

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



**ATMOSFERİK OLUKLAMA VE RADAR MENZİLİNİN  
SAYISAL ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SÜLEYMAN ŞEKER**

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2015**

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



**ATMOSFERİK OLUKLAMA VE RADAR MENZİLİNİN  
SAYISAL ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SÜLEYMAN ŞEKER**

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2015**

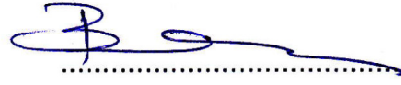
## KABUL VE ONAY SAYFASI

Süleyman ŞEKER tarafından hazırlanan "ATMOSFERİK OLUKLAMA VE RADAR MENZİLİNİN SAYISAL ANALİZİ" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 04.06.2015 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Bayram ESEN



Üye  
Doç. Dr. Serkan ŞİMŞEK



Üye  
Doç. Dr. Metin DEMİRTAŞ



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR



## ÖZET

**ATMOSFERİK OLUKLAMA VE RADAR MENZİLİNİN SAYISAL ANALİZİ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**SÜLEYMAN ŞEKER**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**(TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ. DR. BAYRAM ESEN)**  
**BALIKESİR, HAZİRAN – 2015**

Atmosferik kırılma, radar performansının artmasına ve azalmasına neden olan en önemli dış etkenlerden birisidir. Atmosferik kırılma; atmosferdeki sıcaklık, basınç ve nem parametrelerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Elektromanyetik (EM) enerjinin atmosferdeki yayılım yönü atmosferik kırılma nedeniyle değişebilir ve super kırılma, ters kırılma ve oluklama gibi etkiler ortaya çıkar. Özellikle oluklama durumunda, EM dalgalar atmosferik kırılma değerindeki değişime bağlı olarak atmosferik bir katman içinde hapsolabilir ve bu katman içerisinde radar menzilin çok ötesinde uzun yollar kat edebilirler. Atmosferde üç çeşit oluklama durumu bulunmaktadır. Bunlar; yüzey oluklaması, yükseltilmiş oluklama ve buharlaşma oluklamasıdır. Bu çalışmada söz konusu oluklama türleri için farklı frekanslara sahip radarların performansları, alçak gözlem irtifasında radar denklemi kullanılarak analiz edilmiştir. Radar denkleminde EM dalganın atmosferik kırılma ve mesafeye bağlı değer değişimlerini tanımlayan parametreye yayılım faktörü denmektedir. Çalışmada, EM sinyallerin yayılımını Ayrık Adım Fourier Yöntemi ile modelleyen MATLAB tabanlı bir radar performans analiz yazılımı olan PETOOL programı kullanılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELEER:** oluklama, kırılma, yayılım faktörü, radar denklemi.

## **ABSTRACT**

### **ATMOSPHERIC DUCTING AND NUMERICAL ANALYSIS OF RADAR RANGE**

**MSC THESIS**

**SÜLEYMAN ŞEKER**

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. BAYRAM ESEN)**

**BALIKESİR, JUNE 2015**

Atmospheric refractivity is one of the most important external effect that may have an increase or decrease on radar performance. Atmospheric refractivity depends on temperature, humidity and vapour pressure parameters in atmospheric environment. The direction of propagation of electromagnetic energy may change due to atmospheric refractivity, and super refractivity, adverse refractivity and ducting effects occur. There are three types of ducting effect. These are evaporation duct, surface based duct and elevated duct. In this study, the performance of radars that have different frequencies are analyzed by using radar equation at low altitude observations for aforementioned ducting types. The parameter which defines the changes in EM wave's value that depends on atmospheric refractivity and range is called propagation factor. In this study, a MATLAB based radar performance analyse software is used to model EM signal propagation, called PETOOL which uses Split Step Fourier Transform Method.

**KEYWORDS:** ducting, refractivity, propagation factor, radar equation.

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa**

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	iii
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	iv
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	vi
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	vii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1 Elektromanyetik (EM) Dalga Yayılımı .....	1
1.2 Atmosferik Yayılım .....	2
1.2.1 Yer Dalgaları (Ground Wave) .....	5
1.2.2 Gökyüzü Dalgaları (Sky Wave) .....	6
<b>2. RADAR ÇALIŞMA PRENSİBİ VE RADAR DENKLEMİ</b> .....	7
2.1 Radar Çalışma Prensibi .....	7
2.2 Menzil Mesafesinin Hesaplanması .....	8
2.3 Temel Radar Denklemi .....	9
<b>3. ATMOSFERİK OLUKLAMA</b> .....	17
3.1 Atmosferin Radar Görüş Mesafesine Etkisi .....	17
3.2 Kırılma .....	18
3.3 Oluklama Oluşumu .....	21
3.4 Frekans ile Oluk Kalınlığı İlişkisi .....	23
3.5 Atmosferik Durumların Yayılım Faktörü Analizi .....	25
3.5.1 Standart Atmosfer Durumunda Yayılım Faktörü Analizi .....	25
3.5.2 Buhar Oluşu Durumunda Yayılım Faktörü Analizi .....	28
3.5.3 Yüzey Tabanlı Oluk Durumunda Yayılım Faktörü Analizi .....	31
3.5.4 Yükseltilmiş Oluk Durumunda Yayılım Faktörü Analizi .....	34
<b>4. RADAR DENKLEMİ VE YAYILIM FAKTÖRÜ ANALİZİ</b> .....	38
4.1 Standart Atmosfer Durumunun Radar Denklemi ile Analizi .....	39
4.2 Buharlaştırma Oluklamasının Radar Denklemi ile Analizi .....	40
4.3 Yüzey Tabanlı Oluklamanın Radar Denklemi ile Analizi .....	41
4.4 Yükseltilmiş Oluklamanın Radar Denklemi ile Analizi .....	43
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	45
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	49
<b>7. EKLER</b> .....	52

# ŞEKİL LİSTESİ

## Sayfa

Şekil 1.1: Yük durumuna göre elektrik alan çizgileri [1].....	2
Şekil 1.2: Elektromanyetik dalga (EM) yayılımı .....	2
Şekil 1.3: Elektromanyetik spektrum .....	3
Şekil 1.4: Atmosfer katmanları [2] .....	4
Şekil 1.5: Yer ve Gökyüzü dalgaları [2] .....	5
Şekil 2.1: Radarın temel çalışma prensibi [3] .....	7
Şekil 2.2: Hedefin radar görüş (menzil) mesafesi [4] .....	8
Şekil 2.3: Tepe gücü ile Ortalama güç ilişkisi [5].....	9
Şekil 2.4: Radar kesit alanının düşürülmesi (F-117A Nighthawk) [7] .....	11
Şekil 2.5: Radar sinyalinin yayılım sürecindeki enerji hesabı [5].....	12
Şekil 2.6: Algılama mesafesi ile Hedef kesit alanı ilişkisi .....	15
Şekil 2.7: Algılama mesafesi ile Gönderilen sinyalin tepe gücü ilişkisi .....	15
Şekil 3.1: Radar görüş ufku [8].....	18
Şekil 3.2: Kırılma sonucu oluşan irtifa hatası [2].....	19
Şekil 3.3: Snell kanunu [9].....	19
Şekil 3.4: Kırılma durumları [2].....	20
Şekil 3.5: Ters sıcaklık değişimi [2] .....	22
Şekil 3.6: Frekans aralığı ile oluk kalınlığı ilişkisi [2] .....	24
Şekil 3.7: Standart atmosfer durumundaki düzeltilmiş kırılma indisi.....	25
Şekil 3.8: VHF sinyalinin standart atmosferdeki yayılımı faktörü analizi.....	26
Şekil 3.9: L sinyalinin standart atmosferdeki yayılımı faktörü analizi.....	26
Şekil 3.10: X sinyalinin standart atmosferdeki yayılımı faktörü analizi .....	26
Şekil 3.11: Standart atmosfer durumundaki yayılım faktörü analizi.....	27
Şekil 3.12: Benzer çalışmadaki standart atmosferde yayılım faktörü analizi [9] ...	28
Şekil 3.13: Buhar oluşu durumundaki düzeltilmiş kırılma indisi.....	28
Şekil 3.14: Buharlaştırma oluklaması durumu [2] .....	29
Şekil 3.15: VHF sinyalinin buhar oluşundaki yayılımı faktörü analizi.....	29
Şekil 3.16: L sinyalinin buhar oluşundaki yayılımı faktörü analizi.....	30
Şekil 3.17: X sinyalinin buhar oluşundaki yayılımı faktörü analizi .....	30
Şekil 3.18: Üzerinde arama ve takip radarları bulunan firkateyn (F-491) [10] .....	30
Şekil 3.19: Buhar oluşu durumundaki yayılım faktörü analizi.....	31
Şekil 3.20: (a) Yüzey tabanlı oluk ve (b) Yüzey oluşu durumundaki düzeltilmiş kırılma indisi .....	32
Şekil 3.21: Yüzey tabanlı oluklama durumu [2].....	32
Şekil 3.22: VHF sinyalin yüzey tabanlı oluktaki yayılımı faktörü analizi.....	33
Şekil 3.23: L sinyalin yüzey tabanlı oluktaki yayılımı faktörü analizi.....	33
Şekil 3.24: X sinyalin yüzey tabanlı oluktaki yayılımı faktörü analizi .....	33
Şekil 3.25: Yüzey tabanlı oluk durumundaki yayılım faktörü analizi .....	34
Şekil 3.26: Yükseltilmiş oluk durumundaki düzeltilmiş kırılma indisi.....	34
Şekil 3.27: Yükseltilmiş oluklama durumu [2] .....	35
Şekil 3.28: VHF sinyalinin yükseltilmiş oluktaki yayılımı faktörü.....	35
Şekil 3.29: L sinyalinin yükseltilmiş oluktaki yayılımı faktörü.....	35
Şekil 3.30: X sinyalinin yükseltilmiş oluktaki yayılımı faktörü .....	36
Şekil 3.31: Yükseltilmiş oluk durumundaki yayılım faktörü analizi.....	36
Şekil 3.32: Benzer çalışmadaki yükseltilmiş oluşun yayılım faktörü analizi [9] .....	37
Şekil 4.1: Standart atmosfer durumunun radar denklemi ile analizi .....	40
Şekil 4.2: Buharlaştırma oluklaması durumunun radar denklemi ile analizi.....	41
Şekil 4.3: Yüzey tabanlı oluklamanın radar denklemi ile analizi.....	42
Şekil 4.4: Yükseltilmiş oluklamanın radar denklemi ile analizi.....	43

<b>Şekil 5.1:</b> VHF bandındaki radarın performans analizi.....	45
<b>Şekil 5.2:</b> L bandındaki radarın performans analizi.....	46
<b>Şekil 5.3:</b> X bandındaki radarın performans analizi .....	47



# TABLO LİSTESİ

## Sayfa

<b>Tablo 1.1:</b> Farklı frekans band aralıklarındaki yayılım karakteristiği [2].....	4
<b>Tablo 2.1:</b> Radar denklem değişkenleri .....	14
<b>Tablo 3.1:</b> Kırılma durumlarına göre yüzey ufuk mesafe ilişkisi [2] .....	21
<b>Tablo 3.2:</b> Frekans aralığı ile oluk kalınlığı ilişkisi [9] .....	24
<b>Tablo 3.3:</b> Standart atmosferde durumundaki yayılım faktörü analizi.....	25
<b>Tablo 3.4:</b> Benzer çalışmada standart atmosfer durumundaki yayılım faktörü analizi .....	27
<b>Tablo 3.5:</b> Buhar oluşu durumundaki yayılım faktörü analizi .....	29
<b>Tablo 3.6:</b> Yüzey tabanlı oluk durumundaki yayılım faktörü analizi.....	32
<b>Tablo 3.7:</b> Yükseltilmiş oluk durumundaki yayılım faktörü analizi .....	35
<b>Tablo 4.1:</b> Yayım faktörü değerinin radar denklemi ile analizi.....	38
<b>Tablo 4.2:</b> Standart atmosfer durumunun radar denklemi ile analizi .....	39
<b>Tablo 4.3:</b> Buharlaşma oluklaması durumunun radar denklemi ile analizi.....	41
<b>Tablo 4.4:</b> Yüzey tabanlı oluklamanın radar denklemi ile analizi.....	42
<b>Tablo 4.5:</b> Yükseltilmiş oluklamanın radar denklemi ile analizi .....	43

## SEMBOL LİSTESİ

- P<sub>t</sub>** : Gönderilen sinyalin tepe gücü
- f** : Radar sinyal frekansı
- G** : Anten kazancı
- $\sigma$**  : Hedef kesit alanı
- T<sub>e</sub>** : Etkin Gürültü Sıcaklığı
- B** : Band genişliği
- F** : Gürültü katsayısı
- L** : Radar kayıpları
- F(R,m)**: Yayılım faktörü
- R** : Radar görüş mesafesi
- n** : Kırılma indisi
- N** : Kırılma
- M** : Düzeltilmiş kırılma indisi
- $\epsilon_r$**  : Troposferin dielektrik sabiti
- c** : Işık hızı
- v** : Elektromanyetik dalganın ortamdaki faz hızı
- P** : Atmosferik basınç
- T** : Sıcaklık
- e** : Buhar Basıncı
- z** : İrtifa
- SNR** : Sinyal Gürültü Oranı
- SCN** : Sinyal Parazit Yankı Oranı

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışması süresince bana destek olan başta eşim Ebru ŞEKER olmak üzere kardeşim Fatih ŞEKER'e ve atmosferik ortamda sinyallerin yayılımını ayırık adım fourier yöntemi ile modelleyen PETOOL programını kullanarak tezimde analiz yapmama destek veren Doç. Dr. Özlem ÖZGÜN'e, tez çalışması boyunca engin bilgi ve tecrübesini esirgemeyen tez danışmanım sayın Yrd. Doç. Dr. Bayram ESEN'e ve aynı zamanda bana destek olan ve çalışmalarımın olgunlaşmasını sağlayan Yüzbaşı Cemil TEPECİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Balıkesir, 2015

Süleyman ŞEKER

# 1. GİRİŞ

Elektromanyetik dalga atmosferde; yansıma, kırılma, dağılma ve zayıflamaya uğramaktadır. Bu etkilerden bazıları atmosferik değişkenler olan sıcaklık, basınç, nem gibi parametrelere bağlı iken bazıları, bulut, rüzgar, yağış gibi meteorolojik olaylara bağlı olabilmektedir.

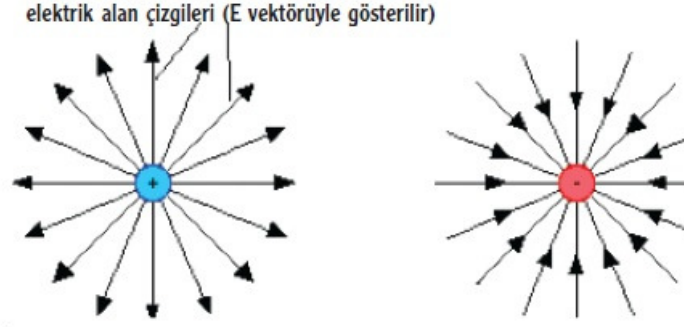
EM enerjinin atmosferdeki yayılım karakteristiği; hava gözetleme, haberleşme ve elektronik harp faaliyetleri ile yakından ilgilidir. Örnek olarak düşman radar kaplamasında meydana gelen değişimlerin takip edilmesi ile elde edilen bilginin, harekât sahasında avantaj sağlayacak şekilde kullanılması mümkündür.

Atmosferik değişkenlerin yol açtığı kırılma ile kırılma değerinin farklılık göstermesi sonucunda oluşan oluklama durumu, radar görüşünü etkileyen en önemli faktörlerdendir. Bu faktörler, radar menzilin belli irtifalarda artmasına, belli irtifalarda kısılmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle, kırılma ve kırılma sonucunda oluşan oluklama durumuna yol açan etkilerin gözlemler ve ölçümler yoluyla takip edilmesi, söz konusu etkilerin radar kaplamasına ilişkin sonuçlarının öngörülmesi önem arz etmektedir.

## 1.1 Elektromanyetik (EM) Dalga Yayılımı

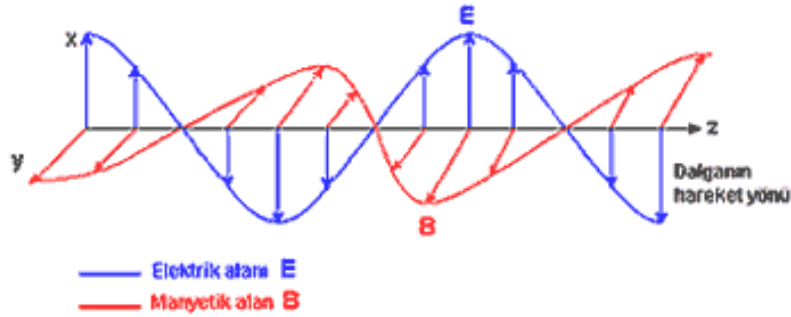
Yük, bir cismin üzerine birikmiş elektrik yükleri değerince belirlenen bir niceliktir. Yükü taşıyan parçacıklar, elektronlar ve protonlardır. Bilindiği üzere protonlar artı yüklü, elektronlar ise eksi yüklüdür. Eğer bir cisim yüklü ise, bu üzerinde bulunan yük taşıyıcılarının dengesiz dağılımından veya sayıca birinin diğerinden fazla olmasından kaynaklanır. Bir cisim için artı yüklü demek, üzerinde taşıdığı protonların sayısının elektronlardan fazla olması demektir. Eğer cisim eksi yüklü ise bunun tam tersi geçerli olacaktır. Yükler arasındaki iletişim, yüklerin cinsleri ile ilgilidir. Aynı işaretli yükler birbirini iterken, farklı cinsteki işaretler birbirini çeker. Oluşan etkileşim yükler arasındaki kuvvetin bir sonucudur.

Yüklü bir tanecik, her yöne doğru elektrik alan üretir. Tanecik eğer hareketli ise elektrik alan değişir. Elektrik alan  $E$  vektörü ile gösterilir ve vektörel bir büyüklüktür. Eksi yük için elektrik alan vektörü radyal olarak eksi yüke doğru yönelmiştir. Artı yük içinse durum, radyal olarak yükten dışarı doğrudur.



**Şekil 1.1:** Yük durumuna göre elektrik alan çizgileri [1]

Yüklü parçacık hareket halinde ise parçacık üzerinde manyetik alan oluşur. Manyetik alanda elektrik alan gibi vektörel bir nicelik ve manyetik alan vektörü  $B$  simgesi ile gösterilir. Daha doğrusu bir gözlemciye göre yüklü parçacıklar hareket etmiyor ise, orada sadece elektrik alan vardır. Eğer aynı zamanda hareket halinde ise, elektrik alanın yanı sıra manyetik alanda vardır. Elektromanyetik alan, esasen oluşan elektrik alan ile manyetik alanın birleşmiş halidir. Bir elektromanyetik dalgada elektrik alan, manyetik alan ve dalganın ilerleme yönü hepsi birbirine diktir. Tanecik hareket ettikçe elektrik ve manyetik alanı değişir. Değişen elektrik alan yeni bir manyetik alan oluştururken, değişen manyetik alan ise yeni bir elektrik alan oluşturur. [1]

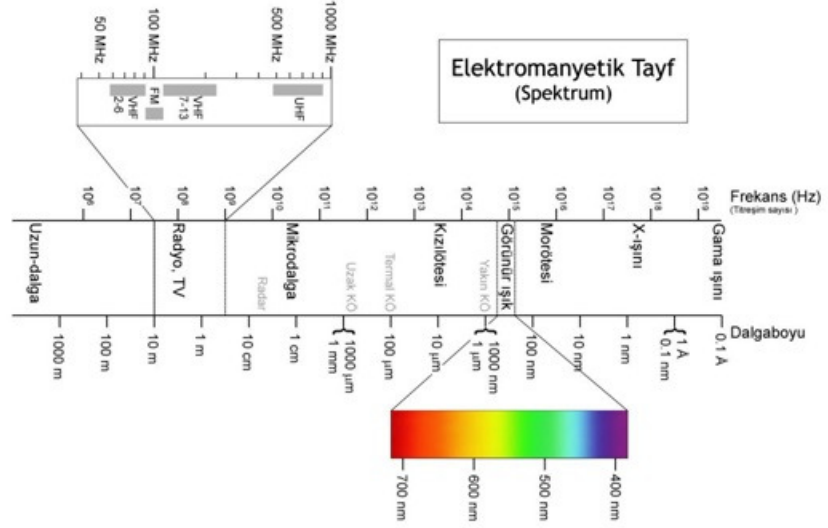


**Şekil 1.2:** Elektromanyetik dalganın yayılımı

## 1.2 Atmosferik Yayılım

Elektromanyetik Dalganın yayılımı verici ve alıcı antenin arasında bulunan ortamın özelliklerinden etkilenir. Çoğu kez radyo dalgaları boşluk içerisinde düz bir çizgi halinde (Genel Görelilik Teorisi tarafından öngörülen yer çekimi etkisi istisna) ilerlerler. Radyo dalgaları atmosferde hareket ederken birçok durumdan etkilenir.

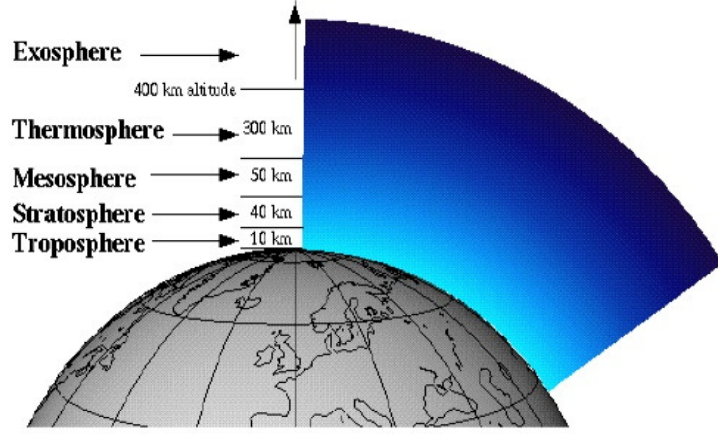
Atmosferin etkisi ilk başta basit bir problem olarak görülse de aslında çok karmaşıktır. Bu karmaşıklık atmosferin homojen bir yapı göstermemesinden dolayı meydana gelir. Atmosferik koşullar yükseklik, coğrafi konum ve hatta zamanın değişimi sonucu farklılık gösterebilir. Bu yüzden atmosferin bileşenlerinin bilgisi dalga yayılmasını anlamak için son derece önemlidir.



**Şekil 1.3:** Elektromanyetik spektrum

Elektromanyetik yayılım (radyo dalgaları dahil) atmosferin içerisinde yansiyabilir, kırılabilir ve kırıldıktan sonra tekrar yansiyabilir. Radyo dalgalarını doğru bir şekilde anlayabilmek için atmosferi çevreleyen farklı katmanları iyi bir şekilde bilmemiz gerekir.

