

**AYARLANABİLİR MİKRODALGA SOĞURUCU VE YANSITICI
PLAZMA ORTAMLARIN ANALİZİ**

**ANALYSIS OF TUNABLE MICROWAVE ABSORBER AND
REFLECTOR PLASMA MEDIUMS**

Emrah ÖNCÜ

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2009

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından ELEKTRİK VE ELEKTRONİK ANABİLİM DALI'NDA YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Üye :.....
Prof. Dr. Adnan KÖKSAL

Üye :.....
Prof. Dr. Feza ARIKAN

Üye :.....
Doç. Dr. Çiğdem Seçkin GÜREL (Danışman)

Üye :.....
Yrd. Doç. Dr. Ali KARA

Üye :.....
Yrd. Doç. Dr. Şeyda ÇOLAK

ONAY

Bu tez .../.../2009 tarihinde, Enstitü Yönetim Kurulu'nca kabul edilmiştir.

...../...../2009

Prof. Dr. Erdem YAZGAN
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

AYARLANABİLİR MİKRODALGA YUTUCU VE YANSITICI PLAZMA ORTAMLARIN ANALİZİ

Emrah Öncü

ÖZ

Bu çalışmada elektromanyetik dalgaların homojen olmayan plazma ortamlarındaki davranışları, plazma boyunca tanımlanan farklı ve yeni elektron dağılım fonksiyonları için incelenmiştir.

Formülasyonlarda plazma ortamı sonlu kalınlıkta, düzgün bir dikdörtgen tabaka olarak düşünülmüştür. Bu plazma tabakası her biri aynı kalınlıkta olan ince alt katmanlara bölünmüş, her bir alt katmanın elektron yoğunluğu, tüm plazma katmanının elektron dağılım fonksiyonuna bağlı olarak bulunmuştur. Daha sonra her bir alt katman için plazma frekansı ve buna bağlı olarak dielektrik sabitleri hesaplanmıştır. Hesaplanan dielektrik sabitleri kullanılarak her bir alt katmanda yutulan ve altkatmanlardan yansıyan elektromanyetik dalgaların güç ifadeleri çıkarılmıştır.

Elde edilen sonuçlar, plazma parametrelerinin ve dışardan uygulanan dc manyetik alanın uygun şekilde ayarlanmasıyla elektromanyetik dalgaların genişbantlı yansıtılması veya soğurulması için kullanılmıştır.

İncelenen plazma katmanlarının frekans seçicilik davranışları ileriye yönelik elektromanyetik görünmezlik uygulamaları için önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: plazma, genişbantlı yansıma, soğurulma, elektromanyetik görünmezlik, frekans seçicilik.

Danışman: Doç. Dr. Çiğdem Seçkin GÜREL, Hacettepe Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü.

ANALYSIS OF TUNABLE MICROWAVE ABSORBER AND REFLECTOR PLASMA MEDIA

Emrah Öncü

ABSTRACT

In this study, the interaction of electromagnetic waves with inhomogeneous plasma media is analyzed by defining new electron distribution functions along the plasma layer.

In the formulation, plasma region is considered as a rectangular layer that has finite thickness. It was divided into thin sublayers with each of the sublayers has equal thicknesses. The electron number density in each subslab is calculated by using the overall electron density distribution function. Then, plasma frequencies and permittivities for each subslabs are derived and used for obtaining reflected, absorbed and transmitted power expressions of electromagnetic waves.

The obtained results are used to achieve wideband reflection and absorption of electromagnetic waves by proper tuning of plasma parameters and external dc magnetic field excitation.

Frequency selective characteristics of the analysed plasma layers are proposed for future stealth applications.

Keywords: plasma, wideband reflection, absorption, stealth application, frequency selectivity.

Advisor: Ass. Prof. Dr. Çiğdem Seçkin GÜREL, Hacettepe University, Department of Electrical and Electronics Engineering.

TEŞEKKÜR

Bilgisi, çabası ve sabrıyla tez çalışmamda bana yol gösteren danışman hocam Doç.Dr. Çiğdem Seçkin Gürel'e,

Üzerimde çok büyük emeği olan, kardeşim ve benim için Trabzon – Ankara arasında mekik dokuyan anneme,

Kendisi de bir öğretim üyesi olan çok değerli bilim insanı babama,

Bana hem kardeş, hem arkadaş olan kardeşim Can'a,

Hep yanımda olması için dua ettiğim, yazdıklarımı imla ve anlatım ağısından kontrol eden en pamuk kıza, Deniz'e,

104E046 NOLU proje altında destek sağlayan TÜBİTAK'a

içtenlikle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
GİRİŞ.....	1
1. FORMÜLASYON.....	7
2. PARABOLİK ELEKTRON YOĞUNLUĞU PROFİLİNE SAHİP PLAZMA KATMANI.....	28
3. SİNÜSSEL DEĞİŞEN ELEKTRON YOĞUNLUĞUNA SAHİP PLAZMA KATMANI.....	35
4. DOĞRUSAL ELEKTRON YOĞUNLUĞU PROFİLİNE SAHİP PLAZMA KATMANI.....	45
4.1. PLAZMA KATMANI BOYUNCA ARTAN ELEKTRON DAĞILIM PROFİLİ.....	45
4.2. PLAZMA KATMANI BOYUNCA AZALAN ELEKTRON DAĞILIM PROFİLİ.....	50
5. DOĞRUSAL VE SİNÜSSEL KARMA ELEKTRON YOĞUNLUĞU PROFİLİNE SAHİP PLAZMA KATMANI.....	58
5.1. KALINLIĞI $4.5 \lambda_0$ Olan PLAZMA KATMANI.....	58
5.2. KALINLIĞI $9 \lambda_0$ Olan PLAZMA KATMANI.....	63
5.3. FARKLI KALINLIK ORANLARINA SAHİP PLAZMA KATMANI.....	67
6. MÜKEMMEL BİR İLETKENİN (PEC) DOĞRUSAL VE SİNÜSSEL KARMA ELEKTRON YOĞUNLUĞU PROFİLİNE SAHİP PLAZMA KATMANI İLE KAPLANMASI.....	69
6.1. İLK YARISI DOĞRUSAL DEĞİŞEN ELEKTRON YOĞUNLUĞUNA, SON YARISI SİNÜSSEL DEĞİŞEN ELEKTRON YOĞUNLUĞUNA SAHİP PLAZMA KATMANI.....	69

6.2. İLK $1.5 \lambda_0$ 'LIK KISMI DOĞRUSAL DEĞİŞEN ELEKTRON YOĞUNLUĞUNA, SON $4.5 \lambda_0$ 'LIK KISMI SİNÜSSEL DEĞİŞEN ELEKTRON YOĞUNLUĞUNA SAHİP PLAZMA KATMANI.....	74
6.3. . İLK $4.5 \lambda_0$ 'LIK KISMI DOĞRUSAL DEĞİŞEN ELEKTRON YOĞUNLUĞUNA, SON $1.5 \lambda_0$ 'LIK KISMI SİNÜSSEL DEĞİŞEN ELEKTRON YOĞUNLUĞUNA SAHİP PLAZMA KATMANI.....	77
7. GENEL SONUÇLAR.....	81
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	84
EK: Çalışmayı Destekleyen Kuruluşlar ve Sağladıkları Projeler.....	86
ÖZGEÇMİŞ.....	87

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil G.1 Laroussi ve Roth tarafından önerilen deney düzeneği.....	2
Şekil 1.1. Plazma-Dilim Yapısı.....	17
Şekil 1.2. Dik gelen bir düzlem dalğanın plazma katmanıyla etkileşimi.....	22
Şekil 1.3. Yansıma ve İletilme katsayılarının gösterimi.....	23
Şekil 1.4. Plazma Katmanı-Mükemmel İletken Yapısı.....	27
Şekil 2.1. Plazma katmanı - Elektromanyetik dalga etkileşimi.....	28
Şekil 2.2. Normalize yansıyan güç, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.....	29
Şekil 2.3. Normalize yansıyan güç, $B=0.25$ T, $\nu_{en} = 60$ GHz	30
Şekil 2.4 Normalize soğurulan güç, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.....	31
Şekil 2.5 Normalize soğurulan güç; $\nu_{en} = 60$ GHz, $B=0.25$ T	31
Şekil 2.6. Normalize soğurulan güç; $N_m = 1 \times 10^{17} m^{-3}$, $B=0.25$ T.....	32
Şekil 2.7. Normalize soğurulan güç; $N_m = 1 \times 10^{17} m^{-3}$, $\nu_{en} = 5$ GHz	32
Şekil 2.8. Normalize yansıyan güç karşılaştırması, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.....	33
Şekil 2.9. Normalize soğurulan güç Karşılaştırması $N_m = 1 \times 10^{17} m^{-3}$, $\nu_{en} = 5$ GHz	33
Şekil 3.1 Sinüsel Elektron Yoğunluğuna sahip Plazma katmanı.....	35
Şekil 3.2. Plazma katmanı boyunca $\phi = 0^0$ ve $\phi = 90^0$ için elektron yoğunluğu Fonksiyonu.....	36
Şekil 3.3. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T ve $\phi = 0$ için normalize yansıyan güç.....	37
Şekil 3.4. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T ve $\phi = 90^0$ için normalize yansıyan güç.....	38
Şekil 3.5. $\nu_{en} = 5$ GHz, $B=0.25$ T ve $\phi = 90^0$ için normalize yansıyan güç.....	38
Şekil 3.6. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T, $\phi = 0$ parametreleri için farklı çarpışma frekanslarında normalize soğurulan güç.....	39
Şekil 3.7. Farklı maksimum elektron yoğunluğu değerleri için normalize soğurulan Güç. $\nu_{en} = 60$ GHz, $B=0.25$ T, $\phi = 0$	40
Şekil 3.8. Farklı faz açısı değerleri için normalize soğurulan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz $B=0.25$ T, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$	41
Şekil 3.9. Farklı manyetik alan şiddeti değerleri için normalize iletilen güç. $\nu_{en} = 1$	

GHz, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $\phi = 0$	42
Şekil 3.10. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T, $\nu_{en}=1$ GHz, $L=12$ cm, $\phi = 0^\circ$ parametreleri İçin normalize yansıyan güç karşılaştırması.....	43
Şekil 3.11. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T, $\nu_{en}=1$ GHz, $L=12$ cm, $\phi = 135^\circ$ parametreleri için normalize soğurulan güç karşılaştırması.....	44
Şekil 4.1. Plazma katmanının elektron yoğunluğu profili. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$	45
Şekil 4.2. Normalize yansıyan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T	46
Şekil 4.3. Normalize soğurulan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T	46
Şekil 4.4. Normalize iletilen güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T	47
Şekil 4.5. Normalize yansıyan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T	48
Şekil 4.6. Normalize soğurulan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T.....	49
Şekil 4.7 Normalize iletilen güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T.....	49
Şekil 4.8. Doğrusal değişen elektron yoğunluğu profili. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$	50
Şekil 4.9. Normalize yansıyan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.....	51
Şekil 4.10. Normalize soğurulan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.....	52
Şekil 4.11. Normalize iletilen güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.....	52
Şekil 4.12. Normalize yansıyan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T	53
Şekil 4.13. Normalize soğurulan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T	54
Şekil 4.14. Normalize iletilen güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T	54
Şekil 4.15. Normalize yansıyan güç karşılaştırması. $\nu_{en} = 1$ GHz, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T	55
Şekil 4.16. Normalize soğurulan güç karşılaştırması. $\nu_{en} = 1$ GHz, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.....	56
Şekil 4.17. Normalize yansıyan güç karşılaştırması. $\nu_{en} = 1$ GHz, $N_m = 1 \times 10^{17} m^{-3}$, $B=0.25$ T.....	56
Şekil 4.18. Normalize soğurulan güç karşılaştırması. $\nu_{en} = 1$ GHz, $N_m = 1 \times 10^{17} m^{-3}$, $B=0.25$ T.....	57
Şekil 5.1. Plazma katmanının genel elektron yoğunluğu fonksiyonu.....	59

Şekil 5.2. Üç farklı çarpışma frekansı için normalize soğurulan güç, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.4$ T.....	59
Şekil 5.3. Üç farklı çarpışma frekansı için normalize yansıyan güç, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.4$ T.....	60
Şekil 5.4. Üç farklı çarpışma frekansı için normalize iletilen güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.4$ T.....	60
Şekil 5.5. Üç farklı elektron yoğunluğu için normalize soğurulan güç. $\nu_{en} = 20$ GHz, $B=0.4$ T.....	61
Şekil 5.6. Üç farklı elektron yoğunluğu için normalize yansıyan güç. $\nu_{en} = 20$ GHz, $B=0.4$ T.....	62
Şekil 5.7. Üç farklı elektron yoğunluğu için normalize iletilen güç. $\nu_{en} = 20$ GHz, $B=0.4$ T.....	63
Şekil 5.8. Üç farklı çarpışma frekansı için normalize soğurulan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.4$ T.....	64
Şekil 5.9. Üç farklı çarpışma frekansı için normalize iletilen güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.4$ T.....	65
Şekil 5.10. Üç farklı maksimum elektron yoğunluğu için için normalize soğurulan güç. $\nu_{en} = 20$ GHz, $B=0.4$ T.....	66
Şekil 5.11. Üç farklı maksimum elektron yoğunluğu için için normalize yansıyan güç, $\nu_{en} = 20$ GHz, $B=0.4$ T.....	66
Şekil 5.12. Üç farklı maksimum elektron yoğunluğu için için normalize yansıyan güç, $B=0.4$ T , $\nu_{en} = 2$ GHz.....	67
Şekil 5.13. Üç farklı maksimum elektron yoğunluğu için için normalize yansıyan güç, $B=0.4$ T , $\nu_{en} = 2$ GHz.....	68
Şekil 6.1. Plazma içersindeki elektron yoğunluğu profili.....	69
Şekil 6.2. Normalize yansıyan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.....	70
Şekil 6.3. Normalize soğurulan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.....	71
Şekil 6.4 Normalize yansıyan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T.....	72
Şekil 6.5 Normalize soğurulan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T.....	72

Şekil 6.6 Normalize yansıyan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$	73
Şekil 6.7 Normalize soğurulan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$	73
Şekil 6.8. Plazma içersindeki elektron yoğunluğu profili.....	74
Şekil 6.9. Normalize yansıyan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.....	75
Şekil 6.10. Normalize soğurulan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.....	75
Şekil 6.11 Normalize yansıyan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T.....	76
Şekil 6.12 Normalize soğurulan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T.....	77
Şekil 6.13. Plazma içersindeki elektron yoğunluğu profili.....	77
Şekil 6.14 Normalize yansıyan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$.T.....	78
Şekil 6.15 Normalize soğurulan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.....	79
Şekil 6.16 Normalize yansıyan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T.....	79
Şekil 6.17 Normalize soğurulan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T.....	80

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

w	Açısal Frekans
J	Akım Yoğunluğu
ϵ_o	Dielektrik Sabiti
exp	Ekspansiyonel
\vec{D}	Elektrik Akı Yoğunluğu
J_i	Elektrik Akım Yoğunluğu
E	Elektrik Alan Şiddeti
C	Elektrik Yük Birimi
q_{ev}	Elektrik Yük Yoğunluğu
m_e	Elektron Kütlesi
W_{ce}	Elektron-Siklotron Frekansı
v_{en}	Elektronlar ile Nötr gazların Çarpışma Frekansı
β	Faz Sabiti
f	Frekans
P_i	Gelen Dalga'nın Gücü
c	Işığın Boşlukta Yayılma Hızı
σ	İletkenlik
N_m	Maksimum Elektron Yoğunluğu
M_i	Manyetik Akım Yoğunluğu
B	Manyetik Alan Şiddeti
H	Manyetik Alan Yoğunluğu
μ	Manyetik Geçirgenlik
q_{mv}	Manyetik Yük Yoğunluğu
w_p	Plasma Frekansı

ϵ_r	Relatif Dielektrik Sabiti
S.M.M	Saçılma Matrisi Metodu
P_r	Yansıyan Elektromanyetik Dalganın Gücü
γ	Yayıma Sabiti
P_a	Soğurulan Elektromanyetik Dalganın Gücü
α	Zayıflama Katsayısı

GİRİŞ

Plazma ortamları nötr parçacıklar, artı yüklü iyonlar ve eksi yüklü elektronlardan oluşur. Elektromanyetik dalgalarla etkileşime girdikleri zaman sıvılarda ve gazlarda beklenmeyen bazı durumlar ortaya çıkar (Eliezer, 1989, Rasinkangas, 1998). Plazmalar elektriksel olarak iletkenlerdir. Maddenin katı, sıvı, gaz hali dışındaki bu yeni durumunu 1789 yılında İngiliz fizikçi Sir William Crookes farketmiş, maddenin bu haline 1929 yılında fizikçi Irving Langmuir plazma adını vermiştir (Goldston, 1995).

Plazmaların çok çeşitli uygulama alanları vardır. Plazmalar endüstriyel ve ticari ürünlerde, bilimsel çalışmalarda, araştırma ve geliştirme faaliyetlerinde, savunma sanayinde kullanılmaktadır. Uçaklarda elektromanyetik görünmezlik (stealth) sağlamak amacıyla plazma uygulamaları geliştirilmektedir. Literatürde bu konu üzerine pek çok çalışma bulunmaktadır. Elektromanyetik görünmezlik (stealth) teknolojisi, bir uçağın radarda tespit edilememesi üzerinde çalışır. Burada esas amaç, özel bir malzeme ile kaplama yapılarak uçağın radar kesit alanını tespit edilemeyecek kadar küçültmektir (Sweetman, 1986). Radar soğurucu yüzeyler uçakların gövdelerinde bu amaçla kaplama olarak kullanılmaktadır. Bu yüzeyler sayesinde radarın gönderdiği dalgalar büyük oranda soğurulur. Radar emici yüzeylerin yoğun kullanımı F-117 "Gece Şahini" uçağında görülmektedir. Uçak gövdesindeki eğri yüzeyler sayesinde gelen dalgaları farklı yönlere yansıtılmaktadır (Aronstein, 1997).

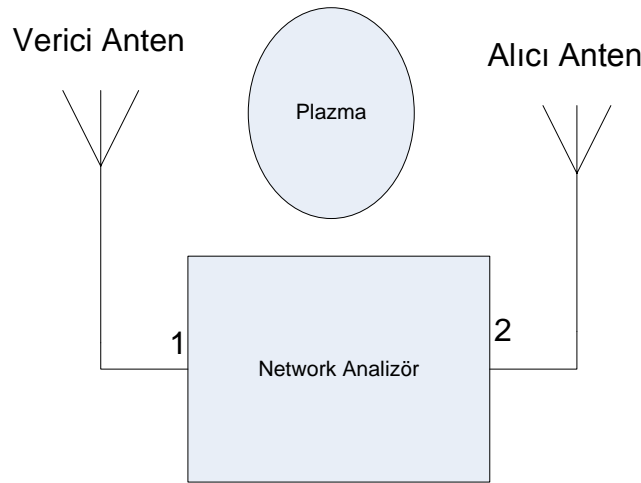
Radar kesit alanını azaltmak amacıyla farklı malzemelerin yanında plazmalar da kullanılmaktadır (Novichkov, 1999). Plazmalar, elektromanyetik dalgalarla etkileşime girebilir, onları yansıtabilir ve soğurabilirler. Bu özellikleri sebebiyle, bazı uçaklarda radara yakalanmamak için plazma türü kaplamalar kullanılmaktadır. Bir fışkırtma mekanizması uçağın tüm gövdesinin plazma bulutuyla sarılmasını sağlar ve gelen elektromanyetik dalgalar plazma bulutu tarafından büyük ölçüde soğurulurlar.

Plazma ortamlarıyla elektromanyetik dalgaların etkileşimi üzerine literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır (Ginzberg, 1970, Heald ve Wharton, 1978, Vidmar, 1990, Laroussi ve Roth, 1993, Hu vd, 1999, Shi vd, 2001, Tang vd, 2003, Yi ve Lin, 2003, Li ve Bin, 2005, Jin vd, 2006, Zhang, 2007, Soliman, 2007). Özellikle Çinli araştırmacıların ve akademisyenlerin konuya büyük ilgisi görülmektedir. Yayımlanan

çalışmaların pek çoğunun ulusal araştırma kurumlarınca desteklendiği anlaşılmaktadır.

Bu konuya ilk olarak Vidmar'ın atmosfer basıncında oluşturulmuş soğuk ve çarpışmalı plazmaların geniş frekans bantlarında radar sinyallerini soğurucu malzemelerin yapımında kullanılabileceğini gösterdiği çalışması örnek verilebilir (Vidmar, 1990). Bu çalışmada, atmosfer basıncında havada veya helyumda oluşturulan plazmanın VHF bandından X-Bant'a kadar geniş bir spektrumda çok iyi soğurucu olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Laroussi ve Roth, elektromanyetik dalgaların yansıma, soğurulma ve iletilme özelliklerini mıknatıslanmış ve düzgün olmayan plazma katmanlarında nümerik olarak incelemişlerdir (Laroussi ve Roth, 1993). Analizde özellikle elektron yoğunluğu ve çarpışma frekansı parametreleri üzerinde durulmuştur. Düşük yoğunluklu fakat çarpışmalı plazma katmanlarının, mikrodalga frekanslarında daha az yansıtıcı olduğunu, yüksek elektron yoğunluklu fakat az çarpışmalı plazma yapılarında ise yansımanın ve soğurulmanın diğer plazma parametreleriyle ayarlanarak oldukça artırılabilceğini göstermişlerdir. Ayrıca çalışmalarında plazma yapısının elektromanyetik dalgalarla olan etkileşimini göstermek ve ölçmek için bir deney düzeneği önermişlerdir. Bu deney düzeneği Şekil G.1'de görülmektedir.



Şekil G.1 Laroussi ve Roth tarafından önerilen deney düzeneği (Laroussi, Roth, 1993).

İzleyen bir çalışmada da Laroussi (1995), plazma-mikrodalga etkileşimini atmosferik basınç altında incelemiştir. Plazma yapıların çoklu katmanlara bölünerek incelenmesinde matris yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır (Kong, 1986). Saçılma Matrisi Metodu (SMM) adı verilen matris yöntemiyle her bir alt katmandan yansıyan güç, iletilen güç ve soğurulan güç değerleri plazma dilimin alt katmanlara bölünmesiyle kolayca bulunabilmektedir (Hu vd.,1999). Bu metot, plazma yapısının içersindeki her bir alt katmandaki iletme, yansıma ve soğrulma bilgisini bir matris içersinde tutarak, istenildiğinde bu bilgilere ulaşılmasına olanak sağlamaktadır. Çalışmada parabolik ve eksponansiyel elektron dağılımları incelenmiştir. Yansımanın veya soğurulmanın artırılması için yüksek elektron yoğunluğu ve düşük çarpışmanın yanında manyetik alan şiddetinin ve plazma kalınlığının etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

İletken yüzeylerin üzerinin plazma ile kaplanması da literatürde ele alınan önemli konulardan birisi olmuştur. Bu konuda özellikle mıknatıslanmış ve homojen olmayan plazma ile kaplanmış iletken bir yapıdan elektromanyetik dalgaların yansıması Shi tarafından çalışılmıştır (Shi vd, 2001). Elektromanyetik dalgaların yapıya normal geliş açısıyla geldiği düşünülmüş ve yansıyan güç değerleri hesaplanmıştır. Yapının soğurma davranışının yüksek çarpışma frekanslarında arttığı gözlenmiştir. Yüksek elektron yoğunluğunda çarpışma frekansı arttırıldıkça yansıyan gücün -100dB'nin altına kadar düştüğü gösterilmiştir.

Parabolik elektron dağılımlı, düzgün olmayan, mıknatıslanmış plazmalarda elektromanyetik dalgaların davranışları izleyen bir çalışmada incelenmiştir (Tang, 2003). Çalışmada, ince alt katmanlara bölme metodu kullanılmıştır. Düşük elektron yoğunluklu fakat yüksek çarpışmalı yapılarda yansıyan gücün oldukça azaldığı sonucuna varılmıştır. Yüksek yoğunluklu ve çarpışmalı plazma yapılarında soğurulan elektromanyetik gücün arttığı ve soğurma bandının genişlediğini gösterilmiştir.

Elektron yoğunluğu düzgün olmayan bir başka plazma yapısı incelemesinde de elektromanyetik dalgaların farklı açılarla plazma katmanına gelmesi durumunda dalgaların iletme, soğrulma ve yansıma davranışları sunulmuştur (Yi ve Lin, 2003). Bu çalışmada plazma katmanındaki elektron yoğunluğunun parabolik olarak değiştiği varsayılmıştır. Plazma katman kalınlığı 10 cm olarak alınmıştır ve gelen elektromanyetik dalga'nın frekansı 1-18 GHz aralığında değiştirilmiştir. Yapıdaki

elektronların çarpışma frekansı 100 GHz ile 300 GHz arasında değiştiği düşünülmüştür. Çalışmadaki sonuçlara göre, elektron yoğunluğu yüksek olan plazma yapılarına gelen elektromanyetik dalgaların büyük oranda yansıtıldığı; fakat düşük elektron yoğunluklarında dalgaların büyük oranda soğurulduğu görülmektedir.

Literatürdeki bir başka çalışmada plazma katmanın soğurma, yansıtma ve iletme davranışları ile plazma katmanın kalınlığının ve dalgaboyunun arasındaki ilişki incelenmiştir (Lie ve Bin, 2003). Çalışmada sunulan sonuçlara göre dalgaboyu arttıkça yansımanın arttığı, dalgaboyu azaldıkça ise elektromanyetik dalganın plazma katmanı boyunca yol aldığı gösterilmiştir. Plazma kullanılarak iyi bir soğurucu elde edebilmek için elektromanyetik dalganın dalgaboyu ile plazma parametrelerinin uyumlu olması gerektiği belirtilmiştir. Çarpışma frekansının soğurma karakteristiği açısından önemli olduğu vurgulanmış ve yüksek oranda bir soğurma elde edebilmek için yüksek çarpışma frekansı olması gerektiği öne sürülmüştür. Plazma katmanın kalınlığının birkaç dalgaboyundan fazla olması durumunda, katman kalınlığı etkisinin çok açık olarak görülmediği belirtilmiştir.

Mıknatıslanmış ve atmosfer koşullarında bulunan plazma katmanı ile kaplı bir metal yüzeyden yansıyan, soğurulan ve iletilen elektromanyetik dalganın plazma parametreleriyle olan değişimi literatüre sunulmuştur (Bin ve Xiaogang, 2005).

Dışardan uygulanan manyetik alanın düzgün elektron yoğunluğuna sahip bir plazma katmanında, elektromanyetik dalgaların yayılması üzerine etkileri literatüre sunulmuştur (Jin, 2006). Çalışmadaki plazma yapısı düzgün değişen bir elektron yoğunluğuna sahip, çarpışmalı ve soğuk plazma olarak varsayılmıştır. Yapı içerisinde manyetik alanın sürekli olarak değiştiği düşünülmüştür. Manyetik alanın şiddeti arttırıldıkça soğurma bandının düşük frekanslardan yüksek frekanslara kaydığı belirtilmiştir. Buna bağlı olarak da yansımanın manyetik alan şiddeti arttıkça azaldığı sonucuna varılmıştır.

Düzlemsel sınırlı plazma bölgelerinde elektromanyetik dalgaların yayılımı SMM metodu kullanılarak ortaya konmuştur (Soliman, 2007). Plazma yapılarının temel işlevinin dalga frekansı ile belirlendiği, yansıma ve iletme davranışlarının plazma parametrelerine bağlı olduğu vurgulanmıştır. SMM metodu ve sonlu farklar metodları

kullanılarak yapılan analizler karşılaştırılmış ve büyük oranda tutarlılık gösterdiği sonucuna varılmıştır.

İletken kaplı düzlemsel bir yüzeyin kompleks dielektrik tensöre sahip homojen olmayan bir plazma tabakasıyla kaplanmasıyla elektromanyetik dalgaların yansıma özelliklerinde değişiklikler olduğu görülmüştür (Zhang, 2007). Yüksek elektron yoğunluğuna sahip olmanın plazma katmanından yansımaların en aza inmesinde önemli rol oynadığı vurgulanmıştır. Yüksek çarpışma frekansının yansımaları arttırdığı sonucuna varılmıştır. Yapıya uygulanan manyetik alanın görünmezlik bandını değiştirebileceği de vurgulanmıştır.

Literatürde pek çok farklı elektron dağılım fonksiyonu alınarak elde edilmiş sonuçlar sunulmuştur. Homojen, eksponensiyel, parabolik ve adımlı dağılımlar bunlara örnek gösterilebilir (Hu vd, 1999, Tang vd, 2003, Jin vd, 2008, Zobdeh vd, 2008). Literatüre sunulan ve mevcut çalışmaların bir ürünü olan yeni bir çalışmada da sinüsel değişen elektron yoğunluğuna sahip bir plazma katmanı ile elektromanyetik dalgaların etkileşimi gösterilmiştir (Gürel ve Öncü, 2009).

Tüm bu çalışmaların ortak amacı plazma yapıları kullanılarak elektromanyetik dalgaların geniş frekans bantlarında büyük oranda soğurulması veya yansıtılmasının sağlanması olmuştur.

Bu tez çalışmasında literatür çalışmalarının bir devamı olacak şekilde farklı elektron dağılım fonksiyonlarına sahip plazma ortamlarında elektromanyetik dalgaların yansıma, soğurulma ve iletilme karakteristikleri incelenmiştir. Plazma parametrelerinin ve dış manyetik alan kontrolünün yansıma, soğurulma ve iletilme karakteristikleri üzerine etkileri irdelenmiştir. Karma plazma yapıları oluşturularak geniş bantlı filtre karakteristikleri elde edilmeye çalışılmıştır. Düzlemsel mükemmel iletken bir yapının üzerine özellikleri ayarlanabilen plazma katmanı yerleştirilerek, yüzeye gelen elektromanyetik dalgaların yansımasının azaltılabilirliği incelenmiştir.

Tez kapsamında soğuk, çarpışmalı, zayıf iyonlaşmış, düzgün olmayan, durgun durumlu ve mıknatıslanmış bir plazma ortamı ele alınmıştır. Plazma katmanı ince alt katmanlara bölünmüş, Maxwell denklemleri'nden başlanarak yansıyan ve iletilen güç ifadeleri türetilmiştir. Plazma parametreleri ve plazma katmana uygulanan manyetik alan şiddeti değişik uygulamalar için farklı şekillerde ayarlanmıştır.

Bölüm 1’de Maxwell denklemleri’nden başlanarak elektromanyetik dalga denklemleri türetilmiştir. Plazma katmanının çizimi sunulmuş ve etkisi incelenen plazma parametrelerinin formülleri verilmiştir. Yapıdan yansıyan elektromanyetik dalgaların güç ifadesi, yapıdan iletilen elektromanyetik dalganın güç ifadesi ve yapı içinde soğurulan dalganın güç ifadeleri sunulmuştur. Plazma katmanından sonra mükemmel bir iletken yapısı koyulduğunda, güç ifadelerinin nasıl bulunduğu açıklanmıştır.

Bölüm 2’de daha önceden literatüre de sunulmuş olan parabolik elektron yoğunluğuna sahip plazma katmanı ile elektromanyetik dalgaların etkileşimine dair sonuçlar verilmiştir. Böylece tezde kullanılan analiz metodunun ve bilgisayar programının literatürdeki sonuçlarla uyumlu sonuçlar verdiğinin gösterilmesi hedeflenmiştir.

Bölüm 3’de elektron yoğunluğu sinüsel değişen bir plazma yapısının elektromanyetik dalgaların yayılmasına olan etkileri açıklanmıştır. Plazma parametreleri değiştirilerek yapının iyi bir soğurucu ve iyi bir yansıtıcı özelliği kazanması sağlanmıştır. Sinüs fonksiyonun faz açısı değiştirilerek elektron yoğunlukları yapı içerisinde değiştirilmiş ve sonuçlar sunulmuştur. Literatürde parabolik dağılımlı bir plazma katmanı ile soğurma ve yansıtma özellikleri açısından bir kıyaslama yapılmıştır. Bölüm 4’de doğrusal değişen elektron profili ile ilgili sonuçlar sunulmuştur. Doğrusal profilin eğimi değiştirilerek filtre özellikleri açısından bir kıyaslaması yapılmıştır. Bölüm 5’te iki farklı elektron profili aynı yapı içerisinde denenmiştir. İlk kısmı doğrusal, son kısmı sinüsel değişen elektron profiline sahip bir plazma yapısı için soğurma, iletme ve yansıtma davranışları sunulmuştur. Katmanın toplam kalınlığının ve elektron profillerinin hakim oldukları kalınlıkların bu davranışlara olan etkileri açıklanmıştır. Bölüm 6’da bu karma yapının mükemmel bir iletkenin önüne yerleştirildiği varsayılmıştır. Yapıdan yansıyan elektromanyetik dalganın en aza indirilmesi için çeşitli durumlar modellenmiş ve sonuçlar tartışılmıştır. Bölüm 7’de elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve genel bir değerlendirme yapılmıştır. İzleyen bölümde ise çalışmada yararlanılan kaynaklar sunulmuştur.

