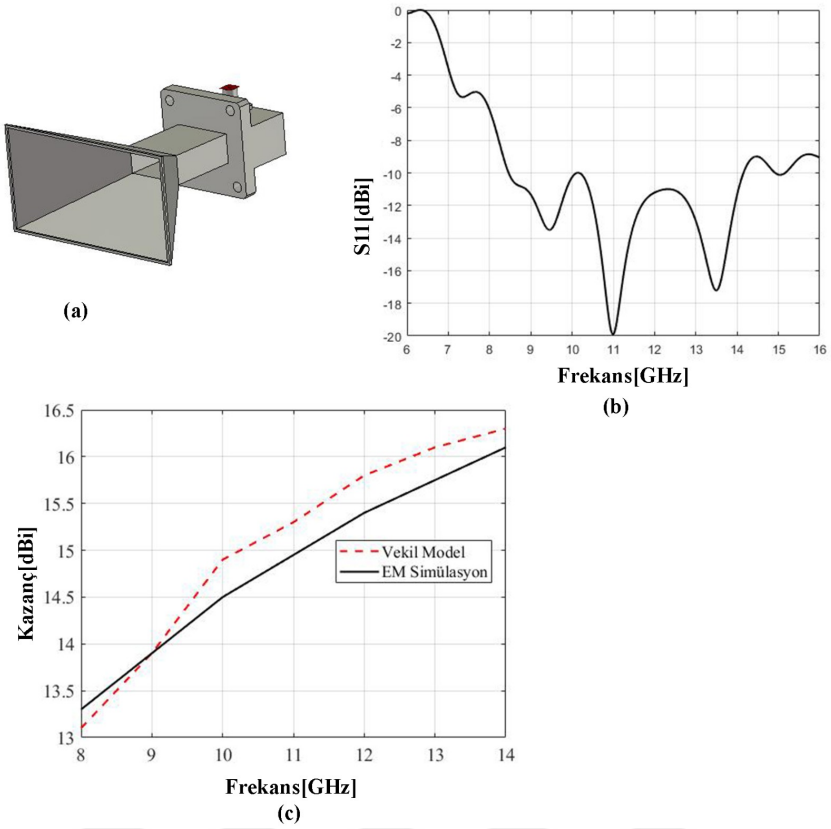
Durum 2 için çalışma frekansı boyunca kazancın sabit kalması amaçlanmıştır. Bu durum için ağırlık katsayıları $C_1 = 1$, $C_2 = 0$, $C_3 = 0$ şeklindedir. Şekil 4.4 (a)'da tasarlanan antenin simülasyon görüntüsü, (b)'de S_{11} grafiği, (c)'de ise kazanç grafiği



Şekil 4.3 Durum 1 için: (a) Tasarlanan anten, (b) S_{11} grafiği, (c) Kazanç grafiği



Şekil 4.4 Durum 2 için: (a) Tasarlanan anten, (b) S_{11} grafiği, (c) Kazanç grafiği



Şekil 4.5 Durum 3 için: (a) Tasarlanan anten, (b) S_{11} grafiği, (c) Kazanç grafiği

verilmiştir. Antenin S_{11} grafiğinden antenin istenen frekans hattı boyunca çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu koşullar altında antenin kazancı incelendiğinde ise $A = 97.4$, $B = 44.1$, $R = 38.6$ [mm] değerleri için kazancı yaklaşık olarak 14 dBi değerinde sabittir.

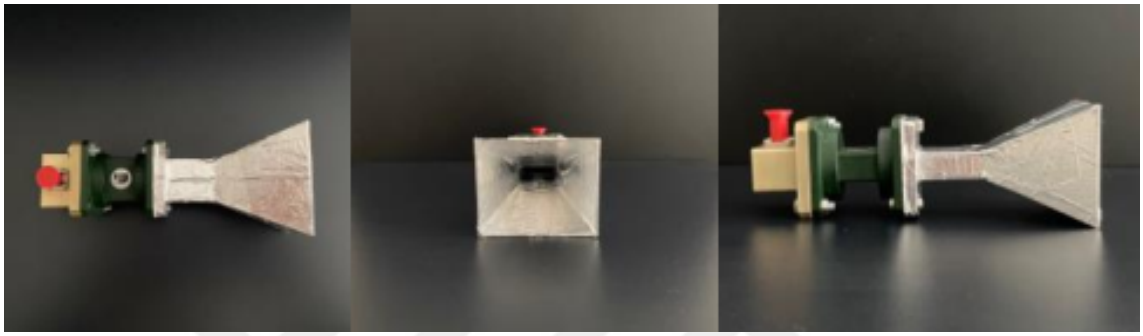
Durum 3 için ise minimum hacim için antenin kazancının maksimum olması amaçlanmıştır. Bu durum için ise ağırlık katsayıları $C_1 = 0$, $C_2 = 0.4$, $C_3 = 0.6$ şeklindedir. Şekil 4.5 (a)'da tasarlanan antenin simülasyon görüntüsü, (b)'de S_{11} grafiği, (c)'de ise kazanç grafiği verilmiştir. Antenin S_{11} grafiğinden antenin istenen frekans hattı boyunca çalıştığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde antenin kazancı incelendiğinde $A = 81.2$, $B = 44.1$, $R = 38.6$ [mm] değerlerine sahip antenin minimum hacimde maksimum kazancı verdiği görülmüştür.

Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5'den görüldüğü üzere, önerilen vekil modelleme yaklaşımı, çalışma aralığı boyunca maksimum kazanç karakteristiği için oldukça doğru bir tahmin sağlamaktadır. Bir sonraki bölümde, horn antenin tasarım optimizasyonu için deneysel bir çalışma durumu sunulacaktır.

4.3 Deneysel Sonuçlar

Bu bölümde horn antenin tasarım optimizasyonu için deneysel bir çalışma ortaya konulacaktır. MÇKA destekli BAÇO aramasından elde edilen simülasyon ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmalı biçimde açıklanacaktır.

Önerilen optimizasyon metodolojisi yaklaşımının deneysel doğrulaması için, bölüm 4.2'deki optimize edilmiş anten tasarımlarından biri olan Durum 3, Polilaktik asit (PLA) 1.75mm 3D baskı filamenti [44] kullanan Çift Malzemeli 3D yazıcı olan CEL markasının RoboxDual [45] kullanılarak prototiplenmiştir.



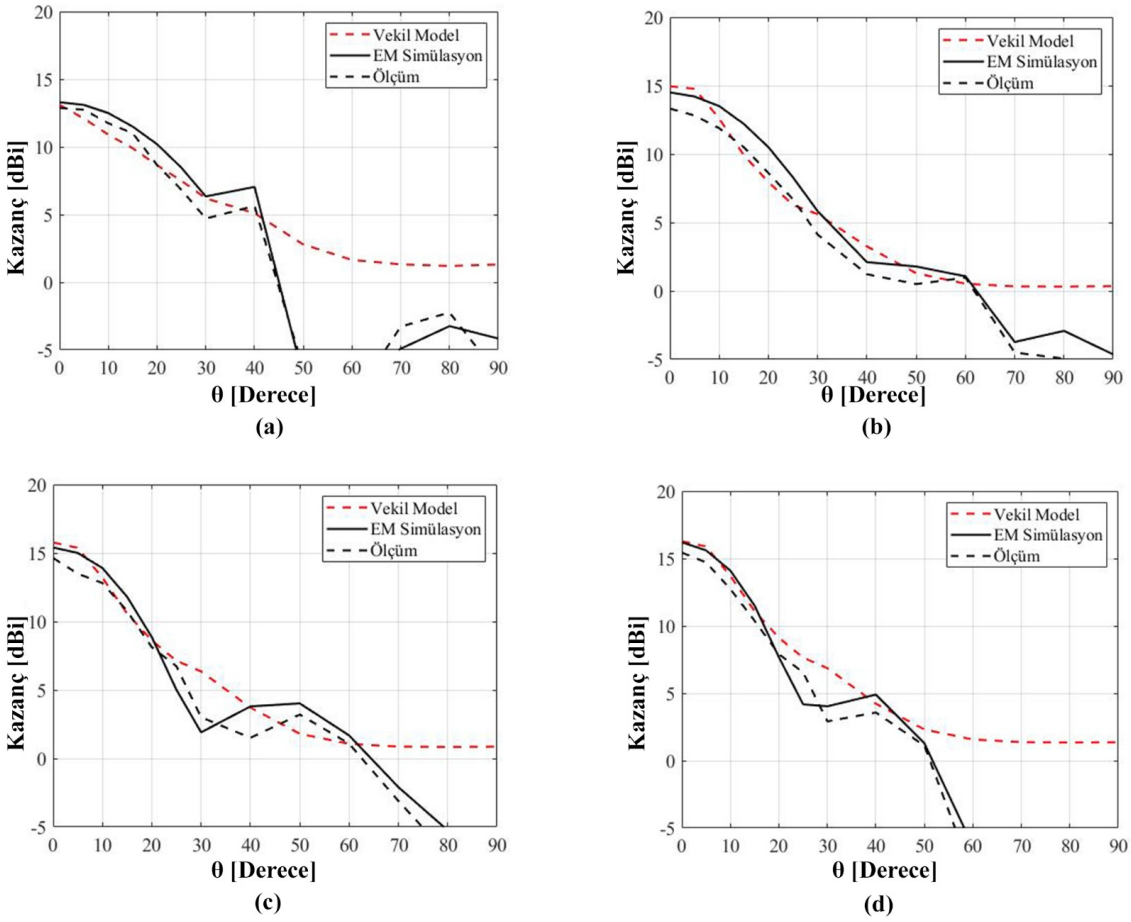
Şekil 4.6 Deney için tasarlanmış anten

Şekil 4.6'da 3B baskılı anten ve Şekil 4.7'de bu antenin tahmin edilen, simüle edilen ve ölçülen ışıma performansı sunulmaktadır. Antenin simülasyonu yapıldığında, kartezten koordinatlar için, $f = 8$ GHz için ana lob genliği 12.6 dBi ve 3 dB hüzme genişliği 21.5°, $f = 10$ GHz için ana lob genliği 13.8 dBi ve 3 dB hüzme genişliği 16.9°, $f = 12$ GHz için ana lob genliği 15.3 dBi ve 3 dB hüzme genişliği 14.9°, $f = 14$ GHz için ise ana lob genliği 15.7 dBi ve 3 dB hüzme genişliği 12.9° olarak hesaplanmıştır.

