

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

**GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI İÇİN ÇOKLU VE GENİŞ
BANT METAMALZEME SOĞURUCU TASARIMI**

**Hazırlayan
Jaafar ALSMAEL**

**Danışman
Doç. Dr. Mustafa TÜRKMEN**

**Haziran 2019
KAYSERİ**

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

**GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI İÇİN ÇOKLU VE GENİŞ
BANT METAMALZEME SOĞURUCU TASARIMI
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Jaafar ALSMAEL**

**Danışman
Doç. Dr. Mustafa TÜRKMEN**

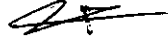
**Haziran 2019
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı : Jaafar ALSMAEL

İmza :



YÖNERGEYE UYGUNLUK

Güneş Pili Uygulamaları İçin Çoklu ve Geniş Bant Metamalzeme Soğurucu Tasarımı adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.



Jaafar ALSMAEL
Tezi Hazırlayan



Doç. Dr. Mustafa TÜRKMEN
Danışman



Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR

Elektrik – Elektronik Mühendisliği ABD Başkanı

Doç. Dr. Mustafa TÜRKMEN danışmanlığında **Jaafar ALSMAEL** tarafından hazırlanan “**Güneş Pili Uygulamaları İçin Çoklu ve Geniş Bant Metamalzeme Soğurucu Tasarımı**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

18/07/2019

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Mustafa TÜRKMEN



Üye : Prof. Dr. Ö. Galip SARAÇOĞLU



Üye : Doç. Dr. Kutay İÇÖZ


ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 23/07/2019 tarih ve 2019/52-73.. sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Başta tez çalışmam boyunca bana yol gösteren, bilgi, tecrübe ve mesaisini benim için cömertçe harcayan, dünyaya daha geniş bir pencereden bakma becerisi kazandıran ve isabetli öngöruları ile her zaman yolumu aydınlatan danışman hocam Doç. Dr. Mustafa Türkmen'e teşekkür ederim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince simülasyon programlarının kullanımında yardımcı olan Arş. Gör. Mustafa Kırlar'a değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Özellikle de eğitim-öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi yanımda olan aileme (Annem) de teşekkürü bir borç bilirim.

Jaafar ALSMAEL
Kayseri, Temmuz 2019

GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI İÇİN ÇOKLU VE GENİŞ BANT METAMALZEME SOĞURUCU TASARIMI

Jaafar ALSMAEL

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2019

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa TÜRKMEN

ÖZET

Hızla artan enerji ihtiyacı probleminin en önemli çözümlerinden biri güneş enerjisi teknolojilerinin geliştirilmesidir. Ancak, teknolojinin bu alanı güneş enerjisi kullanmanın düşük verimliliği gibi problemlerle yüzleşmek zorunda. Bu güneş enerjisi sistemleri gün geçtikçe büyüyen enerji açığını karşılayabilecek, yenilenebilir bir enerji kaynağı sunmakla kalmıyor, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından farklı olarak enerjiyi üretirken çevreye zarar vermiyor ve düzenli bakım- onarım ve insana bağımlılık gibi gereksinimleri yok. Bu cihazların dizaynı oldukça basit çünkü temelde güneş ışığını doğrudan elektriğe çeviriyor ve bunu yaparken başka bir dönüştürme işlemine ihtiyaç duymuyor. Ancak bu güneş pillerinin soğurucu kısmının verimliliği oldukça düşük ve bu nedenle verimliliğin yükseltilmesi için ileri derecede araştırma-geliştirme çalışmalarına ihtiyaç var. Yapılan deneylerde metamalzemelerin negatif kırıcılık indeksinin olduğunun kanıtlanmasıyla araştırma süreci oldukça hızlandı. Metamalzemeler yüksek soğurucu kapasitesine sahip ürünlerin üretimini, akıllıca kombinasyonlarıyla maliyeti de düşürerek sağlıyorlar. Bu tezde, yeni metamalzemelerin fotovoltaiik uygulamalar için üretilen soğurucu yapılarını açıklanacak ve soğurucu kapasiteleri, polarizasyon ve geliş açısı kararlılığı ve optimum materyallerin sayısal olarak araştırılmasını bulacaksınız..

Anahtar Kelimeler: Metamalzeme, Mükemmel soğurucu, Çok bant, Geniş bant, Güneş pilleri.

MULTIBAND AND WIDEBAND METAMATERIAL ABSORBER DESIGNS FOR SOLAR CELL APPLICATIONS

Jaafar ALSMAEL

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, June 2019

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Mustafa TÜRKMEN

ABSTRACT

One of the key solutions to the growing demand for energy is the development of solar energy technologies. However, the field of solar technology faces many challenges such as low solar energy efficiency. These solar energy systems are renewable energy sources that meet the growing potential of energy and, unlike other renewable energy sources, do not cause environmental damage or resource exhaustion during power generation, minimum maintenance and reliability. These devices are very simple in design because their basics are utilized directly to convert sunlight into electricity without any other conversion process. However, the absorbent of these solar cells is limited in efficiency and therefore requires further improvement to increase their efficiency after proving the negative refractive index for metamaterials in experiments, research has developed significantly. Metamaterials can produce high absorbance properties besides reducing material costs with their combination design. In this thesis, novel metamaterial absorber structure for photovoltaic implementation are submitted and numerically investigated concerning their absorbance ability, polarization and incident angle stability, and optimum materials..

Keywords: Metamaterial, Perfect absorber, Multiband, Wideband, Solar cells.

İÇİNDEKİLER

GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI İÇİN ÇOKLU VE GENİŞ BANT METAMALZEME SOĞURUCU TASARIMI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
ONAY	iii
ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
GİRİŞ	1
TEMEL TANIMLAMALAR.....	1
G.1.1 Güneş Enerjisi	1
G.1.2. Metamalzeme.....	3
G.1.3. Metamalzeme Kullanarak Mükemmel Soğurucu	4
G.1.4. Güneş Enerjisi Elde Etmede Metamalzeme Mükemmel Soğurucular	5
G.1.5. Tasarım için Metodoloji Metamalzeme	6
G.1.5. 1. Teori	6
G.1.5. 2. Tasarım	6
G.1.5. 3. Simülasyon.....	6
G.1.5. 4. Metamalzeme Soğurucun Analizi.....	7
G.1.5. 5. Karakterizasyon.....	7

1. BÖLÜM

TEK BANT METAMALZEME SOĞURUCU

1.1. Tasarım ve Geometrik Parametreler	8
1.2. Tasarım ve Simülasyon.....	9
1.3. Sonuçlar	14
2. BÖLÜM.....	15

ÇİFT BANT METAMALZEME SOĞURUCU	15
2.1 Tasarım ve Simülasyon.....	15
2.2. Sonuç ve Tartışma.....	16
2.3. Sonuç	21

3. BÖLÜM

GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI İÇİN GENİŞ BANT METAMALZEME SOĞURUCU TASARIMI

3.1.Yapı Tasarımı ve Simülasyon	22
3.2. Sonuçlar ve Tartışma.....	23
3.3. Geometrik Parametre Çalışması	24
3.4. Polarizasyon Açılı, Alanlar ve Yüzey Akımları Dağılımları Analizi.....	27
3.5. Sonuçlar	32

4. BÖLÜM

GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI İÇİN ÇOKLU-BANT METAMALZEME SOĞURUCU TASARIMI

4.1. Giriş.....	33
4.2. Tasarım ve Simülasyon.....	33
4.3. Sonuçlar ve Tartışma.....	34
4.4 Sonuç	41

5. BÖLÜM

GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI İÇİN GENİŞ BANT METAMALZEME SOĞURUCU TASARIMI

5.1. Giriş.....	42
5.2. Tasarım ve Simülasyon.....	42
5.3. Sonuçlar ve Tartışma.....	44
5.4. Sonuç	51

6. BÖLÜM

GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI İÇİN ÇOKLU-BANT METAMALZEME SOĞURUCU TASARIMI

6.1. Giriş.....	52
6.2. Tasarım ve Simülasyon.....	52
6.3. Sonuçlar ve Tartışma.....	54
6.4. Çoklu-bant Topolojisi.....	55

6.5. Soğurucu cevabına geometrik etkiler..... 60

6.6. Sonuç 63

7. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Tartışma-Sonuç ve Öneriler..... 64

7.2. Gelecek çalışmalar 65

KAYNAKÇA..... 66

ÖZGEÇMİŞ..... 72



KISALTMALAR VE SİMGELER

A(ω)	Frequency dependent absorption coefficient; Frekansa bağılı soğurucu katsayısı
Ag	Silver; Gümüş
Al	Aluminum, Alimünyum
Au	Gold; Altın
Al₂O₃	Aluminum oxide, Alimünyum oksit
Cu	Copper; Bakır
ϵ	Electric permittivity; Elektrik geçirgenliği
E	Electric field ($V.m^{-1}$); Elektrik alanı ($V m^{-1}$)
FDTD	Finite-Difference Time-Domain; Zaman Domeninde Sonlu Farklar
FIT	Finite Integration Technique; Sonlu Entegrasyon Tekniği
GaAs	Gallium Arsenide, Galyum Arsenide
H	Magnetic field ($A.m^{-1}$); Manyetik alan ($A m^{-1}$)
IR	Infrared; Kızılötesi
k	Extinction coefficient; Yok olma katsayısı
μ	Magnetic permeability; Manyetik geçirgenlik
MgF₂	Magnesium Fluoride; Magnezyum Florür
MTM	Metamaterials; Metamalzeme
nm	Nanometer; nanometre
R(ω)	Frequency dependent reflection coefficient; Frekansa bağılı yansımaya katsayısı
Si	Silicon; Silikon
SiO₂	Silicon Dioxide; Silisyum dioksit
T(ω)	Frequency dependent transmission coefficient; Frekansa bağılı aktarım katsayısı
TE	Transverse Electric; Enine Elektrik
TEM	Transverse electromagnetic; enine elektromanyetik
THz	TeraHertz
TiN	Stannum; Stannum
TM	Tranverse Magnetic; Enine Manyetik
TPV	Termo-Photovoltaic; Termo-Fotovoltaik

UV	Ultraviolet; Ultraviyole
PV	Photovoltaic; Fotovoltaik
ω	Angular frequency (Hz); Açısal frekans (Hz).



TABLULAR LİSTESİ

Tablo 5. 1. Nanometre cinsinden her parametreyle ilgili değerler.....	43
Tablo 6. 1. Yapının geometrik parametreleri	54



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil G. 1. Güneş Işınımı Spektrumu.	2
Şekil G. 2. $\epsilon - \mu$ alanındaki materyallerin elektromanyetik özellikleri.	4
Şekil 1. 1. Önerilen MPA birimi hücresi. (a) İzometrik görünüm ve (b) üstten görünüm (Yamalar).1.2. Simulation and Discussion of Results	9
Şekil 1. 2. 579.2 THz rezonans frekansındaki soğurum ve yansıma seviyelerinin gösterimi. soğurum seviyeleri 569.13 THz ile 587.58 THz arasında %99'dur. En yüksek soğurum seviyesi %99.68'dir ve 579.2 THz'de elde edilmiştir.....	10
Şekil 1. 3. Elektrik alan dağılımının önden görünüşü, (b) manyetik alan dağılımının önden görünüşü ve (c) önerilen MPA tasarımının 614.4 THz rezonans frekansındaki yüzey akımı dağılımları.	11
Şekil 1. 4. Önerilen MPA yapısının farklı jeometrik parametrelere sahip benzetilmiş emme özellikleri: (a) farklı şerit periyodiklik değerleri 'a', (b) farklı şerit periyodikliği değerleri 'b' (c) farklı dielektrik kalınlıkları 'h ₂ ' (d) farklı rezonans kalınlığı 'h ₃ '.....	13
Şekil 1. 5. a) Farklı metaller kullanılarak önerilen MPA yapısının soğurucu sonuçlarının simülasyonu. b) Farklı dielektrik aralayıcı kullanarak önerilen MPA yapısının benzetiminin soğurum sonuçları.....	14
Şekil 2. 1. Önerilen MPA'nın ünite hücre geometrisi.	16
Şekil 2. 2. . Yansıma ve soğurma spektrumları. Geometrik boyutlar şunlardır: p = 400 nm a = 140 nm c = 80 nm d = 60 nm n = 10 nm hl = 50 nm h ₂ = 40 nm ve h ₃ = 20 nm	17
Şekil 2. 3 Rezonans frekanslarında alan dağılımları. (a) 654.9 THz'de elektrik alanı dağılımı, (a) 708.3 THz'de elektrik alanı dağılımı, (c) 654.9 THz'de manyetik alan dağılımı, (d) 708.3 THz'de manyetik alan dağılımı.	18
Şekil 2. 4. Soğurma tepkisi a) SiO ₂ kalınlığı, b) Şeritler arasındaki boşluk, c) Şeritlerin genişliği.	19
Şekil 2. 5. Önerilen polarizasyon spektrumları.....	20
Şekil 2. 6. Farklı metaller kullanılarak önerilen MPA yapısının soğurma sonuçlarının simülasyonu b) Farklı dielektrik aralayıcı kullanarak önerilen MPA yapısının soğurma sonuçlarının simülasyonu.	21

Şekil 3. 1. (a) Önerilen MPA'nın bir ünite hücresi, (b) Ünerilen MPA ünite hücresinin üstten görünümü (rezonatörler gösteriliyor).....	23
Şekil 3. 2. Önerilen geniş bant tasarımının uyarılmış soğurum ortalaması. (a) Geniş bant mükemmel soğurucu, (b) her iki kare şerit için simüle edilmiş soğurum ortalaması.	24
Şekil 3. 3. Geometrik parametrenin farklı boyutunda önerilen geniş bant MPA birim hücresi için simüle edilmiş emme sonuçları: (a) farklı dielektrik kalınlık 'h ₂ ', (b) farklı rezonatör 'h ₃ ' kalınlıkları, (c) dış kare şeridin 'a' farklı uzunlukları, (d) iç kare şeridin 'b' farklı uzunluğu ve (e) rezonant iki kare şeridin farklı 'n' genişliği.	27
Şekil 3. 4. Önerilen MPA yapısının, farklı kutuplaşma açıları ve olay EM radyasyonlarının açıları altında simüle edilmiş soğurucu özellikleri. (a) TE polarizasyonu (θ), (b) TM polarizasyonu (α) ve (c) farklı olayların elektromanyetik radyasyonlarının farklı açıları (\emptyset).	28
Şekil 3. 5. Rezonans frekanslarında önerilen MPA ünite hücresi için elektrik alanları dağılımı: (a) 467.11 THz, (b) 517.45 THz ve (c) 598 THz.....	29
Şekil 3. 6. Rezonans frekanslarında önerilen MPA ünite hücresi için elektrik alanları dağılımı: (a) 467.11 THz, (b) 517.45 THz ve (c) 598 THz.....	30
Şekil 3. 7. Rezonans frekanslarında önerilen MPA ünite hücresi için yüzey akımı dağılımları: (a) 565.15 THz, (b) 582.5 THz ve (c) 598.75 THz.....	30
Şekil 3. 8. a) Farklı metaller kullanılarak önerilen MPA yapısının uyarılmış soğurucu sonuçları b) Farklı dielektrik aralayıcı kullanarak önerilen MPA yapısının simülasyon sonuçları.	31
Şekil 4. 1. Önerilen Metamalzeme Soğurucu Tasarımı	35
Şekil 4. 2. Önerilen soğurucun soğurma ve yansıtma tepkisi. Parametreler için alınan değerler: a = 160 nm, b = 100 nm, p = 400 nm, h ₁ = 50 nm, h ₂ = 5 nm ve h ₃ = 10 nm.	35
Şekil 4. 3 Rezonans frekanslarındaki dağılımlar. (a) 514.43 THz'de elektrik alanı, (b) 561.41 THz'de elektrik alanı, (c) 514.43 THz'de manyetik alan (d) 561.41 THz'de manyetik alan, (e) 514.43 THz'de yüzey akımı (f) 561.41 THz'de yüzey akımı	37

Şekil 4. 4. Soğurum spektrumlarının geometrik değişkenlere bağımlılığı. (a) rezonatör kalınlığı, (parametre h_3) (b) Dielektrik tabaka kalınlığı (parametre h_2) (c) ikizkenar üçgen rezonatörlerin yan uzunluğuna bağımlılık. Amorf silikonun soğurucu spektrumlarının değişimi, şekillerin her birinin içinde gösterilmiştir(a ve b).	38
Şekil 4. 5. Elektromanyetik radyasyonun normal insidans modu altında soğurucun polarizasyon açısına bağlı olması.....	39
Şekil 4. 6. Alınan farklı açılarda TE modu altında soğurucu sonuçları.	39
Şekil 4. 7. (a) Farklı metaller kullanılarak önerilen MPA yapısının soğurucu sonuçları simülasyonu b) Farklı dielektrik aralayıcı kullanarak önerilen MPA yapısının soğurucu sonuçları simülasyonu.	40
Şekil 5. 1. Önerilen metamalzeme soğurucu yapının ünite hücre nin geometrisi. a) Perspektif görünüş b) Önden görünüş.	43
Şekil 5. 2 Yapının görünür frekans bölgesindeki yansıma ve soğurma spektrumları.....	45
Şekil 5. 3. a) Dielektrik tabaka kalınlığı (parametre h_2), b) rezonatör kalınlığı, (parametre h_3), c) şerit uzunluğu (parametre a), d) şerit genişliği (parametre n) için soğurucu spektrumlarının değişimi.	46
Şekil 5. 4. Önerilen MPA pil ünitesi için rezonans frekanslarında elektrik alanlarının dağılımı: (a) 666.44, (b) 680.54 THz, (c) 755.03 THz ve (d) 791.28 THz. .	47
Şekil 5. 5. Önerilen MPA pil ünitesi için rezonans frekanslarındaki büyüklük dağılımları: (a) 666.44, (b) 680.54 THz, (c) 755.03 THz ve (d) 791.28 THz.....	47
Şekil 5. 6. Rezonans frekanslarında yapının yüzey akımı dağılımları: (a) 666.44, (b) 680.54 THz, (c) 755.03 THz ve (d) 791.28 THz.....	48
Şekil 5. 7. a) Farklı metaller kullanılarak önerilen MPA yapısının simüle edilmiş soğurucu sonuçları b) Farklı dielektrik aralayıcı kullanarak önerilen MPA yapısının simüle edilmiş soğurucu sonuçları.....	49
Şekil 5. 8. a) Çeşitli polarizasyon açıları için soğurucu spektrumları b) TE modu için çeşitli geliş açıları için soğurucu spektrumları (θ) c) TM modu için çeşitli geliş açıları (ϕ) için soğurucu spektrumları.	50
Şekil 6. 1. Tanıtılan soğurucun ünite hücre tasarımı.....	53
Şekil 6. 2. Önerilen soğurucunun soğurma spektrumu. $a = 115$ nm, $b = 115$ nm, $e = 100$ nm, $d = 40$ nm, $h_1 = 50$ nm, $h_2 = 50$ nm, $h_3 = 15$ nm ve $p = 400$ nm.	55

- Şekil 6. 3. Tasarımın farklı geometrik yapıları için soğurucu spektrumları, (a) Rezonatörler olmadan, (b) sadece şerit rezonatörleri kullanılır, (c) sadece iki üçgen ve şerit farklı yan rezonatörleri kullanılır, (d) sadece iki üçgen ve aynı tarafta bir şerit ve farklı tarafta bir şerit rezonatörler kullanılır, (e) sadece üçgenler rezonatörleri kullanılır, (f) birleştirilmiş yapı. 57
- Şekil 6. 4. Yapının elektrik alan dağılımları a) 298.66 THz, (b) 359.732 THz, (c) 467.79 THz, (d) 608.73 THz, (e) 744.966 THz, (f) 796.644THz. 59
- Şekil 6. 5. Yapının manyetik alan dağılımları a) 298.66 THz, (b) 359.732 THz, (c) 467.79 THz, (d) 608.73 THz, (e) 744.966 THz, (f) 796.644THz. 59
- Şekil 6. 6. Yapının yüzey akımı dağılımları a) 298.66 THz, (b) 359.732 THz, (c) 467.79 THz, (d) 608.73 THz, (e) 744.966 THz, (f) 796.644THz. 60
- Şekil 6. 7. Soğurum spektrumlarının değişimi a) Şeridin uzunluğu (parametre e), b) şeridin genişliği (parametre d), c) Üçgen kaburga uzunluğu (parametre a), d) Tüm boyutlar değiştiğinde(parametre N)..... 62
- Şekil 6. 8. a) Farklı metaller kullanılarak önerilen MPA yapısının uyarılmış soğurucu sonuçları b) Farklı dielektrik aralayıcı kullanarak önerilen MPA yapısının simülasyon sonuçları. 63

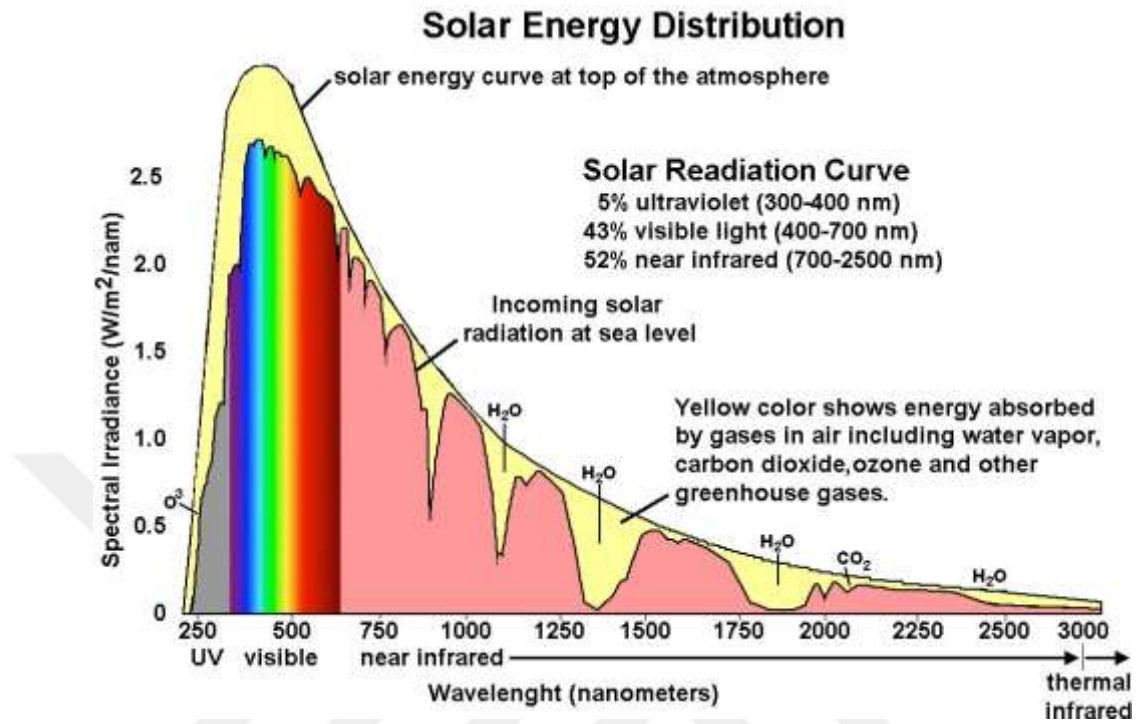
GİRİŞ

TEMEL TANIMLAMALAR

G.1.1 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi en sevilen ve en yaygın enerji kaynaklarından biri. Bu sonsuz kaynak temiz enerjiyi güneş pillerinin kullanımıyla sağlıyor. Güneş pillerinin fotovoltaiik (PV) ve termo-fotovoltaiik (TPV) hücreler gibi değişik formatları var. Güneş pillerine ulaşan güneş enerjisinin kullanımı kısıtlı çünkü bu piller güneş ışığı spektrumundaki tüm ışınımları enerjiye dönüştüremiyor [1]. Güneş spektral ışınımı, güneşin belli bir dalgaboyundaki parlaklığının kantitatif olarak ölçümüdür (Bknz: Şekil 1 [2]). Bu spektrum 100 THz'den 1000 THz'e (3000 nm dalgaboyundan 300 nm dalgaboyuna) kadar olan aralığı kapsıyor. Güneş spektrumu üç farklı frekans aralığından oluşuyor. Bu aralıklar kızılötesi aralık (100 THz - 400 THz), görünür ışık (400 THz - 750 THz) ve morötesi (750 THz - 1000 THz) aralığından oluşuyor. Şekil 1'de de görüldüğü üzere güneş enerjisinin çoğu görünür ışık aralığında bulunuyor (400 THz - 750 THz). Güneş pillerinin performansı verimliliği düşüren kayıplar azaltılarak yükseltilebilir. Bu kayıpların bazıları ise optik kayıplar ve rekombinasyon kayıplarıdır. Bu kayıplara ek olarak bir hücrenin üretim ve fabrikasyonunun maliyeti bu pillerden kaç tane kullanılması gerektiği düşünüldüğünde anlam kazanmaktadır. Gelişmiş fabrikasyon teknikleri bu pillerin düşük maliyetle seri üretimi için yolu açıyor [3]. Materyallerin maliyeti, bunların uygun malzemelerin arasına yerleştirilmesiyle düşürülebilir ki bunda materyallerin doğadaki bolluğu göz önünde bulundurulmalıdır. Güneş enerjisi doğadaki en verimli enerjidir ve bu enerji metamalzemelerin kullanımı enerjinin çok daha verimli hale gelmesini ve bu kayıpların ortadan kalkmasını sağlayabilir [4]. Metamalzemeler gelişmiş fabrikasyon tekniklerine ek olarak güçlü soğurucu madde ihtiyacını karşılayabilir, güneş pilleri yüksek verimlilik ve düşük maliyetle üretilebilir. Bu tezde, metamalzeme soğurucunun termo-fotovoltaiik ve fotovoltaiik uygulamalar için özel

tasarımlarını inceleyecek ve soğurucu kapasitesi, polarizasyon, geliş açısı kararlılığı ve



termal kararlılıkları sayısal olarak analiz edilecektir.

Şekil G. 1. Güneş Işınımı Spektrumu.

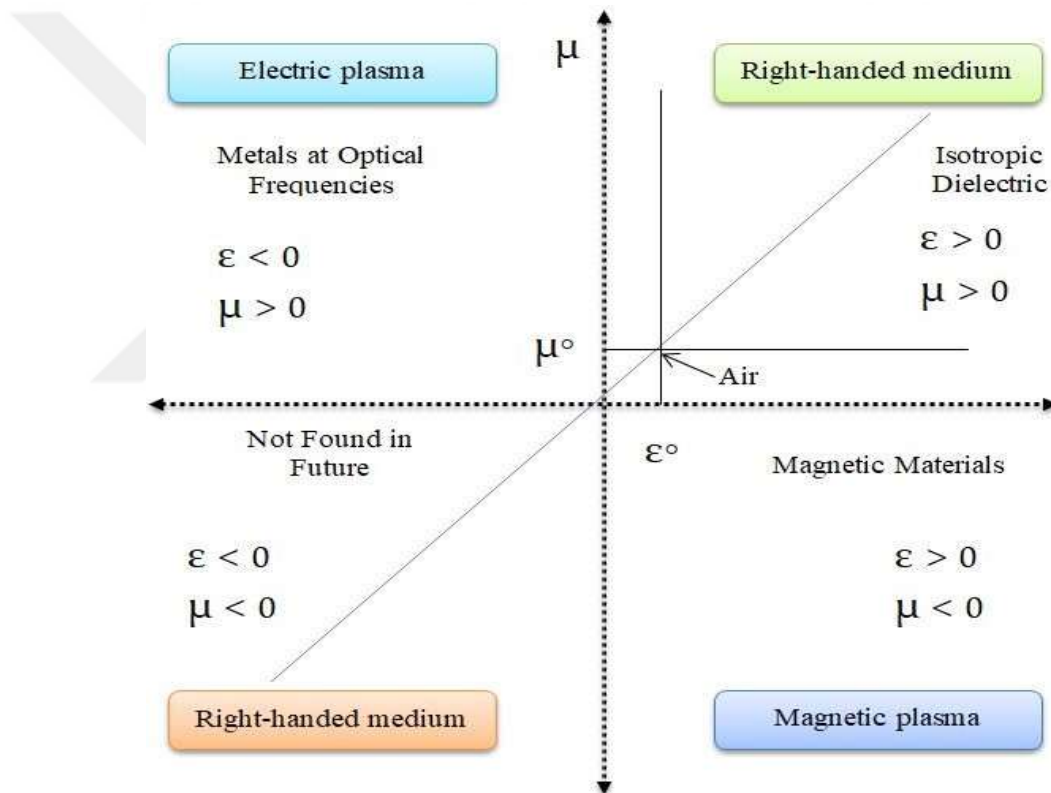
Genellikle, doğal maddeler tek başına atomların ve moleküllerin bağ yapma denilen bir kimyasal süreçle birleşmesinden oluşuyor. Bu doğal maddelerle ışık arasındaki etkileşimden (elektromanyetik radyasyon) gözlemlenebilir üç fenomen ortaya çıkıyor: Güneş ışınları bir maddeye temas ettiğinde bir kısmının soğurulması anlamına gelen "soğurucu", temas ettiği madde tarafından soğurulmayan ve geliş açısının yüzey normaliyle yaptığı açıyla atmosfere (veya çevreye) yansması demek olan "yansım fenomeni" ve ne emilen ne de yansıyan ışınların ölçülmesiyle hesaplanan "geçirgenlik katsayısı". Bu soğurucu, yansım ve iletimin niteliği, doğal maddenin atomik/moleküler özelliklerine bağımlı olarak değişiyor [5]. Son zamanlarda, "Metamalzemeler" denen, doğal olmayan, dalgaboyu-altı, elektromanyetik temelli materyallerin üretilmesi fikri doğada ve farklı geleneksel materyallerde bulunmayan alışık olmadığımız elektromanyetik özelliklerin varlığının gösterilebilmesi için oldukça yaygın ilgi topladı. Esas olarak metamazeme konsepti doğal malzemenin verilen dalgaboyundan çok daha küçük boydaki yapay malzemeyle değiştirilmesi fikrinden türedi. Metamazemelerin ilginç özellikleri, kompozisyonları oluşturulurken gösterilen yetenek derecesiyle (geometri, şekil, yön ve boyut) ortaya çıkarken kendi kimyasal

kompozisyonları da bunda oldukça hassas bir rol oynuyor ve bu yüksek frekans aralığındaki elektromanyetik rezonans yanıtları görünmezlik pelerinlerinin, mükemmel mercekler ve sensörlerin yapımı gibi birçok alanda kullanılabilir [[6],[7],[8],[9],[10],[11],[12],[13]]. Bu uygulamalardan biri de mükemmel soğurucu [[14],[15],[16],[17],[18],[19],[20],[21]] ve bu soğurucu güneş pilleri, termal yayıcı ve mikrobiyal metreler gibi ince materyallerle sağlanmaktadır [[22],[23]]. Metamalzeme mükemmel soğurucunu (MPA) mikrodalga [24], Terahertz [25], optik [26] gibi değişik frekanslarda çalışabilir ve tekli bant [27], üçlü bant [28], geniş bant [29] ve multi bant [30] gibi farklı uygulamalarda yer alabilir.