Yeryüzünün hemen üstü troposfer, orta kısmı stratosfer ve son olarak ise en üst yüzeyi iyonosfer tabakası ile sarılıdır. Troposferin karakteristik özelliği yüksek nem içeriği ve yer şekillerinden etkilenmesidir. Hemen hemen bütün hava olayları troposferde gerçekleşir. Sıcaklık genellikle yüksekliğe bağlı olarak düşer ve bulutlar oluşur. Aynı zamanda yüzey ısınmaları ve rüzgar değişiminden dolayı türbülans oluşabilir. Troposferdeki sıcaklık, nem, basınç ve yoğunluğun ani değişiminin radyo dalgaları üzerinde önemli bir etkisi vardır. [2]



**Şekil 1.4:** Atmosfer katmanları [2]

Stratosfer ise daha sabit koşullara sahiptir ve az miktarda olsa su buharı bulunur. Bu yüzden stratosfer radyo dalgalarının yayılmasında çok küçük bir etkiye sahiptir. İyonosfer tabakası yüklü tanecikleri sayesinde yukarı doğru yansıyan yüksek frekans (High Frequency-HF) ve daha düşük frekans aralığındaki dalgaları tekrar yansıtarak yeryüzüne dönmesini sağlar. Bu sayede iyonosfer tabakası yüksek frekans aralığında uzun menzil mesafesi ile noktadan noktaya iletişimde atmosferin en önemli tabakasıdır.

**Tablo 1.1:** Farklı frekans band aralıklarındaki yayılım karakteristiği [2]

Frekans Bandları	Frekans Aralıkları	Yayılım Karakteristikleri
ELF	0.3 – 3 kHz	Yeryüzü/İyonosfer Dalga Kılavuzu Modları
VLF	3 – 30 kHz	Yeryüzü/İyonosfer Dalga Kılavuzu Modları
LF	30 – 300 kHz	Yer Dalgaları (Yeryüzü Temelli Dalga)
MF	0.3 – 3 MHz	Yer Dalgaları
HF	3 – 30 MHz	Gökyüzü Dalgaları (İyonosfer Yansıması)
VHF	30 – 300 MHz	Direk Dalgalar
UHF	0.3 – 3 GHz	Direk Dalgalar
SHF	3 – 30 GHz	Direk Dalgalar
EHF	30 – 300 GHz	Direk Dalgalar

Elektromanyetik dalgalar atmosfer içerisinde farklı yayılım karakteristiği özelliklerine sahiptir. Aynı koşullar altında farklı frekans aralıkları birbirlerinden farklı

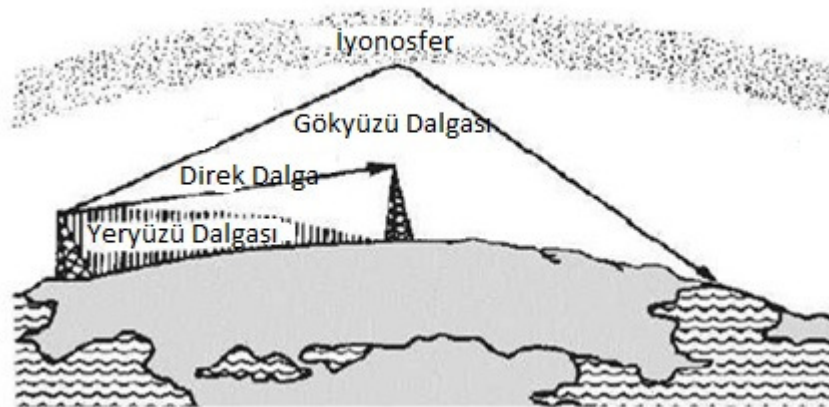
biçimde davranır. Direk dalgaların (Space Wave-Uzay Dalgaları) yayılımı, görüş alanı (line-of-sight) olarak nitelendirilir. Bu ifade aslında vericiden alıcıya giden düz bir engelsiz görüş alanı hattına verilen isimdir. 100 MHz frekansın üzerindeki bu elektromanyetik dalgalar normal olarak iyonosferden yansımaz.

Bu dalgaların nispeten düz olarak yayılmaları ve ışık ışınları benzeri davranışlar sergilemeleri nedeniyle direk dalgalar olarak adlandırılır. Ancak atmosferin kırıcılık etkisi görüş alanı (line-of-sight) aralığını artırıp azaltabilir. Yer kürenin kıvrımı nedeniyle bir radar menzil mesafesinin mümkün olabilecek büyüklüğü, aynı zamanda gönderici ve alıcı anten yüksekliği ile sınırlı olsa da bir takım atmosferik koşullar sonucu radarın menzil mesafesi artabilir veya azalabilir.

Radyo dalgaları, Yer Dalgaları (Ground Wave) ve Gökyüzü Dalgaları (Sky Wave) olmak üzere iki şekilde yayılır.

### 1.2.1 Yer Dalgaları (Ground Wave)

Elektromanyetik dalgalar çeşitli iletim durumlarında yayılırlar. Bunlar içerisinde Yer dalgaları yeryüzüne yakın bir şekilde hareket eder ve iki bileşenden oluşur. Bu iki bileşen ise yeryüzü dalgaları (Surface Wave) ve direk dalgalar (Space Wave) olarak isimlendirilen yer dalgalarıdır. Yeryüzü dalgaları isminden de anlaşılacağı üzere yer yüzeyine paralel olarak yol alır. Yeryüzü dalgaları sahip oldukları frekans bandı sebebiyle radar cihazları için bir önem taşımazlar. Direk dalgalar (Space Wave) yeryüzünün üzerinde hareket eder ve Elektronik Harp Sistemleri için çok büyük önem taşırlar.



Şekil 1.5: Yer ve Gökyüzü dalgaları [2]



### **1.2.2 Gökyüzü Dalgaları (Sky Wave)**

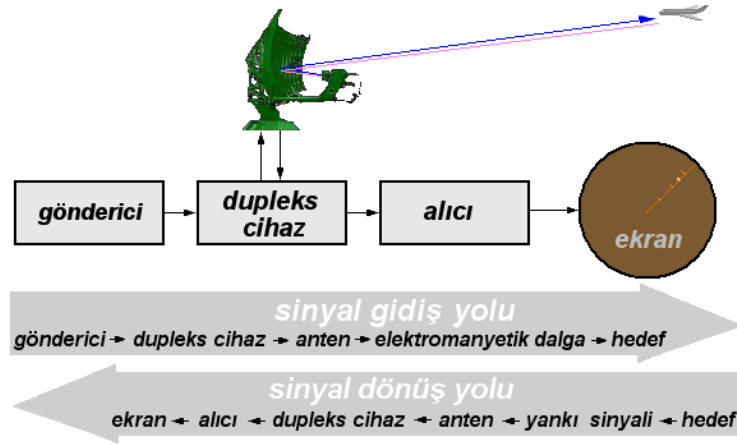
Gökyüzü dalgaları iyonosfer tarafından kırılarak tekrar yeryüzüne yayılan dalga çeşitidir. Özellikle yüksek frekans (High Frequency-HF) dalgaları bu tür yayılımla gökyüzü dalgalarına en güzel örnektir.

## 2. RADAR ÇALIŞMA PRENSİBİ VE RADAR DENKLEMİ

### 2.1 Radar Çalışma Prensibi

Radar; Radio (Aim) Detecting And Ranging (Radyo (Hedef) Algılama ve Menzil Tayini) kelimelerin baş harflerinden oluşmaktadır. Radarın çalışma prensibi ses dalgası yansıma prensibine çok benzer. Sesi yansıtan bir nesneye doğru bağırmanız halinde (örneğin bir kayalık vadide veya mağarada) bir yankı işitirsiniz. Eğer sesin havada yayılma hızını biliyorsanız nesnenin mesafesini ve genel yönünü hesaplayabilirsiniz. Dönüş yankısı için geçecek süre ses hızı biliniyorsa kabaca hesaplanabilir. [3]

Modern radar cihazları, genellikle bir hedefe ait yankı sinyalinden daha fazla veri elde edebilir. Bununla beraber geçen süre esas alınarak hesaplanan menzil mesafe değeri bir radar cihazının öne çıkan en önemli özelliğidir.



**Şekil 2.1:** Radarın temel çalışma prensibi [3]

Radar anteni hedefe bir EM dalga sinyali yollar, hedefe çarpan sinyal yansır ve bir alıcı cihaz tarafından alınır. Alıcı anten tarafından alınan elektrik sinyaline yansıma veya dönüş sinyali denir. Özet olarak radar sinyali güçlü bir yüksek frekans üretici tarafından üretilir ve çok hassas bir alıcı tarafından yeniden alınır.

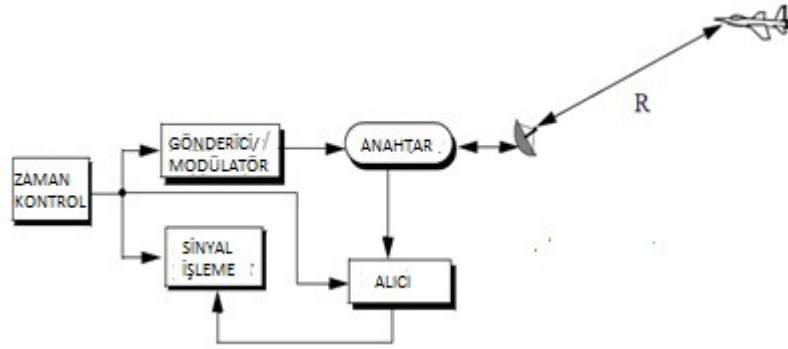
Radar sinyalleri geleneksel PPI (Plan Position Indicator) olarak adlandırılan ekranlarda görüntülenir. Bununla beraber çok daha gelişmiş radar görüntüleme

sistemleri de bulunmaktadır. Şekil 2.1'deki ekranda merkezden kenara doğru, dönen parlak çizgi antenin yönünü ve hedefin yan açısını belirtir.

## 2.2 Menzil Mesafesinin Hesaplanması

Hedef menzili radarların çoğu tarafından ölçülen temel bir büyüklüktür. Bir darbenin gidiş geliş zamanı  $\Delta t$  değeri ile ışık hızı kullanılarak kabaca radarın menzil mesafesi hesaplanabilir. ( $c \approx 3 \times 10^8$ ) [3]

$$R = c\Delta t/2 \quad R = \text{Radar görüş mesafesi} \quad (2.1)$$



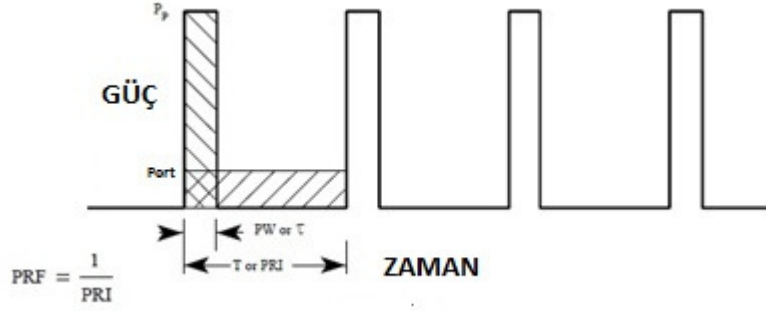
Şekil 2.2: Hedefin radar görüş (menzil) mesafesi [4]

Darbe Tekrarlama Frekansı (Pulse Repetition Frequency - PRF) bir radar cihazı ile bir saniyede yollanan darbe adedidir. Radar cihazı yüksek frekansta çok dar darbe genişliğine (Pulse Width - PW) sahip gönderim darbeleri yollar ve iki darbe arasında bulunan süre içerisinde de yansıma sinyallerini bekler. Bir gönderim darbesi ile bir sonraki darbe arasında kalan süre Darbe Tekrarlama Süresi (Pulse Repetition Time - PRT) veya (Pulse Repetition Interval PRI) denir ve değeri Darbe Tekrarlama Frekansının tersidir.

$$f(\text{PRF}) = 1/T(\text{PRT}) \quad (2.2)$$

Bir monostatik darbe radarı, sinyal gönderilirken ve alınırken aynı anteni kullanır. Sinyal gönderme sırasında, yansıma sinyalleri alınamaz, yani radar alıcısı devre dışıdır. Alıcı -verici anahtarın (dupleks cihazın), alıcı ve verici konumlarından birinden diğerine geçiş süresi formülde "T" "Anahtarlama Süresi" veya "Sükûnet Süresi" olarak yer almaktadır.

$$R = c(T + \Delta t)/2 \quad (2.3)$$



**Şekil 2.3:** Tepe gücü ile Ortalama güç ilişkisi [5]

Her PRT boyunca radar sadece darbe genişliği ( $\tau$ ) kadar yayılım yapar ve PRT'nin geri kalan kısmı ise hedeften dönen sinyallerin dinlenilmesidir. Şekil 2.3'deki taralı alanlar birbirine eşit olduğundan aşağıdaki denklem karşımıza çıkar.

$$P_{av} \times \Delta t = P_t \times \tau \quad (2.4)$$

Bu denklemdeki  $P_{av}$  radarın ortalama sinyal gönderim gücü,  $\Delta t$  sinyalin gecikme zamanı,  $P_t$  radarın tepe sinyal gönderim gücü ve  $\tau$  ise darbe genişliğidir.

### 2.3 Temel Radar Denklemi

Radar iletiminde hedefin tespit edilebilmesi için vericiden gönderilen elektromanyetik dalgaların hedefe çarpıp tekrar geri yansması gerekmektedir. Öncelikle atmosferik olayların ihmal edildiği temel radar denklemi anlatılacak, daha sonra ise EM dalga yayılımını etkileyen atmosferik etkilerden bahsedilecektir.

Radar denklemi kullanılarak radardan gönderilen sinyalin atmosfere yayılıp, hedeften yansıyan sinyalin tekrar alınmasına kadar geçen evredeki radara ait hem dış hem de iç etmenlerin etkileri belirlenmektedir. Bir radarın performansının değerlendirmesi de radar denklemi kullanılarak yapılabilir.

Radar denklemi için öncelikle radar anteninin dalga yayılımı esnasında meydana gelen tepe güç yoğunluğunu (birim alana düşen güç) tanımlamamız gerekir. Omni yönlü anten (her yöne eşit güçte yayılım yapan anten) kullandığımızı varsayarsak güç yoğunluğu aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$P_d = \frac{\text{Gönderilen Yayılımın Tepe Gücü}}{\text{Kürenin Alanı}} \quad \frac{\text{watts}}{\text{m}^2} \quad (2.5)$$

Ortam Kayıpları ihmal edildiğinde radardan uzakta ve R görüş mesafesindeki alanda oluşan güç yoğunluğu  $P_d$  aşağıdaki denklemde olduğu gibi tanımlanır.

Denkleimde bulunan  $P_t$  radar yayılımı sırasında gönderilen enerjinin tepe gücü,  $4\pi R^2$  ise  $R$  yarıçaplı kürenin alanıdır.

$$P_d = \frac{P_t}{4\pi R^2} \quad (2.6)$$

Radar sistemlerinde yönlü antenler kullanılmasından dolayı güç yoğunluğunda artış oluşmaktadır. Bunun sebebi antende oluşan kazançtır. Anten kazancı (antenna gain)  $G$  ile simgelenir ve denklemde bulunan efektif anten açıklığı (antenna effective aperture) ise  $A_e$  dir.

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (2.7)$$

$$A_e = \rho \times A \quad [0 \leq \rho \leq 1] \quad (2.8)$$

Antendeki fiziksel açıklık  $A$  ile antenin etkin açıklığı  $A_e$  arasındaki oran açıklık verimi olarak tanımlanır ve açıklık verimi  $\rho$  ile gösterilir. İdeal antende açıklık verimi  $\rho = 1$  dir. Aynı zamanda kazanç antenin hem azimut hem de yükseklik hüzmeye genişliklerine bağlıdır. Payda da bulunan ifadeler radyan olarak denklemde kullanılır.

$$G = k \frac{4\pi}{\theta_e \theta_a} \quad k \leq 1 \quad (2.9)$$

Skolnik tarafından ise hüzmeye genişlik açıları derece cinsinden olup ifadesi aşağıdaki gibidir.[6]

$$G \approx \frac{26000}{\theta_e \theta_a} \quad (2.10)$$

Yönlü anten kullanımı sonucu oluşan anten kazancı ile güç yoğunluğu birbirleri ile doğru orantılıdır.

$$P_d = \frac{P_t G}{4\pi R^2} \quad (2.11)$$

Hedefin algılanması sadece hedefe doğru gelen enerji yoğunluğuna değil, aynı zamanda hedefe çarpıp yansıtılarak radar antenine doğru geri dönen enerji miktarına da bağlıdır. Yansıyan sinyalin gücünü hesaplayabilmek için radar kesit alanının  $\sigma$  bilinmesi gerekir. Radar kesit alanı hedef tespitinde çok önemlidir. Uçan bir hava hedefinin radar kesit alanı ne kadar küçükse o hedefin tespiti de o denli zorlaşır. Daha büyük yüzeyin daha fazla enerjiyi geriye yansıttığı ortadadır. Örneğin;

bir Airbus yolcu uçağı aynı uçuş şartlarında bir sportif amaçlı kullanılan uçaktan daha fazla enerji yansıtır.

Anlaşılması biraz zor olan bu büyüklüğü birkaç etken etkiler. Radar kesit alanı hedefin biçimine, niteliklerine, hedefte kullanılan malzemeye ve buna benzer birçok etkene bağlı olarak değişir. Temel amaç radar kesit alanının hedef için minimum seviyeye küçültülüp, hedefin radar tarafından tespit edilememesini sağlamaktır.



**Şekil 2.4:** Radar kesit alanının düşürülmesi (F-117A Nighthawk) [7]

Bununla birlikte radar kesit alanı hedeften yansıyan yayılım gücünün güç yoğunluğuna oranıdır.

$$\sigma = \frac{P_r}{P_d} \text{ m}^2 \quad P_r = \text{Yansıyan Yayılımın Gücü} \quad (2.12)$$

Radar anteninden yapılan yayılım sonucu hedefe doğru giden ve hedeften yansıyan sinyal için alıcı-verici anten aynı olduğundan (monostatik radar) radar ait anten kazançları gönderilen ve yansıyan sinyal için eşittir.

$$G = G_t = G_r \quad (2.13)$$

Bütün elde edilen verileri şimdi tek tek ortaya koyup inceleyelim. Radardan gönderilen yayılımın tepe gücü  $P_t$  ile birlikte yönlü antenin kazancı  $G$  toplam gücü oluşturarak hedefe çarpar. Hedefe ulaşmadan önceki radar ve atmosferik kayıpları şimdilik ihmal ediyoruz. Radar kesit alanı (Radar Cross Section-RCS) kazancı hedefin yansıttığı enerjinin büyüklüğüdür.  $G_{RCS}$  olarak ifade edilen bu büyüklük denkleme kazanç olarak eklenir. Aynı zamanda sinyal hedeften yansıdıktan sonra

tekrar gönderiliyormuş gibi düşünülerek aynı işlemler yansıma içinde yapılır. Toplam yansıma sonucu güç aşağıdaki denklemler zinciri ile elde edilmiş olur.

$$P_d = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \quad P_r = P_d \times \sigma \quad (2.14)$$

$$P_{dr} = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \times \sigma \quad P_{dr} = \text{Anten tarafından gönderilen toplam güç} \quad (2.15)$$

$$\frac{G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} = \frac{1}{4\pi R^2} \times \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} \quad (2.16)$$

Hedeften yansıyan sinyal tekrar gönderiliyormuş gibi düşünülür.

$$P_r = \frac{P_t G_t \sigma}{4\pi R^2} \times \frac{G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} \quad \text{Geri yansıyan sinyalin alıcı tarafından alınması} \quad (2.17)$$

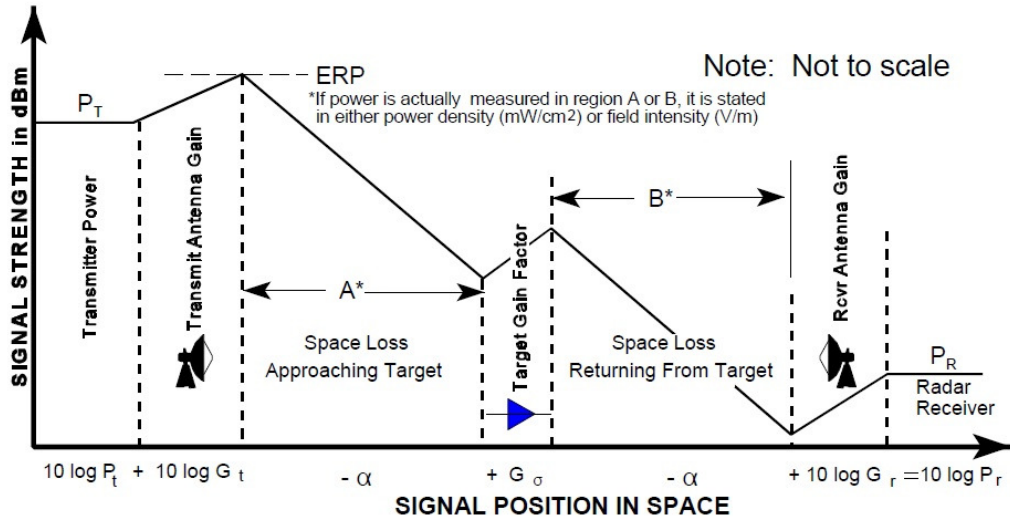
$$G = G_t = G_r \quad (2.18)$$

$$S \text{ veya } P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad \text{Yansıma sonucu toplam güç} \quad (2.19)$$

$$G_{RCS} = \frac{4\pi \sigma}{\lambda^2} \quad (2.20)$$

Denklem açılırsa daha iyi anlaşılır.

$$S = \frac{P_t}{4\pi R^2} \times \frac{G_t \lambda^2}{4\pi} \times \frac{4\pi \sigma}{\lambda^2} \times \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} \times \frac{1}{4\pi R^2} = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (2.21)$$



**Şekil 2.5:** Radar sinyalinin yayılım sürecindeki enerji hesabı [5]

Radar menzil mesafesinin maksimum uzaklıkta olabilmesi için yansıma sonucu elde edilen sinyal gücünün minimum olması gerekir. Radar antene gelen

yansıyan sinyalin gücü minimum ( $S_{\min}$ ) olduğunda radarın hedef menzil mesafesi maksimum olacaktır.

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{\min}}} \quad (2.22)$$

Radar denkleminde radar içerisindeki EM dalgaların iletimini sağlayan dalga kılavuzları ile radarın sahip olduğu elektriksel cihazlardan kaynaklanan kayıplarda eklenir. Radar içerisinde cihazlardan çıkan gürültü gücü en çok yarı iletken gürültülerinden, iletkenlik değerlerinin neden olduğu ısıl gürültülerden ve elektron yükünün taşıdığı akımların gürültülerinden kaynaklanır. Isıl gürültü elektriksel dirence sahip malzemelerde akan akımlardaki elektron yükünün bir kurala tabi olmaksızın hareket etmeleri sonucunda meydana gelir.