1. FORMÜLASYON

Elektromanyetik dalga-plazma etkileşimini Maxwell Denklemleri ile incelemek üzere

$$\nabla \times \vec{E} = -\vec{M}_i - \mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (1-1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = -\vec{J}_i + \sigma \vec{E} + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (1-2)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = q_{ev} \quad (1-3)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = q_{mv} \quad (1-4)$$

yazılabilir. \vec{E} elektrik alan vektörünü, \vec{H} manyetik alan vektörünü, \vec{D} elektrik deplasman vektörünü, \vec{B} manyetik alan vektörünü, \vec{M}_i manyetik akım yoğunluğu vektörünü, \vec{J}_i elektrik akım yoğunluğu vektörünü, q_{ev} elektrik yük yoğunluğunu ve q_{mv} manyetik yük yoğunluğunu ifade etmektedir. İlk adımda (1-1) ve (1-2) denklemlerinin dönele alınırsa:

$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} = -\nabla \times \vec{M}_i - \mu \nabla \times \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\nabla \times \vec{M}_i - \mu \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \vec{H}) \quad (1-5)$$

$$\nabla \times \nabla \times \vec{H} = \nabla \times \vec{J}_i + \sigma \nabla \times \vec{E} + \varepsilon \nabla \times \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \nabla \times \vec{J}_i + \sigma \nabla \times \vec{E} + \varepsilon \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times \vec{E}) \quad (1-6)$$

Eş.(1-2), (1-5)'de yerine konursa:

$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} = -\nabla \times \vec{M}_i - \mu \frac{\partial}{\partial t} \left(\vec{J}_i + \sigma \vec{E} + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) = -\nabla \times \vec{M}_i - \mu \frac{\partial \vec{J}_i}{\partial t} - \mu \sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} - \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (1-7)$$

elde edilir.

$$\nabla \times \nabla \times \vec{F} = \nabla (\nabla \cdot \vec{F}) - \nabla^2 \vec{F} \quad (1-8)$$

özelliği kullanılarak (1-7)'de yerine koyulursa:

$$\nabla \cdot \vec{E} = -\nabla \times \vec{M}_i - \mu \frac{\partial \vec{J}_i}{\partial t} - \mu \sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} - \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (1-9)$$

Eş.(1-3) tekrar düzenlenerek (1-7)'de yerine konursa:

$$\nabla \cdot \vec{D} = \varepsilon \nabla \cdot \vec{E} = q_{ev} \Rightarrow \nabla \cdot \vec{E} = \frac{q_{ev}}{\varepsilon} \quad (1-10)$$

$$\nabla^2 \vec{E} = \nabla \times \vec{M}_i + \mu \frac{\partial \vec{J}_i}{\partial t} + \frac{1}{\varepsilon} \nabla q_{ev} + \mu \sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (1-11)$$

elde edilebilir. Elektrik alan vektörü \vec{E} için yapılan işlemleri manyetik alan vektörü \vec{H} için de yapmak üzere (1-1), (1-6)'da yerine konursa:

$$\nabla \times \nabla \times \vec{H} = \nabla \times \vec{J}_i - \sigma \left(+M_i + \mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \right) - \varepsilon \frac{\partial}{\partial t} \left(+\vec{M}_i + \mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \right) \quad (1-12)$$

Eş.(1-12), (1-8) kullanılarak tekrar düzenlenirse:

$$\nabla \cdot \vec{H} = \nabla \times \vec{J}_i - \sigma \vec{M}_i - \mu \sigma \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} - \varepsilon \frac{\partial \vec{M}_i}{\partial t} - \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \quad (1-13)$$

elde edilir. Eş.(1-4) denklemi düzenlenip (1-11)'de yerine konursa:

$$\nabla \cdot \vec{B} = \mu \nabla \cdot \vec{H} = q_{mv} \Rightarrow \nabla \cdot \vec{H} = \frac{q_{mv}}{\mu} \quad (1-14)$$

$$\nabla^2 \vec{H} = -\nabla \times \vec{J}_i + \sigma \vec{M}_i + \frac{1}{\mu} \nabla q_{mv} + \varepsilon \frac{\partial \vec{M}_i}{\partial t} + \mu \varepsilon \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \quad (1-15)$$

Eş.(1-11) ve (1-15), \vec{E} ve \vec{H} için vektör dalga denklemleri olarak adlandırılırlar

(Balanis, 1989).

Kaynaksız bölgelerde

$$\vec{J}_i = q_{ev} = \vec{M}_i = q_{mv} = 0 \quad (1-16)$$

alınabilir.

Bu durumda, vektör dalga denklemleri aşağıdaki denklemlere dönüşür:

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu\sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (1-17)$$

$$\nabla^2 \vec{H} = \mu\sigma \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \quad (1-18)$$

Kaynaksız ve kayıpsız bir ortamda (1-17) ve (1-18)

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (1-19)$$

$$\nabla^2 \vec{H} = \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \quad (1-20)$$

şeklinde yazılabilirler.

Dalga denklemlerinin zamanda harmonik hallerinin elde edilmesi için $\frac{\partial}{\partial t} = j\omega$ ve

$\frac{\partial^2}{\partial t^2} = j^2\omega^2$ kullanılırsa,

$$\nabla^2 \vec{E} = \nabla \times \vec{M}_i + j\omega\mu\vec{J}_i + \frac{1}{\varepsilon} \nabla q_{ev} + j\mu\sigma\omega\vec{E} - \omega^2 \mu\varepsilon\vec{E} \quad (1-21)$$

$$\nabla^2 \vec{H} = -\nabla \times \vec{J}_i + \sigma\vec{M}_i + \frac{1}{\mu} \nabla q_{mv} + j\omega\varepsilon\vec{M}_i + j\mu\sigma\omega\vec{H} - \omega^2 \mu\varepsilon\vec{H} \quad (1-22)$$

Kaynaksız bölgeler için dalga denklemleri

$$\nabla^2 \vec{E} = j\mu\sigma\omega\vec{E} - \omega^2 \mu\varepsilon\vec{E} = \gamma^2 \vec{E} \quad (1-23)$$

$$\nabla^2 \vec{H} = j\mu\sigma\omega\vec{H} - \omega^2 \mu\varepsilon\vec{H} = \gamma^2 \vec{H} \quad (1-24)$$

halini alır.

Burada γ yayılma sabitidir ve

$$\gamma = j\omega\mu\sigma + j\omega\varepsilon \quad (1-25)$$

olarak ifade edilir.

Eş.(1-25) alternatif olarak şu şekilde de ifade edilebilir:

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad (1-26)$$

Burada α zayıflama sabiti (Np/m), β ise elektromanyetik dalganın faz sabiti (rad/m) olarak adlandırılır. $\beta^2 = \omega^2 \mu \epsilon$ alınarak Eşitlik 1-23 ve 1-24 yeniden düzenlenirse :

$$\nabla^2 \vec{E} = j\mu\sigma\omega\vec{E} - \beta^2\vec{E} \quad (1-27)$$

$$\nabla^2 \vec{H} = j\mu\sigma\omega\vec{H} - \beta^2\vec{H} \quad (1-28)$$

elde edilir.

Bu denklemleri çözmek için kullanılan metotlardan biri değişkenlerin ayrımı metodudur. Kartezyen koordinatlarda dalga denklemlerinin çözümü kayıksız ve kayıpsız bir ortam için şu şekilde bulunur:

Kartezyen koordinat sisteminde elektrik alan vektörü \vec{E} için genel çözüm

$$\vec{E}(\mathbf{r}, t) = \hat{x}E_x(\mathbf{r}, t) + \hat{y}E_y(\mathbf{r}, t) + \hat{z}E_z(\mathbf{r}, t) \quad (1-29)$$

yazılabilir.

Eş.(1-29), (1-27)'da yerine konursa,

$$\nabla^2 \vec{E} + \beta^2 \vec{E} = \nabla^2 (\hat{x}E_x + \hat{y}E_y + \hat{z}E_z) + \beta^2 (\hat{x}E_x + \hat{y}E_y + \hat{z}E_z) = 0 \quad (1-30)$$

elde edilir.

Eş.(1-30), üç adet skaler dalga denklemine dönüştürülebilir:

$$\nabla^2 E_x(\mathbf{r}, t) + \beta^2 E_x(\mathbf{r}, t) = 0 \quad (1-31)$$

$$\nabla^2 E_y(\mathbf{r}, t) + \beta^2 E_y(\mathbf{r}, t) = 0 \quad (1-32)$$

$$\nabla^2 E_z(\mathbf{r}, t) + \beta^2 E_z(\mathbf{r}, t) = 0 \quad (1-33)$$

Denklemlerin çözümlmesine (1-31) denkleminde başlanırsa;

$$\nabla^2 E_x + \beta^2 E_x = \frac{\partial^2 E_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} + \beta^2 E_x = 0 \quad (1-34)$$

elde edilir.

Değişkenlerin ayrımı metodu kullanılarak $E_x(x, y, z)$ için bir çözüm

$$E_x(x, y, z) = f(x)g(y)h(z) \quad (1-35)$$

şeklinde yazılabilir.

Eş.(1-35), (1-34)'de yerine koyulursa;

$$gh \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + fh \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} + fg \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} + \beta^2 fgh = 0 \quad (1-36)$$

elde edilir.

$f(x)$, $g(y)$ ve $h(z)$ tek değişkene bağlı olduğu için kısmi türevler adi türevlere dönüştürülebilir.

O halde (1-36) denklemini aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$gh \frac{d^2 f}{dx^2} + fh \frac{d^2 g}{dy^2} + fg \frac{d^2 h}{dz^2} + \beta^2 fgh = 0 \quad (1-37)$$

Eş.(1-37)'in her terimi (fgh) çarpımına bölünürse;

$$\frac{1}{f} \frac{d^2 f}{dx^2} + \frac{1}{g} \frac{d^2 g}{dy^2} + \frac{1}{h} \frac{d^2 h}{dz^2} + \beta^2 = 0 \quad (1-38)$$

$$\frac{1}{f} \frac{d^2 f}{dx^2} + \frac{1}{g} \frac{d^2 g}{dy^2} + \frac{1}{h} \frac{d^2 h}{dz^2} = -\beta^2 \quad (1-39)$$

elde edilir.

Eş.(1-39) denkleminin sağ tarafının $-\beta^2$ 'ye eşit olması için sağ taraftaki her bir terimin ayrı ayrı sabit bir sayıya eşit olması gerekir. O halde;

$$\frac{d^2 f}{dx^2} = -\beta^2_x f \quad (1-40)$$

$$\frac{d^2 g}{dy^2} = -\beta^2_y g \quad (1-41)$$

$$\frac{d^2 h}{dz^2} = -\beta^2_z h \quad (1-42)$$

$$\beta^2_x + \beta^2_y + \beta^2_z = \beta^2 \quad (1-43)$$

denklemleri yazılır.

β_x elektromanyetik dalganın x yönündeki dalga sabiti, β_y y yönündeki dalga sabiti ve β_z z yönündeki dalga sabitini ifade etmektedir.

Eş.(1-40) denkleminin bir çözümü

$$f_1 \Leftarrow A_1 e^{-j\beta_x x} + B_1 e^{+j\beta_x x} \quad (1-44)$$

olarak verilebilir.

Bu çözüm (1-41) ve (1-42) için de yazılırsa,

$$g_1 \Leftarrow A_2 e^{-j\beta_y y} + B_2 e^{+j\beta_y y} \quad (1-45)$$

$$h_1 \Leftarrow A_3 e^{-j\beta_z z} + B_3 e^{+j\beta_z z} \quad (1-46)$$

elde edilir.

Eş.(1-44), (1-45) ve (1-46) denklemleri fiziksel olarak, hareket eden elektromanyetik dalgaları ifade etmektedir.

Manyetik alan vektörü \vec{H} için genel çözüm, \vec{E} için yazılan çözüme benzer şekilde yazılabilir.

$$\vec{H}(x, y, z) = \hat{x}H_x(x, y, z) + \hat{y}H_y(x, y, z) + \hat{z}H_z(x, y, z) \quad (1-47)$$

Eş.(1-47), (1-28)'de yerine koyulursa;

$$\nabla^2 \vec{H} + \beta^2 \vec{H} = \nabla^2 (\hat{x}H_x + \hat{y}H_y + \hat{z}H_z) + \beta^2 (\hat{x}H_x + \hat{y}H_y + \hat{z}H_z) = 0 \quad (1-48)$$

Eş.(1-48) kullanılarak üç adet skaler dalga denklemi yazılabilir:

$$\nabla^2 H_x(x, y, z) + \beta^2 H_x(x, y, z) = 0 \quad (1-49)$$

$$\nabla^2 H_y(x, y, z) + \beta^2 H_y(x, y, z) = 0 \quad (1-50)$$

$$\nabla^2 H_z(x, y, z) + \beta^2 H_z(x, y, z) = 0 \quad (1-51)$$

Skaler dalga denklemlerinin çözümüne (1-49)'den başlanarak;

$$\nabla^2 H_x + \beta^2 H_x = \frac{\partial^2 H_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 H_x}{\partial z^2} + \beta^2 H_x \quad (1-52)$$

elde edilir.

Değişkenlerin ayrımı metodu uygulanırsa;

$$H_x(x, y, z) = k(x)l(y)m(z) \quad (1-53)$$

bir çözüm olarak yazılabilir.

Eş.(1-53), (1-49)'de yerine koyulursa;

$$lm \frac{\partial^2 k}{\partial x^2} + km \frac{\partial^2 l}{\partial x^2} + kl \frac{\partial^2 m}{\partial x^2} + \beta^2 klm = 0 \quad (1-54)$$

elde edilir.

Kısmi türevler adi türevlere dönüştürülüp , herbir terim klm çarpımına bölünürse;

$$\frac{1}{k} \frac{d^2 k}{dx^2} + \frac{1}{l} \frac{d^2 l}{dx^2} + \frac{1}{m} \frac{d^2 m}{dx^2} = -\beta^2 \quad (1-55)$$

Eş.(1-55)'in sağ tarafının $-\beta^2$ 'ye eşit olması için sağ taraftaki herbir terimin ayrı ayrı sabit bir sayıya eşit olması gerekir. O halde;

$$\frac{d^2k}{dx^2} = -\beta^2 k \quad (1-56)$$

$$\frac{d^2l}{dy^2} = -\beta^2 l \quad (1-57)$$

$$\frac{d^2m}{dz^2} = -\beta^2 m \quad (1-58)$$

denklemleri elde edilir.

Eş.(1-56)'un bir çözümü elektrik alan için verilen çözümde olduğu gibi verilebilir:

$$k_1 \stackrel{\text{çözüm}}{=} A_1 e^{-j\beta_x x} + B_1 e^{+j\beta_x x} \quad (1-59)$$

Eş.(1-57) ve (1-58) için de çözüm ifadeleri şu şekilde verilebilir:

$$l_1 \stackrel{\text{çözüm}}{=} A_2 e^{-j\beta_y y} + B_2 e^{+j\beta_y y} \quad (1-60)$$

$$m_1 \stackrel{\text{çözüm}}{=} A_3 e^{-j\beta_z z} + B_3 e^{+j\beta_z z} \quad (1-61)$$

Buraya kadar olan dalga denklemleri ve çözümleri kaynaksız ve kayıpsız ortamlar içindir. Ortamın kayıplı olduğu durumlarda dalga denklemlerinin çözümleri ortamın kayıpsız olduğu durumdakinden farklıdır.

Kaynaksız ve kayıplı bir ortamda dalga denklemlerini yazmak için (1-16)'ya ek olarak $\sigma \neq 0$ kullanılmalıdır.

Eş.(1-23) denklemini düzenlenirse,

$$\nabla^2 \vec{E} - \gamma^2 \vec{E} = 0 \quad (1-62)$$

elde edilir.

Elektrik alan için genel çözüm (1-29)'deki gibi alınıp, (1-62) denkleminde yerine konursa;

$$\nabla^2 \vec{E} - \gamma^2 \vec{E} = \nabla^2 (\hat{x}E_x + \hat{y}E_y + \hat{z}E_z) - \gamma^2 (\hat{x}E_x + \hat{y}E_y + \hat{z}E_z) = 0 \quad (1-63)$$

denklemine ulaşılır.

Eş.(1-63) denkleminden üç adet skaler dalga denklemi elde edilir:

$$\nabla^2 E_x(\hat{x}, y, z) - \gamma^2 E_x(\hat{x}, y, z) = 0 \quad (1-64)$$

$$\nabla^2 E_y(\hat{x}, y, z) - \gamma^2 E_y(\hat{x}, y, z) = 0 \quad (1-65)$$

$$\nabla^2 E_z(\hat{x}, y, z) - \gamma^2 E_z(\hat{x}, y, z) = 0 \quad (1-66)$$

Burada γ yayılma sabitidir ve aşağıdaki denklemle ifade edilebilir:

$$\gamma^2 = j\omega\mu(\sigma + j\omega\varepsilon) \quad (1-67)$$

Eş.(1-67)'den

$$\gamma = \mp \sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\varepsilon)} \quad (1-68)$$

elde edilir.

$$\sigma \text{ pozitif ise } \gamma = \mp (\alpha + j\beta) \quad (1-69)$$

$$\sigma \text{ negatif ise } \gamma = \mp (\alpha - j\beta) \quad (1-70)$$

yazılabilir.

Yayılma sabiti (1-69) ve (1-70) denklemlerinden anlaşılacağı gibi dört farklı şekilde ifade edilebilir:

$$\gamma = +(\alpha + j\beta) \quad (1-71)$$

$$\gamma = -(\alpha + j\beta) \quad (1-72)$$

$$\gamma = +(\alpha - j\beta) \quad (1-73)$$

$$\gamma = -(\alpha - j\beta) \quad (1-74)$$

Kayıplı ortamdaki dalga denklemlerini bulmak için kayıpsız ortamdaki dalga denklemlerini bulma yolu izlenebilir. Elektrik alan için genel bir çözüm (1-35) denklemindeki gibi alınıp; (1-44), (1-45), (1-46) denklemleri kullanılırsa:

$$f_1 \mathbf{e}^{\mathbf{r}} = A_1 e^{-j\gamma_x x} + B_1 e^{+j\gamma_x x} \quad (1-75)$$

$$g_1 \mathbf{e}^{\mathbf{r}} = A_2 e^{-j\gamma_y y} + B_2 e^{+j\gamma_y y} \quad (1-76)$$

$$h_1 \mathbf{e}^{\mathbf{r}} = A_3 e^{-j\gamma_z z} + B_3 e^{+j\gamma_z z} \quad (1-77)$$

denklemleri elde edilir.

$$\text{Burada } \gamma^2 = \gamma_x^2 + \gamma_y^2 + \gamma_z^2 \quad (1-78)$$

Eş.(1-71), (1-72), (1-73) ve (1-74), (1-77) denkleminde ayrı ayrı yerine konulursa aşağıdaki dört farklı ifade elde edilir:

$$h_1 \mathbf{e}^{\mathbf{r}} = A_3 e^{-\alpha_z z} e^{-j\beta_z z} \quad (1-79)$$

$$h_1 \mathbf{e}^{\mathbf{r}} = A_3 e^{+\alpha_z z} e^{+j\beta_z z} \quad (1-80)$$

$$h_1 \mathbf{e}^{\mathbf{r}} = A_3 e^{-\alpha_z z} e^{+j\beta_z z} \quad (1-81)$$

$$h_1 \mathbf{e}^{\mathbf{r}} = A_3 e^{+\alpha_z z} e^{-j\beta_z z} \quad (1-82)$$

Bu dört denklemin herbirinin farklı bir fiziksel anlamı bulunmaktadır:

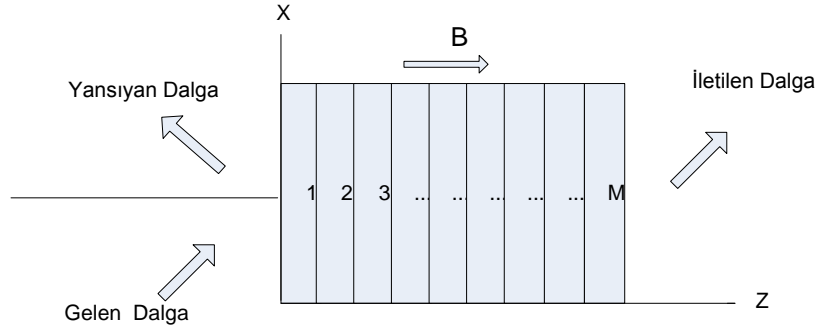
Eş.(1-79) + z yönünde ilerleyen ve bu yönde zayıflayan bir elektromanyetik dalgayı ifade etmektedir.

Eş.(1-80) - z yönünde ilerleyen ve bu yönde güçlenen bir elektromanyetik dalgayı ifade etmektedir.

Eş.(1-81) - z yönünde ilerleyen ve bu yönde güçlenen bir elektromanyetik dalgayı ifade etmektedir.

Eş.(1-82) + z yönünde ilerleyen ve bu yönde güçlenen bir dalgayı ifade etmektedir.

Bu çalışmada Şekil 1.1 'de gösterilen plazma- sandviç yapısı ele alınmıştır. Plazma-sandviç yapısına dışardan bir manyetik alan uygulandığı varsayılmıştır. Yapıya gelen elektromanyetik dalga düzlem dalga olarak düşünülmüştür. Plazma katmanı altkatmanlara bölünmüştür. Herbir altkatmanın elektron yoğunluğu sabit alınmıştır. Plazma katmanının genel elektron yoğunluğu davranışı herhangi bir pratik dağılım fonksiyonu kullanılarak tanımlanabilir (Tang, 2003).



Şekil 1.1 Plazma-Dilim Yapısı

Plazma katmanına gelen elektromanyetik dalganın bir kısmı bir altkatmandan öbürüne geçerken arayüzde yansımaya uğrar. Yansıyan elektromanyetik dalga hareket ettiği plazma kalınlığı boyunca zayıflayarak, plazma katmanının dışına çıkar. İlerleyen elektromanyetik dalga aldığı yol boyunca hem zayıflar hem de altkatmanların arayüzlerindeki yansımalarından dolayı gücünü kaybederek ya tamamen plazma katmanı tarafından soğurulur ya da gücünü belli oranda kaybederek katmandan ayrılır.

Tez çalışması kapsamında dikkate alınan plazma parametreleri şunlardır: çarpışma frekansı, plazma frekansı ve jirofrekansı.

Çarpışma frekansı, elektronlar ve nötr gazlar arasındaki çarpışmanın hızını; plazma frekansı, plazma içerisindeki elektronların osilasyon frekansını ve jirofrekansı, manyetik alan etrafında elektronların dönme frekansını ifade etmektedir.

Plazma frekansı,

$$\omega_p^2 = e^2 \frac{N}{m\epsilon_0} \quad (1-83)$$

formülüyle bulunabilmektedir. Eş.(1-83)'te, e birim elektron yükünü, N elektron yoğunluğunu, m elektronun kütlesini ve ε_0 boş uzayın dielektrik sabitini ifade etmektedir. Jirofrekansı,

$$\omega_{ce} = \frac{eB}{m} \quad (1-84)$$

formülüyle hesaplanabilir. Eş.(1-84)'da, e birim elektron yükünü, B manyetik alan şiddetini, m elektronun kütlesini ifade etmektedir.

Bu tez kapsamında düzlem dalganın plazma katmanına dik , manyetik alana paralel olarak geldiği varsayılmıştır.

Yansıyan, soğurulan ve iletilen güç değerlerinin bulunması için öncelikle herbir altkatmanın elektron yoğunluğu bulunur. Elektron yoğunlukları bulunduktan sonra herbir altkatman için plazma frekansları ve elektron jirofrekansları hesaplanır. Bulunan değerler, herbir altkatmanın kompleks dielektrik sabitlerinin hesaplanmasında kullanılır. Dielektrik sabitlerinin bulunabilmesi için Appleton formülü kullanılmıştır.

Kütlesi m olan bir elektronun plazma içersinde hareket denklemi

$$-m\omega^2 \vec{r} + m\omega j\vec{r} = e\vec{E} + e\omega \vec{r} \times \vec{B} \quad (1-85)$$

eşitliğiyle ifade edilebilir.

Ortamın elektrik polarizasyon vektörü \vec{P} (1-85)'de yerine konursa:

$$-\omega^2 m\vec{P} + jm\omega\vec{P} = Ne^2 \vec{E} + j\omega e\vec{P} \times \vec{B} \quad (1-86)$$

elde edilir.

Eş.(1-86)'de $X = \omega_N^2 / \omega^2 = Ne^2 / (\varepsilon_0 m\omega^2)$, $\vec{Y} = \frac{e\vec{B}}{m\omega}$ ve $Z = \frac{\nu}{\omega}$ yazılarak,

düzenlenirse:

$$\varepsilon_0 X \vec{E} = \vec{P}(1 - jZ) - j\vec{Y} \times \vec{P} \quad (1-87)$$

elde edilir.

Kartezyen koordinatlarda (1-87), $U = 1 - jZ$ alınarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$-\varepsilon_0 X \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U & jl_z Y & -jl_y Y \\ -jl_z Y & U & jl_x Y \\ jl_y Y & -jl_x Y & U \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{pmatrix} \quad (1-88)$$

Eş.(1-88)'dan polarizasyon matrisi çekilirse,

$$\vec{P} = \varepsilon_0 \mathbf{M} \vec{E} \quad (1-89)$$

elde edilir.

Eş.(1-89)'da \mathbf{M} hassasiyet tensörüdür.

Buradan dielektrik tensörü,

$$\mathbf{E} = \varepsilon_0 (1 + \mathbf{M}) \vec{E} \quad (1-90)$$

şeklinde yazılabilir.

Y_l , \vec{Y} 'nin boyuna bileşenini; Y_t , \vec{Y} 'nin enine bileşenini ifade ederse, (1-90)

$$-\varepsilon_0 X \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U & jY_l & 0 \\ -jY_l & U & jY_t \\ 0 & -jY_t & U \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{pmatrix} \quad (1-91)$$

eşitliğine dönüşür.

Elektromanyetik dalganın hareket yönünde,

$$D_z = \varepsilon_0 E_z + P_z = 0 \quad (1-92)$$

Eş.(1-92)'den $-\varepsilon_0 X E_z = -jY_t P_y + U P_z$ elde edilir.

Bu iki eşitlikte E_z yok edilirse,

$$(U - X)P_z = jY_t P_y \quad (1-93)$$

$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$, $\rho = \frac{E_Y}{E_X} = -\frac{H_X}{H_Y} = \frac{D_Y}{D_X}$, $P_Y = \rho P_X$ (ρ polarizasyon oranını ifade etmektedir.) ve (1-89) eşitlikleri kullanılarak ,

$$-\varepsilon_0 X E_X = (U + j\rho Y_l) P_X \quad (1-94)$$

$$-\varepsilon_0 X E_Y = \left[U - jY_l - \rho Y_l^2 (U - X)^{-1} \right] P_X \quad (1-95)$$

Eş.(1-94)'ün (1-95)'ye bölünmesinden elde edilen denklem:

$$\rho^2 - j\rho Y_l^2 \left[\frac{U - X}{Y_l^2} \right] + 1 = 0 \quad (1-96)$$

Eş.(1-96)'in çözümü şu şekilde verilebilir:

$$\rho = \frac{jY_l^2}{2(U - X)Y_l} \pm j \left[1 + \frac{Y_l^4}{4(U - X)^2 Y_l^2} \right]^{1/2} \quad (1-97)$$

Eş.(1-92) ve (1-93)'den,

$$E_Z = -\frac{1}{\varepsilon_0} \frac{jY_l}{U - X} \rho P_X \quad (1-98)$$

yazılabilir. Eş.(1-92) kullanılarak ,

$$P_X = D_X - \varepsilon_0 E_X = \varepsilon_0 (\mu^2 - 1) E_X \quad (1-99)$$

elde edilir. Eş.(1-94)'da yerine yazılırsa,

$$\mu^2 - 1 = \frac{-X}{U + jY_l \rho} \quad (1-100)$$

Eş.(1-97)'den,

$$\mu^2 = 1 - \frac{X(U - X)}{U(U - X) - 1/2 Y_l^2 \pm \left[4Y_l^4 + Y_l^2 (U - X)^2 \right]^{1/2}} \quad (1-101)$$

bulunur.

Eş.(1-101)'de $X = w_p^2 / w^2$, $Z = \frac{V}{w}$, $U = 1 - jZ$, $Y_t = \frac{w_{ce}}{w} \sin \theta$ ve $Y_l = \frac{w_{ce}}{w} \cos \theta$ yazılırsa, bir düzlem elektromanyetik dalganın içinde ilerlediği soğuk plazmanın kompleks dielektrik sabiti :

$$\tilde{\epsilon}_r = 1 - \frac{(\omega_p / \omega)^2}{\left[1 - j \frac{v_{en}}{\omega} - \frac{(\omega_{ce} / \omega)^2 \sin^2 \theta}{2 \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} - j \frac{v_{en}}{\omega} \right)} \right] \pm \left[\frac{(\omega_{ce} / \omega)^4 \sin^4 \theta}{4 \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} - j \frac{v_{en}}{\omega} \right)^2} + \frac{\omega_{ce}^2}{\omega^2} \cos^2 \theta \right]^{1/2}} \quad (1-102)$$

Burada ;

$\tilde{\epsilon}_r$ plazmanın kompleks dielektrik sabitini,

ω_p plazma frekansını,

ω elektromanyetik dalganın açısal frekansını (rad/s),

v_{en} plazmanın içindeki elektron- nötral gaz çarpışma frekansını,

ω_{ce} elektron jirofrekansını,

θ elektromanyetik dalganın geliş açısını

ifade etmektedir.

Normal geliş açısına sahip bir düzlem elektromanyetik dalganın için ortamın bağıl kompleks dielektrik sabiti (1-99) eşitliğinde $\theta = 0^0$ yazılarak bulunabilir:

$$\tilde{\epsilon}_r = 1 - \frac{(\omega_p / \omega)^2}{1 - j \frac{v_{en}}{\omega} - \frac{\omega_{ce}^2}{\omega^2}} \quad (1-103)$$

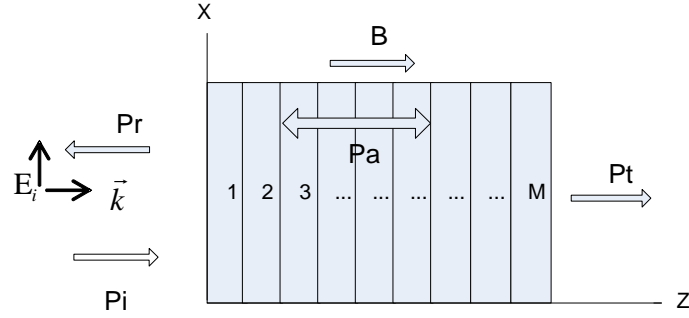
Herbir altkatmanın zayıflama katsayısı dalganın yayılma sabitinden bulunur. Dalganın yayılma sabiti,

$$\gamma^2 = -\tilde{\epsilon}_r \frac{\omega^2}{c^2} \quad (1-104)$$

eşitliğinden bulunur. Zayıflama katsayısı ,

$$\alpha = \text{Re}(\gamma) \quad (1-105)$$

eşitliğinden hesaplanabilir.



Şekil 1.2 Dik gelen bir düzlem dalganın plazma katmanıyla etkileşimi.

Şekil 1.2'de P_i gelen elektromanyetik dalganın gücünü, P_r yansıyan elektromanyetik dalganın gücünü, P_a plazma katmanı içinde soğurulan gücü ve P_t ilerleyen dalganın gücünü ifade etmektedir. Yansıyan elektromanyetik dalganın gücünün bulunabilmesi için her bir arayüzdeki yansımaya katsayısı bulunmalıdır. $(i+1)$. arayüzdeki yansımaya katsayısı

$$\Gamma(i+1) = \frac{\sqrt{\tilde{\epsilon}_r(i)} - \sqrt{\tilde{\epsilon}_r(i+1)}}{\sqrt{\tilde{\epsilon}_r(i)} + \sqrt{\tilde{\epsilon}_r(i+1)}} \quad (1-106)$$

eşitliğinden bulunabilir.

noktasında iletilen dalganın gücü $\Gamma_{21}^2 \Gamma_{23}^2 T_{21} T_{32} e^{-4\gamma d}$ katsayısı ile çarpılmış şekildedir. Çoklu yansımalar sonucunda iletilen güç ifadesine katkı yapan terimler her bir turda hem yansıma ve iletim katsayılarının çok küçük olmasından hem de yapı içerisinde her seferinde katlanarak gelen zayıflamalardan dolayı sifıra çok yaklaşmaktadır. Bu nedenden dolayı çoklu yansımalarından gelen katkılar ihmal edilmiştir (Balanis, 1989).

Çoklu yansımaların ihmal edilmediği durumda tek katmanlı ortamda toplam yansıma katsayısı

$$\Gamma_{in}(z = -d) = \Gamma_{12} + \frac{T_{12} T_{21} \Gamma_{23} e^{-2\gamma d}}{1 - \Gamma_{21} \Gamma_{23} e^{-2\gamma d}} \quad (1-107)$$

ile verilmektedir. Şekil (1.3)'den de çıkarılabileceği üzere

$$\Gamma_{21} = -\Gamma_{12} \quad (1-108a)$$

$$T_{12} = 1 + \Gamma_{21} = 1 - \Gamma_{12} \quad (1-108b)$$

$$T_{21} = 1 + \Gamma_{12} \quad (1-108c)$$

şeklindedir. Çoklu yansımaların ihmal edilmediği (1-107) denkleminde $|\Gamma_{12}|$ ve $|\Gamma_{23}|$ için

$$|\Gamma_{12}| = \frac{|\sqrt{\tilde{\epsilon}_r(2)} - \sqrt{\tilde{\epsilon}_r(1)}|}{|\sqrt{\tilde{\epsilon}_r(2)} + \sqrt{\tilde{\epsilon}_r(1)}|} \ll 1 \quad (1-109a)$$

$$|\Gamma_{23}| = \frac{|\sqrt{\tilde{\epsilon}_r(3)} - \sqrt{\tilde{\epsilon}_r(2)}|}{|\sqrt{\tilde{\epsilon}_r(3)} + \sqrt{\tilde{\epsilon}_r(2)}|} \ll 1 \quad (1-109b)$$

yaklaşımı yapılabilir. Bunun temel nedeni plazma dilimi boyunca (1-105) ile ifade edilen permittivite profilinin düzgün değişen bir fonksiyon olmasıdır.

Eş.(1-108), (1-109), (1-107)'de yerine konularak

$$\Gamma_{in}(z = -d) = \Gamma_{12} + \Gamma_{23} e^{-2\gamma d} \quad (1-110)$$

denkleminde ulaşılır. Formülasyonların bundan sonraki bölümünde bu yaklaşık formül ile hesaplamalara devam edilmiştir.

Elektromanyetik dalga plazma içersinde her bir altkatmana girerken arayüzünde yansımaya uğrar. Birinci arayüzden yansıyan dalga doğrudan havaya döndüğü için herhangi bir zayıflamaya uğramaz. İlk arayüzde yansıyan dalganın gücü

$$P_{r1} = P_i \times \Gamma \quad (1-111)$$

yazılabilir.

