



T.C.
KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Fizik ANABİLİM DALI

SU ARITMALARI İÇİN ULTRA DEĞERLİ
NANO ÖLÇEKLİ ANTEN

SARA SABAH KHAEON ALLAME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR-2022



T.C.
KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Fizik ANABİLİM DALI

SU ARITMALARI İÇİN ULTRA DEĞERLİ
NANO ÖLÇEKLİ ANTEN

SARA SABAH KHAEON ALLAME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Mustafa KURT

KIRŞEHİR-2022

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Sara Sabah Khaeoon ALLAME

20.04.2016 tarihli Resmî Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.



ÖNSÖZ

Yüksek Lisansa başlamamda ve yüksek lisans ders sürecinde kendisini tanıdığım günden bu yana gösterdiği sabır ve sabırlı hali ile her zaman bana örnek olmasının yanı sıra bir bilim adamının nasıl çalışması gerektiğini kendisinden öğrendiğim değerli danışmanım Prof. Dr. Mustafa KURT 'e büyük bir içtenlikle teşekkür ederim. Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan, beni bugünlere getiren aileme de sonsuz teşekkürler ederim.

Haziran, 2022

Sara Sabah Khaeoon ALLAME

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
TEZ BİLDİRİMİ	iv
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	1
1.2. Önemi.....	2
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Nano Anten Çalışması Teorisi	3
2.1.1. Akım Hareketinin Kuantum İletkenliği ve Balistik İletkenler	4
2.1.2. Malzeme Yapıları	8
2.1.2.1. Neden Nano Ölçekli Yapısal Malzemeler?	8
2.1.2.2. Neden Fotonik Yapılar?	8
2.1.3. Potansiyel Elektromanyetik Araştırmalar.....	9
2.1.3.1. Işık Soğurmalarını Artırmak İçin Karbon Nanotüp Dizileri	9
2.1.3.2. Silika Esaslı Fresnel Lenslerle Kaplanmış Gümüş Nano Parçacık	10
2.1.3.3. Karbon Nanotüp Anten	11
2.1.3.4. Ara Bağlantı Çipleri için Optik Anten	12
2.2. Tasarım Yönleri ve Hususlar	15
2.2.1. SWCNT Gerçekçi Modele Dayalı İletim Hattı Analizi.....	17
2.2.2. Anten Yapısı	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1. Materyal Özellikleri	20
3.1.1. SWCNT	20
3.1.2. SİLİKON	23
3.1.3. Yer düzlemi	24
3.2. Kaynak Listesi	25

3.2.1.	CST yazılım paketi	25
3.2.2.	Spektrometre analizörü.....	25
3.2.3.	CNT ve SİLİKON	26
3.2.4.	Python ve Matlab.....	27
3.3.	Materyal Hazırlama	28
3.3.1.	SWCNT Hazırlama.....	28
3.3.2.	Silikon Hazırlama	29
3.4.	CNT Biriktirme Yöntemi	30
3.5.	Metalizasyon	31
3.6.	Ölçüm Teknikleri	31
3.6.1.	Yapısal Ölçümler	31
3.6.2.	Morfolojik Ölçümler	32
3.6.3.	Yüzey Bileşimi Ölçümleri	32
3.6.4.	Optik Ölçümler	33
3.6.4.1.	UV-Vis Spektrofotometresi.....	33
3.6.4.2.	Yansıma Spektroskopisi	34
3.6.5.	Elektriksel Ölçümler.....	34
3.6.5.1.	Hall Etkisi.....	34
3.6.5.2.	Akım-Gerilim (I-V) Ölçümleri.....	35
3.6.5.3.	Kapasitans-Gerilim (C-V) Ölçümleri.....	35
3.6.6.	Dedektör Ölçümleri	35
3.7.	Sonuçların Doğrulanması.....	36
3.8.	SWCNT malzeme saflaştırma.....	37
3.9.	SWCNT film kesme kaplama ve istifleme	37
4.	BULGULAR.....	38
4.1.	SWCNT.....	38
4.2.	Silikon.....	41
4.3.	SWCNT filmleri malzeme karakterizasyonu	44
4.4.	Yama üretimi	46
4.5.	Yankı odası ölçümleri	48
4.6.	Radyasyon verimliliği hata analizi.....	49
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ	51
	KAYNAKLAR.....	52
	ÖZGEÇMİŞ.....	57

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Elektriksel dağılım iletkenliği	5
Şekil 2.2. Plazmonik etkiler: (a) spektroskopi, (b) anten modeli ve (c) CC bağ elektron hareketi	6
Şekil 2.3. C-C bağ elektron hareketi: (a) kayıp etkileri ve (b) eşdeğer devre modeli	7
Şekil 2.4. Akım yüzey dağılımı: (a) optik rezonans, (b) yüzey akımı ve (c) akım dağılımı	8
Şekil 2.5. Karbon nanotüp spektroskopisi	10
Şekil 2.6. NSSCS spektroskopisinin 3D spektrumları	11
Şekil 2.7. SWCN spektroskopisinin iletim spektrumları.....	12
Şekil 2.8. Vee Yagi-Uda spektroskopisinin iletim spektrumları	13
Şekil 2.9. Elektron geçiş spektroskopisi	14
Şekil 2.10. CST MWS kullanılarak değerlendirilmiş elektron geçiş spektroskopisi	15
Şekil 2.11. Taramalı tünelleme mikroskop görüntüleri: (a) grafen tabakası ve (b) SWCNT	16
Şekil 2.13. Değerlendirilen S-parametre spektrumları: (a) SWCNT (10,10) için ve (b) SWCNT (21,21) için	18
Şekil 2.14. Önerilen anten geometrileri: (a) düzenli dipol, (b) Vee-dipol ve (c) monopol	19
Şekil 3.1. Değiştirilmiş Slepian modeline göre değerlendirilen karmaşık bağlı geçirgenlik: (a) SWCNT (10,10) ve (b) SWCNT (21,21)	22
Şekil 3.2. Drude-Lorentz modeline göre değerlendirilen karmaşık göreceli geçirgenlik	23
Şekil 3.3. Johnson-Christy modeline göre değerlendirilen karmaşık göreceli geçirgenlik	24
Şekil 3.4. Sentez karbon botu için sıvı içinde lazer ablasyonunun deneysel kurulumu	29
Şekil 3.5. PS sentezi için PECE'nin deneysel kurulumu	30
Şekil 3.6. CNT kolloidal çözeltisinin biriktirilmesi için damla dökümü.....	31
Şekil 3.7. SEM (INSPECT S50) mikroskopisinin görüntüsü.....	32
Şekil 3.8. FTIR (Bruker Tensor 27) spektrometresinin görüntüsü.....	33
Şekil 3.9. UV-Vis (Metertech SP8001) spektrofotometresinin görüntüsü	34
Şekil 3.10. Hall Etkisi ölçümünün Hall Etkisi sistemi ve elektrik devresi.....	35

Şekil 3.11. Önerilen SWCNT antenlerinin doğrulama sonuçları; (a) SWCNT(10,10) için S11 ve (d) SWCNT(21,21) için S11. (b) ve (c) SWCNT(10,10) için sırasıyla 230THz ve 347THz'de ışıınım modelleri. Son olarak, (e) ve (f) SWCNT(21,21) için sırasıyla 450THz ve 650THz'de ışıınım modelleri	36
Şekil 4.1. SWCNT(10,10) için S11 ve η r spektrumları	38
Şekil 4.2. SWCNT (10,10) için 3B radyasyon modelleri: (a) 230THz ve (b) 347THz	39
Şekil 4.3. SWCNT(21,21)) için S11 ve η r spektrumları	40
Şekil 4.4. SWCNT (21,21) için 3B radyasyon modelleri: (a) 230THz ve (b) 347THz	40
Şekil 4.5. SILICON1 anteni için S11ve η r spektrumları.....	41
Şekil 4.6. SILICON1 için 3D radyasyon modeli	42
Şekil 4.7. SILICON2 anteni için S11 ve η r spektrumları	42
Şekil 4.9. Kayma hizalı SWCNT filmlerinin SEM/FiB kesitleri	46
Şekil 4.10. Lazer kesim yama kenarının SEM'i. Sarı daire, lazerden kaynaklanan termal hasar nedeniyle SWCNT yamasının kenarında bir amorf karbon tabakasının nerede bulunduğunu gösterir.	47
Şekil 4.11. Kalınlığa karşı kesme hizalı SWCNT film tabakası direnci. Kırmızı eğri, bu iki değişken arasındaki ilişkiyi verir ve malzemenin direncini verir.....	48
Şekil 4.12. SWCNT malzemelerinin SEM'i. Yama antenlerini yapmak için kullanılan a, kesme hizalı ve b, büyütülmüş SWCNT filmlerinin SEM görüntüleri.....	49

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 4.1. Önerilen anten performans ve boyutlarının karşılaştırılması.....	44
Tablo 4.2. Önerilen anten performans karşılaştırması	45
Tablo 4.3. Yama anten malzemelerinin sac direnci ve kalınlıkları.....	47
Tablo 4.4. Hedef frekansların her birinde yama ve iletim hattı boyutları.....	48
Tablo 4.5. Her hedef frekansta yama anten rezonans frekansları	49
Tablo 4.6. Yama anten malzemelerinin farklı rezonans frekanslarındaki parametreleri.	50



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
ω	Frequency
σ_{cn}	Conductivity
ν	Relaxation frequency
e	Electron charge
F_c, v	Fermi distribution
ϵ_s	Low frequency permittivity
ω_0	Angular frequency resonance
γ	Damping factor of oscillation
ω_D	Plasma resonance frequency
ω_τ	Collision frequency
$J_0([a_0-a_i]s)$ and $J_1([a_0-a_i]s)$	First kind of Bessel functions
a_0 and a_i	Outer and inner radii
S_{11}	Reflection spectrum
η_r	Efficiency of radiation
3D	Three dimensions
l	Electrical length
G	Matching gap
λ_0	Free space wavelength
E	Electric field
H	Magnetic field
σ	Conductivity
β	Propagation constant
ϕ	Azimuth angle
Ω	Ohm resistor
α	Attenuation constant
δ	Surface losses
Δ	Variation changes

Kısaltmalar	Açıklama
CST	: Computer simulation technology
CNT	: Carbon nanotubes
C-C	: Carbon-carbon bonds
MWCNT	: Multi wall carbon nanotube
SWCNT	: Single wall carbon nanotube
2D	: Two dimensions
NSSCS	: Nano Shell-Silver Coated Silica
NIR	: Near Infrared Regime
Ag-Si	: Silver- Silica
1D	: One dimension
Re and Im	: Real and imaginary
THz	: Tera hertz
D	: Directivity
HFSS	: High Frequency Software Simulator
AFM	: Atomic force microscopy
FTIR	: Fourier Transform Infrared

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SU ARITMALARI İÇİN ULTRA DEĞERLİ NANO ÖLÇEKLİ ANTEN

SARA SABAH KHAEON ALLAME

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa KURT

İkinci Danışman: Prof. Dr. Taha A. Elwi

Nano optik antenler, ara bağlantı elektronik çip uygulamalarında büyük ilgi görmüştür. Bu çalışmada, optik sistemde elektronik çipler arasındaki ara bağlantı için Tek Duvarlı Karbon Nanotüp (SWCNT) tabanlı dipol antenleri oluşturmak için yarı-klasik elektromanyetik-kuantum teorisine dayalı bazı araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmada (10,10) ve (21,21) indislerine sahip iki farklı SWCNT kullanılmış ve Silikon Nano-Çubuklara (SİLİKON) dayalı özdeş dipolleri karşılaştırılmıştır. Önerilen nano yapıya sahip malzeme özellikleri, anten performansını değerlendirmek için bir kuantum modeli baz alınmıştır. Önerilen $SWCNT_{21,21}$ ve $SWCNT_{10,10}$ tabanlı antenlerin sırasıyla 230THz ve 450THz'de başlangıç rezonansa sahip olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte SWCNT' tabanlı antenlerin silikon tabanlı olanlarla karşılaştırıldığında daha yüksek verimlilikte olduğu bulunmuştur. Bu nedenle, SWCNT tabanlı antenlerin kablosuz ara bağlantılar için daha uygun olduğu bulunmuştur.

Haziran 2022, 71 Sayfa

Anahtar Kelimeler: SWCNT, Nanoskala, CST, Anten, Optik

ABSTRACT

MASTER THESIS

ULTRA-VALUATE NANO-SCALE ANTENNA FOR WATER PURIFICATIONS

SARA SABAH KHAEON ALLAME

**Kirsehir Ahi Evran University
Science and Engineering Institute
Advanced Technologies Department**

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa KURT

Second-Advisor: Prof. Dr. Taha A. Elwi

In interconnect electronic chip applications, nano-optical antennas have sparked a lot of attention. Some research has been conducted out in this work utilizing semi-classical electromagnetic-quantum theory to realize the feasibility of employing seat Single Wall Carbon Nanotube (SWCNT) based dipole antennas for connecting between electronic chips in an optical system. Two distinct SWCNT indices (10,10) and (21,21) were investigated and compared with identical dipoles based on Silicon Nano-Bars in this work (SILICON). To assess the suggested antenna performance, the material parameters of the proposed nanostructures are extracted from a quantum model. Initial resonance was detected at 230THz and 450THz, respectively, for the proposed antennas based on SWCNT 21,21 and SWCNT 10,10. However, when compared to antennas made of SWCNT, the performance of antennas made of SILICONE is superior. SILICONE antennas have been discovered to have a lower radiation efficiency than the SWCNT antenna.

June 2022, 71 Pages

Keywords: SWCNT, Nanoscale, CST, Antenna, Optical

1. GİRİŞ

Çağdaş yaşam ve insan konforu birbirini destekleyen unsurlardır. Geçmiş yılların pratik dünyasının aksine, kablosuz teknoloji devriminin endüstriyel ulusları hızla silip süpürmesi beklenen bir durumdur. Fiziksel emek artık önemini kaybederek uzaktan kontrol ve algılama önem kazanmaktadır. Ülkeler bu yönde büyük gayretler sarfetmektedirler. Günümüzde modern fotonik cihazların gelişimini hızlandırmak için nano ölçekli yapılara ve meta malzeme düzenine dayalı yapay malzemelerde hızlı dönüşümler gerçekleşmektedir.

Fotonik tasarım standartları kolaylaşırken, performans ölçümleri de çelişkili bir şekilde yol almaktadır [1]. Ayrıca, geleneksel malzemelerin, bir bant genişliği üzerinden gerekli yapısal elektromanyetik parametrelerini elde etme aşamalarının zorluğu, yüzey dalgalarından kaynaklanan doğal kayıplardan kaynaklanan düşük verimlilik ve yüksek polarizasyon saflığı elde etmedeki zorluklar dahil olmak üzere çeşitli doğal sınırlamaları vardır. Bununla birlikte, fotonik cihazları elektrikli cihazlarla entegre etmek, onların boyutunu, karmaşıklığını ve maliyetini artırır. Bu nedenle, nano ölçekli yapıları kullanmak bu zorluklarla başa çıkmak için yeni fotonik cihazlar geliştirmek, yeni araştırmaların konusudur.

1.1. Amaç

Modern fotonik tasarımları, önceki nesillerin hayal bile edemeyecekleri bir gelişmişlik düzeyine ulaştı. Mevcut endüstriyel ve biyolojik gereksinimleri karşılayan modern fotonik tasarımları, nano ölçekli ve meta malzeme mimarileri kullanılarak gelecek nesiller için oluşturulabilir. Çeşitli teknolojik gelişmelerden yararlanmak için optik anten, yansıma önleyici katmanlar ve düz lens uygulamaları için önerilen fotonik tasarımları incelenmiştir. Bu çalışmada su arıtma sistemleri için farklı UV soğurmada etkili olan sistem tasarımı için farklı indisli CNT kullanılarak silikon ile karşılaştırma yapmak ve hangi parametrelerde avantajlı olduğunu tartışmaktır.

1.2. Önemi

Önerilen araştırma, UV ışığı kullanarak su arıtmaları için oldukça kullanışlıdır. Ultraviyole (UV) kullanımında arıtma süreci hızlı gerçekleşir ve kolay sonuç verir. Atık su içerisindeki DNA, ultraviyole radyasyon tarafından mutasyona uğratılır ve/veya bozulur. DNA bozulduğunda organizmanın "işleyişi" karışık veya bazı yapısal eksiklikler oluştuğundan, çalışamaz hale gelir. İşleyişi bozulan canlı bir organizma, çalışamaz, çoğalamaz veya başkalarına bulaştıramaz. Sonunda zararsız hale getirildikten sonra ölür. UV dezenfeksiyon işleminde su, belirli bir UV üreten lamba içeren paslanmaz çelik bir kaptan ("reaktör" olarak da bilinir) geçtiğinde temizlenir. Su lambanın yanından akarken, sudaki mikrop öldürücü dozda UV alır.

SWCNT özellikleri, [39]'de açıklanan SWCNT'nin balistik iletkenliğinin yarı-klasik Slepian modeline dayalı olarak karmaşık geçirgenliği $\epsilon = \epsilon' + j\epsilon''$ cinsinden hesaplanır. Bu tür iletkenlik, SWCNT indeksinin aşağıdaki şekilde verilen bir fonksiyonudur:

$$\sigma_{cn}(\omega) = \frac{je^2\omega}{\pi^2\hbar a} \left\{ \frac{1}{\omega(\omega - j\nu)} \sum_{s=1}^m \int_{FBZ} \frac{\partial F_c}{\partial p_z} \frac{\partial \epsilon_c}{\partial p_z} dp_z + 2 \sum_{s=1}^m \int_{FBZ} \epsilon_c |R_{vc}|^2 \frac{F_c - F_v}{\hbar^2 \omega(\omega - j\nu) - 4\epsilon_c^2} dp_z \right\} \quad (1)$$

Burada $\nu = \tau^{-1}$ durulma frekansıdır, $\hbar$ normalleştirilmiş Planck sabiti olup değeri 1.05457×10^{-34} Js dir, e elektron yükü olup 1.602×10^{-19} C değerine sahiptir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Nano Anten Çalışması Teorisi

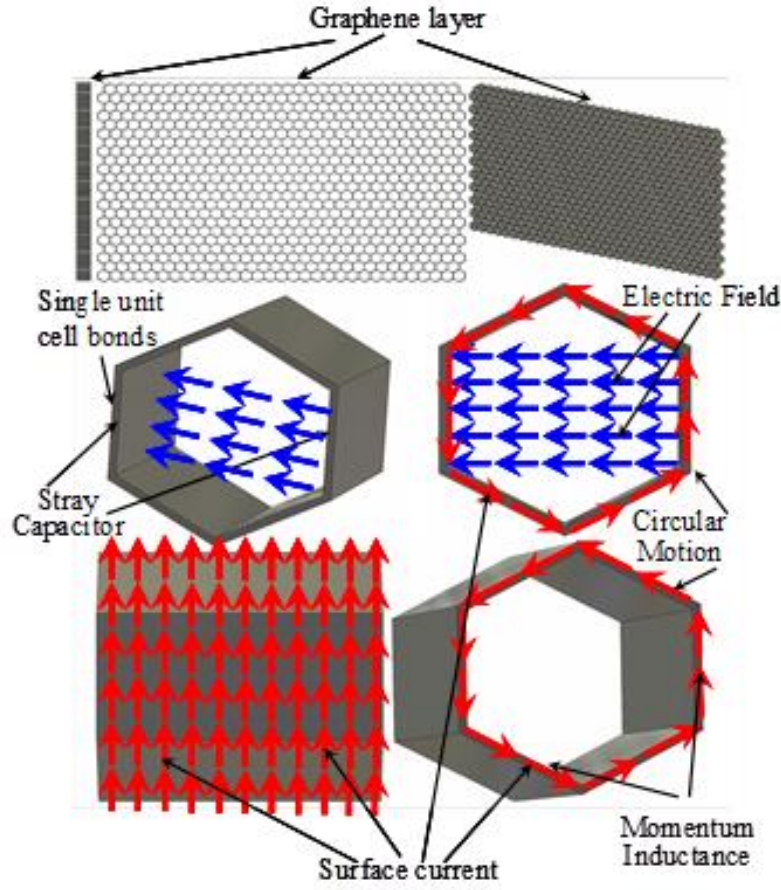
Nano ölçekli yapılar, doğrusal olmayan optik aktiviteler, piezoelektrik, değiştirilebilir polarizasyon, yüksek dağılımlı dielektrik davranışlar ve nihai olarak üstün performansa sahip antenler [2] gibi istenen özelliklerin geniş bir yelpazesini sağlamak için atomik ölçekte fonksiyonel malzemeler sağlamak üzere tasarlanmıştır [3]. Arzu edilen fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerinden dolayı, elektronik cihaz üretiminde geniş bir uygulama yelpazesine sahip olduğu için bilim ve mühendislik alanında büyük ilgi görmüştür. Bu çalışmaların bazıları, farklı çözücüler ve polimerler içinde asılı duran 1 ila 40 GHz arasında değişen frekanslarda MWCNT kompozitlerinin elektriksel iletkenliğini ve geçirgenliğini ölçmeye odaklandı. Ölçülen iletkenliklerin 65 ila $1 \times 10^4 \text{ S m}^{-1}$ [4,5] arasında değiştiği, ölçülen bağlı geçirgenliklerin ise 9,3 ila 100 [6,7] arasında değiştiği bulundu. Sert kimyasal veya gaz ortamlarında çalışan kablosuz sensörler gibi düşük güçlü iletişim cihazları için MWCNT tabanlı antenler [6]'te incelenmiştir. Bu tür ortamlarda, geleneksel iletkenlerden yapılan antenler, paslanabilir veya oksitlenebilir özelliktedir [8]. Esnek yüzeyler üzerindeki SNP mürekkebine dayalı basılı elektronik devreler, giyilebilir ve akıllı giysi uygulamaları için gelişmekte olan bir teknolojidir [7]. SNP'lere dayalı IJP üretim süreci, geleneksel teknolojilere göre çeşitli avantajlara sahiptir. Yüksek çözünürlük, düşük ısı işlem, daha hızlı prosedür, esnek alt tabakalar üzerine baskı yapma yeteneği, tasarımın karmaşıklığında sınırlama olmaması ve tekstil, kumaş, el sanatları ve kumaşların içine gömülebilme yeteneği gibi özellikler sayılabilir. [9]. İletken mürekkebe dayalı şu anda kullanımda olan uygulamalar RFID, akıllı bezler, ilaç takibi ve yönetimi için giyilebilir cihazlar, algılama ve ölçüm uygulaması, paket ve belge takibi, otomatik ödeme çözümleri, varlık takibi, gerçek zamanlı konum sistemleri, otomatik araç tanımlamayı ve çiftlik hayvanları veya evcil hayvan takibi içerir [10,11]. Halihazırda bu tür uygulamaların pratik uygulamasını engelleyen başlıca zorluklar arasında güvenli kablosuz bağlantılar sağlamanın maliyeti ve güvenilirliği yer almaktadır.

