

**T.C.  
BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**GSM – 900MHz FREKANS BANDINDA PROPAGASYON  
YOL KAYBININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE  
MODELLENMESİ**

**İsmail Hakkı YEMENOĞLU**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Feyzullah TEMURTAŞ**

**Yozgat 2018**



**T.C.  
BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**GSM – 900MHz FREKANS BANDINDA PROPAGASYON  
YOL KAYBININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE  
MODELLENMESİ**

**İsmail Hakkı YEMENOĞLU**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Feyzullah TEMURTAŞ**

**Yozgat 2018**

T.C.  
BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı 70111514001 numaralı öğrencisi İsmail Hakkı YEMENOĞLU'nun hazırladığı "Gsm - 900MHz Frekans Bandında Propagasyon Yol Kaybının Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi" başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince 28/02/2018 günü saat 13:30'da yapılmış, tezin onayına oy birliği/oy-çokluğu ile karar verilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Feyzullah TEMURTAŞ

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Onursal ÇETİN

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Kenan GENÇOL

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 05.../04.../2018 tarih ve 127. sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

05/04/2018

Prof. Dr. Fuat KÖKSAL  
Müdür

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
<b>1.GİRİŞ.....</b>	<b>11</b>
<b>2.ELEKTROMANYETİK DALGA VE PROPAGASYON.....</b>	<b>17</b>
2.1.Elektromanyetik Dalgalar .....	17
2.2.Maxwell Teorisi ve Denklemleri .....	18
2.3.Elektromanyetik Dalgaların Özellikleri .....	18
2.4.Elektromanyetik Dalgaların Taşıdığı Enerji ve Poynting Vektörü .....	19
2.4.Elektromanyetik Dalgaların Propagasyonu ve Propagasyonu Etkileyen Faktörler .....	20
2.4.1.Yansıma .....	20
2.4.2.Kırınım .....	20
2.4.3.Kırılma .....	20
2.4.4.Saçılma.....	21
2.5.Anten ve Anten Parametreleri .....	21
2.5.1.Frekans ve Dalgaboyu.....	21
2.5.2.Anten Polarizasyonu .....	21
2.5.3.Anten Kazancı ve Yöneltiliği .....	22
2.5.4.Yakın Alan ve Uzak Alan .....	23
2.5.5.Yayılm Deseni .....	23
2.5.5.Etkin İzotropik Yayılm Gücü.....	24
2.5.5.Etkin Yayılm Gücü .....	24
2.5.6.Anten Faktörü .....	25
2.5.7.Serbest Uzay Kaybı.....	25
<b>3.MOBİL HABERLEŞME.....</b>	<b>26</b>
3.1.GSM Sistemi .....	26
3.1.1. Hücre Çeşitleri .....	27
3.2.GSM Altyapısı .....	27

3.2.1. Mobil İstasyon Terminali (MS – Mobile Station) .....	27
3.2.2. Abone Kimlik Kartı (SIM – Subscriber Identity Module).....	28
3.2.3. Baz İstasyonu (BTS – Base Transceiver Station) .....	28
3.2.4. Baz İstasyon Denetleyicisi (BSC – Base Station Controller) .....	28
3.2.5. Mobil Servis Anahtarlama Merkezi (MSC – Mobile Service Switching Centre).....	28
3.2.6. İşletme ve Bakım Merkezi (OMC - Operations and Maintenance Center) .....	29
3.3. GSM Bant Genişliği .....	29
3.4. Elektromanyetik Propagasyon Modelleri.....	29
3.4.1. Çoklu Yol Propagasyonu (Multipath Propagation) .....	29
3.4.2. Doppler Yayılımı (Doppler Spread) .....	30
3.4.3. Sönümlenme.....	31
3.4.4. Okumura Modeli .....	31
3.4.5. Hata Modeli.....	33
3.4.6. Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı .....	33
<b>4.YAPAY SİNİR AĞLARI .....</b>	<b>35</b>
4.1. Biyolojik Sinir Ağı.....	35
4.2. Yapay Sinir Ağı.....	36
4.3. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı ve Çalışma Prensipleri.....	39
4.4. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme ve Test Etme.....	40
4.5. Yapay Sinir Ağlarında En Çok Tercih Edilen Modeller .....	42
<b>5.PROPAGASYON YOL KAYBININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ VE SONUÇLARI .....</b>	<b>44</b>
5.1. Alınan sinyal Gücü Değeri Ölçümleri.....	44
5.2. Okumura Hata Modeli Sonuçları .....	46
5.3. Yapay Sinir Ağı Tasarımları ve Sonuçları .....	46
5.3.1. Yapay Sinir Ağlarında K-Fold Kullanımı.....	46
5.3.2. Çok Katmanlı Sinir Ağı Modeli (MLNN) .....	47
5.3.3. Radyal Tabanlı Sinir Ağı Modeli (RBNN) .....	51
5.3.4. Kendi Kendini Organize Eden Model (SOM) .....	55

<b>6.TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....</b>	<b>60</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>61</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>65</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>78</b>



# GSM – 900MHZ FREKANS BANDINDA PROPAGASYON YOL KAYBININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ

İsmail Hakkı YEMENOĞLU

Bozok Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi

2018; Sayfa: 78

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Feyzullah TEMURTAŞ

## ÖZET

Kablosuz haberleşme sistemlerinde, iletişimin kesintisiz ve verimli olması ancak radyo propagasyonunun analizi yapılarak, sağlanabilir. Alıcının hareketli olduğu sistemler için alıcının işaret güç seviyesi bilgisi için geliştirilmiş çeşitli modeller ile verici ve alıcı antenlerin optimizasyonu gerçekleştirilebilmekte ve bu sayede gerekli ve yeterli ağ tasarımları yapılabilmektedir. Tasarlanan ağlar için maksimum iletim uzaklığı (kapsama alanı) ifadesi ise propagasyon yol kaybı parametresi ile belirlenebilmektedir. Bu çalışmada; GSM-900 MHz frekans bandında çalışan bir baz istasyonuna ilişkin yapay sinir ağları ile propagasyon yol kaybı modellenmiştir. GSM sistemlerinde kullanılan propagasyon yol kaybı için çeşitli ampirik modeller kullanılarak elde edilen sonuçlar ve bu modellere alternatif geliştirilmiş olan Yapay Sinir Ağı(YSA) modellerinden elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

GSM-900 MHz frekans bandında yayın yapan baz istasyonuna ait 361 adet farklı uzaklıklara sahip alıcı anten sinyal gücü verisi incelenerek; geliştirilecek olan YSA modelleri için 5 adet giriş ve 1 adet çıkış parametresi seçilmiştir. Yapay Sinir Ağlarının; MLNN, RBNN ve SOM çeşitlerinde model tasarlanmaya çalışılmıştır. Üç yapay sinir ağı içinde 3-fold modu kullanılmıştır. Ampirik modellerden; Okumura ve Hata modellerine bakılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Gsm, elektromanyetik dalga, yapay sinir ağları, propagasyon yol kaybı.



# MODELLING OF PROPAGATION PATH LOSS OF GSM – 900 MHZ FREQUENCY BAND BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

İsmail Hakkı YEMENOĞLU

Bozok University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Electrical and Electronics Engineering  
Master of Science Thesis

2018; Page: 78

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Feyzullah TEMURTAŞ

## ABSTRACT

Communication is constant and efficient for wireless communication with analyze radio propagation. Transmitter and receiver antennas can be optimized with developed various model that measure RSS level informations (received signal strength) for moving receiver system and wireless networks can be designed. Maximum communication range can find with propagation path loss parameters. In this study, propagation path loss measurements is modeled by artificial neural networks for the base transceiver station that using GSM - 900 MHz bandwidth. The propagation path loss results are calculated with some empirical propagation path loss models and these results compare with alternate path loss model that designed with some artificial neural networks.

361 received signal strength data that has different distance are studied, then 5 input parameters and 1 output parameters are defined for artificial neural networks. Multilayer neural networks (MLNN), Radial basis function neural networks (RBNN or RBFNN) and Self organizing map (SOM) models from artificial neural networks varieties are developed with 3 fold mode. Okumura and Hata models from empirical propagation models are used for this study.

**Keywords:** Gsm, electromagnetic wave, artificial neural networks, propagation path loss.

## TEŞEKKÜR

Öncelikle çalıŐmalarımnda tecrübesi ile bana yardımcı olan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Feyzullah TEMURTAŞ'a teŐekkürlerimi sunmak isterim.

Yaptığımız çalışmada baz istasyonu ölçüm verilerinin sağlanması konusunda destek olan Vodafone Ankara ekibine ve Müh. Hürcan YEMENOğLU'na, değerli hocalarım Prof.Dr. Hüseyin ARSLAN'a ve Öğr. Gör. Ali DEMİR'e, ikiz kardeşim Musab YEMENOğLU'na, Müh. Soner AKKURT'a, çalışma arkadaşlarım ve dostlarıma teşekkür ederim.

Hayatta desteklerini benden hiç esirgemeyen sevgili babam İlhami YEMENOğLU'na ve sevgili annem AyŐe YEMENOğLU'na, değerli eşim Sümeyye YEMENOğLU'na, kuzenlerim Mustafa CEVAHİR'e ve Hüseyin CEVAHİR'e, her zaman ve her konuda desteklerini esirgemeyen kız kardeşlerime ve bana yardımları bulunan herkese teşekkür ederim.

## TABLULAR LİSTESİ

<b>Tablo 5.1.</b> Baz İstasyonu Ölçüm Değerleri .....	45
<b>Tablo 5.2.</b> Yapay Sinir Ağı Modelleri ile Ampirik Model Karşılaştırması . <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>	
<b>Tablo 5.3.</b> Yapay Sinir Ağı Modelleri Eğitim ve Test Sonuçları ..... <b>Hata! Yer işareti tanımlanmamış.</b>	
<b>Tablo 5.4.</b> MLNN Yapay Sinir Ağı Ağırlık Değerleri .....	49
<b>Tablo 5.5.</b> Düğüm “0” Ağırlık Değerleri.....	50
<b>Tablo 5.6.</b> RBNN Yapay Sinir Ağı Parametre Değerleri .....	53

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Elektromanyetik Spektrum .....	17
Şekil 2.2. Anten Polarizasyonları.....	22
Şekil 2.3. Uzak Alan ve Yakın Alan.....	23
Şekil 2.3. Uzak Alan ve Yakın Alan.....	24
Şekil 3.1. GSM Hücre Sistemi.....	26
Şekil 3.2. GSM Altyapısı.....	27
Şekil3.3. Çoklu Yayılım .....	30
Şekil 4.1. Biyolojik Yapay Sinir Ağı.....	36
Şekil 4.2. Temel Yapay Sinir Ağı Modeli .....	37
Şekil 4.3. Yapay Sinir Ağı Çalışma Prensibi.....	39
Şekil 4.4. Yapay Sinir Ağı Katmanları .....	40
Şekil 4.5. Yapay Sinir Ağının Öğrenme ve Test İşlemleri .....	41
Şekil 4.6. SOM Ağının Yapısı .....	43
Şekil 4.7. Radyal Tabanlı Sinir Ağı Yapısı.....	43
Şekil 5.1. Tasarlanan MLNN Yapay Sinir Ağı Modeli .....	48
Şekil 5.2. MLNN Yapay Sinir Ağı Eğitim Verisi.....	50
Şekil 5.3. MLNN Yapay Sinir Ağı Test Verisi.....	51
Şekil 5.4. Radyal Tabanlı Sinir Ağı Modeli .....	51
Şekil 5.5. Gauss Fonksiyon Grafiği .....	52
Şekil 5.6. Doğrusal Fonksiyon Grafiği .....	52
Şekil 5.7. RBNN Yapay Sinir Ağı Eğitim Verisi .....	54
Şekil 5.8. RBNN Yapay Sinir Ağı Test Verisi .....	54
Şekil 5.9. SOM Yapay Sinir Ağı Modeli.....	56
Şekil 5.10. SOM Ağı Haritası.....	56

Şekil 5.11. SOM Ağı Benzetim Haritası.....	57
Şekil 5.6. SOM Yapay Sinir Ağı Eğitim Verisi.....	57
Şekil 5.7. SOM Yapay Sinir Ağı Test Verisi.....	58

## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>GSM</b>	:	Küresel Mobil Haberleşme Sistemi
<b>YSA</b>	:	Yapay Sinir Ağı
<b>MLNN</b>	:	Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı
<b>RBNN</b>	:	Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı
<b>SOM</b>	:	Kendi Kendini Organize Eden Yapay Sinir Ağı
<b>c</b>	:	Işık Hızı
<b><math>\lambda</math></b>	:	Dalgaboyu
<b>f</b>	:	Frekans
<b>I</b>	:	Manyetik Şiddet
<b>S</b>	:	Poynting Vektörü
<b>U</b>	:	Elektromanyetik Dalga Enerjisi
<b><math>\vec{E}</math></b>	:	Elektrik Alan
<b><math>\vec{B}</math></b>	:	Manyetik Alan
<b><math>\epsilon_0</math></b>	:	Dielektrik Katsayısı
<b><math>\mu_0</math></b>	:	Manyetik Geçirgenlik
<b>EIRP</b>	:	Etkin izotropik anten gücü
<b><math>P_t</math></b>	:	Verici Anten Gücü
<b><math>G_t</math></b>	:	Verici Anten Kazancı
<b>ERP</b>	:	Etkin Yayılım Gücü
<b>k</b>	:	Anten Faktörü
<b><math>L_{fst}</math></b>	:	Serbest Uzay Kaybı
<b>MS</b>	:	Mobil Cihaz
<b>BS</b>	:	Baz İstasyonu
<b>BSC</b>	:	Baz İstasyonu Denetleyicisi
<b>MSC</b>	:	Mobil Servis Anahtarlama Merkezi
<b>SIM</b>	:	Abone Kimlik Kartı

<b>OMC</b>	:	İşletme ve Bakım Merkezi
<b><math>f'</math></b>	:	Değişen Frekans
<b><math>V_r</math></b>	:	Alıcı Hızı
<b><math>V_s</math></b>	:	Kaynak Hızı
<b><math>L_m(dB)</math></b>	:	Ortalama Yol Kaybı
<b><math>L_f(d)</math></b>	:	Serbest Uzay Yayılımı Yol Kaybı
<b><math>A_{mu}</math></b>	:	Serbest Uzay Ortalama Zayıflaması
<b><math>G(h_r)</math></b>	:	Mobi Anten Yüksekliği Kazanç Faktörü
<b><math>G(h_t)</math></b>	:	Baz İstasyonu Yüksekliği Kazanç Faktörü
<b><math>G_{area}</math></b>	:	Çevre Kazancı
<b>LVQ</b>	:	Vektör Kuantizasyon Modelleri
<b>ART</b>	:	Adaptif Rezonans Teori Modeli
<b>RAE</b>	:	Relative Absolute Error
<b>RMSE</b>	:	Root Mean Squared Error
<b>CC</b>	:	Correlation Coefficient

## 1.GİRİŞ

İletişim, hayatımızın önemli bir alanını kapsamaktadır, teknoloji ve bilimde katedilen yola bağlı olarak haberleşme çeşitliliği ve kalitesi gün geçtikçe artmaktadır. Kablosuz haberleşme sistemleri de yeni sayılabilecek iletişim yöntemlerinden biridir ve tüm dünyada teknoloji alanında en hızlı ve en çok inovasyona sahip bir alandır. Bu alanın bu denli rağbet görmesi ve yeniliğe sahip olmasının sebebi ise, insanlığın sadece ses değil, bunun yanısıra görüntü, video, özel veri transferi işlemlerini, sürekli iletişim ile desteklenmesi isteğinin karşılanmaya çalışılmasından ileri gelmektedir. Bu taleplerin yerine getirilmesi için kablosuz haberleşme sistemlerinde, hız, kapasite, süreklilik ve verimlilik açısından iyileştirme çalışmaları hızla artmıştır [1].

Kablosuz haberleşme alanındaki güncelliğini koruyan önemli uygulamaların başında ise ülkelerin askeri savunma sistemleri ve tüm dünyanın kullandığı cep telefonlarının altyapısını oluşturan mobil haberleşme sistemleri gelmektedir [2].

Mobil haberleşme sistemleri, bilindik diğer iletişim sistemlerinden radyo/tv sistemleri gibi elektromanyetik dalgalar kullanılarak haberleşme sağlamaktadır. Ancak mobil haberleşme teknolojisi, bu sistemlerden farklı olarak hücreli yapıya sahiptir ve iletişimin sağlanacağı alana yetecek sayıda baz istasyonu ağının kurulumu ile faaliyete geçer. En fazla kullanıcının aynı anda iletişim kurabilmesi için tasarlanan hücreli yapı, hizmet verdiği alanın beşeri ve coğrafi özelliklerine göre planlanarak makro, mikro ve piko isimlerini almaktadır [3].

Hücreli haberleşme sistemlerinde kullanılan alt yapıların en önemlisi GSM sistemidir, bu sistemde ilk kullanılan elektromanyetik spektrum ise 900/1800 MHz bandıdır [4]. GSM, dünya genelinde ilk olarak Finlandiya'da kullanılmaya başlanmış ve kısa zamanda bir dünya standardı haline gelmiştir. GSM sistemi birbirinden bağımsız birçok birimin entegre edilmesi ile oluşmaktadır. GSM networkü temelde, mobil istasyon, baz istasyonu ve network alt sistemi (santral birimi) olmak üzere üç parçadan oluşmaktadır.[5]

Bu sistemde iletişim, mobil istasyondan baz istasyonuna veya baz istasyonundan mobil istasyona iletilen sinyaller aracılığıyla sağlanır.

GSM sisteminde santral ile mobil cihaz arası bağlantının baz istasyonları ile sağlandığı düşünüldüğünde, iletişimin verimli ve sürekli bir şekilde gerçekleştirilmesi, hücresel kapsama alanlarının uygun bir şekilde planlanması ile mümkündür. Baz istasyonlarının planlanmasında ise sinyalin elektromanyetik yayılımı ve propagasyon kaybının hesaplanmasına ihtiyaç duyulmaktadır [6].

Propagasyon kaybı, sinyalin verici ile alıcı arasındaki iletim veri yolu üzerinde ilerlerken meydana gelen yansıma, kırılma, saçılma, kırınım ve doppler etkisi gibi etkenlerin ortaya çıkması ile meydana gelir. Bu etkilerin sonucu olarak, sinyal farklı yollarla alıcıya ulaşır veya sinyalin frekansında kayma meydana gelir, sinyal kayıplara uğrar ve sönmüş şekilde alıcıya ulaşır [7].

Haberleşme sisteminin verimli ve etkin olabilmesi, yayılım modellerini kullanarak, propagasyon kaybının hesaplanması ve buna göre aksiyon alınması ile mümkündür.

Yayılım modelleri, sistemin etkin olması istenen arazinin beşeri ve coğrafi durumlarına göre değişen düzeltme faktörleri sunar, böylelikle sinyalin zayıf ve güçlü olduğu alanlar belirlenerek, mobil haberleşme sisteminin kapsama alanı analizi ve optimizasyonu için daha gerçekçi veriler elde edilir.

Maxwell denklemleri ile matematiksel yayılım modelleme hesabı yapılabilir, ancak bu yöntemin kullanımı işlem ve zaman açısından bir dezavantaj olduğu gibi sadece çok yönlü sinyal iletimi sayısının az olduğu ve çevresel faktörlerin sabit ve geometrisi basit olan alanlarda doğru sonuçlar verir. Bu nedenle, göz ardı edilebilen değerlerin ayıklanarak, doğru sonuçlar için gerekli parametrelerin belirlenip deney ve gözleme dayanan matematiksel denklemler ile hesaplanabilen yayılım modellerine ihtiyaç duyulmuştur [8].

Ampirik propagasyon yayılım modelleri, sinyalin etkin olduğu çevre parametreleri göz önüne alınarak tasarlandığından, dünyanın neresinde elektromanyetik dalga



yayımlı varsa o kadar da yayılım modelinden bahsetmek yanlış olmaz. Ancak, çevre faktörlerine düzeltme ekleri konularak, genelleştirilmiş bazı yayılım modelleri mevcuttur. Bunlardan en çok kullanılanı Okumura-Hata modelidir. Okumura, 1968 yılında Tokyo’da yapmış olduğu baz istasyonu ölçüm sonuçlarına göre ortalama sinyal zayıflığını veren eğriler oluşturarak bu modeli tanımlamıştır. Hata ise 1980 yılında Okumura’nın grafiksel verilerini kapalı matematiksel bir modele dönüştürmüştür.

Konu ile ilgili incelenen makale, tez ve araştırma yazılarında ise aşağıda yer alan çalışmalar öne çıkmaktadır.

1- Mobil cihaz kullanıcılarının kapsama problemini en çok yaşadığı alanlardan biri olan otoyollar için, varolan yol kayıp modelleri üzerinden, ölçülen sinyal gücünün karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç olarak, makro hücre grubuna giren uygulama alanı için, ölçüm sonuçlarına en yakın veriler, Okumura-Hata ve COST 231 yayılım modelleri ile elde edilmiştir [9].

2-İstanbul’un Harbiye semtinin kapsama alanı için, Berfoni-Walfisch propagasyon yol kaybı modeli kullanılarak alınan sinyal güç değerleri hesaplanmıştır. Araştırmacı, adaptif sinir ağı tabanlı bulanık mantık sistemi ile yol kayıp modeli tasarlamıştır. Daha sonra, ölçülen değerler, Berfoni-Walfisch modeli ve tasarlanan bulanık mantık modeli karşılaştırılmıştır [10].

3- İstanbul ilinin bazı semtleri için, varolan kayıp modellerinden yararlanılarak, bu bölgelere özel, düzeltme faktörü hesabının yapılarak, yol kayıp modeli tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan model, Berfoni-Walfisch ve ölçüm verileri ile kıyas edilmiştir. Sonuç olarak, referans model olarak kabul ettiği, Berfoni-Walfisch modeline yakınsayan yeni bir model tasarlamıştır [11].

4- Nijerya’nın Ilorin şehrine ait olmak üzere, baz istasyonu ölçümlerinin yapıldığı ve bu değerlerin, hesaplanan yol kayıp modelleri ile karşılaştırılmasının yapılmıştır. Karşılaştırma işlemi, ATOLL ağ planlama programından yararlanan araştırmacılar, alınan sinyal gücü hesabı için Okumura-Hata modelinin, servis

kalitesi parametresi hesabı için ise standart yol kayıp modelinin en iyi sonuçlar verdiğini söylemiştir [12].

5-Kablosuz haberleşme sistemlerinin propagasyon yol kaybı modellerini inceleyen araştırmacı, Ankara ilinin bazı ilçelerinin coğrafya yapısı üzerine, yol kayıp modellerini uygulamış ve modeller arası karşılaştırmalar yaparak, belirlenen coğrafya için en uygun yol kayıp modelini belirlemiştir [13].