G.1.2. Metamalzeme

Metamalzemeler kesinlikle bugün yapay materyallerin üretimi alanındaki yaygın geçerli performansı tanımlıyor. Metamalzeme kalıbı ilk olarak 1999'da, Austin'deki University of Texas'ta Rodger M. Walser tarafından kullanıldı. Walser bunu basitçe şöyle tanımladı "Doğada bulunmayan, iki ya da daha fazla uyarılma cevabına sahip, optimize edilmiş bir kombinasyon oluşturması için üretilmiş, sentetik, üç boyutlu, periyodik hücresel yapıya sahip makroskopik kompozitler." [31]. Bu açıklama ile ilgili olarak, Yunanca "meta" kelimesi, genel elektromanyetik mekanizma sunan belirli bir materyal bileşiminden benzersiz özelliklerin "ortaya çıkması" anlamında kullanılmıştır [32]. Son zamanlarda, metamalzemelerde "meta" başlangıcına verilen genel standart anlam metafizik kavramında olduğu gibi "ötesindedir". Bu anlamı düşündüğümüzde, metamalzemeler, ilgilenilen sıklıkta normal malzemelerde görülemeyen yeni veya özel özellikler sunan yapay olarak geometrik malzemeler olarak tanımlanabilir ve bu nedenle, mikrodalgada ve optik elemanlarda bilinen malzemeler kullanılırken karşılaşılan kısıtlamanın bir kısmının üzerinde hareket etmesine izin verebilir. Tipik olarak, malzeme özellikleri bir elektrik geçirgenliği (ϵ) ve bir manyetik geçirgenlik (μ) ile tanımlanmaktadır. Normaldeki en ince malzeme, geçirgenlik ϵ_0 ve geçirgenlik μ_0 olarak tanımlanan açık alan veya havadır. Bir malzemenin bağımlı geçirgenliği ve permeabilitesi, $\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0$ ve $\mu_r = \mu / \mu_0$ ile tanımlanır, buna göre, ekstra kritik malzeme parametresini temsil eden kırılma indisi, $n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$ olarak tanımlanır. Normalde, genel malzemeler μ_0 permeabiliteye ve ϵ_0 'dan daha yüksek geçirgenliğe sahiptir. Metamalzeme, çeşitli hücre ünitesi yapılarını oluşturarak ve çeşitli interaktif malzemeleri kullanarak tüm potansiyel malzeme özelliklerini elde etmenin yolunu açar.

Şekil 2, $\epsilon - \mu$ alanındaki üniform ve kayıpsız malzemelerin tüm potansiyel özelliklerini göstermektedir. Şekil 2'de, ilk çeyrek ($\epsilon > 0$ ve $\mu > 0$), ön dağıtım dalgalarını tutan sağ yönlü malzemeleri ifade eder. Maxwell'in denklemlerinden elektrik alanı E, manyetik alanı H ve dalga vektörü k sağ taraflı bir sistem oluşturur. İkinci çeyrek ($\epsilon < 0$ ve $\mu > 0$) geçici dalgaları tutan elektrik plazmasını gösterir. Üçüncü çeyrek ($\epsilon < 0$ ve $\mu < 0$), Veselago tarafından 1968'de [33] sunulmuş ve arkaya doğru dağılım dalgalarını tutan, tanıdık sol taraflı materyallerdir. Sol taraflı malzemelerde elektrik alanı E, manyetik alan H ve dalga vektörü k bir sol taraf sistemi oluşturur. Dördüncü çeyrek ($\epsilon > 0$ ve $\mu < 0$), geçici dalgaları tutan manyetik plazmayı temsil eder.



Şekil G. 2. $\epsilon - \mu$ alanındaki materyallerin elektromanyetik özellikleri.

G.1.3. Metamalzeme Kullanarak Mükemmel Soğurucu

Bu yapıların genel olarak önemli kullanımı, mükemmel soğurucudur. MMPA'ların çoğu üç katmandan oluşur; (i) sistematik olarak düzenlenen metalik tasarımlardan oluşan bir katman, (ii) bir dielektrik katman ve (iii) sabit bir metalik katman. MMPA'lar sistematik olarak düzenlenmiş bir metalik tasarım katmanı kullanıyor; bununla birlikte, dielektrik tabakanın kalınlığı, dalga boyundan çok daha düşük olabilir. Yansıma ve aktarma olmadan mükemmel soğuruculuğu ulaşabilir [34]. Tüm EM dalgalarını önleyen sabit bir

metal plaka olan üçüncü katmandan hiçbir aktarma elde edilemez. Üçüncü metalik katman göz önüne alındığında, karşı gelen tüm EM dalgalarını doğrudan döndürdüğü düşünülür. Buna göre, aktif parametreler (geçirgenlik ve permeabilite), Metamalzeme soğurucunun özelliklerini belirler. Özellikle, bu parametreler, soğurucunun aktif empedansı, mevcut mesafenin empedansı ile aynı olacak şekilde ayarlanabilir [35].

Bu koşulların ardından, yansıyan ve iletilen dalgalar birlikte azalır ve tam soğurucu üretilir [36]. Empedans bağlantısı Denklem (1) ile belirlenebilir. Metamalzeme soğurucuların rezonans sonuçları tamamen yapının geometrik parametrelerine dayanmaktadır. Bu parametreler değiştirilerek, Metamalzeme soğurucuların elektriksel ve optik sonuçları kolayca ayarlanabilir. Bir Metamalzeme soğurucunun geometrik parametreleri doğru bir şekilde düzenlenmişse, empedansların ödülü elde edilebilir.

$$(z(w) = \sqrt{\mu(w)/\varepsilon(w)})$$

Bunun yanı sıra, daha yüksek frekanslarda bulunan Plazmon kutupları, meydana gelen dalganın tamamen emilmesi için plazmonik rezonansları üretebilir [37].

G.1.4. Güneş Enerjisi Elde Etmede Metamalzeme Mükemmel Soğurucular

Fotovoltaik güneş pilleri, konvansiyonel olmayan bir enerji kaynağı olarak mümkün olduğu ve yüksek talep görmekte olduğu için önemli bir dikkati üzerine çekti. Bu sistemde sonsuz güneş ışığı elektrik enerjisine çevrilebilmektedir [38]. Bu nedenle, yeni güneş hücre toplama yöntemleri geniş bir çalışma alanı açmıştır. Sadece düzgün elektrot seçimi yapılmamış varolan materyalin toplam soğurucu gelişimi ve performans verimliliği yoktur, günümüzde metamalzeme mükemmel soğurucular (MPA) yüksek miktarda geniş bant soğurucusuna sahiptir [39] ki bu da elektromanyetik spektrumun büyük kısmını oluşturur [40]. Kompozisyon, esas olarak, birbirine yerleştirilmiş olan sırayla metal-dielektrik-metal katmanlarından tasarlanmıştır. İlk katman uygun empedansı elde etmek için periyodik yapıya sahiptir. MPA'lar soğurucusu arttırmaya ve dolayısıyla daha fazla enerji üretmeye yardımcı olur. Bu araştırmada, metal dielektrik metal katman rejiminin üst katmanındaki polarizasyon duyarsız alt dalga boyu silindirik sondaj düzenlemesi sonlu fark zaman bölgesi (FDTD) simülasyonu kullanılarak oluşturulup incelenmiştir. Tepkiler, toplam soğurucunu gelişimini belirlemek için

dielektrik dizi soğurucunu ile analiz edilir. Araştırmalar, gelişmiş makine verimliliğine sahip olan güneş pillerinin üretilmesine destek olabilir.

G.1.5. Tasarım için Metodoloji Metamalzeme

G.1.5. 1. Teori

MPA'ların tasarımı, boyutlarla ilgili bazı özellikler gerektirir. Tasarlanmış soğurucunun işlem alanı, analiz için frekans bantlarının belirlenmesinde ve tasarımda kullanılacak uygun malzemelerin seçilmesinde de önemli bir sorundur. Bunun yanı sıra, sayısal modelleme ve metamalzeme analizinin, doğruluğunun sağlanması ve sonuçların elde edilmesi için doğru bir şekilde yapılması gerekir [41]. Bu tezde, MPA'ları tasarlamak, analiz etmek ve karakterize etmek için kullanılacak yaklaşımlar açıklanacaktır.

G.1.5. 2. Tasarım

MPA'ların yapısını tasarlamamanın önemli adımları, herhangi bir amaçlanan metamalzeme soğurucu ünite hücresi için seçili büyüklük ve şekil ve geometrik yönlendirme (geometrik parametreler). Karakteristik özellikleri nedeniyle, metamalzeme soğurucular geometrik mimarilerine, kendi kimyasal yapılarından daha çok bağımlılık gösterir [42]. Drude modeli [43] metamalzeme soğurucunun tasarımı için uygun malzemelerin seçiminde kritik bir rol oynamaktadır. MPA'ların tasarlanmasında bir başka gerekli adım vardır, simülasyon yazılımının karakterizasyon için kullanılması ve metamalzeme soğurucu ünite hücresinin tasarlanmasına dayanan karar [44].

G.1.5. 3. Simülasyon

metamalzeme soğurucula ilgili konuların incelenmesinde, bu konu için kullanılacak sayısal bir simülasyon paketinin uygun seçimi önemli bir adımdır. Bu nedenle, sayısal bir simülasyon paketinin seçim kararı dikkatli bir şekilde yapılmalı ve paketin seçimi için kritik olan üç standarda uymalıdır: bellek gereksinimi, geometrik modelleme doğruluğu ve sayısal çözücü ve çözücünün simülasyonu tamamlamak için aldığı zaman. Teknikler genellikle elektromanyetiklerin diferansiyel analizleri için uygulanır, ancak aşağıdakiler için yeterli olmamakla birlikte: Sonlu Farklar Zaman Etki Alanı tekniği (FDTD), Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM), Sonlu Entegrasyon ve Teknik Modal yöntemleri [45] için yeterli değildir. Genel olarak uygulanan simülasyon programı

Lumerical FDTD Solutions programıdır. Bu tez çalışmasında, bu programla MPA ünite hücrelerinin tasarımı ve analizi yapılmıştır. Lumerical FDTD Solutions, üç boyutlu metamateryale soğurucu ünite hücrelerini tasarlama kabiliyetine sahiptir. Lumerical'da eşzamanlı olarak birçok analiz yapılabilir. Bunlar MPA yapılarının frekans ve soğurma özelliklerinin belirlenmesidir. Lumerical FDTD Solutions, morötesi, görünür ve kızılötesi ışığın kompakt yapılarla etkileşimini açıklar. Bu yazılım ile plazmonik, metamateryaller, fotonik kristaller ve kırınım optiği, parçacık ve yüzey saçılması, mikroskop ve litografi, sıvı kristaller, fotonik entegre devreler, manyeto-optik ve güneş hücreleri gibi birçok alanda analizler yapılabilir [46].

G.1.5. 4. Metamateryale Soğurucunun Analizi

Metamateryalen (çift-negatif) özelliklerini sergileyen mükemmel bir soğurucu tasarımı, boyutlarla ilgili belirli spesifikasyonlar gerektirir. Tasarlanmış soğurucunun kullanım bölgesi, analiz için frekans bantlarının belirlenmesinde ve tasarımda kullanılacak uygun materyallerin seçilmesinde de önemli bir sorundur [47]. Ayrıca, elde edilen sonuçların doğruluğunu ve gerçekliğini kesinleştirmek için metamateryallerin sayısal modellenmesi ve analizi uygun bir doğrulukta alınmalıdır [48]. Bu tezde kullanılacak olan yöntemler tasarım, analiz ve metamateryallerin yapımında kullanılan materyallerinin karakterizasyonunu açıklar.

G.1.5. 5. Karakterizasyon

Bu tezde, sonlu entegrasyon teknolojisine dayalı bir bilgisayar simülasyon programı tarafından tasarlanan mimarinin modellenmesi ve karakterizasyonu uygulanacaktır. Bu simülasyon için frekans bantı analizörü tarafından tasarlanan yapının frekans bağımlı soğurucu tepkisi analiz edilecektir [49]. Sonlu entegrasyon tekniği hakkında daha fazla bilgi açıklanacaktır. Bu tez çalışmasında metamateryallerin tüm soğurucu tasarımları güneş hücre uygulamaları için olacaktır. Bu nedenle, frekans aralığı güneş frekans bantı olarak seçilir (100 THz - 1000 THz) [50]. Materyale seçenekleri tamamen analiz edilir, boyutlar, materyale özellikleri, bu sisteme uyması için vereceği tepkiler bulunur. Bununla birlikte, güneş bantı çok geniş bir frekans aralığıdır ve farklı parçalar farklı özellikler gösterir. Bunun nedeni, bazı tasarımlar için, bu geniş frekans rejimi alt bölümlere ayrılır (kızılötesi, fotovoltaik ve morötesi) ve önerilen yapılar ayrı ayrı analiz edilir. Her tasarımın simülasyonu için uygun sınır koşulları kullanılacaktır [51].

1. BÖLÜM

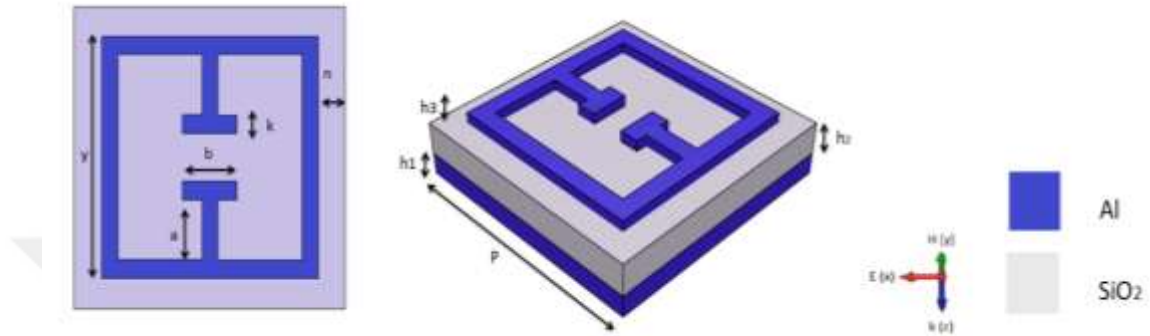
TEK BANT METAMALZEME SOĞURUCU

Bu araştırmanın temel amacı, tek bantlı mükemmel bir metamalzeme soğurucusu elde etmektir ve bu bölümde bu araştırmanın amacına ulaşmaya yaklaşırken, görünmez frekanstaki güneş enerjisinin toplanmasının sağlanması için benzersiz tek-bantlı metamalzeme mükemmel soğurucu önerilmektedir. Amaçlanan tasarımın faydalarından biri, çok büyük bir soğurucu bant genişliğine sahip tüme yaklaşan bir rezonans soğurucunu temin etmesini mümkün kılan mükemmel bir esnekliğe izin vermesidir, bu tasarımın işlenmesi çok kolaydır.

1.1.Tasarım ve Geometrik Parametreler

Önerilen MPA ünite hücresi üç temel katmandan oluşur: öğütülmüş metalik düzlem, dielektrik aralayıcı ve Şekil 1.1'de gösterildiği gibi bir dielektrik aralayıcının üstündeki şeritler (iki t şeklinde çıkıntıya sahip metalik şekilli kare). Zemin katmanı, alüminyum olarak seçilen metalik bir malzemedendir oluşur. Alüminyum tercih edilir çünkü çok fazla ısıya ulaşma kabiliyeti gibi bazı iyi özelliklere sahiptir ve alüminyumun daha ucuz bir metal olmasını sağlayan doğadaki bolluğuna ek olarak yüksek frekanslı radyasyonlara karşı güçlü bir yansıtma özelliğine sahiptir [52]. Bu, alüminyumu görünür frekans radyasyonları için MPA yapımında iyi bir başvuru noktası yapmaktadır, ancak, önerilen MPA yapısı için özel tasarımlara dayanarak, altın, bakır ve gümüş gibi diğer metallerin alüminyumun yerini alabileceği düşünülerek araştırılması, MPA birim hücresinin özelliklerinin, soğurucunun değiştirildiği metalik maddeye bağlı olduğunu kanıtlamıştır, yani alüminyum bu tasarım için optimum seçimdir. Farklı malzemeler için dielektrik aralayıcı (SiO_2 , GaAs, MgF_2 ve Si) optimum dielektrik malzemeye ulaşmak için araştırılmıştır. Öğütülmüş metalik düzleminin üstünde, Silikon dioksit (Gri renk) olarak seçilen bir dielektrik boşluk vardır. En üstteki katman, alüminyumdan (mavi renk)

yapılmış, düzenli aralıklarla şeritlerin (iki T şeklinde çıkıntılı metalik kare) düzenlenmesi ile yapılır. Önerilen MPA'nın tasarım parametreleri: $p = 500$ nm, $h_1 = 50$ nm, $h_2 = 50$ nm, $h_3 = 15$ nm, $y = 400$ nm, $a = 100$ nm, $b = 100$ nm, $n = 50$ nm ve k (tüm şeritlerin kalınlığı) = 30 nm.



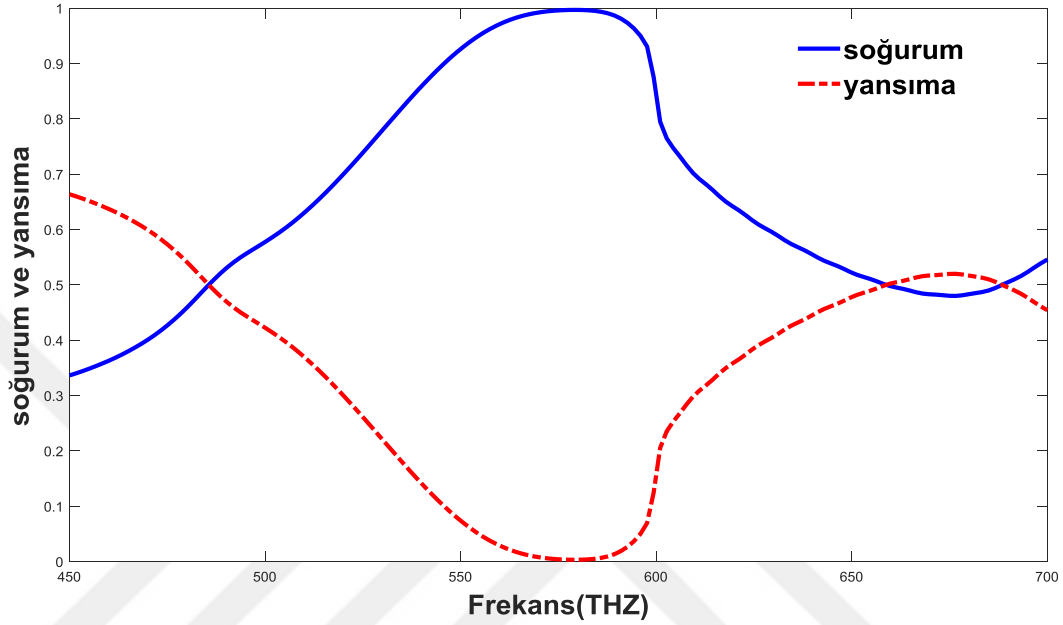
Şekil 1. 1. Önerilen MPA birimi hücresi. (a) İzometrik görünüm ve (b) üstten görünüm (Yamalar).

1.2. Tasarım ve Simülasyon

Simülasyon, yüksek frekanslı analiz cihazı ile sonlu entegrasyon tekniğini (FIT) kullanan tam dalga elektromanyetik simülatörü kullanılarak gerçekleştirilir. Önerilen tasarım, 450 THz ila 700 THz arasında değişen görünür frekans aralıklarında çalışmaktadır. Birleştirilen model yönteminin bu araştırmada (gözle görülür frekanslarda Alüminyum yüzey derinliğinden çok daha büyük bir kalınlığa sahip öğütülmüş metal) kullanıldığı göz önüne alındığında, iletim kayıpları göz ardı edilir ($\omega \sim 0$). Sonuç olarak, simülasyon sonuçlarına dahil olan tek parametre yansıma katsayısıdır (ω). Şekil 1.2'de, hem yansıma hem de soğurum ortalaması için simülasyon sonuçları açıklanmaktadır. Şekil 1.2'den görülebileceği gibi, bu frekansta çok düşük bir yansıma katsayısına (0.054) karşılık gelen 579.2 THz'de neredeyse bir birim (0.997) soğurum oranı kazanılmıştır.

Bu mükemmel soğurucu un kökeni, elektrik ve manyetik alanların üst çıkıntılara (hem metalik hem de dielektrik katmanların birleşimi) ve elektriksel ve manyetik rezonansı veren bir dielektrik aralayıcıya ve öğütülmüş metalik düzlemine güçlü bir şekilde bağlanmasıdır ve bu rezonant frekansında mükemmel soğurucu sağlar. Açıkça

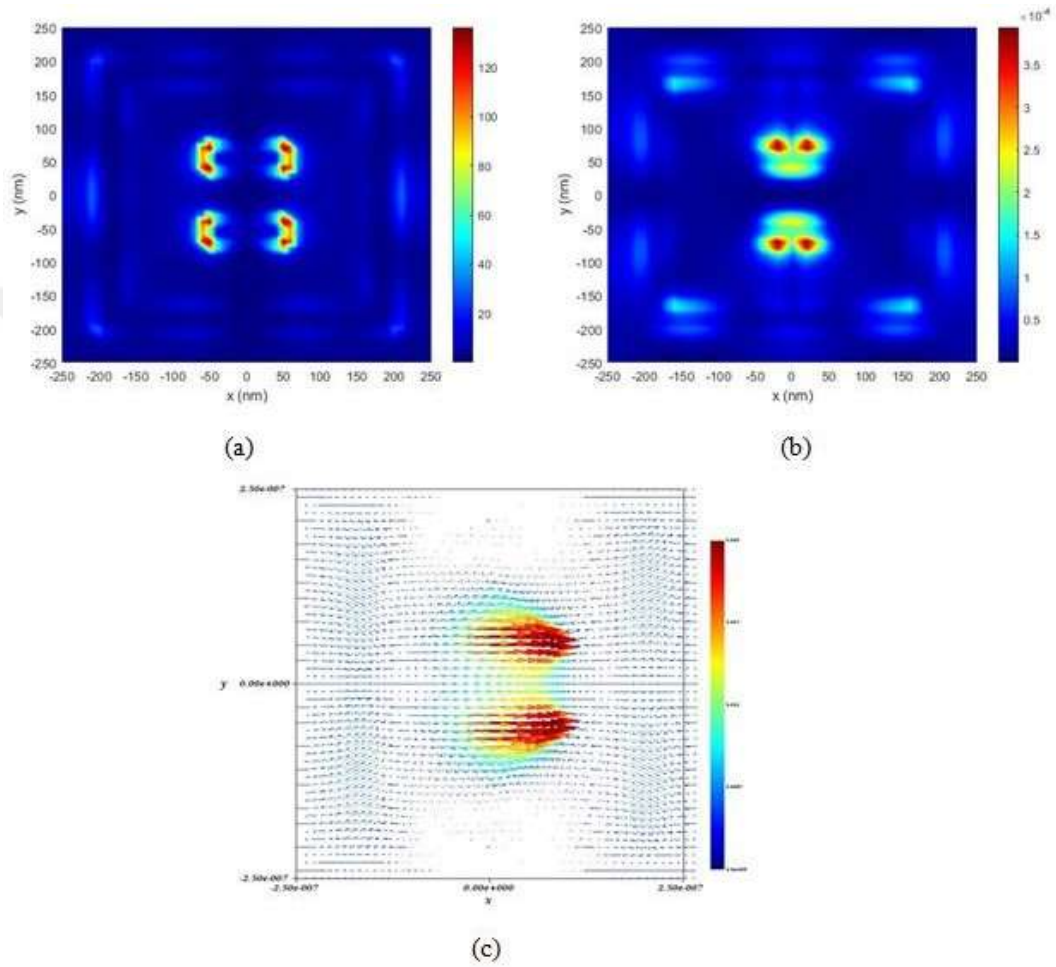
görüldüğü üzere, önerilen tasarım için tek bantlı metamalzeme soğurucu, rezonans frekansına göre çekici bir bant genişliğine sahiptir (17.45 THz frekans emme aralığı ile % 99'dan daha büyük soğurum ortalamaları içerir).



Şekil 1. 2. 579.2 THz rezonans frekansındaki soğurum ve yansımaya seviyelerinin gösterimi. soğurum seviyeleri 569.13 THz ile 587.58 THz arasında %99'dur. En yüksek soğurum seviyesi %99.68'dir ve 579.2 THz'de elde edilmiştir.

Bu soğurucu rezonansının kaynağı, üst metalik katmanlar ve dielektrik katmanın birleştirilmesinden üretilen büyük bir yüzey plazmon rezonansıdır. Önerilen MPA yapısının soğurucu uygulamasının araştırılması için, 579.2 THz rezonans frekansı için elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı dağılımının bir analizi gerçekleştirilir. Şekil 1.3'de, elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı dağılımları gösterilmiştir. Şekil 1.3 (a) 'dan da anlaşılacağı gibi, etkili elektrik alanları metal yüzeyine dağılmıştır ve metalik yüzeyde daha çok etkili olan üst çıkıntılar arasından girendir. Güçlü E-alanları daha üst kattaki metalik çıkıntılar etrafında simetrik bir şekil (elektrik çoklu kutup) oluşturur. Özdeş aygıt, Şekil 1.3 (b) 'de belirtildiği gibi bir dielektrik aralayıcının alttan görünümü için tanınır. Bu, üst çıkıntılarının ve bunların dielektrik levhalarının güçlü bir şekilde birleştirilmesinden ve dielektrik aralayıcı ile öğütülmüş metal plaka arasındaki üst katmanın güçlü bağlanmasından kaynaklanan elektrik rezonansının (soğurucu rezonansı) güçlü bir kanıtıdır. Gözlem elektrik multipollerini (elektrik polarizasyonu),

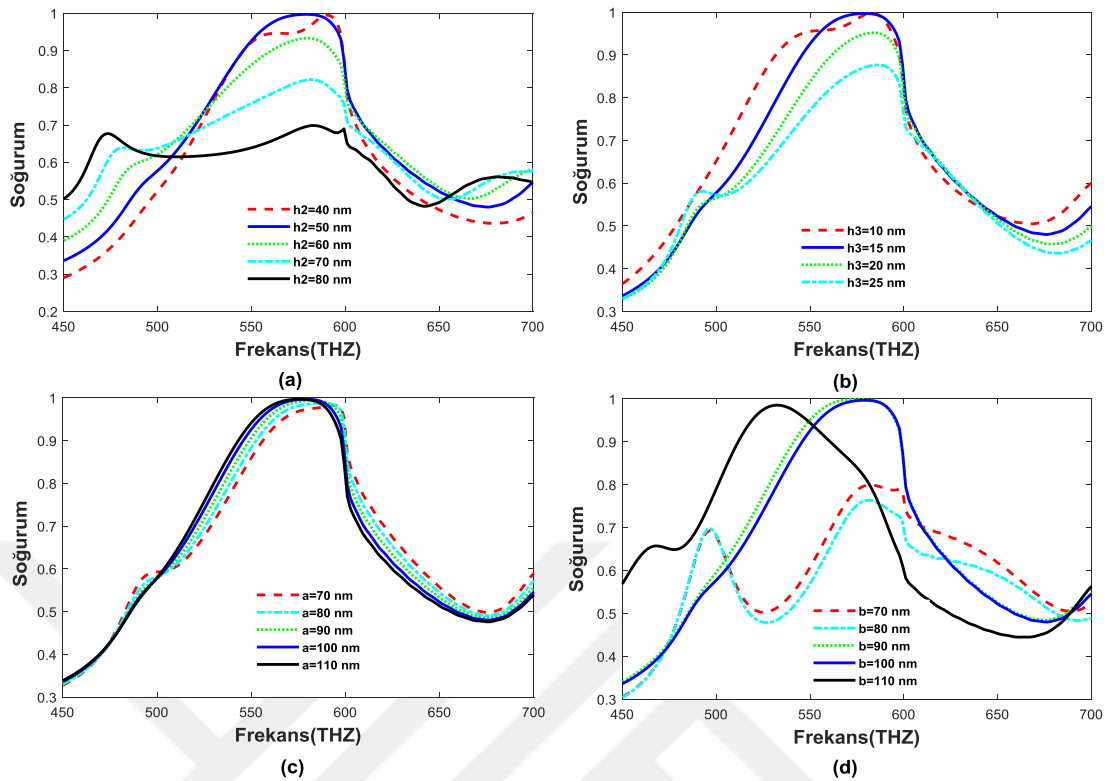
indüksiyon manyetik alanlarını oluşturan yüzey yüklerini sağlar ve bu manyetik alan, en yüksek frekansta hem manyetik rezonans hem de rezonans soğurucunundan sorumludur. Şekil 1.3 (c) 'de yüzey akımı dağılımları açıklanmıştır. Görülebileceği gibi, benzerliğin üstünde yüzey akımları çıkıntılar yüzeyinin etrafında yoğunlaşmaktadır.



Şekil 1. 3. Önerilen MPA ünite hücresi tasarımının 579.2 THz rezonans frekansındaki (a) Elektrik alan dağılımının önden görünüşü, (b) Manyetik alan dağılımının önden görünüşü ve (c) yüzey akımı dağılımları.