Giyilebilir cihazlar için esnek yüzeylere basılan antenler, baskı teknolojisinin en acil uygulamalarından biri olduğundan bükülmenin bu tür antenlerin performansı üzerindeki etkileri anlaşılmalıdır. Bu tür antenler insan vücudunun yakınına yerleştirildiğinde, [12, 13]'de bildirildiği gibi en kötü durumda kablosuz bağlantı hatasına yol açabilir. [14,15]'de, implante edilebilir ve giyilebilir biyomedikal uygulamalar için minyatürleştirilmiş

mikroşerit antenler, bükülmenin getirdiği etkileri belirlemek için deneysel olarak araştırılmıştır. Ancak, bu çalışmalar bükülmenin anten performansı üzerindeki etkilerini azaltan bir anten tasarımının nasıl sağlanacağı konusu henüz ele alınmamıştır.

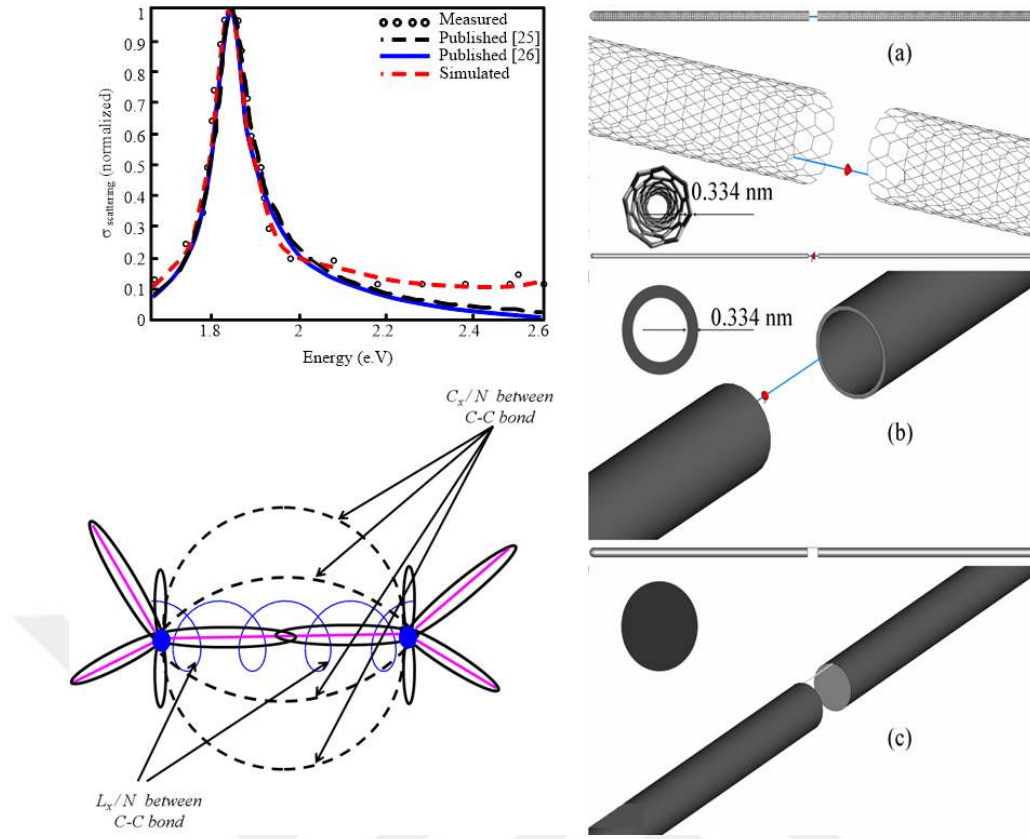
2.1.1. Akım Hareketinin Kuantum İletkenliği ve Balistik İletkenler

1993'te CNT'nin keşfinden bu yana [16], terahertz frekanslarında kablosuz için yüksek düzeyde entegre ve işlevselleştirilmiş cihazların kullanımını kolaylaştıran CNT dizileri [17] gibi çeşitli uygulamalar ortaya çıkmıştır. Bunlar gelişmiş bant genişliğine, hıza ve minyatürleştirmeye uygun cihazlardır [18]. CNT'ler yüksek görünüş oranları [4], Cu'dan birkaç kat daha büyük bir elektriksel iletkenlik [19], büyük bağıl geçirgenlik [20] ve plazmonik frekanslarda geometrik dağılım ile karakterize edilir [3]. Bu durum Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Yüksek elektriksel iletkenliklerine rağmen, rulo haline getirilmiş grafen tabakasının kovalent karbon π bağlarının yüksek stabilitesi nedeniyle CNT'ler serbest elektronlardan yoksundur [4]. Bu yüksek iletkenlik, elektrik akımını σ bağları boyunca hareket eden uyarılmış elektrik yükleri aracılığıyla aktaran bir balistik iletken modeli ile açıklanmıştır [21].



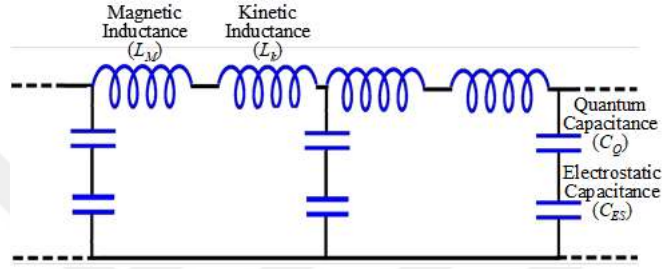
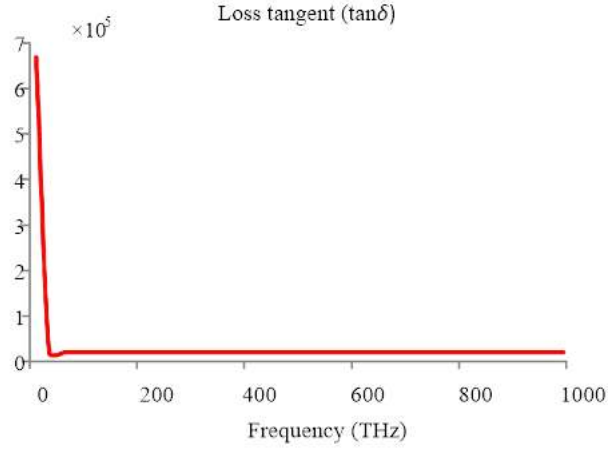
Şekil 2.1. Elektriksel dağılım iletkenliği

Plazmonik frekans bandında CNT yapısı boyunca etkili dalga boyunun, boş alan dalga boyuna göre 0,01 ila 0,02 arasında değişen bir faktörle azaldığı bildirilmiştir. Bu kısımda, Yakın Kızılötesi bent (NIR) bir koltuk, Tek Duvarlı Karbon Nanotüp (SWCNT) dipol anteninin elektromanyetik performansından da bahsedilir. Spektroskopik analizde, Şekil 2.7'de farklı SCNT konfigürasyonlarından kullanılır ve parametreleri sayısal olarak hesaplanır [22]. Bu tarz çalışmalarda, Maxwell denklemlerine dayanan klasik elektrodinamik, yarı-klasik veya tamamen kuantum teorisine dayalı farklı yaklaşımlar, bir nanoyapıyı dış kaynaklardan, örneğin ışık huzmelerinden, mikroskop uçlarından veya Şekil 2.2'de gösterildiği gibi yakındaki nanoyapılarla etkileşimler yoluyla aydınlatarak farklı yaklaşımlar mevcuttur.



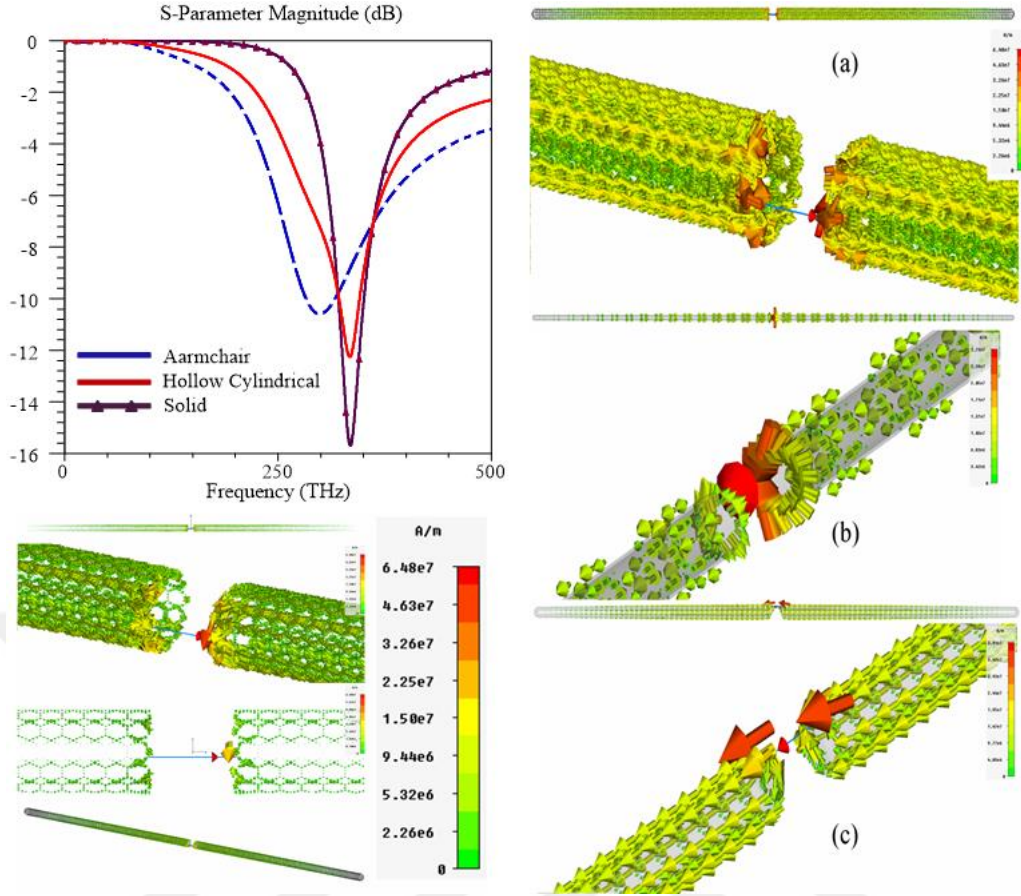
Şekil 2.2. Plazmonik etkiler: (a) spektroskopi, (b) anten modeli ve (c) CC bağ elektron hareketi

Öte yandan, birkaç çalışma, CC'nin altıgen atomik yapısının düzenlenmesi nedeniyle CNT yapısının geometrik dağılımını dikkate almadan [19,21]'de olduğu gibi bireysel CNT malzemesinin doğal dağılım etkilerine odaklanmıştır. Bu geometrik dağılım, dalga boyunun C-C bağ uzunluğu ile karşılaştırılabilir olduğu plazmonik frekanslarda [18] baskın hale gelir. Metal nanokabuklar, kalınlığı nanometre aralığında olan bir metal kabuk ile kaplanmış bir dielektrik çekirdekten oluşan yeni yapısal malzemelerdir [23]. Bu yapıların görünür ve kızılötesi bantları boyunca optik rezonans ve bant genişliği, çekirdeğin ve/veya kabuğun göreceli boyutlarından oldukça etkilenir [24]. Optik tepkilerinin bu yüksek hassasiyeti, Şekil 2.3'de güneş pilleri, optoelektronik devreler ve nano ölçekli antenler gibi geniş bir teknoloji yelpazesindeki uygulamaları dikkate sunar.



Şekil 2.3. C-C bağ elektron hareketi: (a) kayıp etkileri ve (b) eşdeğer devre modeli

Bazı çalışma gruplarının makalelerinde [25,26] Şekil 2.4'te görüldüğü gibi MWCNT'yi kullanan mikrodalga frekans aralığında çalışan antenler geliştirmek, diğer araştırma gruplarına ilham verdiği ifade edilmektedir. Ref [27]'de bahsedildiği gibi çok bantlı antenlerin tasarımı için SWCNT kompozitleri de araştırılmıştır. Kablosuz uygulamalarda geniş bant antenler için güçlendirilmiş sürekli karbon fiber tabanlı MWCNT kompozitinin kullanımı da ilgi çekmiştir [28,29]. MWCNT kompozitine dayalı karbon fiber, [30]'de RFID (Radio-Frequency Identification) etiketleri için kullanıldı. Bilindiği üzere, Radyo Frekansı ile Tanımlama teknolojisi, radyo frekansı kullanarak nesneleri tekil ve otomatik olarak tanıma yöntemidir. RFID, temel olarak bir etiket ve okuyucudan meydana gelir. RFID etiketleri Elektronik Ürün Kodu gibi nesne bilgilerini almak, saklamak ve göndermek için programlanabilirler



Şekil 2.4. Akım yüzey dağılımı: (a) optik rezonans, (b) yüzey akımı ve (c) akım dağılımı

2.1.2. Malzeme Yapıları

2.1.2.1. Neden Nano Ölçekli Yapısal Malzemeler?

Nano ölçekli malzemeler, çeşitli fonksiyonel özelliklerini bir arada kullanabilmek için atomik ölçekte tasarlanabilme özelliğine sahiptir. Nano-ölçekli yapılar, düşük boyutlu kristaller olarak adlandırılan, fiziksel kuvvetler ile tüm ortam arasındaki etkileşimin, bulk malzemelerde olduğu gibi 3 boyutlu bölgeler yerine yüzeyde var olması avantajına sahip yeni malzemeler olarak kendini göstermektedir.

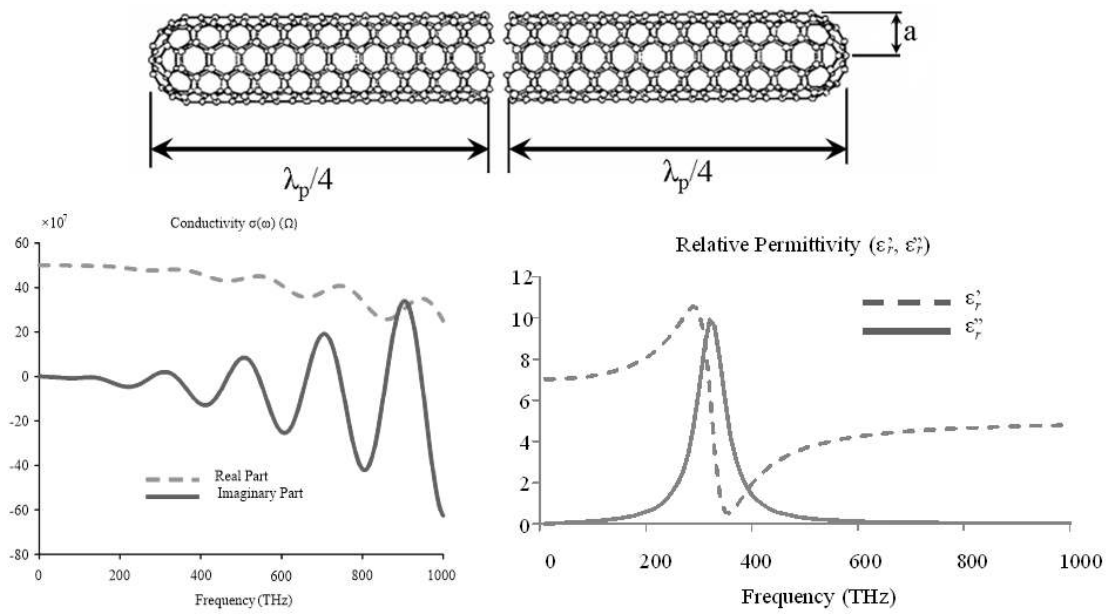
2.1.2.2. Neden Fotonik Yapılar?

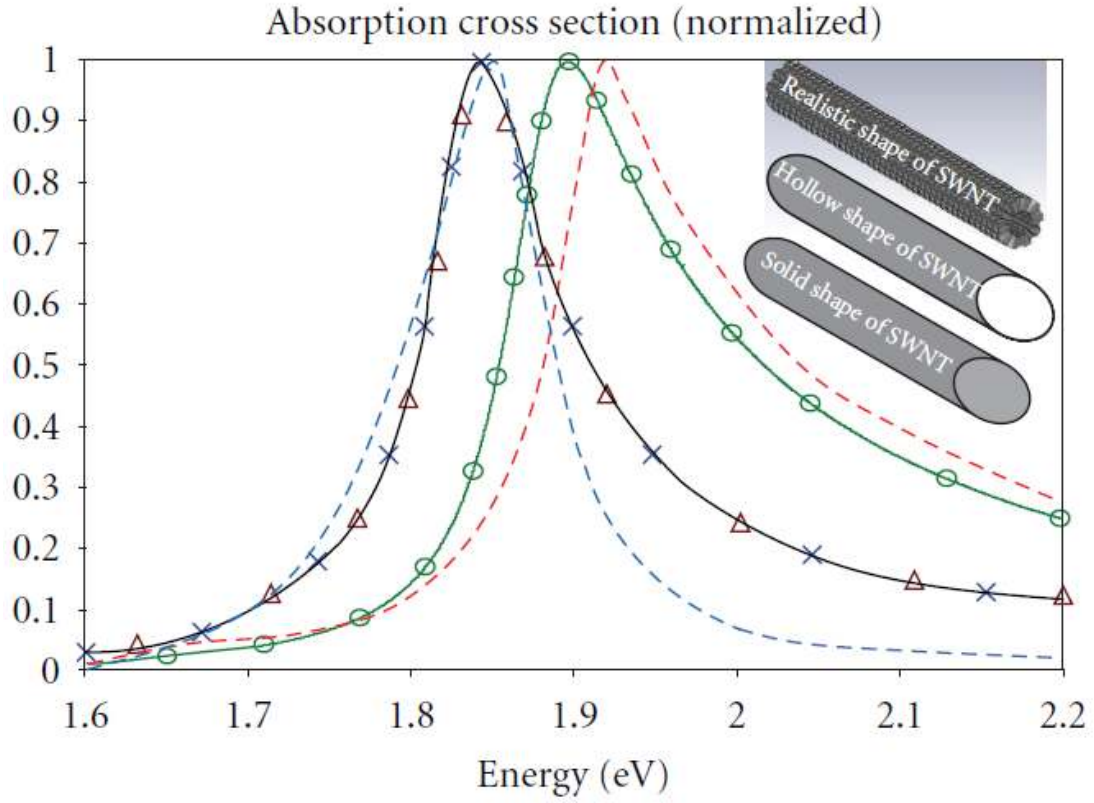
Nano yapıya sahip meta malzemeler genel olarak periyodik yapılardır ve büyük bir bant genişliğine sahiptir. Üzerinden rezonans olmayan, düşük kayıplı iletim hatlarıyla veya bir kretin bant genişliği üzerinden bu olağandışı özellikleri elde etmek için bulk fazında teller ve SRR'ler kullanılabilir. Periyodun veya birim hücrenin etkin boyutu, istenen özelliklerin oluştuğu, yönlendirilen dalga boyundan çok daha küçük olmalıdır (etkili ortam teorisi).

2.1.3. Potansiyel Elektromanyetik Araştırmalar

2.1.3.1. Işık Soğurmalarını Artırmak İçin Karbon Nanotüp Dizileri

Sonlu uzunluklu, sandalye formundaki, tek duvarlı karbon nanotüplerin (CNT s) 2B dizilerinin görünür frekans bölgesinde saçılma, absorpsiyon ve yansıma zellikleri Elwi ve arkadaşları tarafından ilk kez çalışılmıştır. Analiz, Maxwell denklemlerinin Sonlu-Element-Yöntem formülasyonuna ve bir 3D kuantum elektriksel iletkenlik fonksiyonuna dayanmaktadır.  geometrik model düşünülmüştür: katı silindir, içi boş silindir ve sandalye formu. şekil 2.5'te karbon nanotüpün spektroskopi sonuçları değerdendirilmiş ve sunulmuştur.