Gürültü katsayısı bir devrenin çıkışındaki sinyal gücünün gürültü gücüne olan oranını gösterir. EM dalga yayılım duyarlılığı F gürültü katsayısı ile ölçülür. Gürültü gücü N ile gösterilir ve güç faktörü ile ilişki oranı aşağıdaki denklemden gibidir.

$$F = \frac{(\text{SNR})_{\text{Alınan sinyal gürültü oranı}}}{(\text{SNR})_{\text{Gönderilen sinyal gürültü oranı}}} = \frac{S_{\text{Alınan sinyal gücü}}/N_{\text{Alınan gürültü gücü}}}{S_{\text{Gönderilen sinyal gücü}}/N_{\text{Gönderilen gürültü gücü}}} \quad (2.23)$$

$$N_{\text{ise}} = N = kT_e B \quad (2.24)$$

$$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ j/degree Kelvin} - \text{ Boltzmann Sabiti}$$

$$T_e = \text{Sıcaklık (Kelvin)} \quad B = \text{Radar Band Genişliği}$$

Sinyal Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio – SNR) EM dalga yayılımı sırasındaki gönderilen ve alınan sinyallerin oluşturduğu sinyal gürültü oranıdır.

$$S_{\text{Alınan sinyal gücü}} = kT_e B F (\text{SNR})_{\text{Gönderilen sinyal gürültü oranı}} \quad (2.25)$$

$$S_{\min} = S_{\text{Alınan minimum sinyal gücü}} = kT_e B F (\text{SNR})_{\text{Gönderilen minimum sinyal gürültü oranı}} \quad (2.26)$$

$$R_{\max} = \left( \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 kT_e B F (\text{SNR})_{\text{Gönderilen minimum sinyal gürültü oranı}}} \right)^{1/4} \quad (2.27)$$

Radar yayılımı sonucunda gönderilen sinyalin SNR değeri ne kadar fazla ise alınan sinyalin gücü o kadar fazladır. Sinyal gönderilirken radar içerisinde fazla gürültüye uğramazsa alınan sinyalin gücü artacağından hedefin tespiti o oranda kolaylaşır. Radar denkleminde bulunan SNR değeri radarın performansının belirlenmesini sağlayan önemli bir faktördür.



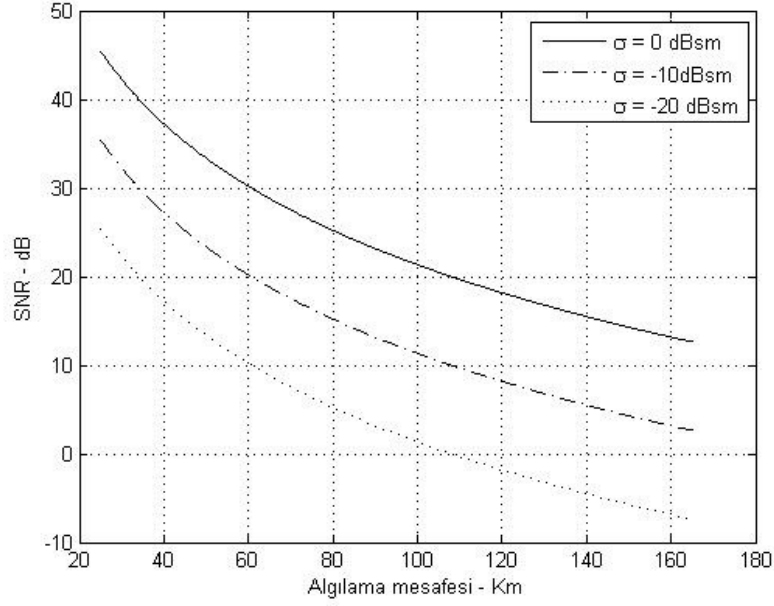
$$(SNR)_{\text{Gönderilen sinyal gürültü oranı}} = \frac{PtG^2\lambda^2\sigma}{(4\pi)^3kT_eBFLR^4} \quad L = \text{Anten kaybı} \quad (2.28)$$

Radar denklemi kullanılarak farklı hedeflerin sahip olduğu radar kesit alanları ile radarların gönderdikleri farklı değerlerdeki sinyal güçlerinin 25 km ile 165 km menzil mesafesi aralığında 1000 noktadaki SNR değişim analizini inceleyelim.

**Tablo 2.1:** Radar denklem değişkenleri

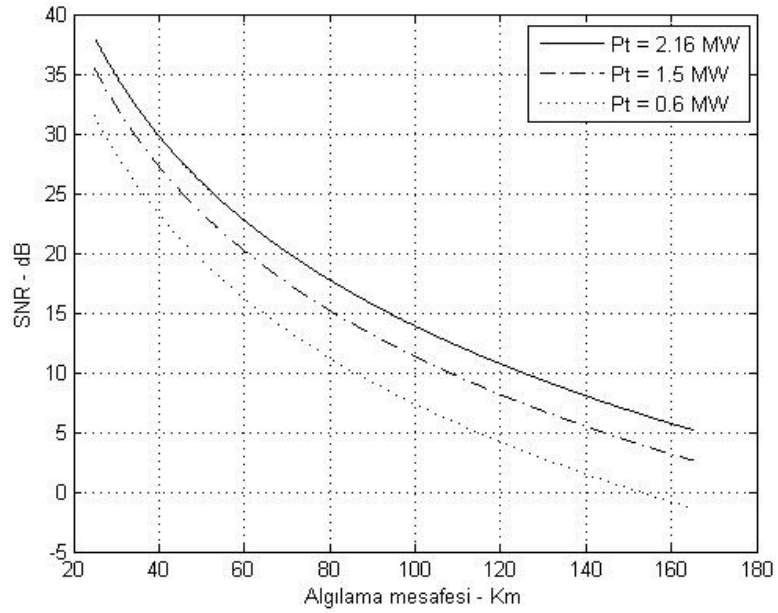
Sembol	Tanımlama	Birim	Durum	Değerler
Pt	Gönderilen Sinyalin Tepe Gücü	Watts	Giriş	1.5 MW
Frekans	Radar Sinyal Frekansı	Hz	Giriş	5.6 GHz
G	Anten Kazancı	dB	Giriş	45 dB
Sigma	Hedef Kesit Alanı (RCS)	m <sup>2</sup>	Giriş	0.1 m <sup>2</sup>
Te	Etkin Gürültü Sıcaklığı	Kelvin	Giriş	290 K°
B	Radar Band Genişliği	Hz	Giriş	5 MHz
F	Gürültü Katsayısı	dB	Giriş	3 dB
L	Radar Kayıpları	dB	Giriş	6 dB
R	Hedef Görüş Mesafesi	m	Giriş	25 Km-165 Km
SNR	Giriş-Çıkış Sinyal Gürültü Oranı	dB	Çıkış	25km-165km arasındaki 1000 değer

Tablo 2.1'de verilen değerler farklı frekanslara sahip radarlardan gönderilen sinyallerin tepe güçleri ile farklı radar kesit alanına sahip hedeflerin değerleri radar denkleminde hesaplanarak radar performans değerleri analiz edildi.



**Şekil 2.6:** Algilama mesafesi ile Hedef kesit alanı ilişkisi

Öncelikle Şekil 2.6'da hedefin radar kesit alanı arttıkça radarın hedefi algılama mesafesi artar. Bu ise bir yolcu uçağını algılamanın bir savaş uçağını algılamaktan daha kolay olduğu gösterir. Herhangi bir radar cihazı radar kesit alanı  $\sigma = 1 \text{ m}^2$  olan bir yolcu uçağını 100 km uzaklıkta algılayabiliyor iken radar kesit alanı  $\sigma = 0.01 \text{ m}^2$  olan savaş uçağını en fazla 35 km menzil mesafesinde algılayabilir.



**Şekil 2.7:** Algilama mesafesi ile Gönderilen sinyalin tepe gücü ilişkisi

Şekil 2.7’de ise radardan gönderilen sinyalin tepe gücü ne kadar fazla ise radarın hedefi algılama mesafesi o kadar artacaktır. Çünkü gönderilen sinyal hedeften yansdıktan sonra enerji kaybına uğrayacak ve zayıflayacaktır. Bu yüzden radardan gönderilen sinyal gücünün artması radar menzil mesafesini artmasına neden olacaktır.

### 3. ATMOSFERİK OLUKLAMA

#### 3.1 Atmosferin Radar Görüş Mesafesine Etkisi

Atmosfer içerisindeki elektromanyetik dalgalar uzaydaki gibi düz bir yolda ilerlemez. Frekans ve atmosferin etkisine bağlı olarak farklı şekillerde davranırlar. Bu çalışmada VHF,L ve X frekans band aralıklarına sahip radarların atmosfer içerisindeki yapmış oldukları EM dalga yayılım davranışları incelendi. VHF ve onun üstündeki frekanslardaki EM dalgaların atmosferdeki yayılım şekli direk dalga yayılımı karakteristiğindedir. Direk dalgaların yayılım yaptığı ortam, yeryüzüne yakın ve atmosferik olayların büyük bir kısmının olduğu troposfer tabakasıdır. Troposferde yayılım yapan direk dalgalar kırılır, yansır ve zayıflamaya uğrar.

Bir üst başlıkta anlatılan, temel radar denklemi troposfer katmanı üzerinde radarın menzil mesafesinin hesaplanmasını düzgün bir biçimde ön göremez. Bu kayıpların yaşanmasında en önemli etken yüzey şekilleri, EM sinyallerin kırılmaya uğraması ve oluşan atmosferik olaylardır. Kırılma, kırılıp yansıma, oluk etkisi, yeryüzü şekilleri, çevresel sesler, yağmurdan kaynaklanan zayıflama, hava olayları ve daha birçok sebep radarın performansını ve EM dalga yayılımı etkiler. Bu yüzden atmosferik ortam için radar denklemi değişir.

$$(SNR)_{\text{Gönderilen sinyal gürültü oranı}} = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma F^4(R, M)}{(4\pi)^3 k T_e B F L R^4} \quad (3.1)$$

$F(R, M)$  = Atmosferik ortamdaki yayılım faktörü

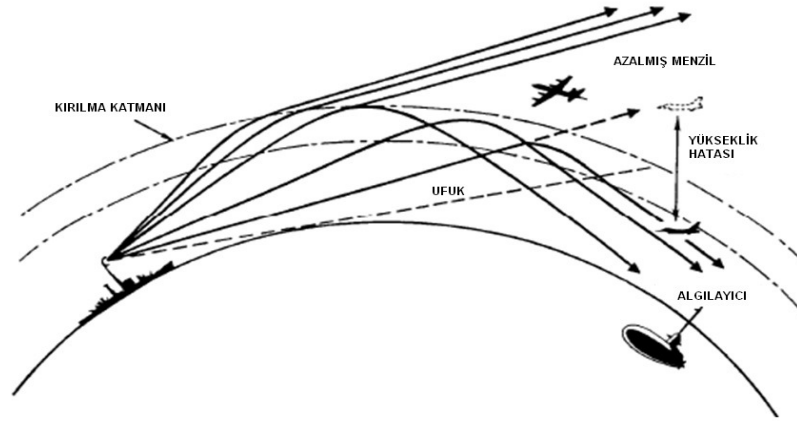
$M$  = Düzeltilmiş kırılma indisi

Radar denkleminde EM dalganın atmosferik kırılma ve mesafeye bağlı değer değişimlerini tanımlayan parametreye yayılım faktörü denmektedir. Denkleme görüldüğü üzere yayılım faktörü  $F(R, m)$ , radar performansına atmosferin kırılma karakteristiğini yansıtan parametre durumundadır. Radar sinyallerinin vericiyi terk ettikten sonra nasıl bir yayılım gösterdiği konusuna ilişkin ilk yöntem olan Parabolik Denklem (PE) Metodu, Leontovich ve Fock tarafından ilk RF dalga yayılım modeli olarak 1946 yılından geliştirilmiştir. Daha sonra (Hardin ve Tappert, 1973; Ko, 1983; Skura, 1990) yapmış oldukları katkılar ile ayırık adım fourier yöntemine dönüşmüştür.

Bu çalışmada da EM sinyallerin yayılımını Ayrık Adım Fourier Yöntemi ile modelleyen MATLAB tabanlı bir radar performans analiz yazılımı olan PETOOL programı kullanılmıştır.

### 3.2 Kırılma

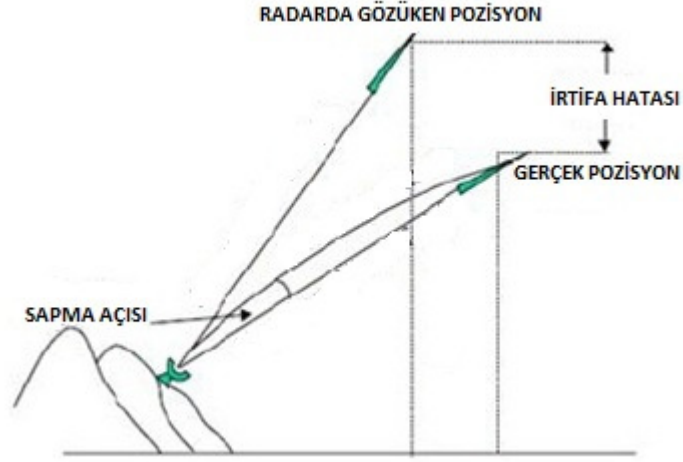
Atmosfer, uzayda bulunan ortam koşulları gibi homojen bir yapıya sahip değildir. Basınç, sıcaklık ve nem değerlerindeki değişiklikler elektromanyetik dalgaların kırılması sebep olur. Bu kırılmalar sonucunda yüzeye doğru bükülmeler meydana gelir. Bunun sonucu olarak radar görüş ufku ve radar menzil mesafesi artar. Bunun tam aksine kırılma sonucu EM dalgaların atmosferden yukarıya doğru ilerlemesi ile radarın görüş mesafesi azalır.



**Şekil 3.1:** Radar görüş ufku [8]

Kırılma hedefin irtifa açısının ölçümünde hatalara neden olur. Bu yüzden hedefin radar tarafından gösterilen pozisyonu ile gerçek pozisyonu arasında fark olur. Radar sistemlerinde bu sorunun önüne geçebilmek için VHF ve onun üstündeki frekans aralığında bulunan direk dalgalar (space waves) kullanılır.

Şekil 3.2'de görüldüğü üzere kırılma sonucunda hedefin gerçek pozisyonu ile radar tarafından görülen pozisyonunda farklılıklar görülmektedir. Bu durumun en büyük sebebi radar tarafından gönderilen sinyalin atmosfer içerisinde uğradığı kırılmalar sonucu sinyalin normal şartlar altındaki davranışından farklı olarak izlediği yolun kısalmasından veya uzamasından kaynaklanır.



**Şekil 3.2:** Kırılma sonucu oluşan irtifa hatası [2]

Kırılma EM dalganın ilerlediği ortamın yoğunluğunun değişmesi sonucu dalganın bükülmesidir. Radar dalgalarının atmosferdeki kırınımı, hızın yükseklik ile değişiminden kaynaklanır. Bunun asıl nedeni atmosferin yoğunluğunun irtifa ile kademeli olarak değişmesidir. EM dalganın kırılma indisi ışık hızının ortamdaki faz hızına oranıdır. [9]

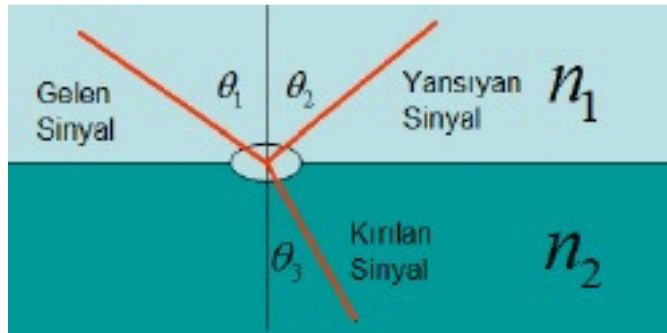
$$n = \sqrt{\epsilon_r} = \frac{c}{v} \quad (3.2)$$

$n$  = Kırılma indisi

$\epsilon_r$  = Troposferin dielektrik sabiti

$c$  = Işık hızı

$v$  = Elektromanyetik dalganın ortamdaki faz hızı



**Şekil 3.3:** Snell kanunu [9]

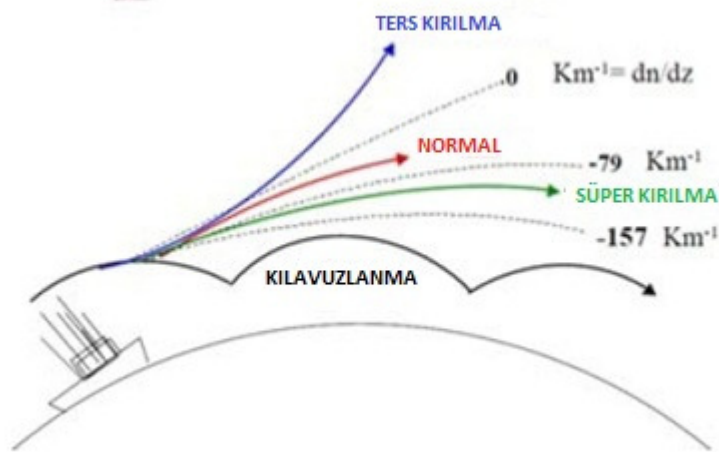
İki ortam arasında yoğunluk farkı olursa sinyal yayılımında Snell kanunları geçerli olur. Bilindiği üzere elektromanyetik dalgalar kırılma indisi daha düşük ortamlarda daha hızlı hareket ederler. Yansıma söz konusu olduğunda  $\theta_1 = \theta_2$ 'dir. Kırılma durumunda ise aşağıdaki eşitlik geçerli olmaktadır.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (3.3)$$

Dünya yüzeyinde kırılma indisi yaklaşık olarak 1.000315 civarındadır. Kırılmanın özelliklerini daha iyi anlayabilmek için kırıcılık (refractivity) değeri "N" tanımlanmıştır. Bunu tanımlarken kırılma indisinden bir çıkarılıp,  $10^6$  ile çarpılır. Bu bize 1.000315 ile uğraşmak yerine 315 gibi daha küçük bir sayıyla uğraştığımızdan dolayı kolaylık sağlar. Kırıcılık N irtifadan bağımsız şekilde aşağıdaki formüldeki gibi atmosferik basınç P, sıcaklık T ve buhar basıncı e ile ilişkili olarak tanımlanır.

$$N = (n - 1) \times 10^6 = 77.6 \frac{P}{T} - 5.6 \frac{e}{T} + 3.75 \times 10^6 \frac{e}{T^2} \quad (3.4)$$

Bu formül VHF ve onun üstündeki frekans aralığı için geçerlidir. Kırıcılık indisi deniz seviyesinde  $N=315$ 'e eşittir. N değerinin dikey irtifası elektromanyetik dalganın atmosferde nasıl yayılacağını belirler. Eğer  $dN/dz$  (N birim/km) pozitif ise elektromanyetik enerji yukarı doğru, negatif ise elektromanyetik enerji aşağı doğru bükülür. [2]



**Şekil 3.4:** Kırılma durumları [2]

Elektromanyetik dalganın sıkışma durumları ve olukların oluşması durumunda yükseklik ile birlikte kırılma indisi çok kolay bir şekilde değişebilir. Düzlemsel yeryüzü yaklaşımı ve atmosferik kırılma türleri arasında daha kolay ayırım

yapmak amacıyla düzeltilmiş kırılma (M) denklemde verildiği gibi tanımlanır. İrtifa z ile gösterilir.

$$M(z) = N(z) + 0.157z \quad (3.5)$$

Atmosferik kırılma türleri; süper kırılma, standart kırılma, ters kırılma ve oluklama olmak üzere dört sınıfa ayrılır.  $dM/dz$  oranı sıfıra eşit olduğunda elektromanyetik dalganın şekli dünya şeklinin eğriliği ile eşit olur. Bir başka deyişle bu ifade kırıcılığın (N) kilometre başına -157 değerinde olması EM dalganın şeklinin dünya yüzey eğriliğine eşit olduğunu gösterir. Standart atmosferde yükseklik arttıkça düzeltilmiş kırılma (M)'de artar. Atmosferik oluk oluşumu M formülünü önemini ortaya çıkarır. Oluk durumunda ise  $dM/dz < 0$  veya  $dN/dz < -157$  olur.

**Tablo 3.1:** Kırılma durumlarına göre yüzey ufuk mesafe ilişkisi [2]

Kırılma Durumları	$dN/dz$ (N birim/km)	$dM/dz$ (M birim/km)	Yüzey Ufuk Mesafesi
Ters Kırılma	$0 < dN/dz$	$157 < dM/dz$	Azalıp
Normal	$-79 < dN/dz < 0$	$78 < dM/dz < 157$	Standart
Süper Kırılma	$-157 < dN/dz < -79$	$0 < dM/dz < 78$	Artar
Oluklama	$dN/dz < -157$	$dM/dz < 0$	Çok Fazla Artar

Kırılmaya uğrayan EM dalga yeryüzüne veya yeryüzünün aksine yukarı doğru bükülebilir. Elektromanyetik enerji oluşun alt ve üst tabakası ile sınırlandırılır. Oluğun üst tabakası sabittir fakat alt kısmı sıkışma bölgesinin alt bölgelerine doğru genişleyebilir. Oluğun alt sınırı yüzeyde (yüzey oluğu) veya yüzeyin üstünde (yükseltilmiş oluk) olabilir.

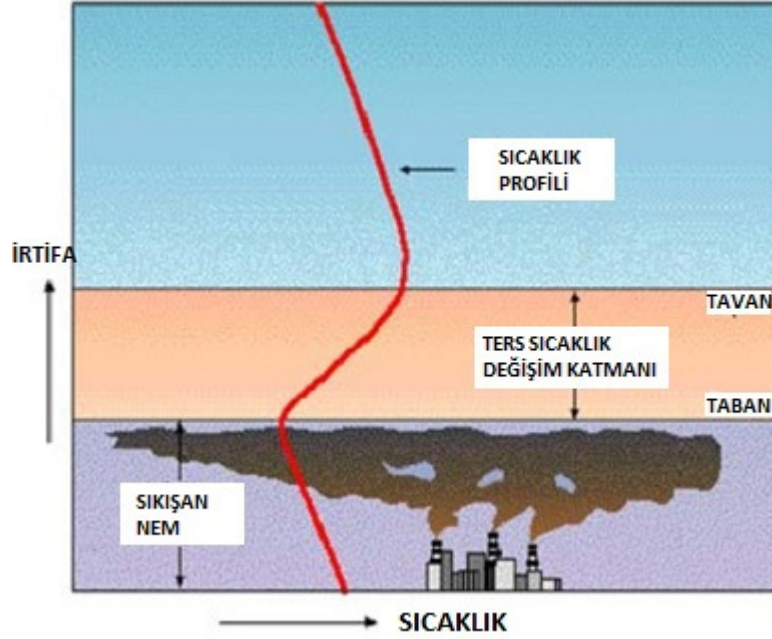
### 3.3 Oluklama Oluşumu

EM dalgalar atmosferik kırılma değerindeki değişime bağlı olarak atmosferik bir katman içinde hapsolabilir ve bu katman içerisinde radar menziline çok ötesinde uzun yollar kat edebilirler. EM dalgaların içinde uzun yollar kat edebildiği atmosferik katmanlara atmosferik oluk veya kısaca oluk adı verilmektedir.