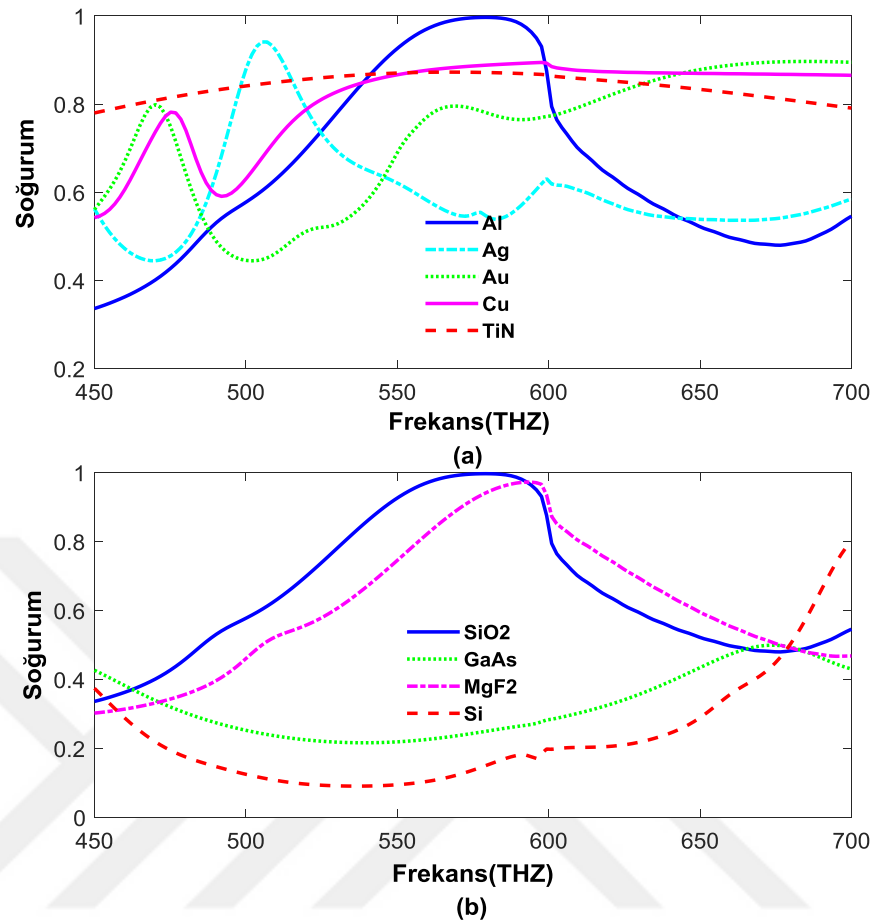
Büyük paralel yüzey akımının varlığı, elektrik tepkisinin varlığını gösterir (paralel yüzey akımları elektrik rezonansından sorumludur), ancak yüksek anti-paralel (kontrol manyetik rezonantı) davranışı manyetik bir tepkiyi kanıtlar. Bu nedenle, dış elektromanyetik alanlarla ve rezonans frekansında topikal alanlarla birleştirilmiş elektrik ve manyetik rezonans oluşturulmuş ve tüm frekanslardaki EM radyasyonlarının mükemmel bir soğurucunu oluşturulmuştur (bu, empedans çiftlerinin gereksinimleri

gerçekleştğinde oluşur). Bu sırada, EM radyasyonları MTM yapısındaki soğurucu kısımlar içerisinde tanımlanır ve yansıma katsayısı en düşük değere (yaklaşık sıfır) inerken soğurucu katsayısı zirveye (yaklaşık %100 soğurum) yaklaşır [53]. Görünüşe göre metamalzeme soğurucu yapıların ilginç bölümleri, tamamen ünite hücre geometrilerine bağlı olan elektromanyetik özellikleridir. Bu durumda, önerilen MPA yapısının soğurma özelliklerini inceleme konusunda, geometrik parametrelerinin, birim hücrenin soğurma ortalamaları üzerindeki etkilerini belirttikleri varsayılmaktadır. İlk olarak, yapı, 'h₂' kalınlığının 70 nm'den 110 nm'ye yükseltildiği bir dielektrik aralayıcının çeşitli kalınlıkları için simüle edilmiştir. Çeşitli dielektrik kalınlıkları altındaki simülasyon soğurucunun sonuçları, Şekil 1.4 (a) 'da belirtilmiştir. Şekil 1.4 (a) da açıklandığı gibi, soğurum ortalaması düşmektedir. Bu etkiler, dielektrik aralayıcının, MPA birim hücrenin rezonansında önceki pasajlarda belirtilen birleştirme tertibatına soğurumunda kritik bir durum olduğunu ve bu araştırmadaki MPA'nın amacına bağlı bir sonuç olduğunu açıklar [54]. Bununla birlikte, h₃ = 15'e kadar daha küçük h₃ değerleri için rezonant soğurucu kalınlığında bir iyileşme göze çarpmaktadır. Şekil 1.4 (b) 'de görülmektedir. İkincisi, simülasyon, çeşitli uzunluklarda "a" ve üstteki "b" uzunluklarını çeşitli uzunluklara ayarlayarak gerçekleştirilir. Şekil 1.4 (c) 'de gösterilebilir ki, 'a' 70 nm'den 110 nm'ye yükseltildiğinde, önerilen MPA'nın soğurucu özelliği çok fazla etkilenmez. Ayrıca, 'b' nin çeşitli uzunluklardaki üst çıkıntıları için simülasyon sonuçları, Şekil 1.4 (d) 'de tarif edilmiştir ve en büyük çıkıntı uzunluğunun, 'b = 100' olduğu zaman, en büyük soğurum ortalamasının elde edildiği açıkça anlaşılmaktadır ki bu da soğurucu rezonansının gelişimi demektir.



Şekil 1. 4. Önerilen MPA yapısının farklı jeometrik parametrelere sahip benzetilmiş soğurucu özellikleri: (a) farklı dielektrik kalınlıkları ' h_2 ' (b) farklı rezonans kalınlığı ' h_3 '. (c) farklı şerit periyodiklik değerleri ' a ', (d) farklı şerit periyodikliği değerleri ' b '

Son olarak, önerilen tasarım, metalikte kullanılan malzemeler için çeşitli metal türlerinde (altın, bakır, gümüş ve alüminyum) simüle edilerek araştırılır. MPA'yı imal etmek için metal seçimi, bir MPA'nın yüzey plazmaları üretme kabiliyeti ve stimülasyonun mükemmel bir soğurucu üretmek için yeterince güçlü olup olmadığından çok önemlidir. Şekil 1.5, çeşitli metaller için simülasyon sonuçlarını göstermektedir. Şekil 1.5'de, tepe soğurumundaki azalma, uygulanan metalin tipine bağlı olarak azalmaktadır. Bununla birlikte, alüminyum için en yüksek soğurum tama (yaklaşık% 99,97) yakındır. Ek olarak, önerilen tasarımın çeşitli materyalleri için dielektrik aralayıcı değişen farklı materyal türleriyle (SiO_2 , GaAs, MgF_2 ve Si) araştırılır. Şekil 1.5, çeşitli malzemeler için simülasyon sonuçlarını göstermektedir. SiO_2 en iyi performans kayıtlarına sahiptir. Sonuç olarak, uygun geometrik tasarım malzemeli MPA, güçlü bir ana rezonansla mükemmel bir soğurucu üretmeyi sağlar (metalik ve dielektrik aralayıcı için malzeme türüne bağlı olarak).



Şekil 1. 5. a) Farklı metaller kullanılarak önerilen MPA yapısının soğurucu sonuçlarının simülasyonu. b) Farklı dielektrik aralayıcı kullanılarak önerilen MPA yapısının benzetiminin soğurum sonuçları.

1.3. Sonuçlar

Bu bölümde, çiftleme model sistemi kullanılarak bir tek bant MPA önerilmiş, simüle edilmiş ve tanımlanmıştır. İlk olarak, % 99.7 soğurum için mükemmel bir tek bant elde edilmiştir. İkinci olarak, önerilen bir MPA parametresi ve bir dielektrik aralayıcı ve metalik rezonans kalınlığı için ayarlanabilirlik araştırılmıştır. Üçüncü olarak, önerilen bir MPA'nın soğurucu mekanizmasını açıklamak için, elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı dağılımları incelenmiştir. Sonunda, önerilen bir yapının malzemesi, metalik ve dielektrik aralayıcı için malzeme türünün değiştirilmesiyle incelenmiştir, farklı malzemeler altındaki soğurucu özelliği değiştirilmiştir. Önerilen MPA, gözle görülür bir frekans rejiminde yüksek kaliteli güneş hücreni iletirmek için mükemmel bir başvuru adresidir.

2. BÖLÜM

ÇİFT BANT METAMALZEME SOĞURUCU

Bu bölümde, yapımında farklı kare şekillere sahip şeritlere sahip olan ve görünür aralıkta çift bantlı soğurucu sonuçları üreten yeni bir metamalzeme soğurucu tasarımı kullanılmıştır. Önerilen MPA ünite hücresinin geometrik parametrelerinin analiz edilmesi, soğurum oranının artırılmasını sağlar. Rezonans frekanslarında çift bantlı soğurucunu sağlamak için amaçlanan tasarımın geometrik parametreleri ve malzeme özellikleri oluşturulur.

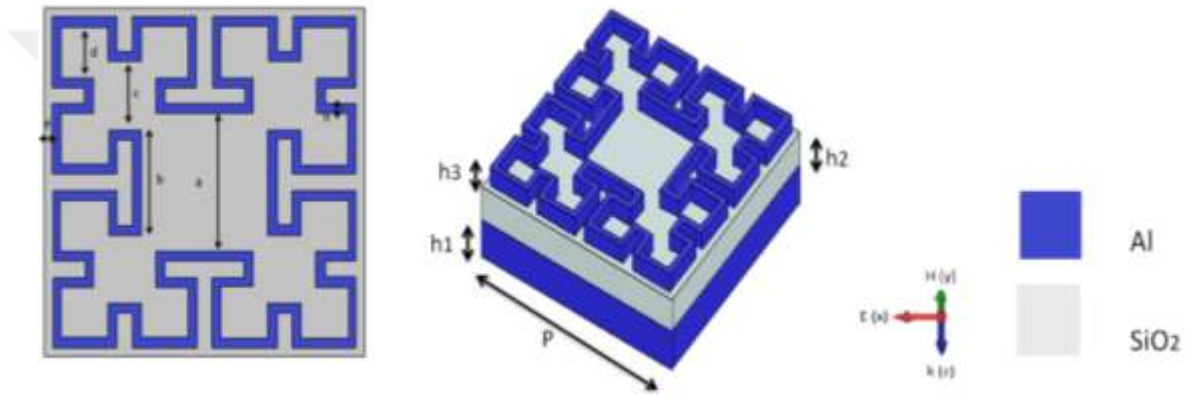
2.1 Tasarım ve Simülasyon

Birim hücrenin ön görünümü (geometrik parametreler) Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Verilen yapının geometrisi, yapının farklı kare şekilli şeritlerinden oluşur. İki şerit arasındaki uzun mesafe, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi “a” parametresi ile ifade edilir. Önerilen şeritler, bir sonraki bölümde sunulacak olan çift bantlı soğurum tepkisinde artış sağlar. Şekil 2.1'deki geometrik parametreler için belirtilen harfler. p , h_2 , a , c , n , h_3 ve h_1 , sırasıyla ünite hücre periyodikliğini, dielektrik aralayıcı kalınlığını, iki şerit arasında daha uzun mesafeyi, iki şerit arasında ikinci daha uzun mesafeyi, iki şerit arasında üçüncü daha uzun mesafeyi, şerit genişliğini, kalınlığını, Alüminyum (Al) plakanın kalınlığını temsil eder [55]. Bu çalışma için metalik parçacıklar alüminyum, dielektrik aralayıcı ise kayıpsız özelliklerden dolayı silikon dioksit (SiO_2) olarak seçilmiştir. Al ve SiO_2 düşük maliyetli, bol miktarda materyal olarak seçilmekte ve bu amaç için gereken daha düşük materyal özelliklerini karşılamaktadır. SiO_2 kayıpsız bir malzemedir.

Zira tüm güç alüminyum parçacıklarda emiliyor. Bu tür tasarımlar, metamalzemelerin termo-fotovoltaik (TPV) uygulamalarında kullanılabilir.

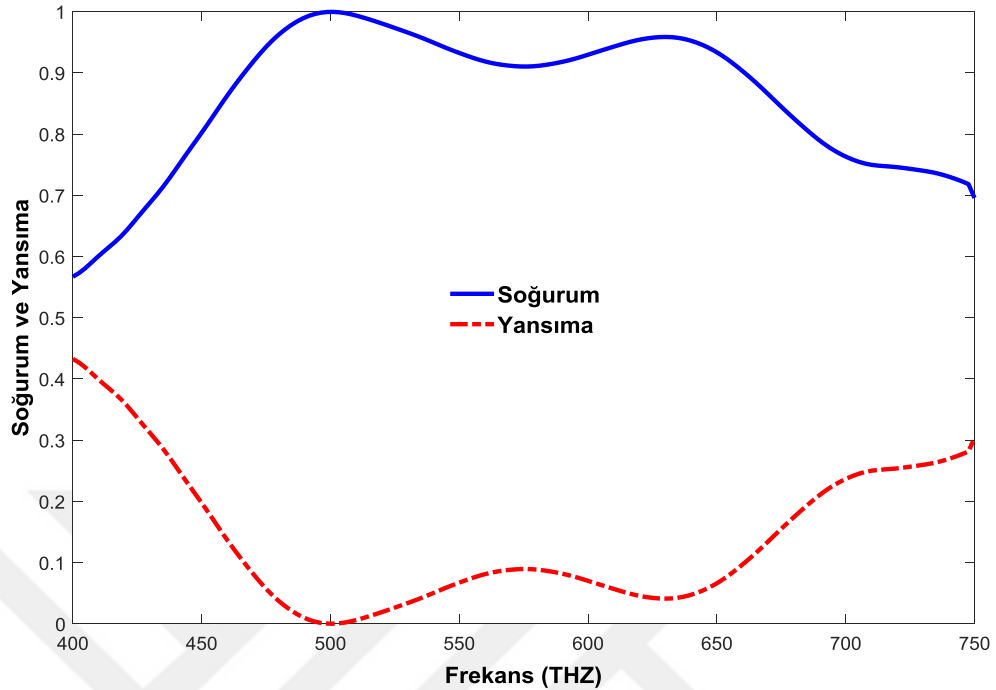
2.2.Sonuç ve Tartışma

Önceki bölümdeki çalışma notu, 501.01 THz ve 630.201 THz'de çift bant soğurucu sonucunu göstermektedir. Alınan soğurum ve yansıma Şekil 2.2'de verilmiştir. Soğurum oranları, sırasıyla 501.01 THz ve 630.201 THz'de % 99.9 ve % 96.76'dır. Sayısal tasarım, görünür aralıktaki en yüksek soğurum oranları ile bant soğurucusu üretmek için en iyi parametrelerin $p = 400$ nm $a = 140$ nm $c = 80$ nm $d = 60$ nm $n = 10$ nm $h_1 = 50$ nm $h_2 = 40$ nm ve $h_3 = 20$ nm olduğunu doğrular.



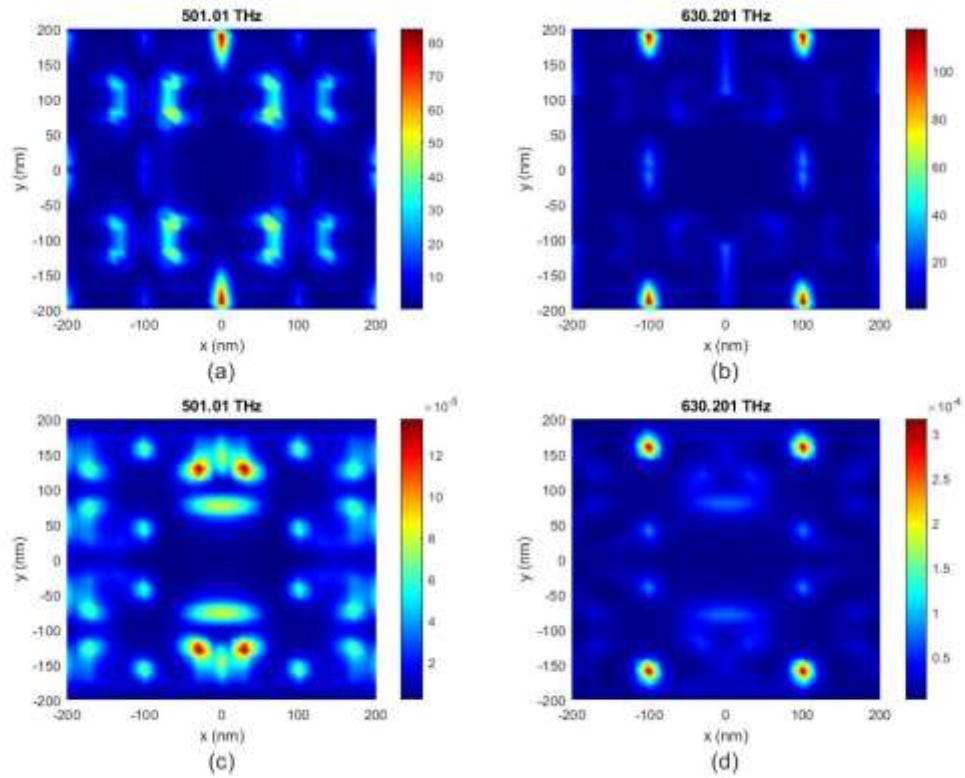
Şekil 2. 1. Önerilen MPA'nın ünite hücre geometrisi.

Amaçlanan çalışmanın soğurucu sonucunun en iyi çalışmasını sunmakla ilgili olarak, rezonans frekanslarında alan dağılımları alınmış ve Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Ayrıca, bazı kritik parametrelerin geometrik boyutlarıyla ilgili parametrik araştırma da Şekil 2.4'te oluşturulup verilmiştir.



Şekil 2. 2. Yansımada ve soğurma spektrumları. Geometrik boyutlar şunlardır: $p = 400$ nm $a = 140$ nm $c = 80$ nm $d = 60$ nm $n = 10$ nm $h_1 = 50$ nm $h_2 = 40$ nm ve $h_3 = 20$ nm.

501.01 THz ve 630.201 THz'deki alan dağılımları, Şekil 2.3'de gösterilmektedir. Birinci soğurucu sonucunun seçildiği konumda yapının elektrik alanı (E-alan) dağılımı, Şekil 2.3. (A) 'da gösterilmiştir. Elektrik alanı, küçük kare şeritlerin köşelerinin altında yoğunlaşmıştır. Ayrıca, elektrik sonucu, tasarımın iki bölümü ile yapının ortasında çevrelenmiştir. Bunlar 501.01 THz elektrik sonuçları kaynağının oluşturulduğu alanlardır. Bunun yanı sıra, 501.007 THz soğurumunun manyetik sonuçları, esasen zemindeki kare şeritler ve Al plakası arasındaki eksitasyonla üretilir ve bu durum Şekil 2.3'te sanaldır. (c). Eşzamanlı elektrik ve manyetik etkiler nedeniyle, tüm soğurucu 501.007 THz'de görünür. 630.201 THz'de oluşturulan rezonansın başlangıcı, Şekil 2.3. (b) ve (d) 'de gösterildiği gibi kare şeritler arasındaki uyarılmadır. Bu heyecan, elektrik ve manyetik sonuçların üretimini desteklemiştir. Böylece eşzamanlı olarak üretilen sonuçlar, soğurucun elverişli alanla empedansını elde eder ve tam soğuruma ulaşılır.

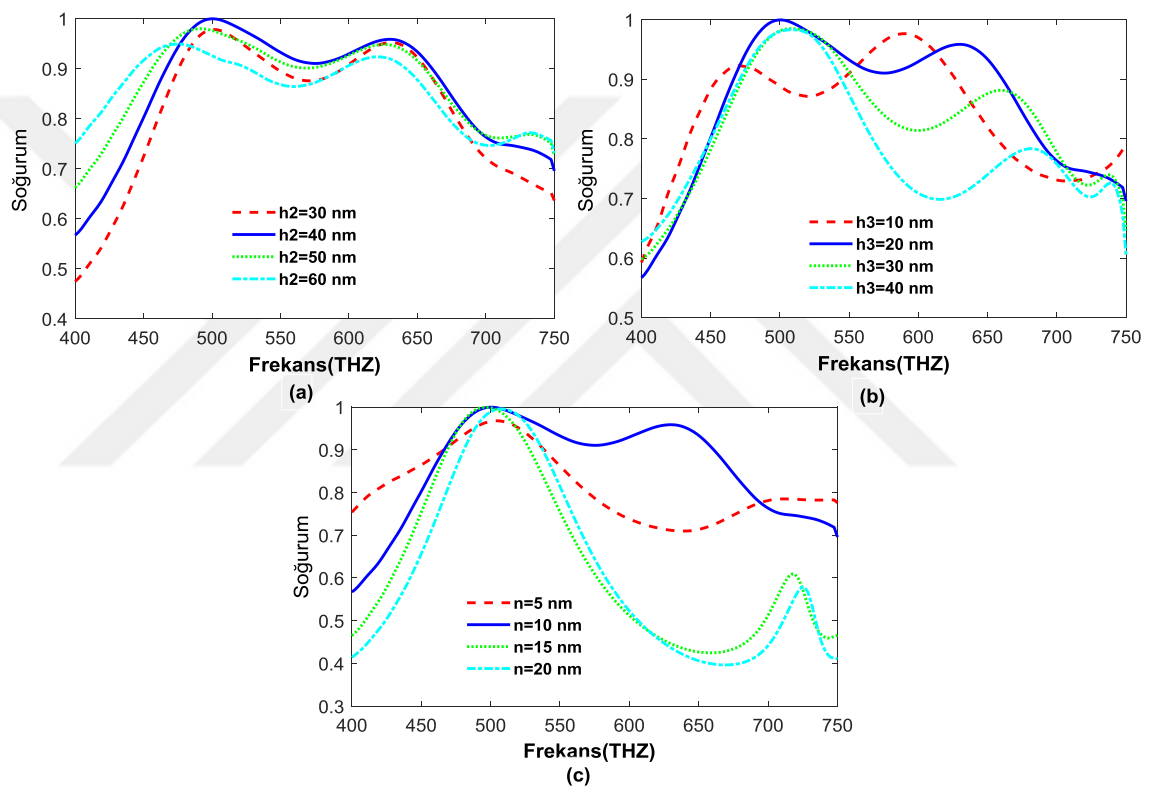


Şekil 2. 3 Rezonans frekanslarında alan dağılımları. (a) 654.9 THz'de elektrik alanı dağılımı, (a) 708.3 THz'de elektrik alanı dağılımı, (c) 654.9 THz'de manyetik alan dağılımı, (d) 708.3 THz'de manyetik alan dağılımı.

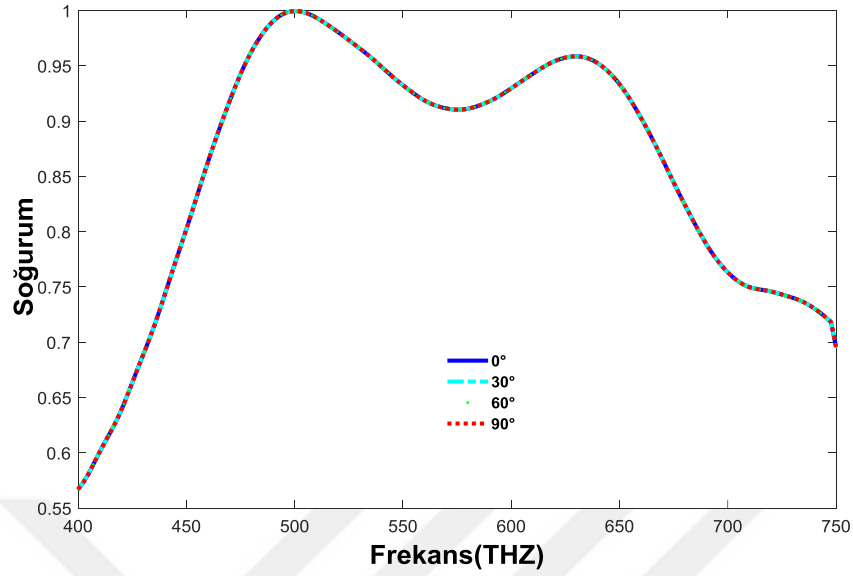
Bu çalışmanın bir sonraki araştırmacı tekniği, soğurucu sonuçlarının geometrik parametrelere bağımlılığı incelenerek açıklanmaktadır. Geometrik parametrelerin etkilerini sergilemek amacıyla bazı önemli parametreler seçilmekte ve soğurucu spektrumlarının farkı incelenmektedir.

İlk olarak, dielektrik tabakanın kalınlığı ayarlanır ve Şekil 2.4'te gösterildiği gibi soğurum oranları incelenir. Dielektriklerin kalınlığı (“ h_2 ” parametresi), alüminyum levha ile SiO₂ katmanları üzerinde lokalize edilmiş şeritler arasındaki etkileşimi desteklediği için çok önemlidir. Soğurum oranını tanımlayan bir diğer kritik parametre ise “ h_3 ” parametresidir. Bu parametre şeritlerin kalınlığını açıklar. Bu parametrenin varyasyonu Şekil 2.4'te (b) gösterilmektedir. En iyi kalınlık “ h_3 ” 20 nm olarak seçildiğinde tanır. Bu kalınlık altında, ikinci rezonans daha zayıf hale gelirken en iyi kalınlık yükseldikçe, ilk rezonans zayıflamaya başlar. En iyi kalınlıktaki şeritler, şeritlerin birbirleriyle tepkimeye girmesine ve elektrik ve manyetik sonuçlara neden oldukları için çok önemlidir. Şeritlerin genişliği, Şekil 2.4'te (c) sunulan soğurum oranını etkilemiştir. Şeritlerin genişlikleri küçükken ($n = 5$ nm), şeritlerin arasındaki eksitasyon, özellikle başlangıç rezonansı için zayıf soğurum rezonantına neden olur.

Genişlikler daha büyük hale gelmeye başlasa da, şeritlerin ürettiği soğurucu işlemleri $n = 10$ nm'ye kadar güçlenmeye başlar. Şeritlerin genişliğinin 10 nm'den fazla artırılması, rezonantın soğurma hızının, elektrik ve manyetik rezonansın yetersizliği ve empedansın uygunsuzluğu ile azaldığı için tepki verir. Dolayısıyla, soğurucu performansı derhal bu şeritlerin tümüne bağlanır. Şeritlerin genişliği “n” harfleriyle gösterilmiştir. Son olarak, çeşitli polarizasyon açıları için soğurucu tepkileri araştırılmış ve etkiler Şekil 2.5'de sunulmuştur. Bu nedenle, talep edildiğinde, amaçlanan tasarımın soğurma oranları, farklı polarizasyon yönleri için duyarsızdır.

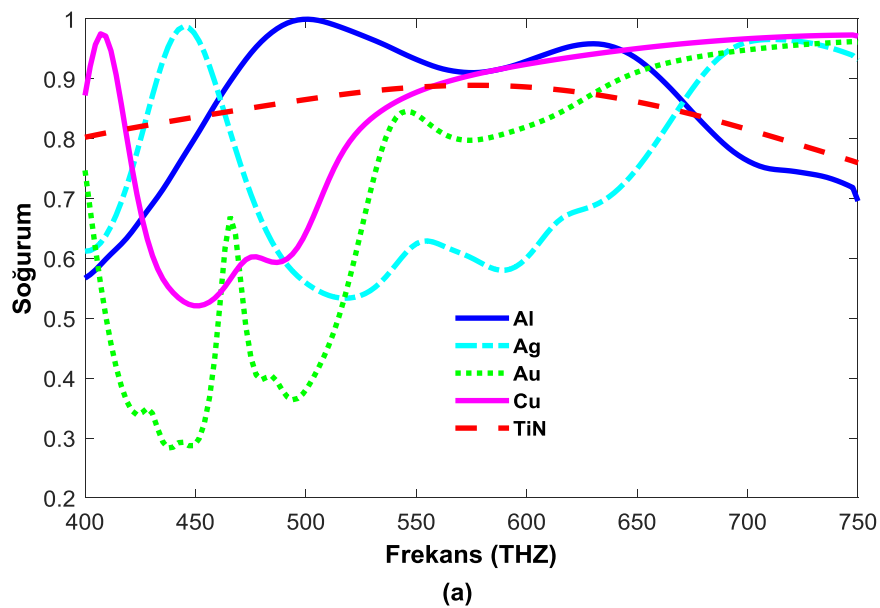


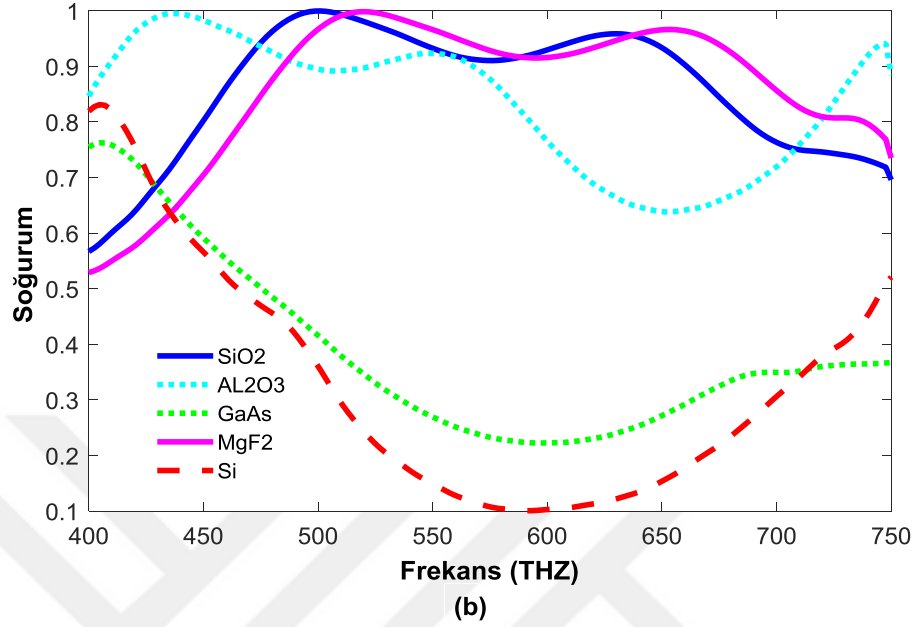
Şekil 2.4. Soğurma tepkisi a) SiO₂ kalınlığı, b) Şeritler arasındaki boşluk, c) Şeritlerin genişliği.



Şekil 2. 5. Önerilen polarizasyon spektrumları

Önceki bölümde, MPA, güçlü bir ana rezonans ile mükemmel soğurum sağlamak için uygun geometrik tasarım malzemeleri ile belirlenmiştir (metalik ve dielektrik aralayıcı için seçilen malzeme türüne bağlı olarak). Bu bölümde, bu tasarım için en uygun malzemeleri elde etmek için aynı şey onaylanmıştır. Sonuç olarak, bu tasarım için en uygun malzeme Şekil 2.6'da da gösterildiği gibi metalik kısım için alüminyum ve dielektrik aralayıcı için SiO_2 'dir.





Şekil 2. 6. Farklı metaller kullanılarak önerilen MPA yapısının soğurma sonuçlarının simülasyonu b) Farklı dielektrik aralayıcı kullanılarak önerilen MPA yapısının soğurma sonuçlarının simülasyonu.

2.3. Sonuç

Bu bölümde, çift bantlı metamalzeme soğurucu model sunulmaktadır. Soğurum oranları, sırasıyla 501.01 THz ve 630.201 THz'de % 99.9 ve % 96.76'dır. İkincisi, önerilen bir MPA parametresi ve bir dielektrik aralayıcı ve metalik rezonant kalınlığının ayarlanması incelenmiştir. Üçüncü olarak, önerilen MPA'ların soğurucu mekanizmasını açıklamak için elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı dağılımları gözlenmiştir. Bu soğurucu güneş enerjisi elde etmede kullanılmak için uygundur. Güneş ışınması için, görünür bölge ışığını tanımak ve algılamak için kullanılabilir ancak, önerilen tasarımların soğurucu performansı, yüksek verimli güneş pilleri olarak uygulanması için gereken kriterleri etkili bir şekilde karşılıyor.