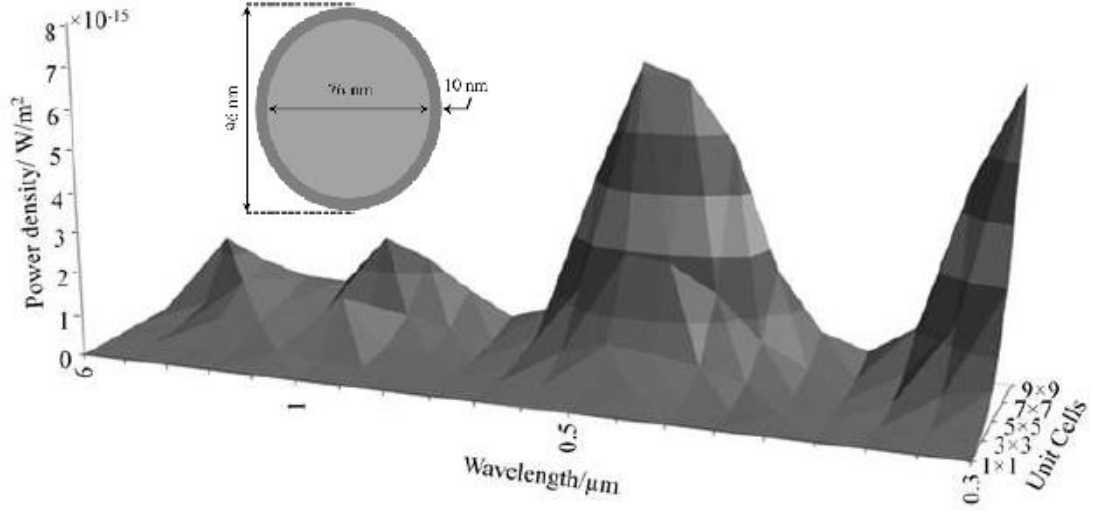




Şekil 2.5. Karbon nanotüp spektroskopisi

2.1.3.2. Silika Esaslı Fresnel Lenslerle Kaplanmış Gümüş Nano Parçacık

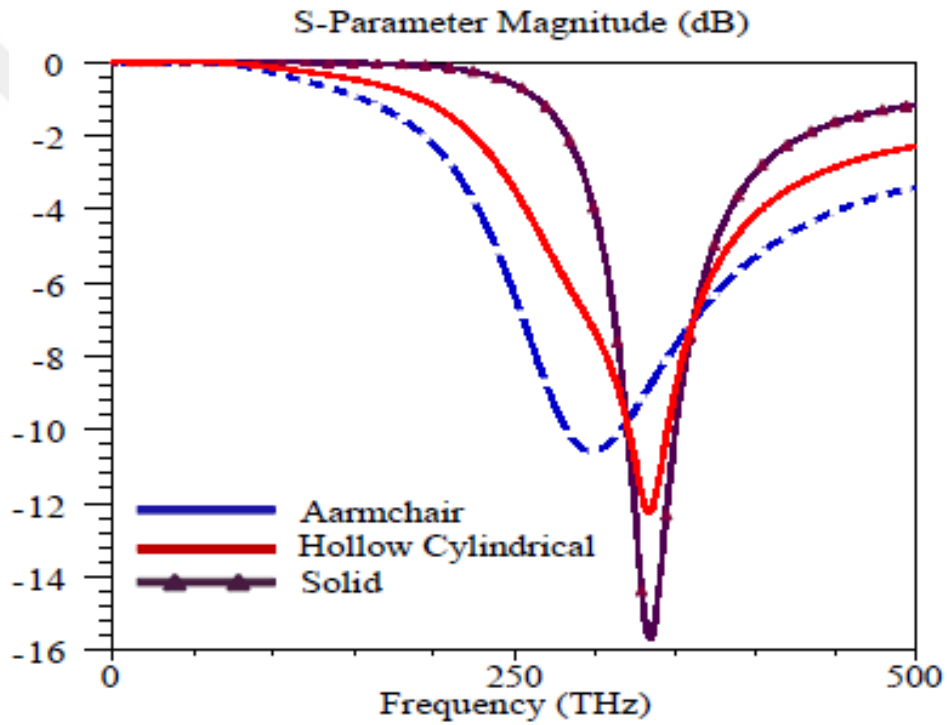
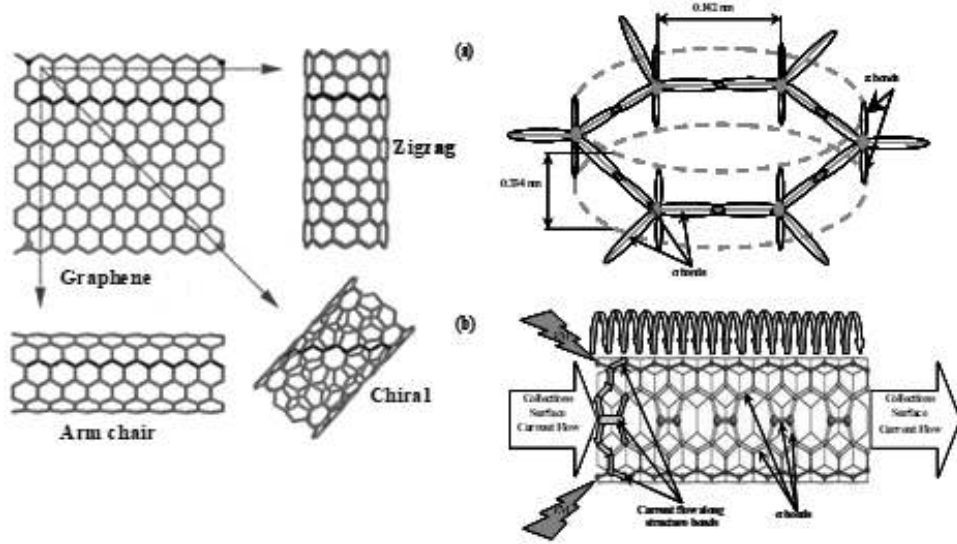
Son zamanlarda yapılan çalışmalarda , sonlu Nano Kabuk-Gümüş Kaplamalı Silika (NSSCS) dizilerine dayanan Fresnel lensleri, kızılötesi rejimden görünür bant yoluyla ultraviyole bölgeye kadar çeşitli dezavantajların üstesinden gelmek için önerilmiştir. NSSCS dizisi düzenlemesinden kaynaklanan yansıma kayıplarını, NSSCS dizisinin malzeme kayıplarını ve reddetme bantlarını belirlemek için, üç benzersiz elektromanyetik (EM) yaklaşımı kullanılır: Yansıma bantlarını belirlemek için Frekans Seçici Yüzeyler (FSS), malzeme kayıplarını belirlemek için Metamalzeme (MTM) ve reddetme bandını bulmak için Elektromanyetik Bant Boşluğudur (EBG) yaklaşımları kullanılmıştır. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi, NSSCS dizilerinin spektroskopik görünümü güç yoğunluğuna karşı dalgaboyu boyutlarında verilmiştir.



Şekil 2.6. NSSCS spektroskopisinin 3D spektrumları

2.1.3.3. Karbon Nanotüp Anten

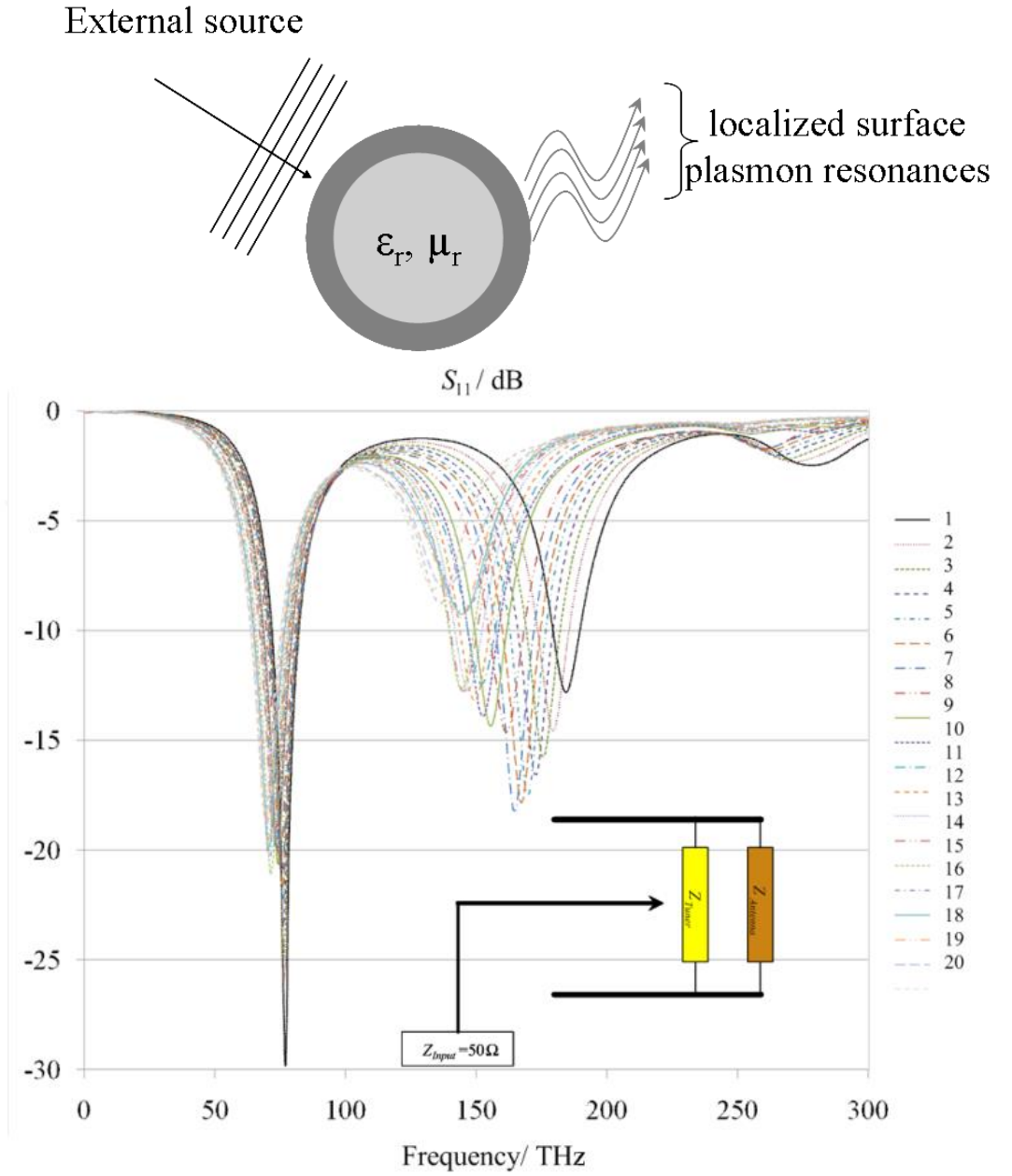
Bu kısımda, Yakın Kızılötesi banda (NIR)sahip koltuk formunda, Tek Duvarlı Karbon Nanotüp (SWCNT) dipol anteninin elektromanyetik performansı ile ilgili veriler bulunmaktadır. Spektroskopik analiz, Şekil 2.7'deki gibi farklı SCNT konfigürasyonları göz önüne alınarak sayısal verilerle birlikte gösterilmiştir.



Şekil 2.7. SWCN spektroskopisinin iletim spektrumları

2.1.3.4. Ara Bağlantı Çipleri için Optik Anten

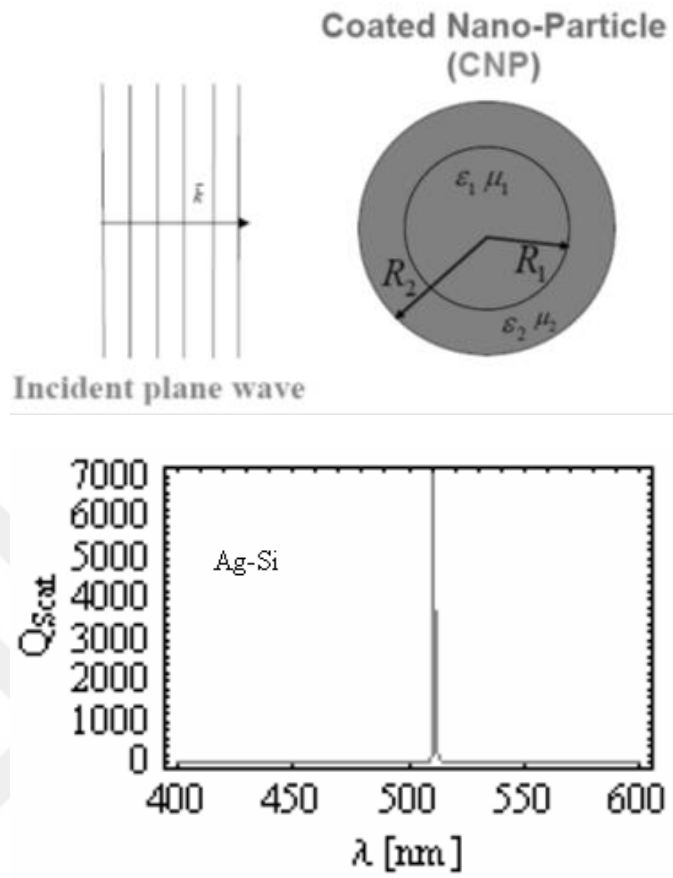
Ayarlanabilir katı hal lazer uygulamaları için Vee Yagi-Uda antenine dayalı ayarlanabilir nano ölçekli bir kaynak üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Anten, NSSCS zincirlerinden yapılmıştır. Hassas devrenin radyasyonu LSPR bandında istenen dalga boyuna yeniden oluşturmak için antenin kollarına bir ayar devresi bağlanmıştır. Ayar devresinin giriş empedansının uygun rezonans frekanslarıyla eşleştirebildiği gösterilmiştir. Şekil 2.8, optik anten spektroskopisi değerlendirilmiş ve sunulmuştur.



Şekil 2.8. Vee Yagi-Uda spektroskopisinin iletim spektrumları

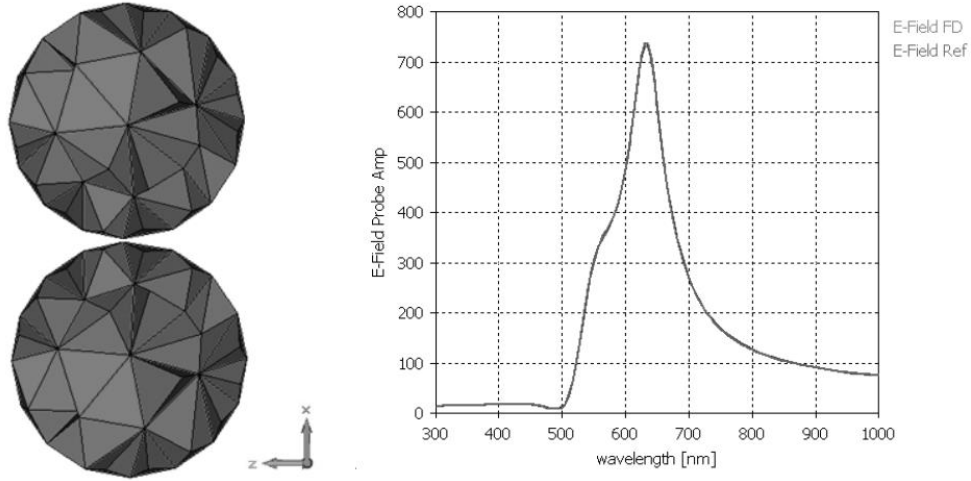
Bir optik amplifikasyonun lokalize bir yüzey plazmonik rezonansları, [31]'de 30 nm yarıçaplı Ag-Si CNP ve 6 nm kalınlığında 24 nm yarıçapa sahip çekirdek için tanımlanmıştır. Şekil 2.9 plazmonik geçişi göstermektedir. Gerçekten de SWCNT iletkenliği, balistik iletkenliğin metal nano tellerin geleneksel 3D iletkenliğinden çok daha yüksek olduğu kesit alanı [32] ile doğru orantılıdır [33]. SWCNT kuantum iletkenliğinin fenomenolojik

parametreleri, durulma frekansı (τ) ve bant genişliği (γ) ile verilir. Bununla birlikte, SWCNT'nin cilt etkisi yüksek THz frekanslarında göz ardı edilebilir [34].



Şekil 2.9. Elektron geçiş spektroskopisi

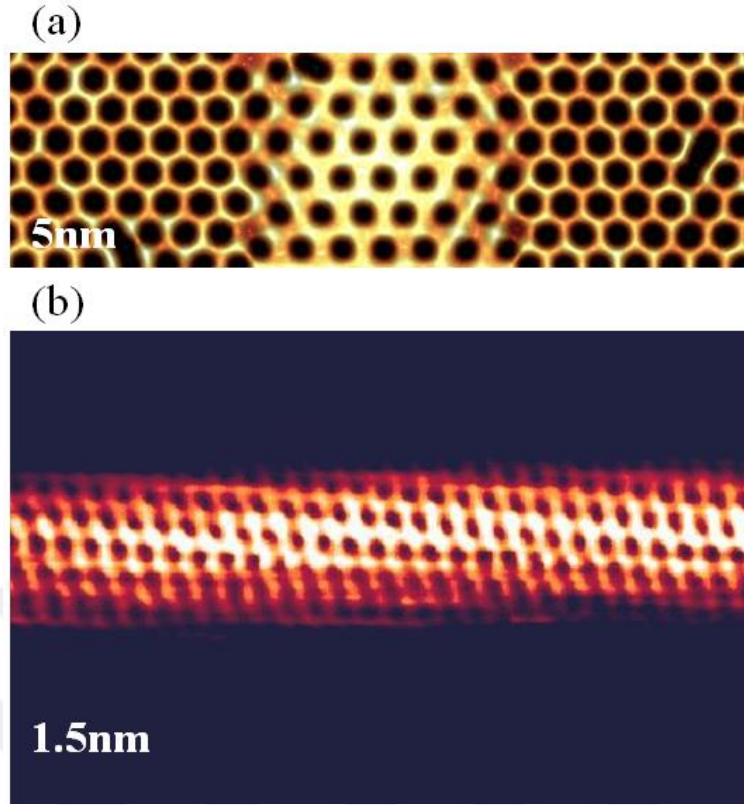
CST MWS kullanılarak yapılan sayısal analiz, Şekil 2.10'da gösterildiği gibi iletim spektroskopisine dayalı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2.10. CST MWS kullanılarak değerlendirilmiş elektron geçiş spektroskopisi

2.2. Tasarım Yönleri ve Hususlar

1991 yılında Sumio Iijima [31] tarafından 1D SWCNT yapılarını oluşturan grafen tabakalarının kapalı silindirik formlarının keşfinden bu yana, birçok bilimsel topluluk tarafından büyük ilgi gördüler. SWCNT yapıları temel olarak rulo haline getirilmiş tek bir grafen katmanından oluşturulur. Şekil 2.11(b)'de gösterildiği gibi tek bir nanotüp oluşturmak için Şekil 2.11 (a) daki grafen belirli bir merkez üzerinde 0.142 nm kalınlığında bükülür. Bu nedenle, SWCNT yapılarının özellikleri esas olarak yuvarlanma merkezinden etkilenir ve üç türe ayrılır: Zigzag SWCNT, koltuk SWCNT ve kiral SWCNT [34]. Zigzag SWCNT'ler yalıtkandır, koltuk SWCNT'leri iletken ve kiral SWCNT'ler yarı iletken [22].



Şekil 2.11. Taramalı tünelleme mikroskop görüntüleri: (a) grafen tabakası ve (b) SWCNT

SWCNT tabanlı nano antenler ve nano dizilerin farklı potansiyel elektromanyetik problemlerde kullanımı birçok uygulama için araştırılmıştır [34,35]. Örneğin, [14]'deki gibi IR ve optik rejimler için karbon nanotüp tabanlı dipol antenler geliştirilmiştir. Karbon nanotüpün dinamik elektriksel iletkenliği ve dağılım etkileri [36] potansiyel nano anten uygulamalarında tartışıldı. [25]'da karbon nanotüp anteni ve bir nano-küre arasındaki optik etkileşimler araştırılmıştır. Nano-anten uygulamaları için karbon nanotüpün iletim özellikleri [37]'de incelenmiştir. Daha sonra [38] ve [39]'da dipol anten uygulamaları için bir dizi karbon nanotüp geliştirildi. [17]'da lazer uygulamaları için dinamik kuantum iletkenliğine dayalı bir terahertz anten dipol anteni sunuldu.

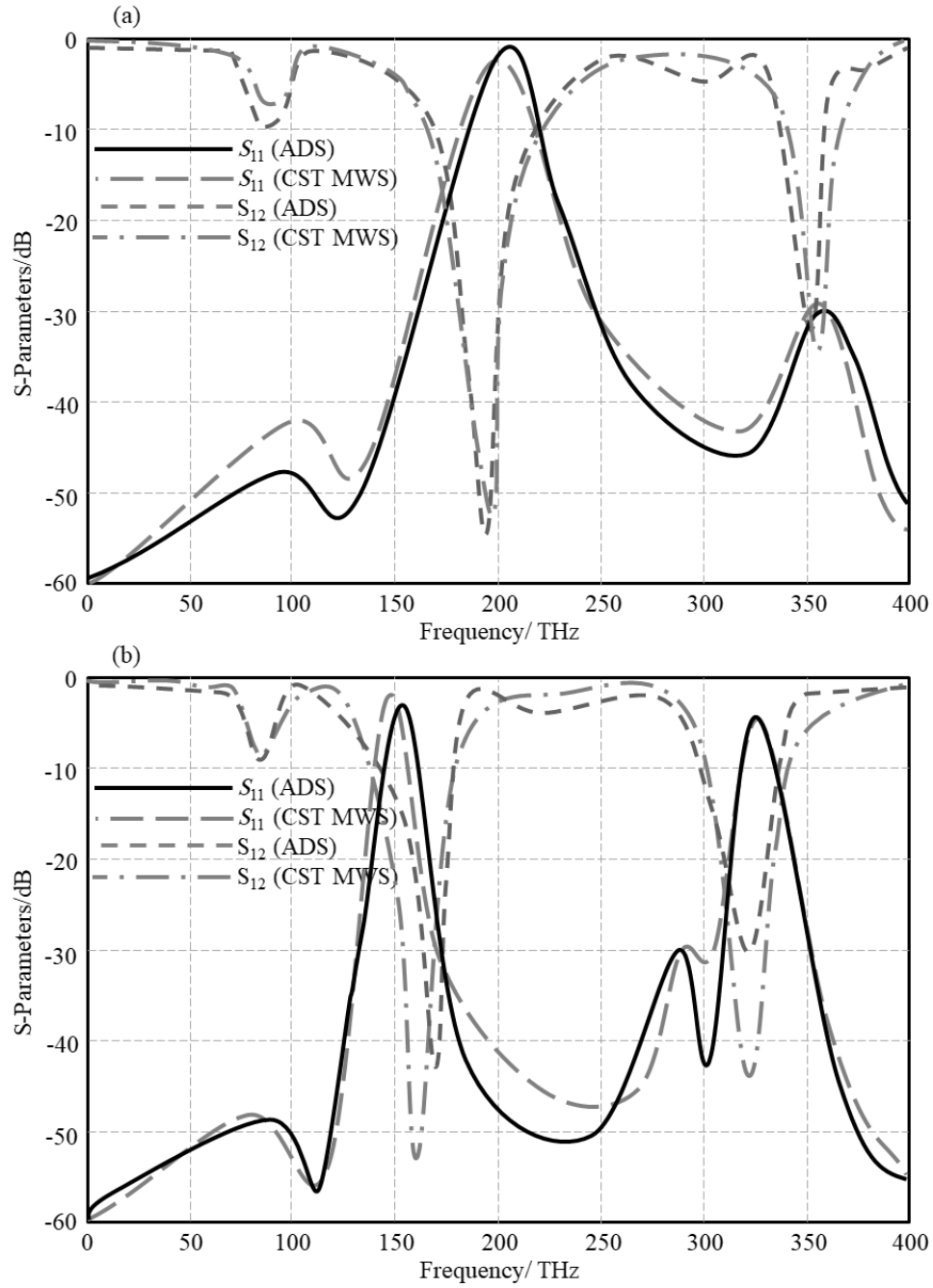
Güneş panellerinin verimliliğini artırmak için bir tutucu katman olarak karbon nanotüp anten dizilerinin kullanımı geliştirilmiştir. [40]'deki uygulamalar, [41]'de geliştirilen optik rejimde güneş pili verimliliğini artırmak için odaklama katmanı olarak kullanılan nano kürelere genişletildi.

Metallerin Ohmik direncinin aksine SWCNT'lerin balistik kuantum fenomenolojik parametrelerle tanımlanabilecek çeşitli özellikleri vardır. Bu nedenle, optik rejimlerde düşük güç kayıplarında verimli bir anten elde edilebilir. Ayrıca, SWCNT ortamındaki dalga yayılımı, anten boyutunun daha fazla küçültülmesi için geleneksel metallardan çok daha yavaştır [18]. Bu özellik, SWCNT yapısını yüksek THz antenler için mükemmel bir seçim haline getirecektir.

Bu çalışmada, görünür optik rejim için nano ölçekli bir anten tabanlı SWCNT dipol anten parametreleri sunulmuştur. (10,10) ve (21,21) endekslerine dayalı iki SWCNT anteni ile ilgili parametreler karşılaştırılmış ve ardından SİLİKON'a dayalı özdeş antenleriyle değerlendirme yapılmıştır.

