

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**DENİZ YÜZEYİ RADAR YANSIMALARINDAN ATMOSFERİK KIRILMANIN**  
**BELİRLENMESİNDE HİBRİT ALGORİTMALARA DAYALI**  
**YENİ BİR TAHMİN MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**Cemil TEPECİK**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ANKARA**

**2018**

**Her hakkı saklıdır**

## TEZ ONAYI

Cemil TEPECİK tarafından hazırlanan “Deniz Yüzeyi Radar Yansımalarından Atmosferik Kırılmann Belirlenmesinde Hibrit Algoritmalara Dayalı Yeni Bir Tahmin Modelinin Geliştirilmesi” adlı tez çalışması 26/02/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. İsa NAVRUZ

Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Jüri Üyeleri** :

**Başkan** : Prof. Dr. Feza ARIKAN

Hacettepe Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** : Prof. Dr. A. Egemen YILMAZ

Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** : Doç. Dr. Özlem ÖZGÜN

Hacettepe Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** : Doç. Dr. İsa NAVRUZ

Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Ö. Tolga ALTINÖZ

Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Yukarıdaki sonucu onaylarım.**

**Prof. Dr. Atila YETİŞEMİYEN**

**Enstitü Müdürü**

## ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

26.02.2018

Cemil TEPECİK

## ÖZET

Doktora Tezi

### DENİZ YÜZEYİ RADAR YANSIMALARINDAN ATMOSFERİK KIRILMANIN BELİRLENMESİNDE HİBRİT ALGORİTMALARA DAYALI YENİ BİR TAHMİN MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Cemil TEPECİK

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İsa NAVRUZ

Atmosferik kırılma, hava ve deniz gözetim radar sistemlerinin kaplaması üzerinde belirgin etkilere sahiptir. Radar yansımalarından kırılmanın tahmin edilmesi yöntemi, atmosferik kırılma profillerini tespit etmek için umut verici bir yöntem haline gelmiştir. Bu tezde, deniz yüzeyi radar yansımalarından faydalanarak atmosferik kırılmanın tahmin edilmesi amacıyla sekiz adet model geliştirilmiştir. Bu modeller gerçek radar parametreleri, çevresel veriler ve yansıma verilerini kullanarak atmosferik kırılma kestirimi yapabilmek için tasarlanmış benzetimler ile test edilmiştir. Tahmin modelleri yapay sinir ağları, genetik algoritma ve bu iki bileşene dayalı hibrit tahmin yaklaşımlarından oluşmaktadır. Önerilen modellerden, yapay sinir ağlarının başarımını artırmak için eğitiminde dinamik veri seti yaklaşımı uygulanmıştır. Genetik algoritma ise, tahmin modelinin başarımını arttırmak için probleme uyarlamalı hale getirilmiştir. Geliştirilen modellerin başarımı, gerçek atmosferik koşulları temsil eden kırılma profilleri kullanılarak test edilmiş ve elde edilen sonuçlar sayısal ve grafiksel olarak gösterilmiştir. Geliştirilen modellerden, özellikle uyarlanmış hibrit model için başarı oranı % 96'ya kadar ulaşabilmiştir.

**Şubat 2018, 113 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** yapay sinir ağları, hibrit modeller, genetik algoritma, radyo dalgalarının yayılımı, parametre tahmini

## ABSTRACT

Ph.D. Thesis

### DEVELOPMENT OF A NOVEL ESTIMATION MODEL BASED ON HYBRID ALGORITHMS FOR DETERMINATION OF ATMOSPHERIC REFRACTIVITY FROM SEA SURFACE CLUTTER

Cemil TEPECİK

Ankara University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Electric and Electronics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İsa NAVRUZ

Atmospheric refraction has significant effects on the coverage of air and sea surveillance radar systems. The prediction of refractivity from radar clutter has become a promising method to detect atmospheric refractivity profiles. In this thesis, eight models were developed in order to estimate the atmospheric refractivity by taking advantage of sea surface radar reflections. These models have been tested with simulations designed to perform atmospheric refractivity estimation using real radar parameters, environmental data, and reflection data. Estimation models consist of artificial neural networks, genetic algorithms and hybrid prediction approaches based on these two components. From the proposed models, a dynamic data set approach has been applied in training to increase the performance of artificial neural networks. Genetic algorithm has been adapted to probing to increase the performance of the prediction model. The performance of the developed models was tested using refractivity profiles representing real atmospheric conditions and the results obtained are shown numerically and graphically. From the developed models, especially for the adapted hybrid model, the success rate was up to 96%.

**February 2018, 113 pages**

**Key Words:** artificial neural network, hybrid intelligent systems, genetic algorithm, radio wave propagation, parameter estimation

## TEŐEKKÖR

Düőünce safhasından son aőamaya kadar tüm tez çalıőmam boyunca desteği ile güven veren, çalıőmalarımnda bana pozitif bir çalışma atmosferi sunan ve rehberliği ile başarıya ulaőmamda en büyük paya sahip olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. İsa NAVRUZ'a (Ankara Üniöersitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı), yaptığı akademik çalışmalar ile bu çalışmanın altyapısını hazırlayan ve tavsiyeleriyle tez çalıőmama büyük katkı sağlayan Hacettepe Üniöersitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyelerinden Sayın Doç. Dr. Özlem ÖZGÜN'e, kendisinden doktora öğrenimim sırasında gerek ders aşamasında gerekse tez aşamasında çok őey öğrendiğim, çalıőmalarıma değerli katkılarda bulunan Ankara Üniöersitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyelerinden Sayın Prof. Dr. Asım Egemen YILMAZ'a, bilgi, tecrübe ve değerli zamanlarını esirgemeyerek çalıőmamın őekillenmesine önemli katkılar sağlayan Ankara Üniöersitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyelerinden Sayın Yrd. Doç. Dr. Tolga ALTINÖZ'e, öğrenim hayatımda önemli payı bulunan ve kendisinden öğrenmeye devam ettiğim Hacettepe Üniöersitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyelerinden Sayın Prof. Dr. Feza ARIKAN'a, doktora öğrenimim süresince aile içinde bana ait olan birçok sorumluluğu yerine getirerek başarıım için her türlü fedakarlığı yapan sevgili eőim Müjgan TEPECİK'e en derin duygularla teşekkür ederim.

Cemil TEPECİK  
Ankara, şubat 2018

## İÇİNDEKİLER

### TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER DİZİNİ .....	viii
SÖZLÜK .....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. ATMOSFERİK KIRILMA VE OLUK KAVRAMLARI.....	7
2.1 Atmosferin Özellikleri.....	7
2.2 Yükseklikle Basınç Değişimi.....	8
2.3 Yükseklikle Sıcaklık Değişimi.....	9
2.4 Yayımda Frekansın Etkisi.....	10
2.5 Atmosferik Kırılma.....	11
2.6 Atmosferik Oluklar.....	14
2.6.1 Buharlaşma oluşu .....	16
2.6.2 Yüzeysel tabanlı oluklar .....	17
2.6.3 Yükseltilmiş oluklar .....	19
3. ELEKTROMANYETİK YAYILIM MODELİ .....	22
3.1 Elektromanyetik Dalganın Yayılımı.....	22
3.2 Radar Kaplamasının Oluşumu.....	24
4. DENİZ YÜZEYİ YANSIMALARININ RADARA ETKİLERİ.....	29
4.1 Deniz Yüzeysel Radar Yansımaları.....	29
4.2 Radar Denklemi ve Yüzeysel Yansımaları.....	30
4.3 Yayılım Açısının Etkisi.....	31
4.4 Deniz Yansıması Modelleri ve GIT Modeli.....	32
4.5 Radar Parametrelerinin Etkileri.....	33
4.6 Radar Konuşunun Etkisi.....	34

4.7 Rüzgarın Etkisi.....	35
4.8 Analizlerin Değerlendirilmesi.....	37
<b>5. YÜZEY OLUŞUNUN RADAR BAŞARIMINA ETKİLERİ.....</b>	<b>38</b>
5.1 Radar Konusu – Oluk İlişkisi.....	39
5.2 Frekans ile Oluk Kalınlığı İlişkisi.....	40
5.3 Analizler.....	40
5.3.1 Oluklanma durumunda alçak irtifa izlemesi .....	41
5.3.2 Farklı irtifa konuşları için karşılaştırma.....	42
5.3.3 Farklı frekansların karşılaştırması.....	43
5.3.4 Oluktan sızan enerjinin etkisi.....	45
5.3.5 Kırınımın etkisi.....	46
5.4 Değerlendirme.....	47
<b>6. ATMOSFERİK KIRILMA PROFİLİNİN TESPİTİ.....</b>	<b>48</b>
6.1 Atmosferik Kırılmanın Tepitinde Kullanılan Yöntemler.....	48
6.2 Deniz Yansımalarından Atmosferik Kırılmanın Tespiti Yöntemi.....	53
6.3 Atmosferik Kırılma Tahmini Problemi.....	58
<b>7. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ATMOSFERİK KIRILMA TAHMİNİ.....</b>	<b>61</b>
7.1 Yapay Sinir Ağları.....	61
7.2 YSA Atmosferik Kırılma Tahmin Modeli.....	63
7.3 YSA ile Atmosferik Kırılma Tahmini .....	64
<b>8. GENETİK ALGORİTMA İLE ATMOSFERİK KIRILMA TAHMİNİ.....</b>	<b>71</b>
8.1 Bir Optimizasyon Yöntemi olarak Genetik Algoritma.....	71
8.2 GA'nın Oluşturulması.....	72
8.3 GA Tahminleri.....	74
8.4 YSA ve GA Yaklaşımlarının Beraber Kullanılması: Hibrit YSA-GA Modeli.....	75
<b>9. YSA VE GA ATMOSFERİK KIRILMA TAHMİN MODELLERİNİN YENİDEN DÜZENLENMESİ.....</b>	<b>79</b>
9.1 Başarım Kriterinin Belirlenmesi.....	79
9.2 Dinamik Yapay Sinir Ağı Modeli ile Atmosferik Kırılma Tahmini.....	82
9.3 Standard Genetik Algoritma Modeli ile Atmosferik Kırılma Tahmini.....	84
9.4 Uyarlamalı Genetik Algoritma Modeli ile Atmosferik Kırılma Tahmini.....	87
<b>10. HİBRİT MODELLER İLE ATMOSFERİK KIRILMA TAHMİNİ.....</b>	<b>89</b>



<b>10.1. Standart Hibrit Model.....</b>	<b>92</b>
<b>10.2 Uyarlamalı Hibrit Model.....</b>	<b>94</b>
<b>10.3 sHM ve aHM ile Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması.....</b>	<b>95</b>
<b>11. SONUÇ.....</b>	<b>98</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>102</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>111</b>

## SİMGELER DİZİNİ

$\tau$	Darbe genişliği
$c$	Işık hızı
$R$	Mesafe
$\psi$	Yayılm açısı
$\theta_B$	Radarın hüzme genişliği
$P_t$	Vericinin çıkış gücü
$G$	Anten kazancı
$A_e$	Etkili anten açıklığı
$S$	Alıcıya gelen sinyalin gücü
$\sigma_t$	Hedef radar kesit alanı
$\mu s$	Mikro saniye
$H_{env}$	Elektromanyetik ortam modeli
$P_r$	Radar alıcısına dönen sinyal gücü
$\sigma$	Hedefin radar kesit alanı
$F$	Kayıplı ortam için yayılım faktörü
$m$	Atmosferik kırılma profili
$L$	Anten kaybı
$N$	Kırılma
$M$	Modifiye edilmiş kırılma
$\sigma^o$	Birim alana düşen yansıma radar kesit alanı

### Kısaltmalar

aGA	Adaptive Genetic Algorithm (Uyarlamalı Genetik Algoritma)
aHM	Adaptive Hybrid Model (Uyarlamalı Hibrit Model)
COAMPS	Coupled Ocean / Atmosphere Mesoscale System
DIAL	Differential Absorption Lidar (Farklı Emilim Lidarı)
dYSA	Dinamik Yapay Sinir Ağı
ED	Elektronik Destek
EM	Elektromanyetik
ET	Elektronik Taarruz
GA	Genetik Algoritma
GPS	Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
HF	High Frequency (Yüksek Frekans)
Km	Kilometre
LOS	Line Of Sight (Görüş Hattı)
MTI	Moving Target Indicator (Hareketli Hedef Göstergesi)
NM	Nautical Mile (Deniz Mili)
NRL	Naval Research Laboratory (Deniz Araştırma Laboratuvarı)
PE	Parabolic Equation (Parabolik Denklem)
RFC	Refractivity From Clutter (Radar Yansımasından Kırılma Tahmini)
RKA	Radar Kesit Alanı
SAGA	Simulated Annealing / Genetic Algorithm

SBD	Surface Based Ducts (Yüzey Tabanlı Oluklar)
sGA	Standart Genetik Algoritma
sHM	Standart Hibrit Model
SSPE	Split Step Parabolic Equation (Ayrık Adım Parabolik Denklem)
YSA	Yapay Sinir Ağları

## SÖZLÜK

Absorption radar	Soğurma radarı
Accuracy criterion	Doğruluk kriteri
Adaptive genetic algorithm	Uyarlamalı genetik algoritma
Adaptive hybrid model	Uyarlamalı hibrit model
Air defense	Hava savunma
Air surveillance	Hava gözetleme
Altitude	İrtifa
Ant colony optimization	Karınca kolonisi optimizasyonu
Artificial neural networks	Yapay sinir ağları
Atmospheric refraction	Atmosferik kırılma
Backpropagation algorithm	Geri yayılım algoritması
Bayesian approach	Bayes yaklaşımı
Beam	Hüzme
Beyond the horizon	Ufuk ötesi
Clutter	Yansıma
Clutter map	Yansıma haritası
Combined population	Birleşik popülasyon
Cost	Maliyet
Crossover	Çaprazlama
Diffraction	Kırınım
Ducting	Oluklanma
Electromagnetic propagation	Elektromanyetik yayılım
Electronic offense	Elektronik taarruz
Electronic support	Elektronik destek
Electronic warfare	Elektronik harp
Elevated duct	Yükseltilmiş oluk
Evaporation duct	Buharlaştırma oluğu
False eco	Sahte yansıma
False target	Sahte hedefler
Filter	Süzgeç
Generation	Nesil
Genetic algorithm	Genetik algoritma
Global positioning system	Küresel konumlandırma sistemi
Global search space	Küresel arama uzayı
Grazing angle	Yayılım açısı
Ground waves	Yer dalgaları
High frequency	Yüksek frekans
Hybrid model	Hibrit model
Initial population	Başlangıç popülasyonu
Inversion method	Ters dönüşüm yöntemi
İyonosfer	İyonküre
Kalman and particle filter	Kalman ve parçacık süzgeci
Least squares matching method	En küçük kareler uyumlandırma yöntemi
Line of sight	Görüş hattı
Markov state space model	Markov durum uzay modeli

Modified refractive index	Modifiye kırılma indisi
Moving Target Indicator	Hareketli hedef göstergesi
Mutation	Mutasyon
Nautical mile	Deniz mili
Naval Research Laboratory	Deniz Araştırma Laboratuvarı
Parabolic equation	Parabolik denklem
Parent	Ebeveyn
Performance	Başarımm
Probability of detection	Tespit olasılığı
Propagation loss	Yayılm kaybı
Pulse width	Darbe genişliği
Radar cell	Radar hücresi
Radar coverage	Radar kaplaması
Radar cross-sectional area	Radar kesit alanı
Radar equation	Radar denklemi
Radar location altitude	Radar konuş irtifası
Radar receiver	Radar alıcısı
Radar range	Radar menzili
Radar transmitter	Radar vericisi
Refractive index	Kırılma indisi
Refractivity estimation model	Kırılma tahmin modeli
Refractivity from radar clutter	Radar yansımasından kırılma tahmini
Refractrometer	Kırılmölçer
Roulette wheel	Rulet tekeri
Sawtooth flight pattern	Testere dişi uçuş deseni
Sea clutter	Deniz yansıması
Selection	Seçim
Signal attenuation	Sinyal zayıflaması
Space waves	Uzay dalgaları
Split step parabolic equation	Ayrık adım parabolik denklem
Subrefraction	Ters kırılma
Success rate	Başarı oranı
Surface based ducts	Yüzey tabanlı oluklar
Superrefraction	Süper kırılma
Three-linear M-profile	Üç hatlı M-profil
Vector support machines	Vektör destek makinaları
Volumetric clutter	Hacimsel yansımalar
Wavelength	Dalga boyu

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Radar sinyallerinin atmosferik oluk içinde kılavuzlanması.....	1
Şekil 1.2 Atmosferik kırılma nedeniyle ortaya çıkan radar mesafe ve irtifa ölçüm hataları.....	2
Şekil 1.3 Atmosferik olukların askeri taktikler belirlenirken dikkate alınması.....	3
Şekil 1.4 Radar çevresinde güçlü bir yüzey tabanlı oluk nedeniyle oluşan yansıma haritası.....	4
Şekil 1.5 Dinamik radar kaplaması tahmin sistemi.....	5
Şekil 2.1 Atmosferin tabakaları.....	8
Şekil 2.2 Yükseklikle basınç değişimi.....	9
Şekil 2.3 Atmosferde sıcaklığın yükseklikle değişimi.....	9
Şekil 2.4 Atmosferik kırılma türleri.....	12
Şekil 2.5 Snell Kanunu.....	14
Şekil 2.6 Ters Sıcaklık Değişim Katmanı.....	15
Şekil 2.7 Modifiye kırılma indisi ile oluklanma türlerinin gösterilmesi.....	16
Şekil 2.8 Su üzerinde buharlaşma oluşu nedeniyle serap oluşumu.....	17
Şekil 2.9 Yüzey tabanlı oluk parametreleri.....	18
Şekil 2.10 Yüzey Oluşu.....	18
Şekil 2.11 Tabanı 620 m yükseklikte olan bir yükseltilmiş oluklanma katmanı ve karşılık gelen radar sinyal yayılımı.....	20
Şekil 3.1 SSPE yöntemiyle yayılım faktörü hesaplaması.....	24
Şekil 3.2 Olağan koşullarda atmosferik kırılmanın yükseklikle değişimi.....	25
Şekil 3.3 Olağan atmosferik kırılma şartlarında yayılım faktörünün mesafe ve irtifa ile değişimi.....	25
Şekil 3.4 Olağan kırılma şartları için yüzey seviyesinde yayılım faktörünün mesafe ile değişimi.....	26
Şekil 3.5 Yüzey tabanlı oluk durumunda atmosferik indis değişimi.....	27
Şekil 3.6 Yüzey oluşu durumunda yayılım faktörünün mesafe ve irtifa ile değişimi....	27

Şekil 3.7 Yüzey oluğu şartlarında yüzey seviyesinde yayılım faktörünü mesafe ile değişimi.....	28
Şekil 4.1 Aydınlatılan yüzey alanı.....	30
Şekil 4.2 Dört farklı radar irtifası için yayılım açısı değişimi.....	32
Şekil 4.3 Darbe genişliğinin etkisi.....	33
Şekil 4.4 Dalga boyunun etkisi.....	34
Şekil 4.5 Radar konuşunun etkisi.....	35
Şekil 4.6 Rüzgar yönü etkisi.....	35
Şekil 4.7 Rüzgar hızı etkisi.....	36
Şekil 5.1 Standart Atmosfer.....	41
Şekil 5.2 Oluklama durumu için sinyal yayılımı.....	41
Şekil 5.3 Oluklama - standart atmosfer sinyal yayılım karşılaştırması.....	42
Şekil 5.4 Farklı radar konuş yüksekliklerinin oluklama durumu karşılaştırması.....	42
Şekil 5.5 Farklı radar konuş yüksekliklerinin oluklama durumu karşılaştırması.....	43
Şekil 5.6 Yüksek irtifada oluklama durumu karşılaştırması.....	44
Şekil 5.7 Orta irtifada oluklama durumu karşılaştırması.....	44
Şekil 5.8 Alçak irtifada oluklama durumu karşılaştırması.....	45
Şekil 5.9 Alçak irtifada oluklama durumu karşılaştırması.....	46
Şekil 5.10 VHF oluklama durumunda sinyal yayılımı.....	46
Şekil 5.11 Ufuk ötesi kırınım etkisinin standart atmosferik koşullarda farklı frekanslar için karşılaştırması.....	47
Şekil 6.1 Türkiye ve çevresinde radyosonda atılan merkezler.....	50
Şekil 6.2 Radyosonda ölçüm değerleri ve verilerin yorumlanmasına bir örnek.....	51
Şekil 6.3 Yüzey tabanlı oluk için üç hatlı M-profilini.....	54
Şekil 6.4 SPANDAR deneyine ait sonuçlar.....	58
Şekil 7.1 Beyin hücresi ile YSA hücresinin benzerliği.....	62
Şekil 7.2 YSA Eğitimi.....	64

Şekil 7.3 YSA Mimarisi ve eğitim veri setleri.....	65
Şekil 7.4 YSA tahmin modelinin hazırlanmasına ilişkin süreçler.....	66
Şekil 7.5 Çizelge 7.8’de yer alan referans yüzey tabanlı oluk profilinin, verici yüksekliği 1800 m’de bulunan radarın kaplamasına etkisi.....	67
Şekil 7.6 YSA tahminlerinin referans atmosferik koşul ile karşılaştırılması.....	69
Şekil 8.1 Popülasyondaki bir bireyin genetik kromozom yapısı.....	71
Şekil 8.2 Kromozomdaki 4 adet kesme noktası.....	72
Şekil 8.3 GA ile elde edilen sonuçların referans atmosferik koşul ile karşılaştırması....	75
Şekil 8.4 YSA-GA Hibrit Modeli.....	76
Şekil 8.5 Hibrit Model tahmin sonuçlarının referans atmosferik koşullarla karşılaştırması.....	88
Şekil 8.6 YSA, GA ve Hibrit modellerden elde edilen en iyi sonuçların referans yayılım faktörü eğrisiyle ile karşılaştırılması.....	77
Şekil 9.1 Farklı maliyet değerlerine sahip atmosferik yayılım faktörlerinin karşılaştırılması.....	81
Şekil 9.2 Yüzey tabanlı oluğun parametre aralıkları.....	82
Şekil 9.3 Dinamik YSA algortiması akış diyagramı.....	83
Şekil 9.4 Genetik algoritma akış diyagramı.....	85
Şekil 10.1 GA ve YSA ile kurulan hibrit modelin akış diyagramı.....	90
Şekil 10.2 Hibrit modelin evrimsel süreçlerine ilişkin bazı örnekler.....	92
Şekil 10.3 sGA, dYSA ve sHM modellerine ait başarımlar oranları.....	94
Şekil 10.4 aGA, dYSA ve aHM modellerine ait başarımlar oranları.....	95
Şekil 10.5 Standart ve Uyarlamalı Hibrit Model başarımlarının karşılaştırması.....	96

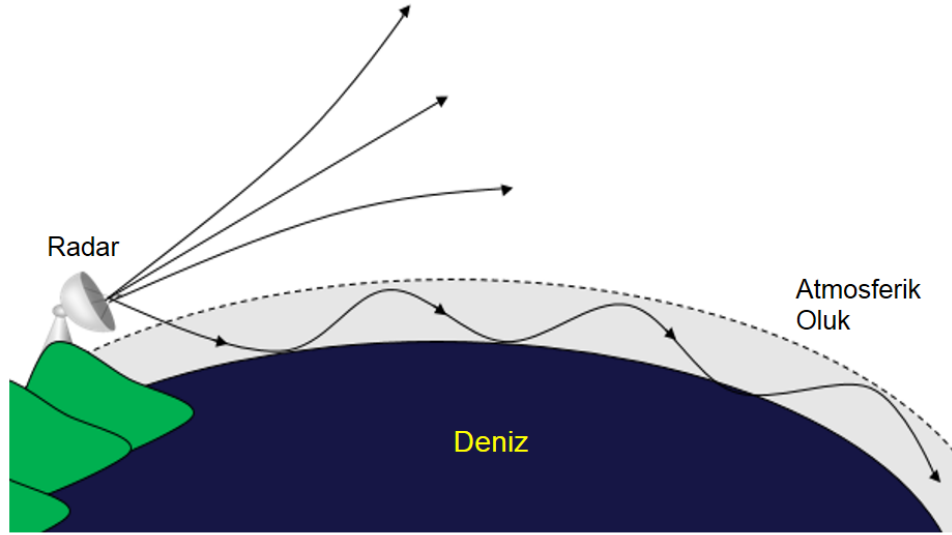


## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 EM dalgaların frekans bantlarına göre yayılım davranışı.....	10
Çizelge 2.2 $N$ ve $M$ birimlerinin kırılma koşulları açısından anlamları.....	13
Çizelge 5.1 Radar yüksekliği - Ufuk mesafesi.....	39
Çizelge 5.2 Çalışmada kullanılan frekanslar ve karşılık gelen oluk kalınlıkları.....	40
Çizelge 7.1 Yüzey tabanlı oluğun $M_1$ , $M_2$ , $H_1$ ve $H_2$ değerleri.....	64
Çizelge 7.2 Benzetim parametreleri.....	65
Çizelge 7.3 Referans atmosferik koşul parametreleri.....	67
Çizelge 7.4 YSA ile ilde edilen atmosferik kırılma tahmin değerleri.....	68
Çizelge 8.1 Yüzey tabanlı oluk için modifiye atmosferik kırılma parametre aralığı.....	71
Çizelge 8.2 Genetik algortimanın işleyişi.....	73
Çizelge 8.3 GA atmosferik kırılma tahmin sonuçları.....	74
Çizelge 8.4 Hibrit Model Tahminleri.....	76
Çizelge 8.5 YSA, GA ve Hibrit Modellerin başarımlarının karşılaştırılması.....	77
Çizelge 9.1 Yüzey tabanlı oluğun $M_1$ , $M_2$ , $H_1$ ve $H_2$ değerleri.....	83
Çizelge 10.1 Sonradan geliştirilen tahmin modellerinin başarımları.....	97
Çizelge 10.2 İlk tahmin modellerinin başarımları.....	98

## 1. GİRİŞ

Atmosferik kırılma ve oluklanma, radyo dalgaları ile çalışan elektronik sistemlerin başarımını etkileyen en önemli faktörler arasında yer almaktadır. Atmosferik kırılma, atmosferin düzgün dağılmayan yapısı nedeniyle sinyallerin düz bir hatta değil, şekil 1.1’de de görüldüğü gibi atmosferin kırıcılığına göre yere doğru bükülerek veya yerden uzaklaşarak ilerlemesine yol açar. Atmosferik oluklanma ise atmosferik kırılmanın özel bir şekli olup, kırıcılığı yüksek bir atmosferik tabaka içinde sinyallerin sıkışarak uzak mesafelere taşınması olayıdır.



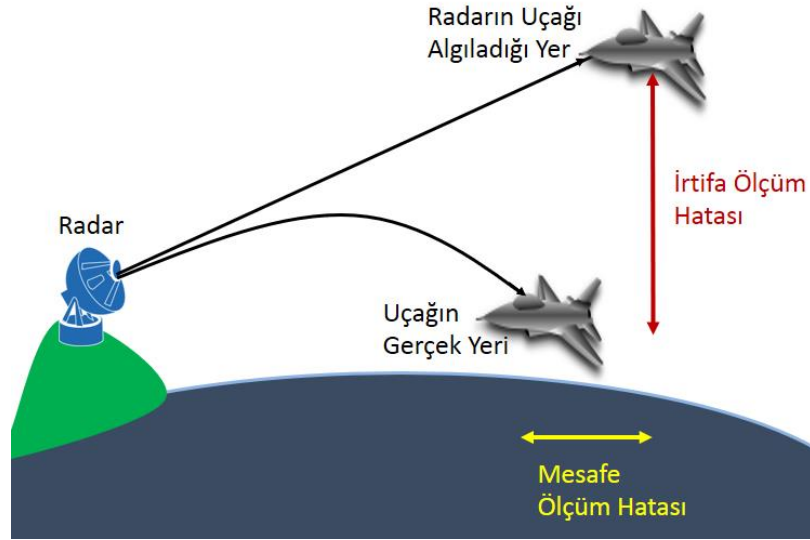
Şekil 1.1 Radar sinyallerinin atmosferik oluk içinde kılavuzlanması

Atmosferik kırılma ve özelinde oluşan oluklanma sonucu, radarların veya haberleşme sistemlerinin menzili belirli irtifalarda artarken belirli irtifalarda kısalabilmekte, cihazların kaplama bölgelerinde boşluklar meydana gelebilmektedir. Eğer bir radar atmosferik kırılmayı takip edebilme özelliğine sahip değilse, bu özelliğin eksikliği hedef irtifasını ve mesafesini yanlış ölçmesine sebep olabilir. Şekil 1.2’de görüldüğü gibi, radarlar normal koşulları baz alarak hesaplama yaptıklarından atmosferik oluk söz konusu olduğunda hedefin konumunu ve mesafesini hatalı algılamaktadır.

Bu tezin amacı, değişen atmosferik koşulların radar başarımına olumsuz etkisini azaltmak için bir atmosferik kırılma tahmin modeli ortaya koymaktır. Olukların takibi, hava

gözetlemede kaplama boşluğu veya ölçüm hatası kaynaklı istikrarsızlıkları tespit etmek ve gerekli tedbirleri almak için büyük önem arz etmektedir.

Sahillerde konuşlu radarların yüzey oluşu sonucu kaplamasında meydana gelen değişimin, yine radarın deniz yansıması ölçümleri kullanılarak takip edilmesi mümkündür. Oluklar dünyanın birçok yerinde, özellikle de deniz ve okyanus kıyı bölgelerinde sıklıkla oluşur. Ülkemizin üç tarafı denizle çevrili olduğundan radar oluk etkileşimi sık karşılaşılan bir fenomendir (Türk 2010).



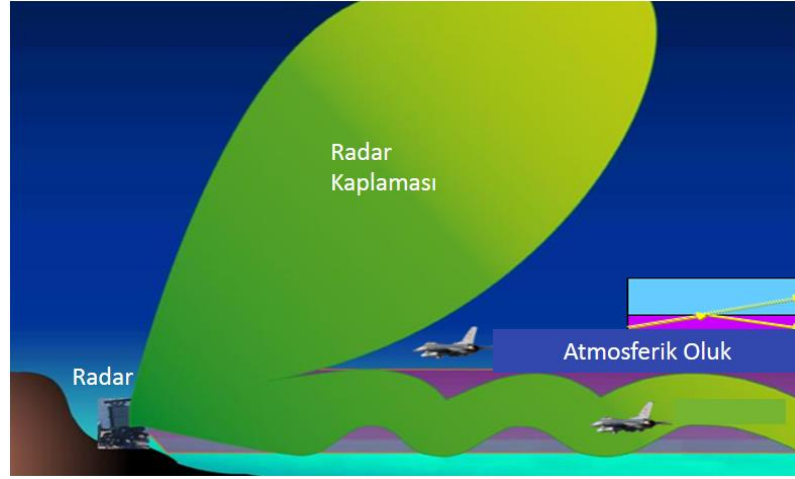
Şekil 1.2 Atmosferik kırılma nedeniyle ortaya çıkan radar mesafe ve irtifa ölçüm hataları

Olukların tahmininin faydası yalnızca radar kaplaması takibi ile sınırlı değildir. Radar başarım düşüklüğünün cihaz arızası değil oluklanma kaynaklı olduğu anlaşılabilirse, hatalı kaynak ve personel tahsisinin önüne geçilebilir. Atmosferik oluklar, özellikle askeri faaliyetlerde haberleşme ve elektronik harp faaliyetlerinin daha etkin yürütülmesinde kullanılabilir. Atmosferik kırılma ve olukların bilinmesi, askeri harekât ve istihbarat açısından da önemli avantajlar sağlayabilir. Bu avantajlardan bazıları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Atmosferik olukların bilinmesi sayesinde şekil 1.3'te de gösterildiği gibi, düşman radarların dost hava taarruz unsurlarını ne kadar uzak menzilde ve hangi irtifada tespit

edebileceği yaklaşık olarak hesaplanabilir. Hava taarruzları da bu bilgi yardımıyla en uygun taktik seçilerek planlanabilir ve uygulanabilir.

- Dost radarların harekât sınırlarının farkında olunması ile düşman hedeflerinin daha erken tespit edilebilmesi için ilave tedbir geliştirilmesi mümkün olabilir.
- Elektronik harp ortamında, düşman radar ve muhabere sistemlerinin kabiliyetlerinin kısıtlanması amacıyla en etkin karıştırma irtifası belirlenebilir.

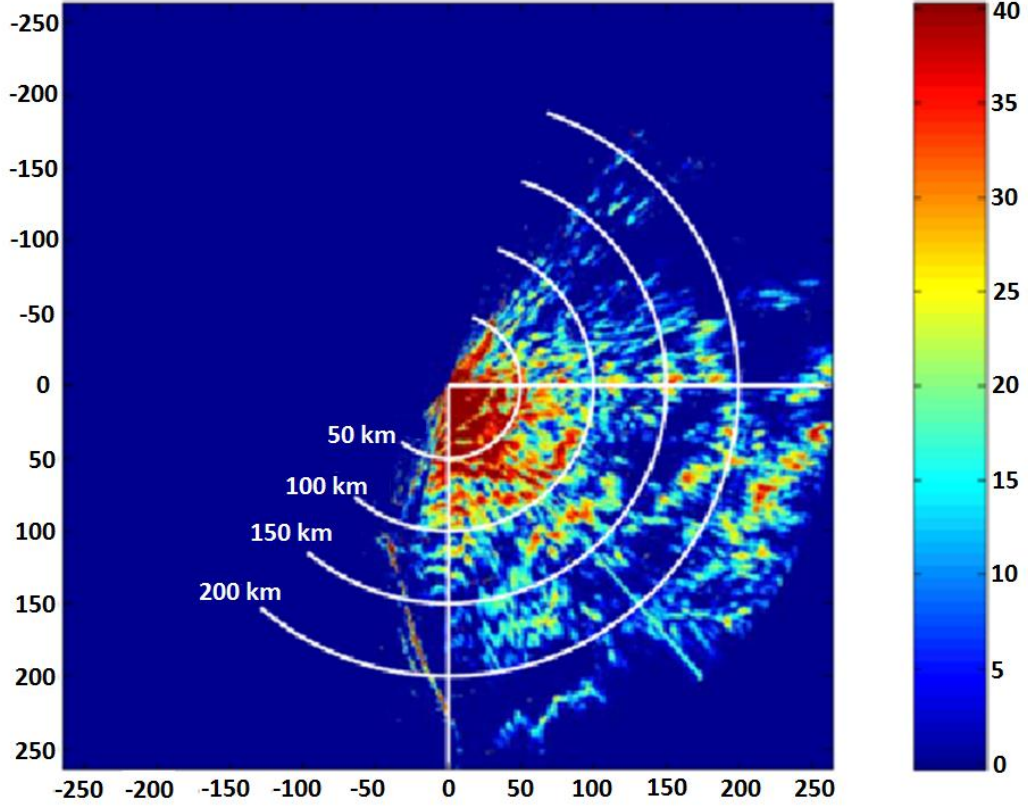


Şekil 1.3 Atmosferik olukların askeri taktikler belirlenirken dikkate alınması

Oluklar ile radarları etkileyen deniz yüzeyi karmaşası arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. Oluklar söz konusu olduğunda EM dalgaların da deniz yüzeyi ile etkileşimi artmaktadır. Böyle durumlarda, sinyal-yüzey etkileşimine bağlı olarak radar göstergesinde normal şartlarda gözlenmesi mümkün olmayan mesafelerde yüzey yansımaları gözlenmektedir. Şekil 1.4'te normal atmosferik yayılım şartlarında sadece ilk 50 km dairesinde gözlenebilecek deniz yüzeyi yansımalarının, oluklanma nedeniyle 200 km dairesinin ilerisine kadar tüm radar göstergesine yayıldığı görülmektedir. Radar göstergesinde oluk karakteristiğine bağlı bir yansıma haritası ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, yansıma haritaları olukların özelliklerinin tespiti için önemli ipuçları vermektedir.

Atmosferik kırılma, dinamik atmosferik şartlara bağlı olarak zamanla değişen bir karakteristiğe sahiptir. Bu durumda sabit bir radar kaplaması yerine, atmosferik kırılmaya

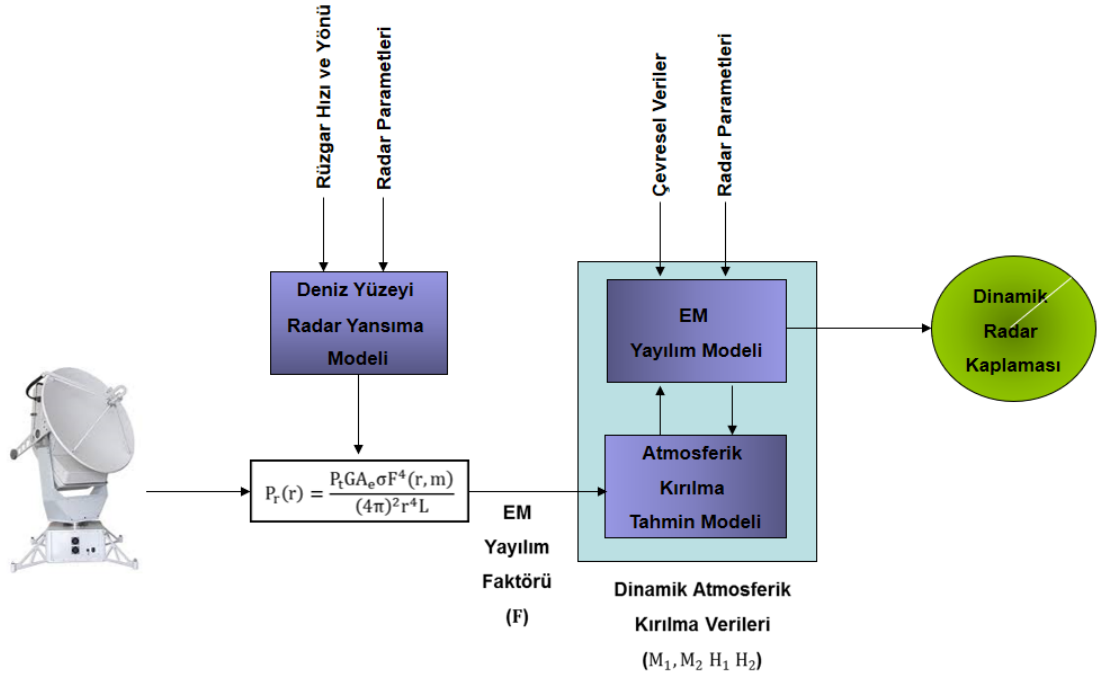
bağlı olarak değişen dinamik bir radar kaplamasından bahsetmek daha doğru olacaktır. Dinamik radar kaplaması tahmin sistemi şekil 1.5'teki gibi oluşturulabilir.



Şekil 1.4 Radar çevresinde güçlü bir yüzey tabanlı oluk nedeniyle oluşan yansımaya haritası (Gersoft vd. 2003b)

Oluşturulacak sistemde bir elektromanyetik dalga yayılım modeli, bir atmosferik kırılma tahmin modeli bir de deniz yüzeyi radar yansımaya modeli bulunmalıdır. Dinamik radar kaplaması tahmin sistemi temel veri olarak radar yansımaya ölçümlerini kullanılmalıdır. Bu tez çalışmasında, söz konusu tahmin sisteminin tüm parçaları incelenmiş olmakla birlikte, daha çok atmosferik kırılma tahmin modeline odaklanılmıştır.

Tez çalışmaları kapsamında; öncelikle atmosferik kırılma teorisinden başlayarak atmosferik oluk türleri ve oluklanmanın elektromanyetik yayılıma etkileri incelenmiştir. Daha sonra radar başarımının atmosferik oluklardan ve deniz radar yansımından nasıl etkilendiği üzerinde analizler yapılmıştır. Devamında ise, atmosferik kırılma tespit ve tahmin yöntemleri anahatlarıyla, radar yansımından faydalanarak tahmin tekniği detaylı olarak araştırılmıştır.



Şekil 1.5 Dinamik radar kaplaması tahmin sistemi

Tez çalışmasının sonraki aşamalarında, bazı atmosferik kırılma tahmin modelleri geliştirilmiştir. Başlangıçta, atmosferik kırılma tahmini için yapay sinir ağları kullanılmıştır. Daha sonra ise genetik algoritmaya dayalı tahmin yöntemleri üzerinde çalışılmıştır. Son aşamada, bu iki temel yöntemin sentezleri olan bazı hibrit tahmin modelleri ortaya konmuştur. Sonuç olarak tez çalışması kapsamında; yapay sinir ağları, genetik algoritma ve hibrit modellere dayalı toplam sekiz adet farklı atmosferik tahmin modeli geliştirilmiştir.

Tez dokümanı yukarıda bahsedilen çalışmaları kapsayacak şekilde aşağıdaki gibi düzenlenmiştir:

- Birinci bölüm: Tez çalışması hakkında özet bilgi, tez dokümanının organizasyonu.
- İkinci bölüm: Atmosferin yapısı, atmosferik kırılma kavramı, olukları ortaya çıkaran etmenler, oluk türleri.
- Üçüncü bölüm: EM dalganın yayılımı, radar denklemi, radar kaplamasının oluşumu.
- Dördüncü bölüm: Yansıma türleri, deniz yüzeyi yansıma modelleri, yansımanın radar başarımına etkileri.

- Beşinci bölüm: Olukların radarlara etkileri, konuş irtifası ve oluk ilişkisi, oluk kalınlığının etkisi, frekans ve oluk etkileşimi.
- Altıncı bölüm: Atmosferik kırılma tahmin yöntemleri, radar yansımasından faydalanarak atmosferik kırılma tahmin yöntemi.
- Yedinci bölüm: Yapay sinir ağları temelli atmosferik kırılma tahmin modelinin geliştirilmesi.
- Sekizinci bölüm: Genetik algoritma temelli atmosferik kırılma modelinin geliştirilmesi.
- Dokuzuncu bölüm: Geliştirilen yapay sinir ağları ve genetik algoritma temelli tahmin modellerinin yeniden düzenlenmesi.
- Onuncu bölüm: Yapay sinir ağları ve genetik algoritmaya dayalı hibrit tahmin modellerinin geliştirilmesi.
- Onbirinci bölüm: Yapılan çalışma sonuçlarının değerlendirilmesi.