Görüldüğü üzere ana hüzmeye yakın bölgede değerler uyum içindedir. Vekil modelin tahmin performansı $\theta = 20°$'den sonra daha az doğru olmaya başlar ve $\theta > 50°$'den itibaren neredeyse anlamsız hale gelir. Bu durumun oluşmasındaki ana sebep, ana lob ve yan loblar arasındaki büyüklük farkıdır. Ana lob için $\theta < 10°$'dan küçük olduğu bölgede, kazanç değeri lineer olarak tanımlandığında 20 (13 dBi) ile 100 (20 dBi) arası değişirken, $\theta > 40°$ için 0.01 (-20 dBi) ile 1 (0 dBi) arasında değişir.

Vekil modeller OMH metriğini düşürmeye çalıştığından, $\theta < 20°$ bölgesinde MÇKA modeli, OMH metriğine ve kazanç değeri göz önüne alındığında oldukça verimli bir model sunabilir. Diğer bölgelerde ise, bu bölgelerin kazanç değerinin model üzerindeki etkisi düşük olduğundan, eğitim sürecinde bu bölgeler gözardı edilir. Dolayısıyla bu durum sapmalar oluşturur. Bu durum aşılması için iki çözüm vardır:

- Eğitim ve doğrulama için daha yüksek miktarda örnek kullanılmalıdır.
- Problem alt veri setlerine bölünmelidir. Örneğin, $\theta = 0°$, $0° < \theta < 20°$, $20° < \theta < 40°$, $40° < \theta < 60°$, ve $60° < \theta < 90°$ gibi alt bölgelere bölünüp, birden fazla vekil model kullanılarak kazanç karakteristiğinin tüm bölgedeki baskın etkisi azaltılabilir.



Şekil 4.7 Antenin tahmin edilen, simüle edilen ve ölçülen kazanç karakteristikleri (a) f = 8 GHz (b) f = 10 GHz (c) f = 12 GHz (d) f = 14 GHz

Bununla birlikte, çalışmanın ana amacının, anten tasarımlarının ışıma özelliklerinin hızlı ve doğru tasarım optimizasyonu için düşük hesaplama maliyetli bir çözüm olarak kullanılabilecek yeni bir veri güdümlü vekil modelleme yaklaşımı tanıtmak olduğu bilinmelidir. Bu açıdan bakıldığında, önerilen yaklaşımın belirtilen ışıma modeli özelliklerine sahip antenlerin tasarım optimizasyonu açısından verimli bir yöntem olduğunu göstermek için kullanılan bir örnektir.