2.2.1.SWCNT Gerçekçi Modele Dayalı İletim Hattı Analizi

Bu bölüm için, dikkate alınan her iki SWCNT, sayısal analize dayalı olarak CSTMWS ortamlarında modellenmiştir [4] ve analitik simülasyonlara dayalı Gelişmiş Tasarım Sistemleri yazılım paketi [42] ile doğrulanmıştır. Şekil 2.13'da görüldüğü gibi hem CSTMWS'den hem de ADS'den değerlendirilen SWCNT S parametreleri birbiriyle uyum içindedir.



Şekil 2.13. Değerlendirilen S-parametre spektrumları: (a) SWCNT (10,10) için ve (b) SWCNT (21,21) için

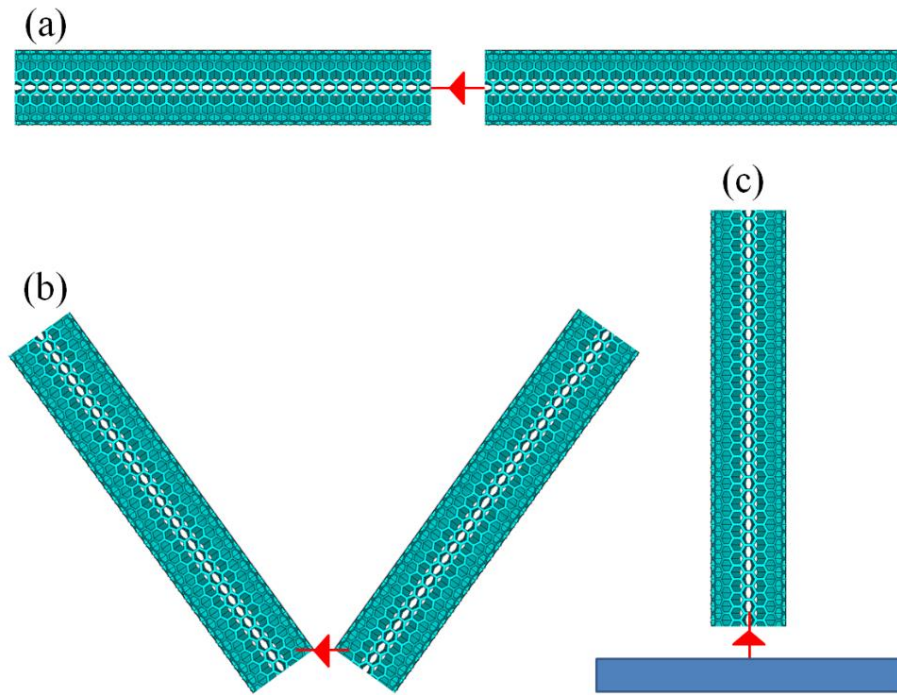
2.2.2. Anten Yapısı

Önerilen antenler, gümüş zemin düzlem tabakası üzerinde dikey olarak hizalanmış bir dipol yapısı olarak inşa edilmiştir. Önerilen dipolleri oluşturmak için iki farklı malzeme türü, SWCNT ve SİLİKON yapılar kullanıldı. Bu nedenle, iki dipol (Şekil 2.14'ye bakınız) önerilmektedir: İlk model, aynı boyutlarda SİLİKON'a dayalı bir eşdeğeri olan bir SWCNT (10,10)'a ve diğeri bir SWCNT (21,21)'e dayanmaktadır. SİLİKON antenler, satılan silikon

tellerden yapılırken, SWCNT modelleri tek bir gerçekçi rulo halindeki grafen katmanından yapılmıştır. Gümüş zemin düzlemi, $20 \text{ nm} \times 20 \text{ nm}$ düzlemsel kare katman olarak inşa edilmiştir. Yer düzlemi boyutları, SİLİKON dizileri arasında [2]'de belirtilen önerilen ayırma mesafelerine göre değerlendirilir. Tablo 2.7'de malzeme özellikleri özetlenmiş ve fenomenolojik parametrelere göre karşılaştırılmıştır.

Tablo II; Önerilen materyallerin fenomenolojik parametreleri.

Material	$\gamma \text{ (e.V)}$	$\tau \text{ (ps)}$	Reference
SWCNT _(10,10)	3.059	0.011	6
SILICON	3.504	0.068	16
SWCNT _(21,21)	4.067	0.019	11
Silver	2.076	0.036	15



Şekil 2.14. Önerilen anten geometrileri: (a) düzenli dipol, (b) Vee-dipol ve (c) monopol

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal Özellikleri

3.1.1.SWCNT

SWCNT özellikleri, [40]'de açıklanan SWCNT'nin balistik iletkenliğinin yarı-klasik Slepian modeline dayalı olarak karmaşık geçirgenlik $\epsilon = \epsilon' + j\epsilon''$ cinsinden hesaplanır. Bu tür iletkenlik, SWCNT indeksinin aşağıdaki şekilde verilen bir fonksiyonudur:

$$\sigma_{cn}(\omega) = \frac{je^2\omega}{\pi^2\hbar a} \left\{ \frac{1}{\omega(\omega - jv)} \sum_{s=1}^m \int_{FBZ} \frac{\partial F_c}{\partial p_z} \frac{\partial \epsilon_c}{\partial p_z} dp_z + 2 \sum_{s=1}^m \int_{FBZ} \epsilon_c |R_{vc}|^2 \frac{F_c - F_v}{\hbar^2 \omega(\omega - jv) - 4\epsilon_c^2} dp_z \right\} \quad (3.2)$$

$v = \tau^{-1}$ (3.2)

Burada v durulma frekansıdır, $\hbar$ normalleştirilmiş Planck sabitidir olup 1.05457×10^{-34} Js değerine sahiptir, e , 1.602×10^{-19} C, luk elektron yüküdür,

Önerilen çalışmada, SWCNT yapısının gerçekçi geometrisi, dikişsiz silindir olarak 3B kapalı rulo halinde grafen levha olarak modellenmiştir. Ancak, denklem (1.7)'deki iletkenlik fonksiyonu 1B formdadır ve bir 3B forma dönüştürülmek üzere $J_0([a_0 - a_i] \delta_s)$ ve $J_1([a_0 - a_i] \delta_s)$ de birinci tür Bessel fonksiyonları) uygulanır. Bununla birlikte, SWCNT karmaşık geçirgenliğini (ϵ_r) hesaplamak için, değerlendirilen 3B iletkenlik [36]'e göre şu şekilde dönüştürülür:

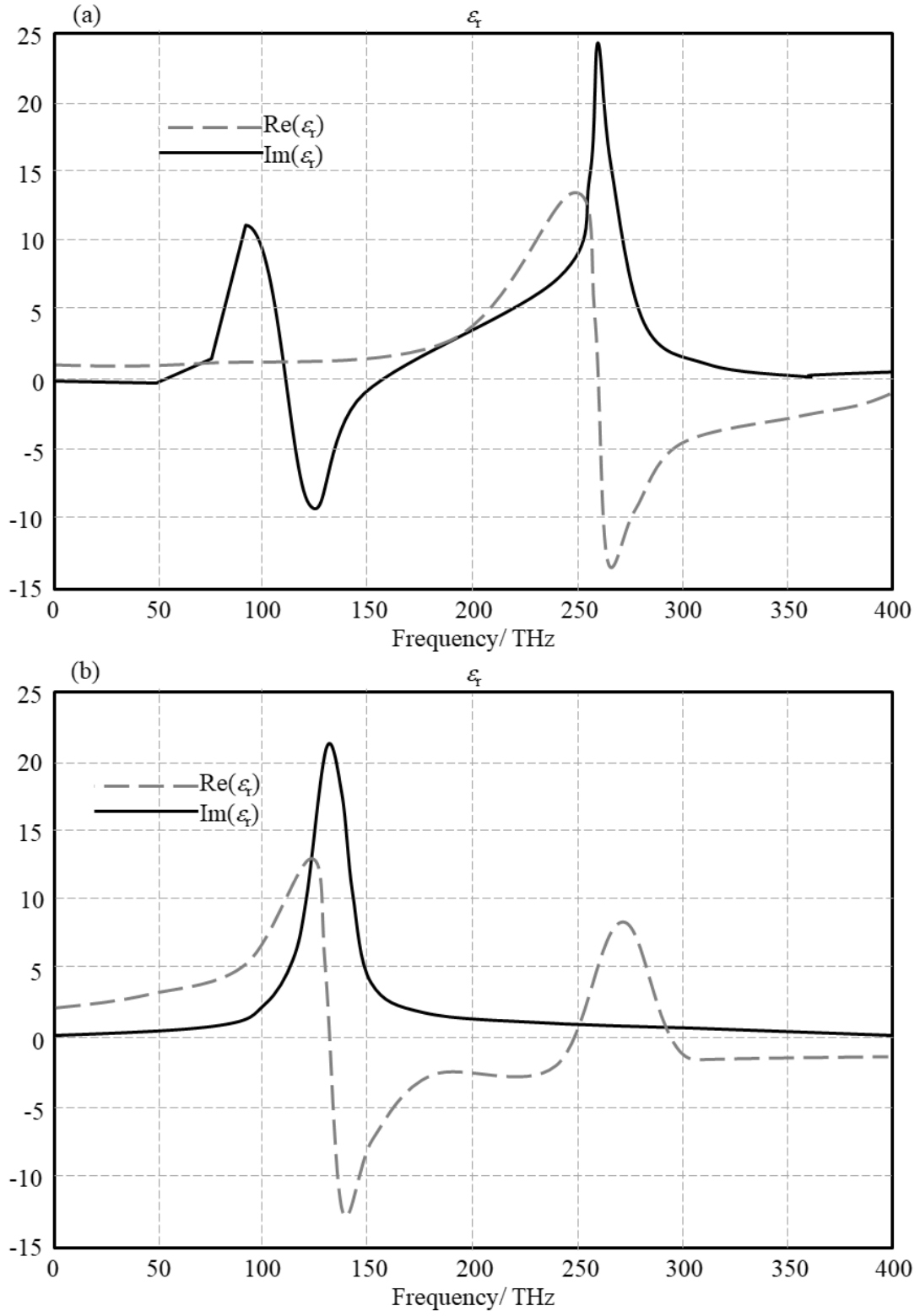
$$\epsilon_r(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{2\sigma'_{cn}(\omega)}{\omega\epsilon_0(a_0 - a_i)} - j \frac{2\sigma''_{cn}(\omega)}{\omega\epsilon_0(a_0 - a_i)} = \epsilon'_r + j\epsilon''_r \quad (3.3)$$

Burada ϵ_∞ sonsuzdaki bağıl geçirgenliktir. A_0 ve a_i sırasıyla dış ve iç yarıçaplardır. Bu modelde, ϵ_r hesaplamasında grafen katman kalınlığının etkisi dahil edilerek [26]'de

incelenen modele kıyasla bir başka modifikasyon uygulanır. 1991 yılında Sumio Iijima tarafından keşfedilen grafen tabaka kalınlığı 0.142nm' olarak verilmiştir [31].

Karmaşık ϵ_r spektrumunun hesaplanmasında, 300THz ila 700THz arasındaki tüm optik rejim spektrumu, hem SWCNT endeksleri (10,10) hem de (21,21) için Şekil 3.1'de görüldüğü gibi kabul edilir. SWCNT (10,10) yapısı için, 550THz'de $\text{Re}(\epsilon_r) = \epsilon'_r > 0$ 'ın maksimum değere sahip olmakla birlikte, burada kendiliğinden elektron geçişlerinin meydana geldiği de ifade edilir[1]. Bununla birlikte $\text{Im}(\epsilon_r) = \epsilon''_r$ kısmı anten performansı üzerinde de olumsuz etkili olacaktır, ancak SWCNT (10,10) yapısının kendiliğinden rezonansı daha sonra gösterileceği gibi antenin elektriksel rezonansına hâkim olabilir. Aynı şekilde, SWCNT (21,21) yapısının performansına uygulanabilirliği de benzerlik taşıdığı bulunmuştur.





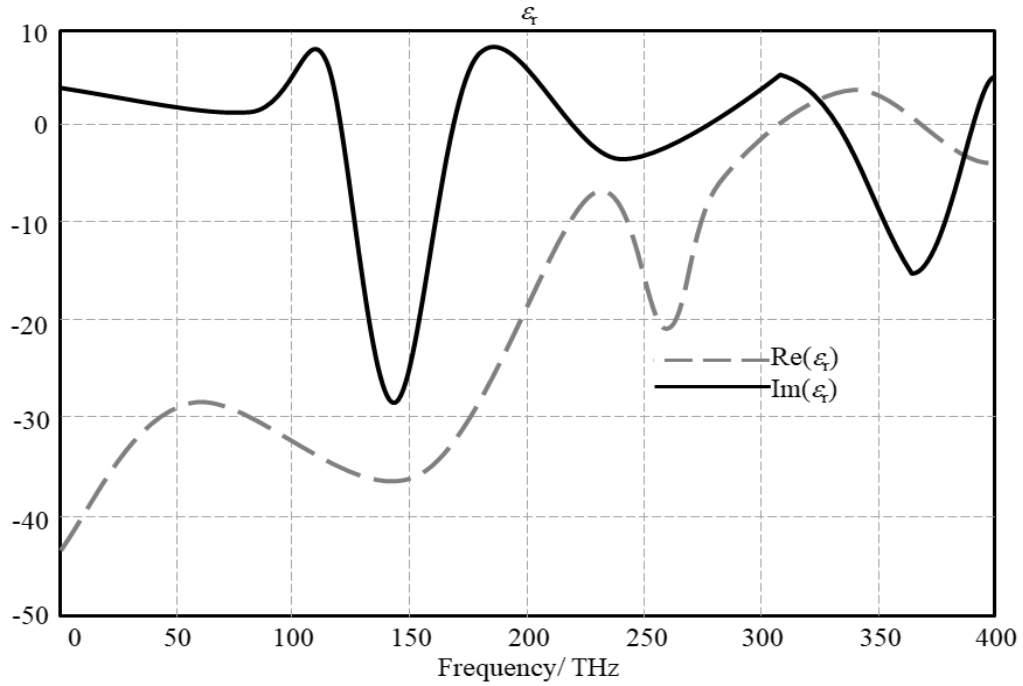
Şekil 3.1. Değiştirilmiş Slepian modeline göre değerlendirilen karmaşık bağlı geçirgenlik: (a) SWCNT (10,10) ve (b) SWCNT (21,21)

3.1.2. SİLİKON

Önerilen antenler, SİLİKON'a dayalı olarak özdeşleriyle karşılaştırılır. Optik rejimde iletken bir malzeme olarak silikon, Şekil 3.7'teki $\text{Im}(\epsilon_r)$ spektrumunda görüldüğü gibi kabul edilebilir kayıplarla negatif $\text{Re}(\epsilon_r)$ spektrumu gösterir. Bunun nedeni, metalurjik elementlerdeki metalik bağın elektron-gaz modelinde açıklanan plazmonik hareketlerdir [43]. Bu nedenle, Şekil 3.2'de sunulan karmaşık bağıl geçirgenlik, [44]'daki Drude-Lorentz modeline göre ifade edilir:

$$\epsilon_r(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)\omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2 + j\gamma\omega\omega_0} - \frac{\omega_D^2}{\omega^2 - j\omega_r\omega} = \epsilon_r' + j\epsilon_r'' \quad (3.4)$$

Burada ϵ_s düşük frekans geçirgenliğidir, ω_0 açısall frekans rezonansı, γ salınımın sönümlleme faktörü, ω_D plazma rezonans frekansı ve ω_r saçılmama frekansıdır.



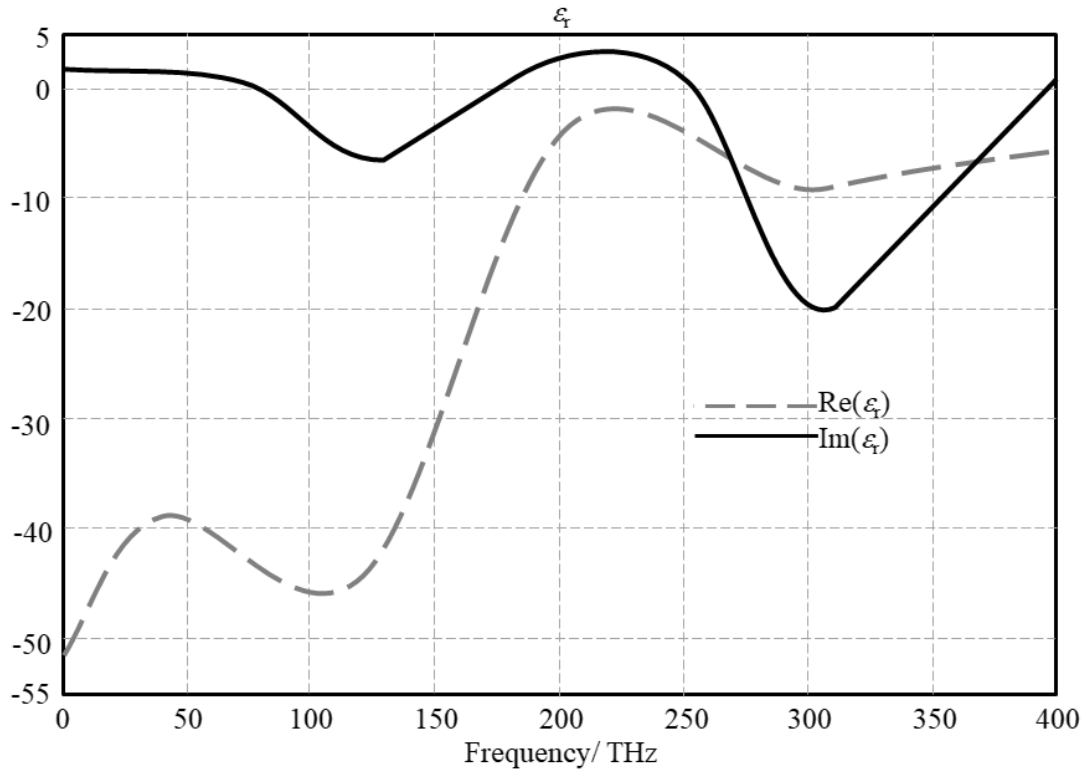
Şekil 3.2. Drude-Lorentz modeline göre değerlendirilen karmaşık göreceli geçirgenlik

3.1.3. Yer düzlemi

Anten yapısı, gümüş bir katmanın zemin düzlemi üzerinde dikey olarak hizalanmıştır. Gümüşün optik frekanslarda göreceli karmaşık geçirgenliği, Johnson-Christy model formülüne [2] göre şu şekilde değerlendirilir:

$$\epsilon_r(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + j\omega\gamma} = \epsilon_r' + j\epsilon_r'' \quad (3.5)$$

Gümüş tabakanın optik frekanslardaki geçirgenliğinin, gerçek kısım için -50'den -5'e kadar şiddetli bir şekilde değiştiği bulunmuştur. Bununla birlikte, sanal kısım tüm frekans bandı boyunca çoğunlukla sabit kalır ve yaklaşık 3'tür. Şekil 3.3, Johnson-Christy modeline [3] dayalı karmaşık geçirgenlik spektrumunu göstermektedir.



Şekil 3.3. Johnson-Christy modeline göre değerlendirilen karmaşık göreceli geçirgenlik

3.2. Kaynak Listesi

3.2.1. CST yazılım paketi

CST Studio Suite®, elektromanyetik bileşenleri ve sistemleri tasarlamak, değerlendirmek ve geliştirmek için kapsamlı bir 3D elektromanyetik (EM) analiz yazılımı paketidir. Tek bir kullanıcı arayüzünde CST Studio Suite, elektromanyetik spektrumdaki uygulamalar için elektromanyetik alan çözümleri sunar. Mühendisler, hibrit simülasyonlar oluşturmak için çözümleri birleştirerek, birkaç bileşenden oluşan tüm sistemleri hızlı ve basit bir şekilde değerlendirmelerine olanak tanır. EM simülasyonu tasarım akışına entegre edilmiştir ve diğer SIMULIA ürünleriyle birlikte tasarım yapılırken başından itibaren geliştirme sürecini yönlendirir.

Elektromanyetik uyumluluk ve parazit (EMC/EMI), insanların EM alanlarına maruz kalması, motorlarda ve jeneratörlerde elektro-mekanik etkiler ve yüksek güçlü cihazlarda termal etkilerin tümü EM araştırmalarında yaygın olan konulardır. Dünyanın en önde gelen teknoloji ve mühendislik kuruluşlarından bazıları CST Studio Suite kullanmaktadır. Daha kısa geliştirme döngüleri ve daha düşük maliyetler gibi önemli üründen pazara avantajlar sağlar. Simülasyon, sanal prototip oluşturmayı mümkün kılar. Olası uyum sorunları erken tasarım aşamasında belirlenebilir ve ele alınabilir ve fiziksel prototip sayısı azaltılabilir.

3.2.2. Spektrometre analizörü

Bir spektrum analizörü, cihazın tüm frekans aralığı boyunca frekansa karşı bir giriş sinyalinin genliğini çizer. En tipik kullanım, bilinen ve bilinmeyen sinyallerden oluşan bir spektrumun büyüklüğünü belirlemektir. Çoğu spektrum analizörü yalnızca elektrik sinyallerine girdi olarak bakar; ancak doğru dönüştürücü ile akustik basınç dalgaları ve optik ışık dalgaları dahil olmak üzere ek sinyallerin spektral bileşimlerine bakılabilir. Ölçüm yapmak için bir monokromatör gibi doğrudan optik teknikleri kullanan optik spektrum analizörleri gibi diğer spektrum analizörleri de mevcuttur.

Bir sinyalin baskın frekansı, gücü, distorsiyonu, harmonikleri, bant genişliği ve diğer spektrum bileşenleri, zaman alanı dalga formlarında hemen belirgin olmayan elektrik sinyallerinin spektrumları incelenerek ortaya çıkarılabilir. Bu kriterler, kablosuz vericiler gibi elektrikli cihazları sınıflandırmak için kullanılabilir. Bir spektrum analizörünün yatay eksen frekansı gösterirken dikey eksen genliği ölçer. Analizör, eğitimsiz bir göze bir

osiloskopu andırır ve birçok laboratuvar cihazı hem osiloskop hem de spektrum analizörü olarak kullanılabilir.