İlk arayüzden plazma içine doğru devam eden dalganın gücü şu şekilde hesaplanabilir:

$$P_i = \Gamma \times P_i + P_{t1} \Rightarrow P_{t1} = P_i (1 - \Gamma) \quad (1-112)$$

İkinci arayüze gidene kadar elektromanyetik dalganın gücü bir miktar zayıflar:

$$P_{i2} = e^{-2\alpha(1)d} P_i (1 - \Gamma) \quad (1-113)$$

İkinci arayüze gelince dalganın bir kısmı geri yansır; bir kısmı ise yoluna devam eder. Yansıyan dalganın gücü (1-114)'den bulunabilir:

$$P_{r2} = P_i (1 - \Gamma(1)^2) \Gamma(2)^2 e^{-2\alpha(1)d} \quad (1-114)$$

Geri yansıyan dalga geçtiği yol boyunca plazma katmanı tarafından soğurulur ve yapının dışına çıkar. Yansıyan dalganın gücü

$$P_r = P_i e^{-4\alpha(1)d} (1 - \Gamma(1)^2) \Gamma(2)^2 \quad (1-115)$$

İkinci arayüzden yoluna devam eden elektromanyetik dalga üçüncü arayüze gelene kadar geçtiği yol boyunca zayıflamaya devam eder.

$$P_i = P_i e^{-2\alpha(1)d} (1 - \Gamma(1)^2) e^{-2\alpha(2)d} (1 - \Gamma(2)^2) \quad (1-116)$$

Üçüncü arayüzde bir kısmı yansımaya uğrar.

$$P_r = P_i e^{-2\alpha(1)d} (1 - \Gamma(1)^2) e^{-2\alpha(2)d} (1 - \Gamma(2)^2) \Gamma(3)^2 \quad (1-117)$$

Yansıyan elektromanyetik dalga aldığı yol boyunca zayıflayarak plazma dışına çıkar. Bu arayüzden yansıyan dalganın gücü (1-118)'den hesaplanabilir.

$$P_r = P_i e^{-4\alpha(1)d} (1 - \Gamma(1)^2) e^{-4\alpha(2)d} (1 - \Gamma(2)^2) \Gamma(3)^2 \quad (1-118)$$

Plazma boyunca altkatmanların arayüzünden yansıyan elektromanyetik dalganın gücü diğer tüm arayüzler için aynı şekilde hesaplanabilir. Tüm bu ifadeler toplandığında toplam yansıyan güç ifadesi elde edilir:

$$P_r = P_i \Gamma(1)^2 + P_i e^{-4\alpha(1)d} (1 - \Gamma(1)^2) \Gamma(2)^2 + P_i e^{-4\alpha(1)d} (1 - \Gamma(1)^2) (1 - \Gamma(2)^2) e^{-4\alpha(2)d} \Gamma(3)^2 + \dots \quad (1-119)$$

Eş.(1-119) düzenlenirse elektromanyetik dalganın toplam yansıyan gücü

$$P_r = P_i \left(|\Gamma(1)|^2 + \sum_{j=2}^M \left(|\Gamma(j)|^2 \prod_{i=1}^{j-1} (\exp[-4\alpha(i)d] (1 - |\Gamma(i)|^2)) \right) \right) \quad (1-120)$$

eşitliğinden hesaplanabilir. Eş.(1-120) eşitliğinde d altkatmanların kalınlığını ifade etmektedir.

Toplam iletilen güç ifadesini elde etmek için herbir altkatmanda iletilen güç ifadesi ve plazma içersinde alınan yol boyunca zayıflamalar gözönüne alınmalıdır. O halde toplam yansıyan güç:

$$P_t = e^{-2\alpha(1)d} (1 - \Gamma(1)^2) e^{-2\alpha(2)d} (1 - \Gamma(2)^2) e^{-2\alpha(3)d} (1 - \Gamma(3)^2) e^{-2\alpha(4)d} (1 - \Gamma(4)^2) \dots e^{-2\alpha(12)d} (1 - \Gamma(M)^2) \quad (1-121)$$

şeklinde ifade edilebilir. Eş.(1-121) düzenlenirse, iletilen elektromanyetik dalganın toplam gücü

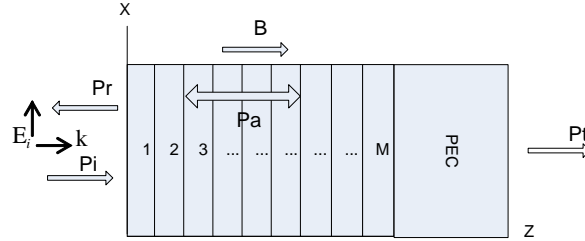
$$P_t = P_i \prod_{i=1}^M \exp[-2\alpha(i)d] (1 - |\Gamma(i)|^2) \quad (1-122)$$

eşitliğinden bulunabilir.

İletilen ve yansıyan elektromanyetik dalgaların güç değerleri bulunduktan sonra plazma katmanı tarafından absorbe edilen güç aşağıdaki eşitlikten çıkarılabilir:

$$P_a = P_i - P_r - P_t \quad (1-123)$$

Plazma katmanının sonuna mükemmel iletken (PEC) konduğu düşünülduğünde yapı Şekil 1.4'teki gibi olmaktadır.



Şekil 1.4 Plazma Katmanı-Mükemmel İletken Yapısı.

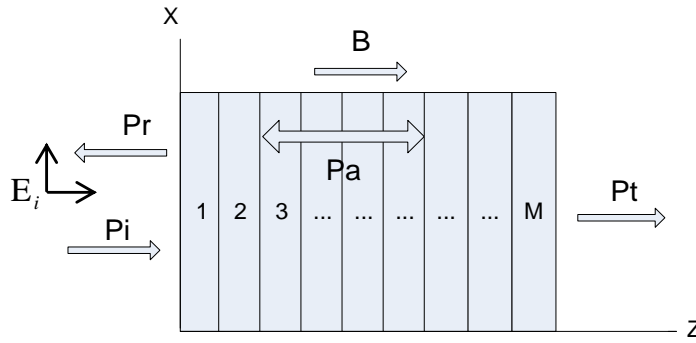
Plazma katmanının mükemmel bir iletkenin önüne konduğu varsayıldığında, yapıdan yansıyan elektromanyetik dalganın normalize gücü ve yapı içerisinde soğurulan normalize güç ifadeleri Eş.(1-120) ve (1-122) kullanılarak bulunabilmektedir. Mükemmel bir iletkenin içersinde alan ifadeleri sıfır olduğundan dolayı gelen elektromanyetik dalgalar yapının içersine girememektedir. Bu nedenle plazma katmanı ile mükemmel iletken arayüzünde yansıma katsayısı $\Gamma = 1$ olarak alınmıştır. Eş.(1-122)'de $\Gamma = 1$ için iletilen güç $P_t = 0$ olmaktadır. Bu da beklenildiği gibi elektromanyetik dalganın mükemmel iletkende yayılmadığını ifade etmektedir. O halde Eş.(1-123) bu durum için şu şekilde yazılabilir:

$$P_a = P_i - P_r \quad (1-124)$$

Eş.(1-123) ve (1-124) kullanılarak yansıyan ve soğurulan güç ifadeleri hesaplanabilir.

2. PARABOLİK ELEKTRON YOĞUNLUĞU PROFİLİNE SAHİP PLAZMA KATMANI

Bu bölümde elektron yoğunluğu parabolik değişen bir plazma katmanı ile elektromanyetik dalganın etkileşimi ele alınmıştır. Bu konuda benzer bir çalışma literatürde mevcuttur (Tang vd, 2003). Literatürde sunulan benzetim sonuçlarıyla bu çalışma kapsamında elde edilen benzetim sonuçları bu bölümde birarada verilmiştir. İncelenen plazma yapısı soğuk, çarpışmalı, durgun durumlu ve mıknatıslanmış olarak tanımlanmıştır. Katmanın kalınlığı, λ_o rezonans frekansında dalgaboyunu ifade etmek üzere, elektriksel olarak $3\lambda_o$ alınmıştır. Yapının şematik gösterimi Şekil 2.1’de görülmektedir.



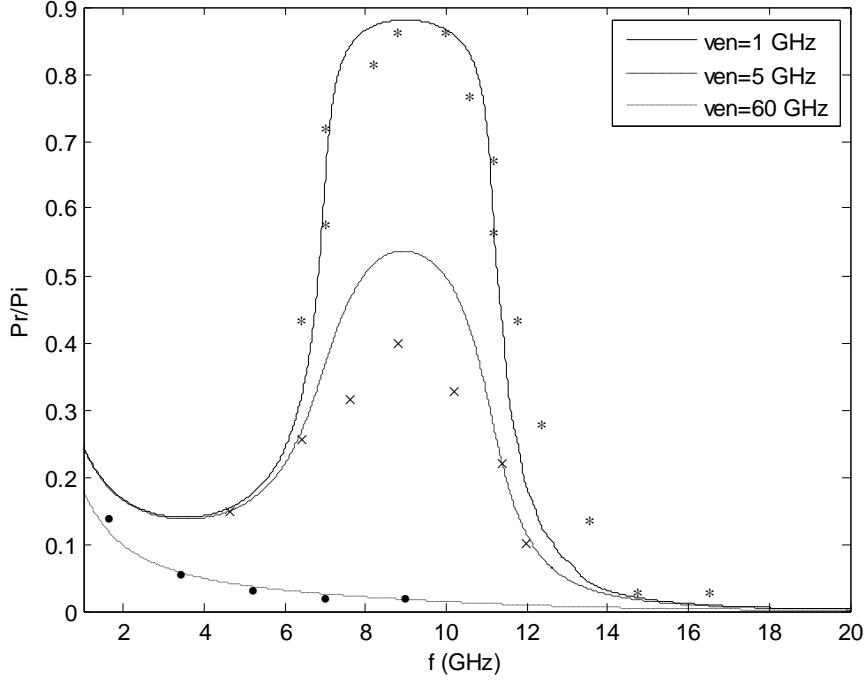
Şekil 2.1 Plazma katmanı - Elektromanyetik dalganın etkileşimi.

Plazma katmanının elektron dağılım fonksiyonu Eşitlik 2.1’de verilmiştir:

$$N = \begin{cases} N_m e^{2(1-2z/L)/3}, & z > L/2 \\ N_m e^{2(2z/L-1)/3}, & z < L/2 \end{cases} \quad (2.1)$$

L plazma katmanının kalınlığını, N_m maksimum elektron yoğunluğunu, z her bir alt katmanın yapının başından olan uzaklığını ifade etmektedir.

Plazma katmanı ince alt katmanlara bölünmüştür. Her bir alt katmandaki elektron yoğunluğu sabittir. Yapının tam ortasında elektron yoğunluğu en fazla değerini almaktadır. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T alınarak üç farklı çarpışma frekansı için normalize yansıyan güç ifadesi Şekil 2.2’de görülmektedir.



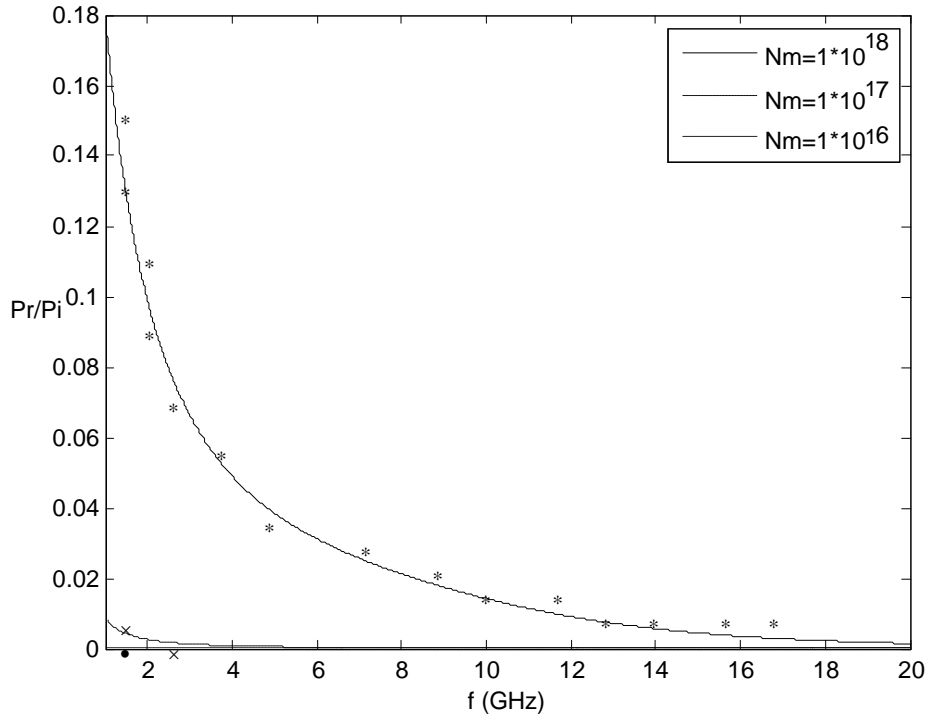
Şekil 2.2. Normalize yansıyan güç, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.

Şekil 2.2'den görüldüğü gibi çarpışma frekansı arttıkça normalize yansıyan güç azalmaktadır. Çarpışma frekansı azaldıkça yansıyan güç ve yansımada artmaktadır.

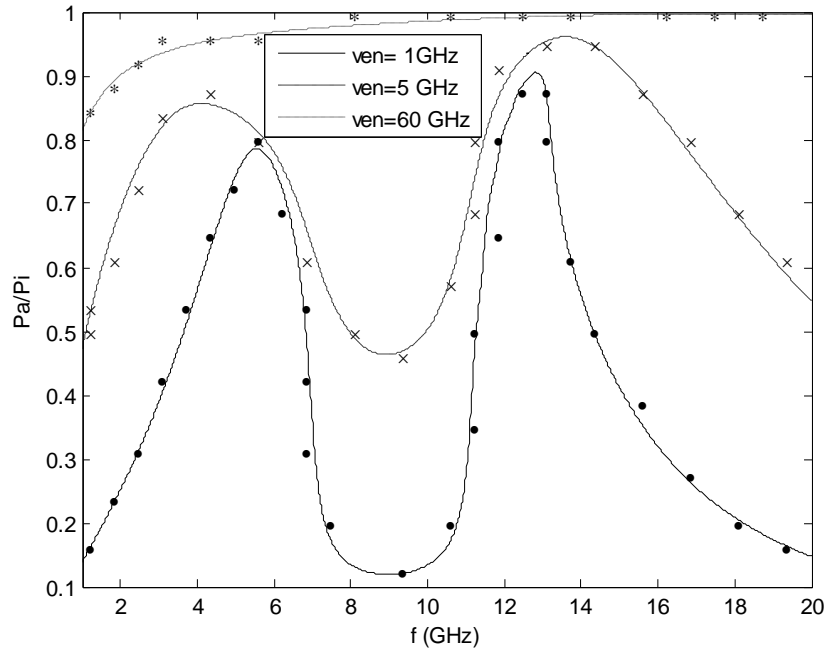
Çarpışma frekansı 60 GHz alındığında maksimum elektron yoğunluğuna göre yansıyan güç değişimi Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Elektron yoğunluğu düşük fakat yüksek çarpışma frekansına sahip plazma katmanı yansıyan gücü çok büyük ölçüde azaltmaktadır.

$N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$ ve $B=0.25$ T parametreleri için normalize soğurulan güç değerlerinin çarpışma frekansı ile olan değişimi Şekil 2.4'te çizilmiştir. Çarpışma frekansı arttıkça yapının içinde soğurulan güç de artmaktadır. $v_{en}=60$ GHz için elektromanyetik dalganın gücünün neredeyse tamamen soğurulduğu görülmektedir ve soğurulan elektromanyetik dalgaların frekans aralığı genişlemektedir. Çok iyi bir soğurucu elde

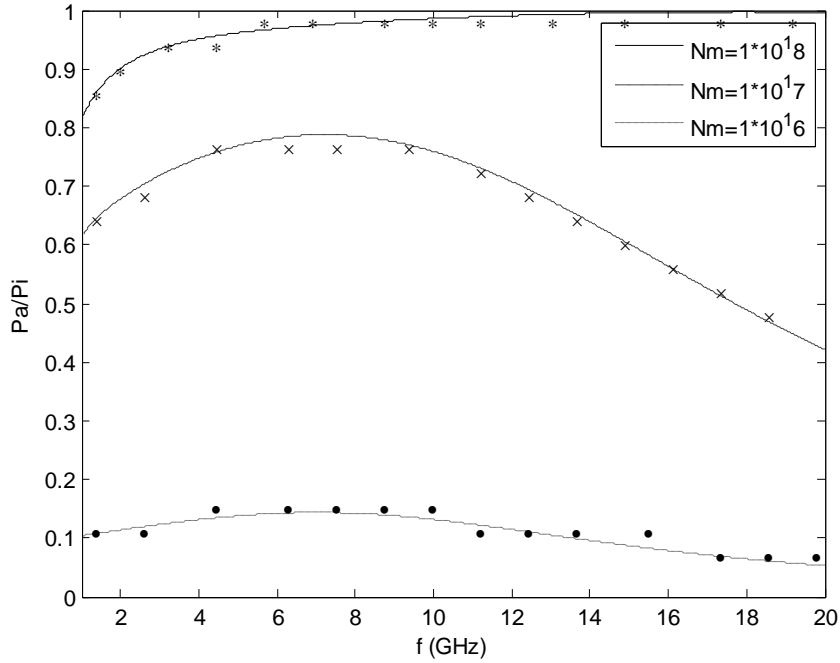
edebilmek için yüksek elektron yoğunluğu ve yüksek çarpışma frekansı beraber gerekmektedir. Şekil 2.5'te $\nu_{en}=60$ GHz için normalize soğurulan güç grafiği sunulmuştur. $B=0.25$ T alınmıştır ve maksimum elektron yoğunluğu değeri değiştirilmiştir.



Şekil 2.3. Normalize yansıyan güç, $B=0.25$ T, $\nu_{en}=60$ GHz.

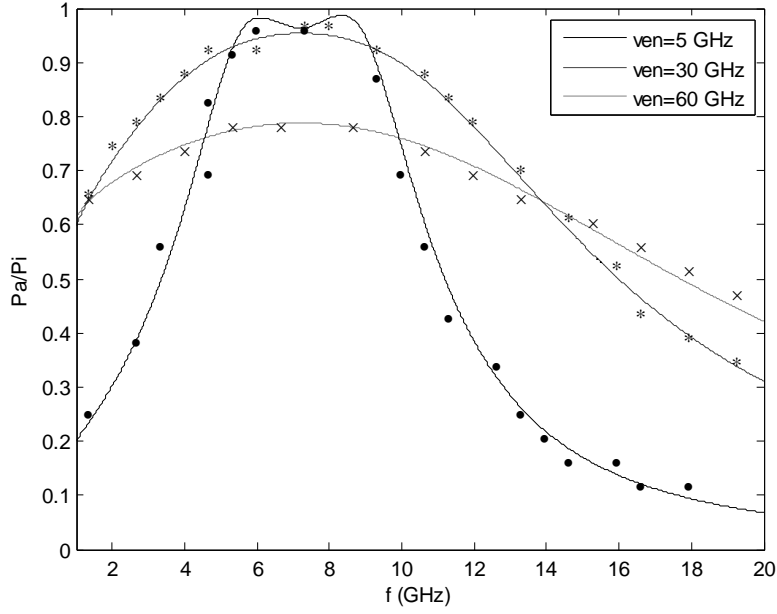


Şekil 2.4. Normalize soğurulan güç, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.



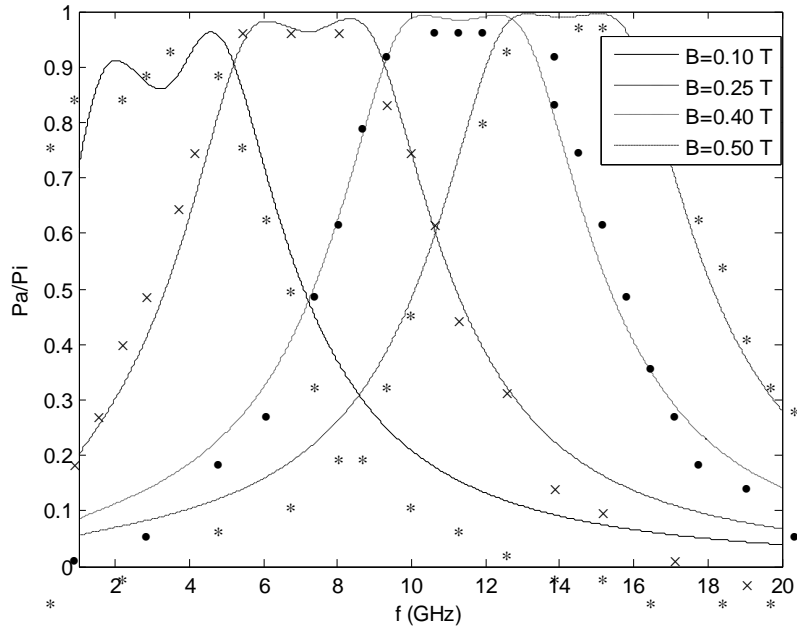
Şekil 2.5. Normalize soğurulan güç; $\nu_{en} = 60$ GHz, $B=0.25$ T.

Şekil 2.5'ten görüldüğü gibi maksimum elektron yoğunluğu azaldıkça plazma içerisinde soğurulan elektromanyetik dalganın gücü azalmaktadır.



Şekil 2.6. Normalize soğurulan güç; $N_m = 1 \times 10^{17} m^{-3}$, $B=0.25$ T.

Şekil 2.6'dan görülebileceği gibi düşük elektron yoğunluğunda çarpışma frekansı arttıkça soğurulan güç miktarı azalmaktadır.

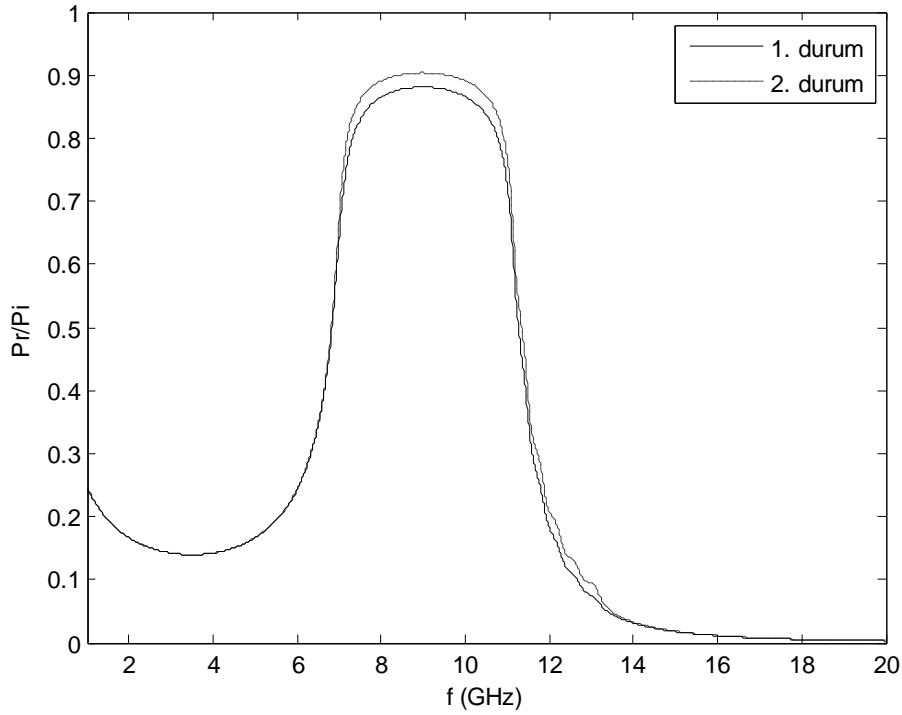


Şekil 2.7. Normalize soğurulan güç; $N_m = 1 \times 10^{17} m^{-3}$, $\nu_{en} = 5$ GHz.

Manyetik alan şiddeti arttıkça rezonans frekansı artmakta ve yüksek soğurulma bandı kaymaktadır. Bu durumda dışarıdan uygulanan manyetik alan değiştirilerek farklı frekans bölgelerindeki elektromanyetik dalgaların plazma yapısı içinde soğurulabileceği sonucuna varılmıştır.

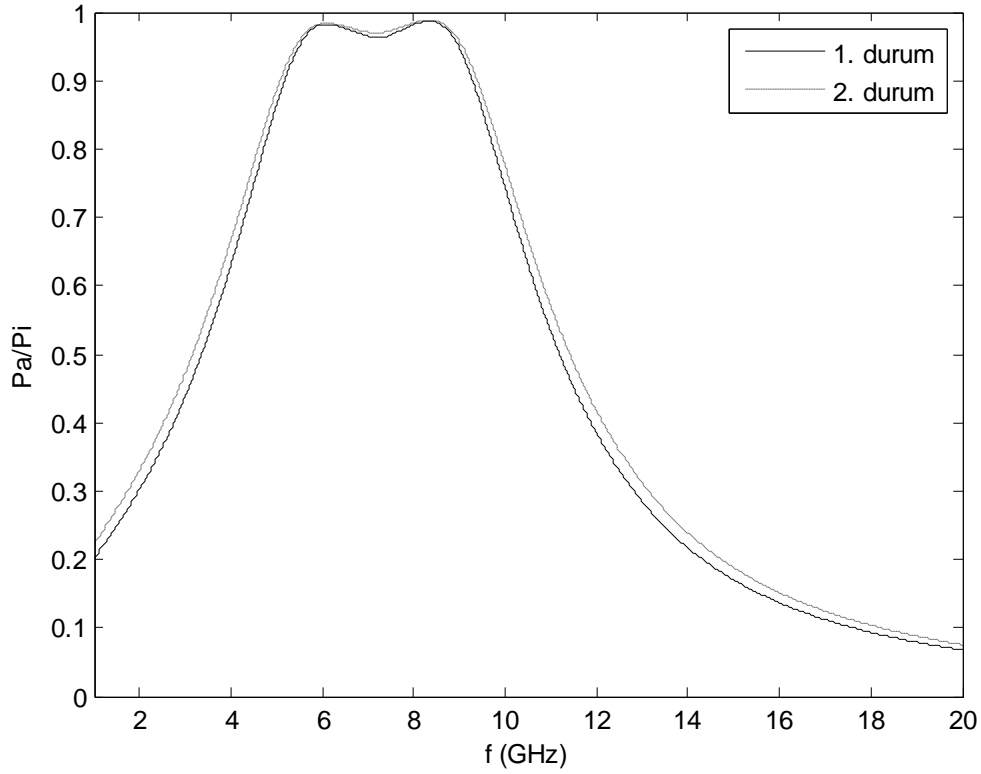
Bu bölümde sunulan son iki grafik, plazma diliminde çoklu yansımaların dikkate alınması durumuyla, çoklu yansımaların ihmal edilmesi durumunun kıyasını göstermektedir.

Şekil 2.8'de $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T ve $\nu_{en}=1$ GHz parametreleri alınarak elde edilen normalize yansıyan güç grafiği için yapılan kıyaslama görülmektedir. 1. durum çoklu yansımaların ihmal edildiği durumu, 2. durum çoklu yansımaların hesaba katıldığı durumu ifade etmektedir.



Şekil 2.8. Normalize yansıyan güç, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.

Şekil 2.9'da $N_m = 1 \times 10^{17} m^{-3}$, $B = 0.25$ T ve $\nu_{en} = 5$ GHz parametreleri alınarak elde edilen normalize soğurulan güç grafiği için yapılan kıyaslama görülmektedir. 1. durum çoklu yansımaların ihmal edildiği durumu, 2. durum çoklu yansımaların hesaba katıldığı durumu ifade etmektedir.



Şekil 2.9. Normalize soğurulan güç, $N_m = 1 \times 10^{17} m^{-3}$, $B = 0.25$ T.

Çoklu yansımaların hesaba katıldığı durumda elde edilen sonuçlar ile çoklu yansımaların ihmal edildiği durumda elde edilen sonuçlar birbirine çok yakın çıkmaktadır. Şekil 2.8'deki grafik için en yüksek farklılık oranı yaklaşık olarak % 2'dir. Şekil 2.9'daki grafikte ise, en yüksek farklılık oranı yaklaşık olarak % 0.5'tir.

3. SİNÜSEL ELEKTRON YOĞUNLUĞU PROFİLİNE SAHİP PLAZMA KATMANI

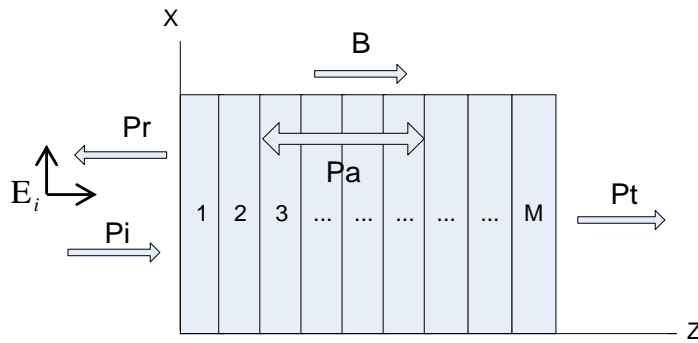
Son senelerde plazma yapıları kullanılarak elektromanyetik dalgaların yansıtılması ve soğurulması üzerine yoğun çalışmalar mevcuttur (Soliman, 2007). Uygun plazma parametreleri bulunarak elektromanyetik dalgaların yansıtılması veya büyük oranda soğurulması mümkün görünmektedir. Bu çalışmalarda üzerinde en çok durulan konulardan birisi de farklı elektron yoğunluğu profillerinin incelenmesidir.

Bu bölümde, yeni olarak sinüsel elektron yoğunluğuna sahip bir plazma katmanın elektromanyetik dalgaları yansıtma, soğurma ve iletme karakteristikleri incelenmeye çalışılmıştır. İncelenen plazma yapısı soğuk, çarpışmalı, durgun durumlu ve miknatislanmış olarak tanımlanmıştır. Tezin bu bölümünde verilen sonuçlar literatüre de sunulmuştur (Gürel, Öncü, 2009).

İncelenen plazma katmanı Şekil 3-1'de gösterilmiştir. Katmanın kalınlığı, λ_o rezonans frekansında dalgaboyunu ifade etmek üzere, elektriksel olarak $3\lambda_o$ alınmıştır. Plazma katmanın elektron yoğunluğu fonksiyonu

$$N = N_m (0.505 + 0.5 \cos(pz\pi / 12 + \phi)) \quad (3.1)$$

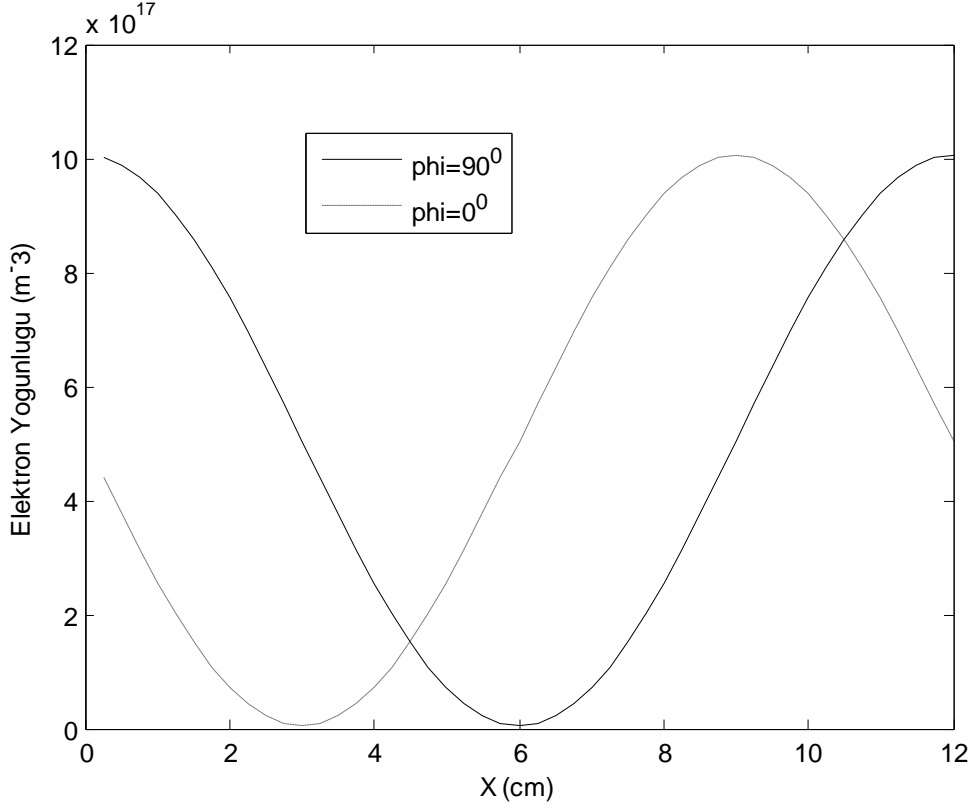
ile ifade edilmiştir.



Şekil 3.1 Plazma katmanı.

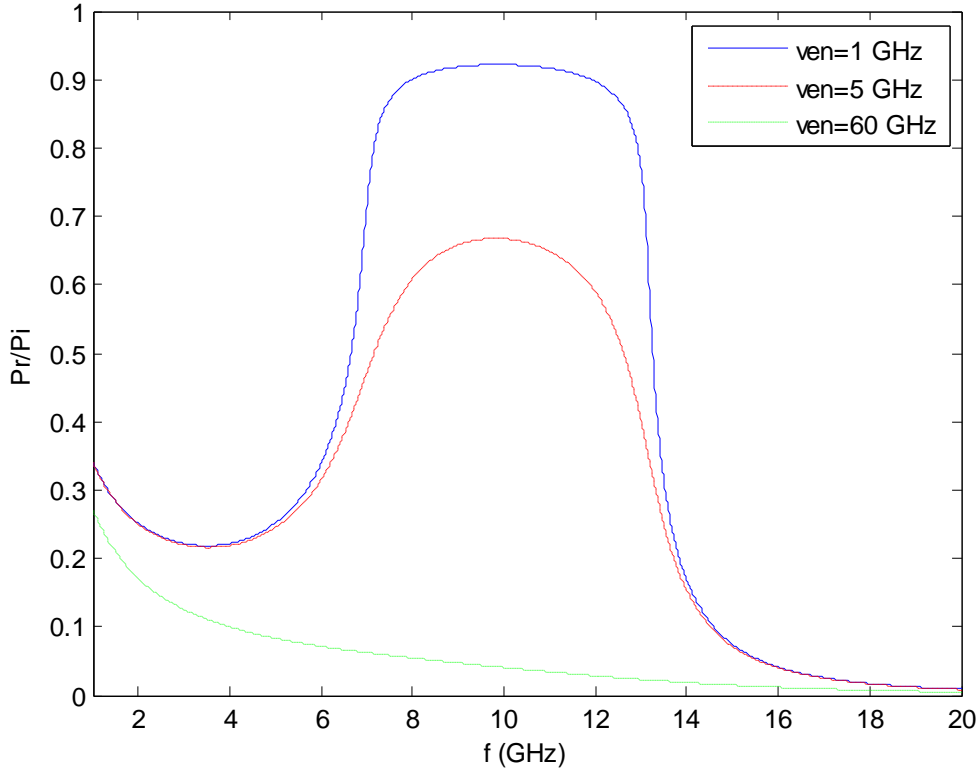
Eşitlik (3-1)'de N her alt katmanın elektron yoğunluğunu, N_m elektron yoğunluğunun plazma katmanı içerisindeki en fazla değerini, p sinüsün frekansını, z her bir alt katman arayüzünün yapının başından olan uzaklığını, ϕ sinüsün fazını ifade etmektedir. Plazma katmanının elektron yoğunluk fonksiyonu $\phi = 0^0$ ve $\phi = 90^0$ için

Şekil 3.2'de görülmektedir. Maksimum elektron yoğunluğu değeri $10 \times 10^{17} m^{-3}$, minimum elektron yoğunluğu değeri $5 \times 10^{15} m^{-3}$, tür.