Atmosferdeki sıcaklık artan irtifa ile değişir ve bu değişim artan irtifa ile düzgün biçimde azalma şeklinde olur. Ancak belirli şartlarda bu durumda değişiklik



gözlenebilir ve sıcaklık yükseklikle önce artış gösterip daha sonra azalabilir. Bu duruma ters sıcaklık değişimi denir.



**Şekil 3.5:** Ters sıcaklık değişimi [2]

Ters sıcaklık değişimi kararlı bir sistem olup, türbülans ile havanın karışmasını engeller. Bu engelleme nemin alçak irtifalarda hapsolmesine yol açar ve buhar basıncının ters sıcaklık değişimi katmanı boyunca irtifa artışı ile hızlı düşüşüne yol açar. Sıcaklığın artması ve buna bağlı olarak buhar basıncının düşmesi (nem oranı) radyo dalgalarının dünya arz eğiminden daha fazla bükülmesine ve yeryüzüne yakın olan bölgede sıkışmasına yol açar. Bahsedilen oluk oluşumu bu şekilde oluşmaktadır.

Daha önemli sapmalar geniş su yüzeyleri üstünde olur. Geniş su yüzeylerine yakın noktalarda atmosfer normalden daha fazla nem içerdiğinden, su yüzeyine çok yakın yüksekliklerdeki nem miktarı çok daha hızlı azalabilir. Bu etkiye nem boşluğu adı verilir. Ters sıcaklık değişimi veya nem boşluğu etkilerinin tek başlarına ya da birlikte oluşması ilk bir kaç yüz metrelik irtifalarda kırılmanın büyük bir şekilde değişmesine yol açar. Bunun sonucunda, bu ortamdaki geçen radar dalgaları normalden fazla bükülür. Bu gereğinden fazla bükülmeye oluklama denir ve radar performansı olumlu ve olumsuz yönde etkilenir. Olumlu yönü atmosferik oluklama sonucu radar menzil mesafesinin daha fazla artması, olumsuz yönü ise sıkışan

dalganın yüzeye çarpması ve her yüzeye çarptığında oluşan parazit yankılar (clutter) sonucu EM dalganın enerjisinin sürekli azalmasıdır.

Günümüzde Sinyal Parazit Yankı Oranı (Signal to Clutter Ratio - SCR) radar yazılımı üzerinde yapılan değişikliklerle artırılmakta ve radar kayıpları en aza indirilmektedir.

Dalganın yükseklik ile değişen kırılma eğimini, oluklama ile görmek en iyi yoldur. Oluğun içerisine sıkışan elektromanyetik dalgalar radar dalga kılavuzundaki gibi hareket eder ve sinyalin uzun mesafeler boyunca ilerlemesini sağlar. Atmosferik kırılma durumunun irtifa ile bağımlı atmosferik basınç, sıcaklık ve buhar basıncı ile ilişkisi aşağıda verilen düzeltilmiş kırılma indisi (M) denklemi ile daha iyi anlaşılır.

$$M(z) = N(z) + 0.157z = 77.6 \frac{P}{T} - 5.6 \frac{e}{T} + 3.75 \times 10^6 \frac{e}{T^2} \quad (3.6)$$

P = Atmosferik Basınç

T = Sıcaklık

e = Buhar basıncı (Nem oranı)

z = İrtifa

Birçok atmosferik durum olukların oluşumuna yol açabilmektedir. Oluşan oluk durumlarına ile radarın sahip olduğu frekans aralığına göre radar performansı değişmekte ve radar menzil mesafesi mevcut durumuna göre fazlaca artmaktadır. Bu oluklar yüzey tabanlı oluklar, yükseltilmiş oluklar ve buharlaşma olukları şeklinde adlandırılırlar.

### 3.4 Frekans ile Oluk Kalınlığı İlişkisi

Atmosferik oluğun radar sinyallerine etkisi metal dalga kılavuzlarının etkisi ile aynıdır. Ancak her frekansın ilerleyebileceği oluk kalınlıkları farklıdır. Oluk kalınlığı ile oluk arasında sıkışabilecek minimum frekansın belirlenmesi aşağıdaki eşitliğe göre gerçekleşir.

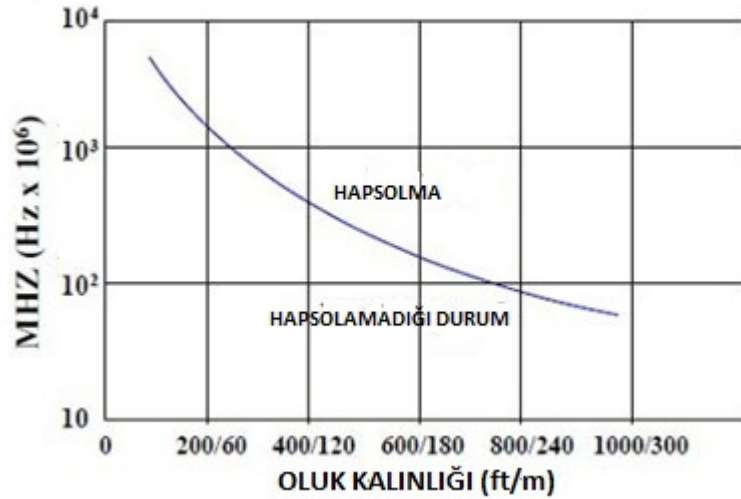
$$f_{\min} = 3,6 \times 10^{11} d^{-3/2} \text{Hz} \quad (3.7)$$

Oluk kalınlıklarının frekans aralıklarına göre değerlendirilmesi Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Tabloda aynı frekans aralığındaki EM dalga için gerekli olan oluk kalınlığı gösterilmiştir.

**Tablo 3.2:** Frekans aralığı ile oluk kalınlığı ilişkisi [9]

Frekans Bandları	Frekans Aralıkları	Oluk Kalınlıkları (m)
VHF	30 MHz – 300 MHz	122 – 610
UHF	300 MHz – 1GHz	52 – 122
L	1GHz – 2 GHz	32 – 52
S	2GHz – 4 GHz	20 – 32
C	4 GHz – 8 GHz	12 – 20
X	8GHz – 12 GHz	9 – 12
K	12 GHz – 40 GHz	4 – 9

Tabloda bulunan değerlere göre atmosferik oluk kalınlığı ile oluğa sıkışabilecek frekans bandının uyumu, yani tam olarak seçilen frekansın dalga boyunun oluk kalınlığından küçük olması gerekir. Frekans ile oluk kalınlığı arasında ters bir ilişki vardır. Bir sinyal için frekans arttıkça gerekli dalga boyu ve oluk kalınlığı azalır. Bu yüzden sadece VHF ve onun üzerindeki bantlarda bulunan küçük dalga boylu sinyaller olukta sıkışabilirler.



**Şekil 3.6:** Frekans aralığı ile oluk kalınlığı ilişkisi [2]

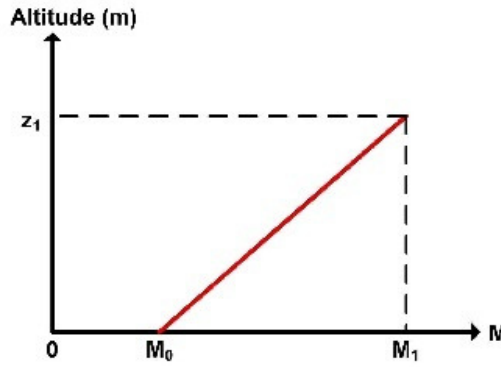
Şekil 3.6'da görüldüğü gibi frekans arttıkça oluk kalınlığı azalmaktadır. Örneğin; oluk kalınlığı 74.5 metre olan bir atmosferik durumda o oluktan geçebilecek frekans bandları UHF ve onun üstündeki frekans aralığına sahip olan dalgalardır.

### 3.5 Atmosferik Durumların Yayılım Faktörü Analizi

Yayılm faktörü EM dalganın atmosferik kırılma ve mesafeye bağlı değer değişimlerini tanımlayan parametredir. Bu kapsamda VHF, L ve X band aralığındaki radarlar kullanılarak standart atmosfer koşulu ile yüzey tabanlı oluklama, yükseltilmiş oluklama ve buharlaşma oluklama durumlarındaki yayılım faktörü analizleri yapıldı.

#### 3.5.1 Standart Atmosfer Durumunda Yayılım Faktörü Analizi

Standart atmosfer koşullarında irtifa arttıkça ortamın düzeltilmiş kırılma indisi (M) artar. Düzeltilmiş kırılma indisinin artması ile EM dalga yayılımı belli bir menzil mesafesinden sonra oluk içerisinde olduğu gibi kırılmaya uğramaz ve dalga artan irtifa ile yukarı doğru kırılarak yol alır.



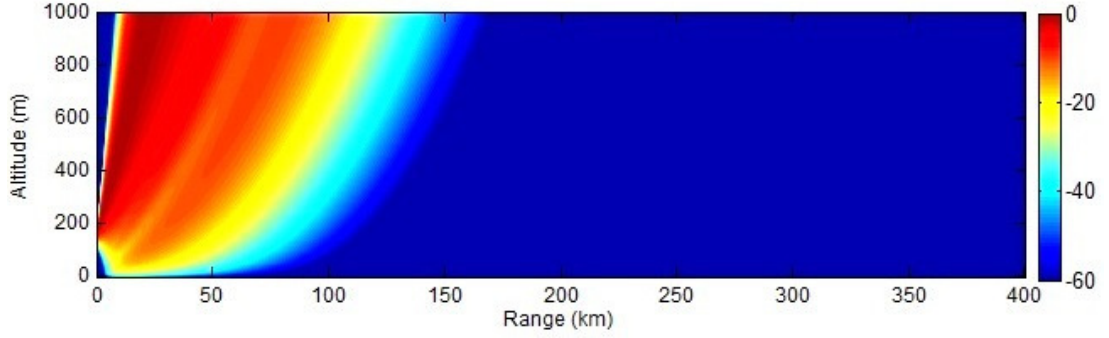
**Şekil 3.7:** Standart atmosfer durumundaki düzeltilmiş kırılma indisi

Standart atmosfer içerisinde ilerleyen farklı frekans band aralıklarına sahip EM dalgaların, atmosfer içerisindeki kırılma durumlarına göre ortaya çıkan yayılım faktörlerinin analizi yapıldı.

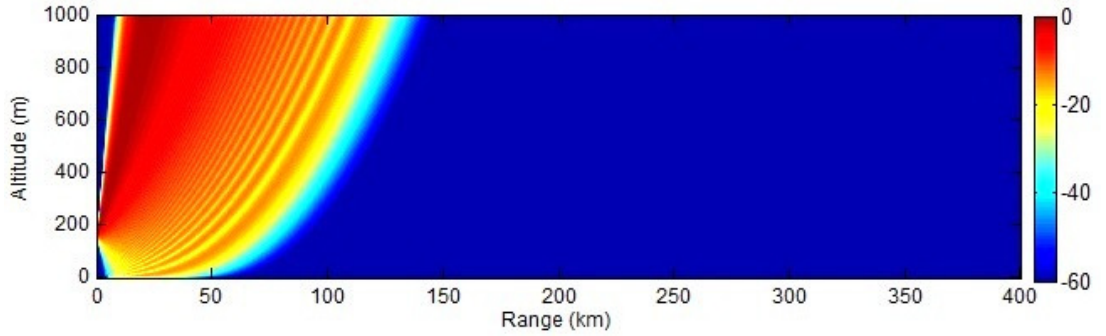
**Tablo 3.3:** Standart atmosferde durumundaki yayılım faktörü analizi

Seçilen Frekanslar	Analiz İrtifası Adımı (m)	Analiz Mesafe Adımı (m)	Sinyal Gözlem İrtifası (m)	Radar İrtifası (m)
VHF (120 MHz)	3	200	100	150
L (1.4 GHz)	0.3	200		
X (9 GHz)	0.1	200		

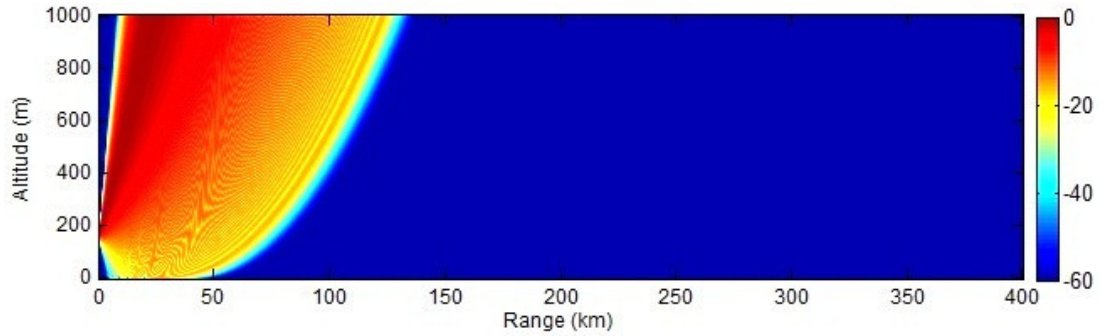
Standart atmosfer koşullarındaki yayılım faktörü atmosferik kırılmaya bağlı olarak radarın konuş yüksekliğinden itibaren azalmaya başlar. Mesafe arttıkça radardan gönderilen sinyaller maruz kaldıkları kırılmalar sonucu atmosferde yükselir ve belli bir noktadan sonra enerjisi azalan sinyallerin hedefi tespit etmesi zorlaşır. Aşağıdaki şekillerde kırmızı renkler hedefin en iyi tespit edildiği radar menzil mesafeleri olup, mesafe arttıkça hedefin tespit edilmesinin zorlaştığı görülmektedir.



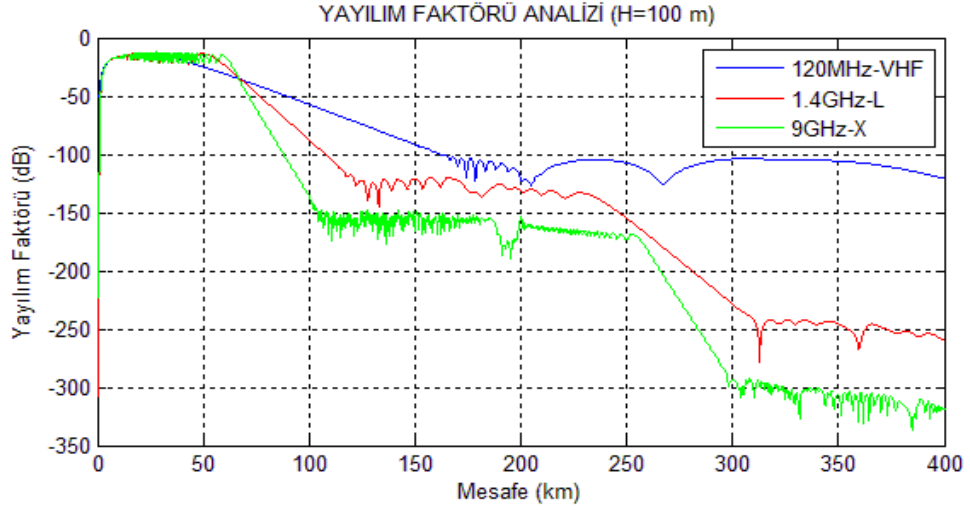
**Şekil 3.8:** VHF sinyalinin standart atmosferdeki yayılımı faktörü analizi



**Şekil 3.9:** L sinyalinin standart atmosferdeki yayılımı faktörü analizi



**Şekil 3.10:** X sinyalinin standart atmosferdeki yayılımı faktörü analizi



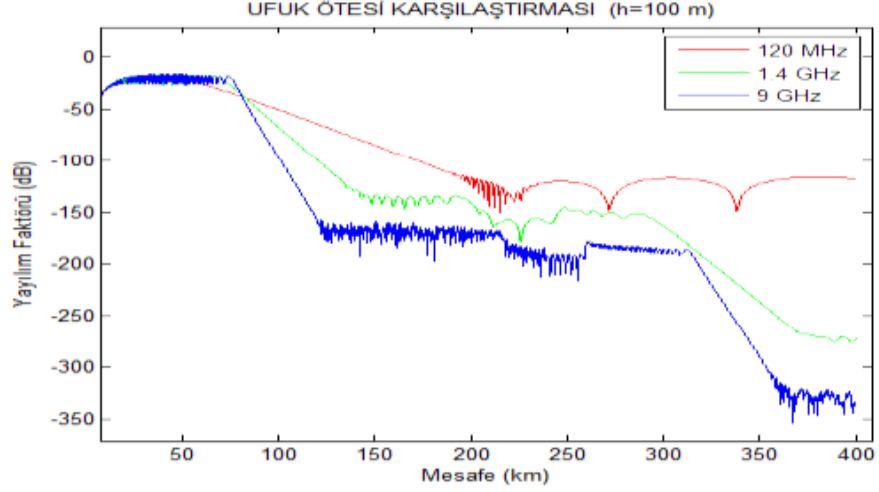
**Şekil 3.11:** Standart atmosfer durumundaki yayılım faktörü analizi

Standart atmosfer koşullarında alçak irtifada konuşlanmış VHF band aralığına sahip bir radarın; yayılım faktörünün belli bir seviyede sabit kalması ve çok değişkenlik göstermemesi sonucunda, radarın hedefi tespit mesafesi diğer frekans bandlarına oranla VHF band aralığında artmıştır.

Oluklama durumlarına yönelik benzer çalışma yapılmış olup, standart atmosfer durumu için kullanılan radar konuş irtifası, frekanslar ve elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir. [9]

**Tablo 3.4:** Benzer çalışmada standart atmosfer durumundaki yayılım faktörü analizi

Seçilen Frekanslar	Analiz İrtifası Adımı (m)	Analiz Mesafe Adımı (m)	Sinyal Gözlem İrtifası (m)	Radar İrtifası (m)
VHF (120 MHz)	3	200	100	300
L (1.4 GHz)	0.3	200		
X (9 GHz)	0.1	200		

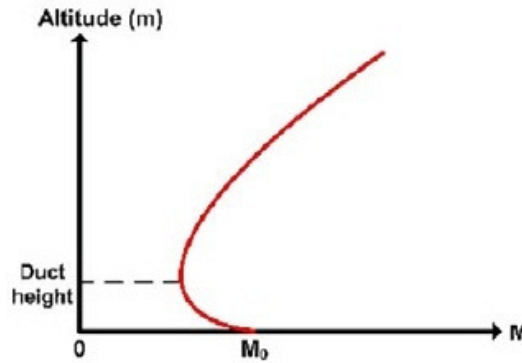


**Şekil 3.12:** Benzer çalışmadaki standart atmosferde yayılım faktörü analizi [9]

Yapılan benzer araştırma sonucunda radar irtifası 130 m alınmış olup, diğer tüm veriler aynı tutulduğunda elde edilen bulguların benzer olduğu görülmüştür. VHF band aralığına sahip radarın yayılım faktörü belli bir seviyede sabit kalırken, frekansın artması ile L ve X frekans aralıklarına sahip radarların yayılım faktörü irtifa artıkça azalmıştır.

### 3.5.2 Buhar Oluşu Durumunda Yayılm Faktörü Analizi

Buharlaştırma olukları genellikle okyanus yüzeylerinde ve büyük su birikintilerinin üzerinde meydana gelir. Su yüzeyine yakın hava, su buharı ile doymuştur ve doygunluk oranı yüzde yüzdür. Buna bağlı nem denir.