Spektrometre, fiziksel olayların spektrum bileşenlerini ayırmak ve ölçmek için kullanılan bilimsel bir araçtır. "Spektrometre" terimi, spektrum bileşenlerinin bir şekilde entegre edildiği bir olgunun sürekli değişkenini ölçen bir ekipman parçasını ifade eder. Görünür ışıktaki, bir spektrometre beyaz ışığı ayırt edebilir ve spektrum olarak bilinen farklı küçük renk bantlarını algılayabilir. Bir kütle spektrometresi, bir gazda bulunan atomların veya moleküllerin kütlelerinin spektrumunu ölçer. İlk spektrometreler, ışığı bir renk spektrumuna ayırmak için kullanıldı. Spektrometreler, fizik, astronomi ve kimyadaki erken çalışmaların bir sonucu olarak geliştirildi. Spektroskopinin kimyasal bileşimi belirleme yeteneği büyümesini teşvik etti ve en önemli kullanımlarından biri olmaya devam ediyor. Spektrometreler, astronomide yıldızların ve gezegenlerin kimyasal bileşimini incelemek ve ayrıca evrenin kökenleri hakkında bilgi toplamak için kullanılır. Spektrometreler, kütle, momentum veya enerji kullanarak parçacıkları, atomları ve molekülleri ayırt etmeye yarayan makinelerdir. Bu spektrometreler hem kimyasal analizde hem de parçacık fiziğinde kullanılır.

3.2.3. CNT ve SİLİKON

Karbon nanotüpler (CNT'ler), sarılmış tek katmanlı karbon atomu tabakalarından (grafen) oluşan silindirik şeklindeki moleküllerdir. Tek duvarlı nanotüpler (SWCNT) 1 nanometreden (nm) daha küçük bir çapa sahipken, çok duvarlı nanotüpler (MWCNT) 100 nm'den daha büyük çaplara sahiptir ve çok sayıda eş merkezli birbirine bağlı nanotüpten oluşur. Uzunlukları birkaç mikrometreden milimetreye kadar değişebilir.

CNT'ler, tıpkı yapı taşı grafen gibi, olağanüstü derecede güçlü bir moleküler bağlantı türü olan sp^2 bağlarıyla kimyasal olarak bağlanır. Bu özellik, karbon nanotüplerin van der Waals kuvvetleri nedeniyle birbirine bağlanmaya yönelik doğal eğilimi ile birlikte, son derece iletken elektriksel ve termal özelliklere sahip ultra yüksek mukavemetli, düşük ağırlıklı malzemelerin geliştirilmesine olanak tanır. Bu, onları geniş bir uygulama yelpazesi için çok çekici hale getirir.

Nanotüplerin elektriksel özellikleri, grafen katmanlarının yuvarlanma yönü (yuvarlanma veya kiral vektör) tarafından belirlenir. Nanotüpün kiralitesinin altıgen karbon atomu latisi, nanotüpün altıgen karbon atomu kafesinin açısını tanımlar. Koltuk benzeri formları

nedeniyle bu şekilde adlandırılan koltuk nanotüpleri, eşit kiral indekslere sahiptir ve kusursuz iletkenlikleri için çok aranır. Yarı iletken oldukları düşünülen zikzak nanotüplerden farklıdır. Bir grafen tabakasının 30 derecelik basit bir dönüşü, oluşturduğu nanotüpü koltuktan zikzağa veya tam tersine dönüştürür. MWCNT'ler her zaman iletken ve en azından metallerle aynı iletkenlik derecesine ulaşırken, SWCNT'lerin iletkenliği kiral vektörleri tarafından belirlenir: iletken olmayan bir metal gibi davranabilir ve elektriksel olarak iletken olabilirler veya bir yarı iletken gibi davranabilir ve olabilir. Örneğin, helisite aralığındaki küçük bir değişiklik, metal bir boruyu geniş aralıklı bir yarı iletkene dönüştürebilir.

Genellikle SiNW'ler olarak bilinen silikon nanoteller, bir silikon öncüsünden bir buhar veya sıvı fazdan katı veya hızlandırılmış bir büyümenin aşındırılmasıyla oluşturulan bir tür yarı iletken nanoteldir. Isıl oksidasyon prosesleri genellikle hassas şekilde kontrol edilen boyut ve şekle sahip yapılar üretmek için SiNW'lerin ilk sentezinde kullanılır [31].

SiNW'ler, toplu (üç boyutlu) silikon malzemelerde görülmeyen özellikler sergiler. Bu özellikler, benzersiz bir yarı tek boyutlu elektronik yapının sonucudur ve çeşitli alanlarda ve uygulamalarda incelenmektedir. SiNW'ler, karmaşık ve pahalı üretim ekipmanlarına ihtiyaç duymadan nano ölçekli elektronikler için yapı taşları olarak kullanılabildikleri için en önemli tek boyutlu malzemelerden biridir [1]. Fotovoltaikler, nanotel piller, termoelektrikler ve kalıcı bellek, SiNW'lerin kullanımlarından sadece birkaçıdır [22].

3.2.4. Python ve Matlab

Python, üst düzey ve genel amaçlı bir programlama dilidir. Tasarım felsefesinde önemli ölçüde girdi kullanılması, kodun okunabilirliğini artırır. Dil öğeleri ve nesne yönelimli yaklaşımı, programcılara hem küçük hem de büyük ölçekli projeler için açık, mantıksal kod yazmada yardımcı olmayı amaçlar [10]. Yapılandırılmış (özellikle prosedürel) programlama, nesne yönelimli programlama ve işlevsel programlama dahil olmak üzere çeşitli programlama paradigmalarını destekler. Kapsamlı standart kitaplığı nedeniyle, bazen "piller dahil" bir dil olarak anılır [11].

Guido van Rossum, 1980'lerin sonlarında ABC programlama dilinin yerine Python üzerinde çalışmaya başladı ve Python 0.9.0 1991'de piyasaya sürüldü [12]. 2000 yılında, liste anlama ve referans sayımına dayalı bir çöp toplama mekanizması gibi yeni yetenekler getiren Python 2.0 piyasaya sürüldü. Python 3.0, 2008'de yayınlandı ve geriye dönük uyumlu olmayan

önemli bir dil değişikliği idi. Python 2, 2020'de 2.7.18 sürümüyle kullanımdan kaldırıldı. [13]. Python, piyasadaki en popüler programlama dillerinden biridir.

MATLAB ("MATrix LABoratory" kısaltması), MathWorks'e özel birçok paradigma programlama dili ve sayısal hesaplama ortamıdır. Matris işlemleri, fonksiyon ve veri görselleştirme, algoritma uygulaması, kullanıcı arayüzü oluşturma ve diğer dillerde yazılmış programlarla arayüz oluşturma MATLAB ile mümkündür. MATLAB öncelikle sayısal hesaplamalar için tasarlanmış olsa da isteğe bağlı bir araç kutusu, sembolik hesaplama yetenekleri sağlamak için MuPAD sembolik motorunu kullanır. Ayrı bir yazılım olan Simulink, karışıma dinamik ve gömülü sistemler için grafiksel çok alanlı simülasyon ve model tabanlı tasarım ekler.

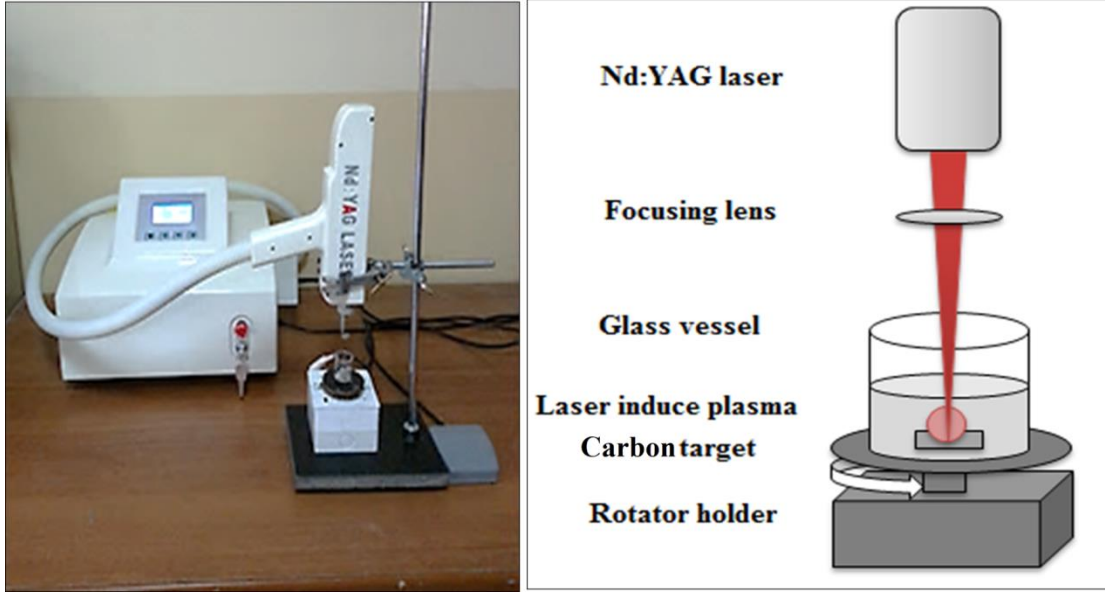
3.3. Materyal Hazırlama

3.3.1. SWCNT Hazırlama

Hedef olarak, %98,36 saflığa sahip bir numune kullanıldı. İlgili parametreleri Irak Bilim ve Teknoloji Bakanlığına bağlı laboratuvarlardaki (SKYRAY EDX P370) cihazı kullanılarak belirlendi. Ablasyon tekniğini kullanmadan önce hedefin yüzeyi etanol ve deiyonize su kullanılarak zımparalandı ve parlatıldı. Bu prosedür, imalat hatalarından kaynaklanan yüzey pürüzlülüğünü ortadan kaldırmak için kullanıldı. Bu projedeki sıvı ortam deiyonize sudur.

1064 ve 532nm dalga boylarında, darbe süresi enerjisi 20-1000 mJ, çıkış darbe süresi 10 ns ve tekrarlama hızı 1 Hz olan darbeli Q-anahtarlı Nd: YAG lazer sistemi kullanılmaktadır. 120 mm odak uzaklığına sahip dışbükey bir lens, 2,1 mm (532 nm için) ve 2,4 mm (1064 nm için) çaplarındaki lazer ışınlarını odaklar. (Genetic-EO-SOLO2) joule metre ile kalibrasyondan sonra lazer enerjisinden yararlanılır. Şekil 3.4, sıvı (10.8) içinde lazer ablasyonu için deney düzeneğini göstermektedir. 2 ml deiyonize su içeren açık bir cam tankın dibine batırılan karbon teknelerin darbeli lazer ablasyonu, karbon nanotüpler üretir.

Homojen bir kolloidal çözelti üretmek için cam kavanoz 5 rpm'de dönen bir tutucuya konur. 3 mm, deiyonize suyun hedef üzerindeki yüksekliğidir. 450 darbeli bir lazer ışını, nesneyi farklı lazer enerjisinde (200, 400 ve 600 mJ/darbe) ve dalga boylarında (532 ve 1064 nm) ışınlar. Karbon nanotüplerin üretimini doğrulamak için, ablasyon işleminin ardından kolloidal çözelti hafifçe renklenir.



Şekil 3.4. Sentez karbon botu için sıvı içinde lazer ablasyonunun deneysel kurulumu

3.3.2. Silikon Hazırlama

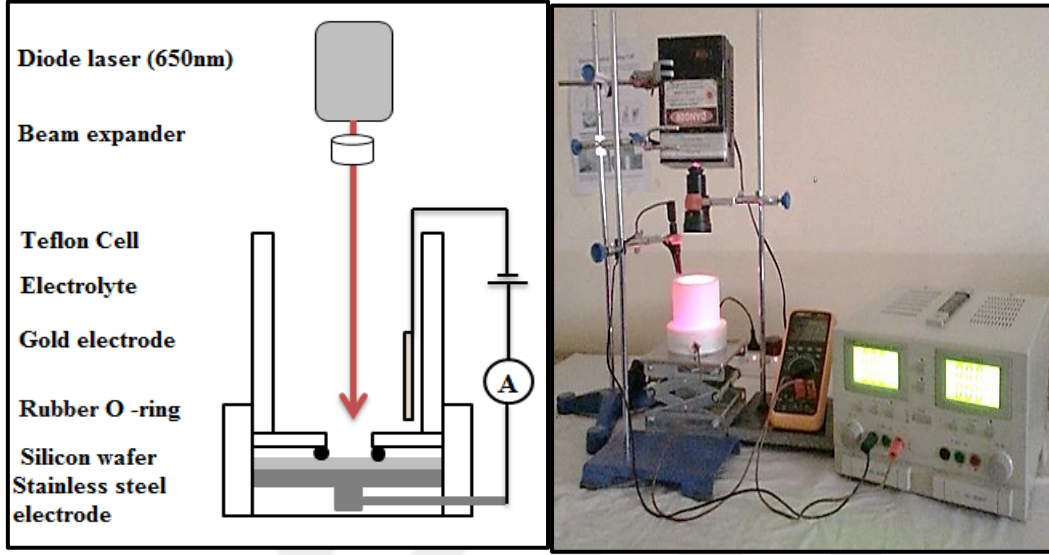
Kullanılan silikon gofret, (0.015 cm) dirençli ve (50815m) bir kalınlığa sahip n-tipi (111) bir silikon gofrettir. Si gofret 22 cm²'lik parçalar halinde dilimlendi, herhangi bir kontaminasyonu gidermek için etanol ile yıkandı, ardından havayla kurutmadan önce doğal oksidi çıkarmak için %5 Hidroflorik asit (HF) ile durulandı. Ohmik kontak oluşturmak için Si gofretinin arka tarafına ince bir Alüminyum tabaka yerleştirilir. Denklem 3.6 uygulanmasıyla, HF konsantrasyonu (%48), aşındırma sırasında hidrojen kabarcıklarını azaltmak için mutlak etanol (Scharlau Co., C₂H₅OH, yüzde 99,99 saflık) ile düşürülür:

$$c_1 v_1 = c_2 v_2 \quad (3.6)$$

Burada c_1 ve v_1 , sırasıyla seyreltilmeden önce HF konsantrasyonu ve hacmi olduğunda, c_2 seyreltildikten sonra HF konsantrasyonudur; v_2 , HF ve etanol çözeltisinin hacmidir.

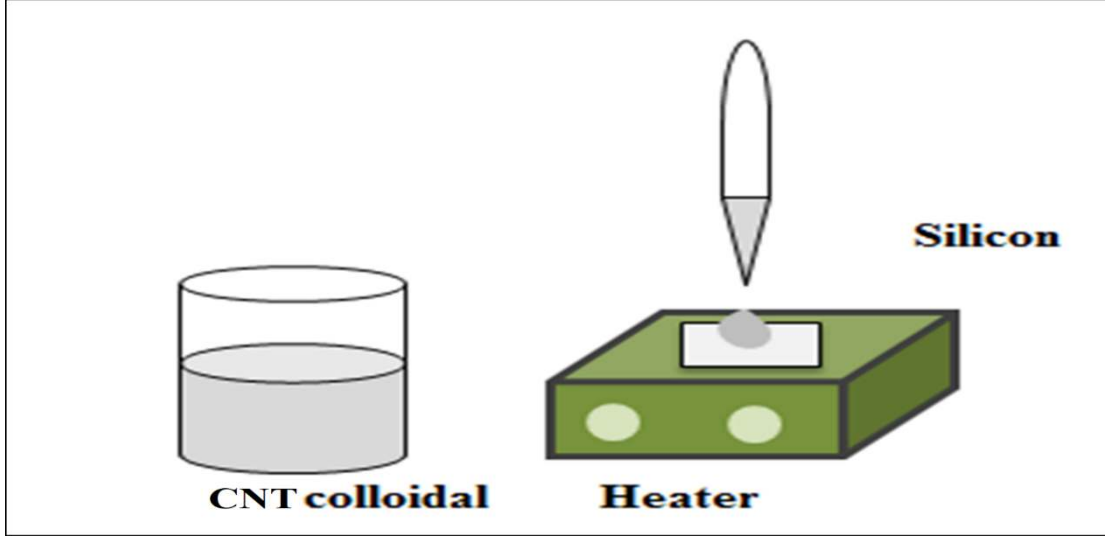
Si yüzeyi, dalga boyu 650 nm ve gücü 20 mW olan bir diyot lazer ile aydınlatılmıştır. Lazer gücünü kalibre etmek için (Genetic-EO-SOLO2) güç ölçer kullanıldı. Işın Genişletici, lazer ışını tüm aşındırma Si alanını aydınlatacak şekilde uzatmak için kullanıldı. Üretilen PS numuneleri için fotoelektrokimyasal aşındırma deneyi kurulumu Şekil 3.5'te gösterilmiştir. PECE hücresi, temas nedeniyle altına paslanmaz çelik disk yerleştirilmiş Teflon'dan oluşuyordu. Elektrolit çözeltisinin silikon levha ile temas etmesini sağlamak için (1 cm²) bir merkez daireye sahip olan üst bileşen takılmadan önce silikon gofret bir kauçuk O-ring ile konur. Hücreye akım uygulamak için iki elektrot kullanılır: biri silikon levhanın altındaki paslanmaz çelik disk ve diğeri HF çözeltisine batırılmış altın bir ağıdır.

QJE DC güç kaynağı (QJ3005XII), dijital ampermetre (VICTOR VC97) ve diyot lazer aydınlatmalı Si yüzeyi elektrik devresini tamamladı. 10 dakika boyunca, PECE prosedürü çeşitli akım yoğunlukları (10, 30 ve 50 mA/cm²) ve sabit bir HF konsantrasyonu (%20) ile gerçekleştirildi. PS numunesi pentan, etanol ile yıkandı ve dağlama prosedüründen sonra bir hava akımı ile kurutuldu.



3.4. CNT Biriktirme Yöntemi

CNT kolloidal çözeltisi damla döküm işlemi kullanılarak cam, silikon ve gözenekli silikon gibi substratlar üzerinde biriktirildi. Biriktirmeden önce, homojenliği sağlamak için kolloidal çözelti ultrasonik vibratör ile 10 dakika titreştirildi. Kolloidal solüsyon daha sonra 60°C'ye ayarlanmış bir ısıtıcı üzerine konan substrat üzerine damlatıldı ve CNT solüsyonunu Şekil (3.6'te gösterildiği gibi) substrat üzerinde ince bir tabakaya dönüştürmek için kurumaya bırakıldı. TiO₂NP'lerin özellikleri, daha sonra bir fotodedektör olarak kullanılan bir substrat üzerinde ince bir tabaka kullanılarak araştırıldı.



Şekil 3.6. CNT koloidal çözeltisinin biriktirilmesi için damla dökümü

3.5. Metalizasyon

Elektriksel özellikleri ölçmek için; bir omik kontak oluşturulması gerekiyordu. Elektrot elde etmek için yüksek saflıkta (%99,9999) alüminyum (Al) kullanılmıştır. Termal buharlaştırma, vakum basıncı (10-5 mbar) ile vakum buharlaştırma sistemi (BLAZER-BNEPVN-063 H) ile sağlandı.

3.6. Ölçüm Teknikleri

TiO₂NPs, PS ve TiO₂NPs/PS'nin yapısal, morfolojik, optik, kimyasal ve elektriksel özellikleri bu çalışmada aşağıdaki ölçümler kullanılarak incelenmiştir:

3.6.1. Yapısal Ölçümler

TiO₂NP'ler, PS ve TiO₂NP'ler/PS'nin yapısal özelliklerini incelemek için X-ışını kırınım yöntemleri (XRD) kullanıldı. 0.154nm dalga boyunda Cu-K radyasyonlu bir SHIMADZU (XRD-6000, JAPONYA) kullanıldı. Scherrer denklemi [28], kırınım deseni analizi yoluyla kristalit boyutunu belirlemek için kullanılabilir:

$$L = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (3.7)$$

L'nin kristal boyutu (nm), K sabiti (0,94), W X-ışını ışını dalga boyu, FWHM yarı maksimumda (radyan) tam genişlik ve D kırınım açısıdır. Bu ölçüm, Irak Sanayi ve Maden Bakanlığı'nın bir parçası olan Irak Jeolojik Araştırma Kurulu tarafından yapılmıştır.

3.6.2. Morfolojik Ölçümler

Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) çeşitli koşullar altında üretilen CNT, PS ve TiO₂NPs/PS numunelerinin yüzey morfolojisini incelemek için kullanıldı (CSPM-AA3000). Bu ölçüm Bağdat Üniversitesi Kimya Bilimleri Bölümü'nde yapıldı. CNT, Teknoloji Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Bölümü'nde SEM (INSPECT S50, ABD) mikroskobu kullanılarak da gözlemlendi.



Şekil 3.7. SEM (INSPECT S50) mikroskopisinin görüntüsü

3.6.3. Yüzey Bileşimi Ölçümleri

CNT ve PS'nin kimyasal bileşimi, 400-4000 cm⁻¹ spektral bölgede Fourier Dönüşüm Kızılötesi (FTIR) kullanılarak belirlendi. CNT ölçümü, Endüstriyel Araştırma ve Geliştirme Kurulu- Sanayi ve Mineraller Bakanlığı'nda bir FTIR spektrometresi (Bruker Tensor 27) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Merkezi- Teknoloji Üniversitesi'nde PS testi için (SHIMADZU) spektrometresi kullanıldı.



Şekil 3.8. FTIR (Bruker Tensor 27) spektrometresinin görüntüsü

3.6.4. Optik Ölçümler

3.6.4.1. UV-Vis Spektrofotometresi

CNT süspansiyonunun optik absorpsiyon spektrumları, spektrum aralığında (200-800nm) çeşitli hazırlama koşulları altında çift ışıklı bir UV-Vis spektrofotometresi (Metertech SP8001, Tayvan) kullanılarak kaydedildi. 1 cm optik yola sahip bir kuvars hücrede, CNT süspansiyonunun optik özellikleri araştırıldı. Tauc modeli [45] kullanılarak, optik bant aralığı görsel olarak hesaplandı:

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^{1/2} \quad (3.8)$$

Soğurma katsayısı cm^{-1} cinsindendir. Burada, $h\nu$ gelen ışık foton enerjisidir, A sabittir ve E_g cm^{-1} (eV) cinsinden enerji aralığıdır. $(h\nu)^2$ 'ye karşı $(h\nu)$ 'nin bir grafiği, foton enerji eksenini geçmek için eğrinin düz çizgisini uzatarak süspansiyonun bant aralığını hesaplamak için kullanılabilir.