Şekil 3.2. Plazma katman boyunca $\phi = 0^0$ ve $\phi = 90^0$ için elektron yoğunluğu fonksiyonu.

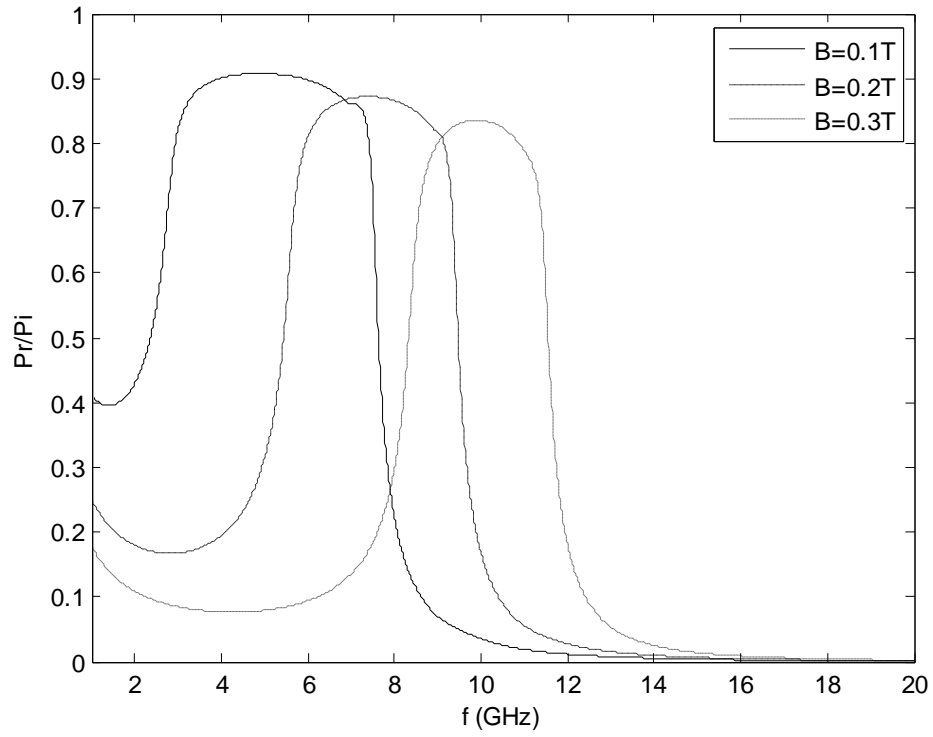
Şekil 3.3'de farklı çarpışma frekansları için elektromanyetik dalga frekansına karşılık normalize yansıyan güç grafiği görülmektedir. Plazma katmanının maksimum elektron yoğunluğu $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, yapıya uygulanan manyetik alan şiddeti 0.25 T ve sinüs fonksiyonunun fazı 0^0 olarak alınmıştır. Yapıda maksimum elektron yoğunluğuna sahip alt katmanlar ilk ve son alt katmanlardır. Ortadaki alt katman en az elektron yoğunluğuna sahiptir. Şekil 3.3'den görülebileceği gibi normalize yansıyan güç, çarpışma frekansı düştükçe artmaktadır. 7-13 GHz frekans aralığında 1GHz çarpışma frekansı için yapıya gelen elektromanyetik dalganın gücünün %90'ı geri yansımaktadır. Bu oranın 60GHz çarpışma frekansı için 8 GHz dalga frekansı değerinden sonra %10'un altına düştüğü görülebilmektedir.



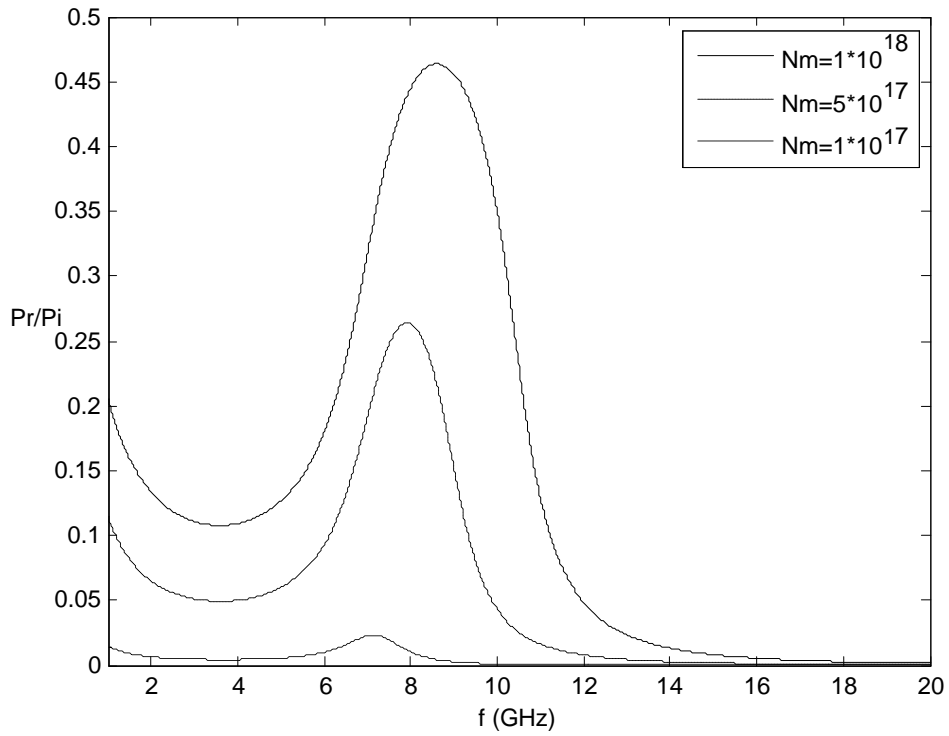
Şekil 3.3. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T ve $\phi = 0$ için normalize yansıyan güç.

Normalize yansıyan gücün üç farklı manyetik alan şiddetiyle değişimi Şekil 3.4'te görülmektedir. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $v_{en} = 1$ GHz ve $\phi = \pi/2$ olarak alınmıştır. Yapıya uygulanan manyetik alan şiddeti arttıkça maksimum yansımanın olduğu frekans aralığı sağa doğru kaymaktadır ve yansıma bandı daralmaktadır. En geniş yansıma bandı 0.1 T'lik manyetik alan şiddeti için elde edilmiştir.

Şekil 3.5'te farklı maksimum elektron yoğunluğu değerleri için normalize yansıyan güç grafiği verilmiştir. Maksimum elektron yoğunluğu değerinin artırılmasıyla normalize yansıyan gücün arttığı görülmektedir. $N_m = 1 \times 10^{17} m^{-3}$ değeri için yansıyan güç sıfıra çok yakındır. Yansıyan gücün sıfıra çok yakın olması, gelen elektromanyetik dalganın plazma yapısının içine nüfuz edebildiği anlamını taşımaktadır.

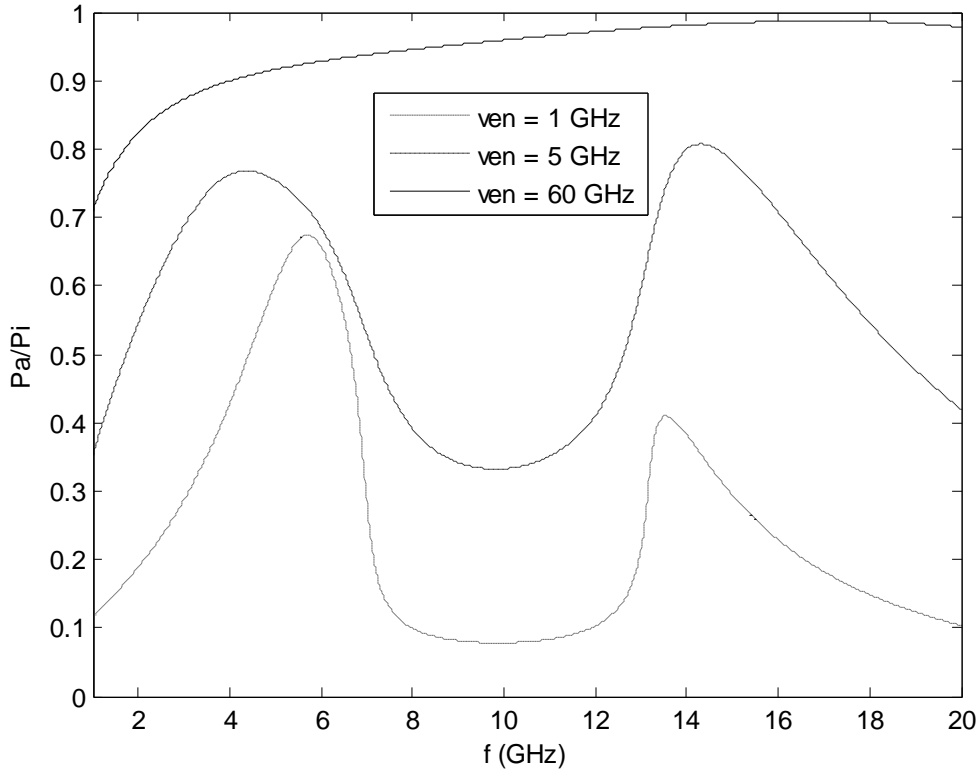


Şekil 3.4. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $\nu_{en} = 1$ GHz ve $\phi = 90^\circ$ için normalize yansıyan güç.



Şekil 3.5. $\nu_{en} = 5$ GHz, $B=0.25$ T ve $\phi = 90^\circ$ için normalize yansıyan güç.

Şekil 3.6'te üç farklı çarpışma frekansı değeri için normalize soğurulan gücün elektromanyetik dalga frekansına göre değişimi görülmektedir. $\nu_{en}=60$ GHz için elektromanyetik dalganın gücü büyük oranda soğurulmaktadır. 1 GHz -20 GHz frekans aralığındaki elektromanyetik dalgaların gücü %70'in üzerinde bir oranla plazma içinde absorbe edilmektedir. Çarpışma frekansı azaldığı zaman soğurulan güç de azalmaktadır ve soğurulma bandı daralmaktadır. Plazma yapısı $\nu_{en}=1$ GHz ve $\nu_{en}=5$ GHz için bandgeçirgen filtre karakteristiğine benzemektedir.

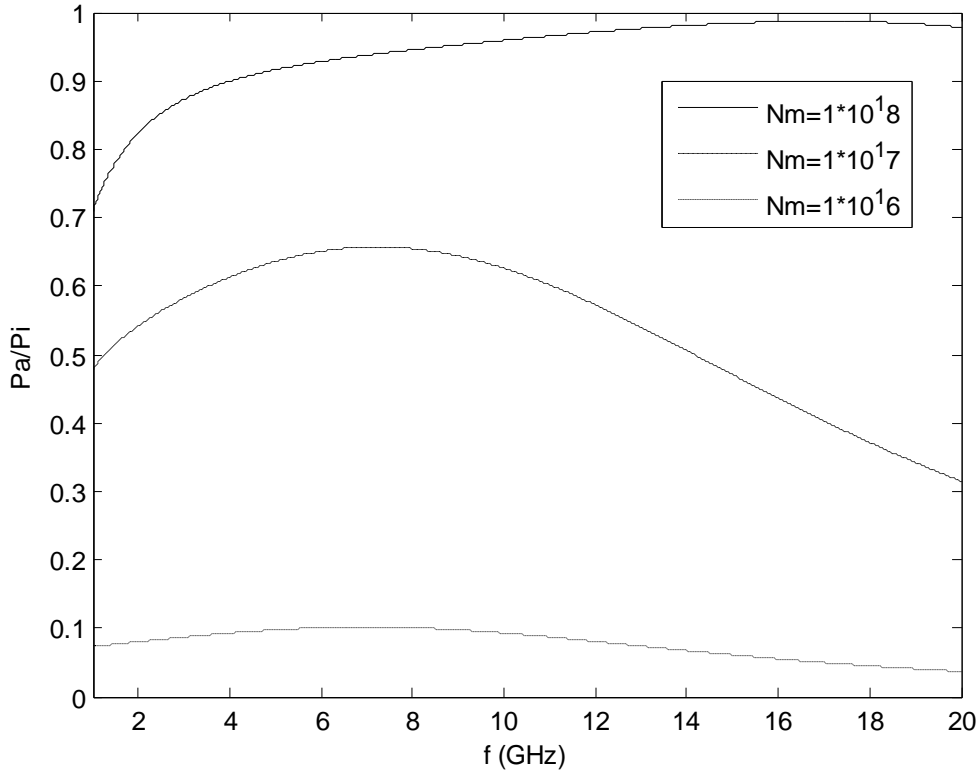


Şekil 3.6. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T, $\phi = 0$ parametreleri için farklı çarpışma frekanslarında normalize soğurulan güç.

Maksimum elektron yoğunluğu değerinin plazma katmanı içinde soğurulan güce olan etkisi Şekil 3.7'da gösterilmektedir. Burada çarpışma frekansı 60 GHz olarak alınmıştır. Şekil 3.3'de bu çarpışma frekansı değeri için yansımanın oldukça az

olduğu görülmektedir. Plazma yapısının içine alınan elektromanyetik dalga burada çok büyük bir oranda soğurulmaktadır.

Maksimum elektron yoğunluğu değeri azaldıkça, yapı içerisinde soğurulan güç miktarı azalmaktadır. Yüksek elektron yoğunluğuna ve yüksek çarpışma frekansına sahip bir plazma yapısı elektromanyetik dalgaların gücünü çok büyük oranda soğurabilmektedir.

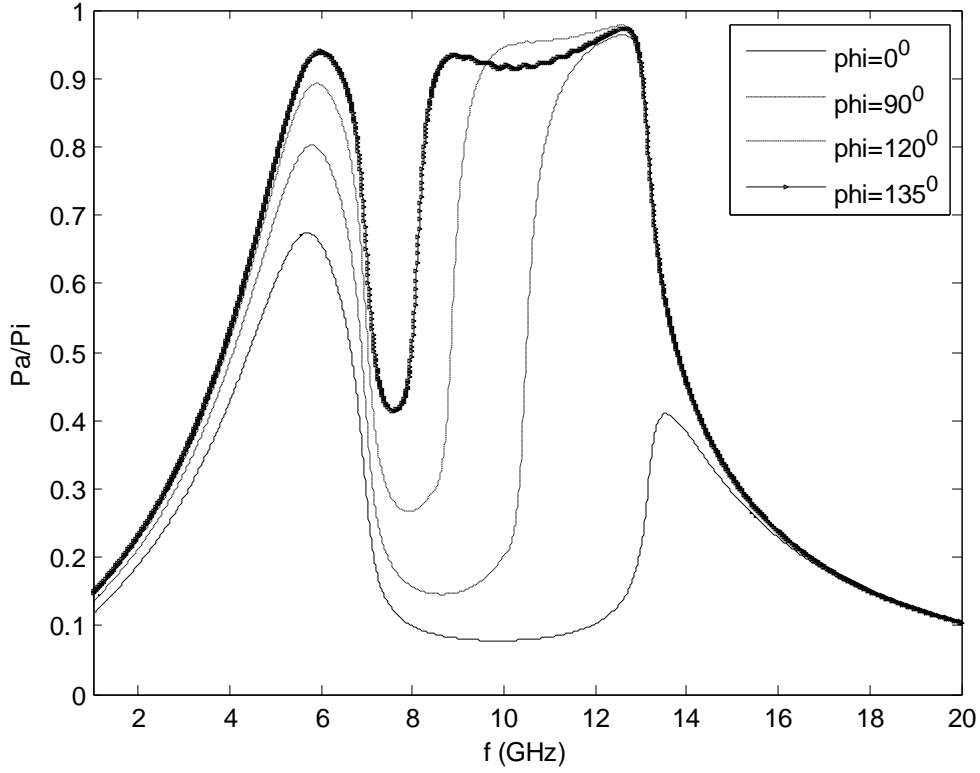


Şekil 3.7. Farklı maksimum elektron yoğunluğu değerleri için normalize soğurulan güç.
 $\nu_{en}=60$ GHz, $B=0.25$ T, $\phi=0$.

Sinüsel değişen elektron yoğunluğu fonksiyonunda farklı faz sabitleri alınarak, yapı içerisindeki maksimum ve minimum elektron yoğunluğu noktaları değiştirilebilmektedir.

Şekil 3.8'de elektron yoğunluğu fonksiyonuna farklı faz kaymaları verilerek elde edilen soğurma karakteristikleri görülmektedir. Fonksiyona kazandırılan faz kayması arttıkça yapı içerisindeki elektromanyetik dalganın hem soğurulma miktarı artmakta hem de soğurulma bandı genişlemektedir. En dar soğurma bandı faz kaymasının 0^0 olduğu durum; en geniş soğurma bandı faz kaymasının 135^0 olduğu durumdur.

Sinüsel elektron dağılım fonksiyonunun fazı ayarlanarak, plazma yapısının soğurma karakteristiği değiştirilebilmektedir.



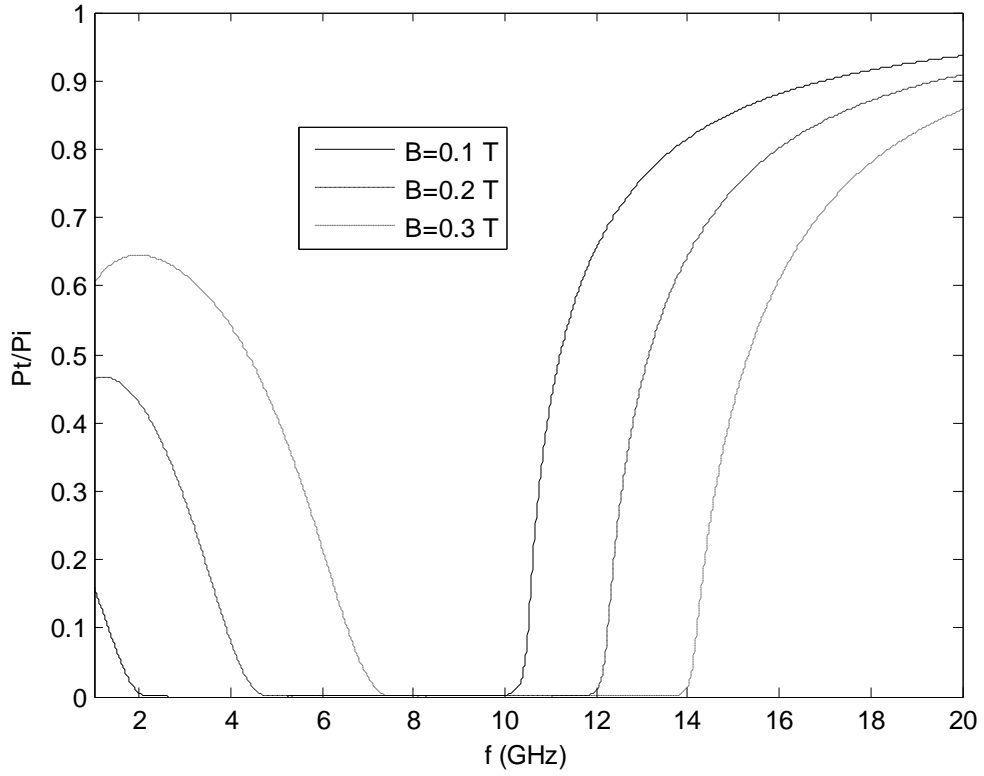
Şekil 3.8. Farklı faz açısı değerleri için normalize soğurulan güç. $\nu_{en}=1$ GHz, $B=0.25$ T, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$.

Şekil 3.9’de üç farklı manyetik alan şiddeti için normalize iletilen güç karakteristiği görülmektedir. Burada alınan parametreler $\nu_{en}=1$ GHz $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $\phi = 0$ olarak verilebilir. Şekil 3.9’den görülebileceği gibi elektromanyetik dalganın iletim bandı plazma yapısına uygulanan manyetik alan şiddetiyle değiştirilebilmektedir.

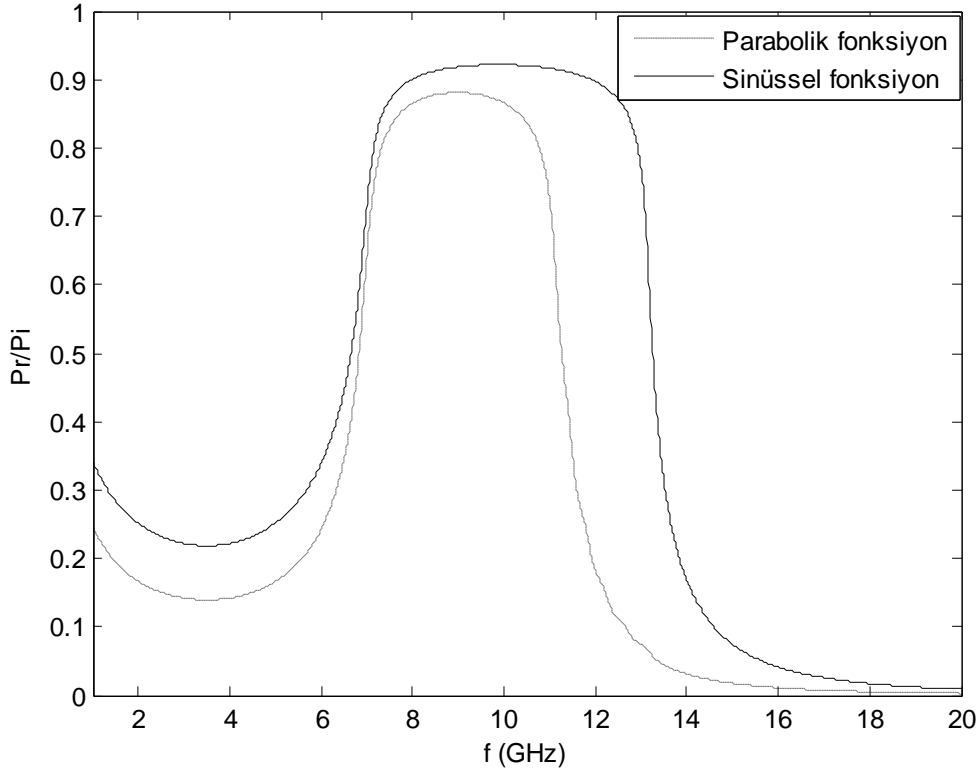
Şekil 3.10’da iki farklı elektron dağılım fonksiyonu için normalize yansıyan güç karşılaştırması verilmektedir. Karşılaştırmanın yapıldığı dağılım fonksiyonu literatürde sık kullanılan parabolik dağılım fonksiyonudur ve şu şekilde modellenmektedir:

$$z > \frac{L}{2} \Rightarrow n = n_c e^{2(1-2z/L)/3} \quad (3.2)$$

$$z < \frac{L}{2} \Rightarrow n = n_c e^{2(2z/L-1)/3} \quad (3.3)$$



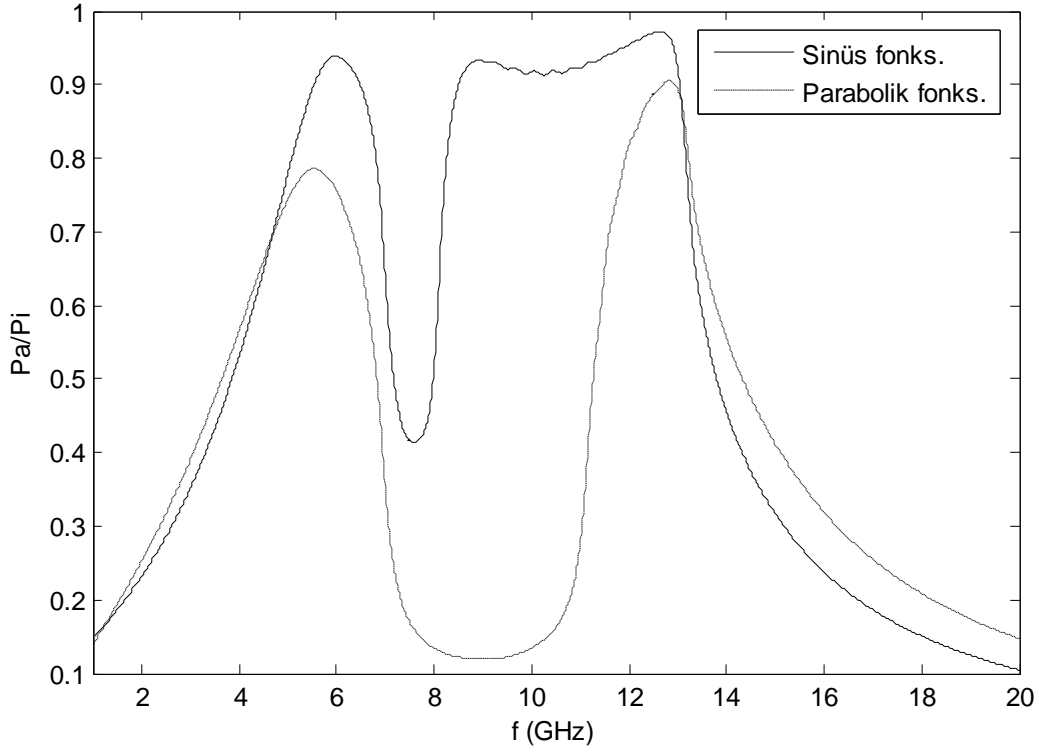
Şekil 3.9. Farklı manyetik alan şiddeti değerleri için normalize iletilen güç. $\nu_{en} = 1$ GHz,
 $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $\phi = 0$.



Şekil 3.10. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$. $B=0.25$ T, $\nu_{en}=1$ GHz, $\phi = 0^\circ$ parametreleri için normalize yansıyan güç karşılaştırması.

Şekil 3.10'dan görülebileceği gibi sinüsel değişen elektron yoğunluğuna sahip bir plazma katmanı, parabolik değişen elektron yoğunluğuna sahip bir plazma katmanından daha iyi bir yansıtıcı özelliği göstermektedir. Karşılaştırmanın daha net görülebilmesi açısından, burada frekans eksenini 4-16 GHz olarak alınmıştır.

Yine bu iki dağılıma sahip plazma katmanının soğurucu karakteristiği Şekil 3.11'de görülmektedir. Burada alınan parametreler $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T, $\nu_{en}=1$ GHz, $\phi = 3\pi/4$ rad olarak verilir. Sinüsel elektron dağılım fonksiyonundaki faz açısıyla oynanarak daha geniş bir bantta soğurma karakteristiği elde edilmiştir.



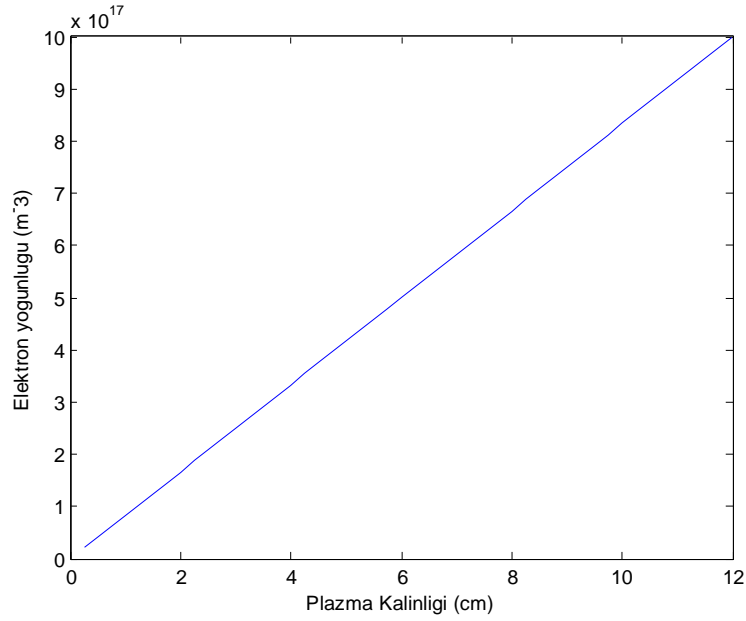
Şekil 3.11. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T, $\nu_{en}=1$ GHz, $\phi = 135^\circ$ parametreleri için normalize soğurulan güç karşılaştırması.

Sinüsel değişen elektron yoğunluğuna sahip bir plazma katmanda sinüs fonksiyonunun faz açısı değiştirilerek katman içerisindeki elektron yoğunluklarının yerleri değiştirilebilmektedir. Maksimum ve minimum yoğunluklu noktalar kaydırılabilmektedir. Bu ayarlanabilir özellik sayesinde plazma diliminin iyi bir yansıtıcı, iyi bir soğurucu veya belli bir bandı geçirme ya da soğurma gibi amaçlar için kullanılabileceği düşünülmektedir.

4. DOĞRUSAL ELEKTRON YOĞUNLUĞU PROFİLİNE SAHİP PLAZMA KATMANI

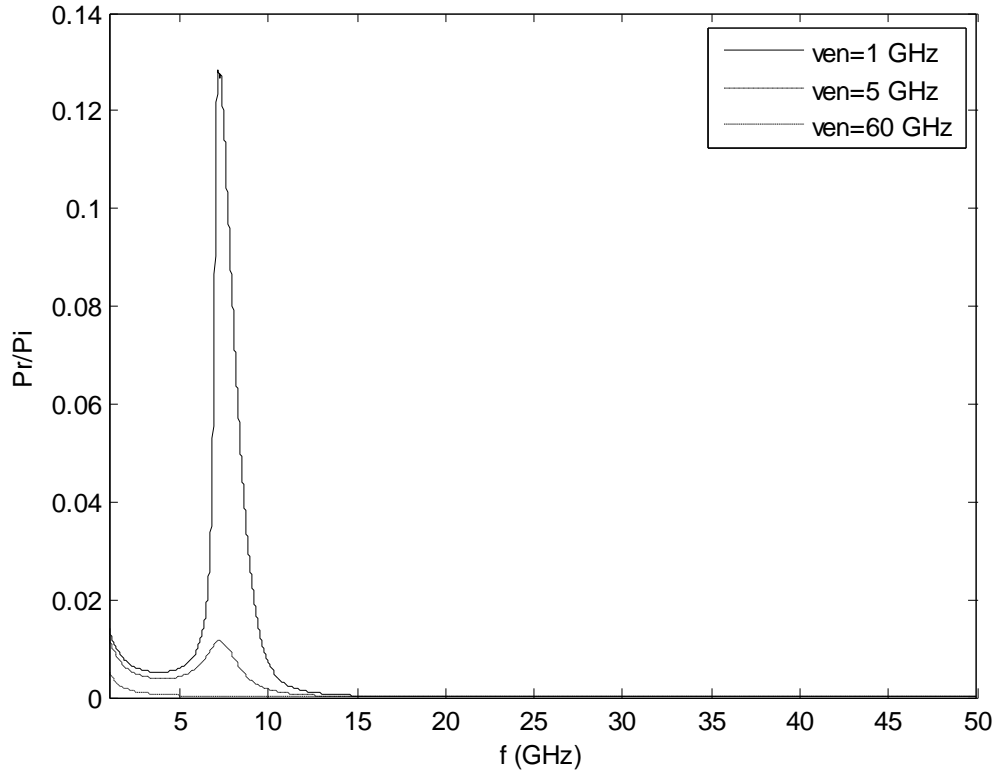
Bu bölümde doğrusal değişen elektron yoğunluğuna sahip bir plazma katmanı ele alınmıştır. İncelenen plazma yapısı soğuk, çarpışmalı, durgun durumlu ve miknatıslanmış olarak tanımlanmıştır. Katmanın kalınlığı, λ_o rezonans frekansında dalgaboyunu ifade etmek üzere, elektriksel olarak $3\lambda_o$ alınmıştır. Yapının elektron dağılım profili Şekil 4.1'de görülmektedir.

4.1. Plazma Katmanı Boyunca Artan Elektron Dağılım Profili

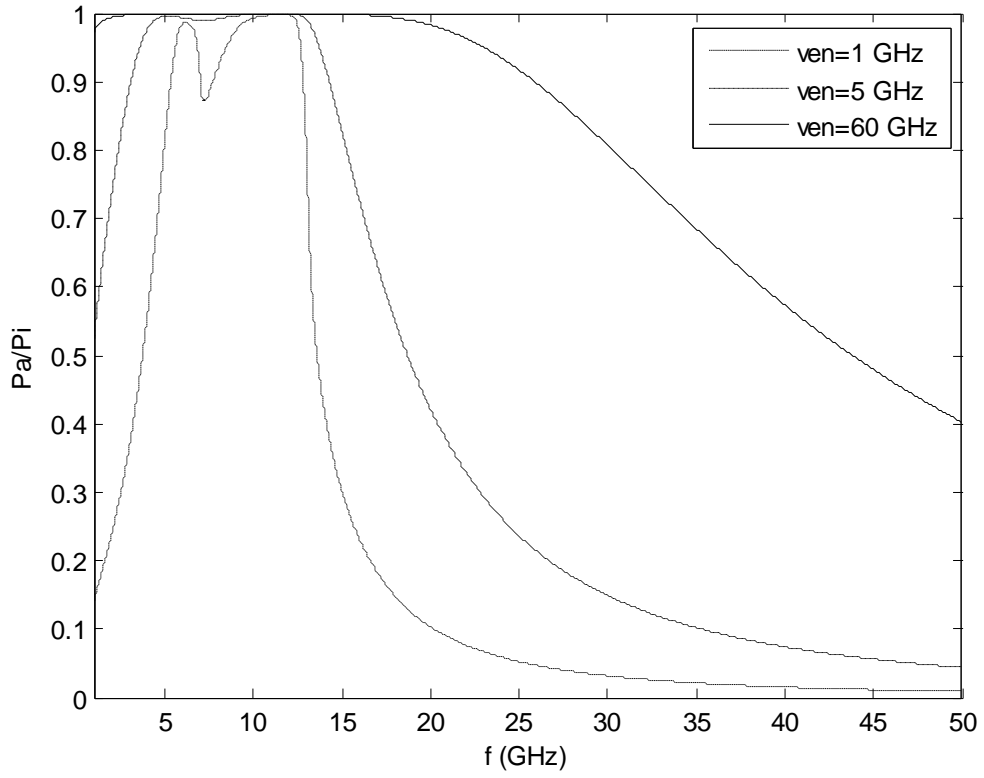


Şekil 4.1. Plazma katmanının elektron yoğunluğu profili. $N_m = 1 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$.