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir horn antenin tasarım optimizasyonu, veri güdümlü vekil model destekli optimizasyon arama protokolü kullanılarak, hesaplama açısından verimli olup olmadığı incelenmiştir. ÇKA, DVRM, GSR, TÖ ve MÇKA gibi yaygın olarak kullanılan ve son teknoloji yapay zeka algoritmaları, tasarımın geometrik parametreleri, çalışma frekansı ve ışıma yönü ile tasarımın gerçekleşen kazancı arasında bir eşleme oluşturmak için, oldukça doğru, hızlı ve güvenilir bir veri güdümlü vekil model elde etmek amacıyla kullanılmıştır.

Hesaplama açısından verimli bir yaklaşıma sahip olmak için, veri güdümlü vekil modeli oluşturan veri setinin boyutu mümkün olduğunca düşük olmalıdır. Söz konusu modellerin performansının eğitimi ve doğrulanması için 125 farklı tasarım örneği ve 25 test verisi oluşturulmuştur.

Oluşturulan bu veri setleri sonucu, çapraz doğrulama ve test sonucu OMH bakımından en düşük değere sahip model seçilmiştir. Sırasıyla, OMH değeri en küçükten en büyüğe, Tablo 4.2'den de görüleceği üzere GSR, TÖ, DVRM, ÇKA ve MÇKA şeklindedir. GSR için çapraz doğrulama sonucu 3.34 dBi, test sonucu 5.53 dBi mutlak hata değerleri bulunmuştur. Bu durum modellemenin performansının iyi olmadığını gösterir. Ancak, MKÇA için çapraz doğrulamada 1.12 dBi, test için 2.92 dBi hata oranı verilmiştir. Bu hata oranı kabul edilebilir düzeydedir. Dolayısıyla modelleme MKÇA olarak seçilmiştir.

Daha sonra, BAÇO ve MÇKA tabanlı vekil modelin kullanıldığı Durum 1, Durum 2 ve Durum 3 olmak üzere, üç farklı çalışma senaryosu tasarımı, optimizasyon olarak kabul edilmiştir. Bu üç çalışma durumundan elde edilen simüle edilmiş sonuçlara dayanarak, önerilen vekil modelleme yaklaşımı, çalışma aralığı boyunca maksimum kazanç özelliği için yaklaşık 1 dBi'lik hata payı ile oldukça doğru bir tahmin sağlamıştır.

Daha ileri bir doğrulama için ise bu üç durumdan en optimum optimizasyon senaryosu olarak Durum 3 seçilmiştir. Çünkü, Durum 3' te minimum hacim için maksimum

kazanç değeri vermesi amaçlanmaktadır. Tasarlanan anten $81.2 \times 44.1 \times 38.6\ mm^3$ hacminde, frekans bandı boyunca kazancı $13 - 16$ dBi arasında değişen bir piramit horn antendir.

Bu anten 3B yazıcı ile prototiplenip ölçüm yapıldığında, sonuçların ana lob yakınlarında simülasyon ve vekil model sonuçlarıyla uyuştuğu, ana lobtan uzaklaştıkça uyumun azaldığı gözlenlenmiştir. Örneğin sırasıyla, $\theta = 0°$, $0° < \theta < 20°$, $20° < \theta < 40°$, $40° < \theta < 60°$, ve $60° < \theta < 90°$ gibi bölgelere bölersek, sıfırdan uzaklaştıkça uyumun azaldığı gözlenecektir. Bu durum iki şekilde çözülebilir: Veri sayısı arttırılarak veya bölgelere odaklı veri setleri oluşturarak. Her iki yöntemde makul çözümler ortaya koyar.

Çalışmanın asıl amacı, anten tasarımlarının ışıma özelliklerinin hızlı ve doğru tasarım optimizasyonunu minimum veri setiyle yapmaktır. Bu amaçla 125 eğitim verisi, 25 test verisi kullanılarak model eğitilmiş ve optimizasyon tamamlanmıştır. Elde edilen sonuçlar yapılan optimizasyonun verimli çalıştığını göstermektedir.

Gelecekteki çalışmalarda dizi anten tasarımları gibi daha karmaşık ışıma modeli gereksinimi olan antenlerin ışıma performansları üzerine çalışmaların genişletilmesi amaçlanmaktadır.

KAYNAKÇA

[1] C. A. Balanis, *Antenna theory: analysis and design*. John wiley & sons, 2015.

[2] G. Kim, S. Kim, "Design and analysis of dual polarized broadband microstrip patch antenna for 5g mmwave antenna module on fr4 substrate," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 64 306–64 316, 2021.