Şekil 3.9. UV-Vis (Metertech SP8001) spektrofotometresinin görüntüsü

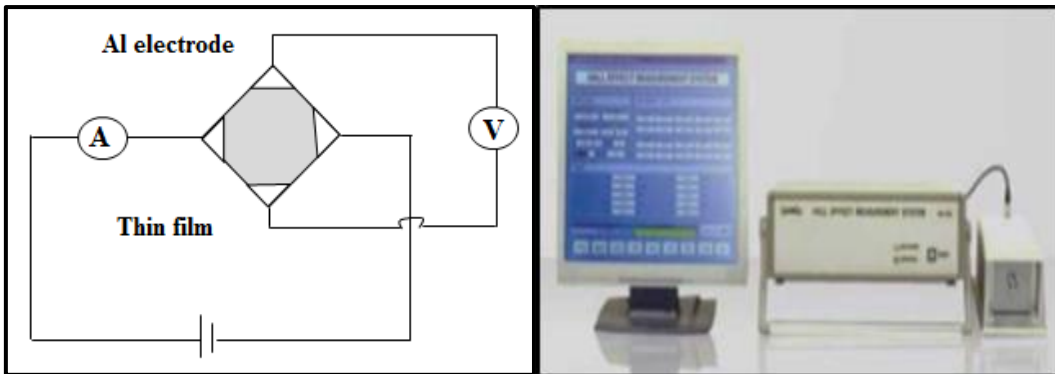
3.6.4.2. Yansıma Spektroskopisi

PS ve TiO₂NPs /PS'nin (300-800nm) yansıma spektrumlarını araştırmak için optik yansıma spektroskopisi (TF-Probe SR200, ABD) kullanıldı. Bilim ve Teknoloji Bakanlığı'nda bu ölçüm yapıldı.

3.6.5. Elektriksel Ölçümler

3.6.5.1. Hall Etkisi

Hall Etkisi, CNT levhasının yarı iletken tipini (n-tipi veya p-tipi), baskın taşıyıcı yapısını (Nd), hareketliliğini (μ), iletkenliğini (σ) ve direncini (ρ) belirlemek için kullanılır. Alüminyum elektrot, şekil (3.10)'de gösterildiği gibi ölçümden önce özel bir maske kullanılarak termal buharlaştırma yoluyla bırakılmıştır. Ölçüm daha sonra Bilim ve Teknoloji Bakanlığı'nda (Ecopia HMS-3000 Hall Ölçüm Sistemi dört nokta probu) kullanılarak tamamlandı.



Şekil 3.10. Hall Etkisi ölçümünün Hall Etkisi sistemi ve elektrik devresi

3.6.5.2. Akım-Gerilim (I-V) Ölçümleri

Al/PS/n-Si/Al ve Al/TiO₂NPs/PS/n-Si/Al (-3V- 3V) akım-voltaj eğrileri, ileri ve geri polarlama için bir dijital ampermetre (VICTOR VC97) ve bir QJE DC güç kaynağı (QJ3005XII) kullanılarak izlendi. TiO₂NPs tabakasının üzerindeki Al kontağına kristalli silikon substrat üzerindeki Al elektroduna göre negatif bir voltaj verildiğinde, ileri akım karanlıkta ölçülmüştür. Aydınlatma ve ters öngerilim altında çeşitli aydınlatma gücü yoğunlukları oluşturmak için bir varyak ile bağlantılı bir Halojen lamba (200 W) kullanıldı. İdealite faktörü (n) ve engel yüksekliği (Φ_B) aşağıdaki denklemler [46] kullanılarak ölçülmüştür:

$$n = \frac{q}{K_B T} \frac{dv}{d(\ln J)} \quad (3.9)$$

$$\Phi_B = \frac{K_B T}{q} \ln\left(\frac{A^{**} T^2}{J_s}\right) \quad (3.10)$$

q, k_B, T, V, J, A^{**} ve J_s elektron yükü (1.6*10⁻¹⁹ C), Boltzmann sabiti (1.38*10⁻²³J/K), mutlak sıcaklık, uygulanan voltaj, ileri akım yoğunluğu olduğunda, Richardson sabiti (n-Si için 112A/cm².K²) [47] ve sırasıyla doyma akımı yoğunluğu. . Logaritmanın doğrusal alanını ileri J-V eğrilerinin sıfır uygulanan gerilime ekstrapolasyonu, doyma akımı yoğunluğunu verir.

3.6.5.3. Kapasitans-Gerilim (C-V) Ölçümleri

Al/TiO₂NPs/PS/n-Si/Al Bağlantısının C-V özellikleri, bir Agilent 4284A (Hassas LCR-metre) kullanılarak 200 kHz frekansta ve (0-3V) ters öngerilim gerilimi ile ölçülmüştür. (1/C²-V) eğrisinin kesişme noktası (1/C²=0), Kavşağın yerleşik potansiyelini (V_{bi}) temsil eder.

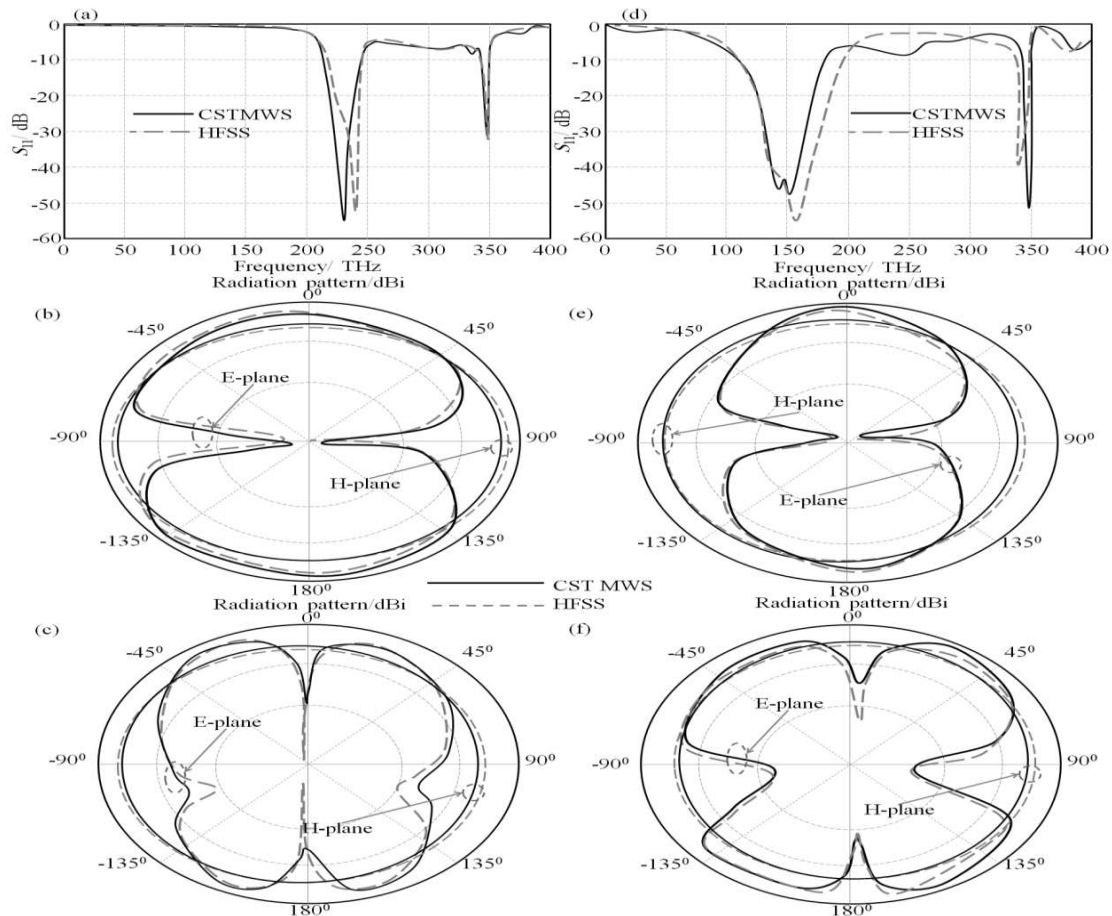
3.6.6. Dedektör Ölçümleri

Al/TiO₂NPs/PS/n-Si/Al heterojunction'ın duyarlılığı (R), bir ışık kaynağı ve 450 nm (200-900 nm) dalga boyu aralığına sahip bir (lambda LEOI-94) monokrom cihazı kullanılarak ölçüldü. Akım, bir elektrometre (Keithley 6517B) kullanılarak ölçüldü ve tepkime, denklem (2-1) kullanılarak hesaplandı. Dedektiflik (D_λ^*) ve kuantum verimliliği (η) sırasıyla (2-2) ve

(2-5) denklemlerinden hesaplanmıştır. Bu ölçüm Bilim ve Teknoloji Bakanlığı'nda elde edildi.

3.7. Sonuçların Doğrulanması

Bu bölümde, HFSS formülasyonlarının sonlu elemanlar tekniğine dayalı başka bir sayısal simülasyonun kullanımına dayalı bir doğrulama prosedürü gerçekleştirilir [5]. Her iki yazılım programından S_{11} ve radyasyon modelleri açısından elde edilen bulgular, Şekil 3.11'da gösterildiği gibi, her iki SWCNT için mükemmel sonuç doğrulamasını gösteren iyi bir uyum içindedir. Sonuç olarak, önerilen SWCNT tabanlı antenler genellikle çok yönlü radyasyon modelleri üretir. Şekil 3.11(a) ve 3.11(d), sırasıyla $SWCNT_{(10,10)}$ ve $SWCNT_{(21,21)}$ için simüle edilmiş S_{11} spektrumlarını göstermektedir. Ayrıca, her iki frekans modunda da değerlendirilen 2d radyasyon desenleri, her iki SWCNT yapısı için E- ve H-düzlemlerinde değerlendirilir.



Şekil 3.11. Önerilen SWCNT antenlerinin doğrulama sonuçları; (a) $SWCNT_{(10,10)}$ için S_{11} ve (d) $SWCNT_{(21,21)}$ için S_{11} . (b) ve (c) $SWCNT_{(10,10)}$ için sırasıyla 230THz ve 347THz'de ışınlım

modelleri. Son olarak, (e) ve (f) $SWCNT_{(21,21)}$ için sırasıyla 450THz ve 650THz'de ışınlam modelleri

3.8. SWCNT malzeme saflaştırma

Öncelikle tek duvarlı karbon nanotüplerden oluşan ham SWCNT malzemesini Meijo Nano Carbon Co. Ltd.'den (parti EC 2.0) satın alındı. Malzemeyi, O₂ ve N₂ gaz akışı (sırasıyla %20 ve %80) altında 410 oC'de bir fırında oksidatif arıtma tekniği ile saflaştırdık. Daha sonra metal katalizör safsızlıklarını gidermek için SWCNT'leri %30 kütle fraksiyonlu HCl sulu solüsyonunda yıkadık, malzemeyi deiyonize su ile nötralize ettik ve Millrock tezgâh üstü dondurarak kurutucuda dondurarak kuruttuk.

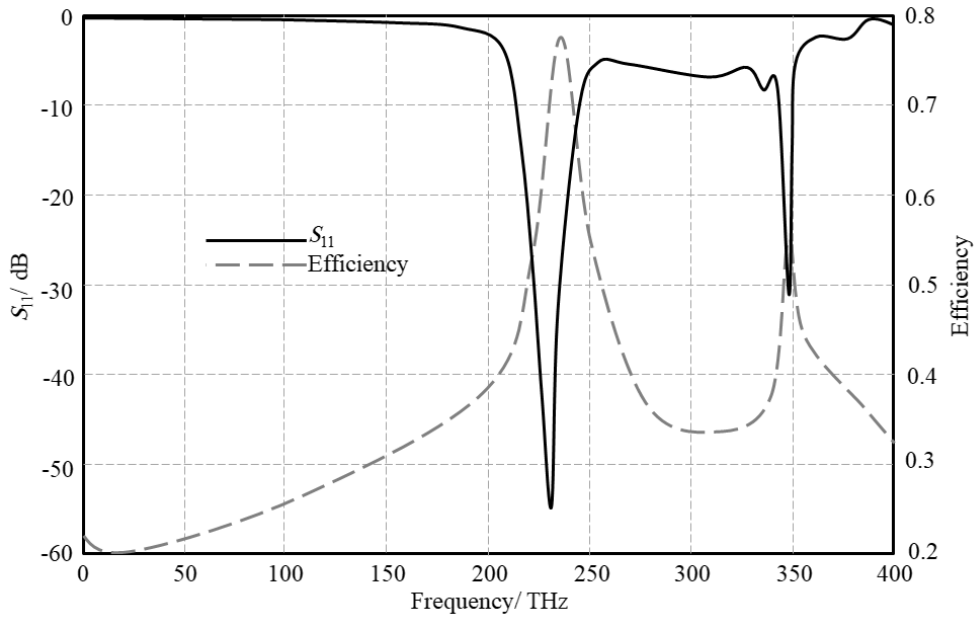
3.9. SWCNT film kesme kaplama ve istifleme

Saflaştırmadan sonra, SWCNT'leri bir DAC 600 hızlı karıştırıcı kullanarak reaktif dereceli (>%99 saflık) HSO₃Cl içinde kütlece %1 konsantrasyonda dağıttık. 1 mL'den az çözelti daha sonra iki cam mikroskop lamı arasına sıkıştırıldı, bunlar hızla kesildi ve asidi uzaklaştıran pıhtılaştırıcı bir eter çözeltisine damlatıldı. Bu üretim yöntemiyle ilgili daha fazla ayrıntı referans [8]'da bulunabilir. Filmlerin kalınlığını, kesme kaplama yönteminin ürettiğinin ötesinde artırmak için, birden fazla filmi istifledik (her zaman kesme hizalamasının yönünü koruyarak) ve bunları asetonla ıslattık. Daha sonra filmleri birbirine hafifçe bastırdık ve asetonu bir ısı tabancasıyla hızla buharlaştırdık.

4. BULGULAR

4.1. SWCNT

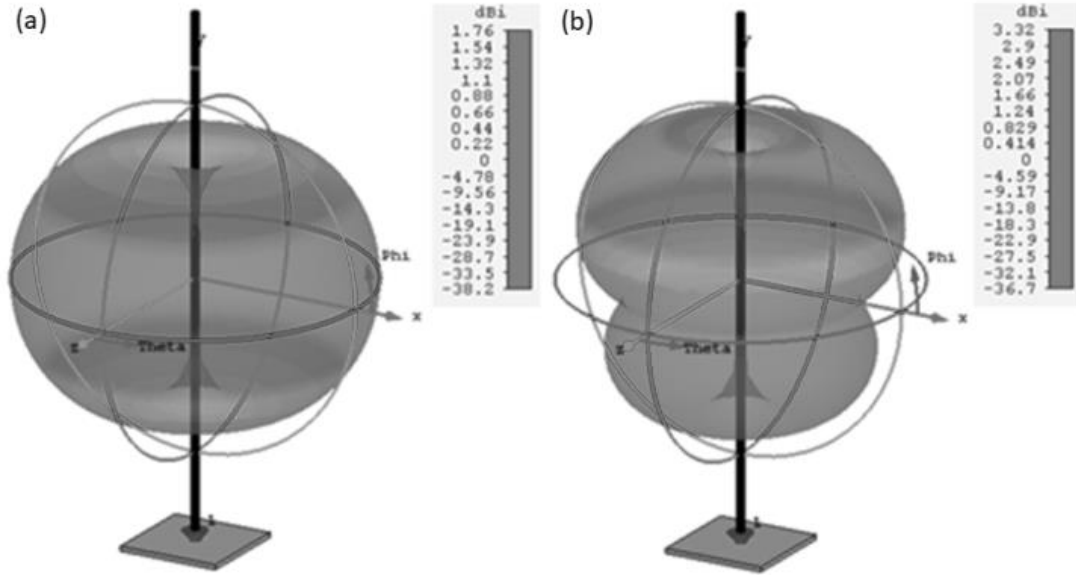
Bu çalışmada önerilen antenler S_{11} , η_r spektrumu ve ışıma modelleri açısından karakterize edilmiştir. Önerilen anten performansı CSTMWS tarafından değerlendirilmiştir. $SWCNT_{(10,10)}$ için S_{11} ve η_r spektrumları Şekil 4.1'de verilmiştir. Önerilen antenin birinci modda 230THz'de ve diğerinde 347THz'de bir frekans rezonansı (f_0) gösterdiği bulunmuştur. Birinci mod bant genişliği (B.W.), $|S_{11}| < -10\text{dB}$, 35THz olarak bulunurken, diğer mod bir B.W. 6THz değerini gösterir. Bununla birlikte, anten 230THz'de 0.77 ve 347THz'de 0.54 η_r değerine sahiptir. 230THz'deki η_r 'nin, plazmonik etkilerden dolayı 347THz'deki η_r 'den daha yüksek olduğu bulunmuştur [43].



Şekil 4.1. $SWCNT_{(10,10)}$ için S_{11} ve η_r spektrumları

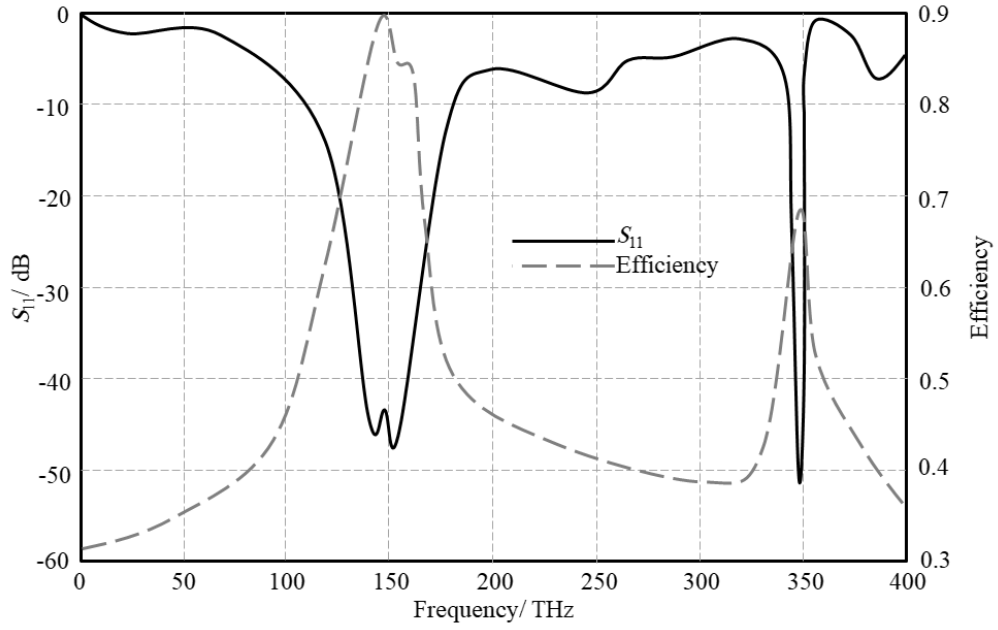
$SWCNT_{(10,10)}$ Antenlerinin anten radyasyon modelleri Şekil 4.2'dedir. Önerilen antenin 230 THz'de çok yönlü bir model radyasyonu gösterdiği bulunmuştur; bununla birlikte, radyasyon deseni 347THz'de daha genişlemiş hale gelir. Bu nedenle, birinci moddaki ve ikinci moddaki radyasyon desenlerinin, elektriksel rezonans radyasyon desenlerine çok benzer olduğu

bulunmuştur [34]. Bu sonuç, bu tür anten radyasyon desenlerinin plazmonik rezonanstan önemli ölçüde etkilenmediğini kanıtlar, ancak elektron plazmonik geçiş sinyalleri nedeniyle frekans rezonansı önemli ölçüde düşer [25]. Bununla birlikte, ikinci moddaki radyasyon deseni, esas olarak, Gauss yasası ile uyumlu olan elektrik yüklerinin esas olarak biriktiği dipol ucuna yöneliktir [40]. Böyle bir durumda, elektrik alanı anten yer düzleminde geniş olan tarafta yönelebilir.



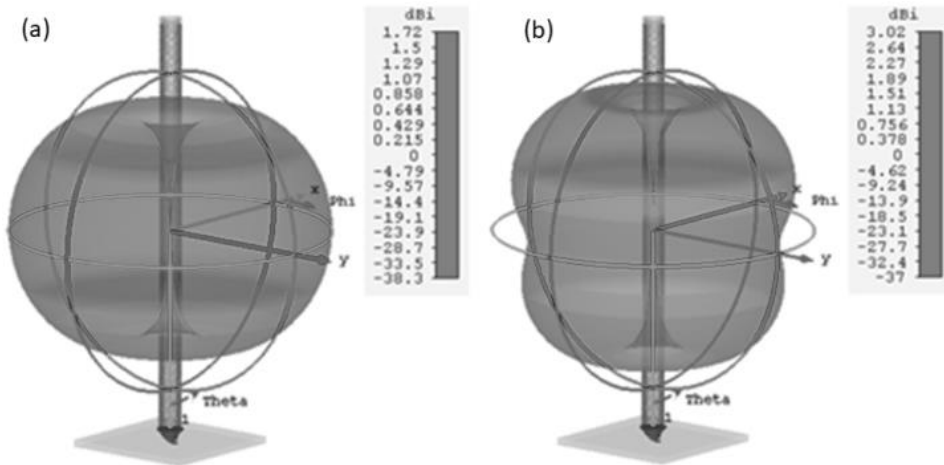
Şekil 4.2. SWCNT (10,10) için 3B radyasyon modelleri: (a) 230THz ve (b) 347THz

Bu aşamada, hem $SWCNT_{(21,21)}$ anteni, hemde $SWCNT_{(10,10)}$ anteninde gözlemlenen plazmonik etki için S11 ve radyasyon özellikleri açısından da inceleme yapılabilir. $SWCNT_{(21,21)}$ Antenin 450THz'de bir rezonans ve 650THz'de başka bir rezonans gösterdiği bulunmuştur. Bu rezonanslar, Şekil 4.3'te gösterildiği gibi dipolün elektriksel uzunluğundan (l) tamamen bağımsız olarak bulunur.



