

# Karbon Nanotüp Malzeme İle Tasarlanan Heliks Antenlerin Performans Parametrelerinin İncelenmesi

Onur ARI<sup>1</sup>, Ahmet Rifat GÖRGÜN<sup>1</sup>, Adnan KAYA<sup>2</sup>, Özlem COŞKUN<sup>1</sup>, İrfan KAYA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Isparta

<sup>2</sup> İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir

<sup>3</sup>University of Kentucky, Mechanical Engineering, Lexington, USA

**Özet-**Karbon nanotüplerin (KNT) keşfedilmesi sonucunda nanoteknoloji, nano malzeme kavramları günümüzde ortaya çıkmıştır. Nanotüpler nanoteknoloji ve nano-bilimin temeli olarak günümüzde kabul görmektedir. Teoride nanotüpler eşsiz kristal yapısına sahiptir. Birçok alanda uygulanabilir olmasının yanında üretimde ki zorluklar ve günümüz teknolojisinde ki saflaştırmada kullanılan tekniklerde ki zorluklar bu malzemenin kullanım alanını kısıtlamaktadır. Bu makalede amacımız karbon nanotüp ve bakırdan antenler yapılıp, kendi içlerinde performans parametrelerinin karşılaştırılmasıdır. Sonuçta nano-malzemeler kullanılarak yapılan antenlerin performansları incelenecektir. Sonuçlar simülasyon programı yardımıyla değerlendirilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Karbon nanotüp, akıllı malzemeler, mikrodalga anten tasarımı, anten performans parametreleri, anten tasarımı, nano-malzeme

## Investigation of Performance Parameters of Helix Antenna Designed with Carbon Nanotube Material

**Abstract-**As the result of the discovery of the carbon nanotubes (CNT) nano-technology, nano-material concepts emerged today. Nanotubes as the basis of nanotechnology and nano-science is accepted today. In theory, carbon nanotubes have unique crystal structure. In addition to being applied in many areas of production techniques used in the purification challenges and the challenges that today's technology limits the scope for the use of this material. The aim of this article is construct antennas with carbon nanotubes and copper materials, and then compare their performance parameters with each other. In conclusion, performance of antennas that constructed with carbon nanotubes will be examined. Results will be examined with simulation programme.

**Keywords:** Carbon nanotubes, smart material alloy, microwave antenna design, performance parameters of antenna, antenna desing, nano-material

### 1.Giriş

Teknolojik açıdan bakıldığında günümüzde çok hızlı değişimler olmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle performans artışları, kayıpların azalması, boyutların küçülmesi gibi gelişmeler olmaktadır. Karbon nanotüplerin keşfedilmesiyle, nano teknoloji alanına giriş yapılmış ve halen nano malzemenin kullanım alanları hakkında araştırma ve gelişmeler devam etmektedir. Karbon nanotüplerin kullanım alanlarının başında askeri teknoloji, medikal teknoloji ve elektronik devre elemanları üretimi gelmektedir. Karbon nanotüplerin gücü ve esnekliği diğer nano ölçekli yapıların oluşturulmasında bu malzemenin kullanılmasını, yani nanoteknoloji mühendisliğinde kullanılmasını önemli kılmaktadır. Test edilen en yüksek çekme dayanımına sahip (GPa) MWNT yapısı 63 GPa'dır. Karbon nanotüplerin üstün mekanik özellikleri

nedeniyle, bu malzeme günlük yaşamdan uzay teknolojisinde kullanım alanları bulmuştur.