6- Yol kayıp modellerinin; hesaplama için kullandığı parametrelerden, hangisinin sinyal gücü tahmininde daha fazla etki ettiğini anlamak üzere Yuvraj Singh adlı araştırmacının yaptığı çalışmada, alıcı anten yüksekliği ve verici anten yüksekliği parametrelerinin, Okumura, Hata ve COST-231 yol kayıp modelleri üzerindeki etkilerine değinmiştir. [14].

7- Hindistan'ın Pondicherry kentinin alınan sinyal gücü hesabı için modifiye ettikleri Hata modelini kullanan P.Saveeda,E.Vinothini,Vardhi Swathi and K.Ayyappan isimli araştırmacılar, klasik Hata modeli, modifiye ettikleri Hata modeli ve ölçüm sonuçlarını karşılaştırarak, adı geçen coğrafyaya uygun propagasyon yol kaybı modelini tanımlamışlardır [15].

8- Malezya'nın başkenti Kuala Lumpur için alınan sinyal gücü hesabı için, ampirik modellerden; Lee, Cost-231, Sui ve Egli modelleri denenerek, ölçüm değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışmayı yürüten, Jalel Chebil, Ali K. Lwas, Md. Rafiqul Islam and Al-Hareth Zyoud adlı araştırmacılar, bölge için kullanılacak en uygun ampirik modelin Lee modeli olduğunu bulmuşlardır [16].

9- Lukáš KLOZAR , Jan PROKOPEC adlı araştırmacılar, Çek Cumhuriyeti'nin Brno şehrini uygulama alanı olarak seçmişler ve varolan propagasyon yol kaybı modellerini, parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritmasını kullanarak; kentsel, yüksekliği az olan binalara sahip alanlar ve kırsal alanlar için en uygun modelleri belirlemeye çalışmışlardır [17].

10- Metro istasyonları için yol kayıp modellerinin, alınan ölçüm sonuçları ile karşılaştırılarak, uygun modelin bulunmasını amaçlayan tezin sahibi Ferhat Yumuşak adlı araştırmacıdır. Rf-vu adındaki programı kullanarak, yol kaybı hesabı benzetimi yapan araştırmacı, bina içi alanlar için yaptığı benzetim sistemi sonuçlarının, ölçülen değerlere uyumlu olduğunu tespit etmiştir [18].

11- İstanbul, Beşiktaş'taki Yıldız Teknik Üniversitesi kampüsünde, kablosuz alan ağlarının yol propagasyon kaybı modeli hesabı yapan Umut Bulucu adlı araştırmacı, Levenberg-Marquardt algoritması ile yapay sinir ağını eğiterek, istediği sonuçları elde etmiş ve kablosuz internet ağı yol kaybı hesabı için yapay sinir ağları ile modellemesi yapmıştır [19].

Literatürde yer alan bu çalışmalara genel olarak bakıldığında, belirli özel alanlara yönelik; mobil sinyal propagasyon yol kaybı hesabı için düzeltme faktörlerinin elde edilmesi ve uygulama alanı için ampirik propagasyon yol modeli tasarımı , kapsama alanı ölçüm değerlerinin, var olan ampirik ve deterministik modellerle karşılaştırılarak bölge için en uygun modelin seçimi, GSM altyapı parametrelerinin propagasyon yol kaybı hesabına olan etkilerinin karşılaştırılması, şeklinde amaçlar için yapıldıkları görülmüştür.

Bu tez çalışmasında ise varolan ampirik yayılım modellerinden yararlanılarak propagasyon kaybını etkileyen parametreler seçilerek YSA modellemesi yapılmıştır. Amaç, GSM sistemindeki baz istasyonu optimizasyonuna katkıda bulunmaktır. Bu amaçla, YSA'nın MLNN, RBNN ve SOM çeşitleri ile propagasyon kaybı modellemesi yapılmış ve sonuçlar Okumura – Hata ampirik yayılım modeli ve ölçülen değerler ile karşılaştırılarak, sonuçlar ortaya konmuş ve önerilerde bulunulmuştur.

Yapay sinir ağı modeli seçiminde, uygulamada fonksiyon yakınsaması gerçekleştirilmede sıklıkla kullanılan modellere yer verilmiştir. MLNN ve RBNN gibi çok katmanlı ağlar, denetlemeli öğrenme kullanılarak yapılan ağırlık güncellemesi ile doğrusal olmayan bir fonksiyona yakınsaması yapabilmektedir.

MLNN ve RBNN ağları doğrusal olmayan gizli katmana sahip modellerdir. Aktivasyon fonksiyonu olarak öğrenme algoritmasının devamlı türevi alınabilen fonksiyonlara ihtiyaç duymasından ötürü, MLNN ağında sigmoid, RBNN ağında ise gauss aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. İki ağ içinde, nümerik ölçüm verilerine yakınsayan çıkış verileri elde edilmiştir.

Bunun yanında, SOM ağı ise ileri beslemeli denetlemesiz bir yapay sinir ağıdır ve giriş değerlerinin önemli özelliklerini öne çıkarır, giriş bilgilerini belirlenen boyutta haritaya tanımlayarak, bu bilgilerin anlaşılabilir hale gelmesini sağlar. Klasik yakınsama özelliğine sahip yapay sinir ağlarının yanında SOM gibi verileri iki boyutlu uzayda görsel sunum haline getiren bir ağ modeli kullanarak farklı bir tasarım sağlanmışır. SOM ağında nominal değerler kullanılmış, veriler hem kümelendirilmiş hem de haritalandırılmışır.

## 2.ELEKTROMANYETİK DALGA VE PROPAGASYON

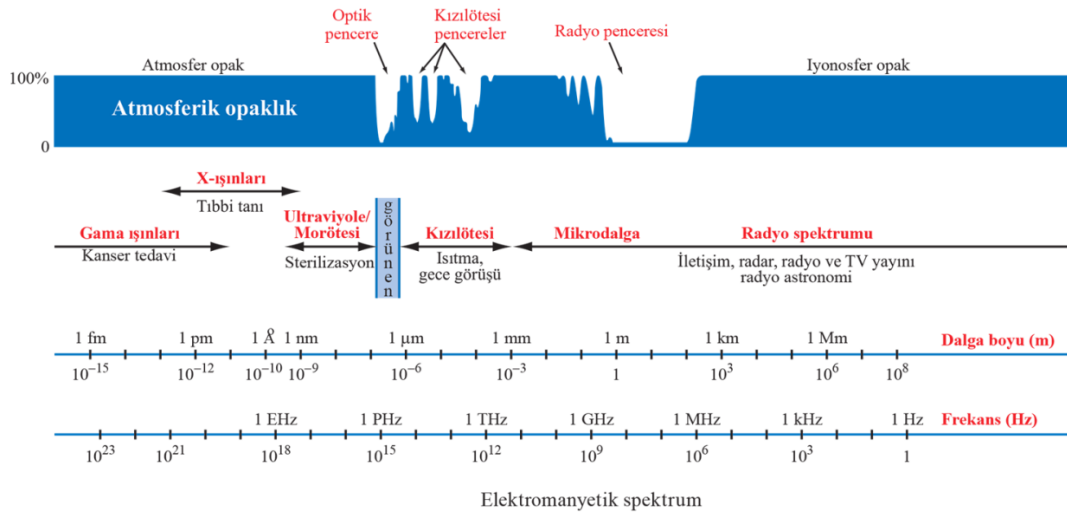
Herhangi bir iletkenin geçen akımı, sabit veya değişken özelliğe sahip olsun, beraberinde elektrik alan ve manyetik alan kuvvetlerini de içerir. Elektriksel ve manyetik güçlerin birleşimi ile elektromanyetik alan oluşur. Elektromanyetik alan ve onu oluşturan elektrik alan ile manyetik alan unsurları birbirlerine diktir.

Elektromanyetik dalgaların, hız, dalga boyu ve frekans gibi parametreleri vardır. Bu parametreler, James Clark Maxwell ve Heinrich Hertz tarafından incelenerek, elektromanyetizmanın temelini oluşturan denklemler ve yasalar belirlenmiştir [20]. Bu bölümde, elektromanyetik alanın temelleri ve elektromanyetik dalgaların yayılımı incelenecektir.

### 2.1.Elektromanyetik Dalgalar

Elektromanyetik alan bileşenlerinden elektrik alan düzlemde y yönünde ilerlediği kabul edilirse, manyetik alan z yönünde ve bu ikisine dik olarak elektromanyetik alan düzlemde x yönünde ilerleme kat eder. Elektrik alan değerinin birimi, V/m iken manyetik alan değerinin birimi ise A/m'dir.

Elektromanyetik dalgalar, ivmelendirilmiş elektrik yükleri ile oluşurlar ve enine dalgalardır, ışık hızı ( $c=3 \times 10^8 \text{m/sn}$ ) ile ilerlerler, frekans ve dalga boyu unsurları ise bu dalgaları birbirinden ayıran özelliklerdir.



Şekil 2.1. Elektromanyetik Spektrum [21]

## 2.2.Maxwell Teorisi ve Denklemleri

Maxwell teorisi, elektromanyetik alanı oluşturan, elektrik alan ( $\vec{E}$ ) ve manyetik alan ( $\vec{B}$ ) genlik değerlerinin ilişkisini  $c = \frac{E}{B}$  şeklinde açıklar.

Maxwell denklemleri serbest uzayda;

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \text{ (Gauss Yasası)} \quad (2.1)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \text{ (Manyetik Gauss Yasası)} \quad (2.2)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \text{ (Faraday Yasası)} \quad (2.3)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \text{ (Ampere Yasası)} \quad (2.4)$$

şeklinde ifade edilir [22].

$\vec{E}$  ve  $\vec{B}$  alanlar arasındaki ilişkiyi ayırmak için üçüncü ve dördüncü maxwell denklemlerinin rotasyonelini alınarak;

$$\nabla^2 \vec{E} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad \text{ve} \quad \nabla^2 \vec{B} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \quad \text{elde edilir.}$$

Bu sayede,  $\vec{E}$  ve  $\vec{B}$  alan bileşenlerinin,  $\nabla^2 f = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2}$  denklemini sağlaması gerektiği anlaşılır ve bu denkleme klasik dalga denklemi denir.

Elektromanyetik dalgaların hızı, verilen denklemler sonucu;

$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$  şeklinde bulunur. Formüldeki  $\epsilon_0$  (dielektrik katsayısı) ve  $\mu_0$  (manyetik geçirgenlik) değerleri serbest uzayda ;  $\epsilon_0 = 8,85418 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$  ve  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$  değerlerine eşittir. Bu değerler ile  $v$  değeri;

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3,00 \times 10^8 \text{ m/sn} \quad (2.9)$$

olarak bulunur ve bu değer  $c$  (ışık hızı) değeridir [23].

## 2.3.Elektromanyetik Dalgaların Özellikleri

Elektromanyetik dalgalar, enerji taşırlar ve bunu gittikleri ortama taşırlar.

Elektromanyetik dalgaların enerjisi, frekans, dalgaboyu gibi bazı özelliklere bağlıdır.

Buna göre;

Frekans ( $f$ ): Birim zamanda dalganın yapmış olduğu salınım sıklığını ifade eder.

Dolayısıyla, periyodun çarpmaya göre tersi de denebilir. Birimi Hertz'dir.

Dalgaboyu ( $\lambda$ ): Işık hızı ile ilerleyen dalganın bir periyodu boyunca kat ettiği yola denir.

Elektromanyetik dalganın frekansı ile dalgaboyu özellikleri

$$c = \lambda \cdot f \quad (2.10)$$

formülü ile birbirine bağlıdır.

Manyetik Şiddet (I): Elektromanyetik dalgaya dik olan bir yüzeyden, dalganın geçirebildiği ortalama güç değerine denir ve aşağıdaki formül ile elde edilir [24].

$$I = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2 = \frac{c B_0^2}{2 \mu_0} \quad (2.11)$$

#### 2.4. Elektromanyetik Dalgaların Taşıdığı Enerji ve Poynting Vektörü

Uzayda ışık hızıyla yayılan elektromanyetik dalgalar, enerji taşırlar ve bu enerjiyi yayıldıkları yol üzerindeki cisimlere aktararak ilerlerler. Elektromanyetik dalganın birim zamanda birim yüzeye taşıdığı enerji veya bir diğer deyişle enerji akış hızı poynting vektörü (S) ile tanımlanır. Poynting vektörü,

$$S = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B} \quad (2.12)$$

şeklinde ifade edilir ve birimi watt / m<sup>2</sup> dir.

Elektromanyetik dalganın enerjisi;

$$U = \frac{1}{2} (\epsilon_0 E^2 + \frac{B^2}{\mu_0}) \quad (2.13)$$

eşitliği ile elde edilir. Manyetik alan ve elektrik alan arasındaki;

$$B^2 = \frac{E^2}{c^2} = E^2 \epsilon_0 \mu_0 \quad (2.14)$$

denkleminde yararlanılarak, enerji ifadesi tekrar düzenlenirse;

$$U = \frac{1}{2} (\epsilon_0 E^2 + \frac{E^2 \epsilon_0 \mu_0}{\mu_0}) = \epsilon_0 E^2 \quad (2.15)$$

şeklini alır [25].

Bu ifade ile anlıyoruz ki, elektromanyetik alanın; elektrik ve manyetik bileşenlerinin enerjileri eşittir.

Poynting vektörüne dönecek olursak;  $S = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}$  ifadesi

$$S = \vec{E} \times \vec{H} = \frac{E^2}{377} \frac{W}{m^2} \quad (2.16)$$

şeklinde düzenlenebilir. Denklemden elde edilen  $377\Omega$  parametresi, boş alanın empedansını ifade etmektedir ve

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi \approx 377\Omega \quad (2.17)$$

eşitliğinden bulunur [26].

## **2.4. Elektromanyetik Dalgaların Propagasyonu ve Propagasyonu Etkileyen Faktörler**

Elektromanyetik dalgalar, ilerledikleri ortamlarla etkileşim halindedirler ve cisimlerin çeşitliliğine, fiziksel özelliklerine göre iletim kaybına uğrarlar. İletim kaybı, basit olarak; yansıma, kırınım ve saçılma hareketleri ile açıklanabilir. Elektromanyetik dalgalar, kendi dalgaboylarından daha büyük düzlemsel yüzeylere çarptıklarında; bir kısmı yansır, bir kısmı da soğrulur. Eğer, köşe gibi sivri kenarlara çarpacak olurlarsa, saçılma hareketi yaparlar.

### **2.4.1. Yansıma**

Herhangi bir ortamdaki elektromanyetik dalga, farklı bir ortama geçtiğinde; yeni ortamdaki iletkenlik ve dalganın polarizasyonu, dalganın frekansı ve geliş açısı parametrelerine bağlı olarak yansımaya uğrar.

### **2.4.2. Kırınım**

Elektromanyetik dalganın herhangi bir engeli geçerken; engelin özelliklerine bağlı olarak, gücünün belli bir kısmını geride bırakarak, kırınıma uğrar ve yoluna devam eder.

### **2.4.3. Kırılma**

Elektromanyetik dalgalar havada ilerlerken, yüzeye paralel olarak ilerleyerek, daha fazla yol alma eğilimindedir. Ancak, yolu üzerindeki ortamların yoğunluğuna göre,



paralel olma durumundan sapar. Yüksek frekanslarda, kırılma fazla iken düşük frekanslarda kırılma azdır.

#### **2.4.4.Saçılma**

Elektromanyetik dalga yayıldığı ortamda; pürüzlü nesnelere veya yüzeye çarptığında, bütün yönlere saçılır ve alıcıya birçok yoldan ulaşır. Yansıyan veya kırınımına uğrayan dalga parçalarının gücü, asıl dalganın gücüne nazaran daha zayıftır. Ancak, ağaç gibi dalganın her yöne saçılmasını sağlayan nesnelere, alıcı sistemde elde edilecek sinyal gücünde artış sağlarlar.

#### **2.5.Anten ve Anten Parametreleri**

Kablosuz haberleşmenin kalitesi ve performansı, birçok parametreye bağlıdır, ancak anten bu etkenler içerisinde büyük bir rol oynar. Anten, herhangi bir sistemden aldığı elektromanyetik dalgaları belirli bir alana yayın veya iletim ortamında bulunan elektromanyetik dalgaları alıcı sisteme ileten yapıdır. Antenlerin parametreleri ise antenin yapabilecekleri ve yapamayacakları hakkında bize bilgi verir. Genel anten parametreleri; frekans aralığı, yayılım patterni, kazanç, anten polarizasyonu, propagasyon kaybı, ortam ve cisimlerden etkilenimi, anten yönelticiliği, etkin izotropik ve etkin yayılım gücü, anten faktörü ile uzak ve yakın alan değerleridir [27].

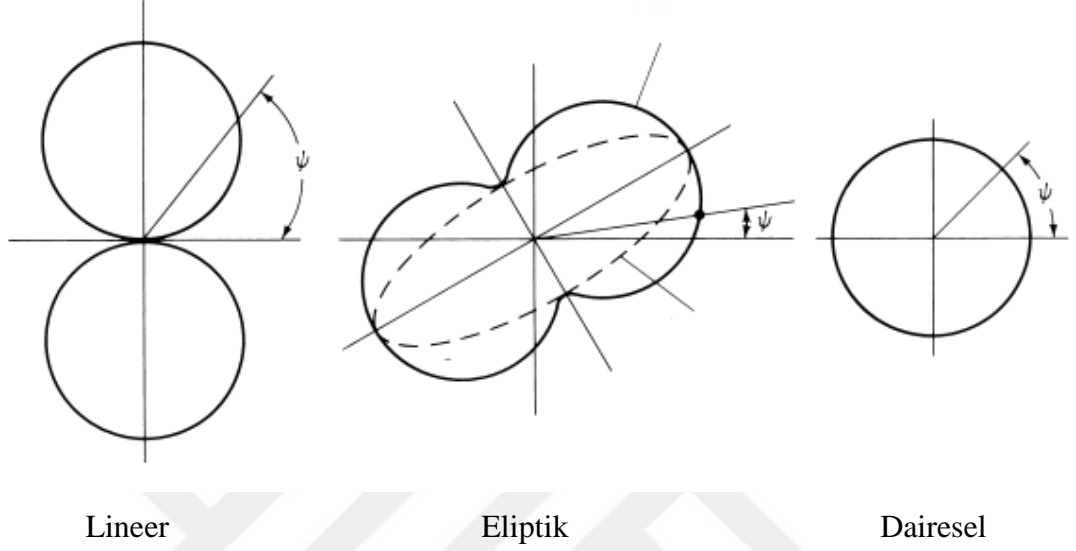
##### **2.5.1.Frekans ve Dalgaboyu**

Maxwell, elektromanyetik dalgaların boşlukta yayılma hızının  $2,99 \times 10^8$  m/sn olduğunu kanıtladı. Elektromanyetik dalganın bu hızla birim zamanda(1 sn); aldığı yolun metre cinsinden ifadesi dalgaboyunu, salınım sıklığı ise frekans değerini verir.

##### **2.5.2.Anten Polarizasyonu**

Polarizasyon,elektrik alan kuvvetinin ilerlediği yolu, zaman içerisinde çizdiği deseni ifade eder. Elektromanyetik dalgalar, antenden çıkarak iletim ortamında ilerlerler. Eğer, elektromanyetik dalgaların ürettiği elektrik alan , iletim ortamı zeminine; dik ise düşey polarizasyonlu elektromanyetik dalga, paralel ise yatay polarizasyonlu

elektromanyetik dalga olarak anılır. Genel olarak, anten polarizasyonu, üç tipe sahiptir. Bunlar; lineer, eliptik ve dairesel polarizasyondur. Aşağıdaki şekilde bahsedilen tipik desen çeşitleri ve polarizasyon açısı gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Anten Polarizasyonları [28]

### 2.5.3. Anten Kazancı ve Yöneltiliği

Her yöne eşit şekilde elektromanyetik alan yayan anten hareketine izotropik yayılım denir. İzotropik yayılım yapan antene referans anten denir. Referans antenin, eşit olarak her yöne gönderdiği ışımaya değerine eş güç değerini, tek bir yöne iletebilme özelliğine anten yöneltiliği denir.

Herhangi bir antenin kazancı ise referans antene göre yapılan ölçümler ile bulunabilir. Güç kaybı olmayan, kayıpsız antenlerde, yöneltilik, anten kazancına eşittir. Kayıplı antenlerde ise kazanç, yöneltilik ile verim(kayıp oranı) değerlerinin çarpımına eşittir. İletimin yapıldığı alanın etkin yüzeyi de anten kazancını etkilemektedir. Buna, anten etkin yüzeyi denir ve uzaydaki elektrik alanlardan, anten uçlarına güç aktarılabilme özelliği olarak tanımlanabilir [29].

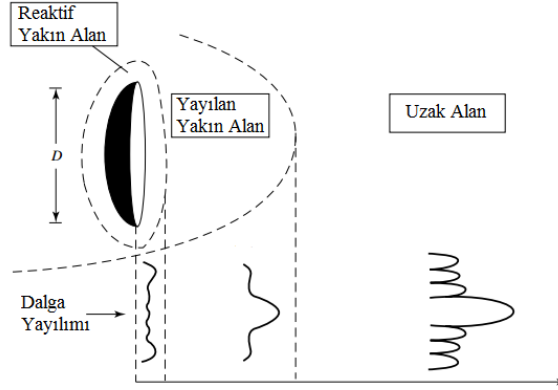
#### 2.5.4.Yakın Alan ve Uzak Alan

Elektromanyetik dalgaların, düzlem dalga davranışı göstermeye başladığı noktadan, antene kadar olan mesafe, yakın alan olarak isimlendirilir. Bu alan içerisinde reaktif enerji depolanır. Yakın alan; reaktif yakın alan ve yayılan(ışınım) yakın alan olarak da ikiye ayrılabilir. Yayılan yakın alan, reaktif yakın alan ile uzak alan arasındaki bölgedir.

Uzak alan ise, elektromanyetik dalganın, düzlem dalga davranışını sergilediği bölgedir. Bu alanların belirlenmesi; frekans, anten cinsi ve boyutu gibi parametrelere bağlıdır, dolayısıyla her anten için bu bölgeler değişir.

Basit ve düşük kazançlı antenler için uzak alan;  $R \geq \frac{\lambda}{2\pi}$ ,

Karmaşık ve yüksek kazançlı antenlerde, D, antenin çapı olmak üzere uzak alan;  $R \geq \frac{2D^2}{\lambda}$  olmaktadır.