3. BÖLÜM

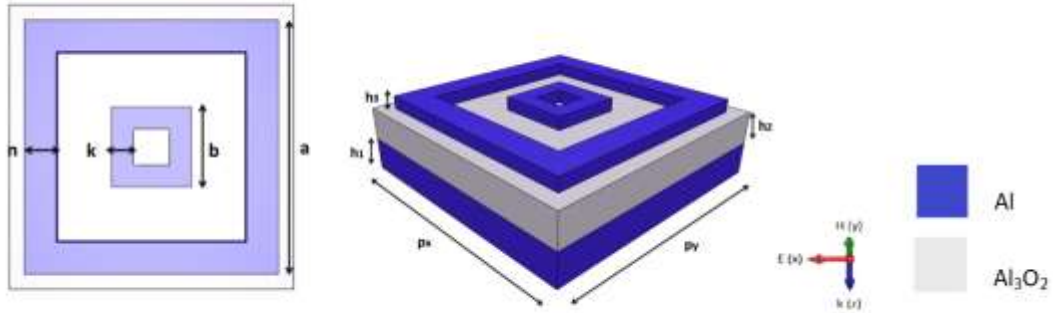
GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI İÇİN GENİŞ BANT METAMALZEME SOĞURUCU TASARIMI

Önceki bölümlerde, görünür frekanslardaki çift bantları temsil eden MPA analiz edilmiş ve açıklanmıştır. Önerilen çift bantlı tasarımlar, görünür frekans aralığında mükemmel soğurucu tepkisi sağlar. Bu nedenle, çok çeşitli frekanslar üretmek üzere metamalzeme soğurucu kullanmak, hücrelerin soğurum artıracaktır. . Bu bölümde, görünür bir frekansta sayısal simülasyon kullanılarak geniş bantlı bir MPA yapısı önerilmiş, açıklanmış ve analiz edilmiştir. Bu bölümün son kısmında, en iyi soğurucu seviyesini elde etmede kullanılacak en uygun malzemeyi elde etmek için, aynı tasarımda farklı malzemeler simüle edilmiştir. Önerilen geniş bant MPA tasarımının faydası, geniş bir frekans aralığında mükemmel soğurucuya katkıda bulunmasıdır.

3.1.Yapı Tasarımı ve Simülasyon

Bu bölümde, mükemmel ve geniş bant soğurum rezonansına sahip bir MPA üretilmiştir. Önerilen MPA ünite hücresi üç temel bileşenden oluşur: en üstteki iki kare şerit rezonans, öğütülmüş metalik bir katman ve bir dielektrik aralayıcı. Şekil 3'te, önerilen geniş bant tasarımının geometrik açıklaması sunulmuştur. Doğada bolluğu ve göreceli olarak daha düşük malzeme maliyeti (özellikle gümüş ve altınla karşılaştırıldığında) nedeniyle alüminyum seçilmektedir; ancak, yüksek frekanslarda çalışan MPA tasarımların darbe soğurucu katsayısını kavramak için metal türünün değiştirilmesi araştırılmaktadır. Bu nedenle, en iyi soğurum oranını elde etmek için alüminyum tabakalar diğer asil metallerle değiştirilebilir. Dielektrikler katmanı bir alüminyum oksit (Al_2O_3) (gri renk) olarak seçilmiştir. Önerilen yapı, 400 THz ila 650 THz arasında görünür frekans aralığında çalışmak üzere tasarlanmıştır. Amaçlanan MPA'nın

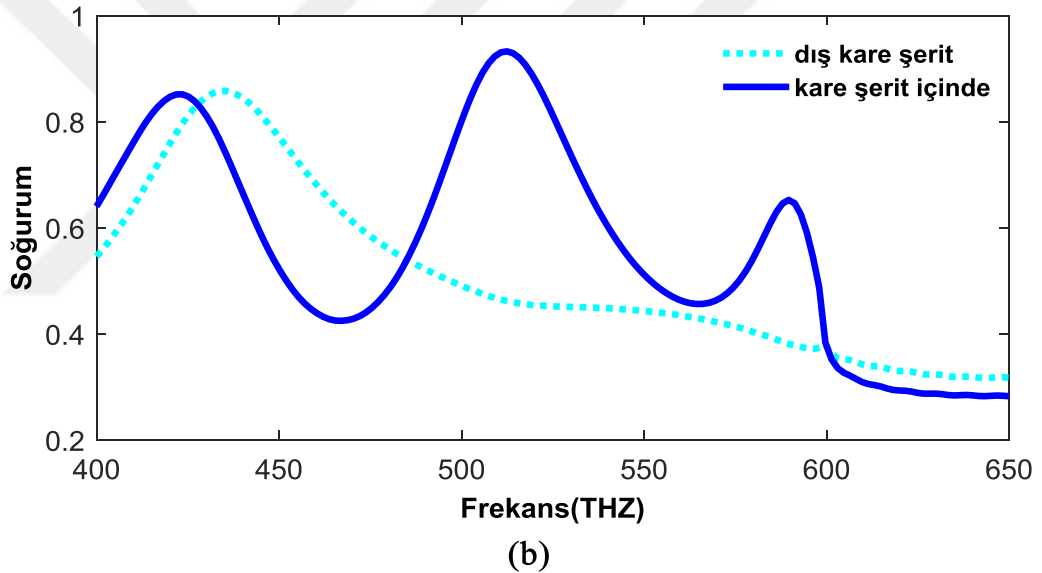
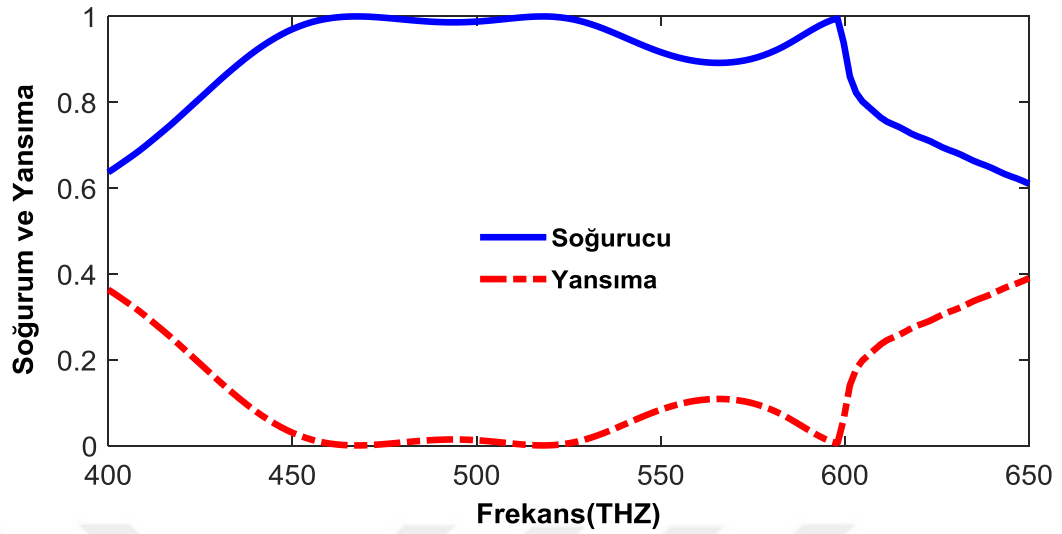
geometrik parametreleri şunlardır: $p=500$ a = 400 nm, $b = 100$ nm, $k= 30$ nm, $n= 30$ nm, $h_1 = 50$ nm, $h_2 = 60$ nm ve $h_3 = 10$ nm..



Şekil 3. 1. (a) Önerilen MPA'nın bir ünite hücresi, (b) Ünerilen MPA ünite hücresinin üstten görünümü (rezonatörler gösteriliyor)

3.2. Sonuçlar ve Tartışma

Önerilen metamalzeme ünite hücresi için simülasyon sonuçları, Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Geniş bantlı soğurucu tepkisi olan MPA, iki kare şeridin her ikisinin de güçlü bağlantısı tarafından üretilen bireysel elektromanyetik rezonanstan ve ayrıca rezonans ve temel katmanı (Al) arasındaki güçlü bağlantıdan kaynaklanır. Tasarım yapı ikamesinin geniş bant soğurucu özelliklerinin kaynağını açıklama gayesiyle; her iki rezonans için ayrı sayısal simülasyonlar uygulanır. Rezonant iki kare şeridin her ikisi için de soğurum ortalamaları, Şekil 3.2 (b)'de gösterilmiştir. Şekil 3.2 (b)'den gösterildiği gibi, ilk rezonans, tek bir bant soğurucunu üretmekte ve ikinci rezonans, yaklaşık % 90'lık bir soğurum ortalaması ile çift bant üretmektedir. Yine de, iki rezonantın birleşimi, soğurucunun (mükemmel soğuruma yakın) ve geniş bantlı soğurucu rezonantın üretilmesini sağlayan güçlü elektrik ve manyetik alan rezonansı üretir. Şekil 3.2.(a)'da simüle edilmiş soğurucuya verilen yanıtlar 467.11 THz, 517.45 THz ve 598 THz'de yaklaşık bir birimdir (sırasıyla % 99.96,% 99.95, ve% 99.5)..

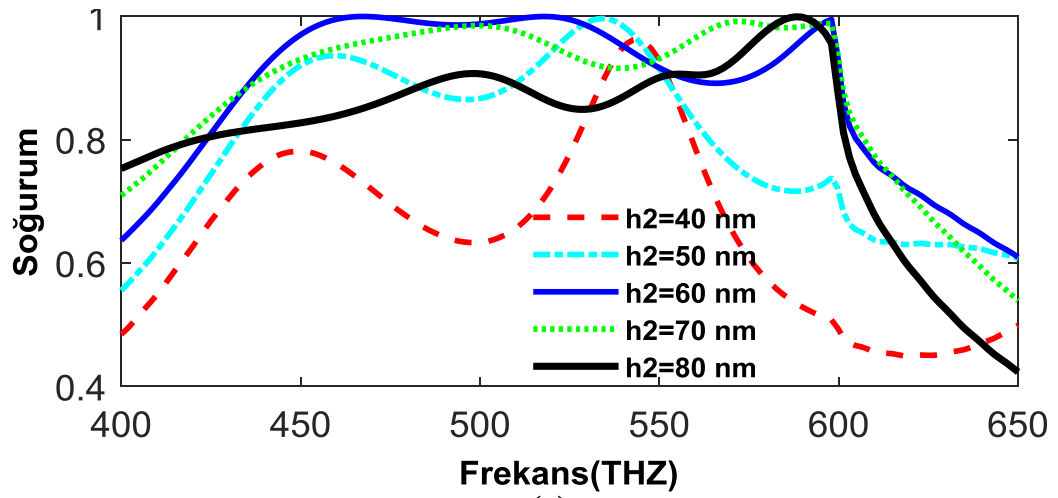


Şekil 3. 2. Önerilen geniş bant tasarımının ortalama soğurum ortalaması. (a) Geniş bant mükemmel soğurucu, (b) her iki kare şerit için simüle edilmiş soğurum ortalaması.

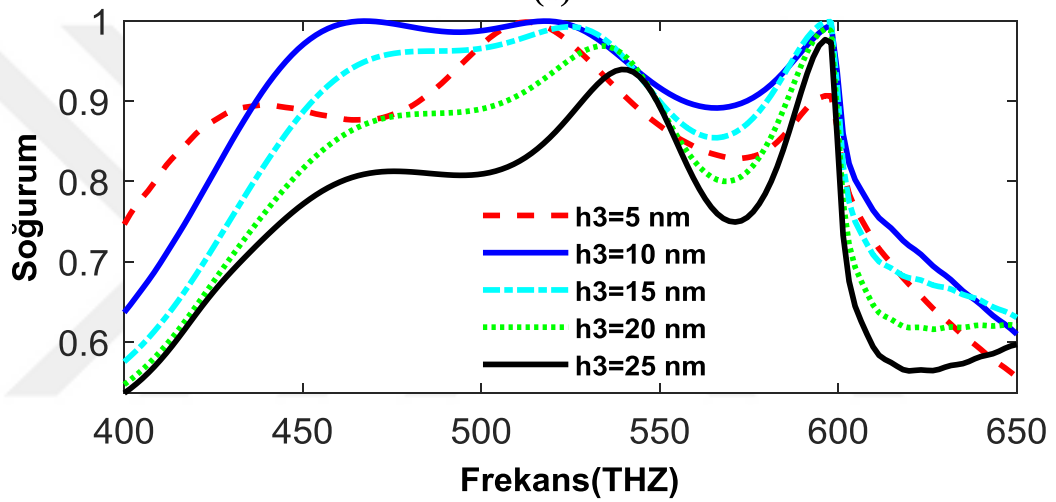
3.3. Geometrik Parametre Çalışması

Yapı geometrik parametrelerinin önerilen MPA tasarımının soğurucu sonucu üzerindeki etkisini açıklamak için, Şekil 3.3.de gösterildiği gibi geometrik parametrelerin araştırılmasında simülasyon sonuçları belirtilmiştir [56]. İlk olarak, simülasyon, önerilen tasarım için dielektrik aralayıcısının çeşitli kalınlıkları ' h_2 ' olarak gerçekleştirilir. Dielektrik kalınlık, özel bir değeri (60 nm) ile 10 nm'lik bir adımla yükselterek ve Şekil 3.3'de (a) gösterildiği gibi 10 nm'lik bir adımla azaltarak ayarlanır. Önerilen MPA

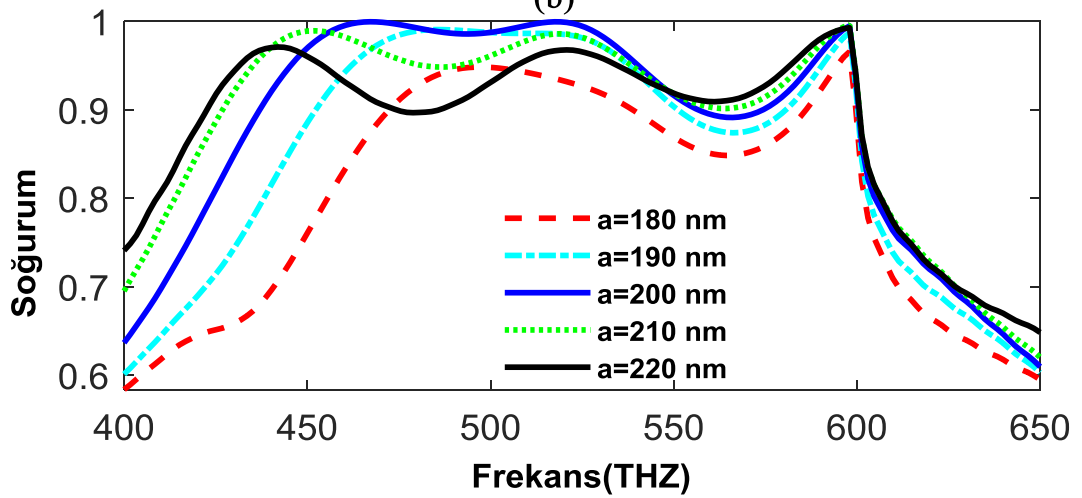
tasarımının soğurum ortalaması, tüm dielektrik kalınlıkları için nispeten yüksek ve geniş ve sadece dielektrik kalınlığında 40 nm olan tek bant olarak gösterilmektedir. İkincisi, önerilen MPA tasarımın soğurum ortalamasının çoğunlukla rezonantın 'h₃' kalınlığına bağlı olduğu tespit edildi. Simülasyon, kalınlığın 5 nm'den 25 nm'ye ayarlanmasıyla gerçekleştirildi. Şekil 3.3. (b) 'de gösterildiği gibi, "h₃" kalınlığını değiştirmenin sonuçları, h₃ = 10 nm'de en büyük soğurum ortalamasını gösterir ve h₃ = 10 nm'den daha büyük değerlerde azalmaya başlar. Sonuç olarak, büyük bir soğurum ortalaması elde etmek için, önerilen MPA tasarımı için rezonansın kalınlığı, 10 nm'de rezonantın 'h₃' kalınlığını gerektirir. Üçüncüsü, 'a' dış kare şeridinin uzunluğundaki simülasyon araştırılmış ve analiz yanıtları Şekil 3.3.(c)'de açıklanmıştır. Simülasyon, "a" kare şeridinin dış uzunluğu 360 nm'den 440 nm'ye kadar tüm ayarlamalarda 10 nm'lik bir adımla ayarlanarak gerçekleştirilir ve sonuçta, dış kare şeridin 'a' değiştirilmesinin, soğurum oranını azaltmış olduğu sonucuna varılır. Bunun nedeni 'a' parametresi 200 nm'nin altına düştüğünde sağa doğru kaydırılarak soğurum oranlarının ayarlanması, genişlik bandının azaltılması ve 'a' parametresi 400'den büyük olduğunda sola kaydırılarak arttırılmış genişlik bandının azaltılmasıdır. Ayrıca, iç kare şeridin 'b' uzunluğundaki simülasyon incelenmiştir ve analiz yanıtları Şekil 3.3. Simülasyon, iç kare şeridin 'b' uzunluğu 80 nm'den 120 nm'ye değiştirilerek 10 nm'lik bir adımla değiştirilir ve sonuç, iç kare şeridin 'b' değiştirilmesinin soğurma oranının düşürüldüğü sonucuna varılır. Son olarak, rezonant iki kare genişliğinin mükemmel soğurucu performansında yüksek bir iş çıkardığı belirtilmektedir. Buna göre, Şekil 3.3 (d) 'de görülebileceği gibi, rezonant iki kare şeridin 'n'inin genişliği değiştirilerek, n = 30 nm'de soğurum ortalamasının en büyük iyileşmesi gösterilmektedir.



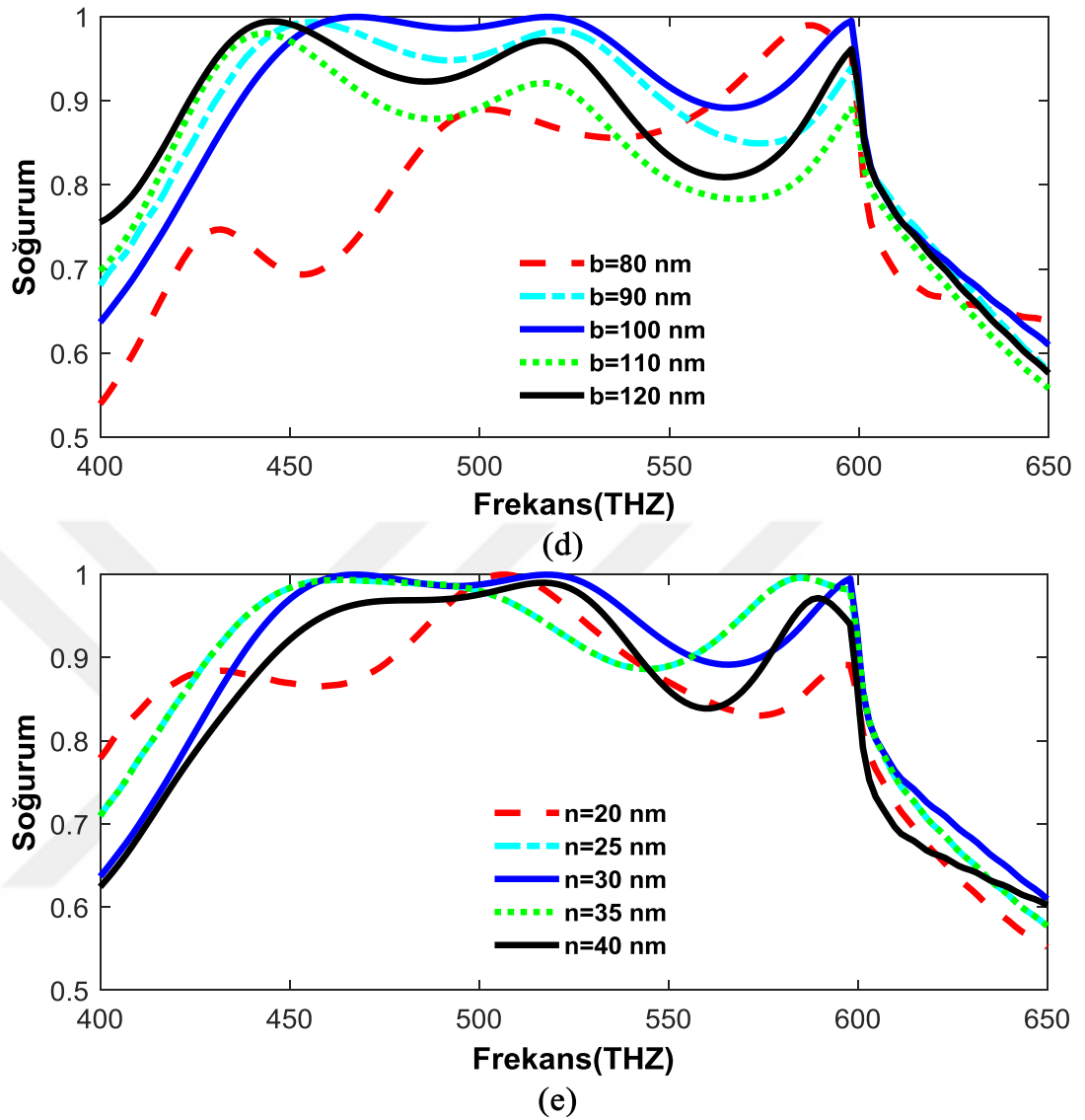
(a)



(b)



(c)

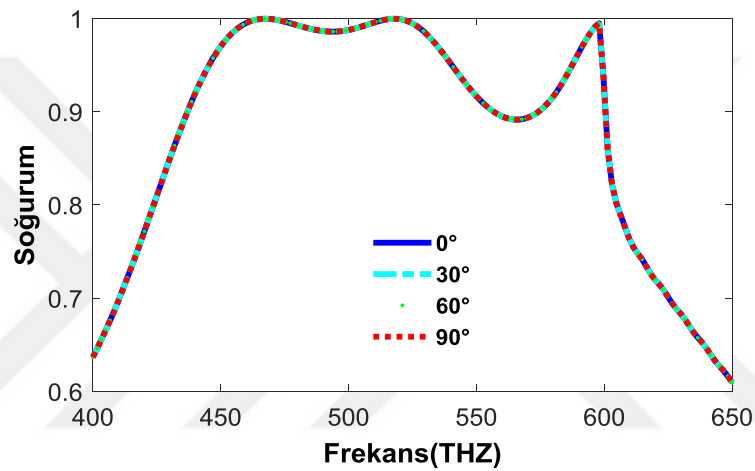


Şekil 3. 3. Geometrik parametrenin farklı boyutunda önerilen geniş bant MPA birim hücresi için simüle edilmiş emme sonuçları: (a) farklı dielektrik kalınlık ' h_2 ', (b) farklı rezonatör ' h_3 ' kalınlıkları, (c) dış kare şeridin ' a ' farklı uzunlukları, (d) iç kare şeridin ' b ' farklı uzunluğu ve (e) rezonant iki kare şeridin farklı ' n ' genişliği.

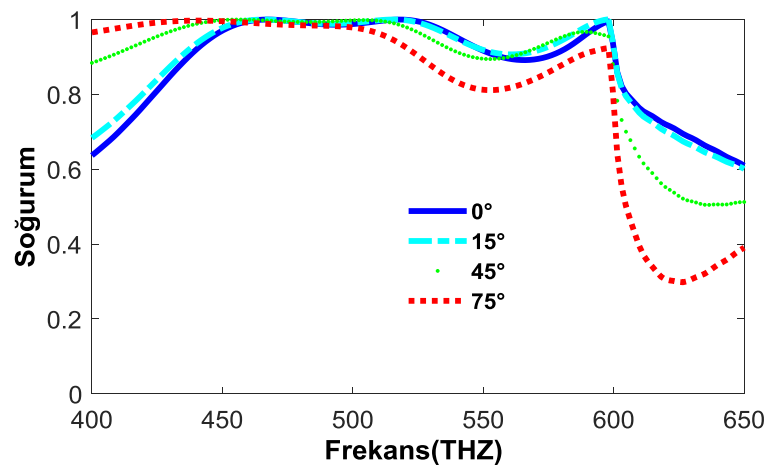
3.4. Polarizasyon Açıları, Alanlar ve Yüzey Akımları Dağılımları Analizi

Radyasyonun kökenine ilişkin olarak önerilen tasarımın soğurucu özelliklerini daha da ileri götürmek için simülasyon, çeşitli polarizasyon açısı radyasyonları için ve TE modu elektromanyetik radyasyon için çeşitli açılar altında uygulanmıştır. Şekil 3.4'te çeşitli polarizasyon açıları ve farklı insidans açılarındaki TE radyasyonlarına verilen cevap tarif edilmiştir. Şekil 3.4 (a) da gösterildiği gibi, MPA tasarımının incelenmesi için

soğurucu sonuçları, tek tip ve mükemmel soğurucu üreten çok çeşitli açılar için polarizasyondur. Bu, önerilen MPA tasarımının simülasyonunu, olay radyasyonlarının çeşitli açılarında, polarizasyon açılarını 0° ila 90° arasında değiştirerek 30° 'lik bir skala ile uygulamak suretiyle elde edilir. Bu tasarımın sonuçları, görünür frekans aralığında çalışan güçlendirilmiş soğurucu mekanizmaların imalatında büyük öneme sahiptir ve güneş pillerinin soğurum oranlarının TE modu radyasyonları için polarizasyon açısı ve geliş açıları gibi çeşitli değerlere rağmen yüksek tutulduğu yerlerde daha verimli güneş pillerinin üretimi için kullanılabilir.



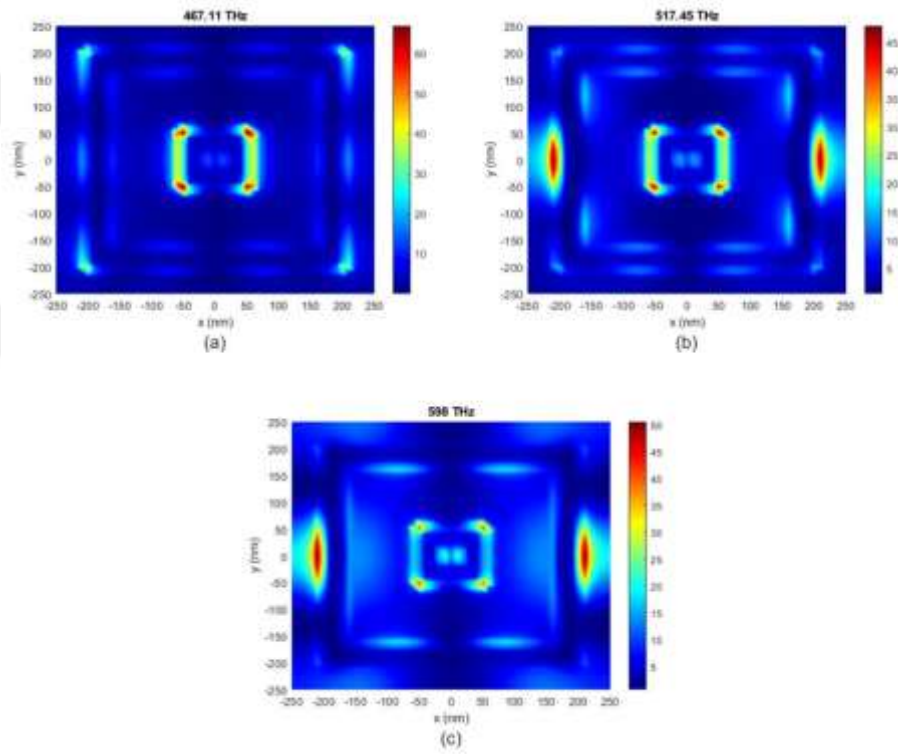
(a)



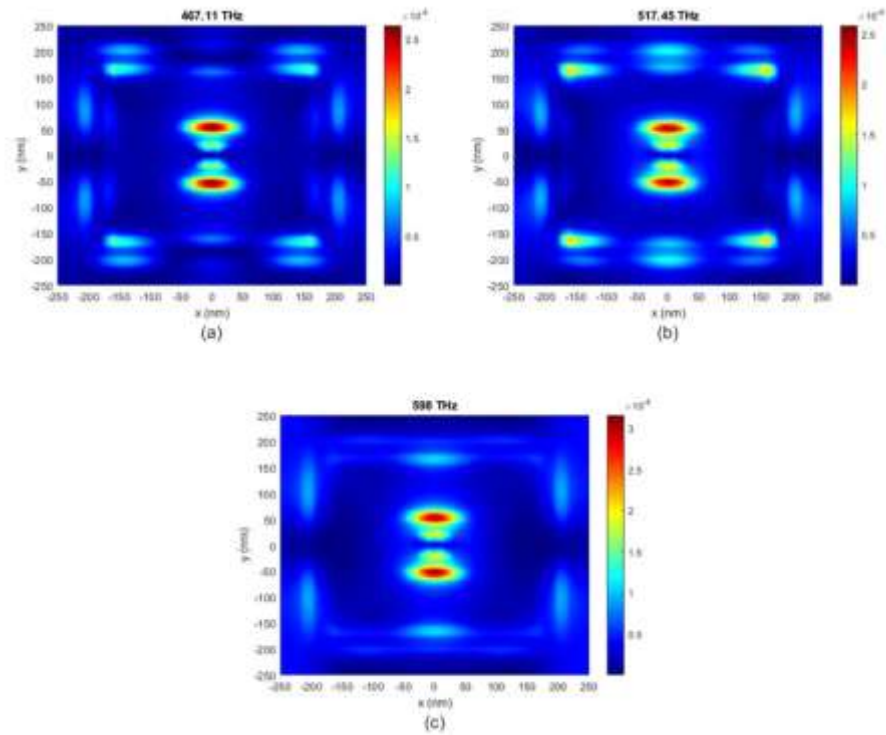
(b)

Şekil 3. 4. Önerilen MPA yapısının, farklı kutuplaşma açıları ve olay EM radyasyonlarının açıları altında simüle edilmiş soğurucu özellikleri. (a) TE polarizasyonu (θ), (b) TM polarizasyonu (α) ve (c) farklı olayların elektromanyetik radyasyonlarının farklı açıları.