Şekil 4.3. $SWCNT_{(21,21)}$ için S_{11} ve η_r spektrumları

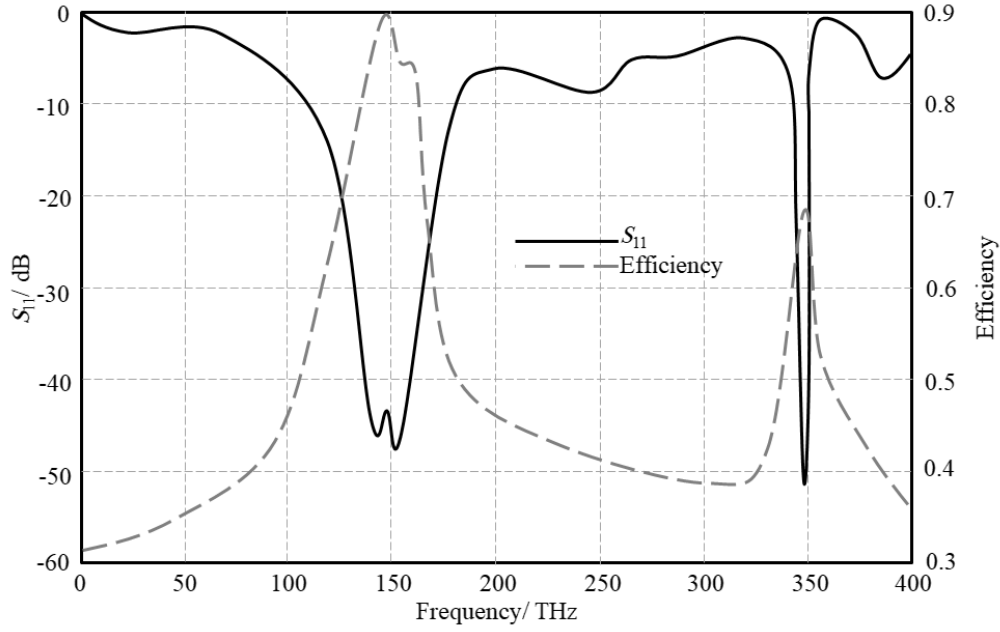
Bununla birlikte, η_r , birinci modda 0.89 ve ikinci modda 0,68 olarak bulunmuştur. İki moddan gelen radyasyon patternlerinin, Şekil 4.8'te görüldüğü gibi, geleneksel elektrik dipol antenlerinin radyasyon patternine benzer olduğu bulunmuştur. Şekil 4.4(a)'deki anten radyasyonu $SWCNT_{(21,21)}$ 'in [39]'deki aynı durum nedeniyle Şekil 4.4(b)'deki ile benzerliğe sahip olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.4. $SWCNT_{(21,21)}$ için 3B radyasyon modelleri: (a) 230THz ve (b) 347THz

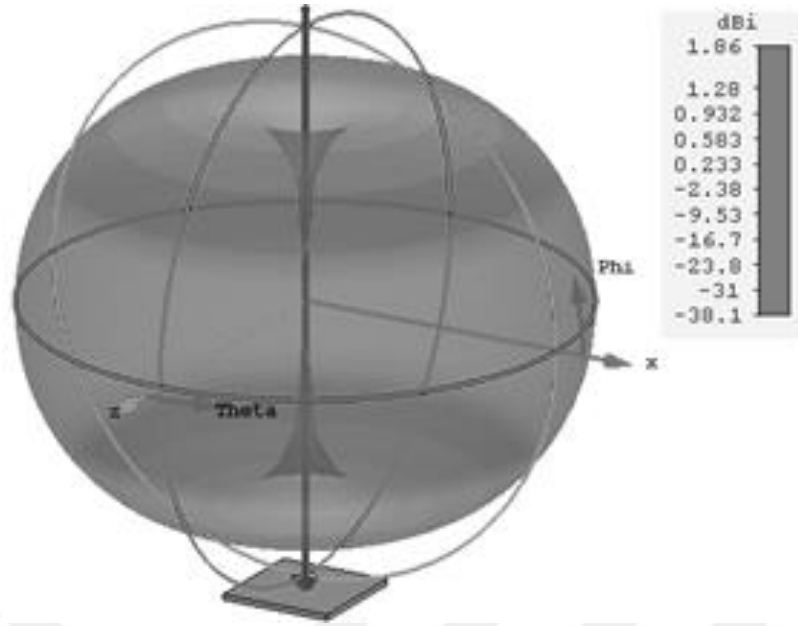
4.2. Silikon

Bir karşılaştırma olarak, SİLİKON'un dipol eşdeğerleri, sırasıyla SİLİKON1 ve SİLİKON2 olarak adlandırılan $SWCNT_{(10,10)}$ ve $SWCNT_{(21,21)}$ dipollerinin aynı boyutlarına dayalı olarak ifade edilmektedir. $SILICON_1$ Anteni, Şekil 12'de gösterildiği gibi 150 THz'de optik bölgede tek bir frekans rezonans modunu gösterir. Anten, 9 nm'lik eşleşen boşluk (G) ile $|S_{11}|=-27\text{dB}$ ile mükemmel bir şekilde uyum sağlamıştır. Şekil 4.5'te gösterildiği gibi frekans rezonansında η_r değeri 0,29 olarak bulunmuştur.



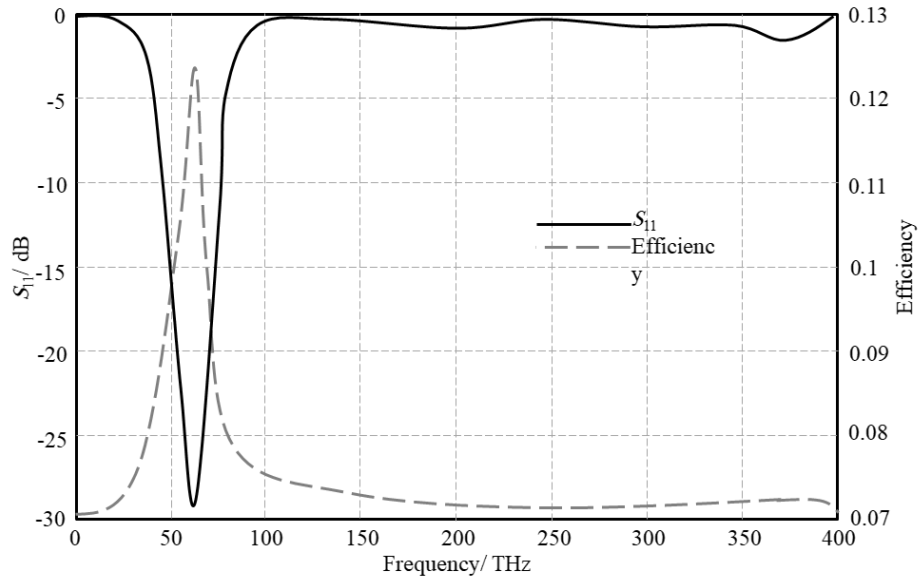
Şekil 4.5. $SILICON_1$ anteni için S_{11} ve η_r spektrumları

3D radyasyon modeli, Şekil 4.6 'da görüldüğü gibi frekans rezonansı ile değerlendirilir. Antenin, 1.86 dBi yönlülük (D) ile çok yönlü bir radyasyon modeli gösterdiği bulunmuştur. $SILICON_1$ Radyasyon modelinin, herhangi bir geleneksel dipol antene çok benzer olduğu görülmektedir.



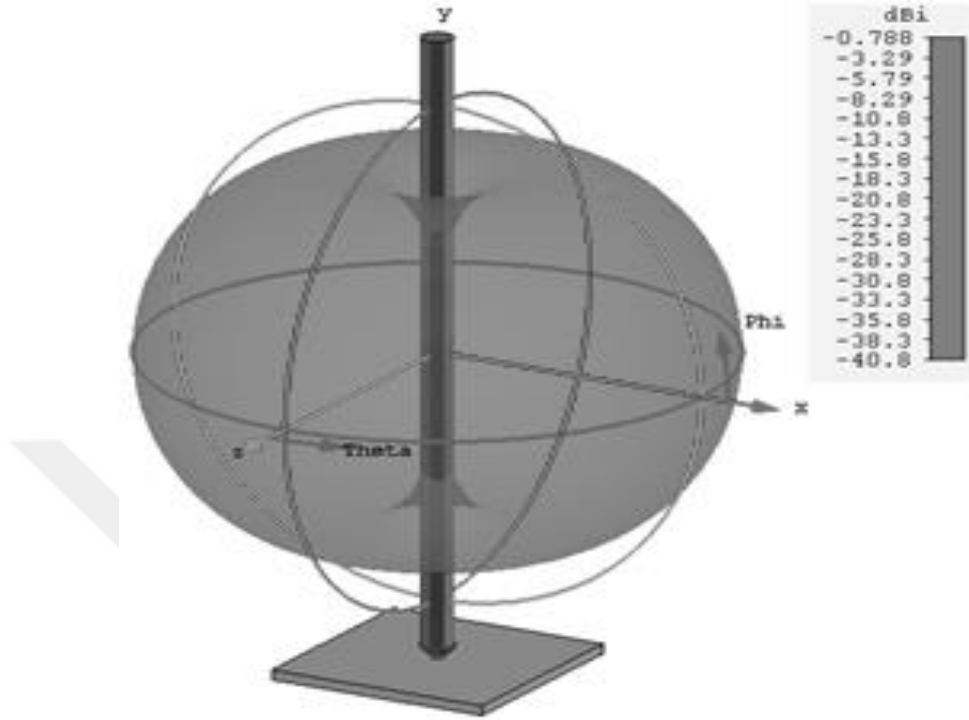
Şekil 4.6. $SILICON_1$ için 3D radyasyon modeli

$SILICON_2$ Anteni, $SWCNT_{(21,21)}$ tabanlı anten modeliyle karşılaştırma için aynı simülasyon ortamlarında modellenmiştir. $SILICON_2$ Anteni, $SWCNT_{(21,21)}$ anteni aynı boyutlarına göre ölçeklendirilmiştir. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi, anten $|S_{11}| = -19\text{dB}$ ile 60THz'de bir rezonans frekansı göstermektedir. η_r , Şekil 4.7'de gösterildiği gibi frekans rezonansında 0,12 olarak bulunur. Anten yarıçapının arttığı durumda malzemede hacimsel kayıplar artar.



Şekil 4.7. $SILICON_2$ anteni için S_{11} ve η_r spektrumları

3D radyasyon modeli Şekil 4.8'de 60THz'de verilmiştir. Anten yönlülüğü, Şekil 4.8'de görüldüğü gibi -0.79dBi civarında bulunur. Anten yönlendirmesindeki bu azalma, anten boyutunun küçülmesi nedeniyle olur.



Şekil 4.8. SILICON₂ için 3D radyasyon modeli

Tablo 4.1'de anten boyutları ve özellikleri açısından bir karşılaştırma özetlenmiştir: İlk olarak, plazmonik etkilerdeki değişime bağlı olarak anten boşluğunun değiştiği bulunmuştur. İkincisi, geçirgenlik spektrumundaki varyasyonu, SWCNT anten rezonansı üzerinde önemli bir etki gösterir. Bununla birlikte, SWCNT'lerdeki plazmonik geçişler nedeniyle SİLİKON anten rezonansları, SWCNT rezonansından tamamen farklı bulunur. SWCNT kafes yapısındaki σ - π sınırları üzerindeki elektron hareketi nedeniyle, aynı SİLİKON antenleriyle karşılaştırıldığında, SWCNT antenlerinde anten bant genişliği önemli ölçüde artar [33]; ancak böyle bir hareket SİLİKON yapı kafesinde tanımlanmamıştır [39]. Daha sonra, η r anteni, SILICON1 anten modeline kıyasla SILICON2 anteninin SILICON1 yarıçapını artırdıktan sonra hacimsel malzeme kaybındaki artışa neden olur [48]. Ayrıca, SILICON2 anten modelinde anten yönlülüğü ciddi şekilde azalır, burada SILICON2 anten elektromanyetik anten açıklığını azaltan maksimum boyut küçültmesini gösterir [49].

Tablo 4.1. Önerilen anten performans ve boyutlarının karşılaştırılması

Structure/Type	G/ nm	l/λ_0	f_0 / THz	$ S_{11} $ / Db	B.W./ THz	η_r	D/ dBi
SWCNT _(10,10)	5.5	0.176	230	-55	35	0.77	1.7
			347	-31	6	0.54	3.3
SILICON ₁	9	0.157	150	-15	30	0.29	1.8
SWCNT _(21,21)	3.6	0.089	450	-18	70	0.89	3.1
			650	-11	4	0.68	1.9
SILICON ₂	6.8	0.072	60	-19	30	0.12	-0.7

Son olarak, bant genişliği ve radyasyon verimliliği açısından önerilen anten performansları Tablo 4.2’de karşılaştırılmıştır. Önerilen antenler, $\lambda_0/2$ tabanlı geleneksel anten uzunluklarından çok daha küçük bulunmuştur. Bu, kuantum etkileri nedeniyle yavaş faz hızı gösteren nano ölçekli ortama atfedilir.

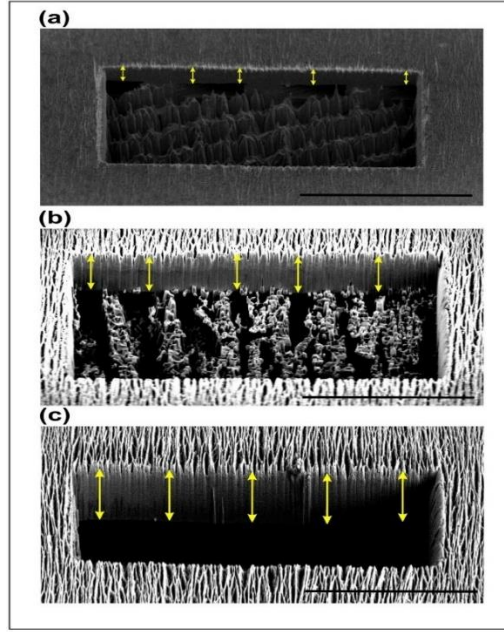
4.3. SWCNT filmleri malzeme karakterizasyonu

SWCNT filmlerinin görüntüler bir FEI Helios 660 SEM taramalı elektron mikroskobu ile elde edildi. Üzerinde Gümüş epoksili SWCNT filmleri silika gofret substratlarına bağlandı ve bunları 2 kV'luk bir hızlanma voltajı altında görüntülendi. Numuneleri işlemek ve kalınlık ölçümleri elde etmek için, önce 30 kV hızlanma geriliminde ve 0,25 nA akımda, ardından yaklaşık 20 dakika boyunca veya cilalamak için 30 kV ve 84 pA'da tatmin edici yüzey görünümünde bir Ga-iyon ışını kullanıldı. Alınan SEM/FIB görüntülerde, katman olarak istiflenmiş SWCNT filmleri arasındaki ara katman temasının homojen olduğunu gösterir, ancak tesir kesitlerin özellikleri iyon öğütme sırasında numune hasarı ile bulanıklaşabildiği ve Şekil 4.9'(a)'da gösterilmiştir. Hewlett-Packard 34401A multimetre üzerinde 4 noktalı bir prob ile SWCNT filmlerinin DC iletkenlik ölçümü gerçekleştirildi ve ölçümleri Tablo 4. 2.'de verildi. Sonda aralığı, SWCNT'lerin anizotropik oryantasyonu nedeniyle iletkenlikteki farklılıkları çok büyük olduğu görüldü, ancak yine de ölçümleri her zaman filmin kesme hizalaması yönünde hizalanmış sondalarla yapıldı. SWCNT filmlerinin ölçülen levha

dirençleri ve kalınlıkları, beklendiği gibi ters ölçeklenir, bu da ara katman temaslarında ya hiç ya da çok az kayıp olduğunu gösterir. %2,9'luk bir normalleştirilmiş hata (RMSE) ile en küçük kareler uyumu, gösterildiği gibi verilmiştir. SWCNT malzemesinin DC direncinin (ρ) $2,16 \pm 0,06 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$ 'lik bir değere sahip olduğu Şekil 4.9(b)'de verildi. Bu değer, HSO₃Cl'den [50] kesme kaplamalı SWCNT filmleri için daha önce bildirilen değerlerle tutarlıdır. Önceki çalışmalarda, kayma hizalı filmlerin morfolojilerinin geniş açılı X-ışını kırınımı (WAXRD), SEM ve Raman karakterizasyonunu da verilmiştir [15]. Büyütülmüş Torteck filmi için üretici tarafından sağlanan tabaka direnci ve kalınlık değerlerine dayanarak, DC direnci $\rho = 1,6 \times 10^{-5} \Omega \cdot m$ olarak hesaplanabilir, hizalanmış SWCNT filmlerinden yaklaşık bir büyüklük sırası daha yüksektir. Kayma hizalı ve büyütülmüş SWCNT filmleri arasındaki morfolojideki kalitatif farkı gösteren SEM görüntüleri, Şekil 4.9(c) gösterilmektedir.

Tablo 4.2. Önerilen anten performans karşılaştırması

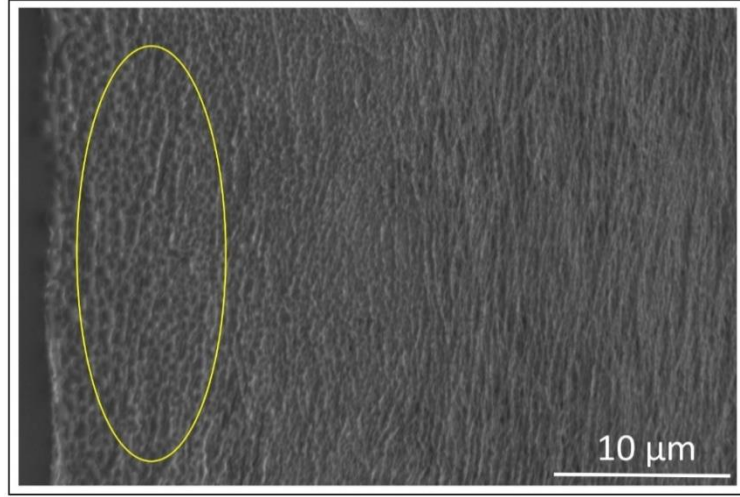
Structure/ type	L	B.W. Enhancement	η_r
SWCNT _(10,10)	$l \ll \lambda_0$	Excellent	Medium
SILICON ₁	$l \ll \lambda_0$	Very good	Low
SWCNT _(21,21)	$l \ll \lambda_0$	Excellent	High
SILICON ₂	$l \ll \lambda_0$	Very good	Very low



Şekil 4.9. Kayma hizalı SWCNT filmlerinin SEM/FiB kesitleri

4.4. Yama üretimi

SWCNT filmlerinin tümü, yaklaşık olarak aynı kesme hızında kaplanmış ağırlıkça %1'lik çözeltilerden üretildiğinden, filmlerin kalınlığı yeniden üretilebilirdi. İsrailli bir şirket olan Tortechn, büyütülmüş SWCNT' temin edildi ve 9 μm kalınlığında kontrol antenlerini yapmak için bakır folyoyu, hedef frekansların (5, 10 ve 14 GHz) her birinde istenen boyutlara getirildi. Bunlar 3 W güçte ve 0,1 mm spot boyutunda evrensel X-660 lazer kesim platformu ile yama şeklinde kesildi. Anten alt tabakasını (Rodgers RT Duroid 4770), bakır kaplamayı bir taraftan konsantre (%70) nitrik asitle iyi havalandırılmış bir davlumbaz içinde aşındırarak, diğer tarafı anten için zemin düzlemi olarak hareket edecek şekilde bırakarak hazırlandı. Daha sonra çift taraflı Kapton bandını alt tabakanın kenarında (oyulmuş tarafta) istenen anten konumuna yerleştirildi ve SWCNT filmi su üzerinde yüzdürüldü ve ardından bandın üzerine yerleştirildi. Orta pimin yamaya giden iletim hattına sıkıca bastırarak ve dış ayakların yer düzlemi ile iyi temas halinde olacak şekilde bir SMA konektörü uc tarafa bağlandı. Bu, yumuşak SWCNT malzemesine çok uygun, tekrarlanabilir kıvrım benzeri bir bağlantı için yapılmıştır. Deformasyon iletim hattına 0,5 mm'den daha fazla girmese de temas noktasında bazı SWCNT filmde deformasyon gözlemlenebilir. Lazer kesim yama anteninin ana gövdesine girişte bir miktar termal hasara neden olduğu tespit edilmiştir (bkz. Şekil 4.10). Yama anten malzemelerinin sac direnci ve kalınlıkları Tablo 4.3 da verilmiştir.



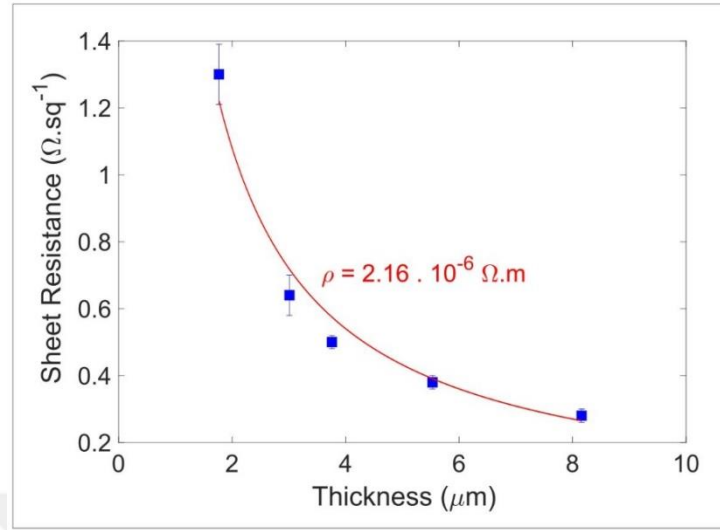
Şekil 4.10. Lazer kesim yama kenarının SEM'i. Sarı daire, lazerden kaynaklanan termal hasar nedeniyle SWCNT yamasının kenarında bir amorf karbon tabakasının nerede bulunduğunu gösterir.

Tablo 4.3. Yama anten malzemelerinin sac direnci ve kalınlıkları.

Sample	N	$R_s (\Omega \cdot \text{sq}^{-1})$	$t (\mu\text{m})$
Copper	1	0.002	9
SWCNT (asgrown)	1	0.4 +/- 0.04	40 +/- 0.10
SWCNT (aligned)	1	1.30 +/- 0.09	1.77 +/- 0.03
SWCNT (aligned)	2	0.64 +/- 0.06	3.01 +/- 0.04
SWCNT (aligned)	3	0.50 +/- 0.02	3.76 +/- 0.04
SWCNT (aligned)	6	0.38 +/- 0.02	5.53 +/- 0.03
SWCNT (aligned)	10	0.28 +/- 0.02	8.16 +/- 0.09

Lazerle kesilmiş kenardaki morfolojiye dayanarak, karbon nanotüplerin muhtemelen oksitlendiğini ve amorf karbona dönüştüğünü gözlemlendi. Bununla birlikte, kenardaki termal hasarın, yama anteninin ana gövdesine 15-20 μm 'den daha fazla girmediği gözlemlendi. En yüksek frekanslı 14 GHz yama antenleri için toplam uzunluk 5,8 mm'dir. Bu nedenle antenin rezonans boyutunda ortaya çıkan 30-40 μm 'lik değişiklik, Şekil 4.11'deki Hammerstad formülüne göre gözlemlenen %28 frekans kaymasını açıklamak için yeterli değildir. Bilinmeyen bir kalınlıkta daha düşük iletkenlik malzemesinin varlığından dolayı yamanın kenarlarında oluşan dielektrik yükleme etkileri hakkında farklı yorumlar

yapılabilir, ancak mevcut kanıtlar, yüksek frekanslı antenlerin neden azalma gösterdiği konusunda yetersizdir.