Şekil 2.3. Uzak Alan ve Yakın Alan [30]

#### 2.5.5.Yayılm Deseni

Yayılm Deseni, antenlerin yaymış olduğu gücün yön diyagramıdır. Genelde, yayılım deseninin, x ve y eksenli diyagramlarına bakılarak anten hakkında yorumlar yapılır.

Yayılm deseninde:

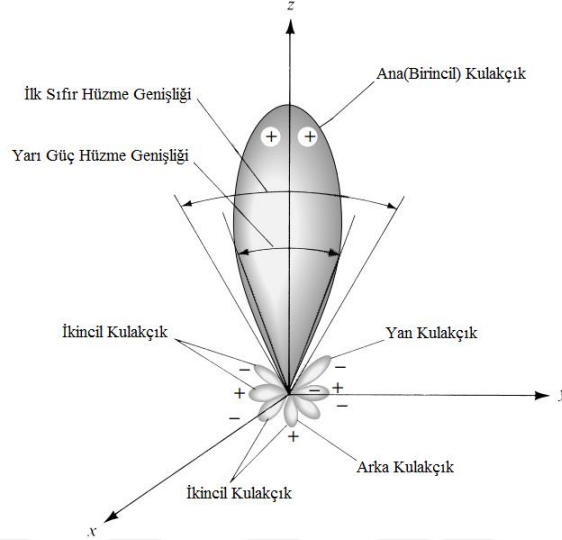
Ana kulakçık, antenin en güçlü ışınım yaptığı alandır.

Yan Kulakçık, ana kulakçığın yan taraflarındaki yayılım alanıdır.

Arka Kulakçık, antenin arka tarafında oluşan yayılım bölgesidir.

Yarı Güç Hüzme Genişliği, ana kulakçık gücünün tam güçten yarı gücüne düştüğü noktadır.

İlk sıfır hüzme genişliği, ana kulakçık gücünün sıfır olduğu noktadır.



Şekil 2.3. Uzak Alan ve Yakın Alan [31]

### 2.5.5.Etkin İzotropik Yayılım Gücü

Referans antenin her yöne eşit güç yaydığı kabul edilir ve ideal bir antendir. Referans antenin tüm yönlere yaymış olduğu bu ışımaya gücüne, etkin izotropik yayılım gücü denir.

Etkin izotropik anten gücü,

$$EIRP = P_t \times G_t \quad (2.18)$$

ifadesi ile elde edilir.

$P_t$  parametresi, verici anten gücünü,  $G_t$  ise verici anten kazancını temsil eder.

EIRP, izotropik anten için maksimum yayılım gücünü ifade eder [32].

### 2.5.5.Etkin Yayılım Gücü

Yarım dalga dipol anten kullanılarak yayılım gerçekleştirilen sistemler için maksimum yayılım gücü ifadesi olan EIRP parametresi yerine etkin yayılım gücü (ERP) kullanılır.

Yarım dalga dipol antenin kazancı, 1,64 olduğundan;

$$EIRP = ERP + 2,15 \quad (2.19)$$

eşitliği elde edilir [33].

### 2.5.6. Anten Faktörü

Antenin ölçtüğü elektrik veya manyetik alan değerinin, anten çıkışındaki potansiyel gerilim farkına oranına anten faktörü denir. Anten faktörü belirlemek için farklı standartlar mevcuttur, dolayısıyla bu parametrenin matematiksel ifadesi, kullanılan standarda göre değişmektedir [34].

Ancak, anten faktörünün birimi,

$$k = \frac{E}{V} = \frac{V/m}{V} = \frac{1}{m} \quad (2.20)$$

şeklinde hesaplanabilir [35].

### 2.5.7. Serbest Uzay Kaybı

Haberleşme sisteminde verici(anten) ile alıcı arasında mesafe arttıkça, elektromanyetik dalgaların gücünde zayıflamalar meydana gelir. Bu zayıflama, serbest uzay kaybı olarak anılmaktadır.

Serbest uzay kaybı,

$$L_{fsl} = -10 \log \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 = -32,45 - 20 \log d - 20 \log f \quad (2.21)$$

değerine eşittir. Eşitlikteki f, frekansı(MHz), d ise verici ile alıcı arasındaki uzaklığın km cinsinden değeridir [36].

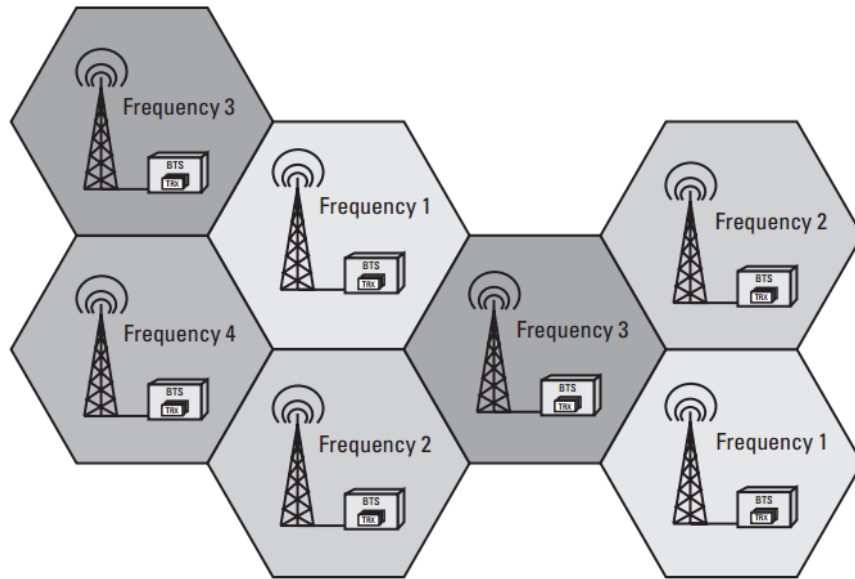
### 3.MOBİL HABERLEŞME

Mobil haberleşme sistemi, ilk olarak Finlandiya’da kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemin, Finlandiya’da ortaya çıkmasının sebebi; coğrafi yapısının engebeli, hava şartlarının olumsuz ve yerleşimin dağınık olmasından ileri gelmektedir. Bu olumsuzluklar, insanlarda kablosuz iletişim ihtiyacını doğurmuştur [37]. Special Mobile Groupe adlı komite, dünyanın yeni haberleşme sisteminin standartlarını belirleyerek, yeni teknolojinin temellerini atmıştır. İlk olarak, iki farklı frekans bandında mobil haberleşme sistemi tasarlanmıştır. Bunlar; GSM-900: Kırsal bölgelerde kullanılmak üzere 900 MHz frekansında yayın yapan bu sistemin maksimum hücre yarıçapı ise 35 km’dir.

GSM 1800: Sistemi kullanan kişi sayısının fazla olduğu, yoğun yerleşim alanlarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır ve maksimum hücre yarıçapı 7-8 km’dir.

#### 3.1.GSM Sistemi

GSM sistemi, hücresel bir sistemdir. Hücre, ağıın en küçük birimidir. Hücre yapısı, GSM ağıının kapsadığı, hizmet verilen en küçük parçası olarak açıklanabilir. Hücre çapı ise bölgenin coğrafi yapısına, popülasyon ve kullanıcı sayısına göre; 0.2 – 300 km arasında değişir.



Şekil 3.1. GSM Hücre Sistemi [38]

### 3.1.1. Hücre Çeşitleri

Hücreler, sistem kapsama alanı büyüklüğüne göre; makro, mikro ve piko hücreler olmak üzere üçe ayrılırlar.

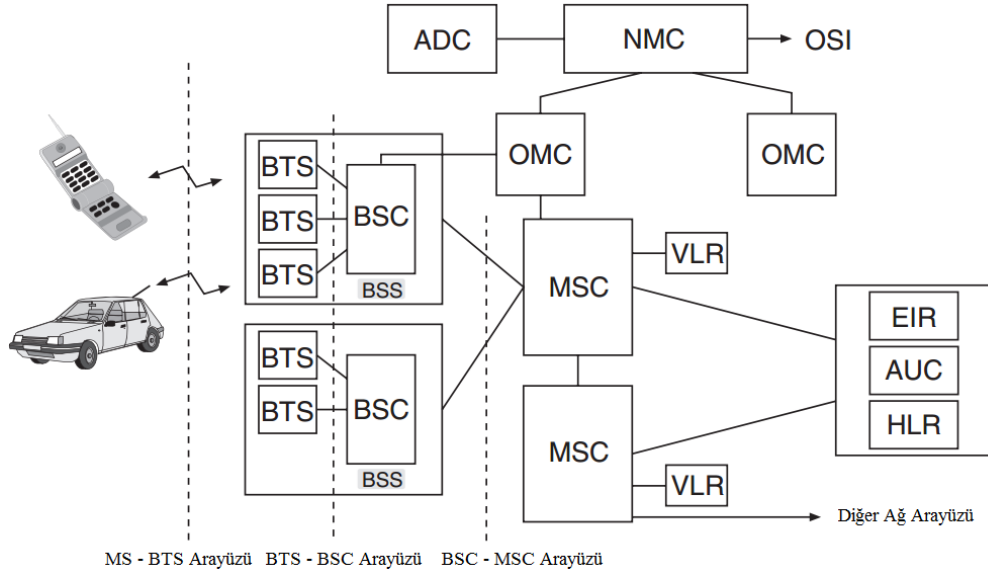
**Makro Hücreler:** Yerleşimin sık olmadığı, geniş alanlarda kullanılır, adından da anlaşılacağı üzere büyük çaplı hücrelerdir. Kırsal alanlarda, geniş üniversite kampüslerinde, şehirlerarası otoyollarda kullanılmaktadır.

**Mikro hücreler:** Makro hücre yapısının yeterli olmadığı, yoğun yerleşim yerlerine kapsama alanı sağlayan, yarıçapı 1 km'ye varan hücrelerdir. Outdoor mekanlarda, kullanıcı trafiğinin yoğun olduğu alanlar için tercih edilir.

**Piko hücreler:** En küçük çaplı hücrelerdir, indoor mekanların, özel alanların (konferans salonu) kapsama alanı bu hücrelerle sağlanır, yarıçapı 200 m'ye kadar varabilir [39].

### 3.2.GSM Altyapısı

GSM altyapısı temelde; mobil istasyon(MS – Mobile Station), baz istasyonu(BS – Base Station), mobil anahtarlama merkezi(MSC – Mobile Service Switching Center) olmak üzere üç ana bölümden oluşur.



Şekil 3.2. GSM Altyapısı [40]

#### 3.2.1. Mobil İstasyon Terminali (MS – Mobile Station)

Mobil cihaz ve abone kimlik kartı, mobil istasyon terminalini oluşturur. Çok çeşitli marka ve modellerde mobil cihazlar ve abone kimlik kart sağlayıcı operatörler mevcuttur. Mobil istasyon, baz istasyonunun kapsama alanı içerisinde bulunduğu

takdirde, bu iki sistem sürekli bağlantı içerisinde. Hangi hücre içerisinde bulunulursa, o hücrenin baz istasyonu ile irtibata geçen mobil istasyon sayesinde iletişim sağlanır.

### **3.2.2. Abone Kimlik Kartı (SIM – Subscriber Identity Module)**

Abonenin mobil cihazını kullanması için gerekli karttır. Acil durum aramaları haricinde diğer tüm kullanımlar için abone kimlik kartı şarttır. Bu kart sayesinde, kullanıcı, belirli bir boyuta kadar kişisel verilerini saklayabilir.

### **3.2.3. Baz İstasyonu (BTS – Base Transceiver Station)**

Her hücre bir baz istasyonuna sahiptir. Baz istasyonları, komşu hücrelerle iletişim halinde olduğu gibi, mobil istasyonlarla da sürekli iletişim halindedir. Genellikle, baz istasyonları, hücrenin ortasında bulunur ki hücrenin kapsama alanı istenilen ölçüde olsun. İletişimin sağlanabilmesi için mobil istasyonlar, ilk olarak baz istasyonları ile iletişime geçerler [41].

### **3.2.4. Baz İstasyon Denetleyicisi (BSC – Base Station Controller)**

Bir grup baz istasyonunu kontrol eden yapıdır. Kontrol edilen baz istasyon sayısı, iletişimi sağlayan operatörlerce belirlenir. Ancak, genelde onlarca veya yüzlerce baz istasyonu, bir baz istasyon denetleyicisine bağlıdır. Baz istasyon denetleyicisi, kontrol edeceği baz istasyonlarının tümünü kapsayacak şekilde yerleştirilir. Baz istasyonu denetleyicisi ve onun kapsadığı baz istasyonları, BTS (Base Transceiver Station) olarak anılmaktadır.

### **3.2.5. Mobil Servis Anahtarlama Merkezi (MSC – Mobile Service Switching Centre)**

Baz istasyon denetleyicilerinin bir üst yapı birimi mobil servis anahtarlama merkezidir. Belirli sayıda baz istasyon denetleyicisi, mobil servis anahtarlama merkezine bağlıdır.

Abonenin kimlik bilgilerinin, iletişim kayıtlarının ve bulunduğu bölgenin bilgilerinin tutulduğu bilgi merkezidir. Haberleşme sistemi kapsama alanı içinde bulunan kullanıcıların kontrol ve denetimini gerçekleştirir [42].



### **3.2.6.İşletme ve Bakım Merkezi (OMC - Operations and Maintenance Center)**

İşletme ve bakım merkezleri, baz istasyonlarına ve baz istasyon denetleyicilerine doğrudan bağlanabilir.

İşletme ve bakım merkezi, şebeke hata mesajları yoluyla, baz istasyonu ve denetleyicilerinin kullanıcı sayısı ve yoğunluğu gibi sistem parametrelerini kontrol ederek, iletişim kalitesini artırmaya çalışır.

### **3.3.GSM Bant Genişliği**

Mobil haberleşme sisteminin elektromanyetik dalgalar sayesinde iletişim sağladığını biliyoruz. Ancak elektromanyetik dalgaların geniş bir frekans aralığı vardır ve buna elektromanyetik spektrum denir.

GSM frekans aralığı ise elektromanyetik spektrum içerisinde mikrodalga olarak adlandırılan bantgenişliği içerisinde yer alır. Mikrodalgalar, 0.1 – 100 cm arasında değişen dalgaboylarına sahiptir, bu da 300 MHz – 300 GHz frekans aralığına tekabül eder [43].

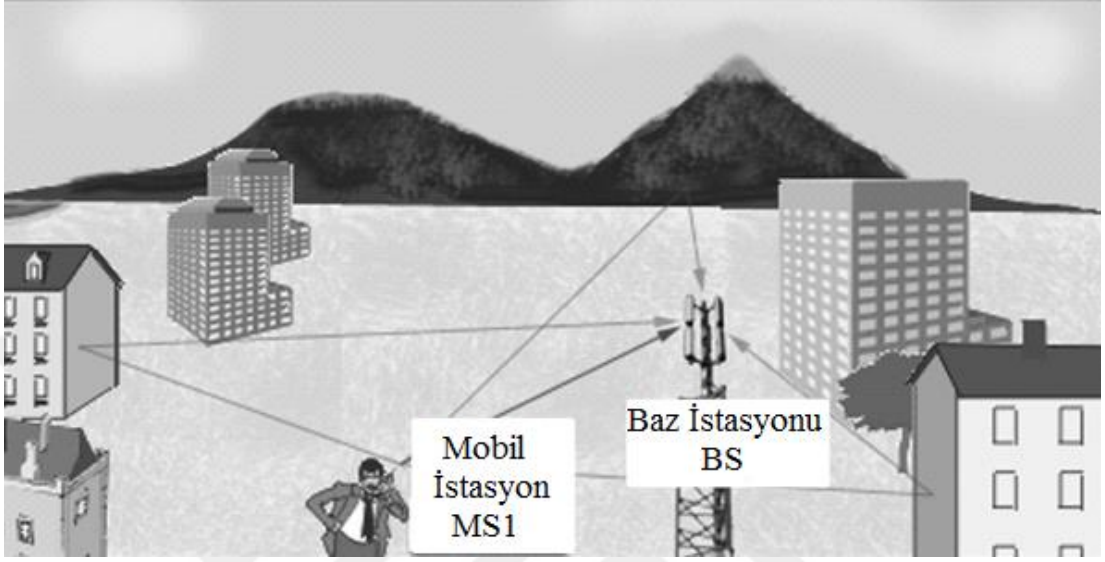
### **3.4.Elektromanyetik Propagasyon Modelleri**

Elektromanyetik dalgalar, vericiden alıcıya ulaştırılırken, iletim ortamı (hava, su, vs) üzerinde kayıplara uğrar. Bir haberleşme sistemi tasarlanırken, vericinin gönderdiği sinyalin, alıcıya ne kadar kayıpla ulaştığı bulunabilirse, sistemin etkin, verimli ve düşük maliyetle yapılması sağlanabilir. Dalgaların iletimini etkileyen ve sinyallerde değişikliğe sebep olan etkiler; çoklu yol propagasyonu, doppler yayılımı ve sönümlenme başlıkları altında toplanabilir.

#### **3.4.1.Çoklu Yol Propagasyonu (Multipath Propagation)**

Mobil iletişim hattında kullanılan elektromanyetik dalgalar, baz istasyonu vericisinden çıktıktan sonra, mobil istasyon alıcısına; doğrudan, saçılarak, kırılarak, yansıtılarak ulaşır. Vericiden çıkan tek bir sinyal iken, bahsi geçen etkiler yüzünden alıcıya birçok sinyal gelir. Gelen bu sinyaller; vericiden çıkan orijinal sinyalin,

zayıflamış, faz kaymasına veya zamanda gecikmeye uğramış halleridir. Elektromanyetik dalganın birçok yolla alıcıya gelmesine çoklu yol propagasyonu denir.



Şekil3.3. Çoklu Yayılım [44]

### 3.4.2. Doppler Yayılımı (Doppler Spread)

Elektromanyetik dalgaların iletiminde alıcının veya vericinin hareketli olduğu durumda doppler etkisi meydana gelmektedir. Bu etki, mobil sistemlerde düşünülecek olursa, genelde alıcılar hareketlidir. Alıcının, vericiye yaklaşma veya uzaklaşma durumuna göre alınan sinyallerde frekans kayması meydana gelir. Örneklendirecek olursak; araba kornasının, uzaktan bas (düşük frekanslı) şeklinde, yaklaştığında ise tiz (yüksek frekans) şeklinde algılanması olayı doppler yayılımıdır. Doppler etkisiyle, alıcıya gelen dalganın frekansı değişir.

Değişen frekans değeri;

$$f' = f \left( \frac{1 \pm \frac{v_r}{c}}{1 \pm \frac{v_s}{c}} \right) = f \frac{c \pm v_r}{c \pm v_s} \quad (3.1)$$

ifadesi ile bulunabilir [45].

$f'$ : değişen frekans değeri

$V_r$ : Alıcı hızı

$V_s$ : Kaynak Hızı

$c$ : Işıık Hızı ( $3 \times 10^8$  m/sn)

Eğer mobil istasyon; vericiye yakınlaşıyor ise denklemde toplama işareti, vericiden uzaklaşıyor ise denklemde çıkarma işlemi baz alınır.

### 3.4.3.Sönümlleme

Elektromanyetik dalğanın iletim hattında uğradığı; saçılma, kırınım, yansıma ve kırılma gibi etkiler nedeniyle, genliğinde meydana gelen değişimler sönümlleme kavramı ile açıklanır. Sönümllemenin sinyal üzerindeki etkisini birçok faktör belirler. Bunlar; çoklu yayılım, alıcı hızı, verici hızı, çevredeki öğelerin hızı, dalga iletim bantgenişliği, alınan sinyalin gecikme faktörüdür.

Çoklu yayılım: Vericiden gönderilen sinyalin; kırılma, kırınım, saçılma, yansıma gibi etkilere maruz kalması sonucu, alıcıya birçok yolla ulaşmasıdır. Alıcı hızı: Alıcının hareketinin, vericiye yakınlaşma veya uzaklaşması halidir. Çevredeki öğelerin hızı: Çevredeki öğelerin hızı, alıcı hızından büyük ise bu durum sönümlleme etkisini artırıcı etki yapar.

Dalga iletim bantgenişliği: İletilen dalğanın bantgenişliği, çoklu yol kanalının bantgenişliğinden büyük ise bu iletilen sinyalin bozulmasına sebebiyet verir. Alınan sinyalin gecikme faktörü: Vericiden gönderilen sinyalin, çevre koşullarından ötürü, zamanda gecikmiş birçok sinyale dönüşerek, alıcıda toplanması olayıdır.

### 3.4.4.Okumura Modeli

En popüler ampirik propagasyon modellerinden biri olan Okumura yayılım modeli, Japonya'nın Tokyo şehrinin; katılımcı sayısına, fiziksel özelliklerine göre inşa edilmiş bir radyo propagasyon modelidir. Bu yayılım modeli, çok uzun yapıların olmadığı, klasik yapıların bulunduğu şehir yerleşim yerlerinin radyo propagasyonu ölçümünde kullanılabilir ideal bir yöntemdir. Okumura modeli, Hata modeline

temek oluşturdu. Okumura modeli, üç modda tasarlandı; kentsel yerleşimler (urban), köy ve kasabalar (suburban) ile açık alanlar (open areas). Bunların içinde ise kentsel yerleşimler için tasarlanan mod, pilot mod olarak diğer modlar için temel oluşturmuştur.

Açık alanlar, uzun ağaç ve yapılar içermeyen, yapılar arasında 200 – 400 m arası açıklık bulunan alanları kapsamaktadır. Bu kategoriye, tarım alanları ve boş arsalar örnek verilebilir.

Köy ve kasabalar, çok olmasa da yayılımı engelleyecek ağaç, ev gibi bazı engellerin olduğu alanlar olarak tanımlanabilir. Kırsal yerleşim yerleri ve otoyollar bu kategoriye girmektedir.

Kentsel yerleşim yerleri, yapıların sık ve büyük olduğu, kalın ve çok ağaçların bulunduğu alanlardır. Şehir ve büyükşehir kavramları bu kategorinin içerisinde yer alır.

Okumura modeli formülü aşağıda yer almaktadır [46].

$$L_m(dB) = L_f(d) + A_{mu}(f, d) - G(h_r) - G(h_t) - G_{area} \quad (3.2)$$

$L_m(dB)$ : Ortalama yol kaybı

$L_f(d)$ : Serbest uzay yayılım yol kaybı

$A_{mu}(f, d)$ : Serbest uzay ortalama zayıflaması

$G(h_r)$ : Mobil anten yüksekliği kazanç faktörü

$G(h_t)$ : Baz istasyonu yüksekliği kazanç faktörü

$$G(h_t) = 20 \log\left(\frac{h_t}{200}\right) \quad 1000m > G(h_t) > 30m \quad (3.3)$$

$$G(h_r) = 10 \log\left(\frac{h_m}{3}\right) \quad h_r \leq 3m \quad (3.4)$$

$$G(h_r) = 20 \log\left(\frac{h_m}{3}\right) \quad 10m > h_r > 3m \quad (3.5)$$

$G_{area}$ : Çevre kazancı olarak belirtilen bu değer, bölgenin kent (urban), kasaba (suburban) veya açık alan (open areas) olma durumuna göre çeşitli düzeltme faktörleri belirlendikten sonra ortaya konulur.