## 2. ATMOSFERİK KIRILMA VE OLUK KAVRAMLARI

EM dalgalar boşlukta düz bir hat boyunca ilerledikleri halde, atmosferde bu durum biraz farklıdır. EM dalgaların yayılımı, verici ve alıcı anten arasındaki ortamın atmosferik faktörlere bağlı olarak değişim gösterir. Atmosferde EM dalgaların ilerlemesini etkileyen atmosferik faktörlerden kaynaklanan birçok değişken koşul bulunmaktadır. Bu koşullar başta basit gibi görünen atmosferik ortamdaki iletimi karmaşık hale getirmektedir. Bu karmaşıklığın nedeni; atmosferin düzgün dağılmayan yapısı, dinamik davranışı ve değişkenliğe sebep olan bazı meteorolojik olaylardır. Atmosferik etkiler ve meteorolojik olayların EM yayılımına etkisi yükseklik, coğrafi konum ve kış, yaz, gece, gündüz, gündeğümü, günbatımı gibi zamansal faktörlere bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bu nedenle, atmosferin yapısının iyi bilinmesi ve meteorolojik değişimlerin iyi takip edilmesi EM dalganın yayılım karakteristiğinin tespit ve takip edilmesi açısından son derece önemli bulunmaktadır. EM dalga atmosferde düz ilerleyebilir, yansiyabilir, kırılabilir, saçılabilir ve zayıflamaya uğrayabilir. Radyo enerjisinin atmosferdeki yayılımını anlamak için atmosferin yapısının analiz edilmesi gerekmektedir.

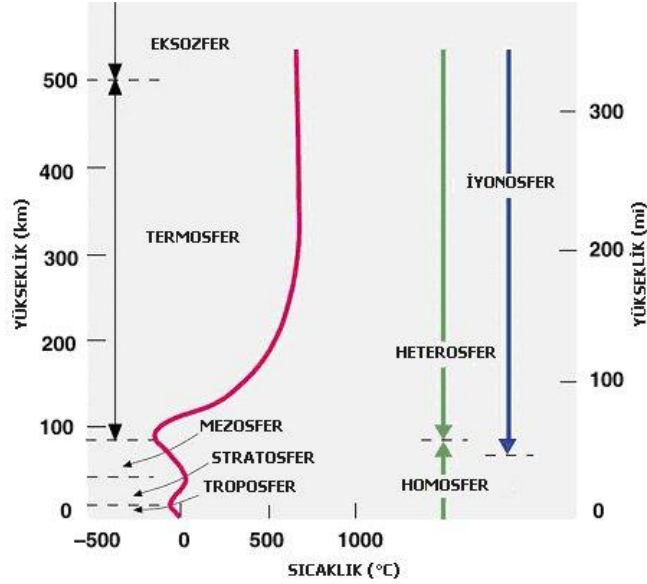
### 2.1 Atmosferin Özellikleri

Atmosferin kalınlığı yerden itibaren 560 km'ye kadar uzanır. Atmosferin tabakalarını belirleyen en önemli faktör sıcaklıktır. Yerçekimi dolayısıyla havanın yeryüzüne yaptığı ağırlık "hava basıncı" olarak tanımlanır. Atmosferi oluşturan hava kütesinin %99'u 32 km'nin altındadır. Atmosferi oluşturan gazların; (su buharı, ozon ve önemsiz değişebilir bazı bileşenler hariç) yerden 80 km'ye kadar temel özellikleri değişmez. Bu bölge homosfer olarak adlandırılır. 80 km'nin üzerindeki heterosfer tabakasında ise atmosferik gazlar molekül ağırlıklarına göre ayrışır.

Şekil 2.1'de görüldüğü gibi dünya yüzeyinin üzerinde troposfer, hemen üzerinde stratosfer ve en üstte iyonküre tabakası bulunmaktadır. Troposfer tabakası nispeten yüksek nem içeriği ve kara, deniz, göl, dağ, düzlük vb. yer şekillerinden fazlaca etkilenmesi ile karakterize edilebilir. Neredeyse tüm hava olayları troposferde meydana gelmektedir. Sıcaklık genellikle irtifa artışı ile azalmakta, bulut oluşumları, türbülans,



yüzey ısınması ve rüzgar da sıcaklığın değişim karakteristiğini belirleyebilmektedir. Troposferde sıcaklık, basınç ve nem değerlerinin irtifaya bağlı değişimi, radyo dalgalarının yayılımını yakından etkilemektedir. Stratosfer ise troposfere göre çok daha istikrarlı şartlara sahiptir ve çok az su buharı ihtiva eder.



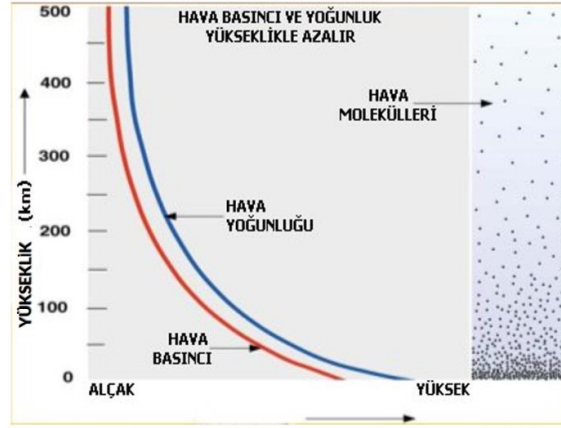
Şekil 2.1 Atmosferin Tabakaları (<https://www.mgm.gov.tr> 2017a)

İyonküre yüklü parçacıklı yapıya sahiptir ve bu yapısı nedeniyle yer yüzeyinden gelen HF ve daha alt frekans bantlarındaki radyo dalgalarını kırarak tekrar yer yüzeyine gönderir. Atmosferin bu tabakası, sahip olduğu bu özellik nedeniyle uzun mesafe noktadan noktaya haberleşme açısından en önemli katmandır.

## 2.2 Yükseklikle Basınç Değişimi

Basınç, genellikle yükseklikle birlikte azalır ve yer yüzeyine yakın seviyelerde artar. Bunun nedeni şekil 2.2’de görüldüğü gibi atmosferde yukarıya doğru tırmandıkça havanın yoğunluğunun azalmasıdır.

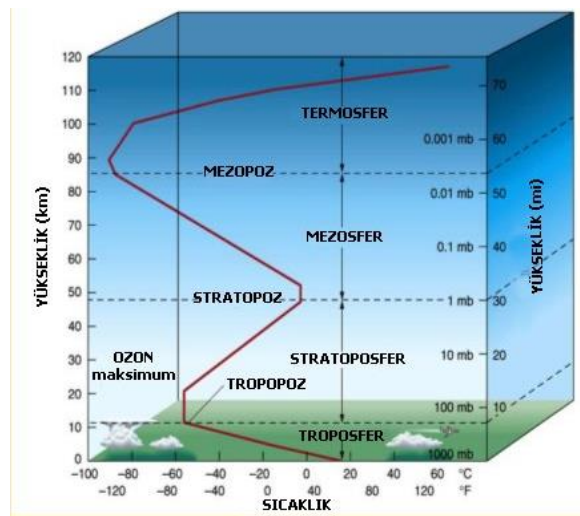
Soğuk bölgelerdeki atmosferik basıncın yükseklikle azalımı, sıcak bölgelerden daha hızlıdır. Bundan dolayı şekil 2.3’te görülen tropopoz seviyesi kutuplarda daha düşük, ekvator da ise daha yüksektir.



Şekil 2.2 Yükseklikle basınç değişimi (<https://www.mgm.gov.tr> 2017b)

### 2.3 Yükseklikle Sıcaklık Değişimi

Yeryüzü ve yeryüzüne yakın havanın ısınması güneşin radyasyonuna bağlıdır, dolayısıyla sıcak hava yeryüzündedir. Hava sıcaklığının yükseklikle değişimi düşey sıcaklık gradyanı olarak tanımlanır ve troposferde normal şartlarda sıcaklığın irtifa artışıyla düzenli olarak azalması beklenir. Troposferde düşey sıcaklık gradyanı genellikle  $-6.5\text{ }^{\circ}\text{C/km}$  olup kuru havalarda ortalama  $-9.8\text{ }^{\circ}\text{C/km}$  civarındadır. Şekil 2.3'te atmosferde sıcaklığın yükseklikle değişimi verilmiştir. Atmosferik oluklar tamamen atmosferin bu tabakasında meydana gelmektedir. Atmosferin daha üst kademelerinde ise sıcaklığın yükseklikle değişimi ilgili katmanın moleküler içeriğine bağlı olarak artıp azalabilmektedir.



Şekil 2.3 Sıcaklığın yükseklikle değişimi (<http://web.shgm.gov.tr> 2014)

## 2.4 Yayılımda Frekansın Etkisi

EM dalganın atmosfer içindeki davranışı ile ilgili en önemli parametrelerden biri frekansdır. Farklı frekanstaki dalgalar aynı şartlarda farklı davranmaktadır. Çizelge 2.1 EM dalgaların frekans bantlarına göre yayılım davranışı özetlemektedir. Gök dalgaları genellikle direk görüş hattı (line of sight-LOS) yayılım özelliğine sahiptir. Bununla beraber, gök dalgaları atmosferik kırılma nedeniyle zaman zaman direk görüş hattını bozarak LOS özelliğinin dışında da yayılım gösterebilir. HF frekansta radyo dalgaları iyonosferde kırılmaya uğrar ve dalgaların yönü tekrar yeryüzüne doğru döner. Bu durum, atmosferik oluklarda meydana gelen EM yayılım özelliği ile benzerlik göstermektedir.

Çizelge 2.1 EM dalgaların frekans bantlarına göre yayılım davranışı

Bant	Frekans Aralığı	Yayılım Karakteristiği
ELF	0.3 - 3 kHz	Yüzey / İyonküre Dalga Kılavuzu Modu
VLF	3 - 30 kHz	Yüzey / İyonküre Dalga Kılavuzu Modu
LF	30 - 300 kHz	Yer Dalgaları
MF	0.3 - 3 MHz	Yer Dalgaları
HF	3 - 30 MHz	Gök Dalga (İyonküre Yansımali)
VHF	30 - 300 MHz	Gök Dalga
UHF	0.3 - 3 GHz	Gök Dalga
SHF	3 - 30 GHz	Gök Dalga

EM dalgaların yayılımına en önemli etkiler troposferde, özellikle yer yüzeyine yakın alt irtifa tabakalarında meydana gelmektedir. VHF band ve üzerindeki frekansları kullanan radarlar için verici anteninden yayılan EM sinyal, teorik olarak tespit edilecek hava hedefine doğru ilerlemeli ve hedeften yansdıktan sonra alıcı antene geri dönmelidir. Ancak sinyalin ilerleme biçimi, frekansa ve atmosferik etkilere bağlı olarak değişim gösterir. Bu nedenle zaman zaman radar başarımında beklenenin dışında etkiler

gözlemlenebilmektedir. Radarın hedef tespit mesafesi söz konusu etkiler sonucu bazen azalabilir veya artabilir. Bu nedenle bazen radarın normal şartlarda tespit etmesi mümkün olmayan mesafelerde ve irtifalarda hedef tespiti yapabildiği görülmektedir (Ford 2005). Bu etkilerin önemli bir kısmı kırılma nedeniyle ortaya çıkar. Sinyallerin deniz dalgalarından, rüzgardan, kar, yağmur ve dolu tanelerinden yansması sonucu radar göstergesinde sahte hedefler, diğer bir ifade ile yansımalar gözlemlenebilir. Sıddetli yağmur, kar ve dolu yağışı radar kaplamasının belirli sektörlerde zayıflamasına yol açabilir (Skolnik 2001).

## 2.5 Atmosferik Kırılma

Atmosfer, boşluk gibi düzgün dağılan bir yapıda değildir. Değişken sıcaklık, basınç ve en önemlisi nem dolayısıyla düzgün dağılmayan ortamda EM dalga ilerlerken kırılmalara uğrar ki; bu kırılmalar da dalganın ilerleme istikametinde değişime neden olur. Yer yüzeyine doğru olan kırılma süper kırılma olarak adlandırılır. Süper kırılma radar kaplamasının dolayısı ile radar menziline artmasına neden olur. Yer yüzeyinden uzaklaşan kırılma ise ters kırılma olarak adlandırılır. Ters kırılma radar menziline azalmasına neden olmaktadır. Kırılma ayrıca, şekil 1.2’de de gösterildiği gibi hedef mesafe ve irtifa ölçümünde hatalara da yol açabilmektedir.

Radar sinyalinin kırılmasına yol açan temel etken, EM dalganın atmosferde farklı tabakalarda farklı yayılım hızlarına sahip olmasıdır. Kırılma indisi, eşitlik 2.1’de ifade edildiği gibi EM dalganın ortam içindeki yayılım hızı ile boşluktaki yayılım hızının karşılaştırmasının bir ölçütüdür. EM dalga kırılma indisi düşük olan ortamlarda daha hızlı ilerlemektedir. Bir ortamın kırılma indisi ( $n$ ); EM dalganın boşluktaki faz hızının ( $c$ ) ortamdaki faz hızına ( $v$ ) bölümü ile elde edilir:

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.1)$$

Yer yüzeyindeki kırılma indisi 1.000315 civarındadır. Kırılma karakteristiğinin kullanımını kolaylaştırmak amacıyla kırılma parametresi ( $N$ ) tanımlanmıştır. Kırılma, kırılma indisinden bir çıkarılarak elde edilen değer  $10^6$  ile çarpımından elde

edilmektedir. Böylece 1.000315 olan kırılma indisi değeri 315 olarak kırılma değerine dönüşmüş olmaktadır.

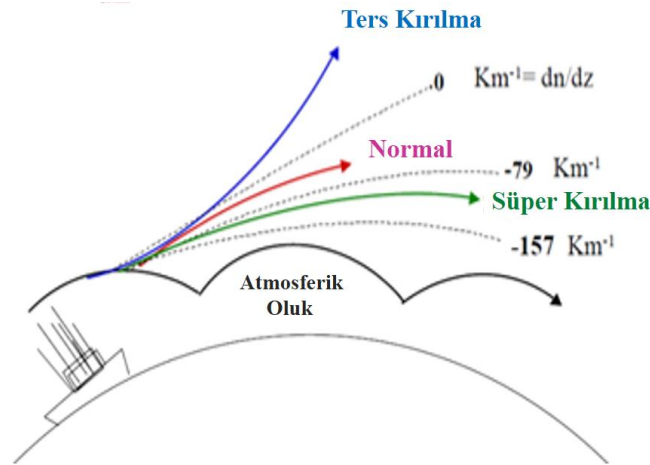
Kırılma değeri  $N$ ; atmosferik basınç  $P$  (hPa), sıcaklık  $T$  (K) ve buhar basıncı  $e$  (hPa) parametrelerine eşitlik 2.2'deki gibi bağlıdır.

$$N = (n - 1) \times 10^6 = 77.6 \frac{P}{T} - 5.6 \frac{e}{T} + 3.75 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (2.2)$$

Eşitlik 2.2 VHF ve daha üst frekans bantlarındaki tüm dalgalar için geçerlidir. Kırılma değeri deniz seviyesinde 315 olarak kabul edilmektedir. Kırılma değerinin dikey değişimi, EM enerjinin yataydaki yayılımını belirlemektedir.  $z$  irtifa olmak üzere, eğer  $dN/dz$  değeri pozitifse sinyaller ters kırılma olacak şekilde yukarıya doğru bükülür. Bu değer negatif olması durumunda kırılma şekil 2.4'te görüldüğü gibi süper kırılma olacak şekilde yer yüzeyine doğru meydana gelir.

Atmosferik oluk söz konusu olduğunda, EM sinyaller ışığın fiber optik kabloda tuzaklandığı gibi atmosferik bir tabakada tuzaklanır. Oluklanma durumunun daha kolay tanımlanması için modifiye kırılma indisi ( $M$ ) kullanılmaktadır. Modifiye kırılma indisinin, yeryüzünden itibaren yüksekliğe göre değişimi eşitlik 2.3'de verildiği gibi hesaplanabilir.

$$M(z) = N(z) + 0.157z \quad (2.3)$$



Şekil 2.4 Atmosferik kırılma türleri (Davidson 2003)

$dM/dz$  değeri sıfır ise, enerjinin yayılım eğrisi dünyanın arz eğimine eşit demektir. Bir başka deyişle;  $N$ -değişim miktarı kilometrede 157 birimse, yayılım eğrisi dünyanın arz eğimine eşit demektir. Standart atmosferik koşullarda irtifa arttıkça  $M$  değeri artacaktır.  $M$  değeri kullanıldığında sağlanan bir kolaylık, eğer oluklanma durumu söz konusu ise  $dM/dZ$  değerinin atmosferin o tabakasında negatif olmasıdır. Çizelge 2.2,  $N$  ve  $M$  birim değerlerindeki değişimin anlamını ifade etmektedir.

Çizelge 2.2  $N$  ve  $M$  birimlerinin kırılma koşulları açısından anlamları

<b>Kırılma Durumu</b>	<b><math>dN/dz</math> (<math>N</math> birimi/km)</b>	<b><math>dM/dz</math> (<math>M</math> birimi/km)</b>	<b>Radarin Ufuk Menziline Etkisi</b>
Ters kırılma	$0 < N$	$157 < M$	Azalar
Normal	$-79 < N < 0$	$78 < M < 157$	Standart
Süper kırılma	$-157 < N < -79$	$0 < M < 78$	Artar
Oluklanma	$N < -157$	$M < 0$	Çok Artar

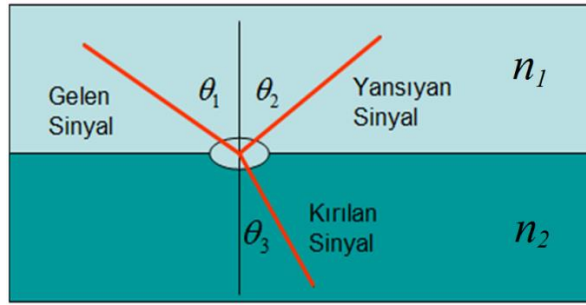
Oluklanma,  $N$  ve  $M$  birimlerinin,  $dN/dz < -157$  veya  $dM/dz < 0$  değerlerini aldığı atmosferik bölgelerde meydana gelmektedir. Diğer bir ifadeyle oluklar, sinyal yayılım örüntüsünün dünya arz eğiminden fazla eğime sahip olduğu durumlarda ortaya çıkar. Oluklar, deniz veya kara yüzeyinde oluşabildiği gibi, üst irtifa katmanlarında da meydana gelebilir. Yüzeyde oluşan oluklara yüzey olukları, üst katmanlarda oluşan oluklara yükseltilmiş oluklar adı verilir.

Kırılma, radyo dalgalarının bükülmeye maruz kalmasıdır. Kırılmada yansımada olduğu gibi sinyalin yayılım yönünde ani bir değişim yoktur. EM dalga farklı kırılma indisine sahip katmanlardan geçer. Oluk durumunda ise kırılmadan farklı olarak, radardan yayımlanan sinyallerin bir atmosferik katmana sıkışarak uzak mesafelere taşınması söz konusudur. Yukarıda da geçtiği gibi sinyaller, ışığın fiber optik kabloda sıkışarak ilerlemesine benzer şekilde oluk içinde devamlı olarak kırılmaya maruz kalır. Eşitlik 2.4 dalganın bir ortamdaki ilerleme hızının ortamın dielektrik sabitinin bir fonksiyonu

olduğunu ifade etmektedir. Eşitlikte  $\epsilon_r$  göreceli dielektrik sabiti olmak üzere kırılma indisi  $n$ ,  $\sqrt{\epsilon_r}$  değerine eşittir.

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{c}{n} \quad (2.4)$$

Şekil 2.5'te gösterilen kırılma olayında Snell Kanununa göre, kırılma indisi  $n_1$  olan birinci ortamda ilerleyen EM dalga, kırılma indisi  $n_2$  olan ikinci ortama  $\theta_1$  açısıyla çarptığında; ikinci ortamda normale  $\theta_3$  açısı yapacak şekilde ilerlemektedir.



Şekil 2.5 Snell Kanunu

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_3 \quad (2.5)$$

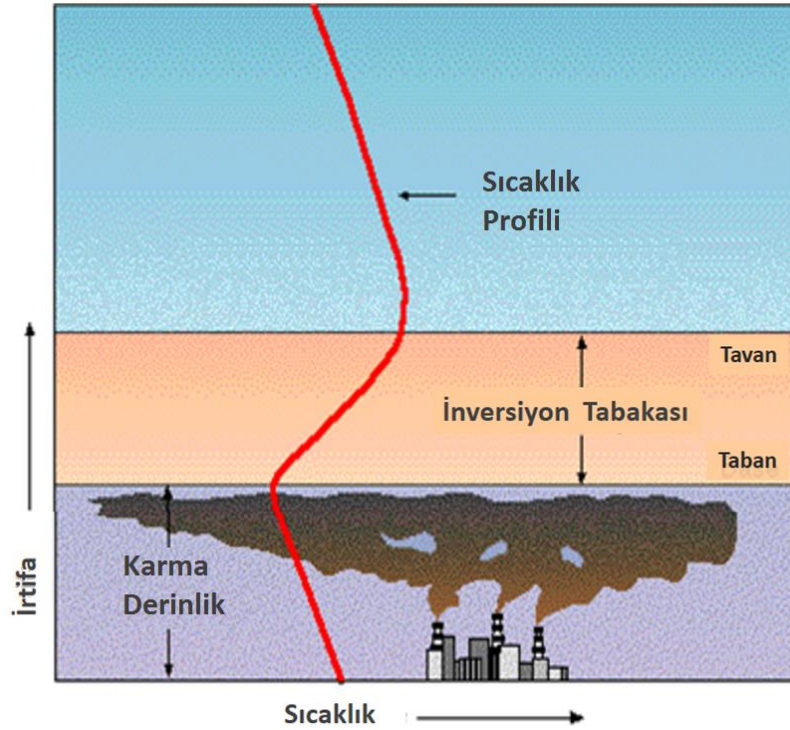
Atmosferde kırılma indisi değeri ani olarak değişmese de Snell Kanunu geçerliliğini korur.  $n$  değerinin değişimi ile EM dalganın yönü değişir. Eşitlik 2.5 ile ifade edilen Snell Kanunundan açıkça görüldüğü üzere  $\theta_1$  açısı yeterince büyükse kritik açı değerine ulaşılır ve dalganın ilerleme yönü oluk katmanına paralel hale gelir. Bu durumda enerji iki katman arasından ilerler.

## 2.6 Atmosferik Oluklar

Daha önce açıklandığı üzere, troposferde normal şartlar altında irtifa arttıkça hava sıcaklığı düşmektedir. Bununla beraber, bazen cephesel hareketler veya rüzgârlar nedeniyle irtifa arttıkça sıcaklığın artışı söz konusu olabilmektedir. Şekil 2.6'da bir enerji santrali bacasının benzer bir etkiyi yaratabildiği gösterilmiştir. Böyle durumlar, ters

sıcaklık değişimi olarak adlandırılır. Ters sıcaklık değişimi kararlı bir sistem olup, türbülansla havanın karışmasını engeller. Bu engelleme nemin alçak irtifalarda hapsolmesine yol açar ve buhar basıncının ters sıcaklık değişimi katmanı boyunca irtifa artışı ile hızlı bir şekilde düşmesine sebep olur. İrtifa ile sıcaklık artışı ve çoğunlukla bu duruma bağlı olarak ortaya çıkan buhar basıncındaki düşme, radyo dalgalarının dünya arz eğiminden daha fazla bükülmesine ve yeryüzüne yakın olan bölgede sıkışmasına yol açar. Bu durum radarcılık terminolojisinde kanallama veya genel terminolojide oluklanma olarak adlandırılmaktadır.

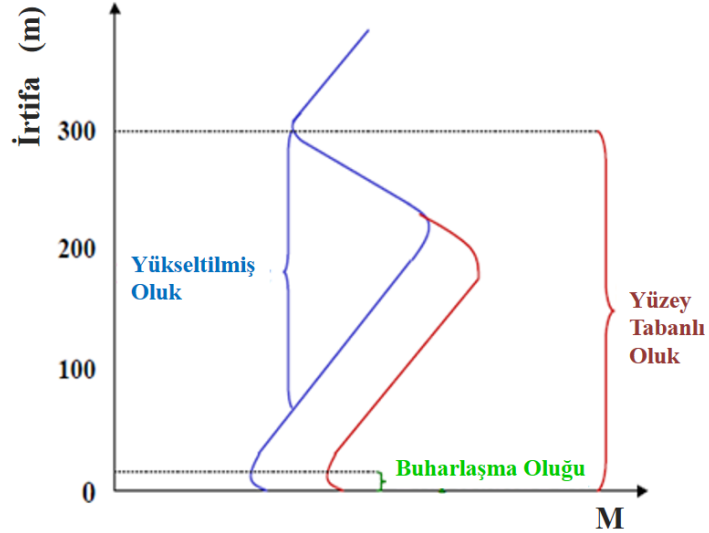
Oluklanma durumunda oluk içinde radar menzili artar, ancak oluk katmanının hemen üzerinde bir radar kaplama boşluğu meydana gelir. Eğer EM dalga oluklanmaya maruz kalırsa, oluk bir dalga kılavuzu gibi davranarak dalgayı uzak mesafelere taşır. Böyle bir durumda; bir elektronik harp destek (ED) sistemi radar sistemini uzaktan algılayabilir veya elektronik taarruz (ET) sistemi radarı karıştırmak için sinyallerini uzak mesafeden radar alıcısına ulaştırabilir.



şekil 2.6 Ters Sıcaklık Değişim Katmanı (Atkins 2010)



Modifiye kırılma indeksindeki ( $M$ ) irtifaya bağılı değişim, oluklanmanın tespit edilmesi ve analiz edilmesi için önemli bir işarettir. Şekil 2.7’de farklı oluk türlerinin  $M$  ile ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Modifiye kırılma indisi ile oluk türlerinin gösterilmesi (Davidson 2003)

Modifiye kırılma indisi eğrisinde, oluğun üst sınırından dikey bir çizgi çizildiğinde, çizginin dikeyde karşılık geldiği irtifa aralığı aynı zamanda oluğun kalınlığını göstermektedir. Oluk türünün yüzey oluğu durumlarda katmanın alt sınırını, yer yüzeyi teşkil etmektedir.

### 2.6.1 Buharlaşma oluğu

Buharlaşma oluğu daha çok okyanus veya deniz gibi büyük su kütleleri üzerinde oluşur. Bu oluk türü yüzeye oldukça yakındır. Su kütesinin üzerindeki hava neredeyse su buharı açısından doymuş durumdadır ki; bunun anlamı göreceli nem oranının (RH), %100 olduğudur. Tuzlu deniz suyu üzerinde, tuz nedeniyle RH değeri %98 olmaktadır. Suyu yakın bölgede havadaki nem oranı yüksek olmasına karşın, irtifa artışı ile birkaç metre içinde nem oranında hızlı bir düşüş olur. Üst tabakadaki hava ise nem açısından doymuş olmadığından sis formundadır. Şekil 2.8’de deniz yüzeyi nedeniyle ısınmış ve yüksek oranda su buharı ihtiva eden tabaka nedeniyle oluşan serap görülmektedir.

Nem oranındaki bu hızlı düşme nedeniyle, oluşan atmosferik katman radyo dalgalarının yönünü tekrar yüzeye doğru döndürecek özellik kazanır. Bu durumda yüzeye yakın bir tabakada EM dalga tuzaklanır. Sinyaller oluşan bu buharlaşma oluşunda, yüzey boyunca ilerleyebilir ve uzaklara taşınabilir. Buharlaşma olukları radar menziline uzamasına, yüzeyde bulunan hedeflerin veya yüzeye yakın uçan hedeflerin radar tarafından çok daha uzaktan tespit edilebilmesine olanak sağlar. Ancak bununla birlikte, deniz yüzeyinden gelen yoğun yansıma nedeniyle radar başarımının olumsuz etkilendiği de bir gerçektir.



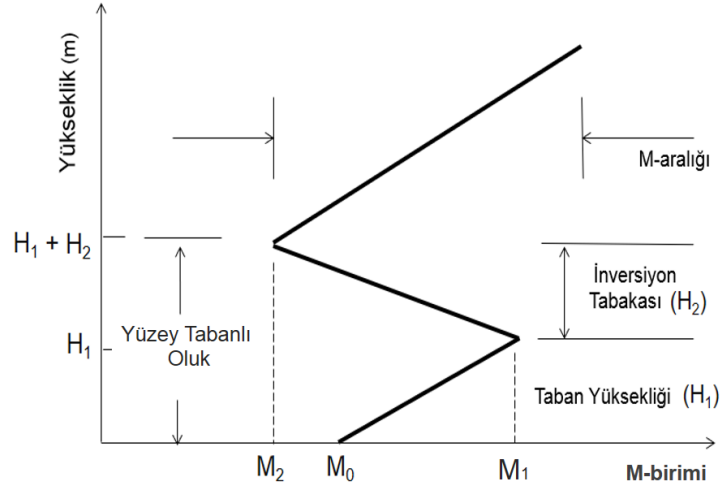
Şekil 2.8 Su üzerinde buharlaşma oluşu nedeniyle serap oluşumu (Martin 2007)

Buharlaşma oluşu nedeniyle oluşan serap en iyi gündüz vakti gözlemlenebilir. Buharlaşma oluşu bir RF ayna gibi davranır, bazen optik bir ayna gibi davrandığı da olur.

### **2.6.2 Yüzey tabanlı oluklar**

Yüzey tabanlı oluklar, en sık görülen oluk türü olup, doğrudan deniz yüzeyinde veya yüksek bir tuzaklama katmanı nedeniyle deniz yüzeyinin biraz üstünde ortaya çıkabilir. Radar bu katman içinde bir yükseklikte konuşlu ise oluklanma radar menziline oldukça olumlu katkı sağlar. Ancak bu durumda yüzey oluşu katmanı üzerinde bir radar kaplama boşluğu meydana gelir.

Bu tez çalışmasının odak noktası yüzey tabanlı olukların tahmini olduğundan, bu oluk türüne ait özellikler daha detaylı incelenmiştir. Yüzey oluşunun standart parametreleri şekil 2.9’da gösterilmiştir.  $H_2$  kalınlığına sahip bir inversiyon katmanının yol açtığı yüzey oluşunun toplam kalınlığı  $H_1+H_2$ ’dir. Yüzey oluşunun yükseltilmiş oluğa dönüşmemesi için kıstas  $M_2$  değerinin  $M_0$  değerinden küçük olmasıdır.



Şekil 2.9 Yüzey tabanlı oluk parametreleri

Şekil 2.10’da kara üzerinde, ısınmış ve yüksek oranda su buharı ihtiva eden atmosferik tabaka nedeniyle oluşan bir yüzey oluğu görülmektedir. Söz konusu sıcak ve nemli cephesel tabakanın yakın bölgede yer alan denizin üzerinde meydana gelmiş olması ve rüzgarla birlikte soğuk ve kuru toprak tabakası üzerine sürüklenmiş olması kuvvetle muhtemeldir.



Şekil 2.10 Yüzey Oluğu (Martin 2007)

### 2.6.3 Yükseltilmiş oluklar

Tuzaklama katmanı yüzeyden yeterince yüksekte oluşursa, oluğun tabanı yer yüzeyinde değil, üst irtifalarda bir yerlerde olur. Bu oluklanmaya yükseltilmiş oluk denir. Bu oluk türünde radarın etkilenmesi yüzey oluğu ile benzerlik gösterir. Ancak radar konuş irtifası bu tabakanın altında ise radar kaplama boşluğu üst irtifalarda, bu tabakadan daha yüksekte ise alt irtifalarda meydana gelir. Bunun nedeni oluk tabakasının radar sinyallerinin normal yayılımını engellemesidir.

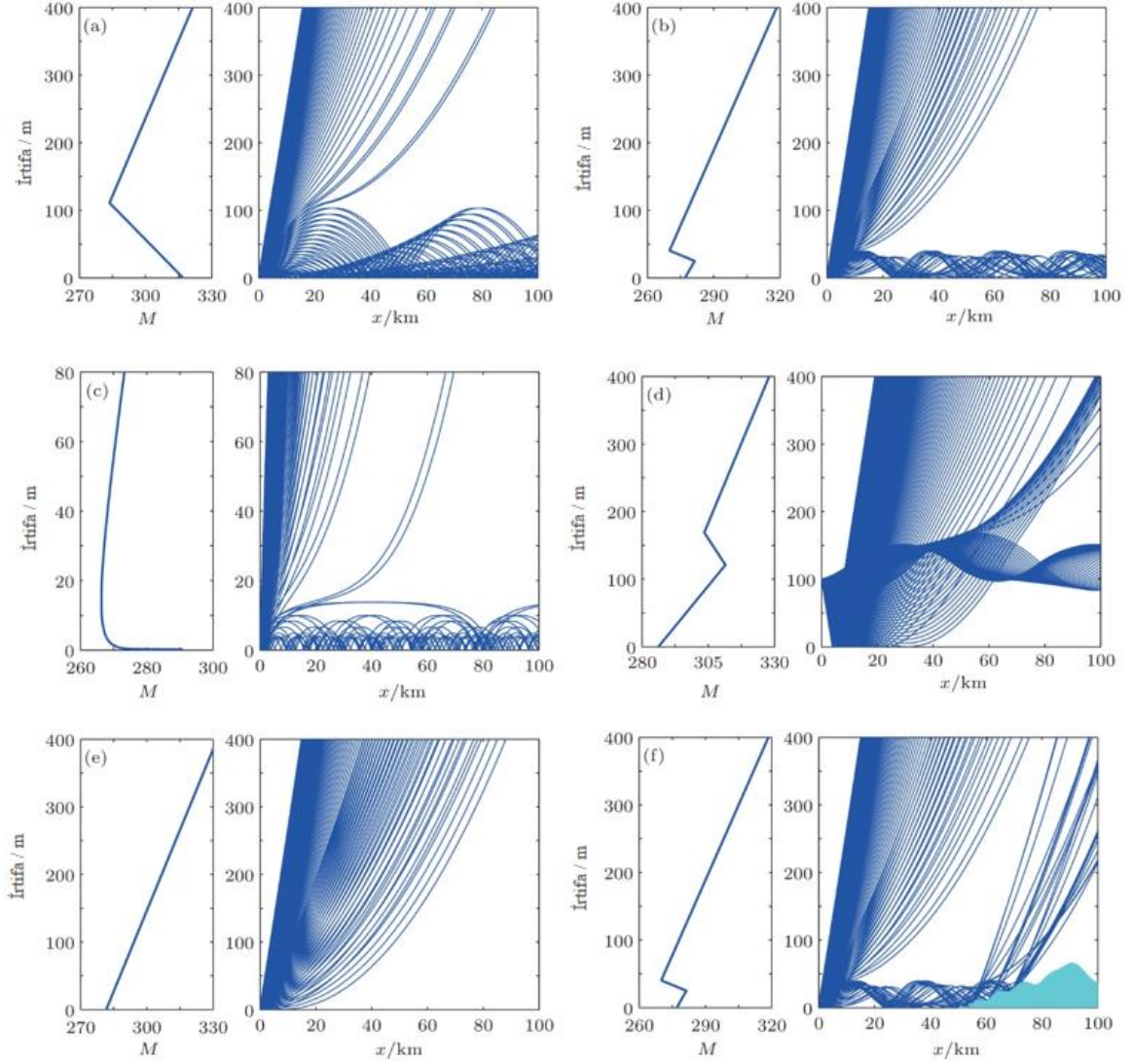
Yükseltilmiş oluk teknik olarak, ters sıcaklık değişimi veya nem oranının irtifaya bağlı hızlı düşüşü sonucu ortaya çıkar. Şekil 2.11’de bir yükseltilmiş bir oluk oluşumu görülmektedir.



Şekil 2.11 Tabanı 620 m yükseklikte olan bir yükseltilmiş oluklanma katmanı (Martin 2007)

Sonuç olarak, atmosferik olukların şiddetli buharlaşma, cephesel hareketler, gece gündüz değişimi gibi birçok nedenle ortaya çıkması mümkündür. Oluklar, türlerine ve oluğun parametrik değerlerine göre elektromanyetik sinyallerin yayılımını etkilemektedir.

Şekil 2-12'de atmosferik oluk koşullarındaki sinyal yayılımlarına ilişkin bazı örnekler sunulmuştur.



Şekil 2.12 Yüzey tabanlı oluk durumunda modifiye kırılma indisi ve karşılık gelen radar sinyal yayılımı (Zheng vd. 2016)

Radar sinyallerinin hangi bölgeyi ne kadar aydınlattığı radar kaplamasının şeklini belirlemektedir. Değişken atmosferik koşullar sinyallerin yayılımını belirlediğinden, sabit bir radar kaplamasından da bahsetmek doğru değildir. Bu durumda normal yayılım şartları baz alınarak oluşturulan bir teorik radar kaplamasından, bir de atmosferik kırılma tahminleri sonucu elde edilen parametreler kullanılarak oluşturulan dinamik radar kaplamasından bahsetmek daha doğru olacaktır. Teorik radar kaplaması çoğu zaman

hatalıdır ve bu nedenle askeri hareketlerde yeterince yol gösterici değildir. Dinamik radar kaplamasının bilinmesi ise önemli taktik avantajlar sağlayabilmektedir. Dinamik radar kaplamasının elde edilebilmesi ise atmosferik kırılmanın ölçülmesi veya tahmin edilebilmesine bağlıdır.

### 3. ELEKTROMANYETİK YAYILIM MODELİ

Radar vericisinden çıkan sinyaller şekil 2.5'te görüldüğü gibi elektriksel iletkenliği yüksek bir olan deniz yüzeyine temas ettiğinde Snell Kanununa göre yansımaya uğrar. Deniz yüzeyinin dalga durumuna göre sinyallerin bir kısmı geriye doğru, yani radar alıcısına doğru yansırken bir kısmı ise yayılım istikametine doğru, yani radardan uzaklaşacak şekilde yoluna devam eder. Radar alıcısına dönen sinyaller deniz yüzeyi yansıma sinyalleridir. İlerleyen sinyallerin yönü ise, eğer bir yüzey tabanlı oluk söz konusu ise, oluğun üst katmanından kırılarak tekrar deniz yüzeyine doğru döner. EM sinyaller yüzey ile oluğun inversiyon tabakası arasına sıkışarak defalarca kırılma ve yansımaya uğrayabilir.

#### 3.1 Elektromanyetik Dalganın Yayılımı

Atmosferdeki elektromanyetik yayılım matematiksel olarak Maxwell denklemlerinin çözümü ile açıklanmaktadır. Bu problemin kesin çözümü imkânsızdır, bu nedenle problemi yönetilebilir bir boyuta indirgemek yoluna gidilmektedir. Uzun yıllar boyunca geometrik optik ve mod teorisi gibi yaklaşımlar oluk koşullarında oluşan standart dışı EM yayılım problemlerinin hesaplamalarında kullanılmıştır. 1990'da geliştirilen parabolik denklem (PE) yönteminin ardından söz konusu yöntemler yerini yeni yönteme bırakmıştır (Ko vd. 1983, Dockery 1988, Barrios 1992a, 1994). Atmosferik oluk içinde EM sinyal yayılım problemi skaler Helmutz Denklemine tabidir. Bu denklem,

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} + \frac{d^2\varphi}{dz^2} + k^2n^2\varphi = 0 \quad (3.1)$$

biçiminde ifade edilir. Eşitlik 3.1'de  $\varphi$  elektrik veya manyetik alanı,  $n$  kırılma indisini göstermektedir.  $\lambda$  dalga boyu olup EM dalganın boşluktaki dalga sayısı  $k=2\pi/\lambda$  şeklinde ifade edilir. Eşitlikte  $x$  yatay yayılma eksenini,  $z$  ise dikey yayılma eksenini göstermektedir. Parabolik denklem, EM dalganın radar vericisi ile alıcısı arasındaki davranışını 2 boyutlu olarak modellemek için yaygınca kullanılmaktadır (Levy 2000). PE, Helmutz denkleminde hızlı değişen faz bileşeni ile ilgili,

$$u(x, z) = \exp(i k z) \varphi(x, z) \quad (3.2)$$

tanımı yapılarak,  $u$  cinsinden bir dalga denklemi aşağıdaki şekilde elde edilmektedir:

$$\left[ \frac{d^2}{dx^2} + 2ik \frac{d^2}{dz^2} + \frac{d^2}{dz^2} + k^2(n^2 - 1) \right] u(x, z) = 0 \quad (3.3)$$

Parabolik denklemin yaygın kullanımı ise Fourier Ayrık Adım Algoritmasının geliştirilmesinden sonra mümkün olmuştur (Hardin and Tappert 1973, Barrios 1992b). Ayrık adım parabolik denklemi (Split Step Parabolic Equation - SSPE) bir ilk değer problemidir. Bir referans noktadan hareketle mesafe ve irtifa boyutunda alan vektörünün adım adım Fourier transformları alınarak ilerlenir. Geniş açılı ayrık adım eşitliği Thomson ve Chapman tarafından (1983) 3.4'te ifade edilmiştir. Eşitlikte  $\mathcal{F}$  fourier transform,  $p = k \sin \theta$  olmak üzere  $p$  transform değişkenidir.  $\theta$  ise yatay eksenle yayılım açısıdır.

$$u(x + \Delta x, z) = \exp[ik(n - 1)\Delta x] \mathcal{F}^{-1} \left\{ \exp \left[ -ip^2 \frac{\Delta x}{k} \left( \sqrt{1 - \frac{p^2}{k^2}} + 1 \right) \right] \mathcal{F} \{ u(x, z) \} \right\} \quad (3.4)$$

EM yayılım faktörü ( $F$ ) tüm hesaplama sahasında alan vektörünün ayrık adım çözümlerle hesaplanmasıyla elde edilir:

$$F = 20 \log |u| + 10 \log x + 10 \log \lambda \quad (3.5)$$

Yayılım faktörü  $F$ , elektrik alanın özel koşullar altında belirli bir noktadaki değerinin boşluktaki değerine oranıdır (Skolnik 2008). Bu durumda genel olarak  $F$  değerinin 1'den küçük olduğu varsayılabilir. Bununla beraber çok yolluluk etkisi gibi özel durumlarda 1'den daha büyük değerler de alabilmektedir. Şekil 3.1'de SSPE yöntemiyle yayılım faktörü hesaplaması görsel olarak anlatılmıştır. Şekilde  $\Delta x$  yatay hesaplama adımını,  $\Delta z$  ise dikey hesaplama adımını göstermektedir.