#### 1.1. Radar Emilimi

Radarlar MWNT'ler tarafından emilebilen yüksek frekans mertebesinde çalışmaktadır. MWNT kullanılan hava araçlarında radarda gözlemlenen görüntü daha da küçülmektedir. Örneğin MWNT uygulamalarından biri uçağın üzerine boya olarak bu malzemenin uygulanmasıdır. Son dönemlerde MWNT yapısının hava araçları üzerinde uygulanması sonucu gizlenme hakkında önemli sonuçlara ulaşılmıştır. Bu, radar soğurma özelliklerinin olduğu keşfedilmiş ve karbon nanotüplerin ne yansıtma nede görünür düzeyde bir ışınım yapmadığı görülmüştür. Üretimde sıkıntılar yaşanmakta ve şuan için karbon nanotüp kaplı hava aracı üretimi mümkün gözükmemektedir. Bu

zorluğun önüne geçebilmek için karbon nanotüp yapısına uygun boya hazırlamalı, boyanın içine nano partiküller yerleştirilerek, hava araçlarının uygun yerleri boyanmalıdır (Bourzac, 2011).

### 1.2. Medikal Alanda

“Kanzius Cancer Theory” tedavi yönteminde SWNT’ler kanserli dokunun çevresine yerleştirilmesiyle ve bunlara RF alanın uygulanması sonucu ısı meydana gelerek tümörü yok etmede yararlanılmaktadır. Rice University, Radboud University Nijmegen Medical Centre and University of California araştırmacıları karbon nanotüp ve bunların polimer kompozitlerinin kemik düzeltilmesi ve üretilmesi için kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

### 1.3. Elektronik Devrelerde

Karbon Nanotüp temelli alan etkili transistörler (CNTFETs) oda sıcaklığında çalışabilen ve sadece tek bir elektron kullanarak dijital anahtarlama yapabilecek şekilde tasarlanmışlardır. Fakat bu teknolojinin üretilmesi için önemli eksiklikler mevcuttur. 2001 yılında IBM araştırmacıları yarı iletken teknolojisini yarıda bırakarak metalik CNTFET’ler kullanarak, metalik karbon nanotüp teknolojisinin nasıl tahrip edilebileceğini gözler önüne sermiştir.

Büyük yapılar olarak üretilen karbon nanotüpler elektronik devrelerde soğutmada ciddi oranda yüksek performans sergilemişlerdir. Aynı ebatlarda kullanılan karbon nanotüp ve saf bakır ile karbon nanotüpün 2 kat daha fazla soğutma performansı sergilediği ve 20 kat daha düşük yoğunlukta olduğu tespit edilmiştir (Kordás ve ark., 2007). Sonuç olarak CMOS teknolojiyle karbon nanotüp teknolojisinin birleştirilebilirliği ve entegre elemanlarda kullanımı günümüz teknolojisinde uygulanabilirliği kanıtlanamamıştır.

### 1.4. Elektrik Kablosu ve Hattı Olarak

Elektrik akımı taşıyan telleri saf nanotüpler ve nanotüp-polimer kompozitler ile imal edilebilmektedir. Son zamanlarda küçük teller, belirli bir iletkenlik değeri olan bakır ve alüminyum malzeme ile imal edilmiştir; bu kablolarda iletkenlik değeri iyi olmasına karşılık taşınan akım  $\text{cm}^2$ 'de karbon nanotüp malzemenin taşıdığı akımdan 1000 kat daha küçüktür (Zhao ve ark., 2011).

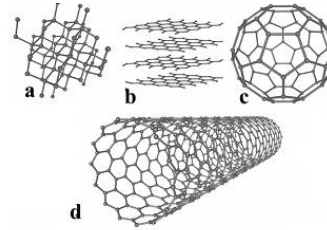
### 1.5. Ultrakapasitör

MIT laboratuvarlarında ultra kapasitörleri geliştirebilmek için karbon nanotüpler kullanıldı. Aktif kömür kullanılan ultra kapasitörler üzerinde elektrik yükü depolamak için bir sürü nano boyutta delikler mevcuttur (Halber, 2012).

## 2. Materyal ve Yöntem

### Karbon Nanotüpler

CNT’ler karbonun bir allotropu olup, tabakalarının silindirik bir biçimde katlanmasıyla meydana gelen ve dış çapları nanometre seviyesinde olan tüp şeklindeki yapılardır. Şekil 2.1’de karbonu allotropları görülmektedir.