### 3.4.5.Hata Modeli

Hata, Okumura'nın grafiksel olarak tanımladığı yayılım modelinin üzerinde çalışarak, ampirik modeli, matematiksel öğelerle ifade etmiştir.

Hata'nın modellediği propagasyon yol kaybı formülündeki parametrelerin aralıkları vardır, yani sınırlandırılmış değerlerdir. Buna göre;

Taşıyıcı Sinyal frekansı:  $150\text{MHz} \leq f_c \leq 1500\text{MHz}$

Baz istasyonu anten yüksekliği:  $30\text{m} \leq h_t \leq 200\text{m}$

Mobil istasyon anten yüksekliği:  $1\text{m} \leq h_r \leq 10\text{m}$

Yayılım mesafesi ise 20 km'ye kadardır.

$L_p(dB) = A + B \log d$  Kentsel yerleşim yerleri için

$L_p(dB) = A + B \log d - C$  Köy ve kasaba yerleşimleri için

$L_p(dB) = A + B \log d - C$  Açık Alanlar için

Düzeltilme faktörleri ise aşağıdaki gibidir [47].

$$A = 69,55 + 26,16 \log f_c - 13,82 \log h_t - a(h_r) \quad (3.6)$$

$$B = 44,9 - 6,55 \log h_t \quad (3.7)$$

$$C = 5,4 + 2[\log(f_c/28)]^2 \quad \text{Köy ve kasabalar için (suburban)} \quad (3.8)$$

$$C = 40,94 + 4,78[\log(f_c)]^2 - 18,33 \log(f_c) \quad \text{Açık alanlar için (open areas)} \quad (3.9)$$

$$a(h_r) = [1,1 \log(f_c) - 0,7]h_m - [1,56 \log(f_c) - 0,8] \text{ dB} \quad \text{Küçük ve orta büyüklükteki şehirler için} \quad (3.10)$$

$$a(h_r) = 8,29[\log(1,54 h_m)]^2 - 1,1 \text{ dB} \quad \text{Büyük şehirlerde } f_c \leq 200\text{MHz} \text{ için} \quad (3.11)$$

$$a(h_r) = 3,2[\log(11,75 h_m)]^2 - 4,97 \text{ dB} \quad \text{Büyük şehirlerde } f_c \geq 400\text{MHz} \text{ için} \quad (3.12)$$

Köy ve kasaba yerleşimleri (suburban) ile açık alanlar (open areas) için  $a(h_r)$  değeri, küçük ve orta büyüklükteki şehirler için belirlenen  $a(h_r)$  değerine eşittir [48].

### 3.4.6.Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı

Yayılım modelleri içerisinde ele alınan ampirik modeller, temel matematik hesaplamaları ile propagasyon yol kaybı hesabını dB cinsinden bizlere sunmaktadır. Ancak, unutulmamalıdır ki; bu modeller, ölçümü alınarak üzerinde çalışılan kapsama alanının genelleştirilmiş halidir. Dolayısıyla, ampirik modeller, radyo propagasyonunu doğrudan etkileyen, karmaşık yeryüzü şekilleri ve ortam gürültüsü

barındıran kapsama alanları için yetersiz olabilmektedir. Yapay sinir ağı yaklaşımında ise, belirlenen kapsama alanı içerisinde bulunan verici (baz istasyonu) ve alıcının (mobil istasyon) çeşitli mesafelerde alınan sinyal gücü (RSS) değerlerine bakılarak, giriş değerleri belirlenmiştir. Belirli sayıdaki bu giriş değerleri, çeşitli yapay sinir ağı modelleri ile eğitilmiştir. Fiziksel ölçüm sonuçlarını bildiğimizden ötürü, doğru sonuca en yakın değeri elde etmek için yapay sinir ağı parametreleri, optimum şekilde ayarlanmıştır. Propagasyon yol kaybı modellerine alternatif olabilecek üç farklı yapay sinir ağı modellemesi yapılmıştır.



## 4.YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay sinir ağıları, biyolojik sinir ağılarından esinlenerek tasarlanmış, giriş parametrelerine göre çıkışlar belirleyen data işleme merkezidir [49]. Bu dijital sistemler, öğrenme yeteneği sayesinde; yeni bilgiler üretme, keşfetme, tahmin etme gibi ihtiyaçları karşılaması için tasarlanmıştır.

Yapay sinir ağıları, kullanıcının belirlediği giriş parametrelerine ait veriler ile durumları öğrenerek, istenen sonraki durumlar için karar vererek, çıkışlar üretebilmektedir.

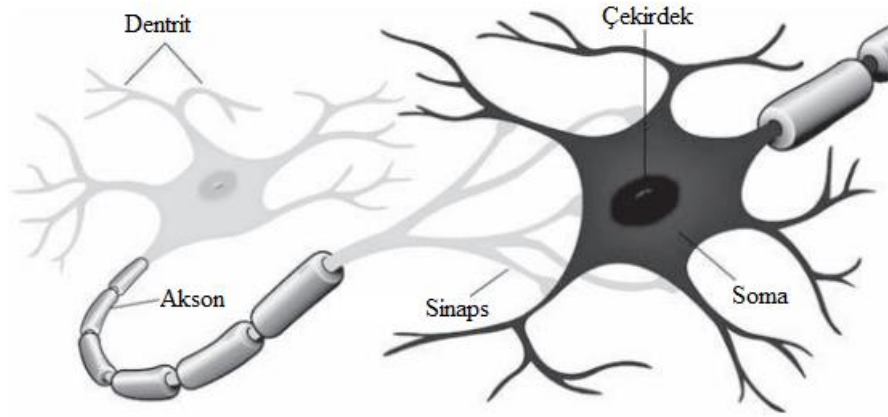
### 4.1. Biyolojik Sinir Ağı

Biyolojik sinir ağıları, milyarlarca sinir hücresinin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır, sinir hücreleri birbirlerine bağlıdır ve istenen fonksiyonları beraber yerine getirirler [50].

İnsan beyni, basit olarak gördüğümüz; nesne tanıma, hareket etme, bir şeyin kokusunu alma gibi olayları çok kısa sürelerde yerine getirebilmektedir. Bu özellikler yapay sinir ağıları vasıtasıyla bilgisayarlara öğretilmek istenmektedir, ancak güncel hayatımızda, bilgisayarların bu vasıfları yerine getirmesi oldukça uzun zaman almaktadır.

Biyolojik sinir ağıları, beş duyu organımız vasıtasıyla dış ortamdan gelen verileri, algılama ve anlama sistemlerinde işleyerek durumlar arasında ilişki kurar.

Temel bir biyolojik sinir hücresi; hücre gövdesi (çekirdek ve soma), akson, dentrit ve sinapslerden oluşur.



**Şekil 4.1.** Biyolojik Yapay Sinir Ağı [51]

Dentritler, sinir hücrenin bağlı olduğu diğer hücrelerden aldığı bilgileri hücre gövdesine ileten elemanlardır.

Aksonlar, bağlı olduğu sinir hücresinin ürettiği elektriksel darbe bilgilerini diğer hücrelere taşıyan parçalardır. Aksonların ucunda ince yapıda yollar mevcuttur, bunlar diğer hücrelerin dentritleridir. Dentritlerin, aksonlarla buluştuğu iletim ortamına sinaps denir.

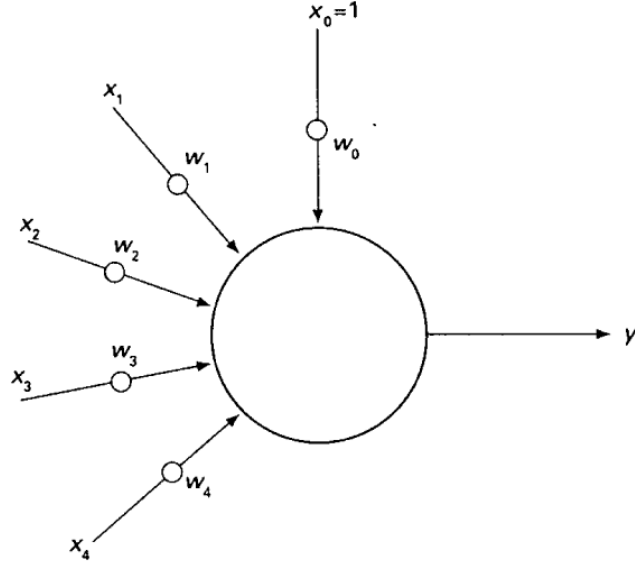
Sinaps iletimi fiziksel olmayıp, elektriksel sinyaller vasıtasıyla iletişimin sağlandığı boşluklu yapıdır. Sinapslerdeki elektriksel iletim ise nörotransmitter maddesi ile gerçekleşmektedir.

Sayılan özelliklere ve yeteneklere sahip milyarlarca sinir hücresi, biyolojik sinir ağını oluşturur. Yapay sinir ağları da bu özelliklerden faydalanılarak tasarlanmıştır.

#### **4.2. Yapay Sinir Ağı**

Proses elemanı olarak da anılan yapay sinir hücrelerinin birbirleriyle bağlantıya geçmesiyle yapay sinir ağları oluşur.





**Şekil 4.2.** Temel Yapay Sinir Ağı Modeli [52]

Yapay sinir hücresinin temel elemanları;

Girdiler (x): Yapay sinir ağının, dış ortamdan aldığı verilere denir. Gelen veriler ayıklanarak, istenen verilerin işlenmesine izin verilir.

Ağırlıklar (w): Hücreye gelen bilginin çıktıya etkileme parametresi olarak nitelendirilebilir, bilginin önem seviyesini belirler. Ağırlık parametresi, negatif, sıfır veya pozitif olabilir. Ağırlığın negatif değere sahip olması, o girdinin etkisinin az olduğunu göstermediği gibi ağırlığın pozitif değerde olması da o girdinin etkin rol oynadığını belirtmez. Ağırlıklar, her girdi için sabit veya değişken değerlere sahip olabilir.

Toplama fonksiyonu: Genel olarak, hücreye gelen girdilerin, ağırlık değerleriyle çarpılması ve toplam girdinin hesaplanması işlemlerini yerine getirir. Her zaman bu şekilde bir işlem yürütülme de en çok tercih edilen işlem, çarpımların toplamıdır [53].

$$\text{Girdi Toplamı} = \sum_i^n G_i A_i \quad (4.1)$$

G; girişleri, A; ağırlıkları, n ise toplam giriş parametresi sayısını temsil etmektedir.

Çözülecek her problem için, giriş değerlerinin etkisine göre ağırlık değerleri belirlenir ve bu parametrelerin sonucu doğru şekilde etkileyebilmeleri için toplama fonksiyonu seçilir. Dolayısıyla, her durumda doğru sonuç verecek toplama fonksiyonu şudur denemez, olayın belirlenen parametrelerine uygun şekilde toplama fonksiyon belirlenir, genelde doğru sonuç için toplama fonksiyonları denenerek bulunur.

Aktivasyon fonksiyonu: Hücrenin belirlenen toplam girdi değeri, aktivasyon fonksiyonunda işlenerek, çıkış üretilir. Aktivasyon fonksiyonunun da çeşitleri vardır, olay için en doğru çıktıyı verecek fonksiyon seçimi yapılmalıdır. En çok tercih edilen aktivasyon fonksiyonları şöyle sıralanabilir:

Lineer Fonksiyon: Gelen giriş değerlerinde hiçbir değişiklik yapmadan , toplam girdiyi çıkış olarak üretir.

Step Fonksiyonu: Toplam girdi değerinin, belirlenen bir eşik değerinin; altında olması durumunda çıkışı 0, üstünde olması durumunda çıkışı 1 olarak belirleyen fonksiyondur.

Sinus Fonksiyonu: Sinüsel ifadeye uygun girdilerin bulunduğu olaylarda tercih edilir.

Eşik Değer Fonksiyonu: Toplam girdinin, 0 ile 1 sayıları arasında değer aldığı fonksiyondur.

Sigmoid Fonksiyon: Aktivasyon fonksiyonları içerisinde en çok kullanılanıdır.

$$F = \frac{1}{1+e^{-(\text{toplam girdi})}} \quad (4.2)$$

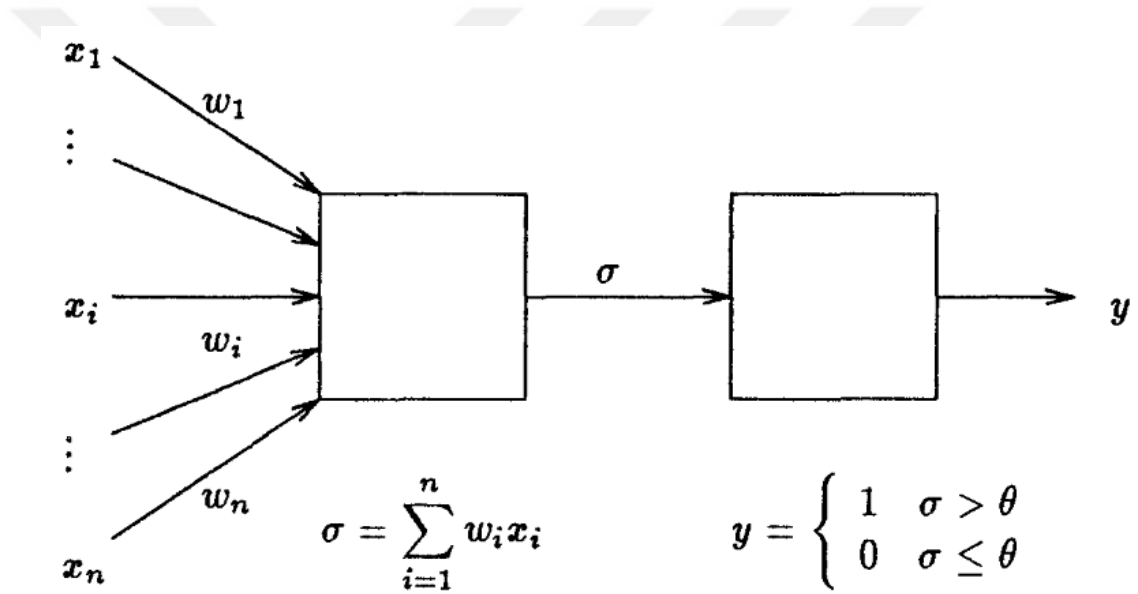
ifadesiyle değeri hesaplanır [54].

Hücrenin Çıkış Değeri (Çıktısı): Aktivasyon fonksiyonu çıkış değeri, yapay sinir hücresinin çıktı ifadesidir. Yapay sinir ağlarının, birden fazla giriş parametresi olabilir, ancak çıkış değeri bir tanedir. Ağ blok şemasında, çoklu giriş varmış gibi

gösterilse de aslında bu aynı çıkışın birden fazla hücreye gönderildiğini ifade etmektedir.

### 4.3. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı ve Çalışma Prensibi

Yapay sinir hücresine gelen her bir girdinin, ağırlık değeri kendisiyle çarpılır ve bu çarpımlar toplanarak, toplam girdi değeri hesaplanır. Daha sonra toplam girdi değeri, belirlenen aktivasyon fonksiyonunun girişi olur ve fonksiyonun ürettiği çıkış, hücrenin dış ortama sunduğu çıktı olur.



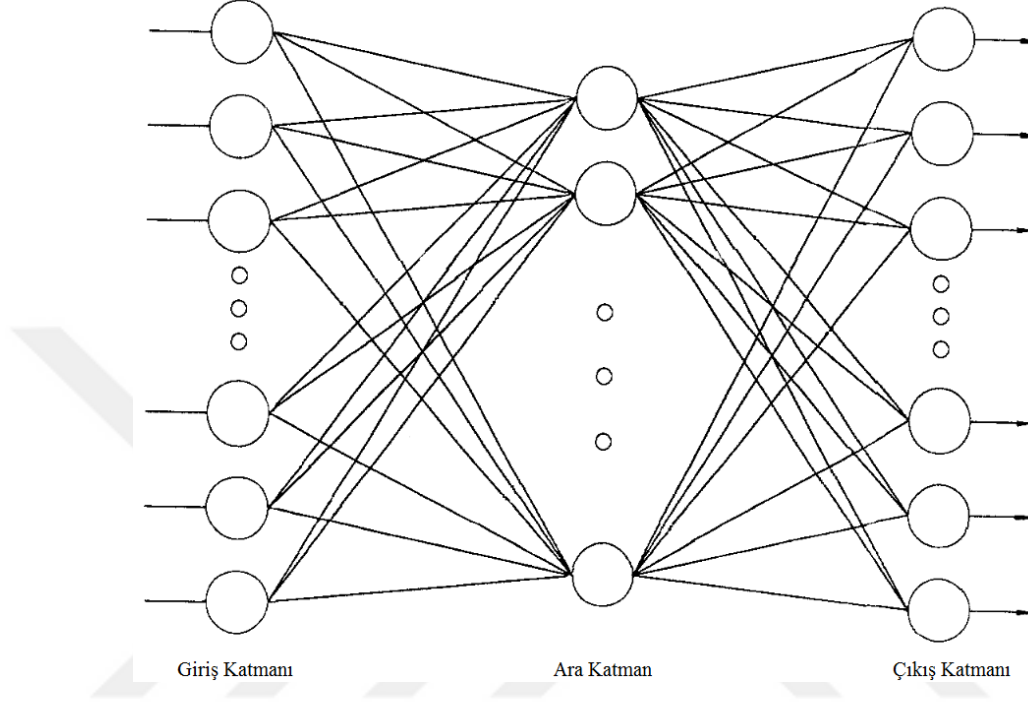
Şekil 4.3. Yapay Sinir Ağı Çalışma Prensibi[55]

Yapay sinir hücreleri, temel olarak üç katmandan oluşurlar.

**Giriş Katmanı:** Dış dünyadan alınan verilerin ara katmanlara iletiildiği, her zaman olmasa da, verinin işlenebildiği ilk katmandır.

**Ara Katman:** Giriş katmanından gelen verilerin işlendiği, tasarlanan sinir ağına göre sayısının belirlendiği, ilk katmandan sonraki bölümdür.

Çıkış Katmanı: Ara katmanlardan gelen veri işlenir, giriş katmanının sunduğu verilere uygun çıktılar üretilir ve diğer hücrelere servis edilir. Sinir ağının son katmanıdır.



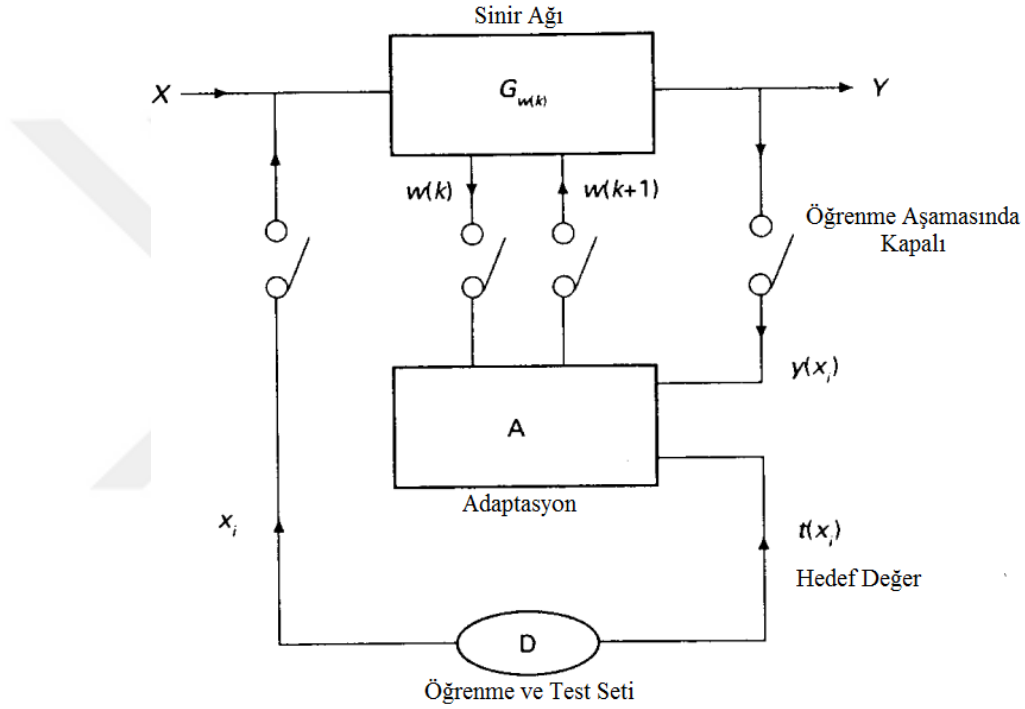
Şekil 4.4. Yapay Sinir Ağı Katmanları [56]

Belirtilen üç katmanda da, birbirine paralel parçalar mevcuttur. Bu elemanlar arasındaki çizgiler ise birbirleri arasındaki bağlantıları göstermektedir. Bir yapay sinir ağı, belirtilen işlem elemanları ve bağlantılardan oluşmaktadır.

#### 4.4. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme ve Test Etme

Yapay sinir ağlarının çalışması; giriş olarak gelen veri setinden alınan örneklerle çıktıları ortaya koymaktır. Ancak, doğru çıkışlar vermek hemen mümkün olmamakta, ağın eğitilmesi gerekmektedir. Girdi parametreleri, nümerik (sayısal) veya nominal (sözel) olabilir. Çıkış değerleri de, bir değer tahmini veya sınıfını belirten ifadeler olabilir. Eğitim esnasında, girdi parametreleri toplanarak istenen formatta ve özellikte ağa gösterilir. Ancak, sinir ağları giriş değerlerinden elde ettiği çıkış değerlerini nasıl yaptığı hakkında bizi bilgilendirmez. Bu yaklaşımı nedeniyle

yapay sinir ağına, kara kutu benzetmesi yapılır. Kara kutu, dışarıdan aldığı bilgileri işleyerek yine dışarıya ürettiği çıkışları verir. Nasıl yaptığını, içeride ne gibi işlemler olduğunu bilmemekteyiz. Yapay sinir ağları da bu şekilde çalışır ve nasıl bir işlem yürüttüğüne dair açıklama yapma kabiliyeti yoktur. Bu dezanataj, yapay sinir ağlarının şeffaflığını ortadan kaldırır ve ona olan güveni sarsabilir. Ancak istenilen sonuçları, doğru bir şekilde çıkış olarak üretebilmesi, nasıl yaptığı üzerine durulmadan, insanların yapay sinir ağlarına yönelmesini sağlamaktadır [57].