**Şekil 3.13:** Buhar oluşu durumundaki düzeltilmiş kırılma indisi

Okyanuslardaki tuz bağlı nemin %98 olmasına sebep olur. Bağlı nem denizin hava ile temas ettiği noktada yüksek olmasına rağmen genellikle deniz yüzeyinden yükseldikçe hızla düşmeye başlar. Çünkü deniz seviyesinden yukarı doğru çıktıkça

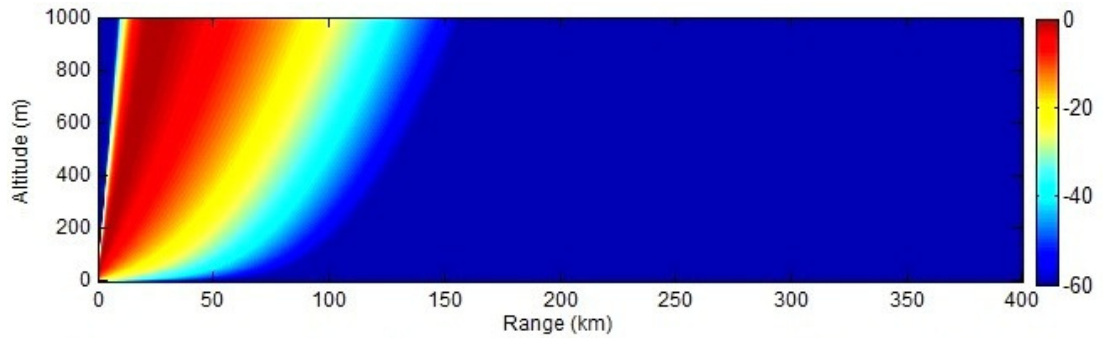
nemde de hızlı bir düşüş olur ve aynı zamanda atmosferdeki kırıcılıkta hızlıca düşer. Bu sebepten dolayı yansıyan EM dalgalar oluklamanın alt yüzeyine hapsolür. Kırılma indisinin asgari seviyeye indiği bu yükseklik buharlaşma oluğunun yüksekliği olarak adlandırılır. Sıcak hava okyanus yüzeyinde serap etkisine de sebep olabilir. Su yüzeyi havadan daha sıcak olması nedeniyle yüksek buhar basıncı ihtiva eder ve güçlü bir buhar oluğu oluşumuna neden olur. [2]



**Şekil 3.14:** Buharlaşma oluklaması durumu [2]

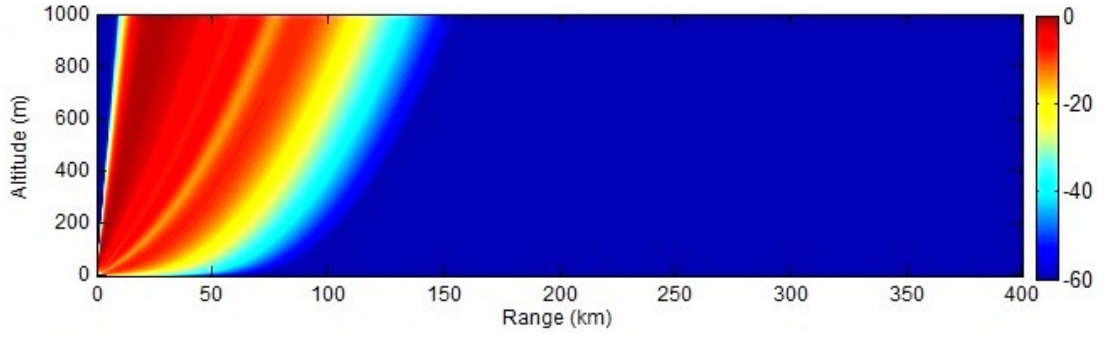
**Tablo 3.5:** Buhar oluğu durumundaki yayılım faktörü analizi

Seçilen Frekanslar	Analiz İrtifası Adımı (m)	Analiz Mesafe Adımı (m)	Oluşan Oluk Kalınlığı (m)	Oluk Gözlem İrtifası (m)	Radar İrtifası (m)
VHF (120 MHz)	3	200	30	21	20
L (1.4 GHz)	0.3	200			
X (9 GHz)	0.1	200			

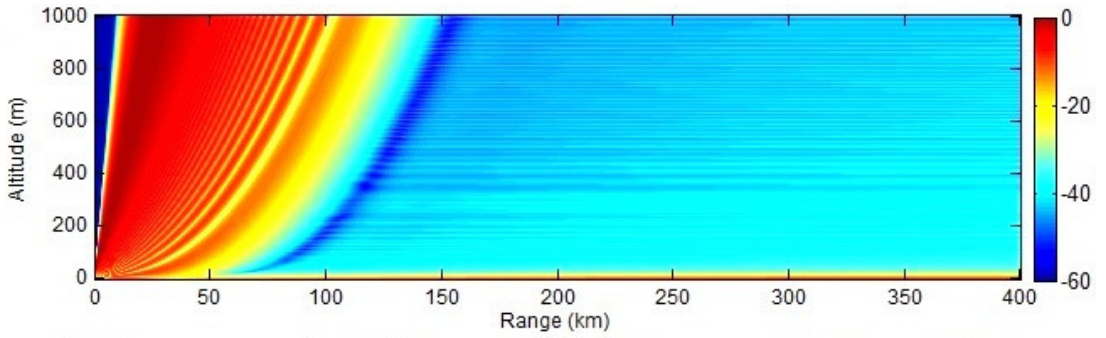


**Şekil 3.15:** VHF sinyalinin buhar oluğundaki yayılımı faktörü analizi





**Şekil 3.16:** L sinyalinin buhar oluşundaki yayılımı faktörü analizi



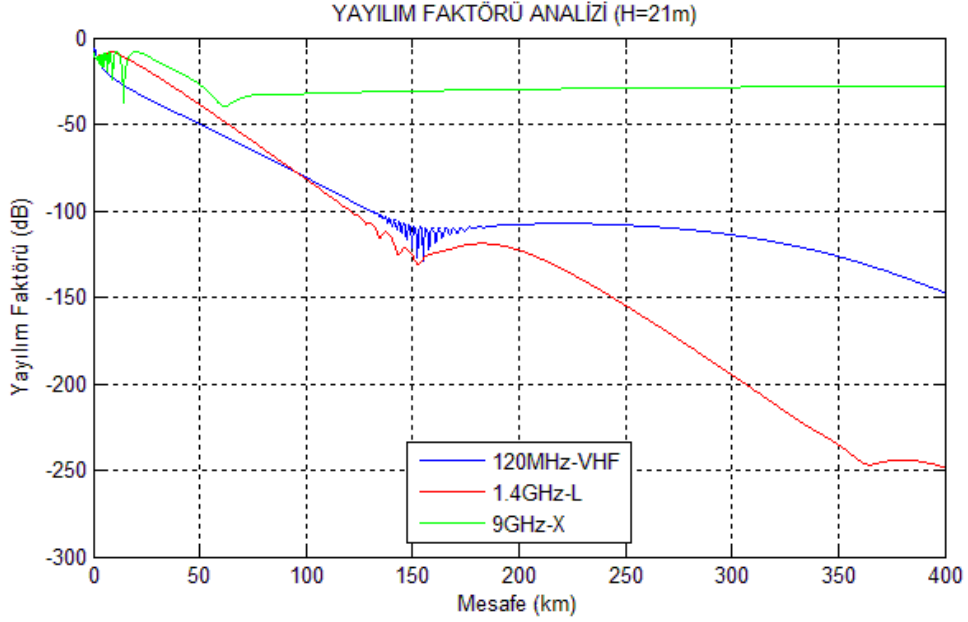
**Şekil 3.17:** X sinyalinin buhar oluşundaki yayılımı faktörü analizi

Buharlaşma oluklaması sırasında oluşan oluk kalınlığı su yüzeyinden en fazla 40 m yüksekliğe sahip olmaktadır. Yapılan analizlerde su yüzeyinde oluşan buhar oluşu kalınlığı 30 m, oluk gözlem irtifası ise 21 m olarak alındı. VHF ve L frekans band aralığına sahip radarların neşrettikleri EM dalgaların dalga boyu buhar oluşu kalınlığından büyük olduğu için oluk içerisinde ilerleyemezler. X bandının ise dalga boyunun buhar oluşu kalınlığından küçük olması oluk içerisinde rahat bir şekilde ilerlemesini sağlamıştır. Bu sebeple buhar oluklaması durumunda X frekans band aralığına sahip bir radarın kullanılması radar menzil mesafesinin artmasını sağlar.



**Şekil 3.18:** Üzerinde arama ve takip radarları bulunan firkateyn (F-491) [10]

Gemi ve birtakım deniz araçlarının üzerinde bulunan radarların yüksek frekansta olmasının nedenlerinden biride budur. Çünkü deniz üzerindeki oluşan buhar oluklarından istifade edebilmek için oluşan buhar oluğu kalınlığından daha küçük dalga boyuna sahip bir frekans kullanmak gerekir.

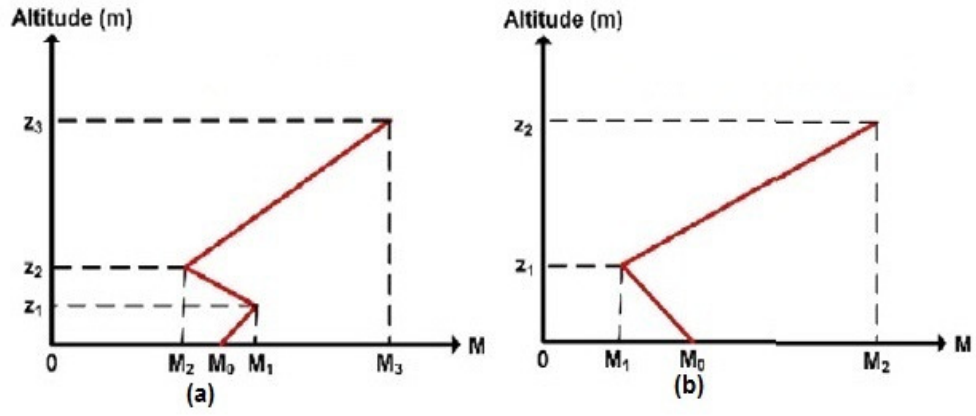


**Şekil 3.19:** Buhar oluğu durumundaki yayılım faktörü analizi

X band aralığındaki frekansın oluk içerisine girmesi ve oluşan buhar oluğu boyunca ilerlemesi sonucu yayılım faktörü çok fazla değişmeden sabit bir değer aralığında devam etmiştir. Bu sebeple deniz yüzeyinde konuşlandırılacak bir radarın radar menzil mesafesi normal şartlardaki menzil mesafesine göre çok fazla artar.

### 3.5.3 Yüzey Tabanlı Oluk Durumunda Yayılım Faktörü Analizi

Yüzey ile ilgili oluklama durumları dünya yüzeyinden veya irtifaca dünya yüzeyinin üzerinden başlar. Yüzey oluğu adından da anlaşılacağı üzere dünya yüzeyinden başlar ve belli irtifa sonunda biter. Dünya yüzeyi ise bu oluklamanın tabanını oluşturur. Yüzey tabanlı oluklama ise irtifaca dünya yüzeyinin üzerinden başlar ve yüzey tabanlı oluğun üst yüzeyindeki düzeltilmiş kırılma indisi (M) değeri yeryüzü tabanındakinden daha küçüktür.



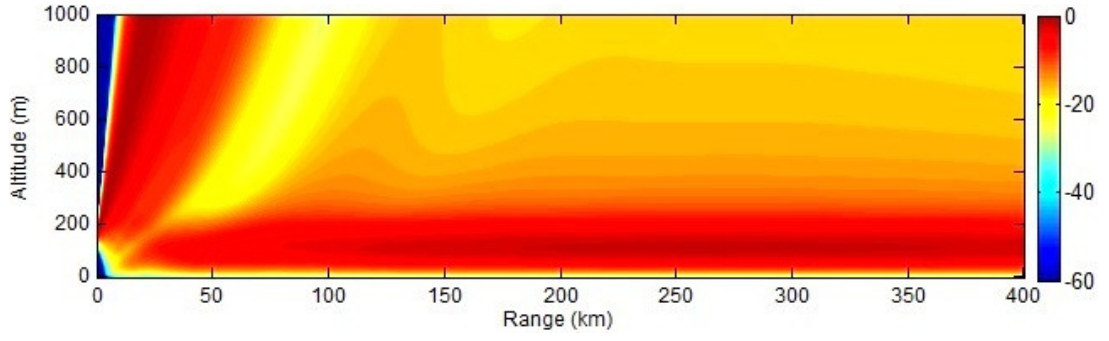
**Şekil 3.20:** (a) Yüzey tabanlı oluk ve (b) Yüzey oluğu durumundaki düzeltilmiş kırılma indisi



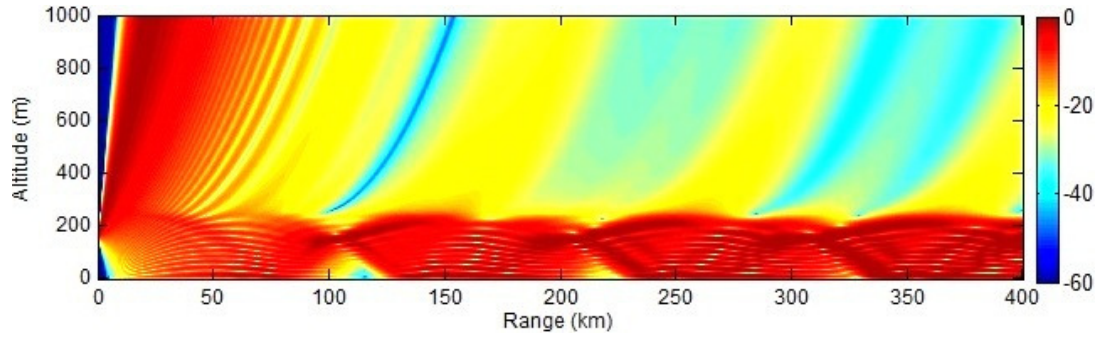
**Şekil 3.21:** Yüzey tabanlı oluklama durumu [2]

**Tablo 3.6:** Yüzey tabanlı oluk durumundaki yayılım faktörü analizi

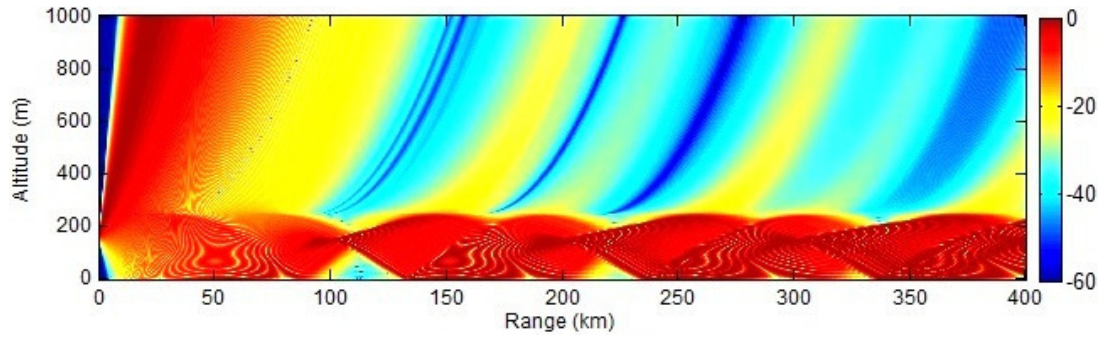
Seçilen Frekanslar	Analiz İrtifası Adımı (m)	Analiz Mesafe Adımı (m)	Oluşan Oluk Kalınlığı (m)	Oluk Gözlem İrtifası (m)	Radar İrtifası (m)
VHF (120 MHz)	3	200	80 m – 250 m irtifa aralığında	100	150
L (1.4 GHz)	0.3	200			
X (9 GHz)	0.1	200			



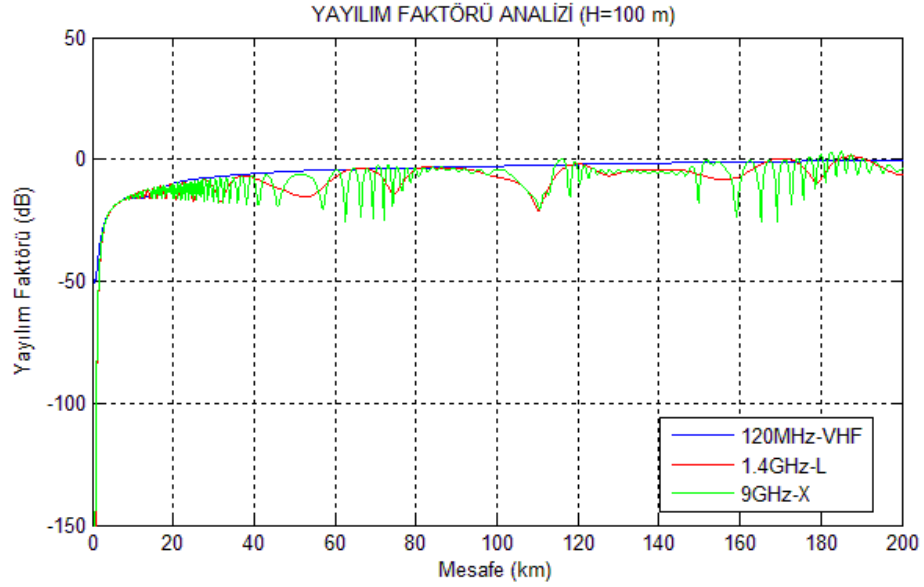
**Şekil 3.22:** VHF sinyalin yüzey tabanlı oluktaki yayılımı faktörü analizi



**Şekil 3.23:** L sinyalin yüzey tabanlı oluktaki yayılımı faktörü analizi



**Şekil 3.24:** X sinyalin yüzey tabanlı oluktaki yayılımı faktörü analizi

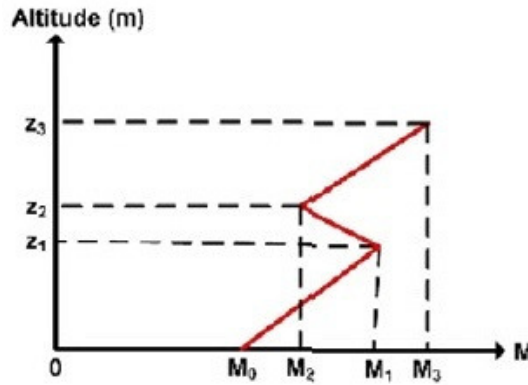


**Şekil 3.25:** Yüzey tabanlı oluk durumundaki yayılım faktörü analizi

Şekil 3.24'de görüldüğü üzere L ve X frekans bandlarında ara ara hedefin tespiti zorlaşmaktadır. VHF band aralığındaki frekansın yayılım faktörü çok fazla değişmeden sabit bir değer aralığında devam etmiştir. Bu sebeple alçak irtifada konuşlanmış VHF frekans aralığına sahip bir radarın yüzey tabanlı oluklama durumundaki hedef tespiti için büyük avantaj sağlayacağı görülmektedir.

### 3.5.4 Yükseltilmiş Oluk Durumunda Yayılım Faktörü Analizi

Yükseltilmiş oluklamanın tabanı yeryüzü seviyesinin üzerinde oluşmaktadır. Bu durum ters sıcaklık değişimi ile birlikte atmosferdeki nem oranının düşmesinden kaynaklanır.



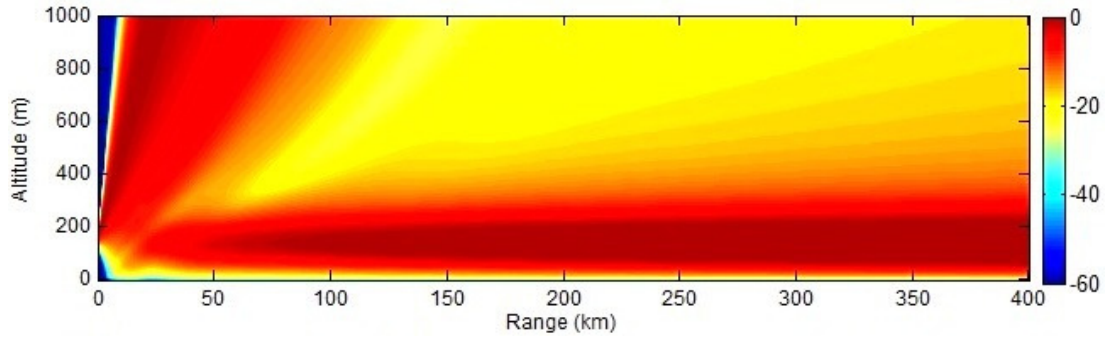
**Şekil 3.26:** Yükseltilmiş oluk durumundaki düzeltilmiş kırılma indisi



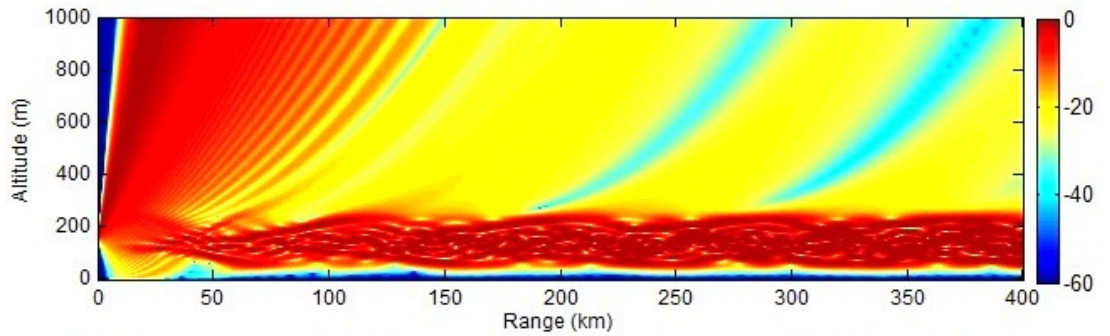
**Şekil 3.27:** Yükseltilmiş oluklama durumu [2]

**Tablo 3.7:** Yükseltilmiş oluk durumundaki yayılım faktörü analizi

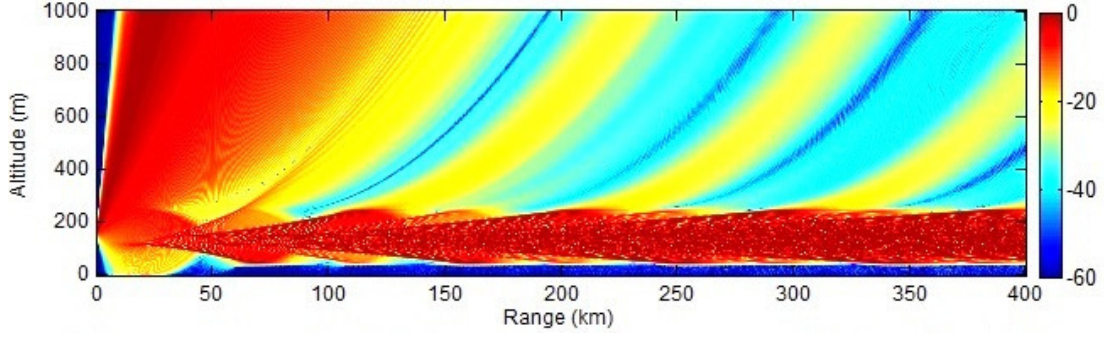
Seçilen Frekanslar	Analiz İrtifası Adımı (m)	Analiz Mesafe Adımı (m)	Oluşan Oluk Kalınlığı (m)	Oluk Gözlem İrtifası (m)	Radar İrtifası (m)
VHF (120 MHz)	3	200	130 m – 250 m irtifa aralığında	100	150
L (1.4 GHz)	0.3	200			
X (9 GHz)	0.1	200			



**Şekil 3.28:** VHF sinyalinin yükseltilmiş oluktaki yayılımı faktörü

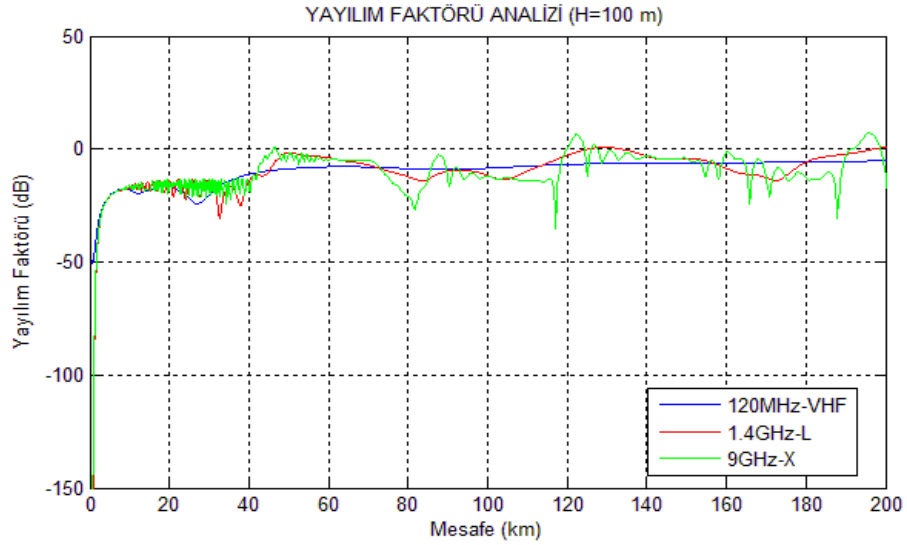


**Şekil 3.29:** L sinyalinin yükseltilmiş oluktaki yayılımı faktörü



**Şekil 3.30:** X sinyalinin yükseltilmiş oluktaki yayılımı faktörü

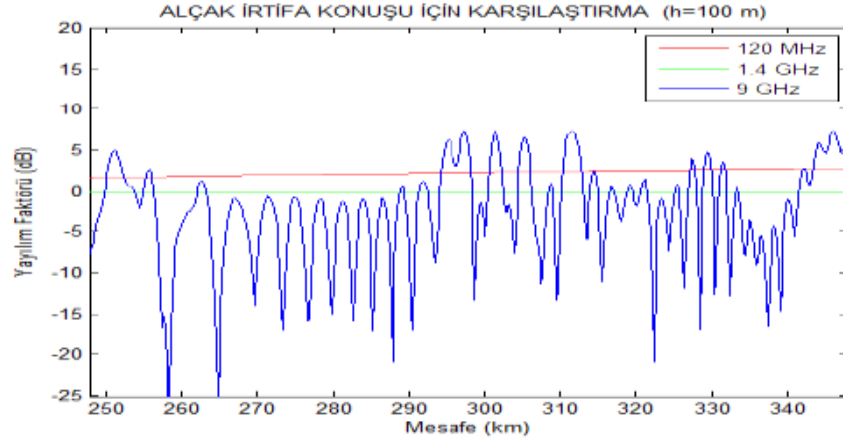
Yükseltilmiş oluklama durumunda yeryüzünden belli bir yükseklikte değişen atmosferik koşullar sonucu radar menzil mesafesinin artmasına yol açan oluk oluşumu meydana gelmiştir. Şekillerden de anlaşılacağı gibi oluk içerisindeki dalganın yayılım faktörü değeri çok fazla değişmemiş ve radar menzil mesafesi oluk oluşumu sayesinde artmıştır. Sadece radarlardan gönderilen frekansın band genişliği arttıkça bazı noktalarda hedefin tespiti zorlaşmakta ve yayılım faktörünün değişkenlik göstermesi sonucu radar performansı düşmektedir.