Yayılım faktörü radar denkleminde yer alan bir parametredir. Eşitlik 3.6'da ifade edilen radar denklemi, yayılım faktörüyle beraber, radar parametrelerini, ortam kayıplarını da içermektedir (Skolnik 2001). Radar kaplaması radar denklemiyle belirlenmektedir.



$$P_r(r) = \frac{P_t G A_e \sigma F^4(r, m)}{(4\pi)^2 r^4 L} \quad (3.6)$$

Radar denkleminde;

$P_r$  : Radar alıcısına hedeften dönen sinyal gücü,

$P_t$  : Radar verici sinyal gücü,

$G$  : Anten kazancı,

$\Sigma$  : Hedefin radar kesit alanı,

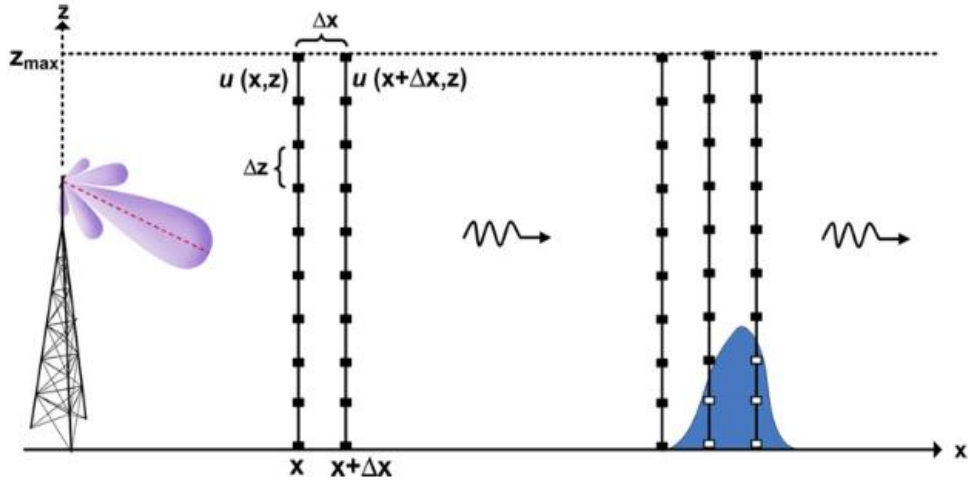
$F$  : Kayıplı ortam için yayılım faktörü,

$r$  : Mesafe,

$m$  : Düzeltilmiş kırılma indisi,

$L$  : Anten kaybı.

Radar denkleminde yayılım faktörü  $F$ , 4. kuvvetle temsil edilmektedir. Yayılım faktörü radar denkleminde atmosferik oluk gibi kayıplı ortamlarda radar kaplamasının güçlü veya zayıf olduğu bölgelerin nasıl ortaya çıkabileceğine ilişkin belirleyici bir parametre durumundadır.



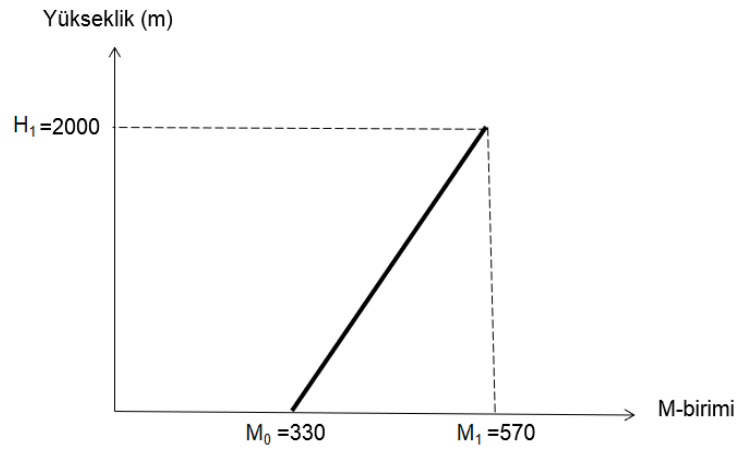
Şekil 3.1 SSPE yöntemiyle yayılım faktörü hesaplaması (Özgün 2011)

### 3.2 Radar Kaplamasının Oluşumu

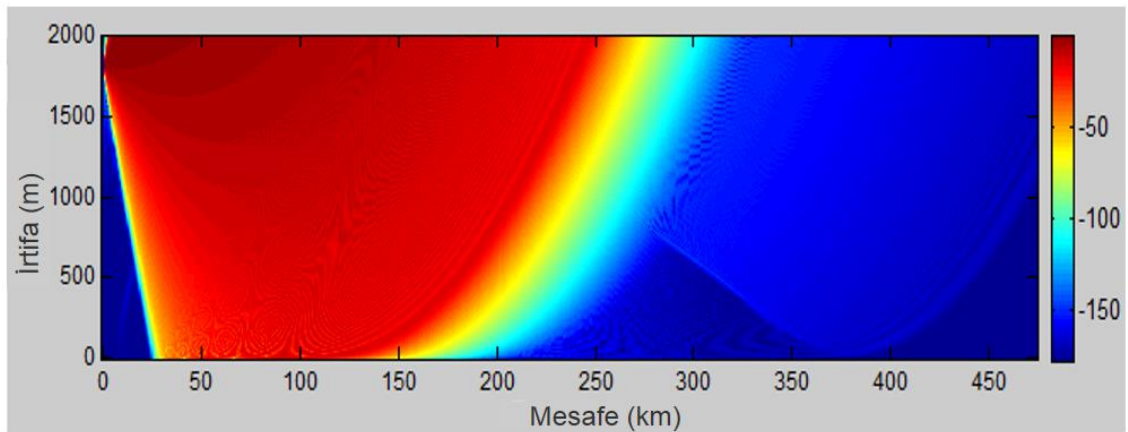
Bu çalışmada yüzey oluklarının radar kaplamasına etkileri, yayılım faktörüne bağlı sinyal yayılımını gösteren PETOOL yazılımı vasıtasıyla analiz edilmiştir. PETOOL radyo

dalgalarının yapısal olarak düzgün dağılan veya düzgün dağılmayan atmosferik koşullardaki yayılımını ve yüzeysel yansımaları modellemek için geliştirilmiş ayırık adım fourier transform modelini kullanan bir yazılımdır (Özgün 2011).

Atmosferin olağan şartlarda kırılma indisi değeri  $M_0$  330 olup yükseklikle değişimi şekil 3.2’de gösterildiği gibidir. PETOOL yazılımının test edildiği örnek bir çalışmanın sonucu olarak, böyle bir atmosferik ortamda mesafe ve irtifa boyutunda yayılım faktörünün değişimi şekil 3.3’te görülmektedir.



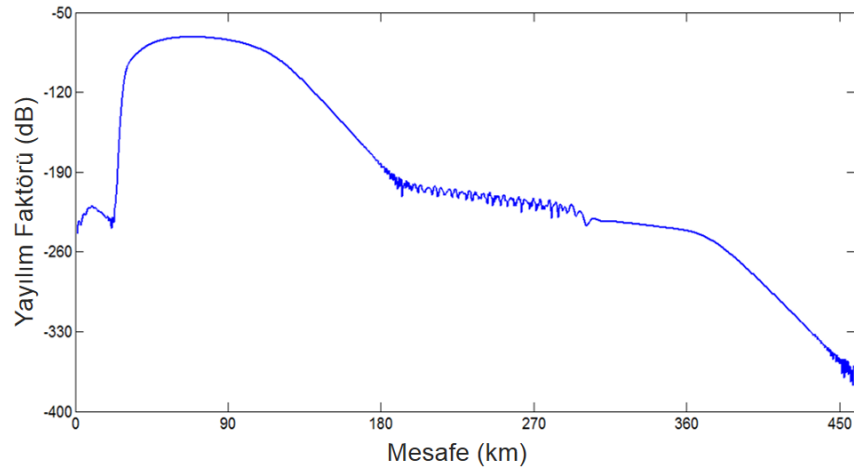
Şekil 3.2 Olağan koşullarda atmosferik kırılmanın yükseklikle değişimi,  $78 < M < 157$  (Bkz. Çizelge 2.2)



Şekil 3.3 Olağan atmosferik kırılma şartlarında yayılım faktörünün mesafe ve irtifa ile değişimi

Mesafe ve irtifa ile değişen yayılım faktörüne bağlı olarak üretilen Şekil 3.3'deki iki boyutlu radar kaplamasında radar irtifası 1800 m, frekansı ise 1300 MHz olarak alınmıştır. Hesaplama penceresi yatay ekseninde 470 km, dikey ekseninde ise 2000 m'dir. SSPE hesaplama adımları ise yatayda  $\Delta x=463$  m dikeyde  $\Delta x=1$  m olarak seğilmiştir. İrtifa aralığının dar seğilmesinin nedeni, yüzey oluklarının analiz edilecek olmasıdır. Yayılım alt yüzeyi ise deniz seviyesidir. Deniz suyunun iletkenliği 5,208 siemens/metre olarak alınmıştır. Şekil 3.3'deki uzak mavi bölge, radar kaplamasının iyice zayıfladığı ufuk ötesi bölgeyi göstermektedir. Yakın mavi bölge ise (Radar eğilim açısı değeri  $-1^\circ$  olarak seğilmiştir.) radarın alt sessizlik konisini göstermektedir. Uzak bölgede sarı renkle başlayan ve türkuaz renge doğru devam eden bölge ise radar kırınım bölgesidir.

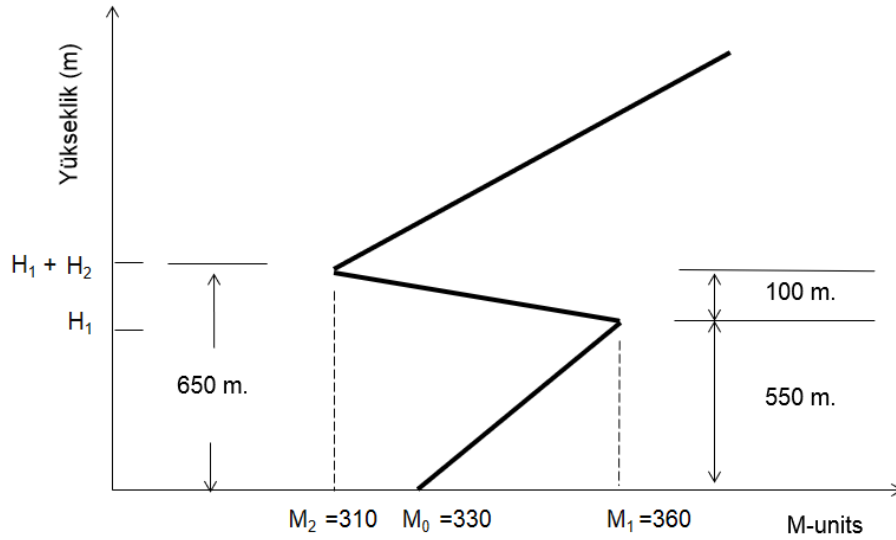
Şekil 3.4'de ise olağan kırılma Şartları için yüzey seviyesindeki yayılım faktörünün mesafe ile değişimi eğrisi görölmektedir. Radarın görüş hattı dışında kalan, yaklaşık 170 km'den itibaren başlayan bölgede sinyal gücünün 150 dB'ye kadar kayba uğradığı görölmektedir. Söz konusu bölgede radar tarafından hedef tespiti yapılması, hedeften dönen sinyalin Şiddetinin radar tarafından algılanamayacak kadar düşük olması nedeniyle neredeyse imkânsızdır.



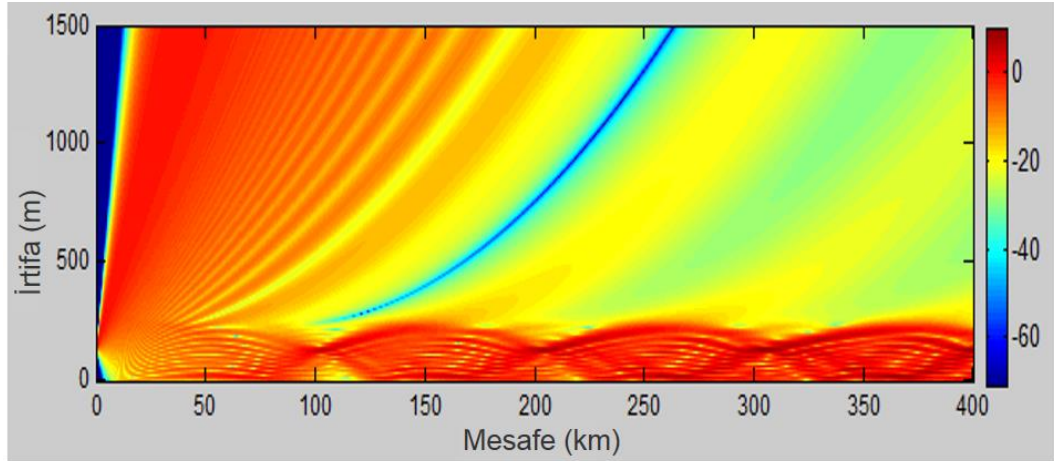
Şekil 3.4 Olağan kırılma Şartları için yüzey seviyesinde yayılım faktörünün mesafe ile değişimi

Şekil 3.5'te örnek bir yüzey tabanlı oluk için modifiye kırılma değeri değişimi görölmektedir. Yüzey oluğunun yüksekliği 650 m, inversiyon tabakasının kalınlığı

100 m olarak seçilmiştir. Atmosferin bu koşullarında EM yayılım faktörünün mesafe ve irtifaya bağlı değişimi şekil 3.6'da yer almaktadır. Şekilde de görüldüğü gibi normal şartlarda radarın kapsamı dışında kalan ufuk ötesi bölgede, EM dalgaları oluk içine hapsolmekte ve radar kapsamı ufuk ötesine genişlemektedir.



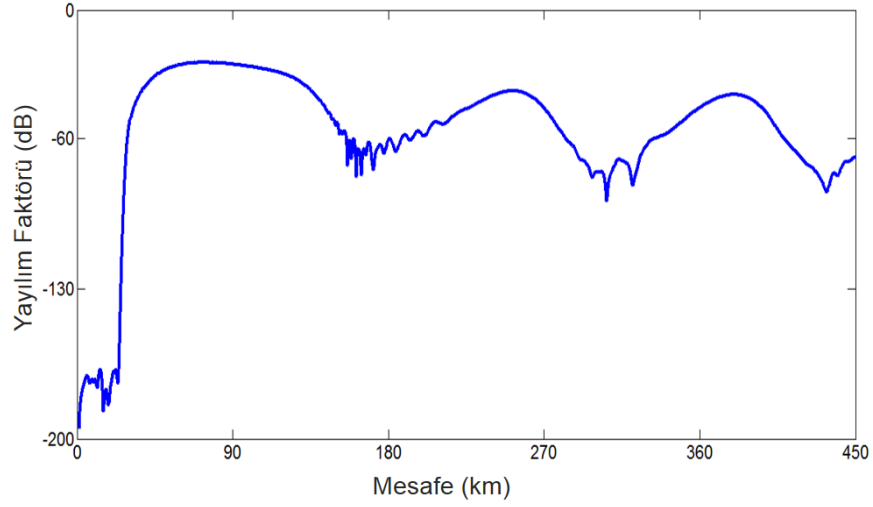
Şekil 3.5 Yüzey tabanlı oluk durumunda atmosferik indis değişimi



Şekil 3.6 Yüzey oluğu durumunda yayılım faktörünün mesafe ve irtifa ile değişimi

Şekil 3.7'de ise şekil 3.6'da verilen örnek yüzey oluğu için yüzey seviyesinde yayılım faktörünün mesafe ile değişimi sunulmuştur. Radarın görüş hattı dışında kalan bölgede zaman zaman neredeyse görüş hattına yakın seviyeye yaklaşan sinyal gücü

gözlenmektedir. Ancak bu sinyalin seviyesi sabit olmayıp mesafeye bağlı olarak azalıp artmaktadır. Bu radar kaplaması, alçak irtifadan oluk içi seviyede radara doğru yaklaşan bir hava aracının ufuk ötesinde olmasına rağmen izlenebileceğini göstermektedir. Ancak bu izlemenin devamlı değil sinyal gücüne bağlı olarak kesintili olacağı öngörülebilir. Hedef tespit olasılığı yayılım faktörü değerinin yüksek olduğu yerlerde yüksek, düşük olduğu yerlerde ise düşük olacaktır.



Şekil 3.7 Yüzey tabanlı oluk için yüzey seviyesinde yayılım faktörünün mesafe ile değişimi

Şekil 3.7'ye göre radar EM yayılım faktörü değerinin yüksek olduğu yerlerden, eğer deniz yüzeyinde yeterince dalga varsa yoğun olarak yansıma alacaktır. Bu yansımalar radar göstergesinde şekil 1.4'te gözlenen yansıma bölgeleri olarak ortaya çıkacaktır. Deniz yüzeyinden radara gelen yansıma oranı yayılım faktörü değerine ilave olarak deniz yüzeyinin durumuyla da yakından ilgilidir. Dalga yüksekliği ve dalga yönü radar sinyallerinin yansıması için ana etmenlerdir. Bu etmenlerin ortaya çıkmasında ise rüzgâr şiddeti ve yönü belirleyicidir.

Deniz yüzeyi yansımasından atmosferik kırılma tahmini yapılabilmesi için radar tarafından belli bir seviyede yansıma tespit edilmesi şarttır. Normal şartlarda hedef tespitini zorlaştıran yansıma faktörü, atmosferik kırılma tahmini için olmazsa olmazdır. Sonraki bölümde deniz yüzeyi yansımasının radar tespitine etkileri etraflıca incelenecektir.

#### **4. DENİZ YÜZEYİ YANSIMASININ RADARA ETKİLERİ**

Sivil ve askeri havacılığın artarak önem kazandığı günümüzde, özellikle alçak irtifada ve yoğun yansıma ortamında hava araçlarının radarlar tarafından sağlıklı bir şekilde tespit ve takip edilebilmesi kritik öneme sahiptir. Doppler filtreler kullanarak sabit yansımaları hareketli hedeflerden başarıyla ayırıştırın radar MTI (Moving Target Indicator) kademesi, konu hareketli yüzeysel ve hacimsel yansımalar olduğunda aynı başarıyı gösterememektedir (Haykin 1991).

Yüzeğe çok yakın uçabilme, düşük hızlı hareket veya havada asılı durabilme, düşük Radar Kesit Alanına (RKA) sahip olma gibi özellikleri ile yeni tip hava araçlarının radar yansımalarından ayırt edilmesi oldukça zorlaşmıştır. Özellikle askeri alanda muharebe sahasının en önemli oyuncularını haline gelen insansız hava araçları, düşük hızlı helikopterler, seyir füzeleri ve güdümlü mermiler gibi tehditlerin tespit ve takibi konusu, hava savunma uzmanlarını oldukça meşgul etmektedir.

Hareketli yansımalar hacimsel, karasal ve deniz yüzeyi yansımaları şeklinde gruplandırılmaktadır. Deniz yüzeyi yansımalarının ana sebebi ise rüzgâra bağlı dalga hareketliliğidir. Çalışmanın ana konusu olan deniz dalgaları, rüzgâr hızına ve yönüne bağlı olarak RKA oluşturmakta ve radarların alçak irtifa başarımlarını önemli ölçüde etkilemektedir.

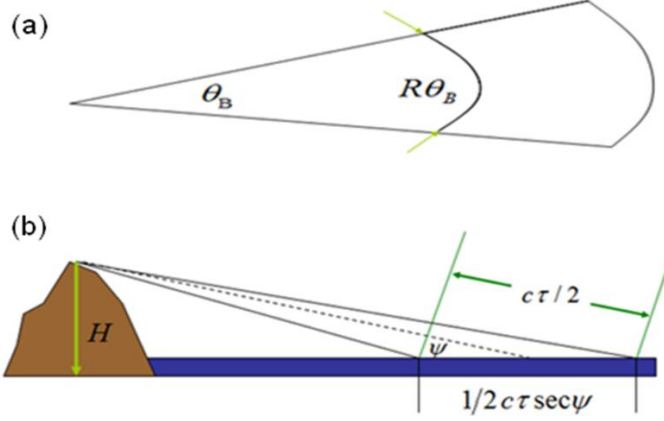
Bu çalışmada radar parametrelerinden konuş irtifası, darbe genişliği, hüzmeye genişliği, frekans ile atmosferik parametrelerden rüzgârın yönü ve şiddetinin radar başarımına doğrudan ve dolaylı etkileri analiz edilmiştir.

##### **4.1 Deniz Yüzeyi Radar Yansıması**

Radar yansıması doğal çevreden gelen istenmeyen etkilerdir. Bu yansımalar çok büyük değerlerde olabildiğinden gerçek hedefi maskeleyebilmektedir. Radarın yüzeyden aldığı yüzey yansıma değeri radarın aydınlattığı yüzeye doğru orantılıdır. Bu durumda birim alana düşen yansıma RKA ( $\sigma^0$ ), aydınlatılan yüzeye ( $A_c$ ) ve yansıma RKA'sına ( $\sigma_c$ ) bağlı olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\sigma^0 = \frac{\sigma_c}{A_c} \quad (4.1)$$

Aydınlatılan yüzey alanı radar hücresi olarak da adlandırılmakta olup, şekil 4.1 (a)'da mesafe - yanca açısı, şekil 4.1 (b)'de ise mesafe - irtifa eksenlerinde gösterilmiştir. Şekilde  $H$  radar konuş irtifasıdır.



Şekil 4.1 Aydınlatılan yüzey alanı: a. Mesafe - yanca açısı, b. mesafe - irtifa boyutunda

Radar hücresi;  $\tau$  darbe genişliği,  $c$  ışık hızı,  $R$  mesafe,  $\psi$  yayılım açısı ve  $\theta_B$  radarın hüzmeye genişliği olmak üzere aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Skolnik 2001):

$$A_c = R\theta_B \left( \frac{c\tau}{2} \right) \sec(\psi) \quad (4.2)$$

## 4.2 Radar Denklemi ve Yüzey Yansımaları

Radar alıcısına  $\sigma_t$  kadar RKA'ya sahip olan hedeften yansiyarak dönen sinyalin gücü aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$S = \frac{P_t G A_e \sigma_t}{(4\pi)^2 R^4} \quad (4.3)$$

Eşitlikte;  $P_t$  verici antenin çıkış gücü,  $G$  anten kazancı,  $A_e$  etkili anten açıklığı,  $S$  alıcıya gelen sinyalin gücü,  $R$  mesafe ve  $\sigma_t$  hedef RKA'dır.  $\sigma^0$  birim alana düşen yansıma radar kesit alanı olmak üzere, yansıma RKA'sı eşitlik 4.1'e uygun olarak  $\sigma_c = \sigma^0 A_c$  olarak

yazılırsa, yansımadan radar alıcısına gelen sinyalin gücü aşağıdaki aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$C = \frac{P_t G A_e \sigma^0 \theta_B (c\tau/2) \sec(\psi)}{(4\pi)^2 R^3} \quad (4.4)$$

Bu durumda sinyalin yansımaya oranı ise aşağıdaki gibi ortaya çıkar.

$$\frac{S}{C} = \frac{\sigma_t}{\sigma^0 R \theta_B (c\tau/2) \sec(\psi)} \quad (4.5)$$

Minimum algılanabilen sinyal,  $S/C$  oranının minimum değeri kabul edilerek radar menzili aşağıdaki hesaplanabilir.

$$R_{max} = \frac{\sigma_t}{\left(\frac{S}{C}\right)_{min} \sigma^0 \theta_B (c\tau/2) \sec(\psi)} \quad (4.6)$$

Bu çalışmada iki grup hedef için yansımaya ortamında başarımlı öngörüsü yapılmıştır. Birinci grup, -10 dBm<sup>2</sup> civarında RKA'ya sahip taarruz helikopteri veya insansız hava aracı büyüklüğündeki hedefleri; ikinci grup, -20 dBm<sup>2</sup> civarında RKA'ya sahip seyir füzesi veya güdümlü mermi gibi hedefleri temsil etmektedir.

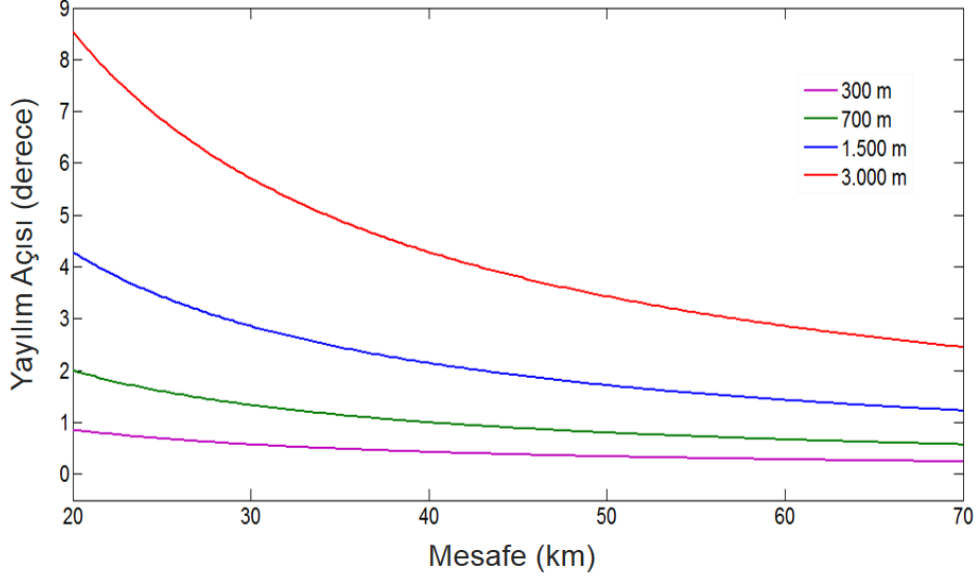
### 4.3 Yayılım Açısının Etkisi

Yayılım açısı sinyalin bir yüzeye temas açısıdır. Deniz yüzeyi yansımaya hesaplamalarında kullanılan yayılım açısı değeri büyük oranda antenin konuş irtifasına bağlıdır. Deniz yüzeyi yansımaları dalga nedeniyle meydana gelen yansımalarla oluşur. Bu nedenle radar sinyalinin dalgaya hangi açı ile çarptığı önem kazanmaktadır.

Normal şartlarda mesafe arttıkça yayılım açısı azalırken bağlı olarak da yüzey yansıtıcılığı azalmaktadır. Bununla beraber radar sinyalleri atmosferik kırılmaya uğradığında, özellikle de oluklanma söz konusu olduğunda yayılım açısı mesafeye bağlı önemli değişkenlikler gösterebilmektedir (Karimian 2012). Oluk içinde devamlı olarak kırılma ve yansımaya uğrayan sinyallerin deniz yüzeyi ile temas açısı devamlı olarak



mesafeyle değişmektedir. 20-70 km aralığı için normal atmosferik koşullarda 4 farklı radar irtifasında mesafeye bağlı yayılım açısı değişimi şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Dört farklı radar irtifası için yayılım açısı değişimi

#### 4.4 Deniz Yansıma Modelleri ve GIT Modeli

Deniz yüzeyi yansıma karakteristiklerine ilişkin dağılım fonksiyonları hem deneysel ölçümler hem de hesaplamalar kullanılarak geliştirilmiştir. En popüler dağılım fonksiyonları olan Rayleigh, Log-Normal, Weibull ve K-Dağılımlarının karşılaştırılmaları ile analizler literatürde yer almaktadır (Arıkan ve Reamer 1996, Antipov 1998, Arıkan 1998, Arıkan ve Vural 2005, Hansen ve Mital 2012). Deniz yansıma yansıtıcılığı modellerinin geliştirilmesinde Nathanson’un yaptığı veri toplama ve deneysel faaliyetlerin önemli katkısı olmuştur (Nathanson vd. 1991). Bu çalışmada Georgia Institute of Technology Modeli olarak bilinen GIT yansıma modeli kullanılmıştır (Dockery 1990). Bu modele göre rüzgâr hızına ( $v_w$ ) bağlı olarak ortalama dalga yüksekliği ( $h_{avg}$ ) aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$h_{avg} = 0.00425v_w^{2.5} \quad (4.7)$$

Rüzgâr hızı faktörü ( $G_w$ ) aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

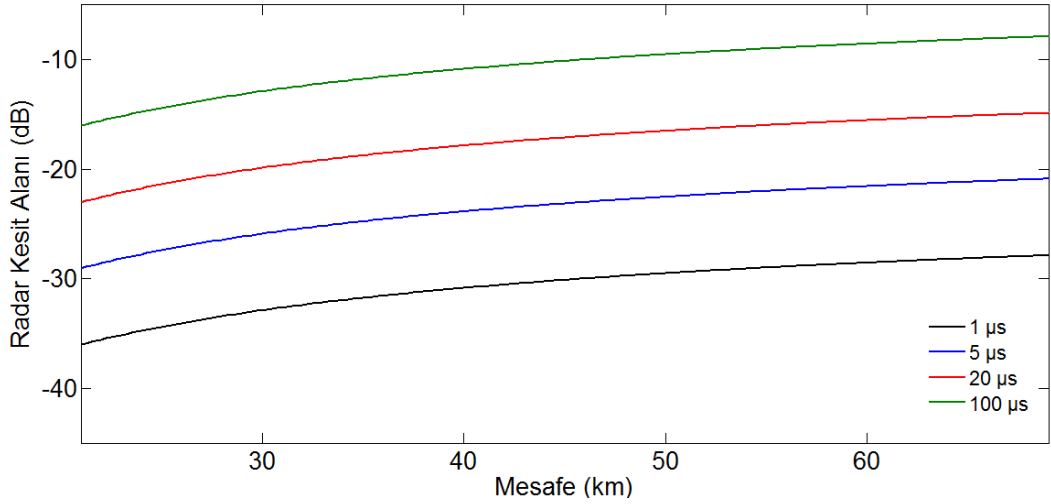
$$G_w = \left[ \frac{1.94v_w}{1 + v_w/15.4} \right]^q \quad (4.8)$$

Seyir füzesi ve insansız hava aracı gibi hava hedeflerini izlemek için radarda yatay kutuplaşma tercih edildiğinden eşitlik 4.9'da verilen GIT hesaplama modeli özellikle tercih edilmiştir. Eşitlikte  $G_a$  etkileşim faktörü ve  $G_M$  rüzgâr yönü faktörüdür.

$$\sigma_{0h,GIT} = 10 \log(3.9 \times 10^{-6} \lambda \psi^{0.4} G_a G_w G_M) \quad (4.9)$$

#### 4.5 Radar Parametrelerinin Etkileri

Radar yansıma RKA'sını etkileyen radar parametreleri; hüzmeye genişliği, frekans ve darbe genişliğidir. Eşitlik 4.2'de görüldüğü gibi hüzmeye genişliği ile darbe genişliğinin yansıma RKA'sına katkısı benzerdir. Bu nedenle şekil 4.3'te görüldüğü gibi sadece darbe genişliğinin etkisi analiz edilmiştir. Burada, düşük darbe genişliği kullanımının yansımanın etkisini azalttığı görülmektedir.

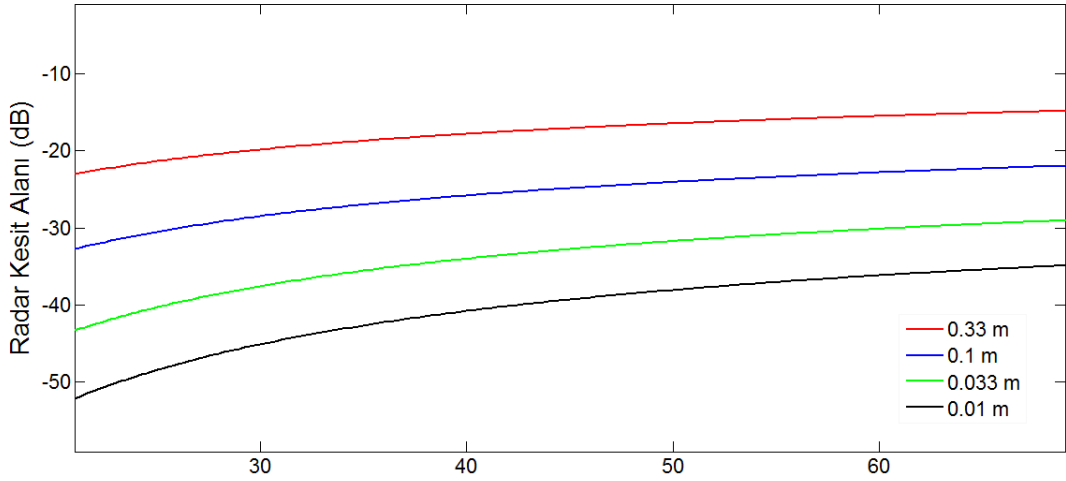


Şekil 4.3 Darbe genişliğinin etkisi ( $f=1$  GHz,  $H=700$  m,  $\theta_B=30^\circ$ )

Darbe genişliğinde 5 kat artışın yansıma RKA'sında  $7 \text{ dBm}^2$  civarında artışa neden olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, mesafe arttıkça yüzey aydınlatma alanının genişlemesidir.  $100 \mu\text{s}$  ve üzeri darbe genişliğine sahip bir radarın  $-10 \text{ dBm}^2$  RKA'ya

sahip bir hedefi, 20  $\mu$ s üzeri darbe genişliğine sahip bir radarın ise  $-20 \text{ dBm}^2$  RKA'ya sahip bir hedefi 20-70 km mesafe aralığında yansımaya nedeni ile sağlıklı olarak izleyemeyeceği değerlendirilmektedir.

Şekil 4.4'de görüldüğü gibi frekans artışı veya diğer bir ifadeyle dalga boyunun düşmesi, yüzeyden alınan yansımaya miktarını azaltmaktadır. Mesafenin artmasıyla yansımaya miktarı artmaktadır. Frekanstaki üç kat artış ise  $10 \text{ dBm}^2$  kadar RKA değişimine yol açmaktadır.  $-20 \text{ dBm}^2$  RKA'nın altındaki hedeflerin 1 GHz'in altındaki frekanslar ile 20-70 km mesafe aralığında tespit ve takibi mümkün görünmemektedir.



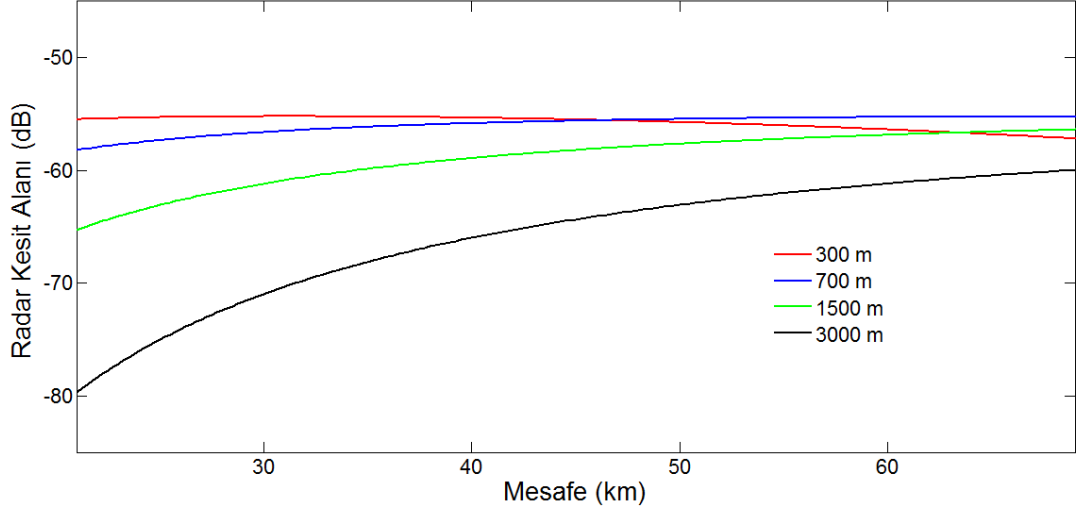
Şekil 4.4 Dalgaboyunun etkisi ( $v=5 \text{ m/s}$ ,  $\tau=20 \mu\text{s}$ ,  $H=700 \text{ m}$ ,  $\theta_B=30^\circ$ )

#### 4.6 Radar Konuşunun Etkisi

Şekil 4.5'de dört farklı konuşma irtifası için yansımaya RKA değerleri karşılaştırılmıştır. RKA değerleri mesafeye bağlı olarak önce artmakta; 300 m eğrisinde açıkça görüldüğü gibi sonra da azalmaya başlamaktadır. Buna göre, yansımadan en az etkilenme bakış açısıyla değerlendirme yapılacak olunursa; yakın mesafe gözetlemesi için radarı yüksek irtifada konuşlandırmak uygunken, mesafe arttıkça düşük irtifada konuşlandırmak avantaj sağlamaktadır. Bunun nedeni  $G_a$  etkileşim faktörüdür.

Yayılmı açısı azaldıkça radar sinyali dalgaların sadece üst kısmına temas etmekte ve bu nedenle sinyal yansımalarını azaltmaktadır. Bununla beraber, Bölüm 4.1'de bahsedilen iki

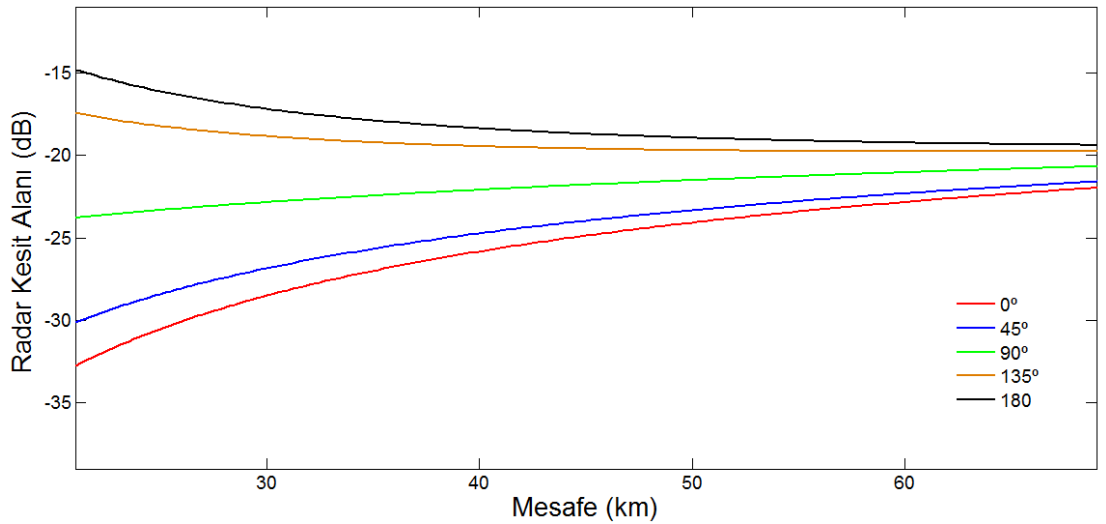
hedef grubu için radar konuş irtifa etkisinin, incelenen diğer parametreler dikkate alındığında 20–70 km mesafe aralığında radar başarımına etkisinin daha az olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.5 Radar konuşunun etkisi ( $f=1$  GHz,  $\tau=20$   $\mu$ s,  $\theta_B=30^\circ$ )

#### 4.7 Rüzgârın Etkisi

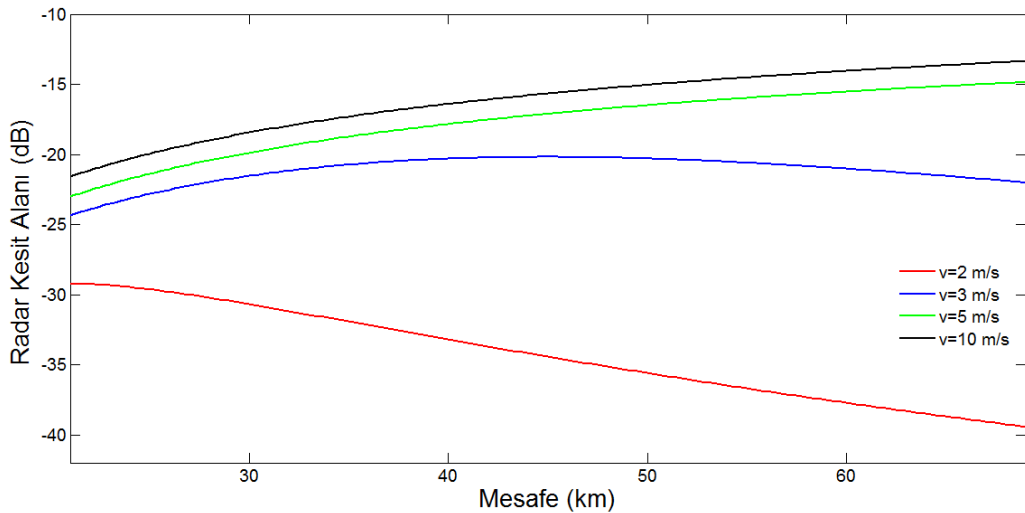
Radar başarımını rüzgârın yön ve şiddeti de etkilemektedir. Rüzgar yönünün etkisi şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.6 Rüzgar yönü etkisi ( $f=1$  GHz,  $\tau=20$   $\mu$ s,  $H=700$  m,  $\theta_B=30^\circ$ )

En yoğun radar yansıması rüzgâr tam radarın yayın istikametine karşı estiğinde ( $180^\circ$ ) görülmektedir. En az yansıma ise yayın istikameti ile rüzgâr yönü örtüşüğünde ( $0^\circ$ ) meydana gelmektedir. Diğer yandan dikkat çeken bir husus, mesafe arttıkça karşı yönden esen rüzgârın yansıma RKA'ya etkisinin azalmasıdır. Bunun nedeni şekil 4.2'de açıkça görülen yayılım açısındaki mesafeye bağlı hızlı düşüştür. Yayılım açısının RKA değerine direk etkisi bulunmakta ve bu faktör rüzgâr yönü etkisinin önüne geçmektedir. Şekil 4.6'da, verilen parametrelere sahip bir radarın 5 m/s rüzgar hızı ve  $135^\circ - 180^\circ$  arasında rüzgar yönü söz konusu olduğunda  $-20 \text{ dBm}^2$  RKA'nın altındaki hedefleri 20 - 70 km mesafe aralığında izlemesinin mümkün olmadığı görülmektedir.