Şekil 4.11. Kalınlığa karşı kesme hizalı SWCNT film tabakası direnci. Kırmızı eğri, bu iki değişken arasındaki ilişkiyi verir ve malzemenin direncini verir

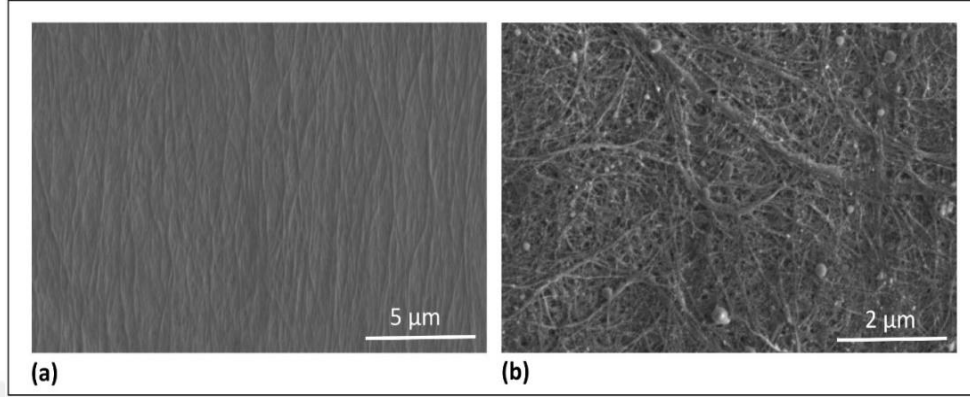
Tablo 4.4.Hedef frekansların her birinde yama ve iletim hattı boyutları.

Target Frequency (GHz)	L_p (mm)	W_p (mm)	L_t (mm)	W_t (mm)
5 GHz	19.5	29.0	19.5	3.0
10 GHz	9.5	13.0	16.5	2.5
14 GHz	5.8	9.0	10.5	1.5

4.5. Yankı odası ölçümleri

Çalışmada tasarlanan antenleri test etmeden önce ilgili frekans aralığında bir Keysight N5225A PNA'yı kalibre etmek için kullanılan basit bir ECal prosedürü kullanıldı. Her durumda, yeterli ölçüm çözünürlüğünü sağlamak için kullanılan frekans adımı 100 kHz'den düşük alındı. Bir yankılanma odasında radyasyon ve toplam verimliliği belirlemeye yönelik iki anten ile ilişkili ayrıntılar detaylı olarak referans [8] de mevcuttur. Bu çalışma için, 36 derecelik artışlarla iki paletin 10'a 10 farklı yöneliminin her birinde S parametreleri ölçüldü. Odadaki doğrudan bağlantıyı en aza indirmek için referans anteni ve mikroşerit yama antenini birbirinden uzağa yöneltildi. Üretim yönteminin doğrulanmasına ek olarak, ölçüm yönteminin de doğrulanması gerekiyordu. Reverberasyon odası tekniğinin güvenilir radyasyon verimliliği değerleri vermesi için, oda içinde yeterli uzaysal EM dalga karışımı

için farklı palet konumlarının sayısı yeterince büyük olmalıdır [51,52]. Bu, farklı anten konumları için toplam ve radyasyon verimlilikleri ölçülerek doğrulanabilir. Şekil 4.12 te ve tablo 4.5'te gösterildiği gibi, anten referans anteninden 0,5, 1 ve 1,5 metre uzağa yerleştirildiğinde verimlilik değerleri eşdeğer olarak bulunmuştur.



Şekil 4.12. SWCNT malzemelerinin SEM'i. Yama antenlerini yapmak için kullanılan a, kesme hizalı ve b, büyütülmüş SWCNT filmlerinin SEM görüntüleri

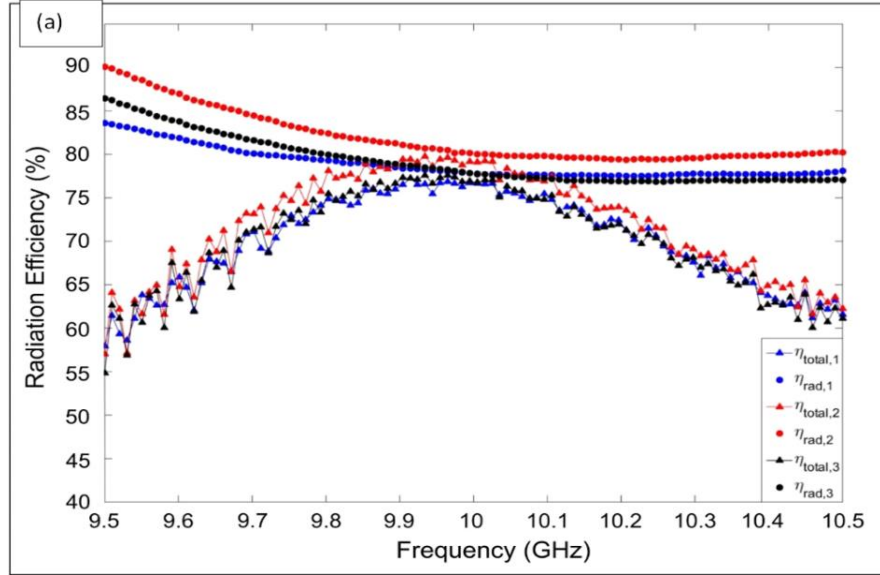
Tablo 4.5. Her hedef frekansta yama anten rezonans frekansları

Sample	5 GHz	10 GHz	14 GHz
Copper	4.94 +/- 0.02	10.05 +/- 0.31	14.9 +/- 0.72
SWCNT (as-grown)	4.87 +/- 0.07	9.51 +/- 0.04	13.51 +/- 0.25
SWCNT (1 film)	4.77 +/- 0.02	10.42 +/- 0.57	14.1 +/- 0.13
SWCNT (2 films)	4.97 +/- 0.00	N/A	14.34 +/- 0.05
SWCNT (3 films)	4.49 +/- 0.09	9.88 +/- 0.07	13.47 +/- 0.02
SWCNT (6 films)	4.83 +/- 0.02	9.82 +/- 0.20	13.48 +/- 0.28
SWCNT (10 films)	5.01 +/- 0.01	9.91 +/- 0.24	14.09 +/- 0.16

4.6. Radyasyon verimliliği hata analizi

Radyasyon verimliliği verilerinde makul bir şekilde ne kadar yayılma beklenebileceğini anlamak için anten ve SWCNT film üretim sürecinden kaynaklanan birleşik hata sayısal olarak hesaplandı. 10 GHz'de rezonans için beş özdeş SWCNT ince film yama anteni üretildi ve bunların S-parametreleri ve radyasyon verimlilikleri ölçüldü. Radyasyon verimlilikleri, veri seti [20] için düzgün bir olasılık yoğunluk fonksiyonu oluşturuldu ve S11 parametreleri Şekil 4.13'te sunuldu. Buna göre, radyasyon verimliliğinde %5,1'lik bir standart sapma elde

edildi. Bu nedenle, iki özdeş anten üzerinde ölçülen iki ayrı radyasyon verimliliği, bu miktarın iki katından daha fazla farklılık gösteriyorsa, bunun makul olmayan derecede büyük bir hata olduğu ve güvenilir bir veri noktası vermek için ortalamasının alınamayacağı varsayılabilir. Ancak, bu sadece 14 GHz'de elle kesilmiş bakır folyo antenler için bir durumda meydana geldiği Tablo 4.6 da verilmiştir.



Şekil 4.13. Yankı odası ölçümlerinin mekansal doğrulaması

Tablo 4.6. Yama anten malzemelerinin farklı rezonans frekanslarındaki parametreleri.

Material	$\delta_{5 \text{ GHz}} (\mu\text{m})$	$\delta_{10 \text{ GHz}} (\mu\text{m})$	$\delta_{14 \text{ GHz}} (\mu\text{m})$
SWCNT (aligned)	10.46	7.40	6.25
SWCNT (as-grown)	28.47	20.13	17.01
Cu	0.92	0.65	0.55

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu araştırmada, elektronik cihazları bağlamak için nano-optik dipol antenlerin kullanımı araştırılmıştır. Önerilen antenler SWCNT (10,10) ve (21,21) indeksleri kullanılarak SİLİKON eşdeğerleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışmanın amacı, yarı-klasik elektromanyetik-kuantum teorisi kullanılarak optik nano-antenler için koltuk formundaki SWCNT topolojilerinin kullanılıp kullanılmayacağını görmektir. Önerilen SWCNT ve SİLİKON'un malzeme özellikleri, kuantum modelleri kullanılarak değerlendirilir. SİLİKON yapıları dayalı benzer antenlerle karşılaştırıldığında, önerilen SWCNT tabanlı antenlerin bant genişliğinde önemli bir artış sağladığı bulunmuştur. SWCNT'den yapılan antenler, SİLİKON'dan yapılan antenlerden daha verimlidir. SİLİKON antenler, optik görünür bölgede bir frekans rezonansına sahipken, SWCNT antenleri aynı frekans bandı içinde iki frekansa sahiptir. Bu tür olayların, elektriksel uzunluk rezonansları ve elektron geçiş sinyallerinden kaynaklandığı varsayılmaktadır. Bu nedenle, elektron geçiş özelliklerinin bir sonucu olarak uyarılmış radyasyon emisyonu olarak bilinen uzun vadeli etkileri olabilir. Önerilen antenlerin genel olarak geleneksel dipol antenlerden önemli ölçüde daha küçük olduğu bilinmektedir. Bu da nano ölçekli malzemelerde yavaş dalga yayılımı ile mümkün olduğunu gösterir.

KAYNAKLAR

- 1- K. R. Jha and G. Singh, "Terahertz planar antenna for future wireless communication: A technical review", *Infrared Phys Technol.*, vol. 60, pp.71–80, Aug. 2013.
- 2- P. B. Johnson and R. W. Christy, "Optical Constants of Noble Metals", *Phys. Rev. B*, vol. 6, pp.4370–4379, Sep. 1972,
- 3- J. Orosco and C. F. M. Coimbra, "On a causal dispersion model for the optical properties of metals", *Appl. Opt.*, vol.57, issue 19, pp.5333-5347, May. 2018,
- 4- www.cst.com,
- 5- Taha A. Elwi "Potential Electromagnetic Researches based Artificial Material Structures for Advanced Photonics Devices," 2015 The 3rd Scientific Conference of ILPS, Nov. 2015.
- 6- Taha A. Elwi, Z. Abbas, M. Noori, A. Fahad, E. Y. Salih, and M. M. Hamed "A Miniaturized Folded Microstrip Antenna Array for MIMO Applications based Biomedical System," 2013 IEEE Student Conference on Research and Development. Accepted in September 2013,
- 7- Taha A. Elwi, H. M. Al-Rizzo, and H. R. Khaleel, "Gain enhancement of microstrip antennas using UC-PBG lens," *Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS) 2011 in Marrakesh*, October 2010,
- 8- Taha A. Elwi, D. G. Rucker, H. M. Al-Rizzo, H. R. Khaleel, E. Dervishi, and A. S. Biris, "A dual frequency wearable MWCNT ink based spiral microstrip antenna," *NSTI Nanotech 2010 Conference & Expo*, pp. 266 – 269, June 2010,
- 9- S. Mohan, H. M. Al-Rizzo, R. Babiceanu, Taha A. Elwi, R. Ghimire, G. Huang, H. Khalil, D. Rucker, C. Singh, V. Varadan, K. Yoshigoe, and R. Zhu, "A systems engineering approach for wireless integration, design, modeling, and analysis of nanosensors, networks, and systems," *Proc. of SPIE*, volume 7646, no. 76460A-1, pp. 1-15, January 2010,
- 10- S. Mohan, H. M. Al-Rizzo, R. Babiceanu, Taha A. Elwi, R. Ghimire, G. Huang, H. Khalil, D. Rucker, C. Singh, V. Varadan, K. Yoshigoe, and R. Zhu, "Wireless integration, design, modeling, and analysis of nanosensors, networks, and systems: A systems engineering," *Proc. of SPIE*, volume 7291, no. 72910G-1, pp. 1-12, January 2009,
- 11- H. R. Khaleel, H. M. Al-Rizzo, Taha A. Elwi, and D. Rucker, "Carbon nanotube Vee dipole antennas for optical applications," *Proc. SPIE*, volume 7399, no. 73990Y, pp. 1-8, August 2009,

- 12- H. R. Khaleel, H. M. Al-Rizzo, D. G. Rucker, and Taha A. Elwi, "Wearable Yagi microstrip antenna for telemedicine applications," *Radio and wireless Symposium*, volume 33, no. 67, pp. 280 – 283, January 2010.
- 13- A. I. Imran and Taha A. Elwi, "A Cylindrical Wideband Slotted Patch Antenna Loaded with Frequency Selective Surface for MRI Applications" *Engineering Science and Technology*, an International Journal, Accepted in February 2016.
- 14- Taha A. Elwi, "Toward Plasmonic UC-PBG Structures based SWCNTs for Optoelectronics Applications", *Diyala Journal for Pure Science*, in press, October 2016,
- 15- Taha A. Elwi, "On the Percentage Quantization of the Moisture Content in the Iraqi Petroleum Productions Using Microwave Sensing", *Al-Ma'mon College Journal*, issue 28, pp. 262-277, December 2016,
- 16- A. R. Azeez, Taha A. Elwi and Z. A. Abed AL-Hussain, "Design and Analysis of a Novel Concentric Rings based Crossed Lines Single Negative Metamaterial Structure", *Engineering Science and Technology*, an International Journal, November 2016,
- 17- H. Abdullah, Taha A. Elwi, A. A. Ali, A., A. H. Taher, and M. Thamer, "Effect of non-catalytic infrared on the grain moth *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae)", *Journal of Experimental Biology and Agricultural Research*, in press, November 2016,
- 18- Y. Alnaiemy, "A Miniaturized Lotus Shaped Microstrip Antenna Loaded with EBG Structures for High Gain-Bandwidth Product Applications", *Progress In Electromagnetics Research C*, volume 60, pp. 157-167, December 2015,
- 19- Taha A. Elwi and Y. Alnaiemy, "*Electromagnetic Characterizations of Cement Using Free Space* Technique for the Application of Buried Object Detection", *Diyala Journal for Pure Science*, volume 11, issue 4, pp. 1-10, July 2015,
- 20- A. R. Azeez, Taha A. Elwi and Z. A. Abed AL-Hussain, "A Numerical Study of the Antipodal Vivaldi Antenna Design for Ultra Wideband Applications", *SAUSSUREA Multidisciplinary International Peer Reviewed Journal*, volume 6, no. 5, pp. 366-370, August 2016,
- 21- Taha A. Elwi, "A Novel Approach for Modeling the Geometry and Constitutive Parameters of an Armchair Single-Wall Carbon Nanotube Antenna Operating in the NIR Regime", *Al-Ma'mon College Journal*, issue 24, pp. 261-285, December 2014,
- 22- P. Mukherjee and B. Gupta, "Terahertz (THz) frequency sources and antennas—A brief review", *Int J Infrared Millimeter Waves*, vol. 29 no. 12, pp.1091–1102, Sep. 2015,

- 23- Taha A. Elwi, M. M. Hamed, Z. Abbas, and M. A. Elwi, "On the Performance of the 2D Planar Metamaterial Structure", *International Journal of Electronics and Communications*, volume 68, issue 9, pp. 846–850, September 2014,
- 24- Taha A. Elwi, S. Al-Frieh, M. Al-Bawi, and M. Noori, "No Frequency Reuse: Wearable Steerable MIMO Microstrip Antenna Array for Wearable Ad Hoc Applications", [*British Journal of Applied Science & Technology*](#), volume 4, issue 17, pp. 2477-2488, April 2014,
- 25- G. W. Hanson and P. Smith, "Modeling the optical interaction between a carbon nanotube and a plasmon resonant sphere" *IEEE Trans Antenna Propag*, vol. 55, no. 11, pp.3063-3069, Nov. 2007,
- 26- Y. Huang, W. Y. Yin, Q. H. Liu, "Performance prediction of carbon nanotube bundle dipole antennas", *IEEE Trans Nanotechnol.*, vol.7, no. 3, pp.331–337, Feb. 2008,
- 27- Taha A. Elwi "A further investigation on the performance of the broadside coupled rectangular split ring resonators," *Progress In Electromagnetics Research Letters*, volume 34, pp. 1-8, August 2012,
- 28- Y. Al-Naiemy, Taha A. Elwi, Haider R. Khaleel, and H. M. Al-Rizzo, "A Systematic Approach for the Design, Fabrication and Testing of Microstrip Antennas Using Ink-Jet Printing Technology," *ISRN Communications and Networking*, volume 2012, article ID 132465, pp. 1-11, May. 2012,
- 29- Taha A. Elwi and H. M. Al-Rizzo, "Electromagnetic wave interactions with 2-D arrays of single wall carbon nanotubes," *Journal of Nanomaterials*, volume 2011, article ID 709263, pp. 1-8, Sep. 2011,
- 30- Taha A. Elwi and H. M. Al-Rizzo, "Fresnel lenses based on nano shell-silver coated silica array for solar cells applications," *Progress In Electromagnetics Research B*, volume 32, pp. 263-282, June 2011,
- 31- I. Iijima, "Helical microtubules of graphitic carbon", *Nature*, vol. 354, no. (6348):56–581991, April 1991,
- 32- J. D. Hackley, D. A. Kislitsyn, D. K. Beaman, S. Ulrich, and G. V. Nazin, "High-stability cryogenic scanning tunneling microscope based on a closed-cycle cryostat", *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 85, issue 103704, Sep. 2014,
- 33- G. W. Flynn, "Perspective: The dawning of the age of graphene," *Journal of Chemical Physics*, vol. 135, issue 050901, Jul. 2011,

- 34- T. A. Elwi, "A Novel Approach for Modeling the Geometry and Constitutive Parameters of an Armchair Single-Wall Carbon Nanotube Antenna Operating in the NIR Regime", *Al-Ma'mon College Journal*, issue 24, pp. 261-285, Dec. 2014,
- 35- J. A. Berres and G. W. Hanson, "[Multiwall carbon nanotubes at RF-THz frequencies: scattering, shielding, effective conductivity, and power dissipation](#)" *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* vol. 59, no. 8, pp.3098-3103, Aug. 2011,
- 36- G. W. Hanson, "A Common Electromagnetic Framework for Carbon Nanotubes and Solid Nanowires—Spatially Dispersive Conductivity, Generalized Ohm's Law, Distributed Impedance, and Transmission Line Model" *IEEE Trans on Micro. Theory and Techn.*, vol. 59, no. 1, pp.9-20, Jan. 2011,
- 37- G. W. Hanson, "Fundamental transmitting properties of carbon nanotube antennas", *IEEE Trans Antenna Propag.*, vol.53, no. 11, pp.3426–3435, May. 2005,
- 38- Y. Huang, W. Y. Yin, Q. H. Liu, "Performance prediction of carbon nanotube bundle dipole antennas", *IEEE Trans Nanotechnol.*, vol.7, no. 3, pp.331–337, Feb. 2008,
- 39- S. Choi and K. Sarabandi, "Performance assessment of bundled carbon nanotube for antenna applications at terahertz frequencies and higher", *IEEE Trans Antennas Propag.*, vol. 59, no. 3, pp. 802–809, Apr. 2011,
- 40- T. A. Elwi and H. M. Al-Rizzo, "Electromagnetic wave interactions with 2-D arrays of single wall carbon nanotubes", *Journal of Nanomaterials*, vol. 2011, article ID 709263, pp. 1-8, Sep. 2011,
- 41- T. A. Elwi and H. M. Al-Rizzo, "Fresnel lenses based on nano shell-silver coated silica array for solar cells applications," *Prog. In Electr. Rese. B*, vol. 32, pp. 263-282, Jun. 2011,
- 42- www.ads.com,
- 43- A. D. Rakić, A. B. Djurišić, J. M. Elazar, and M. L. Majewski, "Optical properties of metallic films for vertical-cavity optoelectronic devices", *Appl. Opt.*, vol. 37, pp.5271-5283, Oct. 1998,
- 44- Guozhong Lai, "The Optical Dielectric Model of Cu Thin Film and Its Verification", *2017 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 275, no. 012043, Dec. 2017,
- 45- Taha A. Elwi "A further investigation on the performance of the broadside coupled rectangular split ring resonators," *Progress In Electromagnetics Research Letters*, volume 34, pp. 1-8, August 2012,

- 46- Taha A. Elwi, H. M. Al-Rizzo, Y. Al-Naiemy, and H. R. Khaleel, "Miniaturized microstrip antenna array with ultra mutual coupling reduction for wearable MIMO systems," *2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation*, July 2011,
- 47- Taha A. Elwi, M. Noori, Y. Al-Naiemy, Ethaitr S. Yahiea, "Conformal Antenna Array for MIMO Applications", *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, volume 6, pp. 43-50, March 2014,
- 48- Yue Wang, Yu Ming Wu, Lei Lei Zhuang, Shao Qing Zhang, Le Wei L, Qun Wu, "Electromagnetic Performance of Single Walled Carbon Nanotube Bundles", [2009 Asia Pacific Microwave IEEE Conference](#), vol. 3, no. 12, Jan. 2010,
- 49- www.hfss.com.
- 50- Taha A. Elwi, Z. Abbas, M. Noori, A. Fahad, E. Y. Salih, and M. M. Hamed "A Folded Miniaturized Microstrip Antenna Array based Differential Phase Shift Keying for Wearable Bio-Sensing Applications," 2013 IEEE Student Conference on Research and Development. Accepted in September 2013,
- 51- O. A. Ibrahim, Taha A. Elwi, N. E. Islam, "A miniaturized microstrip antenna based on sinusoidal patch geometry for implantable biomedical applications," *6th Global Conference on Power Control and Optimization*, AIP Conference Proceedings; volume 1499, issue 1, pp. 254, November 2012.
- 52- Taha A. Elwi, "Electromagnetic Band Gap Structures based an Ultra Wideband Microstrip Antenna", *Microwave and Optical Letters*, *in press*, November 2016,

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Sara Sabah Khaeoon Allame
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	☐ T.C. ☒ Diğer



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Wasit Üniversitesi
Fakülte	Bilim Fakültesi
Bölümü	Fizik Bölümü
Mezuniyet Yılı	2017

Yüksek Lisans	
Üniversite	Ahi Evran Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Fizik Ana Bilim Dalı
Programı	Fizik Tezli Yüksek Lisans
Mezuniyet Tarihi	2022

Makale ve Bildiriler	
1. Sara Sabah Khaeoon Allame, Mustafa Kurt, Taha A.Alwi, Using Ultra-Valuate Nano-Scale Antenna For Water Purifications,3 rd International.Congress On Engineering Sciences And Multidisclipnary Approaches,10-11 :ubat 2022 Istanbul/10-11 February 2022 Istanbul.	