**Şekil 3.31:** Yükseltilmiş oluk durumundaki yayılım faktörü analizi

Yükseltilmiş oluk içerisinde ilerleyen alçak irtifada konuşlanmış VHF band aralığına sahip radarın yayılım faktörünün çok az da olsa artarak belli bir seviyede sabit kalması ve çok fazla değişkenlik göstermemesi radarın oluk içerisinde bulunan hedeflere karşı tam bir görüş sağlamasına sebep olmuştur. X frekans band aralığında ise yayılım faktörünün değişkenlik göstermesi, oluk içerisindeki hedef tespitinde kör noktalar oluşmasına sebep olmuştur.

Oluklama durumlarına yönelik benzer çalışma yapılmış olup, yükseltilmiş oluklama durumu için kullanılan radar konuş irtifası 130 m, ele alınan frekanslar VHF (120 MHz), L (1.4 GHz), X (9 GHz), oluk gözlem irtifası 100 m ve oluk kalınlığı 250 m olarak alınmıştır. [9]



**Şekil 3.32:** Benzer çalışmadaki yükseltilmiş oluğun yayılım faktörü analizi [9]

Yapılan benzer araştırma sonucunda radar irtifası 130 m ve oluk kalınlığı 250 m alınmış olup, seçilen frekansların aynı olduğu ortamda elde edilen bulguların benzer olduğu görülmüştür. VHF band aralığına sahip radarın yayılım faktörü çok az bir artış göstererek 0 dB'in üzerinde devam ederek radar için çok güzel bir görüş sağlamıştır.

L band aralığına sahip radar için ise VHF göre radarın göremediği kör noktalar olsa bile yayılım faktörünün sabit kalması oluk içerisindeki hedef tespitinin devamlılığını sağlamıştır. X band aralığında ise oluşan dalgalanmalar oluk içerisinde bir çok kör nokta olmasına ve hedef tespitinin bozulmasına yol açmıştır.



## 4. RADAR DENKLEMİ VE YAYILIM FAKTÖRÜ ANALİZİ

Radar denkleminde EM dalganın atmosferik kırılma ve mesafeye bağlı değer değişimlerini tanımlayan parametreye yayılım faktörü denmektedir. Bu bölümde VHF, L ve X band aralığındaki frekansların yayılım faktörü değerleri farklı atmosfer koşulları için hesaplanmıştır. Hesaplanan yayılım faktörlerinin radar denklemi içerisinde kullanılması sonucu farklı frekanslara sahip radarların radar performans analizleri yapılmıştır.

**Tablo 4.1:** Yayım faktörü değerinin radar denklemi ile analizi

Sembol	Tanımlama	Birim	Durum	Değerler
Pt	Gönderilen Sinyalin Tepe Gücü	Watts	Giriş	1.5 MW
Frekans_1	Radar Sinyal Frekansı (VHF)	Hz	Giriş	120 MHz
Frekans_2	Radar Sinyal Frekansı (L)	Hz	Giriş	1.4 GHz
Frekans_3	Radar Sinyal Frekansı (X)	Hz	Giriş	9 GHz
G	Anten Kazancı	dB	Giriş	45 dB
Sigma	Hedef Kesit Alanı (RCS)	m <sup>2</sup>	Giriş	0.1 m <sup>2</sup>
Te	Etkin Gürültü Sıcaklığı	Kelvin	Giriş	290 K°
B	Radar Band Genişliği	Hz	Giriş	5 MHz
F	Gürültü Katsayısı	dB	Giriş	3 dB
L	Radar Kayıpları	dB	Giriş	6 dB
F(R,M)	Yayılım Faktörü	dB	Giriş	Oluklama Durumuna göre 0 km - 400 km arasındaki 2000 değer
R	Hedef Görüş Mesafesi	m	Giriş	0 Km-400 Km
SNR	Giriş-Çıkış Sinyal Gürültü Oranı	dB	Çıkış	0 km - 400 km arasındaki 2000 değer

$$SNR = \frac{PtG^2\lambda^2\sigma F^4(R, M)}{(4\pi)^3kT_eBFLR^4} \quad (4.1)$$

$F(R, M) =$  Atmosferik ortamdaki yayılım faktörü

$M =$  Düzeltilmiş kırılma indisi

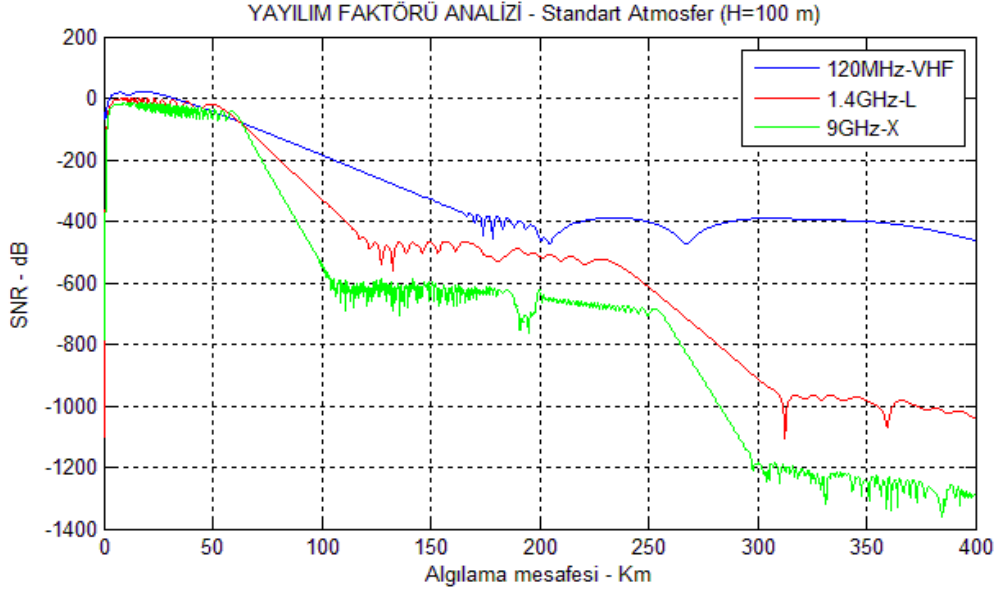
Radarlara ait farklı frekans değerlerinin atmosferde oluşan oluklama durumlarına göre yayılım faktörü değerleri tespit edilerek, radar denklemi üzerinde radarların performansı değerlendirilmiştir. Tablo 4.1'deki verilen ifadeleri kullanarak VHF, L ve X frekans band aralığındaki radarların standart atmosfer ve oluklama durumlarındaki radar performans analizleri yapılmıştır.

#### 4.1 Standart Atmosfer Durumunun Radar Denklemi ile Analizi

Radarların menzil mesafesi 400 km olarak değerlendirilmiş olup yapılan performans analizi için her 200 metrede bir yayılım faktör değerleri hesaplanmıştır. Böylece sabit bir irtifada 2000 adet yayılım faktörü değeri elde edilmiştir. Bununla birlikte 100 metrelik gözlem irtifasında; radar menzil mesafesi boyunca elde edilen 2000 adet yayılım faktörü değeri radar denkleminde hesaplanarak, farklı frekanslara sahip radarlar için radar performans analizi yapılmıştır.

**Tablo 4.2:** Standart atmosfer durumunun radar denklemi ile analizi

Seçilen Frekanslar	Analiz İrtifası Adımı (m)	Analiz Mesafe Adımı (m)	Sinyal Gözlem İrtifası (m)	Radar Menzil Mesafesi (km)	Radar İrtifası (m)
VHF (120 MHz)	3	200	100	400	150
L (1.4 GHz)	0.3	200			
X (9 GHz)	0.1	200			



**Şekil 4.1:** Standart atmosfer durumunun radar denklemi ile analizi

Standart atmosfer koşullarında yapılan analiz sonucu ilk 50 kilometrelik mesafede VHF, L ve X frekans aralıklarındaki radarlar eşit performansta hedefi tespit edebilirken, 50 kilometreden sonra radarların performansında düşüş gözlenmiştir. Ancak VHF band aralığına sahip radarın SNR değeri bir miktar düşüş gösterdikten sonra sabit kalarak radar performansının L ve X band aralığına sahip radarlara oranla daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple standart atmosfer koşullarında alçak irtifada konuşlanan bir VHF radarın alçak irtifa izlemesinde büyük avantaj sağlayacağı sonucu ortaya çıkmaktadır.

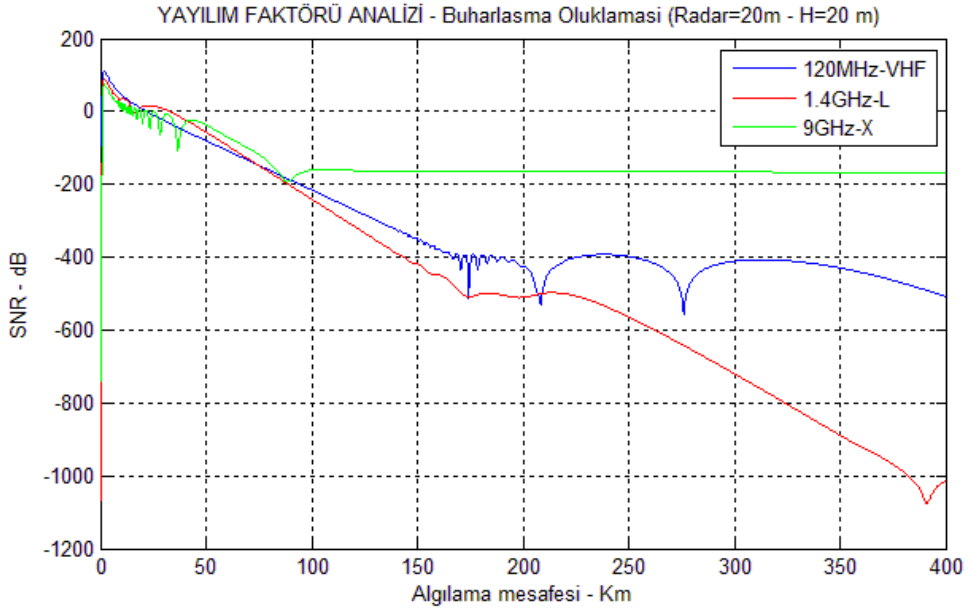
## 4.2 Buharlaşma Oluklamasının Radar Denklemi ile Analizi

Buharlaşma oluklaması durumunda radar irtifası 20 metre, oluk gözlem irtifası 21 metre olarak alındı. Genellikle buhar olukları su yüzeylerinde en fazla 40 metrelik irtifa boyunda oluşmasından dolayı oluk kalınlığı 30 metre olarak alındı.

Buhar oluşu fazla yüksek irtifada oluşmadığından gözlem irtifası yaklaşık yüzey seviyesinde ve oluk kalınlığına yakın bir değer olarak alındı. Farklı radar frekansları için 21 metrelik oluk gözlem irtifasında radar menzil mesafesi boyunca elde edilen 2000 adet yayılım faktörü değeri, radar denkleminde hesaplanarak radar performansının analizi yapıldı.

**Tablo 4.3:** Buharlaşma oluklaması durumunun radar denklemi ile analizi

Seçilen Frekanslar	Analiz İrtifası Adımı (m)	Analiz Mesafe Adımı (m)	Oluşan Oluk Kalınlığı (m)	Oluk Gözlem İrtifası (m)	Radar İrtifası (m)
VHF (120 MHz)	3	200	30	20	20
L (1.4 GHz)	0.3	200			
X (9 GHz)	0.1	200			



**Şekil 4.2:** Buharlaşma oluklaması durumunun radar denklemi ile analizi

Buharlaşma oluklaması durumunda radar denklemi üzerinde en fazla performans gösteren frekans bandı X bandı olarak görölmektedir. Bunun en büyük sebeplerinden biri VHF ve L band aralığına sahip radarların dalga boylarının büyük olması nedeniyle oluk içersine girememesidir. Frekans oluk kalınlığı ilişkisinden daha önce bahsetmiştik. VHF band aralığı için gerekli oluk kalınlığı en az 122 metre, L frekans band aralığı içinse en az 32 metre olmalıdır. Bu sebeple oluk içersinde sadece X bandındaki frekans girebilmiş ve belli seviyeden sonra radar performansı düşmeden sabit bir şekilde oluk içersinde ilerlemiştir.

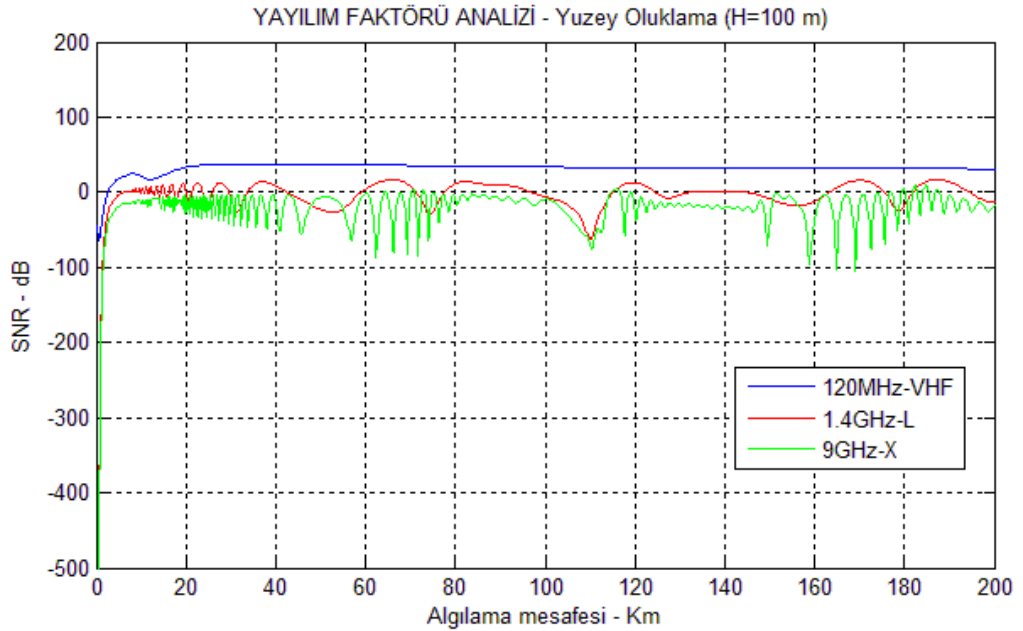
### 4.3 Yüzey Tabanlı Oluklamanın Radar Denklemi ile Analizi

Yüzey tabanlı oluklama durumunda radar irtifası 150 metre, oluk gözlem irtifası 100 metre olarak alındı. Yüzey tabanlı oluklama ise irtifaca dünya yüzeyinin üzerinden başlar. Yapılan analizlerde oluk irtifası 80 metre ile 250 metre aralığında

alındı. Farklı radar frekansları için 100 metrelik oluk gözlem irtifasında radar menzil mesafesi boyunca elde edilen 2000 adet yayılım faktörü değeri, radar denkleminde hesaplanarak radar performansının analizi yapıldı.

**Tablo 4.4:** Yüzey tabanlı oluklamanın radar denklemi ile analizi

Seçilen Frekanslar	Analiz İrtifası Adımı (m)	Analiz Mesafe Adımı (m)	Oluşan Oluk Kalınlığı (m)	Oluk Gözlem İrtifası (m)	Radar İrtifası (m)
VHF (120 MHz)	3	200	80 m – 250 m irtifa aralığında	100	150
L (1.4 GHz)	0.3	200			
X (9 GHz)	0.1	200			



**Şekil 4.3:** Yüzey tabanlı oluklamanın radar denklemi ile analizi

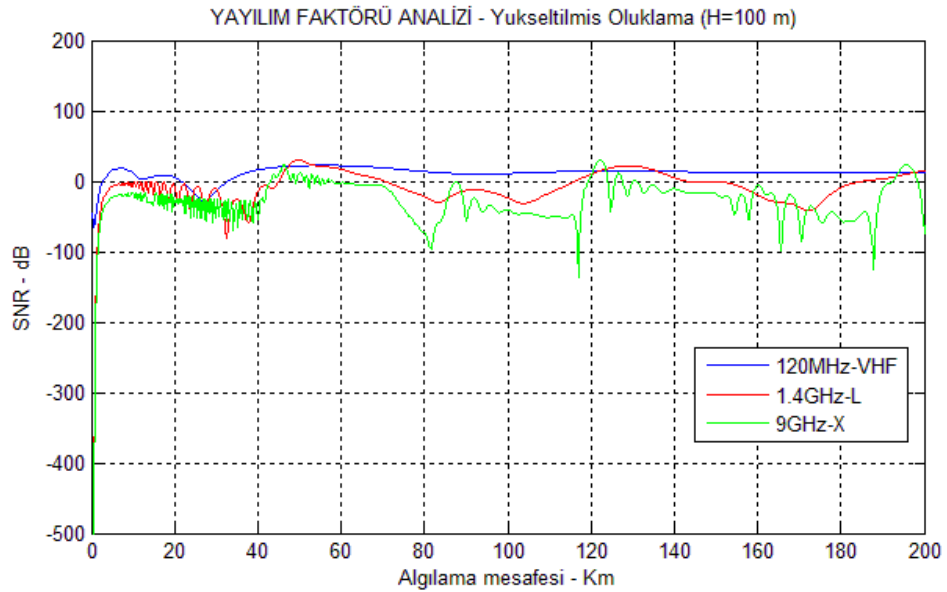
Analizler sonucu elde edilen veriler değerlendirildiğinde VHF band aralığına sahip radarın alçak irtifadaki radar performans değeri, oluk etkisi ile standart atmosfer koşullarının da çok üstüne çıkmıştır. VHF bir radar için SNR değerinin 0 dB'in üstünde sabit bir yol izlemesi oluk içerisindeki hedef tespitini maksimum düzeye taşımıştır. L ve X frekans band aralığındaki radarların SNR değerinin değişken olmasından dolayı bazı noktadaki hedef tespiti zorlaşmış ve radar performansı düşmüştür.

#### 4.4 Yükseltmiş Oluklamanın Radar Denklemi ile Analizi

Yükseltmiş oluklama durumunda yapılan analizler için radar irtifası 150 metre, oluk gözlem irtifası 100 metre olarak alındı. Farklı radar frekansları için 100 metrelik oluk gözlem irtifasında radar menzil mesafesi boyunca elde edilen 2000 adet yayılım faktörü değeri, radar denkleminde hesaplanarak radarların performans analizi yapıldı.

**Tablo 4.5:** Yükseltmiş oluklamanın radar denklemi ile analizi

Seçilen Frekanslar	Analiz İrtifası Adımı (m)	Analiz Mesafe Adımı (m)	Oluşan Oluk Kalınlığı (m)	Oluk Gözlem İrtifası (m)	Radar İrtifası (m)
VHF (120 MHz)	3	200	130 m – 250 m irtifa aralığında	100	150
L (1.4 GHz)	0.3	200			
X (9 GHz)	0.1	200			



**Şekil 4.4:** Yükseltmiş oluklamanın radar denklemi ile analizi

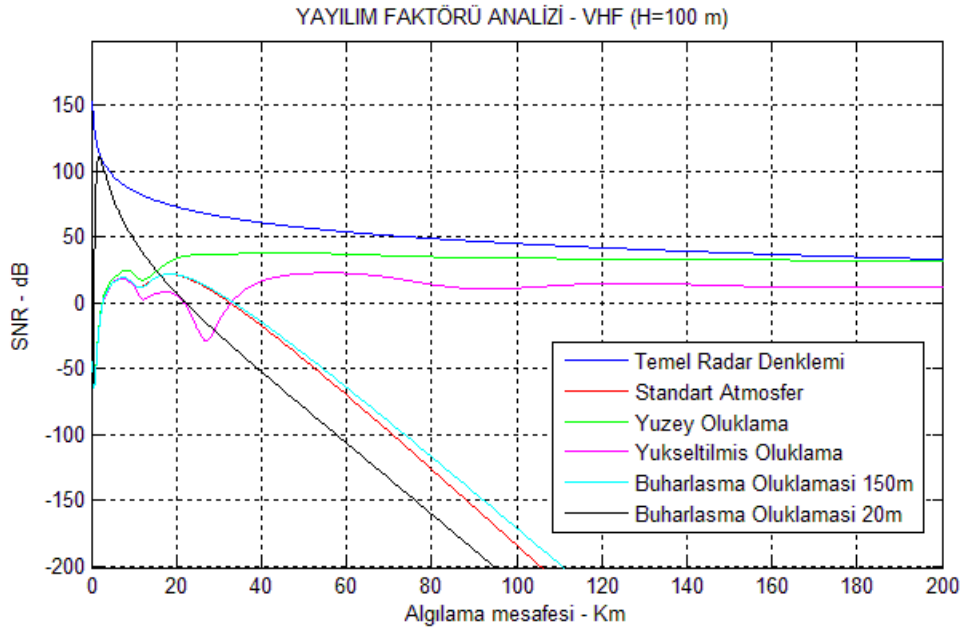
Yapılan analizler sonucu ilk 30 kilometrede radar performans değerleri birbirine yakinen, daha sonraki mesafelerde VHF radarın performansının 0 dB değerinin üzerinde sabit bir yol izlemesi oluk içerisindeki hedef tespitini maksimum düzeye taşımıştır. Yükseltmiş oluk içerisinde L ve X frekans aralığına sahip radarların SNR değerlerinin çok değişkenlik göstermesi hedef tespitini zorlaştırmıştır. Yükseltmiş oluk içerisinde alçak irtifada konuşlanmış VHF

bandındaki bir radarın performansının L ve X band aralığındaki radarlardan daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Atmosferin troposfer katmanındaki sıcaklık, basınç ve nem parametre değerlerinin irtifaca farklılık göstermesi sonucu atmosferik ortamın kırılma değeri değişir. İrtifaca değişen kırılma değerleri sonucu oluk oluşumu gözlenir. Bu çalışmada VHF, L ve X frekans band aralığına sahip radarların alçak irtifadaki oluklama durumları radar denklemi kullanılarak analiz edilmiştir. Oluklama durumlarının oluşmadığı standart atmosfer koşulları ile farklı irtifalarda gözlemlenen oluklama durumları karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucu oluşan oluklama durumlarında radarın menzil mesafesinde artış gözlemlenmiştir.