[3] M. K. Shereen, M. Khattak, J. Nebhen, "A review of achieving frequency reconfiguration through switching in microstrip patch antennas for future 5g applications," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 61, no. 1, pp. 29–40, 2022.

[4] Z. Ren, S.-S. Qi, W. Wu, Z. Shen, "Pattern-reconfigurable water horn antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 69, no. 8, pp. 5084–5089, 2021.

[5] S. Huang, K. Y. Chan, Y. Wang, R. Ramer, "High gain sıw h-plane horn antenna with 3d printed parasitic e-plane horn," *Electronics*, vol. 10, no. 19, p. 2391, 2021.

[6] M. Mohammadpour, F. Mohajeri, S. A. Razavi, "A new wide band and compact h-plane horn antenna based on groove gap waveguide technology," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 70, no. 1, pp. 221–228, 2021.

[7] M. Sánchez-Fernández, V. Jamali, J. Llorca, A. M. Tulino, "Gridless multidimensional angle-of-arrival estimation for arbitrary 3d antenna arrays," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 20, no. 7, pp. 4748–4764, 2021.

[8] E. Lier, P.-S. Kildal, "Soft and hard horn antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 36, no. 8, pp. 1152–1157, 1988.

[9] J. Ali, N. Abdullah, M. Y. Ismail, E. Mohd, S. M. Shah, "Ultra-wideband antenna design for gpr applications: A review," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 8, no. 7, 2017.

[10] W. A. Imbriale, L. Boccia, "Space antenna handbook," 2012.

[11] K. S. Rao, P. V. Nikitin, S. F. Lam, "Antenna design for uhf rfid tags: A review and a practical application," *IEEE Transactions on antennas and propagation*, vol. 53, no. 12, pp. 3870–3876, 2005.

[12] A. M. Abdalla, J. Rodriguez, I. Elfergani, A. Teixeira, "Optical and wireless convergence for 5g networks,"

[13] P. S. Hall, P. Gardner, A. Faraone, "Antenna requirements for software defined and cognitive radios," *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, no. 7, pp. 2262–2270, 2012.

[14] A. Pietrenko-Dabrowska, S. Koziel, "Fast em-driven parameter tuning of microwave circuits with sparse sensitivity updates via principal directions," *Knowledge-Based Systems*, vol. 252, p. 109 388, 2022.

[15] S. Koziel, A. Pietrenko-Dabrowska, U. Ullah, "Tolerance-aware optimization of microwave circuits by means of principal directions and domain-restricted metamodels," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 70, no. 9, pp. 4085–4093, 2022.

[16] P. Mahouti, M. A. Belen, N. Çalık, S. Koziel, "Computationally efficient surrogate-assisted design of pyramidal-shaped 3d reflectarray antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2022.

[17] P. Mahouti, F. Güneş, M. A. Belen, S. Demirel, "Symbolic regression for derivation of an accurate analytical formulation using "big data": An application example," *The Applied Computational Electromagnetics Society Journal (ACES)*, pp. 372–380, 2017.

[18] A. Kayabasi, A. Toktas, A. Akdagli, M. B. Bicer, D. Ustun, "Applications of ann and anfıs to predict the resonant frequency of l-shaped compact microstrip antennas," *The Applied Computational Electromagnetics Society Journal (ACES)*, pp. 460–469, 2014.

[19] A. Ouchar, R. Aksas, H. Baudrand, "Artificial neural network for computing the resonant frequency of circular patch antennas," *Microwave and optical technology letters*, vol. 47, no. 6, pp. 564–566, 2005.

[20] K. Guney, N. Sarikaya, "A hybrid method based on combining artificial neural network and fuzzy inference system for simultaneous computation of resonant frequencies of rectangular, circular, and triangular microstrip antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 55, no. 3, pp. 659–668, 2007.

[21] "Mühendislikte araştırma ve değerlendirmeler," in S. Bardak, V. Çavuş, Eds. Gece Kitaplığı, Ekim 2022, ch. 8.

[22] K. Selvan, "Accurate design method for optimum gain pyramidal horns," *Electronics Letters*, vol. 35, no. 4, pp. 249–250, 1999.

[23] *Satellite frequency bands*. [Online]. Available: https://www.esa.int/Applications/Telecommunications_Integrated_Applications/Satellite_frequency_bands.html (visited on 09/12/2022).

[24] *Wr90 | wg16 | r100 - rectangular waveguide size*. [Online]. Available: https://www.everythingrf.com/tech-resources/waveguides-sizes/wr90.html (visited on 09/12/2022).