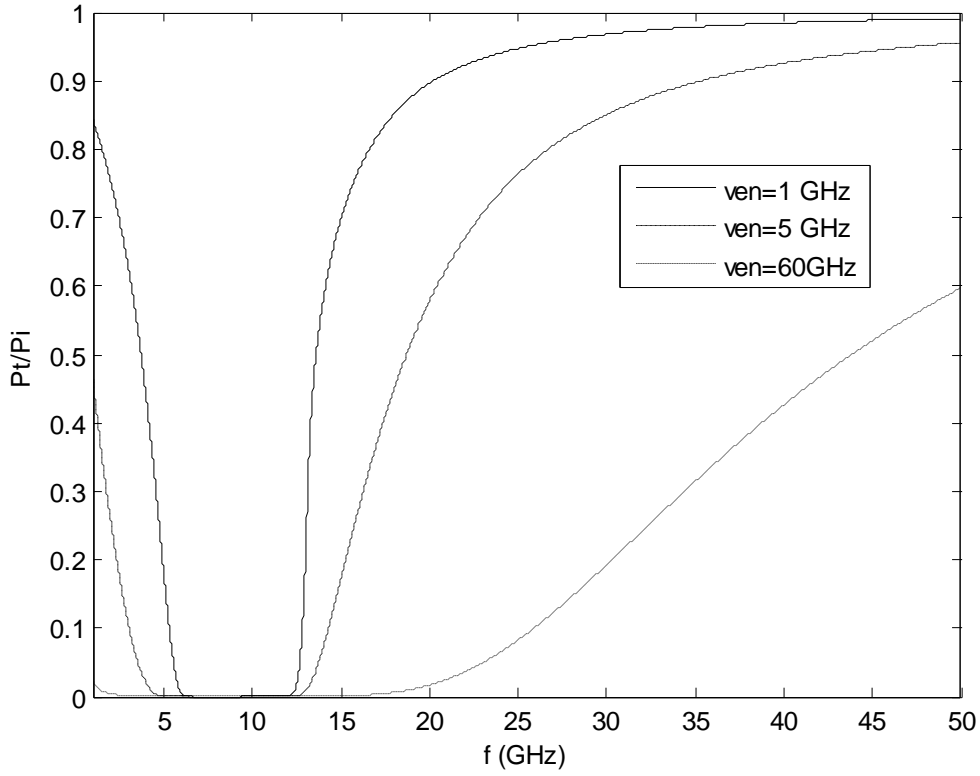
$N_m = 1 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$, $B=0.25 \text{ T}$ alındığında plazma katmanının yansıma karakteristiği farklı çarpışma frekansları için Şekil 4.2'de görülmektedir. Çarpışma frekansı arttıkça, yapıdan yansıyan elektromanyetik dalganın normalize gücü azalmaktadır. $\nu_{en} = 60 \text{ GHz}$ için normalize yansıyan güç sıfır olarak görülmektedir. Şekil 4.3'te aynı parametreler için soğurma karakteristiği görülmektedir. Çarpışma frekansı arttıkça soğurulma bandı genişlemektedir. Çarpışma frekansının 1 GHz olduğu durumda soğurulma bandı en dar halini almaktadır ve 7 GHz civarında normalize soğurulan güçte keskin bir iniş gözlenmektedir.



Şekil 4.2. Normalize yansıyan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T .



Şekil 4.3. Normalize soğurulan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T .

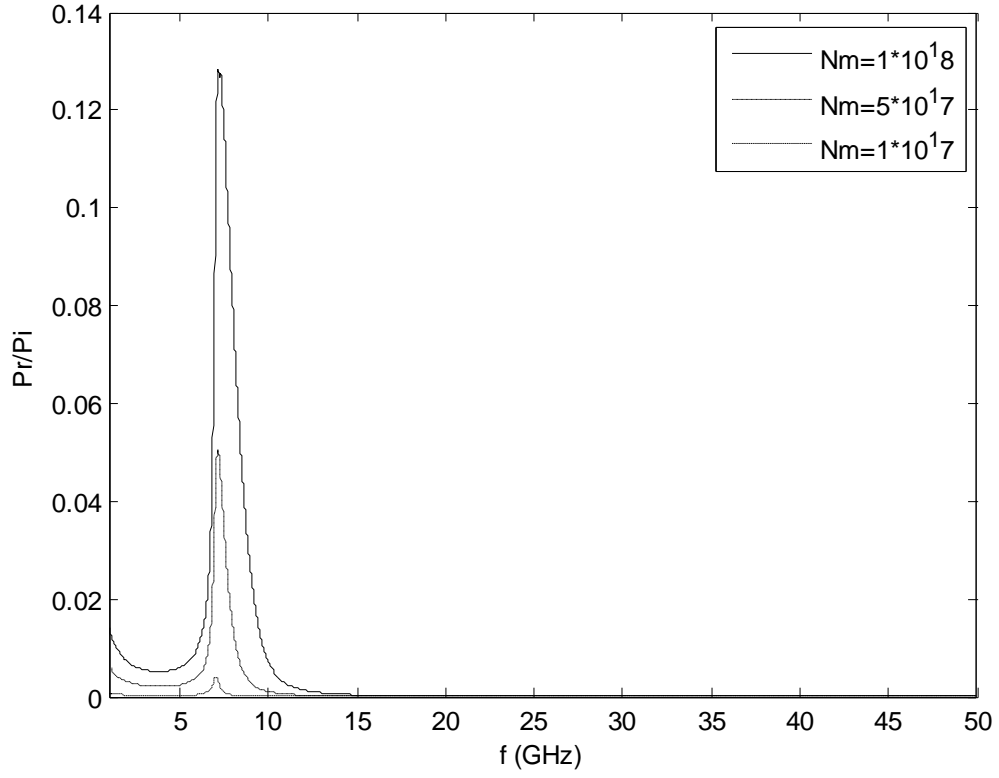


Şekil 4.4. Normalize iletilen güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25 T$.

Şekil 4.4'te normalize iletilen güç grafiği çizilmiştir. $\nu_{en} = 1$ GHz için 6-12 GHz, $\nu_{en} = 5$ GHz için 5-13 GHz ve $\nu_{en} = 60$ GHz için 1-20 GHz aralığında plazma katmandan geçebilen elektromanyetik dalganın olmadığı görülmektedir.

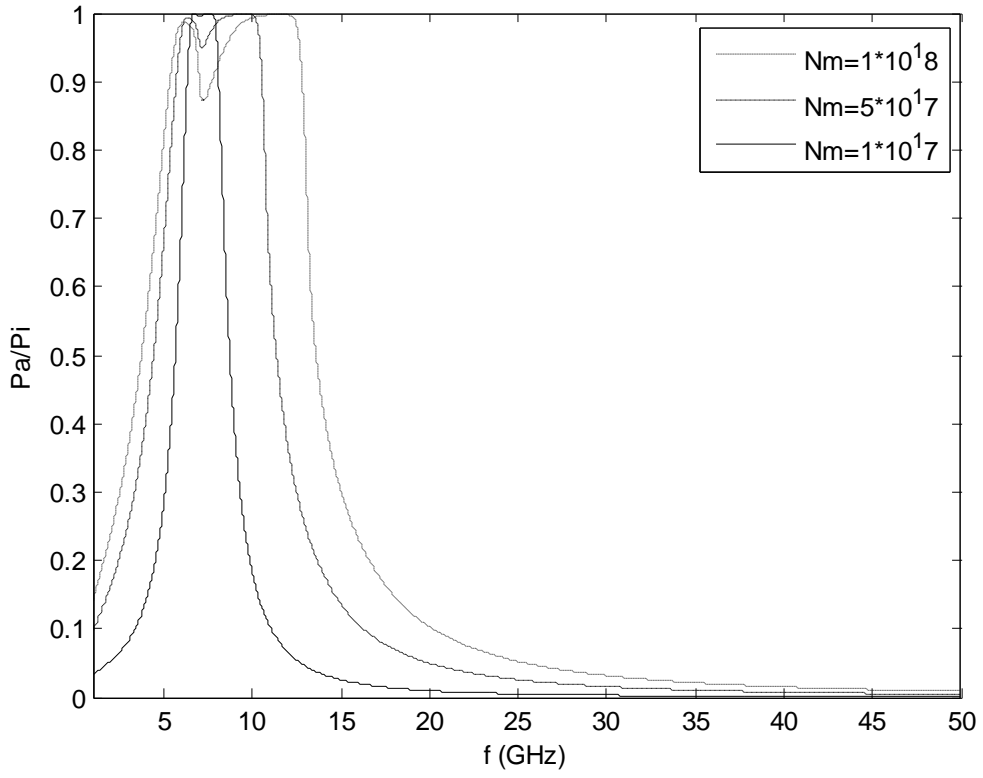
Yüksek elektron yoğunluğuna ve çarpışma frekansına sahip bir plazma katmanı normal geliş açısına sahip elektromanyetik dalgaların iletimini geniş bir band için kesebilmektedir. Fakat yüksek elektron yoğunluğunu ve çarpışma frekansını aynı anda elde edebilmek oldukça zordur. (Tang, 2003) Bu sebepten dolayı çarpışma frekansını 1 GHz olarak, maksimum elektron yoğunluğu değerinin yapının karakteristiğine olan etkilerine aşağıdaki üç grafikte bakılmaya çalışılmıştır.

Şekil 4.5'te $\nu_{en} = 1$ GHz ve $B=0.25 T$ için maksimum elektron yoğunluğunun yansıyan güce etkisi görülmektedir. Yapı içerisindeki elektron yoğunluğu azaldıkça normalize yansıyan güç de azalmaktadır.

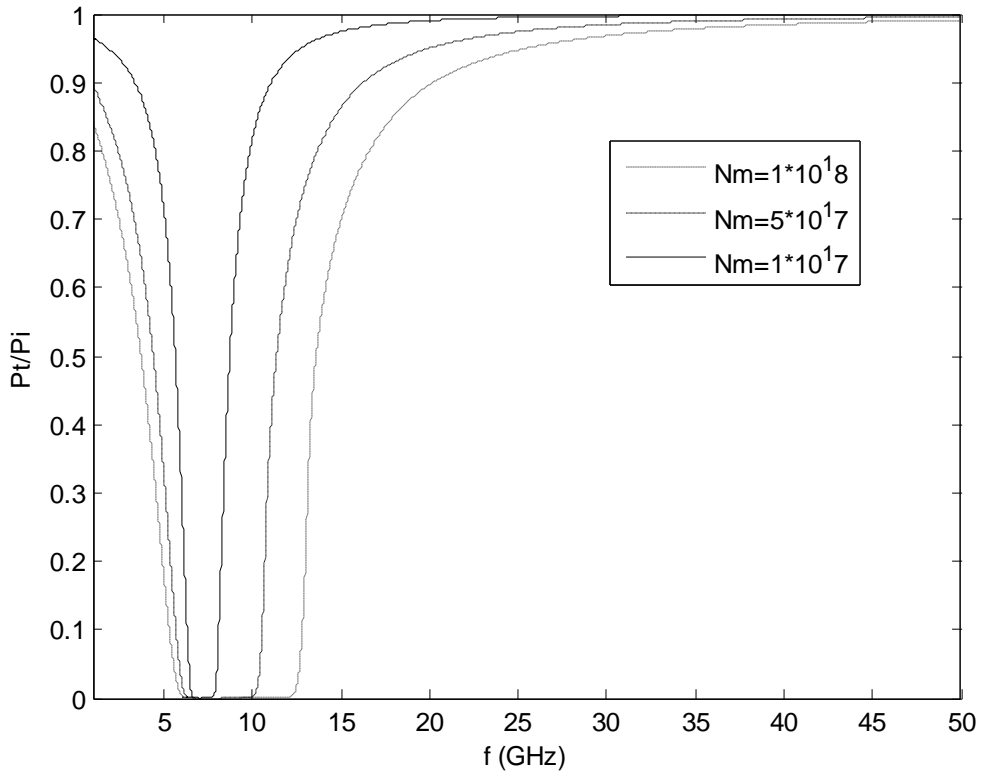


Şekil 4.5. Normalize yansıyan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T .

Şekil 4.6'da aynı parametreler için normalize soğurulan güç grafiği çizilmiştir. Yapı içerisindeki elektron yoğunluğu arttıkça yapının soğurma bandı genişlemektedir. $N_m = 1 \times 10^{17} m^{-3}$ için soğurma bandı en dar halini almaktadır. Fakat diğer iki yoğunluk değerinde görülen keskin iniş burada görülmemektedir.



Şekil 4.6. Normalize soğurulan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T .

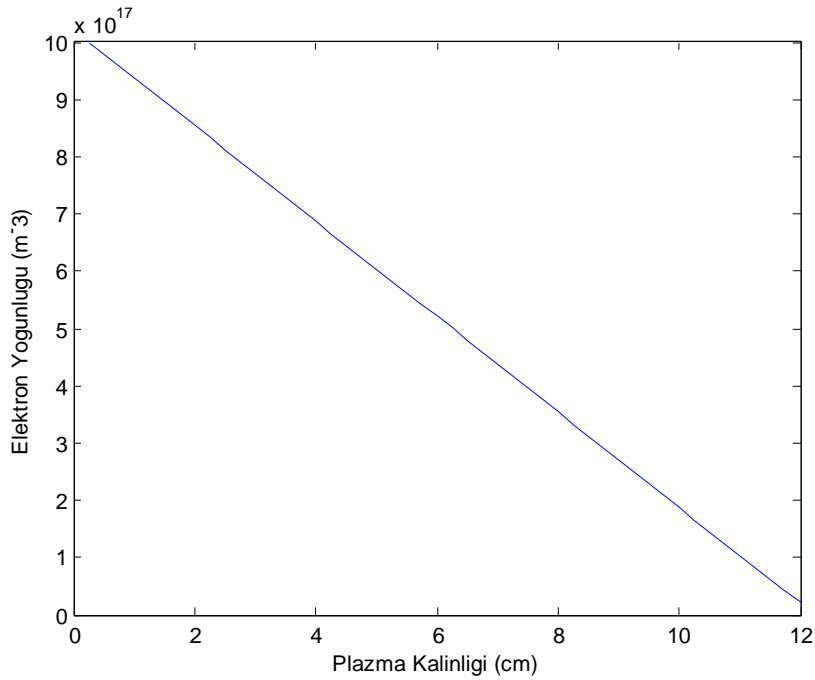


Şekil 4.7. Normalize iletilen güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T .

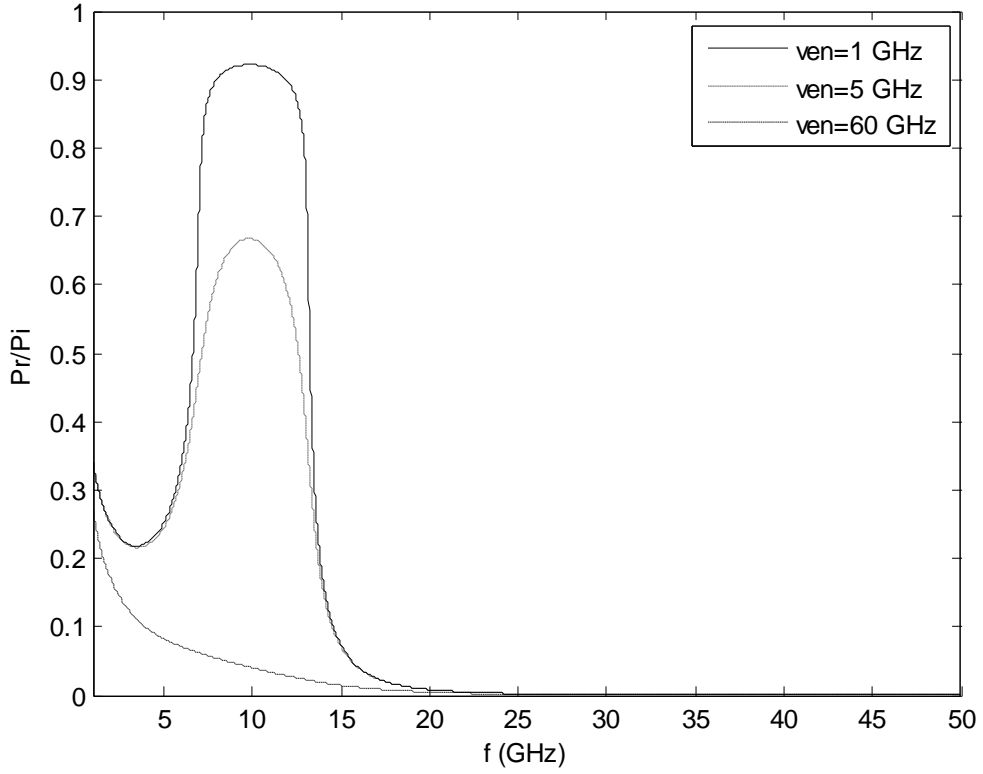
Şekil 4.7’de plazma katmanının iletim karakteristiği bulunmaktadır. Çarpışma frekansının görece düşük alınması durumunda dahi geniş bantlı bir soğurucu elde edebilmek için elektron yoğunluğunu arttırmak yeterli görünmektedir.

4.2. Plazma Katmanı Boyunca Azalan Elektron Dağılım Profili

Buraya kadar incelenen plazma katmanının elektron yoğunluğu yapının başında en az olarak başlayan, yapı içersinde doğrusal olarak artan ve yapının sonunda en yüksek değerini alan bir profile sahipti. Yapının elektron profili en başında maksimum , en sonunda minimum olacak şekilde değiştirilirse Şekil 4.8’deki elektron yoğunluğu profili elde edilir. Böyle bir elektron yoğunluğu profiline sahip bir yapının yansıma karakteristiği Şekil 4.9’da görülmektedir. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$ ve $B=0.25$ T için çarpışma frekansı arttıkça normalize yansıyan güç sıfıra yaklaşmaktadır. Çarpışma frekansı azaldıkça yapının yansıma özelliği artmaktadır.

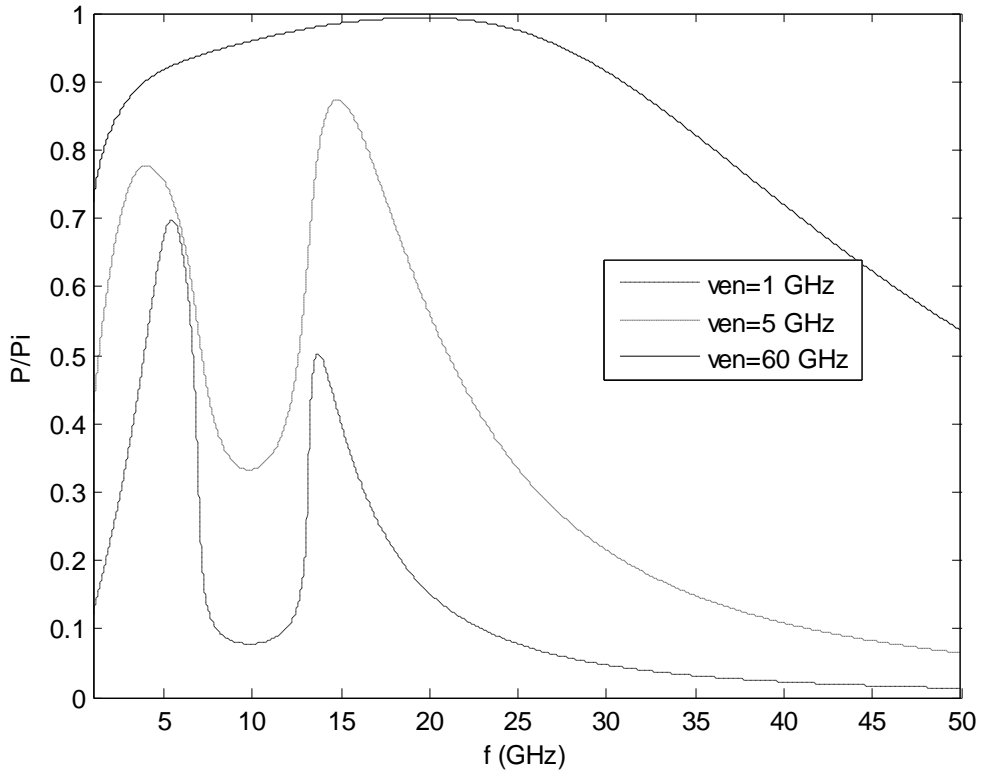


Şekil 4.8. Doğrusal değişen elektron yoğunluğu profili. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$.

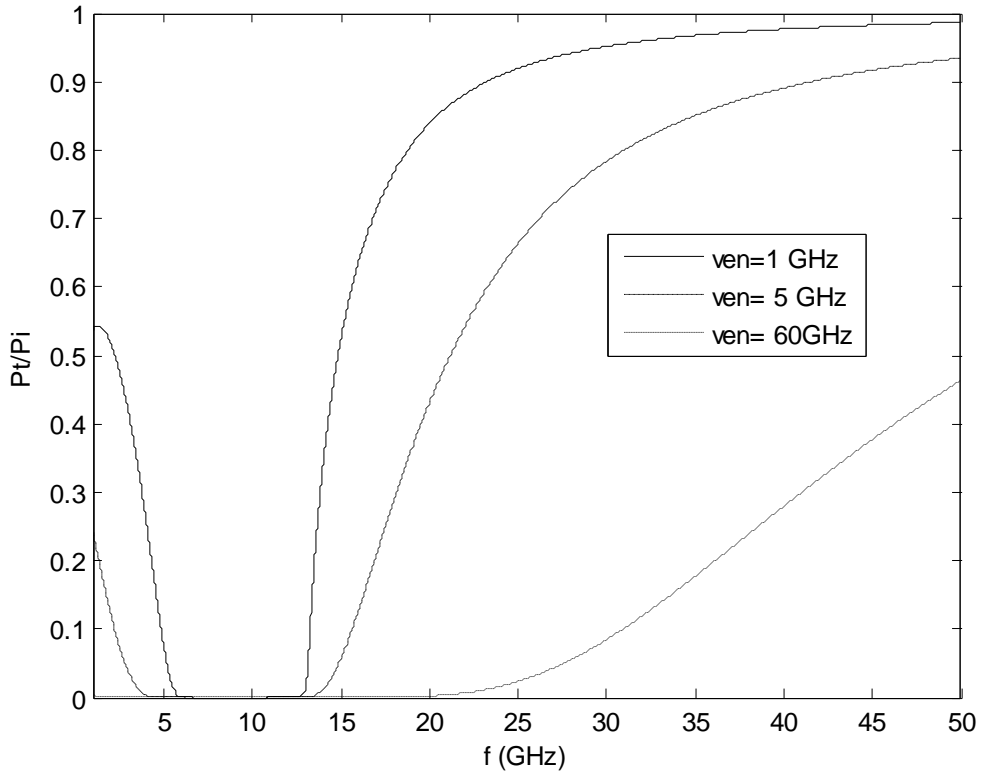


Şekil 4.9. Normalize yansıyan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25 T$.

Şekil 4.10'da normalize soğurulan güç grafiği çizilmiştir. Çarpışma frekansı arttıkça normalize soğurulan güç artmakta ve soğurma bandı genişlemektedir. $\nu_{en} = 1$ GHz ve $\nu_{en} = 5$ GHz durumlarında yapının soğurma bandı iki farklı bölgede yoğunlaşmaktadır. Yapının frekans karakteristiği bu iki durumda bantkısıtlı filtre karakteristiğine benzemektedir. Şekil 4.11'de normalize iletilen güç grafiği görülmektedir.

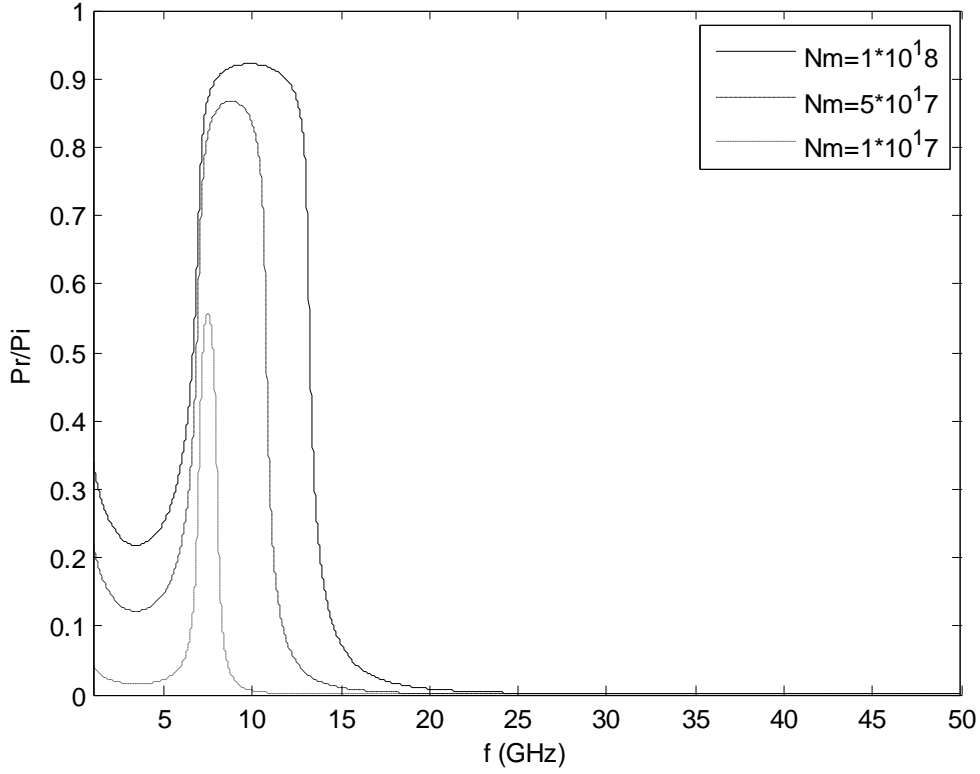


Şekil 4.10. Normalize soğurulan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.



Şekil 4.11. Normalize iletilen güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.

Çarpışma frekansı 1 GHz alındığında farklı elektron yoğunlukları için yapının karakteristiği incelenmeye çalışılmıştır. Şekil 4.12’de normalize yansıyan güç grafiği görülmektedir. Elektron yoğunluğu arttıkça normalize yansıyan güç artmaktadır ve yansıma bandı genişlemektedir.

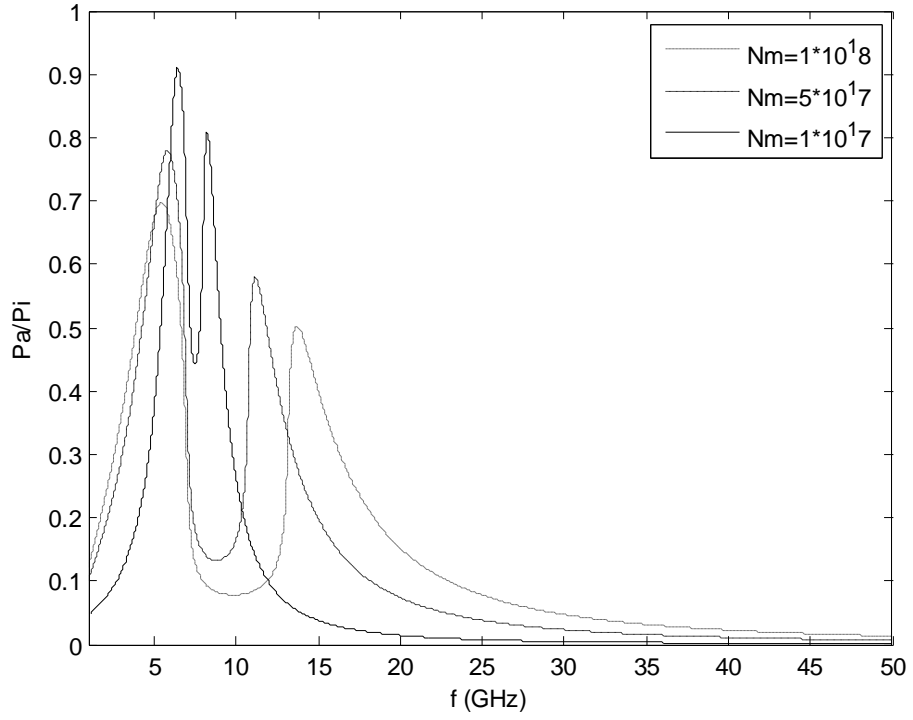


Şekil 4.12. Normalize yansıyan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T .

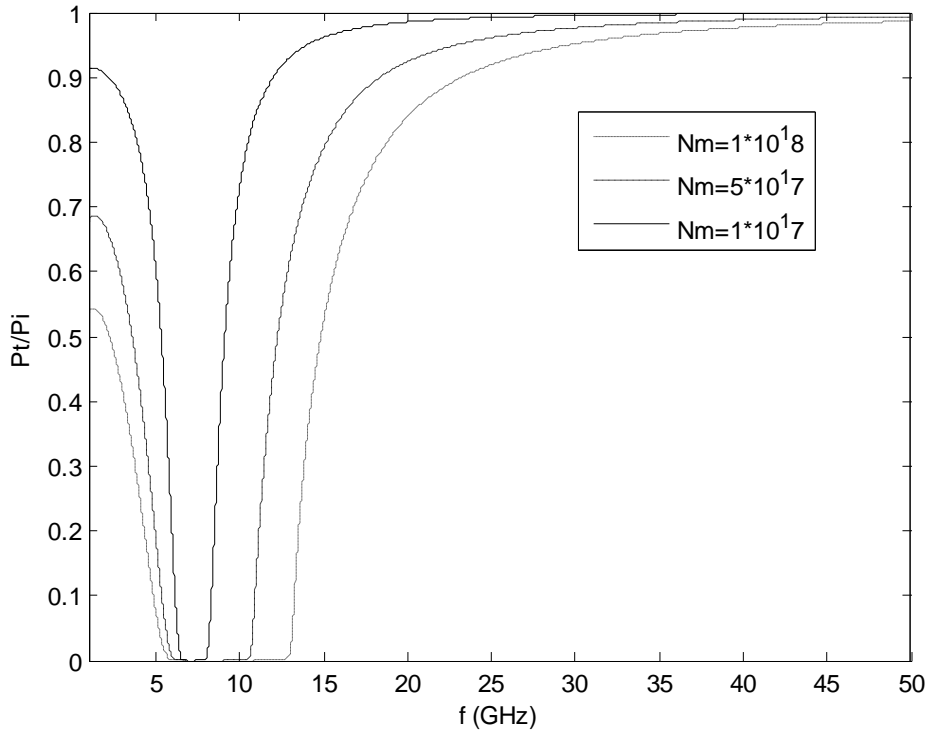
Normalize soğurulan güç grafiği Şekil 4.13’te çizilmiştir. Seçilen parametreler için plazma katmanı alınan üç maksimum elektron yoğunluğu değeri için de parçalı bir soğurma karakteristiği göstermektedir. Normalize iletilen güç grafiği Şekil 4.14’te görülmektedir. Grafikten her üç elektron yoğunluğu değeri için de yapının band-reddeden filtre karakteristiği gösterdiği sonucuna varılabilir.

Doğrusal değişen elektron yoğunluğu profili iki farklı şekilde plazma katmanında denenmiştir. Birinci durum olarak adlandırılan bu durumda elektron yoğunluğu yapının başında en az, sonunda en fazla değerini doğrusal artarak almaktadır. İkinci durum olarak adlandırılan diğer durumda ise yapının başında en yüksek değerini alan elektron yoğunluğu, yapının en sonunda en az değerine doğrusal azalarak

ulaşmaktadır. Bu iki durum yansıma ve soğurma karakteristikleri açısından aşağıdaki grafikler yardımıyla karşılaştırılmıştır.

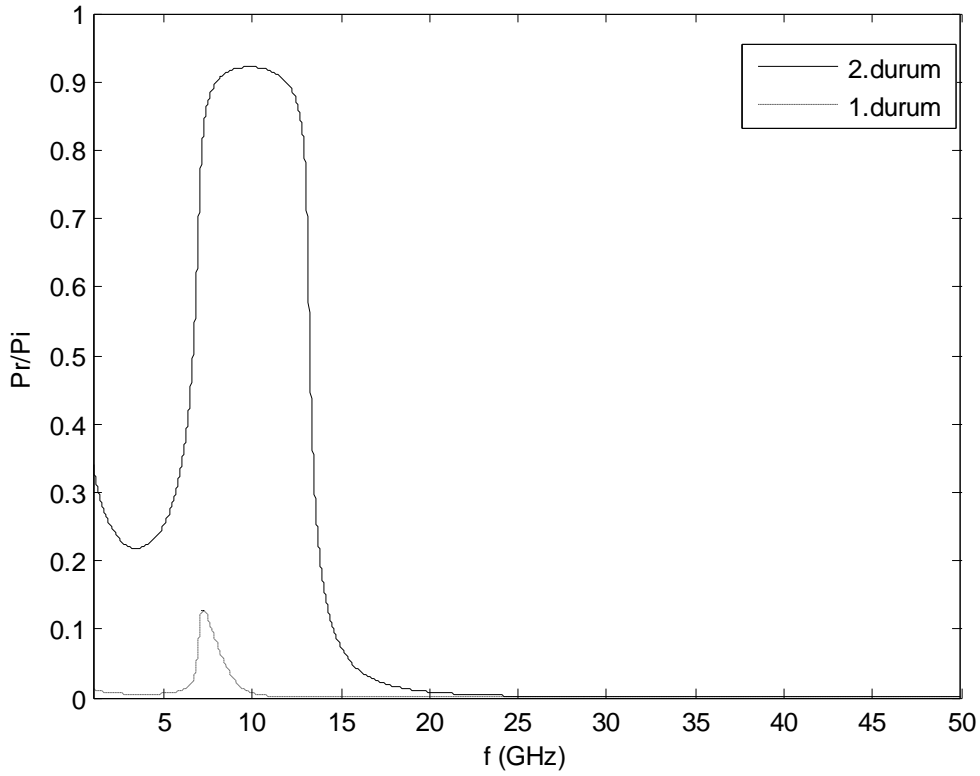


Şekil 4.13. Normalize soğurulan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T .