Rüzgar hızının etkisi şekil 4.7'de görülmektedir. Şekil 4.7 incelendiğinde, 2 ile 3 m/s arasındaki bir hızın yansıma etkisi açısından eşik değer olduğu açıkça görülmektedir. Eşik değerinin altındaki rüzgârlarda sakin deniz koşulları nedeniyle deniz yüzeyi yansımasından etkilenme oranı radarda minimum seviyeye inmektedir. Göze çarpan diğer bir diğer husus ise, belli bir rüzgâr hızından sonra yansıma miktarında kaydedilir bir artış görülmemesidir.  $-10 \text{ dBm}^2$  RKA'ya sahip bir hedefin radar tarafından izlenmesi için 10 m/s civarındaki bir rüzgar hızının sorun teşkil etmeyeceği;  $-20 \text{ dBm}^2$  RKA'ya sahip hedefler için 4 m/s rüzgar hızının eşik olabileceği görülmektedir.



Şekil 4.7 Rüzgar hızı etkisi ( $f=1 \text{ GHz}$ ,  $\tau=20 \text{ } \mu\text{s}$ ,  $H=700 \text{ m}$ ,  $\theta_B=3^\circ$ )

#### **4.8 Analizlerin Değerlendirilmesi**

Bu çalışmada radar - deniz yüzeyi yansması etkileşimi ile ilgili analizler yapılmıştır. 20-70 km mesafe aralığı için, iki farklı RKA'ya sahip hedef grubuna yönelik çalışma yapılmıştır.

Hedef arka zemini deniz yüzeyi olduğu durumda, radar konuş irtifasının ikincil öneme sahip olduğu, yüksek frekanslı, dar darbe ve hüzme genişliğine sahip radarlarla daha iyi verim alınabileceği, rüzgâr şiddetinin arttığı durumlarda söz konusu radar parametrelerinin değiştirilmesinin radarın izleme başarımına önemli katkılarının olabileceği tespit edilmiştir. Bu nedenle deniz yüzeyi arka zemininde hava gözetlemesi yapacak radarların, meteoroloji entegrasyonu ile gerçek zamanlı yüzey rüzgâr hızı ve yönü bilgilerini alarak bu bilgileri iz üretiminde kullanabilmeleri, ayrıca değişen meteorolojik şartlara göre en iyi başarımı gösterecek şekilde otomatik ayarlanabilir frekans, hüzme ve darbe genişliği özelliklerine sahip olmalarının önem arz ettiği değerlendirilmiştir.

## 5. YÜZEY OLUĞUNUN RADAR BAŞARIMINA ETKİLERİ

Radar başarımını etkileyen etkenler, radara bağlı faktörler ve radar dışı faktörler olarak ikiye ayrılabilir. Radara bağlı olanlar; çıkış gücü, frekans, darbe genişliği ve sayısı, radar dönüş hızı, kutuplaşma ve kazanç gibi tasarımsal parametrelerdir. Radar dışı faktörler ise; radarın konuş irtifası, çevresel mânialar, atmosferik ve meteorolojik etkiler, radar çevresindeki yüzeyin ve takip edilen hedefin yansıtıcılık özellikleridir. Radar sistem parametreleri atmosferik, meteorolojik ve yüzeysel faktörlerin radar başarımına olan negatif etkilerini minimize edecek şekilde düzenlenir (Skolnik 2001).

Radar konuş yeri olarak ise genellikle ufuk hattından en büyük gözetleme menzilini sağlayacak yüksek mevkiiler seçilir. Ancak, radarlarda yeni eğilim olan aktif elektronik tarama yeteneği yaygınlaştıkça önümüzdeki dönemlerde radarların dağların zirvelerine konuşlanma zorunluluğunun ortadan kalkacağı, dağların yamaçlarına, hatta sahil kenarlarına konuşlanmaların söz konusu olabileceği söylenebilir.

İzlenen hava araçlarının sayısının ve çeşitliliğinin artması nedeniyle hava gözetlemede aynı anda farklı frekanslarda birden fazla radarın beraber kullanılmasına ihtiyaç duyulacaktır. Bu nedenle, hangi frekansta çalışan radarın hangi yüksekliğe konuşlandırılacağı sorusu önem kazanmaktadır. Bu sorunun cevabı ise, özellikle bazı deniz ve okyanusların yüzeyinde yılın büyük bir kısmında görülen yüzey olukları ile yakından ilgilidir. Sıcaklık, basınç ve nem parametrelerine bağlı olarak ortaya çıkan oluklar, radar sinyallerini hapsederek uzak mesafelere taşıyabilmekte; belli bölgelerde radar görüşünün artmasına neden olurken, belli bölgelerde kör noktaların oluşmasına neden olabilmektedirler (Yardim vd. 2007). Oluk etkisinin dünyanın farklı coğrafyalarında farklı istatistiksel özellikler gösterdiği; mevsimsel farklılıklar ile gece ve gündüz şartlarının oluk oluşturma sıklığı, türü ve kalınlığı üzerinde belirleyici olduğu bilinmektedir.

Oluklamanın tespiti veya önceden tahmin edilmesi amacıyla birçok çalışma yapılmış olup, günümüzde de bu çalışmalar artarak devam etmektedir. Bu bölümde, oluklamanın radar başarımına etkilerini analiz etmek amacıyla, atmosferik ortamda sinyallerin

yayılımını ayırık adım fourier yöntemi ile modelleyen PETOOL programı kullanılmıştır (Özgün vd. 2011).

### 5.1 Radar Konuşu - Oluk İlişkisi

Mânielerin görüşe engel olmasını engellemek ve arzın yuvarlak olması nedeniyle alçak irtifada ufuk hattından maksimum mesafeyi izleyebilmek amacıyla radarlar yüksek irtifalara, tercihen tepe ve dağların zirvelerine konuşlandırılmaktadır. Standart atmosfer koşullarında bile radar sinyali doğrusal değil; belli bir ölçüde yere doğru bükülerek ilerlediği için etkin yer yarıçapı tanımlanmıştır. Bu değer  $r_e$  dünyanın yarıçapı olmak üzere;

$$r_{etkin} = \frac{4}{3}r_e \quad (5.1)$$

olarak ifade edilir. Bu durumda ufuk hattı uzaklığı,  $H$  radar konuş yüksekliği olmak üzere aşağıdaki gibi belirlenir:

$$d = (2Hr_{etkin})^{\frac{1}{2}} \quad (5.2)$$

Ancak, bu eşitlik oluklanma gibi durumlar için geçersiz hale gelmektedir. Çünkü oluklanma durumunda radar sinyalleri oluk içinde dalga kılavuzu gibi bir ortama sıkışarak ufuk hattından daha uzaklara gidebilmektedir. Bu çalışmada üç farklı radar konuş yüksekliği için analizler yapılmıştır. Bu yükseklikler için standart koşullardaki radar ufuk mesafeleri çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Radar yüksekliği - Ufuk mesafesi

Yükseklik (m)	Ufuk Mesafesi (km)
130	49
300	69
1200	139



## 5.2 Frekans ile Oluk Kalınlığı İlişkisi

Atmosferik oluğun radar sinyallerine etkisi metal dalga kılavuzlarının etkisi gibidir. Dolayısıyla yalnızca kesim frekansından küçük dalga boyuna sahip sinyaller oluk içinde ilerleyebilir.

Oluk içinde ilerleyebilen minimum frekans,  $d$  oluk kalınlığı olmak üzere eşitlik 5.3'de verildiği gibi belirlenmektedir.

$$f_{min} = 3.6 \times 10^{11} d^{-3/2} \quad (5.3)$$

Frekans bantlarına göre oluklanma etkisinin olması için gereken minimum oluk kalınlıklarına ilişkin çalışma Cairns ve McFeeters (1992) tarafından yapılmıştır. Çalışmamızda kullanacağımız frekanslar ve oluklanma olması için gerekli olan minimum oluk kalınlıkları çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Çalışmada kullanılan frekanslar ve karşılık gelen oluk kalınlıkları

Frekans	Eşik Oluk Kalınlığı (m)
120 MHz	208
1400 MHz	40.4
9 GHz	11.7

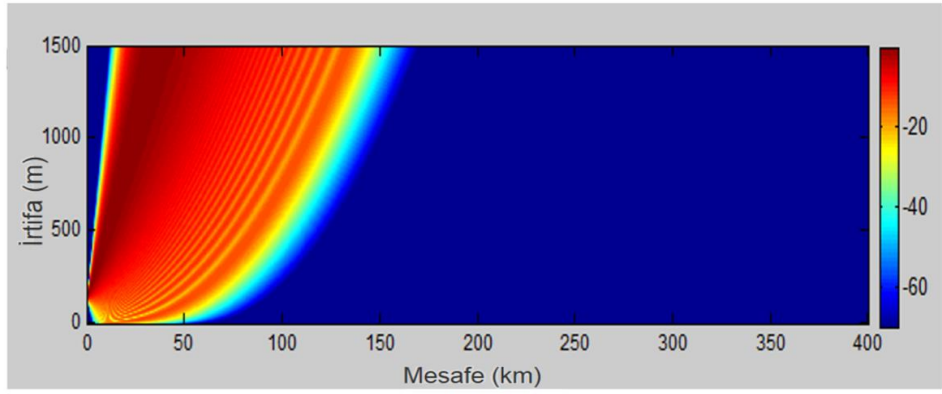
## 5.3 Analizler

Yapılan analizlerin temel amacı; oluklanma söz konusu olduğunda, oluk katmanı içinde ve üzerinde meydana gelen yayılım faktörü değişimlerini gözlemleyerek, radarların alçak irtifa başarımı hakkında fikir sahibi olmaktır. Analizlerde yayılım faktörü ( $F$ ) grafiklere iki boyutlu (mesafe ve irtifa) olarak yansıtılmıştır. Gözlem irtifası; radarın oluk katmanı içindeki başarımlarını ölçmek amacıyla 100 m, oluk katmanı üzerindeki başarımlarını ölçmek amacıyla ise 330 m olarak seçilmiştir.

Radar konuş irtifaları çizelge 5.1’de gösterildiği gibi  $H=130, 300$  ve  $1200$  m olarak; alçak, orta, yüksek irtifaları temsil edecek şekilde seçilmiştir. Oluk kalınlığı  $250$  m olarak alındığı için bu radar konuş irtifalarından  $130$  m oluk içindeki,  $300$  ve  $1200$  m’ler ise oluk dışındaki radar konuşlarıdır.

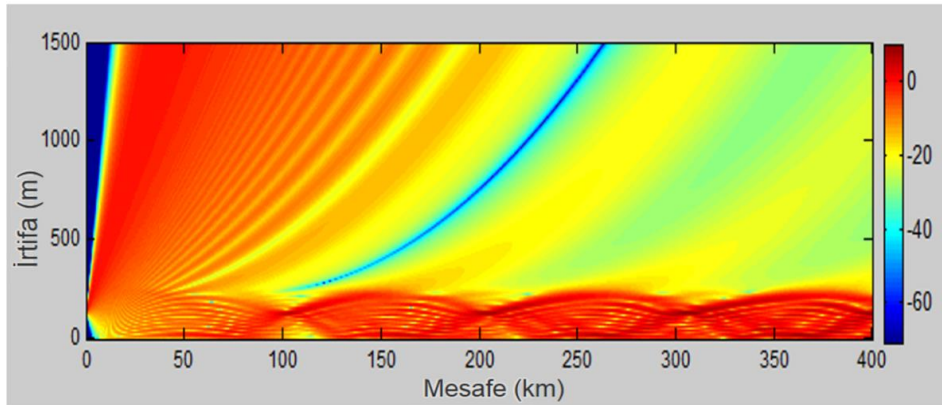
### 5.3.1 Oluk durumunda alçak irtifa izlemesi

Alçak irtifada ( $H=130$  m) konuşlu bir radar için, şekil-5.1 ve şekil 5.2’de standart atmosfer ve oluk durumunda enerjinin yayılımını karşılaştırılmıştır.



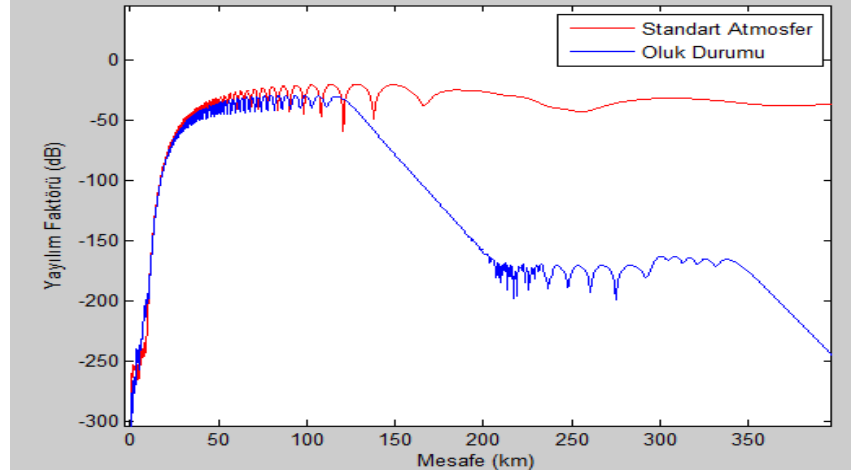
Şekil 5.1 Standart atmosfer (radar konuşu:130 m)

Şekil 5.2’de enerjinin oluk içine sıkışmasının, radarın alçak irtifa izlemesine pozitif etkilerinin olabileceği görülmektedir.



Şekil 5.2 Oluk durumu için sinyal yayılımı (radar konuşu:130 m)

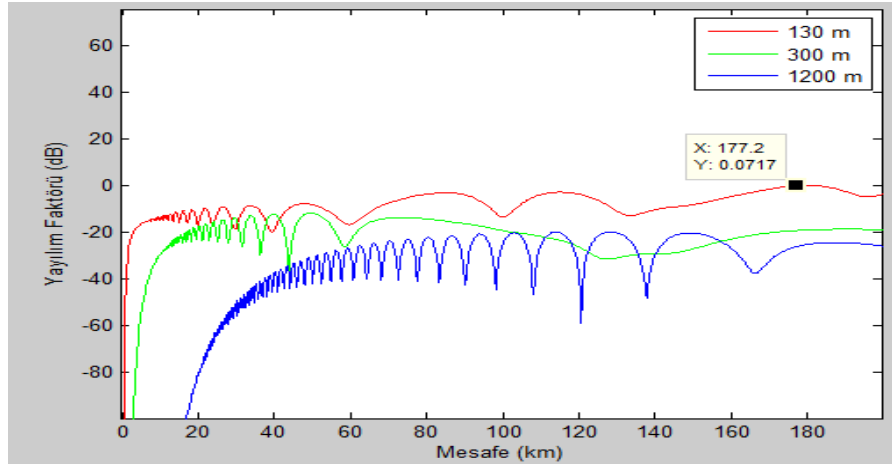
Şekil 5.3'te sunulan yayılım faktörü karşılaştırmasında, standart atmosfer koşulunda ufuk ötesinden itibaren radarın 100 m irtifa izlemesinin hızla zayıfladığı, oluk koşulunda ise radarın ufuk ötesindeki görüşünün pek değişmediği, belli bir seviyede devam ettiği görülmektedir.



Şekil 5.3 Oluklanma - standart atmosfer sinyal yayılım karşılaştırması

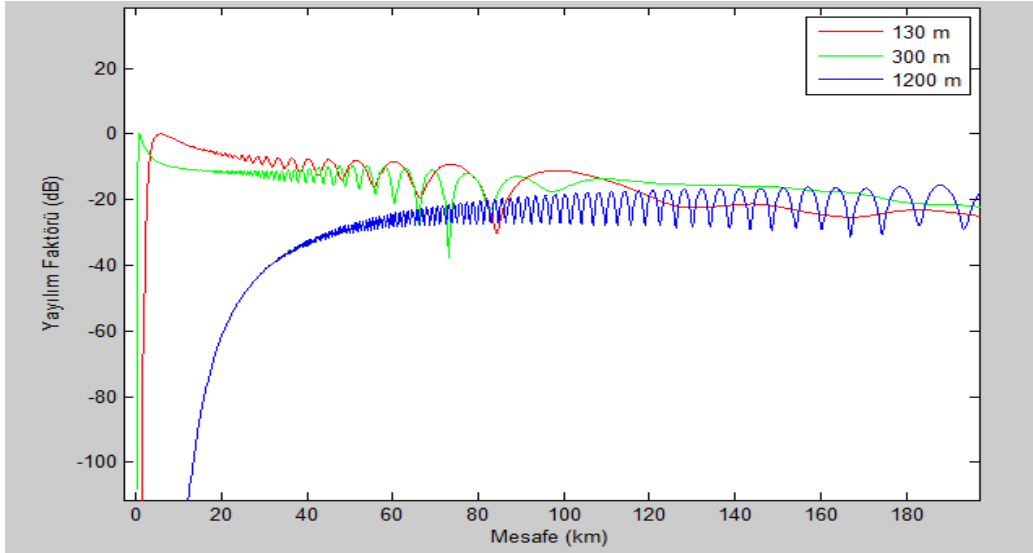
### 5.3.2 Farklı irtifa konuşları için karşılaştırma

Bu bölümde oluklanma durumunda üç farklı konuş irtifası için radar başarımları karşılaştırılmıştır. Şekil 5.4'de 100 m irtifa izlemesinin (oluk içinde) en iyi radarın 130 m konuşunda iken gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 5.4 Farklı radar konuş yüksekliklerinin oluklanma durumu karşılaştırması

Şekil 5.5’de 330 m izlemesi için (oluk dışı) alçak irtifa konuşlarının yakın mesafe için avantaj sağladığı, ancak uzak mesafe için konuş yüksekliğinin radar izlemesini belirgin bir şekilde değiştirmedeği görülmektedir.



Şekil 5.5 Farklı radar konuş yüksekliklerinin oluklanma durumu karşılaştırması

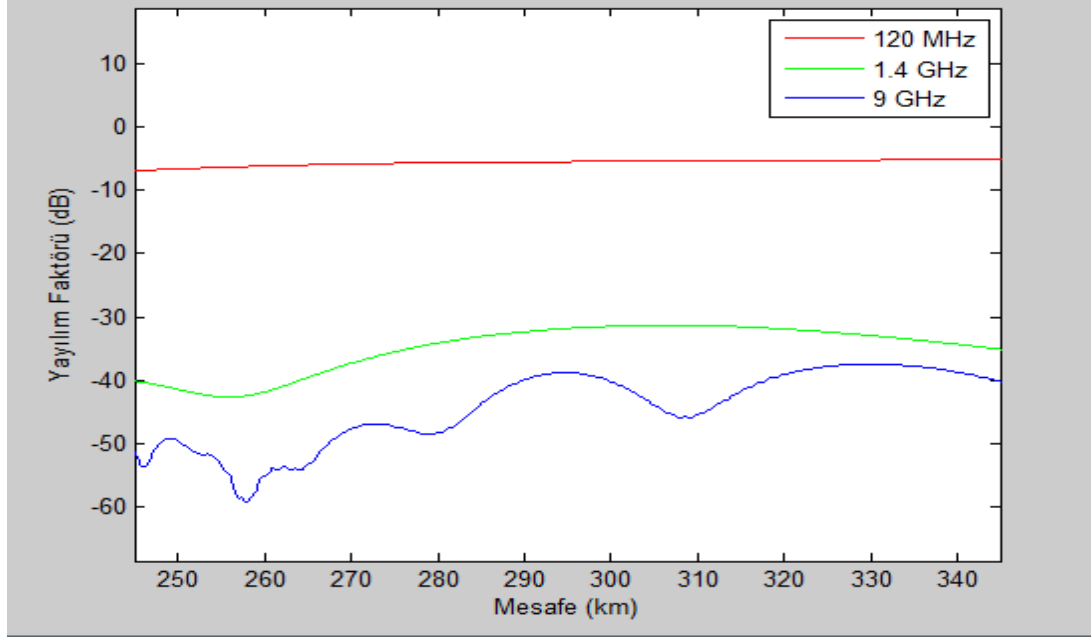
### 5.3.3 Farklı frekansların karşılaştırması

Bu bölümde 250 m oluk kalınlığı söz konusu olduğunda alçak irtifa için ( $h=100$  m) üç farklı frekansın (X, L, VHF) üç farklı radar konuşundaki izleme başarımları karşılaştırılmıştır.

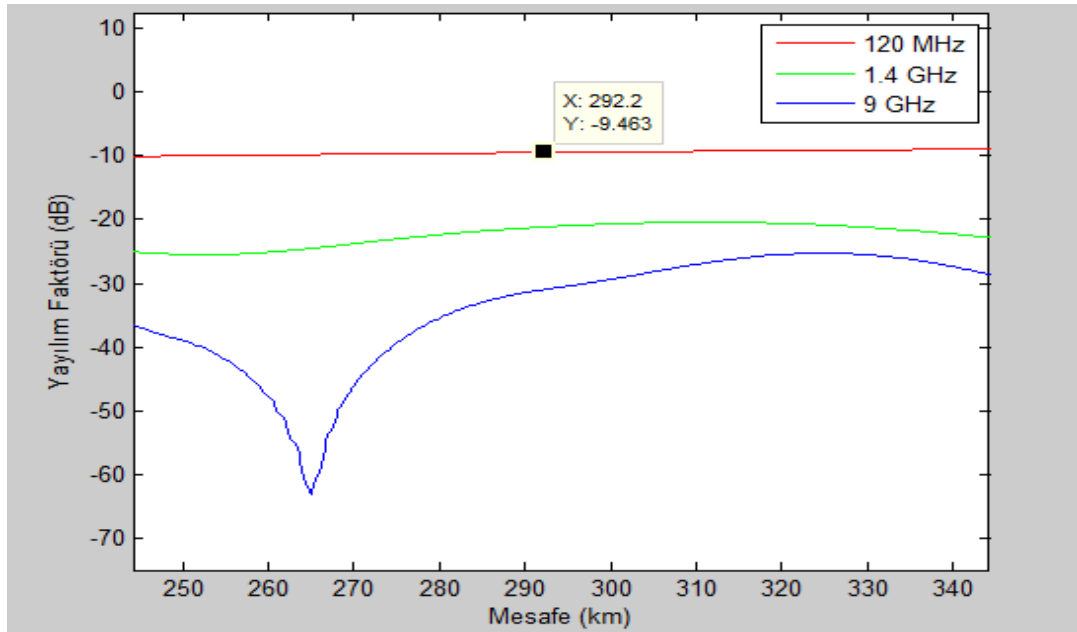
Oluk kalınlığı standart 250 m olmak üzere; şekil 5.6’da yüksek irtifada oluklanma durumu karşılaştırması (radar konuşu:1200 m), şekil 5.7’de orta irtifada oluklanma durumu karşılaştırması (radar konuşu:300 m) ve şekil 5.8’de alçak irtifada oluklanma durumu karşılaştırması (radar konuşu:130 m) verilmiştir.

Şekil 5.6 - 5.8 incelendiğinde, tüm karşılaştırmalarda VHF’in daha yüksek ve istikrarlı bir yayılım faktörüne sahip olduğu görülmektedir. Özellikle 1200 m konuş irtifası için VHF ile L bant arasında 30 dB kadar fark gözlemlenmektedir. Başarım sıralaması VHF,

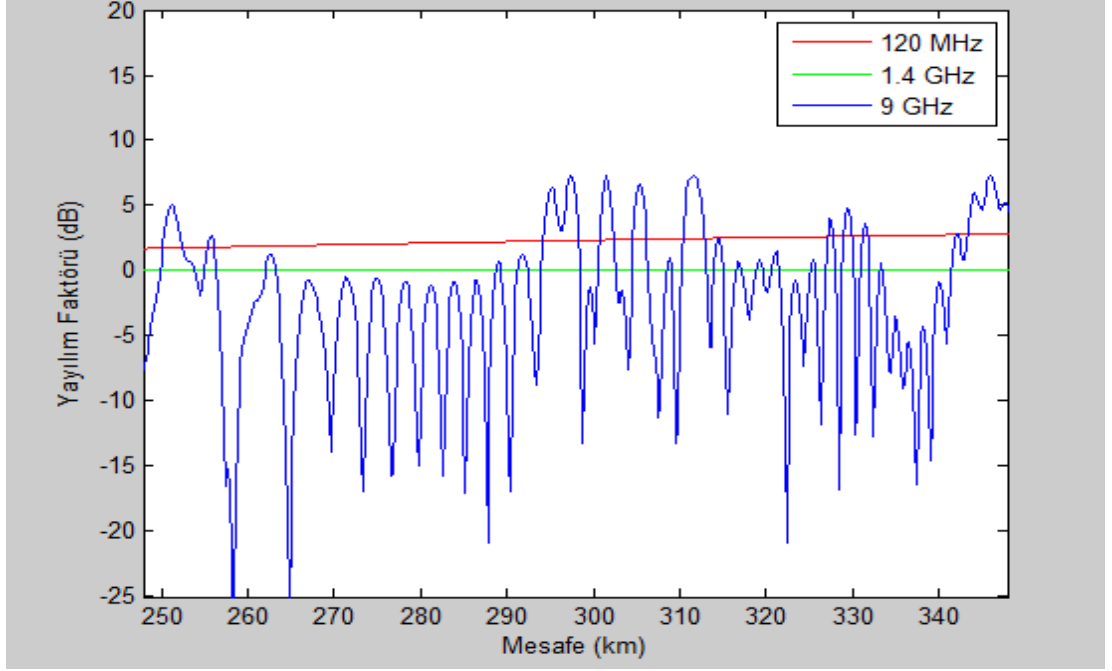
L ve X bant şeklindedir. Bir başka deyişle, oluk varsa frekans artışı alçak irtifa radar izlemesi için dezavantaj anlamına gelmektedir.



Şekil 5.6 Yüksek irtifada oluklanma durumu karşılaştırması



Şekil 5.7 Orta irtifada oluklanma durumu karşılaştırması



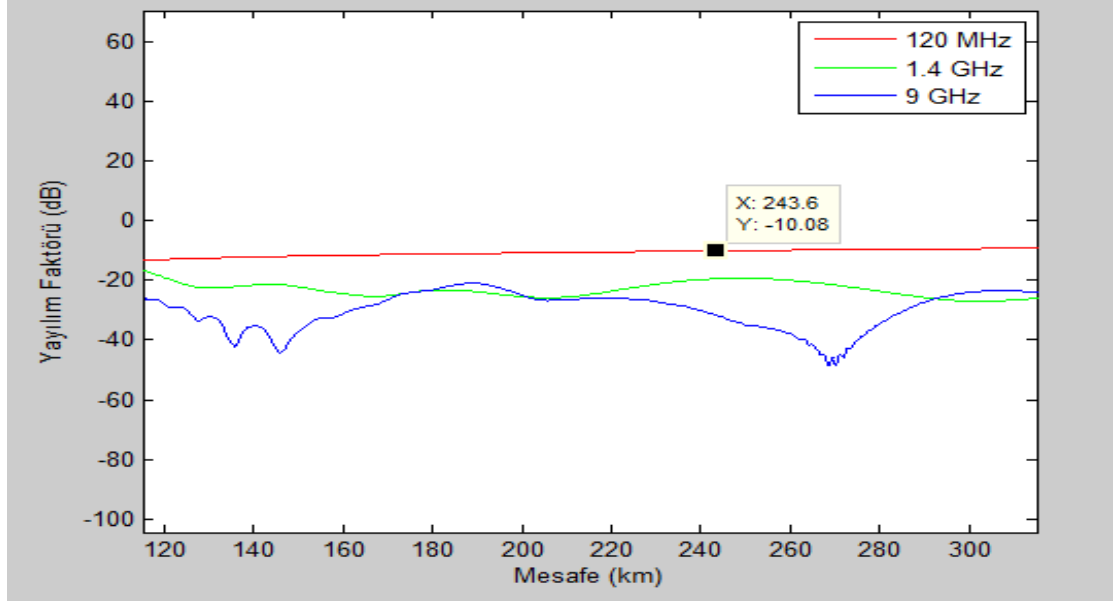
Şekil 5.8 Alçak irtifada oluklanma durumu karşılaştırması

### 5.3.4 Oluktan sızan enerjinin etkisi

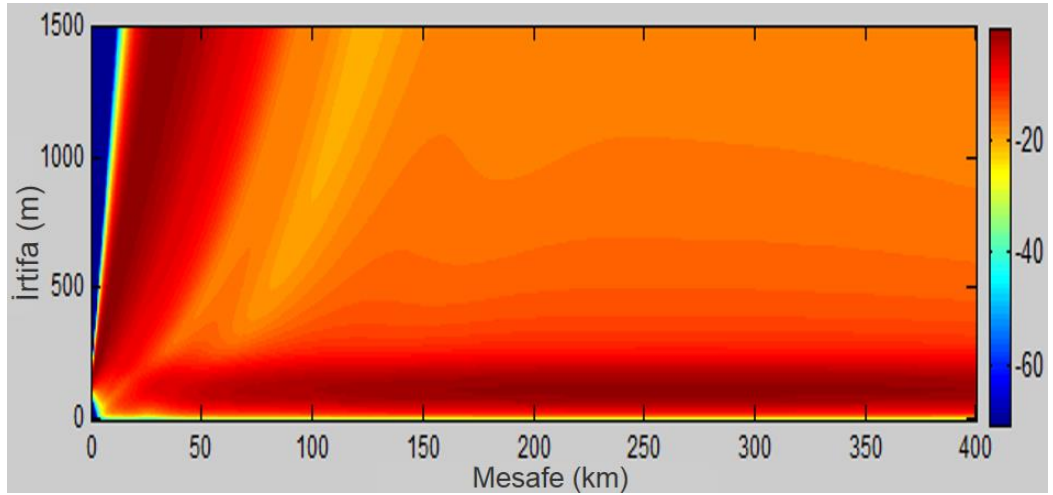
Bu bölümde alçakta konuşlu radar durumunda, oluk tavanından sızan enerjinin radarın genel izleme başarımına etkisi incelenmiştir.

Analiz öncesi, oluk tavanından sızan enerjinin her üç frekansta çalışan radarın başarımına da olumlu katkı sağlayacağı öngörülmüştü. Ancak şekil 5.9 ve 5.10'daki analizlerde görüldüğü gibi 250 m yüksekliğinde bir oluk tabakası söz konusu olduğunda alçakta konuşlu bir VHF radarın alçak irtifa izlemesinde şaşırtıcı derecede bir avantaj sağlayacağı görülmüştür.

Bununla beraber bu avantajın sağlanması için oluk kalınlığı ile kesme frekansı arasındaki ilişki nedeniyle radar enerjisini hapsetmek için yeterli yükseklikte bir oluğun varlığının gerekli olduğu unutulmamalıdır.



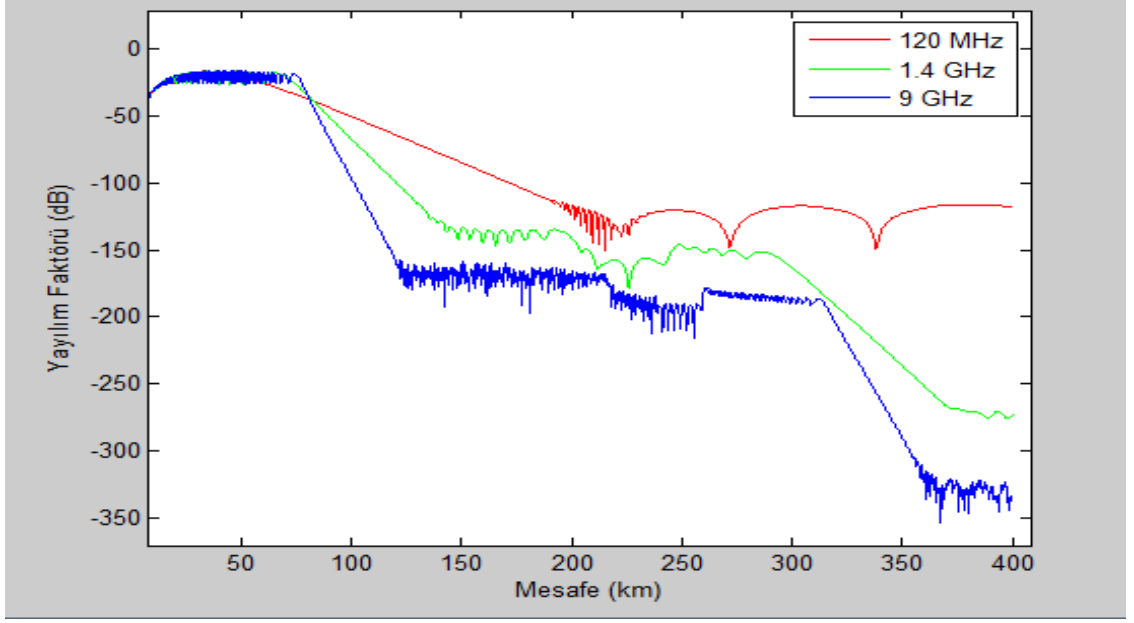
Şekil 5.9 Alçak irtifada oluklanma durumu karşılaştırması



Şekil 5.10 VHF (120 MHz) oluklanma durumunda sinyal yayılımı

### 5.3.5 Kırınımın etkisi

Bu bölümde oluk söz konusu değilken, VHF, L, X bantların kırınımına (diffraction) uğrama durumları incelenmiştir. Şekil 5.11’de de net olarak görüldüğü gibi, kırınımın ufuk ötesi radar izlemesine etkisi yönüyle yapılan karşılaştırmada VHF, L, X sıralamasının söz konusu olduğu görülmektedir.



Şekil 5.11 Ufuk ötesi kırınım etkisinin standart atmosferik koşullarda farklı frekanslar

#### 5.4 Değerlendirme

Kıyı radarlarının çalışma frekansları ve irtifaları seçilirken, ilgili deniz veya okyanusun oluk oluşum sıklığı ve oluk kalınlığı gibi istatistiklerin dikkate alınması büyük önem arz etmektedir. Bu bölümde, oluk durumunda radar konuş yüksekliği ve frekansının başarıma etkileri incelenmiştir. Yapılan analizlerden, oluk kalınlığı yeterli olduğu takdirde alçak irtifada konuşlu bir VHF radar ile arz eğimi nedeniyle meydana gelen ufuk ötesi izleme kısıtının büyük ölçüde aşılabileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca, VHF'den daha düşük olmamak kaydıyla düşük frekanslı radarların alçak irtifa izlemesi için yüksek frekanslı olanlara göre daha uygun olduğu görülmektedir.



## **6. ATMOSFERİK KIRILMA PROFİLİNİN TESPİTİ**

Atmosferik olukların varlığını ve karakteristiğini tespit etmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin başlıcaları; radyosonda, roketsonda, kırılımölçer, doppler radarı, lidar ve GPS sinyallerindeki gecikmenin kullanılması gibi yöntemlerdir (Yardim 2007). Oluk tespitinde en önemli hususlardan birisi, kullanılan yöntemin düşük maliyetli olmasıdır. Diğer bir husus ise pratik kullanıma sahip olmasıdır.

Bir oluğun varlığının fark edilmesi veya özelliklerinin kabaca tespiti bazı durumlarda yeterli bulunabilir. Mesela oluk fark edilmişse radar başarımındaki düşüklüğün cihaz arızasından kaynaklanmadığı anlaşılabilir. Ancak çoğu zaman, oluğun radar kaplamasında nasıl bir değişime yol açtığını bilmeye ihtiyaç vardır. Bunun anlaşılabilmesi için; oluk tipi, oluk kalınlığı, oluk taban yüksekliği ve kanalın gücü gibi detaylı bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle askeri kullanım alanlarında detaylı oluk bilgisi önem arz etmektedir. Atmosferik oluğun özelliklerinin bilinmesi savaşta taktik türünü belirlemede kullanılmaktadır. Örneğin; bir taarruz uçağının düşman radarı tarafından en az tespit edileceği uçuş yüksekliğinin belirlenmesi, muharip birimler arasındaki iletişim olanaklarının/kısıtlarının fakında olunması veya bir düşman radarını elektronik olarak karıştırmak için karıştırma irtifasının belirlenmesi bu kullanım amaçlarından bazılarıdır.

Bu bölümde öncelikli olarak oluk tespitinde kullanılan yöntemlerden genel olarak bahsedilecektir. Müteakiben, tez çalışmasında temel alınan yöntem olan deniz yüzeyi yansımından atmosferik kırılma profilinin tespiti (refractivity from clutter-RFC) yönteminden detaylı olarak bahsedilecektir. Son olarak, atmosferik kırılma tahmininde dönüşüm probleminde söz edilecektir.

### **6.1 Atmosferik Kırılmanın Tespitinde Kullanılan Yöntemler**

Atmosferik kırılma yöntemleri içinde en doğru bir şekilde ölçümün yapılabileceği yöntem kırılımölçer kullanımıdır (Skolnik 2001, Richter 1994). Kırılımölçer, aynı kaynaktan

beslenen iki mikrodalga oyuğundan oluşur. Boşluklardan biri atmosfer örneğini toplayan açık bir boşluktur, diğeri ise referans olarak işlev gören kapalı bir boşluktur. Rezonans frekanslarındaki farklılıklar iki ortam arasında ne kadar kırılma farklılığının bulunduğunu, dolayısıyla ölçüm yapılan atmosferin kırılma indisini ( $n$ ) ölçer. Çok yüksek doğruluk ve ölçüm hızına sahip olmasına karşın, kırılmaölçerler ile atmosferik kırılma ölçümü oldukça pahalı bir yöntemdir. İki boyutlu yükseklik ve menzil bağımlılığını elde etmek için cihazın testere dişi deseninde uçan bir helikopterle veya uygun bir hava platformu ile uçurulması zorunluluğu bulunmaktadır.

En yaygın atmosferik kırılma ölçüm yöntemi ise; sıcaklık, nem ve basınç değerlerinin yüksekliğe bağlı değişimlerinin ölçülmesini esas alan radyosonda balonları yöntemidir. Ölçülen bu değerlerden eşitlik 1.2 kullanılarak kırılma değeri hesaplanabilmektedir (Rowland vd. 1994). Dünyanın yüzlerce farklı noktasından her gün meteorolojik tahmin amaçlı radyosonda balonları bırakılmaktadır. Radyosonda ölçüm sonuçları açık kaynaklarda yayımlanmaktadır. Bu kaynaklardan en bilineni ise Wyoming Üniversitesi'nin Web Sayfası'dır. Genellikle rutin olarak günde iki defa bırakılan bu balonlardan alınan veriler, dünyanın farklı coğrafyalarına ait atmosferik kırılma durumlarının ölçümü için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bilgilerin kullanımı ile dünyanın değişik bölgelerinde oluk meydana gelme sıklığı ve olukların özellikleri ile ilgili istatistiki bilgiler oluşturulmuştur. Nitekim Türkiye'den de şekil 6.1'de görüldüğü gibi Adana, Ankara, Diyarbakır, Erzurum, Isparta, İstanbul, İzmir ve Samsun olmak üzere sekiz merkezden radyosonda balonları atılmaktadır.

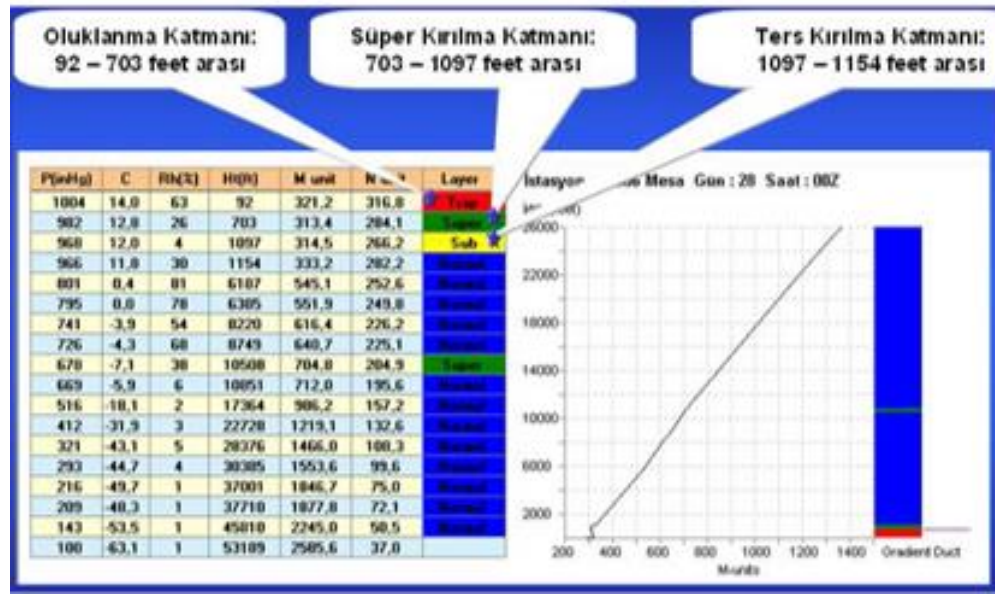
Şekil 6.2'de radyosonda ölçüm değerleri ve verilerin yorumlanmasına ilişkin bir örnek sunulmuştur. Türk (2010) tarafından, Türkiye'den atılan balonlara ait radyosonda verileriyle ve ülkemizin yakın çevresindeki ilave dört merkezden atılan radyosonda verilerini birleştirilerek beş yıllık atmosferik kırılma istatistikleri çıkarılmıştır. Radyosonda yöntemiyle tipik olarak sonuç alma süresi 30 dk'dır. Günde sadece iki defa veri elde edilebilmesi, oluk tahmini için zamansal olarak düşük çözünürlük anlamına gelmektedir. Çünkü dikey kırılma indisi saatler bazen dakikalar mertebesinde değişikliğe uğrayabilmektedir.