**Şekil 4.5.** Yapay Sinir Ağının Öğrenme ve Test İşlemleri [58]

**Ağın Eğitilmesi:** Yapay sinir ağlarının, giriş değerlerine ait ağırlık parametrelerinin belirlenmesi işlemidir. Ağırlık parametreleri istenen değerde başlatılabilir, daha sonra doğru çıkış değerleri için ağırlıklar güncellenir. Ağa sorulan olay hakkında doğru sonuçlar verme yeteneği, genel bir hal aldığıında, bu duruma ağın öğrenmesi denilir. Öğrenme kurallarına göre ağırlık parametreleri değiştirilir, çeşitli öğrenme kuralları mevcuttur.

Ağın Test Edilmesi: Ağın eğitimi tamamlandığında, test etme aşamasına geçilir. Test işlemi, ağın eğitimde görmediği girdi parametrelerinin sorularak, onlara verdiği cevabın doğruluğunun kontrol edilmesidir. Eğitimdeki ağırlık değerleri korunarak bu işlem yürütülür, sonuçların doğruluğu sinir ağının eğitiminin doğru yapıp yapılmadığı hakkında bilgi verir.

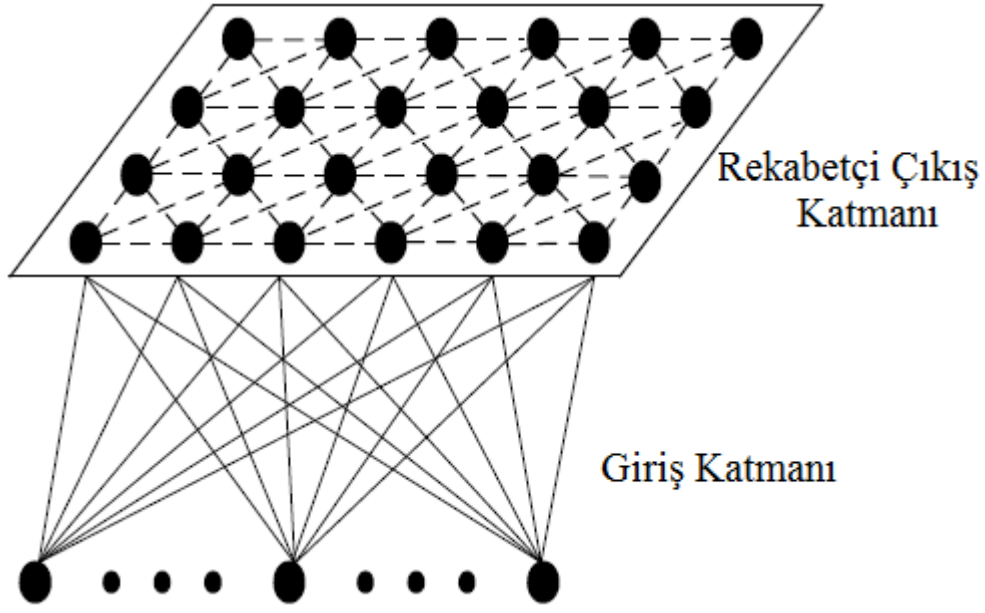
Yapay sinir ağlarının, girdi olarak verilen örneklerden elde ettiği veriler ile olay hakkında yorum yapabilme ve bilinmeyen değerler için çıktı üretebilme yeteneğinin genelleşmesine adaptif öğrenme denir.

#### **4.5. Yapay Sinir Ağlarında En Çok Tercih Edilen Modeller**

Yapay sinir ağının kullandığı toplama ve aktivasyon fonksiyonları, öğrenme kuralları, ağın eğitilme ve test şekli işlemlerinin çeşitlerine göre farklı sinir ağı modelleri mevcuttur. Günümüz problemleri için en çok kullanılan çeşitleri aşağıdaki gibidir [59].

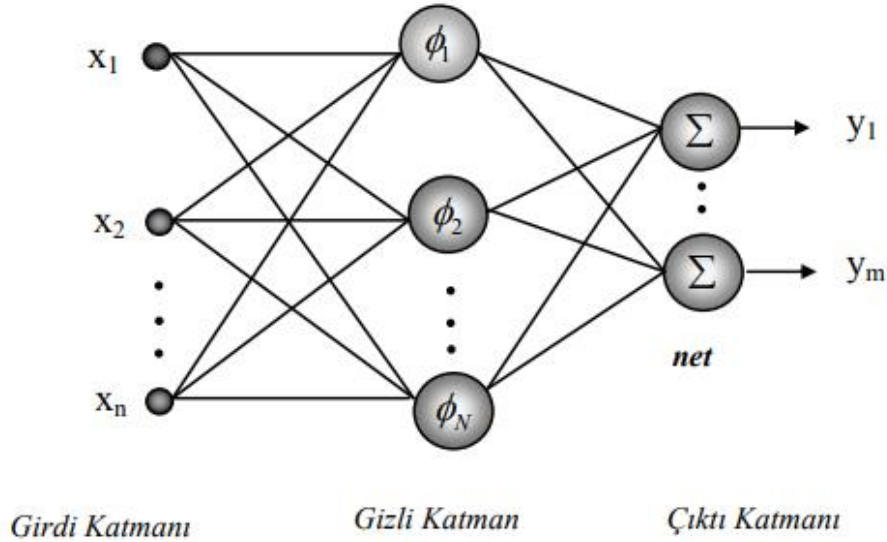
Çok katmanlı algılayıcılar: Girdi ve çıktı parametreleri arasındaki ilişkinin lineer (doğrusal) olmadığı olaylar için kullanılan gelişmiş yapay sinir ağı modellerindedir. Sınıflandırma, tanıma ve genelleme işlemleri gerektiren durumlarda sıklıkla kullanılan modellerden biridir.

Kendi Kendini Organize Eden Model (SOM): SOM ağının sınıflandırma yapma ve girdi parametrelerinin dağılımını öğrenme kabiliyeti oldukça yüksektir. Ağın en çok ilgi çeken özelliği, verilen örnek olayları öğrenmede yardımcı bir sisteme ihtiyaç duymamasıdır, aynı zamanda istenen çıktı parametrelerinin ağa gösterilmesi zorunluluğu da yoktur. Problemden beklenen çıktı değerleri belirlenemiyorsa, bu ağın kullanımı doğru sonuçlar verecektir. SOM ağına ait yapı şekli aşağıda yer almaktadır.



Şekil 4.6. SOM Ağının Yapısı [60]

Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları (RBNN): 1988 yılında geliştirilen bu ağ, insan sinir hücreleri arasındaki etki – tepki durumlarının incelenmesiyle ortaya çıkmıştır. Giriş katmanı, ara katman ve çıkış katmanından oluşan ağın giriş değerleri, ara katmana geçerken radyal tabanlı kativasyon fonksiyonuna tabi tutulur, daha sonra ara katmandan çıkış katmanına geçen verilerin eğitimi tamamlandıktan sonra çıkış değerleri üretilir. Aşağıdaki şekilde ağın gösterimi mevcuttur.



Şekil 4.7. Radyal Tabanlı Sinir Ağı Yapısı [61]

## 5.PROPAGASYON YOL KAYBININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ VE SONUÇLARI

Yayımlı yol kaybı hesabının, kapsama alanı optimizasyonundaki önemine değinmiştik. Yol kaybının birçok sebebi vardır, ancak bunların içinden ölçülebilen ve sonuca etkisi kayda değer ölçüde olan parametreler belirlenerek, çeşitli propagasyon yol kaybı modelleri ortaya konmuştur.

Bu bölümde, yol kaybı modellerine alternatif olarak sunduğumuz yapay sinir ağı ile tasarlanan yol kayıp modellerine yer verilmiştir.

### 5.1.Alınan sinyal Gücü Değeri Ölçümleri

GSM – 900 MHz frekans bandında yayın yapan baz istasyonuna ait 361 adet farklı uzaklıklara sahip noktanın elektrik alan değeri ölçümlerini alan kurum, Vodafone Ankara ofisi çalışanları, radyometre aygıtı ile bu ölçümleri gerçekleştirmiştir. Sonra bu değerler;

$$20 \log E (V/m) \quad (5.1)$$

formülü ile dB cinsine, daha sonra

$$dBm = dB + 30 \quad (5.2)$$

formülü ile dBm cinsinden sinyal güç seviyesi ifadesine çevrilmiştir [62].

Ölçümde elde edilen bilgiler; alıcı ile verici arasındaki uzaklık, bant genişliği, verici anten yüksekliği, yayın yapılan frekans bandı ve ölçülen sinyal elektrik alan şiddeti şeklinde olup, aşağıda bu ölçüm verilerine ait küçük bir tabloya yer verilmiştir.



**Tablo 5.1.** Baz İstasyonu Ölçüm Verileri

<b>Kullanılan Teknoloji</b>	<b>Frekans Bandı (MHz)</b>	<b>Bant genişliği</b>	<b>Anten Yüksekliği (m)</b>	<b>Mesafe (m)</b>	<b>Sinyal Güç Seviyesi (dBm)</b>
LTE	900	5 Mhz	50	434	-72
LTE	900	5 Mhz	50	479	-72,2
LTE	900	5 Mhz	50	502	-72,6
LTE	900	5 Mhz	50	530	-72,25
LTE	900	5 Mhz	50	566	-73,5
LTE	900	5 Mhz	50	603	-72,5
LTE	900	5 Mhz	50	626	-72,75
LTE	900	5 Mhz	50	655	-73,5
LTE	900	5 Mhz	50	675	-72
LTE	900	5 Mhz	50	707	-73
LTE	900	5 Mhz	50	737	-72,25
LTE	900	5 Mhz	50	775	-72,13
LTE	900	5 Mhz	50	793	-73
LTE	900	5 Mhz	50	834	-73

## 5.2.Okumura Hata Modeli Sonuçları

Ampirik modelin matematiksel formüllerine üçüncü bölümde yer verilmişti. Ölçümü alınan baz istasyonunun parametreleri ile Okumura Hata modeline göre yol kayıp hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ölçüm değerleriyle karşılaştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

Root mean squared error : 8,43

Frekans (f) : 150 – 1500 MHz

Verici ve alıcı arasındaki uzaklık (d) : 1 – 20 km

Vericinin anten yüksekliği (hTX) : 30 – 200 m

Alıcının anten yüksekliği (hRX) : 1 – 10 m

## 5.3.Yapay Sinir Ağı Tasarımları ve Sonuçları

Propagasyon yol kayıp hesabı için geliştirilen mdeol için; yapay sinir ağları çeşitlerinden, Çok katmanlı yapay sinir ağları (MLNN), Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları (RBNN) ve Kendi Kendini Organize Eden Model (SOM) kullanılmıştır.

Kullanılan üç çeşit yapay sinir ağı için belirlenen dört adet girdi şu şekildedir; frekans değeri (MHz), verici anten yüksekliği (m), alıcı anten yüksekliği (m), mesafe (m). Çıkış parametresi ise alınan sinyal seviyesi (dBm) değeridir.

### 5.3.1.Yapay Sinir Ağlarında K-Fold Kullanımı

361 adet ölçüm verisi, 3 fold modu ile eğitim ve test verisi olmak üzere sinir ağlarına kaynaklık etmiştir. 1 fold modunda, verinin %70'i eğitim için kullanılırken, kalan %30'luk kısmı, test verisi olarak kullanılır.

3 fold modu ise şu şekilde izah edilebilir; 361 adet veri 3'e bölünür, ilk iki parça toplamda 241 adet veri, eğitim için kullanılır ve kalan 120 adet veri ise test için kullanılır. Sonra, birinci ve üçüncü grup veriler eğitim kümesi olarak kullanılır ve

ikinci 120 adet veri ise test kümesini oluşturur. Son olarak da; ikinci ve üçüncü grup veriler eğitim için kullanılır ve birinci grup veri test için kullanılır.

Üç uygulamadan elde edilen doğruluk oranı belirlenir ve ortalamaları alınır. Yapay sinir ağı yaklaşımlarında, fold modunu kullanarak, tüm verinin bölünüp hem eğitim hem de test veri kümesi olması, sonucun doğruluk oranını artırmaktadır.

### 5.3.2. Çok Katmanlı Sinir Ağı Modeli (MLNN)

Çok katmanlı sinir ağı modelinin parametreleri şu şekildedir;

Öğrenme katsayısı: 0.3

Momentum Değeri: 0.2

İterasyon sayısı: 1000

Lineer düğümün parametreleri;

Girişler

Ağırlıklar

Eşik Değeri

0.740134489597634

Düğüm 1

0.9569912639440734

Düğüm 2

-1.0104153565297318

Sigmoid fonksiyonlu düğüm 1'in parametreleri;

Girişler

Ağırlıklar

Eşik Değeri

-20.15999177905374

f

0.011210246162694962

H<sub>b</sub>

-5.000736296506454

H<sub>m</sub>

0.025002916747422027

d

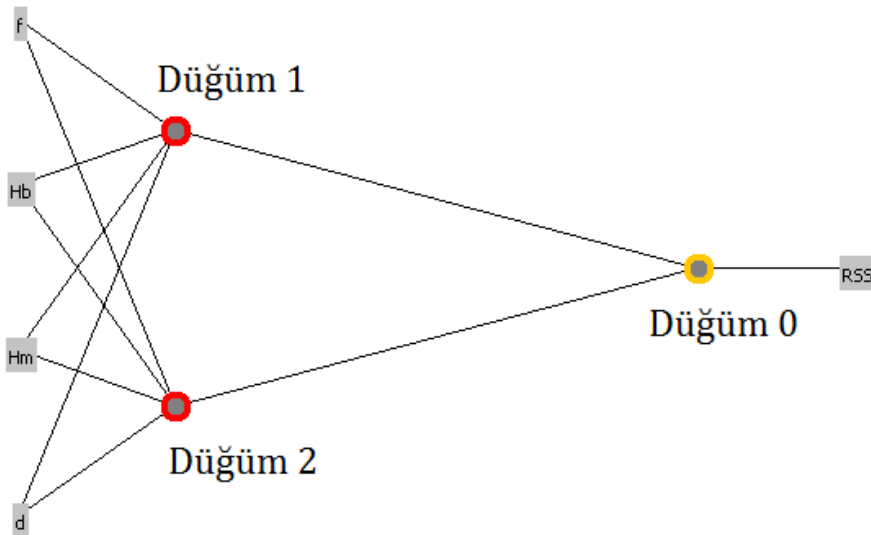
-21.747666718499172

Sigmoid fonksiyonlu düğüm 2'nin parametreleri;

Girişler	Ağırlıklar
Eşik Değeri	1.5065540893833556
f	0.03658091000876
H <sub>b</sub>	-1.869903147648264
H <sub>m</sub>	-0.004176515255352661
d	1.9662919065065636

Çok katmanlı sinir ağı için elde edilen sonuçlara ait doğruluk değerleri aşağıda yer almaktadır;

Correlation coefficient	0.8944
Mean absolute error	3.191
Root mean squared error	4.1783
Relative absolute error	40.2836 %
Root relative squared error	45.5245 %



Şekil 5.1. Tasarlanan MLNN Yapay Sinir Ağı Modeli

Tasarlanan MLNN yapay sinir ağı modeli yukarıdaki şekilde belirtilmiştir. Gizli katmanda iki adet düğüm bulunmaktadır. Bu düğümlerde, aktivasyon fonksiyonu olarak, sigmoid fonksiyon kullanılmıştır.

Düğüm 1 ve düğüm 2'nin giriş parametreleri için belirlenen ağırlık değerleri, aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

**Tablo 5.4.** MLNN Yapay Sinir Ağı Ağırlık Değerleri

<b>Düğüm 1</b>		<b>Düğüm 2</b>	
<b>Parametreler</b>	<b>Ağırlık Değerleri</b>	<b>Parametreler</b>	<b>Ağırlık Değerleri</b>
Frekans (f)	0.011210246162694962	Frekans (f)	0.03658091000876
Baz İstasyonu Yüksekliği (Hb)	-5.000736296506454	Baz İstasyonu Yüksekliği (Hb)	-1.869903147648264
Mobil Alıcı Yüksekliği (Hm)	0.025002916747422027	Mobil Alıcı Yüksekliği(Hm)	-0.004176515255352
Alıcı-Verici Arası Mesafe(d)	-21.74766671849917	Alıcı-Verici Arası Mesafe(d)	1.9662919065065636

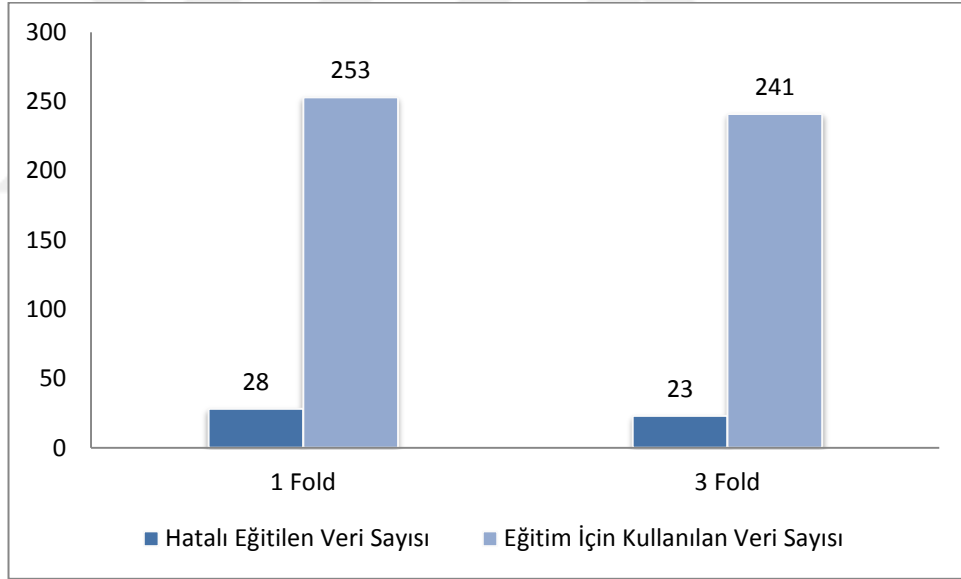
Düğüm 1 ve düğüm 2'nin çıkış değerleri, düğüm 0'ın girişleri olmaktadır. Düğüm 0, girdilerine belirlemiş olduğu ağırlık değerlerini kullanarak, aktivasyon fonksiyonunun giriş değerini hesaplar, aktivasyon fonksiyonunun çıkış değeri ise alınan sinyal gücü çıkış parametremizi belirler.

Düğüm 0'ın girişleri olan düğüm 1 ve düğüm 2 için ağırlık değerleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

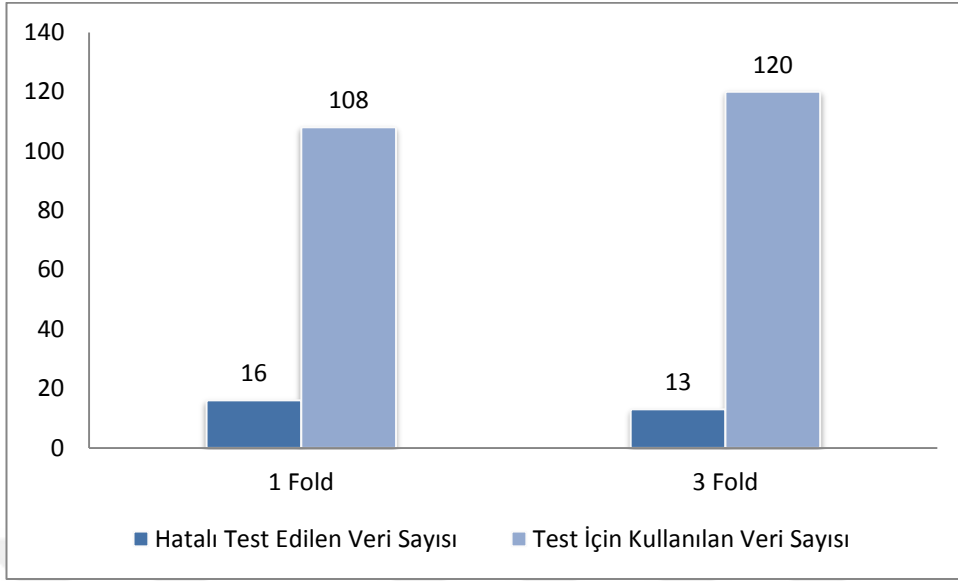
**Tablo 5.5.** Düğüm “0” Ağırlık Değerleri

Düğüm 0	
Parametreler	Ağırlık Değerleri
Düğüm 1	0.9569912639440734
Düğüm 2	-1.0104153565297318

Tasarlanan MLNN yapay sinir ağı modeline uygulanan 1 fold ve 3 fold modlarında elde edilen eğitim ve test sonuçlarına dair veri bilgileri aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.



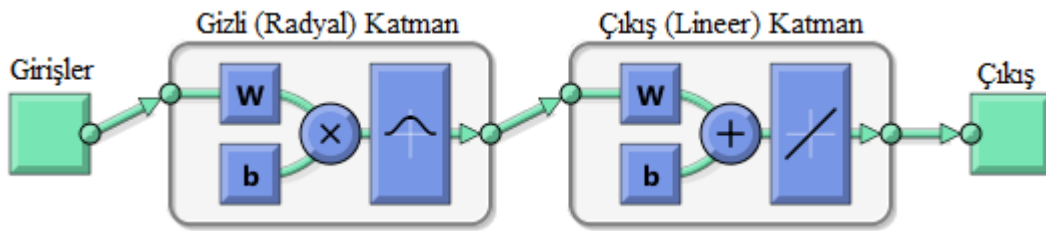
**Şekil 5.2.** MLNN Yapay Sinir Ağı Eğitim Verisi



Şekil 5.3. MLNN Yapay Sinir Ağı Test Verisi

### 5.3.3. Radyal Tabanlı Sinir Ağı Modeli (RBNN)

Radyal tabanlı sinir ağları, adından da anlaşıldığı gibi, radyal bazlı fonksiyonları, aktivasyon fonksiyonu olarak kullanan yapay sinir ağı modelidir. RBNN yapay sinir ağında temel olarak; giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç katman bulunur. Tasarımı yapılan RBNN ağı modeli gösterimi aşağıdaki şekilde görülmektedir.