VHF, L ve X frekans band aralıklarına sahip radarların standart atmosfer koşulu ile oluklama durumlarındaki radar performans değerleri radar denklemi kullanarak analiz edilmiştir. Farklı frekans değerlerine sahip olan üç radarın, radar performansının en iyi olduğu atmosfer koşulları gözlemlenmiştir.

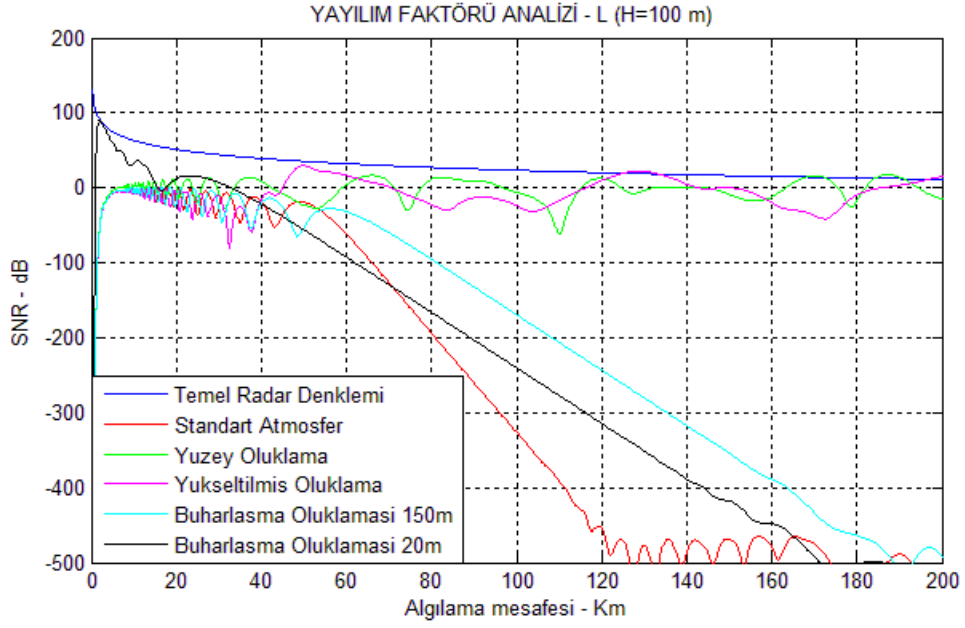


**Şekil 5.1:** VHF bandındaki radarın performans analizi

VHF band aralığına sahip radar için alçak irtifada yüzey oluklamasının radar performansı ve hedef tespitinde L ve X frekans band aralığına sahip radarlara oranla daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda VHF bir radarın standart atmosfer koşullarındaki radar menzil mesafesi de diğer radar frekanslarına kıyasla fazladır.

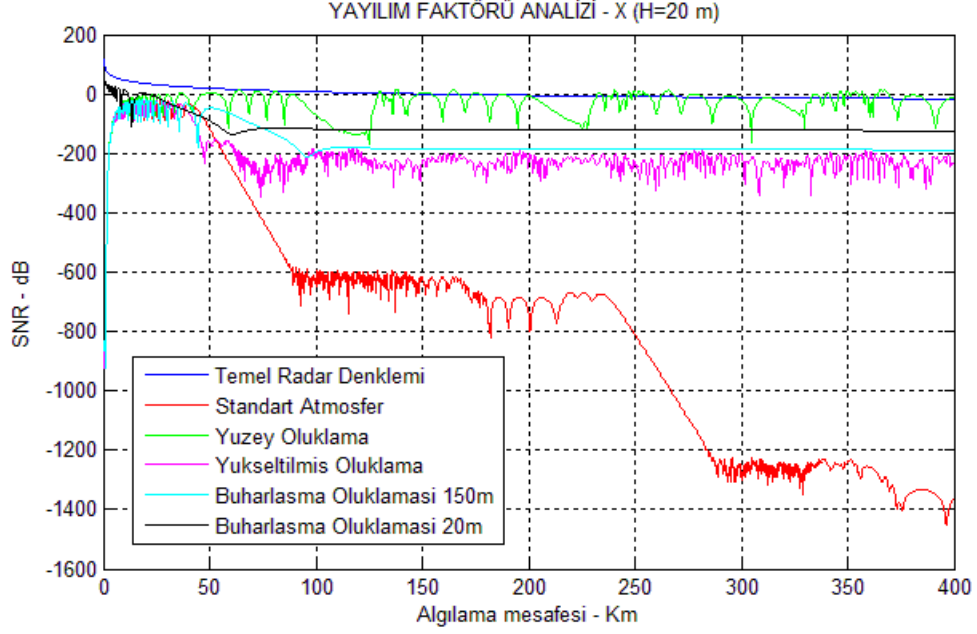


Ancak VHF band aralığına sahip bir radarın dalga boyu büyük olduğundan buhar oluşu içerisinde ilerleyemez.



**Şekil 5.2:** L bandındaki radarın performans analizi

L band aralığına sahip radar için alçak irtifada yapılan analizler sonucu yüzey oluklaması ile yükseltilmiş oluklama durumlarındaki radar performansının birbirine yakın olduğu ve her iki oluklama durumunda da hedef tespitinin zorlaştığı kör nokta oluşumları gözlenmiştir. Standart atmosfer koşullarında alçak irtifadan yapılan gözlemler sonucu radar performansı VHF band aralığı kadar iyi olmasa da X band aralığındaki radardan iyi olduğu tespit edilmiştir. L band aralığına sahip radarın dalga boyu oluşan buhar oluşu kalınlığına kıyasla büyük olduğundan buhar oluşu içerisinde ilerleyemez. Bu sebeple buhar oluşu oluşumu durumunda L bandındaki bir radarın kullanılmasının radar menzil mesafesine çok fazla katkısı yoktur.



**Şekil 5.3:** X bandındaki radarın performans analizi

X bandının dalga boyunun küçük olmasından dolayı buhar oluğu içerisinde ilerleyebilmektedir. Çalışmamda X band aralığına sahip radarın alçak irtifadaki analiz değerlendirmesi 20 metrelik gözlem irtifasında yapıldı. Bu gözlem irtifasının seçilmesindeki en önemli sebep yapılan analizin hem diğer atmosfer durumları hem de buharlaşma oluklama durumu için birlikte değerlendirilebilmelerini sağlamaktır. X bandındaki radarın konuş yüksekliği standart atmosfer ile oluklama durumlarının analizi için 150 metre olarak seçildi. Aynı zamanda farklı irtifaca konuşlanmış X bandı radarlarının oluşan buhar oluğu için radar performans analizi yapılmıştır.

X bandındaki radarın yüzey oluklaması esnasındaki radar performansı zaman zaman azalsa bile radar performansının en iyi olduğu atmosferik durum yüzey oluklaması olarak gözlemlenmiştir. Yüzey oluklamasına en yakın radar performans durumu buharlaşma oluklama durumudur. Radarın buhar oluğu içerisindeki performansı yüzey oluklama performans değerinden düşük olsa da sabit bir performans değerinde devam etmiştir.

Aynı zamanda iki radar buharlaşma oluklaması durumundaki radar performans analizi için radar 150 ile 20 metre yükseklikte konuşlandırıldı. İrtifaca 150 metre yükseklikte konuşlandırılan radarın gönderdiği sinyalin oluk yüzeyine geliş açısı ile 20 metrelik yükseklikte konuşlanan radarın gönderdiği sinyalin oluk yüzeyine geliş açısı farklı olacaktır. İrtifa arttıkça radardan gönderilen sinyalin geliş açısı küçülecek ve oluk yüzeyleri arasında daha fazla kırılmaya uğrayacaktır. Bu ise

oluk içerisine sıklışan EM dalganın yüzeye daha fazla çarpmasına ve her yüzeye çarptığında oluşan parazit yankılar (clutter) EM dalga enerjisinin sürekli azalmasına yol açar. Bu ise radar performansının olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır. Günümüzde Sinyal Parazit Yankı Oranı (Signal to Clutter Ratio - SCR) radar yazılımı üzerinde yapılan değişikliklerle artırılmakta ve radar kayıpları en aza indirilmektedir. Son olarak X band aralığındaki radarın standart atmosfer koşulları değerlendirildiğinde diğer frekans band aralıklarına kıyasla radar menzil mesafesinde azalış gözlemlenmektedir.

Ülkemiz coğrafyasında meydana gelen atmosferik olaylar incelendiğinde mevcut radarlarımızın bize sağladığı imknların ötesinde verim elde edebiliriz. Bu çalışmada atmosferdeki basınç, sıcaklık ve nem değerlerine bağlı olarak atmosferdeki kırılma değerleri değişmektedir. Değişen kırılma değerleri sonucu oluşan oluklama durumlarının bizlere mevcut radarlarımızın sahip olduğu menzil mesafesinden çok ötede bir menzil mesafesi sağladığı görülmüştür. Oluk içerisine giren EM dalga, oluk ve oluk kalınlığı boyunca ilerler. Bunun sonucunda mevcut radarın menzil mesafesi oluk boyunca artar. nemli olan seçilen radarın sahip olduğu frekans ile radarın konuşlandırılacağı alanın atmosferik koşulları göz önünde bulundurulurken analiz yapılması gerekmektedir.

Atmosferde oluşan oluklama durumları göz önünde bulundurulup, bir takım radarlar oluk oluşumunun çok fazla görüldüğü koordinatlara konuşlandırılabilir. Türkiye koşullarında en fazla oluklama durumunun meydana geldiği Akdeniz bölgesinde oluklamanın olduğu koordinatlarda konuşlandırılan bir radarın menzil mesafesinin artması tüm Akdeniz zerindeki hedeflerin tespit edilmesine olanak sağlayabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Çınar, K., “Elektromanyetik Alan”, *Bilim Teknik*, 80, 1–2, (2006).
- [2] Türk, S., “Atmospheric Effects On Communication And Electronic Warfare Systems Within Turkey and Surrounding Areas”, Msc Thesis, *Naval Postgraduate School*, Monterey/California, (2010).
- [3] Wolff, C., “Radar Temelleri [online]”, (12 Şubat 2014), <http://www.radartutorial.eu/>, (1996).
- [4] Mahafza, B.R. and Elsherbeni, A.Z., *Matlab Simulation of Radar Design*, New York Washington, Chapman & Hall/CRC CRC Press LLC, (2004).
- [5] Naval Air Warfare Center (US Navy)., “Electronic Warfare And Radar Systems Engineering Handbook”, *Naval Air Systems Command*, No: 0704-0188, United States Navy, (1999).
- [6] Skolnik, M.I., *Introduction to Radar Systems*, New York, McGraw–Hill, (2001).
- [7] “Lockheed\_F-117\_Nighthawk [online]”, (20 Eylül 2014), [http://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed\\_F-117\\_Nighthawk](http://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed_F-117_Nighthawk), (2014).
- [8] Başbilen, K., Efe, M., Atun M. ve Zorba O., “Radar Benzetiminde Oluk Etkisinin Modellenmesi”, 4. *Ulusal Simülasyon ve Modelleme Sempozyumu (USMOS 2011)*, Ankara, (2011).
- [9] Tepecik, C. ve Navruz, İ., “Yüzey Oluklaması Durumunda, Frekans ve Konuş Yüksekliğinin Radar Performansına Etkileri”, *IEEE 22.Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, Karadeniz Teknik Üniversitesi TRABZON, (2014).
- [10] “TCG\_Giresun\_F-491 [online]”, (20 Eylül 2014),

[http://tr.wikipedia.org/wiki/TCG\\_Giresun\\_\(F-491\)](http://tr.wikipedia.org/wiki/TCG_Giresun_(F-491)), (2013).

- [11] Gerstoft, P., Rogers, L.T., Krolik, J. and Hodgkiss, W. S., “Inversion for refractivity parameters from radar sea clutter”, *Radio Science*, *Radio Science*, 38 (3), 1–22, (2003).
- [12] Skolnik, M.I., *Radar Handbook*, New York, McGraw–Hill, (2008).
- [13] Richards, M.A., Scheer, J.A. and Holm, W.A., *Principles of Modern Radar*, USA, Scitech Publishing, (2010).
- [14] Eken, M., Ceylan, A., Taştekin, A.T., Şahin, H. ve Şensoy, S., *KLİMATOLOJİ II*, ANKARA, DİMİ, (2004).
- [15] Özgün, Ö., Apaydın, G., Kuzuoğlu, M. ve Sevgi, L., “PETOOL: MATLAB-based one-way and two-way split-step parabolic equation tool for radiowave propagation over variable terrain”, *Computer Physics Communications*, 182, 2638–2654, (2011).
- [16] O’Marr, E.E., “Atmospheric Effects On Signal Propagation in Adverse Environmental Conditions: A Validation Of The Advanced Refractive Effects Prediction System”, Ph.D Thesis, *Naval Postgraduate School*, Monterey/California, (2008).

# **EKLER**

## 7. EKLER

### EK A Algılama Mesafesi ile Hedef Kesit Alanı ve Gönderilen Sinyalin Tepe Gücü İlişkisi (bkz. Şekil 2.6, Şekil 2.7)

```
close all
clear all
Pt = 1.5e+6; % Gönderilen sinyalin tepe gücü
freq = 5.6e+9; % Radar sinyal frekansı
G = 45; % Anten kazancı
Sigma = 0.1; % Hedef kesit alanı
Te = 290; % Etkin Gürültü Sıcaklığı
B = 5.0e+6; % Band genişliği
F = 3; % Gürültü katsayısı
L = 6; % Radar kayıpları
R = linspace(25e3,165e3,1000); % 25km ile 165km arasının 1000 noktaya
bölünmesi

snr1 = radar_denklemleri(Pt, freq, G, Sigma, Te, B, F, L, R);
snr2 = radar_denklemleri(Pt, freq, G, Sigma/10, Te, B, F, L, R);
snr3 = radar_denklemleri(Pt, freq, G, Sigma*10, Te, B, F, L, R);

figure(1)
rangekm = R ./ 1000;
plot(rangekm,snr3,'k',rangekm,snr1,'k -.',rangekm,snr2,'k:')
grid
legend('\sigma = 0 dBsm','\sigma = -10dBsm','\sigma = -20 dBsm')
xlabel ('Algılama mesafesi - Km');
ylabel ('SNR - dB');
```

```
snr1 = radar_denkleme(Pt, freq, G, Sigma, Te, B, F, L, R);  
snr2 = radar_denkleme(Pt*.4, freq, G, Sigma, Te, B, F, L, R);  
snr3 = radar_denkleme(Pt*1.8, freq, G, Sigma, Te, B, F, L, R);
```

figure (2)

```
plot(rangekm,snr3,'k',rangekm,snr1,'k -.',rangekm,snr2,'k:')
```

```
grid
```

```
legend('Pt = 2.16 MW','Pt = 1.5 MW','Pt = 0.6 MW')
```

```
xlabel ('Algılama mesafesi - Km');
```

```
ylabel ('SNR - dB');
```



**EK B Standart Atmosfer Durumundaki Yayılım Faktörü Analizi**  
(bkz. Şekil 3.11)

```
function standart_atmosfer_frekans_karsilastirma(Standart_Atmosfer_VHF,  
Standart_Atmosfer_L, Standart_Atmosfer_X)
```

```
[N1,M1]=size(Standart_Atmosfer_VHF); % Satır ve sütun olarak okutulması  
[N2,M2]=size(Standart_Atmosfer_L); % Satır ve sütun olarak okutulması  
[N3,M3]=size(Standart_Atmosfer_X); % Satır ve sütun olarak okutulması  
range1=(1:M1)/5;
```

```
for i=1:M1;  
    amplitude1(i)=Standart_Atmosfer_VHF(33,i); % 100m VHF irtifa değerleri  
    amplitude2(i)=Standart_Atmosfer_L(330,i); % 100m L irtifa değerleri  
    amplitude3(i)=Standart_Atmosfer_X(1000,i); % 100m X irtifa değerleri  
end
```

```
figure  
plot(range1,amplitude1,'b',range1,amplitude2,'r',range1,amplitude3,'g')  
xlabel('Mesafe (km)');  
ylabel('Yayılım Faktörü (dB)');  
title('YAYILIM FAKTÖRÜ ANALİZİ (H=100 m)')  
legend('120MHz-VHF','1.4GHz-L','9GHz-X')
```

**EK C Buhar Oluğu Durumundaki Yayılım Faktörü Analizi**  
(bkz. Şekil 3.18)

**function**

buharlasma\_oluklamasi\_20m\_frekans\_karsilastirma(Buharlasma\_Oluklamasi\_20\_VHF, Buharlasma\_Oluklamasi\_20\_L, Buharlasma\_Oluklamasi\_20\_X)

[N1,M1]=size(Buharlasma\_Oluklamasi\_20\_VHF);

[N2,M2]=size(Buharlasma\_Oluklamasi\_20\_L);

[N3,M3]=size(Buharlasma\_Oluklamasi\_20\_X);

range1=(1:M1)/5;

**for** i=1:M1;

    amplitude1(i)=Buharlasma\_Oluklamasi\_20\_VHF(7,i); % 21m VHF irtifa değerleri

    amplitude2(i)=Buharlasma\_Oluklamasi\_20\_L(70,i); % 21m L irtifa değerleri

    amplitude3(i)=Buharlasma\_Oluklamasi\_20\_X(210,i); % 21m X irtifa değerleri

**end**

**figure**

plot(range1,amplitude1,'b',range1,amplitude2,'r',range1,amplitude3,'g')

xlabel('Mesafe (km)');

ylabel('Yayılım Faktörü (dB)');

title('YAYILIM FAKTÖRÜ ANALİZİ (H=21m)')

legend('120MHz-VHF','1.4GHz-L','9GHz-X')

**EK D Yüzey Tabanlı Oluk Durumundaki Yayılım Faktörü Analizi**  
**(bkz. Şekil 3.24)**

**function**

```
yuzey_oluklama_frekans_karsilastirma(Yuzey_Oluklama_VHF,Yuzey_Oluklama_L,Yuzey_Oluklama_X)
```

```
[N1,M1]=size(Yuzey_Oluklama_VHF);
```

```
[N2,M2]=size(Yuzey_Oluklama_L);
```

```
[N3,M3]=size(Yuzey_Oluklama_X);
```

```
range1=(1:M1)/5;
```

```
for i=1:M1;
```

```
    amplitude1(i)=Yuzey_Oluklama_VHF(33,i); % 100m VHF irtifa değerleri
```

```
    amplitude2(i)=Yuzey_Oluklama_L(330,i); % 100m L irtifa değerleri
```

```
    amplitude3(i)=Yuzey_Oluklama_X(1000,i); % 100m X irtifa değerleri
```

```
end
```

```
figure
```

```
plot(range1,amplitude1,'b',range1,amplitude2,'r',range1,amplitude3,'g')
```

```
xlabel('Mesafe (km)');
```

```
ylabel('Yayılım Faktörü (dB)');
```

```
title('YAYILIM FAKTÖRÜ ANALİZİ (H=100 m)')
```

```
legend('120MHz-VHF','1.4GHz-L','9GHz-X')
```

**EK E Yükseltmiş Oluk Durumundaki Yayılım Faktörü Analizi**  
**(bkz. Şekil 3.30)**

```
function
yukseltimis_oluklama_frekans_karsilastirma(Yukseltimis_Oluklama_VHF,
Yukseltimis_Oluklama_L, Yukseltimis_Oluklama_X)

[N1,M1]=size(Yukseltimis_Oluklama_VHF);
[N2,M2]=size(Yukseltimis_Oluklama_L);
[N3,M3]=size(Yukseltimis_Oluklama_X);
range1=(1:M1)/5;

for i=1:M1;
    amplitude1(i)=Yukseltimis_Oluklama_VHF(33,i); % 100m VHF irtifa
değerleri
    amplitude2(i)=Yukseltimis_Oluklama_L(330,i); % 100m L irtifa değerleri
    amplitude3(i)=Yukseltimis_Oluklama_X(1000,i); % 100m X irtifa değerleri
end

figure
plot(range1,amplitude1,'b',range1,amplitude2,'r',range1,amplitude3,'g')
xlabel('Mesafe (km)');
ylabel('Yayılm Faktörü (dB)');
title('YAYILIM FAKTÖRÜ ANALİZİ (H=100 m)')
legend('120MHz-VHF','1.4GHz-L','9GHz-X')
```

**EK F Standart Atmosfer Durumunun Radar Denklemi İle Analizi  
(bkz. Şekil 4.1)**

```
function Standart_Atmosfer_radar_yayilim_denklemi(pt, freq, G, sigma, te, b,  
F, L, range)
```

```
pt = 1.5e+6;  
freq1 = 120e+6;%120MHz  
freq2 = 1.4e+9;%1400MHz  
freq3 = 9e+9;%9000MHz  
G = 45.0;  
sigma = 0.1;  
te = 290.0;  
b = 5.0e+6;  
F = 3.0;  
L = 6.0;  
range=linspace(0e3,400e3,2001); % 0 km - 400 km arasındaki 2000 değer
```

```
[N1,M1]=size(Standart_Atmosfer_VHF);  
[N2,M2]=size(Standart_Atmosfer_L);  
[N3,M3]=size(Standart_Atmosfer_X);
```

```
for a=2:M1;  
    amplitude1(a)=Standart_Atmosfer_VHF(33,a); % 100m'deki VHF band  
    gözlem irtifa değerleri  
    amplitude2(a)=Standart_Atmosfer_L(330,a); % 100m'deki L band gözlem  
    irtifa değerleri  
    amplitude3(a)=Standart_Atmosfer_X(1000,a); % 100m'deki X band gözlem  
    irtifa değerleri  
end
```

```

c = 3.0e+8; % Işık hızı
lambda1 = c / freq1; % dalga boyu
lambda2 = c / freq2; % dalga boyu
lambda3 = c / freq3; % dalga boyu
p_peak = 10*log10(pt); % Gönderilen sinyal tepe gücünün dB'e dönüşümü
lambda_sqdb1 = 10*log10(lambda1^2); % Dalga boyunun dB'e dönüşümü
lambda_sqdb2 = 10*log10(lambda2^2); % Dalga boyunun dB'e dönüşümü
lambda_sqdb3 = 10*log10(lambda3^2); % Dalga boyunun dB'e dönüşümü
sigmadb = 10*log10(sigma); % Hedef kesit alanının dB'e dönüşümü
four_pi_cub = 10*log10((4.0 * pi)^3); %  $(4\pi)^3$  'ün dB'e dönüşümü
k_db = 10*log10(1.38e-23); % Boltzman sabitinin dB'e dönüşümü
Te_db = 10*log10(te); % noise temp. in dB
B_db = 10*log10(b); % Band genişliğinin dB'e dönüşümü
range_pwr4_db = 10*log10(range.^4); % Menzil mesafesinin dördüncü
derece üssünün dB'e dönüşümü