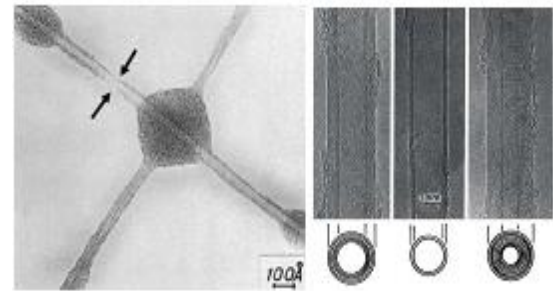


Şekil 2.1 a) Elmas, b) grafit c) fullerene d) karbon nanotüp

Yaptığımız tanımlamada geçen karbon atomlarının katlanması ifadesi karbon nanotüp yapısını anlaşılabilirliği için geliştirilmiş teorik bir tanımdır ve nanotüplerin oluşum mekanizmasıyla ilgili değildir. KNT’lerin oluşum mekanizmaları çok karmaşık olup halen tam olarak aydınlatılamamıştır.

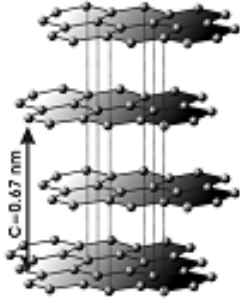
### Karbon Nanotüplerin Sınıflandırılması

KNT’ler duvar sayılarına ve kristal yapılarına göre iki farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Duvar sayılarına göre, Tek duvarlı karbon nanotüp (SWNT) ve çok duvarlı karbon nanotüpler (MWNT) olarak sınıflandırılır.

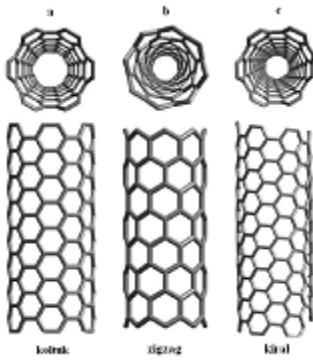


Şekil 2.2 Tek ve çok duvarlı KNT (Monthieux ve Kuznetsov,2006)

Şekil 2.3’de karbonun bir allotropu olan grafitin kristal yapısı görülmektedir.



Şekil 2.3 Grafitin kristal yapısı



Şekil 2.4 a)Koltuk, b)zigzag, c)kiral

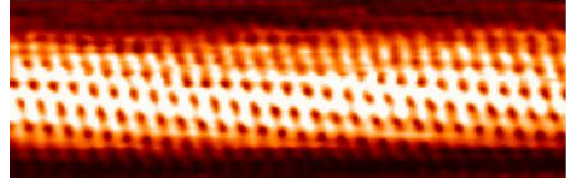
### Tek Duvarlı Karbon Nanotüp (SWNT)

Tek duvarlı karbon nanotüpler (SWNT) genelde 1 nm çapına sahiptir fakat uzunlukları milyon kat daha büyük olabilir. Bir SWNT yapısı kusursuz bir silindirin içine grafit adlı grafen bir tek atom kalınlığında tabaka sarılarak kavramsallaştırılabilir.

“n ve m” tamsayıları grafen arasında petek kristal kafes iki yönleri boyunca birimi vektörlerin miktarını göstermektedir. Eğer m=0 olursa nano tüpler zigzag olarak adlandırılır, eğer n=m olursa koltuk karbon nano tüp olarak adlandırılır. İdeal bir karbon nanotüp çapı aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$d = \frac{a}{\pi} \sqrt{n^2 + nm + m^2} \quad a=0.246 \text{ nm}$$

SWNT’ler karbon nanotüplerin en önemli olanıdır. Nedeni n ve m değerlerinin değişmesiyle önemli ölçüde özelliklerinin değişmesidir. Özellikle, kendi bant aralığı sıfırdan yaklaşık 2 eV değişebilir ve elektriksel iletkenliği metal veya yarı iletken davranışı gösterebilir (Mintmire ve ark., 1992; Dekker, 1999; Martel ve ark., 2001).