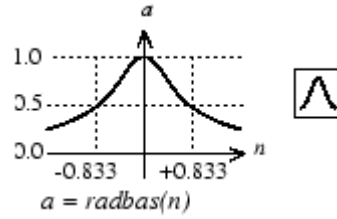


Şekil 5.4. Radyal Tabanlı Sinir Ağı Modeli

Giriş katmanındaki veriler, orta katmana aktarılır, orta katmandan çıkış katmanına geçiş ise ağırlık değerleriyle çarpılarak yapılır. RBNN yapay sinir ağı, N-boyutlu uzaydaki verileri farklı kümelerine ayırır ve bu giriş değerlerini ara katmandaki radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonundan geçirerek çıkış katmanına iletir.

Çıkış katmanında bulunan lineer (doğrusal) fonksiyondan geçen ara katman çıkışları, sinir ağının çıkış değerlerini belirler. Dolayısıyla, giriş uzayından gizli uzaya geçiş doğrusal değilken, gizli birim uzayından çıkış birim uzayına geçiş doğrusaldır.

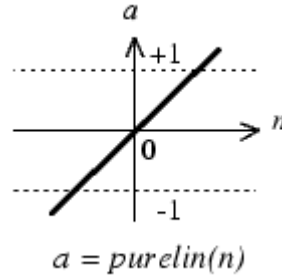
RBNN ağı, yaptığımız uygulamada da olduğu gibi fonksiyon yakınsaması işlemlerinde sıklıkla kullanılır. Aşağıdaki şekilde, tasarlamış olduğumuz RBNN ağı gizli katmanında kullanılan gauss radyal tabanlı fonksiyon görülmektedir.



**Şekil 5.5.** Gauss Fonksiyon Grafiği

Gizli birimde kullanılan radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonu doğrusal olmadığı için, saklı birimin boyutu yüksektir. Çıkış katmanındaki doğrusal fonksiyon sonucunda ise sınırlı ve küçük boyutta değerler elde edilir.

Aşağıdaki şekilde, tasarlamış olduğumuz RBNN ağı çıkış katmanında kullanılan doğrusal fonksiyon görülmektedir.



**Şekil 5.6.** Doğrusal Fonksiyon Grafiği

Bu model, giriş değerlerini 7 kümeye bölmüş ve her bir kümenin çıkışa etkisini aşağıdaki gibi açıklamıştır;

$$\begin{aligned} \text{Çıkış Değeri (RSS)} = & (11.1479 * \text{Küme-0}) + (13.9148 * \text{Küme-1}) + \\ & (-4.9588 * \text{Küme-2}) + (4.5789 * \text{Küme-3}) + (-11.8823 * \text{Küme-4}) + \\ & (-0.9678 * \text{Küme-5}) + (5.7764 * \text{Küme-6}) + (-84.566) \end{aligned}$$



Radyal tabanlı sinir ağı için elde edilen sonuçlara ait doğruluk değerleri aşağıda yer almaktadır;

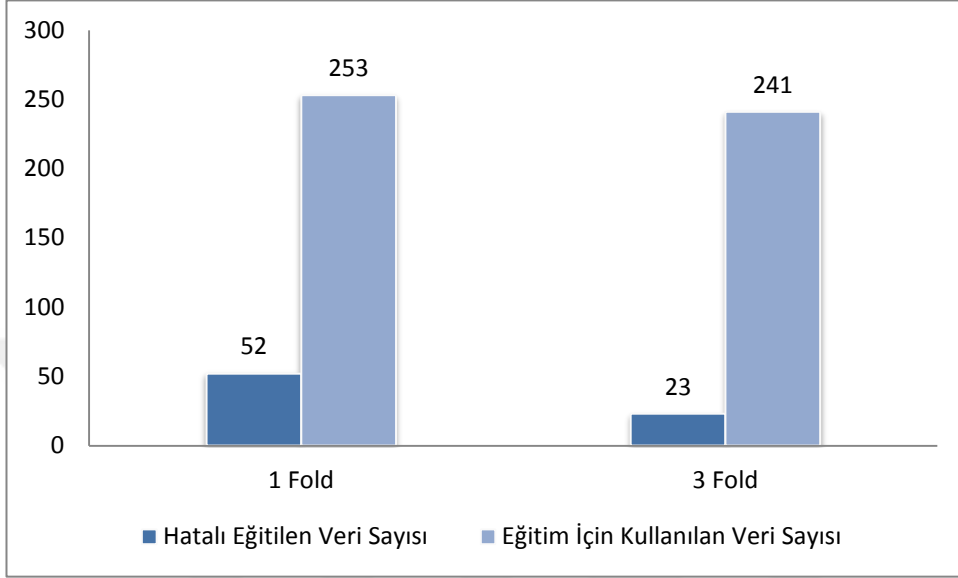
Correlation coefficient	0.8789
Mean absolute error	3.1574
Root mean squared error	4.3709
Relative absolute error	39.8589 %
Root relative squared error	47.6226 %
Total Number of Instances	361

Tasarlanan bu modelde, yedi kümeye ayrılan giriş değerleri için lineer regresyon istatistiksel metodu kullanılarak, kümeleme işlemi yapılmış, daha sonra her bir küme kendisi için belirlenen ağırlık değerleri ile çarpılarak, çıkış değeri elde edilmiştir. Belirlenen ağırlıklar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

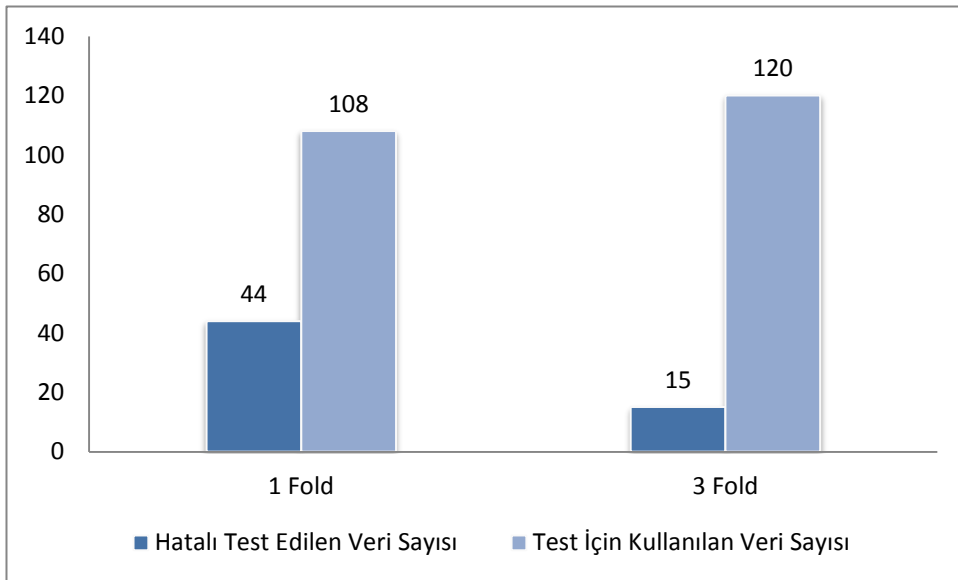
**Tablo 5.6.** RBNN Yapay Sinir Ağı Parametre Değerleri

Parametreler	Ağırlık Değerleri
Küme 0	1.1479
Küme 1	13.9148
Küme 2	-4.9588
Küme 3	4.5789
Küme 4	-11.8823
Küme 5	-0.9678
Küme 6	+5.7764

Tasarlanan RBNN yapay sinir ağı modeline uygulanan 1 fold ve 3 fold modlarında elde edilen eğitim ve test sonuçlarına dair veri bilgileri aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.



Şekil 5.7. RBNN Yapay Sinir Ağı Eğitim Verisi



Şekil 5.8. RBNN Yapay Sinir Ağı Test Verisi

### 5.3.4. Kendi Kendini Organize Eden Model (SOM)

SOM modelinde nominal (sözel) değerler ile sonuçlar belirlenmiştir. Nominal değerler şu şekildedir;

$RSS > -70 \text{ dBm}$	Mükemmel
$-70 \text{ dBm} < RSS < -85 \text{ dBm}$	İyi
$-86 \text{ dBm} < RSS < -100 \text{ dBm}$	Normal
$RSS < -100 \text{ dBm}$	Kötü

SOM modeli parametreleri şu şekildedir;

Harita yüksekliği: 7

Harita genişliği: 7

Öğrenme katsayısı: 0.3

İterasyon sayısı: 2880

Komşuluğu belirleyen fonksiyon türü: Gaussian

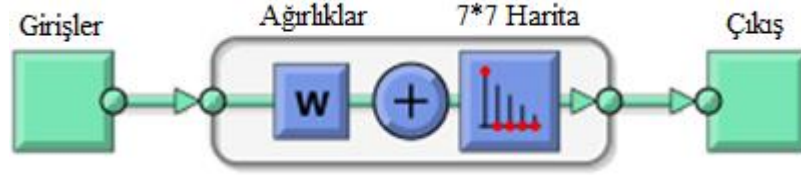
Komşuluk boyutu: 8

Topoloji: Hegzagonal

SOM yapay sinir ağı için elde edilen sonuçlara ait doğruluk değerleri aşağıda yer almaktadır;

Correctly Classified Instances	288	79.7784 %
Incorrectly Classified Instances	73	20.2216 %
Kappa statistic	0.7175	
Mean absolute error	0.1195	
Root mean squared error	0.2528	
Relative absolute error	33.8065 %	
Root relative squared error	60.1633 %	
Total Number of Instances	361	

Tasarlanan SOM ağı şekli ve parametre değerleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.



**Şekil 5.9.** SOM Yapay Sinir Ağı Modeli

SOM yapay sinir ağının en iyi sonucu verebilmesi için, belirlenmesi gereken harita yükseklik ve genişliği bir kare oluşturacak şekilde 7'ye 7 olarak tasarlanmıştır. Sinir ağımızın çıkışı dört farklı şekilde gerçekleşmektedir.

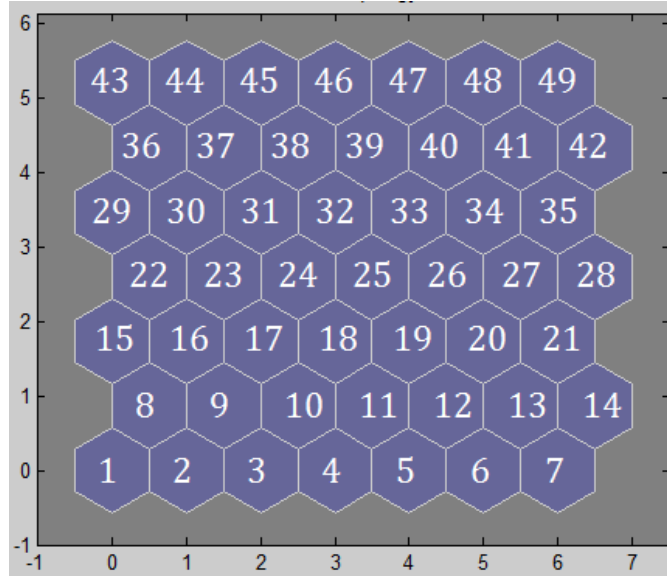
-70 değerinden daha büyük çıkışlar: Mükemmel

-70 ile -85 değerleri arasındaki çıkışlar: İyi

-86 ile -100 değerleri arasındaki çıkışlar : Normal

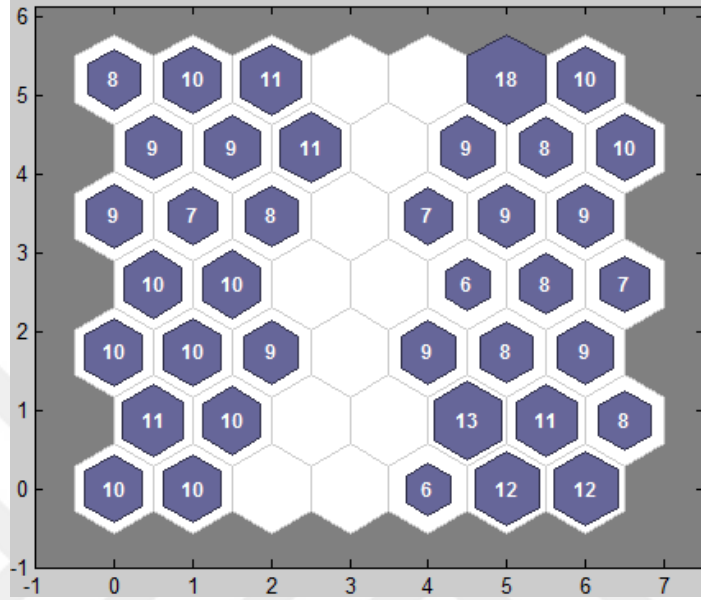
-100'den küçük çıkışlar: Kötü

Eğitim için kullanılan data kümesi, rastgele eğitim veri dağılımı modunda kullanılmış, öğrenme fonksiyonu statik olarak belirlenmiştir. 7'ye 7 olarak tasarlanmış haritada, komşuluk ilişkisini belirleyen fonksiyon, gaussian olarak ayarlanmış ve ağın topolojisi ise altıgen olarak seçilmiştir. Harita 7'ye 7 olarak tasarlandığı için 49 adet küme elemanı elde edilmiştir. Bu verilere ait yapay sinir ağı modeli aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.



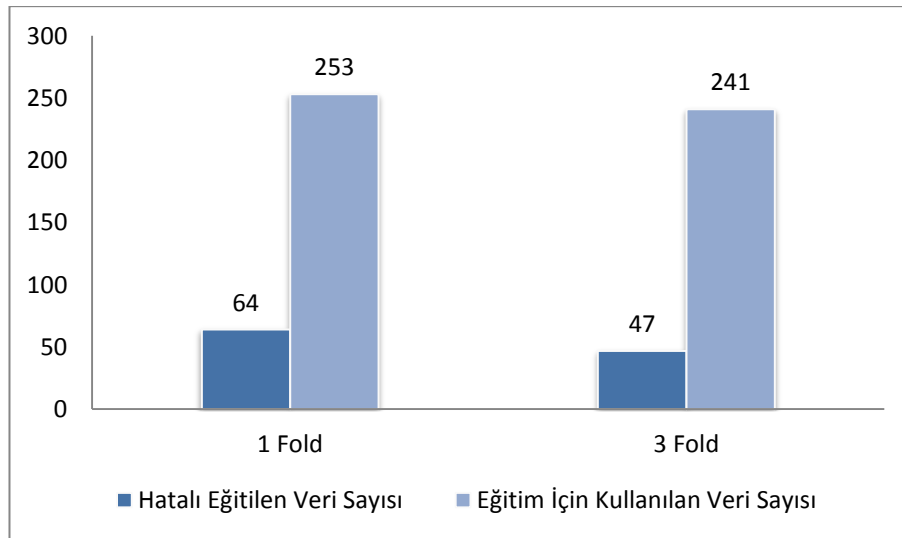
**Şekil 5.10.** SOM Ağı Haritası

Konu başlığı, 4.5’de belirtildiği gibi sinir ağının sonuçlarını belirleyen, rekabetçi katmana ait 49 adet küme elemanı için belirlenen benzetme haritası aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.

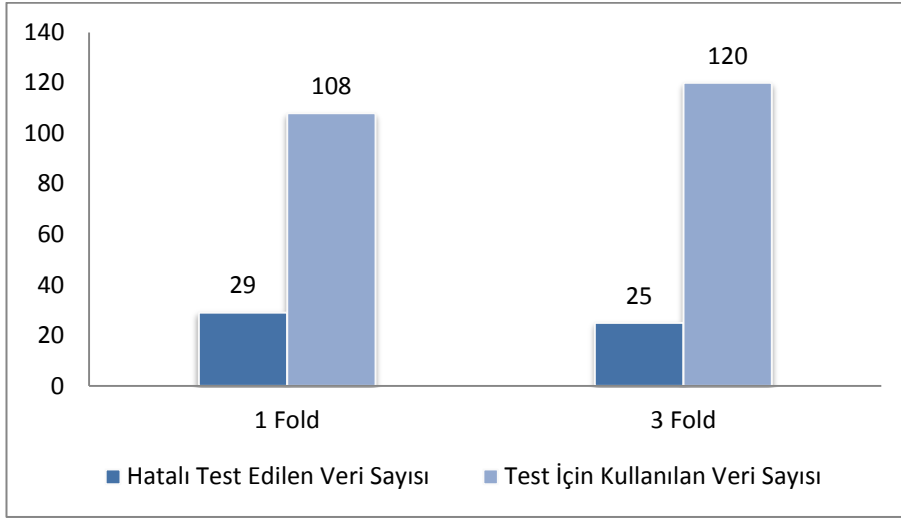


Şekil 5.11. SOM Ağı Benzetim Haritası

Tasarlanan SOM yapay sinir ağı modeline uygulanan 1 fold ve 3 fold modlarında elde edilen eğitim ve test sonuçlarına dair veri bilgileri ise aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.



Şekil 5.6. SOM Yapay Sinir Ağı Eğitim Verisi



**Şekil 5.7.** SOM Yapay Sinir Ağı Test Verisi

Tasarlanan yapay sinir ağları ile ampirik modelin korelasyon katsayısına göre karşılaştırılması aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

**Tablo 5.2.** Yapay Sinir Ağı Modelleri ile Ampirik Model Karşılaştırması

Propagasyon Yol Kaybı Modelleri	Model Bilgileri	Eğitim Seti Korelasyon Katsayısı	Test Seti Korelasyon Katsayısı
<b>Okumura-Hata Ampirik Modeli</b>	Kent Modeli f<1500 MHz	0.6189	
<b>MLNN Yapay Sinir Ağı Modeli</b>	1 Fold Mod	0.8924	0.8586
	3 Fold Mod	0.9051	<b>0.8944</b>
<b>RBNN Yapay Sinir Ağı Model</b>	1 Fold Mod	0.796	0.5936
	3 Fold Mod	<b>0.9065</b>	0.8789
<b>SOM Yapay Sinir Ağı Model</b>	1 Fold Mod	0.749	0.739
	3 Fold Mod	0.8088	0.7977

Tasarlanan yapay sinir ağı için kullanılan modlar ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

**Tablo 5.3.** Yapay Sinir Ağı Modelleri Eğitim ve Test Sonuçları

<b>Yapay Sinir Ağı Modelleri</b>	<b>Fold Sayısı</b>	<b>Toplam Veri Sayısı</b>	<b>Eğitim İçin Kullanılan Veri Sayısı</b>	<b>Hatalı Eğitilen Veri Sayısı</b>	<b>Test İçin Kullanılan Veri Sayısı</b>	<b>Hatalı Test Edilen Veri Sayısı</b>
<b>MLNN</b>	1 Fold	361	253	28	108	16
	3 Fold	361	241	23	120	13
<b>RBNN</b>	1 Fold	361	253	52	108	44
	3 Fold	361	241	23	120	15
<b>SOM</b>	1 Fold	361	253	64	108	29
	3 Fold	361	241	47	120	25

## 6.TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Genel olarak yapılan çalışma değerlendirildiğinde, baz istasyonu yayılım yol kaybı hesabı konusunda çalışmaların yetersiz olduğu görülmüştür. Her ülke ve bölgenin farklı coğrafi yapısı ve iletişim trafiği göz önünde bulundurulduğunda, var olan ampirik ve deterministik modellerin uygulanması için düzeltme faktörlerinin hesaplanması işlemi dezavantaj oluşturmuştur. Bu parametrelerin elde edilmesinin zorluğu ve sinyal gürültü unsurlarının çokluğu, farklı süreçlerle modellemelerin yapılabileceği fikrini oluşturmuştur.

Yapılan bu çalışma ile baz istasyonu optimizasyonu çalışmalarının daha kararlı olması ve sürecin daha kısa sürede gerçekleştirilebilmesi hedeflenmiştir. Yapay sinir ağları ile modellenen sistem, ölçümü alınan kapsama alanı için doğruluk katsayısı yüksek sonuçlar vermiştir. Tasarlanan üç farklı yapay sinir ağları, nümerik ve nominal değerler ile hedeflenen sonuçlar elde edilmiştir. Varolan propagasyon yol kayıp modellerinden Okumura – Hata'dan elde edilen sonuçlar ve tasarlanan yapay sinir ağı modellerinin sonuçlarına bakıldığında; ölçüm değerlerine, yapay sinir ağı modelleri, ampirik modele göre daha fazla yakınsama sağlamıştır. Propagasyon yol kayıp modellerinin hata parametrelerine (RAE, RMSE, CC) bakıldığında, tasarlanan YSA modelleri hata oranlarına göre azdan çok olana göre; MLNN (Multilayer Neural Network) – RBFNN (Radial Basis Function Neural Network) ve SOM (Self Organizing Map) şeklinde sıralanmaktadır.

Özellikle yeryüzü şekilleri ile birbirinden ayrılan bölgelerdeki her baz istasyonu için farklı yapay sinir ağı seçimi, ölçüm sonuçlarına daha yakın değerler verecektir. Bununla beraber, kullanılan veri kümesinin; nümerik, nominal olma durumlarına ve dağılımına bakılarak doğru yapay sinir ağı seçimleri yapılması ve yapay sinir ağları parametreleri belirlenirken, veri kümesinin daha etkin ve verimli kullanılabilmesi için k-fold modu tercih edilmesi, daha doğru sonuçlar ortaya koyacaktır.



## **KAYNAKLAR**

1. Nichols, R., Lekkas, P., “Wireless Security - Models, Threats, and Solutions”, McGraw-Hill, United States, 2002.
2. Rappaport, T.S., “Wireless Communications: Principles and Practice”, Prentice-Hall International (UK) Limited, 1 st., London, 1996.
3. Noldus, Rogier, CAMEL : intelligent networks for the GSM, GPRS and UMTS network / Rogier Noldus, 2006.
4. Gordon L. Stuber, principles of mobile communication, second edition 2001.
5. Garg, V.K., and Wilkes, J.E. 1999. Principles and Applications of GSM. Prentice Hall, United States of America.
6. WESOLOWSKI, K. Mobile Communication Systems. England: John Wiley and Sons Ltd., 2002.
7. John S. Seybold, Introduction to RF Propagation, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2005.
8. RAHNEMA, M. UMTS Network Planning, Optimizing, and Interoperation with GSM. England: John Wiley and Sons Ltd., 2009.
9. K.Ayyappan, P. Dananjayan, Propagation Model For Highway In Mobile Communication System, Ubiquitous Computing and Communication Journal, India.
10. Türkan Erbay Dalkılıç, Berna Yeşim Hancı, Ayşen Apaydın, Fuzzy Adaptive Neural Network Approach To Path Loss Prediction In Urban Areas At GSM-900 Band, Turk J Elec Eng & Comp Sei, Vol.18, No.6, İstanbul, 2010.
11. B.Yesim HANCI, I. Hakki CAVDAR, Mobile Radio Propagation Measurements and Tuning the Path Loss Model in Urban Areas at GSM-900 Band in Istanbul – Turkey , IEEE, İstanbul, 2004.
12. Segun Isaiah POPOOLA, Oluwole Adegbola, Comparative Analysis of Received Signal Strength Prediction Models for Radio Network Planning of GSM 900 MHz in Ilorin, Nigeria, International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE) ISSN: 2278-3075, Volume-4 Issue-3, August 2014.
13. Öznur TOPTAŞ, GSM ( 900 / 1800 MHz ) Yayınlarının Kapsama Analizi Ve Modellemeler, Ankara Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 2005.