Şekil 6.1 Türkiye ve çevresinde radyosonda atılan merkezler (<http://weather.uwyo.edu> 2003)

Radyosonda balonları istendiği zaman özel olarak ihtiyaç duyulan bölgelerden de atılabilmektedir. Ancak bu noktada maliyet, atılma sıklığını belirlemede önemli bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Radyosonda kullanımı ile ilgili diğer bir kısıtlama ise, çok geniş alanlarda kırılma indisi hesaplanması gerektiği durumlarda, pratik bir çözüm sunmamasıdır. Özellikle deniz üzerinde hesaplama yapılması gerektiğinde açık denizden atılması için bir deniz aracının ilgili bölgeye gönderilmesi gerekmektedir. Diğer bir husus ise, bazen atılan balonun rüzgar nedeniyle yatay olarak sürüklenmesidir. Sürüklenme söz konusu olduğunda dikey kırılma indisi ölçümünde hatalar ortaya çıkabilmektedir.

Diğer bir atmosferik kırılma ölçüm yöntemi roketsonda cihazı kullanımındır. Roketsonda, radyosonda ile benzer bir mantıkla çalışır. Ancak sıcaklık, nem ve basınç ölçümünü roketsonde yükselirken değil serbest düşme esnasında yapar. İhtiyaç duyulduğunda herhangi bir zaman ve yerde kullanılabilir. Atıldığında roket ve ölçüm cihazını tekrar kullanmak mümkün olmadığından maliyeti yüksek bir yöntemdir. Radyosonda için geçerli dikey ölçüm hataları roketsonda için de geçerlidir. İlave olarak roketin atıldığı platformun metalik yapısının da ölçüm hatalarına yol açabildiği gözlenmiştir.



Şekil 6.2 Radyosonda ölçüm değerleri ve verilerin yorumlanmasına bir örnek

Doppler yayılım radarları atmosferik kırılma hakkında bilgi toplamak amacıyla kullanılan diğer bir cihazdır (Richter 1969). Her ne kadar doğrudan atmosferik kırılma profilini ölçmese de, kırılma profilindeki dalgalanmaları tanımlayan parametrenin ayrıntılı zamansal ve mekânsal değişimi bilgisini sağlar. Bu bilgi teorik olarak kırılma bilgisini çıkarmak için kullanılır. Bununla birlikte, pratikte, bulutlar, atmosferdeki tozlar ve diğer kirli tabakalar, yüksek bir sinyal gürültü oranına duyulan ihtiyaç ve doppler spektrumunu etkileyen diğer negatif etmenler nedeniyle tekniğin etkinliği kısıtlanmaktadır.

Bir diğer seçenek ise, atmosferik tahmin modellerini kullanarak olukları tahmin etmektir. Bu yöntem ABD Donanması tarafından geliştirilmiştir. Donanmaya bağlı Deniz Araştırma Laboratuvarı (Naval Research Laboratory –NRL) tarafından geliştirilen modelin ismi COAMPS'tır. COAMPS, bölgesel ölçüm noktalarından ve uydudan alınan meteorolojik ölçümlerini bütünleştirmekte ve güçlü bir veri entegrasyonu algoritması ile birlikte yüksek çözünürlüklü, yerel bir hava tahmini üretmektedir (Springer 1999, Naval Research Laboratory 2004). Bu model dünya genelinde herhangi bir yer için oluk tahmini sağlayabilir ve her 12 saatte bir sonuçlarını günceller. Bununla birlikte, COAMPS'ın yeteneklerinde de limitler vardır; yüzeye yakın bölgede, yani alt irtifa bölgesinde yer alan m-profil tahminleri nispeten zayıf doğruluk derecesine sahiptir.

Atmosferik kırılmayı belirleyebilen bir diğer teknik ise diferansiyel soğurma lidarı (DIAL) ve Raman lidarı gibi lidar kullanan tekniklerdir (Willitsford ve Philbrick 2005). Lidarlar, sıcaklık ve su buharı profillerini ölçmek için kullanılabilir. DIAL tespit işlemi için, atmosferik gazların dalga boyuna bağlı emilim özelliklerini kullanır. Raman yayılımı yapan radarlar ise, dalga boyunu kaydıran zayıf bir moleküler saçılma işleminden faydalanırlar. Lidar sistemleri hem yatay hem de düşey atmosferik kırılma değişimlerini ölçebilirler ve radyosondalardan çok daha hızlıdırlar. Lidarın dezavantajları ise, pahalı ekipmanlarla yapılan oldukça karmaşık bir teknik olması ve başarımının gündüz ışığı ile sınırlı olmasıdır.

GPS (Global Positioning System) tekniği, atmosferik kırılma ortamını haritalamak için GPS uydularını kullanmaktadır (Lowry vd. 2002). Radar sinyalinde olduğu gibi uydudan gelen bir GPS sinyali de atmosferik oluk boyunca yayılırken bozulacaktır. Bu nedenle, yerde konuşlu sensör tarafından algılanan GPS sinyalinin analizi ile geçtiği ortam hakkında bilgi edinilmesi mümkün olabilmektedir. Bu yöntemde, bir dalga yayılım kodu kullanılarak elde edilen yayılım paterni, alınan GPS sinyalindeki gecikmelerle karşılaştırılarak atmosferik kırılma parametreleri tahmin edilmektedir. Halen geliştirilmekle birlikte GPS tekniği, yüksek güncelleme oranlarına bağlı olarak radyosonda ölçümlerine umut verici bir alternatif gibi görünmektedir.

Atmosferik kırılma tahmini için geliştirilen diğer bir teknik ise, radarın kendisini bilgi kaynağı olarak kullanan RFC tekniğidir. RFC “refractivity from clutter” ifadesinin kısaltması olup, radarın kendisini başka herhangi bir donanıma veya ekstra ölçümlere gerek duymadan normal çalışma sırasında kullanılmasına dayanır. Bu teknikte, deniz radar yansımasından faydalanarak kırılmanın tahmini mümkün olmaktadır. Bu yöntem umut verici bir alternatiftir ve yukarıda anlatılan yöntemlere ilave avantajlar getirmektedir. Radar yansıması, yani normal şartlarda radar sinyalinin süzgeçlenmiş ve atılmış kısmı bu modelde giriş verisi olarak kullanılmaktadır. Söz konusu teknik potansiyel olarak, radarın merkezinde bulunduğu üç boyutlu silindirik hacimde; menzil, azimut, irtifa ve zaman boyutlarında atmosferik kırılma profili tahminini ve izlenmesini sağlayabilir. Yukarıdaki tekniklerden farklı olarak RFC, bu tez çalışmasının temelini

oluşturduğu için sonraki bölümde detaylı olarak incelenecektir. Bu tekniğin önemli avantajlarının yanında kendi kısıtlamaları ve varsayımları da bulunmaktadır.

## **6.2 Deniz Yansımasından Atmosferik Kırılmanın Tespiti Yöntemi**

Deniz yansımasından atmosferik kırılmanın tespiti yönteminde üç ayrı modellemeye ihtiyaç duymaktadır. Bu modeller birbirinden farklı çalışma alanları olup yöntemin adımlarını oluşturmaktadır. Şekil 1.5 bütüncül yöntemin nasıl çalıştığını göstermektedir.

RFC yönteminde kullanılan temel modeller:

- Deniz yüzeyi radar yansıması modeli,
- Elektromanyetik yayılım modeli,
- Atmosferik kırılma tahmin modelidir.

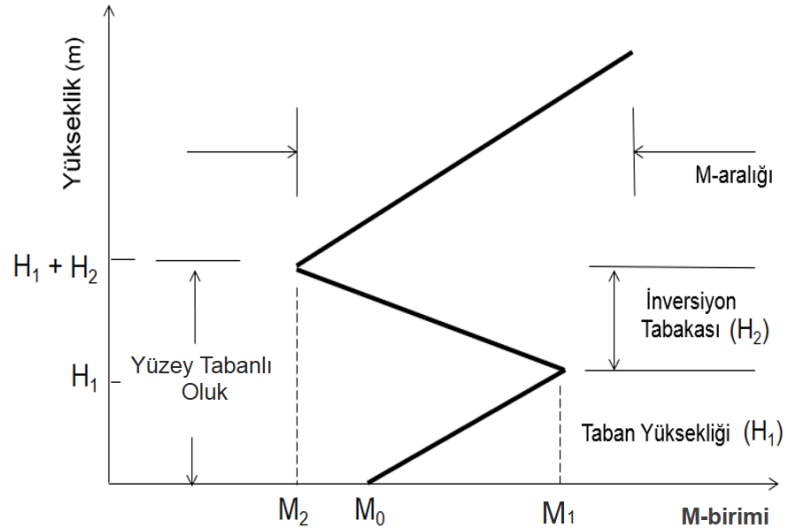
Bu tezin ağırlık merkezini ise bu üç modelden atmosferik kırılma parametrelerinin tahmini oluşturmaktadır. Radar sinyallerini hapsedilebilecek minimum oluk kalınlığı Cairns-McFeeters tarafından çalışılmıştır (Cairns ve McFeeters 1992). Oluk kalınlığı ve radar frekansı arasında ilişki eşitlik 5.3'te verildiği gibi tanımlanmıştır.

Çizelge 5.2'de frekans ile oluk kalınlığı arasındaki ilişki ile ilgili bazı hesaplamalara yer verilmişti. Bu tezde yer alan uygulamalarda 1400 MHz L-bant bir radar varsayılmıştır. 1400 MHz frekansında çalışan L bant bir radar için oluktan etkilenme eşiği ise 40.4 m'dir. Buharlaşma oluşunun kalınlığı çoğunlukla 30 metrenin altında gerçekleşmektedir. Bunun anlamı; L-bant radarın buharlaşma oluşundan etkilenmemesi ve buharlaşma oluşu tahmininin bu tezin çalışma kapsamının dışında kalmasıdır. Diğer taraftan yükseltilmiş olukların da RFC yöntemi ile tahmini mümkün değildir. Bunun nedeni yükseltilmiş oluşun alt sınırını denizin oluşturup oluşturmadığıdır. Yani yükseltilmiş oluk durumunda, atmosferde belli bir irtifada asılı bulunan bir inversiyon tabakası söz konusudur. Radar sinyalleri şekil 2.12'de de görülebileceği gibi bu tabaka içine hapsolarak ilerler. Bu nedenle, yükseltilmiş oluk kırılma parametrelerinin RFC yöntemi ile tahminine yetecek düzeyde yeterli yüzey yansıması oluşturamaz. Bu durumda genel olarak olarak RFC yöntemiyle başka oluk türlerinin de tahmini mümkün olmasına rağmen, en iyi tahmin edilebilecek oluk türünün yüzey tabanlı oluk olduğu söylenebilir. Zaten yüzey tabanlı oluk radar başarımını radar kaplaması anlamında en fazla etkileyen oluk türüdür. Bununla

beraber, yüzey oluklarının RFC yöntemi ile tahmin edilebilmesi de tüm koşullarda mümkün değildir, radar yansımaları karakteristiğine ilişkin belli kriterlerin oluşması gereklidir (Douvenot vd. 2014a, b).

Elektromanyetik sinyaller ile deniz yüzeyi etkileşimi çok boyutlu bir fenomendir. Bölüm 4’te radar tarafından algılanan yansıma şiddetinin meteoroloji, radar konuş yüksekliği, radar sinyal frekansına ve kutuplaşmasına bağlı olduğu görülmüştü. Yakın geçmişte yapılan bazı çalışmalarda EM dalganın ilerlemesi ile deniz yansımaları ilişkisi RFC tekniği ile kırılma tahminine etkileri açısından ele alınmıştır (Fabbro vd. 2015, Poisson 2016). Bu tez çalışmasında varsayılan L-bant radarın yatay kutuplaşma özelliklerine sahip olması ve tahmin edilen oluk türünün yüzey oluşu olmasına karar verilmiştir. Geliştirilen tahmin yöntemlerinin etkinliğinin ispatı ile beraber, geliştirilen yöntemler diğer özelliklere sahip radarlar için ve diğer oluk türleri için de, örneğin X bant bir radar kullanılarak buharlaşma oluşunun tespiti için de düzenlenebilir.

Birçok durumda yüzey oluşunu tanımlamak için üç hatlı m-profil kullanılmaktadır. Üç hatlı m-profil şekil 6.3’te de görüldüğü gibi beş parametre ile ifade edilebilir.



Şekil 6.3 Yüzey tabanlı oluk için üç hatlı m-profil

Bu parametrelerden üçü modifiye kırılma parametreleri olup M-birimi ile ifade edilmektedir ( $M_1$ ,  $M_2$  ve  $M_0$ ). M-aralığı,  $M_1$  ile  $M_2$ ’nin farkı olarak tanımlanmıştır.  $M_0$

deniz seviyesindeki modifiye kırılma değeridir.  $H_1$  oluk taban yüksekliği,  $H_2$  tuzaklama katmanının kalınlığıdır.  $H_1$  ve  $H_2$ 'nin toplamı ise yüzey oluşunun toplam kalınlığıdır. Bu çalışmada m-profilinin mesafeden bağımsız olduğu varsayılmış ve üç hatlı m-profilî yüzey oluşu için kırılma modeli olarak kullanılmıştır.

Radar yansıması normal şartlarda hareketli hedefleri hareketsiz hedeflerden ayıran MTI gibi radar kademeleri tarafından elimine edilir. Hareketli hedeflerin tespitinde kullanılan en yaygın yöntem, radar tarafından gönderilen sinyalin hedeften yansıdıktan sonra uğradığı doppler değişiminin analizidir. Örneğin uçak gibi hava hedeflerinin hızlarının 200 knot gibi bazı tipik değerlerin altına düşmesi mümkün değildir.

Uçak tespiti için 100 knot gibi bir radar hız filtresinin kullanılması uçağın radyal uçuşları da dikkate alındığında asgari %80 radar tespitini garanti edebilir. Bununla beraber tüm olumsuz yansıma türlerinin elimine edilmesi ise pratikte mümkün değildir. Bunun temel nedeni hava ve su üstü hedeflerindeki çeşitliliğin günümüzde çok artmış olmasıdır (insansız hava araçları ve dronlar gibi). Diğer taraftan hava ve su üstü araçları çeşitlenmiş olmasına rağmen, radarlardan hala tüm olası hava hedeflerini tespit etmesi beklenmektedir. Örneğin sayıları astronomik oranda artan insansız hava araçları, havada helikopter gibi hover vaziyetinde sabit kalabilmekte veya çok düşük hızlarda seyredebilmektedir. Bu durumda radar hız filtresinin düşürülmesi İHA'ların yanında, kuş sürülerinin veya hızlı esen jet rüzgârının radar göstergesinde hedef olarak görünmesi anlamına gelmektedir. Deniz yüzeyinde dalgaların yol açtığı yansıma içinden alçak irtifada uçan hava araçlarının veya su üstü araçlarının ayırt edilmesi oldukça zorlaşacaktır. Bu durumda iki istenmeyen sonuçtan birinin tercih edilmesi gerekli görünmektedir; biri, radar yanlış alarm oranının artmasını kabul etmek, diğeri ise, düşük radar hedef tespit oranını kabul etmektir.

RFC yönteminde ise deniz yüzeyinden yansıyan radar yansıması kırılma tahmini için kullanılmaktadır. Bu nedenle deniz yüzeyi yansıması, RFC tahmin modelinin işlemesi için ham madde durumundadır. Radarlar eğer hedef tespitinin yanı sıra atmosferik kırılma tahmini için de kullanılacaksa, tahmin için gerekli yansıma verisinin radar tarafında--n silinmesi değil, depolanması ve ilgili tahmin modelinin kullanımına sunulması



gerekmektedir. Radar hedef tespit sistemi ile eşgüdümlü çalışan gerçek zamanlı bir atmosferik kırılma tahmin modeli geliştirilerek radar sistemine gömülü çalıştırılabilir. Hedef tespiti için elimine edilen yansıma verileri, RFC tahmin modelini işletebilir.

Radar denkleminde,  $P_t$  radar vericisinden çıkan sinyal gücünü,  $r$  mesafeyi,  $G$  radar kazancı,  $L$  atmosferik olmayan kayıpları (radar içi kayıplar),  $\lambda$  dalga boyunu,  $\sigma_c$  deniz yüzeyi yansıması kesit alanını ve  $F$  yayılım faktörünü,  $m$  atmosferik kırılmayı ifade etmek üzere; radar alıcısına gelen yansıma kaynaklı sinyal güç miktarının mesafeye bağlı değeri  $P_r$  aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$P_r(r) = \frac{P_t G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 L} \frac{1}{r^4} \sigma_c F^4(r, m) \quad (6.2)$$

Radar denklemi dB cinsinden ise aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$P_r(r)|_{dB} = 10 \log \left( \frac{P_t G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 L} \right) - 40 \log(r) + 10 \log(\sigma_c) + 40 \log(F(r, m)) \quad (6.3)$$

Denklemden bilinen radar parametreleri sabit bir değer olarak hesaplamalara girebilir ( $C_1$ );

$$C_1 = \frac{P_t G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 L} \quad (6.4)$$

Mesafe bilgisi radar tarafından ölçülebildiğinden bilinen bir değerdir. Hesaplamalar bilinen herhangi bir  $r=r_1$  mesafesi için yapılacak olursa, menzil bilgisi de ayrıca sabit bir sayı olarak hesaplamaya dâhil edilebilir ( $C_2$ ). Radar tarafından  $r_1$  mesafesinde algılanan sinyal gücü  $P_r(r_1)$ 'dir. Bu durumda radar eşitliği aşağıdaki şekle gelir;

$$P_r(r_1) = C_1 - C_2 + \sigma_c + 4F(r, M) \quad (6.5)$$

$C_0$  tüm bilinen değerleri ifade etmek üzere, aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$C_0 = P_r(r_1) - C_1 + C_2 \quad (6.6)$$

Sinyal gücü  $P_r$  ve mesafe bilgisi bilindiğinden yayılım faktörü (veya yayılım kaybı benzer bir şekilde) için aşağıdaki eşitlik elde edilebilir.

$$(C_0 - \sigma_c)/4 = F(r, m) \quad (6.7)$$

Radara göre  $r_l$  mesafesindeki deniz yüzeyi yansımaları radar kesit alanı, gibi teorik olarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\sigma_c = \sigma_0 A_c \quad (6.8)$$

Burada  $\sigma_0$  deniz yüzeyinin o anki yansıtıcılığını,  $A_c$  ise radar hücreliğini göstermektedir.

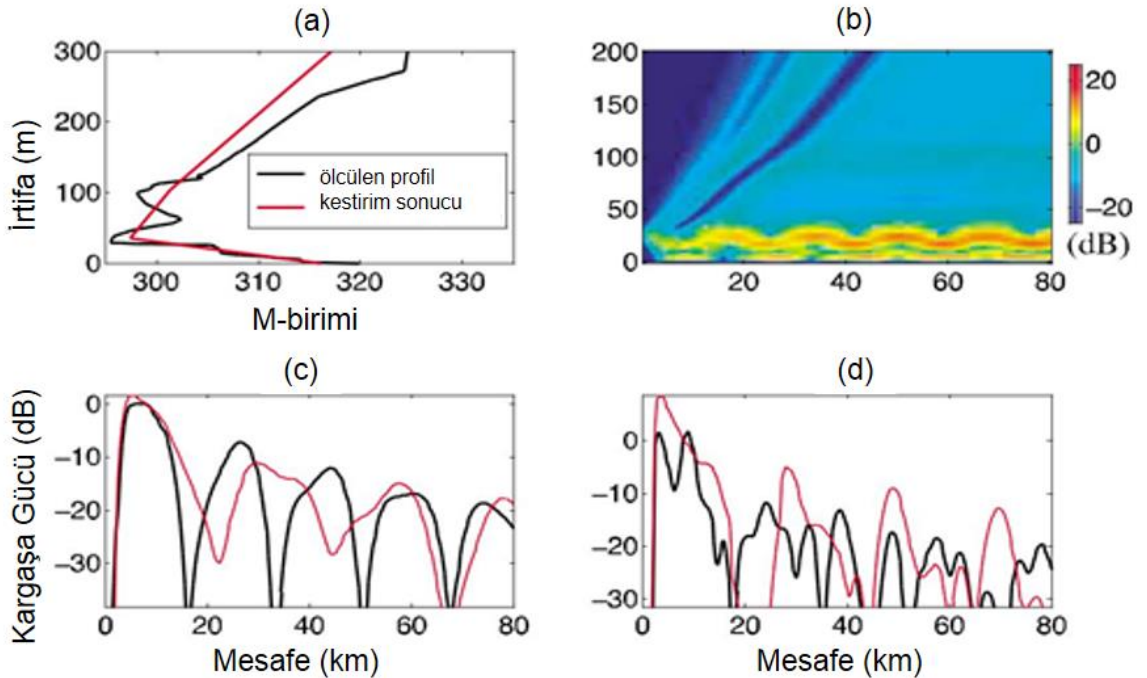
Belli bir radar mesafesi için yansımaları radar kesit alanı değerinin yansımaları modelleri yardımıyla hesaplanması mümkündür. Deniz yansımaları kesit alanı hesaplamalarında rüzgâr hızı ve yönü kullanılmaktadır (Deniz yüzeyi yansımaları modelleri Bölüm 4'te detaylı olarak incelenmişti.). Radarın yayın istikameti ve irtifası da yayılım açısı deniz radar sinyalinin deniz yüzeyine çarpması bir ara değer olarak hesaplamalara katılmaktadır. Yansımaları radar kesit alanı hesaplamalarında kullanılan diğer parametreler ise radara özgü kutuplaşma, frekans ve diğer yayın özellikleridir. Sonuç olarak yayılım faktörü ( $F$ ) değeri teorik olarak hesaplanabilen bir değerdir ve gerekli meteorolojik ölçüm verileri radara sağlanarak gerçek zamanlı olarak hesaplanabilir. Bu değerler radar menzili boyunca, belli aralıklarla hesaplanarak deniz yüzeyindeki sinyal yayılım dağılımını gösteren bir yayılım faktörü eğrisi  $F(r)$  oluşturulabilir.

Elektromanyetik dalganın okyanus yüzeyine değme açısı, menzile bağlı olarak değişir. Bununla beraber değme açısının çok küçük olduğu radara uzak mesafelerde yansımaları modelinin değme açısına bağımlılığı erken dönem RFC yöntemlerinde ihmal edilmiştir (Rogers vd. 2000, 2005, Gerstoft vd. 2003a, b, Kraut vd. 2004). Atmosferik kırılmanın deniz yüzeyi yansımalarından hesaplanması yönteminde yansımaları modelinin doğruluğu tüm sonucun doğruluğunu direkt olarak etkilemektedir. Doğal olarak yansımaları ne denli mükemmel modellerinse modellerin belli bir hata payı her zaman söz konusu olacaktır. Bu nedenle atmosferik kırılmanın deniz yüzeyi yansımalarından hesaplanması yönteminde

bazı bilimsel çalışmalar özellikle deniz yüzeyi yansımaya modellerine odaklanmıştır (Karimian vd. 2012).

Atmosferik kırılma profilinin radar tarafından ölçülen sinyal gücü kullanılarak tahmini en yaygın RFC yöntemidir. Wallop adası deneyi ile elde edilen veriler birçok araştırmacı tarafından RFC yöntemi ile atmosferik kırılma ölçümü için kullanılmıştır. Söz konusu deney 1998 yılında S Bant Space Range Radarından (SPANDAR) alınan sinyal ölçümleri ile yapılmış, helikopterle kırılmölçer kullanılarak alınan atmosferik kırılma profili ile RFC modeli tahmini sonuçları karşılaştırılmıştır. Radar yatay hüzmeye genişliği  $0.4^\circ$ , radar eğilim açısı  $0^\circ$ , anten yüksekliği 30.78 m, ve radar dikey kutuplaşma özelliğine sahiptir.

Helikopter Johns Hopkins Üniversitesi tarafından sağlanmıştır. Helikopter 30 dakika boyunca radara göre  $150^\circ$  radyalde testere dişi uçuş deseninde atmosfer örneği olarak atmosferik kırılma indisini ölçmüştür. Şekil 6.4'te Wallop Adası ölçümleriyle yapılan bazı atmosferik kırılma tahmini sonuçları yer almaktadır.



Şekil 6.4 SPANDAR deneyine ait sonuçlar (Karimian 2011)

Söz konusu şekilde sırasıyla; 1998 yılında SPANDAR deneyinde kırılmölçer ile ölçülen ve RFC yöntemiyle tahmin edilen üç hatlı atmosferik kırılma eğrilerinin karşılaştırması, ölçülen atmosferik kırılma durumu için 3 GHz frekansında yayılım kaybı cinsinden radar kaplaması, 3 GHz için ölçülen ile tahmin edilen deniz yüzeyi yansıması gücünün karşılaştırması ve 10 GHz için ölçülen ile tahmin edilen yansıma gücünün karşılaştırması verilmiştir.

### 6.3 Atmosferik Kırılma Tahmini Problemi

RFC yönteminde tahmin problemi, ölçülen radar verisinden, radar enerjisinin atmosferde yayılımın örüntüsünü belirleyen dikey kırılma parametrelerinin elde edilmesi işlemidir. SSPE gibi yayılım modelleri hesaplamalarında atmosferik kırılma parametrelerini kullanarak yayılım örüntüsü oluştururlar. Yayılım örüntüsünden dikey kırılma profilinin elde edilmesi ise doğrusal olmayan, tersine bir işlemdir.

Atmosferik kırılma tahmininde tersine dönüşüm için birçok yöntem denenmiştir. Bu yöntemlerden bazıları; yansıma haritasıyla en iyi örtüşen kırılmanın bulunması yaklaşımı (Gerstoft vd. 2000), genetik algoritma (Gerstoft vd. 2003b), Markov Chain Monte Carlo örnekleme yaklaşımı (Yardim vd. 2006), Markov durum uzay modelinin mikrodalga yayılımı için kullanımı (Vasudevan vd. 2007), Kalman ve parçacık filtresi (Yardim vd. 2008), vektör destek makinaları (Douvenot vd. 2008), karınca kolonisi en iyilemesi (Wang vd. 2009), Bayes yaklaşımı (Yardim vd. 2009), geliştirilmiş en iyi uyumlandırma yöntemi (Douvenot vd. 2010), mesafe uyarlamalı hedef fonksiyonu (Zhang vd. 2011a) ve yapay sinir ağlarıdır (Ibeh ve Agbo 2012).

Bu tez çalışmasında RFC tahmininde tersine dönüşüm probleminin çözümüne odaklanılmıştır. Dönüşüm radar yansıma verilerine veya atmosferik yayılım faktörüne uygulanabilir. Elektromanyetik ortam modeli  $H_{env}$ , kırılma profilini işleyerek yayılım faktörü örüntüsünü hesaplamaktadır. Bu hesaplamada ortam değerleri ve radara ait gerekli bazı değerler de hesaplamalarda kullanılmaktadır.

$$F(r, m) = H_{env}(m) \quad (6.9)$$

EM ortam modeli, ayırık adım parabolik denklem (SSPE) tabanlı geniş açılı yayılım metodunu kullanmaktadır. Ortam modelinin kullandığı radar parametreleri; 1300 MHz radar çalışma frekansı ve yatay polarizasyon, yayılım faktörünü hesaplama penceresi yatayda 470 km ve yükseklik olarak 2000 m, hesap adım penceresi; 463 m. yatay adım ve 1 m dikey adım olarak seçilmiştir. Tahmin modeli çalışırken, elde edilen her atmosferik kırılma tahmini bir çözüm adayı kırılma profili olarak ( $m_{can}$ ) işlenmekte ve karşılık gelen yayılım faktörü matrisi ( $F^{can}$ ) elde edilmektedir. Daha sonra bir maliyet fonksiyonu tarafından aday profilin çözüme uygunluğu hesaplanır. Bu hesaplama gerçek atmosferik koşulu temsil eden referans yayılım faktörü ( $F^{ref}$ ) ile karşılaştırılarak yapılır. Genel dönüşüm problemlerine ilişkin yöntemler Tarantola (1987) tarafından ortaya konmuştur. Buna göre her bir aday yayılım faktörünün çözüme uygunluğu, referans yayılım faktörü eğrisiyle karşılaştırılmalıdır.

$$\hat{m} = \arg_m \min f \left( F^{can}(r, m), F^{ref}(r, m) \right) \quad (6.10)$$

Aday çözümün uygunluğunu tespiti için maliyet fonksiyonu  $F_M$ , en küçük kareler uyumlandırma yöntemiyle aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F_M = \sum |F^{can}(r, m) - F^{ref}(r, m)|^2 \quad (6.11)$$

Yüzey tabanlı oluklanmanın atmosferik kırılma profili tahmini, şekil 6.3'te gösterilen üç hatlı modele uygun olarak 4 temel parametreden oluşmaktadır. Bu parametrelerden 2 tanesi M-biriminde modifiye kırılma parametresi ( $M_1$  ve  $M_2$ ), iki tanesi ise metre cinsinden yükseklik değeridir ( $H_1$  ve  $H_2$ ).  $M_0$  yüzey seviyesi kırılma değerini ifade etmektedir ve ideal şartlardaki değeri 330'dur.

Tez çalışmasının sonraki bölümleri geliştirilen atmosferik kırılma tahmin modellerine ayrılmıştır. Tez çalışması kapsamında sekiz adet tahmin modeli geliştirilmiştir. Bu modellerde temel olarak yapay sinir ağları, genetik algoritma ve bunların türevleri ile hibrit bazı yöntemler kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda gerçek bir atmosferik koşulu temsil eden bir referans atmosferik kırılma profili seçilerek, söz konusu kırılma profiline karşılık gelen elektromanyetik sinyal örüntüsü benzetimle elde edilmiştir. Sonra bu yayılım bilgilerinden tahmin modeli kullanılarak tersine dönüşümle referans atmosferik kırılma profilinin tahmin edilmesi hedeflenmiştir.

## 7. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ATMOSFERİK KIRILMA TAHMİNİ

Yapay Sinir Ağları (YSA), günümüzde karmaşık problemleri çözmek için birçok bilimsel ve endüstriyel alanda yaygın olarak kullanımı olan popüler bir yöntemdir. YSA'lar son zamanlarda atmosferik kırılma tahminine yönelik problemlerin çözümü için de düşünülmüş ve kullanılmıştır. Hosseinzadeh ve Samsunchi (2008), yayılma kaybından atmosferik kırılma eğrisini belirlemek için iki kademeli sinir ağından oluşan bir YSA önermişlerdir. Mudroch vd. (2008, 2009) ise, radyo dalgalarının yayılımından faydalanarak atmosferin karakteristiğinin uzaktan algılanması ve troposferin yeryüzüne yakın katmanlarının sınıflandırılması konusunda YSA çözümünden faydalanmışlardır. Da Silveira ve Holt (2001), çoklu kutuplaşmalı hava durumu radarı verilerinde yansımanın tanımlanması ve anormal yayılımın otomatik olarak tespiti için YSA kullanmışlardır. Benzer şekilde Grecu ve Krajewski (1999, 2000), anormal dalga yayılımı sebebiyle ortaya çıkan yansımaların tespitinde YSA'dan yararlanmışlardır. Pelliccia vd. (2011) ise Kutup bölgesinin dikey atmosferik karakteristiğinin tespitinde YSA'yı kullanışlı bir yöntem olarak tespit etmişlerdir.

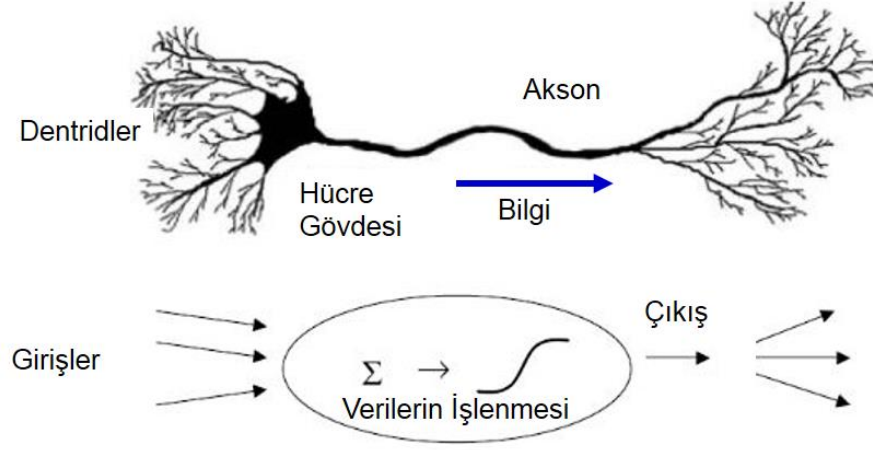
### 7.1 Yapay Sinir Ağları

Bir yapay sinir ağı mimarisi; ağırlıkları eğitim veya öğrenme yoluyla belirlenen bağlantılar, düğümler ve nöronlar oluşan, paralel dağılmış bir yapıdır. YSA'lar iki açıdan beyne benzemektedir:

- Bilgi, ağ tarafından öğrenme süreci yoluyla edinilir.
- Sinaptik ağırlık olarak da bilinen nöronlar arası bağlantılar, bilgiyi depolamak için kullanılır.

YSA bilgi işlem gücünü, öncelikle paralel olarak dağıtılmış yapısına, ikinci olarak da öğrenme ve genelleme yeteneğinden alır. Genelleme, eğitim sırasında karşılaşılmayan girişler için öğrenme sonucu sistem tarafından makul çıktılar üretilmesi anlamına gelmektedir. Bu bilgi işleme kabiliyeti yapay sinir ağlarının karmaşık problemleri çözmesini mümkün kılmaktadır.

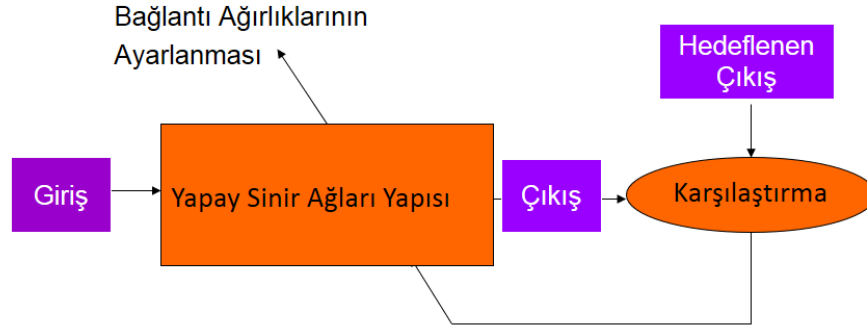
Şekil 7.1’de beyin hücresi ile YSA hücresinin mantıksal benzerliği gösterilmiştir. YSA hücresi, nöron gibi doğrusal olmayan bir özelliğe sahiptir.



Şekil 7.1 Beyin hücresi ile YSA hücresinin benzerliği (Uslu 2015)

Yapay sinir ağı hücrelerin birbirine bağlanmasından oluşur ve bütüncül YSA mimarisi doğrusal olmayan özelliğe sahiptir. Şekil 7.2’de öğrenme yoluyla YSA’nın bir probleme nasıl uyarlandığı gösterilmiştir. Denetimli öğrenme paradigması, bir dizi örnek eğitim verisi uygulayarak sinir ağının sinaptik ağırlıklarının değiştirilmesini, bu yolla adım adım amaca uygun olarak tüm ağın geliştirilmesini ifade etmektedir. Her örnek, özgün bir giriş sinyalinin ve buna karşılık gelen hedef cevaptan oluşur.

Eğitim setinden rastgele seçilen bir örnek veri kümesi ağı uygulanır ve ağın sinaptik ağırlıkları (serbest başlangıç parametreleri), hedeflenen cevap ile ağı uygulanan giriş sinyali tarafından üretilen gerçek cevap arasındaki farkı en aza indirecek şekilde, uygun bir kriter ile değiştirilir. Ağın eğitimi, sinaptik ağırlık setinde önemli bir değişiklik olmayana, yani bütüncül sistem kararlı bir duruma gelene kadar eğitim setindeki birçok örnek için tekrarlanır. Daha önce uygulanan eğitim örnekleri, eğitim seansı sırasında genellikle farklı bir sırayla tekrar uygulanabilir. Böylece ağ, eldeki probleme uygun bir giriş-çıkış haritalaması yaparak uygulanan örneklerden öğrenmiş olur. Konu ile ilgili daha geniş bilgi için Jang (1993), Haykin (1994), Rojas (1996) ve Hajek (2005) tarafından hazırlanmış kaynaklara müracaat edilebilir.



Şekil 7.2 YSA Eğitimi (Tepecik 2008)

Tezin bu bölümünde, atmosferik kırılma tahmini için bir YSA modeli kurgulanarak test edilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. YSA'nın tahmin için hazırlanması; eğitim, doğrulama ve test işlemleri için gerekli veri setleri eğitim veri tabanından belli oranlarda rasgele seçilerek yapılmaktadır. Geliştirilen YSA modelinin atmosferik kırılma tahmini için bir çok kez koşturularak başarımı değerlendirilmiştir.

## 7.2 YSA Atmosferik Kırılma Tahmin Modeli

YSA'nın bir tahmin modeli olarak hazırlanması için olası atmosferik kırılma şartlarını temsil eden örnek bir hedef-giriş eğitim veri seti hazırlanmıştır. YSA'nın eğitiminde, dört adet kırılma parametresi ( $H_1$ ,  $H_2$ ,  $M_1$  ve  $M_2$ ) ile bu parametrelere karşılık gelen yayılım faktörü eğrisi  $F(r,m)$  kullanılmıştır.

YSA mimarisi, veri giriş sayısına göre sayıları değişen giriş katmanı nöronları ve gizli katman nöronları ile dört doğrusal çıkış nöronuna sahip, iki katmanlı bir ileri besleme ağı şeklindedir. Ağ, eğitim sürecinde Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritmasını kullanmaktadır. Eğitim, doğrulama ve test için kullanılan veri oranları sırasıyla; %70, %15 ve %15 olarak belirlenmiştir.

Hedef eğitim veri setini yüzey tabanlı oluklama durumuna ait kırılma parametreleri oluşturmaktadır. Sınırları itibariyle olası tüm yüzey tabanlı oluklama durumunu temsil edebilecek şekilde şekil 6.3'te de gösterildiği gibi  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $H_1$  ve  $H_2$  parametrelerinden



oluşan bir veri tabanı oluşturulmuştur. Yüzey tabanlı oluğun YSA eğitimi için seçilen  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $H_1$  ve  $H_2$  parametreleri çizelge 7.1’de verilmiştir.

Eğitim veri haritası hazırlanırken oluk kalınlığı ile ilgili olarak Gersoft vd. (2003b) yaklaşımından faydalanılmıştır.  $M_0$  değeri ise, deniz seviyesi için normal atmosferik koşullar dikkate alınarak 330 olarak benzetime dâhil edilmiştir.

Çizelge 7.1 Yüzey tabanlı oluğun  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $H_1$  ve  $H_2$  değerleri

$M_1$	333	339	345	351	357	365	375
$M_2$	327	321	315	309	303	295	285
$H_2$	14	28	42	56	70	84	98
$H_1$	42	84	126	168	238	308	378
	452	534	618	754	880	1048	1286

Giriş eğitim veri seti ise, hedef eğitim parametreleri kullanılarak elde edilen yayılım faktörü eğrisinden oluşturulmuştur. Giriş verileri; L bant sanal bir hava gözetleme radarını temsil eden çizelge 7.2’deki parametreler ile SSPE algoritmasının gerektirdiği ortam şartlarını temsil eden diğer parametreler girilerek hesaplanmıştır.