Şekil 4.14. Normalize iletilen güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T .

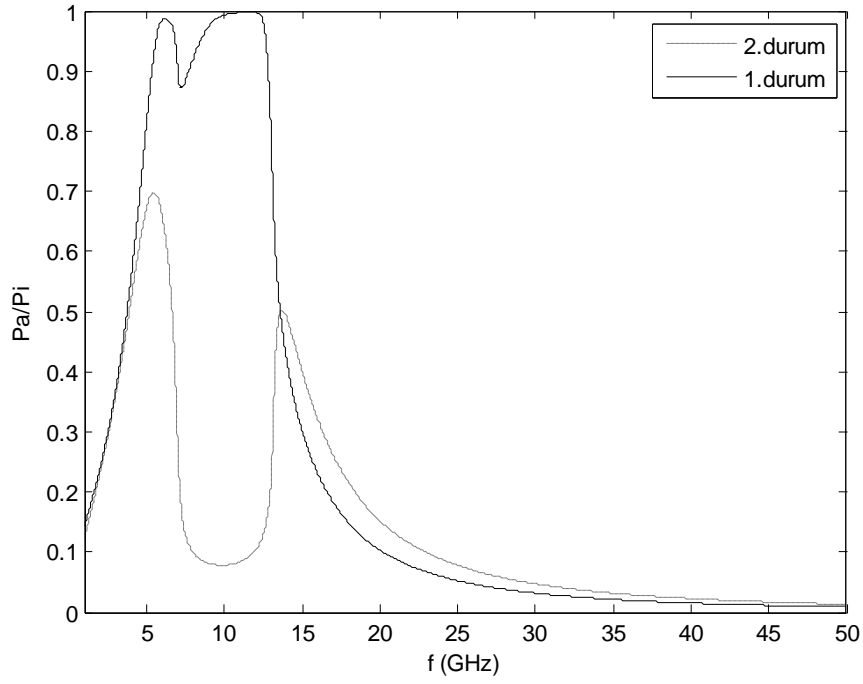
Şekil 4.15'te $\nu_{en} = 1$ GHz, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$ ve $B=0.25$ T için normalize yansıyan güç karşılaştırması görülmektedir. İkinci durum çok daha iyi bir yansıtıcı özellik göstermektedir.



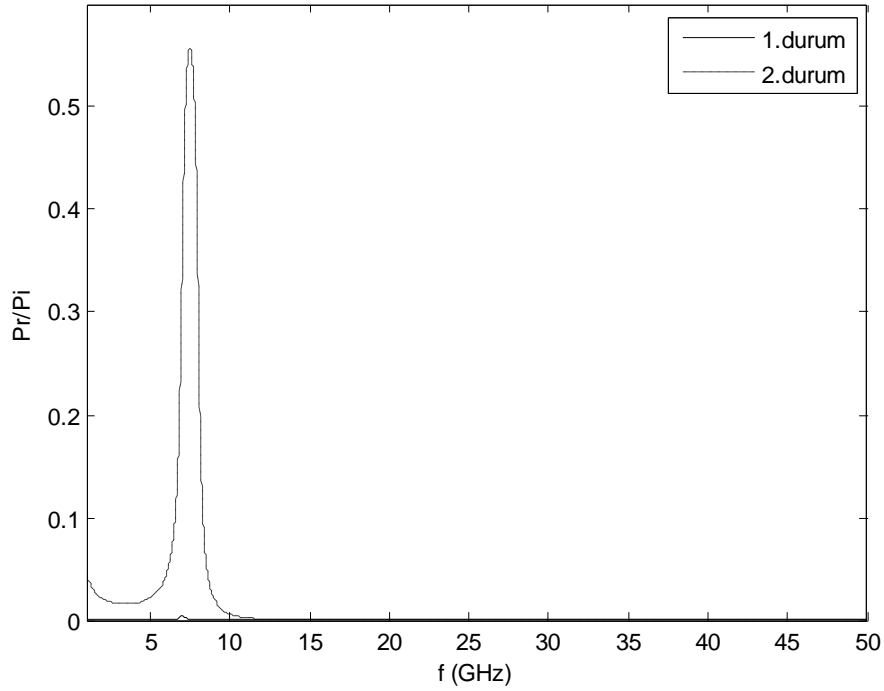
Şekil 4.15. Normalize yansıyan güç karşılaştırması $\nu_{en} = 1$ GHz, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T .

Şekil 4.16'da aynı parametreler için normalize soğurulan güç karşılaştırması görülmektedir. Birinci durumdaki plazma katmanının ikinci durumdakine göre çok daha iyi bir soğurucu olduğu sonucuna varılabilir. Normalize soğurulan güç daha fazla ve soğurma bandı daha geniştir. $\nu_{en} = 1$ GHz, $N_m = 1 \times 10^{17} m^{-3}$ ve $B=0.25$ T için normalize yansıyan güç ve soğurulan güç karşılaştırmaları Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de görülmektedir. Birinci durumdaki plazma katmanı gelen elektromanyetik dalgayı hemen hemen hiç yansıtmadan içine almaktadır. İkinci durumdaki plazma yapısı ise

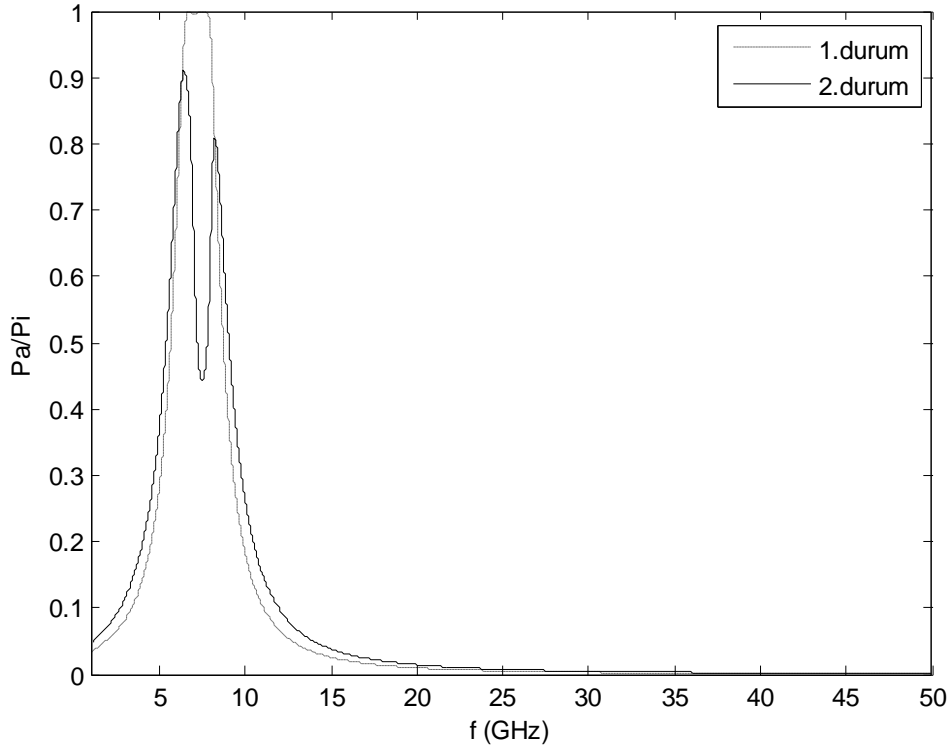
özellikle 7 GHz civarında elektromanyetik dalganın gücünün yarıdan fazlasını yansıtmaktadır.



Şekil 4.16. Normalize soğurulan güç karşılaştırması. $\nu_{en} = 1$ GHz, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T .



Şekil 4.17. Normalize yansıyan güç karşılaştırması. $\nu_{en} = 1$ GHz, $N_m = 1 \times 10^{17} m^{-3}$, $B=0.25$ T .



Şekil 4.18. Normalize soğurulan güç karşılaştırması. $\nu_{en} = 1$ GHz, $N_m = 1 \times 10^{17} m^{-3}$,
B=0.25 T .

Birinci durumdaki plazma yapısı soğurma açısından ikinci durumdaki yapıdan daha iyi görünmektedir. İkinci durumda görülen soğurma bandındaki keskin inişler birinci durumda gözlenmemektedir. Normalize soğurulan güç değeri birinci durum için daha fazladır. İyi bir soğurucu elde edebilmek için birinci durumdaki elektron profilini, iyi bir yansıtıcı elde edebilmek içinse ikinci durumdaki elektron profilini tercih etmek daha uygun görünmektedir.

5. DOĞRUSAL VE SİNÜSEL KARMA ELEKTRON YOĞUNLUĞU PROFİLİNE SAHİP PLAZMA KATMANI

Bu bölümde iki farklı elektron yoğunluğu profiline sahip bir plazma katmanı incelenmiştir. İncelenen plazma yapısı soğuk, çarpışmalı, durgun durumlu ve mıknatıslanmış olarak tanımlanmıştır. Katmanın kalınlığı, λ_o rezonans frekansında dalgaboyunu ifade etmek üzere, elektriksel olarak $4.5\lambda_o$ ve $9\lambda_o$ alınmıştır. Yapının elektron yoğunluğu fonksiyonu şu şekilde alınmıştır:

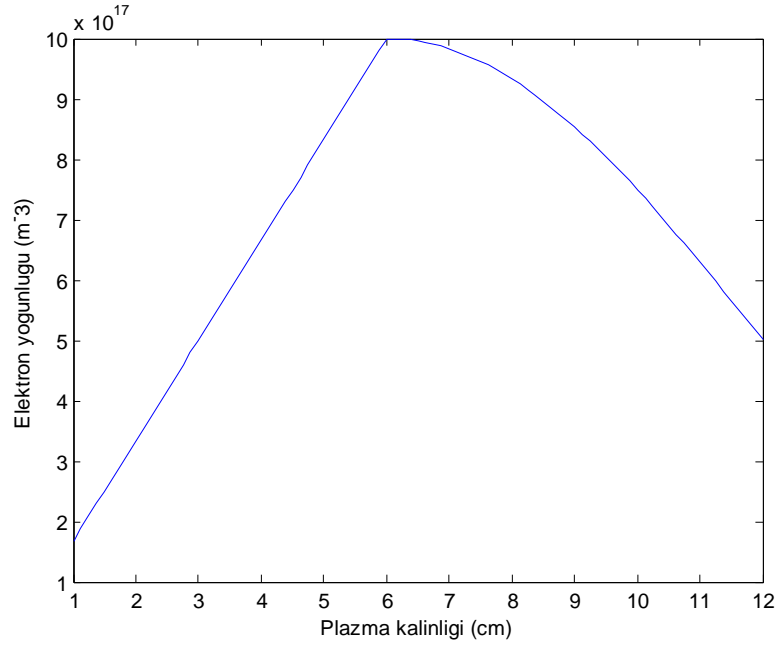
$$N = \begin{cases} N_m z / L' & z < L' \\ N_m (0.5 + 0.5 \cos(\pi(z - L') / (L - L'))) & z > L' \end{cases} \quad (5.1)$$

Eşitlik 5.1'de N her alt katmanın elektron yoğunluğunu, N_m maksimum elektron yoğunluğunu, L' doğrusal elektron profilinin geçerli olduğu kalınlığı ve L plazmanın tüm kalınlığını ifade etmektedir.

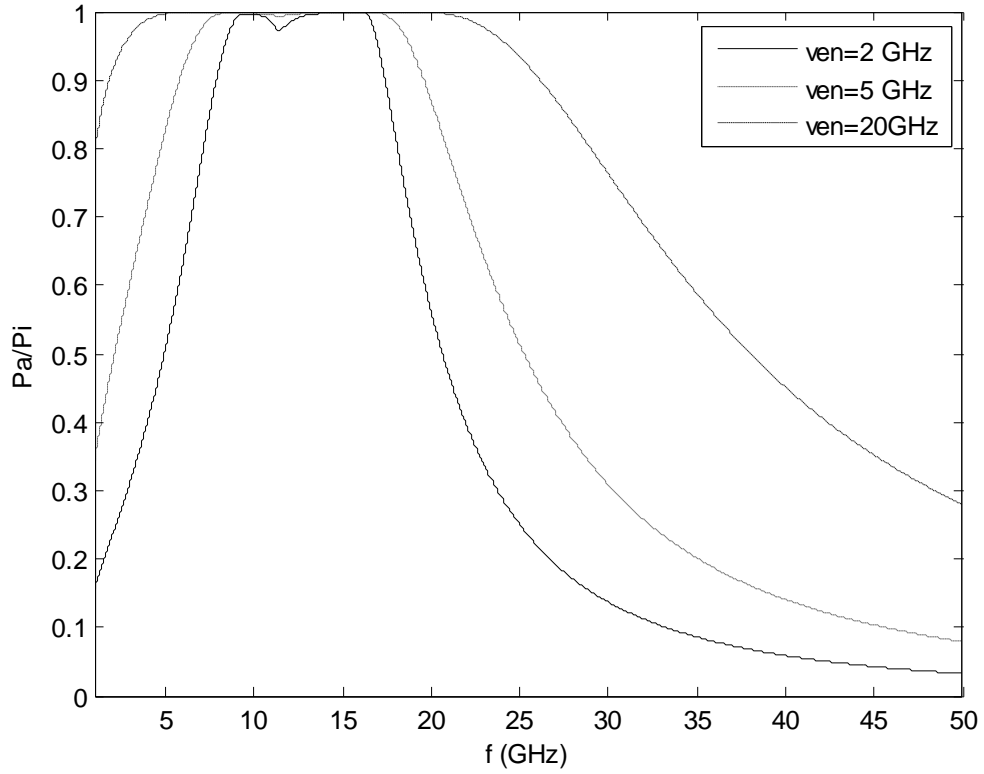
5.1 Kalınlığı Elektriksel Olarak $4.5\lambda_o$ Olan Plazma Katmanı

Plazma katmanının ilk 6 cm'lik bölümü lineer değişen elektron yoğunluğu profiline, son 6 cm'lik bölümü ise sinüsel değişen elektron yoğunluğu profiline sahiptir. Plazma katmanının genel elektron yoğunluğu profili Şekil 5.1'de gösterilmektedir. Şekil 5.1'de maksimum elektron yoğunluğu $1 \times 10^{18} m^{-3}$ olarak alınıp çizilmiştir. Şekil 5.2'de normalize soğurulan güç, üç farklı çarpışma frekansı için çizilmiştir. Burada elektromanyetik dalga frekansı 1 GHz-50 GHz aralığı alınmıştır. Maksimum elektron yoğunluğu $1 \times 10^{18} m^{-3}$ ve $B = 0.4$ T'dir. Plazmanın çarpışma frekansı arttırıldıkça soğurma bandı genişlemektedir. Aynı parametreler için normalize yansıyan güç grafiği Şekil 5.3'te görülmektedir. Normalize yansıyan güç değerleri üç çarpışma frekansı için de oldukça azdır. $\nu_{en} = 5$ GHz ve $\nu_{en} = 20$ GHz için normalize yansıyan gücün sıfıra çok yakın olduğu görülmektedir. Yine aynı parametreler için normalize iletilen güç grafiği Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Soğurulan gücün en yüksek olduğu frekanslarda normalize iletilen güç değerleri sıfıra yakındır. Örneğin $\nu_{en} = 2$ GHz'de 9-16 GHz arasındaki elektromanyetik dalgaların gücünün tamamına yakını plazma katmanı tarafından soğurulmaktadır. Bu yüzden

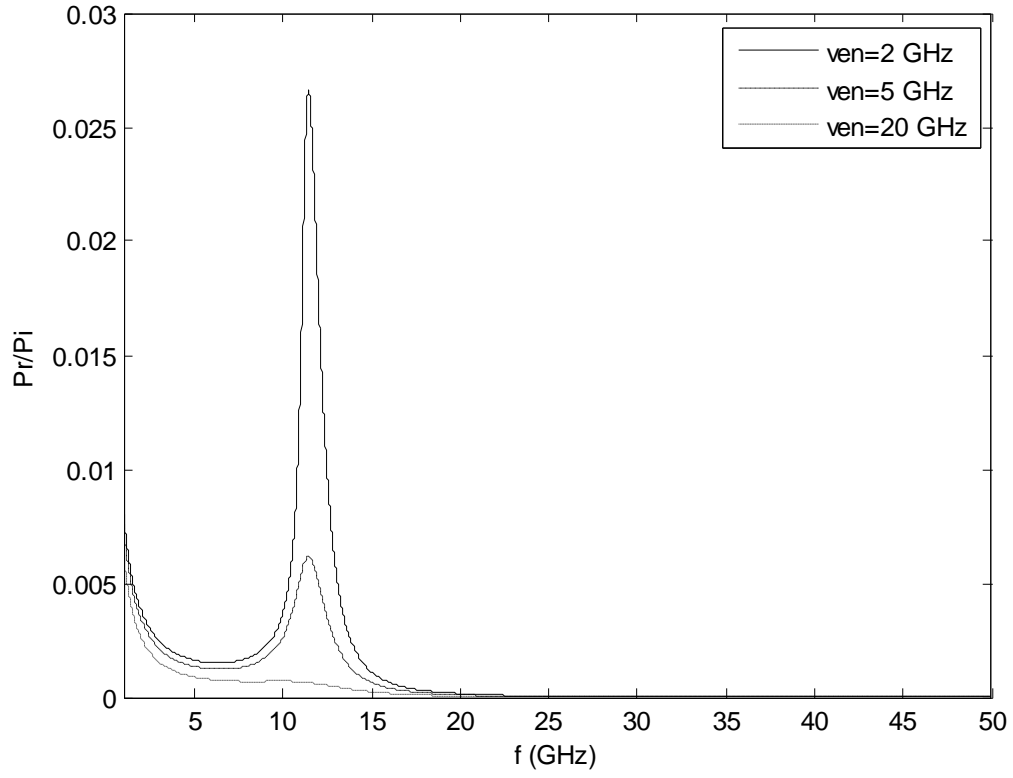
9-16 GHz aralığındaki elektromanyetik dalgaların katmanın dışına çıkamadığı görülmektedir.



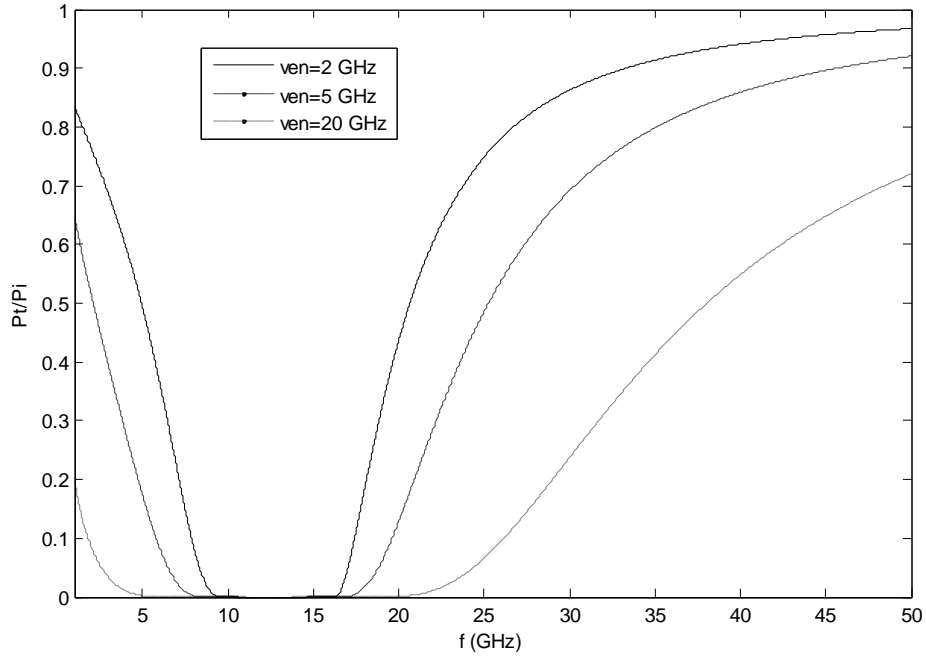
Şekil 5.1. Plazma katmanının genel elektron yoğunluğu fonksiyonu.



Şekil 5.2. Üç farklı çarpışma frekansı için normalize soğurulan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.4 T$.

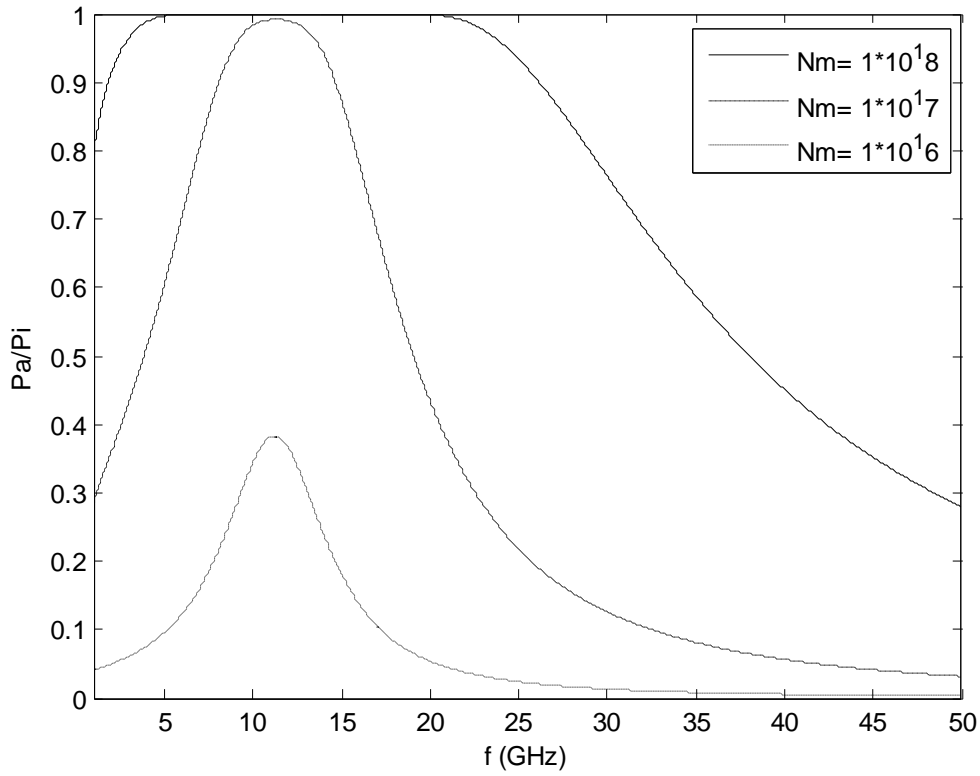


Şekil 5.3. Üç farklı çarpışma frekansı için normalize yansıyan güç $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.4 T$.



Şekil 5.4. Üç farklı çarpışma frekansı için normalize iletilen güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.4 T$.

Buraya kadar çizilmiş olan grafiklerden, çarpışma frekansının yüksek olduğu durumlarda plazma katmanı içinde elektromanyetik dalgaların yüksek oranda soğurulduğu görülmüştür. Çarpışma frekansı 20 GHz alındığında maksimum elektron yoğunluğu değişiminin elektromanyetik dalgaların yansıma, soğurulma ve iletilme karakteristiğine olan etkisi aşağıdaki üç grafikte gösterilmeye çalışılmıştır. Şekil 5.5'te normalize soğurulan güç grafiği gösterilmektedir. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$ alındığında 5 GHz ile 22 GHz arasındaki elektromanyetik dalgaların tamamına yakınının soğurulduğu görülmektedir. Soğurulma bandı ve miktarı maksimum elektron yoğunluğu değerinin düşmesiyle azalmaktadır.

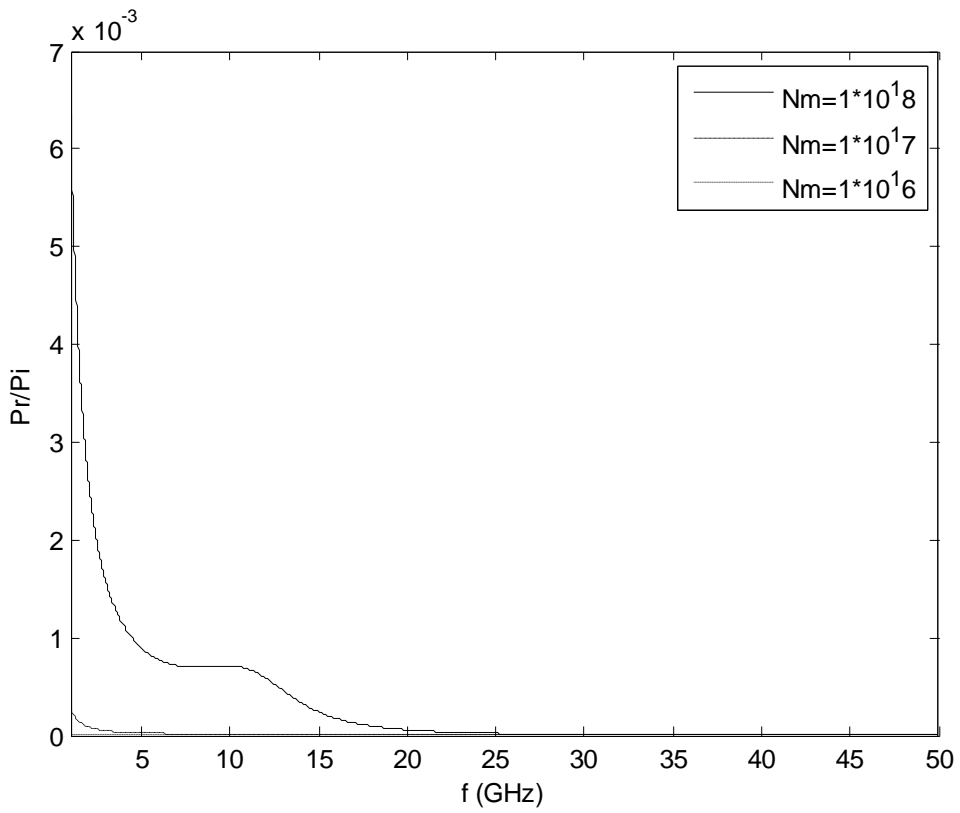


Şekil 5.5. Üç farklı elektron yoğunluğu için normalize soğurulan güç. $\nu_{en} = 20$ GHz,

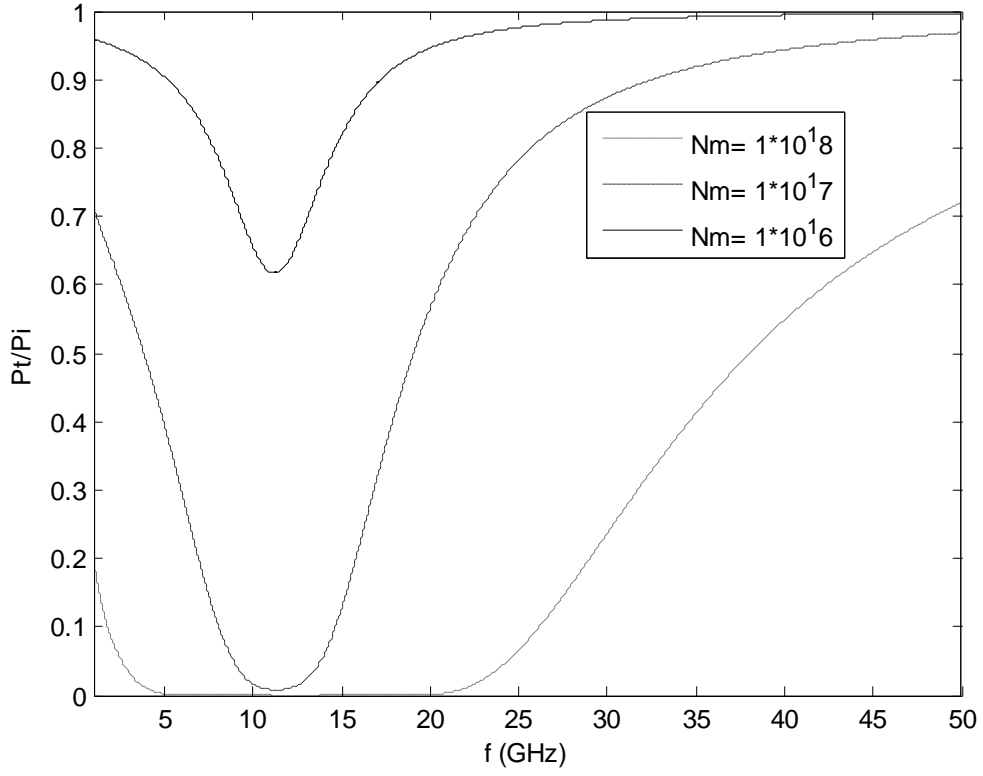
$$B = 0.4 \text{ T}$$

Normalize yansıyan güç değeri Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Yansımanın bu durum için sifıra çok yakın olduğu kolayca görülmektedir. Plazma katmanına gelen

elektromanyetik dalga, gücünü neredeyse hiç kaybetmeden yapının içine nüfuz edebilmektedir. Şekil 5.7'de normalize iletilen güç değeri çizilmiştir. Plazma katmanı içinde soğurulan gücün arttığı yerlerde iletilen güç azalmaktadır. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$ için 5-20 GHz bandında iletilen normalize güç sıfırdır. $N_m = 1 \times 10^{16} m^{-3}$ için iletilen normalize güç ise büyük oranda artmıştır. Düşük maksimum elektron yoğunlukları için plazma katmanının soğurma özelliği kaybolmaktadır.



Şekil 5.6. Üç farklı elektron yoğunluğu için normalize yansıyan güç. $\nu_{en} = 20$ GHz, $B = 0.4$ T.

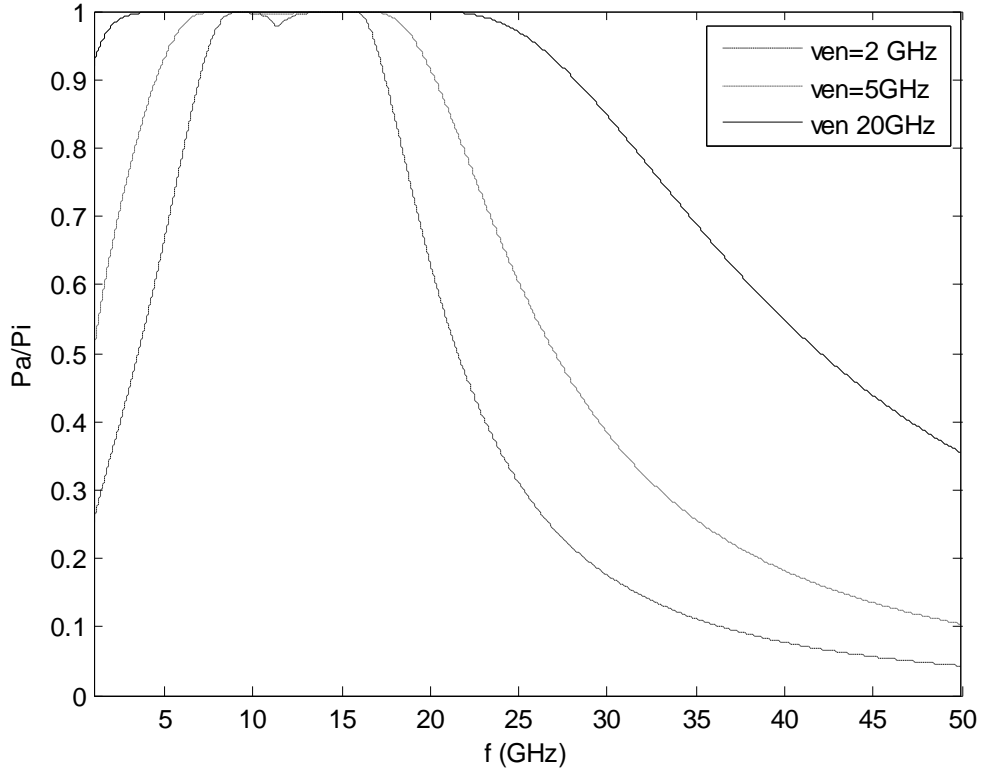


Şekil 5.7. Üç farklı elektron yoğunluğu için normalize iletilen güç. $\nu_{en}=20$ GHz, $B=0.4$ T.

5.2 Kalınlığı $9\lambda_o$ Olan Plazma Katmanı

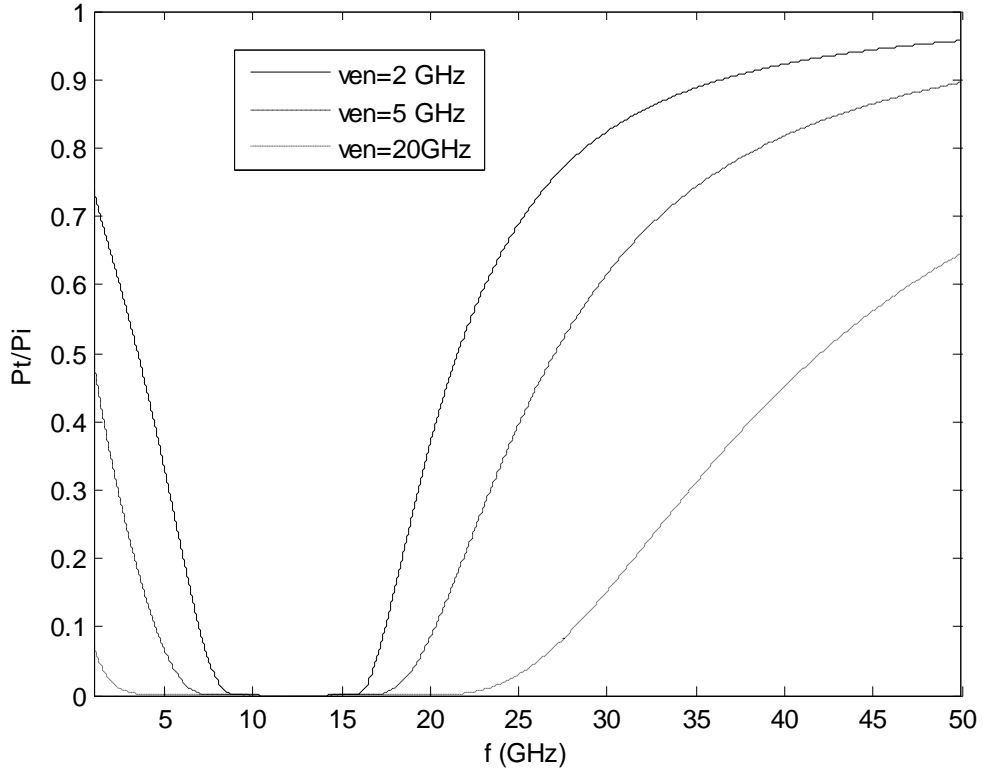
İlk yarısı doğrusal elektron profiline, son yarısı sinüsel elektron profiline sahiptir.