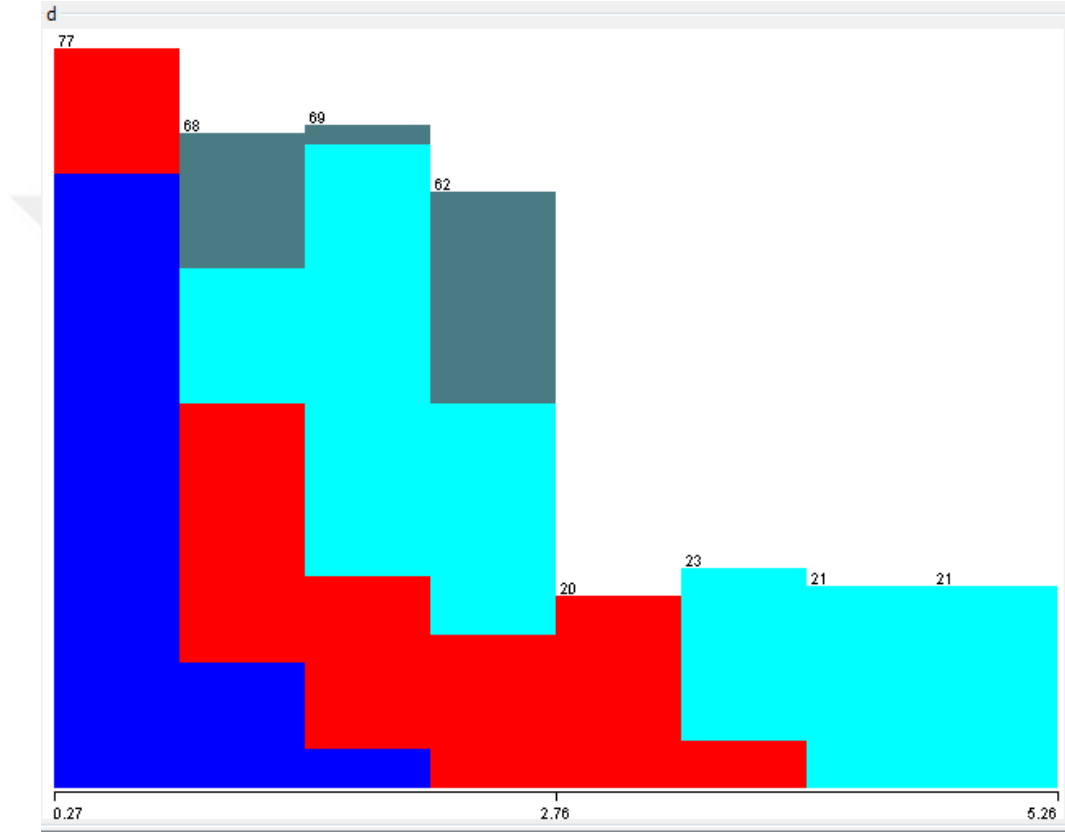
14. Yuvraj Singh, Comparison of Okumura, Hata and COST-231 Models on the Basis of Path Loss and Signal Strength, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 59– No.11, December 2012.
15. P.Saveeda,E.Vinothini,Vardhi Swathi and K.Ayyappan, Received Signal Strength (RSS) Calculation for GSM Cellular System at BSNL Pondicherry using Modified HATA Model, ISSN: 2278 – 7798, International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR) Volume 2, Issue 1, January 2013.
16. Ali K. Lwas, Md. Rafiqul Islam and Al-Hareth Zyoud, Comparison of Empirical Propagation Path Loss Models for Mobile Communications in the Suburban Area of Kuala Lumpur Jalel Chebil, 4th International Conference on Mechatronics (ICOM), 17-19 May 2011, Kuala Lumpur, Malaysia, ©2011 IEEE, 2011.
17. Lukáš KLOZAR, Jan PROKOPEC, Propagation Path Loss Models for Mobile Communication, Czech Republic IEEE, 2011.
18. Ferhat Yumuşak, 2. Nesil Ve 3. Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri İçin Metro İstasyonu Hücre Planlaması, Yıldız Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2012.
19. Bulucu, U., Kavas, A., WLAN Propagation Path Loss Prediction at 2.4 GHz İstanbul, "WLAN Propagation Path Loss Prediction at 2.4 GHz" 4th WSEAS International Conference on Electronics, Hardware, Wireless & Optical Communications, Salzburg, Austria, 2004.
20. Bhag Singh Guru, Hüseyin R. Hiziroglu, Electromagnetic Field Theory Fundamentals, Cambridge University Press, 2004.
21. F.T. Ulaby, E. Michielssen, U. Ravaioli, Fundamentals of Applied Electromagnetics, Prentice Hall, 2010.
22. Roy Blake, Leo Chartrand, Wireless Communication Technology, Delmar Cengage Learning, 2000.
23. Paul Lorrain, Dale R. Corson, Electromagnetic fields and waves, including circuits, W.H. Freeman & Company, 1988.
24. Bhag Singh Guru, Hüseyin R. Hiziroglu, Electromagnetic Field Theory Fundamentals, Cambridge University Press, 2004.
25. WESOŁOWSKI, K. Mobile Communication Systems. England: John Wiley and Sons Ltd., 2002.

26. F.T. Ulaby, E. Michielssen, U. Ravaioli, Fundamentals of Applied Electromagnetics, Prentice Hall, 2010.
27. Thomas A. Milligan, Modern Antenna Design, IEEE Press :Wiley-Interscience, 2005.
28. Robert S. Elliott, Antenna Theory & Design, Wiley-IEEE Press, 2003.
29. Öznur TOPTAŞ, GSM ( 900 / 1800 MHz ) Yayınlarının Kapsama Analizi Ve Modellemeler, Ankara Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 2005.
30. F.T. Ulaby, E. Michielssen, U. Ravaioli, Fundamentals of Applied Electromagnetics, Prentice Hall, 2010.
31. Balanis C.A, Chapter - 2, Antenna Theory: Analysis and Design,1996.
32. Balanis C.A, Chapter - 3, Antenna Theory: Analysis and Design,1996.
33. Robert S. Elliott, Antenna Theory & Design, Wiley-IEEE Press, 2003.
34. Balanis C.A, Chapter - 5, Antenna Theory: Analysis and Design,1996.
35. Bahattin Türetken, A.İhsan Yürekli, Mehmet Yazıcı, İsa Araz, Bektaş Çolak, Anten Kalibrasyon Metodları ve Karşılaştırmaları,2002.
36. Gunnar Heine, Chapter – 3, GSM Networks:Protocols, Terminology and Implementation , Artech House London, 1998.
37. Gunnar Heine, Chapter – 6, GSM Networks:Protocols, Terminology and Implementation , Artech House London, 1998.
38. Andreas F. Molisch , Chapter – 10, Wireless CommunicationsSecond Edition, 2010.
39. Paul W. Gross, P. Robert Kotiuga, Electromagnetic theory and computation: a topological approach, Cambridge University Press, 2004.
40. Andreas F. Molisch , Chapter -7, Wireless Communications, Second Edition, 2010.
41. Andreas F. Molisch , Chapter - 6, Wireless Communications, Second Edition, 2010.
42. Gökhan Silahtaroğlu, Veri Madenciliği Kavram ve Algoritmaları, Papatya Yayıncılık, 2013.
43. Ercan Öztemel ,Yapay Sinir Ağları,Papatya Yayıncılık, 2012.
44. Grady Hanrahan ,Artificial Neural Networks in Biological and Environmental Analysis, CRC Press Taylor & Francis Group, 2007.
45. L. P. J. Veelenturf , Chapter -6, Analysis and applications of artificial neural networks, Prentice Hall International, 1995.
46. Grady Hanrahan ,Artificial Neural Networks in Biological and Environmental Analysis, CRC Press Taylor & Francis Group, 2007.

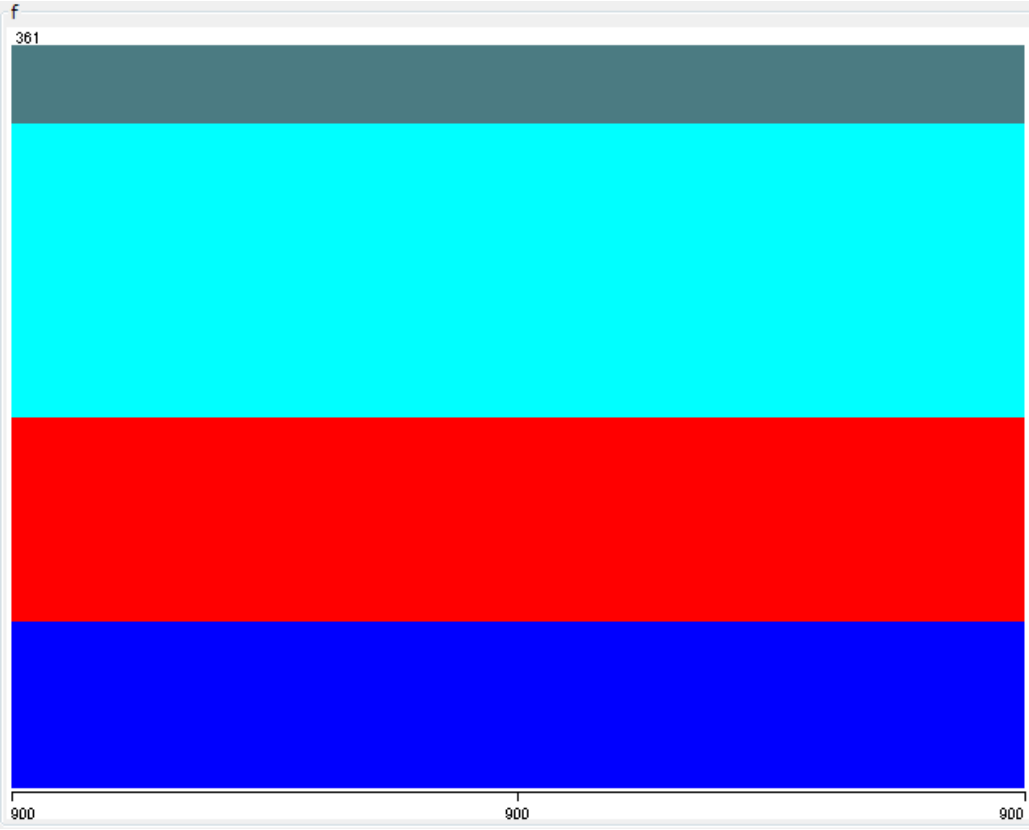
47. P.J. Braspenning F. Thuijsman, Chapter -4, An Introduction to ANN Theory and Practice, A.J.M.M. Weijters (Eds.)Springer, 1995.
48. L. P. J. Veelenturf , Chapter – 5, Analysis and applications of artificial neural networks, Prentice Hall International, 1995.
49. Ercan Öztemel ,Yapay Sinir Ağları,Papatya Yayıncılık, 2012 .
50. Gökhan Silahtaroglu, Veri Madenciliği Kavram ve Algoritmaları, Papatya Yayıncılık, 2013.
51. Yang Xuhong , Industrial Electronics (ISIE), IEEE 23rd International Symposium in İstanbul Fac. of Autom. Eng., 2014.
52. L. P. J. Veelenturf , Chapter -8, Analysis and applications of artificial neural networks, Prentice Hall International, 1995.
53. Grady Hanrahan ,Artificial Neural Networks in Biological and Environmental Analysis, CRC Press Taylor & Francis Group, 2007.
54. Ercan Öztemel ,Yapay Sinir Ağları,Papatya Yayıncılık, 2012 .
55. Somayyeh BIKARI, Sevtap ÜNAL, F. Görgün Deveci, Tüketicilerin Çevreye Yönelik Tutumları Ve Kişilik Özellikleri Açısından Kohonen Ağları (Self-Organizing Map-Som) İle Bölümlendirilmesi, 22. UPK Ahmet Hamdi İslamoğlu Özel Sayısı, 2017.
56. Gül Yazıcı, Genetik Algoritmalar İle Radyal Temelli Fonksiyon Ağlarının Optimizasyonu, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul, 2006.
57. Gökhan Silahtaroglu, Veri Madenciliği Kavram ve Algoritmaları, Papatya Yayıncılık, 2013.
58. Ercan Öztemel ,Yapay Sinir Ağları,Papatya Yayıncılık, 2012 .
59. Grady Hanrahan ,Artificial Neural Networks in Biological and Environmental Analysis, CRC Press Taylor & Francis Group, 2007.
60. L. P. J. Veelenturf , Chapter -8, Analysis and applications of artificial neural networks, Prentice Hall International, 1995.
61. P.J. Braspenning F. Thuijsman, Chapter -5, An Introduction to ANN Theory and Practice, A.J.M.M. Weijters (Eds.)Springer, 1995.
62. Yang Xuhong , Industrial Electronics (ISIE), IEEE 23rd International Symposium in İstanbul Fac. of Autom. Eng., 2014.

## EKLER

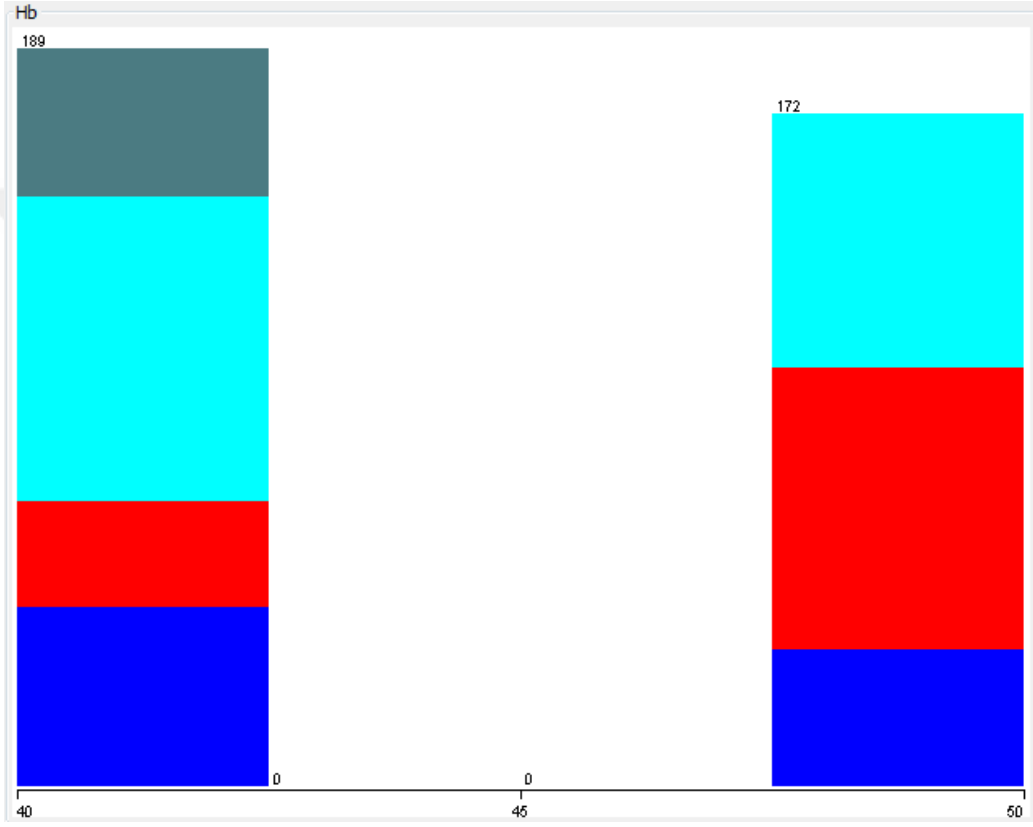
### Ek A. Tasarlanan Yapay Sinir Ağlarının Parametre Dağılımları