[25] S. J. Orfanidis, "Electromagnetic waves and antennas," 2002.

[26] *Support vector machine (svm)*. [Online]. Available: https://www.mathworks.com/discovery/support-vector-machine.html (visited on 10/05/2022).

[27] *Support vector machine (svm)*. [Online]. Available: https://www.geeksforgeeks.org/support-vector-machine-algorithm/ (visited on 10/05/2022).

[28] *Support vector machines*. [Online]. Available: https://scikit-learn.org/stable/modules/svm.html#regression (visited on 10/05/2022).

[29] *Gaussian processes*. [Online]. Available: https://scikit-learn.org/stable/modules/gaussian_process.html (visited on 10/07/2022).

[30] *Gaussian process regression models*. [Online]. Available: https://www.mathworks.com/help/stats/gaussian-process-regression-models.html (visited on 10/07/2022).

[31] *The complete guide to ensemble learning*. [Online]. Available: https://www.v7labs.com/blog/ensemble-learning#h1 (visited on 10/12/2022).

[32] *Ensemble learning*. [Online]. Available: http://www.scholarpedia.org/article/Ensemble_learning (visited on 10/12/2022).

[33] M. Minsky, S. Papert, F. Perceptrons, "The mıt press: Cambridge," *Mass.(Rev. Edition, 1988)*, 1969.

[34] D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, R. J. Williams, "Learning representations by back-propagating errors," *nature*, vol. 323, no. 6088, pp. 533–536, 1986.

[35] E. Öztemel, "Yapay sinir ağlari," *PapatyaYayincilik, Istanbul*, 2003.

[36] *Multilayer perceptrons*. [Online]. Available: https://d2l.ai/chapter_multilayer-perceptrons/backprop.html (visited on 09/13/2022).

[37] N. Calik, M. A. Belen, P. Mahouti, "Deep learning base modified mlp model for precise scattering parameter prediction of capacitive feed antenna," *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*, vol. 33, no. 2, e2682, 2020.

[38] G. Sateesh Babu, P. Zhao, X.-L. Li, "Deep convolutional neural network based regression approach for estimation of remaining useful life," in *International conference on database systems for advanced applications*, Springer, 2016, pp. 214–228.

[39] A. Afshar, O. B. Haddad, M. A. Mariño, B. J. Adams, "Honey-bee mating optimization (hbmo) algorithm for optimal reservoir operation," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 344, no. 5, pp. 452–462, 2007.

[40] F. Güneş, S. Demirel, P. Mahouti, "Design of a front–end amplifier for the maximum power delivery and required noise by hbmo with support vector microstrip model," *Radioengineering*, vol. 23, no. 1, pp. 134–143, 2014.

[41] F. Güneş, S. Demirel, P. Mahouti, "A simple and efficient honey bee mating optimization approach to performance characterization of a microwave transistor for the maximum power delivery and required noise," *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*, vol. 29, no. 1, pp. 4–20, 2016.

[42] F. Güneş, İ. Ö. Evranos, M. A. Belen, P. Mahouti, M. Palandöken, "A compact triband antipodal vivaldi antenna with frequency selective surface inspired director for ıot/wlan applications," *Wireless Networks*, vol. 27, no. 5, pp. 3195–3205, 2021.

[43] P. Mahouti, A. Kızılay, O. Tari, A. Belen, M. A. Belen, "Design optimization of ultra wide band vivaldi antenna using artificial intelligence," in *2021 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium (ACES)*, IEEE, 2021, pp. 1–4.

[44] *Pla 1.75mm 3d printing filament*. [Online]. Available: https://cel-uk.com/shop/pla/ (visited on 11/17/2022).

[45] *Roboxdual by cel – a dual material 3d printer*. [Online]. Available: https://celuk.com/shop/roboxdual-by-cel-a-dual-material-3d-printer/ (visited on 11/17/2022).

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Kitap

1. “Mühendislikte araştırma ve değerlendirmeler,” Gece Kitaplığı, Ekim 2022, Bölüm 8: "Piramit Huni Anten Kazancının Yapısal Parametrelere Göre Hassasiyet Analizi"

Proje

1. Proje No: 119N196, Proje Adı:"İleri Bakan ve Temaslı GPR Sistemlerine Yönelik Hedef Görüntüleme ve Teşhis Teknolojilerinin Geliştirilmesi", Destekleyen Kurum: TÜBİTAK