Şekil 5.8'de $N_m=1\times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.4$ T için normalize soğurulan güç grafiği görülmektedir. Soğurma bandı, çarpışma frekansı arttıkça genişlemektedir. $\nu_{en}=20$ GHz için çok geniş bir bantta tüm elektromanyetik güç soğurulmaktadır.



Şekil 5.8. Üç farklı çarpışma frekansı için normalize soğurulan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.4 T$.

Aynı parametreler için normalize iletilen güç grafiği Şekil 5.9'da görülmektedir. İletilen güç çarpışma frekansı arttıkça azalmaktadır. Bunun sebebi plazma katman içinde soğurulan gücün artmasıdır. $\nu_{en} = 2 GHz$ için iletilen güç 8-16 GHz arasında sıfırdır. Benzer şekilde $\nu_{en} = 20 GHz$ için daha geniş bir bantta, 1-25 GHz arasında iletilen güç sıfıra gitmektedir.

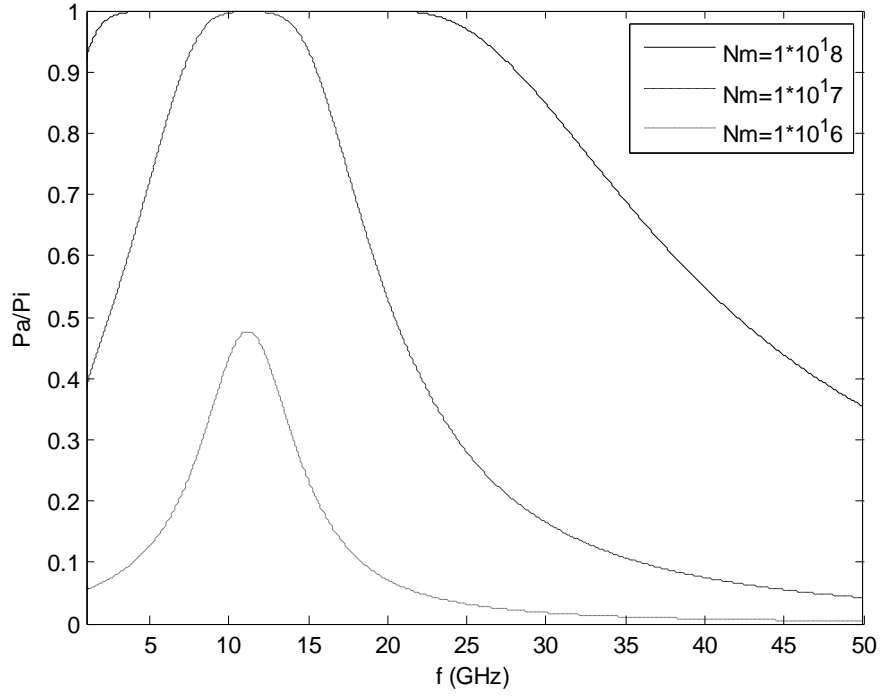


Şekil 5.9. Üç farklı çarpışma frekansı için normalize iletilen güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$,
 $B=0.4$ T .

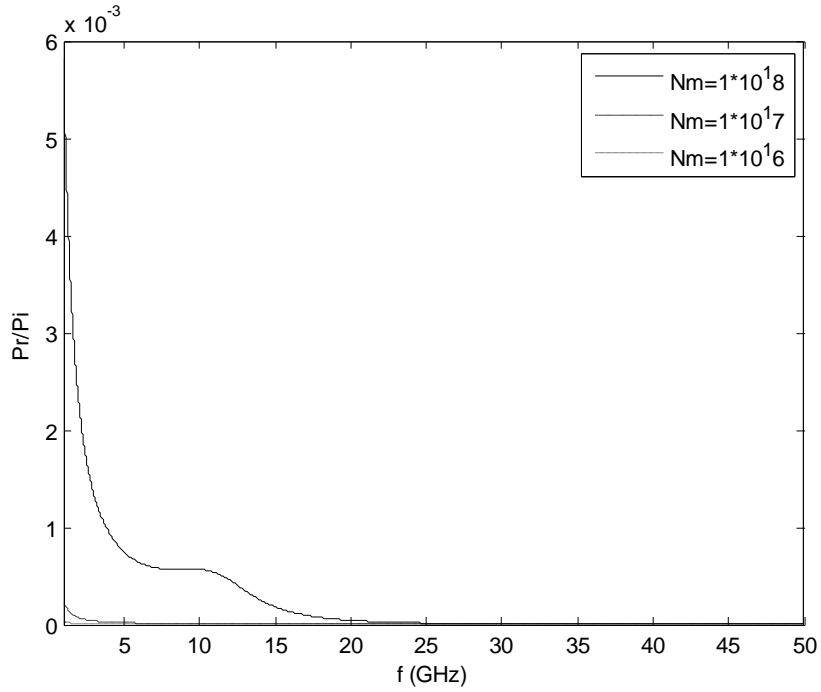
En geniş bantta soğrulmanın olduğu durum çarpışma frekansının 20 GHz olduğu durumdur. Aşağıdaki iki grafikte çarpışma frekansı 20 GHz alındığında maksimum elektron yoğunluğunun yansımaya ve soğurulma karakteristiklerine olan etkisi gösterilmektedir.

Şekil 5.10'da normalize soğurulan güç grafiği görülmektedir. Maksimum elektron yoğunluğu azaldıkça soğurulma bandı ve miktarı azalmaktadır.

Yüksek çarpışma frekansına ve yüksek maksimum elektron yoğunluğuna sahip bir plazma katmanında elektromanyetik dalganın gücü büyük oranda soğurulabilmektedir.



Şekil 5.10. Üç farklı maksimum elektron yoğunluğu için için normalize soğurulan güç.
 $\nu_{en} = 20$ GHz, $B=0.4$ T.

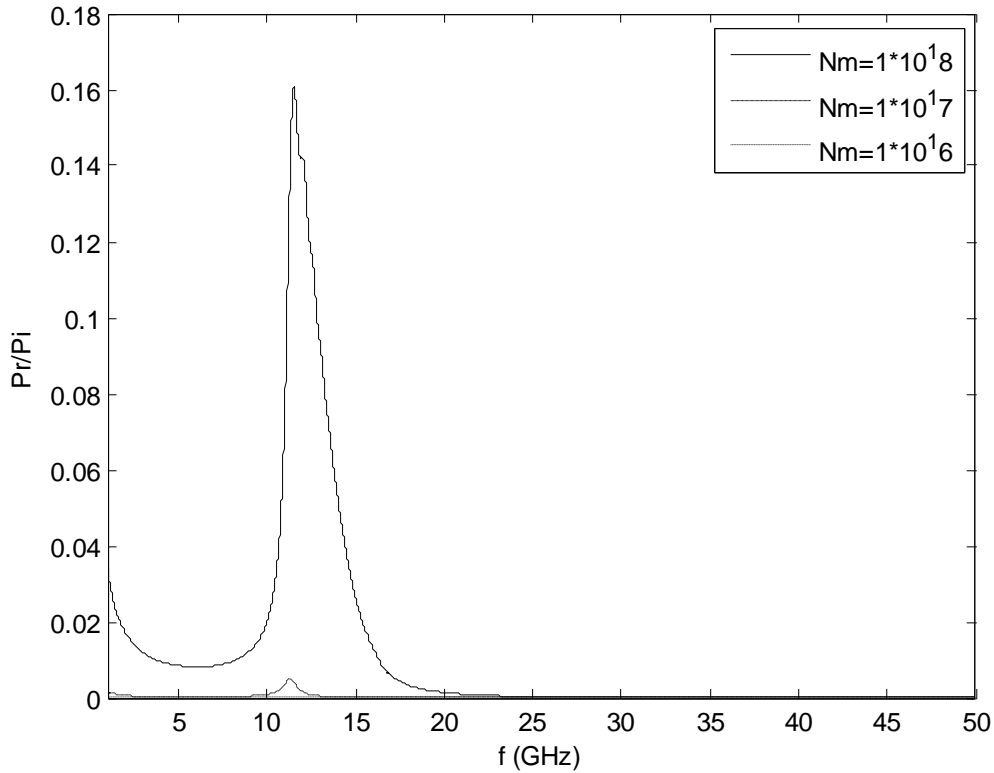


Şekil 5.11. Üç farklı maksimum elektron yoğunluğu için için normalize yansıyan güç.
 $\nu_{en} = 20$ GHz, $B=0.4$ T.

5.3 Farklı Kalınlık Oranlarına Sahip Plazma Katmanı

Buraya kadar eşit kalınlıklı iki farklı elektron yoğunluğu profili incelenmeye çalışılmıştı. Bu altbölümde elektron yoğunluğu profillerinin geçerli olduğu kalınlık oranlarının değiştirilmesinin yapıya gelen elektromanyetik dalganın yansıma karakteristiğine olan etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Doğrusal elektron yoğunluğuna sahip bölümün kalınlığı L' , sinüsel değişen elektron yoğunluğu profiline sahip bölümün kalınlığı $L - L'$ olarak tanımlanmıştır.

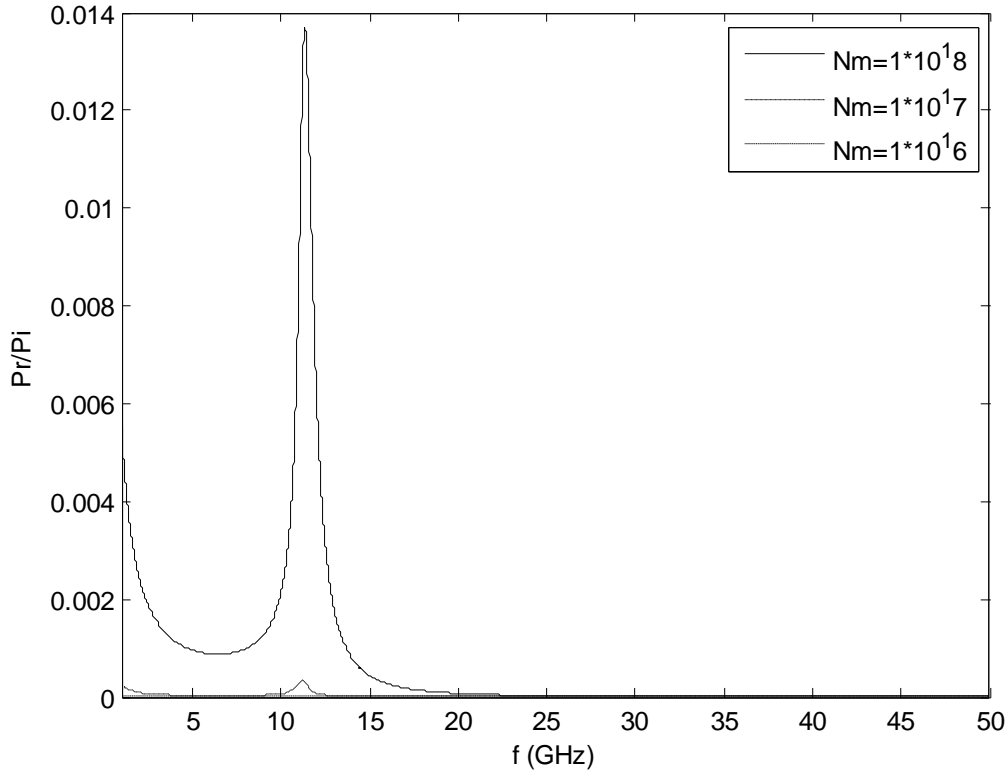
$\frac{L'}{L - L'} = \frac{1}{7}$ için normalize yansıyan güç grafiği farklı maksimum elektron yoğunluğu değerleri için Şekil 5.12'de gösterilmiştir. $\nu_{en} = 2$ GHz, $B = 0.4$ T alınmıştır.



Şekil 5.12. Üç farklı maksimum elektron yoğunluğu için için normalize yansıyan güç.

$B = 0.4$ T , $\nu_{en} = 2$ GHz.

$\frac{L'}{L-L'} = \frac{2}{1}$ için normalize yansıyan güç grafiği Şekil 5.13'de gösterilmektedir.



Şekil 5.13. Üç farklı maksimum elektron yoğunluğu için için normalize yansıyan güç.
 $B=0.4 \text{ T}$, $\nu_{en} = 2 \text{ GHz}$.

Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'ten anlaşılacağı gibi $\frac{L'}{L-L'}$ oranı artarsa, plazma katmanından yansımalar azalmaktadır. Böylece elektromanyetik dalga büyük oranda yapının içine girebilmektedir. Doğrusal elektron yoğunluğuna sahip kısım, bir anlamda empedans uyumlandırma devresi gibi davranmaktadır.

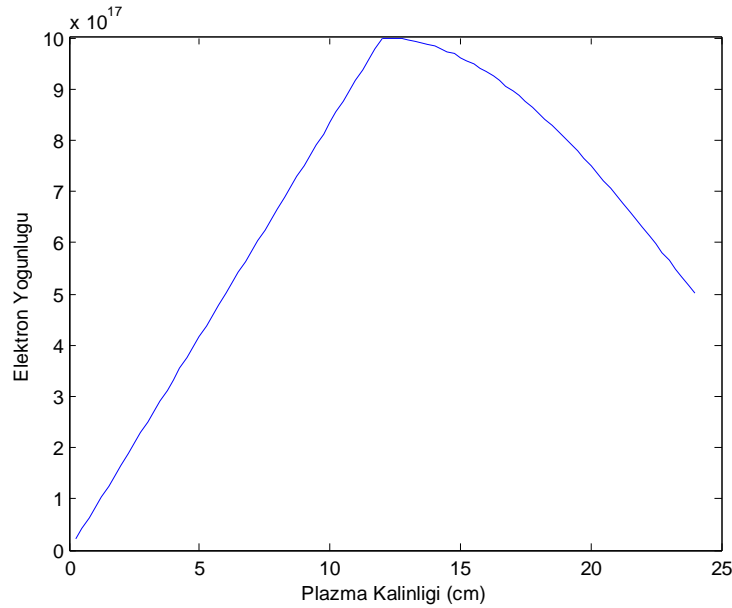
6. MÜKEMMEL BİR İLETKENİN (PEC) DOĞRUSAL VE SİNÜSEL KARMA ELEKTRON YOĞUNLUĞU PROFİLİNE SAHİP PLAZMA KATMANI İLE KAPLANMASI

Bu bölümde mükemmel bir iletkenin önüne ilk kısmı doğrusal değişen, ikinci kısmı sinüsel değişen elektron yoğunluğuna sahip bir plazma katmanı konularak, mükemmel iletkenin elektromanyetik dalga yansımalarının nasıl etkileneceği incelenmiştir.

Katmanın kalınlığı, λ_o rezonans frekansında dalgaboyunu ifade etmek üzere, elektriksel olarak $6\lambda_o$ alınmıştır. İlk olarak her iki elektron yoğunluğu profilinin hakim olduğu kalınlık eşit alınmıştır. Daha sonra, doğrusal elektron yoğunluğunun geçerli olduğu plazma kısmının kalınlığı azaltılmıştır. En son olarak da sinüsel değişen elektron yoğunluğunun geçerli olduğu kısmın kalınlığı azaltılmıştır. Bu üç farklı kombinasyonla, dağılım profillerinin plazma katmanında yansımaya ve soğurma karakteristiği açısından neler değiştirdiği gözlenmiştir.

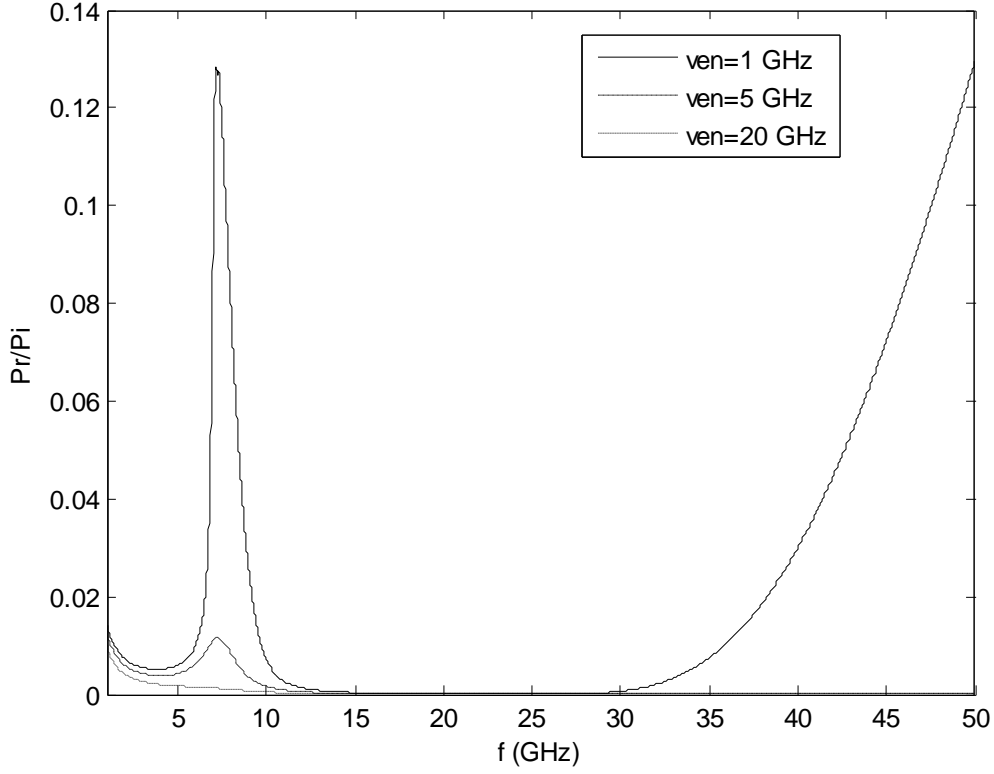
6.1. İlk Yarısı Doğrusal Değişen Elektron Yoğunluğuna, Son Yarısı Sinüsel Değişen Elektron Yoğunluğuna Sahip Plazma Katmanı

Bu yapının elektron yoğunluğu profili Şekil 6.1'de görülmektedir.



Şekil 6.1. Plazma içersindeki elektron yoğunluğu profili.

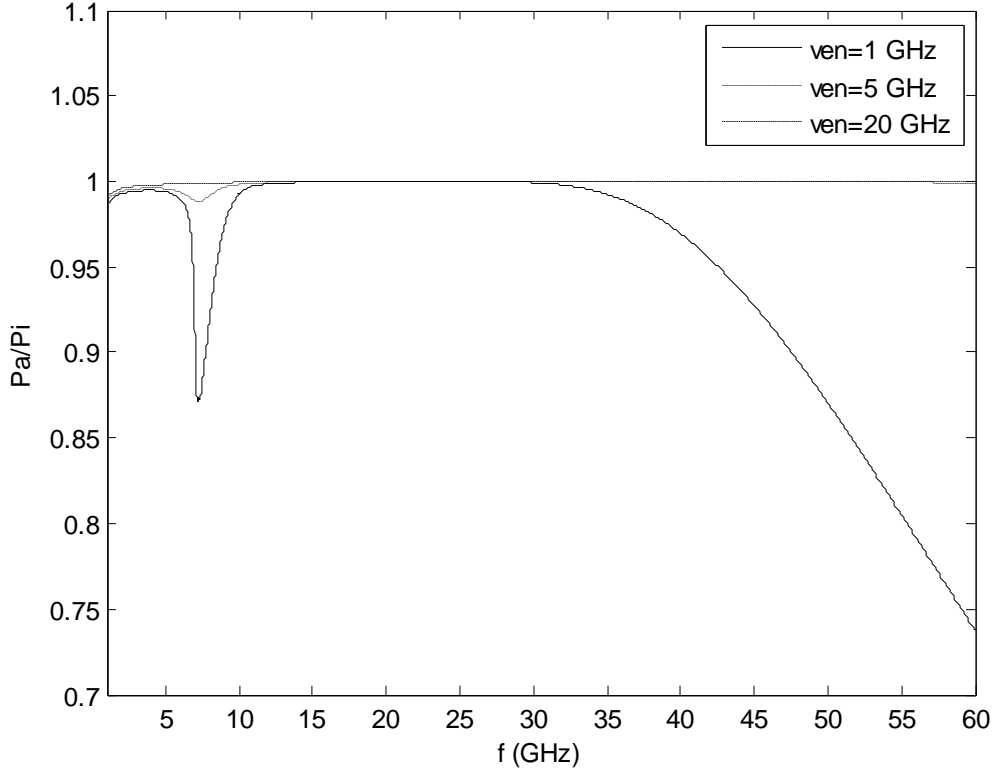
Plazma katmanının elektron yoğunluğu profili Şekil 6.1'de verilmiştir. Elektron yoğunluğunun en fazla olduğu yer yapının tam ortasıdır. Şekil 6.2'de $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$ ve $B=0.25$ T için normalize yansıyan güç grafiği görülmektedir.



Şekil 6.2 Normalize yansıyan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.

Yüksek çarpışma frekansları için mükemmel iletken-plazma katman yapısından yansımaların çok az olduğu görülmektedir. Çok geniş bir frekans bandı için hemen hemen hiç yansıma olmamaktadır. $\nu_{en} = 1$ GHz için 5-10 GHz arasında bir yansıma görülmektedir. 10 ile 30 GHz arasında normalize yansıyan güç sıfırdır. 30 GHz'den sonra ise plazma katmanın soğurucu özelliği kaybolmakta ve normalize yansıyan gücün arttığı görülmektedir.

Şekil 6.3'te aynı parametreler için normalize soğurulan güç grafiği görülmektedir. Yüksek çarpışma frekansları için normalize soğurulan güç 1'e yaklaşmaktadır. Yüksek çarpışma frekansına ve yüksek elektron yoğunluğuna sahip bir plazma katmanı çok iyi bir soğurucu olarak kullanılabilir.

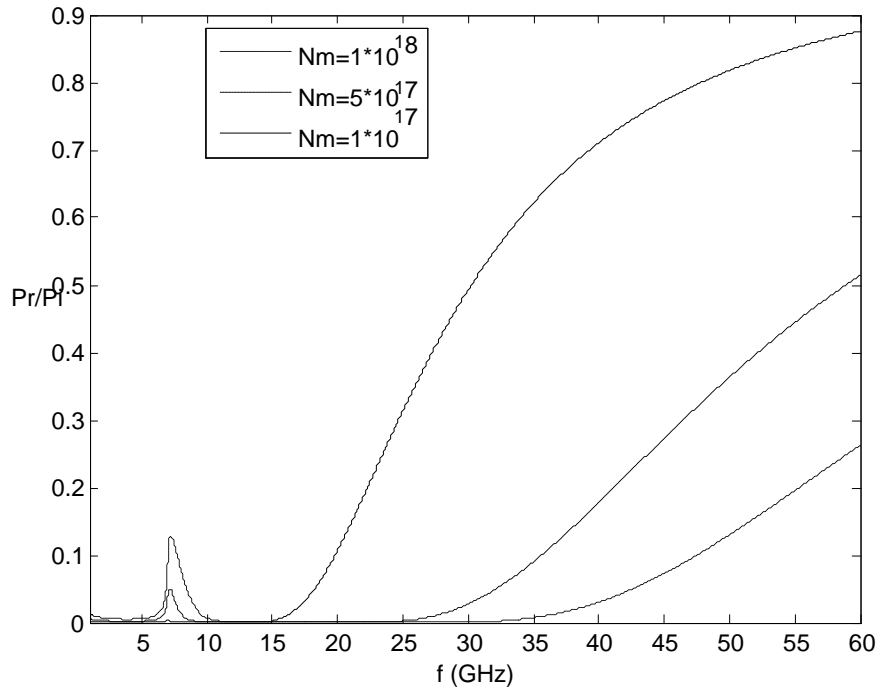


Şekil 6.3 Normalize soğurulan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25 T$.

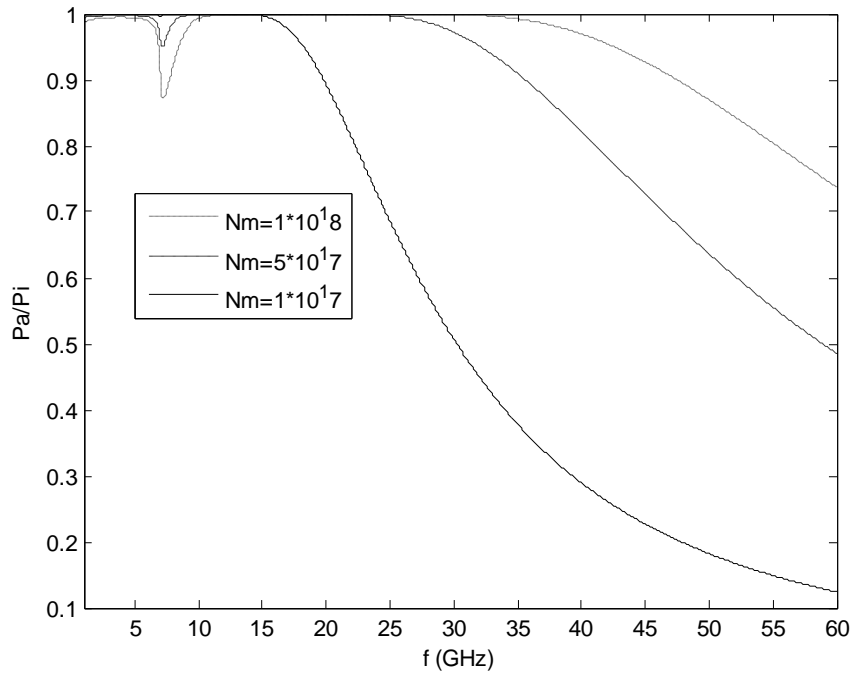
Çarpışma frekansı 1 GHz alındığında maksimum elektron yoğunluğuna göre normalize yansıyan gücün nasıl değiştiği Şekil 6.4'te görülmektedir. Burada yüksek elektron yoğunluğunda yansıma karakteristiği oldukça azalmaktadır. Daha az iyon yoğunluklarında yapının soğurma özelliğinin iyice kaybolduğu gözlenmiştir.

Şekil 6.5'te normalize soğurulan güç grafiği görülmektedir. $N_m = 1 \times 10^{17} m^{-3}$ için soğurma bandı en dar, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$ için soğurma bandı en geniş olarak elde edilmiştir.

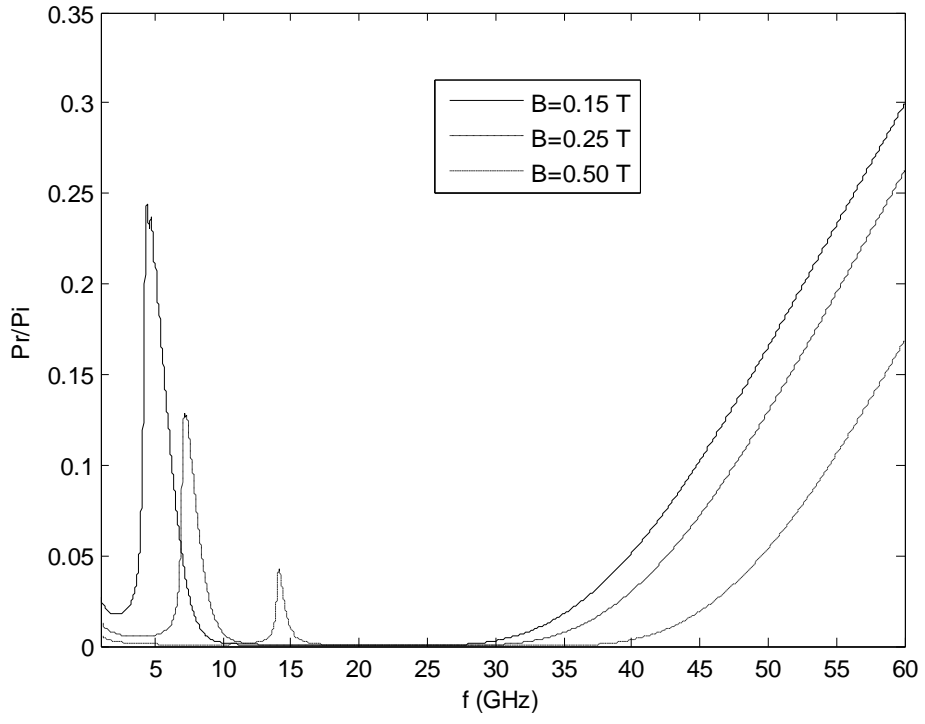
Şekil 6.6'da ise farklı manyetik alan şiddeti değerleri ve $v_{en} = 1 GHz$, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$ için normalize yansıyan güç grafiği görülmektedir.



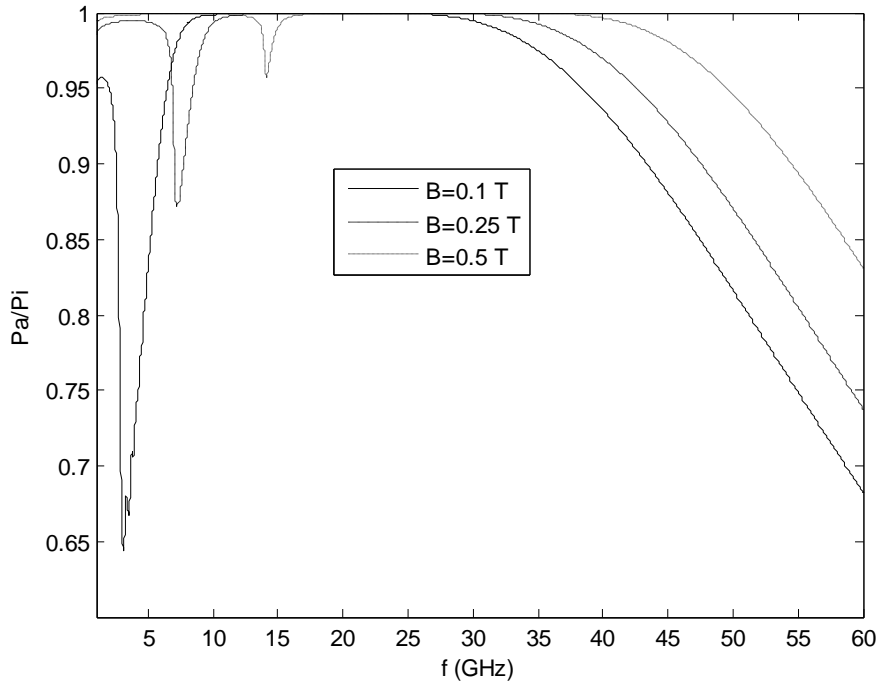
Şekil 6.4 Normalize yansıyan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T.



Şekil 6.5 Normalize soğurulan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T.



Şekil 6.6 Normalize yansıyan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$.



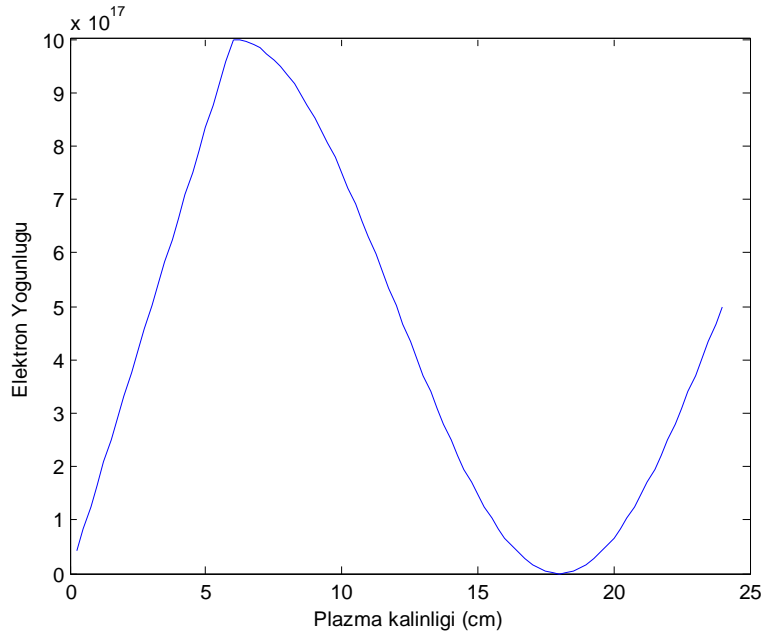
Şekil 6.7 Normalize soğurulan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$.

Manyetik alan şiddeti arttıkça elektron jirofrekansı artmakta ve yansımanın en fazla değer aldığı frekans değeri de kaymaktadır. Şekil 6.7'de aynı değerler için normalize soğurma grafiği verilmiştir. Burada da manyetik alan şiddeti değıştikçe yapının soğurma bandı kaymaktadır.

Bundan sonraki grafiklerde, plazma katmanı içersindeki iki farklı dağılım bölgesinin kalınlıklarının değıştirilmesiyle yapının yansıma ve soğurma davranışlarının nasıl etkilendiği gösterilmiştir.