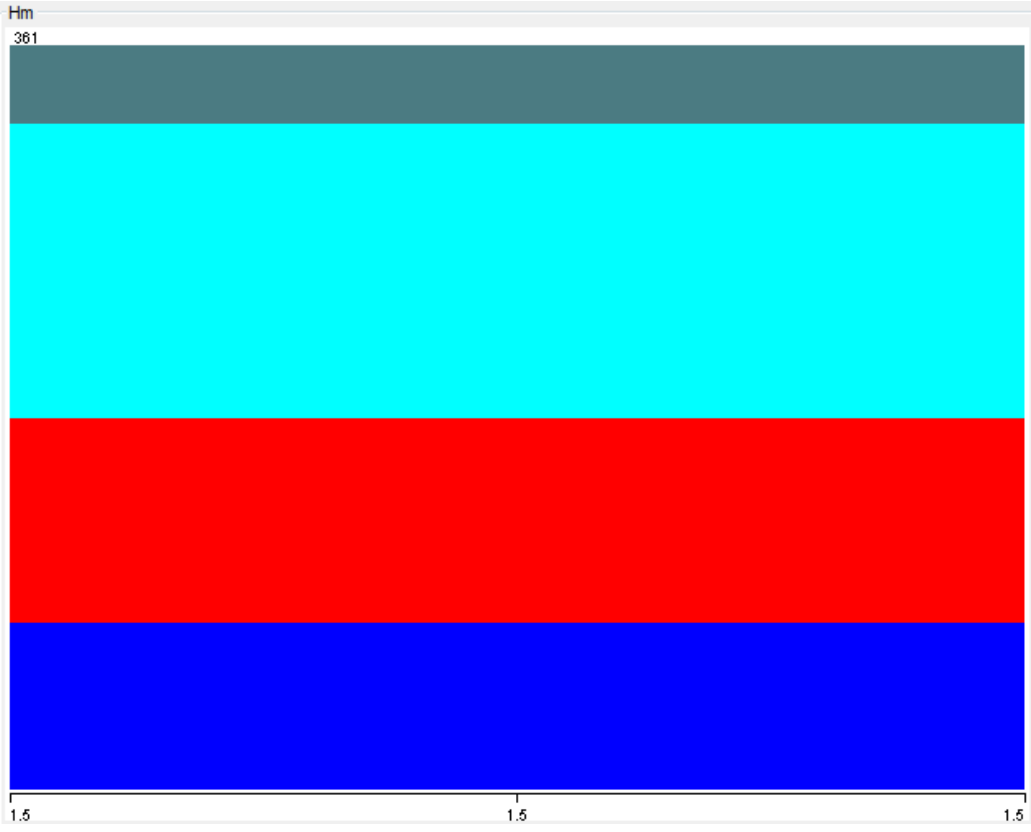
Ek A.1. Distance parametresi dağılımı



**Ek A.2.** Frekans parametresi dağılımı

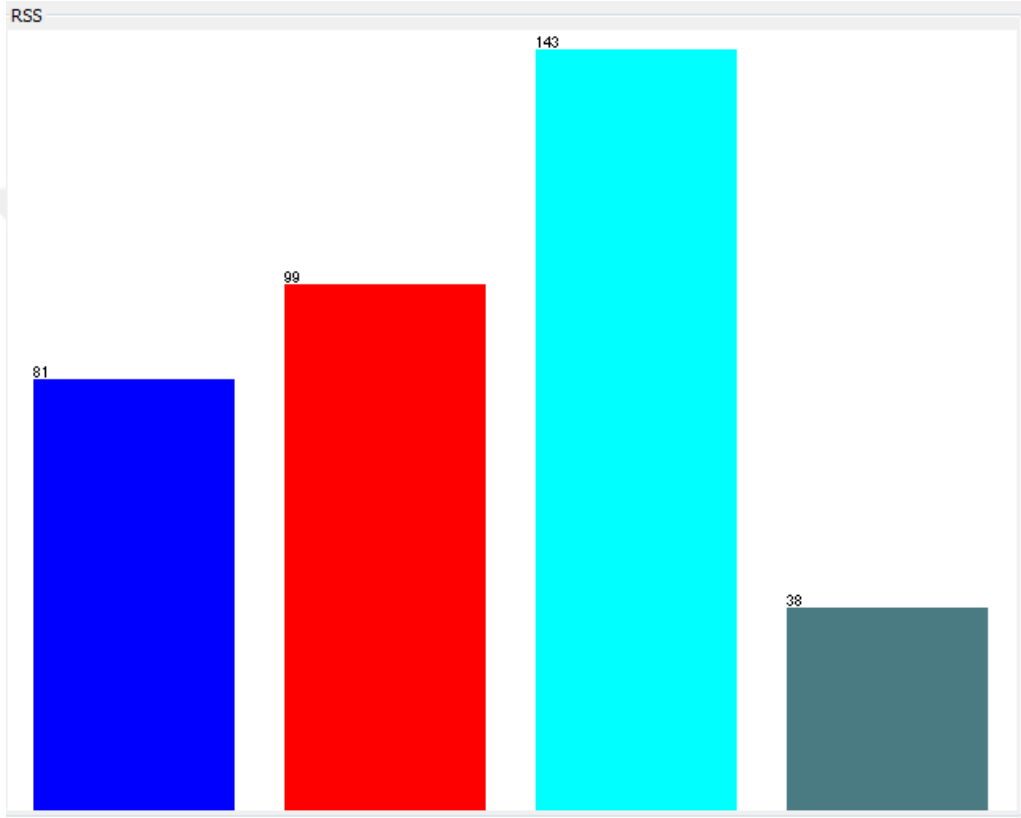


**Ek A.3.** Baz istasyonu verici anten yüksekliği parametresi dağılımı

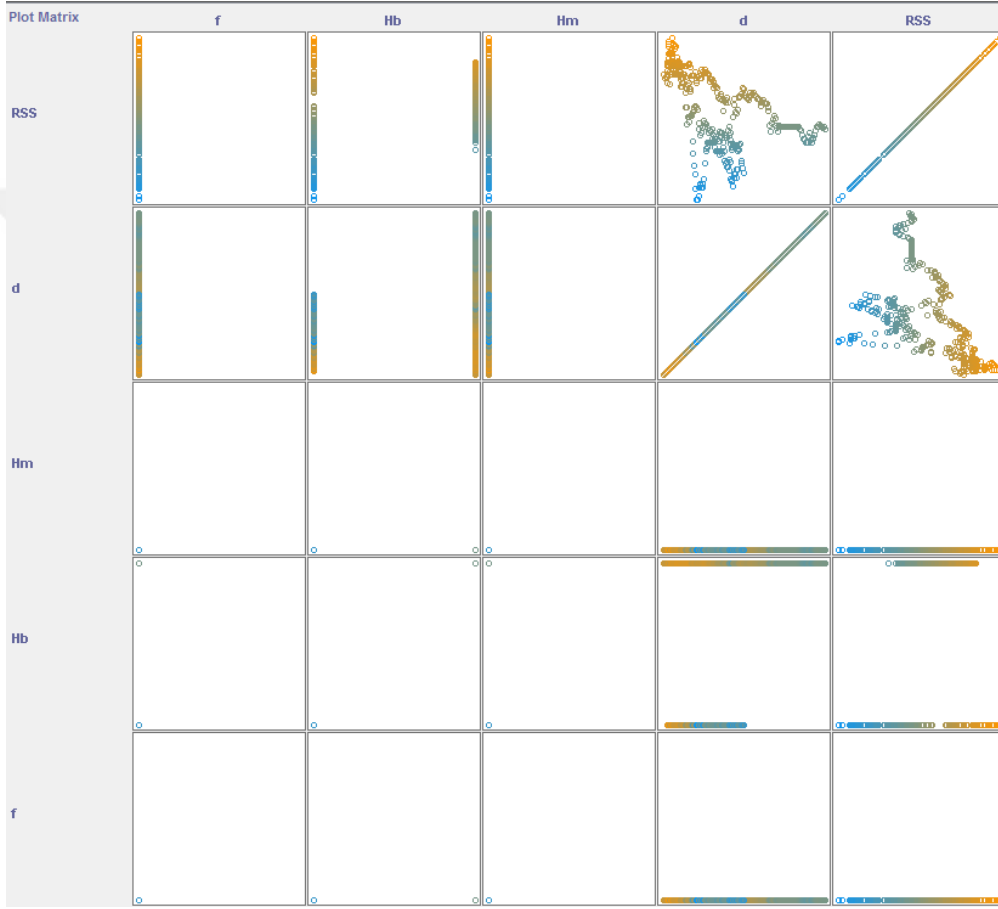


**Ek A.4.** Mobil cihaz alıcı anten yüksekliği parametresi dağılımı

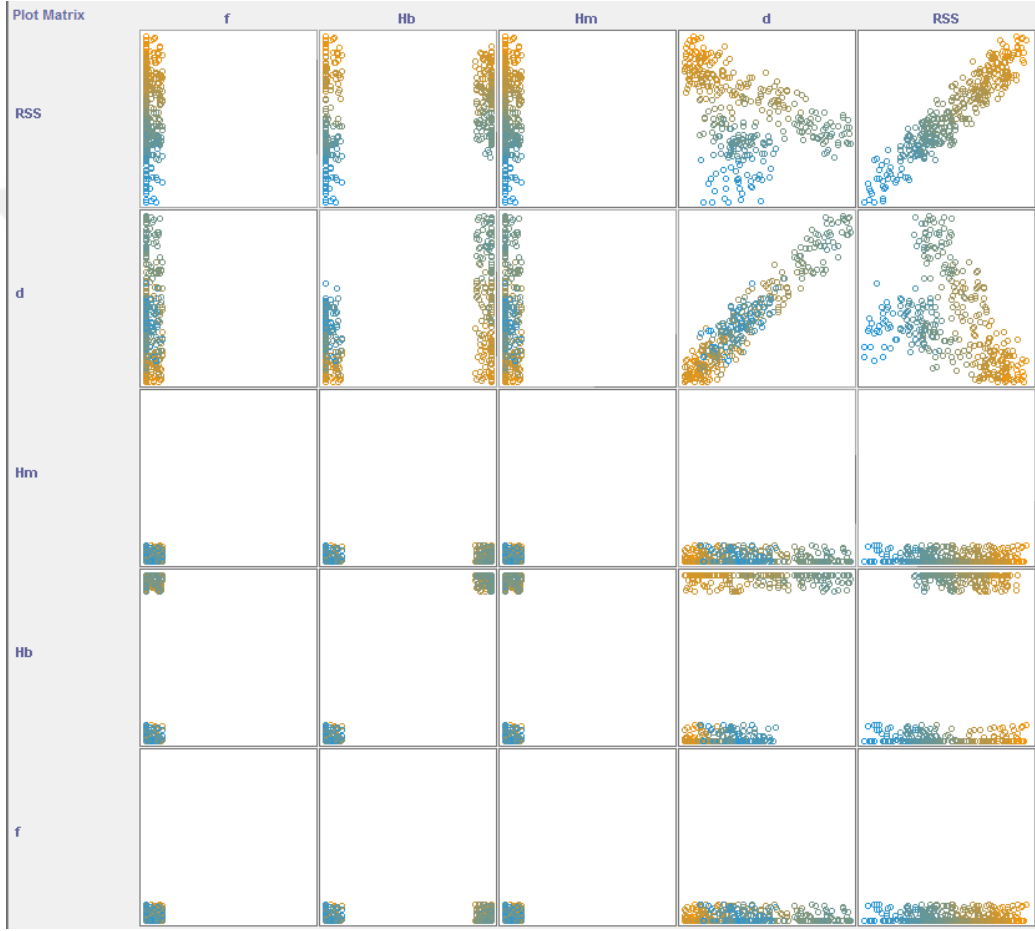




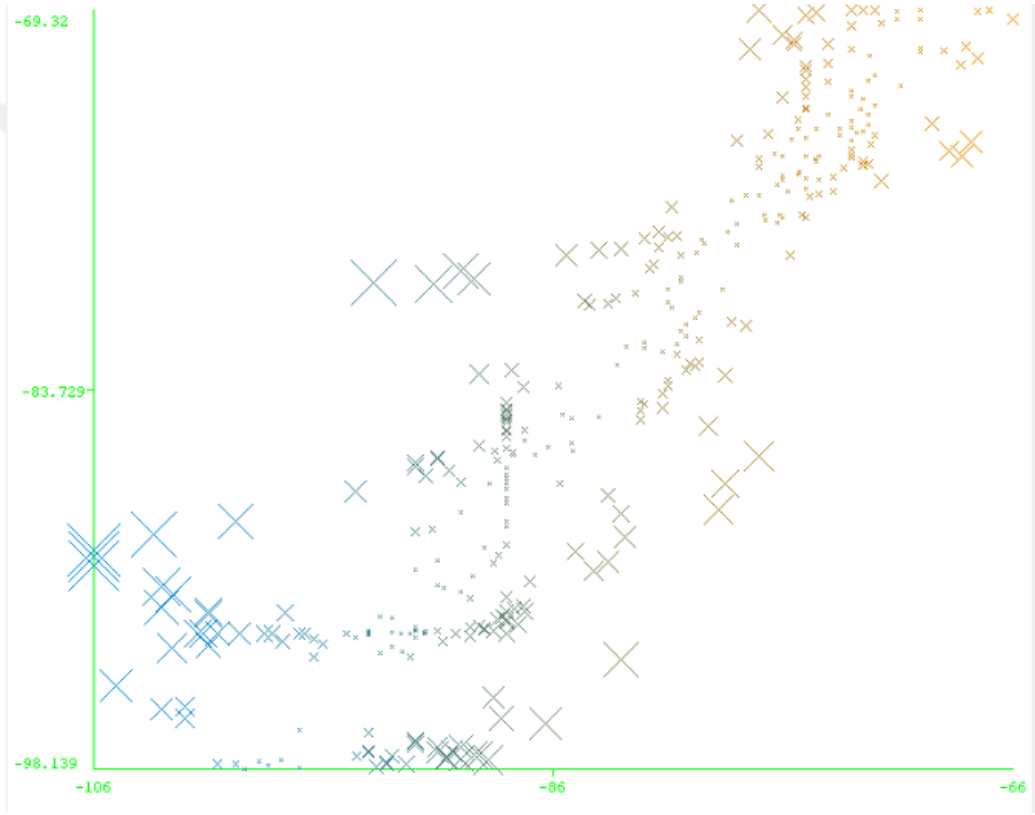
**Ek A.5.** Alınan sinyal gücü parametresi dağılımı



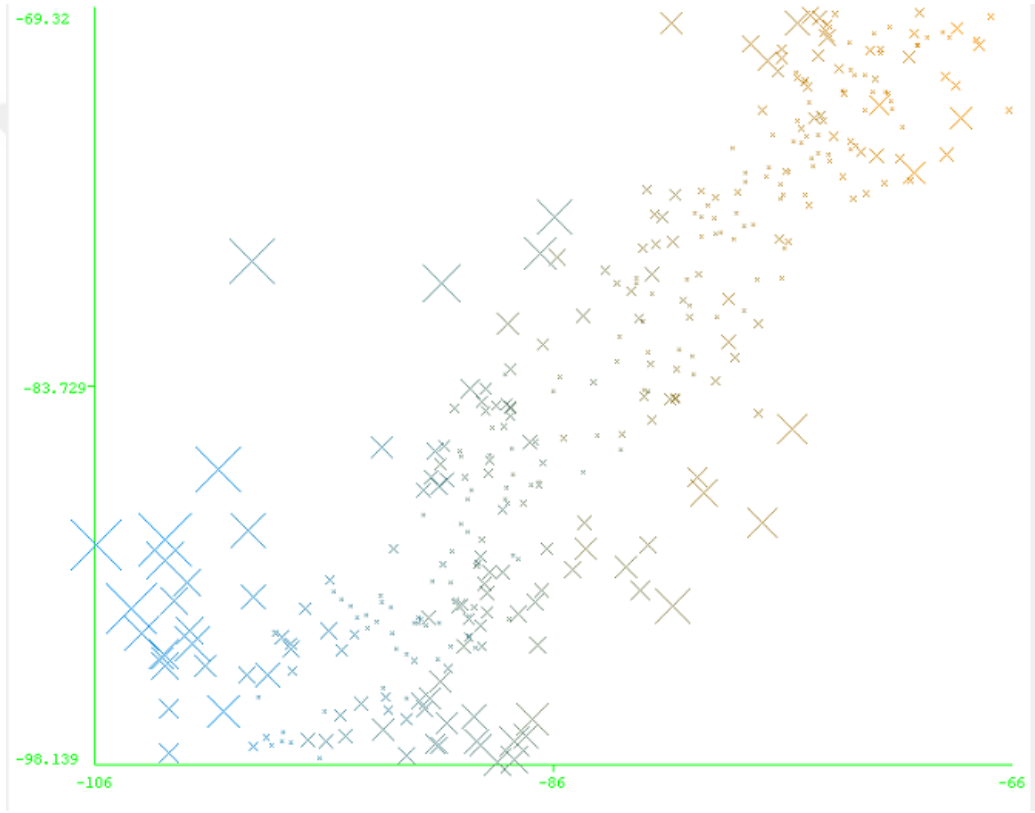
**Ek A.6.** Tüm parametrelerin dağılımı



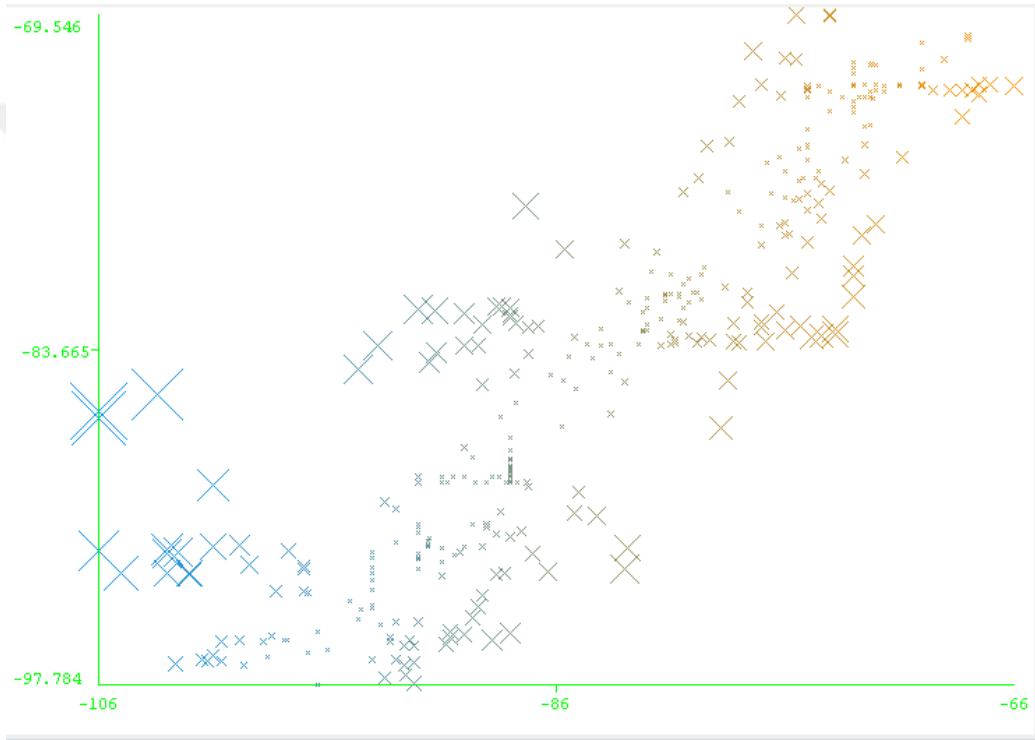
Ek A.7. Sapma meydana geldikten sonraki tüm parametrelerin dağılımı



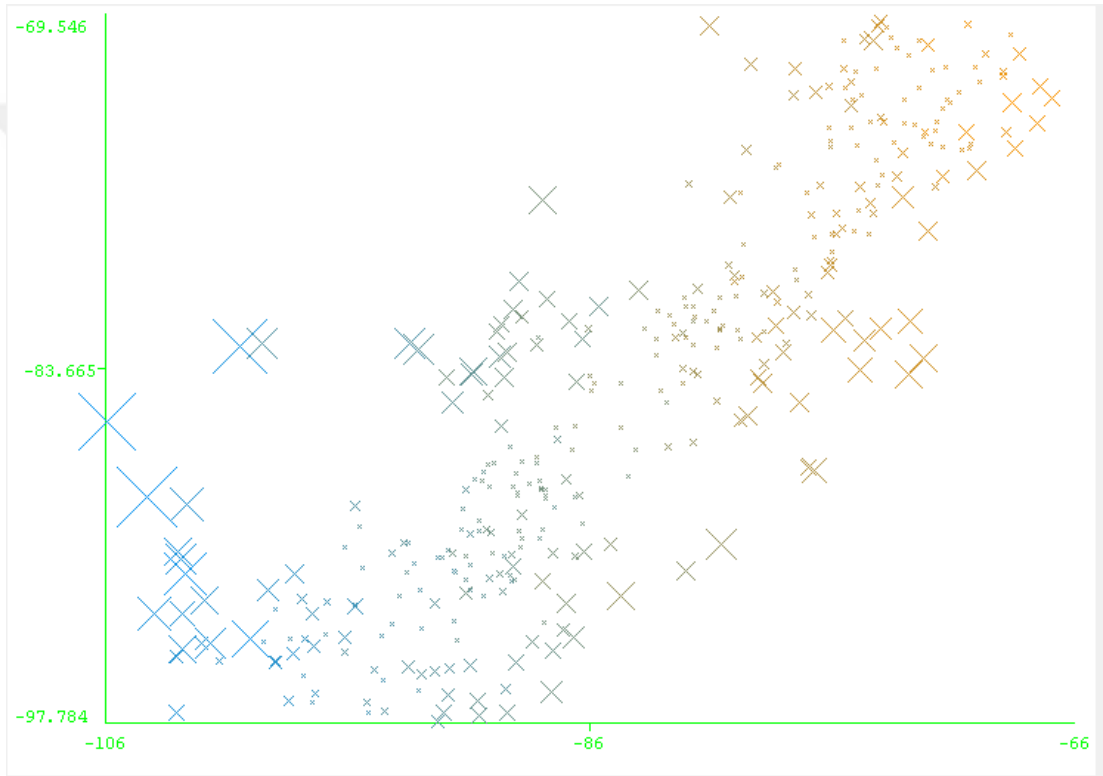
**Ek A.8.** MLNN için alınan sinyal gücü ölçüm ve tahmin değerleri dağılımı



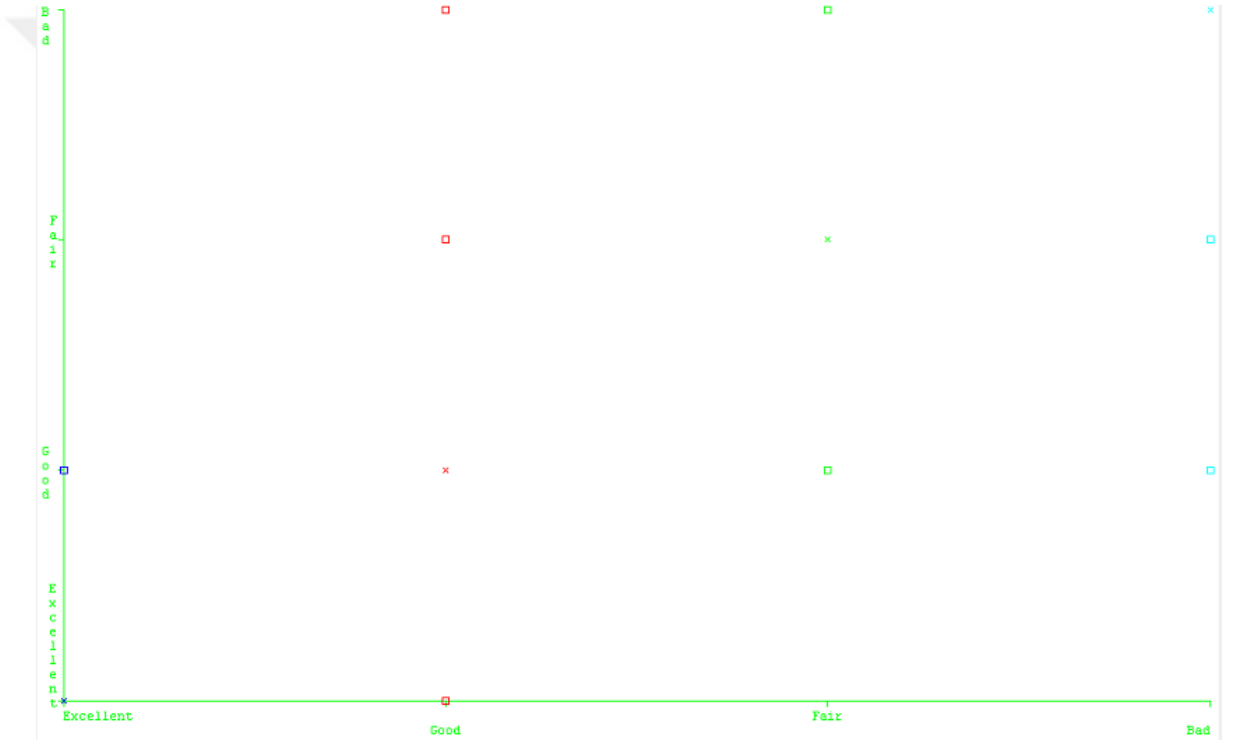
**Ek A.9.** MLNN için sapma meydana geldikten sonraki alınan sinyal gücü ölçüm ve tahmin değerleri dağılımı



**Ek A.10.** MLNN için alınan sinyal gücü ölçüm ve tahmin değerleri dağılımı

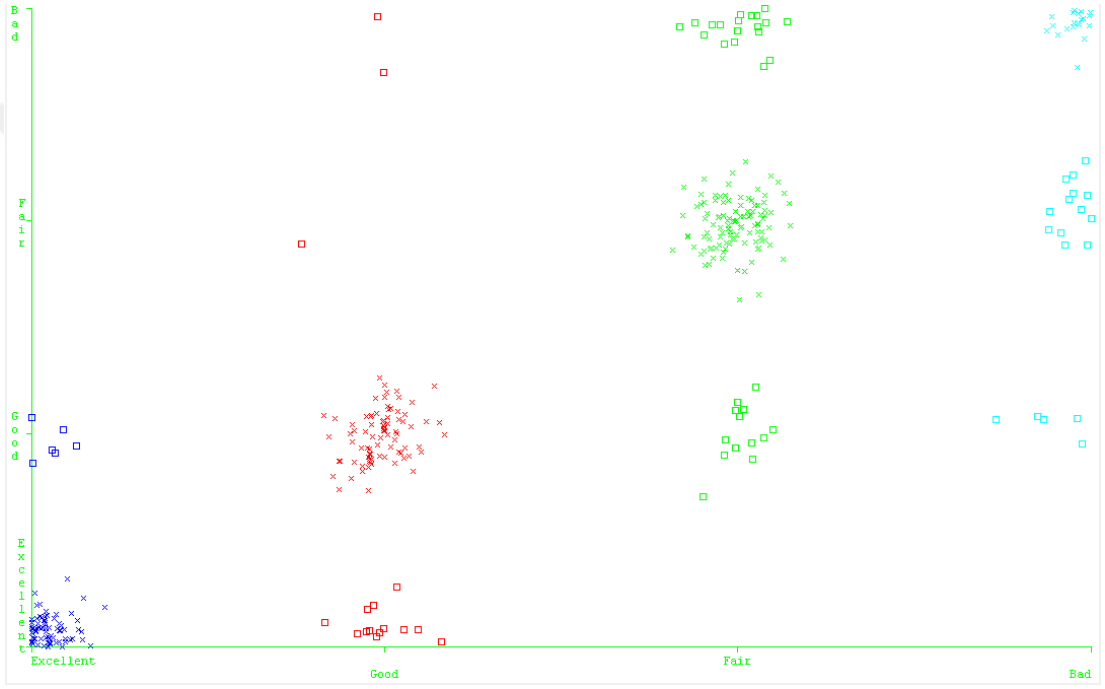


**Ek A.11.** MLNN için sapma meydana geldikten sonraki alınan sinyal gücü ölçüm ve tahmin değerleri dağılımı



**Ek A.12.** SOM ağı için alınan sinyal gücü ölçüm ve tahmin değerleri dağılımı





**Ek A.13.** SOM ağı için sapma meydana geldikten sonraki alınan sinyal gücü ölçüm ve tahmin değerleri dağılımı

## **ÖZGEÇMİŞ**

İsmail Hakkı Yemenoğlu, 1990 yılında Sivas'ta doğdu. Orta ve lise öğrenimini sırasıyla Ankara Sincan Adnan Menderes Ortaokulu ve Etimesgut Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2008 yılında Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik Haberleşme Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başlamış olup 2012 yılında başarıyla bitirmiştir.

2014 yılında Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Elektrik Elektronik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır.

### **İletişim Bilgileri:**

**Adres** : Çengeldere Mah. Gündoğdu Cad. Aroma Sok. No:4/4 Beykoz/İSTANBUL

**Tel** : 0 216 681 51 00 / 5416

**E-Posta** : ihyemenoglu@medipol.edu.tr