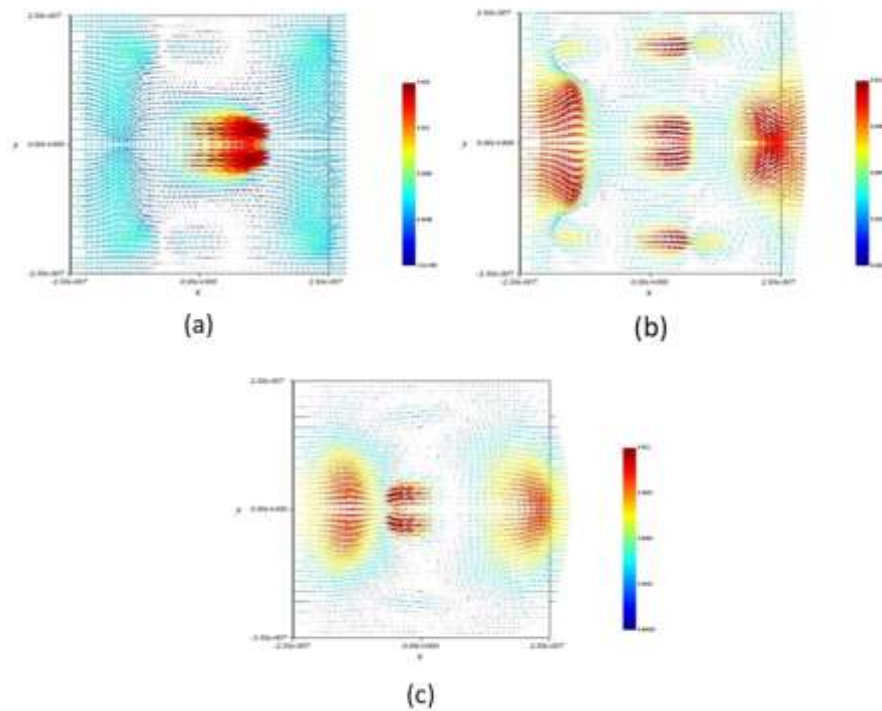
Önerilen çalışmanın davranışsal soğurucu mekanizmasının açıklanması ile ilgili olarak, önerilen yapının elektrik alanları, manyetik alanları ve yüzey akımları dağılımları, sırasıyla 565.15 THz, 582.5 THz ve 598.75 THz olan üç rezonatör frekansı için sunulmuştur. Elektrik alanlar, manyetik alanlar ve yüzey akımı dağılımları sırasıyla Şekil 3, 5, 6 ve 7'de açıklanmaktadır. Tüm rezonatör frekanslarında belirtildiği gibi, elektriksel polarizasyon sağlayan 582.5 THz ve 598.75 THz olan iki rezonatör frekansında iç kare şerit ve dış kare şerit etrafında yayılan güçlü elektrik alanları [57] şekil 3.6'da gösterilmiştir. Güçlü manyetik alanlar, tüm rezonatör frekanslarında iç kare şerit etrafında yayılan elektrik alanlarına benzer.



Şekil 3. 5. Rezonans frekanslarında önerilen MPA ünite hücresi için elektrik alanları dağılımı: (a) 467.11 THz, (b) 517.45 THz ve (c) 598 THz.



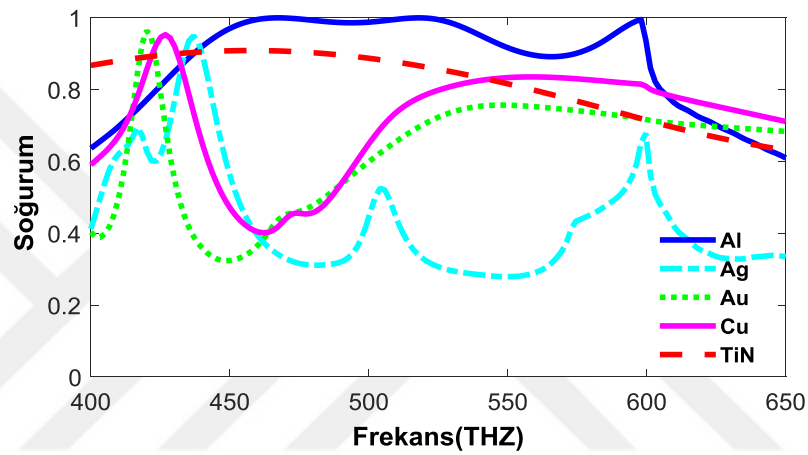
Şekil 3. 6. Rezonans frekanslarında önerilen MPA ünite hücresi için elektrik alanları dağılımı: (a) 467.11 THz, (b) 517.45 THz ve (c) 598 THz.



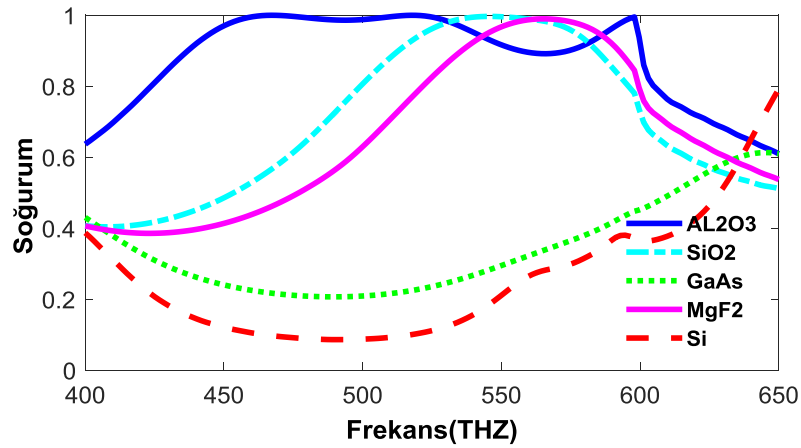
Şekil 3. 7. Rezonans frekanslarında önerilen MPA ünite hücresi için yüzey akımı dağılımları: (a) 565.15 THz, (b) 582.5 THz ve (c) 598.75 THz.

Güçlü simetrik ve dolambaçlı yüzey akımları, Şekil 3.7'den fark edilen dağılımları, rezonant bir metalik katmanın bir dielektrik aralayıcı ve öğütülmüş metalik katmanı ile birleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu yüzey akımları sırasıyla 467.11 THz, 517.45 THz ve 598 THz frekanslarında alınan üç mükemmel soğurum oranından sorumludur.

Bu tasarım için optimum malzemeleri elde etmek amacıyla, mükemmel soğurum sağlamak için çeşitli malzemeler uygulanmıştır. Bu tasarım için en uygun malzeme metalik alüminyum ve dielektrik aralayıcı için SiO_2 'dir.



(a)



(b)

Şekil 3. 8. a) Farklı metaller kullanılarak önerilen MPA yapısının uyarılmış soğurucu sonuçları b) Farklı dielektrik aralayıcı kullanarak önerilen MPA yapısının simülasyon sonuçları.

3.5. Sonuçlar

Bu b6l6mde, g6neş ışınlarının verimli bir şekilde toplanması için geniş bantlı bir MPA tanımlanmış ve araştırılmıştır. İlk olarak, yaklaşık mükemmel soğurucu oranları (% 99.96,% 99.95 ve% 99.5) için sırasıyla 467.11 THz, 517.45 THz ve 598 THz'de istisnai bir geniş bant elde edilmiştir. İkincisi, parametrik araştırmalar, 6nerilen tasarımın optimum parametresini belirlemiştir, dielektrik kalınlık ve rezonans kalınlığı için ayarlanabilirlik g6zlenmiştir. 6ç6nc6 olarak, 6nerilen bir tasarımın soğurucu davranışını açıklamak için elektrik alan, manyetik alan ve y6zey akımı dağılımları incelenmiştir. Sonunda, 6nerilen bir yapının b6y6k simetriği, 6nerilen MPA 6nite h6cresi için soğurucu 6zelliğinin çeşitli olay açıları ve polarizasyon açıları altında incelenmesiyle araştırılmıştır.

4. BÖLÜM

GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI İÇİN ÇOKLU-BANT METAMALZEME SOĞURUCU TASARIMI

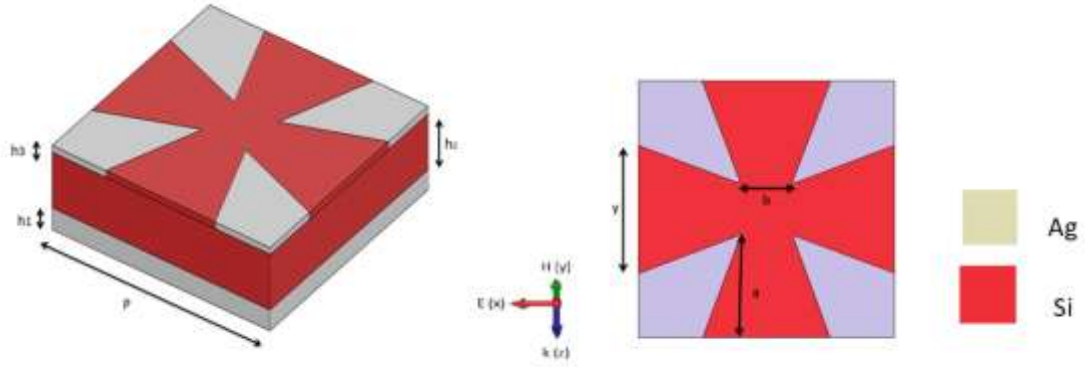
4.1. Giriş

Metamalzemelerin oldukça güçlü soğurucu özelliği fotovoltaik pilde güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılabilir. Fotovoltaik jeneratörde, genellikle, soğurucu gücünü yararlı uygulamalara dönüştürmek için mevcut malzeme gereklidir. Mevcut malzeme, soğurucu gücünün elektron deliği çiftlerine aktarıldığı yarı iletken bir malzemedir. Bu çiftler daha sonra elektrotlara dağıtılır ve son olarak, güç bu elektrotlardan elektrik akımı şeklinde toplanabilir. Güneş enerjisinin etkisiz bir şekilde mevcut forma dönüştürülmesi, güneş hücrenin içinde veya dışında meydana gelen kayıplar (optik kayıpları ve termal kayıpları kapsar) nedeniyle başarılarını azaltır. Bu kural fotovoltaik uygulama için yan etki olan ısı üretimini etkiler. Bu bölümde, Metamalzeme soğurucun fotovoltaik uygulamaları için yeni bir tasarım önerilmiştir.

4.2. Tasarım ve Simülasyon

MPA'nın geometrik tasarımı, boyut parametrelerine ve elektromanyetik alan polarizasyonuna ek olarak, Şekil 4.1'de sunulmaktadır. Bu tasarım için iki metalik katman ve metalik katmanlar arasındaki dielektrik aralayıcı plakası kullanılmıştır. Üstte bulunan dört yamuk, dielektrik tabakaya, Plazma kutuplarının basit şekilde tutulması ile ilgili olarak yerleştirilir. Materyaller önerilen MPA'yı biçimlendirmek için kullanıldı, dielektrik için silikon (Si) ve metalik için gümüş (Ag). Silisyum düşük maliyetli olduğu ve doğada bol olduğu için seçilmiştir ve gümüş bu frekanslarda büyük iletkenliğe sahip olduğu için seçilmiştir. Ayrıca, fotovoltaik uygulama için ileri bağlantı noktası olarak Ag da kullanılabilir. Parametreler Şekil 4.1'de sunulmuştur. a , b , p , h_1 , h_2 ve h_3 , trapezyum rezonansının boyutlarını, MPA'nın periyodunu, Ag plakasının kalınlığını,

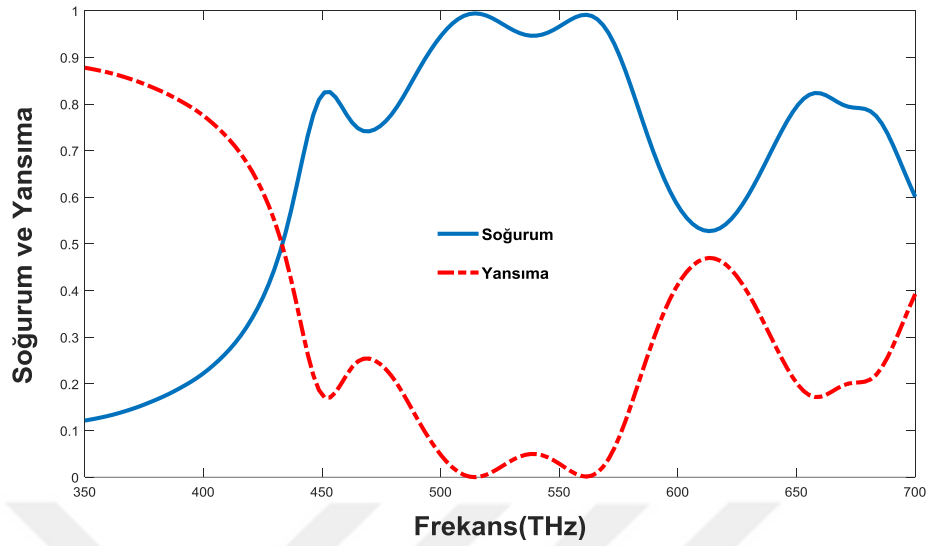
dielektrik tabakanın kalınlığını ve trapezyum rezonansının kalınlığını tarif eder. Bu parametreler için daha yüksek emme oranları için optimum değerler şunlardır: $a = 160$ nm, $b = 100$ nm, $p = 400$ nm, $h_1 = 50$ nm, $h_2 = 5$ nm, $h_3 = 10$ nm.



Şekil 4. 1. Önerilen Metamalzeme Soğurucu Tasarımı.

4.3. Sonuçlar ve Tartışma

Soğurum ve yansıtma için simülasyon sonuçları, Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Elde edilen frekans aralıkları görünür bölgeyi kapsar. Bu sonuçlar, önerilen soğurucu modelinin, görünür bölgede çok bantlı soğurucu sonuçlarına sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bir fotovoltaik hücrenin fotovoltaik tepkisi, elektron deliği çiftlerini üreten mevcut malzemesinde meydana gelen soğurum ortalaması ile bağlantılıdır. Mevcut malzeme dielektrik silikondur. Bu gerçeklere göre, Si'deki soğurum ortalaması Ag'daki soğurucudan daha fazla gereklidir. Bu nedenle, bu bölüm için seçim standartları, bir Si malzemesinde seçilen frekans aralığı boyunca bütün soğurum ortalamasıdır. Soğurum seviyeleri, 451.01 THz, 514.43 THz, 561.41 THz ve 657.72 THz'de sırasıyla % 82.5, % 99.42, % 99.12 ve % 82.36'dır.



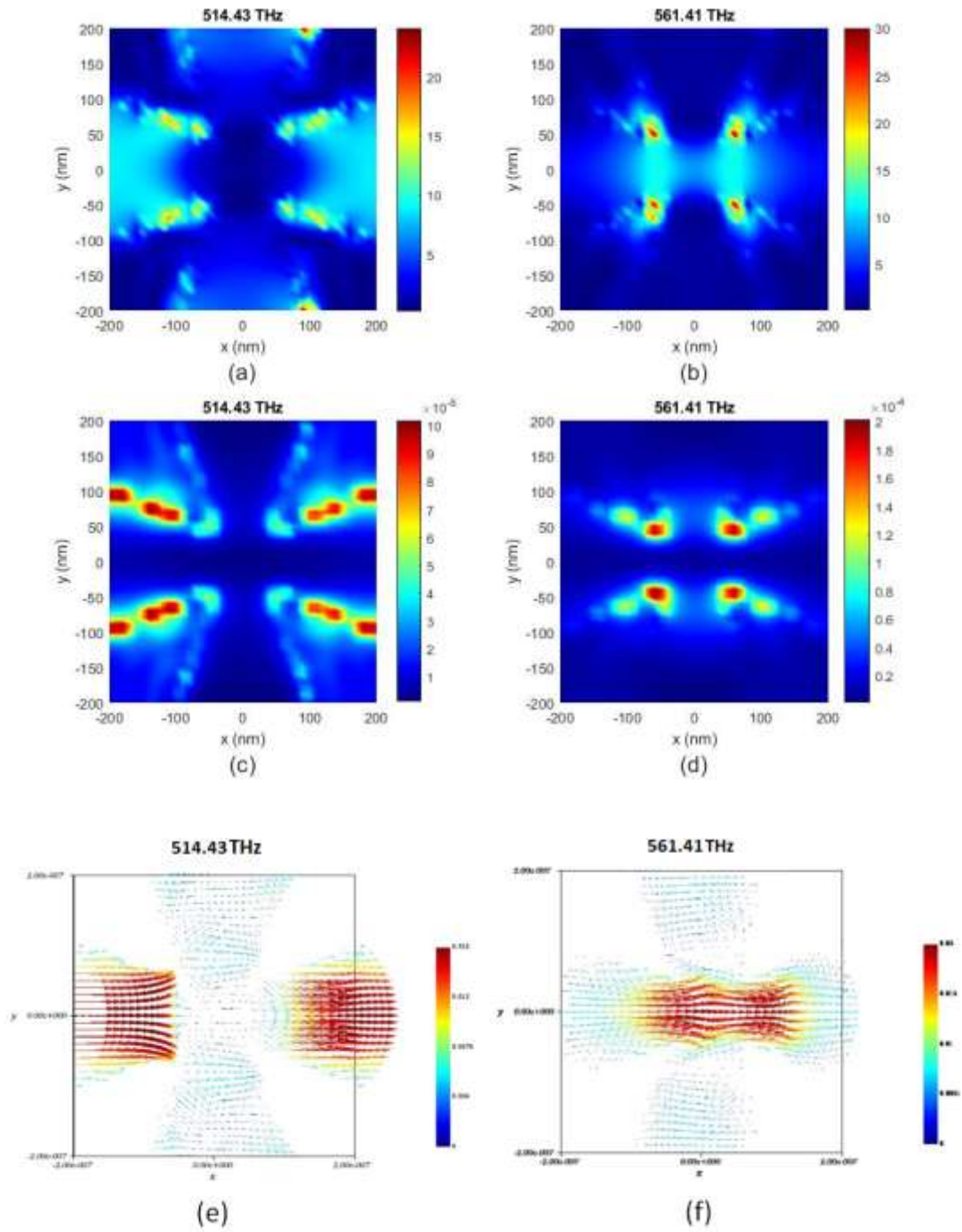
Şekil 4. 2. Önerilen soğurucu soğurma ve yansıtma tepkisi. Parametreler için alınan değerler: $a = 160$ nm, $b = 100$ nm, $p = 400$ nm, $h_1 = 50$ nm, $h_2 = 5$ nm ve $h_3 = 10$ nm.

Çalışma rezonans karakteristiği, Şekil 4.3'te gösterilen alan dağılımları incelenerek analiz edilebilir. 514.43 THz'de elektrik alanı temel olarak yamuk rezonatörleri ile ilgilidir. Bu bölgeler, bu rezonans için elektrik etkisinin ana kaynağıdır [59]. 514.43 THz ve 561.41 THz'deki rezonans arasındaki değişiklikler, Şekil 4.3. (a) ve (b)'de gösterilmiştir. Aksi halde, ilk rezonanstaki elektrik çarpması, 508.35 THz'de rezonanstaki elektrik çarpması, 561.41 THz'deki elektrik çarpması, trapezyumların rezonantının uç kenarlarında üretilir. 514.43 THz'deki manyetik etki yamuklar tarafından alınır. Bu, Şekil 4.3 (c) 'de açıkça belirtilmiştir. Bununla birlikte, bölgelerdeki manyetik etkiler neredeyse yamuk yankılarının arasındadır. Bu bölgelere yakın güçlü manyetik etki göz önüne alındığında, bu yüksek bir eşitsizlik sunar. Bu konsantrasyon tipi ve manyetik cevabın lokalizasyonu, taban Ag plakası ile güçlü bir şekilde birleşir, böylece yamukların bu yönleri arasındaki dağılım meydana gelir, Şekil 4.3 (e) 'de gösterilmiştir. Aksi takdirde, $f = 514.43$ THz, $f = 561.41$ THz'de rezonans, manyetik alan bu frekansta meydana gelen elektrik etkisine benzer yamukların uç kenarlarında sınırlandırılır. Bu güçlü kombinasyon, yapının orta kısmındaki dağılım akımını sağlar (Şekil 4. 3. (f)). Her iki rezonant ile ilgili olarak, manyetik etki elektriksel etki ile birlikte, empedansın ve sonuçta empedansın uygun olması için en iyi durumu sunar. Soğurucu için optimum parametrelerin açıklanması ile ilgili olarak, parametrik ayarlanır ve soğurucu için farklı oranlar, Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Tüm

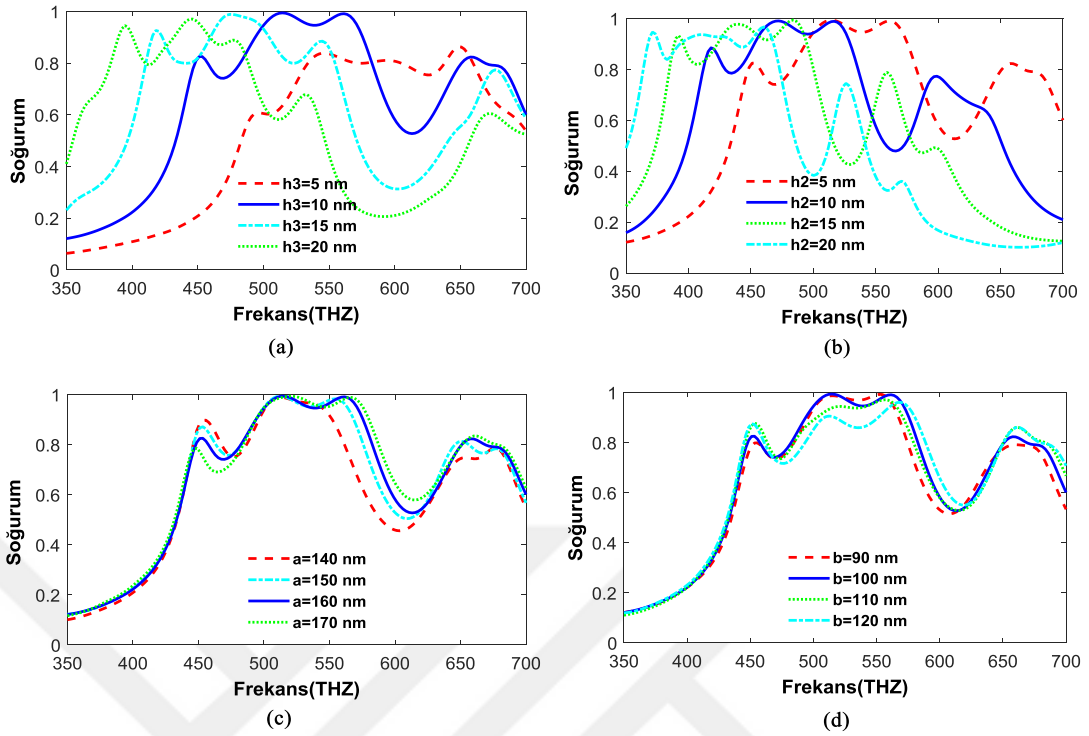
grafiklere ilişkin olarak, mavi renkle kaydedilen soğurum oranları, soğurum oranlarına göre seçilen optimum parametreleri gösterir. Yamuk rezonant parametresi “ h_3 ” parametresinin kalınlığı ayarlandığında tüm soğurum oranları arasındaki fark, Şekil 4.4 (a) 'de sunulmuştur. Bununla birlikte, kalınlıklar arttırıldığında, soğurumun ortalaması azalır ve soğurum oranının (mavi vardiya) sağ kısmına kayar. “ h_3 ”, küçük değerlere (5 nm gibi) ayarlandığında, rezonantın kalınlığı, metalik rezonant tarafından üretilen mükemmel soğurucu tepkiyi üretmek için yeterli olmaz. Bu nedenle, önerilen yapı için, iletilen ve yansıyan dalgalar arasında (hemen hemen sıfır yansıma ve iletme) iyi bir dengeye sahip olan ve ayrıca istenen elektrik ve manyetik sonuçları üreten mükemmel soğurucu için $h_3 = 10$ nm seçilebilir.

İki metalik plakayı ayıran dielektrik plaka, kritik parametrelerden biridir. Şekil 4.4(b) “ h_2 ” ye göre soğurum oranlarındaki farkı 5 nm seviyelerine ayarlayarak göstermektedir. Alt metalik plaka ve trapezyumlarda metalik katmanlar birbirine yeterince yakındır, bu iki gümüş plaka arasındaki bağlantıyı sağlar. Bu plakalar birlikte yeterliliğe yakın olsa da, bu boşluk elde edildiği gibi yeterli manyetik rezonansı üretir. Ayrıca, dielektrik tabakanın tüm soğurum oranının sonuçları, bu malzemenin “ h_2 ” de en yüksek değere sahip olduğunu, en avantajlı değer olduğunu gösterir ($h_2 = 5$ nm).

Yamukların rezonansa uygun olarak seçilen boyutlarının kritik kısmı (“a, b” parametreleri) Şekil 4.4. (c) ve (d) 'de incelenmiştir. “a” parametresinin ayarlanması sonuçları “b” parametresine benzer sonuçlar verir. Bu parametrelerin her ikisinin ayarlanması, aynı işlemde rezonansa giren kenardaki yamuklar arasındaki mesafeyi değiştirir. “a” parametresinin soğurum ortalamalarının $a = 160$ nm ve $b = 100$ nm olduğunda en uygun ortalama olduğunu unutmayın. Bununla birlikte, optimum parametreler olarak $a = 160$ nm ve $b = 100$ nm seçilir.

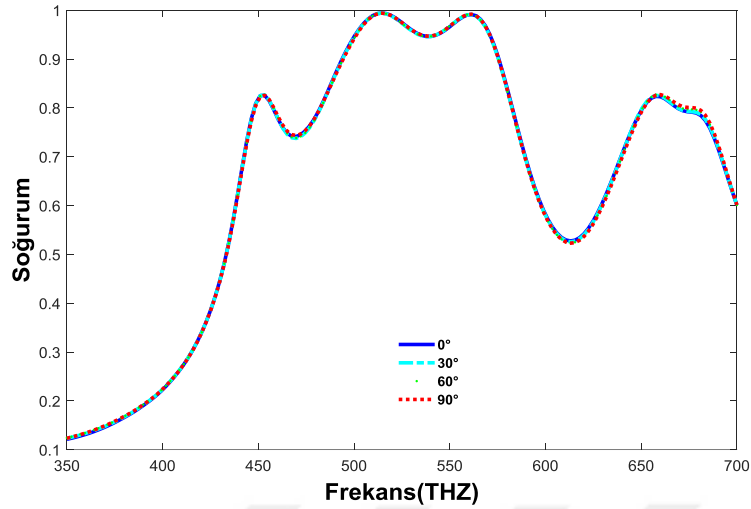


Şekil 4. 3 Rezonans frekanslarındaki dağılımlar. (a) 514.43 THz'de elektrik alanı, (b) 561.41 THz'de elektrik alanı, (c) 514.43 THz'de manyetik alan (d) 561.41 THz'de manyetik alan, (e) 514.43 THz'de yüzey akımı (f) 561.41 THz'de yüzey akımı.



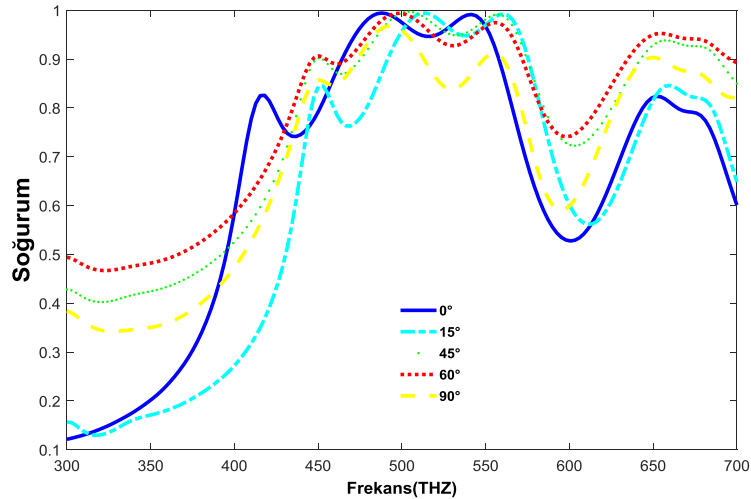
Şekil 4. 4. Soğurum spektrumlarının geometrik değişkenlere bağımlılığı. (a) rezonatör kalınlığı, (parametre h_3) (b) Dielektrik tabaka kalınlığı (parametre h_2) (c) ikizkenar üçgen rezonatörlerin yan uzunluğuna bağımlılık. Amorf silikonun soğurucu spektrumlarının değişimi, şekillerin her birinin içinde gösterilmiştir(a ve b).

Tasarımın sadeliği ve simetrikliği, özellikle amaçlanan tasarımın polarizasyon amacı için önemli bir gelişme sağlar. Şekil 4.5'te gösterildiği gibi, bu model radyasyonun normal oran durumu için bir polarizasyon duyarsız işlem sunmaktadır.



Şekil 4. 5. Elektromanyetik radyasyonun normal insidans modunda soğurucu polarizasyon açısına bağlı olması.

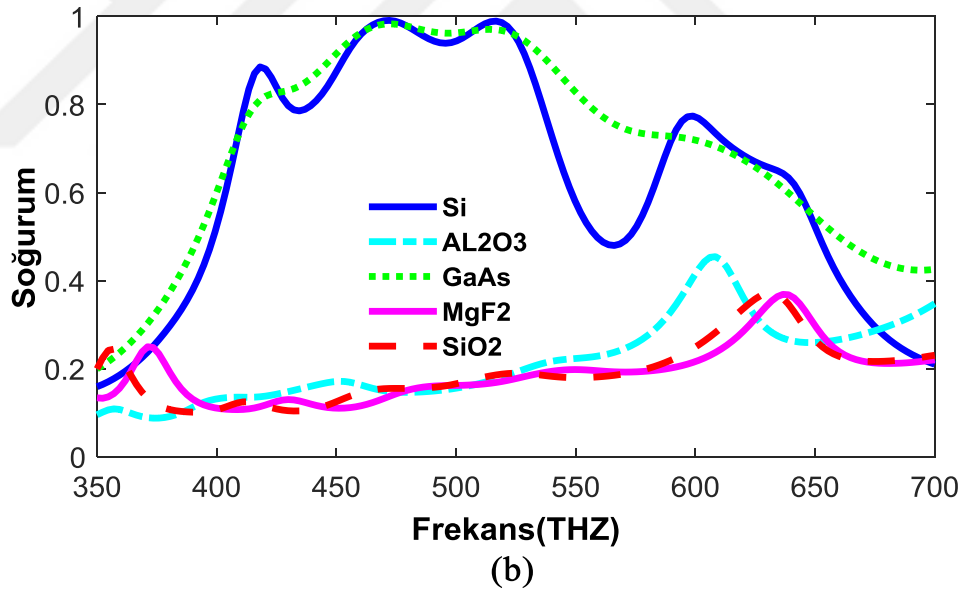
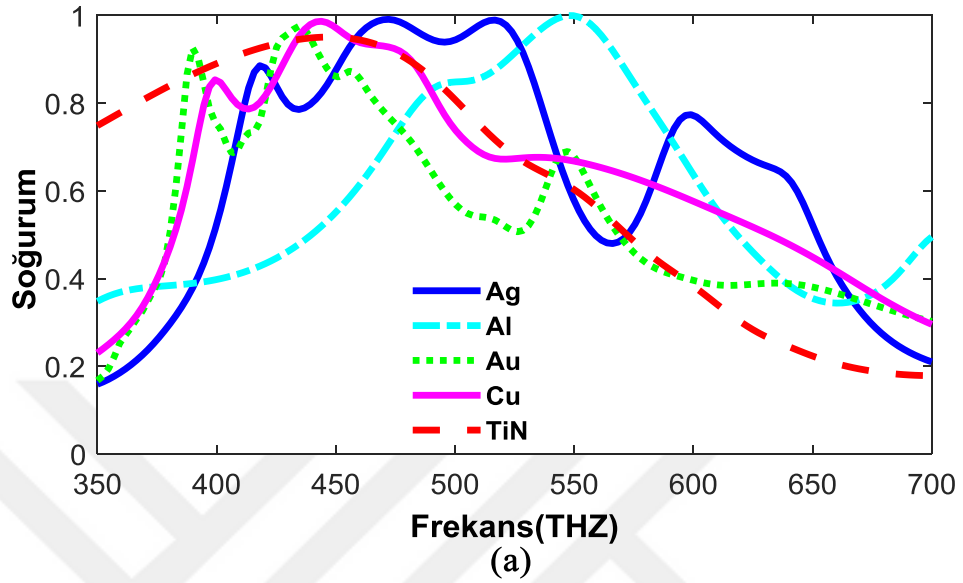
Şekil 4.7'de TE'nin farklı geliş açıları için bu modelin sonuçları, soğurucudaki tutarlılık geniş bir geliş açısı aralıkları altında gerçekleştirilmektedir. Aslında, TE modu, açılar 60° 'ye yükseltildiği için daha iyi ve geniş bir soğurucuya sahiptir. Bu, yapının manyetik yanıtının yüzey manyetik alanı ile olan etkisinden dolayı çok önemlidir [60].



Şekil 4. 6. Alınan farklı açılarda TE modunda soğurucu sonuçları.

En yüksek soğurum oranını elde etmek için, dielektrik aralayıcının soğurucu üzerindeki etkilerini incelemek için çeşitli dielektrik aralayıcılar (SiO_2 , Al_2O_3 , MgF_2 ve Si) kullanılır. Şekil 4.7 (b) 'de görülebilir. Metalik tabaka da (altın, bakır, gümüş ve

alüminyum) en yüksek soğurum oranını elde etmek için çeşitli malzemelerle değiştirildi. Şekil 4.7 (b) 'de görülebilir.



Şekil 4. 7. (a) Farklı metaller kullanılarak önerilen MPA yapısının soğurucu sonuçları simülasyonu b) Farklı dielektrik aralayıcı kullanarak önerilen MPA yapısının soğurucu sonuçları simülasyonu.

4.4 Sonuç

Bu bölümde fotovoltaik uygulama için, geometrik parametrelerin polarizasyonun araştırıldığı çok bantlı metamateryale soğurucu üretilmektedir. Fotovoltaik sonuçlar esas olarak fotoaktif dielektrik malzeme (Si) tarafından sunulmaktadır. Ag'nin soğurucu hızları, tasarımın fotovoltaik sonuçlarını azaltan olumsuz bir etkidir. Ayrıca, geniş güneş spektrumunu kullanmak için soğurucu bandının geliştirilmesi esas olarak geliştirilmiş bir fotovoltaik etki içindir.



5. BÖLÜM

GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI İÇİN GENİŞ BANT METAMALZEME SOĞURUCU TASARIMI

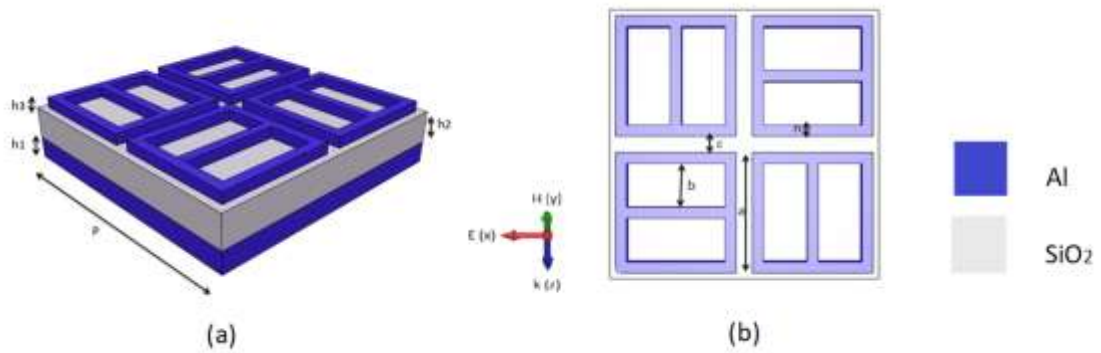
5.1. Giriş

Güneş enerjisi hasadı için geniş bantlı yeni metamalzemel mükemmel soğurucu (MPA) göz önünde bulundurulur ve onaylanır. Mükemmel metamalzemeye dayalı güneş pilleri, cihazda meydana gelen elektromanyetik güneş dalgasını yoğunlaştırarak sistemin verimliliğini artırma imkanı sunar. Tasarlanan yapı, güneş enerjisini verimli kullanmak için çoğunlukla görünür ve bazı ultraviyole frekans aralığında verilmektedir. Tasarım, aralarındaki etkileşimin plazmonik rezonanslara yol açtığı üç katmandan oluşuyor. soğurucuyu karakterize etmek için yapının boyutlarına ilişkin bazı parametrik çalışmalar yapılır. Elde edilen sonuçlara göre, soğurum seviyeleri 666.44 THz ile 791.28 THz arasındaki geniş bantta (% 99) olduğu bulunmuştur ve 755.03 THz'de elde edilen en yüksek emme değeri (% 99.94) ve 680.54THz'de elde edilen ikinci en yüksek emme değeri (% 99.93).

5.2. Tasarım ve Simülasyon

Tasarım yapısı Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Önerilen MA üç katmandan oluşur; metal alt katman " h_1 " kalınlığında, dielektrik aralayıcı " h_2 " kalınlığında ve yapının tepesindeki metal rezonatör " h_3 " kalınlığında sabittir. Rezonatörün kendisi, ortasında bir çubuk bulunan dört kare şerit olarak ifade edilebilen farklı geometrik düzenlemeleri içerir. Bu boyutlar için belirtilen geometrik boyutlar ve harfler, Şekil 5.1 (b) 'de verilmişken, her bir parametre ile ilişkili değerler Tablo 1'de gösterilmektedir. Önerilen tasarımın birleştirilmesi için pil ünitesi "p" ile verilmiştir. Şekil 5.1'de gösterilen tüm şeritler, geniş bant frekanslarındaki rezonanslardan sorumludur. Bu rezonansların soğurucu spektrumuna katkısı bir sonraki bölümde ele alınacaktır. Yapının metal parçaları,

dielektrik malzeme olarak silikon dioksitin (SiO_2) kullanıldığı alüminyumdur (Al). Gerçek uygulamalarda toplam maliyeti azaltılabilen alüminyum, nispeten düşük maliyeti ve düşük yüzey derinliği (özellikle gümüş ve altın kullanıldığında) nedeniyle seçildi. Önerilen metamalzeme soğurucu için optimum malzemelerin elde edilmesi için alüminyumun stannum, bakır ve gümüş gibi diğer metallerle değiştirilmesi [61]; aynı zamanda dielektrik aralayıcı için kullanılan malzeme değiştirilerek (SiO_2 , Al_2O_3 , GaAs, MgF_2 ve Si) incelenmiştir. Sayısal simülasyonlar, bir entegrasyon tekniğini geliştiren ve Maxwell Denklemleri'ni çözme becerisine sahip olan simülasyon yazılımı tarafından sunulmaktadır. Homojen malzemenin önerilen soğurucunun en iyi parametreleri, Tablo 1'de listelenen tüm parametrelerin eş zamanlı olarak ayarlanması ve simüle edilmesiyle elde edilir. Sayısal analiz boyunca, simülasyonlar için uygun sınır koşulları x ve y yönünde periyodik olarak alınmakta ve z yönü boyunca açık sınırlar kullanılmaktadır. Sayısal analiz boyunca, olaydaki elektromanyetik radyasyon için uygun polarizasyon (elektriksel alan x yönünde polarize olurken, y yönünde polarize manyetik alan) kullanılır. Şekil 5.1 (b) 'de gösterilmiştir.



Şekil 5. 1. Önerilen metamalzeme soğurucu yapının ünite hücrenin geometrisi.
a) Perspektif görünüş b) Önden görünüş.

Tablo 5. 1. Nanometre cinsinden her parametreyle ilgili değerler.

Parameter	P	h_1	h_2	h_3	a	b	c	n
Value(nm)	500	45	40	20	220	70	50	20

Alt metal plaka, yüzey derinliğinden daha büyük bir kalınlığa sahip olduğundan, ayna olarak işlev görür ve yapıyı iletme için iletimi yasaklar. Bu durumda, iletim ihmal edilebilir hale gelir (yaklaşık sıfır). Önerilen yapının optik soğurucu performansı, bilinen "Denklemler 1" kullanılarak hesaplanabilir. $A(\omega)$, $R(\omega)$ ve $T(\omega)$ sırasıyla frekansa bağlı soğurum, geri kazanım ve geçirgenliği temsil eder [62]. Daha önce belirtildiği gibi, taban plakanın görsel koruyucu özellikleri nedeniyle $T(\omega)$ ihmal edilebilir. Bu nedenle Denk. 1 Denklem 2'ye düşürülür. Simülasyonlardan elde edilen yayıcı parametrelerinin kullanılması (S_{11} ve S_{21}) ile; soğurucu, Denk.3 ile hesaplanabilir ve belirlenebilir.

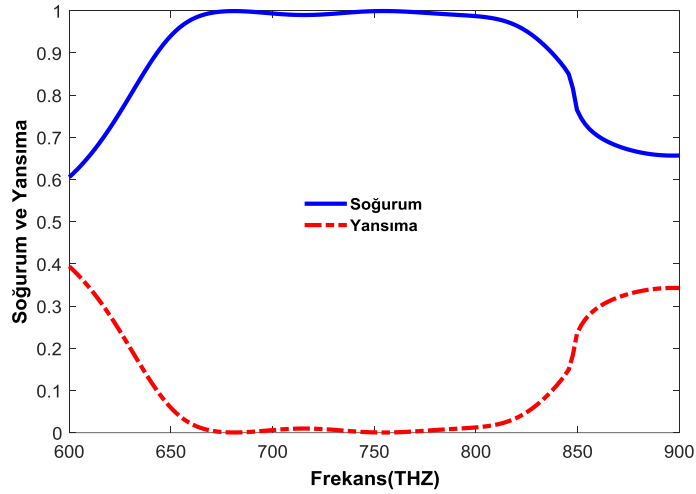
$$A(\omega)=1-R(\omega)-T(\omega) \quad (1.1)$$

$$A(\omega)=1-R(\omega) \quad (1.2)$$

$$A(\omega)=1-|S_{11}|^2 \quad (1.3)$$

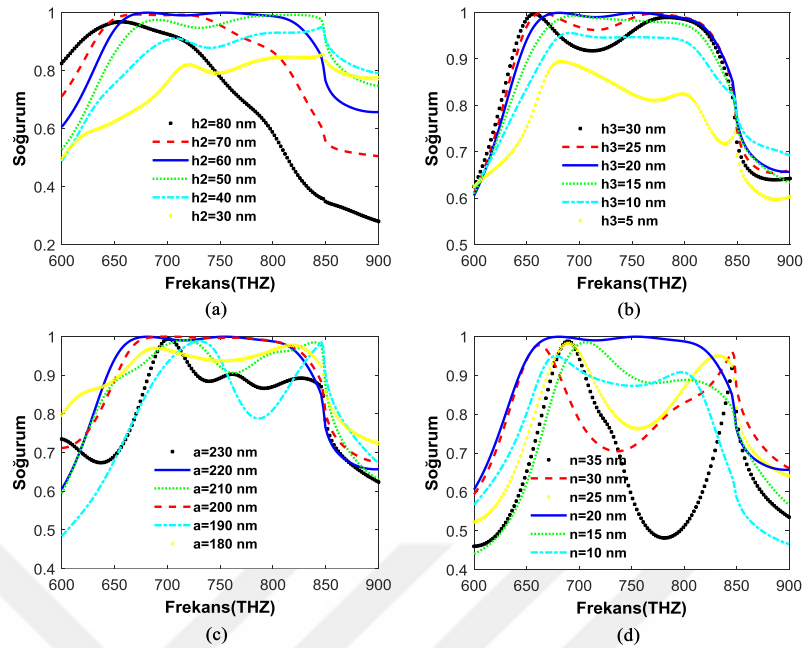
5.3. Sonuçlar ve Tartışma

Önerilen meta malzeme birim hücrenin simülasyon sonuçları, Şekil 5.2'de verilmiştir. Soğurum seviyeleri (% 99), 666.44 THz ile 791.28 THz arasındadır. En yüksek soğurum değeri (% 99.94), 755.03THz'de elde edilir ve 680.54THz'de elde edilen ikinci en yüksek soğurum değeri (% 99.93)'tür. Görünür ve morötesi bölgesi için yansımaya ve soğurum spektrumları Şekil 5.2'de verilmiştir.



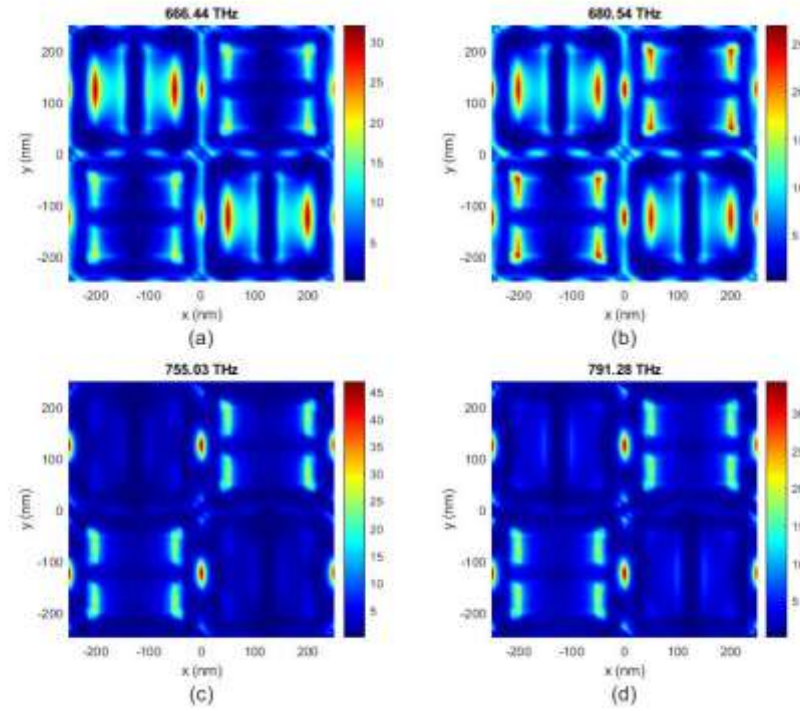
Şekil 5. 2 Yapının görünür frekans bölgesindeki yansıma ve soğurma spektrumları.

Geometrik parametrelerin soğurucunun soğurma özellikleri üzerindeki etkilerini anlamak için, geniş bant frekansında mükemmel soğurucunun bağımlılığı geometrik parametrelere göre incelenmiştir. Diğer parametrelerin sabit tutulması ile dielektrik tabaka (parametre h_2), rezonatörün kalınlığı (parametre h_3), şeridin uzunluğu (parametre a) ve şeridin genişliği (parametre n) karakterizasyon için ayarlanır. Malzemenin soğurucu için en uygun parametreleri elde etmek amacıyla, listelenen tüm parametreler ayarlanır ve simüle edilir. Parametrik çalışmaların sonuçları Şekil 5.3'de verilmiştir. Her çizimdeki mavi eğrilerin emme oranı için istenen sonuçları gösterdiğine ve bu parametrelerin mükemmel soğurucu için mükemmel parametreler olarak seçilebileceğine dikkat edin. İlk olarak, dielektrik tabakanın kalınlığı incelenmiştir. Dielektrik kalınlığın rezonans frekansı ve soğurma ortalaması üzerindeki etkisi, h_2 parametresini ayarlayarak elde edilir. Cevap Şekil 5.3 (a) 'da gösterilmiştir. Dielektrik katmanın en iyi kalınlığının $h_2 = 60$ nm olduğu belirlenmiştir. Dielektriklerin kalınlığı prensip olarak elektriksel rezonansı metal rezonansına metal alt tabaka ile birleştirmeye yarar. Bu nedenle, bu kombinasyon manyetik bir tepki oluşturur ve nihayet serbest alan empedansına eşit soğurucunun etkin empedansını verir (empedans eşleşmesi). Bu mod, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te gösterilen elektrik ve manyetik dağılımlardan da haberdar edildi. Ayırma kalınlığı, h_2 'nin 60 nm'den küçük ve daha büyük kalınlıkları bir manyetik tepkisi oluşturmak için yeterli olmasına rağmen, belirli kalınlıklar için karşılık gelen empedansı vermez. Bu nedenle, bu tür yapılar için dielektrik kalınlığının seçimi, mükemmel soğurucu için çok gereklidir.

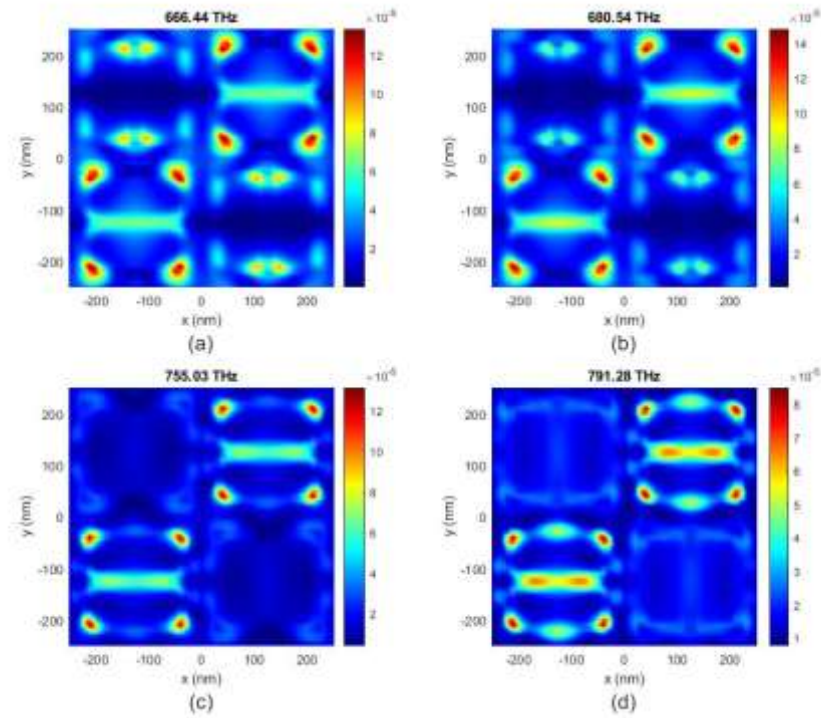


Şekil 5. 3. a) Dielektrik tabaka kalınlığı (parametre h_2), b) rezonatör kalınlığı, (parametre h_3), c) şerit uzunluğu (parametre a), d) şerit genişliği (parametre n) için soğurum spektrumlarının değişimi.

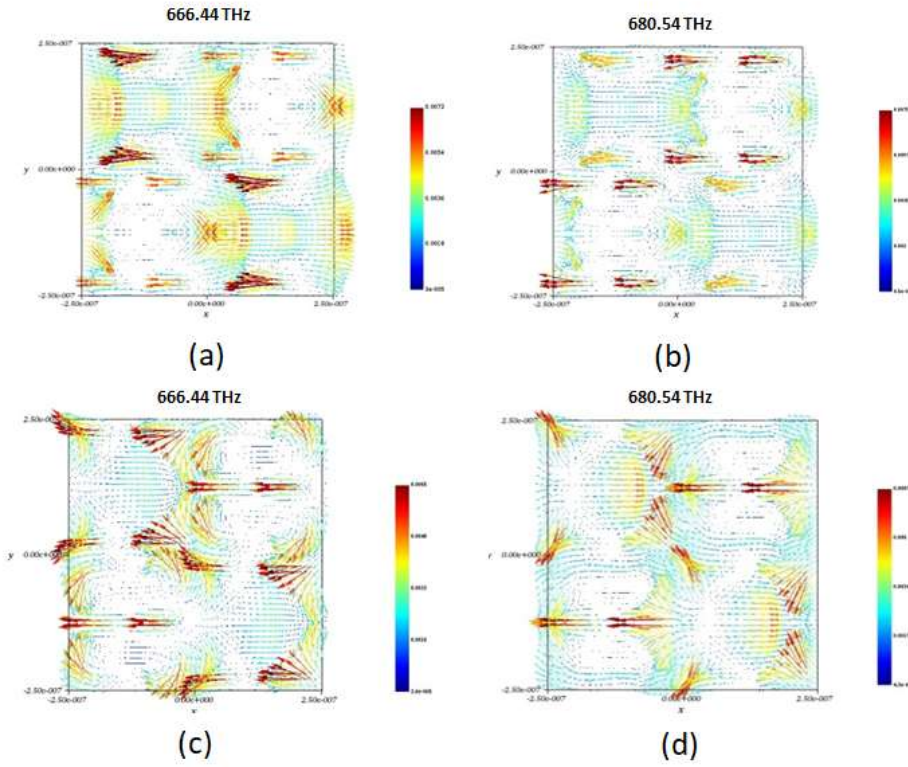
Ayarlanan rezonatör kalınlığı (h_3), Şekil 5.3 (b) 'de görülebilir, ince rezonatörler kullanıldığında yapı en düşük soğurumu sağlar. Bununla birlikte, kalınlıklar artırıldığında, farklı kalınlıklar için görünür ve bazı ultraviyole frekans bölgelerinin geniş bant frekans yerleri için soğurum büyüklüğü artırılır ve kalınlıklar (20nm) 'den daha fazla arttırıldığında çift bant olmaya başlar. Şekil 5.3 (c) 'den görülebileceği gibi, rezonanslar ayrıca şeritlerin uzunluğuna (parametre a) da bağlıdır, şeritlerin uzunluğu, 220 nm'den küçük ve daha büyük uzunluklar bir manyetik tepki oluşturmak için yeterli değildir ve 200nm olunca geniş soğurucu hale getirilir. Ek olarak, şerit genişliğinin ayarlanması için soğurum spektrumları gösterilmiştir. Şekil 5.3 (d) 'den de anlaşılacağı gibi. Bunun ayarlanması (parametre n), (20nm) 'den daha fazla artarsa ikili olmaya başlar. Ve “ n ” küçük değerlere (10 nm gibi) ayarlandığında, rezonatörün genişliği metalik rezonatörlerin neden olduğu mükemmel soğurucu tepkiyi oluşturmak için yeterli olmaz. Önerilen MPA tasarımının soğurucu mekanizmasının arkasındaki fiziği açıklamak için, sırasıyla 666.44, 680.54 THz, 755.03 THz ve 793.3 THz'nin dört rezonans frekansı için elektrik ve manyetik alanlar göz önünde bulundurulur (Şekil 5.4 (b) 'de ve E-alanları). Tüm rezonans frekanslarında da belirtildiği gibi, güçlü elektrik ve manyetik alanlar, cam kayıplı bir tabaka ve elektrik polarizasyonu meydana getiren rezonatörlerle çevrili yerleştirilmiş dielektrik tabaka yüzeyinde dağılır.



Şekil 5. 4. Önerilen MPA pil ünitesi için rezonans frekanslarında elektrik alanlarının dağılımı: (a) 666.44, (b) 680.54 THz, (c) 755.03 THz ve (d) 791.28 THz.

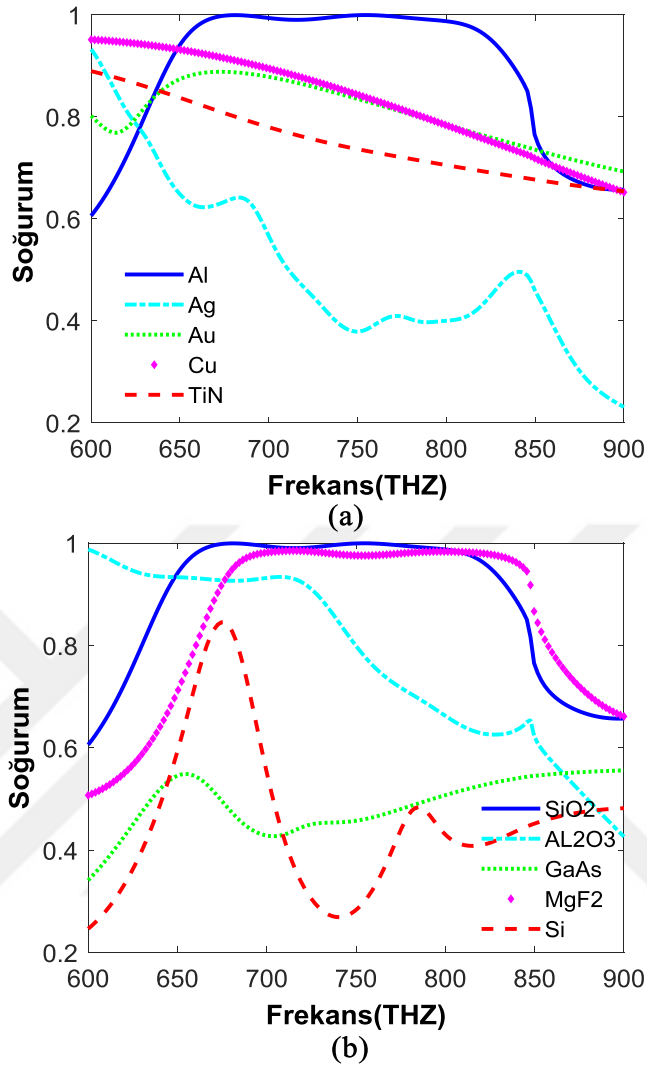


Şekil 5. 5. Önerilen MPA pil ünitesi için rezonans frekanslarındaki büyüklük dağılımları: (a) 666.44 THz, (b) 680.54 THz, (c) 755.03 THz ve (d) 791.28 THz.



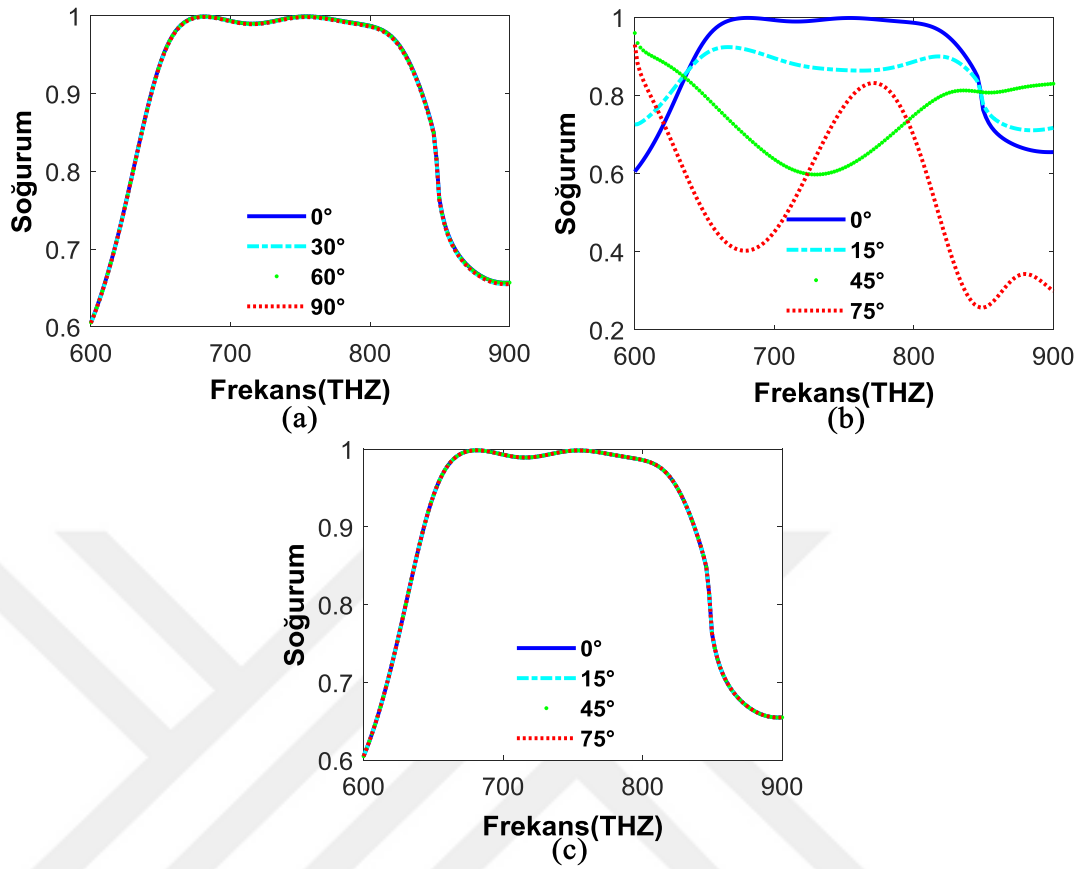
Şekil 5. 6. Rezonans frekanslarında yapının yüzey akımı dağılımları: (a) 666.44 THz, (b) 680.54 THz, (c) 755.03 THz ve (d) 791.28 THz.

Güçlü simetrik, antisimetrik ve kare yüzey akımları, Şekil 5.6'dan gözlemlenen dağılımları gösterir. Rezonatör tabakasının bir dielektrik aralayıcı ve yer düzlemi ile birleştirilmesiyle başlandı. Bu yüzey akımları, sırasıyla 666.44, 680.54 THz, 755.03 THz ve 793.3 THz frekanslarında elde edilen geniş bant mükemmel r soğurucularından sorumludur. Tüm rezonans frekansları için bir birim soğurucu oranına yakın bir değer elde edilmesine rağmen, 755.03 THz'de gözlenen en yüksek soğurum , bu frekansta tespit edilen kare şerit rezonatörleri etrafındaki dağılımların kuvvetli yüzey akımları ile doğrulanabilir, bakınız Şekil 5.6 (c).



Şekil 5. 7. a) Farklı metaller kullanılarak önerilen MPA yapısının simüle edilmiş soğurucu sonuçları b) Farklı dielektrik aralayıcı kullanılarak önerilen MPA yapısının simüle edilmiş soğurucu sonuçları.

Şekil 5.7 (a) 'da, çeşitli metaller için simülasyon sonuçları tasvir edilmiştir. Şekil 5.7 (a) 'da, kullanılan metallerde soğurum oranı, alüminyum için gözlenen en yüksek soğurum oranı ile farklıdır. Ek olarak, metalizasyondaki değişiklikle soğurucu spektrumları azalır. Malzemelerin dielektrik sabitleri Palik'ten alınmıştır [55]. Dielektrik aralayıcının önerilen MPA yapısının soğurucu özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak için çeşitli dielektrik aralayıcılar (SiO_2 , Al_2O_3 , GaAs, MgF_2 ve Si) kullanılmıştır. Bakınız Şekil 5. 7. (b). Farklı dielektrik aralayıcı (SiO_2 , Al_2O_3 , GaA, MgF_2 ve Si) için yapının soğurucu (A) spektrumları Şekil 5.7 (b) 'de verilmiştir. Şekil 5.7 (b) 'den, tüm yapıların mükemmel soğurucu tepki vermediği görülmektedir. SiO_2 dielektrik de aynı şekilde soğurum oranı geniş bant frekansı için tama yakındır.



Şekil 5. 8. a) Çeşitli polarizasyon açıları için soğurucu spektrumları b) TE modu için çeşitli geliş açıları için soğurucu spektrumları (θ) c) TM modu için çeşitli geliş açıları (ϕ) için soğurucu spektrumları.

Son olarak, önerilen MPA yapısının dağılımların kaynağına göre soğurucu özelliklerini açıklamak için, sayısal simülasyon çeşitli polarizasyon açıları altında gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.8 (a) 'da, polarizasyon açılarının aşırı değer aralığı için soğurucu hızı düzenli olarak devam eder. Bundan başka, TE olay dalgası için Şekil 5.8 (b) 'den gözlemlenebileceği gibi, soğurucu bant genişliği TE'nin geliş açısı (θ) 0° den 75° 'ye yükseltilecek şekilde azalır. TM durumunda, önerilen MPA pil ünitesinin yüksek simetrisi nedeniyle Şekil 5.8 (c) 'den de fark edilebileceği gibi, soğurucu hızı, TM (ϕ) radyasyonların asal değerlerinin aşırı değer aralığı için değişmeden kalır. TM radyasyonlarının geliş açısını 0° ila 75° arasında değiştirerek, soğurucu sonuçları her durumda yüksek ve sabit kalır.

5.4. Sonuç

Bu yazıda, geniş bantlı bir MPA sunulmuş, simüle edilmiş ve soğurucunu için karakterize edilmiştir. İlk olarak, soğurum seviyeleri (% 99), 666.44 THz ila 791.28 THz'den başlar. En yüksek soğurum değeri (% 99.94), 755.03THz'de elde edilir ve en yüksek ikinci soğurum değeri (% 99.93) 680.54THz'de elde edilir. Bunlar görünür ve morötesi bölgesi için soğurum ve yansıma spektrumları kapsamındadır. İkincisi, önerilen MPA parametresi dielektrik katman kalınlığı (parametre h_2), rezonatör kalınlığı, (parametre h_3), şerit uzunluğu (parametre a) ve şerit genişliği (parametre n) için ayarlanabilirliği araştırdı. Üçüncü olarak, önerilen MPA'ların soğurucu mekanizmasını açıklamak için, elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı dağılımları incelenmiştir. Dahası, önerilen yapı metalik ve dielektrik aralayıcı farklı malzemeler altında soğurucu özelliği için test edilmiştir. Sonunda, önerilen yapı (TE ve TM radyasyonu) ve polarizasyon için farklı geliş açıları altında soğurucu karakteristiği test edilerek araştırılmıştır. Ayrıca, güneş enerjisi spektrumu için soğurum bandının arttırılması, güneş hücre verimliliğinin arttırılması için gereklidir.

6. BÖLÜM

GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI İÇİN ÇOKLU-BANT METAMALZEME SOĞURUCU TASARIMI

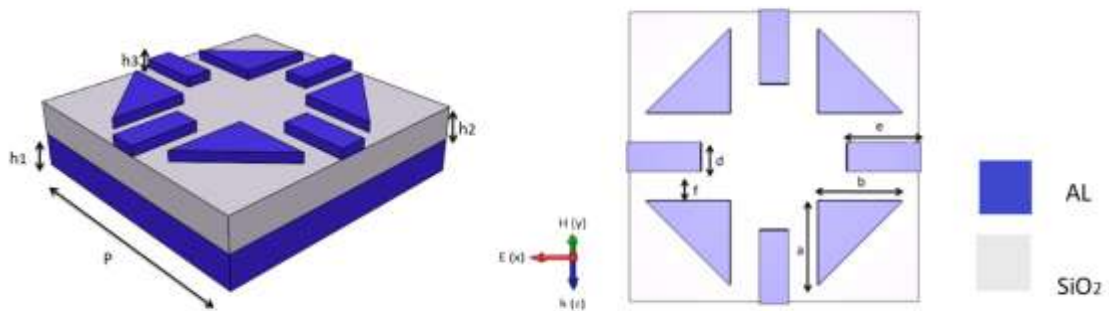
6.1. Giriş

Bu bölümde metamalzeme soğurucun metodolojisini elde etme ve analiz etmeye giriş yapılmaktadır. Çok bantlı soğurucuların çalışma mekanizmasını ortaya çıkarmak için çok bantlı metamalzeme soğurucu malzeme stilleri oluşturmanın mantıklı bir yolunu sunmak önemlidir. Üst frekanslar alan birimi için çok bantlı veya geniş bantlı metamalzeme soğurucu oluşturma, birincil olarak, çok sayıda katmanın birleştirilmesi veya yanal yönlerde çok sayıda iletken olmayan materyal kullanılmasıyla üretilir. Bunu göstermek için He ve ark. sayısal olarak tartışılmaz, tamamen başka bir iletken olmayan sabitler ile 3 çift metal iletken olmayan katman eklenerek üretilen ultra geniş bantlı, metamalzeme soğurucu birleştirir. Sayısal olarak, polarizasyon duyarlı stilin ultra geniş bant soğurucu sonucunu görünür bölge ile ilişkilendirdiğini belirler. Bununla birlikte, büyük geniş frekanslar için, çok bantlı soğurucu malzeme topolojisini yapmak üzere 3 kat metamalzeme soğurucu stilinde derinlikli bir araştırma yapılmamıştır. Bu bölümde, yedek çok bantlı metamalzeme soğurucu malzeme stili (yalnızca 3 katmandan oluşur) sunulur ve bu nedenle çok bantlı topoloji, şeritler ve üçgenler rezonatörüyle yapılır. Çoklu bant topolojisini bilmek, karakterize etmek ve yazmak için, farklı şekil rezonatörünün spesifik sonuçları ve ayrıca yapı ölçüsünün geometrik parametrelerinin incelenmesi çalışılmıştır.

6.2. Tasarım ve Simülasyon

Önerilen metamalzeme soğurucu ünite hücre üç katmandan oluşur; bunlar tepede rezonatörler, bir silikondioksit (SiO_2) aralayıcı katman ve bir substrat olarak alüminyum katmandır. Substrat, tasarım yoluyla iletimi önlemek için kullanılır, çünkü bu tabakanın

kalınlığı analiz edilen frekans aralığındaki rezonatörlerin cilt derinliğinden daha büyüktür. Yapıda Al tabakaları metalik parçalar olarak kullanılırken, silikondioksit (SiO_2) metalik tabakalar arasında bir aralayıcı olarak kullanılır. Topolojik fenomen ve tasarımın benzersizliği, üst Al katmanlarının, geometrilerin ve düzenlemelerin oryantasyonu ile ortaya çıkmıştır. Rezonatör, şeritler ve üçgenler olarak tanımlanabilen çeşitli geometrik konfigürasyonlara sahiptir. Geometrik parametreler ve bu parametrelere sembolik harfler Şekil 6.1'de verilmiştir. Her bir boyutla ilgili değerler Tablo 1'de gösterilmektedir. Üçgenlerin ve şeritlerin her biri, bir sonraki bölümde ele alınacak olan farklı frekans pozisyonlarında çok bantlı soğurucu rezonanslarının oluşumuna yol açar. Birleştirilmiş rezonatör üçgenleri ve şeritlerinin olması, bu üçgenlerin her birinin bireysel soğurucu tepkisine yol açar ve belli bir frekansı çıkarır. Üçgenlerin ve şeritlerin Al parçacıklarının soğurum spektrumuna katkısı bir sonraki bölümde incelenecektir.



Şekil 6. 1. Tanıtılan soğurucunun ünite hücre tasarımı

Pil ünitesini karakterize etmek için sayısal simülasyonlar yapılmıştır. Sayısal simülasyonlar, sonlu fark zaman bölgesi (FDTD) metodu [63] kullanan ticari bir yazılım kullanılarak analiz edilir. Sayısal analizlerde SiO_2 ve Al, frekans bağımlı elektrik parametreleri dikkate alınarak Palik'in kitabından çıkardığı simülasyon yazılımına modellenmiştir [55]. Simülasyonlar sırasında, olaydaki elektromanyetik dalga için uygun polarizasyon ve uygun sınır koşulları kullanılır. Tüm sayısal analizler, aksi belirtilmediği sürece enine elektromanyetik (TEM) radyasyon altında gerçekleştirilir. Soğurum spektrumu yansıma ve iletim spektrumu $A(\omega) = 1 - R(\omega) - T$

(w) denkleminde hesaplanır. Burada $A(w)$, $R(w)$ ve $T(w)$ sırasıyla frekansa bağlı soğurum, yansımaya ve iletimi gösterir. Substrat, rezonatörün cilt derinliğinden daha kalın olduğunda, zemin katmanı optik olarak opak hale geldiğinden $T(w)$ göz ardı edilebilir. Bu durumda, denklem $A(w) = 1 - R(w)$ olarak kısaltılır. Bu nedenle, soğurum spektrumu, sayısal analizlerden toplanan saçılma parametresi kullanılarak hesaplanabilir.

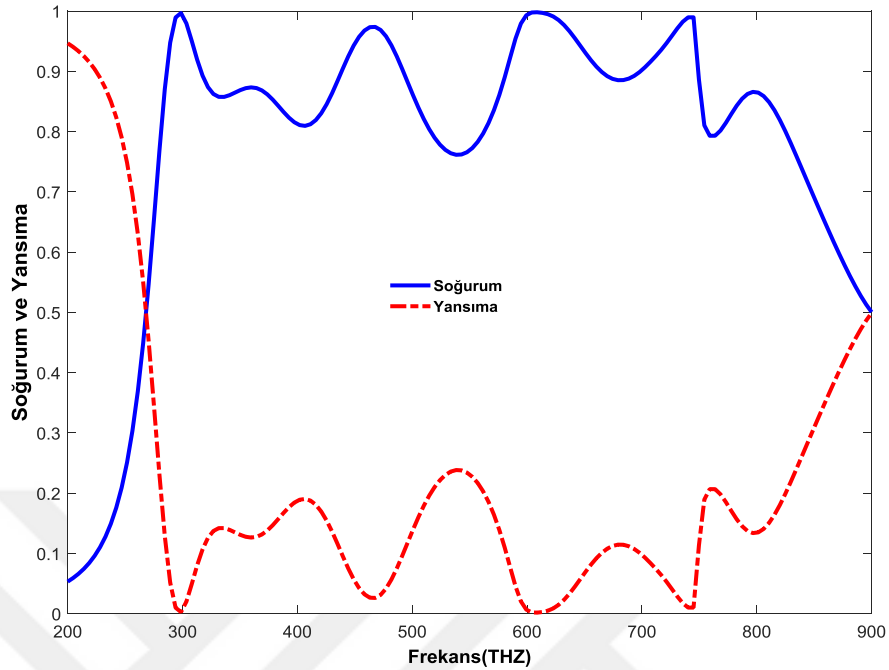
Tablo 6. 1. Yapının geometrik parametreleri

Parameter	P	h_1	h_2	h_3	a	b	d	e	f
Value(nm)	400	50	50	15	115	115	40	100	40

Güneş radyasyonu, yakın kızılötesi ile morötesi bölgesine kadar 100 THz ve 1000 THz aralığındadır. Görünür frekans bölgesindeki yüksek güneş ışınımı nedeniyle, analizler genellikle bu bölgede yapılır. Bununla birlikte, önerilen yapının morötesi ve kızılötesi bölgelerdeki yansımaya ve soğurum spektrumu ayrıca aşağıdaki bölümlerde belirtilmiştir.

6.3. Sonuçlar ve Tartışma

Önerilen soğurucu yapı, Şekil 6.2'de gösterilen kızılötesi ile morötesi frekans bölgesi aralığında altı soğurucu tepe noktasına sahiptir. Tablo 6.1'de verilen optimize edilmiş parametreler kullanıldığında, soğurum genlikleri 298.66 THz, 359.732 THz, 467.79 THz, 608.73 THz, 744.966 THz ve 796.64'te sırasıyla % 99.67, % 87.34, % 97.36, % 99.8, % 98.96 ve % 86.59'dur. Bu rezonans frekanslarının kaynağını derinlemesine anlamak için, yukarıda belirtilen frekanslarda alan dağılımları kadar, her üçgenin ve şerit rezonatörünün bireysel reaksiyonları incelenir ve çok bantlı topoloji ortaya çıkar. Ayrıca, rezonans modlarının ve geometrik değerler üzerindeki soğurucu amplitüdlerinin bağımlılıkları da soğurucu fenomenine daha iyi bir bakış açısı kazandırmak ve çok bantlı topolojiyi gerçekleştirmek için araştırılır.

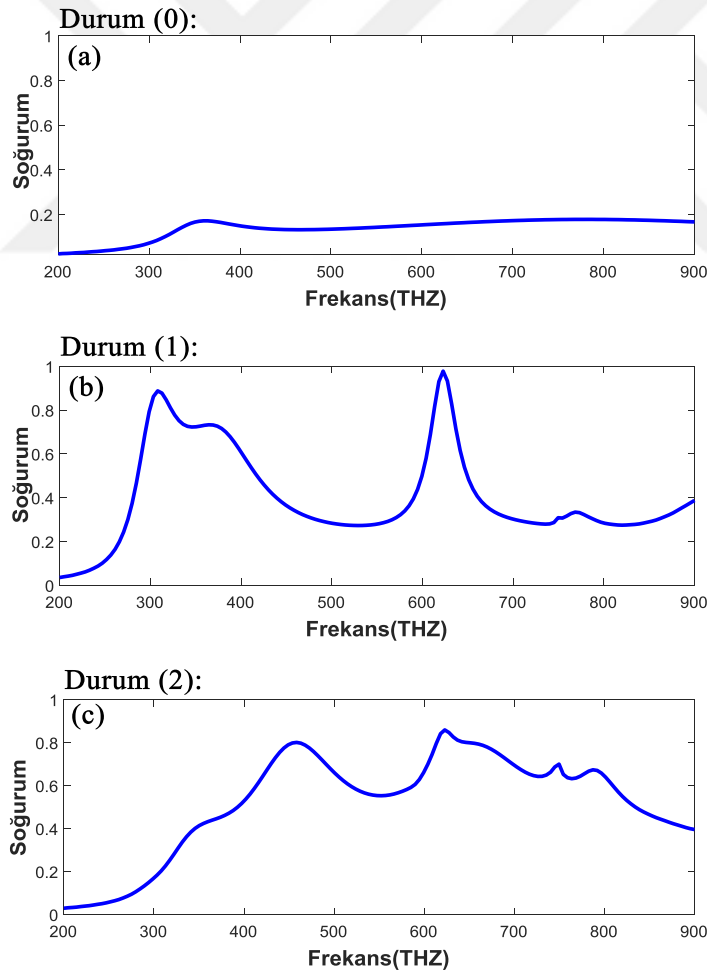


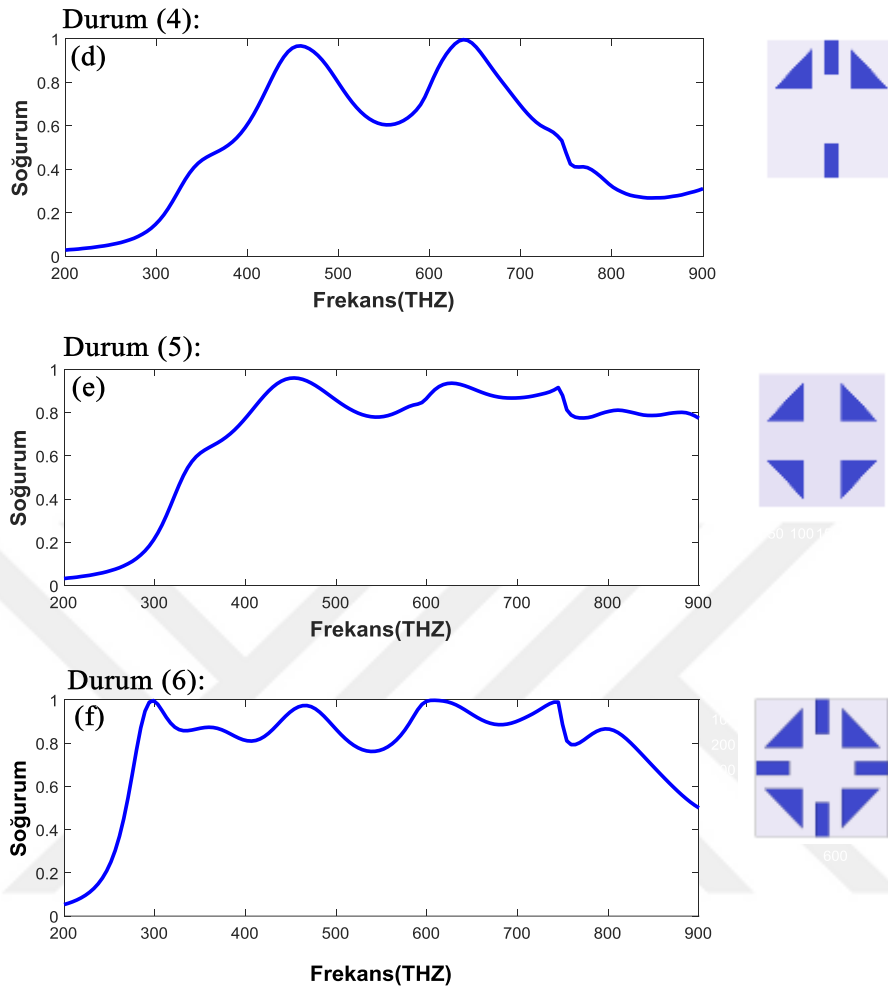
Şekil 6. 2. Önerilen soğurucunun soğurma spektrumu. $a = 115$ nm, $b = 115$ nm, $e = 100$ nm, $d = 40$ nm, $h_1 = 50$ nm, $h_2 = 50$ nm, $h_3 = 15$ nm ve $p = 400$ nm.

6.4. Çoklu-bant Topolojisi

Bu bölümde, önerilen metamalzeme soğurucunun soğurma özellikleri ve rezonatör üçgenlerinin ve şeritlerin her birinin soğurma moduna katkısı araştırılmış ve simüle edilmiştir. Farklı üçgen ve şeritlerin kombinasyonunun bireysel soğurucu reaksiyonları, Şekil 6.3'de gösterilmiştir. Durum (0), Şekil 6.3 (a), rezonatörler tasarımda kullanılmadığında soğurucu tepkisini göstermektedir. Bununla birlikte, tasarımın daha düşük bir soğurucu genliği ile geniş bir bant soğurucunu sonucu ortaya çıkardığı açıktır [64]. Üçgen ve şeritlerin her birinin bir araya getirilen soğurma spektrumlarını ortaya çıkarmak için, her bir kombinasyon yapıya ayrı olarak dahil edilir ve elektromanyetik tepkiler elde edilir. İlk olarak, 4 şerit bir araya getirilmiş durumda (1), çift bant tepkisi görülmektedir (Şekil 6. 3. (b)). Durum (2) de, bu rezonansların bu kombinasyonu değiştirildiğinde, (Şekil 6. 3. (c)), iki üçgen ve şeridin rezonansı aynı taraftır ve bir başka iki aynı rezonans başka bir taraftır. Burada, soğurucu çok-bantlı dört tepe soğurumdur ve 4 şeridin bir araya getirilmesinden daha düşüktür, (Şekil 6. 3. (c)), Durum (3), köşelerde iki üçgenin aynı şeride sahip olduğu üçgen yan ve bir diğer tarafta bir şerit (Şekil 6. 3. (d)), Açıkçası çok bantlı rezonansın (Şekil 6. 3. (c)) iki tepeye

ayrıldığı ve bir çift-bant cevabı oluşturduğu açıkça tespit edilebilir. Etkileşim nedeniyle soğurum seviyesinin de arttığına dikkat edin. Bu birleşiklerin tepkisi dikkate alındıktan sonra, durum (4), birleştirilen 4 üçgen birlikte olduğunda, bu rezonatörlerin etkisi (Şekil 6. 3. (e)), 'de gösterilmiştir. Buradan görülebileceği gibi, üç tepe soğurum ile yeni bir çoklu bant ortaya çıkmıştır. Metamalzeme elemanlarının farklı şekil sonuçları incelendikten sonra, tüm üçgenler ve şeritler tek bir pil ünitesinde birleştirilir [65]. Son durum için, durum (5), bu birleşik, kızılötesi ile morötesi bölgesine kadar olan 290 THz ve 800 THz arasındaki aralığı kapsayan çoklu bant üretir. Soğurum seviyeleri, 298.66 THz, 359.732 THz, 467.79 THz, 608.73 THz, 744.966 THz ve 796.644 THz'de sırasıyla % 99.67,% 87.34,% 97.36,% 99.8,% 98.96 ve% 86.57'dir. Soğurum spektrumu şekil 6.3.(f)'de verilmiştir.

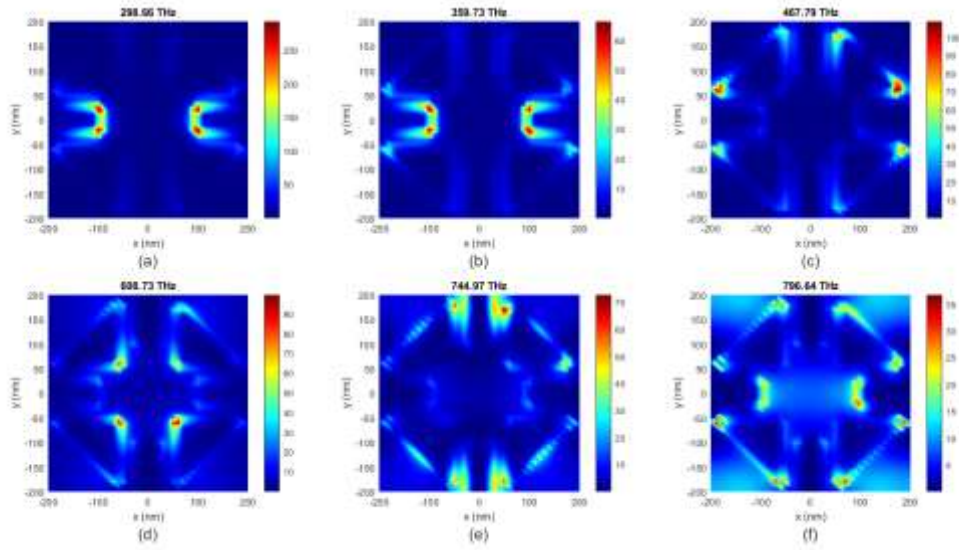




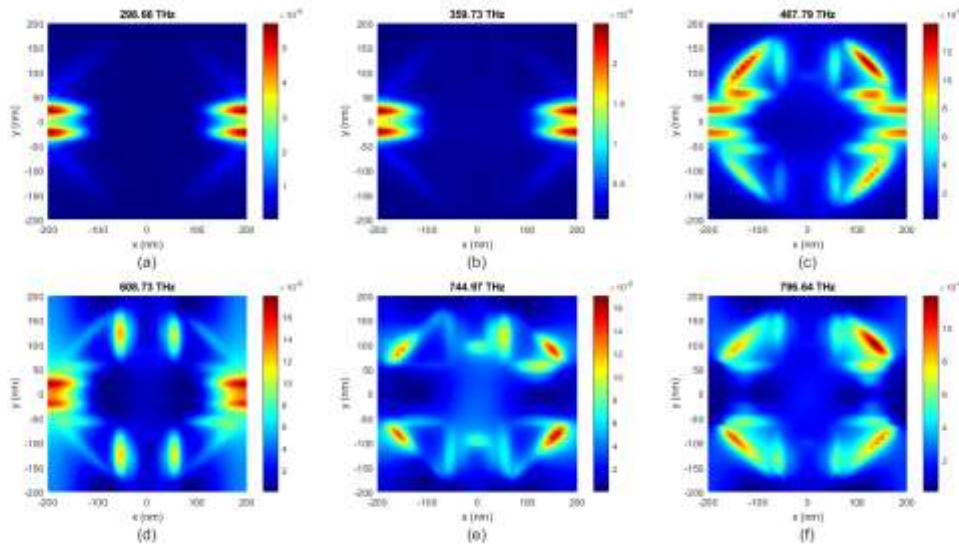
Şekil 6. 3. Tasarımın farklı geometrik yapıları için soğurum spektrumları, (a) Rezonatörler olmadan, (b) sadece şerit rezonatörleri kullanılır, (c) sadece iki üçgen ve şerit farklı yan rezonatörleri kullanılır, (d) sadece iki üçgen ve aynı tarafta bir şerit ve farklı tarafta bir şerit rezonatörler kullanılır, (e) sadece üçgenler rezonatörleri kullanılır, (f) birleştirilmiş yapı.

Topoloji, rezonans modundaki soğurucun alan dağılımlarını simüle ederek de temsil edilebilir. Elektrik alan, manyetik alan ve yüzey akımı dağılımlarının tepkileri Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da sunulmuştur. buna göre. Elektrik alan, manyetik alan yüzeyinin ve akım dağılımlarının ilgili üçgen ve şeritlerin merkezinde sergilendiğine dikkat edin. 298.66 THz ve 359.732 THz'deki birinci ve ikinci rezonanslar için, elektrik ve manyetik alan orta iki şeridin etrafına yerleştirilmiştir. Etkili elektrik alanlarının uygulanması, alt Al plakasını ve orta iki şeridi birleştiren karşılıklı yükleri ayırdı. Bu birleştirme, manyetik cevabın kaynağını yapan dış ve orta iki şeridin (Şekil 6.6 (a, b)) çevresinde dönen bir akım profili oluşturdu. Bu nedenle, eşzamanlı olarak işaretlenmiş elektrik ve

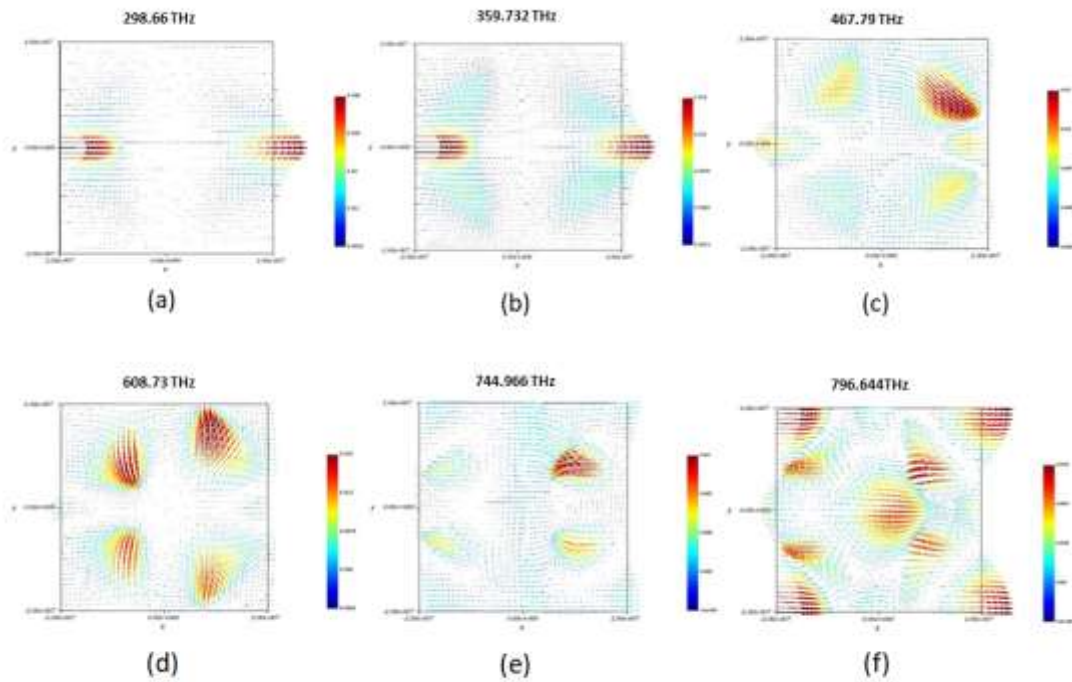
manyetik rezonanslar, mükemmel bir soğurucu üretir. Ayrıca, Şekil 6. 4'ten (a, b) ve Şekil 6. 5 (a, b) dış ve orta iki şerit ve diğer rezonatörler arasında küçük reaksiyonlar kaydedilmiştir. Bu küçük reaksiyonlar, bu frekanstaki soğurucu tepkisini etkilemiş ve iyileştirmiş olsa da, birinci ve ikinci rezonansların kaynağı, dış ve orta iki şeridin görünüşüdür. 467.79 THz'deki üçüncü rezonans ve 608.73 THz'deki dördüncü rezonans ile ilgili yanıtlar, elektrik ve manyetik alan dağılımlarının benzer karakterini sunmaktadır. Bununla birlikte rezonantlar için, soğurucu cevapları çeşitli rezonatör elemanlarından üretilmiştir. Üçüncü ve dördüncü rezonans esas olarak ortadaki iki şerit ve üçgen tarafından yaratılmıştır. Ayrıca, sadece yüksek yoğunluklu dağılımlar tanınmaz, ancak rezonatörler arasında daha küçük reaksiyonlar da Şekil 6.4 (b, c) ve Şekil 6.5 (b, c) 'de gösterilen alan dağılımlarından fark edilebilir. Beşinci ve altıncı rezonanslar için üçüncü ve dördüncü rezonanslardaki orta iki şerit ve üçgen aynı şekilde üretilir, ancak dış ve orta iki şerit arasındaki küçük reaksiyonlar Şekil 6.4 (e, f) ve Şekil 6.5(e, f)'de verilmiştir. Ayrıca, altıncı rezonans için, dönen akım döngüsü belirli bir konumda bulunmamaktaydı, ancak tüm yapı içinde düzenlenmiştir. Bu durum, bu rezonansın yapıların kendisinden etkilenmesini sağlar. Dördüncü rezonans için, antiparalel akım profili (Şekil 6.6 (e)) üçgenlerde tanınır. Bu ters-paralel akımlar manyetik yanıtı üretti. Ayrıca, şeritlerin ve üçgenlerin etrafındaki elektrik ve manyetik alan, birinciden altıncıya kadar olan rezonansların soğurum seviyesinin iyileştirilmesini sağlar. Bu reaksiyondan dolayı (Şekil 6.3 (a) 'da verilen) soğurum spektrumları altıya ayrılır ve 298.66 THz, 359.732 THz, 467.79 THz, 608.73 THz, 744.966 THz ve 796.64 THz'de sırasıyla % 99.67,% 87.34,% 97.36,% 99.8,% 98.96 ve% 86.59 seviyelerine yükselir. Çünkü bu sonuçlar yukarıdaki sonuçlar ve açıklamalar ile düzenlidir. Bu nedenle çoklu bant topolojisi yaratılmıştır.



Şekil 6. 4. Yapının elektrik alan dağılımları a) 298.66 THz, (b) 359.732 THz, (c) 467.79 THz, (d) 608.73 THz, (e) 744.966 THz, (f) 796.644THz.



Şekil 6. 5. Yapının manyetik alan dağılımları a) 298.66 THz, (b) 359.732 THz, (c) 467.79 THz, (d) 608.73 THz, (e) 744.966 THz, (f) 796.644THz.

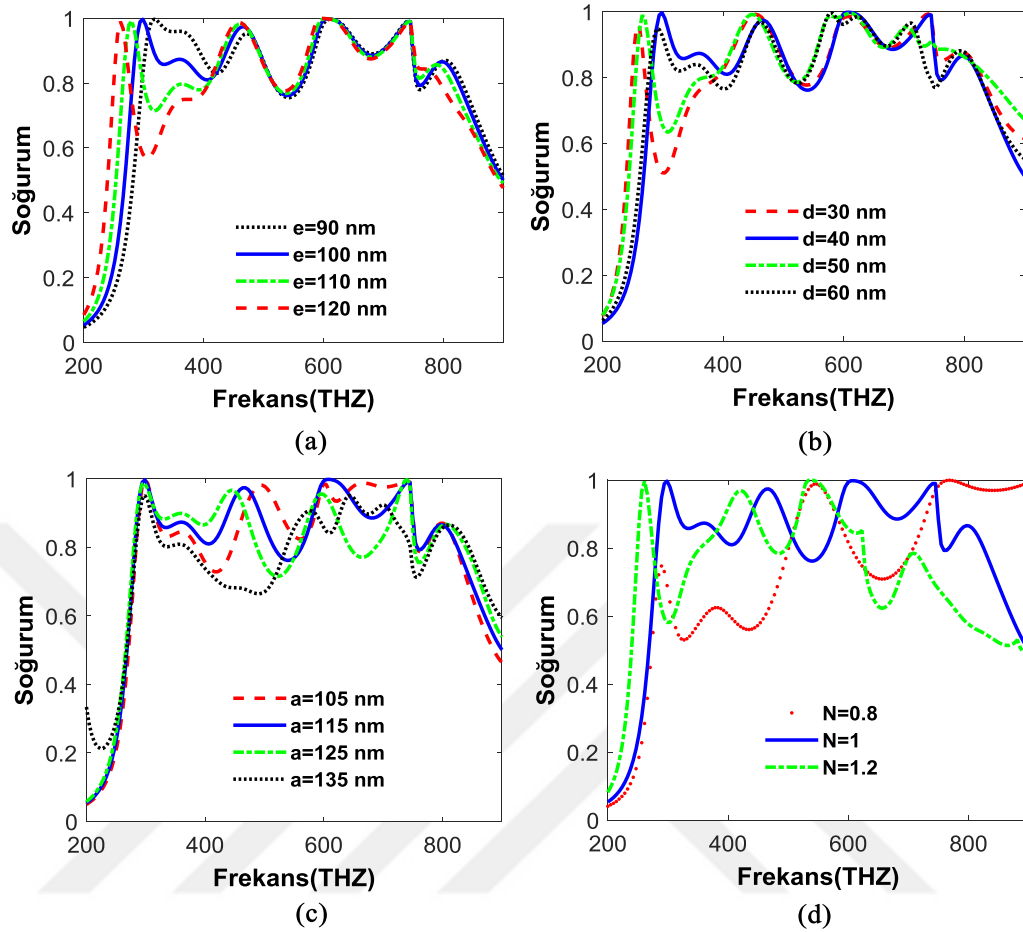


Şekil 6. 6. Yapının yüzey akımı dağılımları a) 298.66 THz, (b) 359.732 THz, (c) 467.79 THz, (d) 608.73 THz, (e) 744.966 THz, (f) 796.644THz.

6.5. Soğurucu cevabına geometrik etkiler

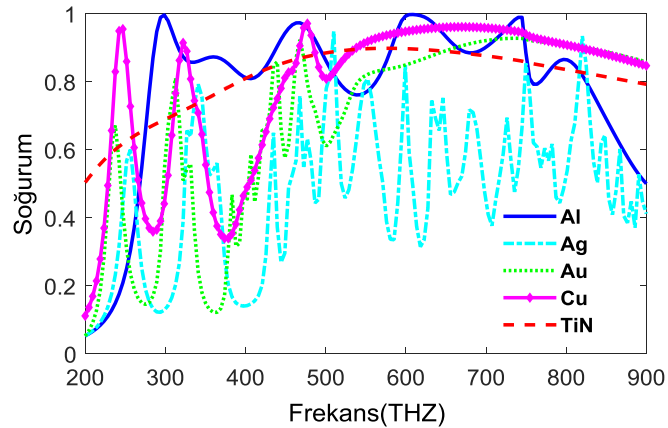
Geometrik parametrelerin, soğurucun soğurma özellikleri üzerindeki etkilerini açıklamak için, soğurma kuvvetine olan güven ve geometrik parametreler üzerindeki rezonans frekansları incelenmiştir. soğurucu özellikleri, rezonatörlerin boyutları olan çeşitli kritik parametreler (parametre a, parametre b, parametre d, parametre e), dielektrik kalınlık (parametre h_2) ve yapının periyodikliği (parametre p) hakkında bilgi edinmek için seçilir ve bu parametreler ayarlandığında (diğer parametreler sabit tutulurken) soğurma spektrumlarının çeşitliliği incelenir. Şeritlerin ve üçgenlerin boyutları bu soğurucu tasarımda kritik bir performansa sahiptir. Buna göre, şeritlerin ve üçgenlerin boyutları, her şerit ve üçgenlerden bir rezonans elde etmek amacıyla doğru bir şekilde alınır. Şeritlerin ve üçgenlerin boyut çeşitliliği için tepkiler, Şekil 6.7'de (a-c) gösterilmektedir; Şekil 6.7 (d), x ve y yönlerindeki tüm boyutlar, belirlenen bir N hızıyla eşzamanlı olarak ayarlandığında, soğurma spektrumunun çeşitliliğini temsil etmektedir. Belirtilen şekiller için, mavi eğriler istenen soğurma hızı yanıtlarını ifade eder. Çünkü, mükemmel soğurucu için, bu geometrik parametreler en iyi parametreler

olarak alınır. Şeritlerin uzunlukları 90 nm'den 120 nm'ye yükseltirirken, rezonantın emme hızının sol kısmına hareket ettiği açıktır (Şekil 6. 7 (a)). Bu kırmızı kayma bu süreçte görünürken “e” parametresi 100 nm olarak seçildiğinde, ilk rezonansın ikinci rezonant kısmında aktarıldığı fark edilebilir. Daha önce tarif edildiği gibi, birinci ve ikinci rezonans, şeritlerin bir sonucu olarak oluşur. İlgili özellikler, Şekil 6.7 (a) ve Şekil 6.7 (b) 'de görülebilir; burada rezonansın, soğurum hızının (siyah vardiya) sol tarafına kaydığı, ancak diğerleri çok fazla etkilemediği açıktır. Şeritlerin genişliği 30 nm'den 60 nm'ye yükseltildiği ve parametreler ($d = 60$) olduğunda, mavi eğrinin aynı bölümünde ($d = 40$) geri çekilir. Bu koşullar altında, şeritlerin boyutlarının, spektrumun farklı kısmında rezonans oluşturmak için önemli olduğu açıktır. Üçgenlerin uzunlukları 105 nm'den 135 nm'ye yükseltildiğinde, “a” parametresi, rezonansın soğurucu oranının bir kısmı azaldığı, diğerleri ise (ilk ve son rezonans) çok fazla etkilemediği açıktır (Şekil 6. 7 (c)). Bu koşullar altında, üçgenlerin boyutlarının rezonansları oluşturmak için gerekli olduğu açıktır. Şekil 6. 7 (a-c) için en iyi boyutlar, her bir şeridin ve üçgenin en iyi boyutları olarak seçilmiştir, çünkü SiO₂ katmanını x ve y yönlerinde geçirirken boyutlarda daha fazla gelişme potansiyeli yoktur. Bu amaçla, tüm parametreleri x ve y-z yönünde eşzamanlı olarak ayarlayan “N” parametresi belirlenir. Bu parametreye verilen yanıtlar Şekil 6.7 (d) 'de sunulmuştur. Boyutları 0,8 oranında azaltmak, pil ünitesinin boyutunu düşürür ve rezonans frekansındaki ve soğurucu kuvvetlerindeki değişimi etkiler. Son olarak, bu durum soğurucu kuvvetlerinin azalmasına ve rezonans frekanslarının kırmızıya kaymasına neden olur. Dahası, boyutları 1,2 katına çıkarmak, ikinci ve beşinci rezonansları yok eder ve üçüncü ve altıncı rezonansların soğurum seviyesini azaltır.

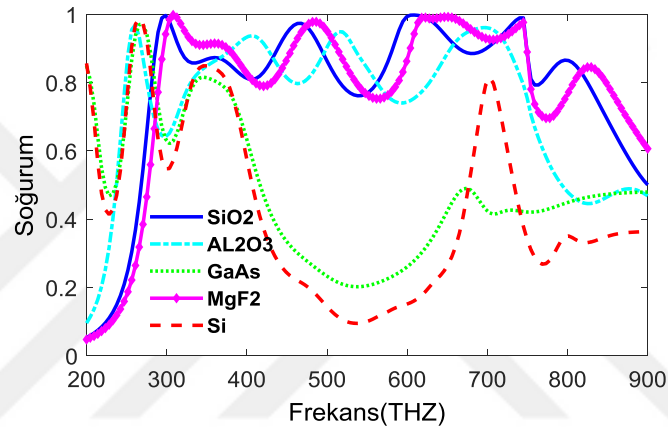


Şekil 6. 7. Soğurum spektrumlarının değişimi a) Şeridin uzunluğu (parametre e), b) şeridin genişliği (parametre d), c) Üçgen kaburga uzunluğu (parametre a), d) Tüm boyutlar değiştiğinde (parametre N).

Farklı dielektrik aralayıcı (SiO_2 , Al_2O_3 , GaAs , MgF_2 ve Si) için yapının soğurum (A) spektrumları Şekil 6.8 (a) 'da verilmiştir. Tüm yapılar, soğurucu oranının çok bantlı frekans için tama yakın olduğu SiO_2 dielektrik hariç mükemmel soğurucu vermez. Önerilen tasarım çeşitli materyaller (altın, bakır, gümüş ve alüminyum) için incelenerek metaliklerin yerine kullanılmış materyallerle incelenmiştir. Şekil 6.8 (b) 'de verilmiştir. MPA'yı imal etmek için metal seçimi, bir MPA'nın yüzey plazmaları üretme kabiliyeti ve stimülasyonun mükemmel bir soğurucu üretmek için yeterince güçlü olup olmadığından çok önemlidir.



(a)



(b)

Şekil 6. 8. a) Farklı metaller kullanılarak önerilen MPA yapısının uyarılmış soğurucu sonuçları b) Farklı dielektrik aralayıcı kullanılarak önerilen MPA yapısının simülasyon sonuçları.

6.6. Sonuç

Bu çalışmada, sadece üç etkili katmanın bir araya getirilmesiyle yaratılan bir metamalzeme soğurucu için yeni tasarım sunulmuştur. Aksi takdirde, birçok tasarım, esasen birçok katmanın bileşiği tarafından tanıtılmıştır. Çok bantlı rezonantın incelenmesi ve karakterizasyonu gerçekleştirilir ve çok bantlı topoloji belirlenir. Ayrıca, rezonantın kaynakları, soğurucunu rezonans frekanslarındaki alan dağılımları incelenerek doğrulanır. Soğurucu davranışını iyi açıklamak için, soğurum oranının geometrik parametrelere olan bağımlılığı da sergilenir. Etki olarak, önerilen tasarım polarizasyon ve geliş açısına yardımcı olur ve önerilen çok bantlı metamalzeme soğurucu tasarım, algılama uygulamalarında, güneş ışımalarının soğurucu unda, algılamada ve güneş spektrumunda uygulama için harika bir başvuru adresi olabilir.

7. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Tartışma-Sonuç ve Öneriler

Nüfus artışının ve sanayi gelişiminin artması, enerjiye olan ihtiyacın artmasına neden olmuştur ve bir nesil ve sadece bir nüfus 2 milyar kişi artmıştır ve onlar için enerji ikilemleri ve çözümleri, 21. yüzyılda sıra dışı konulardır ve bu nedenle enerji gereksinimlerini hızla arttırır. Bu konuda en yaygın çözümlerden biri güneş enerjisidir. Solar PV, verimli bir şekilde güneş enerjisi elde etmek için en iyi cihazdır. Yine de, bu teknolojilerin etkinliği yetersizdir. Güneş hücrenin soğurucu kapasitesinin arttırılması, etkinliklerinin arttırılması ile sağlanacaktır.

Bu tezde, farklı frekans aralığında (% 99) üzerinde olan yeni bir tasarım metamalzeme mükemmel soğurucu (MPA) tanıtıldı. Plazmonik rezonans özellikleri tasarım ve optimizasyon değiştirilerek elde edilir. Yapıdaki geometrik boyutların değiştirilmesi rezonans frekansını etkileyen ana parametrelerdir.

Belirli parametreleri ayarlayarak, modelin optik tepkisi iyileştirilir. Modelin optik cevabını elde etmek için parametrik bir çalışma elde edilmiş ve dikkate alınmıştır. Tez başlangıcında, şerit tipi rezonatörlerin bileşiği olan tek bir bant soğurucu sunulur. Daha sonra, çift-bant soğurucunu, şeridi farklı şekil rezonatörle değiştirerek elde edilir.

Bölüm 4'te gösterildiği gibi. Çok bant kullanılmıştır. Polarizasyon özellikleri incelendiğinde, mevcut parametrelerin geometrik parametre bağımlılıkları ve kısmi soğurma oranları da sunulmaktadır. Ek olarak, en uygun malzemeyi elde etmek için, tüm tasarımlar için en iyi soğurma oranını elde etmek üzere farklı malzemeler ayarlanmaktadır.

Tezde enerji elde etmek için kullanılan iki çeşit güneş hücre cihazı PV ve TPV'dir. TPV için bir geniş bant metamalzeme soğurucu, 5. bölümde sunulmuştur.

Bu teknolojinin çalışması, güneş spektrumunun üzerinde polarizasyon duyarlı özelliklere sahip olduğunu ve güneş spektrumunda soğurum oranlarının % 99'dan daha yüksek olduğu geniş bant sonuçları sunduğunu belirlemektedir.

Bu tezin asıl amacı, Bölüm 6'da tartışılan güneş spektrumunun görünür aralığında faaliyet gösteren geniş bantlı ve çok bantlı mükemmel bir metamalzeme soğurucu tasarlamaktır. Önerilen çok bantlı MPA, üçgen ve şerit rezonatörlerinden oluşuyordu. topolojiyi güneş spektrumuna yerleştirerek onaylandı, Bölümde gösterildiği ve üretilen elektromanyetik rezonans ve her rezonatör için çok bantlı soğuruculuğu rezonansı üretti ve bu rezonansların kombinasyonu, görünür frekans rejiminde neredeyse mükemmel soğuruculuğu rezonansı ile geniş aralıkta bir frekans soğuruculuğu tepkisi üretir.

7.2. Gelecek çalışmalar

Bu tez çalışmasında, metamalzeme soğurucu tasarımların sayısal ve teorik analizi başarıyla elde edilmiştir. Bununla birlikte, tasarlanan metamalzeme soğurucu modeller, pratik uygulamalar için tasarlananların güneş pilerine ulaşması ve deneysel karakterizasyonlar gelecekteki çalışma olarak yapılması planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

1. Wang, Y., Chang, Y., Yang, L., Wang., 2016. Performance analysis of solar thermophotovoltaic conversion enhanced by selective metamaterial absorbers and emitters. **International Journal of Heat and Mass Transfer** **98** (10): 788-798.
2. Energy Transfer Through the Atmosphere, Earth Science. [Online]. Available: http://gotbooks.miracosta.edu/earth_science/chapter5.html.
3. Yu, J., Wu, S., Liu, J., Xiong, C., Jagadish, M., Wang., 2016. Design and fabrication of silicon nanowires towards efficient solar cells. **Nano Today** **11** (6): 695-832.
4. Li, X., Ai, R., Wu, J., Chen, T., Jiang., 2019. Enhancement of multi-band absorption based on compound structure metamaterials. **Optics and Laser Technology** **115** (9) 239-245.
5. Cremer, E., Kraka., 1984. Chemical Bonds without Bonding Electron Density — Does the Difference Electron- Density Analysis Suffice for a Description of the Chemical Bond?, **Angewandte Chemie International Edition in English** **23** (8): 545-672.
6. Rosenberg, R., Shenoit., VanderveldeS, KrishnaO., Painter, 2009. A multispectral and polarization-selective surface-plasmon resonant midinfrared detector. **Applied Physics Letters** **95** (16): 850-853.
7. Islam, S., Iqbal Faruque, R., Islam, T., 2017. A dual-polarized metamaterial based cloak. **Materials Research Bulletin** **96** (3): 250-253.
8. Liu, K. et al., 2014. Super absorption of ultra-thin organic photovoltaic films. **Optics Communications** **314** (1): 48-56.
9. Enrichi, F., Quandt, A., Righini, C., 2018. Plasmonic enhanced solar cells: Summary of possible strategies and recent results. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** **82** (3): 2433-2439.
10. Donaldson, L., 2014. Metamaterial superlens benefits wireless power transfer. **Materials Today**.
11. Ma, W. et al., 2016. Diode-based microbolometer with performance enhanced by broadband metamaterial absorber. **Optics Letters** **41** (13): 2974-2977.

12. Li, S., Ai, X., Wu, R., Chen, J., 2018. Experimental demonstration of a metal–dielectric metamaterial refractive index sensor. **Optics and Laser Technology** **100** (1): 304-308.
13. Huang, Y., Kim, H., 2011. Dark-field microscopy studies of polarization-dependent plasmonic resonance of single gold nanorods: Rainbow nanoparticles. **Nanoscale** **41** (3): 2974-2977.
14. Tsakmakidis, L., Wuestner, S., Hamm, M., Pusch, A., Hess, O., 2013. From Loss-Compensation to Amplification and Lasing in Active Nanoplasmonic Metamaterials.
15. Yao, G., 2016. Dual-band tunable perfect metamaterial absorber in the THz range. **Optics Express** **24** (2): 1518-1527.
16. Hedayati, K., 2011. Design of a perfect black absorber at visible frequencies using plasmonic metamaterials. **Advanced Materials** **23** (45): 445-512.
17. Hou, Z., 2017. A Switchable Mid-Infrared Plasmonic Perfect Absorber with Multispectral Thermal Imaging Capability. **Advanced Materials** **27** (31): 4597-4603.
18. Zhou, Q., Cheng, J., Song, L., Lu, Z., Jia, J, Li., 2018. Broadband perfect infrared absorption by tuning epsilon-near-zero and epsilon-near-pole resonances of multilayer ITO nanowires. **Applied Optics** **57** (1): 102-111..
19. Bowen, T., A., Baron, D., Smith, R., 2016. Theory of patch-antenna metamaterial perfect absorbers, **Physical Review A**. **93** (3): 562-571.
20. Tran, C., 2018. Controlled Defect Based Ultra Broadband Full-sized Metamaterial Absorber. *Scientific Reports*. **8** (31): 2045-2322.
21. Li, T., Wu, W., Wang, J., Guan, Zhai, P., 2014. Integrating non-planar metamaterials with magnetic absorbing materials to yield ultra-broadband microwave hybrid absorbers. **Applied Physics Letters**. **104** (2): 0003-6951.
22. Fu, F., Liu, J., Ren., F., Su, D., Li, J., Yao, Q., 2018. A broadband metamaterial absorber based on multi-layer graphene in the terahertz region, **Optics Communications**. **417** (15): 62-66.
23. Bajpai, M., 2018. Surface plasmon enhanced organic solar cells using thermally deposited Au nanoparticles, in **AIP Conference Proceedings**. **2050** (1): 94-243.
24. Soheilifar, R., Sadeghzadeh, A., 2014. Design, fabrication and characterization of stacked layers planar broadband metamaterial absorber at microwave frequency,

- AEU - International **Journal of Electronics and Communications**. **69** (1): 126-132.
25. Shen, Y., Pang, Y., Wang, J., Ma, H., Bin Pei, Z., Qu., 2015.Ultrabroadband Terahertz Absorption by Uniaxial Anisotropic Nanowire Metamaterials, **IEEE Photonics Technology Letters**. **27** (21): 2284-2287.
 26. Wang., H.,, H., Alshehri., H., Su., L., Wang., 2018.Design, fabrication and optical characterizations of large-area lithography-free ultrathin multilayer selective solar coatings with excellent thermal stability in air, **Solar Energy Materials and Solar Cells**. **174** (33): 445-452.
 27. Rhee, Y., Yoo, J., Kim, W., Kim, J., Lee, P., 2014.Metamaterial-based perfect absorbers, *Journal of Electromagnetic* **Waves and Applications**. **28** (13): 0920-5071.
 28. Ma, B., 2014.Novel three-band microwave metamaterial absorber, *Journal of Electromagnetic* **Waves and Applications**. **28** (12): 0920-5071.
 29. Zhao, Y., Huang, Q., Cai, H., Lin, X., Lu, Y., 2018.A broadband and switchable VO₂-based perfect absorber at the THz frequency, *Optics Communications*. 426 : 0030-4018.
 30. Meng, T., Hu, D., Zhu, Q., 2018.Design of a five-band terahertz perfect metamaterial absorber using two resonators, **Optics Communications**. **415** : 151-155.
 31. Liu, Y., Zhang, X.,2011.Metamaterials: a new frontier of science and technology., **Chemical Society reviews**. **40**: 2494-2507.
 32. Sarychev., A.,K.,, V.,M., Shalaev., 2010.Electrodynamics of Metamaterials.
 33. Withayachumnankul., W.,, D., Abbott., 2009.Metamaterials in the terahertz regime, **IEEE Photonics Journal**. **1** (2): 99-118.
 34. Guo, L., Ma, X., Zou, Y., Zhang, R., Wang, J., D., Zhang, D., 2018.Wide-angle infrared metamaterial absorber with near-unity absorbance, **Optics and Laser Technology**. **98**: 247-251.
 35. Xu, C., Qu, S., Pang Y, 2018.Metamaterial absorber for frequency selective thermal radiation, **Infrared Physics and Technology**. **88**: 133-138.
 36. Ji, S., Jiang, C., Zhao, J., Zhang, X., He, Q., 2019.Design of a polarization-insensitive triple-band metamaterial absorber. **Optics Communications**. **432**: 65-70.

37. Zhang., J.,J.,., Z.,G., Qu., A., Maharjan., 2019.Numerical investigation of coupled optical-electrical-thermal processes for plasmonic solar cells at various angles of incident **irradiance**. **Energy**. **174**: 110-121.
38. Boriskina, S., Chen, G., 2014.Exceeding the solar cell Shockley-Queisser limit via thermal up-conversion of low-energy photons. **Optics Communications**. **314**: 71-78.
39. Aslan, E., Aslan, E., Turkmen, M., Saracoglu, O., 2017.Experimental and numerical characterization of a mid-infrared plasmonic perfect absorber for dual-band enhanced vibrational spectroscopy. **Optical Materials**. **73**: 213-222.
40. Luo, Y., 2019.Ultra-broadband and high absorbance metamaterial absorber in long wavelength Infrared based on hybridization of embedded cavity modes. **Optics Communications**. . **448**: 1-9.
41. Marqués, R., Mesa, F., Martel, J., Medina, F., 2003.Comparative Analysis of Edge- and Broadside-Coupled Split Ring Resonators for Metamaterial Design - Theory and Experiments. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**. **51** (10): 0013-926X.
42. Dayal, G., Ramakrishna, S., 2014.Multipolar localized resonances for multi-band metamaterial perfect absorbers. **Journal of Optics (United Kingdom)**. **16** (9): 2040-8978.
43. 2013.Numerical Methods for Metamaterial Design. 2013.
44. Grant., J.,., I., Escorcía-Carranza., C., Li., I.,J.,H., McCrindle., J., Gough., D.,R.,S., Cumming., 2013.A monolithic resonant terahertz sensor element comprising a metamaterial absorber and micro-bolometer. **Laser and Photonics Reviews**. **7** (6): 1043–1048.
45. Han, K., Chang, H., 2014.Numerical Modeling of Sub-Wavelength Anti-Reflective Structures for Solar Module Applications, **Nanomaterials**. **4** (1): 87-128.
46. Nagel, R., Scarpulla, A., 2011.Enhanced light absorption in thin-film silicon solar cells by scattering from embedded dielectric nanoparticles, in Conference Record of **the IEEE Photovoltaic Specialists Conference**. **0160**-8371.
47. Numan, A., Sharawi, S., 2013.Extraction of material parameters for metamaterials using a full-wave simulator [education column], **IEEE Antennas and Propagation Magazine**. **55** (5): 1045-9243.

48. Wen, Y., Xie., S., Zhang, W., Yang, H., Li, X., Liu, L., 2009. Transmission line model and fields analysis of metamaterial absorber in the terahertz band. **Optics Express**. **17** (22): 20256-20265.
49. Liu., X.,. et al., 2010. Metamaterials on parylene thin film substrates: Design, fabrication, and characterization at terahertz frequency. **Applied Physics Letters**. . **96** (1): 0003-6951.
50. Dincer, F., Akgol, O., Karaaslan, M., Unal, E., Sabah, C., 2014. POLARIZATION ANGLE INDEPENDENT PERFECT METAMATERIAL ABSORBERS FOR SOLAR CELL APPLICATIONS IN THE MICROWAVE, INFRARED, AND VISIBLE REGIME. **Progress In Electromagnetics Research**. **144** : 93-101.
51. Thiele, A., Taflove, A., 1994. Validation and Extension to Three Dimensions of the Berenger PML Absorbing Boundary Condition for FD-TD Meshes, **IEEE Microwave and Guided Wave Letters**. **4** (8): 1051-8207.
52. Miettunen, K., Halme, J., Lund, P., 2013. Metallic and plastic dye solar cells, Wiley Interdisciplinary Reviews: **Energy and Environment**.. **2** (1): 104–120
53. Oraizi, H., Abdolali, A., 2009. Mathematical formulation for zero reflection from multilayer metamaterial structures and their notable applications. **IET Microwaves, Antennas & Propagation**. **3** (6): 987 – 996.
54. Alae R., Menzel C., Rockstuhl C., Lederer F., 2012. Perfect absorbers on curved surfaces and their potential applications. **Optics Express**. **20** (16): 18370-18376
55. Palik., E.,D.,., 2001. Handbook of Optical Constants of Solids, Vol-3.
56. Khlebtsov, B., Khlebtsov, N., 2007. Multipole plasmons in metal nanorods: Scaling properties and dependence on particle size, shape, orientation, and dielectric environment. **Journal of Physical Chemistry C**. **111** (31): 1932-7447.
57. Mendes, M., 2018. Optimal-Enhanced Solar Cell Ultra-thinning with Broadband Nanophotonic Light Capture. **iScience**. **3** : 238-254.
58. Luechinger, N., Athanassiou, E., Stark, W., 2008. Graphene-stabilized copper nanoparticles as an air-stable substitute for silver and gold in low-cost ink-jet printable electronics. **Nanotechnology**. **19** (44): 0957-4484.

59. Wang, B., Wang, L., Wang, G., Huang, W., Li, X., Zhai, X., 2014. Theoretical investigation of broadband and wide-angle terahertz metamaterial absorber, *IEEE Photonics Technology Letters*. **26** (2): 1041-1135.
60. Shen, X., Cui, T., Zhao, J., Ma, H., Jiang, W., Li, H., 2011. Polarization-independent wide-angle triple-band metamaterial absorber, *Optics Express*. **19** (10): 9401-9407.
61. Ordal, M., Bell, R., Alexander, R., Long, L., Querry, M., 1985. Optical properties of fourteen metals in the infrared and far infrared: Al, Co, Cu, Au, Fe, Pb, Mo, Ni, Pd, Pt, Ag, Ti, V, and W, *Applied Optics*. **24** (24): 4493-4499.
62. Yu., P., J., Wu., E., Ashalley., A., Govorov., Z., Wang., 2016. Dual-band absorber for multispectral plasmon-enhanced infrared photodetection, *Journal of Physics D: Applied Physics*. **24** (24): 4493-4499.
63. Zhang, B., 2011. Polarization-independent dual-band infrared perfect absorber based on a metal-dielectric-metal elliptical nanodisk array. *Optics Express*. **19** (16): 15221-15228.
64. He, J., Ding, P., Wang, J., Fan, C., Liang, E., 2015. Ultra-narrow band perfect absorbers based on plasmonic analog of electromagnetically induced absorption. *Optics Express*. **23** (5): 6083-6091.
65. Yeo, W., Nahar, N., Sertel, K., 2013. Far-IR multiband dual-polarization perfect absorber for wide incident angles, *Microwave and Optical Technology Letters*. **55** (3).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Jaafar Alsmael
Uyruğu: Irak
Doğum Tarihi ve Yeri: 02.03.1993 - Irak/basra.
Medeni Durum: Bekar
e-mail: j.alsmaeel@gmail.com
Yazışma Adresi: Bahçelievler Mah., Gençlik Cd. 4. Sokak, 38000
Talas/Kayseri

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	ERÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği	2019
Lisans	Southern Technical University	2015
Lise	Imam jaafar alsadiq Basra	2011

İŞ DENEYİMLERİ

YABANCI DİL

Türkçe,İngilizçe,Arapça.