6.2. İlk $1.5 \lambda_o$ 'lık kısmı Doğrusal Değişen Elektron Yoğunluğuna, Son $4.5 \lambda_o$ 'lık Kısmı Sinüsel Değişen Elektron Yoğunluğuna Sahip Plazma Katmanı

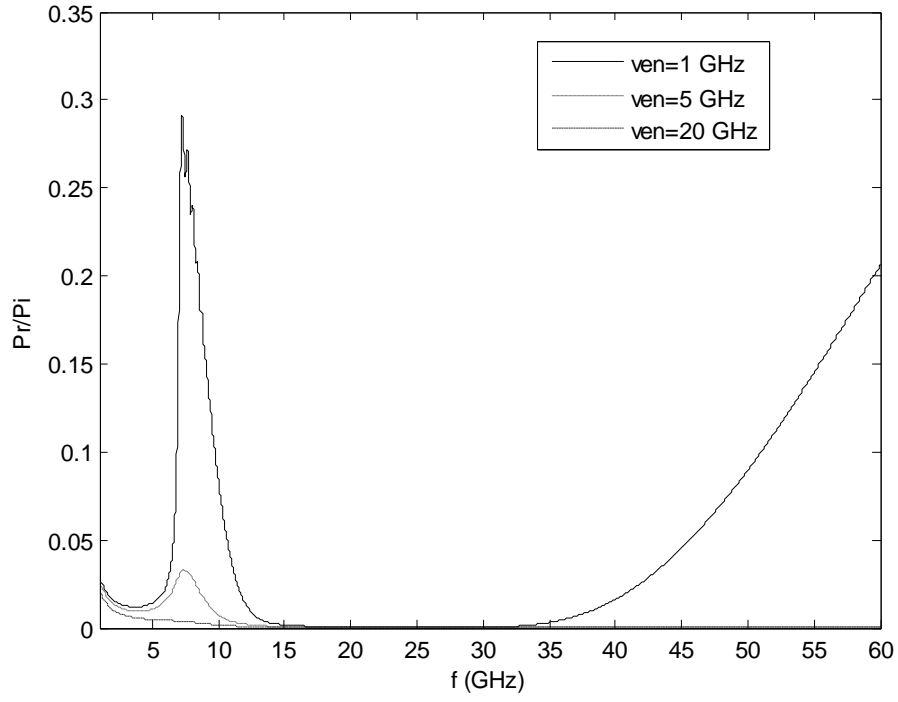
Bu yapının elektron yoğunluğu profili Şekil 6.8'de görölmektedir.



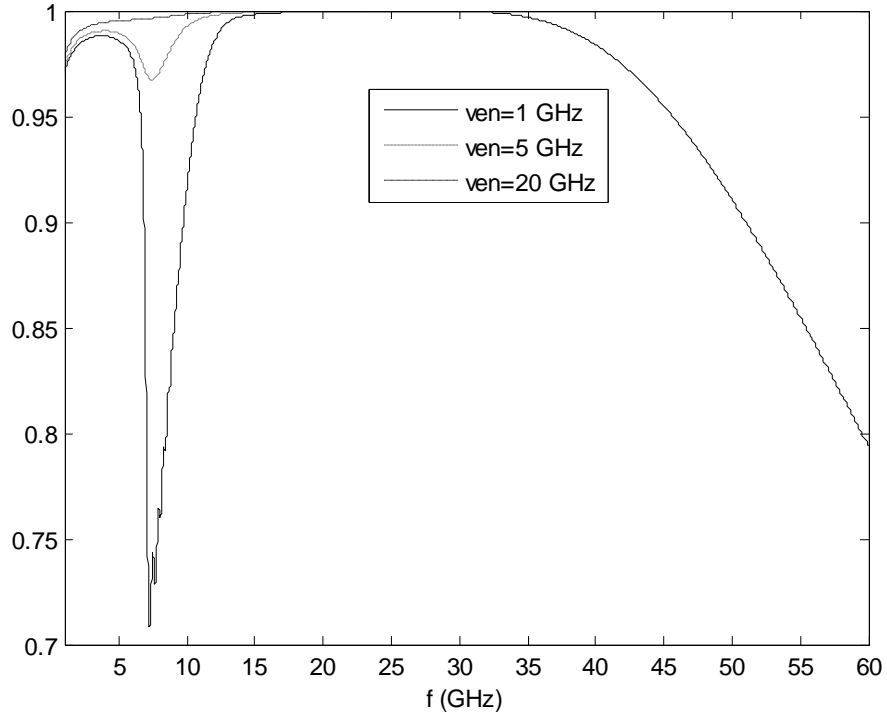
Şekil 6.8. Plazma içersindeki elektron yoğunluğu profili.

Şekil 6.9'da $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T parametreleri için normalize yansıyan güç grafiği görölmektedir. Çarpışma frekansının 1 GHz olduğu durumda normalize yansıyan güç artmaktadır. Çarpışma frekansı arttırıldıkça, yansımanın sıfıra yaklaşmakta olduğu görölmektedir. Aynı parametreler için doğrusal kısmın kalınlığı daha fazlayken Şekil 6.2'den de görölebileceği gibi daha az yansıma olduğu sonucu çıkarılabilir. Şekil 6.10'da normalize soğurma grafiği çizilmiştir. Yüksek çarpışma

frekansları için plazma katmanı elektromanyetik dalgaların gücünü neredeyse tamamen soğurmaktadır.

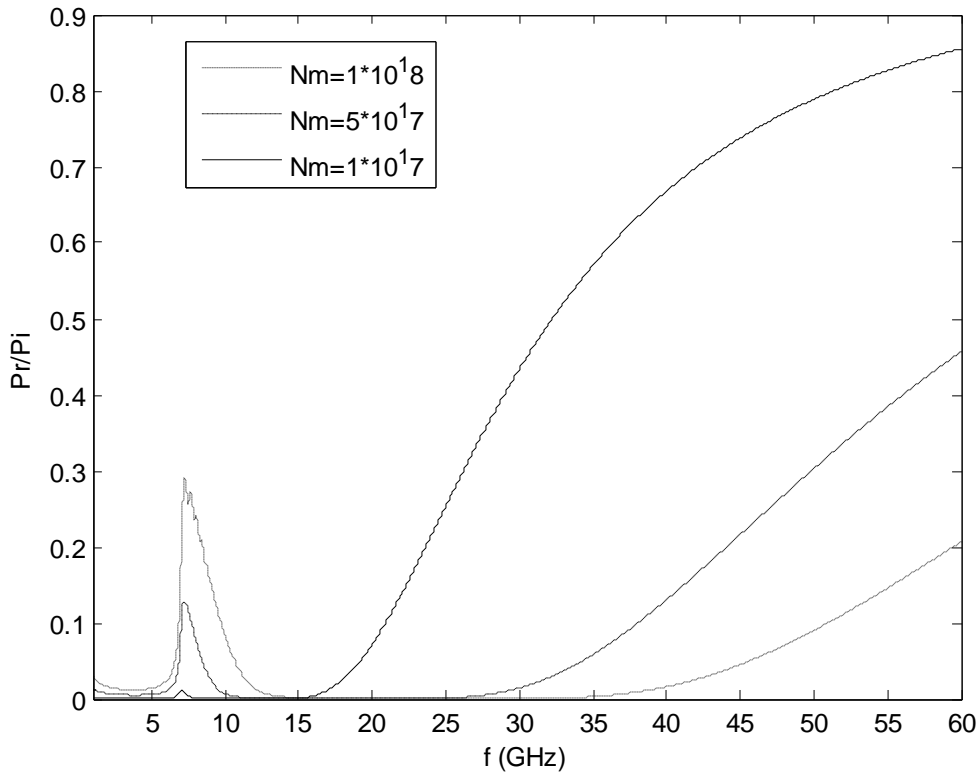


Şekil 6.9. Normalize yansıyan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.



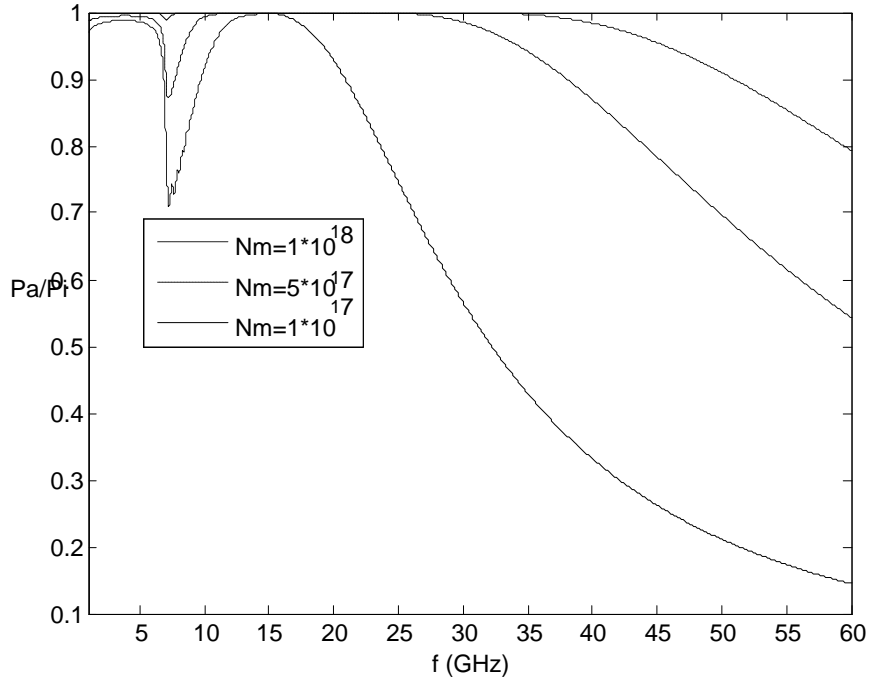
Şekil 6.10. Normalize soğurulan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.

Şekil 6.11'de $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T parametreleri için normalize yansıyan güç grafiği görülmektedir. Çarpışma frekansının yüksek olduğu durumlar için normalize yansıyan güç belli bir bantta artmakta fakat geniş bir spektrumda sıfıra kadar inmektedir. Düşük elektron yoğunluğunda, örneğin $N_m = 1 \times 10^{17} m^{-3}$ için 1-15 GHz arasında yansıyan güç sıfıra yaklaşmakta, 15 GHz'den sonra ise yapı, yansıtıcı bir davranış göstermektedir.



Şekil 6.11 Normalize yansıyan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T.

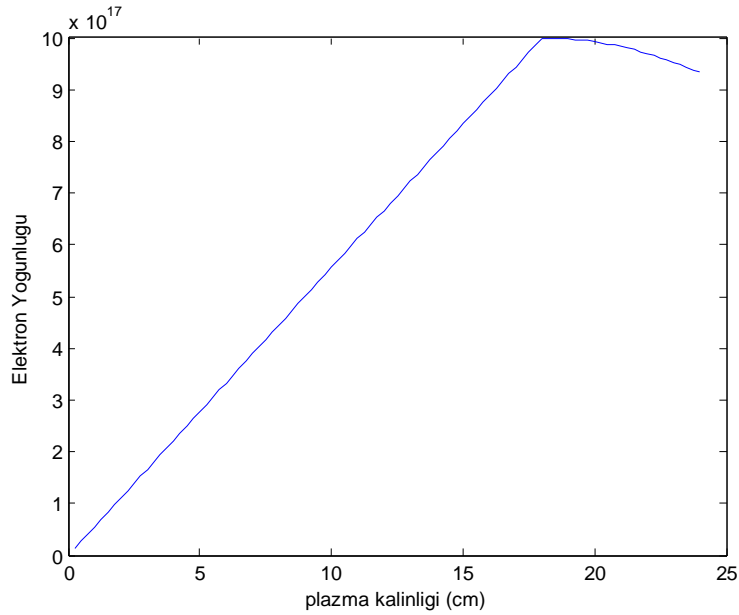
Şekil 6.12'de aynı parametreler için normalize soğurulan güç grafiği çizilmiştir. Elektron yoğunluğu arttıkça, yapının soğurma bandı genişlemektedir. Doğrusal elektron yoğunluğuna sahip kısmın kalınlığı azaldıkça normalize yansıyan güç miktarının arttığı ve soğurulan güç miktarının azaldığı görülmektedir.



Şekil 6.12 Normalize soğurulan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T.

6.3. İlk $4.5 \lambda_o$ 'lık Kısmı Doğrusal Değişen Elektron Yoğunluğuna, Son $1.5 \lambda_o$ 'lık Kısmı Sinüsel Değişen Elektron Yoğunluğuna Sahip Plazma Katmanı

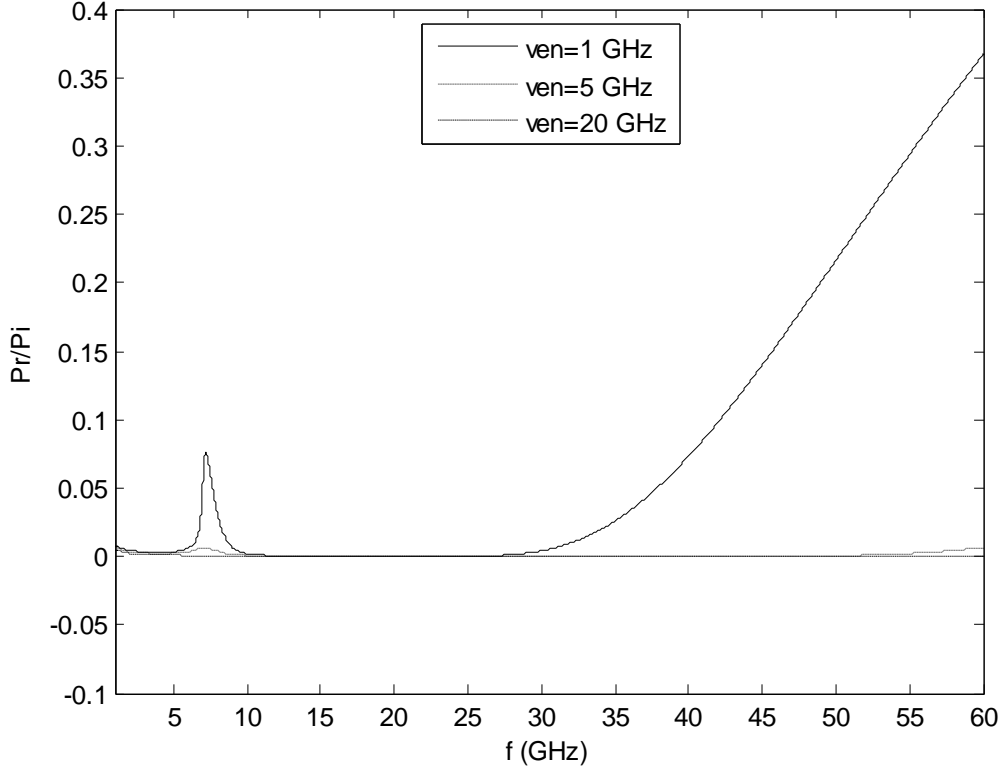
Bu yapının elektron yoğunluğu profili Şekil 6.13'de görülmektedir.



Şekil 6.13. Plazma içersindeki elektron yoğunluğu profili.

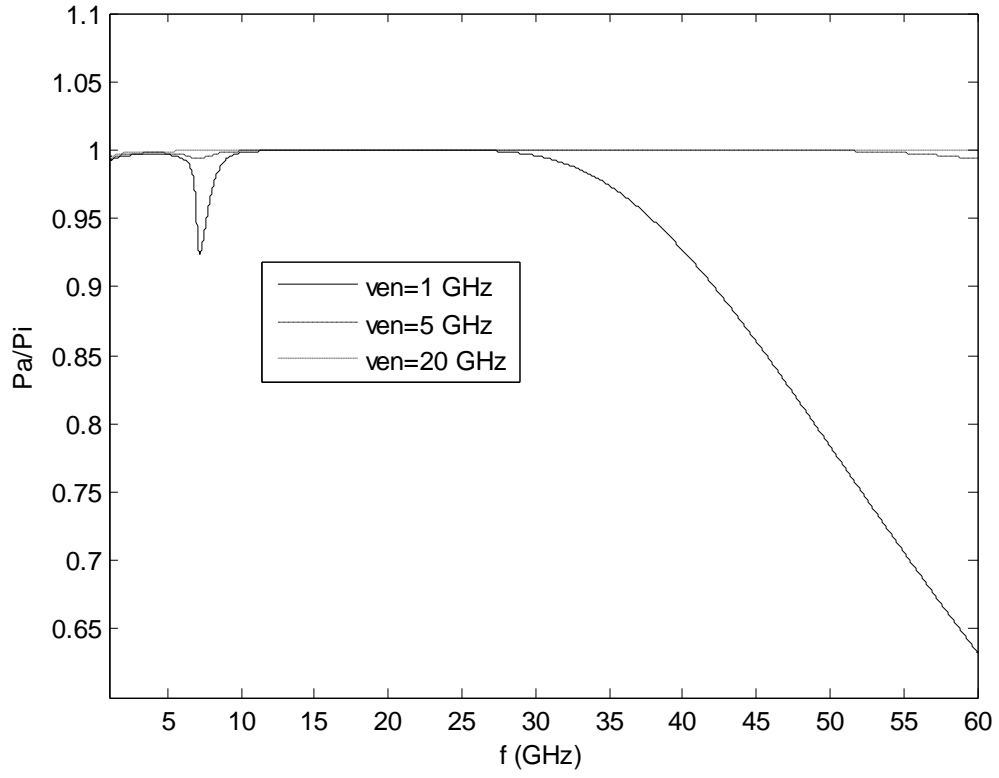
Şekil 6.13'te plazma katmanının içindeki elektron yoğunluğu dağılımı verilmiştir. Sinüsel değişen elektron profilinin etkisi azaltılmıştır.

Şekil 6.14'te $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T parametreleri için normalize yansıyan güç grafiği görülmektedir. Her üç çarpışma frekansı değeri için normalize yansıyan gücün oldukça azaldığı görülmektedir.

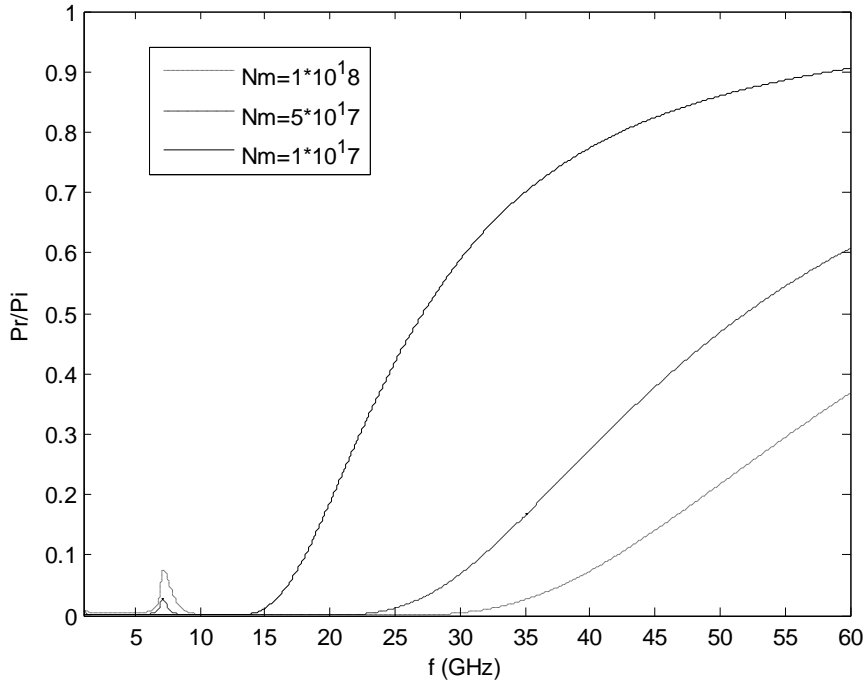


Şekil 6.14 Normalize yansıyan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.

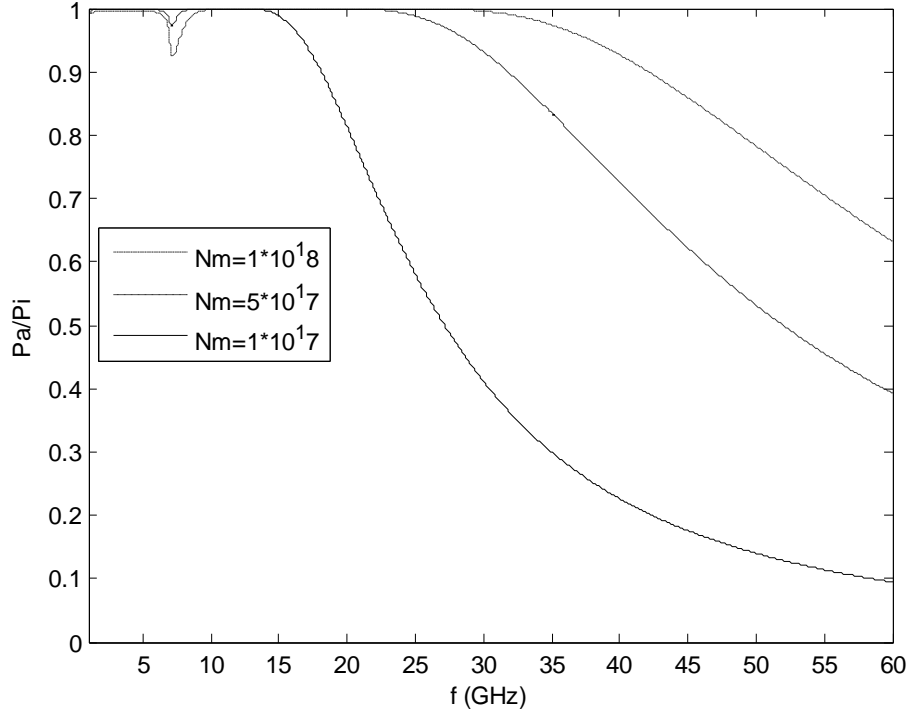
Şekil 6.15'te aynı parametreler için normalize soğurulan güç grafiği görülmektedir. Elektron yoğunluğu yüksek olduğunda, plazma yapısı çarpışma frekansının her üç değeri için de oldukça geniş bantlı bir soğurucu özelliği göstermektedir. $\nu_{en} = 1$ GHz ve $B=0.25$ T parametreleri için normalize yansıyan güç grafiği Şekil 6.16'da görülmektedir.



Şekil 6.15 Normalize soğurulan güç. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $B=0.25$ T.



Şekil 6.16 Normalize yansıyan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T.



Şekil 6.17 Normalize soğurulan güç. $\nu_{en} = 1$ GHz, $B=0.25$ T.

Her üç maksimum elektron yoğunluğu değeri için belli bir bant genişliğinde yansıyan güç sıfıra yaklaşmaktadır. Yansımanın sıfıra yaklaştığı bant genişliği, en fazla değerini maksimum elektron yoğunluğunun en çok olduğu durumda almaktadır. Aynı parametreler için normalize soğurulan güç grafiği Şekil 6.17’de verilmiştir. $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$ için yapının soğurma bandı en fazla, $N_m = 1 \times 10^{17} m^{-3}$ için ise yapının soğurma bandı en azdır.

Bu üç farklı durum gözönüne alındığında, doğrusal kısmın etki alanı arttıkça yapıdan yansımaların azaldığı sonucuna varılmıştır. Doğrusal elektron profilli kısım yapı için adeta bir uyumlandırma devresi gibi çalışmaktadır.

7. Genel Sonuçlar

Son yıllarda plazma yapıları kullanılarak elektromanyetik dalgaların yansıtılması ve soğurulması üzerine pekçok çalışma yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında da plazmaların ayarlanabilir elektriksel özellikleri kullanılarak, istenilen frekans bantlarında elektromanyetik dalgaların soğurulabilmesi veya yansıtılabilmesi incelenmiştir. Elektromanyetik dalgaların plazma yapısına normal geliş açısıyla geldiği varsayılmıştır. Plazmanın soğuk, çarpışmalı, durgun durumlu, mıknatıslanmış ve elektron yoğunluğunun yapı içinde bir dağılım fonksiyonuyla karakterize edilebilecek şekilde olduğu düşünülmüştür.

İlk olarak, parabolik elektron dağılımına sahip bir plazma katmanı ile elektromanyetik dalga etkileşimi incelenmiştir. Bu bölümde verilen sonuçlar, literatüre daha önceden sunulmuş sonuçlardır. Tez çalışmasında bulunmasının amacı, çalışmaya bir başlangıç noktası teşkil etmesidir.

İkinci olarak, sinüssel değişen elektron yoğunluğu profiline sahip bir plazma yapısının karakteristiği incelenmiştir. Bu yapı yüksek elektron yoğunluğuna sahip olduğu zaman geniş frekans bantlarında yansıtıcı özelliği göstermektedir. Plazmanın arpışma frekansı azaldıkça yansıtıcılığı artmakta, çarpışma frekansı arttıkça da yansıtıcı özelliği kaybolmaktadır. Yüksek elektron yoğunluğuna ve yüksek çarpışma frekansına sahip olduğu zaman yapı çok iyi bir soğurucu olarak görünmektedir. Çarpışma frekansı azaldıkça soğurulan elektromanyetik g azalmaktadır. Soğurma karakteristiği parçalı bir hale gelmektedir. Bazı bantlarda yüksek soğurma, bazılarında ise az soğurma özelliği göstermektedir. Bu yapı için yüksek çarpışma frekansının yüksek soğurulma karakteristiğini garanti etmediği görülmüştür. Elektron yoğunluğu düştükçe çarpışma frekansı yüksek bile olsa soğurulan gücün çok azalabileceği gözlenmiştir. Sinüssel elektron yoğunluğu profilinin faz açısı değiştirildiği zaman elektron yoğunluğunun yapı içindeki tepe ve dip noktaları değişmektedir. Bu değişim, plazmanın elektromanyetik dalgalara olan davranışında bazı farklılıklar gözlenmesine sebep olmuştur. Örneğin $\nu_{en} = 1$ GHz ve $N_m = 1 \times 10^{18} m^{-3}$ parametreleri için faz açısı 135° alındıkında daha geniş bantlı bir soğurucu elde edilebileceği görülmüştür. Aynı parametreler için faz açısı 0° alındıkında ise yapının soğurucu olarak kullanılamayacak bir hale geldiği gözlenmiştir. Sinüssel değişen elektron yoğunluğuna sahip bir plazma yapısı

parabolik değişen plazma yapısıyla karşılaştırılmıştır. Sinüsel elektron yoğunluğuna sahip plazma yapısının soğurucu ve yansıtıcı karakteristiği ağısından parabolik dağılımlı plazmaya göre daha iyi bir özellik gösterebileceği faz açısı değerlerinin bulunabileceği sonucuna varılmıştır.

Daha sonra incelenen yapı, doğrusal değişen elektron yoğunluğuna sahip plazma yapısıdır. Genel olarak yapının yansıtıcı özelliğinin oldukça düşük olduğu gözlenmiştir. Özellikle yüksek ęarpışma frekanslarında elektromanyetik dalgaların yapıdan hemen hemen hiç yansımadağı görülmüştür. Daha az ęarpışma frekanslarında yapı bandkısıtlı süzgeç özelliği göstermektedir. Yapının merkez frekansı dışardan uygulanan manyetik alan değiştirilerek kaydırılabilmektedir. Bu şekilde istenilen frekans bantlarında gelen elektromanyetik dalgaların bastırılması veya geçirilmesi mümkün görünmektedir.

Bir diğer incelenen plazma yapısı, iki elektron yoğunluğu profilinin birarada olduğu yapıdır. Bu yapı için ilk olarak elektron yoğunluğu profillerinin eğit etki alanına sahip olduğu duruma bakılmıştır. Plazma yapısı, alınan üç ęarpışma frekansı için de iyi bir soğurucu özelliği göstermektedir. ęarpışma frekansı arttıkça soğurma bandı genişlemektedir. Plazma katmanının kalınlığı arttırıldıkça soğurma karakteristiği beklenildiği gibi iyileşmektedir. Son olarak, iki elektron dağılım fonksiyonunun etki alanları değiştirilmiştir. Doğrusal değişen kısmın yapı içindeki payı büyüdükçe, yapının yansıtıcı özelliği azalmakta, soğurucu özelliği artmaktadır. Buradan, doğrusal profile sahip kısmın empedans uyumlandırma devresi gibi bir işlev gördüğü sonucuna varılabilir.

Son incelenen durum, mükemmel bir iletkenin ikili elektron profiline sahip bir plazma yapısıyla kaplanması durumunda yansıyan elektromanyetik güçte nasıl bir değişimin olacağıdır. Burada ilk olarak, iki farklı elektron yoğunluğu profilinin etki alanlarının eğit olduğu durum incelenmiştir. Genel olarak, geniş bir frekans bandında yapıdan yansıyan gücün oldukça az olduğu görülmüştür. Yüksek ęarpışma frekansları için yansıyan güç sıfıra yaklaşmaktadır. Doğrusal elektron yoğunluğunun etkisi azaltıldığında yapıdan yansıyan gücün arttığı; yoğunluk profilinin etkisi arttırıldığında ise yansımaların azaldığı gözlenmiştir.

Bu konuyla ilgili yapılabilecek daha pek çok ęalıřma bulunabilir. Farklı dağılım fonksiyonları ve bunların çeşitli kombinasyonlarıyla elde edilen plazma yapılarının frekans seçici özellikleri araştırılabilir. Daha karmaşık geometrilere sahip yüzeylerin

plazma katmanıyla kaplanması, nümerik yöntemler kullanılarak analiz ve benzetimlerin yapılması ve istenilen frekansların soğurulup, istenilen frekansların geçirilmesi gibi konular üzerine çalışılabilir.

KAYNAKLAR

- Aronstein, David C., Piccirillo, Albert C., 1997, Have Blue and the F-117A: Evolution of the Stealth Fighter, Washington, Inst. of Aeronautics and Astronautics, 100 p.
- Balanis, C., 1989, Advanced Engineering Electromagnetics, John Wiley and Sons Inc., Ny, 981 p.
- Bin, G., Xiaogang, W., 2005, Power Absorption of High Frequency Electromagnetic Waves in a Partially Ionized Plasma Layer in Atmosphere Conditions, Plasma Science and Tech., vol.7, pp. 2645-2648.
- Eliezer, S. , 1989, An Introduction to the Physics of Plasma, Adam Hilger, USA, 226 p.
- Ginzberg, V. L., 1970, The Propagation of Electromagnetic Waves in Plasmas, Pergammon Press, New York.
- Goldston, R., Rutherford P.H., 1995, Introduction to Plasma Physics, IOP Publishing Ltd, USA, 491p.
- Gürel, Ç., S., Öncü, E., 2009, Frequency Selective Characteristics of a Plasma Layer with Sinusoidally Varying Electron Density Profile, Journal of Infrared, Milimeter, and Terahertz Waves, vol.30, Issue6, pp. 589-597.
- Heald, M.A., Wharton, C.B., 1978, Plasma Diagnostics With Microwaves, New York: Krieger, pp. 71-94.
- Hu, J.B., Wei, G., Lai, S.L., 1999, SMM analysis of reflection, absorption, and transmission from nonuniform magnetized plasma slab, IEEE Transactions On Plasma Science. 27, pp. 1131-1136.
- Jin, F., Tong, H., Shi, Z., Tang, D., Chu, K. P., Effects of magnetic field on propagation of electromagnetic wave in uniform magnetized plasma slabs, Computer Physics Communications, Elsevier, pp. 545-552.
- Kong, J. A., 1986, Electromagnetic Wave Theory, New York : Wiley, pp.110-132.
- Laroussi, M., 1995, Interaction of microwaves with atmospheric pressure plasmas, Journal of Infrared Milimeter Waves, 16, pp. 2069-2083.
- Laroussi, M., Roth, R., 1993, Numerical calculation of the reflection, absorption, and transmission of microwaves by a nonuniform plasma slab, IEEE Transactions On Plasma Science. 21, pp. 366-372.
- Lie, L., Bin, W., 2003, Propagation properties of electromagnetic wave in a plasma slab, Plasma Science and Technology, vol.5, No.4, pp. 1905-1908.
- Novichkov, N., 1999, Russian Scientists created revolutionary technologies for reducing radar visibility of aircraft, ITAR-TASS.

- Rasinkangas, C., 1998, Space Physics Text Book, Space Research Group of the University of Oulu, Oulu, Finlandiya.
- Shi, J., Gao, Y., Wang, J., Yuan, Z., Ling, Y., 2001, Electromagnetic reflection of conductive plane covered with magnetized inhomogeneous plasma, International Journal of Infrared and Milimeter Waves. 22, pp. 1167-1175.
- Soliman, E.A., Helaly, A., Megahed, A.A., 2007, Propagation of electromagnetic waves in planar bounded plasma region, PIER. 67, pp. 25-37
- Sweetman, B., 1986, Stealth Aircraft, Motorbooks International, Washington, 96p.
- Tang, D.L., Sun, A.P., Qui, X.M., Chu, P.K., 2003, Interaction of electromagnetic waves with a magnetized nonuniform plasma slab, IEEE Transactions on Plasma Science. 31, pp. 405-410.
- Vidmar, R., J., 1990, On the use of atmospheric plasmas as electromagnetic reflectors and absorbers, IEEE Transactions on Plasma Science., vol.18, pp. 733-741.
- Wait, James R. , 1968, Electromagnetics and Plasmas, Holt, Rinehart and Winston Inc, New York.
- Yi, Y., Lin, S., 2003, The reflection, transmission, and absorption of microwaves in nonuniform plasma, Asia-Pacific Conference on Environment Electromagnetics Honghou, China. Nov. 4-7.
- Zang, J., Liu, Z., 2007, Electromagnetic reflection from conductive plate coated with nonuniform plasma, International Journal of Infrared and Milimeter Waves. 28, pp. 71-78.
- Zobdeh, P., Sadighi-Bonabi, R., Afarideh, H, Yazdani, E., Nasirabad, R., 2008, Using the Steepened Plasma Profile and Wave Breaking Threshold in Laser-Plasma Interaction, Contributions to Plasma Physics, 48, pp. 555-560.

EK

Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 108E046 nolu "Frekans Seçici Yüzeylerin Çokamaçlı Tasarımı" başlıklı proje altında desteklenmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emrah Öncü

Doğum Yeri : Paderborn (Almanya)

Doğum Yılı : 1980

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : Trabzon Yomra Fen Lisesi (1996-1998)

Trabzon Lisesi (1998-1999)

Lisans : Hacettepe Üniversitesi İngilizce Hazırlık (1999-2000)

Hacettepe Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği (2000-2005)

Yabancı Dil: İngilizce

İş Tecrübesi:

2006-.....: TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü