

PLAZMA TİPİ MALZEME İÇEREN FOTONİK KRİSTAL YAPILARIN TASARIMI

DESIGN OF PHOTONIC CRYSTAL STRUCTURES INCLUDING PLASMA TYPE MATERIALS

EZGİ ENGİN KIRAÇ

PROF. DR ÇİĞDEM SEÇKİN GÜREL

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2024

ÖZET

Plazma Tipi Malzeme İçeren Fotonik Kristal Yapıların Tasarımı

Ezgi ENGİN KIRAÇ

Yüksek Lisans, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Çiğdem Seçkin GÜREL

Nisan 2024, 116 Sayfa

Plazma Fotonik Kristal (PFK) yapısı, literatürde bir dielektrik malzeme ile plazma özelliği gösteren bir malzemenin çok katmanlı olarak farklı dizilimlere göre sıralanmasıyla oluşturulmaktadır. Bu tez çalışması, farklı optik uygulamalarda kullanılabilecek bazı özel dizilimlere sahip PFK yapılarının tasarımı ve her biri için yansıma, iletim ve soğurma davranışlarının incelenmesini ele almaktadır. Tasarlanan yapılarda ilk bölümde homojen, manyetize olmayan, zayıf iyonlaşmış plazma malzemesi kullanılmış, ikinci bölümde manyetize edilmiş bir plazma malzemesi alınarak yeni tasarımlar oluşturulmuştur. Çalışmada Transfer Matrisi Metodu (TMM) kullanılmış ve metodun formülasyonu verilmiştir.

Çalışmada önce literatürde yer alan benzer araştırmaların sonuçları doğrulandıktan sonra periyodik dizilim, Fibonacci, Thue-Morse ve Cantor serileri kullanılarak dört farklı PFK grubu tasarlanmış ve kusur katmanı içeren ve içermeyen olmak üzere bu tasarımlar çeşitlendirilmiştir. Kusur katmanı olarak hava ve farklı dielektrik malzemeler seçilmiştir. Oluşturulan bu farklı PFK'ların her biri için ilk bölümde plazmanın elektron yoğunluğu, kusur katmanının dielektrik sabiti ve kalınlığının yapıların yansıma ve iletim davranışlarına olan etkileri incelenmiştir. Manyetize edilmiş plazmalı PFK yapısı için de dış manyetik alan ve çarpışma frekansı gibi ek parametrelerin bu kez yansıma, iletim ve soğurma davranışlarına etkilerini incelemek üzere periyodik dizilim ve Cantor serisi diziliimli tasarımlar için elde edilerek yorumlanmıştır.

Literatürde yapılan çalışmalarda periyodik, Fibonacci, Thue-Morse ve Cantor serilerine göre dizilimi yapılmış PFK tasarımlarının optik yansıtma, iletim ve soğurma davranışları açısından her birinin farklı özellikler gösterdiği yer almaktadır. Bu tez çalışmasında bu yapıların farklı yapısal parametreler için bir arada ele alınmış olmasıyla PFK tasarımına getirileri karşılaştırılmalı olarak incelenebilmiştir. Periyodik diziliimli yapının çok kanallı bir iletim yapısı oluşturduğu, Fibonacci diziliimli yapının düşük frekanslarda yüksek yansıtma, yüksek frekanslarda ise çok kanallı bir yapı meydana getirdiği, Thue-Morse diziliimli yapının tek kanallı ilettime uygun olduğu, ancak bu iletim bölgesi dışında yüksek yansıma özelliği gösterdiği ve Cantor diziliimli PFK yapısının diğerlerinden farklı olarak daha geniş bantlı bir iletim davranışı gösterdiği anlaşılmıştır. Manyetize edilmiş plazma için alınan sonuçlarda ise benzer özellikler ortaya çıkmakta fakat bu kez periyodik ve Cantor diziliimli yapıların her ikisinin de iletim bandı genişliklerinin arttığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlar, farklı matematik serilere göre dizilmiş PFK yapılarının optik filtre, dalga boyu çoklayıcı ve optik sensör gibi güncel birçok uygulamada değerlendirileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: plazma, elektromanyetik dalga, plazma fotonik kristal yapılar, kusur katmanı, transfer matris metodu

ABSTRACT

DESIGN OF PHOTONIC CRYSTAL STRUCTURES INCLUDING PLASMA TYPE MATERIALS

Ezgi ENGİN KIRAÇ

Master Degree, Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Çiğdem Seçkin GÜREL

April 2024, 116 pages

Plasma photonic crystal (PFC) structure is created by arranging a material exhibiting both dielectric and plasma properties in a multilayered manner according to different sequences. This thesis study focuses on the design of plasma photonic crystal structures with specific sequences that can be used in various optical applications, and investigates their reflection, transmission and absorption behaviors. In the designed structures, the first section employs homogeneous, non-magnetized, weakly ionized plasma material. In the second section, magnetized plasma material is used to create new designs. The Transfer Matrix Method (TMM) is employed in this study, and its formulation is provided.

After confirming the results of similar studies in the literature, four different PFC's are designed using periodic sequences, Fibonacci, Thue-Morse and Cantor series. These designs are expanded to include and exclude defect layers. Air and different dielectric materials are chosen as defect layers. For each of PFC structures, the effects of plasma electron density, defect layer dielectric constant and thickness on reflection and transmission behaviors are examined in the first section. Additionally, for the magnetized PFC structure, new parameters such as external magnetic field and collision frequency are also analyzed to determine reflection, transmission, and absorption behaviors, specifically for periodic and Cantor series-based designs.

In the literature, it is reported that PFC designs based on periodic, Fibonacci, Thue-Morse and Cantor sequences exhibit distinct characteristics in terms of optical reflection, transmission, and absorption behaviors. This thesis investigates the comparative contributions of these structures to PFC design by considering various structural parameters together. Periodic PFC forms result with multi-channel transmission characteristic. Fibonacci Sequence PFC yields high reflection at low frequencies and creates a multi-channel structure at high frequencies. Thue-Morse Sequence PFC is primarily suited for single-channel transmission but exhibits high reflection outside the transmission region. Cantor Sequence PFC uniquely displays broader transmission behavior compared to the others. For magnetized plasma, similar characteristics emerge, with both periodic and Cantor sequence-based structures exhibiting increased transmission bandwidths. These findings highlight the potential of PFC designs based on different mathematical series for some current optical applications such as optical filters, wavelength multipliers, and optical sensors.

Keywords: plasma, electromagnetic wave, plasma photonic crystal structures, defect layer, transfer matrix method

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgisi ve çabasıyla beni destekleyen ve yönlendiren saygıdeğer hocam Prof. Dr. Çiğdem Seçkin Gürel'e

Bugünlere gelmemde büyük emeği olan ve destekleriyle beni hiç yalnız bırakmayan canım annem Fatma Engin ve canım babam Ümit Engin'e,

Tüm stresli anlarımda manevi desteğiyle her zaman yanımda olan ve beni her şeye rağmen olacağına inandıran canım eşim Doruk Kıracı'a,

Bütün süreçlerde yanımda olan canım ablam ve abim Özge Engin Zeytin ve Musa Zeytin'e, minik kalbiyle en büyük destekçim, canım yeğenim İpek Zeytin'e,

Bütün süreçlerde beni destekleyen tüm arkadaşlarıma, iş arkadaşlarıma ve yöneticilerime

Tez jürimde bulunmayı kabul ederek katkı sağlayan çok değerli jüri üyesi hocalarıma teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar.....	9
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı	15
2. FORMÜLASYON	19
2.1. Plazma Parametreleri.....	19
2.2. Transfer Matrisi Metodu	23
2.3. Plazmada Yansıma, İletim ve Soğurma	28
3. FARKLI SERİ TİPLERİNE GÖRE TASARLANMIŞ BASİT PFK YAPILARI İÇİN SONUÇLAR.....	29
3.1. Literatürde Bulunan Makalenin Doğrulanmasına Ait Sonuçlar	30
3.2. Periyodik Dizilime Göre Oluşturulan PFK Yapıları İçin Sonuçlar.....	35
3.2.1. Kusur Katmanı Kalınlığı Etkisi	37
3.2.2. Kusur Katmanı Dielektrik Geçirgenliği Etkisi.....	40
3.2.3. Elektron Yoğunluğu Etkisi.....	42
3.3. Fibonacci Serisine Göre Oluşturulan PFK Yapıları İçin Sonuçlar.....	44
3.3.1. Kusur Katmanı Kalınlığı Etkisi	46
3.3.2. Kusur Katmanı Dielektrik Geçirgenliği Etkisi.....	48
3.3.3. Elektron Yoğunluğu Etkisi.....	50
3.4. Thue-Morse Serisine Göre Tasarlanan PFK Yapıları İçin Sonuçlar	52
3.4.1. Kusur Katmanı Kalınlığı Etkisi	55
3.4.2. Kusur Katmanı Dielektrik Geçirgenliği Etkisi.....	57
3.4.3. Elektron Yoğunluğu Etkisi.....	59
3.5. Cantor Serisine Göre Tasarlanan PFK Yapıları İçin Sonuçlar.....	61
3.5.1. Kusur Katmanı Kalınlığı Etkisi	62
3.5.2. Kusur Katmanı Dielektrik Geçirgenliği Etkisi.....	65
3.5.3. Elektron Yoğunluğu Etkisi.....	67

4. FARKLI SERİ TİPLERİNE GÖRE TASARLANMIŞ MANYETİZE EDİLMİŞ SOĞUK PLAZMA İÇEREN PFK YAPILARI İÇİN SONUÇLAR.....	70
4.1. Periyodik Dizilime Göre Tasarlanan PFK Yapıları İçin Sonuçlar	70
4.1.1. Kusur Katmanı Kalınlığı Etkisi	72
4.1.2. Kusur Katmanı Dielektrik Geçirgenliği Etkisi.....	76
4.1.3. Elektron Yoğunluğu Etkisi.....	79
4.1.4. Dış Manyetik Alan Etkisi	82
4.1.5. Çarpışma Frekansı Etkisi	86
4.2. Cantor Serisine Göre Tasarlanan PFK Yapıları İçin Sonuçlar.....	89
4.2.1. Kusur Katmanı Kalınlığı Etkisi	90
4.2.2. Kusur Katmanı Dielektrik Geçirgenliği Etkisi.....	94
4.2.3. Elektron Yoğunluğu Etkisi.....	98
4.2.4. Dış Manyetik Alan Etkisi	100
4.2.5. Çarpışma Frekansı Etkisi	104
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	107
6. KAYNAKÇA.....	112
ÖZGEÇMİŞ	117

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Maddenin dört hali ve plazma	1
Şekil 1.2. Bir plazma lambası [5]	3
Şekil 1.3. Yıldırım [6]	3
Şekil 1.4. a) Bir, b) iki ve c) üç boyutlu fotonik kristaller	5
Şekil 1.5. Bir uçağı kaplayan plazma bulutu	8
Şekil 2.1. Genelleştirilmiş bir PFK'da elektromanyetik dalgası şematik görünümü ...	23
Şekil 3.1. Doğrulan makaledeki periyodik PFK yapısı	30
Şekil 3.2. Makaleden alınan $q = 1,2,3,4$ değerleri için iletim spektrumlarının ekran görüntüsü [28]	32
Şekil 3.3. $ABqA$ yapısal modelinin $q = 1, 2, 3$ ve 4 değerlerinde iletim spektrumunun doğrulama grafiği.....	33
Şekil 3.4. $q = 4$ değerindeki doğrulan yapısal modelin farklı elektron plazma yoğunlukları için iletim spektrumunun ekran görüntüsü [28].....	34
Şekil 3.5. $q = 4$ değerindeki doğrulan yapısal modelin farklı elektron plazma yoğunlukları için iletim spektrumu.....	35
Şekil 3.6. Tezde önerilen periyodik dizilim için kullanılan PFK yapısı	36
Şekil 3.7. Kusursuz ve kusurlu PFK modellerinin yansım ve iletim spektrumları	37
Şekil 3.8. Periyodik dizilimin $c = 1 \text{ mm}$, 4.8 mm , 8.6 mm , 12.4 mm , 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için yansım katsayısı	38
Şekil 3.9. Periyodik dizilimin $c = 1 \text{ mm}$, 4.8 mm , 8.6 mm , 12.4 mm , 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için iletim katsayısı.....	39
Şekil 3.10. Periyodik dizilimin kusur katmanı $\epsilon c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için yansım katsayısı	41
Şekil 3.11. Periyodik dizilimin kusur katmanı $\epsilon c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için iletim katsayısı.....	42
Şekil 3.12. Periyodik dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için yansım katsayısı	43
Şekil 3.13. Periyodik dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için iletim katsayısı	44
Şekil 3.14. Fibonacci PFK 5. hücre yapısı ($F5$) yapısı	45

Şekil 3.15. Kusursuz ve kusurlu PFK modellerinin yansıma ve iletim spektrumları ..	45
Şekil 3.16. Fibonacci dizilimin $c = 1$ mm, 4.8 mm, 8.6 mm, 12.4 mm, 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için yansıma katsayısı	47
Şekil 3.17. Fibonacci dizilimin $c = 1$ mm, 4.8 mm, 8.6 mm, 12.4 mm, 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için iletim katsayısı.....	48
Şekil 3.18. Fibonacci diziliminin kusur katmanı $\epsilon c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için yansıma katsayısı	49
Şekil 3.19. Fibonacci dizilimin kusur katmanı $\epsilon c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için iletim katsayısı.....	50
Şekil 3.20. Fibonacci dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve 2.0×10^{13} cm – 3 elektron yoğunluğu değerleri için yansıma katsayısı	51
Şekil 3.21. Fibonacci dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve 2.0×10^{13} cm – 3 elektron yoğunluğu değerleri için iletim katsayısı	52
Şekil 3.22. Thue-Morse serisi için oluşturulmuş PFK yapısı	53
Şekil 3.23. Thue-Morse PFK yapısı için yansıma ve iletim katsayıları	54
Şekil 3.24. Thue-Morse dizilimin $c = 1$ mm, 4.8 mm, 8.6 mm, 12.4 mm, 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için yansıma katsayısı	55
Şekil 3.25. Thue-Morse dizilimin $c = 1$ mm, 4.8 mm, 8.6 mm, 12.4 mm, 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için iletim katsayısı.....	56
Şekil 3.26. Thue-morse dizilimin kusur katmanı $\epsilon c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için yansıma katsayısı	57
Şekil 3.27. Thue-Morse dizilimin kusur katmanı $\epsilon c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için iletim katsayısı.....	58
Şekil 3.28. Thue-Morse dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve 2.0×10^{13} cm – 3 elektron yoğunluğu değerleri için yansıma katsayısı	59
Şekil 3.29. Thue-Morse dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve 2.0×10^{13} cm – 3 elektron yoğunluğu değerleri için iletim katsayısı	60
Şekil 3.30. Cantor serisi ile üretilmiş Cantor PFK yapısı.....	61
Şekil 3.31. Cantor PFK yapısının yansıma ve iletim katsayıları.....	62
Şekil 3.32. Cantor dizilimin $c = 1$ mm, 4.8 mm, 8.6 mm, 12.4 mm, 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için yansıma katsayısı	63
Şekil 3.33. Cantor dizilimin $c = 1$ mm, 4.8 mm, 8.6 mm, 12.4 mm, 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için yansıma katsayısı	64

Şekil 3.34. Cantor dizilimin kusur katmanı $\epsilon c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için yansımaya katsayısı	66
Şekil 3.35. Cantor dizilimin kusur katmanı $\epsilon c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için iletim katsayısı	67
Şekil 3.36. Cantor dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}, 1.5 \times 10^{13}$ ve $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için yansımaya katsayısı	68
Şekil 3.37. Cantor dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}, 1.5 \times 10^{13}, 2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için iletim katsayısı	69
Şekil 4.1. Periyodik dizilime göre tasarlanan kusursuz ve kusurlu PFK yapısı için yansımaya, iletim ve soğurma katsayısı.....	72
Şekil 4.2. Periyodik dizilimin $c = 1 \text{ mm}, 4.8 \text{ mm}, 8.6 \text{ mm}, 12.4 \text{ mm}, 16.2 \text{ mm}$ kusur katmanı kalınlığı değerleri için yansımaya katsayısı	73
Şekil 4.3. Periyodik dizilimin $c = 1 \text{ mm}, 4.8 \text{ mm}, 8.6 \text{ mm}, 12.4 \text{ mm}, 16.2 \text{ mm}$ kusur katmanı kalınlığı değerleri için iletim katsayısı.....	74
Şekil 4.4. Periyodik dizilimin $c = 1 \text{ mm}, 4.8 \text{ mm}, 8.6 \text{ mm}, 12.4 \text{ mm}, 16.2 \text{ mm}$ kusur katmanı kalınlığı değerleri için soğurma katsayısı	75
Şekil 4.5. Periyodik dizilimin kusur katmanı $\epsilon c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için yansımaya katsayısı	76
Şekil 4.6. Periyodik dizilimin kusur katmanı $\epsilon c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için iletim katsayısı	77
Şekil 4.7. Periyodik dizilimin kusur katmanı $\epsilon c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için soğurma katsayısı	78
Şekil 4.8. Periyodik dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}, 1.5 \times 10^{13}$ ve $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için yansımaya katsayısı	80
Şekil 4.9. Periyodik dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}, 1.5 \times 10^{13}, 2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için iletim katsayısı	81
Şekil 4.10. Periyodik dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}, 1.5 \times 10^{13}, 2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için soğurma katsayısı.....	82
Şekil 4.11. Periyodik dizilimin $B_0 = 0.1 \text{ T}, 0.5 \text{ T}, 1 \text{ T}$ dış manyetik alan değerleri için yansımaya katsayısı.....	83
Şekil 4.12. Periyodik dizilimin $B_0 = 0.1 \text{ T}, 0.5 \text{ T}, 1 \text{ T}$ dış manyetik alan değerleri için iletim katsayısı	84

Şekil 4.13. Periyodik dizilimin $B_0 = 0.1 \text{ T}$, 0.5 T , 1 T dış manyetik alan değerleri için soğurma katsayısı	85
Şekil 4.14. Periyodik dizilimin çarpışma frekansı $\nu = 0.005\omega_p, 0.01\omega_p, 0.05\omega_p, 0.1\omega_p$ değerleri için yansımaya katsayısı	86
Şekil 4.15. Periyodik dizilimin çarpışma frekansı $\nu = 0.005\omega_p, 0.01\omega_p, 0.05\omega_p, 0.1\omega_p$ değerleri için iletim katsayısı.....	87
Şekil 4.16. Periyodik dizilimin çarpışma frekansı $\nu = 0.005\omega_p, 0.01\omega_p, 0.05\omega_p, 0.1\omega_p$ değerleri için soğurma katsayısı	88
Şekil 4.17. Cantor serisine göre tasarlanan kusursuz ve kusurlu PFK yapısı için yansımaya, iletim ve soğurma katsayısı.....	90
Şekil 4.18. Cantor dizilimin $c = 1 \text{ mm}$, 4.8 mm , 8.6 mm , 12.4 mm , 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için yansımaya katsayısı	92
Şekil 4.19. Cantor dizilimin $c = 1 \text{ mm}$, 4.8 mm , 8.6 mm , 12.4 mm , 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için iletim katsayısı.....	93
Şekil 4.20. Cantor dizilimin $c = 1 \text{ mm}$, 4.8 mm , 8.6 mm , 12.4 mm , 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için soğurma katsayısı	94
Şekil 4.21. Cantor dizilimin kusur katmanı $\epsilon c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için yansımaya katsayısı	95
Şekil 4.22. Cantor dizilimin kusur katmanı $\epsilon c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için iletim katsayısı	96
Şekil 4.23. Cantor dizilimin kusur katmanı $\epsilon c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için soğurma katsayısı	97
Şekil 4.24. Cantor dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için yansımaya katsayısı	98
Şekil 4.25. Cantor dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} , $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için iletim katsayısı	99
Şekil 4.26. Cantor dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} , $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için soğurma katsayısı.....	100
Şekil 4.27. Cantor dizilimin $B_0 = 0.1 \text{ T}$, 0.5 T , 1 T dış manyetik alan değerleri için yansımaya katsayısı.....	101
Şekil 4.28. Cantor dizilimin $B_0 = 0.1 \text{ T}$, 0.5 T , 1 T dış manyetik alan değerleri için iletim katsayısı	102

Şekil 4.29. Cantor dizilimin $B_0 = 0.1 \text{ T}$, 0.5 T , 1 T dış manyetik alan değerleri için soğurma katsayısı	103
Şekil 4.30. Cantor dizilimin çarpışma frekansı $\nu = 0.005\omega_p, 0.01\omega_p, 0.05\omega_p, 0.1\omega_p$ değerleri için yansıma katsayısı	104
Şekil 4.31. Cantor dizilimin çarpışma frekansı $\nu = 0.005\omega_p, 0.01\omega_p, 0.05\omega_p, 0.1\omega_p$ değerleri için iletim katsayısı.....	105
Şekil 4.32. Cantor dizilimin çarpışma frekansı $\nu = 0.005\omega_p, 0.01\omega_p, 0.05\omega_p, 0.1\omega_p$ değerleri için soğurma katsayısı	106



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Temel plazma formlarına örnekler	4
Çizelge 5.1. Periyodik, Fibonacci, Thue-Morse ve Cantor dizilimli yapıların öne çıkan özellikleri.....	109
Çizelge 5.2. Periyodik ve Cantor dizilimli yapıların öne çıkan özellikleri	111



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	Soğurma Katsayısı
B_0	Dış Manyetik Alan Genliği
$\vec{B}$	Dış Manyetik Alan Vektörü
c	Işığın Yayılma Hızı
$\vec{E}$	Elektrik Alan Vektörü
e	Elektron Yüğü
f_p	Plazma Frekansı
$\vec{H}$	Manyetik Alan Vektörü
M_n	Transfer Matrisi
P_s	Saçılan Güç
S_i	Gelen Güç Yoğunluğu
$\vec{k}$	Elektromanyetik Dalganın Yayılım Vektörü
m_e	Elektron Kütlesi
n_e	Serbest Elektron Yoğunluğu
$\vec{n}$	Ortalama Elektron Hızı
$\vec{r}$	Uzaklık Vektörü
$\vec{u}$	Ortalama Elektron Hızı
ε_0	Havanın Elektriksel Geçirgenliği
ε	Karmaşık Dielektrik Sabiti
η	Kırılma İndisi
η_i	giriş kırılma indisi
η_o	çıkış kırılma indisi
μ_0	Havanın Manyetik Geçirgenliği

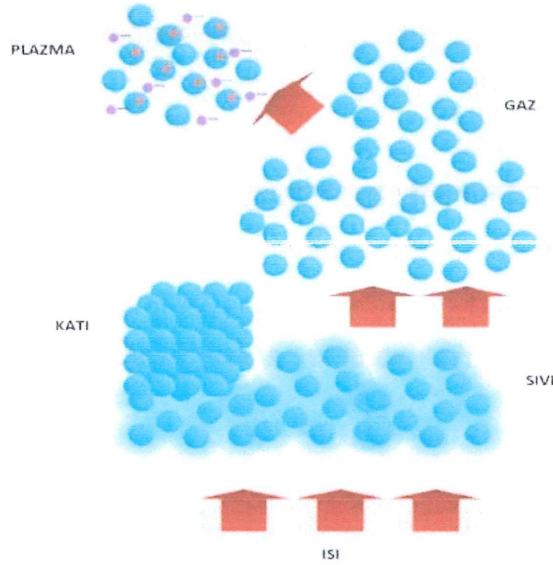
μ	Manyetik Geçirgenlik
N	Plazma Elektron Yoğunluğu
T	İletim Katsayısı
ν	Çarpışma Frekansı
ω	Gelen Elektromanyetik Dalganın Açısal Frekansı
ω_c	Elektron Siklotron Frekansı
ω_p	Plazma Açısal Frekansı
σ	Radar Kesit Alanı

Kısaltmalar

EM	Elektromanyetik
FBB	Fotonik Bant Boşluğu
FDTD	Sonlu Farklar Zaman Uzayı Metodu
FEM	Sonlu Elemanlar Metodu
FK	Fotonik Kristal
PFK	Plazma Fotonik Kristal
RKA	Radar Kesit Alanı
SFDTD	Simplektik Sonlu Farklar Zaman Uzayı Metodu
TMM	Transfer Matrisi Metodu

1. GİRİŞ

1879 yılında Sir William Crookes tarafından yapılan deneylerde elektron ve proton karışımı yüklü parçacıklardan oluşan yeni bir gaz türü, Crookes tüpü içerisinde yapılan deneyler ile keşfedildi. 1923 yılında ise Irving Langmuir ve 1929 yılında Amerikalı bilim adamı Irvy Tonks yaptığı deneylerde, elektrik deşarjı sırasında salınım yapan elektron bulutunu tanımlamak üzere “plazma” terimini kullandı [1]. Plazma, iyonların veya elektronların herhangi bir birleşiminde yüklü parçacıkların önemli bir kısmının varlığıyla karakterize edilen, maddenin dört temel halinden biridir. Evrende yer alan materyallerin yaklaşık %99'unun plazma durumunda olduğu bilinmektedir [2].



Şekil 1.1. Maddenin dört hali ve plazma

Başlangıçta evreni oluşturan her şeyin yüksek sıcaklarda bir plazma olduğu ve bu plazmanın patlamalarından meydana gelen parçaların evrendeki yıldızları meydana getirdiği ve evrenin genişlemesi sırasında bu plazma maddesinin soğuyarak katı, sıvı ve gaz formlara Şekil 1.1'deki gibi dönüştüğü varsayılmaktadır [1]. Bu sebeple plazma, özellikle yıldızlar, Güneş gibi küresel cisimlerde yoğun bir şekilde bulunur ve aynı zamanda galaksiler arası ortamlarda da görülür. Plazma, evrende doğal olarak bulunmasının yanı sıra, günümüzde sanayi ve endüstrideki gelişmeler sayesinde, nötr bir gazın yüksek sıcaklıkla iyonlaştırılması veya güçlü bir elektromanyetik alanın etkisi altına alınması yoluyla yapay olarak üretilir [3].

Plazma, pozitif ve negatif yüklü iyonlar ile nötr parçacıkları birlikte içeren iyonize olmuş gaz olarak yüklü parçacıkların varlığıyla ortaya çıkan bir fiziksel halidir ve bu yüklü parçacıkların bireysel dinamikleri, toplu elektromanyetik alanlar tarafından karmaşık bir şekilde yönetilen plazma hareketini şekillendirir. Bu özellik, plazmayı elektriksel olarak iletken hale getirir ve dışarıdan uygulanan elektromanyetik alanlara son derece duyarlı hale getirir [4].

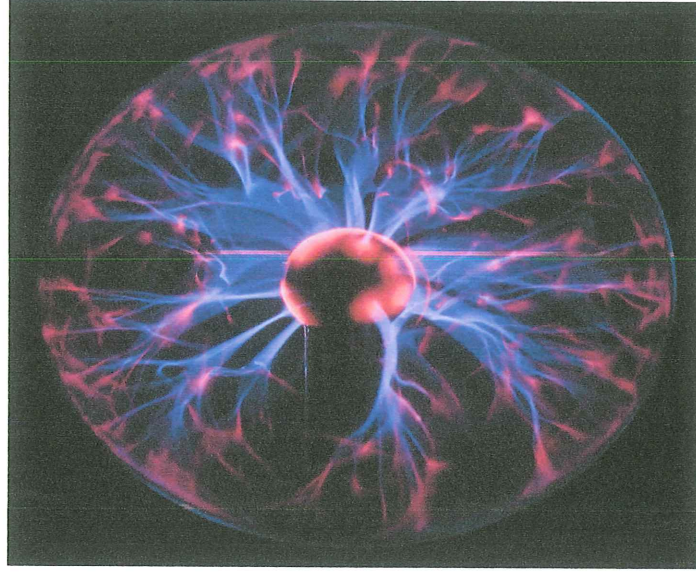
Plazma, yüksek sıcaklık ve yoğunluk koşullarında yüklü parçacıklar arasındaki etkileşimlerin karmaşıklığı sayesinde uzun mesafeli elektrik ve manyetik alanlar tarafından yönlendirilen bir madde haline dönüşebilir. Aynı zamanda plazma, içerisinde serbest halde salınmasına imkân verilen elektronlar barındırır ve bu sayede plazmalarda iletkenlik oldukça yüksektir. Bu da plazmayı gaz halinden ayıran önemli bir özellik olarak bilinmektedir.

Plazma, birçok farklı alt alanı kapsayan zengin bir literatüre sahiptir. Uzay plazması, füzyon reaksiyonları, savunma sanayi araştırmaları ve endüstriyel plazma uygulamaları gibi çeşitli konuları içerir. Doğada plazma farklı formlarda bulunabilir, bu durum plazmayı ilgi çekici ve çok yönlü bir araştırma konusu haline getirmiştir.

Bu geniş yelpaze, plazmanın temel özelliklerini anlamak ve bu bilgiyi farklı alanlarda uygulamak için birçok fırsat sunar. Uzay biliminden enerji üretimine, endüstriyel süreçlerden askeri uygulamalara, malzeme biliminden sensör uygulamalarına kadar plazma araştırmaları, bilim ve teknolojinin çeşitli alanlarına önemli katkılarda bulunmaktadır.

Plazma, temel olarak iki ana kategoride incelenir: Yapay olarak üretilen karasal plazmalar ve doğal uzay plazmaları. Şekil 1.2 ve Şekil 1.3'de, plazma hâlini somutlaştıran iki örnek sergilenmektedir.

Şekil 1.2'de sunulan plazma lambası bir yapay plazma örneğidir. Bu tür yapay plazmaların, gazların elektrik akımı ile etkileşimi sonucu iyonlaşmasından kaynaklandığı bilinmektedir. Plazma lambaları, aydınlatma uygulamaları ve endüstriyel işlemler gibi pratik kullanım alanlarına sahiptirler.



Şekil 1.2. Bir plazma lambası [5]



Şekil 1.3. Yıldırım [6]

Şekil 1.3 ise doğal bir plazma örneği olan yıldırımı göstermektedir. Yıldırım, atmosferdeki elektrik yüklerinin deşarjı sonucu meydana gelir. Bu tür doğal plazmalar, hava olaylarının anlaşılması, meteoroloji çalışmaları ve astrofizik araştırmaları gibi dallarda temel bir rol oynamaktadır.

Çizelge 1.1, plazmanın çeşitli türlerini ve örneklerini göstermektedir. Karasal plazma örnekleri arasında, plazma lambaları ve endüstriyel plazma uygulamaları bulunmaktadır.

Çizelge 1.1. Temel plazma formlarına örnekler

Yapay üretim	Karasal plazmalar	Uzay ve astrofizik plazmalar
TV plazma ekranlar	Yıldırım	Güneş ve diğer yıldızlar
Floresan lambalar	Alevler	Yıldızlararası ortam
Plazma topu	İyonosfer	Gezegenler arası ortam

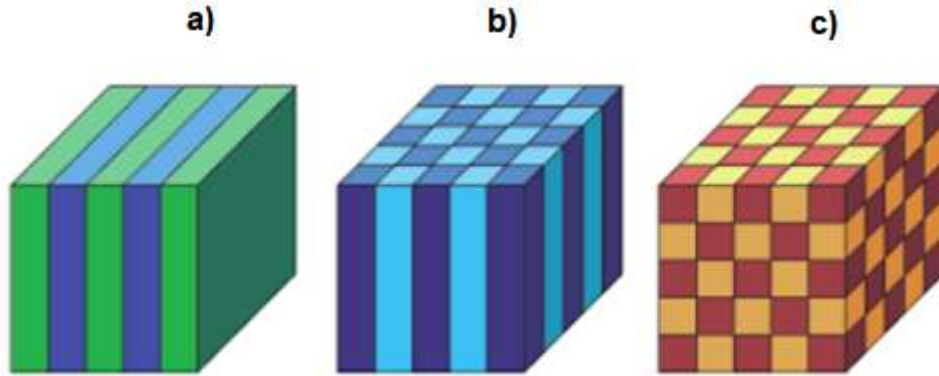
Plazmaların pek çok farklı özelliği sayesinde kullanım alanları giderek artarken çok katmanlı yapılar içerisinde incelemeye uygun olduğu keşfedilmiştir. Plazma içeren çok katmanlı yapılar için yapılan çalışmalarda fotonik kristal olarak ele alınabileceği gözlemlenmiştir.

Fotonik kristaller optik nanoyapılardan oluşan periyodik veya periyodik olmayan şekilde kırılma indisi değişen dielektrik yapıların birleşmesiyle oluşur. Genellikle "optik bant aralığı" malzemeleri olarak adlandırılan fotonik kristaller, ışığın farklı şekillerde manipülasyonuna ve kontrolüne olanak tanıyan özelliklere sahiptir. Işığın belirli dalga boyları için bant aralıkları oluşturan periyodik ve periyodik olmayan yapılar sergileyerek farklı optik olayların gözlenmesine yol açar.

Plazma Fotonik Kristal (PFK) olarak adlandırılan yapılar, plazma içeren çok katmanlı sistemlerde fotonik kristal prensiplerini kullanarak özel optik özellikler elde etmeyi amaçlar. Bu yapılar için fotonik kristallerin kullanımı, ışığın belirli frekansta kontrol edilebilmesi ve yönlendirilebilmesi açısından önemli bir keşif olarak değerlendirilebilir. Plazma içeren yapılar, elektromanyetik dalgaları etkileyerek fotonik özelliklere sahip olabilirler. Bu tür yapılardaki periyodik düzenlemeler, belirli dalga boylarında yansıma, kırılma ve geçirme gibi optik özellikleri etkiler. Bu, özellikle iletişim teknolojileri, sensör sistemleri ve lazer uygulamaları gibi birçok alanda önemli potansiyellere sahip olabilir.

Fotonik kristal araştırması, Lord Rayleigh'in ışığın ızgaralar yoluyla kırınımı üzerine çalışmasıyla 19. yüzyılın sonlarına kadar uzanır. Yapay olarak periyodik katmanlı yapılar olan fotonik kristaller, son yıllarda büyük ilgi görmüştür. Bu ilgi, John ve Yablonovitch 'in 1987'de yayınlanan iki öncü çalışma ile periyodik dielektrik yapıların ışık akışını nasıl etkilediği hakkında yaptıkları çalışma ile daha da artmıştır [7]. Yablonovitch çalışmasında üç boyutlu periyodik katmanlı bir yapıyı inceleyerek bu yapının dalganın yayılımını engelleyen bir bant aralığı olarak kullanabileceğini açıklamıştır.

Fotonik kristaller, bir malzeme içindeki kırılma indisinin belirli bir düzen içinde (periyodik vb.) modülasyonu ile oluşturulan yapılardır. Bu kristaller, elektromanyetik dalgaların kontrolü ve yönlendirmesi üzerine odaklanarak, ışığın belirli frekansta geçişini veya yansımalarını sağlayan özel bir yapıya sahiptir. PFK'lar, içerdikleri plazma tabakası sayesinde geleneksel optik malzemelerden farklıdır, çünkü bu tabaka, elektromanyetik alanların etkisi altında değişen özelliklere sahiptir.



Şekil 1.4. a) Bir, b) iki ve c) üç boyutlu fotonik kristaller

Şekil 1.4'te görüldüğü üzere fotonik kristaller bir, iki ve üç boyutlu yapılar halinde bulunabilirler. Bu boyut farklılıkları elektromanyetik dalganın kontrol edilmesi ve yönlendirilmesi bakımından değişiklik gösterir. Bir boyutlu fotonik kristaller genellikle tek bir yönde tekrarlanan yapılar olarak söylenebilir. Bu yapılar, bir malzemenin içinde oluşan belirli bir dizilim şeklindedir. Bu düzen, elektromanyetik dalgaların belirli frekanslarda geçişini veya yansımalarını kontrol etmeyi sağlar. İki boyutlu fotonik kristaller, bir yüzey üzerinde desen oluşturan yapıları ifade eder. Bu desen, elektromanyetik dalgaların bir düzlem içinde kontrol edilmesini sağlar. Üç boyutlu

fotonik kristaller, bir malzemenin hacminde oluşan deseni ifade eder. Bu tip kristaller, elektromanyetik dalganın her yönde kontrol edilmesini sağlar. Tasarım ve uygulama türüne bağlı olarak, bir, iki veya üç boyutlu fotonik kristallerin kullanılması tercih edilebilir.

PFK, bir plazma tabakası içerir. Bu kristaller, içerdikleri plazma katmanı sayesinde geleneksel optik malzemelerden farklıdır. Plazma katmanı, elektromanyetik dalgaların etkileşimine frekansla değişken bir şekilde duyarlıdır. Bu katmanın özellikle frekansla değişken olması, kristalin davranışını ayarlamak ve elektromanyetik dalgaların belirli frekansta geçişini veya yansımalarını bir biçimde kontrol etmek için kullanılır.

Plazma içeren malzemeler, yapay plazmaların üretimiyle sağlandığı gibi, dielektrik özellik içeren malzemelerin plazma özelliği gösterecek duruma getirilmesi ile de elde edilebilir. Dielektrik malzemeler, genellikle elektrik yalıtkanı olarak bilinir ve elektrik alanlara karşı direnç gösterirler. Ancak; belirli koşullar altında, dielektrik malzemeler yüksek voltajlı elektrik alanlara veya yoğun enerji kaynaklarına maruz kaldıklarında plazma özellikleri gösterebilirler [8]. Yüksek voltajlı elektrik alanlarının etkisi altında, dielektrik malzemelerin atomları ve molekülleri iyonlaşır ve bu süreçte elektronlar serbest hale gelir. Ayrıca, yoğun enerji kaynaklarına maruz kalan malzemeler, yüksek enerjili fotonlar tarafından uyarılır ve bu da elektronların atomlardan koparılmasına ve plazma oluşumuna katkıda bulunur. Bu etki sonucunda, malzeme içindeki atomlar iyonize olabilir ve pozitif ve negatif yüklü iyonlar ile serbest elektronlar oluşabilir. Bu iyonize parçacıkların varlığı, malzemenin plazma haline geçmesine yol açar. Plazma, iyonize gazın bir formu olup, elektriksel olarak iletken bir ortam sağlar. Aynı zamanda oluşan plazma, içinde yüksek yoğunlukta iyonlaşmış gazların ve serbest elektronların bulunduğu bir ortam sağlar [9]. Bu serbest yük taşıyıcıları, elektriksel akımı iletebilir ve malzemenin elektriksel iletkenliğini artırır. Bu süreç, yüksek elektrik alanlarının veya güçlü radyasyon kaynaklarının malzeme üzerindeki etkisiyle başlar. Dielektrik malzemelerin plazma özelliği göstermesi, lazerle işleme, yüzey temizleme ve kaplama, malzeme sentezi, tıbbi uygulamalar ve hava arıtma gibi çeşitli endüstriyel ve bilimsel alanlarda önemli uygulamalara sahiptir. Ayrıca, plazma oluşumu dielektrik malzemelerde, lazer plazma etkileşimlerinin temel mekanizmalarını anlamak ve yeni uygulamalar geliştirmek için de bir araştırma konusu olarak ilgi çekmektedir.

PFK'lar, özel kimyasal yapıları ve içeriği sayesinde çok yönlü bir fiziksel hal olarak kabul edilir ve çeşitli uygulama alanları sunarlar. Bu özel yapılar, plazma ile fotonik kristal prensiplerini birleştirerek özel optik özellikler elde etmeyi amaçlarlar. PFK'lar, yüksek sıcaklık ve yoğunlukta iyonize gaz halinde bulunan plazma ortamlarında fotonik kristal özelliklerini sergileyebilirler. Plazmanın gelecekteki potansiyeline odaklanarak, savunma sanayiinden tekstil endüstrisine, medikal uygulamalardan endüstriyel süreçlere ve gıda sektörüne kadar birçok farklı alanda kullanılabilirler [10].

PFK'daki plazma katmanlarının mikrodalga Emilimi, optik filtre tasarımı, radar teknolojisi ve savunma sanayisinde önemli bir uygulamadır. Bu, düşman radar sistemlerinden kaçınmayı amaçlar ve "plazma gizliliği" olarak adlandırılır. Plazma, aynı zamanda radar kesit alanını azaltma ve optik filtre tasarımları gibi farklı alanlarda yüksek seviyede kullanılmaktadır. Bu uygulamalar, endüstriyel ve askeri uygulamalarda büyük öneme sahiptir. Radar Kesit Alanı (RKA), elektromanyetik dalgaların bir cisimle etkileşimi sonucu oluşan izdüşüm alanını tanımlar [11]. RKA (σ), saçılan gücün (P_s) gelen güç yoğunluğuna (S_i) oranı olarak hesaplanır. Bu, aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$\sigma = \frac{P_s}{S_i} [\text{m}^2] \quad (1-1)$$

Bu hesaplama, gönderilen elektromanyetik dalganın bir cisim üzerinde ne kadar enerji saçtığını hesaplamak adına kullanılır. Gelen güç yoğunluğu (S_i), antenden hedefin üzerine çarpan alansal elektromanyetik enerjiyi gösterir ve RKA'nın hesaplanmasında kritik bir rol oynar [12].

Plazma tabanlı RKA azaltma, askeri araçların elektromanyetik dalgaların yansması ve emilmesi yoluyla radar algılamasını azaltma amacı taşır. Bu tür bir teknoloji, özellikle askeri hava araçları için gizliliği artırmak ve düşman radar sistemlerine karşı daha etkili olmak için önemlidir. Singh ve diğerleri tarafından yapılan parametrik analiz ve uygulama zorluklarına odaklanan çalışma [13] plazma tabanlı RKA azaltma teknolojisinin potansiyelini ve sınırlamalarını anlamaya yöneliktir. Plazma, elektromanyetik dalgaların etkileşimine dayalı olarak radar kesilme alanını azaltma yeteneği sunar. Bu, plazma katmanının elektromanyetik dalgaları yansıtarak veya emerek, radar sistemlerinin tespit etme yeteneğini zorlaştırmasını içerir.

Şekil 1.5'teki plazma ile kaplanmış uçak üzerindeki plazma bulutu, plazma tabanlı RKA azaltma teknolojisinin bir görselleştirmesini sunar. Bu tür bir uygulama, askeri araçların elektromanyetik olarak daha az algılanabilir olmalarını sağlamak adına kullanılabilir. PFK'lar de bu bağlamda değerli bir rol oynayabilir, çünkü özel optik özellikleri sayesinde plazma tabanlı RKA azaltma teknolojisine katkı sağlayabilirler. Askeri araçların PFK ile kaplanması, elektromanyetik dalgaların kontrolünü artırabilir ve radar tespitini azaltabilir. Bu, askeri stratejilerde ve hava savunma sistemlerinde önemli bir gelişme sağlayabilir. Plazma tabanlı RKA azaltma teknolojisine kullanımı, askeri araçların operasyonel etkinliğini ve güvenliğini artırmak için potansiyel bir araç sağlar.



Şekil 1.5. Bir uçağı kaplayan plazma bulutu

Plazma yapılı malzemelerin fotonik kristalleri, bir dizi uygulama için potansiyel sunmaktadır. Bu uygulamalar arasında, fotonik kristal tabanlı anahtarlar [14], filtreler [15], dönüştürücüler [16] gibi örnekler bulunmaktadır. Özellikle, PFK'nın optik filtre tasarımlarında ayarlanabilir olması üzerine araştırmalar yapılmıştır. Ghasemi vd., bu yapının tepkisinin seçilen yapısal ve dış parametrelerle ayarlanabileceğini göstermektedir [17]. PFK'ya plazma kusur katmanı ekleyerek optik filtre uygulaması yine aynı çalışmada yapılmıştır. Plazma kusur katmanının elektron yoğunluğu ve katmanların periyodik numarası üzerinden durduran bant ve rezonans modlarının davranışlarını göstermişlerdir. Ayrıca elektromanyetik dalga'nın yapıya geliş açısının önemi de incelenmiştir. Sonuçlar seçilen optik filtrenin PFK yapıları ile dış etkenlere bağlı olarak yüksek derecede ayarlanabilir olduğunu göstermiştir.

1.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Literatürde plazma, fotonik kristaller ve plazma fotonik kristaller için çalışmalar yer almaktadır. Bu çalışmalarda farklı özelliklere sahip plazmaların, farklı dizilimlerde fotonik kristaller yapılar ile kombinasyonu yapılarak yansıma, iletim ve soğurma özellikleri incelenmiştir. Bu özellikler sayesinde katkı sağladıkları alanlardan bahsedilmiştir.

Elektromanyetik (EM) dalgalarının periyodik PFK ile etkileşimlerine dair araştırmalar büyük ilgi görmüştür. Shiveshwari ve Mahto çalışmasında, bir boyutlu PFK'larda fotonik bant boşluğu (FBB) etkilerini teorik ve nümerik olarak incelemiştir [18]. Plazma ve dielektrikten oluşan periyodik bir yapının katman kalınlığının, katman sayısının ve plazma yoğunluğunun FBB üzerine etkisi incelenerek ikinci yasaklı boşluğun PFK yapısında plazma yoğunluğuyla arttığı fakat plazma katman kalınlığıyla azaldığı gösterilmiştir.

Guo, 2009 yılında ilk kez açılı olarak gelen EM dalgaları periyodik PFK yapısı dahilinde Transfer Matris Metodu (TMM) ile analiz etmiştir [19]. Bu genel denklemde plazma yoğunluğu, diğer katmanın dielektrik sabiti ve geliş açısı bakımından hesaplamalara yer vermiştir. Yapılan incelemeler sonucu PFK'ların kontrol edilebilirliği ve elektron plazma yoğunluğu ile güçlü dispersiyon etkisi özelliklerinin önemli olduğu gösterilmiştir.

Elektromanyetik dalgaların tek boyutlu PFK'daki dispersiyon ilişkisi Hojo ve Mase'nin 2004 yılına ait çalışmalarında belirlenerek plazma ve dielektrik malzemeden oluşan periyodik bir dizi incelenmiştir [20]. Frekans genişliğinin plazma yoğunluğu ve kalınlığı ile doğru orantılı olduğu bu çalışmada gösterilmiştir.

Qi vd., PFK'ların özellikle anizotropik ortamlarda tek boyutlu manyetize edilmiş periyodik diziliimli bir yapıda TMM kullanarak dış manyetik alan, çarpışma frekansı, dielektrik sabiti ve geliş açıları etkileri için iletim sonuçlarını incelemişlerdir [21]. İlerleyen yıllarda, aynı yazarlar PFK'ya kusurlu katmanlar ekleyerek plazma parametrelerinin ve diğer faktörlerin kusurlu modlar üzerindeki etkilerini açıklamıştır [22]. Sonuçlar, dielektrik kusur katmanının eklenmesiyle periyodik tekrarlamaya sayısı ve çarpışma frekansının sadece kusur modlarının iletim büyüklüğünü etkilediğini

göstermiştir. Fakat dış manyetik alan ve geliş açısının hem kusur modlarının iletim büyüklüğünü hem de kusur modlarının frekansını ve sayısını etkilediği vurgulanmıştır.

Awasthi ve Malaviya ikili ve üçlü periyodik dizilimleri incelemiş ve bu iki dizilimi karşılaştırmıştır [23]. İkili ve üçlü periyodik modellerin farklı bant aralığında çok yönlü iletim sağladığı gösterilmiştir. İkili yapılara, üçüncü katmanın eklenmesiyle periyodik yapıda yansımanın yüksek frekanslara doğru yükseldiği belirlenmiştir. Buna ek olarak, farklı dielektrik sabitli periyodik yapılar için frekans cevabının değiştiği gösterilmiştir. Eklenen katmanın çok ince olması durumunda etkinin minimum olduğu bulunmuştur.

Awasthi ve Ojha, tek boyutlu üçlü fotonik bant genişlikli kristal yapısında kontrol parametrelerinin uygun değerlerini seçerek elektromanyetik spektrumun tüm aralıklarında çalışabilen bir optik filtre tasarımı önermişlerdir [24]. Yapılan çalışmalar, üçlü yapıların ikili yapılarla karşılaştırıldığında ikili yapılara göre daha fazla bant aralığına izin verdiğine ve filtre tasarımında daha iyi bir kontrol sağladığını göstermiştir.

Banerjee'nin çalışması ise üçlü fotonik kristal yapıların sadece ayarlanabilir optik filtreler olmadığını, aynı zamanda ikili fotonik kristallere göre daha hassas yansıma ve iletim özellikleri olduğunu göstermiştir [25]. Üçlü yapının malzeme katmanlarındaki hafif kırılma indisi değişiminin iletimde büyük bir kaymaya neden olduğu gözlenmiştir. Üçlü periyodik yapının ikili periyodik yapıya göre kırılma değişikliklerine 21.875 kat daha duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Fiziksel olarak üçlü periyodik yapının aynı özellikleri daha ince kalınlıkla sağladığı gözlemlenmiş ve bu durumun bir avantaj olduğu söylenmiştir.

Wu vd. çalışması ise dielektrik-metal-dielektrik (üçlü periyodik) yapılar için yansıma özelliklerini teorik olarak incelemiştir [26]. Bu çalışmada, metal malzemenin plazma olduğu bir durumda normal elektromanyetik dalganın yanı sıra dik elektromanyetik dalganın da çok yönlü bandının daha geniş olduğu gözlenmiştir. Ayrıca metal gövdenin kalınlığının artırılarak tamamı dielektrik olan bir yapıya göre çok yönlü bant genişliğinin arttığı bulunmuştur.

Rahmani ve Rezaee'nin yaptığı çalışma, plazma-dielektrik-plazma ve dielektrik-plazma-dielektrik dizilimleri için TMM kullanarak iki ayrı yansıma ve soğurma

katsayılarının analizini gerçekleştirmiştir [27]. Elde edilen bu katsayıların, geliş açısı, çarpışma frekansı, plazma frekansı, plazma veya dielektrik katman kalınlığı, modelin periyodik sayısı ve dielektrik katmanın dielektrik sabiti gibi temel parametreler bakımından olan etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın bulgularına göre, geliş açısının artması, sadece yeni bant boşluklarının oluşmasına değil, aynı zamanda mevcut bant boşluklarının frekans uzayındaki genişliğinin artmasını sağlamıştır. Çarpışma frekansının artması, yansıma katsayısını azaltırken soğurma katsayısını artırmıştır. Plazma frekansı, plazma katmanı kalınlığı ve dielektrik katmanın dielektrik sabiti gibi faktörlerin artması, bant boşluklarının hem genişliğinde hem de sayısında bir artışa neden olmuştur. Bu sonuçlar, PFK tasarımında ve uygulamalarında özelleştirilebilir bir yaklaşımın olabileceğini göstermektedir.

Chien-Jang Wu vd. 2013 yılında yaptıkları çalışma ile PFK yapıları plazma ve dielektrik malzemeler ile farklı bir periyodik yapı ile dizerek çok kanallı bir iletim filtresi önerisinde bulunmuşlardır [28]. Bu çalışma ile PFK yapıların bir kusur modu eklemekten de çok kanallı bir filtre görevinde kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Çok katmanlı ince film yapıları, TMM yöntemiyle Mohammed'in 2019 yılında yaptığı çalışmada incelemiştir [29]. Camın üzerine ince altın bir film uygulanarak dielektrik yüklü yüzey için meydana gelen dalgaların iletim, yansıma ve soğurma özellikleri TMM yardımıyla incelenmiştir.

Dielektrik-plazma yerine süperiletken-dielektrik malzeme ikilisinin kullanıldığı Pandey ve Suthar'ın çalışmasında yine TMM kullanılarak plazma fotonik kristalin iletim karakteristikleri araştırılmıştır [30]. Burada plazmanın süperiletken olup dielektrik sabiti ϵ yerine kayıp parametresi olan σ 'nın frekansa bağlıdır. Böylece Ayrıca, sıcaklık etkisi hesaplamalara dahil edilerek PFK'nın daha gerçekçi ayarlanabilir bir filtre uygulamasına potansiyel sağladığı bulunmuştur.

Plazma ve dielektrik malzemelerin ikili ve üçlü yapılarla oluşturulan periyodik dizilimlerin yanı sıra fotonik kristal yapılar oluşturulurken Fibonacci, Thue-Morse gibi farklı dizilimlere sahip olan serilerle yapılan araştırmalar da literatürde yerini almıştır.

Wang vd., Fibonacci serisinin etkisiyle karıştırılan iki farklı üçlü periyodik model önermişlerdir [31]. Sadece karmaşık periyodik modellerle sınırlı kalmayarak, aynı zamanda THz bandındaki kusur katmanı için plazma ve dielektrik malzemelerini kullanarak bir yaklaşım yapmışlardır. Yüksek dielektrik sabitine sahip olan modelde, istenilen bant aralığındaki filtre performansında iyileşme elde edilmiştir. Her bir katmanın, plazma veya dielektrik, uzunluğunun bant boşluğu sayısı ve genişliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Özellikle plazma yoğunluğundaki hafif değişikliklerin bant boşluklarının kaymasına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, dış manyetik alanın düzenlenmesiyle özel bir frekans aralığında bant boşluğu oluşturarak etkili bir filtre elde edilmiştir. Bu nedenle, tasarlanan filtre belirli bir frekans aralığında iyi bir performans sergilemektedir.

Fibonacci dizisi kullanılarak tasarlanan bir model ile ilginç bir bant emici optik filtre yapısının oluşturulabileceği Gürel vd. tarafından yapılan çalışmada gösterilmiştir [32]. Bu çalışmada, kusurlu bir katmanın her iki tarafına Fibonacci serisinden türetilen bir yapı eklenerek, güçlü bir FBB elde edilmiştir.

Singh vd. çalışması, yarı periyodik Fibonacci yapılarının teorik analizini içermektedir [33]. Dört farklı Fibonacci dizisinin tekrarlanarak fotonik bir kristal oluşturulduğu bu çalışma, geniş bir yansımada elde etmek amacıyla negatif dielektrik katsayısına sahip malzemeleri içeren fotonik kristallerin tasarımını yine TMM kullanarak yapmıştır. Üstel yapıların da geniş bir yansımada sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Cantor dizisi kullanılarak oluşturulan fotonik kristal modellerini inceleyen King'in çalışması, kusurlu katmanın sağına ve soluna Cantor dizilimli yapıları ekleyerek gerçekleştirilmiştir [34]. Özellikle, Cantor dizilimi ile kalınlıkların en iyi şekilde ayarlanması sağlanmıştır. Sonuçlar, kusur modlarının yalnızca ışığın Cantor diziliminin sol ucundan verildiğinde oluştuğunu göstermektedir. Bunların yanı sıra, aynı özelliklere sahip TM ve TE dalgalarının farklı soğurma büyüklüklerine sahip oldukları tespit edilmiştir.

Thue-Morse modeliyle oluşturulan PFK yapılarını inceleyen çalışmalar bulunmaktadır. Özellikle Zang vd. tasarladığı yinelemeli Thue-Morse yapısı içeren PFK yapısı, yapısal ayarlamalarla bant genişliğini genişletebildiği gösterilmiştir [35], [36]. Sonuçlardan

plazma ve dielektrik katmanların kalınlıklarının artırılmasıyla bant genişliği genişletilebildiği görülmüştür. PFK yapısının iletim ve yansıma katsayılarının plazma yoğunluğuyla ayarlanabildiği bulunmuştur. Fakat, plazma çarpışma frekansının bant boşluklarına herhangi bir etkisinin olmadığı söylenmiştir. Ek olarak, Thue-Morse bant sayısının artmasıyla bant genişliğinin artmasının sınırlı olduğu gözlemlenmiştir.

PFK'lar, farklı yöntemler ile incelenerek optik filtreler ve diğer optik araçlarının tasarımında kullanılmaktadır. Bu çalışmaların temel hedefi, elektromanyetik dalgaların geniş bir frekans spektrumunda yansıma veya iletim özelliklerini arttırmaktır. Özellikle, periyodik yapılar, Fibonacci, Cantor ve Thue-Morse gibi farklı modellemeler üzerine yapılan çalışmalar, elektromanyetik dalgaların yansıma, iletim ve soğurma özelliklerini geliştirmeye yöneliktir.

FDTD ve FEM gibi nümerik yöntemler, fotonik kristal yapıların optik özelliklerini anlamak, tasarlamak ve optimize etmek için büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada, FDTD ve FEM yöntemleriyle yapılan araştırmaların PFK yapılarının davranışı üzerindeki etkilerini inceleyen bazı çalışmalar verilmiştir.

PFK yapılarının iki boyutta ve üç boyutta incelenmesi gerekliliğinin çözümünü araştırmacılar sonlu farklar zaman uzayı (FDTD) metodu ve sonlu elemanlar metodu (FEM) gibi nümerik yöntemleri kullanarak çözmüşlerdir. FDTD'nin güçlü bir iteratif nümerik yöntem olduğu bilinmektedir. Zaman veya frekans bağlı problemlerin diferansiyel denklemlerini zamanda ve konumda farklı türlerde (merkezi, geri, ileri vb.) sonlu farklar uygulaması ile alarak istenilen terim (örneğin elektrik alan veya manyetik alan) her zaman adımında ve konum adımında elde edilebilmektedir.

PFK için simplektik sonlu farklar zaman uzayı metodunun (SFDTD) kullanıldığı Liang ve arkadaşlarının çalışmasında iki boyutta ve üç boyutta PFK yapısının iletim karakteristiği elde edilmiştir [37]. Çalışmanın sonuçları iletişim, mikrodalga cihaz üretimi ve askeri hedef gizliliği için referans olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır.

FEM, kısmi diferansiyel denklemleri (yani bazı sınır değeri problemlerini) çözmek için genel bir sayısal yöntemdir [38]. Bir problemi çözmek için FEM, büyük bir sistemi sonlu elemanlar adı verilen daha küçük, daha basit parçalara ayırarak çözer. İki boyutlu bir

PFK için kare kafesli plazma ve itriyum-demir-granat çubukları farklı parametreler üzerinden FEM ile hesaplanarak incelenmiştir. TE ve TM polarizasyonları ayrı ayrı incelenerek dielektrik sabiti ve manyetik geçirgenlik parametreleri tensör biçiminde oluşturulmuştur. Bunlar kullanılarak bir PFK dalga klavuzu dizayn edilmiş ve dış manyetik alanın yönünü değiştirerek plazma özelliklerinin açılıp kapatılması sağlanmıştır. Böylece elektromanyetik dalgaların modülasyonu başarılmıştır.

Son yıllarda, PFK'ların, sensör teknolojilerine sağladığı çeşitli avantajlar dikkat çekmektedir. PFK temelli sensörler, yüksek hassasiyet, hızlı tepki süreleri ve geniş ölçüm aralığı gibi özelliklerle öne çıkmaktadır.

2011'de Hawkeye ve Brett tarafından yapılan çalışma, fotonik kristallerin yapısal özelliklerinden yararlanarak kolorimetrik algılamada yeni bir yaklaşım önermişlerdir [39]. Bu çalışma, özellikle nem ölçümlerinde kullanılan sensör teknolojilerindeki zorlukları azaltmak amacıyla yapılmıştır. Fotonik kristal yapısal renginden esinlenerek, bağıl nemdeki küçük değişikliklere duyarlı ve renk değişimine uğrayan yeni bir nem sensörü geliştirmişlerdir. Çalışmanın temel mantığı, fotonik kristallerden kaynaklanan optik özelliklerin kullanılmasıyla, nem seviyelerindeki değişikliklere karşı güçlü bir renk tepkisi oluşturabilen bir sensör geliştirmektir. Bu sensör, gözenekli bir fotonik kristale dayanarak, bağıl nemdeki küçük dalgalanmalara anında yanıt verebilecek ve renk değişimleri üretebilecek şekilde ayarlanmıştır.

Aly vd. kusur modu içeren periyodik bir PFK yapısının yansıma özelliklerini inceleyerek sensör uygulamasına örnek bir çalışma yapmışlardır [40]. Sayısal sonuçlar, plazma katmanının geçirgenliğinin manyetik alan yoğunluğundan güçlü bir şekilde etkilendiğini göstermektedir. Dolayısıyla tasarlanan yapı yüksek frekans bölgelerinde filtre ve sensör gibi birçok uygulamada kullanılabileceği belirtilmiştir.

Son yıllarda Wang vd. yayınladığı çalışmada PFK ile gaz algılaması için bir sensör uygulaması yapılmıştır [41]. Farklı türde ikili gazların tespit edilmesi bu sensör aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada gözlemlenen sonuçlara göre PFK'ların farklı türdeki ikili gazlara maruz kalması çok farklı tepkilere neden olmuştur. Gaz algılama olayı, FBB'lerin değişmesiyle tespit edilmiştir. Böylece fotonik kristallerin gaz algılaması için iyi bir sensör olduğu sonucuna varılmıştır.

Zaky vd. plazma hücre uygulaması için tek boyutlu fotonik kristallerin performansını teorik olarak incelemişlerdir [42]. Çalışmada, sensörün kusur katmanından sızan bir plazma hücresinin kırılma indesindeki değişikliği tespit edebileceği söylenmiştir. Farklı kırılma indislerine sahip kusur katmanını kullanarak rezonans tepe konumlarında bir değişiklik elde edilerek sensör uygulaması gerçekleştirilmiştir. Zaky vd. başka bir çalışmada yeni bir mıknatıslanmış soğuk plazma yapısı oluşturarak TMM ile hesaplamalar yapmıştır [43]. Bu yapı, sağ-el polarizasyonlu ve sol-el polarizasyonlu katmanlar için, uygulanan dış manyetik alanın sırasıyla pozitif ve negatif değerlerinin varlığı altında uygulanmasıdır. Yani, değişimli katmanlar için, bir katman negatif y yönünde manyetik alan altında mıknatıslanmış soğuk plazma, diğer katman ise pozitif y yönünde manyetik alan altında mıknatıslanmış soğuk plazma katmanı ile tasarlanmıştır. Çeşitli biyo-analitlerin kırılma indeksini tespit etmek için yeni mıknatıslanmış soğuk plazma bazlı fotonik kristal yapı detaylı incelenerek optimum hassasiyetteki bir sensör konfigürasyonu belirlenebilmiştir.

Sol-elli polarizasyona

Diğer bir sensör uygulaması olan çalışma metan konsantrasyon seviyelerini tespit etmeyi amaçlayan bir PFK yapısı önermiştir [44]. Kusurlu katmanına (bir kriptofan A boşluğu oluşturularak) sahip olan PFK yapısı dielektrik-plazma malzemeleri için hava ve silikon tercih edilerek model oluşturulmuştur. Silikonun kırılma indisi sıcaklığa bağlı olmakla beraber sıcaklığın metan konsantrasyonuna etkisi incelenerek kalite faktörü ve monoton olmayan bir duyarlılık davranışı belirlenebilmiştir.

1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışması kapsamında PFK'lar ile oluşturulan dizilimler modellenmiş ve bu modellerin elektromanyetik dalga davranışları incelenmiştir. PFK, plazma özelliği gösteren bir malzeme ve dielektrik malzeme ile oluşturulmuştur. Çok katmanlı yapıların analizinde sıkça kullanılan TMM kullanılmıştır. Bu yöntemde ana matematiksel modeli oluşturan transfer matris denkleminin elde edilmesi için literatürde bulunan bir çalışma temel alınmıştır. Bu çalışmada, 2013 yılında Chien-Jang Wu vd. [28] tarafından periyodik dizilim ile oluşturulmuş çok katmanlı yapı, bu yapıya uygun plazma parametreleri ve transfer matrisi tanımlanmıştır. Bu yapının periyodik dizilim tekrarı ve

elektron yoğunluğu artışı sayesinde çok kanallı bir filtre özelliği taşıdığı açıklanmıştır. Doğrulanmak üzere makale ile ilgili tüm detaylar Sonuçlar kısmında detaylı olarak anlatılacaktır.

Tez çalışmasında, matematiksel model ve MATLAB kodunu doğrulamak için öncelikle makalede gösterilen grafikler yeniden elde edilmiştir. Bu sayede çalıştırılan MATLAB kodunun ve matematiksel formüllerin doğruluğundan emin olunmuştur.

Tez kapsamında kullanılan plazma ortamı öncelikle makalede bulunan basit bir plazma ortamı olan soğuk, zayıf iyonlaşmış, homojen, manyetize olmayan, çarpışmalı olmayan kayıpsız ortam için incelenmiştir. Bu özelliği gösteren plazma türü için literatür çalışmasına ek olarak, bu çalışmada yer almayan kusur katmanı etkisi tez çalışmasında yerini almıştır. Kusur katmanının dielektrik sabiti, katman kalınlığı etkisi ve elektron yoğunluğu etkisi incelenmiştir. Bir sonraki bölümde ise daha karmaşık bir ortam olan soğuk, zayıf iyonlaşmış, manyetize, homojen, dış manyetik alan etkili ve çarpışmalı ortam incelenmiştir. Bu tür plazma için ise ek olarak dış manyetik alan ve çarpışma frekansı etkisi de incelenmiştir. Dış manyetik alan tüm incelemelerde paralel uygulandığından sağ-el polarizasyon kullanılmıştır. Tez çalışmasında, periyodik, Fibonacci, Thue-Morse ve Cantor dizilim olarak dört farklı seri için bahsedilen etkiler araştırılmıştır.

Bölüm 2- Formülasyon:

İlk olarak, plazma parametrelerine giriş yaparken, plazma yapılı malzemenin temel özellikleri ve karakteristikleri ele alınmıştır. Burada, plazma dielektrik sabiti formülünün nasıl ortaya çıktığı açıklanmıştır.

Çok katmanlı yapıların elektromanyetik özelliklerinin incelenmesi katmanlar arası geçişlerin ayrı ayrı incelenmesi oldukça zahmetli bir iştir. PFK yapıların incelenmesinde TMM kullanılmıştır. Bu yöntem, çok katmanlı yapıların incelenmesine kolaylık sağlayarak aşamalı bir biçimde yapıyı tek bir katman gibi indirgenmesine olanak tanır.

Bu tez çalışmasında, plazma yapılı malzeme, dielektrik malzeme ve yine dielektrik yapıdan oluşan bir kusur katmanının periyodik, Fibonacci, Thue-Morse ve Cantor dizilim kullanılarak incelenmesine odaklanılmıştır. Teori kısmında, bu araştırmalara hizmet

eden formülasyonlar açıklanmıştır. Elektromanyetik dalga denklemleri, Maxwell denklemleri kullanılarak türetilmiş ve bu denklemler, TMM ile dielektrik ve plazma içeren farklı katmanlar için transfer matris ifadeleri çıkarılmıştır ve bunların sonucunda iletim, yansıma ve soğurma denklemleri ile analizlere hizmet eden formüller elde edilmiştir.

Bölüm 3- Farklı Seri Tiplerine Göre Oluşturulan PFK Yapıları İçin Sonuçlar

Bu bölümde, basit ve kayıpsız bir plazma ortamında tez çalışmasında incelenmiş olan dizilim modellerinin kısa bir anlatımı bulunmaktadır. Periyodik modeller, belirli bir düzen veya tekrarın bulunduğu matematiksel yapılar olarak tanımlanabilmektedir. Diğer yandan, periyodik olmayan yapısal modeller olarak da Fibonacci, Thue-Morse ve Cantor dizilimi ele alınmıştır. Periyodik olmayan modeller, belirli bir düzen veya tekrarın bulunmadığı fakat bazı matematiksel modellere dayanarak sıralanan yapıları ifade etmektedir. Bu bölümde, tezde çalışmasında araştırılan periyodik dizilimler ile periyodik olmayan Fibonacci, Thue-Morse ve Cantor serilerinin matematiksel ifadeleri ve görsel örnekleri basitçe açıklanmıştır. Ayrıca, sonuçlar bölümünde, tüm bu dizilimlerin kusur katmanı dielektrik sabiti ve katman kalınlığı etkisi, elektron yoğunluğu etkisi incelenmiştir. Özellikle, yansıma ve iletim katsayıları gibi temel parametreler, çeşitli durumlar için incelenmiş ve TMM ile elde edilen veriler görsel olarak çizdirilmiştir. Bu grafiklerin güncel uygulama alanlarında nerelerde nasıl kullanılacağı hakkında yorumlar yapılmıştır. Bu, plazma ortamlarının ve ayarlanabilir PFK'ların kontrol edilebilirliği ve uygulanabilirliği açısından önemlidir.

Bölüm 4- Manyetize Edilmiş Soğuk Plazma Ortamlarında PFK Yapıları İçin Sonuçlar

Bu bölümde ise önceki bölümden farklı olarak bu kez manyetize edilmiş ve çarpışma frekansı olan, soğuk bir plazma incelenmiştir. Diğer bölümde araştırılan kusur katmanı dielektrik sabiti ve katman kalınlığı etkisi, elektron yoğunluğu etkisine ek olarak plazmanın çarpışma frekansı ve dış manyetik alan değerleri değiştiğinde sonuçların nasıl değişeceği açıklanmıştır. Bu bölümde yine TMM ile elde edilen yansıma, iletim ve soğurma katsayıları incelenmiştir. Plazmanın türüne bağlı olarak bu kez ortam kayıplı bir ortam olarak araştırıldığı için malzemenin soğurma özelliğine daha çok odaklanılmıştır. Soğurma özelliği için elverişli tasarımlar değerlendirilmiş ve bu dizilimlerin güncel uygulama alanları hakkında fikir üretilmiştir.

Bu tez, karmaşık model yapılarının oluşturulması ve bu yapıların iletim, yansıma ve soğurma grafiklerinin elde edilmesine odaklanmaktadır. Bu, iletilen sinyallerin filtrelenmesi veya özel uygulamalar için geniş bantlı iletimin sağlanması, çok kanallı filtrelerin tasarlanması gibi alanlarda kullanılabilir. Bu sayede, elektromanyetik dalgaların yansıma, iletim özelliklerinin kontrol edilmesi amaçlanmaktadır. Bu tasarımlar sayesinde PFK ile tasarlanan yapıların gelecekte tasarlanacak yapılara bir ışık tutması hedeflenmiştir.

Özet olarak, bu tez çalışması, elektromanyetik dalgaların davranışını incelemek amacıyla kullanılan çeşitli PFK içeren katmanlı dizilimlerin etkilerini araştırmaktadır. Bu çalışma, plazma fiziği, elektromanyetik ve diğer alanlarda yeni uygulamaların geliştirilmesine katkı sağlayabilmektedir.

2. FORMÜLASYON

2.1. Plazma Parametreleri

Plazma içerisinde dalga yayılmasını düşündüğünde plazma parametrelerini bulabilmek için plazma ortamını hesaba katarak karmaşık dielektrik sabit denkleminde ulaşılması gerekmektedir. Bunun için elektron sayısı yoğunluğu $\vec{n}(\vec{r}, t)$ ve ortalama elektron hızı $\vec{u}(\vec{r}, t)$ ifadeleri konum ve zamana bağlı tanımlanmalıdır. $\vec{n}$ ve $\vec{u}$ süreklilik denklemini

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \nabla \cdot (n\vec{u}) = 0 \quad (2-1)$$

sağlar ve elektronların hareket denklemini [45]

$$m_e \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} = q(\vec{E} + \vec{u} \times \vec{B}) - m_e \nu \vec{u} \quad (2-2)$$

ile verilmiştir (ν elektron etkinliği çarpışma frekansı). Burada m_e elektronun kütlesi ve $q = e$ olarak elektronun yüküdür. Dalga denklemini ($c^2 = 1/\epsilon_0\mu_0$)

$$\vec{k} \times (\vec{k} \times \vec{E}) + \frac{\omega^2}{c^2} \vec{E} = -\frac{j\omega en_e}{\epsilon_0 c^2} \vec{u} \quad (2-3)$$

şeklinde ulaşılır. n_e terimi elektron sayısı yoğunluğunun şiddetidir. $\vec{B}$ ile $\vec{k}$ arasındaki açıya θ denildiğinde ($\vec{B} = B_z \hat{z}$ varsayımı)

$$\vec{k} = k_x \hat{x} + k_z \hat{z} = k \sin(\theta) \hat{x} + k \cos(\theta) \hat{z} \quad (2-4)$$

yerine yazılarak

$$\vec{k} \times (\vec{k} \times \vec{E}) + \frac{\omega^2}{c^2} (E_x \hat{x} + E_y \hat{y} + E_z \hat{z}) = -\frac{j\omega en_e}{\epsilon_0 c^2} (u_x \hat{x} + u_y \hat{y} + u_z \hat{z}) \quad (2-5)$$

denkleminde x , y ve z bileşenleri taraf tarafa eşitlenirse, x , y ve z için sırasıyla (c^2/ω^2 ile çarpılarak)

$$\begin{aligned} \left(1 - \frac{k^2 c^2}{\omega^2} \cos^2(\theta)\right) E_x + \left(\frac{k^2 c^2}{\omega^2} \sin(\theta) \cos(\theta)\right) E_z &= \frac{-j\omega n_e}{\epsilon_0 \omega} u_x \\ -k^2 E_y + \frac{\omega^2}{c^2} E_y &= -\frac{j\omega en_e}{\epsilon_0 c^2} u_y \Rightarrow \left(1 - \frac{k^2 c^2}{\omega^2}\right) E_y = \frac{-j\omega n_e}{\epsilon_0 \omega} u_y \\ \left(\frac{k^2 c^2}{\omega^2} \sin(\theta) \cos(\theta)\right) E_x + \left(1 - \frac{k^2 c^2}{\omega^2} \sin^2(\theta)\right) E_z &= \frac{-j\omega n_e}{\epsilon_0 \omega} u_z \end{aligned} \quad (2-6)$$

bulunur. Bu denklem sistemi matris formuna dönüştürüldüğünde

$$\begin{bmatrix} 1 - \frac{k^2 c^2}{\omega^2} \cos^2(\theta) & 0 & \frac{k^2 c^2}{\omega^2} \sin(\theta) \cos(\theta) \\ 0 & 1 - \frac{k^2 c^2}{\omega^2} & 0 \\ \frac{k^2 c^2}{\omega^2} \sin(\theta) \cos(\theta) & 0 & 1 - \frac{k^2 c^2}{\omega^2} \sin^2(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} = \frac{-j e n_0}{\epsilon_0 \omega} \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{bmatrix} \quad (2-7)$$

ve $\eta = kc/\omega$ (kırılma indeksi) dönüşümü sonucu

$$\begin{bmatrix} 1 - \eta^2 \cos^2(\theta) & 0 & \eta^2 \sin(\theta) \cos(\theta) \\ 0 & 1 - \eta^2 & 0 \\ \eta^2 \sin(\theta) \cos(\theta) & 0 & 1 - \eta^2 \sin^2(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} = \frac{-j e n_0}{\epsilon_0 \omega} \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{bmatrix} \quad (2-8)$$

biçimini alır. Daha sonra $\vec{u} \times \vec{B} = B_0(u_y \hat{x} - u_x \hat{y})$ ile

$$\left(1 - j \frac{v}{\omega}\right) \vec{u} - \frac{j e}{m_e \omega} B_0(u_y \hat{x} - u_x \hat{y}) = \frac{j e}{m_e \omega} \vec{E} \quad (2-9)$$

denklemini bileşenlerine ayırıştırıp üç denklem-çözüm sistemine dönüştürülürse x bileşeni için

$$\left(1 - j \frac{v}{\omega}\right) u_x - \frac{j e}{m_e \omega} B_0 u_y = \frac{j e}{m_e \omega} E_x \quad (2-10)$$

$$\left(1 - j \frac{v}{\omega}\right) u_x - \frac{j \omega_c}{\omega} u_y = \frac{j e}{m_e \omega} E_x \quad (2-11)$$

olur. y bileşeni için

$$\left(1 - j \frac{v}{\omega}\right) u_y + \frac{j \omega_c}{\omega} u_x = \frac{j e}{m_e \omega} E_y \quad (2-12)$$

$$\frac{j \omega_c}{\omega} u_x + \left(1 - j \frac{v}{\omega}\right) u_y = \frac{j e}{m_e \omega} E_y \quad (2-13)$$

şeklinde bulunur. z bileşeni için

$$\left(1 - j \frac{v}{\omega}\right) u_z = \frac{j e}{m_e \omega} E_z \quad (2-14)$$

olur. Matris işlemlerinde kolaylık açısından

$$A = 1 - j \frac{v}{\omega} \quad , \quad B = \frac{\omega_c}{\omega} \quad , \quad C = \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \quad (2-15)$$

yazılmalıdır. Burada v elektron etkinliği çarpışma frekansı, $\omega_c = eB_0/m_e$ elektron siklotron frekansı (B_0 dış manyetik alan genliği) ve $\omega_p = \sqrt{n_e e^2 / (m_e \epsilon_0)}$ plazma frekansıdır. Bu denklemler için matris sistemi

$$\begin{bmatrix} A & -jB & 0 \\ jB & A & 0 \\ 0 & 0 & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{bmatrix} = \frac{je}{m_e \omega} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} \quad (2-16)$$

şeklindedir. u matrisini yalnız bırakmak için ters matris işlemi sonucu

$$\begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{bmatrix} = \frac{je}{m_e \omega (A^2 - B^2)} \begin{bmatrix} A^2 & jAB & 0 \\ -jAB & A^2 & 0 \\ 0 & 0 & (A^2 - B^2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} \quad (2-17)$$

elde edilir. Bulunan sistem ile

$$\frac{jen_e}{\epsilon_0 \omega} \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \eta^2 \cos^2(\theta) & 0 & \eta^2 \sin(\theta) \cos(\theta) \\ 0 & 1 - \eta^2 & 0 \\ \eta^2 \sin(\theta) \cos(\theta) & 0 & 1 - \eta^2 \sin^2(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} \quad (2-18)$$

sistemi birleştirilirse u matrisinin yok edildiği denklemler

$$\left(1 - \frac{AC}{A^2 - B^2} - \eta^2 \cos^2(\theta)\right) E_x + \frac{jBC}{A^2 - B^2} E_y + \eta^2 \sin(\theta) \cos(\theta) E_z = 0 \quad (2-19)$$

$$\frac{jBC}{A^2 - B^2} E_x + \left(1 - \frac{AC}{A^2 - B^2} - \eta^2\right) E_y = 0 \quad (2-20)$$

$$\eta^2 \sin(\theta) \cos(\theta) E_x + \left(1 - \frac{C}{A} - \eta^2 \sin^2(\theta)\right) E_z = 0 \quad (2-21)$$

ve sistemini matris biçiminde kolay yazabilmek için tekrar tanımlama yoluna gidilirse

$$K = 1 - \frac{AC}{A^2 - B^2}, \quad L = -\frac{BC}{A^2 - B^2}, \quad M = 1 - \frac{C}{A} \quad (2-22)$$

bu ifadelerle yeniden yazılabilir

$$\begin{bmatrix} K - \eta^2 \cos^2(\theta) & jL & \eta^2 \sin(\theta) \cos(\theta) \\ -jL & K - \eta^2 & 0 \\ \eta^2 \sin(\theta) \cos(\theta) & 0 & M - \eta^2 \sin^2(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} = 0 \quad (2-23)$$

elektrik alanın sıfır olması yerine katsayısının sıfır olması boş çözümün dışında bir çözüm verecektir ve böylece dispersiyon denkleminde ulaşılabilecektir. Matrisin determinantı alınırsa

$$(K \sin^2(\theta) + M \cos^2(\theta))\eta^4 - [(K^2 - L^2) \sin^2(\theta) + KM(1 + \cos^2(\theta))]\eta^2 + M(K^2 - L^2) = 0 \quad (2-24)$$

η 'ya göre dördüncü derece polinomunun η^2 'ya göre ikinci derece olarak düşünülürse iki çözümü bulunur. Bu çözümlerin kökleri alınırsa η elde edilebilir.

(2-24)'ü katsayıları a , b ve c olan η 'ya göre dördüncü dereceden polinom için

$$a\eta^4 - b\eta^2 + c = 0 \quad (2-25)$$

$$a = K \sin^2(\theta) + M \cos^2(\theta) \quad (2-26)$$

$$b = (K^2 - L^2) \sin^2(\theta) + KM(1 + \cos^2(\theta)) \quad (2-27)$$

$$c = M(K^2 - L^2) \quad (2-28)$$

ile η^2 'ye göre çözülürse

$$\eta^2 = \frac{1}{2a} \left(b \pm \sqrt{b^2 - 4ac} \right) \quad (2-29)$$

kökleri bulunur. Paydaları eşitleyip toplanırsa

$$\eta^2 = \varepsilon_p = 1 - \frac{2(a - b + c)}{2a - b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}} \quad (2-30)$$

elde edilir. $\eta^2 = \varepsilon_p$ ile plazma dielektrik fonksiyonu kolayca yazılabilir:

$$\varepsilon_p = 1 - \frac{\omega_p^2/\omega^2}{1 - j\frac{\nu}{\omega} - \frac{\frac{\omega_c^2}{\omega^2} \sin^2(\theta)}{2\left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} - \frac{j\nu}{\omega}\right)} \pm \sqrt{\frac{\frac{\omega_c^4}{\omega^4} \sin^4(\theta)}{4\left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} - \frac{j\nu}{\omega}\right)} + \frac{\omega_c^2}{\omega^2} \cos^2(\theta)}} \quad (2-31)$$

Bu denklemin özelliği plazmaya dalganın hangi açıyla (θ) girdiğinin bilgisini içermesidir. Bu denklem, ilk olarak Lassen tarafından 1927'de türetilmiştir. ε_p formülünü daha özel bir durum olarak $\theta = 0^\circ$ ve sağ el polarizasyonunda paralel uygulanan manyetik alan için yeniden düzenlersek [11]

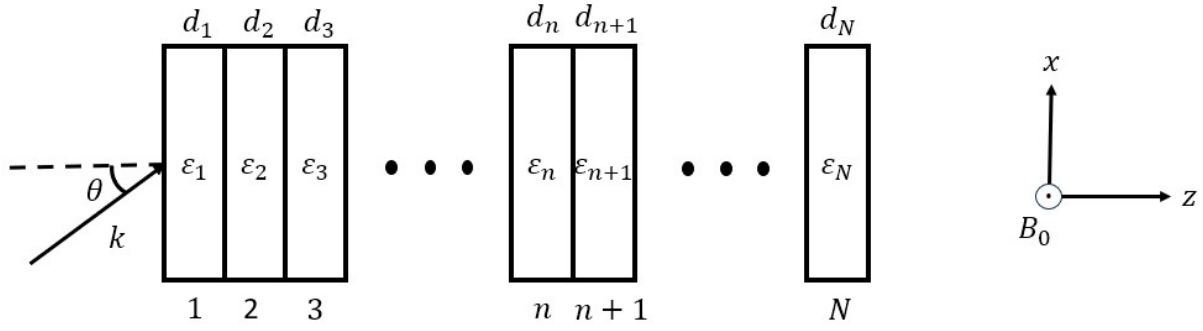
$$\varepsilon_p = 1 - \frac{\omega_p^2/\omega^2}{1 - j\frac{\nu}{\omega} - \frac{\omega_c}{\omega}} \quad (2-32)$$

olarak sade bir halde gösterilebilir. Dış manyetik alanın ($\omega_c = 0$) ve çarpışma frekansının ($\nu = 0$) olmadığı durumda ise

$$\varepsilon_p = 1 - \omega_p^2/\omega^2 \quad (2-33)$$

şeklinde en basit plazma biçimine dönüşmektedir.

2.2. Transfer Matrisi Metodu



Şekil 2.1. Genelleştirilmiş bir PFK'da elektromanyetik dalgası şematik görünümü

Maxwell denklemleri Şekil 2.1 kapsamında ve kayıpsız basit ortam için (frekans uzayında $\partial/\partial t = j\omega$) ve rastgele n numaralı bir dielektrik ortamı kapsamında $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_n$, $\mu = \mu_0$

$$\nabla \times \vec{E} = -j\omega\mu_0 \vec{H} \quad , \quad \nabla \times \vec{H} = j\omega\varepsilon_0 \varepsilon_n \vec{E} \quad (2-34)$$

şeklindedir.

TM polarizasyonu ($H_x = H_z = E_y = 0$, $H_y \neq 0$, $E_x \neq 0$ ve $E_z \neq 0$) için rotasyoneller alınır

$$\nabla \times \vec{E} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & 0 & E_z \end{vmatrix} = \left(\frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} \right) \hat{y} = -j\omega\mu_0 H_y \hat{y} \Rightarrow \frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} = j\omega\mu_0 H_y \quad (2-35)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & H_y & 0 \end{vmatrix} = -\frac{\partial H_y}{\partial z} \hat{x} + \frac{\partial H_y}{\partial x} \hat{z} = j\omega\varepsilon_0 \varepsilon_n \vec{E} \quad (2-36)$$

elde edilir. Burada $\hat{x}$ ve $\hat{y}$ bileşenlerinin eşleştirilmesiyle

$$\frac{\partial H_y}{\partial z} = -j\omega\varepsilon_0 \varepsilon_n E_x \quad , \quad \frac{\partial H_y}{\partial x} = j\omega\varepsilon_0 \varepsilon_n E_z \quad (2-37)$$

bulunur. z 'ye ve x 'e göre türevleri alınıp toplanırsa

$$\frac{\partial^2 H_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 H_y}{\partial x^2} = j\omega\varepsilon_0 \varepsilon_n \underbrace{\left(\frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} \right)}_{j\omega\mu_0 H_y} \quad (2-38)$$

yazılabilir ve

$$\frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} = j\omega\mu_0 H_y \quad (2-39)$$

olduğu bilinmektedir. Böylece $k_n = \omega^2 \varepsilon_0 \varepsilon_n \mu_0$ için

$$\frac{\partial^2 H_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 H_y}{\partial x^2} = j\omega\varepsilon_0\varepsilon_n \underbrace{\left(\frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} \right)}_{j\omega\mu_0 H_y} = -\omega^2 \varepsilon_0 \varepsilon_n \mu_0 H_y = -k_n^2 H_y \quad (2-40)$$

$$\frac{\partial^2 H_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 H_y}{\partial x^2} + k_n^2 H_y = 0 \quad (2-41)$$

kaynaksız Helmholtz denklemine ulaşılır. Kaynaksız Helmholtz denkleminin homojen çözümü n sınırında ($e^{j\omega t}$ kompleks notasyon değerlendirmesi ile)

$$H_y^n = (A_+ e^{jk_{nz}z} + A_- e^{-jk_{nz}z}) e^{jk_{nx}x} = H_{yt}^n + H_{yr}^{n+1'} \quad (2-42)$$

şeklindedir. $k_{nx} = k_n \sin(\theta_n)$ ve $k_{nz} = k_n \cos(\theta_n)$, k_n 'in x ve z yönündeki bileşenleridir. H_y^n transmision ve yansıma bileşenleri

$$H_{yt}^n = A_+ e^{jk_{nz}z} e^{jk_{nx}x}, \quad H_{yr}^{n+1'} = A_- e^{-jk_{nz}z} e^{jk_{nx}x} \quad (2-43)$$

şeklinde ikiye ayrılır. n ve $n+1$ sınırında E_x ve H_y (z yönüne dik alanlar) için süreklilik koşulları

$$E_x^n = E_{xt}^n + E_{xr}^{n+1'}, \quad H_y^n = H_{yt}^n + H_{yr}^{n+1'} \quad (2-44)$$

$$E_x^{n+1} = E_{xi}^{n+1} + E_{xr}^{n+1}, \quad H_y^{n+1} = H_{yi}^{n+1} + H_{yr}^{n+1} \quad (2-45)$$

bulunur. H_{yt}^n , E_{xt}^n ve $H_{yr}^{n+1'}$, $E_{xr}^{n+1'}$; H_{yi}^{n+1} , E_{xi}^{n+1} ve H_{yr}^{n+1} , E_{xr}^{n+1} 'den d_n kadar uzakta birbirlerine zıt yönlerde olduklarından

$$\begin{bmatrix} H_{yi}^{n+1} \\ H_{yr}^{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{jk_{nz}d_n} & 0 \\ 0 & e^{-jk_{nz}d_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_{yt}^n \\ H_{yr}^{n+1'} \end{bmatrix} \quad (2-46)$$

sistemi yazılabilir. Bu sistem çözülürse

$$H_{yt}^{n+1} = e^{jk_{nz}d_n} H_{yt}^n, \quad H_{yr}^{n+1} = e^{-jk_{nz}d_n} H_{yr}^{n+1'} \quad (2-47)$$

$$H_y^{n+1} = e^{jk_{nz}d_n} H_{yt}^n + e^{-jk_{nz}d_n} H_{yr}^{n+1'} \quad (2-48)$$

$$H_y^{n+1} = (A_+ e^{jk_{nz}d_n} e^{jk_{nz}z} + A_- e^{-jk_{nz}d_n} e^{-jk_{nz}z}) e^{jk_{nx}x} \quad (2-49)$$

bulunur. Bir sonraki önemli adım, E_x bileşeninin H_y cinsinden ifade edilmesidir. Bunun için

$$\frac{\partial H_y}{\partial z} = -j\omega\varepsilon_0\varepsilon_n E_x \Rightarrow E_x = -\frac{1}{j\omega\varepsilon_0\varepsilon_n} \frac{\partial H_y}{\partial z} \quad (2-50)$$

olur. Burada E_x^n ve E_x^{n+1} için

$$E_x^n = -\frac{1}{j\omega\varepsilon_0\varepsilon_n} \frac{\partial H_y^n}{\partial z}, \quad E_x^{n+1} = -\frac{1}{j\omega\varepsilon_0\varepsilon_n} \frac{\partial H_y^{n+1}}{\partial z} \quad (2-51)$$

denklemleri kullanılarak, ilk E_x^n için H_y^n 'nin z 'ye göre türevi

$$\frac{\partial H_y^n}{\partial z} = (A_+ jk_{nz} e^{jk_{nz}z} - A_- jk_{nz} e^{-jk_{nz}z}) e^{jk_{nx}x} \quad (2-52)$$

$$E_x^n = -\frac{1}{j\omega\varepsilon_0\varepsilon_n} \frac{\partial H_y^n}{\partial z} = -\frac{k_{nz}}{\omega\varepsilon_0\varepsilon_n} (A_+ e^{jk_{nz}z} - A_- e^{-jk_{nz}z}) e^{jk_{nx}x} \quad (2-53)$$

ve E_x^{n+1} için H_y^{n+1} 'nin z 'ye göre türevi

$$\frac{\partial H_y^{n+1}}{\partial z} = (A_+ jk_{nz} e^{jk_{nz}d_n} e^{jk_{nz}z} - A_- jk_{nz} e^{-jk_{nz}d_n} e^{-jk_{nz}z}) e^{jk_{nx}x} \quad (2-54)$$

$$E_x^{n+1} = -\frac{1}{j\omega\varepsilon_0\varepsilon_n} \frac{\partial H_y^{n+1}}{\partial z} = -\frac{k_{nz}}{\omega\varepsilon_0\varepsilon_n} (A_+ e^{jk_{nz}d_n} e^{jk_{nz}z} - A_- e^{-jk_{nz}d_n} e^{-jk_{nz}z}) e^{jk_{nx}x} \quad (2-55)$$

olarak elde edilir. n sınırında ve $n + 1$ sınırında bulunan elektrik ve manyetik alanlar arasındaki ilişki

$$\begin{bmatrix} E_x^n \\ H_y^n \end{bmatrix} = [M_n] \begin{bmatrix} E_x^{n+1} \\ H_y^{n+1} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} E_{xt}^n + E_{xr}^{n+1'} \\ H_{yt}^n + H_{yr}^{n+1'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{n11} & m_{n12} \\ m_{n21} & m_{n22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{xi}^{n+1} + E_{xr}^{n+1} \\ H_{yi}^{n+1} + H_{yr}^{n+1} \end{bmatrix} \quad (2-56)$$

sistemi ile verilebilir. Bu sistemdeki bileşenler bilindiğine göre $[M_n]$ bulunabilir. Bileşenler yerine yazıldığında sistem

$$\begin{bmatrix} -\frac{k_{nz}}{\omega\varepsilon_0\varepsilon_n} (A_+ e^{jk_{nz}z} - A_- e^{-jk_{nz}z}) e^{jk_{nx}x} \\ (A_+ e^{jk_{nz}z} + A_- e^{-jk_{nz}z}) e^{jk_{nx}x} \end{bmatrix} \quad (2-57)$$

$$= \begin{bmatrix} m_{n11} & m_{n12} \\ m_{n21} & m_{n22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\frac{k_{nz}}{\omega\varepsilon_0\varepsilon_n} (A_+ e^{jk_{nz}d_n} e^{jk_{nz}z} - A_- e^{-jk_{nz}d_n} e^{-jk_{nz}z}) e^{jk_{nx}x} \\ (A_+ e^{jk_{nz}d_n} e^{jk_{nz}z} + A_- e^{-jk_{nz}d_n} e^{-jk_{nz}z}) e^{jk_{nx}x} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -\frac{k_{nz}}{\omega\varepsilon_0\varepsilon_n} (A_+ e^{jk_{nz}z} - A_- e^{-jk_{nz}z}) \\ A_+ e^{jk_{nz}z} + A_- e^{-jk_{nz}z} \end{bmatrix} \quad (2-58)$$

$$= \begin{bmatrix} m_{n11} & m_{n12} \\ m_{n21} & m_{n22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\frac{k_{nz}}{\omega\varepsilon_0\varepsilon_n} (A_+ e^{jk_{nz}d_n} e^{jk_{nz}z} - A_- e^{-jk_{nz}d_n} e^{-jk_{nz}z}) \\ A_+ e^{jk_{nz}d_n} e^{jk_{nz}z} + A_- e^{-jk_{nz}d_n} e^{-jk_{nz}z} \end{bmatrix}$$

biçimini alır. Bu adımda matris sistemi $[A_+ \ A_-]^T$ bileşeni için şekillendirildiğinde

$$\begin{bmatrix} -\frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{jk_{nz}z} & \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{-jk_{nz}z} \\ e^{jk_{nz}z} & e^{-jk_{nz}z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_+ \\ A_- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{n11} & m_{n12} \\ m_{n21} & m_{n22} \end{bmatrix} \quad (2-59)$$

$$\times \begin{bmatrix} -\frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{jk_{nz}d_n} e^{jk_{nz}z} & \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{-jk_{nz}d_n} e^{-jk_{nz}z} \\ e^{jk_{nz}d_n} e^{jk_{nz}z} & e^{-jk_{nz}d_n} e^{-jk_{nz}z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_+ \\ A_- \end{bmatrix}$$

bulunur. Sol tarafın katsayısını

$$\begin{bmatrix} -\frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{jk_{nz}z} & \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{-jk_{nz}z} \\ e^{jk_{nz}z} & e^{-jk_{nz}z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m'_{n11} & m'_{n12} \\ m'_{n21} & m'_{n22} \end{bmatrix} \quad (2-60)$$

şeklinde bir matris gibi düşünüldüğünde

$$\begin{bmatrix} m_{n11} & m_{n12} \\ m_{n21} & m_{n22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -\frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{jk_{nz}d_n} e^{jk_{nz}z} & \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{-jk_{nz}d_n} e^{-jk_{nz}z} \\ e^{jk_{nz}d_n} e^{jk_{nz}z} & e^{-jk_{nz}d_n} e^{-jk_{nz}z} \end{bmatrix} \quad (2-61)$$

ile $[A_+ \ A_-]^T$ 'nin katsayıları kapsamında eşit olmalıdır. Böylece,

$$m'_{n11} = -m_{n11} \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{jk_{nz}d_n} e^{jk_{nz}z} + m_{n12} e^{jk_{nz}d_n} e^{jk_{nz}z} = -\frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{jk_{nz}z} \quad (2-62)$$

$$m'_{n12} = m_{n11} \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{-jk_{nz}d_n} e^{-jk_{nz}z} + m_{n12} e^{-jk_{nz}d_n} e^{-jk_{nz}z} = \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{-jk_{nz}z} \quad (2-63)$$

$$m'_{n21} = -m_{n21} \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{jk_{nz}d_n} e^{jk_{nz}z} + m_{n22} e^{jk_{nz}d_n} e^{jk_{nz}z} = e^{jk_{nz}z} \quad (2-64)$$

$$m'_{n22} = m_{n21} \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{-jk_{nz}d_n} e^{-jk_{nz}z} + m_{n22} e^{-jk_{nz}d_n} e^{-jk_{nz}z} = e^{-jk_{nz}z} \quad (2-65)$$

dört adet denklem ve dört adet bilinmeyenle bu sistem çözülebilir. m'_{n11} ve m'_{n12} için

$$-m_{n11} \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{jk_{nz}d_n} + m_{n12} e^{jk_{nz}d_n} = -\frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} \quad (2-66)$$

$$m_{n11} \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{-jk_{nz}d_n} + m_{n12} e^{-jk_{nz}d_n} = \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} \quad (2-67)$$

yukarıdaki ikinci denklemin $-e^{2jk_{nz}d_n}$ ile çarpılarak

$$-m_{n11} \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{jk_{nz}d_n} + m_{n12} e^{jk_{nz}d_n} = -\frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} \quad (2-68)$$

$$-m_{n11} \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{jk_{nz}d_n} - m_{n12} e^{jk_{nz}d_n} = -\frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{2jk_{nz}d_n} \quad (2-69)$$

ve birinci denklem ile toplanmasıyla

$$-m_{n11} 2 \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{jk_{nz}d_n} = -\frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} (e^{2jk_{nz}d_n} + 1) \quad (2-70)$$

bulunur. Her iki tarafın $e^{-jk_{nz}d_n}$ ile çarpımı

$$m_{n11} = (e^{jk_{nz}d_n} + e^{-jk_{nz}d_n})/2 \Rightarrow m_{n11} = \cos(k_{nz}d_n) \quad (2-71)$$

elde edilir.

$$-m_{n11} \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{jk_{nz}d_n} + m_{n12} e^{jk_{nz}d_n} = -\frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} \quad (2-72)$$

denkleminde m_{n11} yerine konulduğunda

$$-\frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} \cos(k_{nz}d_n) + m_{n12} = -\frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{-jk_{nz}d_n} \quad (2-73)$$

$$\begin{aligned} m_{n12} &= -\frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{-jk_{nz}d_n} + \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} \cos(k_{nz}d_n) \Rightarrow m_{n12} \\ &= \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} (\cos(k_{nz}d_n) - e^{-jk_{nz}d_n}) \end{aligned} \quad (2-74)$$

$e^{-jk_{nz}d_n} = \cos(k_{nz}d_n) - j \sin(k_{nz}d_n)$ için

$$\begin{aligned} m_{n12} &= \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} (\cos(k_{nz}d_n) - \cos(k_{nz}d_n) + j \sin(k_{nz}d_n)) \Rightarrow m_{n12} \\ &= j \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} \sin(k_{nz}d_n) \end{aligned} \quad (2-75)$$

bulunur. m'_{n21} ve m'_{n22} için

$$m'_{n21} = -m_{n21} \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{jk_{nz}d_n} + m_{n22} e^{jk_{nz}d_n} = 1 \quad (2-76)$$

$$m'_{n22} = m_{n21} \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{-jk_{nz}d_n} + m_{n22} e^{-jk_{nz}d_n} = 1 \quad (2-77)$$

ikinci denklem $-e^{2jk_{nz}d_n}$ ile çarpılarak

$$-m_{n21} \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{jk_{nz}d_n} + m_{n22} e^{jk_{nz}d_n} = 1 \quad (2-78)$$

$$-m_{n21} \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{jk_{nz}d_n} - m_{n22} e^{jk_{nz}d_n} = -e^{2jk_{nz}d_n} \quad (2-79)$$

birinci denklem ile toplanmasıyla

$$-m_{n21} 2 \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{jk_{nz}d_n} = 1 - e^{2jk_{nz}d_n} \quad (2-80)$$

$$m_{n21} = \frac{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n}{k_{nz}} \frac{e^{jk_{nz}d_n} - e^{-jk_{nz}d_n}}{2} \Rightarrow m_{n21} = \frac{j \omega \varepsilon_0 \varepsilon_n}{k_{nz}} \sin(k_{nz}d_n) \quad (2-81)$$

elde edilir.

$$-m_{n21} \frac{k_{nz}}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n} e^{jk_{nz}d_n} + m_{n22} e^{jk_{nz}d_n} = 1 \quad (2-82)$$

denkleminde m_{n21} yerine yazılırsa

$$m_{n22} = e^{-jk_{nz}d_n} + j \sin(k_{nz}d_n) \quad (2-83)$$

$e^{-jk_{nz}d_n} = \cos(k_{nz}d_n) - j \sin(k_{nz}d_n)$ için

$$m_{n22} = \cos(k_{nz}d_n) - j \sin(k_{nz}d_n) + j \sin(k_{nz}d_n) \Rightarrow m_{n22} = \cos(k_{nz}d_n) \quad (2-84)$$

bulunur. Böylece n 'inci katmanın transfer matrisi M_n , $\eta_n = k_{nz}/\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n$ için

$$M_n = \begin{bmatrix} \cos(k_{nz}d_n) & -\frac{j}{\eta_n} \sin(k_{nz}d_n) \\ -j\eta_n \sin(k_{nz}d_n) & \cos(k_{nz}d_n) \end{bmatrix} \quad (2-85)$$

olarak bulunur.

2.3. Plazmada Yansıma, İletim ve Soğurma

Şekil 2.1'deki gibi plazma içeren elektromanyetik bir yapının toplam transfer matrisi bütün katmanların transfer matrislerinin çarpılmasıyla bulunur. Böylece toplam transfer matrisi M

$$M = \prod_{n=1}^N M_n = \prod_{n=1}^N \begin{bmatrix} \cos(k_{nz}d_n) & -\frac{j}{\eta_n} \sin(k_{nz}d_n) \\ -j\eta_n \sin(k_{nz}d_n) & \cos(k_{nz}d_n) \end{bmatrix} \quad (2-86)$$

ile genelleştirilmiş durumda yazılır. Çarpımların sonucu

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix} \quad (2-87)$$

şeklinde olduğu kabul edilirse

$$r = \frac{m_{11}\eta_i + m_{12}\eta_i\eta_o - m_{21} - m_{22}\eta_o}{m_{11}\eta_i + m_{12}\eta_i\eta_o + m_{21} + m_{22}\eta_o} \quad (2-88)$$

$$t = \frac{2\eta_i}{m_{11}\eta_i + m_{12}\eta_i\eta_o + m_{21} + m_{22}\eta_o} \quad (2-89)$$

için η_i giriş kırılma indisi ve η_o çıkış kırılma indisi [27]. Yansıma katsayısı R , iletim katsayısı T ve soğurma katsayısı A şu şekilde ifade edilir:

$$R = |r|^2, \quad T = \begin{cases} |t|^2, & TE \text{ modu} \\ \frac{\eta_i}{\eta_o} |t|^2, & TM \text{ modu} \end{cases}, \quad A = 1 - R - T. \quad (2-90)$$

3. FARKLI SERİ TİPLERİNE GÖRE TASARLANMIŞ BASİT PFK YAPILARI İÇİN SONUÇLAR

Bu tez çalışmasının bu bölümünde, plazma özelliği gösteren fotonik kristal yapıların dielektrik bir malzeme yapısı ile bir araya getirilmesi ve bu yapının farklı sayı dizileri ile incelemeleri üzerine odaklanılmıştır. Amaç, bu farklı yapıların elektromanyetik dalgalarla etkileşimini, iletim ve yansıma özelliklerini incelemektir. Ayrıca, tasarlanan malzeme yapılarında farklı dizilimlerin oluşturulmasıyla gelecekteki araştırmalara katkı sağlanması hedeflenmektedir.

Tez kapsamında sonuçların incelenmesi için çok katmanlı PFK yapılarında yaygın olarak kullanılan TMM ve MATLAB programı kullanılmıştır. Bu araçlar, PFK yapılarındaki elektromanyetik dalga etkileşimlerini ayrıntılı bir şekilde incelemek amacıyla kullanılmıştır.

Çalışmanın temel odak noktası, aşağıda belirtilen farklı dizilim türlerinin elektromanyetik dalga etkileşimi açısından nasıl etkiler yarattığını anlamaktır. Yapılan tasarımların kontrollerini sağlamak açısından öncelikle literatürde araştırılmış olan bir makale [28] formülasyon ve MATLAB kodu olarak yeniden doğrulanmıştır. Bu makalenin doğrulanması ile teorik yöntemin kontrolü sağlanmıştır. Bu makaleden yola çıkılarak farklı gelişmelerle tez desteklenmiştir.

Makalede yalnızca periyodik bir dizilim içeren yapının iletim grafikleri incelenmiştir. Bu yapıya ek olarak bu tez çalışmasında kusur katmanı eklenerek tasarım güncellenmiştir. Bu çalışmada katman tasarımında

- Periyodik dizilim
- Fibonacci serisi ile dizilim
- Thue-Morse serisi ile dizilim
- Cantor serisi ile dizilim

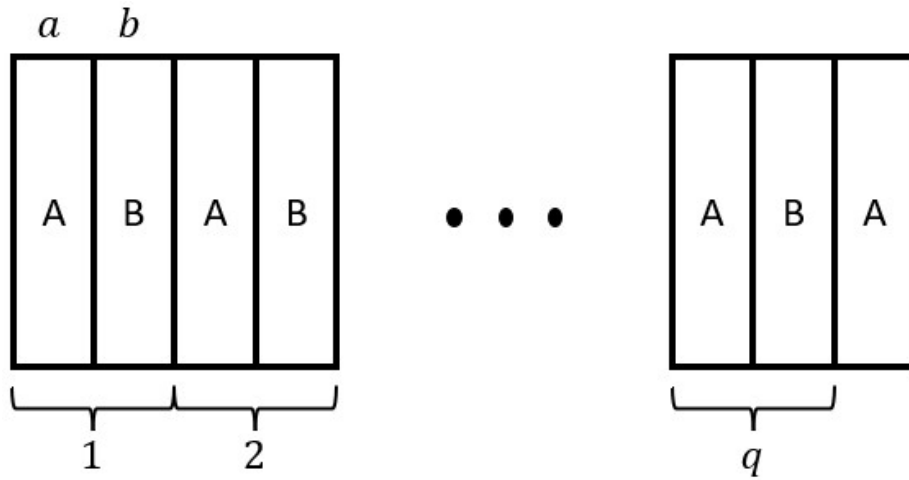
kullanılmıştır.

Çalışılan her bir dizilim türü için aşağıda belirtilen etkiler ayrıntılı bir şekilde araştırılmıştır:

1. Kusur Katman Kalınlığının Etkisi: Kusur katmanlarının kalınlığının elektromanyetik dalgalarla etkileşim üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir.
2. Kusur Katmanı Dielektrik Sabiti Etkisi: Kusur katmanlarının dielektrik sabiti, elektromanyetik dalgaların bu katmanlarla etkileşiminin nasıl olduğu üzerine ayrıntılı bir çalışma yapılmıştır.
3. Elektron Yoğunluğunun Etkisi: Plazma özelliği gösteren malzeme için elektron yoğunluğunun etkilerinin elektromanyetik dalga üzerinde gösterdiği etkiler incelenmiştir.

3.1. Literatürde Bulunan Makalenin Doğrulanmasına Ait Sonuçlar

Tezin bu bölümünde, literatürde araştırılan makaleler içerisinde seçilen bir tanesi doğrulanmıştır. Bu sayede, kullanılan formülasyon ve MATLAB kodunun doğruluğu teyit edilmiştir [28].



Şekil 3.1. Doğrulananan makaledeki periyodik PFK yapısı

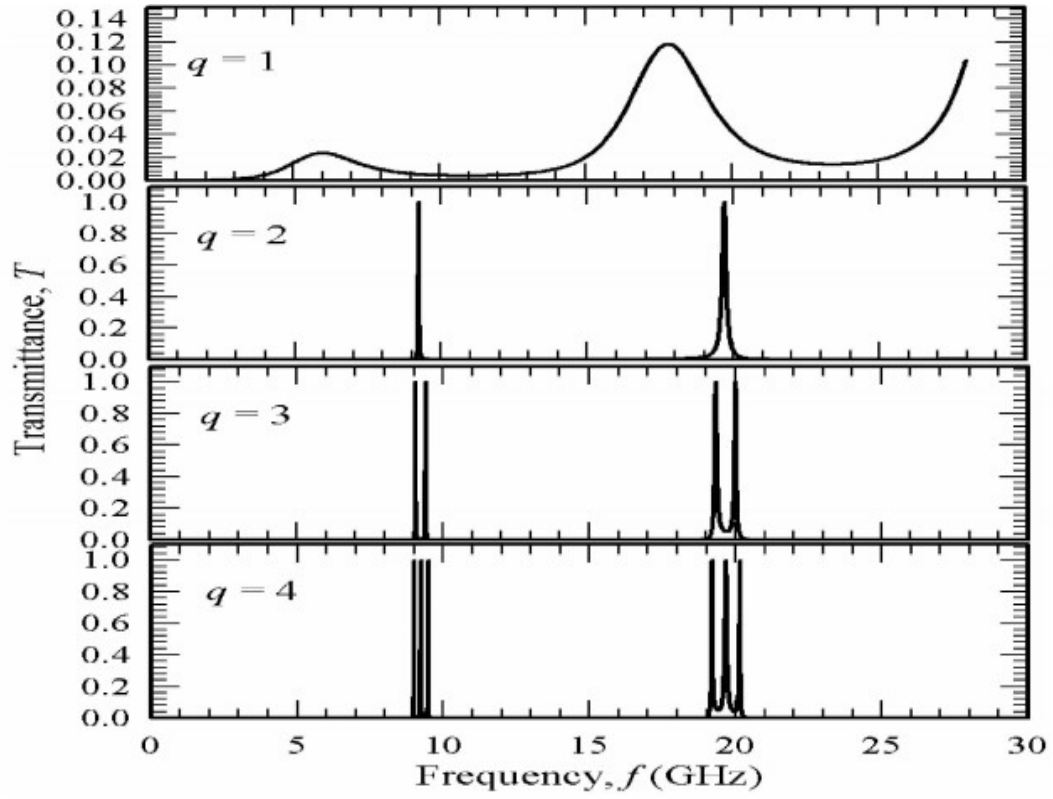
Makalede, çok kanallı bir filtre oluşturmak için plazma fotonik kristal yapısı içeren bir periyodik dizilim tasarlanmıştır. Şekil 3.1’de gösterilmiş olan AB^qA ile sembolize edilen dizilim kullanılmıştır. A ile belirtilen malzeme dielektrik malzemeden oluşan, B ile

gösterilen malzeme ise plazma özelliği gösteren katman olup, q ifadesi periyodik AB malzemesi için tekrar sayısını ifade etmektedir.

Tasarımın oluşturulduğu ortam hava içerisine gömülü bir yapı olup kayıpsız ortam için hesaplamalar yapılmıştır. Malzemeye etki eden bir dış manyetik alan yoktur, çarpışma frekansları ise sıfır ve elektromanyetik dalganın geliş açısı $\theta = 0^\circ$ 'dir. Bütün bu koşullar göz önüne alınarak B ile belirtilen plazma yapılı malzemenin bağıl geçirgenlik ifadesi (2-33)'de belirtildiği gibi alınmıştır.

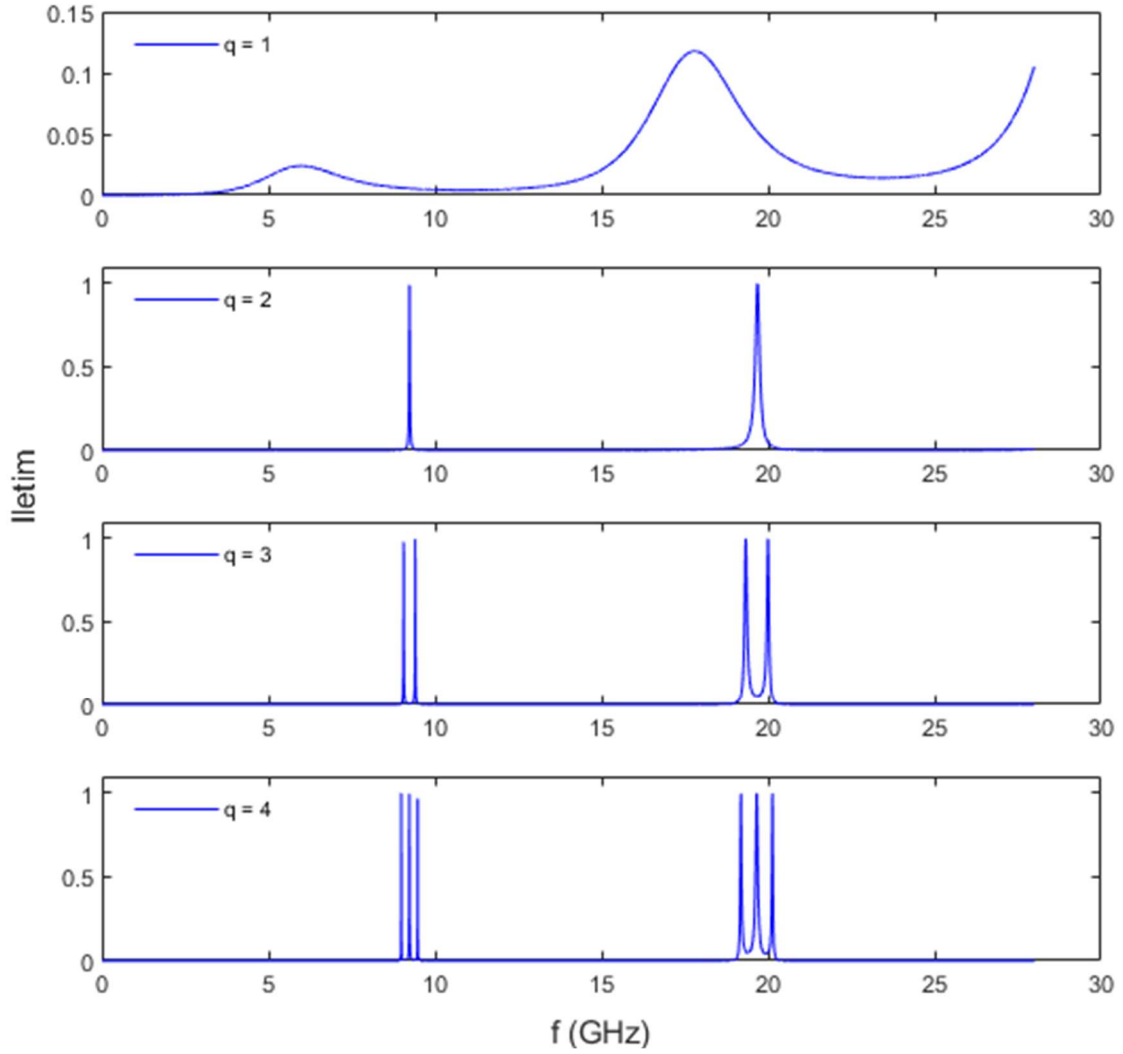
Dielektrik malzemeyi tanımlayan A malzemesinin karmaşık dielektrik sabiti 4'tür ($\epsilon_a = 4$). B katmanında bulunan plazma için ise elektron yoğunluğu $N = 1.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$, elektron yükü $e = 1.6021 \times 10^{-19} \text{ C}$, elektron ağırlığı $m = 9.1093 \times 10^{-31} \text{ g}$ olarak alınmış ve plazma frekansı $f_p = 28.367 \text{ GHz}$ 'dir.

A katmanının kalınlığı $a = 5 \text{ mm}$, B katmanının kalınlığı $b = 5 \text{ mm}$ olarak belirlenmiştir. Makalede, yukarıda belirtilen değerler kullanılarak periyodik tekrar sayısı $q = 1,2,3,4$ için iletim grafikleri elde edilmiştir. Şekil 3.2'de makalenin bu sonuçlarına ait ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.2. Makaleden alınan $q = 1,2,3,4$ değerleri için iletim spektrumlarının ekran görüntüsü [28]

Makalede verilen tüm değerler kullanılarak TMM ile matematiksel model olarak çıkarılmıştır. Bu sonuçlara göre oluşturan MATLAB kodu ile aynı grafik yeniden elde edilerek tez için kullanılan yöntem doğrulanmıştır. Bu doğrulamaya ait grafik Şekil 3.3'te verilmiştir. Karşılaştırma yapıldığında doğrulanan makaleye ait ekran görüntüsü ile birebir aynı sonuçların elde edildiği görülmüştür.

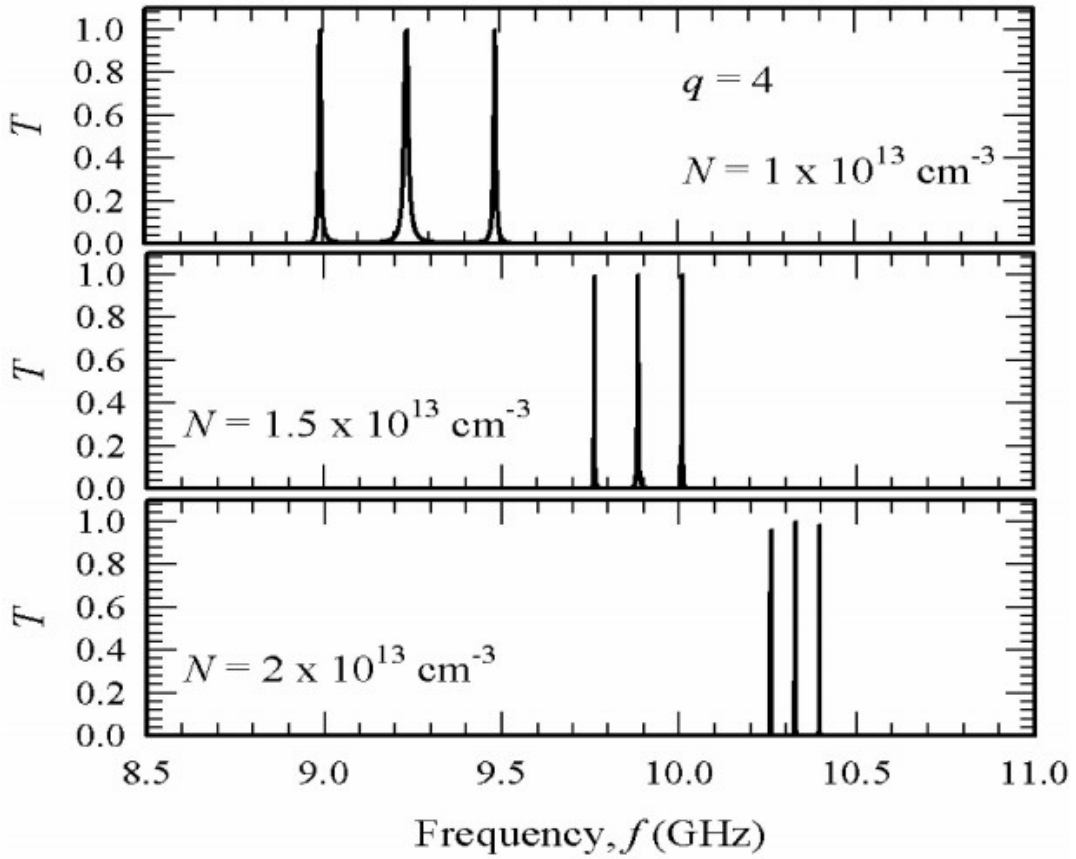


Şekil 3.3. AB^qA yapısal modelinin $q = 1, 2, 3$ ve 4 değerlerinde iletim spektrumunun doğrulama grafiği

Grafikteki sonuçlara bakıldığında $q = 1$ için özellikle 15 GHz bandına gelene kadar büyük oranda yansıma olduğu görülmektedir. Burada plazma katmanı yalnızca bir tane bulunmaktadır. Bu dizilimde plazma frekansının altındaki değerlerde tıpkı kesim frekansının altında sönümlenen bir dalga gibi iletimi oldukça azdır. Plazma katmanının sayısının daha fazla olduğu $q = 2, 3, 4$ dizilimleri için ise plazma katmanlarının aralarında oluşturduğu rezonans tünellemesi olarak bilinen iletim tepeleri arasındaki bağlantı nedeniyle pikler oluşur. Bu sebeple $q - 1$ kadar kanal meydana gelecektir.

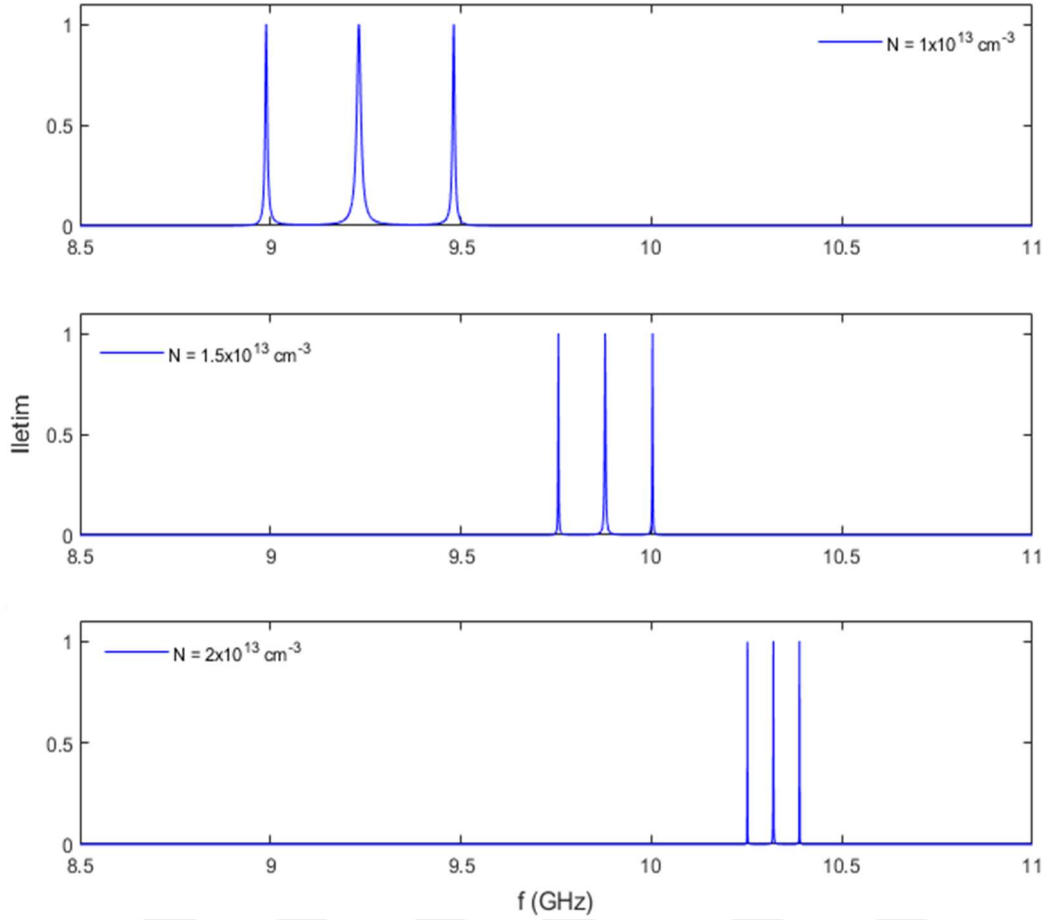
Periyodik dizilimdeki tekrar sayılarının artması aynı frekans bantları 9-20 GHz civarında kanal sayısının artmasına neden olur. Bu da çok kanallı bir filtre tasarımı için oldukça elverişli bir özelliktir.

Makalede araştırılan bir diğer konu ise elektron yoğunluğunun iletim spektrumlarına etkisi olmuştur. Farklı yoğunluk değerlerinin iletim spektrumlarındaki tepelere ve kanal sayılarına etkileri incelenmiştir. Bu sonuçların makaleden alınan ekran görüntüleri Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. $q = 4$ değerindeki doğrulanan yapısal modelin farklı elektron plazma yoğunlukları için iletim spektrumunun ekran görüntüsü [28]

Şekil 3.3'teki doğrulanan değerler yinelenerek yalnızca elektron yoğunluğu farklı değerler için alınan grafikler makaledekiyle birebir aynı olarak doğrulanmıştır. Bu tez çalışmasında verilen doğrulama sonuçlarına ait grafik Şekil 3.5'de verilmiştir.

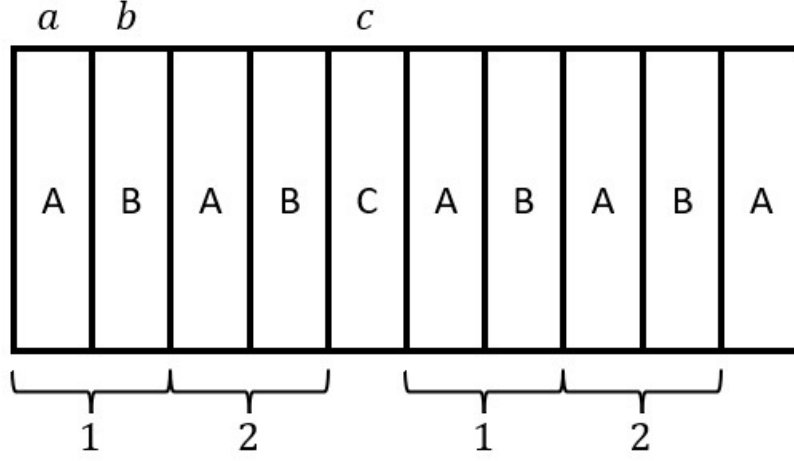


Şekil 3.5. $q = 4$ değerindeki doğrulanmış yapısal modelin farklı elektron plazma yoğunlukları için iletim spektrumu

Bu araştırmada tekrar sayısı $q = 4$ için, elektron yoğunluğu $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} , $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ olarak üç farklı değer için araştırılmıştır. İletim spektrumlarının pozisyonlarına bakıldığında elektron yoğunluğunun artışı tepelerin her birinin daha yüksek frekanslara kaymasına sebep olmuştur. Aynı zamanda yüksek yoğunluklarda tepelerin birbirine daha yakın olduğu iki tepe arası daha dar bir bant olduğu görülmüştür. Bu sonuç da tasarlanan filtrenin kullanım alanına göre ayarlanabilir olmasına katkı sağlayan bir özellik olarak ortaya çıkmaktadır.

3.2. Periyodik Dizilime Göre Oluşturulan PFK Yapıları İçin Sonuçlar

Tezin bu bölümünden itibaren doğrulanmış makaleden [28] yola çıkılarak farklı tasarım örnekleri üzerinde çalışılmıştır. Bu bölümde periyodik dizilim ve makalede belirtilen tüm parametreler aynı alınmıştır. Makaledeki tasarıma bir kusur katmanı eklenip çalışmaya devam edilmiştir.

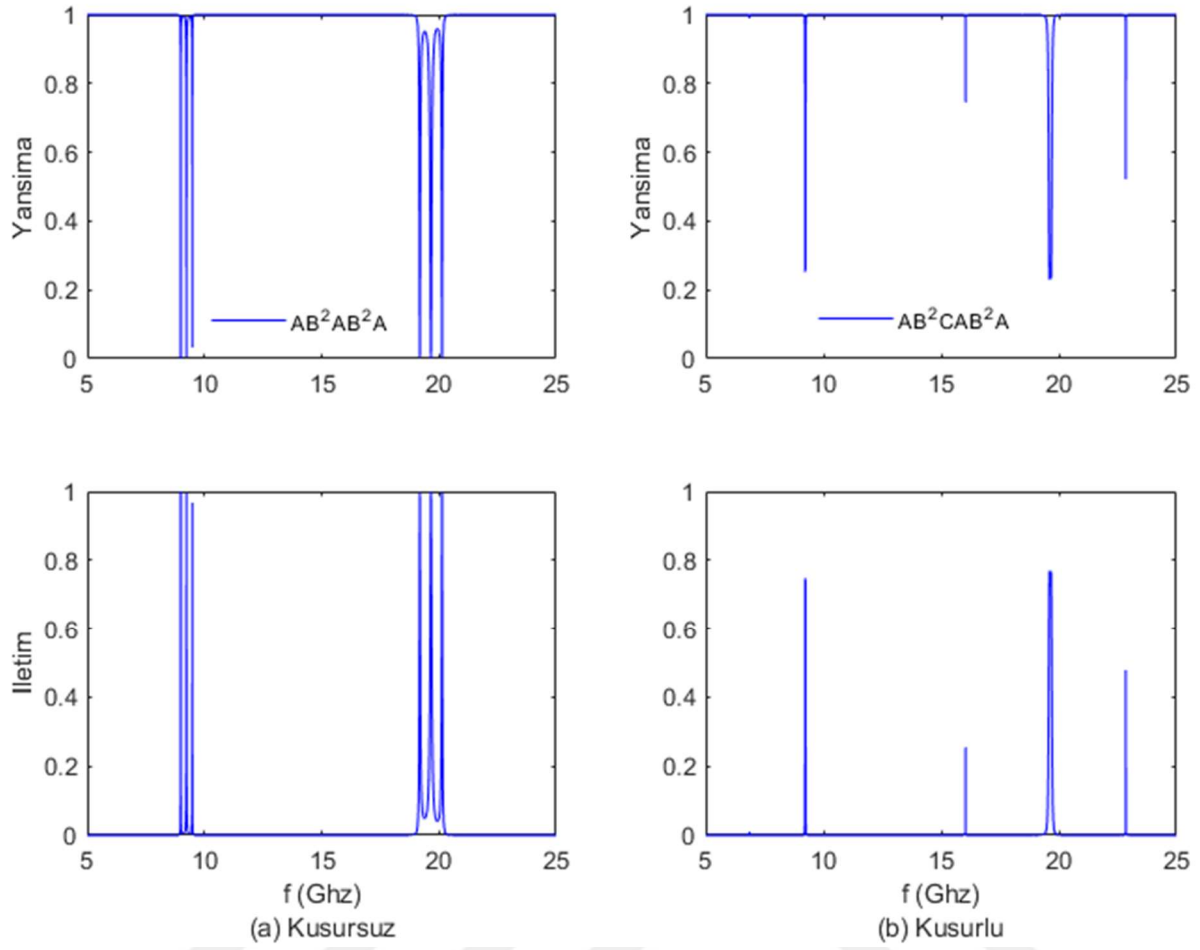


Şekil 3.6. Tezde önerilen periyodik dizilim için kullanılan PFK yapısı

Kusur katmanı dizilimin tam ortasına yerleştirilmiştir ve yeni dizilim Şekil 3.6'deki gibi AB^2CAB^2A olarak yenilenmiştir. C, kusur katmanını ifade eden dielektrik malzemedir. Kusur katmanın karmaşık dielektrik sabiti 1'dir ($\epsilon_c = 1$). Kusur katmanının kalınlığı A ve B malzemeleri ile aynı $a = b = c = 5$ mm olarak alınmıştır.

Kusur katmanının dizilime eklenmesi ile yansıma ve iletim durumlarında meydana gelen değişiklikler Şekil 3.7'de gösterilmektedir. Sağ taraftaki grafikler kusur katmanı eklenerek tasarlanmış sonuçlara ait grafiklerdir.

Yapıya eklenen bu kusur katmanı iletim tepelerinde azalmaya sebep olmuştur. Periyodik olarak art arda 4 kere tekrarlanan yapının ayrılmasına sebep verdiği için tekrarlı kanal yapısı bozulmuş, kanal sayısı azalmıştır. Kanalların frekans bölgelerinde büyük bir değişiklik meydana gelmemiş 9-20 GHz civarında oluşmuşlardır. 9 GHz civarında bulunan kanallar tek bir kanal olarak birleşmiş, 20 GHz etrafında ise genişlikleri birbirinden farklı ve tepe noktaları birbirine öncekine kıyasla daha uzak iki iletim meydana gelmiştir. Bu grafiklerden anlaşılacağı gibi, uygulamada dizilimin tam ortasına eklenen kusur katmanı ile kanal sayısı azaltılabilir.

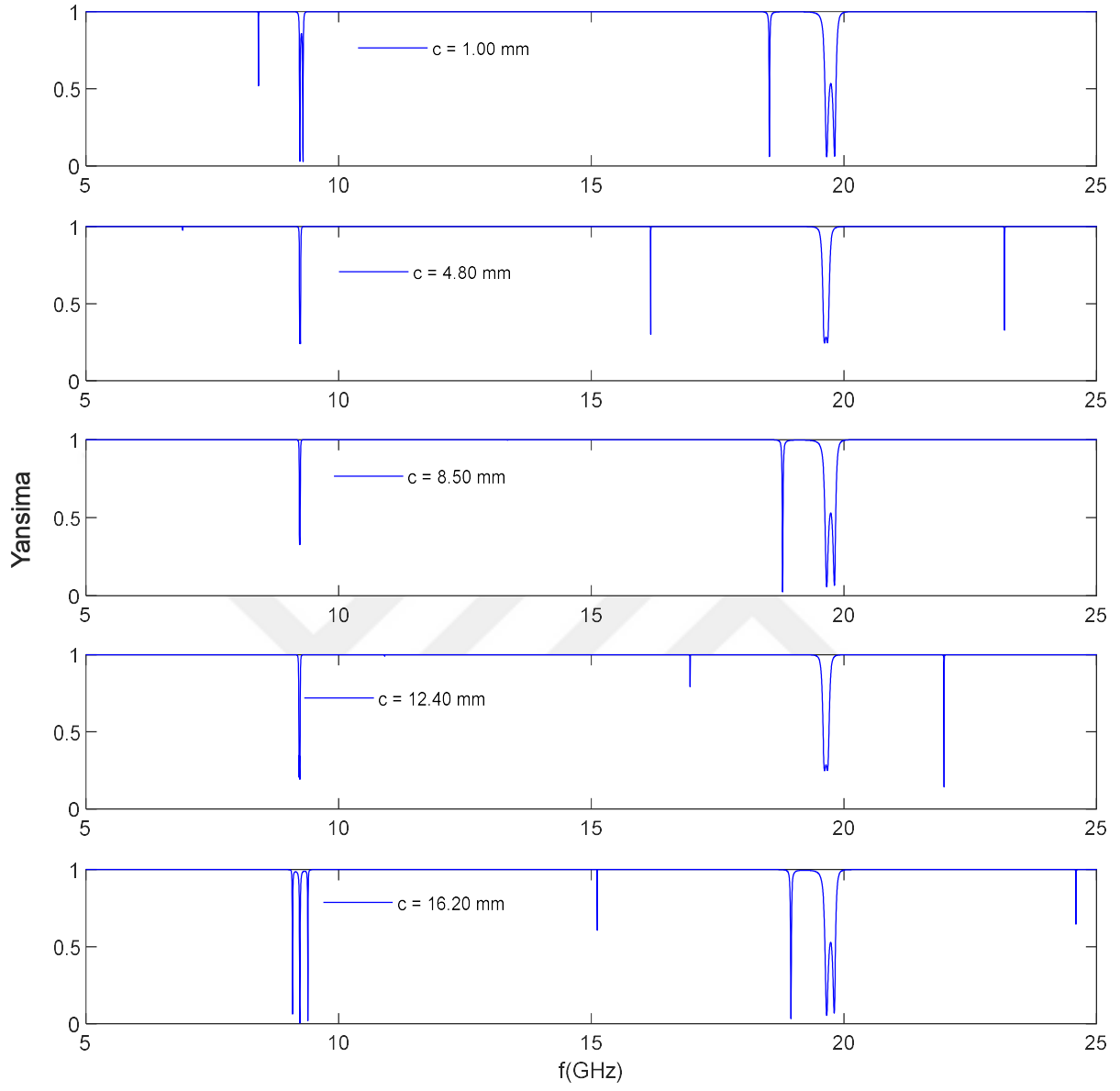


Şekil 3.7. Kusursuz ve kusurlu PFK modellerinin yansima ve iletim spektrumları

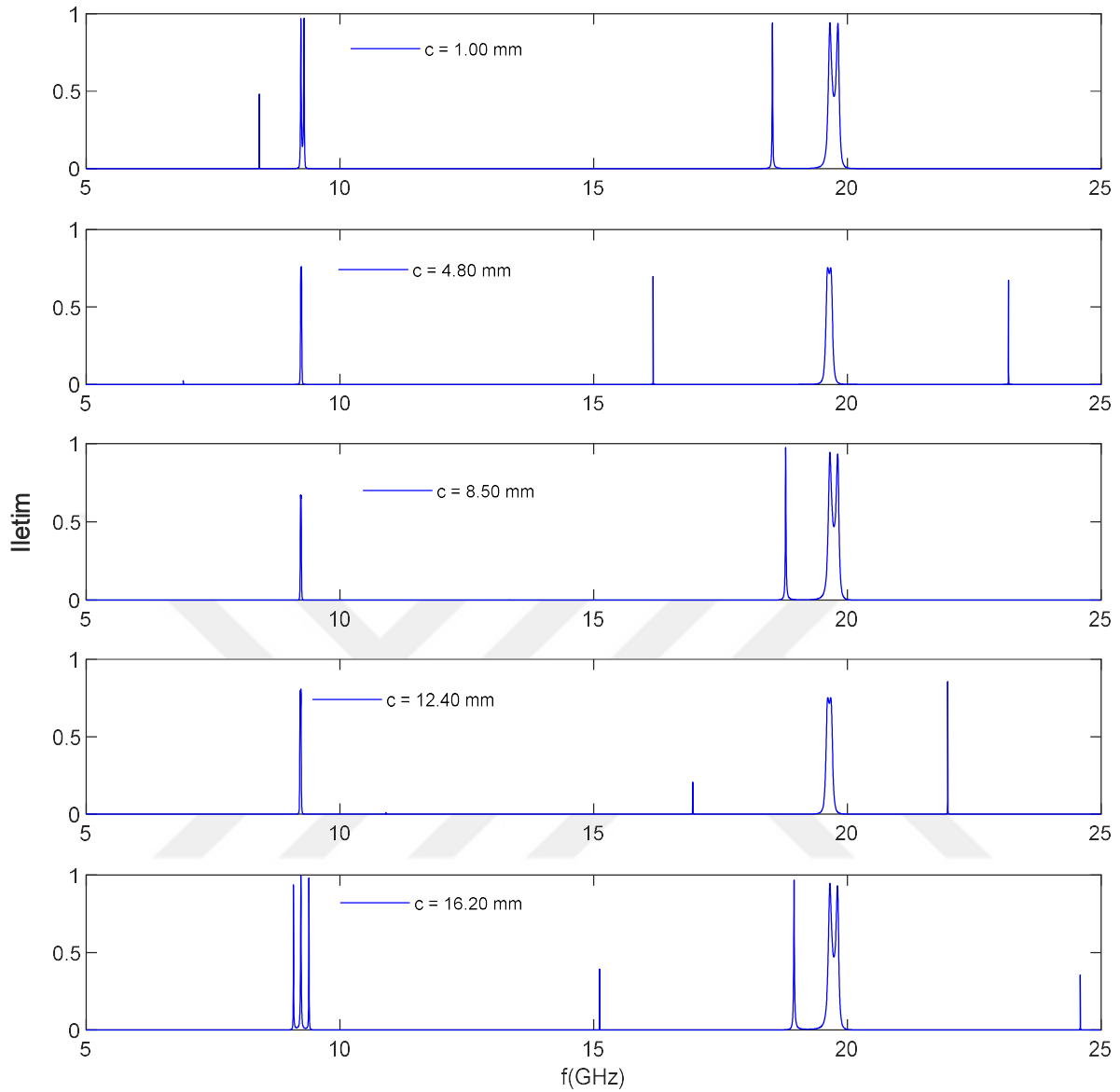
3.2.1. Kusur Katmanı Kalınlığı Etkisi

Başlık 3.2'de daha önce bahsedilen kusur katmanının kalınlığının iletim ve yansima eğrilerine etkisi araştırılmıştır. Burada tüm parametreler, doğrulandığı belirtilen makaledeki ile aynı alınmıştır. Kusur katmanının karmaşık dielektrik sabiti ($\epsilon_c = 1$) değiştirilmeyerek yalnızca daha önce $c = 5$ mm olarak alınan değer değiştirilmiştir. Dizilimde bir değişiklik yapılmamış, periyodik dizilimin tekrarlanan bölgesinin tam ortasına konumlandırılmıştır.

Kusur katmanı kalınlığı $c = 1$ mm, 4.8 mm, 8.6 mm, 12.4 mm, 16.2 mm olarak değiştirilmiş ve etkiler incelenmiştir. Bu etkilerin incelendiği grafikler Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.8. Periyodik dizilimin $c = 1$ mm, 4.8 mm, 8.6 mm, 12.4 mm, 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için yansima katsayısı



Şekil 3.9. Periyodik dizilimin $c = 1$ mm, 4.8 mm, 8.6 mm, 12.4 mm, 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için iletim katsayısı

Kusur katmanının eklenmesiyle, önceki bölümde de bahsedildiği gibi 8-18 GHz frekanslarda oluşan kanal yapılarının sayılarında azalma görülmüştür. Kusur katmanın kalınlığı değiştirilerek inceleme yapıldığında iletim spektrumlarının oluştuğu frekans bandında bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Katman kalınlığı yalnızca iletimin meydana geldiği sinyallerin genlik değerlerinde değişiklik oluşturmuştur. Kalınlıklar $c = 1$ mm, 4.8 mm, 8.6 mm, 12.4 mm, 16.2 mm iken 20 GHz civarında oluşan tepenin daha kalın bir bantta ve çift tepe olacak şekilde değiştiği görülmüştür. Aynı zamanda bu değerlerde iletim genlikleri 20 GHz civarı için daha yüksektir $c = 16.20$ mm iken

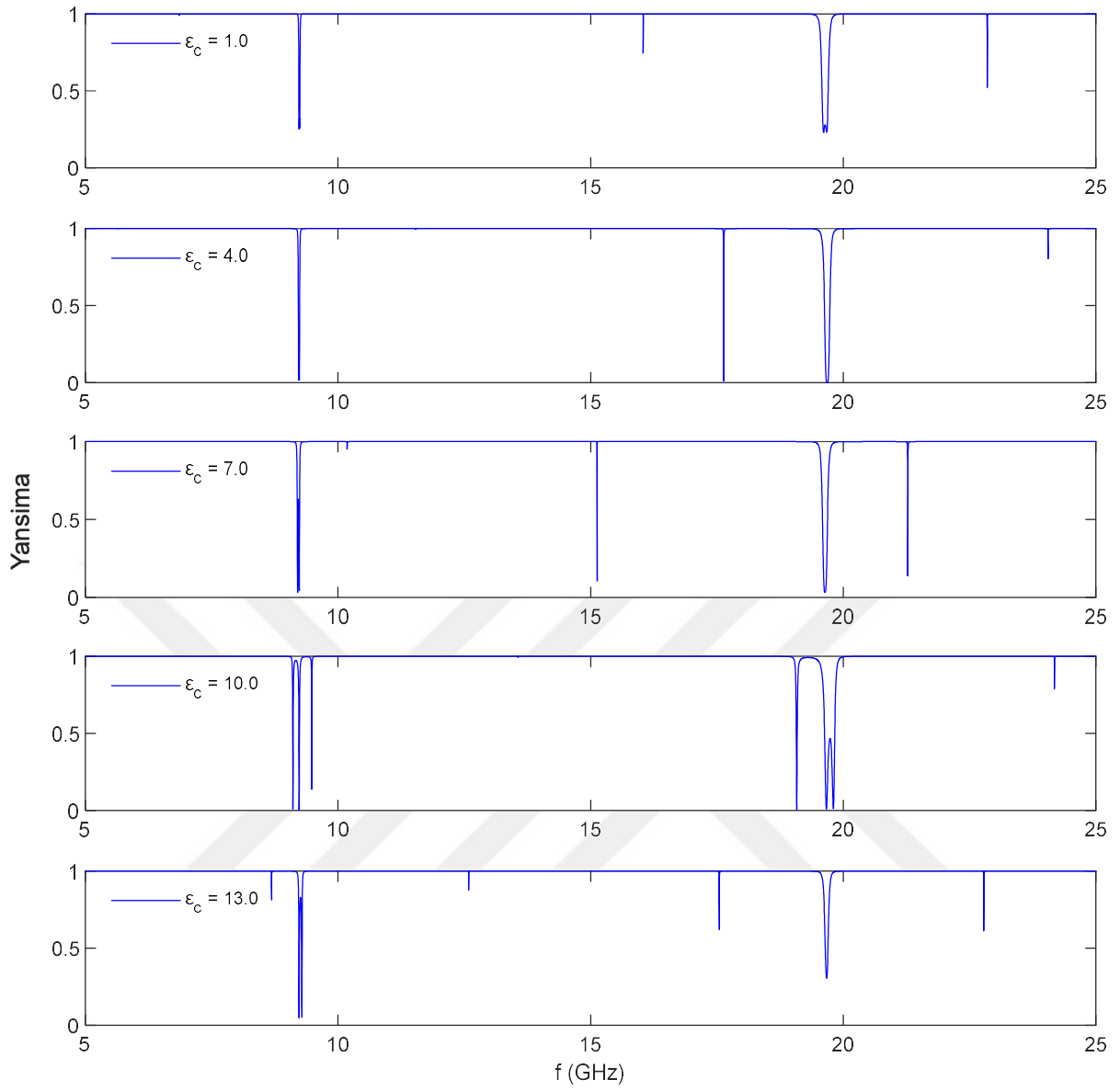
10 GHz civarında oluşan spektrumda üç kanallı bir yapı meydana gelmiştir. Bu kanal yapılarının dışında farklı bölgelerde ve belirli bir düzende olmayan iletim ve yansıma sinyalleri de görülmüştür. Kanal sayısı ve genlik değerlerinin ayarlanabilir olduğu uygulamalar için kullanıma elverişli bir etki olabilir.

3.2.2. Kusur Katmanı Dielektrik Geçirgenliği Etkisi

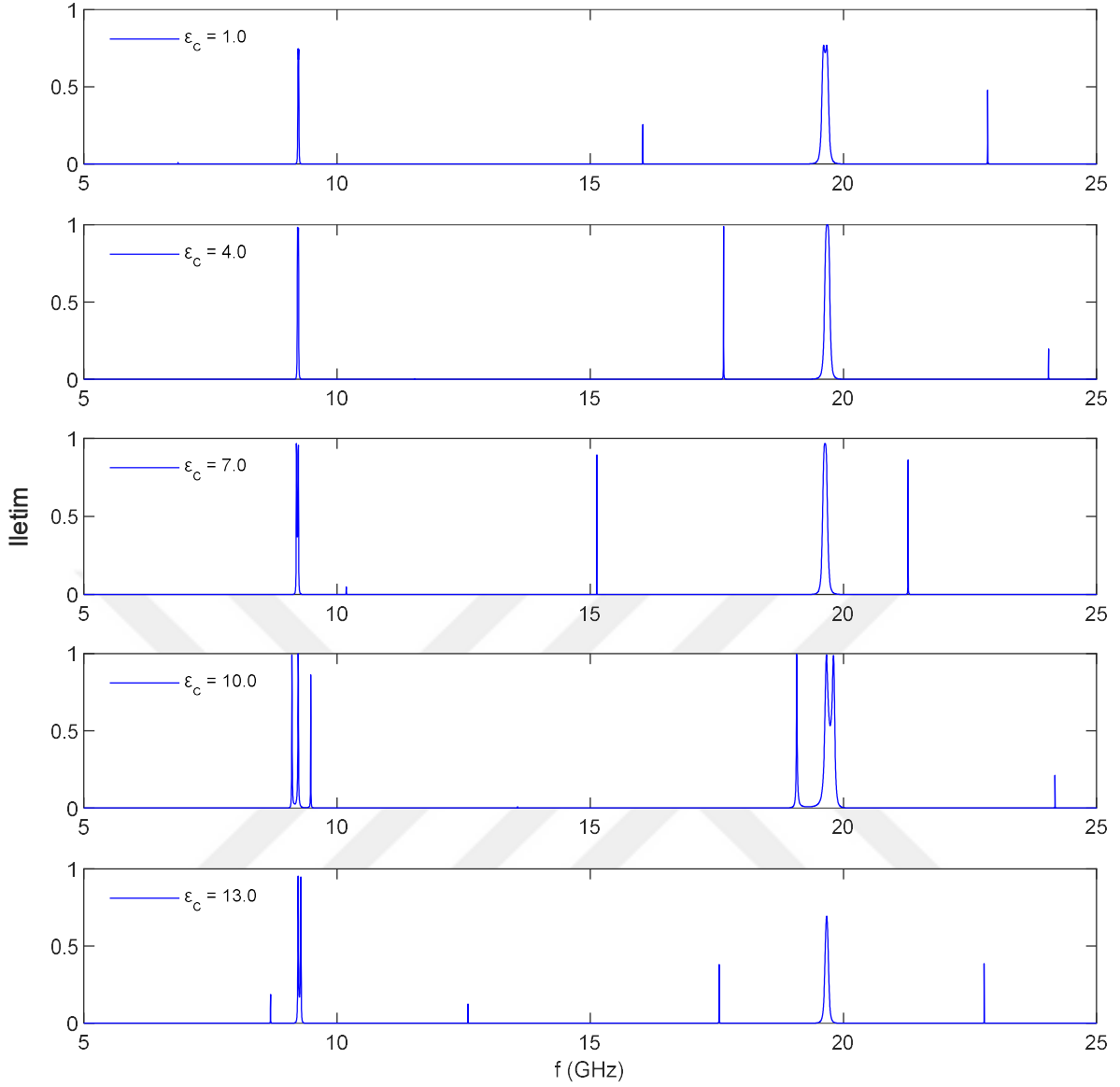
Çalışmanın bu kısmında kusur katmanının karmaşık dielektrik sabiti değiştirilerek iletim ve yansıma eğrilerine etkisi araştırılmıştır. Dielektrik sabiti dışında tüm parametreler, önceki sonuçlar ile aynı alınmıştır. Kusur katman kalınlığı daha önce olduğu gibi $c = 5$ mm olarak alınmıştır. Dizilim ise bir önceki ile aynı AB^2CAB^2A olarak alınmıştır.

Yalnızca Kusur katmanının karmaşık dielektrik sabiti $\epsilon_c = 1, 4, 7, 10, 13$ olarak farklı değerlerde alınmış, iletim ve yansıma spektrumları incelenmiştir. Bu değişime ait grafikler Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de gösterilmiştir.

Grafikler incelediğinde tüm karmaşık dielektrik sabitleri için 8 ve 18 GHz civarında sabit tepe değerler olduğu görülmüştür. Karmaşık dielektrik sabitin değişimi yalnızca iletim ve yansıma değerlerinin büyüklüğüne etki etmiştir. Dielektrik geçirgenlik $\epsilon_c = 10$ değerine kadar sabit kalmış, bu değerden sonra tepe noktalarının iletim genlik değerlerinde azalma görülmüştür, bu azalma 18 GHz olan yüksek frekans bantlarında daha belirgin iken 8 GHz olan daha düşük frekanslarda daha az olduğu incelenmiştir. Kusur modun dielektrik sabiti değiştikçe bazı değerlerde belli bir düzen olmadan farklı tepe noktalarında iletim görülmüştür.



Şekil 3.10. Periyodik dizilimin kusur katmanı $\epsilon_c = 1, 4, 7, 10, 13$ dieletrik sabiti değerleri için yansima katsayısı



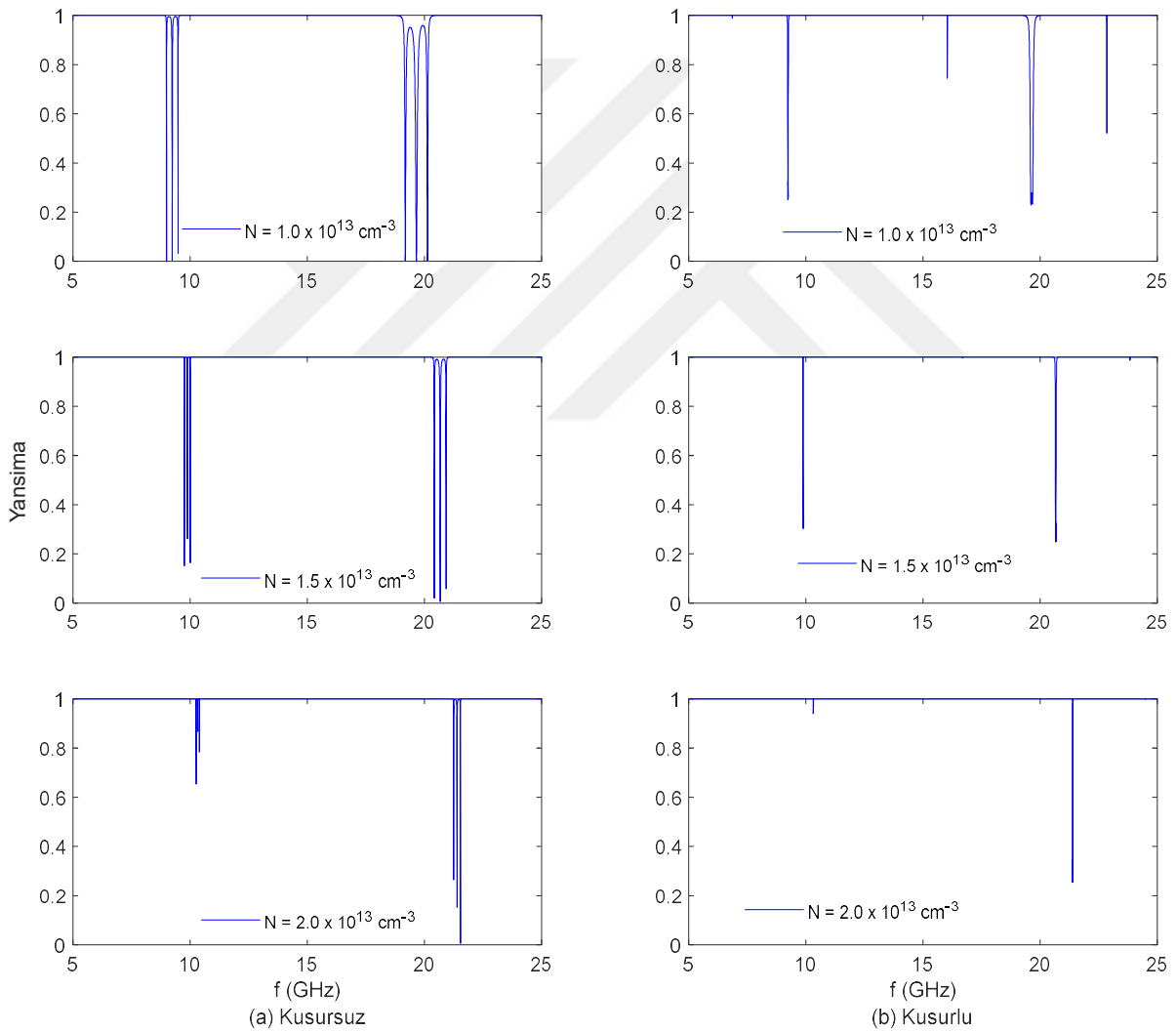
Şekil 3.11. Periyodik dizilimin kusur katmanı $\epsilon_c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için iletim katsayısı

3.2.3. Elektron Yoğunluğu Etkisi

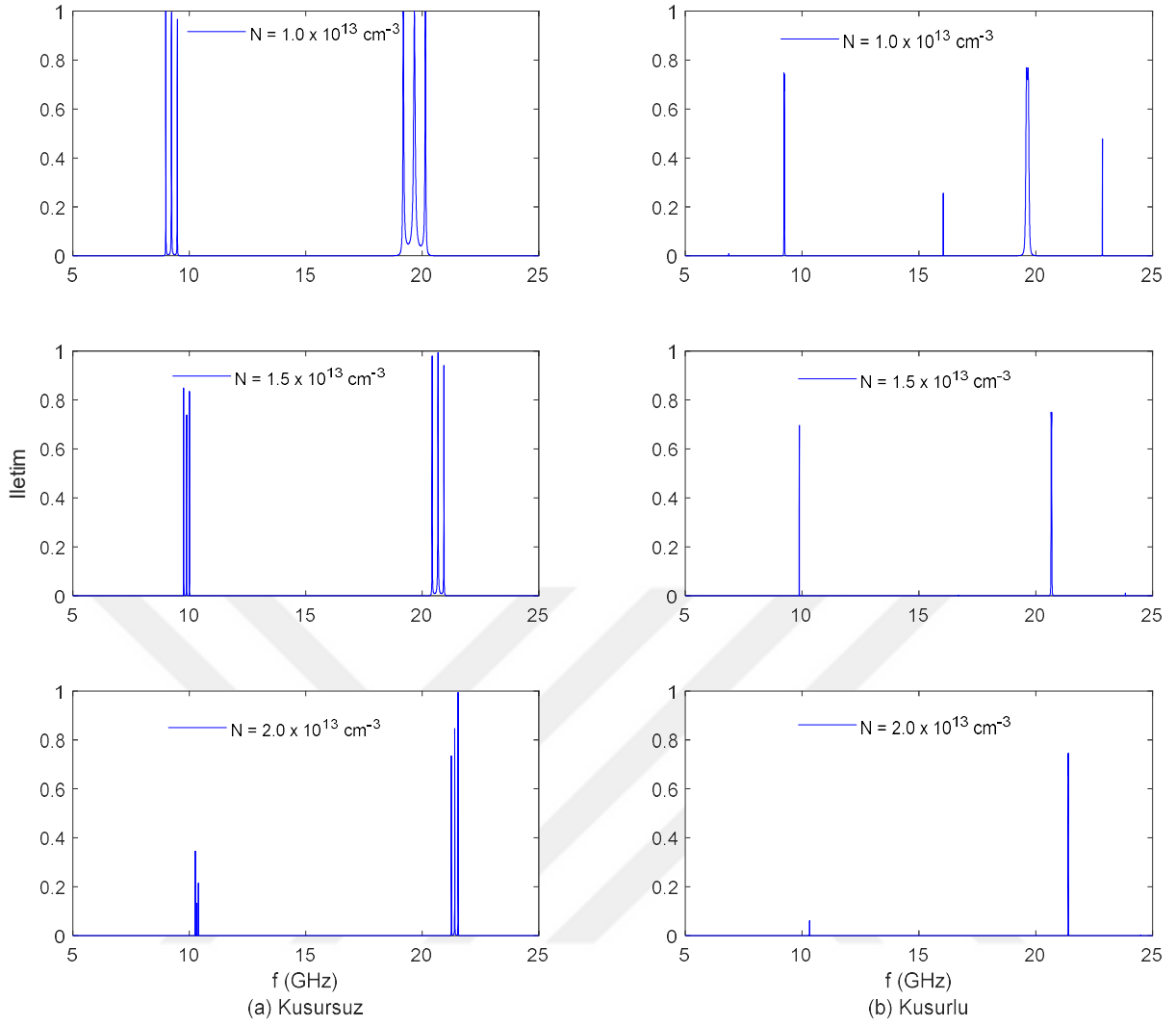
Şekil 3.5'te doğrulanan makalede [28] daha önce araştırılan elektron yoğunluğunun değişimi bu kez kusur katmanı eklenerek incelenmiştir. Grafiklerin sağ tarafında kusur katmanı var iken, sol tarafında da kusur katmanı yok iken değişim incelenmiştir. Kusur katman kalınlığı $c = 5$ mm, karmaşık dielektrik sabiti $\epsilon_c = 1$, dizilim ise bir önceki ile aynı AB^2CAB^2A olarak alınmıştır.

Elektron yoğunluğu ise $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ değerleri için araştırılmıştır. Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te iletim ve yansıma spektrumlarının

konumlarına bakıldığında elektron yoğunluğunun artışı tepelerin her birinin daha yüksek frekanslara kaymasına sebep olmuştur. Kusur katmanı da aynı etkiyi yaratarak yine spektrumların yüksek frekanslara kaymasına sebep olmuştur. Aynı zamanda yüksek yoğunluklarda tepelerin birbirine daha yakın olduğu iki tepe arası daha dar bir bant olduğu görülmüştür, bu etki kusur katmanı eklendiğinde kanal sayısında azalmaya, tepe arası değerlerin daha da dar bant oluşturmaya sebep olmuştur. Elektron yoğunluğu arttıkça iletim dalgalarının genliklerinde ise bir azalma meydana gelmiştir. Kanal sayısı azaltmak veya artırmak için kullanılacak bir uygulama için elektron yoğunluğu etkisi oldukça kullanışlı olduğu görülmüştür.



Şekil 3.12. Periyodik dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için yansima katsayısı



Şekil 3.13. Periyodik dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için iletim katsayısı

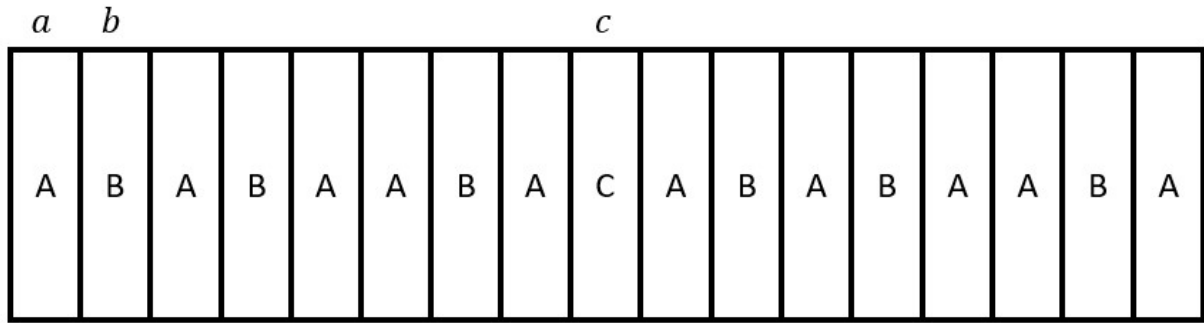
3.3. Fibonacci Serisine Göre Oluşturulan PFK Yapıları İçin Sonuçlar

Çalışmanın bu bölümünde yine doğrulanan makaleden [28] parametreler aynı alınarak bu kez dizilim Fibonacci serisi ile oluşturulmuştur. A malzemesinin karmaşık dielektrik sabiti 4, ($\epsilon_a = 4$), katman kalınlığı $a = 5 \text{ mm}$, B katmanında bulunan plazma için ise elektron yoğunluğu $N = 1.0 \times 10^{13}$, elektron yükü $e = 1.6021 \times 10^{-19} \text{ C}$, elektron ağırlığı $m = 9.1093 \times 10^{-31} \text{ g}$ olarak alınmış ve plazma frekansı $f_p = 28.367 \text{ GHz}$ 'dir. B katmanının kalınlığı $b = 5 \text{ mm}$ olarak belirlenmiştir, C katmanı olan kusur katmanının ise karmaşık dielektrik sabiti 1'dir ($\epsilon_c = 1$) ve kalınlığı $c = 5 \text{ mm}$ olarak alınmıştır.

Fibonacci PFK yapısı aynı yapının yan yana eklenerek yinelemeli bir biçimde oluşturulmasıdır. $F_0, F_1, F_2, \dots$ Fibonacci serileri

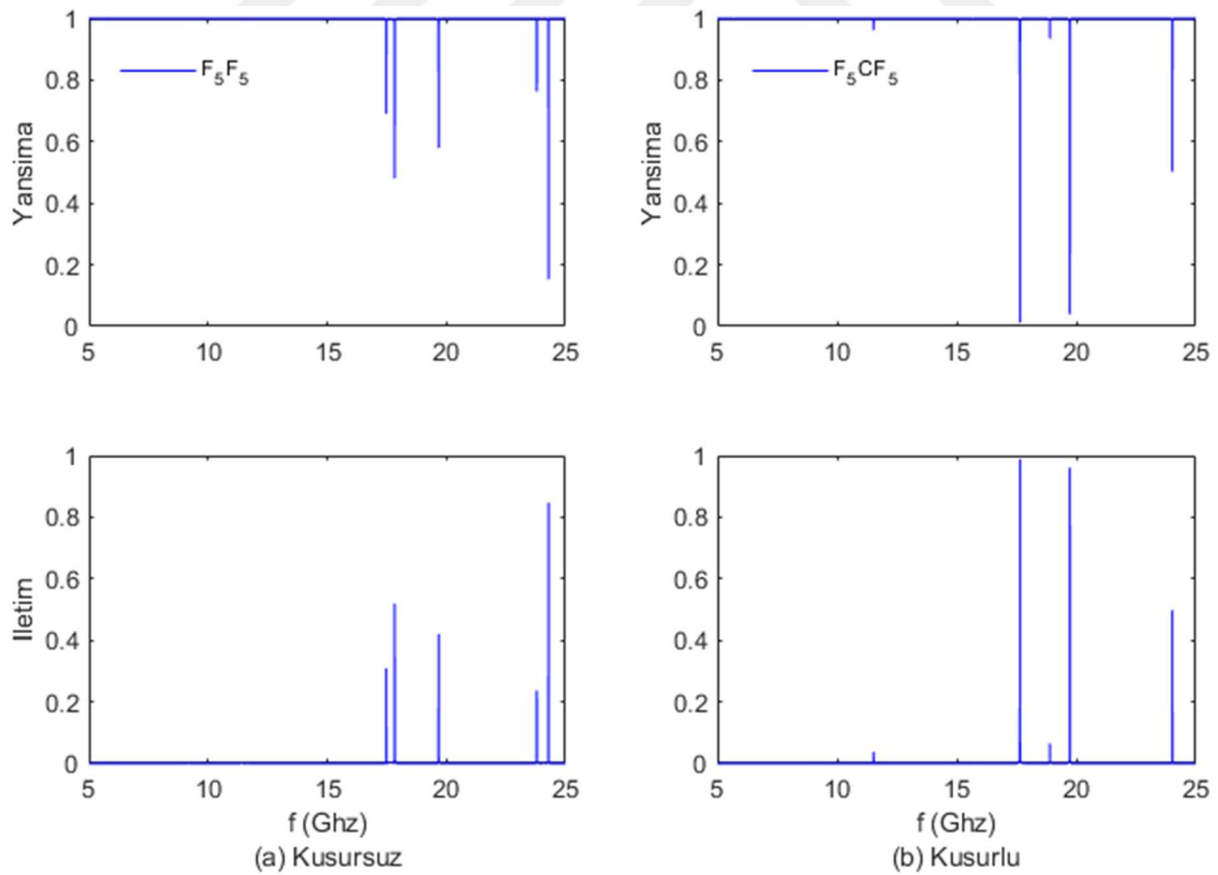
$$F_0 = B, F_1 = A, F_2 = BA, F_3 = ABA, F_4 = BAABA, F_5 = ABABAABA \quad (3-1)$$

olarak verilebilir.



Şekil 3.14. Fibonacci PFK 5. hücre yapısı (F_5) yapısı

Bu bölümde Fibonacci serisinin 5. hücre yapısı (F_5) olan 8 katmanlı yapı ele alınmıştır. Bu hücre ardışık olarak iki kez tekrarlanarak 16 katman olarak dizilmiştir. Şekil 3.14’de gösterildiği gibi kusur katmanı dizilimin tam ortasına yerleştirilmiştir. Bu dizilimin sembolik ifadesi F_5CF_5 olarak tanımlanabilir.



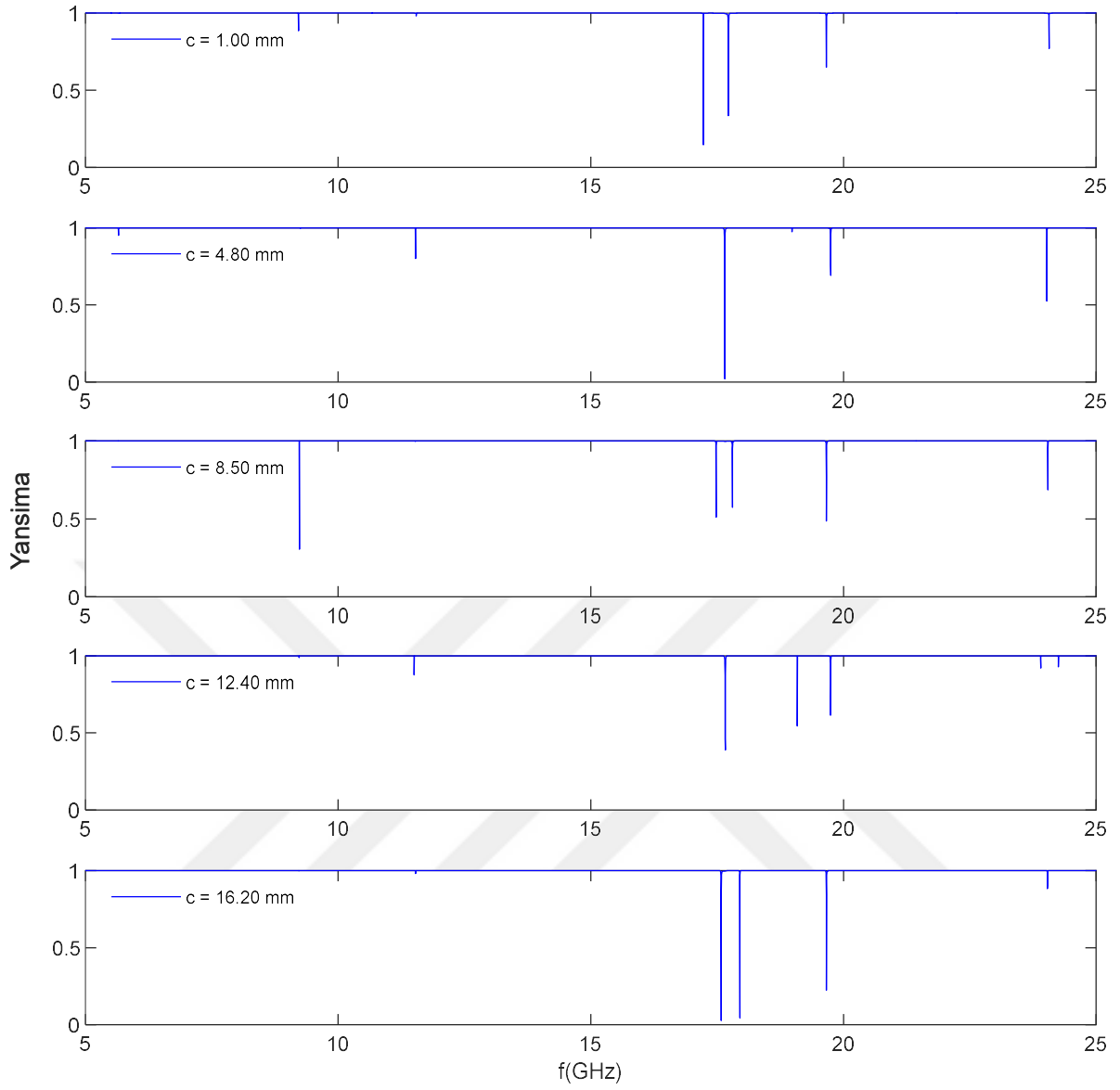
Şekil 3.15. Kusursuz ve kusurlu PFK modellerinin yansıma ve iletim spektrumları

Şekil 3.15'de kusur katmanının dizilime eklenmesi ile yansıma ve iletim durumlarında meydana gelen değişiklikler gösterilmektedir. Fibonacci 5. hücre ile yapılan dizilimde iletim bantları 18-24 GHz aralığında değişmektedir. Düşük frekanslarda iletim görülmemekte, yansıma ise en üst seviyededir. Kusur katmanının tasarıma dahil edilmesiyle birlikte iletim tepelerinin sayısı azalmış, iletim kanalı beş iken üçe düşmüştür. Kusur katmanı ile azalan kanalların genlik seviyeleri daha yukarıya çıkmıştır. Yüksek frekanslarda belirli frekans bandında iletim için, aynı zamanda düşük frekanslarda yoğun yansıtma gerektiren uygulamalar için verimli bir dizilimdir.

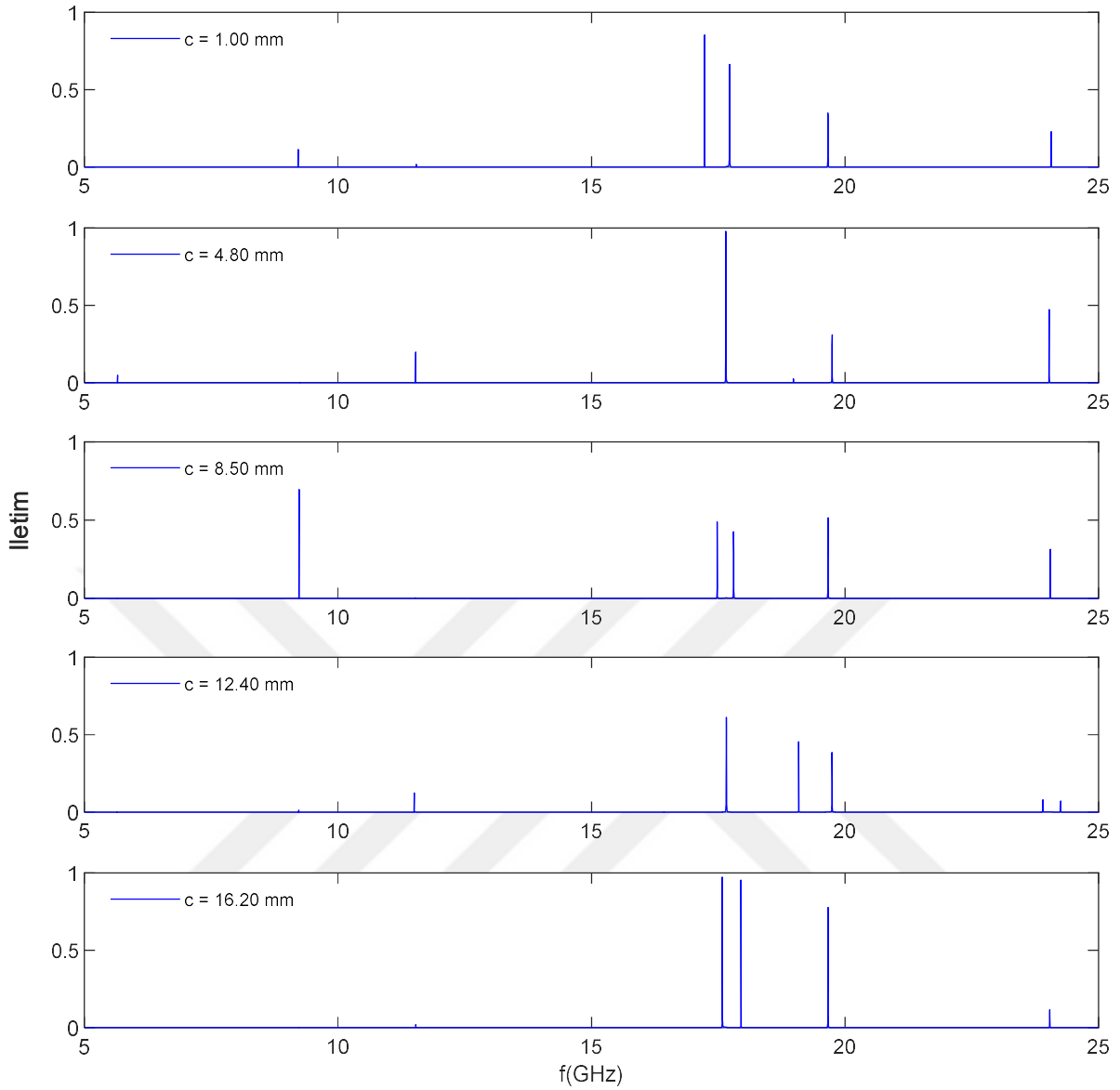
3.3.1. Kusur Katmanı Kalınlığı Etkisi

Bu başlık altında, kusur katmanının kalınlığının iletim ve yansıma eğrilerine etkisi araştırılmıştır. Tüm parametreler aynı olup kusur katmanının karmaşık dielektrik sabiti ($\epsilon_c = 1$) değiştirilmeyerek yalnızca katman kalınlığı olan $c = 5$ mm artık farklı değerlerle incelenmiştir. Dizilimde kusur katmanı yine dizilimin tam ortasına konumlandırılmıştır. Kusur katmanı $c = 1$ mm, 4.8 mm, 8.6 mm, 12.4 mm, 16.2 mm olarak alınmış ve etkiler incelenmiştir. Bu etkilerin incelendiği grafikler Şekil 3.16 ve Şekil 3.17 ile verilmiştir.

Kusur katmanının eklenmesiyle, kanal sayılarındaki azalma yine burada da incelenmiştir. Yalnızca 19 GHz civarında bulunan kanal sabit kalmış ve iletim tepesi meydana getirmiştir. Kusur katmanın kalınlığı değiştirilerek inceleme yapıldığında iletim spektrumlarının $c = 8.6$ mm değeri dışında yine yüksek frekanslarda toplandığı görülmüştür. Sinyallerin genlik değerleri incelediğinde her bir kalınlıkta farklı bir değer görülmüş, belirli bir düzende değişim olmadığı incelenmiştir. Fakat bu denemelerle Fibonacci 5. hücre yapısındaki dizilimin kusur katmanı kalınlığına duyarlı olduğu, kanal sayısı ve genişliğinin bu denemelerle ayarlanabileceği saptanmıştır.



Şekil 3.16. Fibonacci dizilimin $c = 1 \text{ mm}$, 4.8 mm , 8.6 mm , 12.4 mm , 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için yansima katsayısı



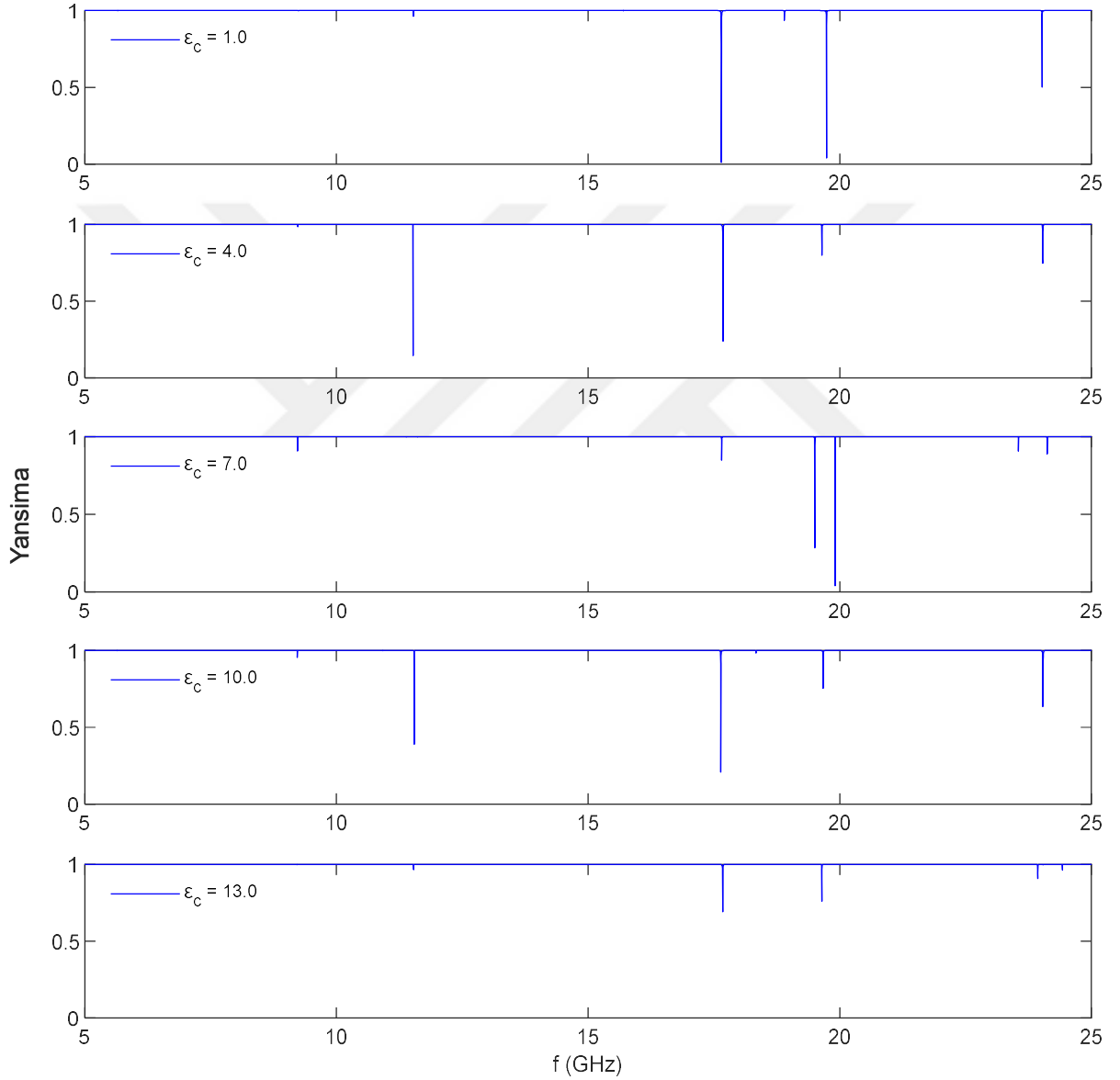
Şekil 3.17. Fibonacci dizilimin $c = 1$ mm, 4.8 mm, 8.6 mm, 12.4 mm, 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için iletim katsayısı

3.3.2. Kusur Katmanı Dielektrik Geçirgenliği Etkisi

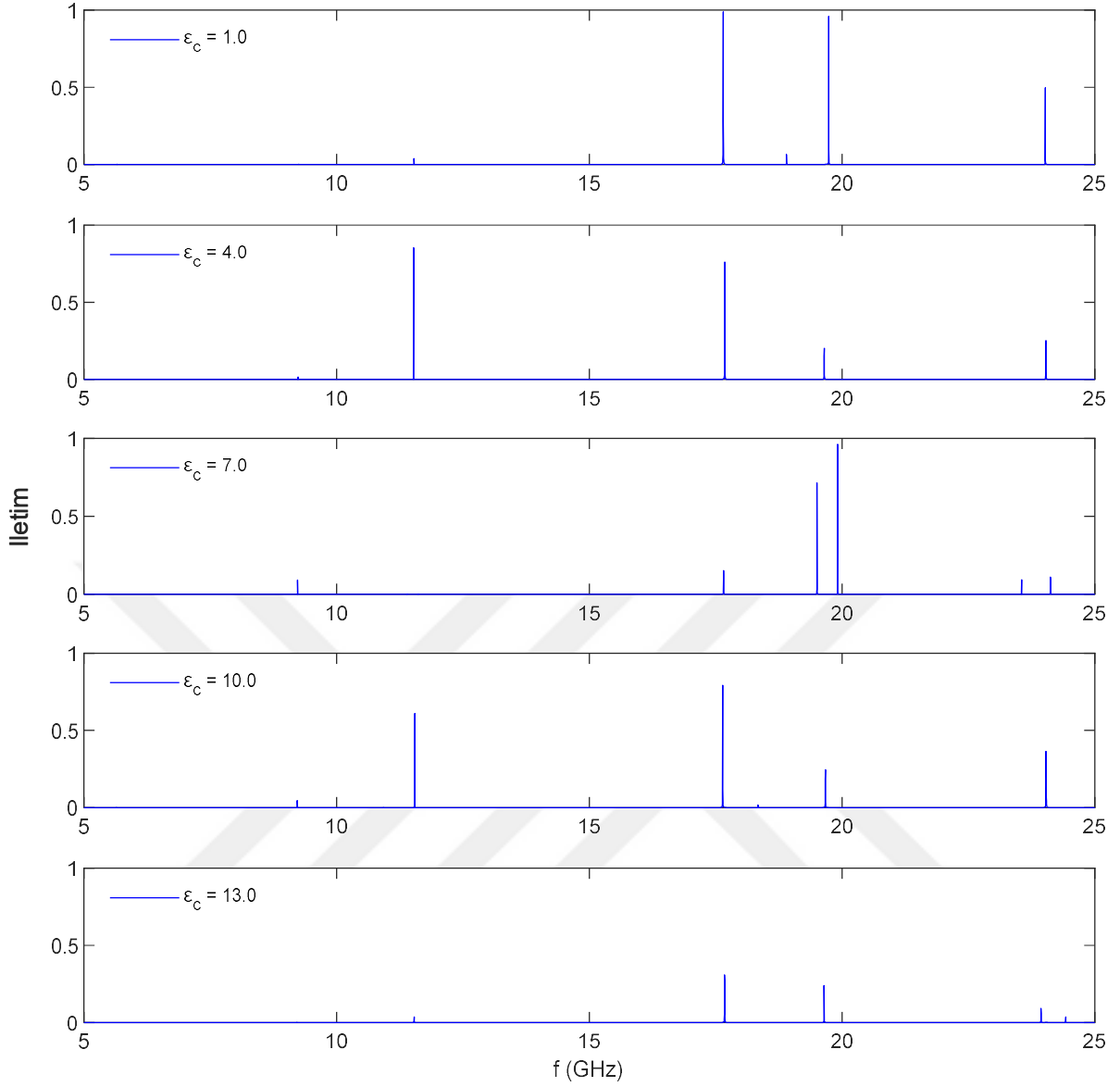
Bu bölümde Fibonacci serisi ile oluşturulan F_5CF_5 yapısındaki dizilimin kusur katmanının karmaşık dielektrik sabiti değiştirilerek iletim ve yansımaya eğrilerine etkisi araştırılmıştır. Dielektrik sabiti dışında tüm parametreler, önceki sonuçlar ile aynı alınmıştır. Kusur katman kalınlığı daha önce olduğu gibi $c = 5$ mm olarak alınmıştır.

$\epsilon_c = 1, 4, 7, 10, 13$ olarak farklı karmaşık dielektrik sabitleri olan kusur katmanı eklenerek değişim incelenmiştir. Bu değişime ait grafikler Şekil 3.18 ve Şekil 3.19 ile aşağıda gösterilmiştir.

Grafikler incelendiğinde 15-25 GHz arasında iletim spektrumlarının sabit olduğu yalnızca genliklerinde değişim olduğu görülmektedir. $\epsilon_c = 10$ değerinde iken iletim genlik değerleri iyice azalmaya başlamıştır. Yansıma bu değerlerde çok yüksektir. 10 GHz altında iletim spektrumu yoktur. Bu frekanslarda, yansıma değerleri oldukça yüksektir. Yansıma gerektiren optik uygulamalar için yüksek dielektrik geçirgenliğe sahip bir kusur katmanı uygulama açısından başarılı olacaktır.



Şekil 3.18. Fibonacci diziliminin kusur katmanı $\epsilon_c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için yansıma katsayısı



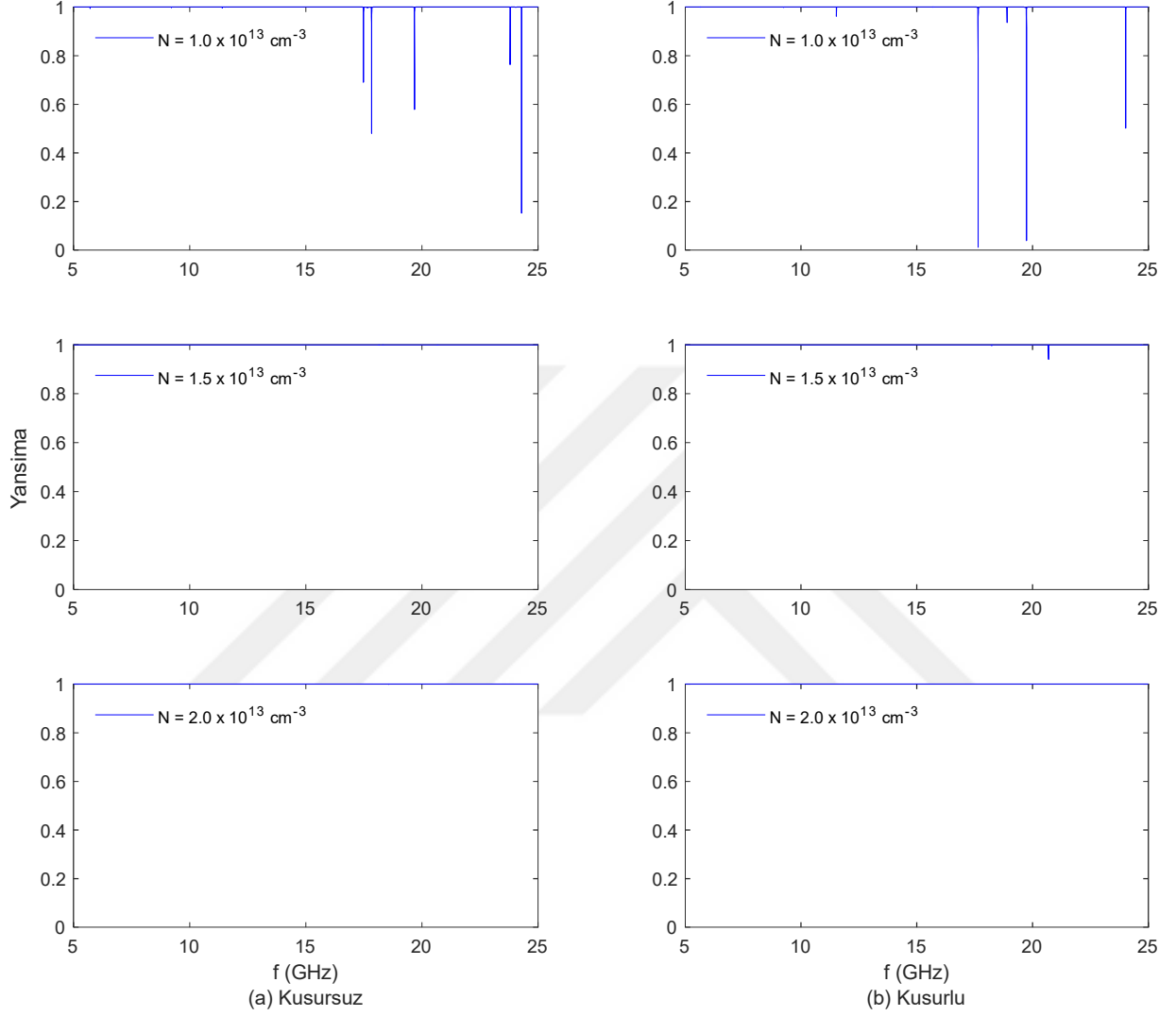
Şekil 3.19. Fibonacci dizilimin kusur katmanı $\epsilon_c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için iletim katsayısı

3.3.3. Elektron Yoğunluğu Etkisi

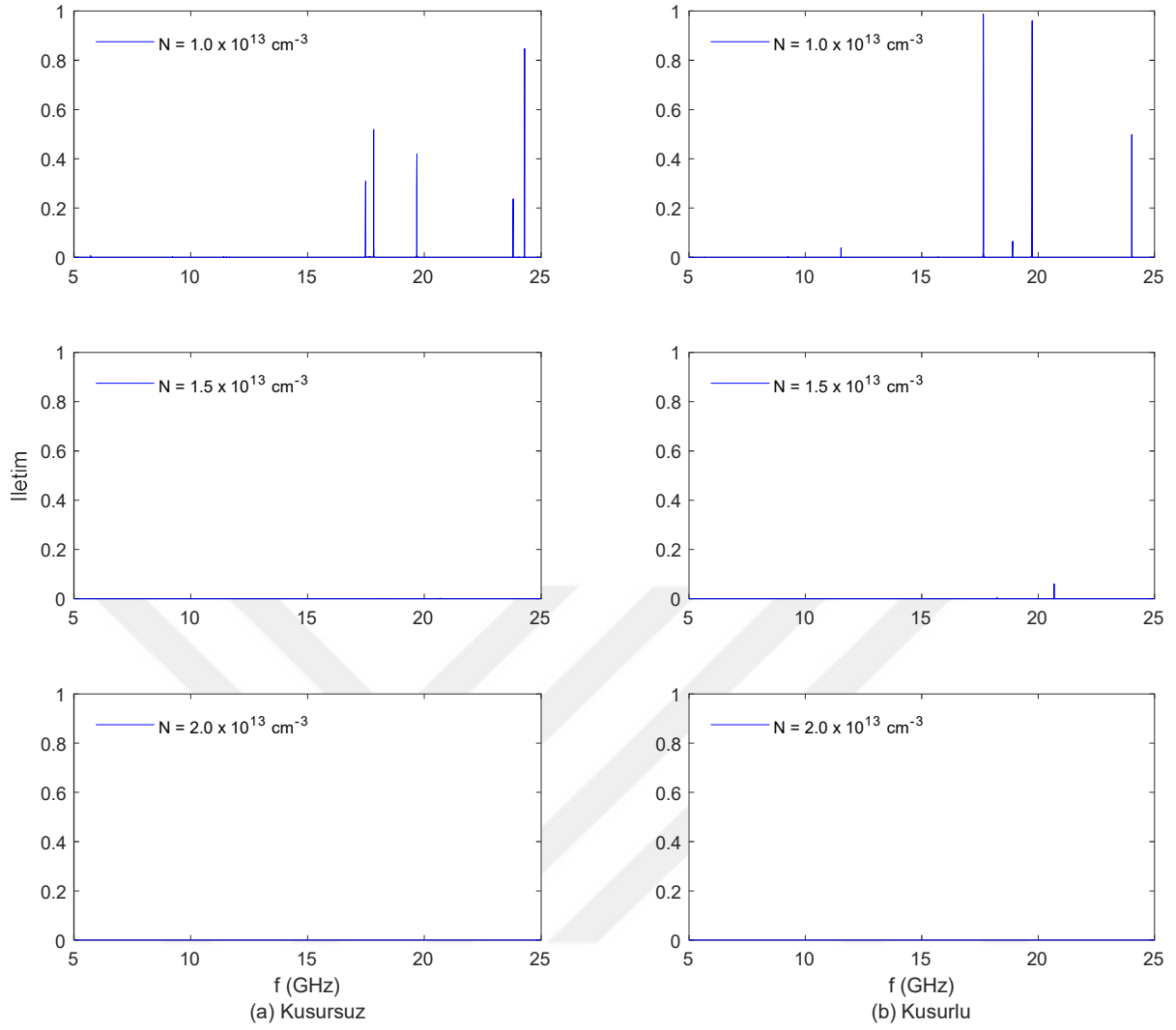
Tez çalışmasının bu kısmında makalede daha önce araştırılan elektron yoğunluğunun değişimi kusur katmanı eklenerek ve Fibonacci dizilimde oluşturularak incelenmiştir. Kusur katman kalınlığı $c = 5$ mm, karmaşık dielektrik sabiti $\epsilon_c = 1$, dizilim ise bir önceki ile aynı F_5CF_5 olarak alınmıştır.

Elektron yoğunluğu $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ olarak farklı değerler için Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’de araştırılmıştır. İletim ve yansımalar spektrumlarının konumlarına bakıldığında elektron yoğunluğunun artışı Fibonacci 5.

hücre dizilimi için iletimi tamamen yok etmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi yansımaya maksimum seviyede 1'dir. Yansımadaki bu artış, bu etkinin yansımaya gerektiren uygulamalar için düşük elektron yoğunluğunda oldukça elverişli olduğu belirtilebilir.



Şekil 3.20. Fibonacci dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için yansımaya katsayısı



Şekil 3.21. Fibonacci dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için iletim katsayısı

3.4. Thue-Morse Serisine Göre Tasarlanan PFK Yapıları İçin Sonuçlar

Çalışmanın bu bölümünde yine doğrulanan makaleden [28] yola çıkılarak bu kez dizilim Thue-Morse serisi ile düzenlenerek çalışılmıştır. Bu bölümde makalede belirtilen tüm parametreler aynı alınmış, A malzemesinin karmaşık dielektrik sabiti 4, ($\epsilon_a = 4$), katman kalınlığı $a = 5 \text{ mm}$, B katmanında bulunan plazma için ise elektron yoğunluğu $N = 1.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$, elektron yükü $e = 1.6021 \times 10^{-19} \text{ C}$, elektron ağırlığı $m = 9.1093 \times 10^{-31} \text{ g}$ olarak alınmış ve plazma frekansı $f_p = 28.367 \text{ GHz}$ 'dir. B katmanının kalınlığı $b = 5 \text{ mm}$ olarak belirlenmiştir, C katmanı olan kusur katmanının ise karmaşık dielektrik sabiti 1'dir ($\epsilon_c = 1$) ve kalınlığı $c = 5 \text{ mm}$ olarak alınmıştır.

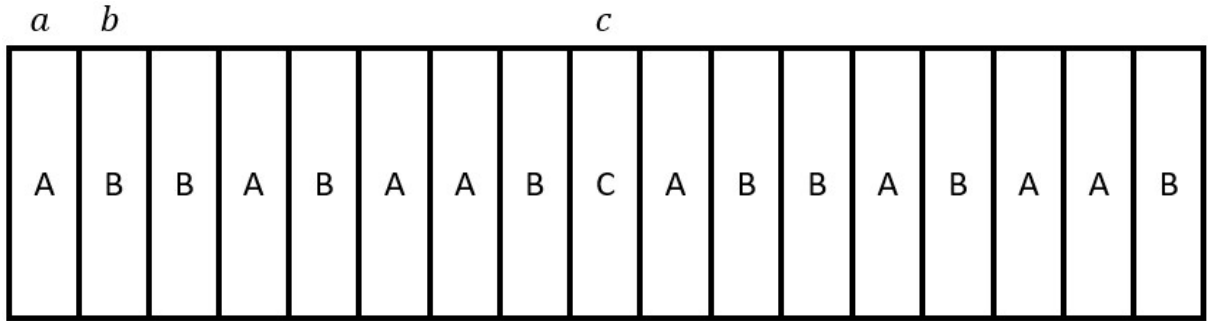
Thue-Morse dizisi, 0 (A) ile başlayıp o ana kadar elde edilen dizinin Boolean tamamlayıcısının art arda eklenmesiyle elde edilir. Yineleme ilişkisini sağlayan Thue-Morse dizisi T_n

$$T_0 = 0 \quad , \quad T_{2n} = T_n \quad , \quad T_{2n+1} = 1 - T_n \quad (3-2)$$

olur. Burada n negatif olmayan tam sayılardır. Böylece

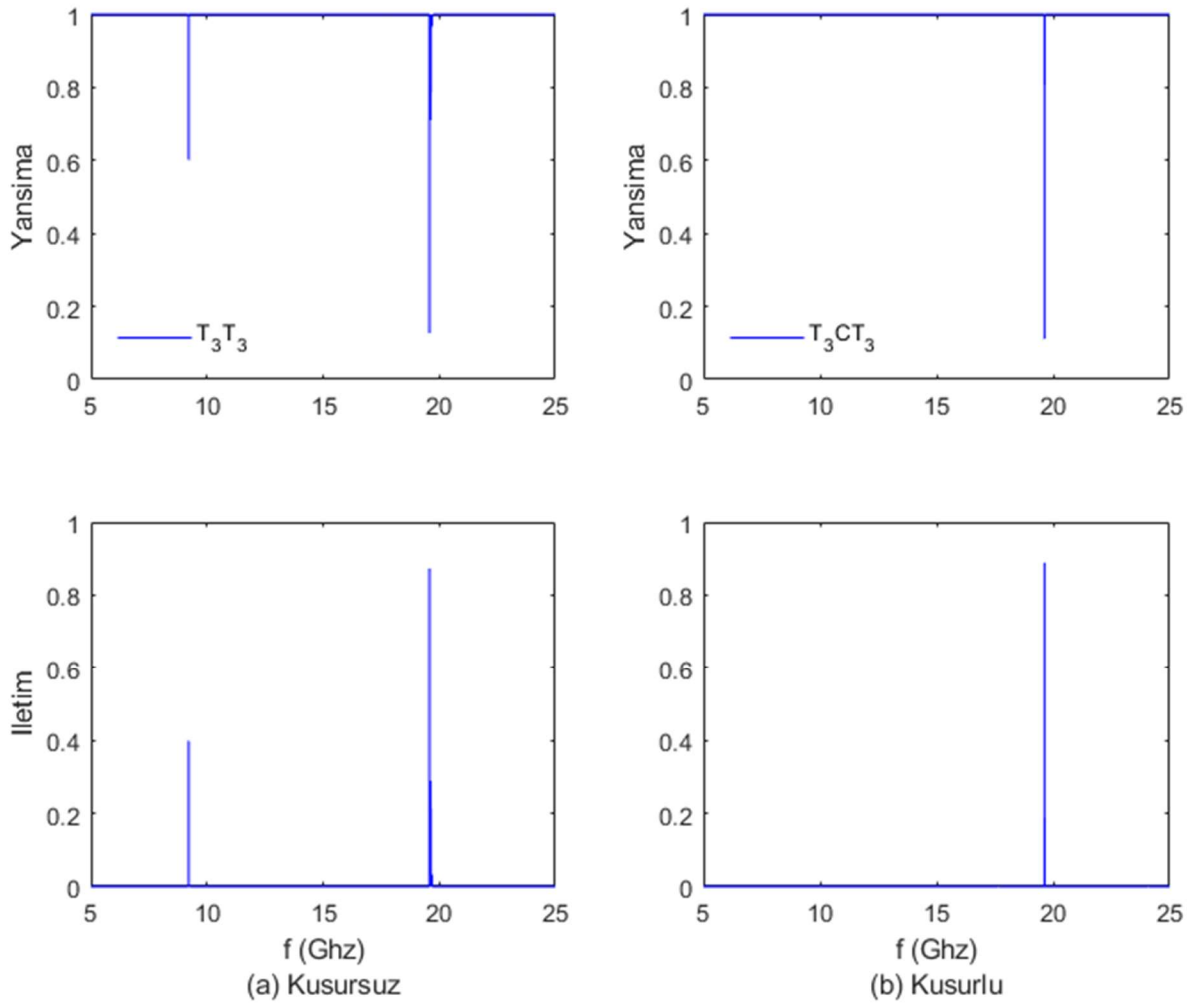
$$T_0 = A, T_1 = AB, T_2 = ABBA, T_3 = ABBABAAB, T_4 = ABBABAABBAABABBA \quad (3-3)$$

biçimindedir.



Şekil 3.22. Thue-Morse serisi için oluşturulmuş PFK yapısı

Bu dizilimde serinin 3. hücre yapısı (T_3) olan 8 katmanlı yapı ele alınmıştır. Bu hücre ardışık olarak iki kez tekrarlanarak 16 katman olarak dizilmiştir. Şekil 3.22'deki gibi kusur katmanı dizilimin tam ortasına yerleştirilmiştir. Bu dizilimin sembolik ifadesi T_3CT_3 olarak tanımlanabilir.



Şekil 3.23. Thue-Morse PFK yapısı için yansima ve iletim katsayıları

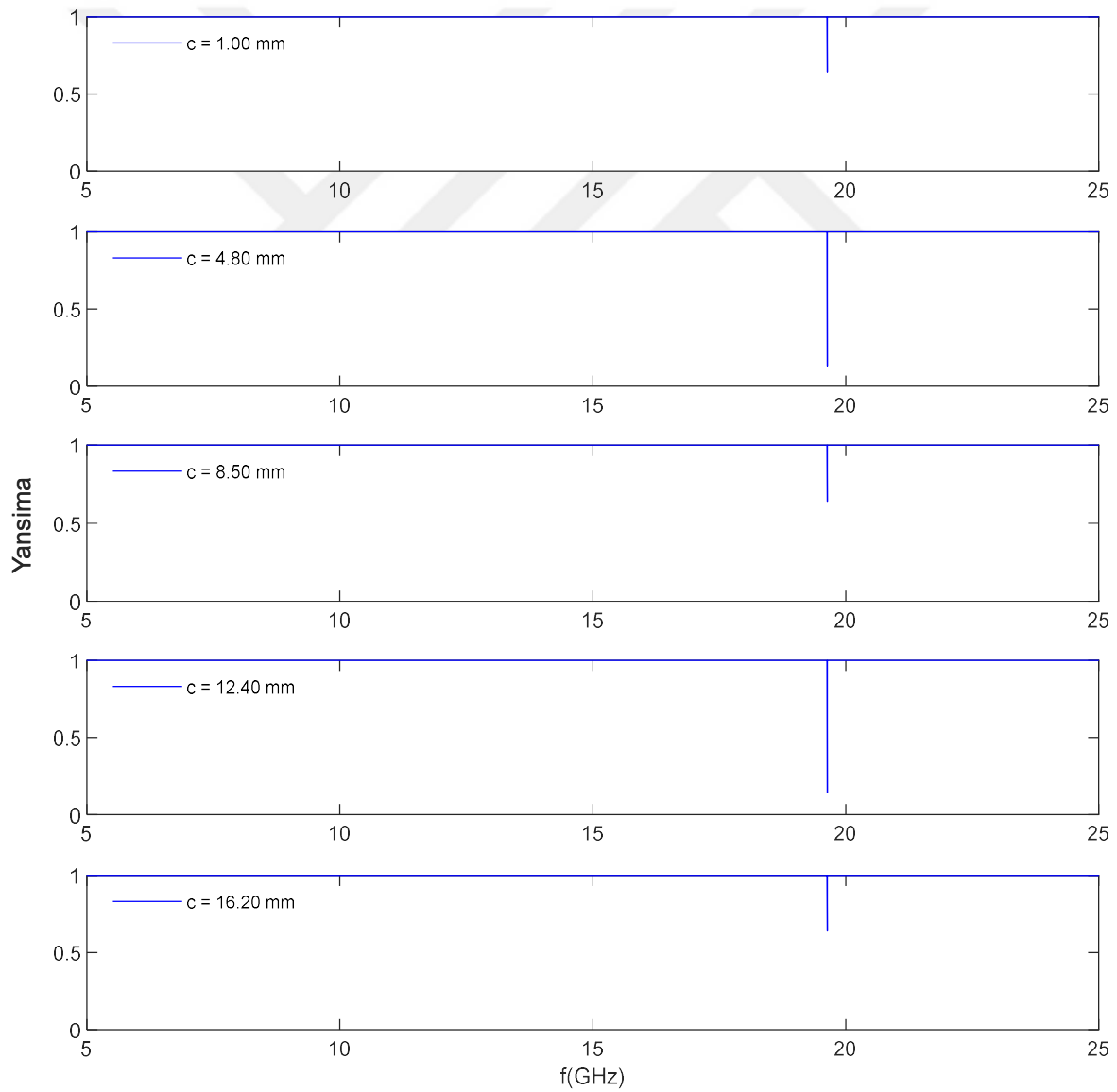
Dizilimde kusur katmanı yok iken ve kusur katmanı eklenmiş iken yansima ve iletim durumlarında meydana gelen değişiklikler Şekil 3.23’de gösterilmektedir. Sağ taraftaki grafikler kusur katmanı eklenerek tasarlanmış sonuçlara ait grafiklerdir.

Yapıya eklenen bu kusur katmanı iletim tepelerinin sayısında azalmaya sebep olmuştur. 8 GHz civarında meydana gelen kanal kusur katmanının etkisi ile yok olmuştur. Yalnızca 18 GHz civarında bulunan kanal sabit kalmıştır. Kusur katmanının Thue-Morse serisinde düşük frekanslarda iletimi azalttığı gözlenmiştir. Sabit kalan kanalın genliklerinde bir değişiklik meydana gelmemiş, 18 GHz etrafında ise sabit kalmıştır. Bu grafiklerden anlaşılacağı gibi, uygulamada dizilimin tam ortasına eklenen kusur katmanı ile kanal sayısı düşük frekanslarda azaltılabilir.

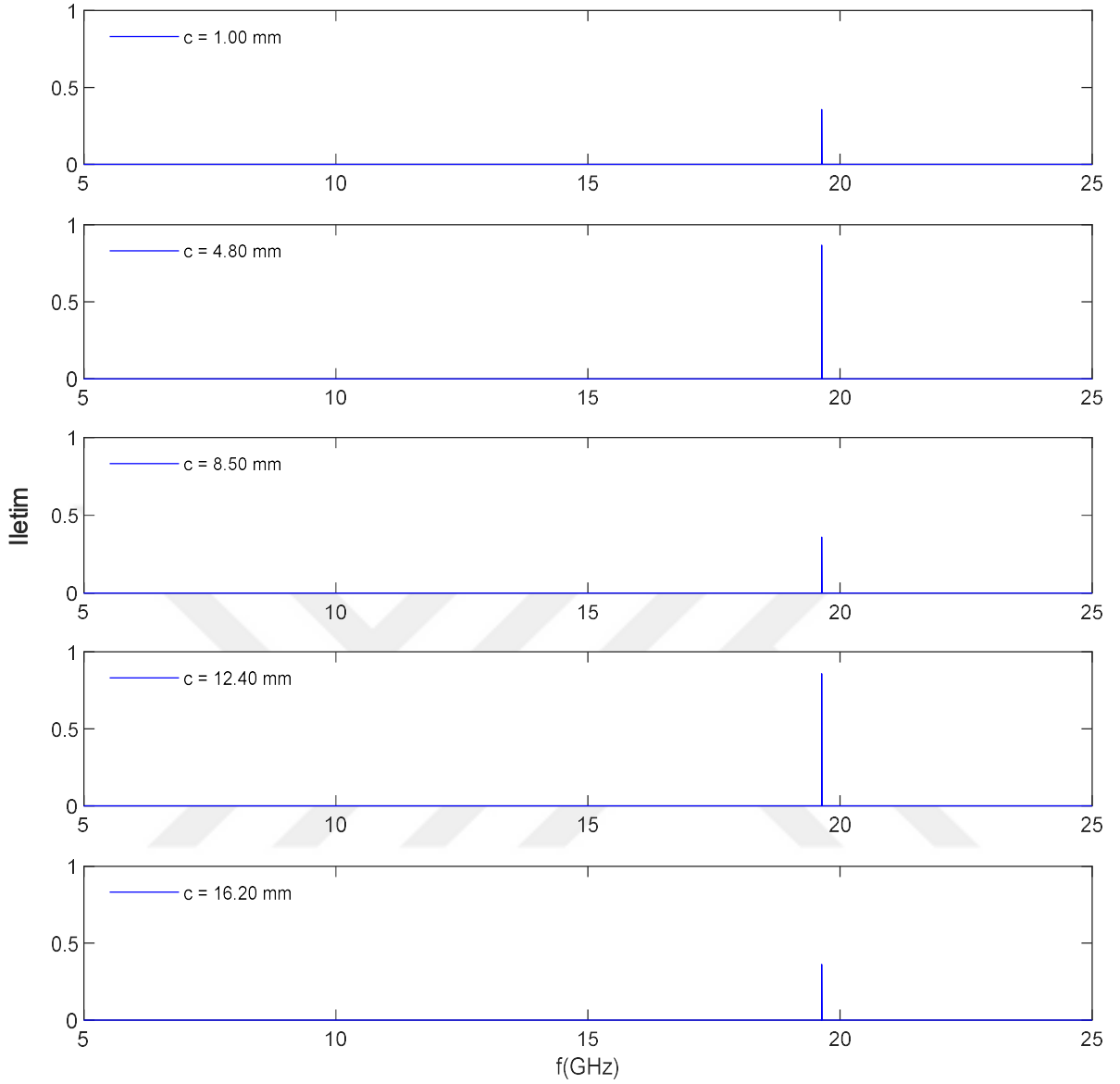
3.4.1. Kusur Katmanı Kalınlığı Etkisi

Bu başlıkta kusur katmanının kalınlığının iletim ve yansıma eğrilerine etkisi araştırılmıştır. Burada tüm parametreler, bölüm başlığında belirtildiği gibi aynı alınmıştır. Kusur katmanının karmaşık dielektrik sabiti ($\epsilon_c = 1$) değiştirilmeyerek yalnızca daha önce $c = 5$ mm olarak alınan değer değiştirilmiştir. Dizilimde bir değişiklik yapılmamış, dizilimin tam ortasına konumlandırılmıştır.

Kusur katmanı kalınlığı $c = 1$ mm , 4.8 mm , 8.6 mm , 12.4 mm , 16.2 mm olarak değiştirilmiş ve etkiler incelenmiştir. Bu etkilerin incelendiği grafikler Şekil 3.24 ve Şekil 3.25'te verilmiştir.



Şekil 3.24. Thue-Morse dizilimin $c = 1$ mm, 4.8 mm, 8.6 mm, 12.4 mm, 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için yansıma katsayısı

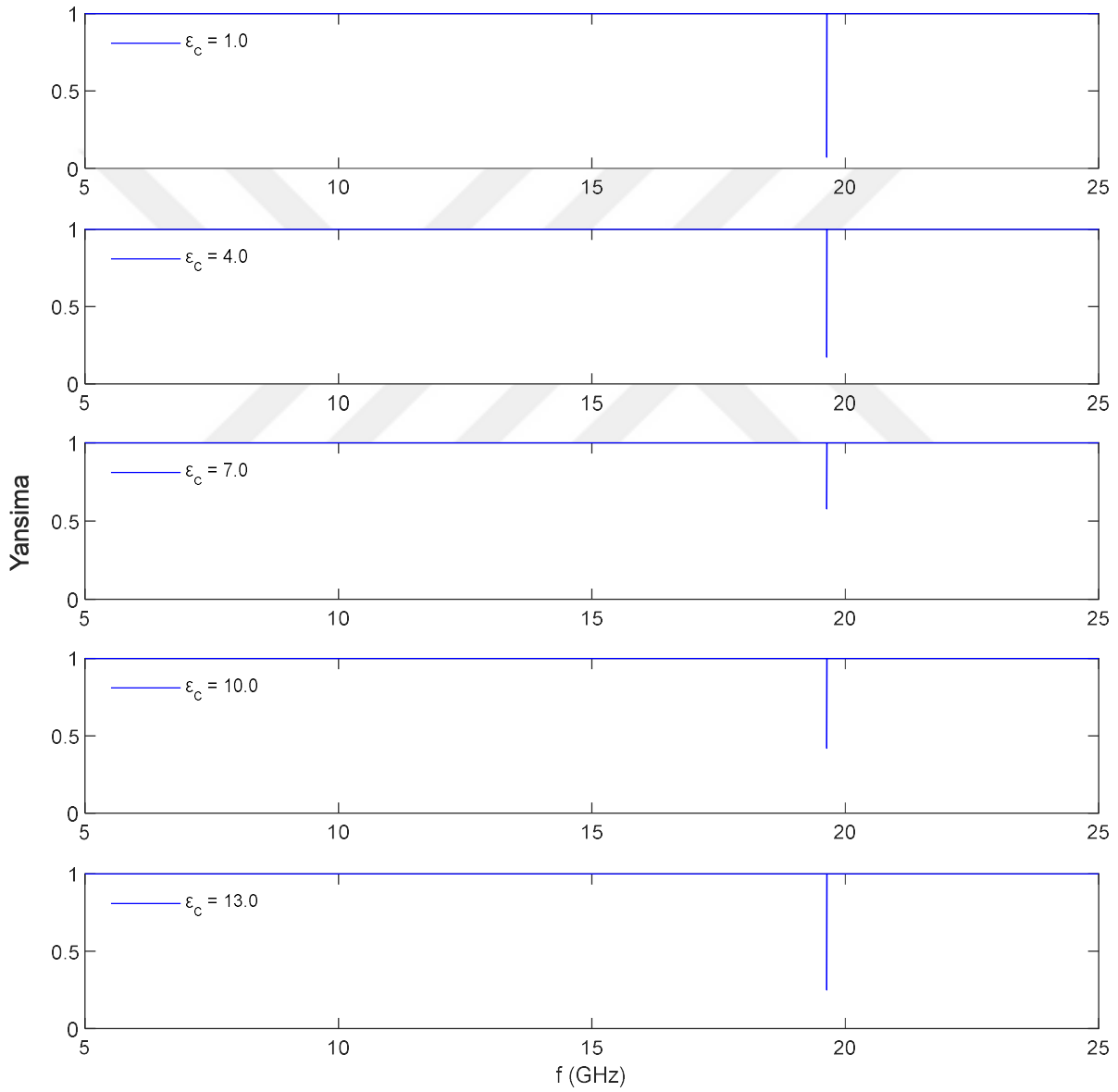


Şekil 3.25. Thue-Morse dizilimin $c = 1 \text{ mm}$, 4.8 mm , 8.6 mm , 12.4 mm , 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için iletim katsayısı

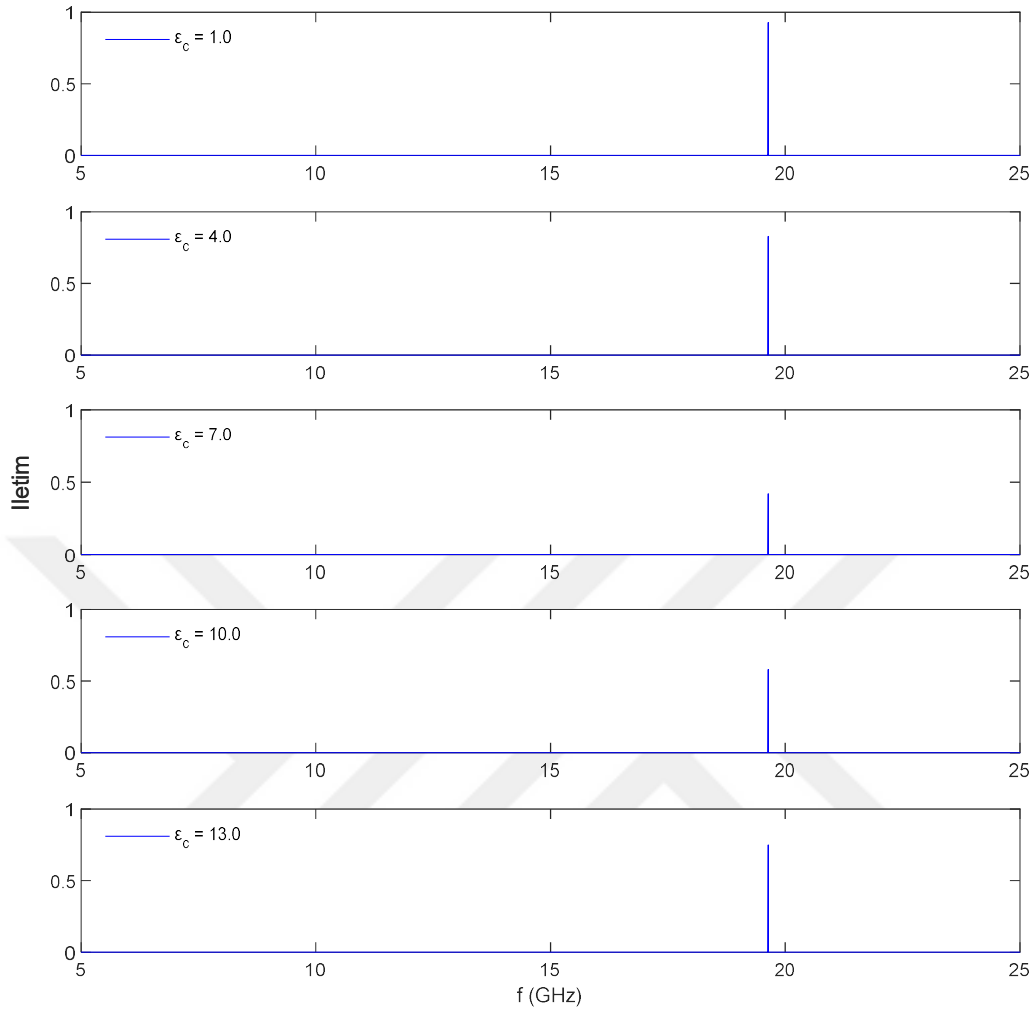
Kusur katmanının eklenmesiyle, önceki bölümde de bahsedildiği gibi kanal yapılarının sayılarında azalma görülmüştür. Yalnızca 19 GHz civarında bulunan kanal sabit kalmış ve iletim tepesi meydana getirmiştir. Kusur katmanın kalınlığı değiştirilerek inceleme yapıldığında iletim spektrumunun meydana geldiği frekans bandında bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Sinyallerin genlik değerleri incelendiğinde yine sabit kaldığı, bir değişim olmadığı incelenmiştir. Sonuç olarak, Thue-Morse dizilimi kusur katmanı kalınlığına duyarlı olmadığı saptanmıştır.

3.4.2. Kusur Katmanı Dielektrik Geçirgenliği Etkisi

Bu bölümde kalınlığı sabit $c = 5$ mm olarak alınmış kusur katmanının bu kez karmaşık dielektrik sabiti değiştirilerek iletim ve yansımaya etkisi araştırılmıştır. Dielektrik sabiti dışında tüm parametreler, önceki sonuçlar ile aynı alınmıştır. Dizilim ise bir önceki ile aynı T_3CT_3 olarak alınmıştır. Kusur katmanının karmaşık dielektrik sabiti $\epsilon_c = 1, 4, 7, 10, 13$ olarak farklı değerlerde alınmış, yansımaya ve iletim katsayıları incelenmiştir. Bu değişime ait grafikler Şekil 3.26 ve Şekil 3.27’de gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Thue-morse dizilimin kusur katmanı $\epsilon_c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için yansımaya katsayısı



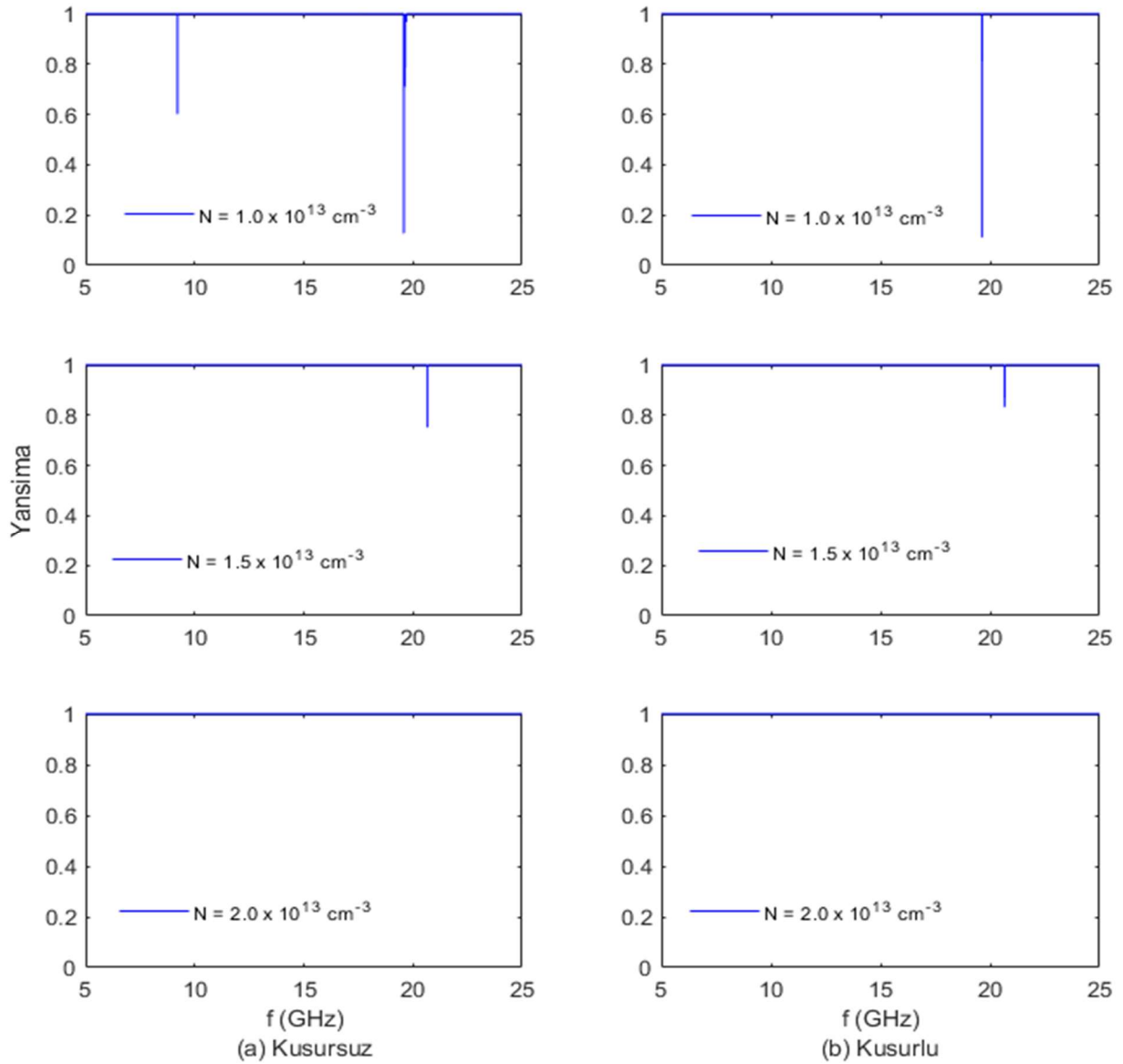
Şekil 3.27. Thue-Morse dizilimin kusur katmanı $\varepsilon_c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için iletim katsayısı

Grafikler incelendiğinde tüm karmaşık dielektrik sabitleri için yine düşük frekanslarda meydana gelen iletim spektrumları sıfırlanmıştır. 19 GHz bandında meydana gelen tepe değere bakıldığında kusur katmanının karmaşık dielektrik sabitinden etkilendiği görülmüştür. Karmaşık dielektrik sabitin değişimi yalnızca iletim ve yansıma değerlerinin büyüklüğüne etki etmiştir. İletim değerleri 19 GHz’ de sabittir. Dielektrik geçirgenlik $\varepsilon_c = 1$ değerinde 19 GHz üzerinde görünen iletim en yüksek değerini almıştır, $\varepsilon_c = 4$ iken değerinde bir azalma oluşmuş fakat $\varepsilon_c = 7$ değerinde yeniden artış gözlenmiş hatta 23 GHz civarında yeni bir iletim tepesi oluşmuştur. Değer düşmeye devam ettikçe iletim değeri giderek azalmıştır. Yansıma değerlerine bakıldığında iletim

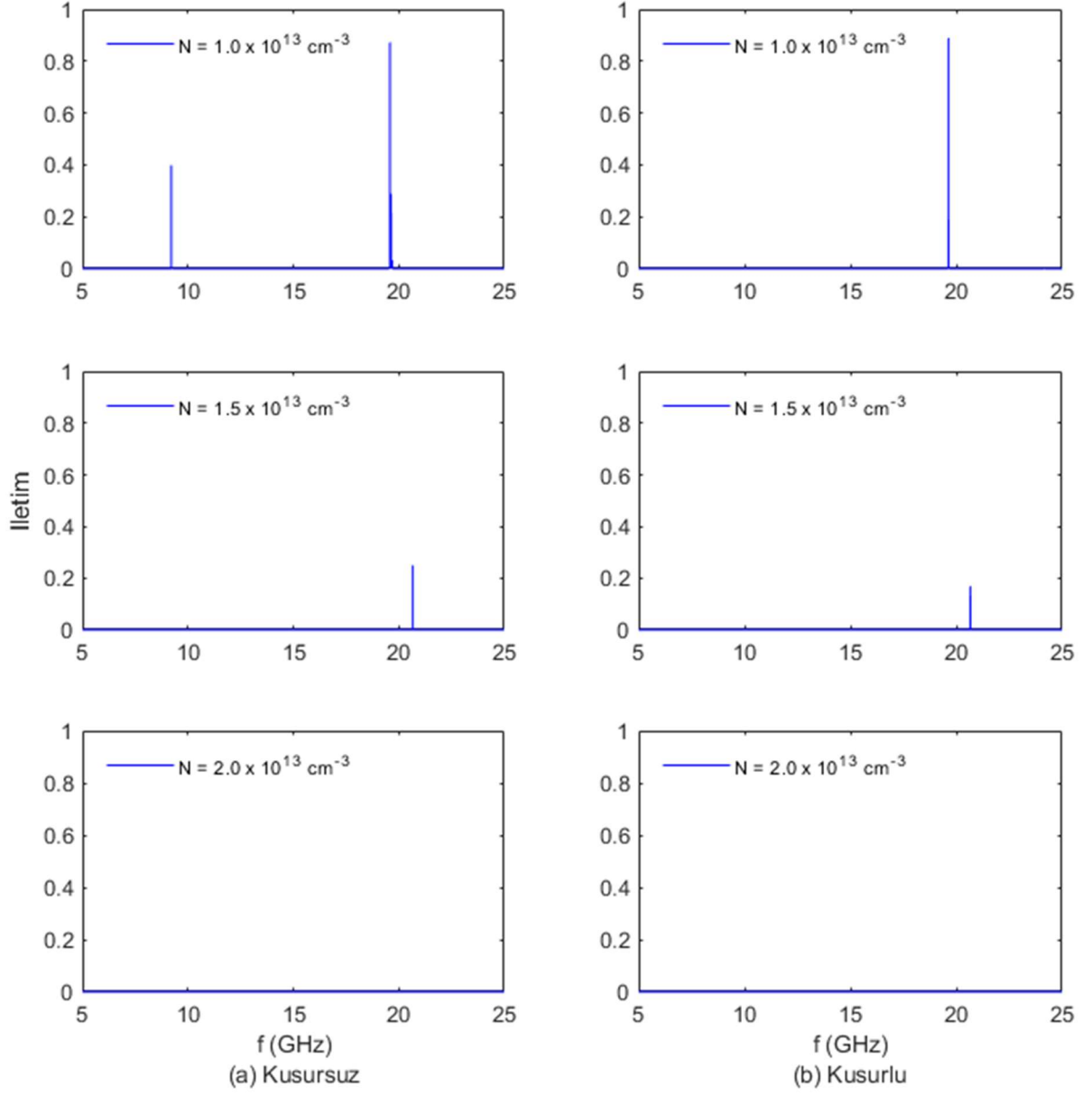
azaldıkça yansımanın en yüksek değerine yükseldiği görülmüştür. Yansıma gerektiren optik uygulamalar için yüksek dielektrik geçirgenliğe sahip bir kusur katmanı uygulama açısından başarılı olacaktır.

3.4.3. Elektron Yoğunluğu Etkisi

Tez çalışmasının bu bölümünde makalede daha önce araştırılan elektron yoğunluğunun değişimi bu kez kusur katmanı eklenerek Thue-Morse serisinin 3. hücresi için Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'da yansıma ve iletim katsayıları incelenmiştir.



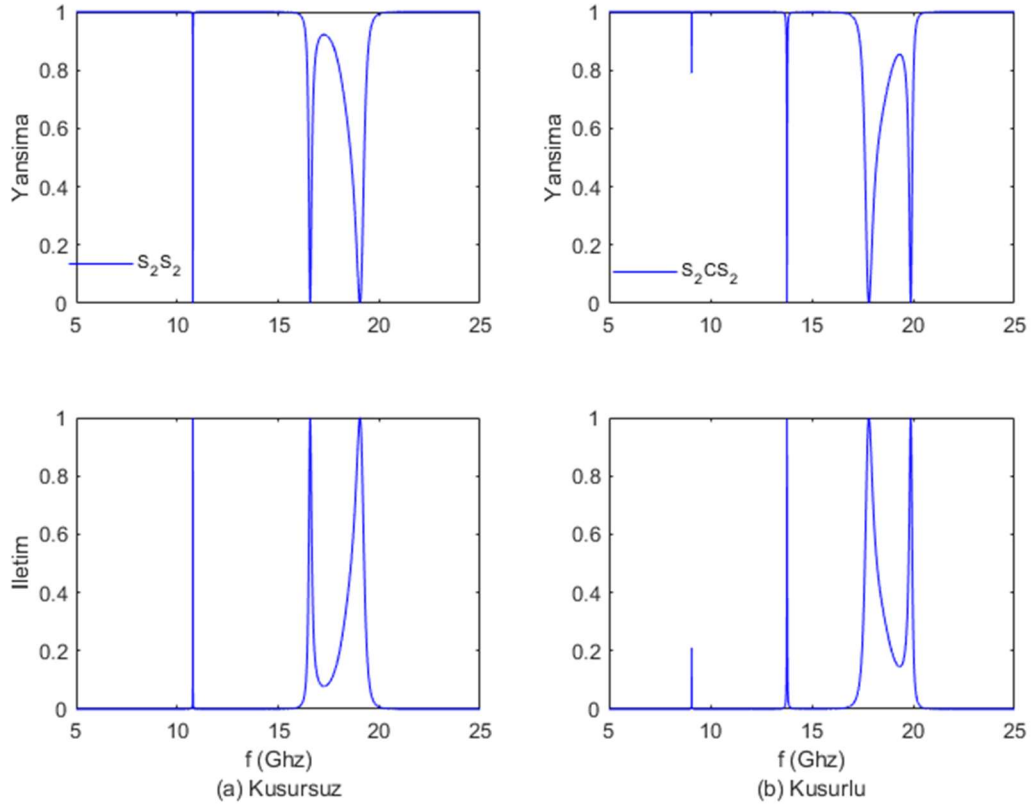
Şekil 3.28. Thue-Morse dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için yansıma katsayısı



Şekil 3.29. Thue-Morse dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için iletim katsayısı

Kusur katman kalınlığı $c = 5 \text{ mm}$, karmaşık dielektrik sabiti $\varepsilon_c = 1$, dizilim ise bir önceki ile aynı T_3CT_3 olarak alınmıştır. Elektron yoğunluğu ise $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ olarak farklı değerler için araştırılmıştır. İletim ve yansımalar spektrumlarının konumlarına bakıldığında elektron yoğunluğunun artışı tepelerin her birinin daha yüksek frekanslara kaymasına sebep olmuştur. Kusur katmanı var iken de aynı etkiyi yaratarak yine spektrumların yüksek frekanslara kaymasına sebep olmuştur. Bu etki kusur katmanı ile incelediğinde yine kanal sayısında azalmaya sebep olmuştur. Elektron yoğunluğu arttıkça iletim dalgalarının genliklerinde ise bir azalma

Bu bölümde Cantor serisinin 2. hücre yapısı (S_2) olan 9 katmanlı yapı ele alınmıştır. Bu hücre ardışık olarak iki kez tekrarlanarak 18 katman olarak dizilmiştir. Şekil 3.30'de gösterildiği gibi kusur katmanı dizilimin tam ortasına yerleştirilmiştir. Bu dizilimin sembolik ifadesi S_2CS_2 olarak tanımlanabilir.



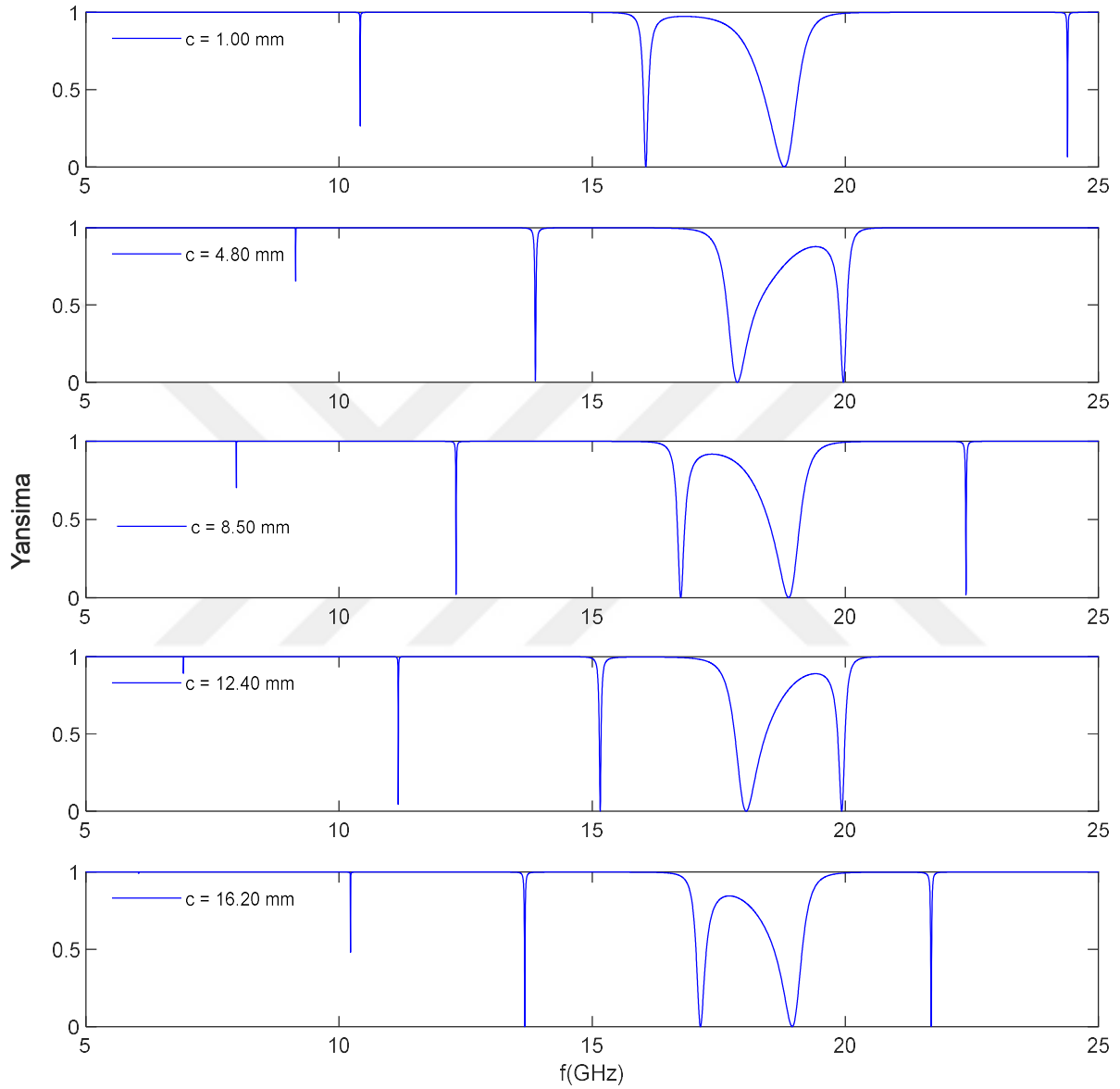
Şekil 3.31. Cantor PFK yapısının yansima ve iletim katsayıları

Kusur katmanının dizilime dahil edilmesi ile meydana gelen değişiklikler Şekil 3.31'de gösterilmektedir. Cantor serisinde 15-20 GHz aralığında oluşan eğriye baktığımızda diğer serilerden daha geniş bantlı tepe ve çukur eğrileri olduğu görülmektedir. 11 GHz civarında ise dar bantlı bir iletim daha oluşmaktadır. Dar ve daha geniş bantlardan oluşan üç kanallı bir yapı görülmektedir. Yapıya eklenen bu kusur katmanı ile 26 GHz civarında bir ek spektrum görülmüştür. Cantor serisinde kusur katmanı kanal sayısını artırmak amacıyla kullanılabilecek bir uygulama olabileceği tespit edilmiştir.

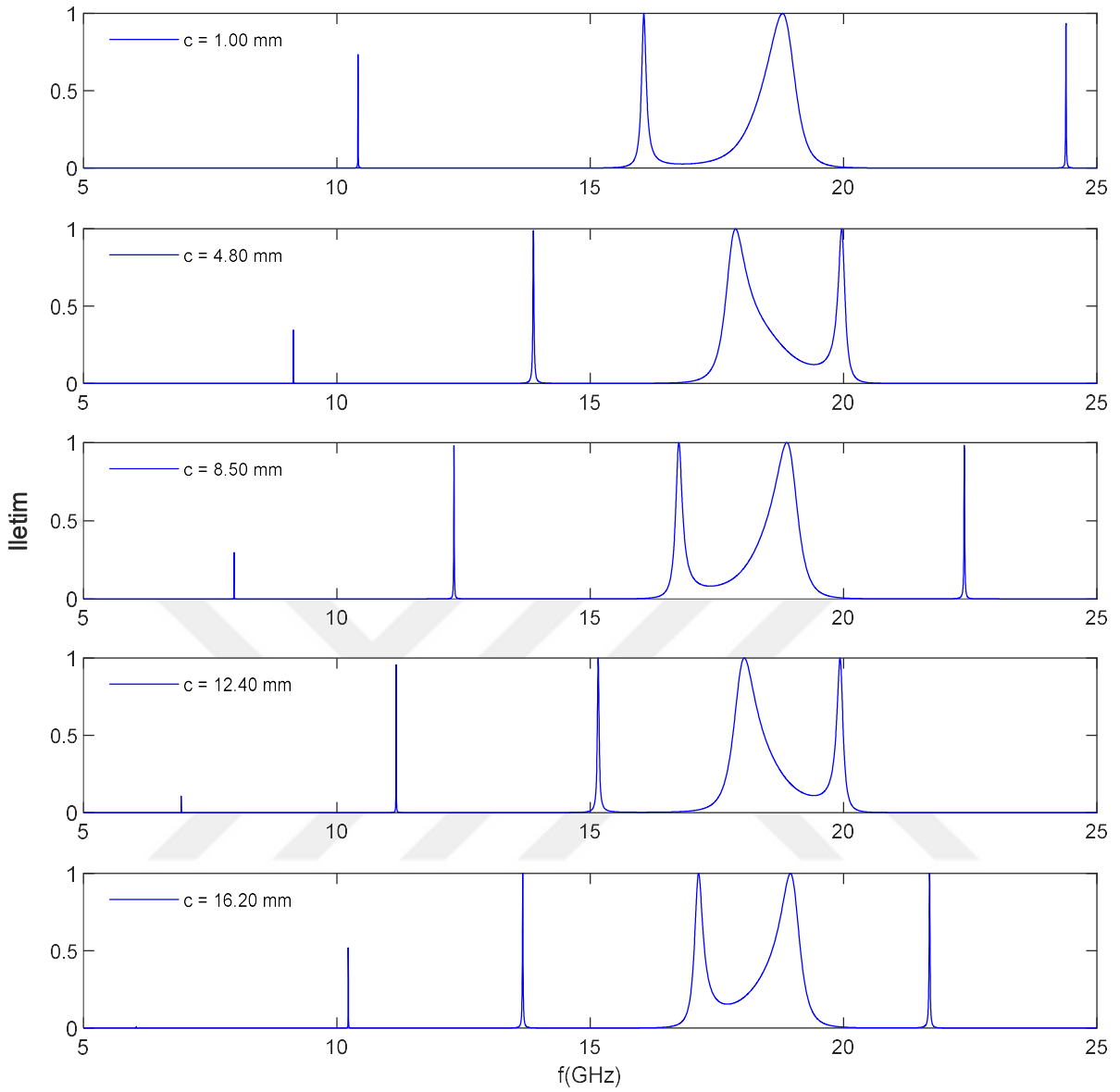
3.5.1. Kusur Katmanı Kalınlığı Etkisi

Cantor serisine ait dizilimde bu kez kusur katmanının kalınlığının iletim ve yansima eğrilerine etkisi araştırılmıştır. Dizilimde kusur katmanı yine ortaya konumlandırılmıştır.

Kusur katmanı karmaşık dielektrik sabiti ($\epsilon_c = 1$) değiştirilmeyerek yalnızca kalınlık değeri kalınlığı $c = 1 \text{ mm}$, 4.8 mm , 8.6 mm , 12.4 mm , 16.2 mm olarak değiştirilmiş ve etkiler incelenmiştir. Burada diğer tüm parametreler, daha önce belirtildiği gibi aynı alınmıştır. Bu etkilerin incelendiği grafikler Şekil 3.32 ve Şekil 3.33'te verilmiştir.



Şekil 3.32. Cantor dizilimin $c = 1 \text{ mm}$, 4.8 mm , 8.6 mm , 12.4 mm , 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için yansımaya katsayısı



Şekil 3.33. Cantor dizilimin $c = 1$ mm, 4.8 mm, 8.6 mm, 12.4 mm, 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için yansıma katsayısı

Kusur katmanının eklenmesiyle, dar bantta oluşan iletim spektrumlarında artış gözlenmiştir. Kalınlık artışı 15-20 GHz aralığında oluşan diğerlerine göre daha geniş bant aralığına sahip iletim eğrilerinde frekansta kaymaya sebep olmuştur.

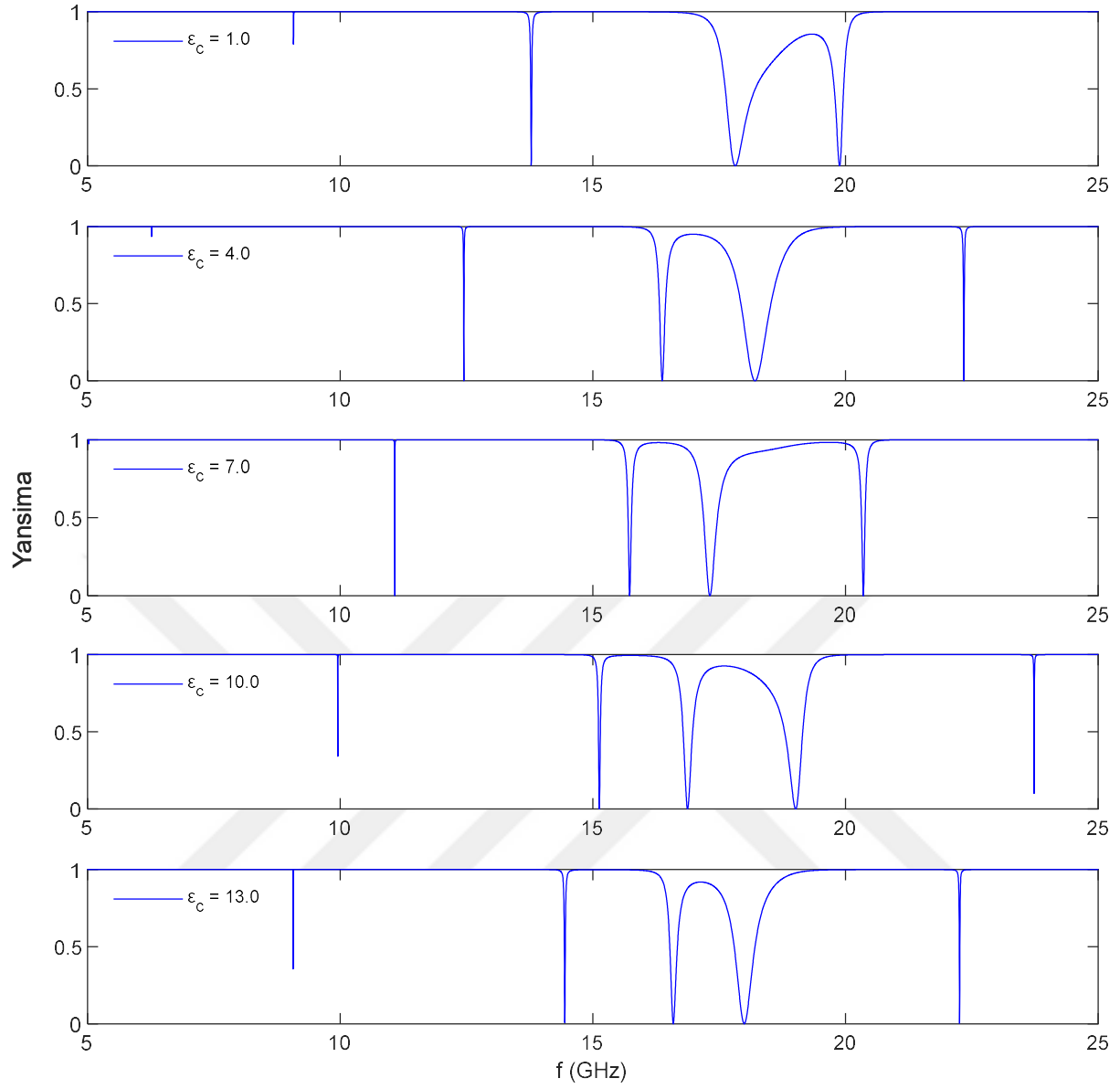
$c = 1$ mm, 8.6 mm, ve 16.2 mm için 20-25 GHz aralığında yeni bir kanal oluştuğu görülmüştür. Her bir kalınlıkta 10-15 GHz aralığında bir kanal vardır, kalınlık değişimi bu spektrumun yerini değiştirmekte ama yine de 10-15 GHz bandında tutmaktadır. Kalınlık $c = 16.20$ mm olduğunda diğerlerinden farklı olarak 15-20 GHz aralığında

geniş bantta iletim gösteren tepelerin sayısı üçe çıkmıştır. Bu aralıkta sinyallerin genlik değerleri incelendiğinde bir değişim görülmemektedir. Katman kalınlığının artışı belirli bir düzen içerisinde değişim göstermese de grafiklere bakıldığında Cantor serisinin kusur katmanı değişimine duyarlı olduğu görülmektedir. Kanal sayısı ve frekans bölgesinin değişimine ihtiyaç duyulan bir uygulamada bu özellik ayarlanabilirlik açısından uygun olabilir.

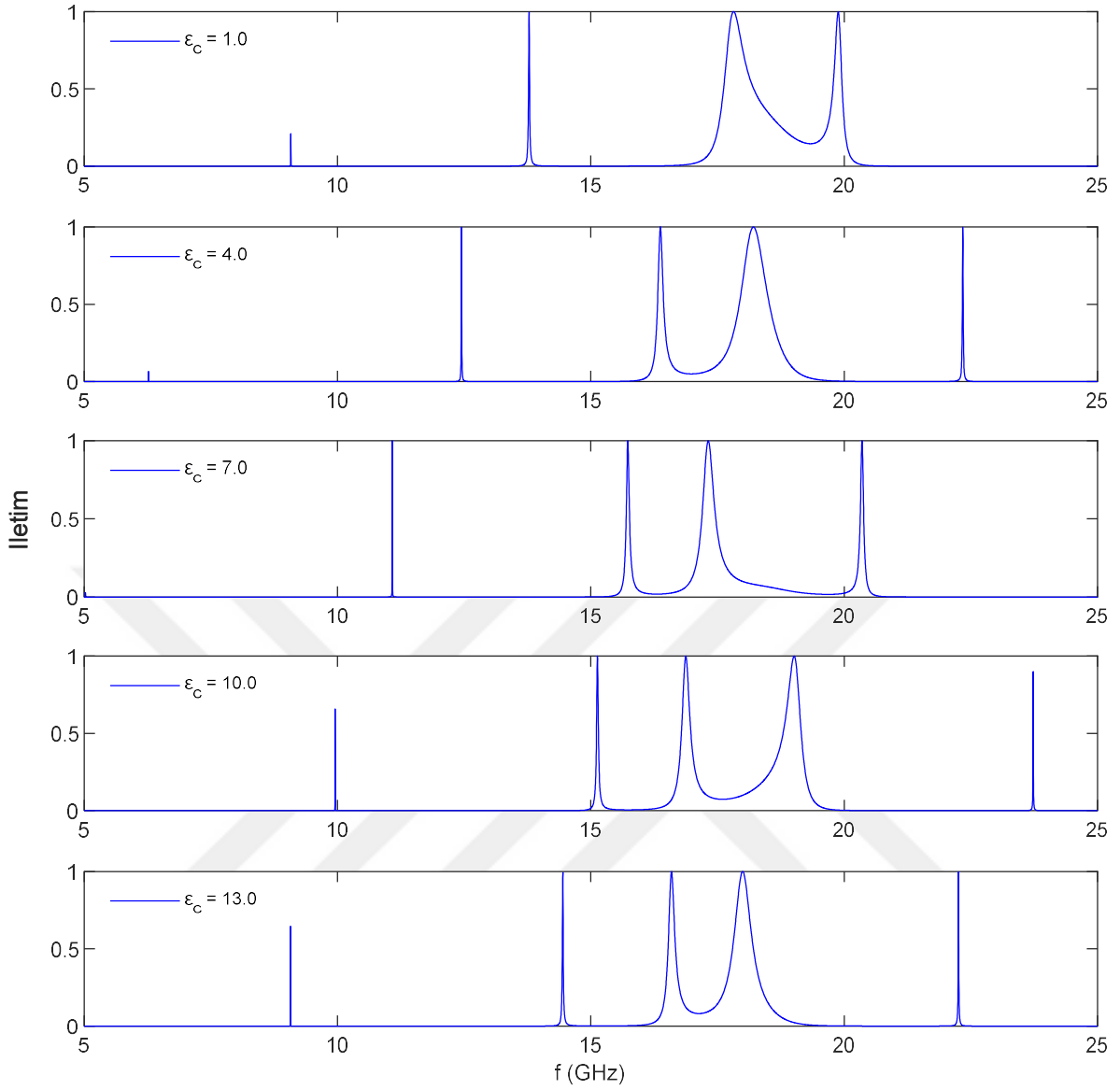
3.5.2. Kusur Katmanı Dielektrik Geçirgenliği Etkisi

Bu bölümde S_2CS_2 yapısındaki Cantor dizilimli yapının bu kez yalnızca kusur katmanının karmaşık dielektrik sabiti değiştirilerek iletim ve yansımaya katsayılarına etkisi araştırılmıştır. Dielektrik sabiti dışında tüm parametreler, önceki sonuçlar ile aynı alınmıştır. Kusur katman kalınlığı daha önce olduğu gibi $c = 5$ mm olarak alınmıştır. Karmaşık dielektrik sabitleri $\epsilon_c = 1, 4, 7, 10, 13$ olan kusur katmanı için değişim incelenmiştir. Bu değişime ait grafikler Şekil 3.34 ve Şekil 3.35'te gösterilmiştir.

Grafikler incelendiğinde 10-15 GHz arasında oluşan iletim spektrumunun karmaşık dielektrik sabitin artmasıyla daha düşük frekanslara kaydığı, aynı zamanda genliğinin $\epsilon_c = 10$ değerinden sonra azalmaya başladığı görülmüştür. $\epsilon_c = 10$ iken iletim değerlerinin daha düşük frekanslara doğru kaydığı bu kaymanın 10-15 GHz ve 20-25 GHz aralığında bulunan dar bantlı spektrumlarında daha belirgin, 15-20 GHz arasında bulunan daha geniş bantlı spektrumlarında ise daha az belirgin olduğu görülmüştür. Yine 15-20 GHz aralığına bakıldığında iletimlerin genlik değerlerinde bir değişim olmamıştır. Bütün bu sonuçlar göze alındığında kusur katmanının dielektrik sabitinin bu dizilim üzerinde ayarlanabilir özellikte etkisi olduğu saptanmıştır. Düşük frekanslarda yansımaya özelliği öne çıkmakta ve yüksek frekanslarda daha geniş bantlı iletimler meydana gelmektedir.



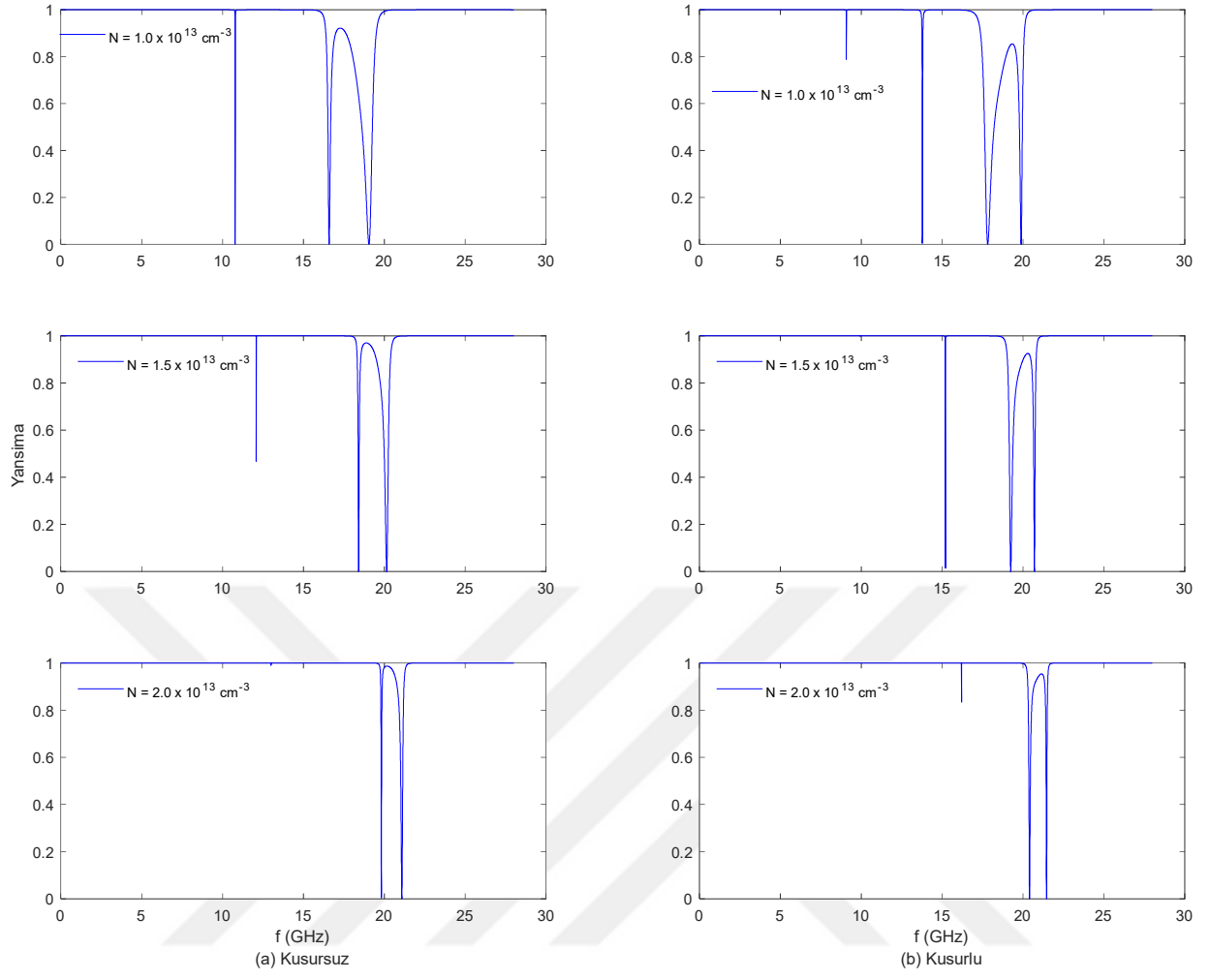
Şekil 3.34. Cantor dizilimin kusur katmanı $\epsilon_c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için yansima katsayısı



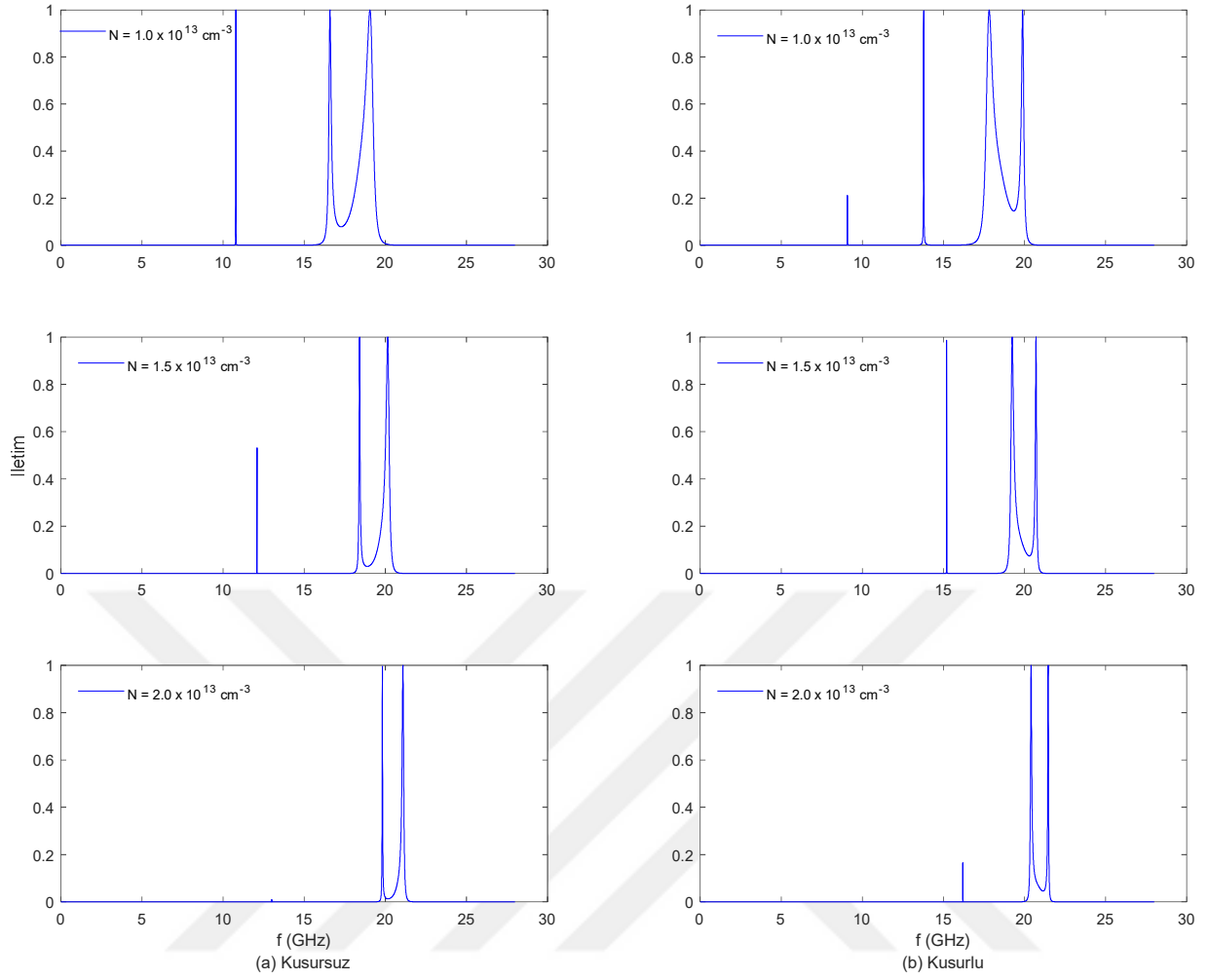
Şekil 3.35. Cantor dizilimin kusur katmanı $\epsilon_c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için iletim katsayısı

3.5.3. Elektron Yoğunluğu Etkisi

Cantor serisinin çalışıldığı bu bölümde tüm parametreler aynı tutularak bu kez elektron yoğunluğu etkisi incelenmiştir. Burada yine kusur katman kalınlığı $c = 5$ mm, karmaşık dielektrik sabiti $\epsilon_c = 1$, dizilim ise bir önceki ile aynı S_2CS_2 olarak alınmıştır. Elektron yoğunluğu ise $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ olarak farklı değerler için Şekil 3.36 ve Şekil 3.37’de araştırılmıştır.



Şekil 3.36. Cantor dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için yansima katsayısı



Şekil 3.37. Cantor dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} , $2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için iletim katsayısı

İletim ve yansıma spektrumlarının konumlarına bakıldığında elektron yoğunluğunun artışı ile spektrumların her biri daha yüksek frekanslara kaymıştır. Kusur katmanı etkisiyle oluşan 25-30 GHz bandındaki iletim spektrumu $N = 1.5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ değerine geçerken yüksek frekansa kaymış ve genliği azalmıştır, $N = 2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ değerinde ise tamamen yok olmuştur. 10-15 GHz aralığında görülen iletimde ise aynı şekilde önce azalma daha sonra en yüksek yoğunlukta tamamen kaybolma görülmüştür. 15-20 GHz aralığındaki eğrilerde ise yoğunluk arttıkça yüksek frekanslara kaymış ve iletim bantlarının daralarak tepe noktalarının birbirlerine yaklaştığı gözlenmiştir. Fakat bu aralıkta genlik değerlerinde bir değişim olmamıştır. Bu etki kusur katmanı ile incelendiğinde kanal sayısında azalmaya, tepe arası değerlerin daha da dar bant oluşturmaya sebep olmuştur. Kanal sayısı azaltmak veya artırmak için kullanılacak bir uygulamada elektron yoğunluğu etkisi oldukça kullanışlı olabilir.

4. FARKLI SERİ TİPLERİNE GÖRE TASARLANMIŞ MANYETİZE EDİLMİŞ SOĞUK PLAZMA İÇEREN PFK YAPILARI İÇİN SONUÇLAR

Çalışmanın bu bölümünde; basit bir plazma yapısı yerine manyetize edilmiş soğuk plazma özelliklerine sahip bir malzemenin, dielektrik ve kusur katmanları ile kompozit hale getirildiği fotonik kristal yapı diziliminin elektromanyetik dalgalarla etkileşimi incelenmiştir. Yansıma, iletim ve soğurma parametreleri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Analizler için Transfer Matris Metodu ve MATLAB programı kullanılmıştır.

Manyetize edilmiş plazma ortamı, diğer çalışmalardan farklı olarak kayıplı bir ortam oluşturur. Bu ortamda eklenen çarpışma frekansı, yapı üzerinde bir soğurma özelliği oluşturur. Bu bölümde odak noktası, malzemenin soğurma özelliğinin incelenmesidir.

Bu çalışmada katman tasarımında

- Periyodik dizilim
- Cantor serisi ile dizilim

kullanılmıştır.

Çalışılan dizilim türleri için Bölüm 4'te araştırılan aşağıdaki etkiler:

- 1.Kusur Katman Kalınlığının Etkisi
- 2.Kusur Katmanı Dielektrik Sabiti Etkisi
- 3.Plazma Yoğunluğunun Etkisi
- 4.Dış Manyetik Alan Etkisi
- 5.Çarpışma Frekansı Etkisi

incelenmiştir.

4.1. Periyodik Dizilime Göre Tasarlanan PFK Yapıları İçin Sonuçlar

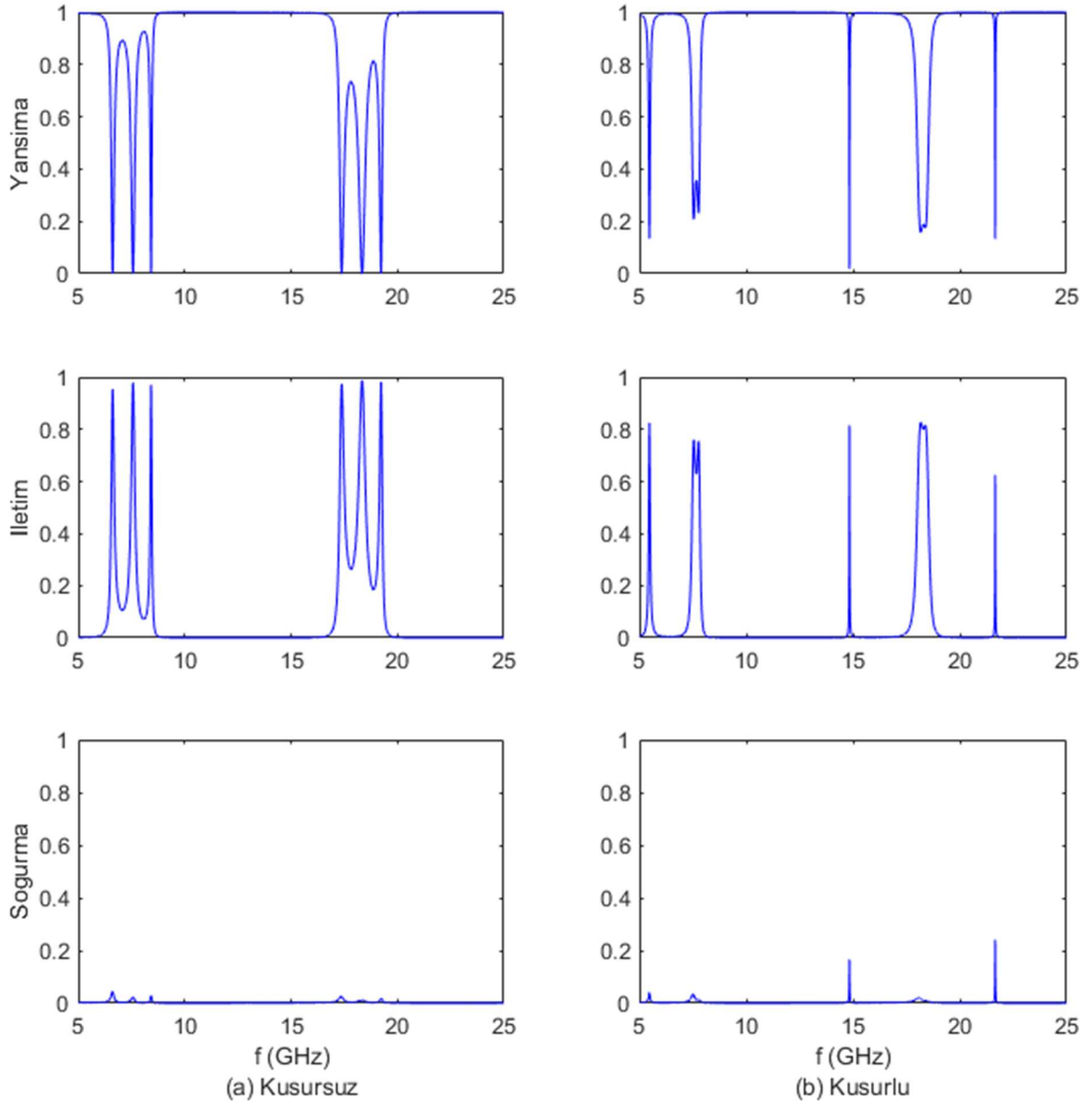
Çalışmanın bu kısmında, Bölüm 3'te belirtilen malzeme ve formülasyon parametreleri aynı olarak alınmıştır. Dielektrik malzemeyi tanımlayan A malzemesinin karmaşık dielektrik sabiti 4 'tür ($\epsilon_a = 4$). B katmanında bulunan plazma için ise elektron

yoğunluğu $N = 1.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$, elektron yükü $e = 1.6021 \times 10^{-19} \text{ C}$, elektron ağırlığı $m = 9.1093 \times 10^{-31} \text{ g}$ olarak alınmış ve plazma frekansı $f_p = 28.367 \text{ GHz}$ 'dir. Plazma malzemesi bu kez manyetize edilmiş soğuk plazma olarak alınmıştır.

A katmanının kalınlığı $a = 5 \text{ mm}$, B katmanının kalınlığı $b = 5 \text{ mm}$ olarak belirlenmiştir. Çarpışma frekansı $\nu = 0.005\omega_p$, dış manyetik alan $B_0 = 0.5 \text{ T}$ olarak alınmıştır. Kusur katmanı dizilimin tam ortasına yerleştirilmiş ve dizilim AB^2CAB^2A halini almıştır. C, kusur katmanını ifade eden dielektrik malzemedir. Kusur katmanın karmaşık dielektrik sabiti 1'dir ($\epsilon_c = 1$). Kusur katmanında $c = 5 \text{ mm}$ olarak alınmıştır.

Kusur katmanının dizilime eklenmesi ile yansıma, iletim ve soğurma katsayılarında meydana gelen değişiklikler Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Sağ taraftaki grafikler kusur katmanı eklenerek tasarlanmış sonuçlara ait grafiklerdir.

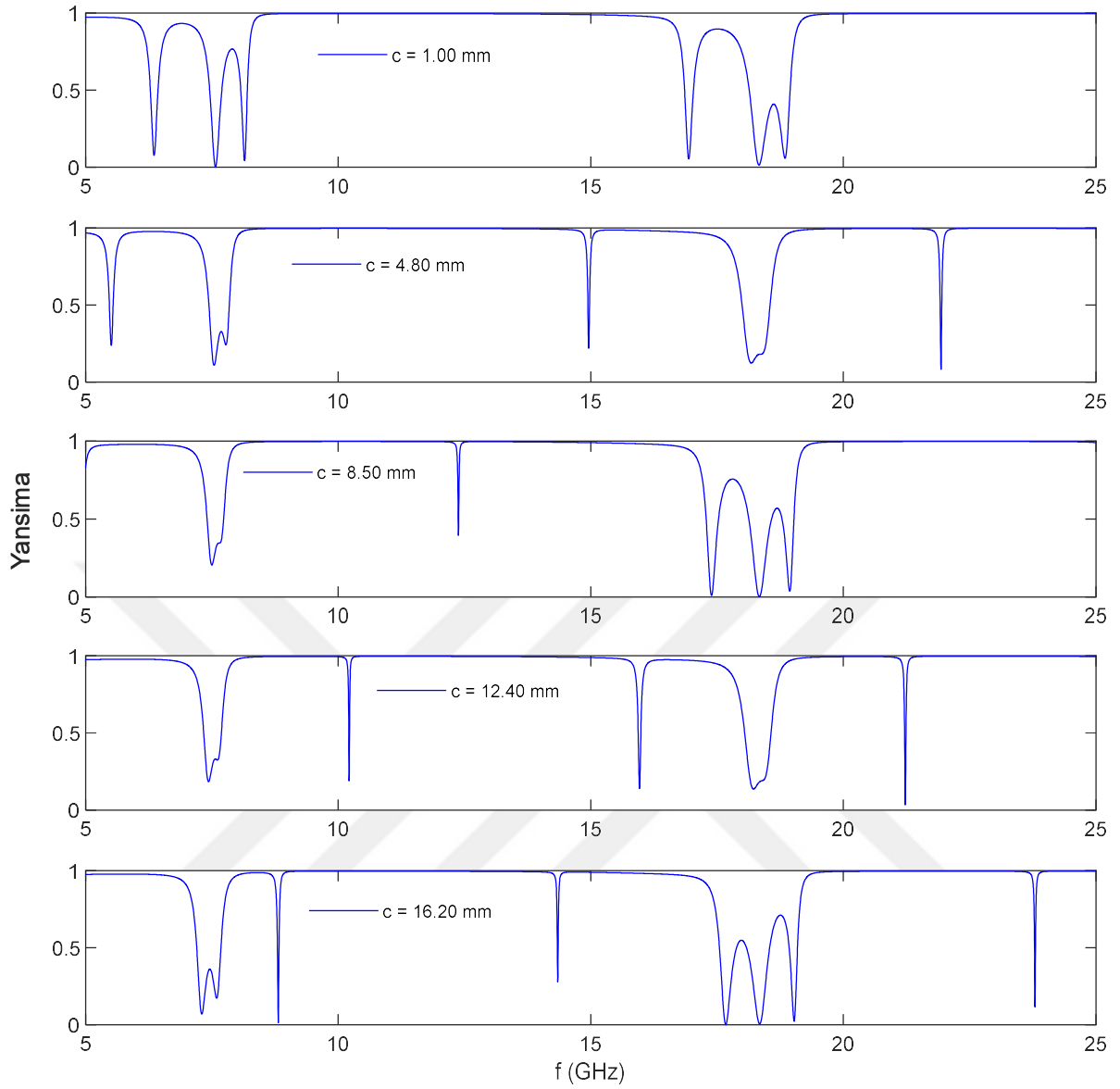
Kusur katmanının eklenmesi ile iletim tepelerinde gözlemlenen azalma, periyodik yapının bozulmasından kaynaklanmaktadır. 4 kere tekrarlanan periyodik yapının kusur katmanı tarafından ikiye ayrılması, tekrarlı kanal yapısını bozmuş ve kanal sayısını azaltmıştır. Kanalların yerinde büyük bir değişiklik olmasa da 9-20 GHz frekans aralığında bazı değişiklikler gözlenmiştir. 9 GHz civarındaki kanallar tek bir kanalda birleşmiş, 20 GHz civarındaki kanallar ise genişlikleri ve tepe noktalarının birbirine olan uzaklıkları bakımından farklılaşmıştır. Bu grafiklerden anlaşılacağı gibi, uygulamada dizilimin tam ortasına eklenen kusur katmanı ile kanal sayısı azaltılabilir.



Şekil 4.1. Periyodik dizilime göre tasarlanan kusursuz ve kusurlu PFK yapısı için yansım, iletim ve soğurma katsayısı

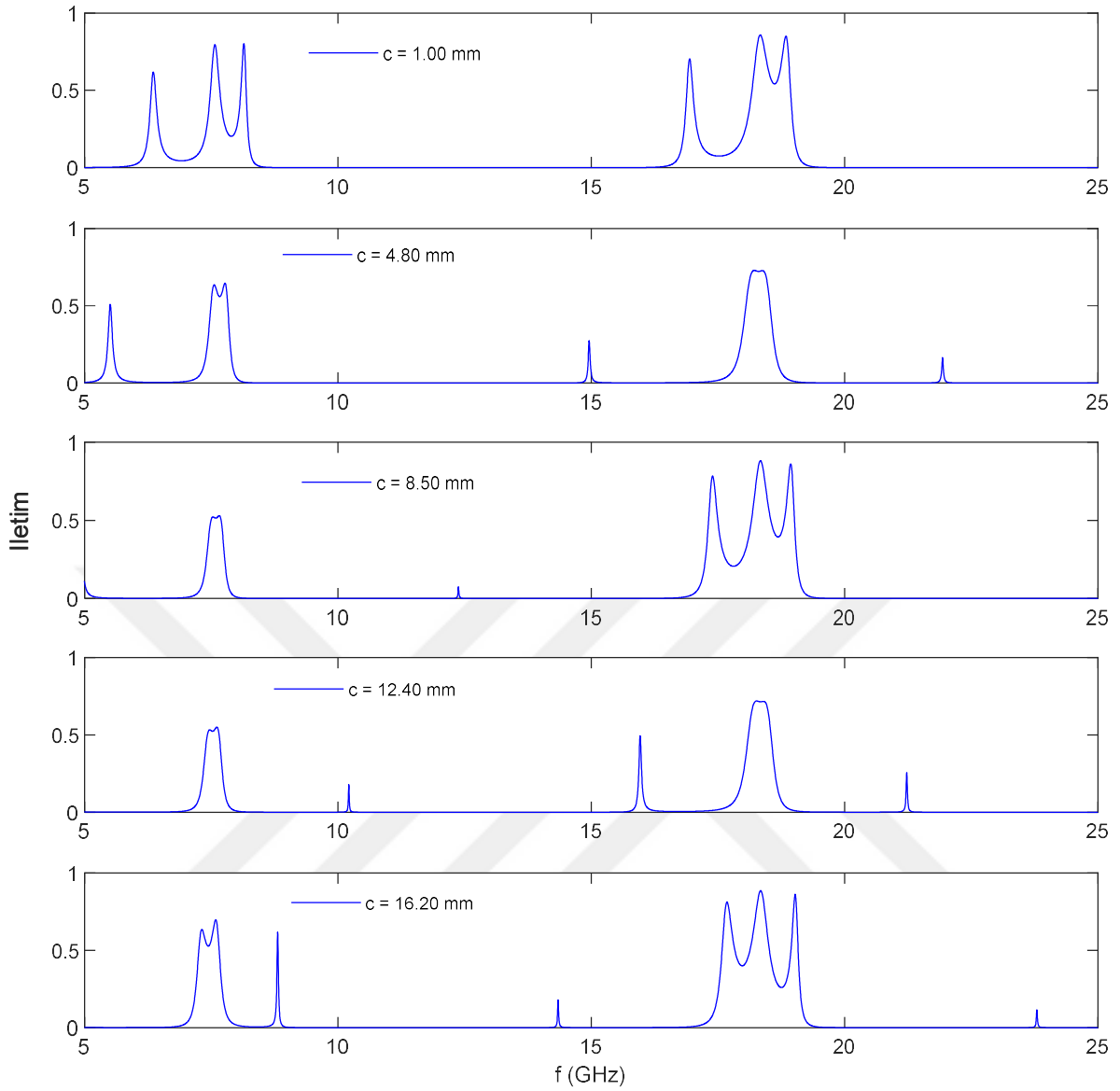
4.1.1. Kusur Katmanı Kalınlığı Etkisi

Bu başlıkta, kusur katmanı olarak dizilimin ortasına eklenen C malzemesinin kalınlığının iletim, yansım ve soğurma eğrilerine etkisi incelenmiştir. A ve B malzemesine ait bilgiler yukarıda verilmiş olup bu parametreler aynı alınmıştır. Kusur katmanının karmaşık dielektrik sabiti ($\epsilon_c = 1$) olarak alınmış, kusur katmanı kalınlığı $c = 1 \text{ mm}$, 4.8 mm , 8.6 mm , 12.4 mm , 16.2 mm olarak beş farklı değer için incelenmiştir. Bu etkilerin incelendiği grafikler Şekil 4.2’de verilmiştir.



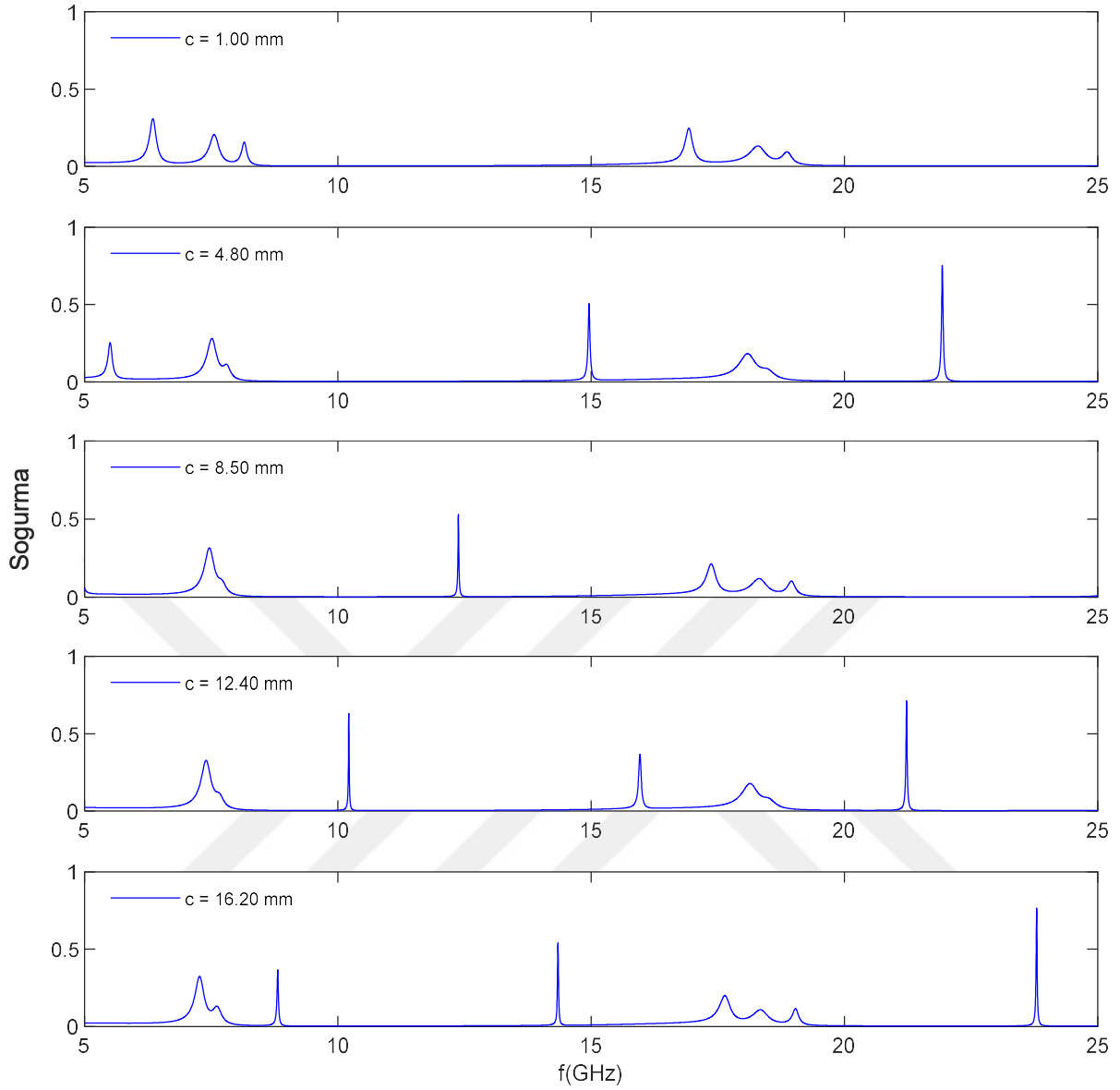
Şekil 4.2. Periyodik dizilimin $c = 1$ mm, 4.8 mm, 8.6 mm, 12.4 mm, 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için yansımaya katsayısı

Şekil 4.2'ye göre, yansımaya katsayısı 10-15 GHz ve 20-25 GHz frekans aralıklarında en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Bu durum, bu frekans aralıklarında elektromanyetik dalgaların yapı tarafından güçlü bir şekilde yansıtıldığını gösterir. 5-10 GHz ve 15-20 GHz frekans aralıklarında ise yansımaya değerlerini engelleyici kanallar oluşmuştur. Her bir kalınlıkta kanal sayıları farklıdır ve kanal sayıları ve genlikleri belirli bir düzen içerisinde değişmemektedir.



Şekil 4.3. Periyodik dizilimin $c = 1$ mm, 4.8 mm, 8.6 mm, 12.4 mm, 16.2 mm kusur katman kalınlığı değerleri için iletim katsayısı

Yansıma grafiğinin tersine, Şekil 4.3'te 10-15 ve 20-25 GHz arasında iletim tamamen yok olmuştur. 5-10 ve 15-20 GHz aralığında iletim katsayısı 0.5 değeri etrafında dalgalanma göstermektedir. Bu değerler arasında her kalınlıkta farklı kanal sayısı, farklı genişlik ve genlik değerlerindedir. Kusur katman kalınlığının artması iletim grafiğinde belirli bir düzende olmasa da değişim mevcuttur.

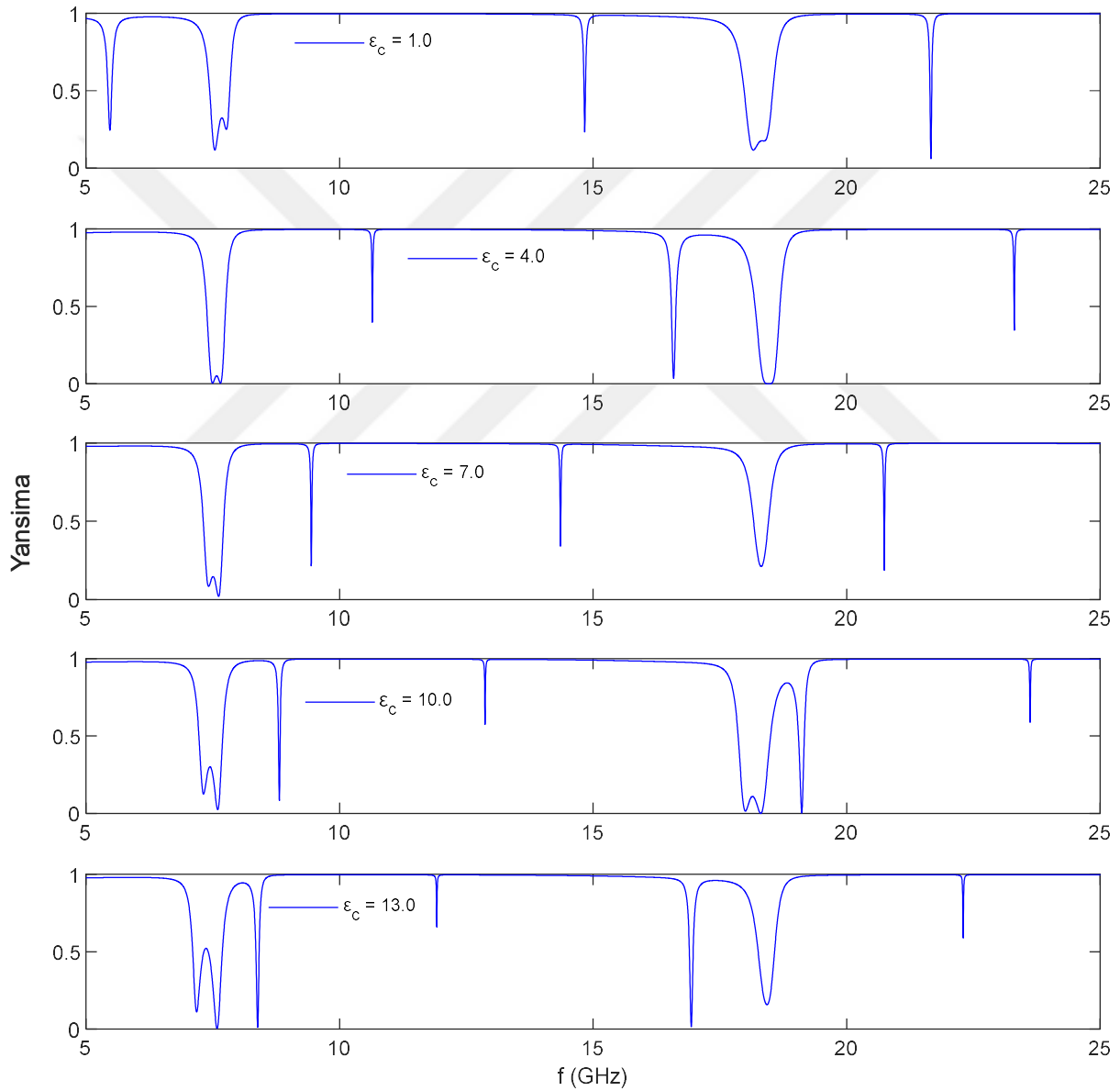


Şekil 4.4. Periyodik dizilimin $c = 1 \text{ mm}$, 4.8 mm , 8.6 mm , 12.4 mm , 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için soğurma katsayısı

Soğurma grafiği incelendiğinde ise Şekil 4.4'te görüldüğü gibi 5-10 ve 15-20 GHz sonrası tıpkı iletim grafiğinde olduğu gibi soğurma kanalları oluşmuş fakat burada soğurma katsayısı oldukça düşük olarak görülmüştür. 10-15 ve 20-25 GHz aralığında soğurma en düşük değerinde olup bu değerlerde yansıma vardır. Kusur katman kalınlığı etkisine bakıldığında bu değişimin grafikte sabit bir değişime ve düzene sebep olmadığı saptanmıştır.

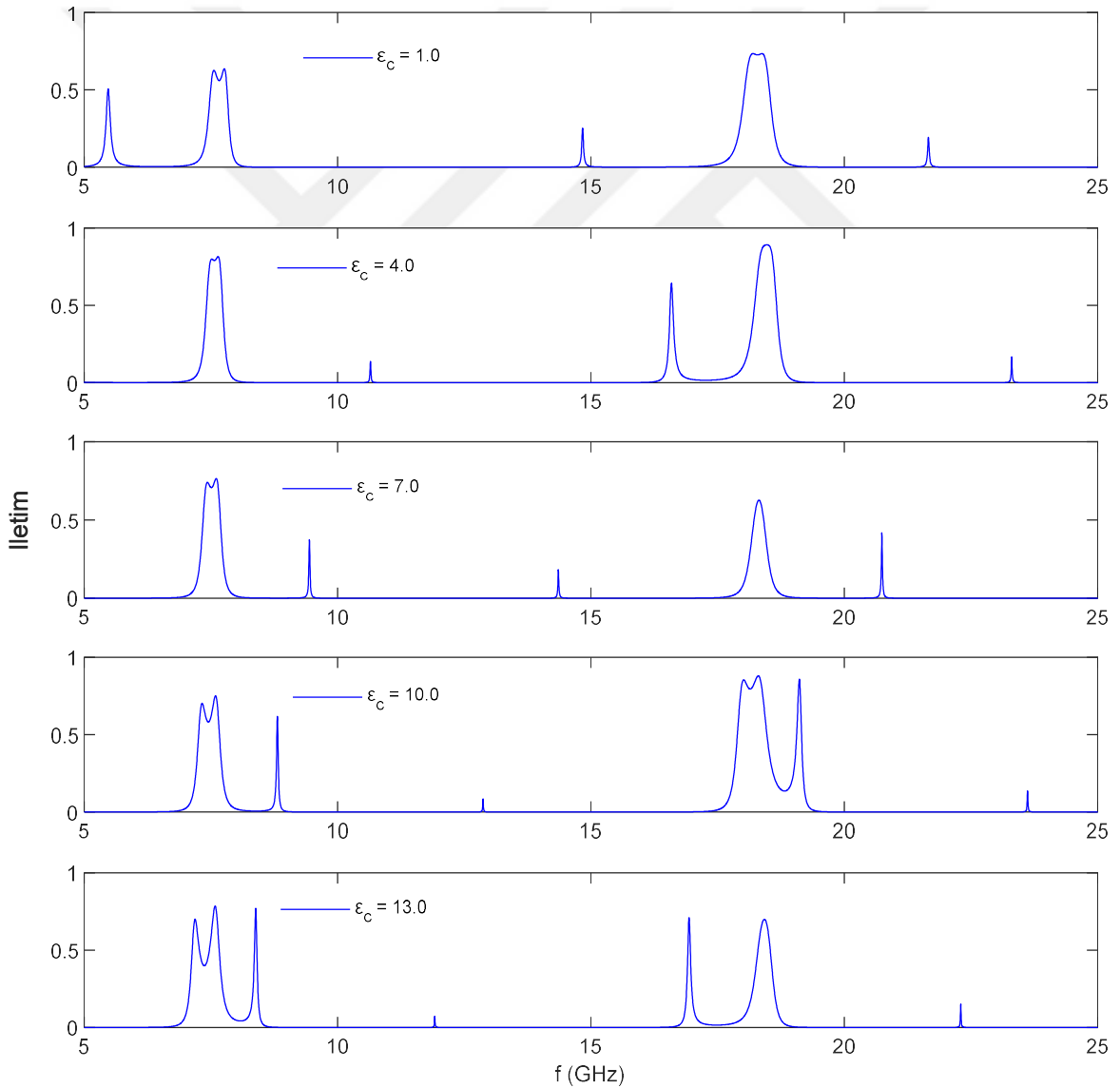
4.1.2. Kusur Katmanı Dielektrik Geçirgenliği Etkisi

Çalışmanın bu kısmında manyetize edilmiş soğuk plazma özelliği gösteren malzeme ile yapılan periyodik dizilimde kusur katmanının karmaşık dielektrik sabiti $\epsilon_c = 1, 4, 7, 10, 13$ değerleri ile değiştirilerek iletim, yansıma ve soğurma katsayılarına etkisi araştırılmıştır. Dielektrik sabiti dışında tüm parametreler, önceki sonuçlar ile aynı ve kusur katman kalınlığı daha önce olduğu gibi $c = 5$ mm olarak alınmıştır. Bu değişime ait grafikler Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



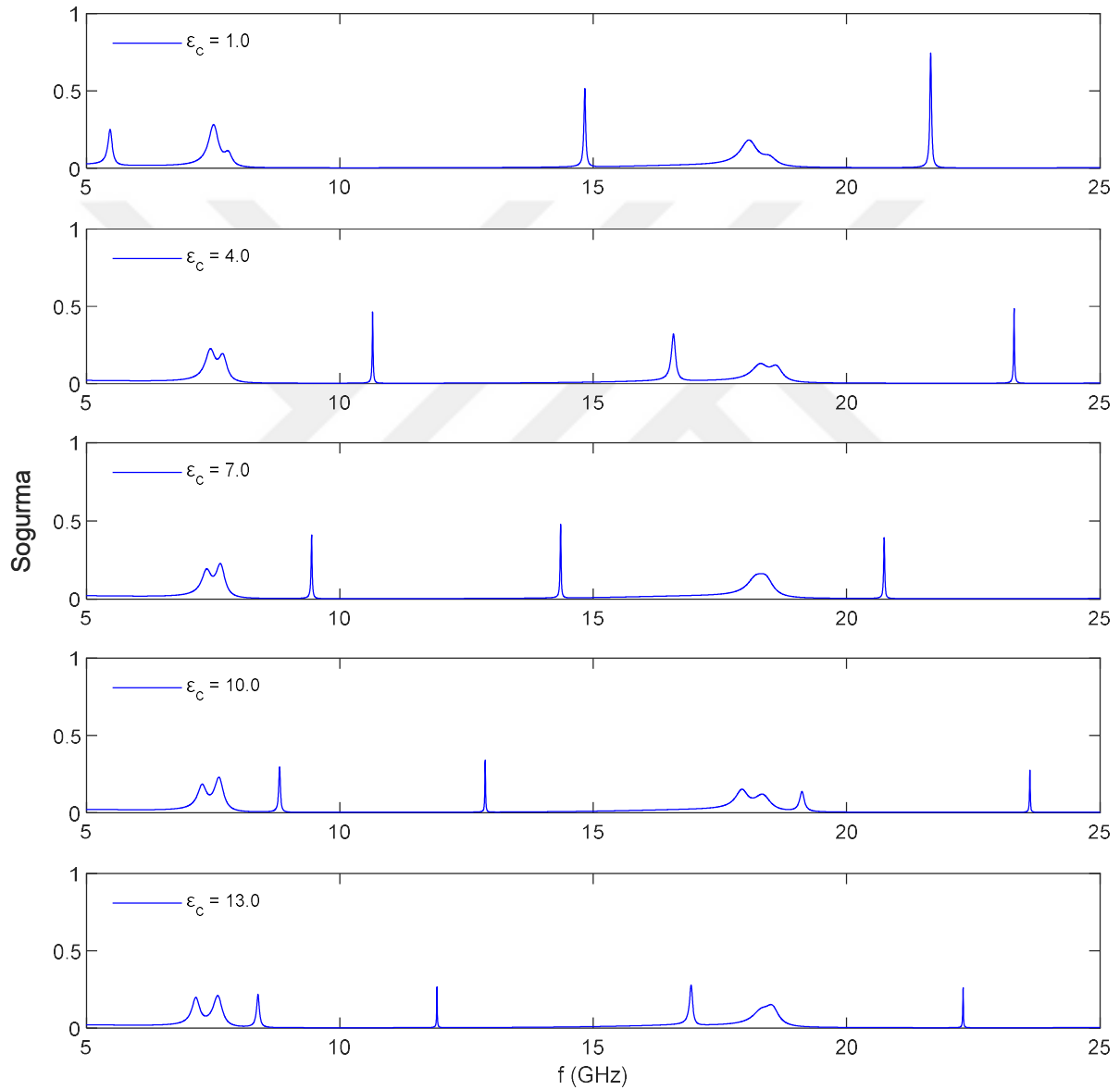
Şekil 4.5. Periyodik dizilimin kusur katmanı $\epsilon_c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için yansıma katsayısı

Şekil 4.5'te kusur katmanlı dielektrik sabiti için yansıma grafiği verilmiştir. Bu grafikte 5-10 GHz aralığında yansımanın engellediği bant aralıkları olduğu ve bu bantların dielektrik sabiti değeri yükseldikçe genişlediği ve kanal sayılarının arttığı görülmektedir. $\epsilon_c = 4$ değerinden sonra 11 GHz civarında çukur bantı oluşmuş ve bu bant sabit değeri arttıkça yüksek frekanslara kaymış ve en sonunda 7 GHz civarında bulunan yapıyla birleşerek $\epsilon_c = 13$ değerinde 3 kanallı bir yapı oluşturmuştur. Diğer frekans aralıklarında da bir değişim görülse de 5-10 GHz aralığında oluşan düzenli bir değişim mevcut değildir. Fakat diğer frekans aralıklarında da yansımayı minimum değere düşüren çukurların genlik, genişlik ve frekans değerlerinde düzenli olmasa da değişim meydana gelmiştir.



Şekil 4.6. Periyodik dizilimin kusur katmanı $\epsilon_c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için iletim katsayısı

Şekil 4.6'daki iletim grafiğinde de benzer olarak yine 5-10 GHz aralığında yansımanın minimum seviyeye düştüğü bölgelerde iletim görülmektedir. Bu grafikte de dielektrik sabitin değerinin artması iletimde kanallı bir yapının oluşmasına sebep olmuştur. Diğer frekanslarda da yine yansıma da olduğu gibi genlik, frekans ve genişliklerde düzensiz bir değişim görülmektedir.



Şekil 4.7. Periyodik dizilimin kusur katmanı $\epsilon_c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için soğurma katsayısı

Soğurma grafiğinden elde edilen sonuçlar da durum, yansıma ve iletim grafikleri ile benzerlik göstermektedir. Bu grafikte yine 5-10 GHz aralığında soğurma meydana

gelen bant aralıkları olduğu ve bu bantlarda dielektrik sabiti kanal sayılarının arttığı tespit edilmiştir. $\epsilon_c = 4$ değerinden sonra 11 GHz civarında bir tepe oluşmuş ve bu tepe sabit değeri arttıkça yüksek frekanslara kaymış ve en sonunda 7 GHz civarında bulunan yapıyla birleşerek $\epsilon_c = 13$ değerinde 3 kanallı bir soğurma yapısına dönüşmüştür. 10-15 GHz aralığında $\epsilon_c = 7$ iken oluşan soğurma bandının değeri arttıkça düşük frekanslara kaydığı ve genlik değerinin giderek düştüğü görülmektedir.

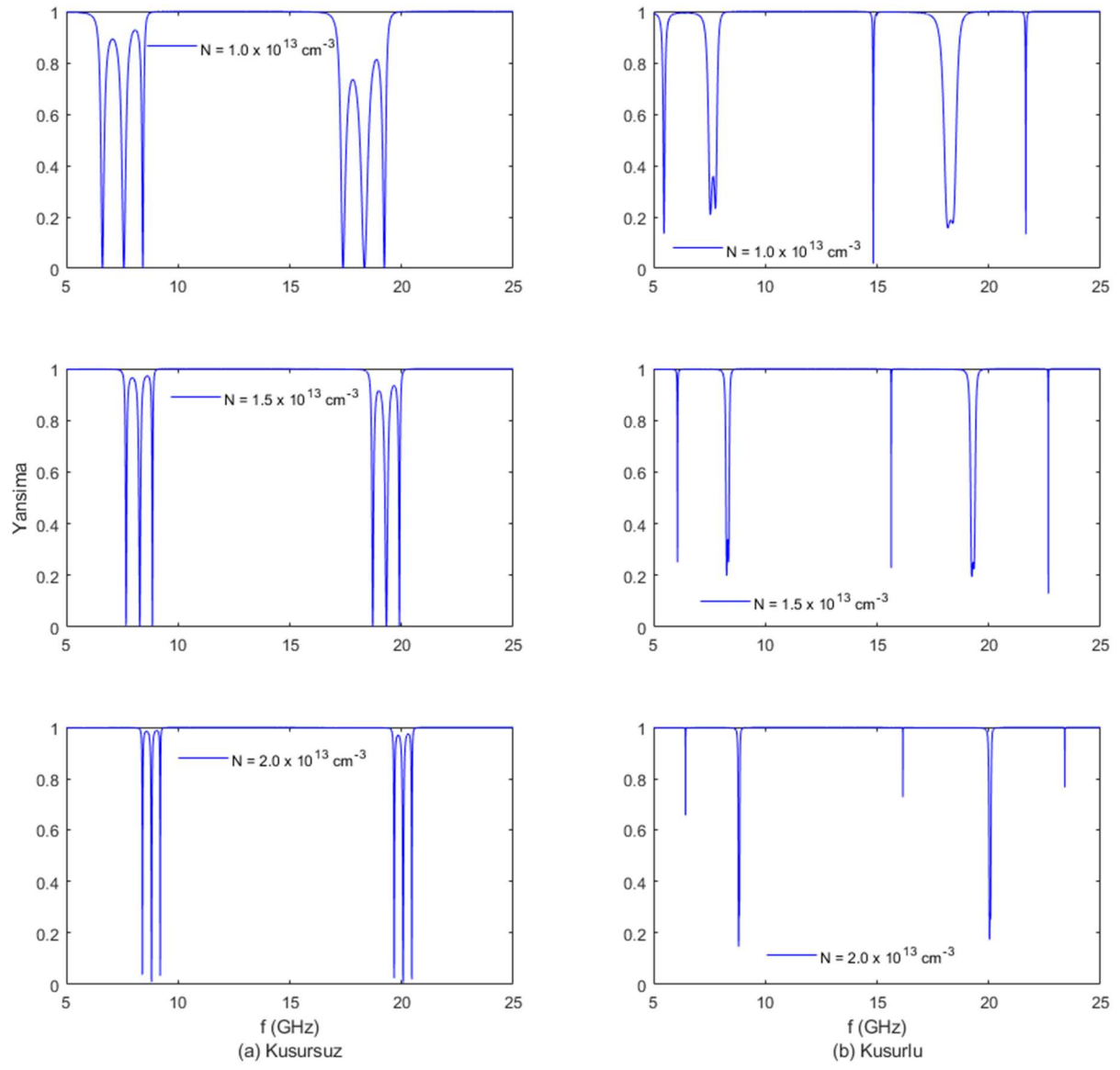
4.1.3. Elektron Yoğunluğu Etkisi

Burada elektron yoğunluğunun yansıma, iletim ve soğurma katsayılarına olan etkileri incelenmiştir. Tüm parametreler önceki bölümlerle aynı, kusur katman kalınlığı $c = 5$ mm, karmaşık dielektrik sabiti $\epsilon_c = 1$, dizilim ise AB^2CAB^2A olarak alınmıştır. Elektron yoğunluğu, $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ olarak üç farklı değerde hesaplanarak Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da sırasıyla yansıma, iletim ve soğurma katsayıları için incelenmiştir.

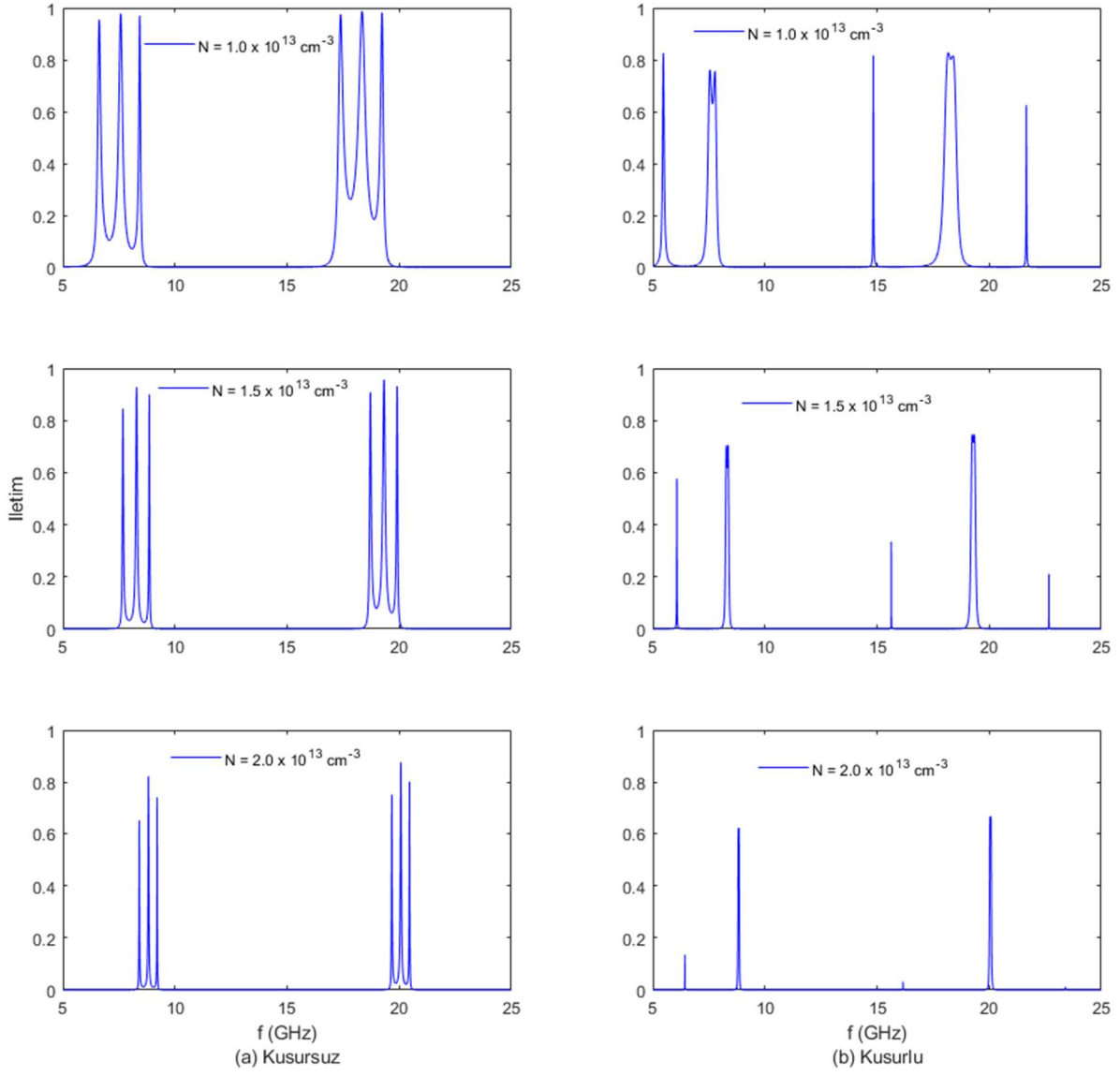
Yansıma katsayısını gösteren grafiğe bakıldığında öncelikle kusur katmanının 6-8 GHz ve 17-19 GHz civarında oluşan yansıma bantlarını bozarak daha geniş bantlı yeni bir tepe bandı meydana getirdiği görülmektedir. Elektron yoğunluğu arttığında, bu yansıma bandının daha yüksek frekanslara kaydığı ve kusurlu ve kusursuz PFK yapılarının her ikisinde de bu bandın daraldığı görülmektedir.

Elektron yoğunluğu etkisi soğurma özelliği açısından incelediğinde, elektron yoğunluğundaki artışın soğurma katsayısında yükselmeye sebep olduğu görülmüştür. Bu durum, yüksek elektron yoğunluğuna sahip malzemelerin soğurucu özellik göstermesine neden olmaktadır.

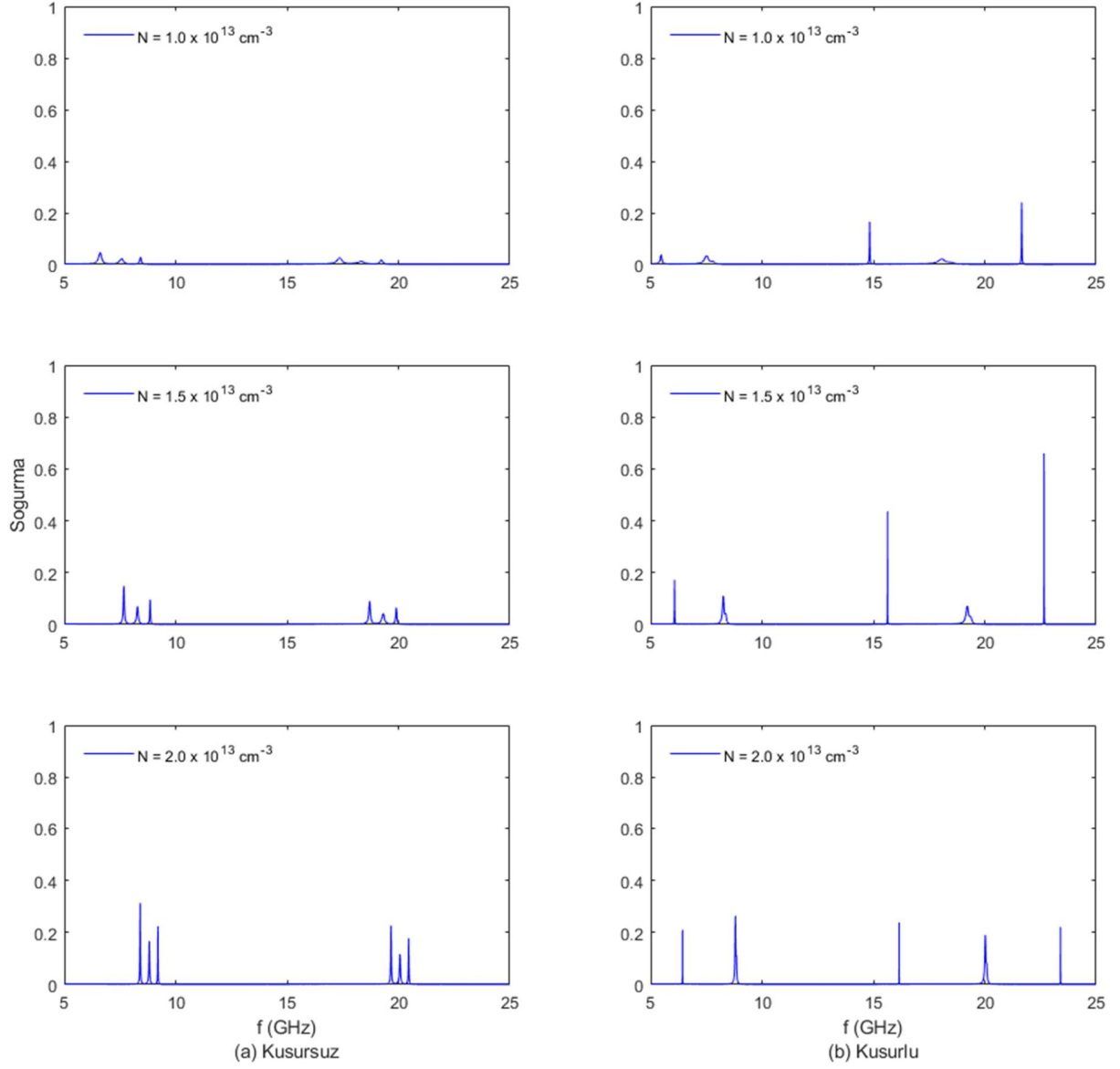
Tüm bunlara bakıldığında, elektron yoğunluğu periyodik diziliimli bu plazma türü için ayarlanabilir özelliklere oldukça elverişlidir. Bazı frekanslarda yansıtıcı optik özellikler içermesi açısından faydalı bir modeldir.



Şekil 4.8. Periyodik dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için yansima katsayısı



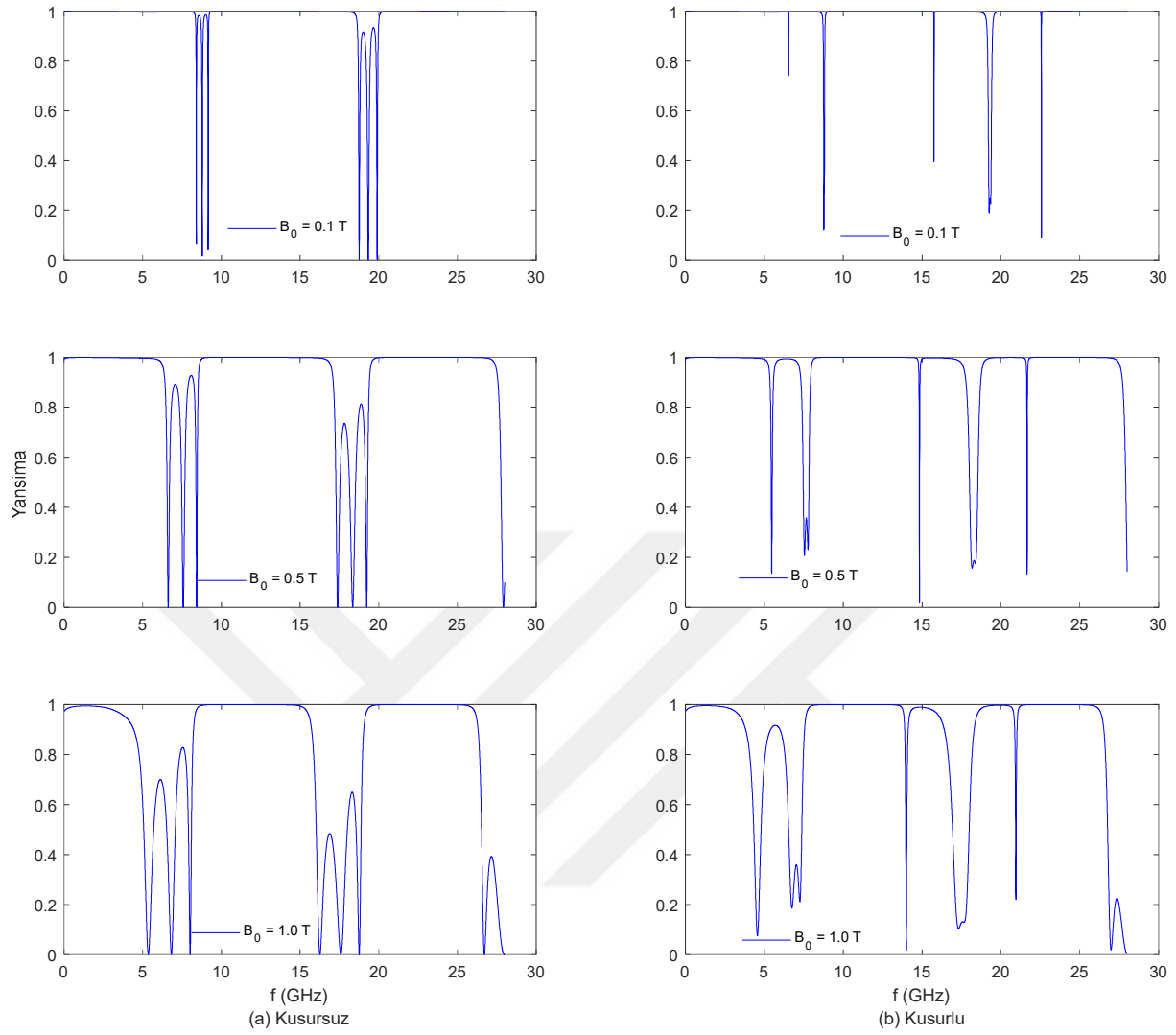
Şekil 4.9. Periyodik dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} , $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için iletim katsayısı



Şekil 4.10. Periyodik dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} , $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için soğurma katsayısı

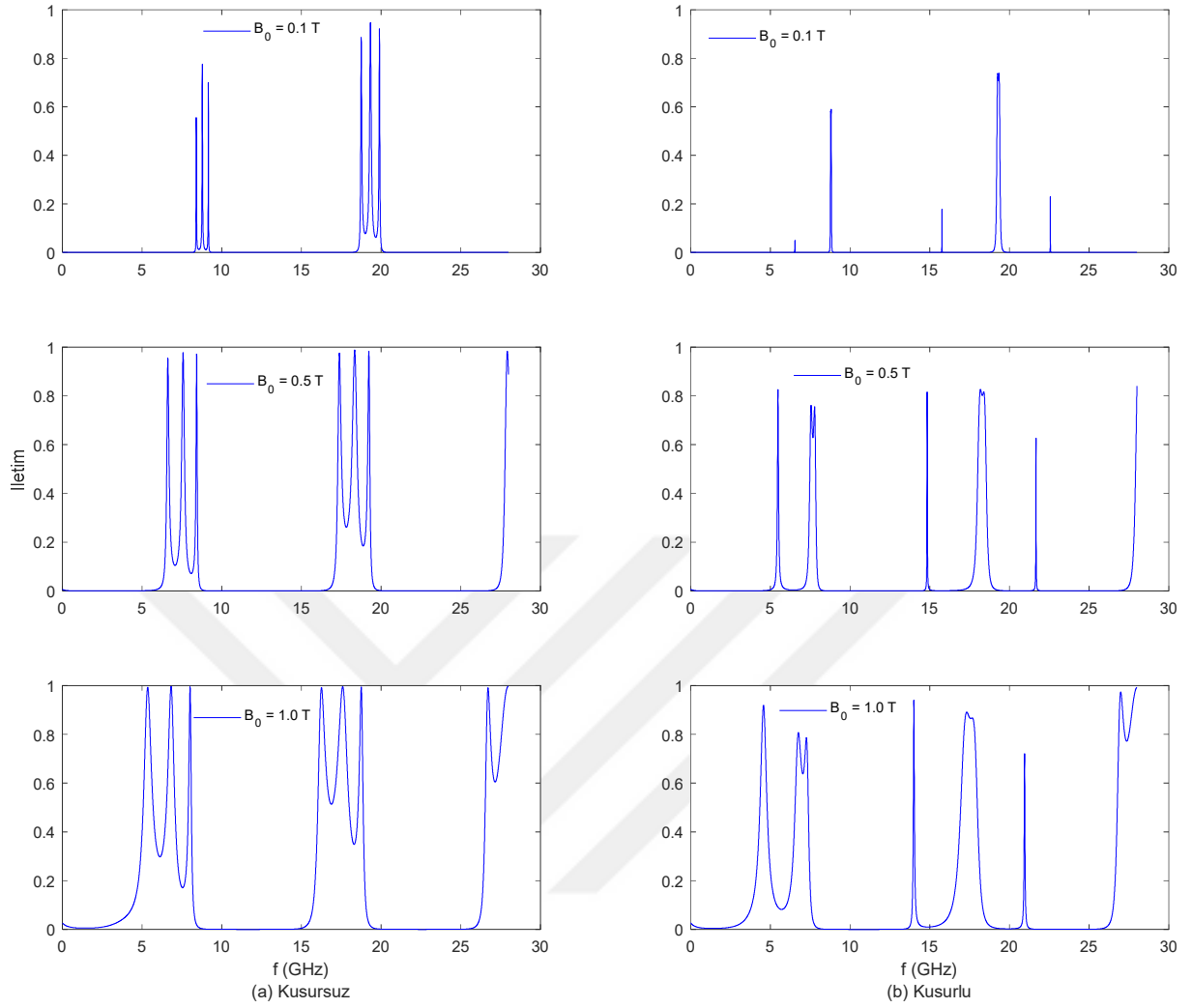
4.1.4. Dış Manyetik Alan Etkisi

Periyodik dizilimli yapının bu bölümünde dış manyetik alan (B_0) değerinin değiştirilerek diğer tüm parametreler aynı tutularak inceleme sağlanmıştır. Dış manyetik alan $B_0 = 0.1 \text{ T}$, 0.5 T , 1 T değerleri için alınan grafikleri Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te verilmiştir.



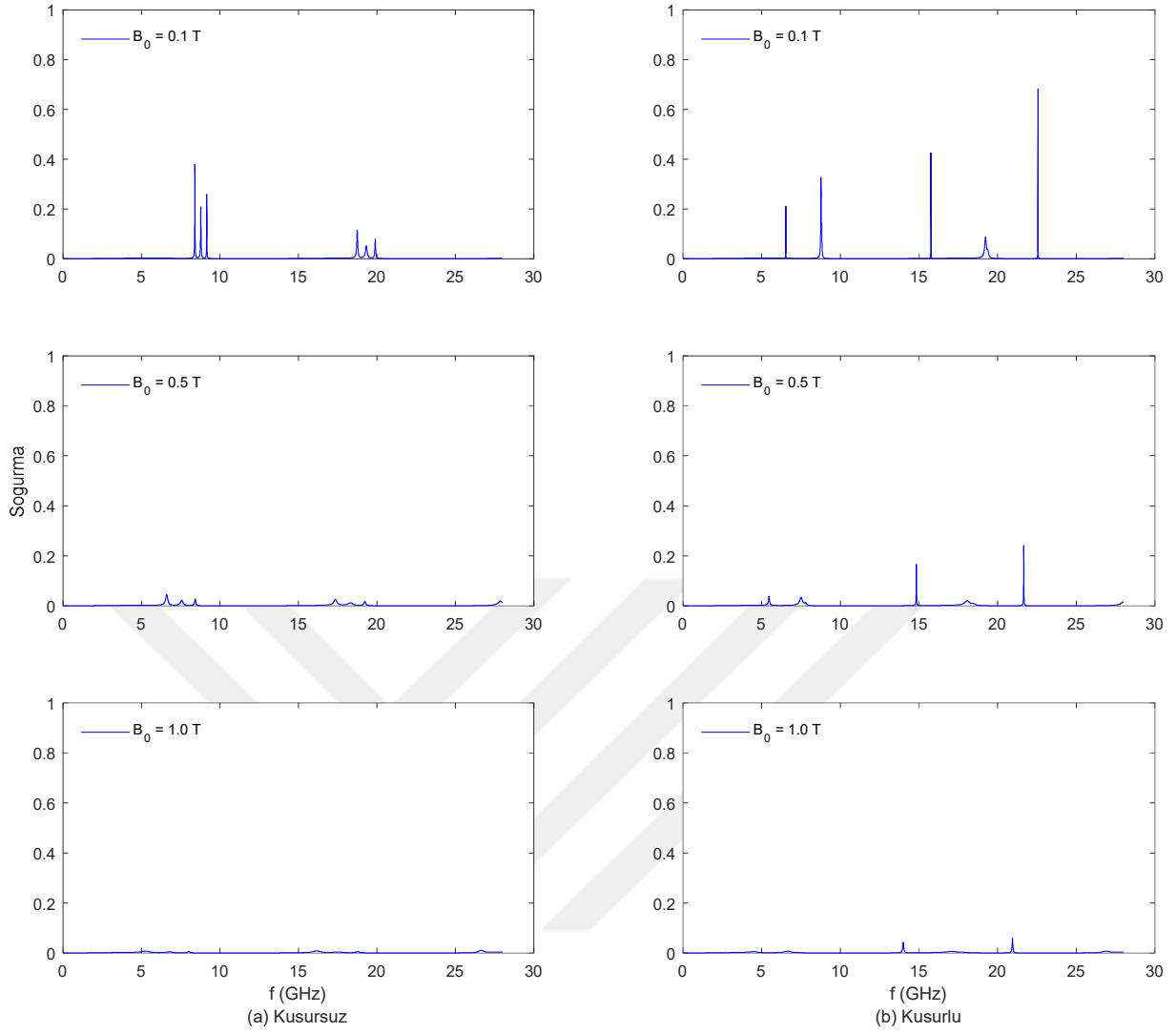
Şekil 4.11. Periyodik dizilimin $B_0 = 0.1$ T, 0.5 T, 1 T dış manyetik alan değerleri için yansima katsayısı

Yansima grafiğinde, dış manyetik alanın değeri arttıkça yansima değeri azalmaktadır. $B_0 = 0.1$ T grafiğinde yansima maksimumdur. Yalnızca 9 GHz ve 19 GHz iken üçlü çukurlar oluşturduğu görülmektedir. Kusur katmanının etkisiyle bu üçlü çukurlar daha da karmaşılaşıp, teker teker özel frekanslarda oluşmuşlardır. B_0 değeri arttıkça, yansima değeri tüm frekans bantlarında azalmış, artış devam ettikçe ise bazı frekans bantları hariç azalmaya devam etmiştir.



Şekil 4.12. Periyodik dizilimin $B_0 = 0.1$ T, 0.5 T, 1 T dış manyetik alan değerleri için iletim katsayısı

İletim durumunda ise, yansımanın tam tersi gözlenmektedir. B_0 değerinin artışı, iletim katsayısında artış meydana getirir. $B_0 = 0.1$ T iken yalnızca 9 ve 19 GHz değerinde bir iletim üçlüsü vardır, kusur katmanı var iken bu iletim üç kanallı bir yapıdan çıkarak kusur katmanı ile birlikte tek kanallı bir hal almıştır. Artan B_0 değerlerine bakıldığında kusur katmanı kanal sayılarını azaltmıştır.

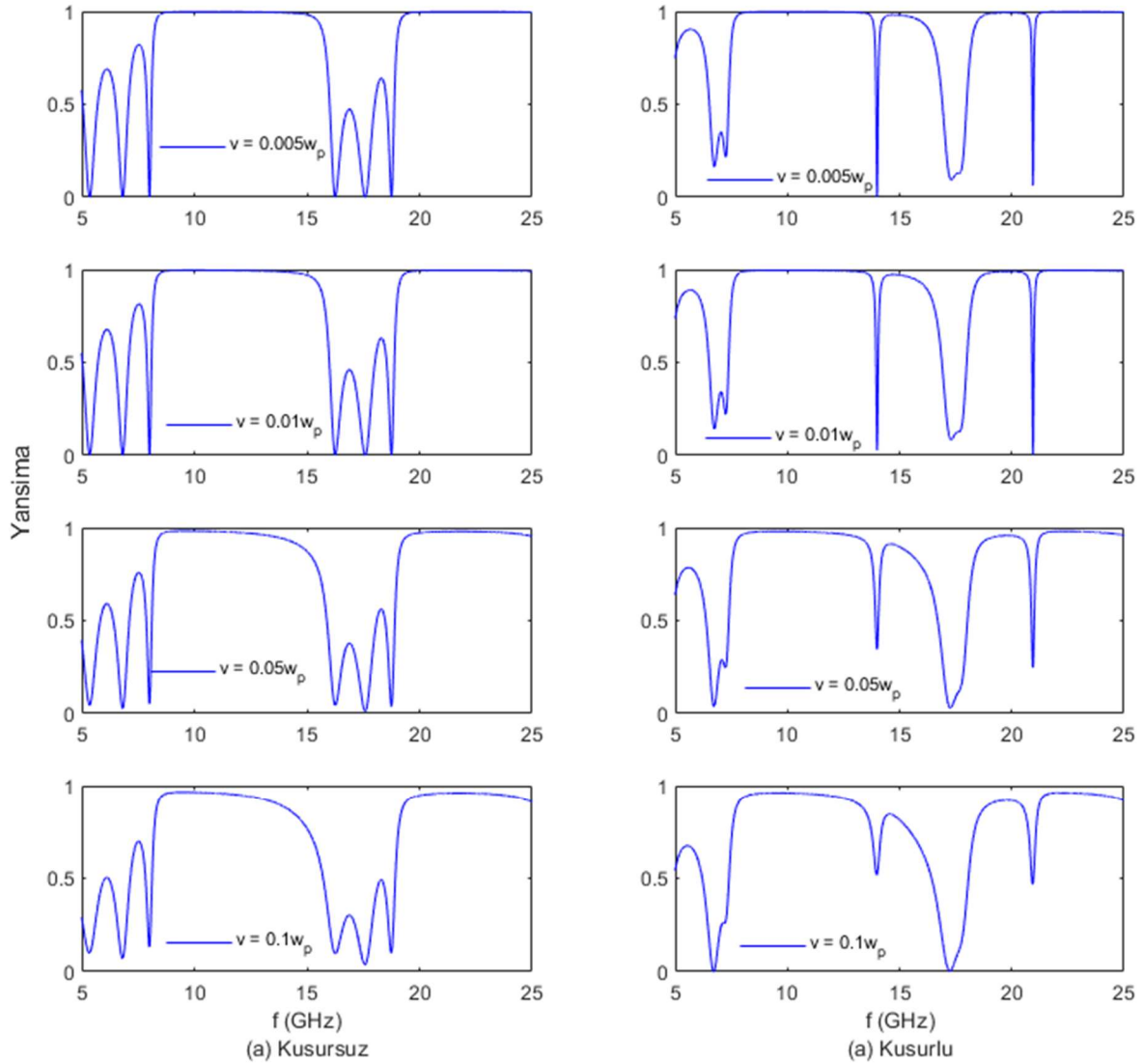


Şekil 4.13. Periyodik dizilimin $B_0 = 0.1$ T, 0.5 T, 1 T dış manyetik alan değerleri için soğurma katsayısı

Soğurma grafiklerine baktığımızda ise değer arttıkça önce soğurma miktarında azalma ve giderek düşük frekanslara kayma görülmüştür. Fakat en yüksek değer olan $B_0 = 1$ T değerinde soğurma değerinin yok denecek kadar az olduğu gözlenmiştir. Bu değerde, yalnızca iletim ve yansıma mevcuttur. Soğurma özelliği öncelikli uygulamalar için yüksek manyetik alanın uygun olmadığı gözlemlenmiştir. Tüm grafikler birlikte ele alındığında ise, periyodik diziliimli bu yapının dış manyetik alan etkisine duyarlı olduğu ve bu özelliğin ayarlanabilir bir optik özellik olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

4.1.5. Çarpışma Frekansı Etkisi

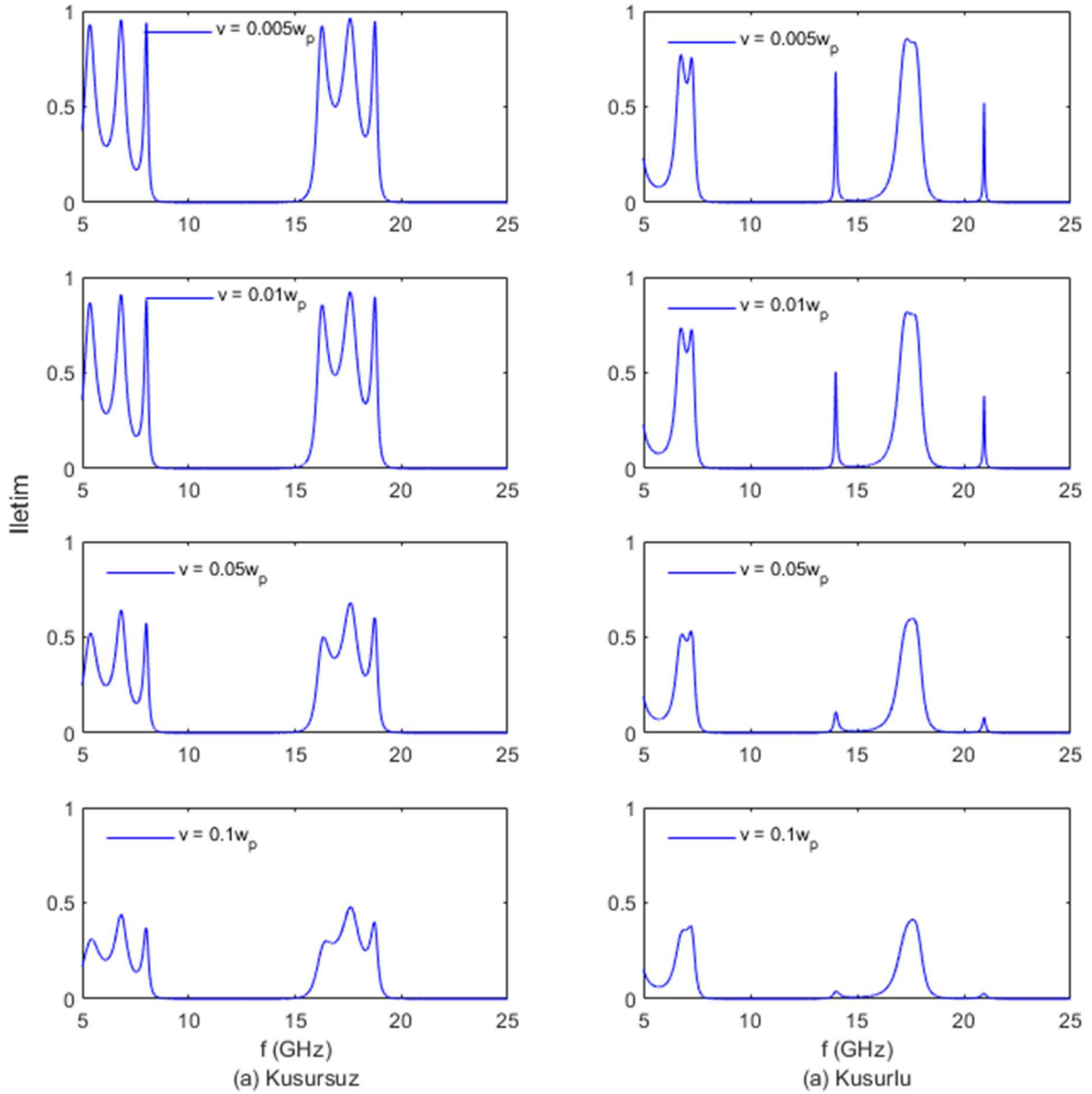
Tezin bu başlığında ise yalnızca çarpışma frekansı (ν) değeri değiştirilerek bu değerin yansıma, iletim ve soğurma katsayılarına etkisi incelenmiştir. Çarpışma frekansı $\nu = 0.005\omega_p, 0.01\omega_p, 0.05\omega_p, 0.1\omega_p$ olarak plazma frekansının katları şeklinde beş farklı değerde incelenmiştir. Bu değerlere ait incelemeler Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da mevcuttur.



Şekil 4.14. Periyodik dizilimin çarpışma frekansı $\nu = 0.005\omega_p, 0.01\omega_p, 0.05\omega_p, 0.1\omega_p$ değerleri için yansıma katsayısı

Yansıma grafiğinde, çarpışma frekansı $\nu = 0.005\omega_p$ iken yansıma en yüksek değerindedir. Çarpışma frekansı değeri arttıkça grafiklerde de görüldüğü üzere

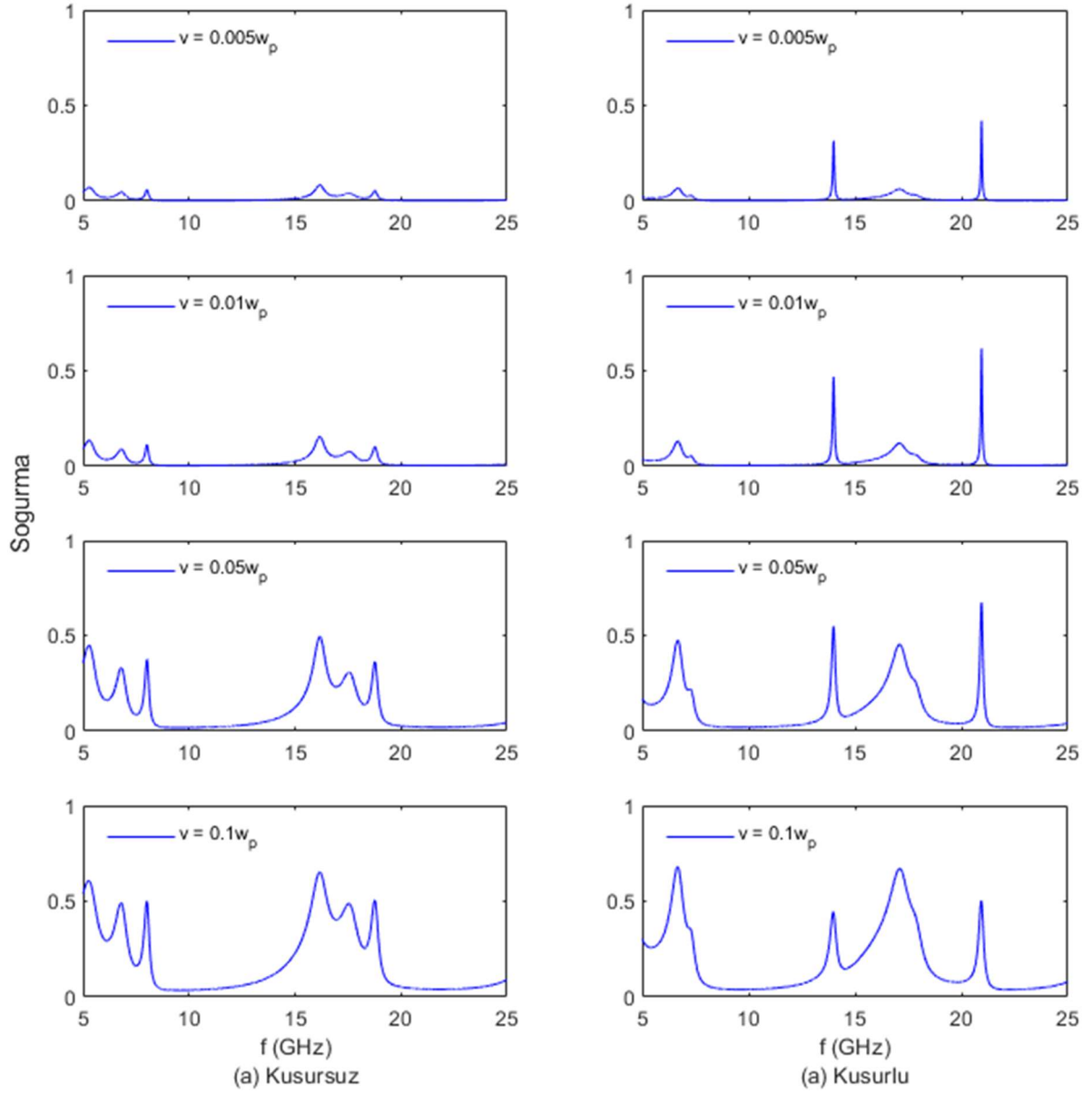
yansıma değeri giderek azalmaktadır. Yansıma bantları kusur katmanının eklenmesiyle bazı frekanslarda bant halinden çıkarak iletme dönüşmüştür.



Şekil 4.15. Periyodik dizilimin çarpışma frekansı $\nu = 0.005\omega_p, 0.01\omega_p, 0.05\omega_p, 0.1\omega_p$ değerleri için iletim katsayısı

İletim katsayısına bakıldığında ise yansıma katsayısına benzer etkiler görülmüştür. Çarpışma frekansının artışı iletim katsayısında da azalmaya sebep olmuştur. $\nu = 0.005\omega_p$ değerinin sonuçları iletim katsayısında görülen en yüksek değerdedir fakat kusur katmanı yokken yalnızca 5-8 GHz ve 16-19 GHz aralığında belirli bantlarda iletim katsayısında görülmekte, diğer frekans aralıklarında ise görülmemektedir. Çarpışma

frekansı değeri arttıkça iletim meydana gelen değerler daha düşük frekanslara kaymış ve aynı zamanda iletim katsayısı genliği azalmıştır. Çarpışma frekans değeri $\nu = 0.1\omega_p$ değerinde iken iletimde yüksek seviyede azalma meydana gelmiştir.



Şekil 4.16. Periyodik dizilimin çarpışma frekansı $\nu = 0.005\omega_p, 0.01\omega_p, 0.05\omega_p, 0.1\omega_p$ değerleri için soğurma katsayısı

Soğurma grafikleri incelendiğinde ise, iletim ve yansımanın tam tersine çarpışma frekansı değeri arttıkça soğurmanın genlik seviyesinde artış gözlemlenmiştir. 5-8 GHz ve 16-19 GHz aralığında soğurma katsayısı bütün çarpışma frekansı değerlerinde mevcut olup yükseldikçe soğurma artmaktadır. Cantor PFK yapısına kusur katmanının

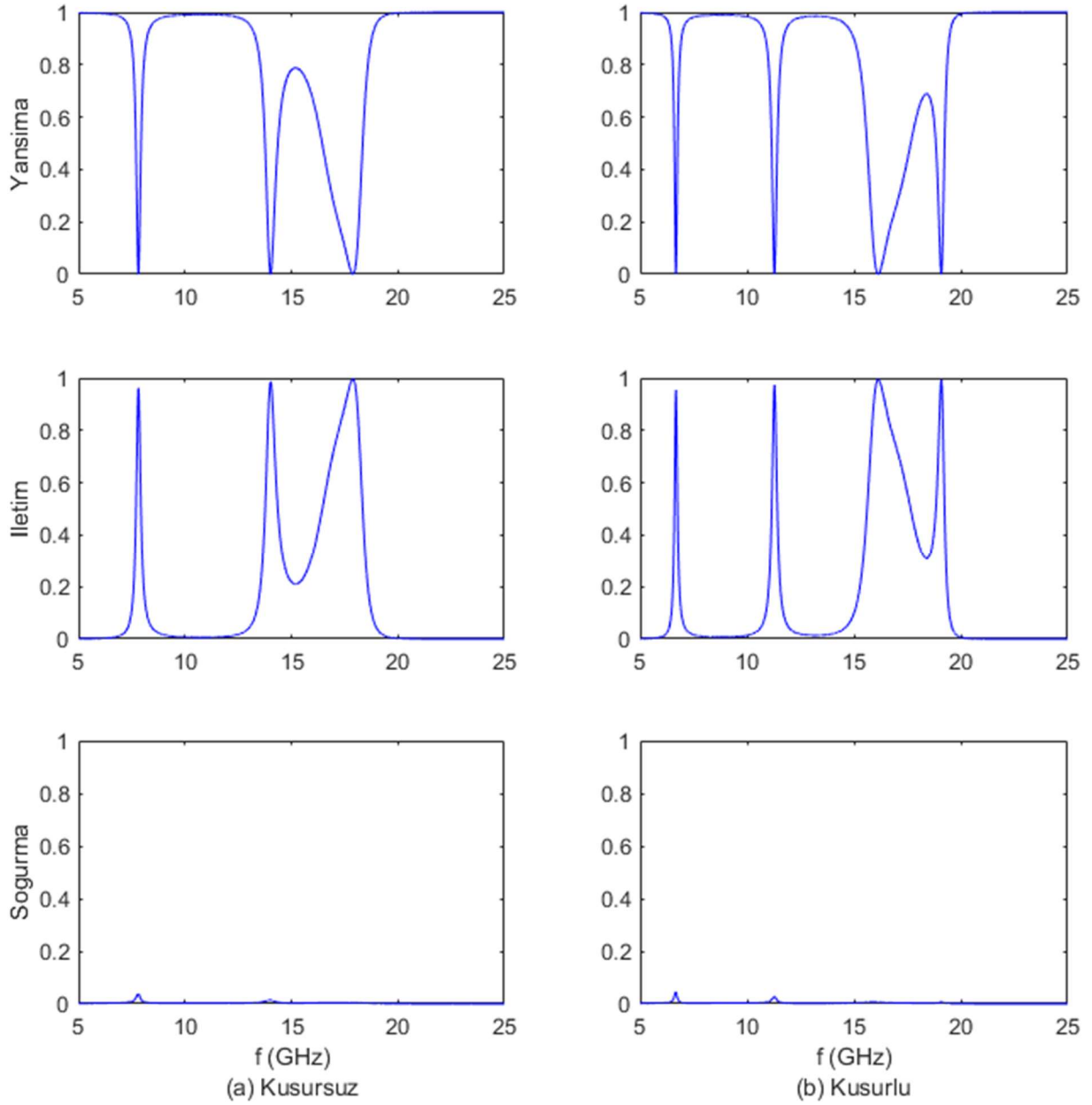
eklenmesiyle kusursuz PFK'daki üçlü ince kanal yapısı yerini daha geniş bantlı tek kanallı birçok tepeye bırakmıştır. Plazmanın yüksek çarpışma frekansı değeri, soğurma özelliğinin önem arz ettiği optik uygulamalar için kritik bir rol oynayabilir.

4.2. Cantor Serisine Göre Tasarlanan PFK Yapıları İçin Sonuçlar

Çalışmanın bu bölümünde yine bir önceki bölümlerde kullanılan değerler alınarak bu kez dizilim Cantor serisi ile çalışılmıştır. A malzemesinin karmaşık dielektrik sabiti 4, ($\epsilon_a = 4$), katman kalınlığı $a = 5$ mm , B katmanında bulunan plazma için ise elektron yoğunluğu $N = 1.0 \times 10^{13}$, elektron yükü $e = 1.6021 \times 10^{-19}$ C, elektron ağırlığı $m = 9.1093 \times 10^{-31}$ g olarak alınmış ve plazma frekansı $f_p = 28.367$ GHz'dir. B katmanının kalınlığı $b = 5$ mm olarak belirlenmiştir, C katmanı olan kusur katmanının ise karmaşık dielektrik sabiti 1'dir ($\epsilon_c = 1$) ve kalınlığı $c = 5$ mm olarak alınmıştır.

Bu dizilimde serinin 2. hücre yapısı (S_2) olan 9 katmanlı yapı ele alınmıştır. Bu hücre ardışık olarak iki kez tekrarlanarak 18 katman olarak dizilmiştir. Kusur katmanı dizilimin tam ortasına yerleştirilmiştir. Bu dizilimin sembolik ifadesi S_2CS_2 olarak tanımlanmıştır.

Şekil 4.17 incelendiğinde Cantor serisi için 15-20 GHz aralığında diğer serilerden daha geniş bantlı tepe ve çukur eğrileri olduğu görülmektedir. Dar ve daha geniş bantlardan oluşan 3 kanallı bir yapı görülmektedir. Cantor serisinde kusur katmanı kanal sayısını artırmak amacıyla kullanılabilecek bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 4.17. Cantor serisine göre tasarlanan kusursuz ve kusurlu PFK yapısı için yansima, iletim ve soğurma katsayısı

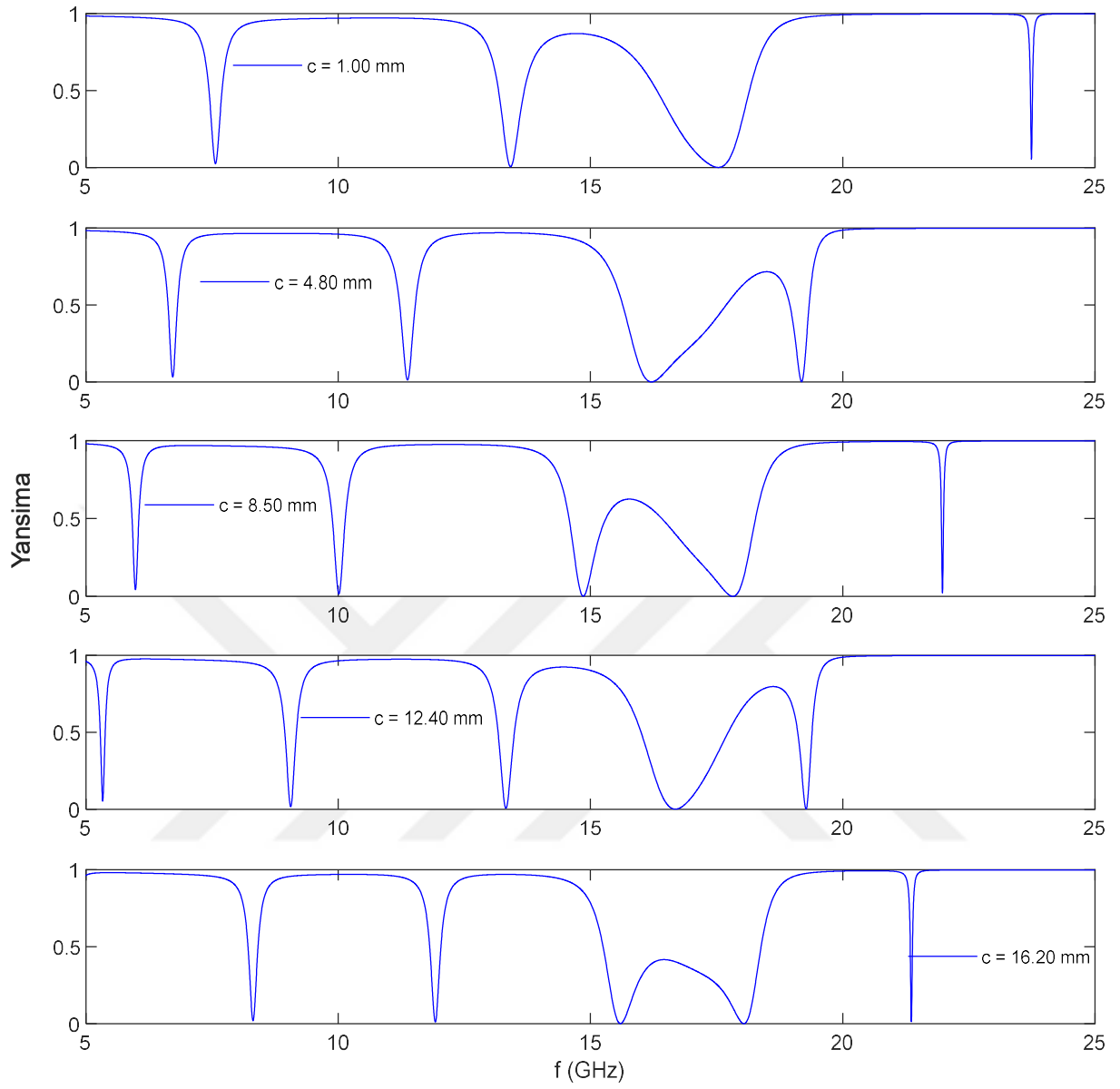
4.2.1. Kusur Katmanı Kalınlığı Etkisi

Tez çalışmasının bu bölümünde manyetize edilmiş soğuk plazma özelliği gösteren malzeme ile yapılan dizilimle kusur katmanının kalınlığının $c = 1$ mm, 4.8 mm, 8.6 mm, 12.4 mm , 16.2 mm değerlerinde iken iletim, yansima ve katsayılarına etkisi araştırılmıştır. Diğer tüm parametreler aynı ve kusur katmanının karmaşık dielektrik sabiti ($\epsilon_c = 1$) olarak alınmıştır. Bu etkilerin incelendiği grafikler Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de verilmiştir.

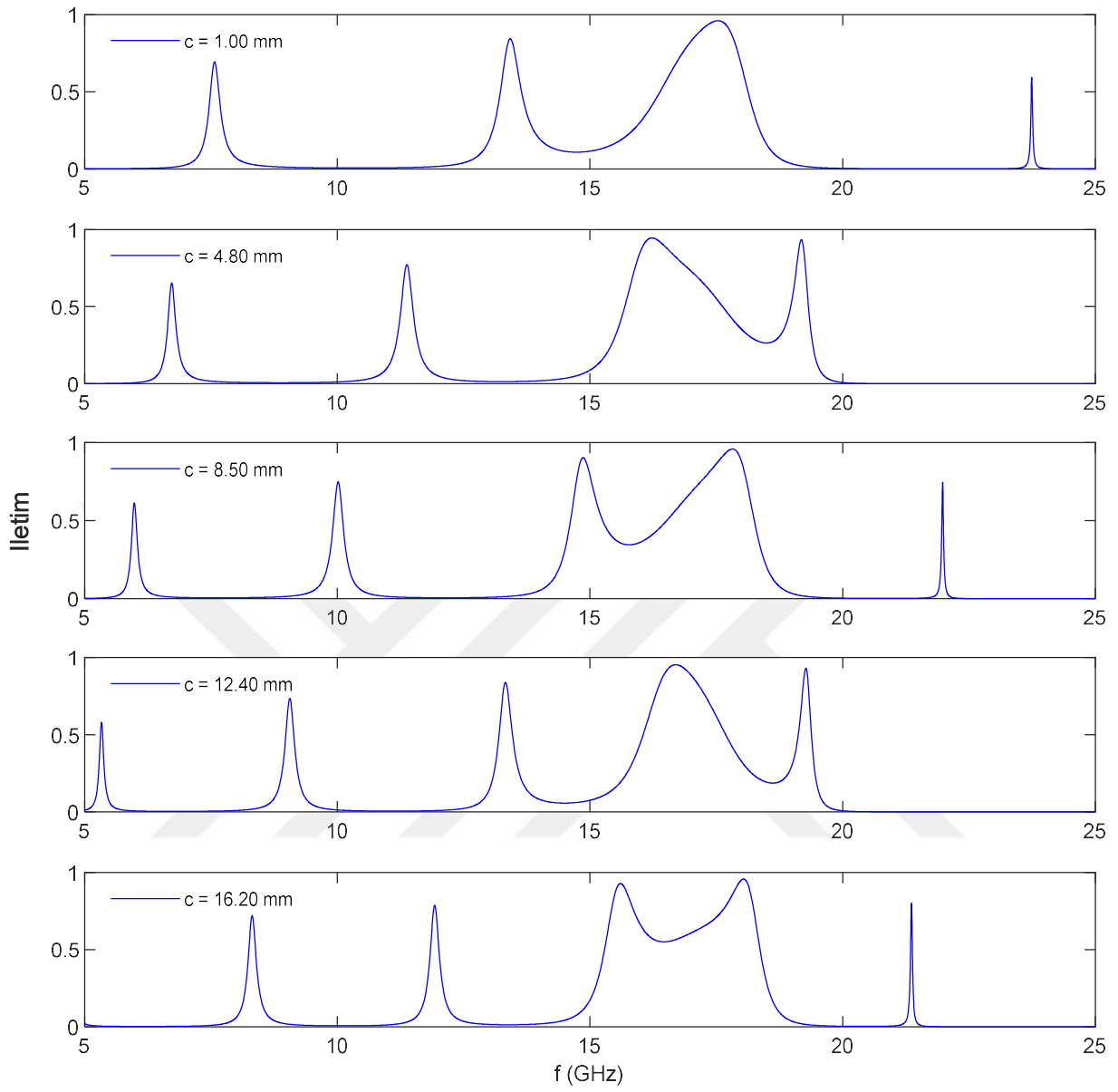
Yansıma grafiği ele alındığında yansıma katsayısının geniş frekans bantları halinde en yüksek değerde olduğu görülmüştür. Özellikle 5-15 GHz arasına bakıldığında yansıma bant genişliklerinin daraldığı ve çukur noktaların düşük frekanslara kaydığı incelenmiştir. 15 GHz sonrasında oluşan yapıda bant genişlikleri ve frekans bölgeleri değişmektedir. Kusur katmanın kalınlığının düşük frekanslar için daha etkili bir özellik olduğu görülmüştür.

İletim grafiği incelendiğinde yansıma grafiğine benzer olarak 5-15 GHz arasında oluşan iletim kanallarının kalınlık değeri arttığı ve düşük frekans bantlarına doğru kaydığı görülmektedir. 20 GHz ve sonrasındaki frekanslarda, iletim yalnızca bazı kalınlık değerlerinde ve dar bantta gözlemlenmektedir. 15-20 GHz aralığında diğerlerinden daha geniş bant ve genlikte bir iletim meydana gelmiştir. Bu değerden sonra meydana gelen iletimlerin genliği ve genişliği azalarak yok olmaktadır. Kalınlığın artması bu iletim bantlarında frekans bantlarının ayarlanması açısından özellikle düşük frekanslarda etkilidir.

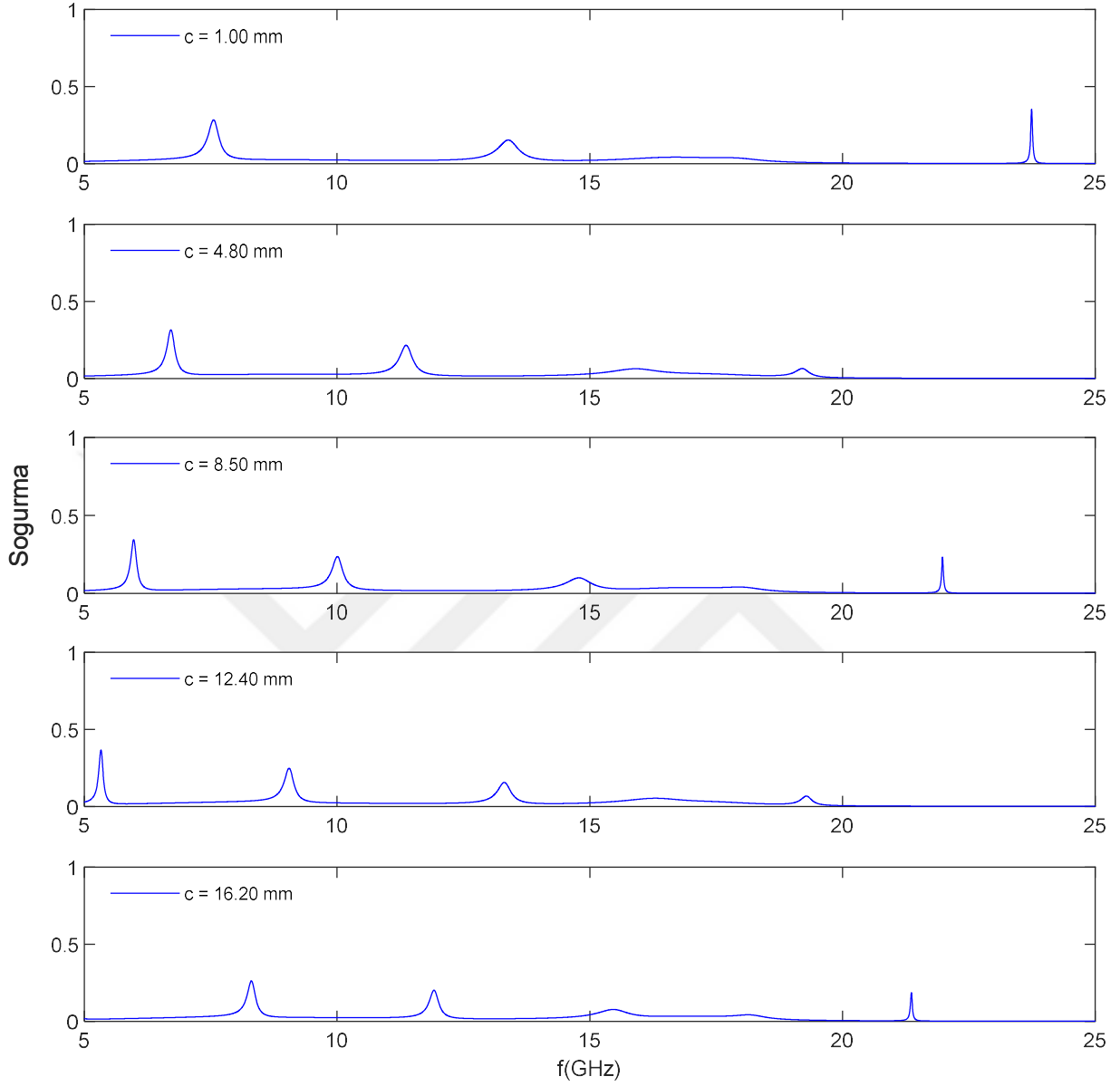
Soğurma katsayısında ise oluşan düşük genlikteki tepe noktaların düşük frekanslara kaydığı saptanmıştır. Bu grafikler neticesinde, 15-20 GHz aralığı soğurma katsayısının en düşük değerleri aldığı bölgedir. 20 GHz sonrası için yalnızca bazı kalınlıklarda dar ve düşük genlikte soğurma sinyalleri oluşmuştur. Bu kalınlıklar dışında, soğurma seviyesinin en düşük düzeyde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.18. Cantor dizilimin $c = 1 \text{ mm}$, 4.8 mm , 8.6 mm , 12.4 mm , 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için yansima katsayısı



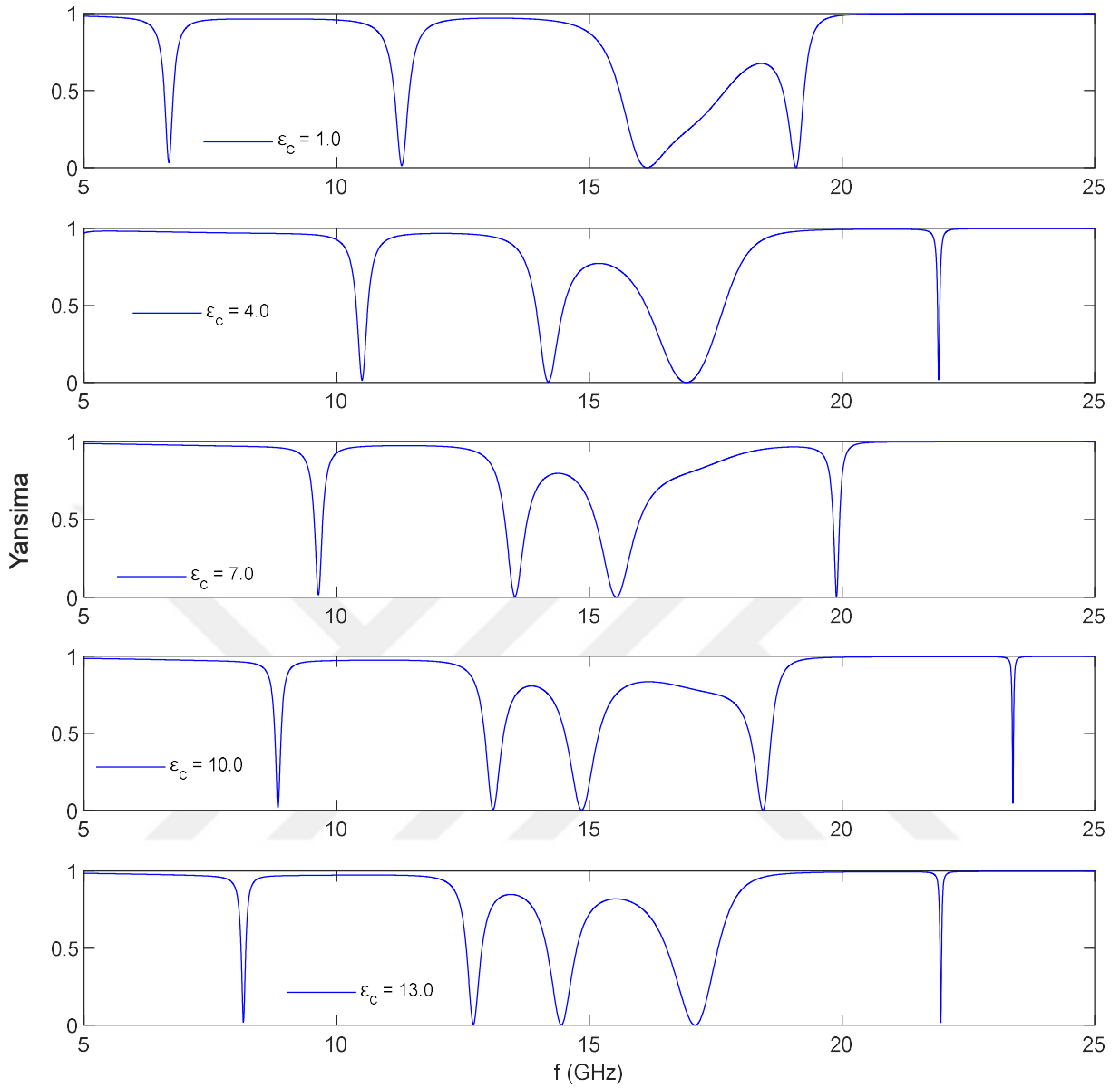
Şekil 4.19. Cantor dizilimin $c = 1 \text{ mm}$, 4.8 mm , 8.6 mm , 12.4 mm , 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için iletim katsayısı



Şekil 4.20. Cantor dizilimin $c = 1$ mm, 4.8 mm, 8.6 mm, 12.4 mm, 16.2 mm kusur katmanı kalınlığı değerleri için soğurma katsayısı

4.2.2. Kusur Katmanı Dielektrik Geçirgenliği Etkisi

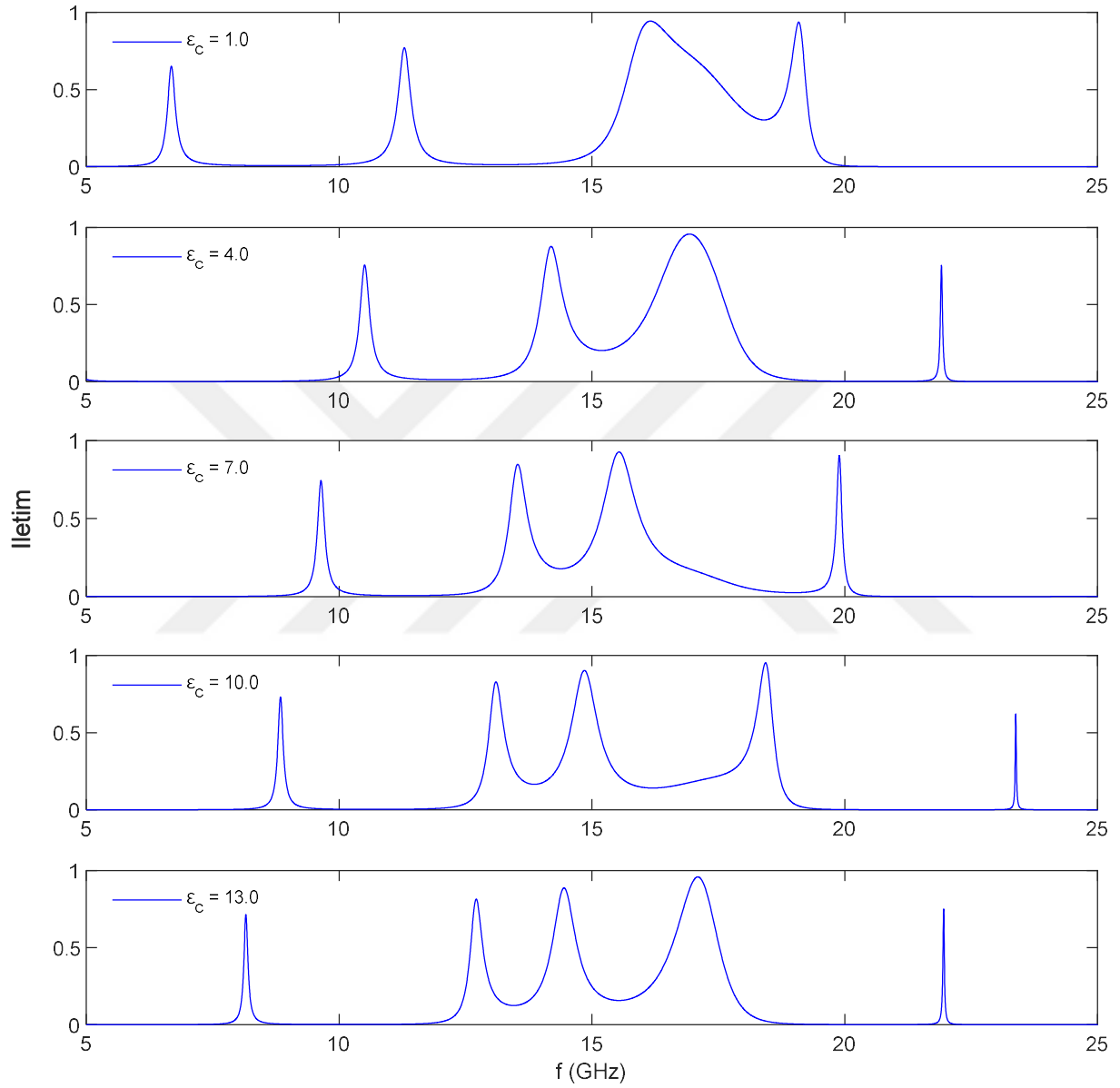
Bu bölümde ise yine aynı tip plazma içeren malzeme ile tasarlanan Cantor yapısının yalnızca kusur katmanının karmaşık dielektrik sabiti $\epsilon_c = 1, 4, 7, 10, 13$ değerleri ile değiştirilerek iletim, yansımaya ve soğurma katsayılarına etkisi araştırılmıştır. Dielektrik sabiti dışında tüm parametreler, önceki sonuçlar ile aynı ve kusur katman kalınlığı daha önce olduğu gibi $c = 5$ mm olarak alınmıştır. Bu değişime ait grafikler Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Cantor dizilimin kusur katmanı $\epsilon_c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için yansımaya katsayısı

Yansımaya katsayısı grafiği incelendiğinde 5-10 GHz arasında yansımaya engelleyen dar bantlı bölgelerin özellikle $\epsilon_c = 4$ değerinden sonra artan her değerde daha da düşük frekanslara kaydığı gözlenmiştir. Bu engelleyici bant değerleri dışında bu aralıkta yansımaya maksimum değerdedir. 10-20 GHz aralığında da aynı şekilde yansımaya azaldığı bant aralıkları karmaşık dielektrik sabitinin artmasıyla düşük frekanslara doğru kaymıştır. Bu bant aralığında yansımaya belirli aralıklardır, 5-10 GHz aralığına göre daha az yansımaya vardır. 20-25 GHz aralığında önce düşük değerlerde yansımaya

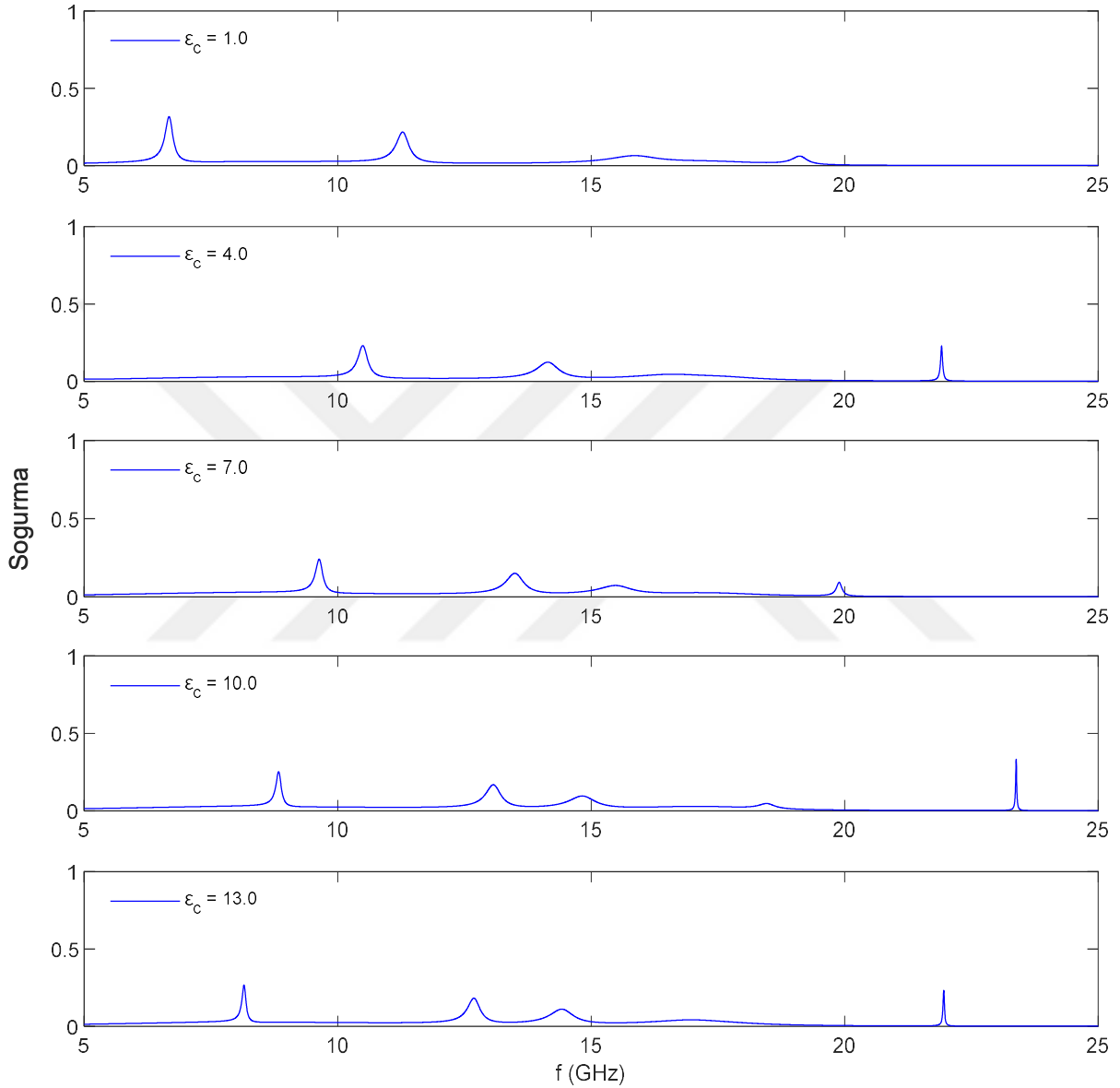
maksimumda iken değer arttıkça yansıma engelleyen çukurlar oluşmuş $\epsilon_c = 4$ ve $\epsilon_c = 7$ geçişinde daha dşşk frekansa kaymış sonra $\epsilon_c = 10$ değerinde yüksek frekanslara bir sıçrama grlmş fakat bu değerden sonra yine dşşk frekanslara kayma görülmüştür.



şekil 4.22. Cantor dizilimin kusur katmanı $\epsilon_c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değerleri için iletim katsayısı

İletim katsayısı grafiğinde 5-10 GHz arasında oluşan iletim bandı dielektrik sabit değerinin artmasıyla dşşk frekanslara kaymıştır. Bu kaymanın yanı sıra bant genışliklerinde azalma görülmüştür. 20-25 GHz aralığında ince bir iletim spektrumu

görölmüş bu spektrum $\varepsilon_c = 10$ değeriinden sonra düşük frekanslara kaymış ve genliğı yükselmiştir. 10-20 GHz aralığında düşük sabit değeriinde meydana gelen iletim bantlarının dielektrik sabit değeri yükseldikçe birbirlerine yaklaşıarak giderek üç kanallı bir yapı oluşturduğu görölmüştür.



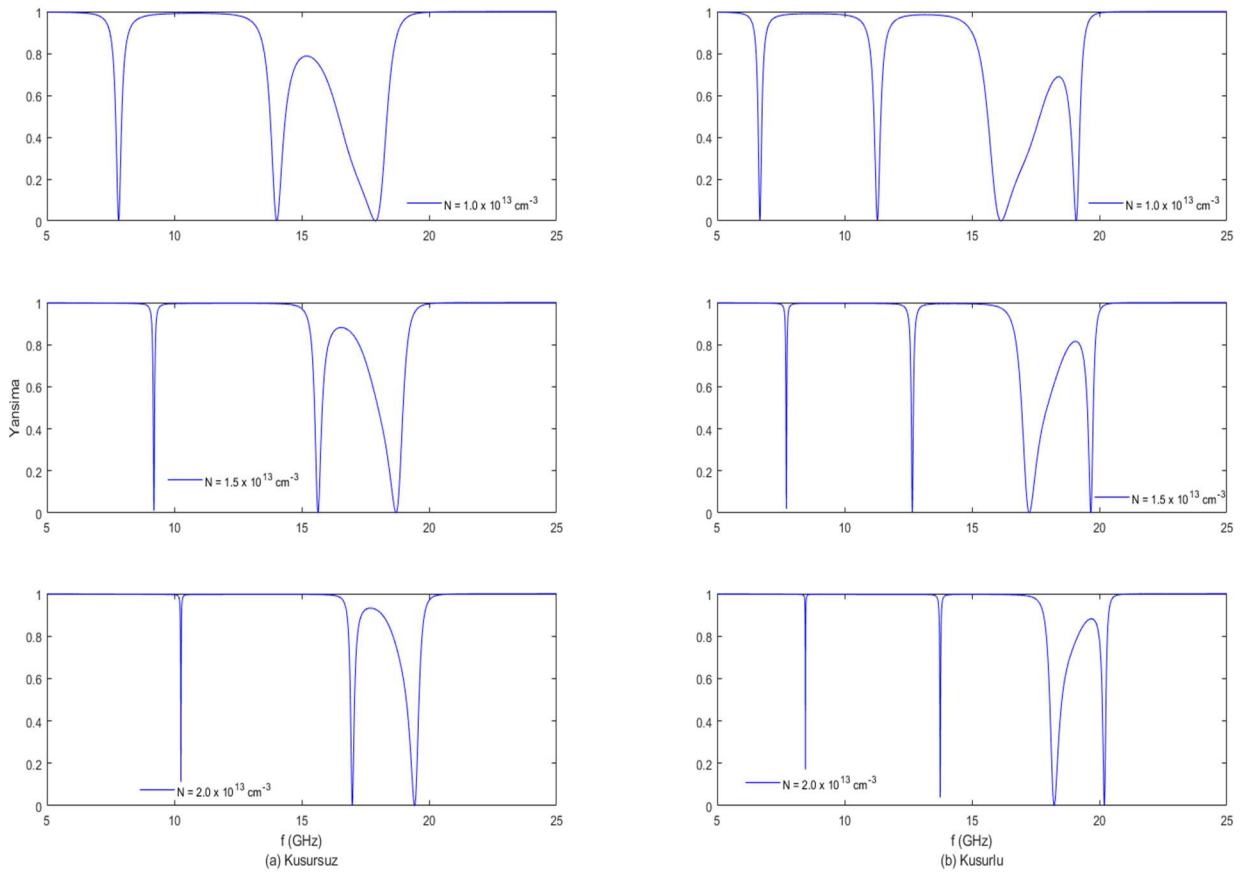
Şekil 4.23. Cantor dizilimin kusur katmanı $\varepsilon_c = 1, 4, 7, 10, 13$ dielektrik sabiti değeriileri için soğurma katsayısı

Soğurma katsayısı için ise durum yansıma ile benzerdir. Her bir frekans aralığında soğurma için oluşan her bant aralığı dielektrik geçirgenlik değeriilerinin artmasıyla daha düşük frekanslara doğru kaymıştır. Bu bant aralıkları dışında soğurma değeri minimum

seviyededir. Cantor serisi için bu özellik, tasarımlar için ayarlama yapmaya olanak tanır.

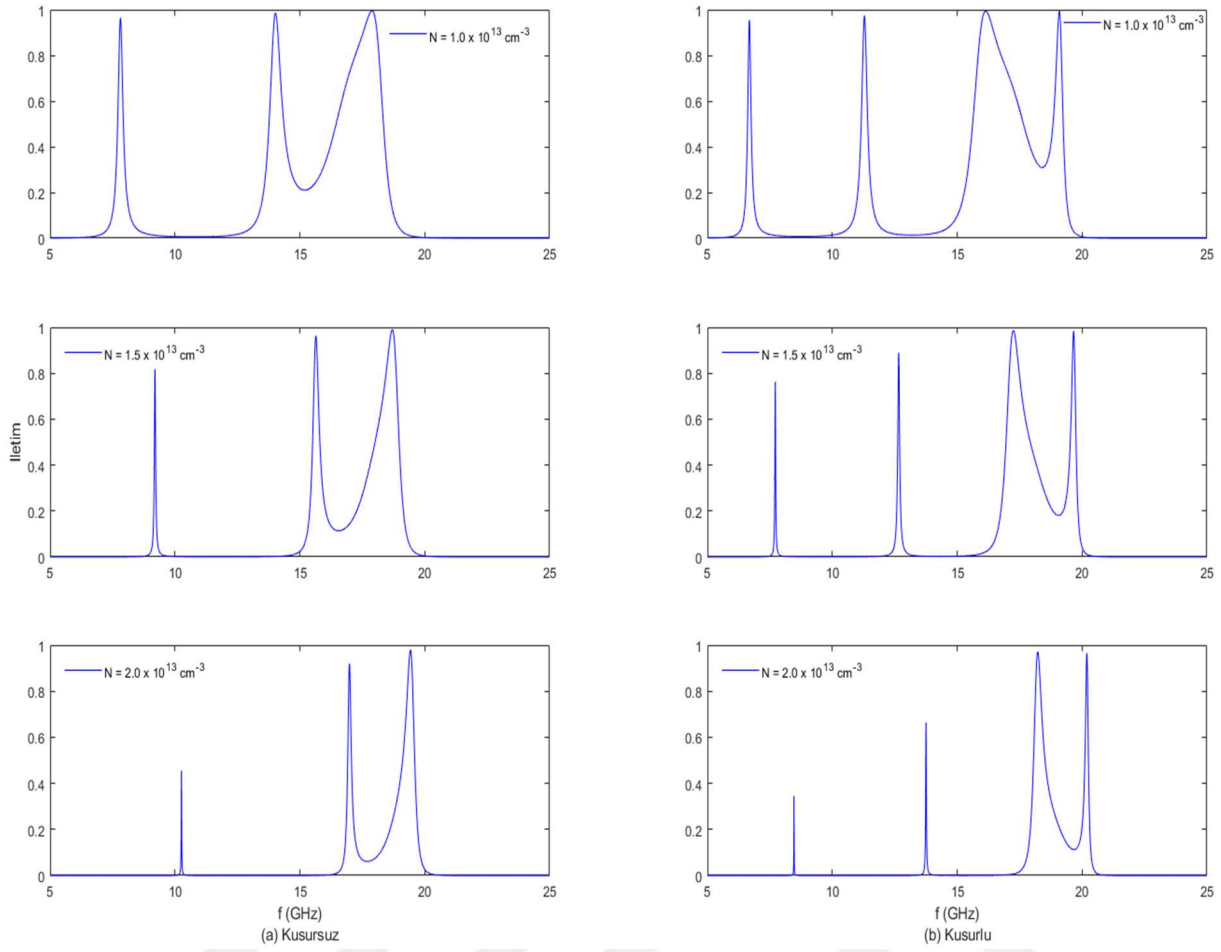
4.2.3. Elektron Yoğunluğu Etkisi

Tezin bu kısmında $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerlerinde yansıma, iletim ve soğurma katsayıları incelenmiştir. Tüm parametreler önceki bölümlerle aynı, kusur katman kalınlığı $c = 5 \text{ mm}$, karmaşık dielektrik sabiti $\varepsilon_c = 1$, dizilim ise S_2CS_2 olarak alınmıştır.



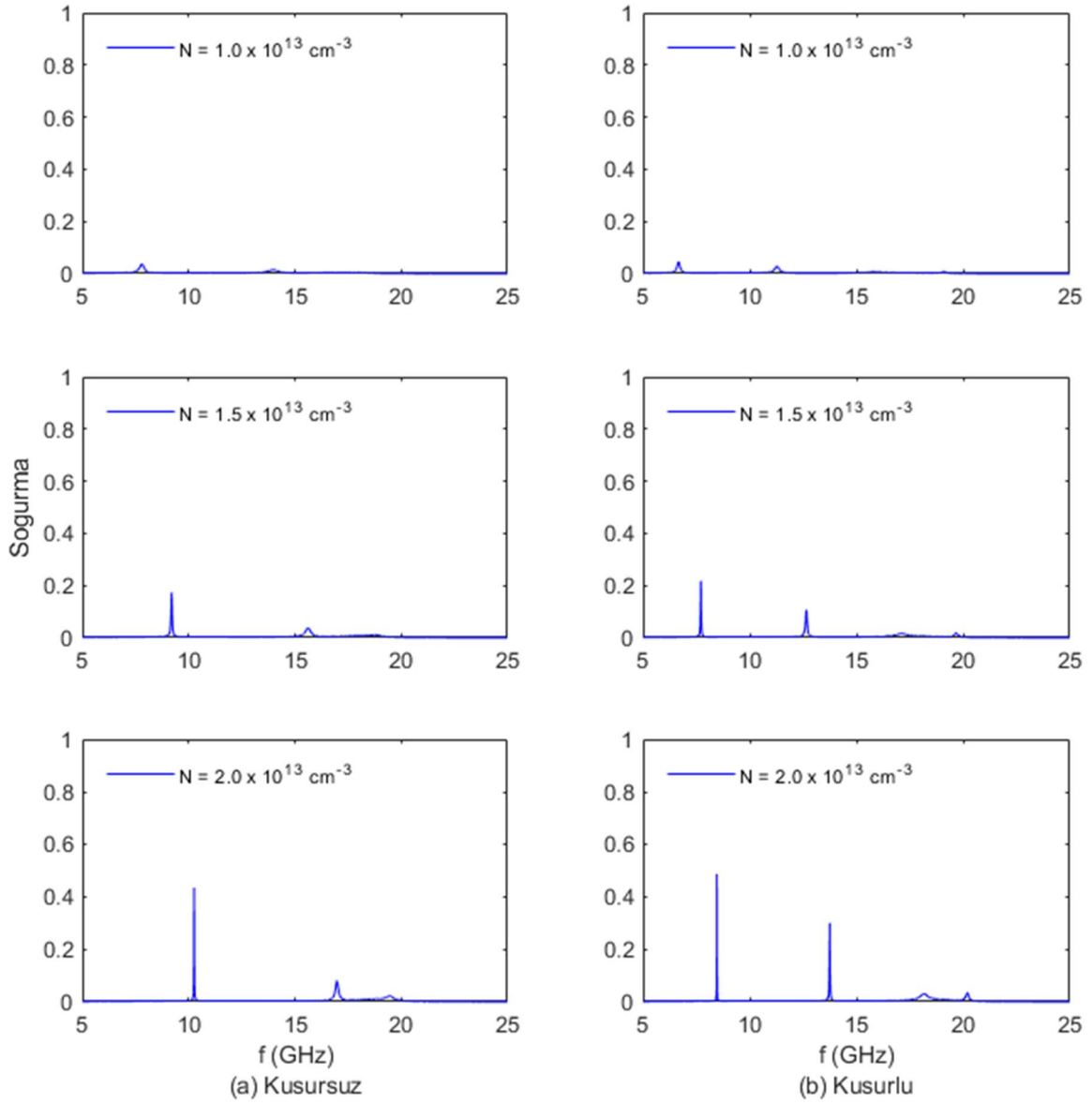
Şekil 4.24. Cantor dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} ve $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için yansıma katsayısı

Şekil 4.24'te elektron yoğunluğu değişirken hesaplanan yansıma katsayılarına bakıldığında bazı frekanslar haricinde yansıma katsayısı 1'e yakın değerdedir. Elektron yoğunluğu değeri arttığında yansıma bant genişliğinde artış görülmekte ve bir miktar kayma olmaktadır. Kusur katmanı eklendiğinde 15-20 GHz aralığındaki düşük genlikli yansıma bandının tepesinin tam ters yöne döndüğü görülmüştür.



Şekil 4.25. Cantor dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} , $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için iletim katsayısı

İletim katsayısının verildiği Şekil 4.25 incelendiğinde tüm yoğunluklarda 10 GHz etrafındaki iletim tepesinin kusurlu malzeme eklenmesiyle sağa ve sola parçalanarak 2 adet iletim tepesini oluşturduğu belirlenmiştir. Genel olarak 15-20 GHz arasında meydana gelen iletim katsayısının şekli simetrik biçime benzer olarak diğer tarafa dönmüştür.



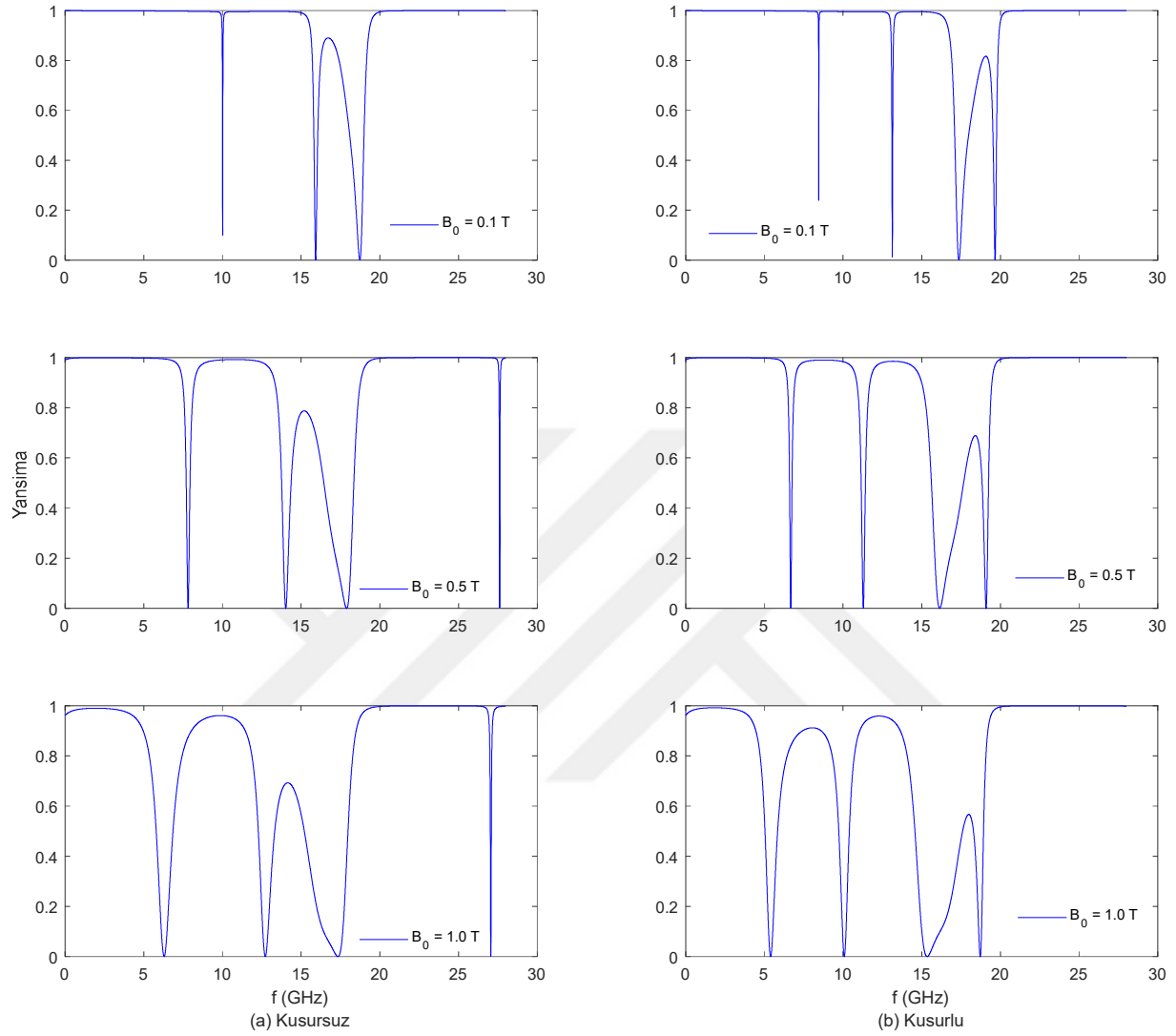
Şekil 4.26. Cantor dizilimin $N = 1.0 \times 10^{13}$, 1.5×10^{13} , $2.0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ elektron yoğunluğu değerleri için soğurma katsayısı

Şekil 4.26'daki soğurma katsayısı incelendiğinde 15 GHz değerinden sonra soğurmanın neredeyse sıfıra yakın olduğu incelenmiştir. Elektron yoğunluğu değişimi soğurma açısından incelendiğinde az değişim olduğu gözlenmiştir.

4.2.4. Dış Manyetik Alan Etkisi

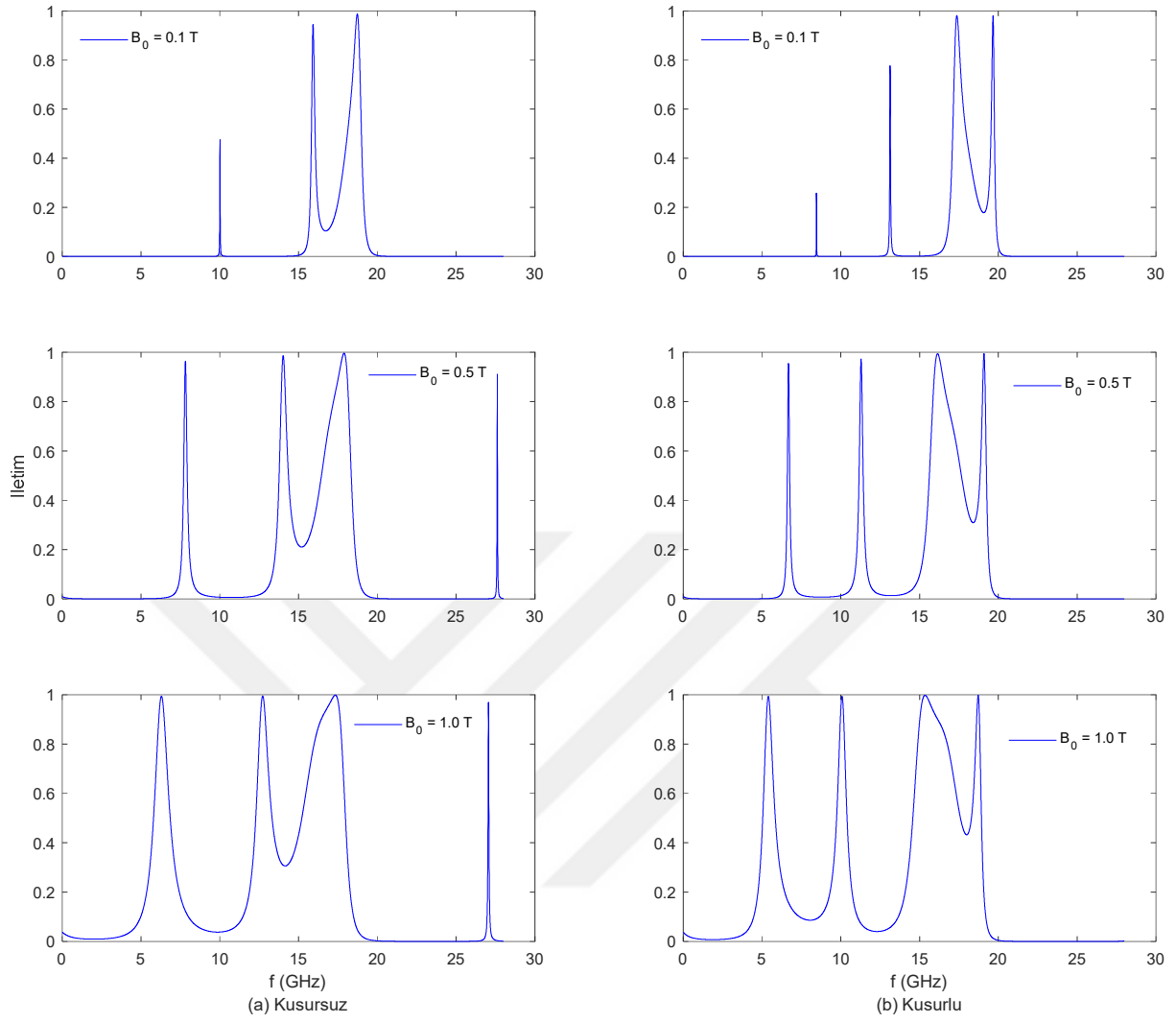
Cantor serisinin 2. hücresiyle oluşturulan S_2CS_2 dizilimli yapı için bu bölümde değişen dış manyetik alan $B_0 = 0.1 \text{ T}$, 0.5 T , 1 T değerleri için iletim, yansıma ve soğurma katsayıları incelenecektir. Diğer tüm parametreler aynı tutularak inceleme

sağlanmıştır. Dış manyetik alan değerleri için alınan grafikleri Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da verilmiştir.



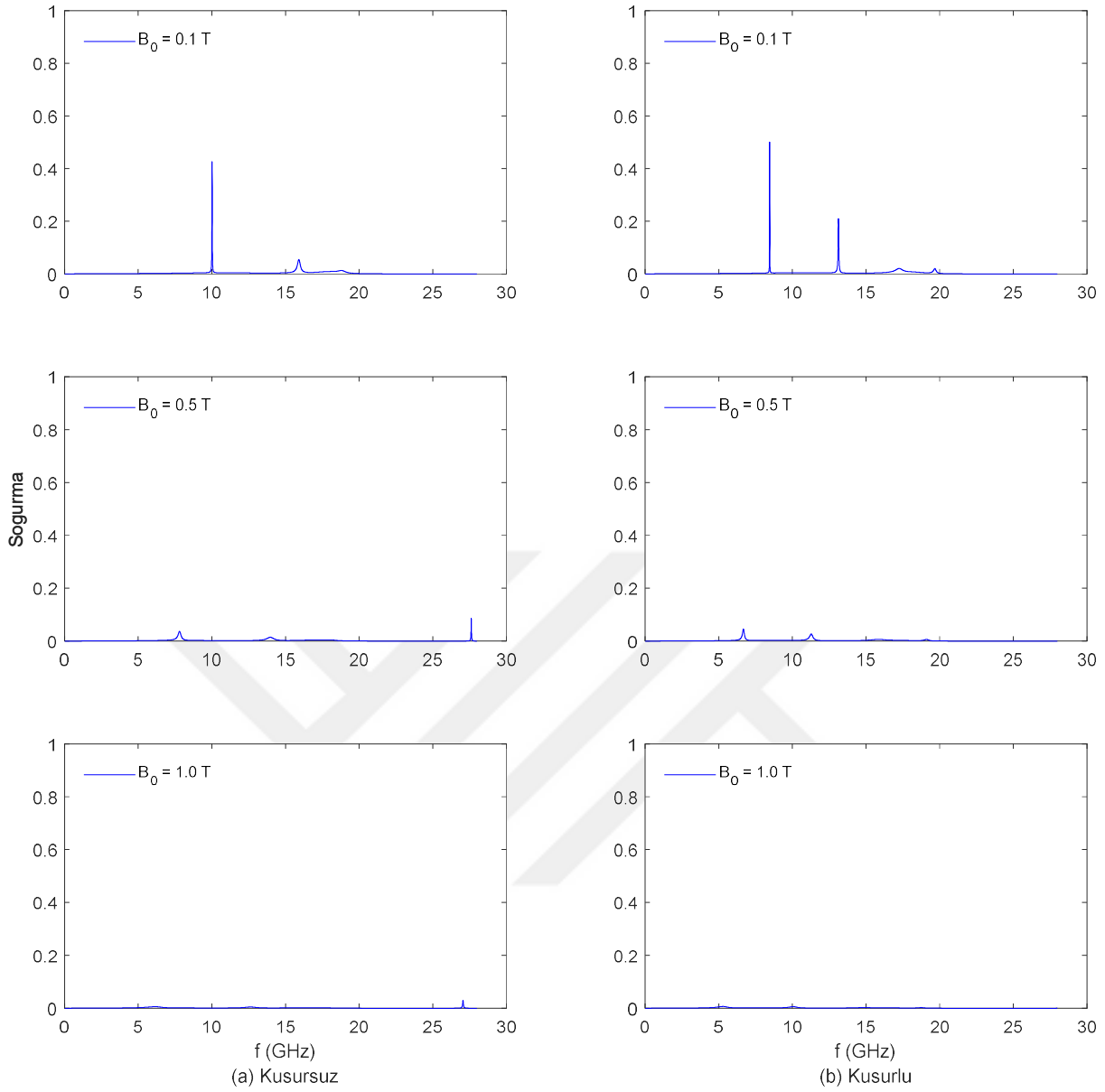
Şekil 4.27. Cantor dizilimin $B_0 = 0.1$ T, 0.5 T, 1 T dış manyetik alan değerleri için yansımaya katsayısı

Şekil 4.27'de, dış manyetik alanın değeri arttıkça yansımaya azalmaktadır. $B_0 = 0.1$ T değerinde iken yansımaya katsayısı maksimum değerindedir. Kusur katmanının etkisiyle yansımaya bantlarındaki tepe değerlerin arttığı, aynı zamanda bant aralıklarının da genişlediği görülmüştür.



Şekil 4.28. Cantor dizilimin $B_0 = 0.1 \text{ T}$, 0.5 T , 1 T dış manyetik alan değerleri için iletim katsayısı

İletim durumunda, dış manyetik alan B_0 değerinin artışı, iletim katsayısında artışa sebep vermektedir. Kusur katmanı iletim bant genişliklerinin daha düşük frekanslara kayarak daha belirgin hale gelerek genliğinin artmasını sağlamıştır. B_0 değerinin artması iletim bantlarının genişliğini artırmıştır.

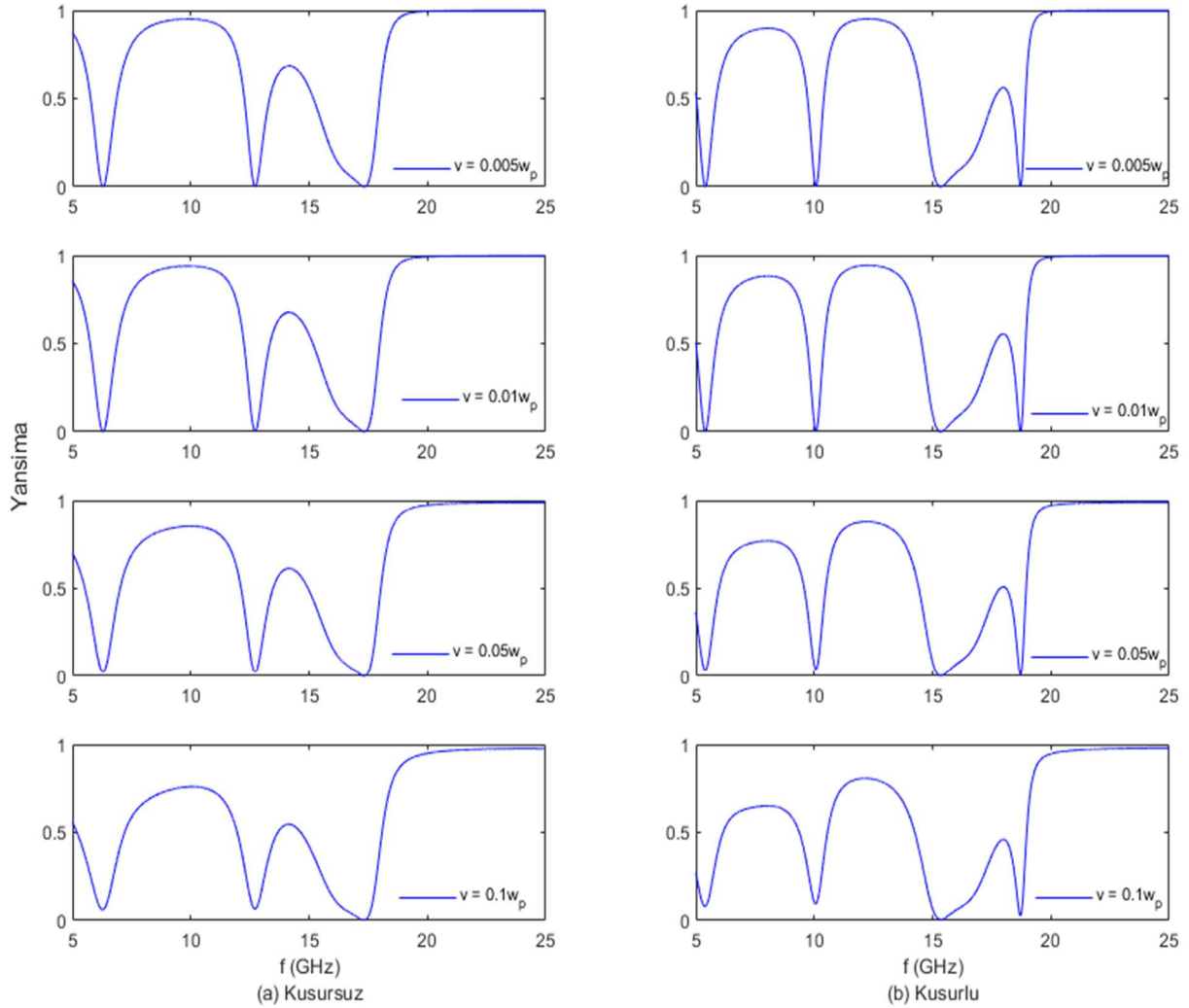


Şekil 4.29. Cantor dizilimin $B_0 = 0.1$ T, 0.5 T, 1 T dış manyetik alan değerleri için soğurma katsayısı

Dış manyetik alan değerinin soğurma katsayısı etkisi incelendiğinde, $B_0 = 0.1$ T değerinde soğurma oluşturduğu görülmüştür. Değer arttıkça hem soğurma miktarında azalma ve hem de düşük frekanslara kayma görülmüştür. Fakat en yüksek değer olan $B_0 = 1$ T değerinde yalnızca iletim ve yansıma mevcut olup, soğurma değerinin sıfıra yakın bir değere düştüğü gözlenmiştir. Dış manyetik alan ile manyetize edilmiş soğuk plazma içeren Cantor dizilimli yapıda duyarlı ve ayarlanabilir olduğu saptanmıştır.

4.2.5. Çarpışma Frekansı Etkisi

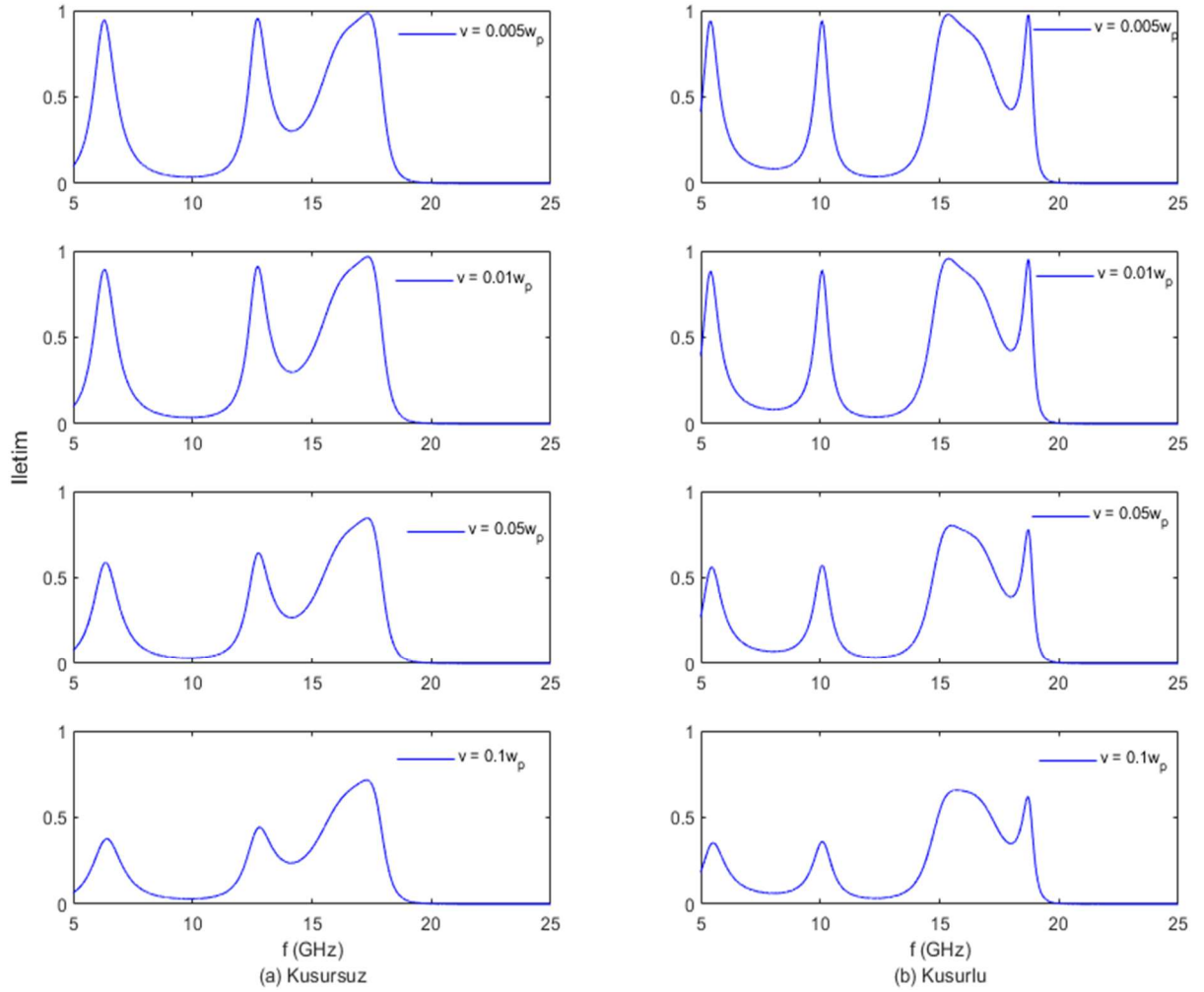
Bu bölümde bu kez Cantor dizilimli yapı için çarpışma frekansı (ν) etkisi incelenmiştir. Çarpışma frekansı $\nu = 0.0005\omega_p, 0.005\omega_p, 0.01\omega_p, 0.1\omega_p$ değerlerinde plazma frekansının katları olarak incelenmiştir. Bu değerlere ait incelemeler Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de mevcuttur.



Şekil 4.30. Cantor dizilimin çarpışma frekansı $\nu = 0.005\omega_p, 0.01\omega_p, 0.05\omega_p, 0.1\omega_p$ değerleri için yansima katsayısı

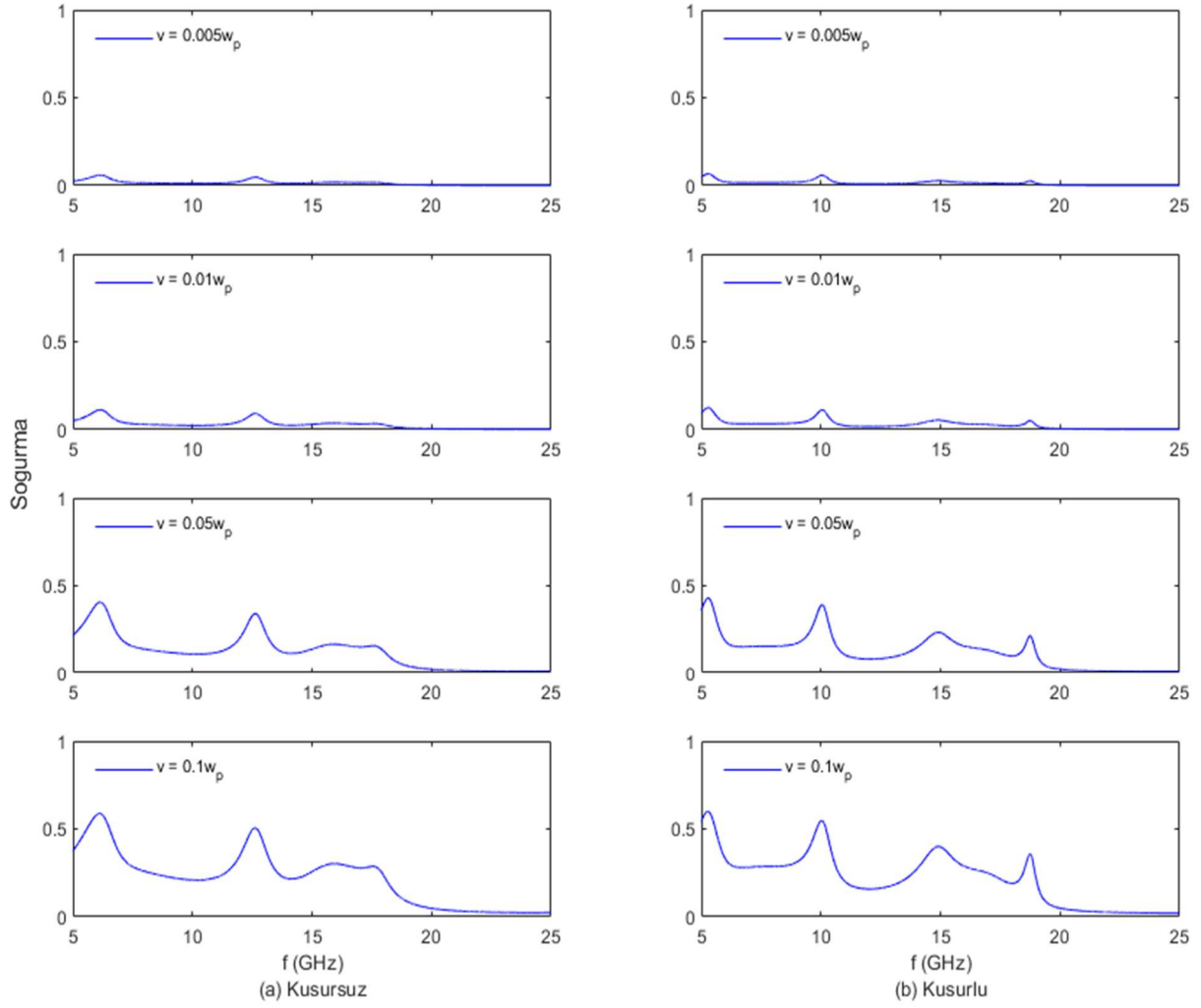
Şekil 4.30'da görüldüğü gibi çarpışma frekansı değeri arttıkça yansima katsayısının azaldığı gözlenmiştir. Çarpışma frekansı $\nu = 0.005\omega_p$ değerinde 6-12 GHz ve 19-25 GHz aralığında yansima neredeyse 1 değerini alırken bu yapıya kusur katmanı eklenmesiyle 6-12 GHz arasındaki yansima bandı ikiye bölünerek 6-9 GHz ve 11-14

GHz olarak kendini göstermiştir. Çarpışma frekansı değeri arttıkça yansıma değeri giderek azalmış, 0-0.7 aralığında değerler almış fakat sıfırlanmamıştır.



Şekil 4.31. Cantor dizilimin çarpışma frekansı $\nu = 0.005\omega_p, 0.01\omega_p, 0.05\omega_p, 0.1\omega_p$ değerleri için iletim katsayısı

İletim katsayısı grafiklerine bakıldığında çarpışma frekansı değeri arttıkça yansıma katsayısında olduğu gibi iletim de azalmaktadır. Hatta burada çarpışma frekansı en yüksek değerini aldığı anda iletim çok düşmüştür. Yalnızca 20-25 GHz aralığında tüm çarpışma frekansı değerleri için neredeyse iletim hiç yoktur. Çarpışma frekansı değişimi, iletim açısından Cantor dizimli yapıda ayarlanabilir bir optik özellik olarak kullanıma uygundur.



Şekil 4.32. Cantor dizilimin çarpışma frekansı $\nu = 0.005\omega_p, 0.01\omega_p, 0.05\omega_p, 0.1\omega_p$ değerleri için soğurma katsayısı

Şekil 4.32'deki soğurma grafikleri incelendiğinde, çarpışma frekansı değeri arttıkça soğurma katsayısının genlik seviyesinde artış gözlemlenmiştir. Bu incelemede, kusur katmanın grafiklerde önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür. $\nu = 0.005\omega_p$ değerinde yalnızca 6 GHz ve 12.5 GHz değerlerinde bir soğurma bandı mevcuttur. $\nu = 0.05\omega_p$ değerinde soğurma bandında bulunan kanalların genliği artmış 15 ve 19 GHz arasında daha önce sıfır olan soğurma değerinde kusur katmanı eklenmesiyle artış oluşmuştur. Diğer değerlerde ν yükseldikçe, soğurma artmıştır. Çarpışma frekansı $\nu = 0.1\omega_p$ bakıldığında soğurma değerinin 0.5'e yakın değere yaklaştığı ve bazı frekanslarda geçtiği görülmüştür. Plazmanın yüksek çarpışma frekansı değeri, soğurma özelliği önemli olan optik uygulamalar için kritik bir rol oynayabilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Plazmalar, tek başlarına incelendiği gibi belirli bir düzenlemeyle fotonik kristal yapılar halinde de tasarlanabilmektedir. Farklı katman yapıları, belirli parametreler değiştirildiğinde farklı davranışlar sergilemektedir.

Çalışmanın sonuçları, farklı matematiksel serilerle tasarlanmış yapıların optik özelliklerini değerlendirmek için yansıma, iletim ve soğurma davranışlarına ait analizleri içermektedir. Farklı PFK yapılarına bir kusur katmanı eklenerek tek boyutlu fotonik kristal yapılar modellenmiştir. İlk olarak soğuk, zayıf iyonlaşmış, homojen, manyetize olmayan ve çarpışmalı olmayan plazma özelliğindeki malzeme için Periyodik, Fibonacci, Thue-Morse ve Cantor dizileri, ikinci olarak ise soğuk, zayıf iyonlaşmış, homojen, manyetize edilmiş ve çarpışmalı plazma özelliğindeki malzeme için ise Periyodik ve Cantor dizileri ile etkileşimler incelenmiştir. Kusur katmanı kalınlığı ve dielektrik geçirgenliği, çarpışma frekansı, elektron yoğunluğu ve dış manyetik alan parametrelerinin iletim, yansıma ve soğurma davranışları üzerine etkileri incelenmiştir.

Bölüm 3'te Periyodik PFK yapısı için literatürden bir makale doğrulaması yapılmış ve çalışmaya ek olarak bir kusur katmanı eklenmesiyle kusur katman kalınlığı, dielektrik geçirgenliği ve plazma elektron yoğunluğu etkisi incelenmiştir. İlk olarak sabit parametrelere sahip bir kusur katmanı eklendiğinde kanal sayılarının ve genliklerinin azaldığı gözlemlenmiştir. İletimin belirli frekans bantlarında olduğu ancak bu frekans bantları dışında da yansımanın en yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir. Bu özellikle yüksek yansıma sağlanabileceğini ve bazı optik uygulamalarda kullanılabileceğini işaret etmektedir. Kusur katmanı kalınlığı frekans bandında bir değişime neden olmazken, kanal sayısı ve iletim genliklerinde farklılıklar oluşturmuştur. Ayrıca, elektron yoğunluğunun artmasının kanal sayısı ve iletim genliği gibi özellikler üzerinde belirgin bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Periyodik diziliimli PFK yapısının diğer yapılardan farklı olarak hem düşük hem de yüksek frekans bölgelerinde dar bantlı, kanallı iletim yapıları oluşturduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlar, periyodik dizilimlerin kontrollü iletim özelliklerine sahip optik filtreler veya sensörler için potansiyel sağlayabileceğini göstermektedir.

Fibonacci dizisinin özellikle düşük frekanslarda iyi bir yansıtıcı olduğu ve böylece optik yansıtma açısından potansiyel bir kullanım alanına sahip olduğu görülmüştür. Kusur katmanı eklenmesiyle birlikte yüksek frekanslarda oluşan iletim kanallarının sayısının azaldığı ve genlik seviyelerinin arttığı belirtilebilir. Kusur katmanı kalınlığı etkisiyle her bir kalınlıkta farklı genlik ve sayıda iletim kanalları gözlenmiştir. Elektron yoğunluğuna bakıldığında yüksek yoğunluklarda yansıma seviyesi en yüksek değerdedir. Fibonacci dizilimli PFK yapısı özellikle düşük frekanslarda yüksek yansıma değerleri, yüksek frekanslarda çok kanallı iletim yapısıyla diğer PFK'lardan ayrılmaktadır. Optik iletim ve yansıma aygıtları için esnek ve ayarlanabilir bir tasarım platformu olabileceğini göstermektedir.

Thue-Morse serisi, PFK tasarımında diğer yapılardan farklı olarak düşük ve yüksek frekanslarda birer tane iletim kanalı oluştururken, diğer frekanslarda yüksek yansıtıcı bir özelliğe sahiptir. Bu özellikleri sayesinde çeşitli optik filtrelerde ve yüksek verimli reflektörlerde kullanılabilir. Ayrıca, kusur katmanının eklenmesiyle düşük frekanslardaki iletim bandının kaybolması ve yüksek frekansta tek kanallı bir iletim yapısının oluşması, tek kanallı iletim veya yüksek yansıtıcı bir optik filtre tasarımında verimli olabileceğini göstermektedir. Kusur katmanının kalınlığının değiştirilmesiyle incelenen etkilerde ise bu değişikliklere duyarlı olmadığı ancak kusur katmanının dielektrik geçirgenliğinin artmasının yüksek frekanstaki tek kanallı iletim bandını zayıflattığı ve yansımayı artırdığı gözlemlenmiştir. Elektron yoğunluğunun artmasıyla iletimin zayıfladığı ve hatta bazı durumlarda tamamen kaybolduğu gözlenmiştir.

Cantor tasarımında iletim ve yansıma davranışları incelendiğinde düşük frekansta dar iletim bandı, yüksek frekansta ise daha geniş bantlı iletim kanalları olduğu görülmüştür. Bu tasarım, daha geniş bantlı iletim kanalları oluşturmasıyla diğer PFK yapılarından ayrılmıştır. Kusur katmanı eklenerek tasarım yinlendiğinde düşük frekans ve düşük genlikte bir iletim bandı oluşturup iletim bantlarını daha yüksek frekanslara kaydırmıştır. Geniş bantlı iletim kanalları oluşturduğu yüksek frekans aralıklarında, geniş bantlı ve yüksek kapasiteli veri iletimi sağlayan optik iletişim sistemleri için potansiyel bir uygulama olabilir. Düşük frekanslarda dar iletim bantları oluşturan Cantor serisi, düşük frekanslı sinyallerin filtrelenmesi veya yüksek hassasiyetli algılayıcılar için kullanılabilir. Kusur katman kalınlığı, her kalınlıkta iletim bantlarını farklı frekans bölgelerine kaydırmış, dielektrik geçirgenliği arttığında ise

iletim bantlarının düşük frekanslara doğru kaydığı belirlenmiştir. Elektron yoğunluğu arttıķça iletim bantlarının daralmış ve yüksek frekanslara kaymıştır. Bu bۆlۆmde çalışılan yapıların ۆne çıkan ۆzellikleri izelge 5.1’de gۆsterilmiřtir.

Çizelge 5.2. Periyodik, Fibonacci, Thue-Morse ve Cantor diziliimli yapıların ۆne çıkan ۆzellikleri

Dizilim Tۆrۆ	ۆne çıkan ۆzellik
Periyodik Diziliimli Yapı	ok Kanallı
Fibonacci Diziliimli Yapı	Dۆřۆk Frekanslarda Yansıtıcı, Yۆksek Frekanslarda ok Kanallı
Thue Morse Diziliimli Yapı	Dۆřۆk ve Yۆksek Frekanslarda Tek Kanallı
Cantor Diziliimli Yapı	Yۆksek Frekanslarda Geniş Banttta İletim

Bۆlۆm 4’te dış manyetik alan kontrolۆ ile ۆzellikleri ayarlanabilen farklı bir plazma tۆrۆ incelenmiştir. Periyodik ve Cantor tipi diziliimlere sahip tasarımlarda çarpışma frekansına sahip ve dış manyetik alan etkisi altında olan kayıplı ortamda inceleme yapılmıştır. Soğurma ۆzelliđine ait grafikler de eklenmiştir.

Periyodik dizilimde manyetize edilmiş soğuk plazma ۆrneđi ۆzerinde yapılan araştırma, optik filtreleme ve iletim kontrolۆ gibi uygulama alanları için elverişlidir. Kusur katmanı ile artan bant genişliği, iletim spektrumlarının genişletilmesi ve verimli bir iletimin sağlanması için ۆnemlidir. Kusur katmanı, yۆksek frekanslarda zayıf genlikli soğurma bantları oluşturur. Optik sensۆrler ve enerji emilimi uygulamalarında yararlı olabilir.

Dۆřۆk frekanslarda geniş bantlı iletimin geçirgenlik arttıķça bant genişliğinin arttığı, dar bantlı iletimde ise giderek dۆřۆk frekanslara kaydığı ve en yۆksek geçirgenlik değerinde kanal sayısının arttığı gۆrۆlmۆřtۆr. Yۆksek frekanslarda ise dar bantlı kanalların daha dۆřۆk frekanslara kaydığı ve belirli bir değerden sonra genlik seviyesinin azaldığı gۆrۆlmektedir. Dۆřۆk frekanslardaki geniş bantlı iletimin, dielektrik geçirgenlik artışıyla birlikte genişlediğini gۆrmek, telekomۆnikasyon ve veri iletim sistemlerinde daha geniş bantlı iletim sağlamak için ۆnemli bir bulgudur.

Elektron yoğunluğu değişiminde dۆřۆk frekanslarda oluşan iletim bant genişliğinin azaldığı belirlenmiştir. Kusur katmanının eklenmesi ile de iletim bantlarında genişleme

görülmüştür. Tüm frekanslarda oluşan kanallı iletim yapısı yoğunluk artışıyla daralmış ve genliği azalmıştır. Kusur katmanı ile soğurma katsayılarının genliğinin bir miktar arttığı ve kanal sayılarının azaldığı görülür. Kusur katmanı ile belirli frekanslarda iletimin sıfır olduğu ve belirli frekanslarda ise iletimin azaldığı gözlemlenirken, bu durum farklı optik iletişim uygulamalarında önemlidir. Soğurma özellikleri, tıbbi görüntüleme ve spektroskopi gibi alanlarda kullanılan optik sensörlerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynayabilir. Elektron yoğunluğu değişimi, güneş enerjisi toplama ve güneş panellerinde verimliliği artırmak gibi yenilenebilir enerji teknolojileri alanında kullanılabilecek önemli bilgiler sunmaktadır.

Dış manyetik alanın artışı yansıma seviyesini azaltmış fakat geniş bantlı sinyaller oluşturmuştur. Kusur katmanı varlığında yüksek manyetik alanın bant genişliğini azalttığı gözlemlenmiştir. Kanallı, yansıtıcı filtreler için düşük manyetik alan kullanımının uygun olabileceğini işaret etmektedir. Düşük manyetik alan için iletim, kusur katmanı varlığında düşük genlik ve dar banttadır. Manyetik alanın artmasıyla tüm frekanslarda iletimin artmaya başladığı ve geniş bantta iletim kanallarının olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek manyetik alan ile soğurmanın sifıra yakın değer aldığı görülmüştür. Düşük manyetik alan ile kanallı bir yapıda soğurma varken, değer arttıkça soğurma sifıra yakın değer almıştır. Çarpışma frekansının artmasıyla iletim azalmıştır. Periyodik diziliimli PFK yapısı, kayıpsız ortamda incelenen PFK yapısı ile benzer olarak çok kanallı bir iletim yapısı oluşturmuş fakat bu kez iletim bantlarının daha geniş olduğu gözlenmiştir. Yüksek çarpışma frekansı ile hem soğurucu optik filtreler ve sensörler, yüksek frekans bandında ise hem de yansıtıcı özellik gösteren uygulamalarda kullanım potansiyeline sahiptir.

Cantor serisi ile belirli frekans aralıklarında kanallı bir iletim gözlemlenirken, kusur katmanı ile iletim kanalında artış meydana gelmiştir. İletim kanallarının dışındaki bölgelerde yansıma yüksek seviyededir ve soğurma düşüktür. Kusur katmanı kalınlığının artmasıyla düşük frekans seviyelerinde yansıtıcı bant genişlikleri azalmış, iletim ve soğurma sinyalleri de giderek düşük frekanslara doğru kaymıştır. Kusur katmanı dielektrik geçirgenliği artmasıyla, iletim kanallarının özellikle düşük frekanslarda daha da düşük frekans bölgelerine doğru yer değiştirdiği, soğurma grafiğinde de düşük frekanslara kaydığı görülmektedir. Elektron yoğunluğunun artmasıyla düşük frekanslarda oluşan iletimin azalma eğiliminde olduğu ve buna bağlı

olarak soğurmanın arttığı gözlenmektedir. Dış manyetik alan etkisinde, iletim değerlerinde artış gözlenirken yansıma ve soğurma seviyelerinde azalma meydana gelmiştir. Yüksek manyetik alan değerlerinde yansıma ve iletim kanalları oluşmuştur. Çarpışma frekans değerinin artışı soğurucu özelliklerin güçlenmesine ve iletimin azalmasına neden olur. Cantor diziliimli PFK yapısında kayıpsız ortamda incelenen PFK yapısı ile benzer olarak yüksek frekanslarda geniş, düşük frekanslarda dar bantta iletim kanalları görülmüş fakat bu kez bu iletim kanallarının bant genişliklerinin arttığı görülmüştür. Bu özellik, elektromanyetik uyumlu kaplamaların tasarımında ve gizlilik uygulamalarında etkin bir şekilde kullanılabilir. Bu bölümde çalışılan yapıların öne çıkan özellikleri Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Periyodik ve Cantor diziliimli yapıların öne çıkan özellikleri

Dizilim Türü	Öne Çıkan Özellik
Periyodik Diziliimli Yapı	Çok Kanallı
Cantor Diziliimli Yapı	Yüksek Frekanslarda Geniş Bantta İletim

Bu tez çalışması kapsamında farklı dizilimde ve farklı türde plazma özelliği gösteren malzemelerin, dielektrik malzemelerle yapılan tasarımları için sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar 7. Uluslararası Matematiksel Gelişmeler ve Uygulamalar Konferansında kabul edilmiştir [46]. Önerilen model tasarımları, optik filtrelerin tasarlanmasında, elektromanyetik uyumlu kaplama tasarımlarında, gizlilik uygulamalarında, optik sensörler, lazerler ve optik iletim cihazları gibi uygulama alanları için önemli bir potansiyel sunmaktadır.

Gelecekte mevcut çalışmada sunulan temel fotonik kristal yapıları ve plazma türlerinin üzerine daha karmaşık tasarımlar ekleyerek, uygulama alanlarını genişletilmesi ve esnek, ayarlanabilir çözümler geliştirilmesi hedeflenmektedir.

6. KAYNAKÇA

- [1] S. Eliezer ve Y. Eliezer, *The Fourth State of Matter*, Institute of Physics, **2001**.
- [2] F. F. Chen, *Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion*, Springer International Publishing, **2015**.
- [3] A. I. Morozov, *Introduction to Plasma Dynamics*, CRC Press, **2012**.
- [4] C. Chiuderi ve M. Velli, *Basics of Plasma Astrophysics*, Springer, **2015**.
- [5] Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_\(physics\)#/media/File:Plasma-lamp_2.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_(physics)#/media/File:Plasma-lamp_2.jpg), **2004**.
- [6] Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_\(physics\)#/media/File:Lightning3.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_(physics)#/media/File:Lightning3.jpg), **2004**.
- [7] E. Yablonovitch, Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics, *Physical Review Letters*, Vol. 58, No. 20, pp. 2059-2062, **1987**.
- [8] H. Conrads ve M. Schmidt, Plasma sources science and technology plasma generation and plasma sources related content plasma generation and plasma sources, *Plasma Sources Science and Technology*, Vol. 9, pp. 441-454, **2000**.
- [9] Y. R. Zhang, E. C. Neyts ve A. Bogaerts, Influence of the material dielectric constant on plasma generation inside catalyst pores, *The Journal of Physical Chemistry C*, Vol. 120, No. 45, pp. 25923-25934, **2016**.
- [10] A. K. Singh, *Scope and Challenges in Plasma Science & Technology*, Allied Publishers Pvt. Ltd., **2004**.
- [11] Ö. Kılıç, *Askeri Gizleme Uygulamaları İçin Plazma Kaplamaların Tasarımı*, Hacettepe Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, **2017**.
- [12] E. F. Knott, J. F. Schaeffer ve M. T. Tulley, *Radar Cross Section (Radar, Sonar and Navigation)*, Scitech Publishing, **2004**.
- [13] H. Singh, S. Antony ve R. M. Jha, *Plasma-based Radar Cross Section Reduction*, Springer Briefs In Electrical And Computer Engineering; Computational Electromagnetics, **2016**.
- [14] R. Rajasekar, K. Parameshwari ve S. Robinson, Nano-optical switch based on photonic crystal ring resonator, *Plasmonics*, Vol. 14, pp. 1687-1697, **2019**.
- [15] S. Razi ve F. Ghasemi, Broad band temperature independent photonic crystal based optical filter with response in visible wavelength range, *Laser Physics*, Vol. 29, No. 046204, **2019**.
- [16] P. Mar'c, N. Przybysz, A. Molska ve L. R. Jaroszewicz, Photonic crystal fiber transducers for an optical fiber multilevel temperature threshold sensor, *Journal of Lightwave*, Vol. 36, No. 4, pp. 898-903, **2018**.

- [17] F. Ghasemi, M. Aliasghary ve S. Razi, Magneto-sensitive photonic crystal optical filter with tunable response in 12–19 GHz; cross over from design to prediction of performance using machine learning, *Physics Letters A*, Vol. 401, No. 127328, **2021**.
- [18] L. Shiveshwari ve P. Mahto, Photonic band gap effect in one-dimensional plasma dielectric photonic crystals, *Solid State Communications*, Vol. 138, No. 3, pp. 160-164, **2006**.
- [19] B. Guo, Photonic band gap structures of obliquely incident electromagnetic wave propagation in a one-dimension absorptive plasma photonic crystal, *Physics of Plasmas*, Vol. 16, No. 043508, **2009**.
- [20] H. Hojo ve A. Mase, Dispersion relation of electromagnetic waves in one-dimensional plasma photonic crystals, *Journal of Plasma and Fusion Research*, Vol. 80, No. 2, pp. 89-90, **2004**.
- [21] L. Qi, Z. Yang, F. Lan, X. Gao ve Z. Shi, Properties of obliquely incident electromagnetic wave in one-dimensional magnetized plasma photonic crystals, *Physics of Plasmas*, Vol. 17, No. 042501, **2010**.
- [22] L. Qi, Z. Yang ve T. Fu, Defect modes in one-dimensional magnetized plasma photonic crystals with a dielectric defect layer, *Physics of Plasmas*, Vol. 19, No. 012509, **2012**.
- [23] S. K. Awasthi, M. Usha ve P. O. Sant, Enhancement of omnidirectional total-reflection wavelength range by using one-dimensional ternary photonic bandgap material, *Journal of the Optical Society of America B*, Vol. 23, No. 12, **2006**.
- [24] S. K. Awasthi ve S. P. Ojha, Design of a tunable optical filter by using a one-dimensional ternary photonic bandgap material, *Progress in Electromagnetics Research M*, Vol. 4, pp. 117-132, **2008**.
- [25] A. Banerjee, Enhanced refractometric optical sensing by using one-dimensional ternary photonic crystals, *Progress in Electromagnetics Research*, Vol. 89, pp. 11-22, **2009**.
- [26] C. J. Wu, Y. H. Chung, B. J. Syu ve T. J. Yang, Band gap extension in a one-dimensional ternary metal-dielectric photonic crystal, *Progress in Electromagnetics Research*, Vol. 102, pp. 81-93, **2010**.
- [27] Z. Rahmani ve N. Rezaee, The reflection and absorption characteristics of one-dimensional ternary plasma photonic crystals irradiated by TE and TM waves, *Optic*, Vol. 184, pp. 134-141, **2019**.
- [28] C. J. Wu, Y. Lee, T. C. King ve W. K. Kuo, A multichannel filter based on the finite plasma photonic crystal, *Key Engineering Materials*, Vol. 538, pp. 297-300, **2013**.

- [29] Z. H. Mohammed, The fresnel coefficient of thin film multilayer using transfer matrix method TMM, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 518, No. 3, **2019**.
- [30] G. N. Pandey ve B. Suthar, Transmittance properties of superconductor-dielectric photonic crystal, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 49, pp. 3214-3216, **2020**.
- [31] Y. Wang, S. Chen, P. P. Wen, S. Liu ve S. Zhong, Multichannel filter based on tunable fibonacci quasi-periodic structure for one-dimensional magnetized ternary plasma photonic crystal, *International Journal for Light and Electron Optics*, Vol. 224, No. 165393, **2020**.
- [32] Ç. S. Gürel ve Ö. Kılıç, Band-blocking optical filter including ultrathin metallic film, *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, Vol. 30, No. 18, pp. 2484-2491, **2016**.
- [33] B. K. Singh, K. B. Thapa ve P. C. Pandey, Optical reflectance and omnidirectional band gaps in Fibonacci quasi crystals type 1-D multilayer structures containing exponentially graded material, *Optics Communications*, Vol. 297, pp. 65-73, **2013**.
- [34] T. C. King, One-way absorption properties in asymmetric single-negative based Cantor photonic crystals, *Chinese Journal of Physics*, Vol. 64, pp. 18-24, **2020**.
- [35] H.-F. Zhang, S.-B. Liu ve X.-K. Kong, Enlarged omnidirectional band gap in one-dimensional plasma photonic crystals with ternary Thue-Morse aperiodic structure, *Physica B: Condensed Matter*, Vol. 410, pp. 244-250, **2013**.
- [36] H.-F. Zhang, S.-B. Liu ve X.-K. Kong, Enlarged omnidirectional photonic band gap in one-dimensional ternary plasma photonic crystals based on a new Thue-Morse aperiodic structure, *Solid State Communications*, Vol. 174, pp. 19-25, **2013**.
- [37] L. Yichao, L. Zhen, P. Jun, L. Liguang, L. Rubing ve L. Qi, Study on transmission characteristics and bandgap types of plasma photonic crystal, *Photonics*, Vol. 8, No. 9, **2021**.
- [38] H. Wang, J. Li, L. Guo, D. Ma, J. Yao ve H. P. Li, Transmission properties in plasma photonic crystal controlled by magnetic fields, *Photonics*, Vol. 10, No. 3, **2023**.
- [39] M. M. Hawkeye ve M. J. Brett, Optimized colorimetric photonic-crystal humidity sensor fabricated using glancing angle deposition, *Advanced Functional Materials*, Vol. 21, No. 19, pp. 3652-3658, **2011**.
- [40] A. H. Aly, H. A. Elsayed, A. A. Ameen ve S. H. Mohamedy, Tunable properties of one-dimensional photonic crystals that incorporate a defect layer

- of a magnetized plasma, *International Journal of Modern Physics B*, Vol. 31, No. 31, pp. 1750239, **2017**.
- [41] H. Wang, P. Bai, J. Xie, L. Zhang, K. Lei, B. Liu, C. Wang, L. Zhu ve G. Wang, Gas sensing of silica photonic crystals for binary gases, *Optical Materials*, Vol. 109, No. 110320, **2020**.
- [42] Z. A. Zaky, B. Moustafa ve A. H. Aly, Plasma cell sensors using photonic crystal cavity, *Optical and Quantum Electronics*, Vol. 53, No. 591, **2021**.
- [43] Z. A. Zaky, A. Panda, P. D. Pukhrambam ve A. H. Aly, The impact of magnetized cold plasma and its various properties in sensing applications, *Scientific Reports*, Vol. 12, No. 1, pp. 1-12, **2022**.
- [44] F. S. Chaves, H. V. Posada ve H. Dakhlaoui, Optimization of the quality factor and sensitivity of one-dimensional photonic crystal methane sensor with cryptophane a cavity, *Optik (Stuttgart)*, Vol. 289, No. July, pp. 171249, **2023**.
- [45] J. Bittencourt, *Fundamentals of Plasma Physics*, Springer, **2003**.
- [46] E. E. Kırac ve Ç. S. Gürel, Application of different mathematical series to photonic crystal designs and their comparisons, *7th International Hybrid Conference on Mathematical Advances and Applications*, Yıldız Technical University, Istanbul, 8-11 Mayıs, **2024**.