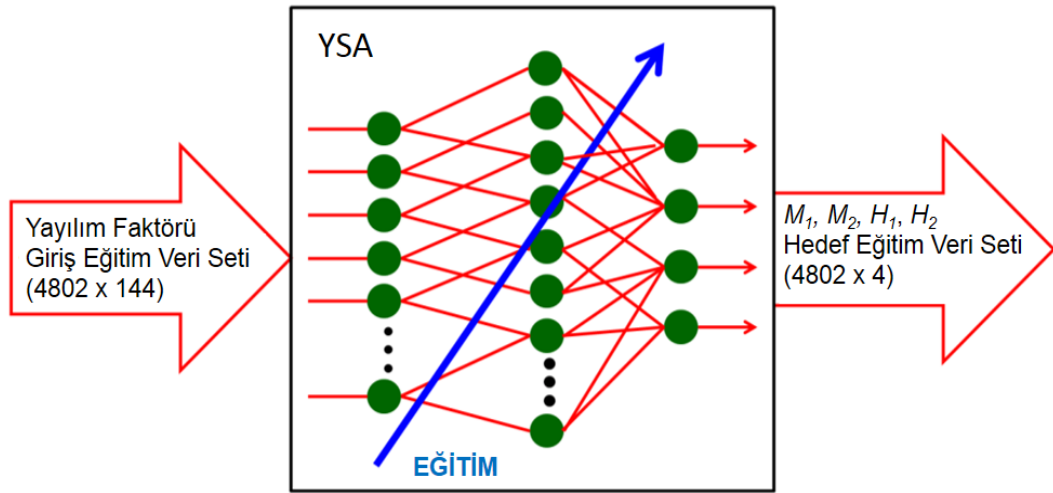
Çizelge 7.2 Benzetim parametreleri

<b>Radars Frekansı</b>	1300 MHz
<b>Yüzey Tipi</b>	Deniz
<b>Mesafe Adımı</b>	463 m
<b>Yükseklik Adımı</b>	1 m
<b>3 dB Hüzme Genişliği</b>	2.10°
<b>Eğilim Açısı</b>	-0.9°
<b>Anten Konuş Yüksekliği</b>	1800 m
<b>Radars Kutuplaşması</b>	Yatay

Yayılm faktörünün radar sinyallerinin atmosferik kırılmaya bağı yüzey seviyesindeki değişimini ifade etmektedir. Yayılm faktörünün radar denkleminde nasıl elde edilebileceği Bölüm 6'da gösterilmiştir.  $H_{env}$  geniş açılı SSPE yayılım modelini temsil etmek üzere, yayılım faktörü aşağıdaki şekilde elde edilmektedir.

$$F(r, m) = H_{env}(M_1, M_2, H_1, H_2) \quad (7.1)$$

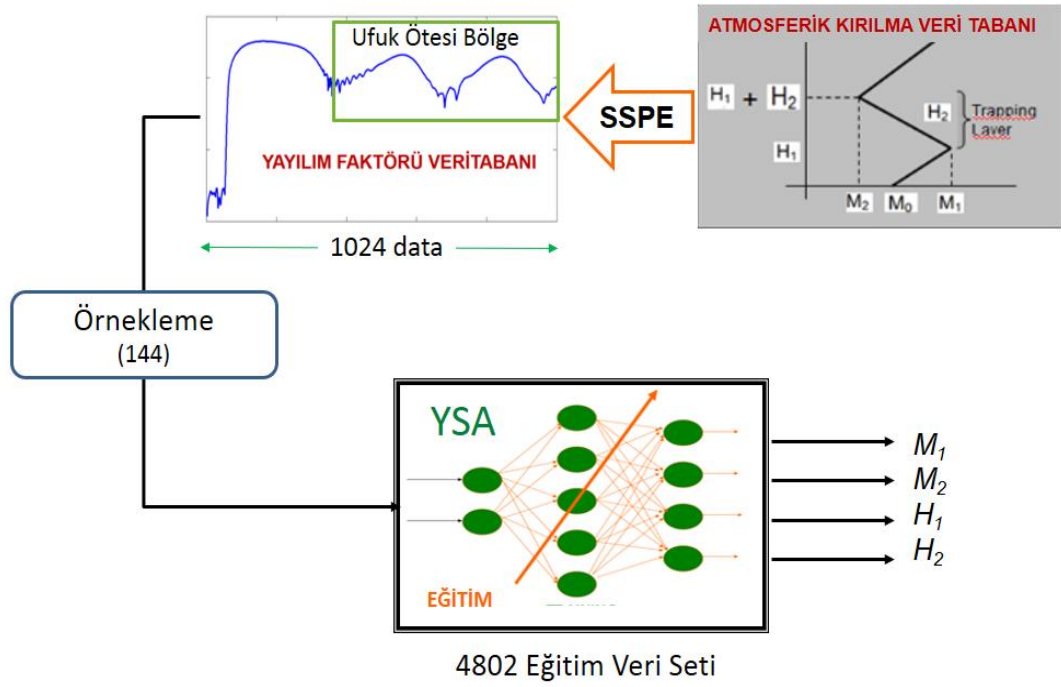
YSA eğitim veri seti şekil 7.3'te görüldüğü gibi 4802 farklı hedef-giriş veri grubundan oluşturulmuştur. Hedef verileri bu veri gurubunu temsil eden ve  $M_1, M_2, H_1$  ve  $H_2$  değerlerinden oluşan 4802x4 boyutunda bir matristir.



şekil 7.3 YSA Mimarisi ve eğitim veri setleri

Giriş eğitim verileri, EM yayılım faktörü eğrisinde yüzey tabanlı oluğun etkisinin daha net gözlemlendiği ufuk ötesi 100-244 deniz mili (NM) arası mesafeden düzenli aralıklarla alınan örneklerle oluşturulmuştur. Yayılm faktörü eğrisi 144 örnek nokta ile temsil edilmiştir. Bu durumda giriş verileri 4802x144 boyutunda bir matristir.

Örnek sayısının yüksek tutulması ile yayılım faktörü eğrisinin hassas temsil edilmesi ve bu yolla daha doğru tahminlerin elde edilmesi hedeflenmiştir. YSA tahmin modelinin hazırlanmasına ilişkin süreçler şekil 7.4'te gösterilmiştir.



Şekil 7.4 YSA tahmin modelinin hazırlanmasına ilişkin süreçler

### 7.3 YSA ile Atmosferik Kırılma Tahmini

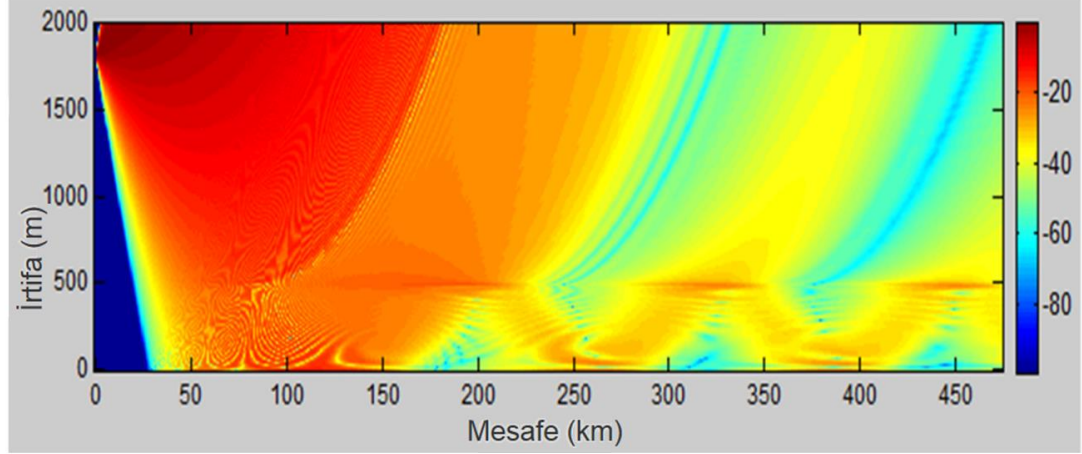
YSA Tahmin Modelinde, tahmine ait yayılım faktörü eğrisinin referans eğriye ne kadar benzediğini gösteren bir maliyet değeri hesaplanmıştır, bu değer ne kadar küçük olursa tahminin o kadar başarılı olduğu varsayılmıştır. Maliyet değerinin “0” olması ise referans eğriyle tahmin değerinin tamamen çakıştığı anlamına gelmektedir.

Yayılım faktörünün 144 noktayla temsil edilmesi, 144 girişli dev bir YSA mimarisi oluşturulmasını gerektirmektedir. YSA gizli katmanındaki nöron sayısı, sistemin giriş sayısı da dikkate alınarak 289 olarak belirlenmiştir. YSA eğitim süresinin 3-4 dakika civarında olduğu, ancak zaman zaman eğitim veri setinden alınan örneklere bağlı olarak 10 dakikanın üstüne de çıkabildiği gözlenmiştir.

YSA'nın atmosferik kırılma tahmin başarımı, çizelge 7.3'de parametre değerleri verilen referans atmosferik koşul ile test edilmiştir. Söz konusu atmosferik koşulun ortaya çıkardığı yüzey bazlı oluk şekil 7.5'te görülmektedir.

Çizelge 7.3 Referans atmosferik koşul parametreleri

<i>Parametreler</i>	$M_1$	$M_2$	$H_1$	$H_2$
	360	320	400	100



Şekil 7.5 Çizelge 7.3'te yer alan referans yüzey tabanlı oluk profilinin, verici yüksekliği 1800 m'de bulunan radarın kaplamasına etkisi

Atmosferik kırılma tahminleri için YSA modeli 16 defa koşturulmuş ve elde edilen sonuçların uyumluluğu gözlemlenmiştir. Her tahmin işleminde eğitim, doğrulama ve test için kullanılan veriler model tarafından veri havuzundan rastgele seçilerek YSA eğitimi tekrarlanmıştır. Sonuçların maliyet değeri eşitlik 6.11 kullanılarak hesaplanmıştır.

Tahminlerle elde edilen atmosferik koşulların karşılık geldiği yayılım faktörü eğrisi ile referans yayılım faktörü eğrisi karşılaştırılarak bir maliyet değeri elde edilmiştir. Elde edilen tahmin sonuçları çizelge 7.4'da sunulmuştur. Çizelge 7.4 incelendiğinde en iyi başarımın 5 numaralı test ile (0.1145), en düşük başarımın ise 2 numaralı test ile elde edildiği (0.5808) görülmektedir. 16 ve 6 numaralı tahminlerde ise başarım değeri eşittir (0.2322). Bununla beraber söz konusu iki test sonucunun parametreleri tamamen farklıdır.

Bu iki koşul referans eğriye benzerlik yönüyle eşit uzaklıkta bulunmaktadırlar. Sonuçlarda diğer bir dikkat çeken husus ise 4 nolu test sonucunun en iyi ikinci başarım

oranına sahip olmasına rağmen, sayısal değer olarak parametrelerin referans değerlere oldukça uzak olmasıdır. Bu durum, farklı oluk koşullarının benzer sinyal yayılım örüntüsüne yol açabileceği tezini ispatlar niteliktedir.

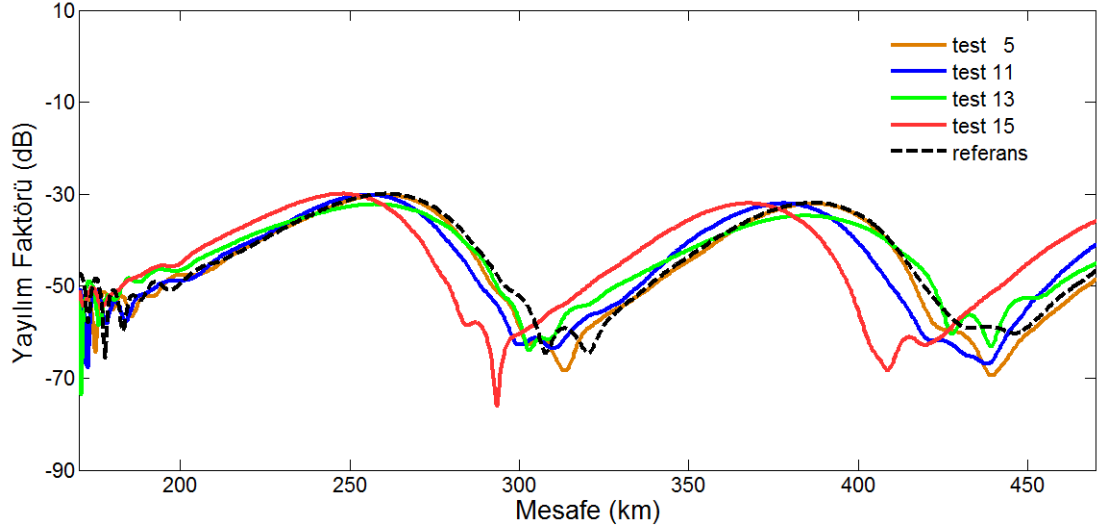
Çizelge 7.4 YSA ile elde edilen atmosferik kırılma tahmin sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7	8
$M_1$	355	374	365	321	357	335	355	354
$M_2$	312	289	309	308	302	309	323	303
$H_1$	400	421	377	410	424	355	418	404
$H_2$	69	6	70	46	75	57	66	44
<b>Maliyet</b>	0.2370	0.5808	0.3445	0.1212	0.1145	0.2322	0.3250	0.4024

	9	10	11	12	13	14	15	16
$M_1$	353	354	326	352	352	356	355	255
$M_2$	315	318	298	304	310	302	305	302
$H_1$	412	356	396	356	403	380	455	424
$H_2$	71	58	79	74	67	52	73	75
<b>Maliyet</b>	0.1322	0.1676	0.2508	0.3602	0.2537	0.4232	0.3234	0.2322

YSA Tahmin Modeli'nin başarımı şekil 7.6'da gösterilmiştir. Şekilde kesikli siyah eğri referans yayılım eğrisidir. Kahverengi eğri ise başarıım oranı en yüksek deneme olan 5 nolu testin sonucunu göstermektedir. Şekilde yer alan 11, 13 ve 15 numaralı testler ise diğer başarıım değerleri hakkında fikir vermektedir. Eğrilerin değişimi birbirine oldukça yakındır, ancak 15 numaralı testte bir yatay kayma söz konusudur. Tahmin sonuçları için asıl önemli nokta ise, eğrilerin tepe bölgelerin çakışmasıdır; çünkü tepe bölgeler radar yansımalarının radar göstergesinde yoğun olarak görüleceği mesafeleri tespit etmektedir. Bu çakışmanın, şekil 7.6'da gösterilen tahminlerde 15. test hariç genel olarak kabul

edilebilir seviyelerde gerçekleştiği, 5 nolu testte ise en iyi çakışmanın olduğu görülmektedir.



şekil 7.6 YSA tahminlerinin referans atmosferik koşul ile karşılaştırılması

Sonuç olarak YSA tahminlerinin doğruluk derecesi tatmin edici niteliktedir. YSA zm süre açısından gerçek zamanlı bir çözüm olarak nitelendirilebilir. Çünkü tahmin süresi çoğunlukla dört dakikadan azdır. Bu süre atmosferik kırılma tahminleri için, özellikle bazen birkaç saat sürebilen radyosonda ölçümleri ile karşılaştırıldığında, oldukça kısa bir süredir. Atmosferin kırılma özelliklerindeki değişim ise genellikle birkaç dakika içinde gerçekleşmez.

## 8. GENETİK ALGORİTMA İLE ATMOSFERİK KIRILMA TAHMİNİ

Genetik algoritma (GA) atmosferik kırılma tahmin probleminin çözümü için kullanılan popüler optimizasyon yöntemlerinden birisidir. GA bu amaçla ilk defa Gerstoft vd. (2003b) tarafından yılında kullanılmıştır. Önceki yıllarda aynı bilim adamı tarafından Simulated Annealing / Genetik Algoritma (SAGA) hibrit çözümü bir ters dönüşün problemine başarılı bir şekilde uygulanmıştır (Gerstoft 1997). GA, RFC tekniği geliştirilmeden önce atmosferik kırılma tahmini konusunda elektromanyetik yayılım eşleştirme yöntemi için bir küresel optimizasyon çözümü olarak zaten denenmiş bir yöntemdir (Gingras vd. 1997, Gerstoft vd. 2000). Yardım vd. (2007) daha sonra bir genetik algoritma ve Markov Chain Monte Carlo hibrid modeli geliştirerek denizlerde meydana gelen olukların tahmini için kullanmışlardır. Zhao (2012), RFC problemini çok parametrelili bir optimizasyon sorunu olarak düzenlemiş, buharlaşma oluşunun yükseklik tahmini ve sinyal kaynağının yerinin tespit edilmesi için genetik algoritmayı kullanmıştır. Grimes ve Hackett (2014) ise, GA yöntemini bir ters dönüşüm yöntemi olarak kullanarak buharlaşma oluşunu tanımlayan sabitleri incelemişlerdir.

### 8.1 Bir Optimizasyon Yöntemi Olarak Genetik Algoritma

Genetik algoritmalar hem doğal seçim hem de doğal genetikten esinlenen sayısal arama veya optimizasyon yöntemleridir. Bir nümerik araştırma probleminde, çözüm kümesi genellikle oldukça büyük boyutlarda hatta sonsuz büyüklükte olabilir. Bu çözüm kümesi içinden problemi karşılayan tam veya tama yakın kabul edilebilir bir çözüm noktasının araştırılması ve bulunması istenir. GA, bu tür problemler için ideal olup, son derece geniş bir problem yelpazesine uygulanabilen genel bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır (Coley 1999). Bir bilgisayar kullanarak bir genetik algoritma geliştiren ilk kişi Holland (1975)'dir. Daha sonra öğrencisi olan Goldberg (1989), GA'lar hakkında bir kitap yayınlamış ve bu yöntemin çeşitli problemleri çözmekte kullanılabileceğini kanıtlamıştır. Koza (1992) ise genetik programlamanın standartlarını ortaya koymuştur.

Bu tez çalışmasında ele alınan problemin GA tahmin modeli ile çözülmesi için hazırlanan 4 adet kırılma parametresi ( $M_1$ ,  $M_2$ ,  $H_1$  ve  $H_2$ ) küresel çözüm kümesinin sınırları çizelge

8.1’de yer almaktadır. Eğer parametre çözünürlüğü tam sayılarla sınırlanır ve "1" olarak alınır küresel arama kümesinin  $64 \times 64 \times 1024 \times 128 = 536,870,912$  adet elemanı olur. Eğer parametre çözünürlüğü "0.1" olarak kabul edilirse küresel çözüm kümesi yaklaşık olarak  $5.36 \times 10^{12}$  olur. Parametre çözünürlüğü "1" olarak alındığı durumda ve çözüm için Intel5 3.5 Ghz, 8 GB DDR3 RAM bilgisayar kullanıldığı takdirde tüm olasılıkların hesaplanması ve içlerinden en uygun çözümün bulunması yaklaşık 289 yıl alacaktır. Diğer taraftan bu tezde kullanılan, 2000 m yükseklik ve 470 km mesafelik bir pencere için SSPE hesaplama işlemi yaklaşık olarak 17 s sürmektedir.

Çizelge 8.1 Yüzey tabanlı oluk için modifiye atmosferik kırılma parametre aralığı

<i>M</i> aralığı ( $M_1 - M_2$ )	$H_1$ aralığı	$H_2$ aralığı (İnversiyon Bölgesi)
128	1024	128

## 8.2 GA’nın Oluşturulması

Bu çalışmada, GA popülasyon büyüklüğü 16 olarak alınmıştır. Yüzey tabanlı oluk için çözünürlük YSA ile yapılan tahminlerde olduğu gibi "1" olarak alınarak küresel araştırma uzayı yukarıda hesaplandığı gibi 536.870.912 olarak belirlenmiştir. Problemimizin 4 parametrelili bir çözüm içermesi nedeniyle 4 adet  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $H_1$  ve  $H_2$  alt dizisi tanımlanmıştır. Bu alt dizilerin uzunluğu sırasıyla muhtemel arama havuzlarını ifade etmek bakımından 64, 64, 1024 ve 128’dir. Popülasyondaki üyelerin genetik kromozom uzunluğu ( $L$ ) ise 29 olarak belirlenmiştir. Bu durumda bir popülasyon üyesinin kromozom yapısı şekil 8.1’de görüldüğü gibi olmakta ve kromozom uzunluğu  $L$ ,  $l$  alt diziyi ifade etmek üzere, aşağıdaki gibi belirlenmektedir;

$$L = \sum_{j=1}^4 l_j \quad (8.1)$$



Şekil 8.1 GA popülasyonundaki bir bireyin genetik kromozom yapısı.



Hatırlanacağı üzere kırılma profili  $M$ , bir yüzey tabanlı oluşun karakteristiğini belirlemektedir. Bu durumda dört alt parçası bulunan 29 bitlik bir kromozom GA popülasyonundaki üyelerin karakterini ifade etmektedir. 6'şar bit 64 adet veriden oluşan  $M_1$  ve  $M_2$  küresel araştırma alt kümesine yönelik olarak  $M_1$  ve  $M_2$  parametreleri için tahsis edilmiştir. 10 bit  $H_1$  için 1024 adet veriden oluşan  $H_1$  küresel araştırma alt kümesine yönelik olarak tahsis edilmiştir. 7 bit ise  $H_2$  parametresi için, 128 adet veriden oluşan  $H_2$  küresel araştırma alt kümesine yönelik tahsis edilmiştir. Algoritma tarafından her parametre araştırması birbirinden bağımsız olarak yürütülmektedir. Bununla beraber maliyet hesaplaması tüm kromozom için bir defada yapılmaktadır. Maliyet değeri önceki bölümlerde de değinildiği gibi, maliyet fonksiyonu  $F_M$  tarafından, aday yayılım faktörü ( $F^{can}(r,m)$ ) ve referans yayılım faktörü ( $F^{ref}(r,m)$ ) dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

Başlangıç popülasyonundaki 16 üye, küresel arama uzayından rastgele seçilmiştir. Ebeveyn seçimi (Selection), 16 üyeden maliyet değeri en iyi olan 8 üyenin 16 üyenin arasından ayrılması şeklinde yapılmıştır. Rulet tekerleği seçimi gibi standart GA seçimlerine başvurulmamıştır. Çaprazlama (Crossover) bu 8 üye arasında maliyet değeri sıralamasına göre çiftler şeklinde gruplar oluşturularak yapılmıştır. Çaprazlama işlemi için kesme noktaları şekil 8.2'de sarı çizgilerle ifade edildiği gibi her kromozom için dört farklı pozisyondan, kromozomu oluşturan ve parametreleri temsil eden dört parçaya ayrı ayrı uygulanacak şekilde yapılmıştır. Örneğin, çaprazlama işlemi iki kromozom arasında yapılacaksa; 1 numaralı kromozomun  $M_1$  parçası 3 bit noktasından ikiye bölünerek, ilk yarısı 2 numaralı kromozomun  $M_1$  parçasının 3 bitlik ikinci yarısıyla birleştirilmiştir.  $M_2$ ,  $H_1$  ve  $H_2$  için de benzer işlemler yapılmıştır. Böylece çaprazlama sonucu ortaya çıkan birey, sonraki neslin bir üyesi olarak GA içinde yerini almaktadır.



Şekil 8.2 Kromozomdaki 4 adet kesme noktası

Mutasyon (mutation) işlemi ise sadece çocuk üyelere, genetik çeşitliliği sağlamak ve algoritmanın işleyişi sırasında akışkanlığa katkı sağlamak amacıyla uygulanmıştır.

Mutasyon iki farklı şekilde uygulanmıştır. Birinci mutasyon, kromozom içindeki bazı bitlerin "0" ise "1" veya "1" ise "0" olarak değiştirilmesi şeklinde ve olasılıksal olarak  $P_m = 0.0611$  oranında uygulanmıştır. İkinci mutasyon ise, bir çocuk üyenin kromozomunun tümleyeninin alınması biçiminde uygulanmıştır. Algoritma akışı içinde bazen en güçlü üyenin tüm üyeleri baskılaması söz konusu olabilmekte ve ebeveynlerde genetik çeşitlilik kaybolabilmektedir. Böyle bir durum ortaya çıktığında, GA hedeflenen noktaya ulaşmadan küresel arama uzayında istenmeyen bir noktaya yakınsayabilmektedir. GA'nın işleyişi çizelge 8.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 8.2 Genetik algortimanın işleyişi

Adım No:	İşlem
1	16 üyeli ilk popülasyonun küresel veri havuzundan rastgele seçilmesi
2	Popülasyon bireylerinin maliyet değerlerinin hesaplanması
3	Maliyet değerlerine göre sekiz ebeveyn belirlenmesi
4	Ebeveyn bireyler arasında çaprazlama yapılması ve sekiz yeni bireyin elde edilmesi (çocuk bireyler)
5	Yeni bireylere mutasyon uygulanması
6	Yeni bireylerin maliyet değerlerinin hesaplanması
7	Hedefe ulaşıp ulaşılmadığına dair kriter/kriterlerin kontrol edilmesi
8	Hedefe ulaşıldıysa aramanın sonlandırılması, eğer ulaşılmadıysa adım 2'den döngüye devam edilmesi

### 8.1 GA Tahminleri

Yukarıda ana hatları verilen GA ile, küresel veri uzayından çizelge 7.8'de yer alan referans yüzey tabanlı oluk araştırılmıştır. Araştırmada maliyet değeri için bir kriter belirlenmemiş, ancak GA'nın çalışma süresi 2 saat ile sınırlandırılmıştır.

Algoritma dört defa farklı başlangıç popülasyonlarıyla araştırmasına başlayarak referans atmosferik koşulu aramıştır. Elde edilen her tahminin maliyet değeri, YSA Modelinde

uygulandığı gibi, referans EM yayılım faktörü eğrisiyle gibi başarımlarının hesaplanmasında aynı yöntemi kullanarak karşılaştırılarak hesap edilmiştir. Dört bağımsız deneme için elde edilen sonuçlar maliyet değerleriyle çizelge 8.3'te sunulmuştur.

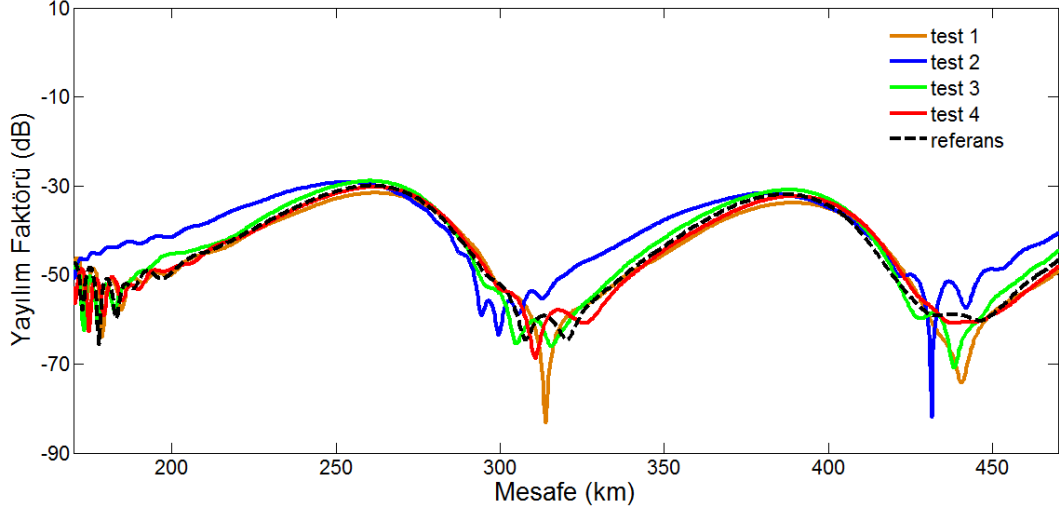
Çizelge 8.3 GA atmosferik kırılma tahmin sonuçları

	<b>Deneme-1</b>	<b>Deneme-2</b>	<b>Deneme-3</b>	<b>Deneme-4</b>
<b><math>M_1</math></b>	372	372	337	368
<b><math>M_2</math></b>	325	322	312	322
<b><math>H_1</math></b>	359	524	457	410
<b><math>H_2</math></b>	128	30	42	108
<b>Maliyet</b>	0.0656	0.1114	0.0338	0.0433

Çizelge 8.3'te görüldüğü gibi en iyi sonuç 3 numaralı deneme ile elde edilmiştir. Bununla beraber elde edilen sonuçlar çizelge 7.4'de yer alan YSA sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, en kötü sonuç olan 2 numaralı deneme sonucunun bile, YSA'nın en iyi sonucu olan 5 numaralı deneme sonucundan daha iyi olduğu görülmektedir. GA sonuçlarının karşılık geldiği yayılım faktörü eğrilerinin referans atmosferik yayılım faktörü ile karşılaştırması şekil 8.3'te verilmiştir. Şekil 8.3'te kesikli eğri referans yayılım faktörünü ifade etmektedir.

GA ile elde edilen her dört sonucun da, atmosferik kırılma tahmini olarak genel anlamda kabul edilebilir olduğu değerlendirilebilir. Önceki bölümde de belirtildiği gibi radar sinyal yayılım haritasında yansımanın gözlemlendiği mesafeler, yayılım faktörünün tepe noktalarıdır. Atmosferik kırılma tahmininde, yayılım eğrilerinin tepe noktalarının çakışması, bu anlamda başarı için temel kriterdir. Buna ilave olarak tepe noktalarının çakışmasıyla birlikte eğrilerin mümkün olduğunca üst üste örtüşebilmesi tahminlerde daha ileri hedeflerdir. Bu noktada GA ile elde edilen sonuçların tatmin edici olduğu söylenebilir. Tahminlerin doğruluk derecesi olarak YSA ile elde edilen tahminlere göre çok daha iyi bir noktaya gelinmiştir. GA hesaplama süresinin düşürülmesi ise donanımsal

ve yazılımsal çözümlerle mümkün olup, tahmin doğruluğunun artırılmasının yanında ikinci derecede öneme sahiptir.



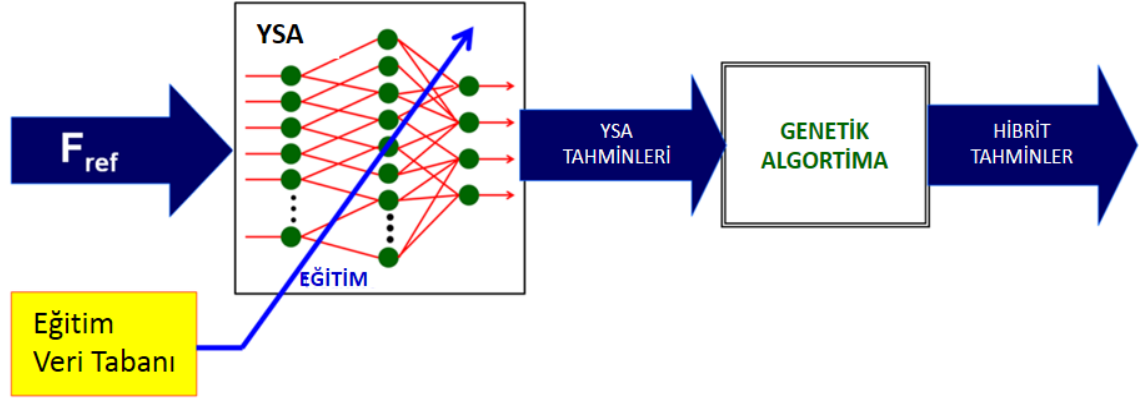
Şekil 8.3 GA ile elde edilen sonuçların referans atmosferik koşul ile karşılaştırması

## 8.2 YSA ve GA Yaklaşımlarının Beraber Kullanılması: Hibrit YSA-GA Modeli

Hibrit tahmin modeli fikri, iki yöntemin kazanımları birleştirilerek daha iyi bir noktaya ulaşılabilir mi sorusundan ortaya çıkmıştır. YSA - GA sinerjisi ile, mevcut elde edilen tahminlerin doğruluğunun daha ileri seviyelere taşınması hedeflenmiştir.

Yukarıda belirtildiği gibi, GA'nın başlangıç popülasyonu küresel veri uzayından rasgele seçilen 16 atmosferik koşuldandır. Genetik algoritma seçim aşamasında en iyi sekiz tanesini seçmekte ve çaprazlamalarla küresel veri havuzundan daha iyi alternatifler aramaya devam etmektedir. Oluşturulan hibrit modelde ise, rastgele seçilen başlangıç popülasyonu üyelerinin YSA tahminleri ile oluşturulması hedeflenmiştir. Böyle sıfırdan başlamak yerine çalışılmış ve tahmin değeri bulunan verilerle GA araştırması başlatılmış olmaktadır. YSA-GA Hibrit Modelinin çalışma sistemi şekil 8.4'te gösterilmiştir. Hibrit modelin bir atmosferik tahminin üretilebilmesi için gerekli süre, YSA eğitim ve tahmin süreleri ile 2 saatlik GA çalışma süresinin toplamı,  $t$  zaman olmak üzere aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$t_{tahmin} = 16t_{YSA} + t_{GA} \quad (8.2)$$



Şekil 8.4 YSA-GA Hibrit Modeli

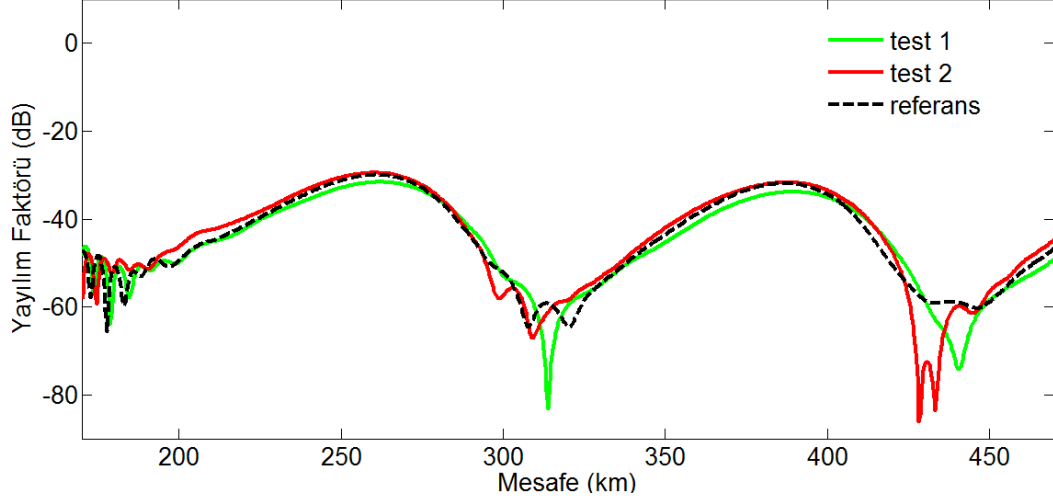
Hibrit model yapılan iki atmosferik kırılma tahmininin sonucu çizelge 8.4’te sunulmuştur. Çizelge 8.4’te yer alan hibrit model tahminleri çizelge 8.3’te yer alan GA tahminleri ile karşılaştırıldığında, hibrit model tahminlerinin yaklaşık 4 kat daha iyi maliyet değerine sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 8.4 Hibrit model tahminleri

	Deneme-1	Deneme-2
$M_1$	353	353
$M_2$	319	319
$H_1$	449	443
$H_2$	48	53
<b>Maliyet</b>	0.0123	0.0109

Hibrit modelin başarımı şekil 8.5’te, elde edilen sonuçların yayılım faktörü ile referans yayılım faktörü karşılaştırması olarak gösterilmiştir. Test ve Referans yayılım faktörü eğrileri arasındaki benzerlik net olarak görülmektedir. Eğrilerin alt kısmındaki farklılıkların nedeni, düşük radar sinyal seviyesine sahip mesafelerden gelen deniz yansımalarının radar gürültü seviyesine yakın ya da altında olmasından

kaynaklamaktadır. Dolayısı ile bu seviyelerde işaretin önemli bir anlamı da bulunmamaktadır.

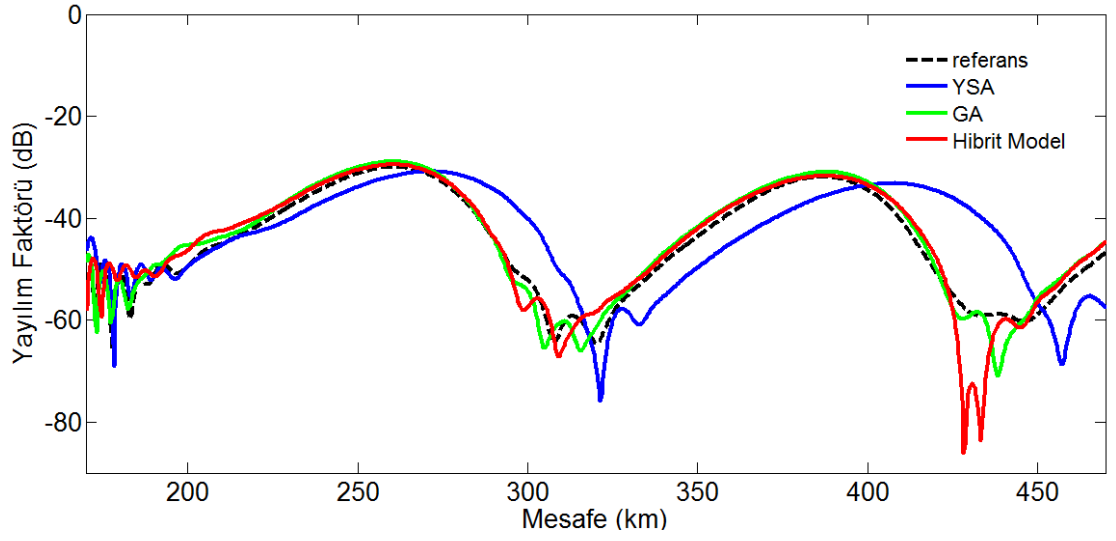


Şekil 8.5 Hibrit Model tahmin sonuçlarının referans atmosferik koşullarla karşılaştırması

Bu noktada şimdiye kadar geliştirilen tahmin yöntemleri ile elde edilen sonuçların özetlenmesi faydalı olacaktır. Hatırlanacağı üzere ilk sunulan YSA modelinden sonra GA modeli geliştirilmiştir. Ardından edilen GA ve YSA modelinden elde edilen kazanımlarla birleştirilerek hibrit bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Her üç yöntemin en iyi iki sonucu çizelge 8.5'te ve bu sonuçların yayılım faktörü eğrileri şekil 8.6'da sunulmuştur. Sunulan üç model karşılaştırıldığında, başarımları sırasıyla Hibrit, GA ve YSA şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 8.5 YSA, GA ve Hibrit Modeller ile üretilen en iyi iki sonucun karşılaştırılması

	YSA		GA		Hibrit	
	1	2	1	2	1	2
$M_1$	357	321	337	368	353	353
$M_2$	323	308	312	322	319	319
$H_1$	418	410	457	410	443	449
$H_2$	66	46	42	108	43	48
<b>Maliyet</b>	0.1145	0.1212	0.0338	0.0433	0.0109	0.0123



Şekil 8.6 YSA, GA ve Hibrit modellerden elde edilen sonuçların referans yayılım faktörü eğrisiyle karşılaştırılması

Literatürde, RFC yönteminde atmosferik kırılma tahmini için geliştirilen birçok yöntem bulunmaktadır. YSA ve GA tahmin modelleri de RFC yönteminde önceden kullanılmıştır. Ancak YSA-GA hibrit atmosferik kırılma tahmin modeli ilk defa bu çalışmada sunulmuştur.

Çalışmanın sonraki bölümünde, YSA ve GA atmosferik tahmin modelleri, tahmin etkinliğinin artırılması amacıyla farklı yaklaşımlarla yeniden kurgulanmıştır. Daha sonraki bölümde ise, yeni YSA ve GA modelleri kullanılarak oluşturulan yeni hibrit modellere yer verilmiştir.

## 9. YSA VE GA ATMOSFERİK KIRILMA TAHMİN MODELLERİNİN YENİDEN DÜZENLENMESİ

Çalışmanın bu bölümünde, önceki tahmin modellerinden edinilen tecrübeyle yeni YSA ve GA yaklaşımları geliştirilmiş, problemin karakteristiğine uygun uyarlamalı modeller ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda, YSA modeli yeniden gözden geçirilmiş, GA modeli ise standart ve uyarlamalı olmak üzere iki farklı yaklaşımla yeniden ele alınmıştır. Bu bölümde geliştirilen modeller özetle aşağıdaki şekildedir:

- Dinamik veri tabanı yaklaşıma dayalı Dinamik Yapay Sinir Ağı (dYSA) Atmosferik Kırılma Tahmin Modeli,
- Tasarımında daha çok teorik yaklaşımların ön planda tutulduğu Standart Genetik Algoritma (sGA) Atmosferik Kırılma Tahmin Modeli,
- GA'nın probleme uyarlandığı, geliştirmesinde bazı teorik GA yaklaşımlarının dışına çıkıldığı Uyarlamalı Genetik Algoritma (aGA) Atmosferik Kırılma Tahmin Modeli.

Bu bölümde ayrıca zaman ve doğruluk olarak iki bileşenli bir başarıım kriteri tanımlanmıştır. Maliyet değeri hesaplamasında ise, dB bazlı hesaplama yerine ondalık sistemde hesaplamaya geçilmiştir. Başarıım kriterlerine ilişkin detaylı bilgiye bölüm içerisinde yer verilmiştir.

### 9.1 Başarıım Kriterinin Belirlenmesi

Atmosferik kırılma konusu, doğası gereği atmosfere sinyal göndererek çalışan hava ve su üstü gözetleme radarları, telsizler ve linkler gibi haberleşme sistemlerinin başarıımı ile doğrudan ilişkilidir. Bir telsiz sistemi ile hangi mesafelerde haberleşme sağlanıp sağlanamayacağıın bilinmesi, radar kör noktalarının veya kaplamasının güçlü olduğu irtifaların farkında olunması her zaman yürütülen faaliyetler için avantaj teşkil edecektir. Bilinmemesi ise sistemlerin başarıım düşüklüklerinin arıza olarak algılanmasına, ekonomik kayıplara ve işgücü kaybına yol açabilecektir. Atmosferik kırılma tahmininin başarıım kriterleri; elektronik sistemin türü, tahminin bilimsel mi, ticari mi yoksa askeri amaçla mı kullanılacağı gibi hususlara bağlı olarak değişebilir. Bu tez çalışması akademik amaçlı olmakla beraber, çalışmayla elde edilen kazanımların pratik hayatta da uygulanabilir olması da hedeflendiğinden başarıım kriteri buna göre belirlenmiştir.



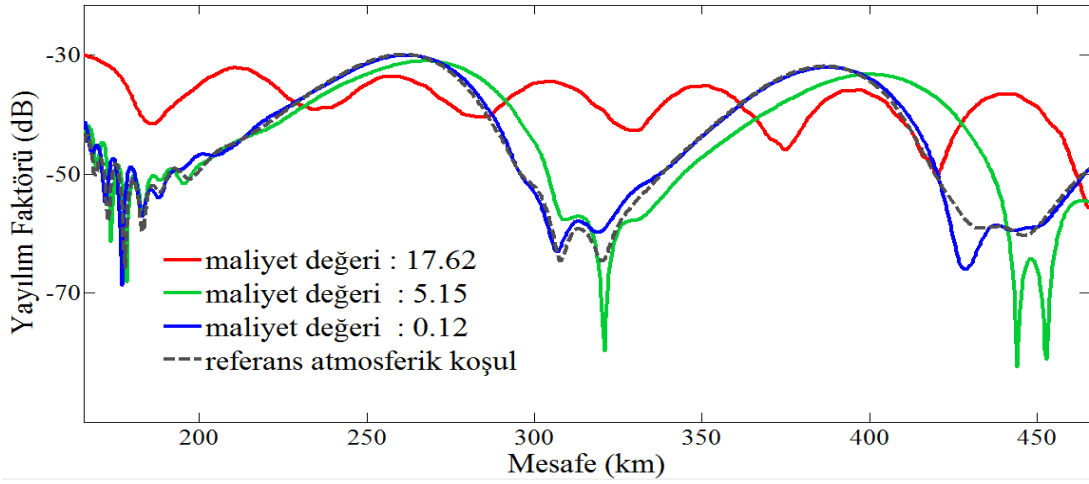
Doğruluk kriteri zaman kriterine göre daha ön planda tutulmuştur. Bunun nedeni; doğruluk derecesinin geliştirilmesinin modelin tasarımıyla ilişkili olması, yani sonradan geliştirmek için algoritmaların kodlarına inilmesi zorunluluğu, zaman kriterinin ise daha çok algoritma harici etkenlerle geliştirilebilir olmasıdır. Örneğin kullanılan bilgisayarın kapasitesi daha iyi olursa veya paralel işlemciler kullanılırsa algoritmalar çok daha hızlı sonuç verebilir. Kapasiteli bilgisayarlar kullanılarak gerçek zamanlı olmayan modeller gerçek zamanlı veya gerçek zamanlıya yakın çalıştırılabilir. Bu nedenle zamansal başarımların kriteri, Bölüm 8’de geliştirilen GA tahmin modelinde olduğu gibi olduğu gibi iki saat olarak belirlenmiştir. İki saatlik zaman dilimi içerisinde doğruluk kriteri sağlandığı takdirde başarılı bir tahmin yapıldığı varsayılmış, iki saatin üzerine çıkıldığında ise tahmin başarısız kabul edilmiştir.

Doğruluk, önceki bölümlerde olduğu gibi maliyet değeri hesaplamasıyla bulunmaktadır. Bununla beraber önceki hesaplamalardan farklı olarak; yayılım faktörü eğrileri arasındaki benzerlik hesaplanırken maliyet değerleri dB değerleri üzerinden değil, ondalık sistem değerlerine dönüştürülerek hesaplanmıştır. Yayılım faktörü eğrisinin, ondalık değerleri ile yapılan maliyet hesaplaması ile daha yüksek hassasiyet sağlanmış olmaktadır. Hesaplamalar sırasında, eğrilerin en büyük ve en küçük değerleri arasında 10.000 kat kadar fark ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle algoritmanın önceliği yayılım faktörü eğrilerin doğal olarak tepe noktalarının karşılaştırılması olmaktadır. Deniz yüzeyi yansımalarından faydalanarak atmosferik kırılmanın tahmininde elektromanyetik dalganın yansımalarının yerlerinin hassas olarak belirlenmesi esastır. Çünkü radar göstergesindeki yansıma haritası oluk karakteristiğinin bir sonucudur. Yani oluk kalınlığı veya şiddeti değiştikçe yansıma haritasının şekli de buna uygun olarak değişmektedir.

Bu bakış açısıyla doğruluk değeri daha hassas olarak yeniden tanımlanmış ve başarımların kriteri için bu değer “1” olarak alınmıştır. Başarımların doğruluk değerlerine ilişkin fikir vermesi amacıyla şekil 9.1 hazırlanmıştır. Şekil 9.1’de de görüldüğü gibi, yayılım faktörünün tepe noktalarının tam olarak karşılaşmasına öncelik verilmiştir. Başarımlar için belirlenen doğruluk ve zaman kriterlerinin atmosferik kırılma tahmininin amacına veya ihtiyaçlarına uygun olarak güncellenmesi her zaman mümkündür.

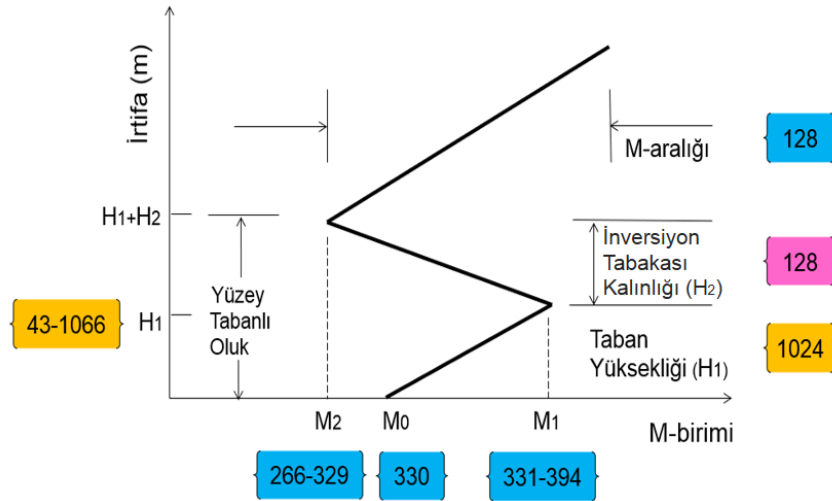
Bu bölümde geliştirilen tüm tahmin algoritmalarının (dYSA dahil) belli bir döngü mantığı

ile çalışması esas alınmıştır. Zaman kriteri çerçevesinde yapılan tahminlerin evrimsel bir mantıkla gelişmesi ve zamanla hedef eğriye doğru yakınsaması için bir çalışma sistemi tesis edilmiştir. Örneğin başlangıç tahminleri şekil 9.1’deki kırmızı eğriyle ifade edilecek olursa, ikinci adımda tahminlerin yeşil eğriye evrilmesi, nihayetinde ise tahminlerin referans eğriyle iyice benzerlik gösteren mavi eğriye dönüşmesi ve çalışmasını başarıyla tamamlaması beklenmektedir. Bu amaçla dYSA modelinde de döngüsel bir sistem düşünülmüş, tahminlerin eğitim veri tabanına ilave edilmesi ve zamanla hedefe daha yakın verilerle eğitilen YSA’nın giderek kendini geliştirmesi hedeflenmiştir. Bu işlem YSA-GA hibrit modellerinde de, tüm GA tahminlerinin YSA eğitim veri tabanına dâhil edilmesi şeklinde uygulanmıştır.



Şekil 9.1 Farklı maliyet değerlerine sahip atmosferik yayılım faktörlerinin karşılaştırılması

Şekil 9.2’de, yüzey tabanlı oluk için üç hatlı atmosferik kırılma profili verilmiştir. Geliştirilen atmosferik kırılma tahmin modellerinde kullanılan parametre aralıkları şekil 9.2’de yer almaktadır. Parametre aralıkları, algoritmaların kodlamalarında kolaylık sağlaması amacıyla ikili sisteme (binary system) uyumlu olarak tekrar düzenlenmiştir.  $M_1$  aralığı 331-394,  $M_2$  aralığı 329-266,  $H_1$  aralığı 42-1065 ve  $H_2$  aralığı 1-128 olarak alınmıştır.  $H_1$  değerinin 42’den başlamasının nedeni, Bölüm 6’da değinilen yüzey tabanlı oluk kalınlığı-radar frekansı ilişkisi ile ilgilidir. Bu durumda, parametre çözünürlüğü “1” alınarak yaklaşık  $5.36 \times 10^8$  büyüklüğünde bir küresel arama uzayı oluşturulmuş bulunmaktadır.



Şekil 9.2 Yüzeysel tabanlı oluğun parametre aralıkları

Bu bölümde geliştirilen tüm modellerin başarı oranı 25 deneysel uygulama sonucunda belirlenmiştir. 2 saatlik süre sınırlaması ve doğruluk değeri kriterinin “1” olduğu düşünüldüğünde, bir tahmin modelinin başarımının testi yaklaşık 50 saat sürmektedir.

## 9.2 Dinamik Yapay Sinir Ağı Modeli ile Atmosferik Kırılma Tahmini

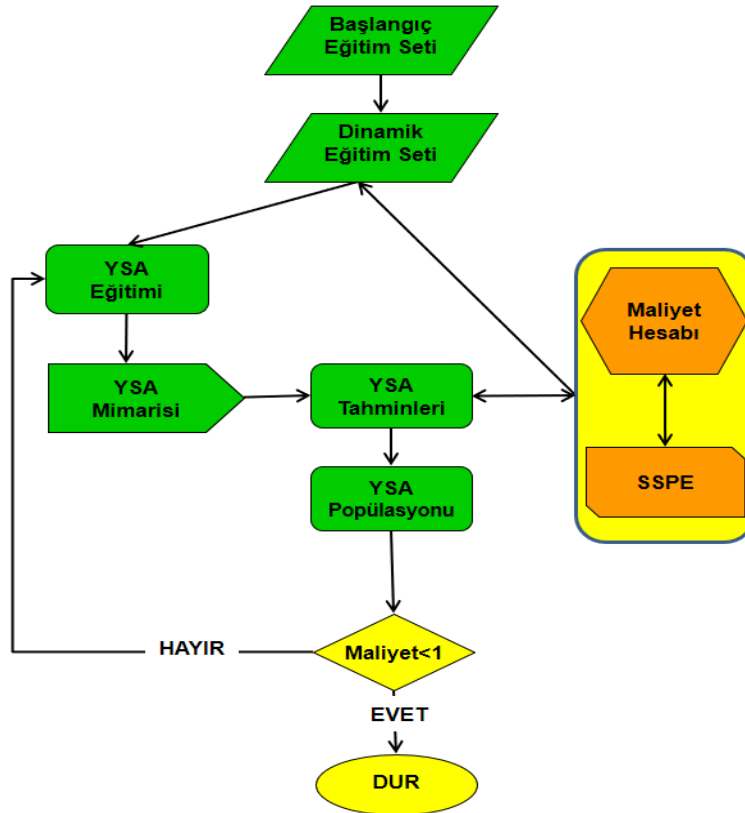
Dinamik Yapay Sinir Ağı (dYSA) modelinin en önemli özelliği dinamik eğitim setine sahip olmasıdır. Eğitim veri seti, devamlı yeni ve daha doğru veriler kabul eden ve kendini geliştiren bir yapıya sahiptir. dYSA çekirdeğini bir adet gizli katmana sahip ileri beslemeli bir sinir ağı oluşturmaktadır. dYSA'nın 144 girişi bulunmakta olup, bu girişler yayılım faktörünün radar ufuk ötesi mesafelerinde yüzeysel seviyesindeki değişimini temsil etmektedir. dYSA'nın 144 giriş sayısı, her bir deniz mili radar mesafesi bir örnekle temsil edilecek şekilde ve SSPE hesaplama çözünürlüğü dikkate alınarak belirlenmiştir. Yayılım faktörü eğrisinin yeterli sayıda noktayla temsil edilmesi tahminlerin doğruluğu açısından önem arz etmektedir. Bununla beraber giriş sayısındaki ve eğitim veri sayısındaki artış dYSA eğitim süresinde geometrik bir artışa neden olabilmektedir. dYSA başlangıç eğitim veri setinde yer alan  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $H_1$  ve  $H_2$  değerleri çizelge 9.1'de görüldüğü gibi güncellenmiş ve sırasıyla 7, 7, 14 ve 8 olarak alınmıştır. Bu yaklaşımda önceki YSA modellerinden farklı olarak parametre aralıkları eşit aralıklı olarak alınmıştır.  $M_0$  değeri

ise yine 330 olarak simülasyona dahil edilmiştir. Başlangıç eğitim setinde toplam  $7 \times 7 \times 14 \times 8 = 5,488$  veri bulunmaktadır.

Çizelge 9.1 Yüzey tabanlı oluğun  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $H_1$  ve  $H_2$  değerleri

$M_1$	334	342	350	358	366	374	382	
$M_2$	326	318	310	302	294	286	278	
$H_1$	70	140	210	280	350	420	490	
	560	630	700	770	880	910	980	
$H_2$	15	30	45	60	75	90	105	120

dYSA şekil 9.3'te sunulan algoritma mantığı ile oluşturulmuş olup, dinamik eğitim seti uygulaması özelliği nedeniyle atmosferik kırılma tahmin problemlerinde yeni bir yaklaşım sunmaktadır. dYSA başlangıç veri setinde bulunan 5,488 veri, her tahmin sonucunun veri tabanına dâhil edilmesiyle devamlı olarak artan ve içerik olarak zenginleşen bir özelliğe sahiptir.



Şekil 9.3 Dinamik YSA algoritması akış diyagramı

Başlangıç veri setinde yer alan verilerin küresel veri uzayında temsil edilme oranı yaklaşık olarak %0.001'dir. Bu nedenle dYSA tahminlerinin mevcut veri tabanında bulunma ihtimali oldukça düşüktür.

144 girişe sahip dYSA'nın bir tahmin döngüsü 3-10 dakika arasında değişmektedir. Hesaplama zaman maliyetini, her tahminin SSPE nedeniyle yaklaşık 17 saniye süren maliyet değeri hesaplaması ve YSA eğitimine harcanan zaman oluşturmaktadır.

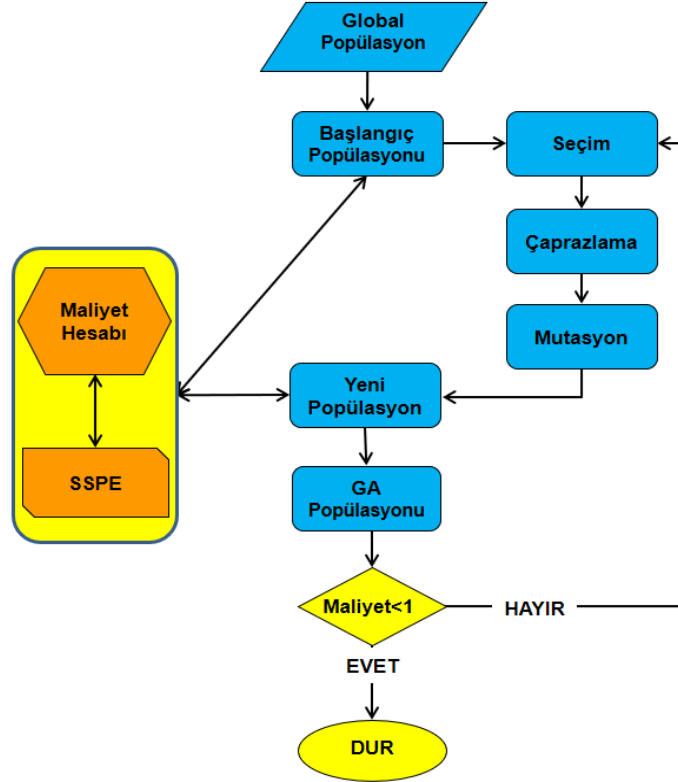
dYSA bir atmosferik kırılma tahmini yaptığında, bu tahminin atmosferik kırılma parametre kümesi ve karşılık gelen EM yayılım faktörü eğitim veri setine dâhil edilmektedir. Örneğin 1 saatlik çalışma süresi sonrasında YSA'nın 20 tahmin yaptığı düşünülürse, dinamik eğitim setindeki veri sayısı 5508'e ulaşmaktadır. Veri sayısında % 0.36'lık bir artış ebetteki kayda değer artışı değildir; ancak, 20 adet ilave veri, referans atmosferik koşul çevresindeki tahminler olmaları nedeniyle nitelikli veri durumundadırlar. dYSA ile yapılan çalışmalarda başarı oranı %36 olarak gerçekleşmiştir.

### **9.3 Standart Genetik Algoritma Modeli ile Atmosferik Kırılma Tahmini**

sGA modeli geliştirilirken geleneksel yaklaşımlara, yani GA teorisine ilişkin temel kurallara bağlı kalınmıştır. Bu çalışmada, rulet tekerleği seçimine (roulette wheel selection) dayanan bir algoritma kullanılmıştır. GA popülasyonundaki kromozom sayısı 16 olarak seçilmiştir. GA, birçok optimizasyon yönteminde olduğu gibi döngüsel ve evrimsel bir çalışma mantığına sahiptir. sGA modeli, her döngüde 16 bireyden oluşan popülasyonu yenilemektedir. Yenilenen popülasyonda, çaprazlama veya mutasyon yoluyla yeni bireyler üretilirken, önceki popülasyonun bazı üyeleri üretilecek yeni nesillere elitizm sayesinde mutasyona uğramadan geçebilmektedir. sGA modelinin yapısının algoritmik akış şeması şekil 9.4'te sunulmuştur.

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen diğer genetik algoritmalar gibi sGA da ikili sayı sistemi mantığıyla çalışmaktadır. Her kromozom "0" ve "1" temel yapı taşlarından oluşan yapıda ve standart 29 bit uzunluğundadır. 29 bitlik dizinin 6 biti  $M_1$  için, 6 biti  $M_2$  için, 10

biti  $H_1$  için ve 7 biti  $H_2$  için tahsis edilmiştir. Tüm bireylerin çözüme uygunluk değeri önceki bölümlerde detayları verilen maliyet fonksiyonu vasıtasıyla, SSPE algoritması kullanılarak hesaplanmaktadır.



Şekil 9.4 Genetik Algoritma akış diyagramı

Algoritma döngüsü içerisinde sonraki neslin gelecek bireyleri, maliyet değeri hesaplanarak çözüme daha yakın bireylerin seçilme olasılığının daha yüksek olduğu bir süreç ile belirlenmiştir. Seçimde, uygunluk değeriyle seçilme ihtimallerinin doğrusal ilişkili olduğu rulet tekerleği yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde çözüme uygunluk değeri yüksek bireyler birden fazla kez seçilebilir. Her nesilden iki bireye elitizm uygulanmıştır; yani bazı bireyler sonraki nesle direk aktarılmıştır. Her bireyin kromozomu dört bağımsız değişkenden oluştuğundan, her kromozom dört kesim noktasından çaprazlanmıştır. Böylece her değişken bağımsız olarak çaprazlamaya tabi tutulmuş ve sGA kendi arama uzayından en uygun değeri aramıştır.

Bununla beraber her bireyin uygunluk değeri bütüncül olarak hesaplanmış, tüm

parametrelerin beraberce oluşturduğu kümülatif değer kıymetlendirmeye tabi tutulmuştur. Çaprazlama olasılığı 0.75 olarak uygulanmıştır; yani her döngüde 12 yeni birey üretilmiştir. Mutasyon olasılığı 0.0065 olarak, yani her neslin sahip olduğu tüm kromozomlar için 3 bitlik değişim uygulanmıştır. Mutasyona tabi tutulacak bireyler her defasında rastgele seçilmiştir. İlave olarak, kromozom içinde hangi bitin mutasyona uğrayacağı yine rastgele seçilmiştir.

sGA'nın atmosferik kırılma tahmin başarımı % 28 olarak elde edilmiştir. Bu başarımla sGA'nın başarı oranı geleneksel YSA'dan yüksek, dYSA'dan ise daha düşüktür. sGA başarımları daha yüksek beklendiği için, elde edilen başarımlar beklenmedik bir sonuç olarak nitelendirilebilir.

Sonuçlar analiz edildiğinde, sGA tahminlerinin çoğunlukla başarı kriterlerini karşılamayan yerel bir çözüm noktasına yakınsamakta olduğu farkedilmiştir. Bu bulgular, GA tabanlı atmosferik tahmin modelleri ile yapılan akademik bir çalışmanın sonuçları ile örtüşmektedir (Ai-guo vd. 2006). Söz konusu çalışmada, GA'nın küresel arama uzayını kontrol etme konusunda iyi bir yeteneğe sahip olduğuna işaret edilmiş, bununla beraber çok erken yakınsama riskine sahip olduğuna da dikkat çekilmiştir. Değerlendirmelerde, algoritmanın daha iyi tahminler bulmak için veri uzayında diğer arama bölgelerine sıçramakta güçlük çektiği, yerel bir çözüme ulaştıktan sonra (lokal minimum), daha iyi bir çözüm için tek umudun, mutasyon operatörünü kullanarak kromozom genetiğini değiştirmek olduğu belirtilmektedir. Ancak bunun da istenilen başarıyı elde etmek için her zaman yeterli olmadığı vurgulanmaktadır.

Atmosferik kırılma tahmin probleminde 4 bağımsız parametre olması, 4 boyutlu kompleks bir veri düzlemi anlamına gelmektedir. Bu durum klasik GA yaklaşımlarının uygun bir çözüm için yetersiz kalmasına yol açmış olabilir. Diğer taraftan, uygulanan rastgeleliğin sistemin kararlı çalışmasına engel olduğu da düşünülmektedir. Sistemin evrimi içerisinde yeterli derecede kararlılık kazanamadığı, çoğu kez kalıtsal bir gelenek oluşturarak sonuca gidemediği tespit edilmiştir. Bazen de, başarımları için verilen sınırlı zamanda sGA tarafından yeterince döngü üretilmediği, bu nedenle evrimin tamamlanamadığı gözlenmiştir. Bu noktada, küresel araştırma uzayının büyük olmasının da bu sonuca ulaşılmasında etkisinin olabileceği akla gelmektedir.

#### 9.4 Uyarlamalı Genetik Algoritma Modeli ile Atmosferik Kırılma Tahmini

Problem ekseni uyarlamalı yaklaşımda, sGA'dan farklı olarak alışlagelen GA teorilerinin dışına çıkmıştır. Analizlerle tespit edilen problemlerin türüne göre uygulama zamanının ve yerinin değiştiği esnek çözümler üretilmiştir. Bununla beraber, şekil 9.4'de yer alan işleyiş mantığı aGA için de geçerlidir. sGA'nın sorunlu noktaları, yorucu denemelerden ve gözlemlerden sonra tespit edilmiştir. Sorunların üstesinden gelmek için ise alternatif çözümler geliştirilmiştir.

aGA'da yapılan iyileştirme temel olarak; algoritma içinde sistemin akışkanlığının kontrol eden bir iç kontrol sisteminin tesis edilmesi ve başta olasılıksal prosedürler olmak üzere kuralların ihtiyaca göre kontrollü olarak uygulanmasıdır. aGA içindeki kontrol mekanizması, program akışı içinde tahminlerde bir ilerleme olup olmadığını denetlemekte, tekrarlama tespit ettiğinde programa müdahale etmektedir. Sistemin tıkanmasını önlemek amacıyla, geleneksel çaprazlama ve mutasyon yöntemleri değiştirilmiştir. aGA'da sGA'nın olasılıksal yönü azaltılmış, sistem içinde nerede ve ne zaman uyulanacağı belli olan kontrol edilebilir prosedürler geliştirilmiştir. aGA'da rulet tekerleği bazlı seçim sistemi yerine, popülasyon içindeki maliyet değerine göre yapılan sıralamayla uygulanmıştır. Seçim işleminde en iyi sekiz bireyin sonraki nesle intikali garanti altına alınarak, oluşan genetik gelenek korunmaya, sistemde kararlılık sağlanmaya çalışılmıştır. İkinci sekiz birey ise sistemden atılmıştır. Genel politika olarak sistemin kazanımlarının muhafaza edilmeye çalışıldığı, kararlı seyreden bir evrim sürecinin oluşturulmaya çalışıldığı söylenebilir. 4 noktalı çaprazlama sGA ile aynı şekilde uygulanmış, çaprazlama olasılığı ise 0.50'ye düşürülmüştür. Bununla beraber, sonraki nesle geçecek bireyler yalnızca ilk sekiz birey arasından, çaprazlamaya tabi tutularak seçilmiştir. Her döngüde bir sonraki nesil için sekiz yeni birey yaratılmıştır. Çaprazlamada iki farklı genetik kültür oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu yaklaşımla, aGA'nın aynı anda küresel veri uzayındaki iki farklı yerde arama yapması, popülasyon içinde iki farklı genetik alternatif üretilmesi hedeflenmiştir. Birinci alternatifin hedef istikametinde ilerlemekte başarısız olması durumunda, diğer alternatifin bir fırsat yaratması hedeflenmiştir.



aGA'da verimliliğe dayalı esnek mutasyon sistemi uygulanmıştır. Mutasyon yöntemi ve mutasyon ihtimali, normal seyir durumunda sGA'ya benzer tutulmuştur. Bununla birlikte, kurulan kontrol mekanizması sayesinde, verimsizliğin olduğu durumlarda mutasyon oranında ve şeklinde değişikliğe gidilmiştir.

aGA atmosferik kırılma tahmin modelinin başarı oranı %60 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum, sGA'ya göre iki kat gibi bir iyileşmeye karşılık gelmektedir. aGA'nın başarımının dYSA modelinden de daha iyi olduğu görülmektedir.

Bölüm 8'de edinilen hibrit model tecrübesi ışığında elde edilen başarımların geliştirilmesi için, dYSA'nın ile sGA veya aGA birlikteliğinde hibrit tahmin modellerinin de denenmesi kaçınılmaz olmuştur. Sonraki bölümde çalışmalar bu noktaya doğru kaydırılmış, başarı oranının artırılması için yeni YSA-GA hibrit modelleri geliştirilmiştir.

## 10. HİBRİT MODELLER İLE ATMOSFERİK KIRILMA TAHMİNİ

Bu bölümde dYSA, sGA ve aGA tahmin modelleri kullanılarak standart ve uyarlamalı iki yeni hibrit atmosferik kırılma tahmin modeli ortaya konmuştur. Bu hibrit modeller ile, önceki modellerle elde edilen başarımların daha ileri noktalara taşınması hedeflenmiştir. Bu bölümde geliştirilen hibrit modeller aşağıdaki gibidir:

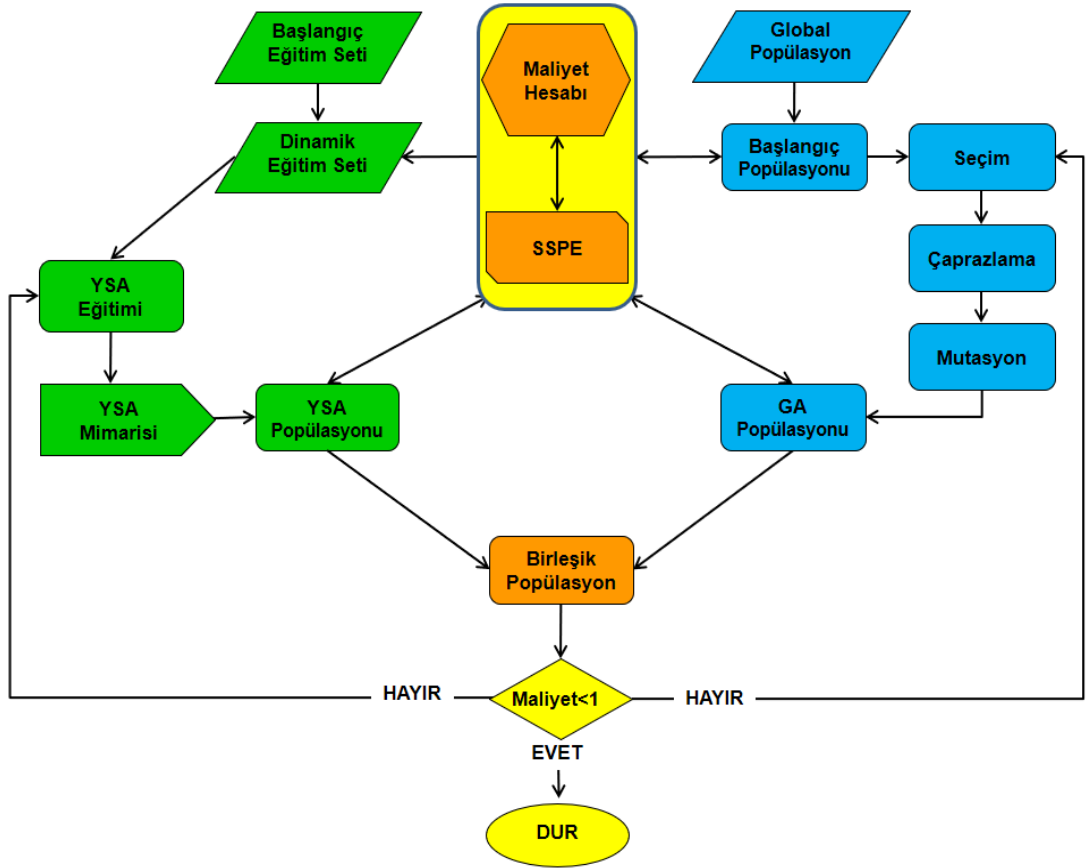
- dYSA ve sGA modellerinin alaşımı şeklinde oluşturulan Standart Hibrit Atmosferik Kırılma Tahmin Modeli (sHM),
- dYSA ve aGA modellerinin alaşımı şeklinde oluşturulan Uyarlamalı Hibrit Atmosferik Kırılma Tahmin Modeli (aHM).

Bu bölümde geliştirilen iki yeni hibrit model ve Bölüm 8’de geliştirilen hibrit model ile beraber tez çalışması kapsamında toplam üç farklı adet hibrit atmosferik kırılma tahmin modeli ortaya konmuş olmaktadır. sHM ve aHM hem mimari açısından hem de kullanılan YSA ve GA’ların yapısı açısından Bölüm 8’deki YSA-GA hibrit yaklaşımından oldukça farklıdır. Ayrıca başarımlar için test kriterleri açısından da iki hibrit yaklaşım arasında önemli farklılıklar söz konusudur.

sHM; sGA ve dYSA tahmin modelleri üzerine kurulmuştur. aHM ise; aGA ve dYSA üzerine kurulmuştur. Geliştirilen hibrit modellerin genel olarak akış diyagramı aynıdır. Farklılık, GA tahmin modelindeki seçim, çaprazlama ve mutasyon uygulamalarından gelmektedir. Hibrit modellerin algoritmik akış diyagramı şekil 10.1’de gösterilmiştir. Dikkat edildiğinde, şekil 10.1’de gösterilen hibrit modelin, şekil 9.3 ve şekil 9.4’te gösterilen modellerin birleştirilmiş hali olduğu rahatlıkla görülebilir. Şekil 10.1’de gösterilen hibrit modelde, ilave olarak bir dYSA popülasyonu ve bir birleştirilmiş popülasyon tanımlanmıştır.

Hibrit mimaride, ilk tahminler GA tarafından yapılmaktadır. Başlangıç popülasyonu rastgele verilerle oluşturulduktan sonra, bireylerin maliyet değerleri SSPE kullanılarak hesaplanmaktadır. Müteakiben maliyet hesaplaması tamamlanan 16 adet ilave veri seti, YSA dinamik veri tabanına ilave edilmektedir. Böylece dYSA eğitim veri tabanındaki 5488 adet veri 5504’e ulaşmış olmaktadır. Daha sonra rutin GA prosedürleri olan seçim,

çaprazlama ve mutasyon işlemleri gerçekleştirilmektedir. Maliyet değeri hesaplanan yeni bireylerin de bilgileri aynı şekilde YSA dinamik veri tabanına ilave edilir. Böylece ilk tahmin döngüsü tamamlandığında, dYSA eğitim veri tabanında sHM için 5516, aHM için 5512 adet eğitim verisine ulaşılmış olmaktadır. Hibrit yapının dYSA tarafı çalışmaya başladığında ise eğitim, tahminler, tahminlerin maliyet değerlerinin hesaplanması işlemleri sırasıyla gerçekleştirilmektedir. dYSA tahminleri de aynen GA tahmin sonuçları gibi dinamik eğitim veri setine ilave edilmektedir.



Şekil 10.1 GA ve YSA ile kurulan hibrit modelin akış diyagramı

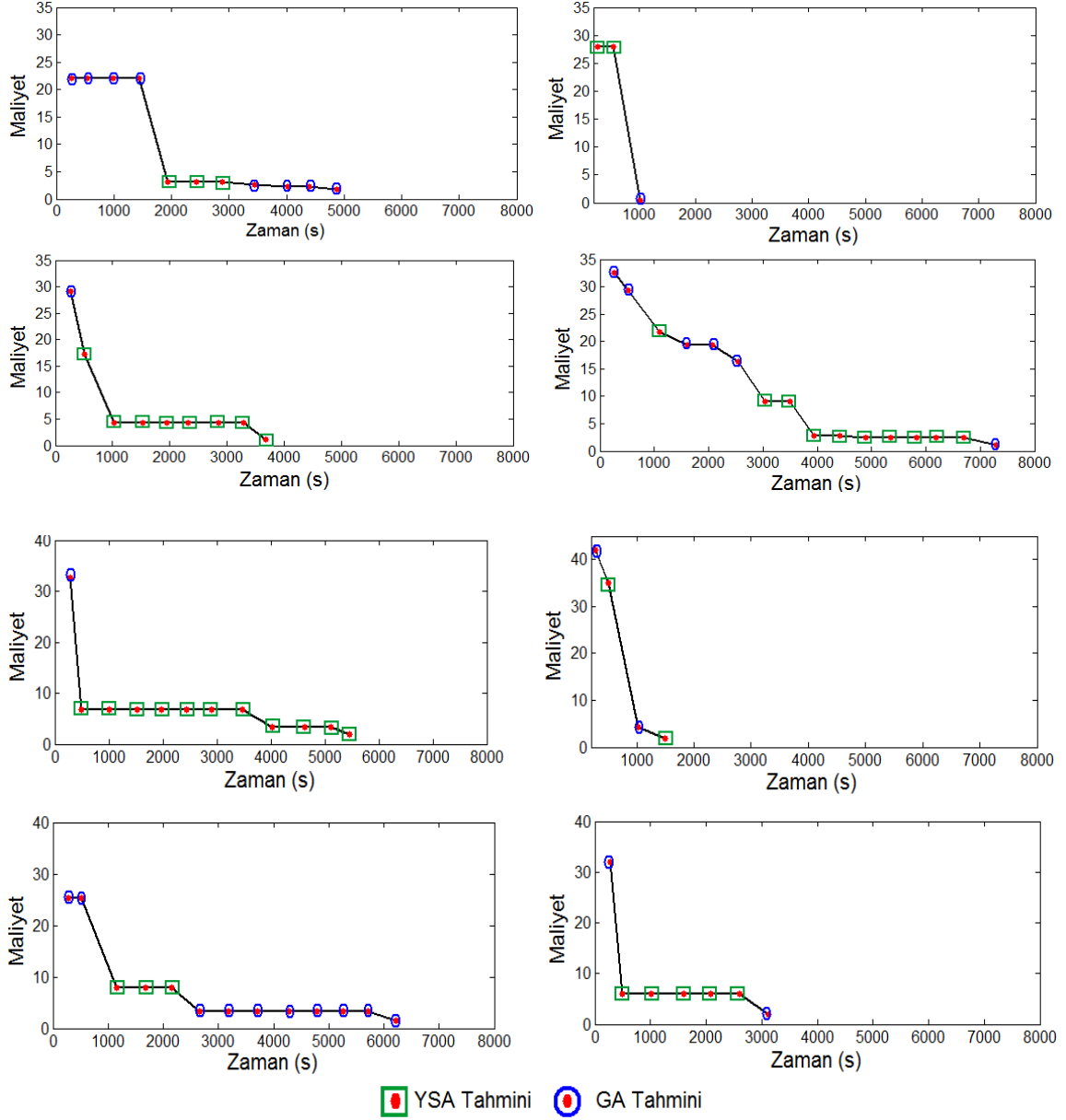
Hibrit mimari içinde dYSA'nın her döngüde birden fazla tahmin yürüterek birleşik popülasyona daha fazla üye ile katılımı sağlanabilir. Bu aşamada, dYSA tahmin yürütme sayısının önerilen modelin başarımını etkileyeceği düşünülmüştür. Birleşik popülasyondaki üye sayısı 16 olduğuna göre, dYSA'nın popülasyona katkısı 1 ile 15 arasında değiştirilebilir. Örneğin, dYSA'nın popülasyona katkısı 1 seçilirse, hibrit

modelin her bir döngüsünde birleşik popülasyon, dYSA' dan 1, GA'dan 16 olmak üzere toplam 17 birey arasından en düşük maliyetli 16 bireyden oluşturulur. dYSA'nın popülasyona katkısının 15 olduğu üst sınırdaki ise, 15 dYSA'dan ve 16'sı GA'dan olmak üzere toplam 31 birey arasından en düşük maliyetli 16 birey ile algoritma birleşik popülasyonu oluşturur. dYSA'nın popülasyona katkısı 1'den 15 sayısına kadar artırılarak modelin başarımı test edilebilir.

GA veya YSA tahminlerinin herhangi birinden sonra maliyet değerine göre eğer başarımla kriteri sağlanmışsa, hangi tarafın tahmini olduğuna bakılmaksızın işlemler sona ermektedir. Aksi halde, algoritma başa dönerek YSA ve GA tahminlerinden maliyet değerine göre 16 bireyden oluşan bir birleşik popülasyon oluşturulmakta ve yeni bir tahmin döngüsü başlatılmaktadır. Bu popülasyon üyeleri maliyet değerine göre seçilmektedir. Yeni döngüde birleşik popülasyon GA için bir başlangıç teşkil etmektedir. Algoritma işledikçe dinamik veri setine mevcut eğitim verilerinden daha iyi maliyet değerine sahip yeni veriler eklenmektedir. Doğal olarak, veri seti zenginleştikçe dYSA tahminleri de daha iyiye doğru gitmektedir. Diğer taraftan YSA tahminleri birleşik popülasyonda genetik çeşitliliğe katkıda bulunmaktadır. Bu da GA'nın yerel bir çözüm noktasına yakınsayarak burada oyalanma ihtimalini düşürmektedir. Yani hibrit modelde YSA ve GA olmak üzere iki farklı tahmin mekanizmasının çalışıyor olması bütüncül algoritmayı global arama sürecinde daha aktif ve verimli kılmaktadır. Döngü sayısı ilerledikçe eğitim veri tabanının zenginleşmesi, bütüncül modelde YSA'nın rolünü arttırmaktadır. Bu durum, zaman zaman beklenenden daha erken sürpriz bir başarımla neden olabilmektedir. Şekil 10.2'de hibrit modelin evrimsel süreçlerine ilişkin bazı örnekler görülmektedir.

Şekil 10.2'deki noktalar birleşik popülasyondaki en iyi tahminleri göstermektedir. Yeşil kareli noktalar YSA tarafından yapılan, mavi dairesel noktalar ise GA tarafından yapılan tahminlerdir. Genel olarak başlangıç popülasyonundaki en iyi tahminlerin maliyet değerleri 25'in üzerinde gerçekleşmektedir. Model işledikçe sistemden genetik olarak daha iyi sonuçlar gelmektedir. Yatay eksen saniye cinsinden zamanı göstermektedir. 7200 saniyenin zaman limiti olduğu göz önüne alındığında bazen 1500 saniyede ve sadece 4 döngüde sonuç alınabilirken, bazen de başarı için 6000 saniyenin üzerinde 10'dan fazla

döngüye ihtiyaç duyulabilmektedir. Noktaların yatay ekseninde değişmeden kalması, birleşik popülasyonun mevcut en iyi değerinin ardışık döngülerle daha iyi sonuca ulaşamaması nedeniyle aynı kalması anlamına gelmektedir.



Şekil 10.2 Hibrit modelin evrimsel süreçlerine ilişkin bazı örnekler

Şekil 10.2’de ayrıca, iki algoritmanın bir işbirliği içerisinde çalıştığı, genetik evrime beraber katkıda bulunduğu görülmektedir. YSA’nın bu işbirliği içindeki rolünün ağırlıklı olarak; hibrit modeli küresel veri uzayında muhtemel çözüm noktalarının yakınına

taşımak olduğu; GA'nın rolünün ise küresel çözüm kümesinin ulaşılan bölgesinde hassas arama yapmak ve sonuca götürecekt noktasal çözümü bulmak olduğu gözlenmiştir. Bununla beraber, dYSA tarafından da şekil 10.2'de de görüldüğü gibi zaman zaman başarıml kriterini sağlayan sürpriz erken tahminler yapılabilmektedir.

### 10.1 Standart Hibrit Model

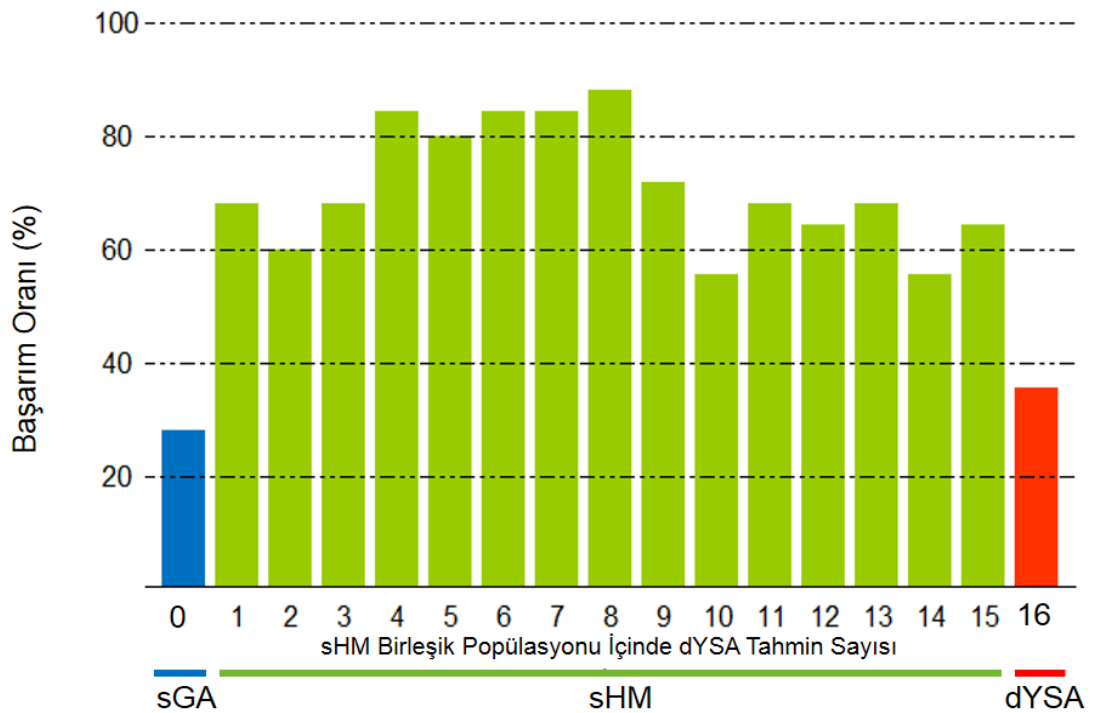
Standart hibrit model (sHM), sGA ve dYSA algoritmalarının işbirliğine dayalı olarak çalışmaktadır. dYSA'nın popülasyona katkısının 1 olduğu, yani her döngüde sadece 1 defa YSA tahmini yapıldığı sHM-1 modelinde başarı oranı %68 olarak elde edilmiştir. Bu başarı oranı; sGA, aGA ve dYSA modelleri düşünüldüğünde şu ana kadar elde edilen en yüksek başarı oranıdır.

sHM'de, yüksek bir başarıml için elde etmek için dYSA'nın birleşik popülasyondaki optimum üye sayısının belirlenmesi önemli bir konu olarak ortaya çıkmıştır. dYSA ardışık yürütülen tahmin sayısı yukarıda da bahsedildiği gibi 1-15 arasında değişebilir. Birleşik popülasyona, farklı üye sayıları ile katılan dYSA'ya sahip hibrit modeller sHM-i olarak ifade edilmiştir. Burada  $i=0,1,2,\dots,15$  sayıları dYSA'nın popülasyona katılan üye sayısıdır. Hibrit modelde dYSA'nın optimum katılım sayısının belirlenmesi için sHM-1'den sHM-15'e kadar oluşturulan her bir model 25'er defa bağımsız ve iki saatlik süre kısıtlaması altında koşturulmuştur. Bu çalışmanın yapılması yaklaşık  $2 \times 25 \times 15 = 750$  saatlik bir iş yükünü beraberinde getirmiştir. Bu da takriben, Intel5 3.5 Ghz, 8 GB DDR3 RAM bilgisayarın 1 aylık çalışma süresine karşılık gelmektedir.

sHM-15 modelinde birleşik popülasyona seçilecek üye sayısı başlangıçta, 15'i dYSA ve 16'sı GA'dan olmak üzere toplam 31'dir. Tüm tahminlerin içinden en iyi maliyet değerine sahip 16 üye bir sonraki tahmin döngüsüne girmektedir. Tüm sHM modelleri için elde edilen başarıml oranları şekil 10.3'te verilmiştir. Şekil 10.3'e karşılaştırma yapılması için, daha önce elde edilen dYSA ve sGA sonuçları da dâhil edilmiştir.

Ardışık dYSA tahmininin hibrit modele katkısının 4-8 arasında değiştiği modellerde başarıml oranı %80'i geçmektedir. dYSA katkı miktarı 9 ve üzeri rakamlara çıktığında

başarı oranı %80'nin altına düşmektedir. Bunun nedeni, YSA eğitimi için harcanan zamanın 2 saatlik sınırlı süre içinde büyük yer tutması ve buna bağlı olarak başarı için yeterli döngü sayısı üretilmeden 2 saatlik sürenin sona ermesidir. Diğer bir ifadeyle genetik evrimin sınırlı sürede tamamlanamamasıdır. En yüksek başarı oranı sHM-8 modelinde, %88 olarak elde edilmiştir. Bu başarı oranı, sGA ve dYSA'nın tek başlarına sağladıkları başarı oranlarının oldukça üzerindedir. sHM başarı oranlarındaki dalgalanmanın, GA tahmin süreçlerinin olasılıksal yönünün fazla olmasından kaynaklanmış olabileceği değerlendirilmektedir.



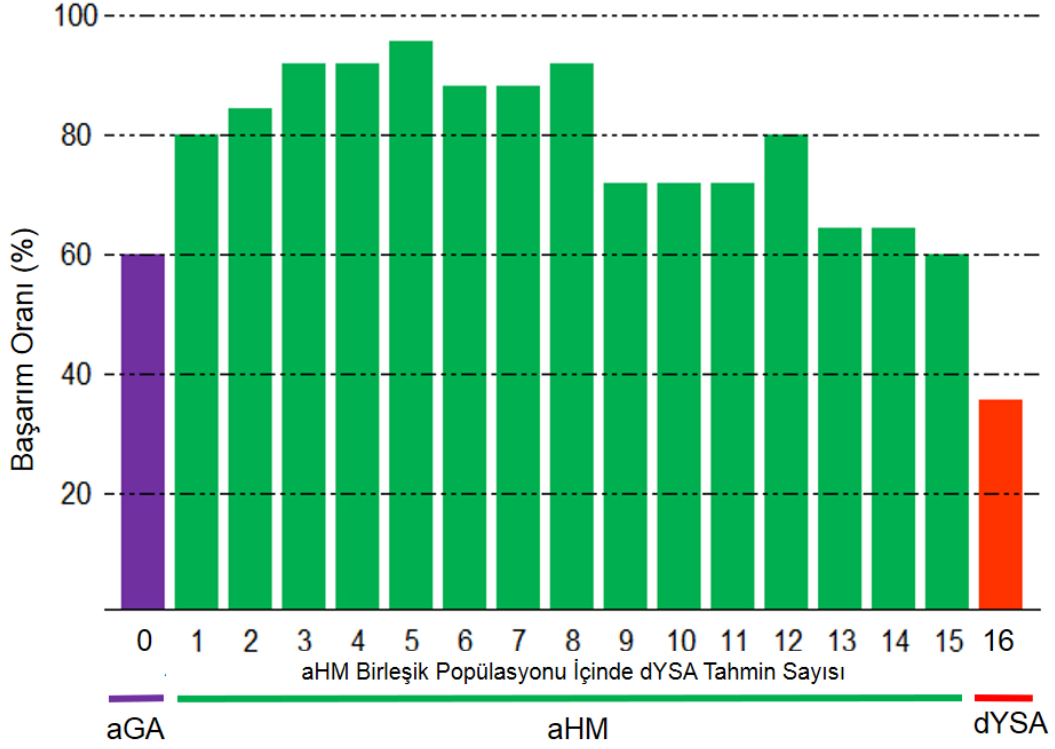
Şekil 10.3 sGA, dYSA ve sHM modellerine ait başarı oranları

## 10.2 Uyarlamalı Hibrit Model (aHM)

aHM, şekil 10.2'de yer alan genel hibrit mimariye uygun olarak oluşturulmuştur. aHM ve sHM aynı dYSA modelini kullanmaktadır. sHM den farklı olarak aHM'de aGA, algoritması yer almaktadır. sHM yapısında olduğu gibi aHM için de optimum dYSA katkısının belirlenmesi önem arz etmektedir. Birbirinden bağımsız 25 defa ve 2 saatlik sınırlı süre altında koşutlanan aHM1-15 modellerine ait başarı oranları şekil 10.4'te verilmiştir. Şekil 10.4'e ayrıca aGA ve dYSA modellerinin sonuçları da karşılaştırma

yapılması amacıyla dahil edilmiştir. aHM-1 için başarı oranı %80 olarak elde edilmiştir. aHM-3 ve aHM-4 için başarı oranı %92, aHM-5 için ise %96 olarak elde edilmiştir. Bu oran ayrıca tüm tahmin modelleri içinde ulaşılan en yüksek başarı oranıdır.

dYSA tahmin sayısı 9 ve üzerine çıktığında başarı oranı %80'nin altına düşmektedir. Şekil 10.3 ile 10.4 karşılaştırıldığında; aHM ile elde edilen sonuçların sHM'den daha iyi seviyede olduğu, aHM başarı oranlarındaki dalgalanmanın daha az olduğu, ya da başka bir deyişle aHM sonuçlarının daha kararlı olduğu görülmektedir. Bu durumun, aHM'nin olasılıksal yönünün sHM'ye göre sınırlandırılmış olmasının kaynaklandığı değerlendirilmektedir.



Şekil 10.4 aGA, dYSA ve aHM modellerine ait başarı oranları

### 10.3 sHM ve aHM ile Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

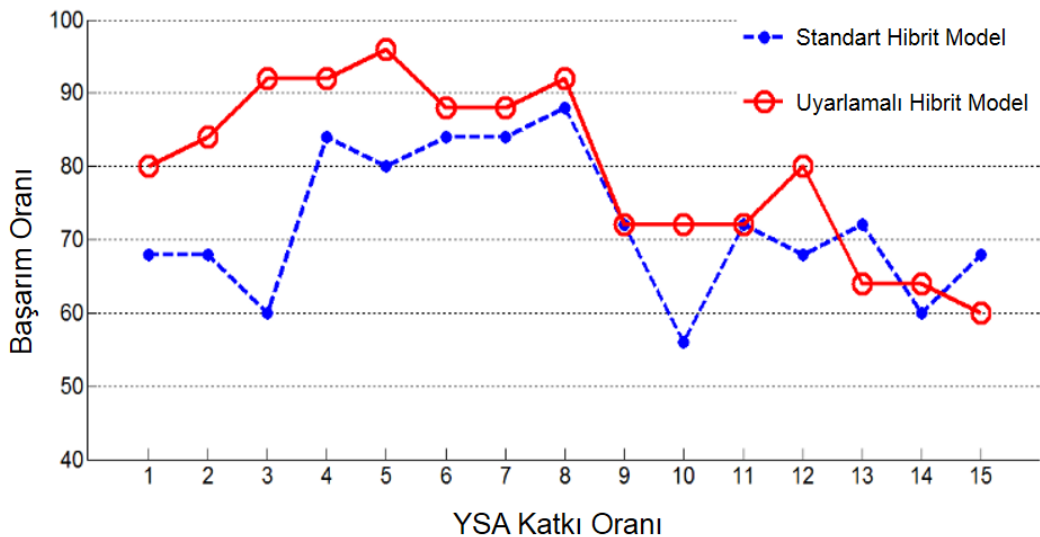
Standart ve uyarlamalı hibrit model başarılarının, YSA katkısına bağlı olarak karşılaştırması şekil 10.5'te gösterilmiştir. aHM başarı oranının 1. modelden itibaren 8.



model de dahil olmak üzere sHM'den daha iyi olduğu görülmektedir. 9. modelden itibaren başarı için 2 saat zaman sınırlaması bulunması nedeniyle, iki hibrit modelin de başarıyı yakalamak için çoğu defa evrimlerini tamamlayamadıkları gözlenmiştir.

YSA'nın hibrit modele katkısı "1" iken sHM başarı oranı %68, aHM başarı oranı ise %80'dir. sHM'nin maksimum başarı oranı 8 numaralı modelde, %88 olarak gerçekleşirken, aHM'nin en yüksek başarıyı 5 numaralı modelde %96 olarak gerçekleştirmiştir. İki modelde de dYSA katkısı belli bir noktayı geçtiğinde başarı oranı düşmektedir. Muhtemelen modelin olasılıksal yönünün daha fazla olması yönüyle sHM başarı eğrisi aHM eğrisine göre daha dalgalıdır.

%80 oranı hava radarlarının başarıyı kıymetlendirmesinde başarı için genel kabul gören bir sınırdır (<http://www.ausairpower.net> 2014). Bu oranın üzerinde hedef takibi yapılması radarın standartlar içinde çalıştığını göstermektedir. Eğer tahmin modelleri için bir başarı sınırı kabul edilecekse bu başarı sınırı radar başarılarında olduğu gibi %80 olarak belirlenebilir. Bu durumda hibrit modellerin ikisinin de genel başarı kriterini karşılayabildiği söylenebilir. sHM'de 4, 5, 6, 7 ve 8 numaralı modeller, aHM'de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 numaralı modeller %80 başarı sınırının üzerindedir.



Şekil 10.5 Standart ve Uyarlamalı Hibrit Model başarılarının, dYSA katkısına bağlı karşılaştırması

Tüm bu çalışmalardan sonra tez kapsamında geliştirilen tahmin modelleri iki ayrı grupta toplayıp sonuçları karşılaştırabiliriz. Çizelge 10.1’de Bölüm 9 ve 10’da sonradan geliştirilen ve maliyetin ondalık ölçekte hesaplandığı tahmin modelleri olan dYSA, sGA, aGA’yı kullanan sHM ve aHM ile elde edilen başarımlar ve bu modellere ilişkin bazı özellikler verilmiştir. Elde edilen başarımlar oranlarına göre en yüksek başarı oranına sahip model %96 ile aHM’dir. Sonra sırasıyla; %88 ile sHM, %60 ile aGA, %36 ile dYSA ve %28 ile sGA gelmektedir.

Çizelge 10.1 Sonradan geliştirilen tahmin modellerinin başarımları

<b>Tahmin Modeli</b>	<b>Özellik</b>	<b>Başarımlar (%)</b>
<b>dYSA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5488 adet eğitim verisi</li> <li>• 25 adet tahmin / 2 saat süre kısıtı ve maliyet değeri kriteri</li> </ul>	36
<b>sGA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standart GA teorisine bağlı tasarım</li> <li>• 25 adet tahmin / 2 saat süre kısıtı ve maliyet değeri kriteri</li> </ul>	28
<b>aGA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probleme özgü adaptasyonlar</li> <li>• 25 adet tahmin / 2 saat süre kısıtı ve maliyet değeri kriteri</li> </ul>	60
<b>sHM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dYSA + sGA hibrit yaklaşımı</li> <li>• 25 adet tahmin / 2 saat süre kısıtı ve maliyet değeri kriteri</li> </ul>	88
<b>aHM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dYSA + aGA hibrit yaklaşımı</li> <li>• 25 adet tahmin / 2 saat süre kısıtı ve maliyet değeri kriteri</li> </ul>	96

Bölüm 7 ve 8’de geliştirilen ilk tahmin modelleri olan YSA, GA Model-1 ve Hibrit Model-1 ile elde edilen sonuçlar ise, süre kısıtlaması olmadan dB ölçeğinde maliyet

hesaplaması yapılarak üretilmişti. Bu tahmin modellerine ilişkin bazı özellikler ve başarımları çizelge 10.2’de verilmiştir. Çizelge 10.2’de görüldüğü gibi en yüksek başarı oranına sahip model Hibrit Model-1’dir. Daha sonra ise GA Model-1 ve YSA gelmektedir.

Çizelge 10.2 İlk tahmin modellerinin başarımları

<b>Tahmin Modeli</b>	<b>Özellik</b>	<b>Başarımları (maliyet)</b>
<b>YSA</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 4802 adet eğitim verisi</li><li>• 16 adet tahmin</li></ul>	0.1145
<b>GA Model-1</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Seçim en iyi 8 üyenin seçilmesi şeklinde</li><li>• 4 adet tahmin / 2 saat süre kısıtı</li></ul>	0.0338
<b>Hibrit Model-1</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• YSA + GA Model 1 hibrit yapısı</li><li>• 2 adet tahmin / 2 saat süre kısıtı</li></ul>	0.0109

## 11. SONUÇ

Atmosferik oluklanmanın tespiti için deniz yüzeyi radar yansımından atmosferik kırılma profilinin tahmini, geleneksel yöntemlerden farklı olarak radarların kullanıldığı sıra dışı bir uygulama tekniğidir. Bu tezin ilk aşamasında, atmosferik kırılma teorisinden başlayarak, oluk türleri, atmosferik kırılmanın elektromanyetik yayılıma etkileri, radar başarımının atmosferik kırılmadan ve deniz yansımından nasıl etkilendiği analiz edilerek teorik bir altyapı hazırlanmıştır. Tezin içerik gelişiminde, literatürde iyi bilinen GIT modeli kullanılarak, çevresel koşulların ve tüm gerçek radar parametrelerinin hesaba katıldığı deniz yüzeyi yansıması ile radar etkileşimi sentezlenmiştir. Atmosferik şartların deniz yüzeyi oluklanması oluşturduğu farklı senaryolarda, bu etkileşimin radar kaplamasına ve başarımına olası tüm etkileri kapsamlıca test edilmiş ve tartışılmıştır.

Deniz yüzeyinin hemen üzerinde oluşan yüzey oluşunun varlığına ve biçimine işaret eden en temel gösterge, yer yüzeyinden yükseldikçe değişim gösteren havanın kırılma indisidir. Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde yüzey oluşunun sıkça görüldüğü düşünüldüğünde, doğrudan radar üzerinden atmosferik kırılma profilinin tahmin edilebilmesi, özellikle hava ve deniz saha güvenliğinde kritik bir konudur.

Tez çalışması kapsamında, atmosferik olukların varlığını ve karakteristiğini tespit etmek için geliştirilen yöntemlerin başlıcaları olan radyosonda, roketsonda, kırılmölçer, doppler radarı, lidar ve GPS sinyallerindeki gecikmenin kullanımı gibi yöntemler incelenmiş, avantaj ve dezavantajlarıyla tartışılmıştır. Oluk tespitinde en önemli hususlar şüphesiz ki kullanılan yöntemin düşük maliyetli olması ve pratik kullanıma sahip olmasıdır. Atmosferik kırılma tahmini için geliştirilen en yeni tekniklerden birisi olan radar yansımından atmosferik kırılmanın tespiti yöntemi, bu özelliklere sahip olmasıyla ön plana çıkmaktadır. Radar yansıması normal şartlarda radar sinyalinin filtrelenmiş ve atılmış kısmı olmasına rağmen, atmosferik kırılma tahmini için giriş verisi olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde, sinyal gücünden veya yayılım faktöründen dikey kırılma parametrelerinin tahmin edilmesi mümkün olmaktadır.

Tez çalışması kapsamında deniz yüzeyi radar yansımından yararlanarak atmosferik kırılmanın tespitine yönelik sekiz adet farklı atmosferik tahmin modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen tüm modellerin, oluklanmaya işaret eden ve kırılma indis profili önceden bilinen referans bir atmosferik kırılma olayını tahmin edebilme performansı test edilmiştir. Atmosferde EM yayılımını modellemek için geniş açılı ayırık adımlı parabolik denklem (SSPE) kullanılmıştır. SSPE kodları, açık kaynak kodlu PETOOL yazılımından alınarak geliştirilmiş ve atmosferik kırılma tahmin modellerinde gömülü olarak kullanılmıştır. Çalışmalarda 1800 m yükseklikte sahile yakın konuşlu, L-bant sanal bir hava gözetleme radarı kullanılmıştır. Atmosferik yayılma ortamı, deniz üzeri olarak seçilmiştir. Referans kırılma ortamı ise yüzey temelli bir atmosferik oluk koşuludur. Çalışmalarda, tahminlerin yürütülmesi için atmosferin kırılma indis profili doğrudan ilişkili yayılım faktörü tercih edilmiş, tahmin edilen kırılma koşuluna ait yayılım faktörü eğrisi ile referans yayılım faktörü eğrisi karşılaştırılarak tahminin başarımı ölçülmüştür.

Atmosferik tahmin modeli geliştirilmesine yönelik yapılan ilk çalışmalarda öncelikle 4802 adet veri ile eğitilen bir YSA modeli kullanılmıştır. Çalışmanın bir sonraki aşamasında ise, farklı bir yöntem olan GA atmosferik kırılma tahmini için kullanılmıştır. GA tahmin modeli ile YSA modelinden yaklaşık 4 kat daha iyi sonuç elde edilmiştir. Sonraki aşamada YSA ve GA tahmin yöntemlerinin beraber kullanılması yoluyla daha yüksek bir başarımlı oranı elde edilebileceği düşünülmüştür. YSA-GA sinerjisi ile bir hibrit tahmin modeli geliştirilmiştir. YSA-GA hibrit atmosferik tahmin modeli ile GA modeli sonuçları karşılaştırıldığında, hibrit model ile daha yüksek başarımlı oranına ulaşıldığı görülmüştür.

Geliştirilen bu ilk tahmin modellerinde hesaplama süresi iki saat ile sınırlandırılmış, ancak bir doğruluk kriteri belirlenmemiştir. Tez çalışmasının sonraki aşamalarında, sınırlandırılmış bu süre içerisinde yayılım faktörü eğrisinin referans eğriye benzerliğinin ölçütü olarak bir doğruluk kriteri belirlenmesinin daha uygun olacağı değerlendirilmiştir. Çalışmanın bu aşamasından itibaren, dinamik veri tabanı yaklaşıma dayalı yeni bir YSA modeli; Dinamik Yapay Sinir Ağı (dYSA) atmosferik kırılma tahmin modeli geliştirilmiştir. Dinamik eğitim veri seti uygulamasında; dYSA tarafından yapılan her yeni kırılma tahmini, veri tabanına ilave edilmekte, bu sayede kendini geliştirebilen bir

YSA modeli oluşturulmaktadır. Belirlenen yeni kriterlerle test edilen dYSA modeli ile %36 başarı oranı elde edilmiştir.

Tezin ilerleyen aşamalarında standart GA (sGA) tahmin modeli üzerinde yeniden çalışılarak Uyarlamalı Genetik Algoritma (aGA) atmosferik kırılma tahmin modeli geliştirilmiştir. Bu model, sGA'daki bazı kuralların, tezin konusunu oluşturan probleme özgü iyileştirilmesi neticesinde geliştirilmiştir. aGA ile elde edilen tahmin başarımları %60 olup bu başarımların %28 olan sGA başarımlarının iki katından fazladır.

dYSA, sGA ve aGA tahmin modelleri kullanılarak standart ve uyarlamalı olmak üzere iki yeni hibrit atmosferik kırılma tahmin modelinin geliştirildiği ve test edildiği çalışmalara tezin 10. bölümünde yer verilmiştir. dYSA ve sGA modellerinin birleşimi ile oluşturulan Standart Hibrit Model (sHM), dYSA ve sGA'nın tek başlarına sağladıkları başarımdan daha yüksek bir başarımlar göstermiştir. Ayrıca, bu hibrit modelde birleşik popülasyona dYSA tahmin katkısı 1'den 15'e kadar değiştirilerek daha yüksek başarımların elde edilebileceği gösterilmiştir. En yüksek başarımların oranı sHM-8 modelinde, %88 olarak elde edilmiştir.

Diğer hibrit model olan Uyarlamalı Hibrit Model (aHM) ise dYSA ve aGA modellerinin birleşimi ile geliştirilmiştir. aHM, dYSA ve sGA'nın tek başlarına sağladıkları başarımdan daha yüksek bir başarımlar göstermiştir. dYSA tahmin katkısının 5 olduğu aHM-5 modelinde %96'ya ulaşan oldukça yüksek bir başarımlar oranı elde edilmiştir.

Çoğu tahmin algoritmalarında olduğu gibi rastgele seçilen başlangıç verisi ve özellikle GA'daki Rulet tekerleği gibi rastlantısal süreçler algoritmaların başarımlarını etkileyebilmektedir. Raslantısal süreçlerin algoritma performansına etkisini en aza indirmek için geliştirilen her bir model 25 defa bağımsız çalıştırılmış ve elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak başarımlar oranı belirlenmiştir. Geliştirilen hibrit modeller, atmosferik kırılma tahmini için ilk defa bu çalışmada kullanılmıştır. YSA ve GA veri tabanları herhangi bir kaynaktan temin edilmeyip, problem analizlerine dayalı olarak çalışma kapsamında oluşturulmuştur. YSA eğitimi için dinamik eğitim veri seti uygulaması da yine bu alanda yeni bir yaklaşımdır. aGA ile yapılan çalışmalarda, tahmin

başarı oranının arttırılması amacıyla genetik algoritmanın işleyişi tamamen probleme özgü hale getirilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında atmosferik kırılma profilinin tahmini için geliştirilen modeller, yapılacak bazı geliştirme ve düzenlemelerle gerçek bir radar sistemiyle entegre çalıştırılabilir; gerçek zamanlı, gerçek zamanlıya yakın veya gerçek zamanlı olmayan atmosferik kırılma tahminlerinde kullanılabilir. Bu çalışmanın devamı niteliinde, tez kapsamında geliştirilen modeller sadece yüzey tabanlı oluk değil, her türlü atmosferik kırılma tahminini yapabilecek şekilde geliştirilebilir. Tahmin modelleri yansıma modelleriyle uyumlandırılarak gerçek radar sinyallerini kullanabilir hale getirilebilir. Bunlara ek olarak, geliştirilen tahmin modelleri yeni gelişen bilgisayar sistemleri ve paralel işlemci gibi hızlı hesaplama teknikleri ile kullanılarak daha yüksek başarı oranlarına ulaşılabilir veya başarıım için uygulanan iki saatlik test çalıştırma süresi dakikalar mertebesine düşürülebilir.

## KAYNAKLAR

- Ai-guo, L., Hao, C., Ze-min, X. and Mo, Z. 2006. Estimation of refractivity profile from radar sea clutter and key problems. CIE International Conference on Radar. 16-19 October 2006; Shanghai, China.
- Anonim. 2004. Meteoroloji Ders Kitabı. 2017. Web Sitesi : <https://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=atmosfer>, Erişim Tarihi: 04.12.2017.
- Anonim. 2014. Web Sitesi : [http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/kurumsal/yayinlar/sivil\\_havacilik-balon\\_ders\\_kitabi.pdf](http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/kurumsal/yayinlar/sivil_havacilik-balon_ders_kitabi.pdf), Erişim Tarihi: 16.11.2017.
- Anonim. 2017a. Web Sitesi : <https://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=atmosfer>, Erişim Tarihi: 04.12.2017.
- Anonim. 2017b. Web Sitesi : <https://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=atmosfer>, Erişim Tarihi: 04.12.2017.
- Anonymous. 2003. Web Sitesi : <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>, Erişim Tarihi: 04.02.2013.
- Anonymous. 2004. Coupled Ocean/Atmosphere Mesoscale Prediction System (COAMPS). Naval Research Laboratory Marine Metrology Division, Monterey.
- Anonymous. 2014. Web Sitesi : <http://www.airspacepower.net/APA-PLA-IADS-Radars.html>, Erişim Tarihi: 26.01.2018.
- Arıkan, F. and Reamer, H. 1996. A methodology for modeling and simulation of radar clutter and multipath. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 10(2); 215-242.
- Arıkan, F. 1998. Statistics of simulated ocean clutter. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 12(4); 499-526.



- Arıkan, F. and Vural, N. 2005. Simulation of sea clutter at various frequency bands. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 19(4); 529-542.
- Antipov, I. 1998. Simulation of sea surface returns. Defence Science and Technology Organization, DSTR-TR-0679, Salisbury.
- Atkins, 2010. Web Sitesi : <http://apollo.lsc.vsc.edu/classes/met130>, Erişim Tarihi: 04.12.2015.
- Barrios, A.E. 1992a. Parabolic equation modeling in horizontally inhomogeneous environments. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 40(7); 791-797.
- Barrios, A.E. 1992b. Terrain modelling using the split-step parabolic equation method. *IEEE International Conference Radar 92*. 12-13 October 1992; Brighton, UK.
- Barrios, A.E. 1994. A terrain parabolic equation model for propagation in the troposphere. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 42(1); 90-98.
- Cairns-McFeeters, E.L. 1992. Effects of Surface-Based Ducts on Electromagnetic Systems. Master's thesis. Naval Postgraduate School, California.
- Coley, D.A. 1999. An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers. World Scientific Publishing, Singapore.
- Da Silveira, R.B. and Holt, A.R. 2001. An automatic identification of clutter and anomalous propagation in polarization-diversity weather radar data using neural networks. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(8); 1777-1788.
- Davidson, K.L. 2003. Assessment Of Atmospheric Factors in EM/EO Propagation. Course Notes. Naval Postgraduate School Department of Meteorology, Monterey, California.
- Dockery, G.D. 1988. Modeling electromagnetic wave propagation in the troposphere using the parabolic equation. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 36(10); 1464-1470.

- Dockery, G.D. 1990. Method for modeling sea surface clutter in complicated propagation environment. *IEEE Proc. Radar Signal Processing*, 137(2); 73-79.
- Douvenot, R., Fabbro, V., Gerstoft, P., Bourlier, and C. Saillard, J. 2008. A duct mapping method using least square support vector machines. *Radio Science*, 43(6); 1-12.
- Douvenot, R., Fabbro, V., Gerstoft, P., Bourlier, C., Saillard, J. 2010. Real time refractivity from clutter using a best fit approach improved with physical information. *Radio Science*, 45(1); 1-13.
- Douvenot, R., Fabbro, V. and Elis, K. 2014a. Parameter-based rules for the definition of detectable ducts for an RFC system. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 62(11); 5696-5705.
- Douvenot, R., Fabbro, V. and Hurtaud, Y. 2014b. the detectable double atmospheric ducts for RFC. *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI)*. 6-11 July 2014; Memphis, TN, USA.
- Fabbro, V., Förster, J., Biegel, G., Böhler, C.O., Gallus, M., Ulland, A., Brehm, T., Marcellin, J.P., Boulanger, X., Castanet, L., Danklmayer, A. and Hurtaud, Y. 2015. MARLENE: Mediterranean RFC and sea clutter environmental experiment. 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP). 13-17 April 2015; Lisbon, Portugal.
- Ford, B. 2005. *Atmospheric Refraction: How Electromagnetic Waves Bending The Atmosphere and Why It Matters*. Naval Postgraduate School, Monterey, California.
- Gerstoft, P. 1997. *SAGA Users Guide 2.0, An Inversion Software Package*. SACLANT Undersea Research Centre. La Spezia, Italy.
- Gerstoft, P., Gingras, D.F., Rogers, L.T. and Hodgkiss, W.S. 2000. Estimation of radio refractivity structure using matched-field array processing. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 48(3); 345-356.

- Gerstoft, P., Rogers, L.T., Hodgkiss, W.S. and Wagner L.J. 2003a. Refractivity estimation using multiple elevation angles. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 28(3); 513-525.
- Gerstoft, P., Krolik, J. and Hodgkiss, W.S. 2003b. Inversion for refractivity parameters from radar sea clutter. *Radio Science*, 38 (3); 1-22.
- Gerstoft, P., Yardim, C. and Hodgkiss, W.S. 2007. Statistical maritime radar duct estimation using hybrid genetic algorithm - Markov chain Monte Carlo method. *Radio Science*, 42(3); 1-15.
- Gingras, D.F., Gerstoft, P. and Gerr, N.L. 1997. Electromagnetic matched field processing: Basic concepts and tropospheric simulations. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 45(10), 1536–1545.
- Goldberg, D.A. 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimisation and Machine Learning*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Boston, MA, USA.
- Grecu, M. and Krajewski, W.F. 1999. Detection of anomalous propagation echoes in weather radar data using neural networks. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 37(1); 287-296.
- Grecu, M. and Krajewski, W.F. 2000. An efficient methodology for detection of anomalous propagation echoes in radar reflectivity data using neural networks. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 17; 121-129.
- Grimes, N.G. and Hackett, E. 2014. Examining constants in the paulus - jeske evaporation duct model. United States National Committee of URSI National Radio Science Meeting (USNC-URSI NRSM). 8-11 January 2014; Boulder, CO, USA.
- Hajek, M. 2005. *Neural Networks*. University of KwaZulu, Natal.
- Hansen, W.G. and Mital, R. 2012. *An Improved Empirical Model for Radar Sea Clutter Reflectivity*. Naval Research Laboratory. Washington DC, USA.

- Hardin, R.H. and Tappert, F.D. 1973. Applications of the split-step fourier method to the numerical solution of nonlinear and variable coefficient wave equations. *SIAM Review.*, 15; 423.
- Haykin, S., Stehwien W., Deng, C., Weber, P. and Mann, R. 1991. Classification of radar clutter of radar in an air traffic control environment. *Proceedings of The IEEE*, 79(6); 742-772.
- Haykin, S. 1994. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Mcmillan Press, New York.
- Holland, J.H. 1975. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor: University of Michigan Press, Michigan.
- Hosseinzadeh, S. and Samsunchi, N. 2008. The troposphere refractivity slop determination from propagation loss by the artificial neural networks. *International Symposium on Telecommunications*. 27-28 Aug. 2008; Tehran, Iran.
- Ibeh, G.F. and Agbo, G.A, 2012. Estimation of tropospheric refractivity with artificial neural network at Minna, Nigeria. *Global Journal of Science Frontier Research Interdisciplinary*, 12(1); 8-14.
- Jang, S.R. 1993. ANFIS, Adaptive Network-Based Fuzzy Interference System. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3);665-685.
- Karimian, A., Yardim, C., Gerstoft, P., Hodgkiss, W.S. and Barrios, A.E. 2011. Refractivity estimation from sea clutter: An invited review. *Radio Science*, 46(6); 1-16.
- Karimian, A., Yardim, C., Barrios, E.A., Gerstoft, P. and Hodgkiss, W.S. 2012. Multiple grazing angle sea clutter modeling. *IEEE Trans. Antenna and Propagation*, 60(9); 4408-4417.
- Ko, H.V., Sari, J.W. and Skura, J.P. 1983. Anomalous microwave propagation through atmospheric ducts. *Johns Hopkins APL Technical Digest*, 4(2); 12-26,

- Koza, J.R. 1992. Genetic Programming: on the Programming of Computers by Means of Natural Selection. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Kraut, S., Anderson, R. and Krolik, J.L. 2004. A generalized Karhunen- Loeve basis for efficient estimation of tropospheric refractivity using radar clutter. IEEE Transactions on Signal Process., 52(1); 48-59.
- Kuttler, J.R. and Dockery, G.D. 1991. Theoretical description of the parabolic approximation/Fourier split-step method of representing electromagnetic propagation in the troposphere. Radio Science, 26(2); 381-393.
- Levy, M. 2000. Parabolic Equation Methods for Electromagnetic Wave Propagation. The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom.
- Lowry, A.R., Rocken, C., Sokolovskiy, S.V. and Anderson, K.D. 2002. Vertical profiling of atmospheric refractivity from ground-based GPS. Radio Science, 37(3); 1041–1059.
- Martin, A.L. 2007. VHF and Microwave Propagation Characteristics of Ducts. Web Sitesi: <http://www.df5ai.net/ArticlesDL/VK3KAQDucts2007V3.5.pdf>. Erişim Tarihi 28.12.2017
- Mudroch, M., Pechac, P., Grabner, M. and Kvicera, V. 2008. Classification and prediction of lower troposphere layers influence on RF propagation using artificial neural networks. In ICONIP08 Proceedings, 2008; 893-900.
- Mudroch, M., Pechac, P., Grabner, M. and Kvicera, V. 2009. First results from remote sensing of the atmosphere using artificial neural networks. 3rd European Conference on Antennas and Propagation. 23-27 March 2009; Berlin, Germany.
- Nathanson, F.E., Reilly, J.P. and Cohen, M. 1991. Radar Design Principles. McGraw Hill, New York.
- Ozgun, O., Apaydin, G., Kuzuoglu, M. and Sevgi, L. 2011. PETOOL: MATLAB-based one-way and two-way split step parabolic equation tool for radiowave

- propagation over variable terrain. *Computer Physics Communications*, 182(2011); 2638-2654.
- Pelliccia, F., Bonafoni S. and Basili, P. 2011. Neural networks for arctic atmosphere sounding from radio occultation data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(12); 4846-4855.
- Poisson, J.B., Förster, J., Böhler, C.O., Gallus, M., Ulland, A., Biegel, G., Brehm, T., Danklmayer, A. and Hurtaud, Y. 2016. Analysis of radar sea clutter data acquired during the MARLENE measurement campaign. 2016 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI). 26 June-1 July 2016; Fajardo, Puerto Rico.
- Richter, J.H. 1969. High resolution tropospheric radar sounding. *Radio Science*, 4(12); 1261-1268.
- Richter, J.H. 1994. Sensing of radio refractivity and aerosol extinction. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 8-12 August 1994; Pasadena, CA, USA.
- Rogers, L.T., Hattan, C.P. and Stapleton, J.K. 2000. Estimating evapo-ration duct heights from radar sea echo, *Radio Science*, 35(4); 955-966.
- Rogers, L.T., Jablecki, M. and Gerstoft, P. 2005. Posterior distributions of a statistic propagation loss inferred from radar sea clutter. *Radio Science*, 40(6); 1-14.
- Rojas, R. 1996. *Neural Networks*. Springer-Verlag, Berlin.
- Rowland, J.R., Konstanzer, G.C., Neves, M.R., Miller, R.E., Meyer, J.H. and Rottier, J.R. 1996. SEAWASP: Refractivity characterization using shipboard sensors. *Proceedings of the 1996 Battlespace Atmospherics Conference*. 3-5 December 1996; San Diego, California, USA.
- Skolnik, M.I. 2001. *Introduction to Radar Systems*. McGraw-Hill, New York. 494-495, 503, 507-510 s.
- Skolnik, M.I. 2008. *Radar Handbook*. McGraw-Hill, New York.

- Springer, C.A. 1999. The Gouge on COAMPS: What Is It? Why Use It? How To Use It. Naval Meteorology & Oceanography Command News, 19(2).
- Tarantola, A. 1987. Inverse Problem Theory: Methods for Data Fitting and Model Parameter Estimation. Elsevier Science, New York.
- Tepecik, C. and Navruz, I. 2015. Solving inversion problem for refractivity estimation using artificial neural networks. 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO). 26-28 November 2015; Bursa, Turkey.
- Tepecik, C. 2008. DC-DC Çeviriciler için Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Denetleyici Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- Thomson, D.J. and Chapman, N.R. 1983. A wide-angle split-step algorithm for the parabolic equation. The Journal of the Acoustical Society of America, 74 (1983); 1848–1854.
- Türk, S. 2010. Atmospheric Effects On Communication And Electronic Warfare Systems Within Turkey and Surrounding Areas. Master's thesis. Naval Postgraduate School, California.
- Uslu, M. 2015. Web Sitesi : <http://kod5.org/yapay-sinir-aglari-ysa-nedir/>. Erişim Tarihi: 25.01.2018.
- Vasudevan, S., Anderson, R., Kraut, S., Gerstoft, P., Rogers, L.T. and Krolik, J.L. 2007. Recursive Bayesian electromagnetic refractivity estimation from radar sea clutter. Radio Science, 42(02); 1-19.
- Yardim, C., Gerstoft, P. and Hodgkiss, W. S. 2006., Estimation of radio refractivity from radar clutter using Bayesian Monte Carlo analysis. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 54(4); 1318–1327.
- Yardim, C., Gerstoft, P. and Hodgkiss, W.S. 2007. Atmospheric refractivity tracking from radar clutter using kalman and particle filters. IEEE Radar Conference. 17-20 April 2007; Boston, MA, USA.

- Yardim, C. 2007. Statistical Estimation and Tracking of Refractivity from Radar Clutter. Ph.D. Dissertation. Electrical Engineering, University of California, San Diego.
- Yardim, C., Gerstoft, P. and Hodgkiss, W. S. 2008. Tracking refractivity from clutter using Kalman and particle filters. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 56(4); 1058-1070.
- Yardim, C., Gerstoft, P. and Hodgkiss, W.S. 2009. Sensitivity analysis and performance estimation of refractivity from clutter techniques, *Radio Science*, 44(1).
- Wang, B., Wu, Z.S., Zhao, A. and Wang, H.G. 2009. Retrieving evaporation duct heights from radar sea clutter using particle swarm optimization. *Progress In Electromagnetics Research*, 9; 79–91.
- Willitsford, A. and Philbrick, C.R. 2005. Lidar description of the evaporative duct in ocean environments. *Proceedings of SPIE*. September 2005; Bellingham, WA.
- Zhang, J.P., Wu, Z.S. and Wang, B. 2011a. An adaptive objective function for evaporation duct estimation from radar sea echo. *Chinese Physics Letters*, 28(3).
- Zhao, X. 2012. Evaporation duct height estimation and source localization from field measurements at an array of radio receivers. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 60(2); 1020-1025.
- Zheng, S., Hui, N.J.T., Yong-Jie, X., Peng-Fei, S., Jian-Hua, W. and Ke, W. 2016. Anomalous propagation conditions of electromagnetic wave observed over Bosten Lake, China in July and August, 2014. *Chinese Physics B*, 25(2).



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Cemil TEPECİK

Doğum Yeri : Ordu

Doğum Tarihi : 01.10.1975

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu

Lise : Akpınar Öğretmen Lisesi, Ladik/Samsun (1992)

Lisans : Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü (2002)

Yüksek Lisans : İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı (Eylül 2006-Temmuz 2008)

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Türk Silahlı Kuvvetleri (2003'ten bu yana)

### Yayımlar (SCI)

1. **C. Tepecik**, I. Navruz, "A Novel Hybrid Model for Inversion Problem of Atmospheric Refractivity Estimation", International Journal of Electronics and Communications, vol. 84, pp. 258-264, 2018.

### Ulusal Kongre Sunum

1. **C. Tepecik**, I. Navruz, "Yüzey Oluklanması Durumunda, Frekans ve Konus Yüksekliğinin Radar Performansına Etkileri", IEEE 22. Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı, SIU 2014, 23-25 Nisan 2014, Trabzon.

2. **C. Tepecik**, I. Navruz, “Deniz Yüzey Kargaşası Ortamında Radarlar için Optimum Radar Parametreleri ve Konuş Yerlerinin Belirlenmesi”, VII. URSI Türkiye Bilimsel Kongresi, URSI-2014, 28-30 Ağustos 2014, Elazığ.

#### **Uluslararası Kongre Sunum**

1. **C. Tepecik**, I. Navruz, “Solving Inversion Problem for Refractivity Estimation Using Artificial Neural Networks” International Conference on Electrical and Electronics Engineering, ELECO, Bursa, Turkey, 2015.