```

```

yayilim_faktoru1 = amplitude1;
yayilim_faktoru2 = amplitude2;
yayilim_faktoru3 = amplitude3;

```

```

num1 = p_peak+G+G+lambda_sqdb1+sigmadb+(yayilim_faktoru1*4);
% VHF bandındaki radarın performans analizi

```

```

den1= four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr1 = num1-den1;

```

```

num2 = p_peak+G+G+lambda_sqdb2+sigmadb+(yayilim_faktoru2*4);
% L bandındaki radarın performans analizi

```

```

den2 = four_pi_cub + k_db + Te_db + B_db + F + L + range_pwr4_db;
snr2 = num2 - den2;

```

```

num3 = p_peak+G+G+lamba_sqdb3+sigmadb+(yayilim_faktoru3*4);
% X bandındaki radarın performans analizi
den3 = four_pi_cub + k_db + Te_db + B_db + F + L + range_pwr4_db;
snr3 = num3 - den3;

figure
rangekm = range ./ 1000;
plot(rangekm,snr1,'b',rangekm,snr2,'r',rangekm,snr3,'g')
grid
title('YAYILIM FAKTÖRÜ ANALİZİ - Standart Atmosfer (H=100 m)')
xlabel ('Algılama mesafesi - Km');
ylabel ('SNR - dB');
legend('120MHz-VHF','1.4GHz-L','9GHz-X')

end

```

## EK G Buharlaşma Oluklaması Durumunun Radar Denklemi İle Analizi (bkz. Şekil 4.2)

```
function Buharlasma_Oluklamasi_20_radar_yayilim_denklemi(pt, freq1,freq2,
freq3, G, sigma, te, b, F, L, range)
pt = 1.5e+6;
freq1 = 120e+6; %120MHz
freq2 = 1.4e+9; %1400MHz
freq3 = 9e+9; %9000MHz
G = 45.0;
sigma = 0.1;
te = 290.0;
b = 5.0e+6;
F = 3.0;
L = 6.0;
range=linspace(0e3,400e3,2001);

[N1,M1]=size(Buharlasma_Oluklamasi_20_VHF);
[N2,M2]=size(Buharlasma_Oluklamasi_20_L);
[N3,M3]=size(Buharlasma_Oluklamasi_20_X);

for a=2:M1;
    amplitude1(a)=Buharlasma_Oluklamasi_20_VHF(7,a); % 21m'deki VHF
band gözlem irtifa değerleri
    amplitude2(a)=Buharlasma_Oluklamasi_20_L(70,a); % 21m'deki L band
gözlem irtifa değerleri
    amplitude3(a)=Buharlasma_Oluklamasi_20_X(210,a); % 21m'deki X band
gözlem irtifa değerleri
end
```



```

c = 3.0e+8;
lambda1 = c / freq1;
lambda2 = c / freq2;
lambda3 = c / freq3;
p_peak = 10*log10(pt);
lambda_sqdb1 = 10*log10(lambda1^2);
lambda_sqdb2 = 10*log10(lambda2^2);
lambda_sqdb3 = 10*log10(lambda3^2);
sigmadb = 10*log10(sigma);
four_pi_cub = 10*log10((4.0 * pi)^3);
k_db = 10*log10(1.38e-23);
Te_db = 10*log10(te);
B_db = 10*log10(b);
range_pwr4_db = 10*log10(range.^4);

yayilim_faktoru1 = amplitude1;
yayilim_faktoru2 = amplitude2;
yayilim_faktoru3 = amplitude3;

num1=p_peak+G+G+lambda_sqdb1+sigmadb+(yayilim_faktoru1^4);
% VHF bandındaki radarın performans analizi
den1=four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr1=num1-den1;

num2=p_peak+G+G+lambda_sqdb2+sigmadb+(yayilim_faktoru2^4);
% L bandındaki radarın performans analizi
den2=four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr2=num2-den2;

num3=p_peak+G+G+lambda_sqdb3+sigmadb+(yayilim_faktoru3^4);
% X bandındaki radarın performans analizi
den3=four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr3=num3-den3;

```

```
figure
rangekm = range ./ 1000;
plot(rangekm,snr1,'b',rangekm,snr2,'r',rangekm,snr3,'g')
grid
title('YAYILIM FAKTÖRÜ ANALİZİ - Buharlasma Oluklamasi (Radar=20m -
H=20 m)')
xlabel ('Algılama mesafesi - Km');
ylabel ('SNR - dB');
legend('120MHz-VHF','1.4GHz-L','9GHz-X')

end
```

**EK H Yüzey Tabanlı Oluklamanın Radar Denklemi İle Analizi**  
**(bkz. Şekil 4.3)**

```
function Yuzey_Oluklamasi_radar_yayilim_denklemi(pt, freq1,freq2, freq3, G,  
sigma, te, b, F, L, range)
```

```
pt = 1.5e+6;  
freq1 = 120e+6;  
freq2 = 1.4e+9;  
freq3 = 9e+9;  
G = 45.0;  
sigma = 0.1;  
te = 290.0;  
b = 5.0e+6;  
F = 3.0;  
L = 6.0;  
range=linspace(0e3,400e3,2001);
```

```
[N1,M1]=size(Yuzey_Oluklama_VHF);  
[N2,M2]=size(Yuzey_Oluklama_L);  
[N3,M3]=size(Yuzey_Oluklama_X);
```

```
for a=2:M1;  
    amplitude1(a)=Yuzey_Oluklama_VHF(33,a);  
    amplitude2(a)=Yuzey_Oluklama_L(330,a);  
    amplitude3(a)=Yuzey_Oluklama_X(1000,a);  
end
```

```
c = 3.0e+8;
```

```

lambda1 = c / freq1;
lambda2 = c / freq2;
lambda3 = c / freq3;
p_peak = 10*log10(pt);
lambda_sqdb1 = 10*log10(lambda1^2);
lambda_sqdb2 = 10*log10(lambda2^2);
lambda_sqdb3 = 10*log10(lambda3^2);
sigmadb = 10*log10(sigma);
four_pi_cub = 10*log10((4.0 * pi)^3);
k_db = 10*log10(1.38e-23);
Te_db = 10*log10(te);
B_db = 10*log10(b);
range_pwr4_db = 10*log10(range.^4);

yayilim_faktoru1 = amplitude1;
yayilim_faktoru2 = amplitude2;
yayilim_faktoru3 = amplitude3;

num1 = p_peak+G+G+lambda_sqdb1+ sigmadb+(yayilim_faktoru1^4);
% VHF bandındaki radarın performans analizi
den1 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr1 = num1-den1;

num2 = p_peak+G+G+lambda_sqdb2+sigmadb+(yayilim_faktoru2^4);
% L bandındaki radarın performans analizi
den2 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr2 = num2-den2;

num3 = p_peak+G+G+lambda_sqdb3+sigmadb+(yayilim_faktoru3^4);
% X bandındaki radarın performans analizi
den3 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr3 = num3-den3;

```

```
figure
rangekm = range ./ 1000;
plot(rangekm,snr1,'b',rangekm,snr2,'r',rangekm,snr3,'g')
grid
title('YAYILIM FAKTÖRÜ ANALİZİ - Yuzey Oluklama (H=100 m)')
xlabel ('Algılama mesafesi - Km');
ylabel ('SNR - dB');
legend('120MHz-VHF','1.4GHz-L','9GHz-X')

end
```

**EK I Yükseltmiş Oluklamanın Radar Denklemi İle Analizi  
(bkz. Şekil 4.4)**

```
function Yükseltimis_Oluklama_radar_yayilim_denklemi(pt, freq1,freq2,  
freq3, G, sigma, te, b, F, L, range)
```

```
pt = 1.5e+6;  
freq1 = 120e+6;  
freq2 = 1.4e+9;  
freq3 = 9e+9;  
G = 45.0;  
sigma = 0.1;  
te = 290.0;  
b = 5.0e+6;  
F = 3.0;  
L = 6.0;  
range=linspace(0e3,400e3,2001);
```

```
[N1,M1]=size(Yukseltimis_Oluklama_VHF);  
[N2,M2]=size(Yukseltimis_Oluklama_L);  
[N3,M3]=size(Yukseltimis_Oluklama_X);
```

```
for a=2:M1;  
    amplitude1(a)=Yukseltimis_Oluklama_VHF(33,a);  
    amplitude2(a)=Yukseltimis_Oluklama_L(330,a);  
    amplitude3(a)=Yukseltimis_Oluklama_X(1000,a);  
end
```

```
c = 3.0e+8;  
lambda1 = c / freq1;
```

```

lambda2 = c / freq2;
lambda3 = c / freq3;
p_peak = 10*log10(pt);
lambda_sqdb1 = 10*log10(lambda1^2);
lambda_sqdb2 = 10*log10(lambda2^2);
lambda_sqdb3 = 10*log10(lambda3^2);
sigmadb = 10*log10(sigma);
four_pi_cub = 10*log10((4.0 * pi)^3);
k_db = 10*log10(1.38e-23);
Te_db = 10*log10(te);
B_db = 10*log10(b);
range_pwr4_db = 10*log10(range.^4);

yayilim_faktoru1 = amplitude1;
yayilim_faktoru2 = amplitude2;
yayilim_faktoru3 = amplitude3;

num1= p_peak+G+G+lambda_sqdb1+sigmadb+(yayilim_faktoru1^4);
% VHF bandındaki radarın performans analizi
den1 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr1 = num1-den1;

num2 = p_peak+G+G+lambda_sqdb2+sigmadb+(yayilim_faktoru2^4);
% L bandındaki radarın performans analizi
den2 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr2 = num2-den2;

num3 = p_peak+G+G+lambda_sqdb3+sigmadb+(yayilim_faktoru3^4);
% X bandındaki radarın performans analizi
den3 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr3 = num3-den3;

figure
rangekm = range ./ 1000;

```

```
plot(rangekm,snr1,'b',rangekm,snr2,'r',rangekm,snr3,'g')
grid
title('YAYILIM FAKTÖRÜ ANALİZİ - Yükseltilmiş Oluklama (H=100 m)')
xlabel ('Algılama mesafesi - Km');
ylabel ('SNR - dB');
legend('120MHz-VHF','1.4GHz-L','9GHz-X')

end
```



## EK J VHF Bandındaki Radarın Performans Analizi (bkz. Şekil 5.1)

```
function VHF_radar_yayilim_denklemi(pt, freq1, freq2, freq3, G, sigma, te, b,  
F, L, range)
```

```
pt = 1.5e+6;  
freq1 = 120e+6; % 120MHz  
G = 45.0;  
sigma = 0.1;  
te = 290.0;  
b = 5.0e+6;  
F = 3.0;  
L = 6.0;  
range=linspace(0e3,400e3,2001);
```

```
[N1,M1]=size(Standart_Atmosfer_VHF);  
[N2,M2]=size(Yuzey_Oluklama_VHF);  
[N3,M3]=size(Yukseltilmis_Oluklama_VHF);  
[N4,M4]=size(Buharlasma_Oluklamasi_150_VHF);  
[N5,M5]=size(Buharlasma_Oluklamasi_20_VHF);
```

```
for a=2:M1;  
    amplitude1(a)=Standart_Atmosfer_VHF(33,a);  
    amplitude2(a)=Yuzey_Oluklama_VHF(33,a);  
    amplitude3(a)=Yukseltilmis_Oluklama_VHF(33,a);  
    amplitude4(a)=Buharlasma_Oluklamasi_150_VHF(33,a);  
    amplitude5(a)=Buharlasma_Oluklamasi_20_VHF(33,a);
```

```
end
```

```
c = 3.0e+8;
```

```
lambda1 = c / freq1;  
p_peak = 10*log10(pt);  
lambda_sqdb1 = 10*log10(lambda1^2);  
sigmadb = 10*log10(sigma);  
four_pi_cub = 10*log10((4.0 * pi)^3);  
k_db = 10*log10(1.38e-23);  
Te_db = 10*log10(te);  
B_db = 10*log10(b);  
range_pwr4_db = 10*log10(range.^4);
```

```
yayilim_faktoru1 = amplitude1;  
yayilim_faktoru2 = amplitude2;  
yayilim_faktoru3 = amplitude3;  
yayilim_faktoru4 = amplitude4;  
yayilim_faktoru5 = amplitude5;
```

```
num1 = p_peak+G+G+lambda_sqdb1+sigmadb;
```

```
%Temel Radar Denklemi
```

```
den1 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
```

```
snr1 = num1-den1;
```

```
num2 = p_peak+G+G+lambda_sqdb1+sigmadb+(yayilim_faktoru1^4);
```

```
%Standart Atmosfer VHF
```

```
den2 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
```

```
snr2 = num2-den2;
```

```
num3 = p_peak+G+G+lambda_sqdb1+sigmadb+(yayilim_faktoru2^4);
```

```
%Yuzey Oluklama VHF
```

```
den3 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
```

```
snr3 = num3-den3;
```

```

num4 = p_peak+G+G+lamba_sqdb1+sigmadb+(yayilim_faktoru3*4);
%Yukseltilmis_Oluklama_VHF
den4 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr4 = num4-den4;

num5 = p_peak+G+G+lamba_sqdb1+sigmadb+(yayilim_faktoru4*4);
%Buharlasma_Oluklamasi_150_VHF
den5 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr5 = num5-den5;

num6 = p_peak+G+G+lamba_sqdb1+sigmadb+(yayilim_faktoru5*4);
%Buharlasma_Oluklamasi_20_VHF
den6 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr6 = num6-den6;

figure
rangekm = range ./ 1000;
plot(rangekm,snr1,'b',rangekm,snr2,'r',rangekm,snr3,'g',rangekm,snr4,'m',ran
gekm,snr5,'c',rangekm,snr6,'k')
grid
title('YAYILIM FAKTÖRÜ ANALİZİ - VHF (H=100 m)');
xlabel ('Algılama mesafesi - Km');
ylabel ('SNR - dB');
legend('Temel Radar Denklemi', 'Standart Atmosfer', 'Yuzey Oluklama',
'Yukseltilmis Oluklama', 'Buharlasma Oluklamasi 150m', 'Buharlasma
Oluklamasi 20m')

end

```

## EK K L Bandındaki Radarın Performans Analizi (bkz. Şekil 5.2)

```
function L_radar_yayilim_denklemi(pt, freq1, freq2, freq3, G, sigma, te, b, F,  
L, range)
```

```
pt = 1.5e+6;
```

```
freq2 = 1.4e+9; % 1400MHz
```

```
G = 45.0;
```

```
sigma = 0.1;
```

```
te = 290.0;
```

```
b = 5.0e+6;
```

```
F = 3.0;
```

```
L = 6.0;
```

```
range=linspace(0e3,400e3,2001);
```

```
[N1,M1]=size(Standart_Atmosfer_L);
```

```
[N2,M2]=size(Yuzey_Oluklama_L);
```

```
[N3,M3]=size(Yukseltilmis_Oluklama_L);
```

```
[N4,M4]=size(Buharlasma_Oluklamasi_150_L);
```

```
[N5,M5]=size(Buharlasma_Oluklamasi_20_L);
```

```
for a=2:M1;
```

```
    amplitude1(a)=Standart_Atmosfer_L(330,a);
```

```
    amplitude2(a)=Yuzey_Oluklama_L(330,a);
```

```
    amplitude3(a)=Yukseltilmis_Oluklama_L(330,a);
```

```
    amplitude4(a)=Buharlasma_Oluklamasi_150_L(330,a);
```

```
    amplitude5(a)=Buharlasma_Oluklamasi_20_L(330,a);
```

```
end
```

```
c = 3.0e+8;
```

```
lambda2 = c / freq2;  
p_peak = 10*log10(pt);  
lambda_sqdb2 = 10*log10(lambda2^2);  
sigmadb = 10*log10(sigma);  
four_pi_cub = 10*log10((4.0 * pi)^3);  
k_db = 10*log10(1.38e-23);  
Te_db = 10*log10(te);  
B_db = 10*log10(b);  
range_pwr4_db = 10*log10(range.^4);
```

```
yayilim_faktoru1 = amplitude1;  
yayilim_faktoru2 = amplitude2;  
yayilim_faktoru3 = amplitude3;  
yayilim_faktoru4 = amplitude4;  
yayilim_faktoru5 = amplitude5;
```

```
num1 = p_peak+G+G+lambda_sqdb2+sigmadb;
```

```
%Temel Radar Denklemi
```

```
den1 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
```

```
snr1 = num1-den1;
```

```
num2 = p_peak+G+G+lambda_sqdb2 + sigmadb + (yayilim_faktoru1^4);
```

```
%Standart Atmosfer L
```

```
den2 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
```

```
snr2 = num2-den2;
```

```
num3 = p_peak+G+G+lambda_sqdb2+sigmadb+(yayilim_faktoru2^4);
```

```
%Yuzey Oluklama L
```

```
den3 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
```

```
snr3 = num3-den3;
```

```

num4 = p_peak+G+G+lamba_sqdb2+sigmadb+(yayilim_faktoru3*4);
%Yukseltilmis_Oluklama_L
den4 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr4 = num4-den4;

num5 = p_peak+G+G+lamba_sqdb2+sigmadb+(yayilim_faktoru4*4);
%Buharlasma_Oluklamasi_150_L
den5 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr5 = num5-den5;

num6 = p_peak+G+G+lamba_sqdb2+sigmadb+(yayilim_faktoru5*4);
%Buharlasma_Oluklamasi_20_L
den6 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr6 = num6-den6;

figure
rangekm = range ./ 1000;
plot(rangekm,snr1,'b',rangekm,snr2,'r',rangekm,snr3,'g',rangekm,snr4,'m',ran
gekm,snr5,'c',rangekm,snr6,'k')
grid
title('YAYILIM FAKTÖRÜ ANALİZİ - L (H=100 m)')
xlabel ('Algılama mesafesi - Km');
ylabel ('SNR - dB');
legend('Temel Radar Denklemi', 'Standart Atmosfer', 'Yuzey Oluklama',
'Yukseltilmis Oluklama', 'Buharlasma Oluklamasi 150m', 'Buharlasma
Oluklamasi 20m')

end

```

### EK L X Bandındaki Radarın Performans Analizi (bkz. Şekil 5.3)

```
function X_20_Oluk_gozlem_radar_yayilim_denklemi(pt, freq1,freq2, freq3,  
G, sigma, te, b, F, L, range)
```

```
pt = 1.5e+6;
```

```
freq3 = 9e+9; % 9000MHz
```

```
G = 45.0;
```

```
sigma = 0.1;
```

```
te = 290.0;
```

```
b = 5.0e+6;
```

```
F = 3.0;
```

```
L = 6.0;
```

```
range=linspace(0e3,400e3,2001);
```

```
[N1,M1]=size(Standart_Atmosfer_X);
```

```
[N2,M2]=size(Yuzey_Oluklama_X);
```

```
[N3,M3]=size(Yukseltilmis_Oluklama_X);
```

```
[N4,M4]=size(Buharlasma_Oluklamasi_150_X);
```

```
[N5,M5]=size(Buharlasma_Oluklamasi_20_X);
```

```
for a=2:M1;
```

```
    amplitude1(a)=Standart_Atmosfer_X(200,a);
```

```
    amplitude2(a)=Yuzey_Oluklama_X(200,a);
```

```
    amplitude3(a)=Yukseltilmis_Oluklama_X(200,a);
```

```
    amplitude4(a)=Buharlasma_Oluklamasi_150_X(200,a);
```

```
    amplitude5(a)=Buharlasma_Oluklamasi_20_X(200,a);
```

```
end
```

```
c = 3.0e+8;
```

```

lambda3 = c / freq3;
p_peak = 10*log10(pt);
lambda_sqdb3 = 10*log10(lambda3^2);
sigmadb = 10*log10(sigma);
four_pi_cub = 10*log10((4.0 * pi)^3);
k_db = 10*log10(1.38e-23);
Te_db = 10*log10(te);
B_db = 10*log10(b);
range_pwr4_db = 10*log10(range.^4);

```

```

yayilim_faktoru1 = amplitude1;
yayilim_faktoru2 = amplitude2;
yayilim_faktoru3 = amplitude3;
yayilim_faktoru4 = amplitude4;
yayilim_faktoru5 = amplitude5;

```

```

num1 = p_peak+G+G+lambda_sqdb3+sigmadb;

```

**%Temel Radar Denklemi**

```

den1 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr1 = num1-den1;

```

```

num2 = p_peak+G+G+lambda_sqdb3+sigmadb+(yayilim_faktoru1^4);

```

**%Standart Atmosfer X**

```

den2 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr2 = num2-den2;

```

```

num3 = p_peak+G+G+lambda_sqdb3+sigmadb+(yayilim_faktoru2^4);

```

**%Yuzey Oluklama X**

```

den3 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr3 = num3-den3;

```

```

num4 = p_peak+G+ G+lambda_sqdb3+sigmadb+(yayilim_faktoru3^4);

```



```

%Yukseltilmis_Oluklama_X
den4 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr4 = num4-den4;

num5 = p_peak+G+G+lambdasqdb3+sigmadb+(yayilim_faktoru4*4);
%Buharlasma_Oluklamasi_150_X
den5 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr5 = num5-den5;

num6 = p_peak+G+G+lambdasqdb3+sigmadb+(yayilim_faktoru5*4);
%Buharlasma_Oluklamasi_20_X
den6 = four_pi_cub+k_db+Te_db+B_db+F+L+range_pwr4_db;
snr6 = num6-den6;

figure
rangekm = range ./ 1000;
plot(rangekm,snr1,'b',rangekm,snr2,'r',rangekm,snr3,'g',rangekm,snr4,'m',ran
gekm,snr5,'c',rangekm,snr6,'k')
grid
title('YAYILIM FAKTÖRÜ ANALİZİ - X (H=20 m)')
xlabel ('Algılama mesafesi - Km');
ylabel ('SNR - dB');
legend('Temel Radar Denklemi', 'Standart Atmosfer', 'Yuzey Oluklama',
'Yukseltilmis Oluklama', 'Buharlasma Oluklamasi 150m', 'Buharlasma
Oluklamasi 20m')

end

```