Şekil 2.5 SWNT mikroskop altında görüntüsü

### Çok Duvarlı Karbon Nanotüp (MWNT)

Çok duvarlı nanotüpler (MWNT) grafen birden fazla haddelenmiş katmanları (konsantrik tüp) oluşur. Çok duvarlı karbon nanotüpler iki şekilde tanımlanmaktadır. Rus Doll modelde, grafit yaprak konsantrik silindir şeklinde düzenlenmiştir. Parşömen modelde, grafit tek bir yaprak parşömen veya haddelenmiş gazetenin bir kaydırma benzeyen, kendi çevresinde döndürülmektedir. Çok duvarlı nanotüpler içinde ara tabaka mesafe grafit, yaklaşık 3.4 Å olarak grafen tabakaları arasındaki mesafeyi yakındır. Rus Doll yapısı daha sık görülmektedir. Dış yüzeyleri metal ya da yarı iletken olabilen, SWNTs olarak tarif edilebilir.

### KNT Dayanıklılık

Karbon nanotüpler sırasıyla çekme dayanımı ve elastik modülü açısından keşfedilen güçlü malzemelerdir. Bu mukavemet bireysel karbon atomları arasında bir kovalent bağdan kaynaklanır. 2000 yılında, çok duvarlı karbon nanotüp (MWNT) 63 gigapascals (GPa) bir gerilme gücü tespit edilmiştir. 2008 yılında yapılan ilave çalışmalar, bireysel CNT kabukları kuantum / atomistik modelleri ile iyi bir uyum içinde ~ 100 GPa, kadar güçlü olduğunu göstermiştir (Peng ve ark., 2008). Karbon nanotüpler 1,3g/cm<sup>3</sup> katı için düşük yoğunluklu olduğundan, kendine özgü gücü 48,000kN\*m\*kg<sup>-1</sup> olarak bilinen en iyi malzemedir.

Karbon nanotüpler sıkıştırma altında güçlü değildirler. Çünkü bunların içi boş bir yapı ve yüksek boy oranı, onlar, basınç burulma, bükülme ya da stres altında yerleştirildiği zaman çökertme geçmesi eğilimindedir (Jensen ve ark., 2007).

$$\text{young mod } E = \frac{\text{Çekme Dayanımı}}{\text{Kopma Uzunluğu}} = \frac{\frac{F}{A_0}}{\frac{\Delta L}{L_0}} = \frac{FL_0}{A_0 \Delta L}$$

Burada;

F :Malzemeye uygulanan kuvvet

$A_0$  :Kuvvetin uygulandığı dik kesit

$L_0$  :Malzemenin kuvvet uygulanmadan önceki uzunluğu

$\Delta L$  :Malzemedeki uzunluk değişimi

### Sertlik

Standart tek duvarlı karbon nanotüplerin deformasyon olmadan 24GPa bir basınca kadar dayanabilir. Mevcut deneysel teknikler kullanılarak ölçülen maksimum basınçları yaklaşık 55GPa kadardır.

### Isıl Özellikleri

KNT'ler bilinen en yüksek ısı iletkenliği sahip maddelerdir. Tablo 2.1'de malzeme çeşitlerini ve ısı iletkenliklerini göstermektedir.

Tablo 2.1 Çeşitli malzemelerin ısı iletkenlikleri

Madde	Isıl İletkenlik W/mK
Altın	314-318
Bakır	353-386
Gümüş	406-429
Elmas	2000-2500
Grafit, Grafen katmanına paralel	0.0131
Grafit, Grafen katmanına dik yönde	1900
TDNT (Tek Duvarlı Karbon Nanotüp)	6600

### Elektriksel Özellikleri

Grafenin eşsiz elektron yapısından dolayı, nanotüplerin yapısı kuvvetli elektriksel özellikleri etkilemektedir. Verilen b, nanotüp için (n,m), eğer  $n=m$  ise metal, eğer  $n-m$  3 ün katıysa, nanotüp düşük bant aralıklı bir yarı iletken özellik göstermektedir. Değilse ortalama bir yarı iletken özellik göstermektedir.

Fakat bu kuralın istisnai durumları vardır. Örneğin çok küçük çaplı KNT'ler de eğrilikler elektriksel özelliklerin değişmesine sebep olmaktadır. Böylece TDNT yarı iletken olması gerekirken metalik olmaktadır.

Teoride metalik karbon nanotüpler, normal metallere 1000 kat daha ( $4 \times 10^9 A/cm^2$ ) fazla elektrik akımı taşıyabilmektedir (Hong ve Myung, 2007).

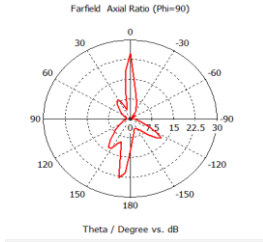
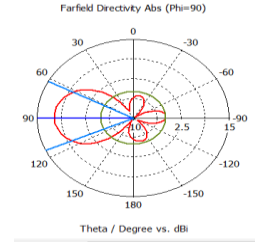
### Dalga Emilimi

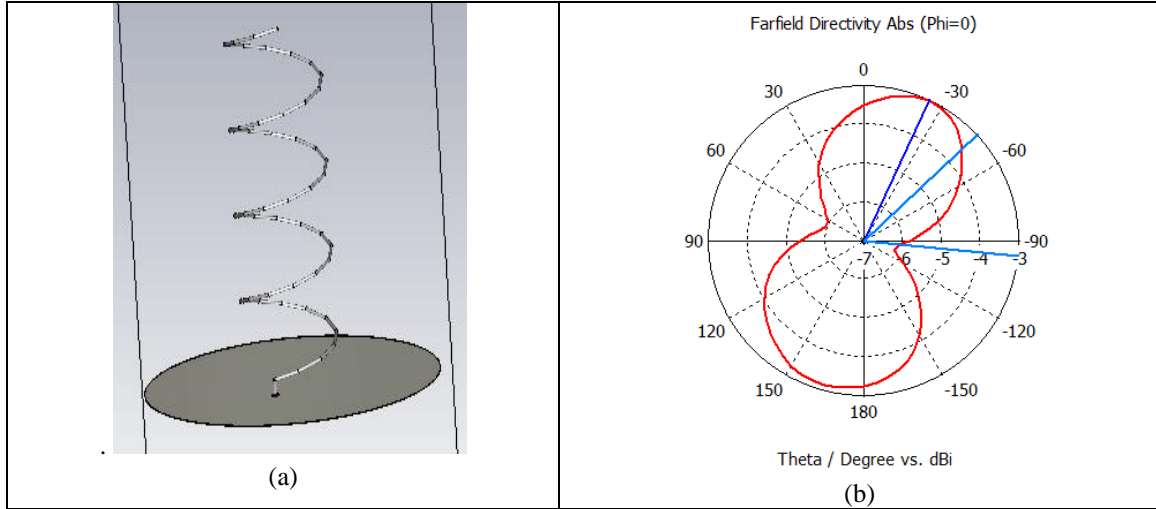
Son zamanlarda araştırma alanlarından bir diğeri karbon nanotüp yapılarının dalga emilimi olup özellikle mikrodalga alanında çalışanların ilgisini çekmektedir. Özellikle askeri alanda hayalet uçaklarda dalga emilimi için ciddi çalışmalar yapılmaktadır. MWNT'lerin Fe, Ni, Co gibi metallerle doldurularak mikrodalga emilimini artırmak için çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar sonucunda şimdiye kadar hem emilim hem de bant genişliğinde önemli artışlar gözlemlenmiştir. Radar Cross Section (RCS) çalışmalarının da gittikçe önem kazanan nano partikül boyalarda altın partikül ve karbon nanotüpler kullanılarak stealth (gizlilik) teknolojisinde önemli ölçüde gelişmeler sağlanmıştır.

### 3.Simülasyon Sonuçları ve Karşılaştırılması

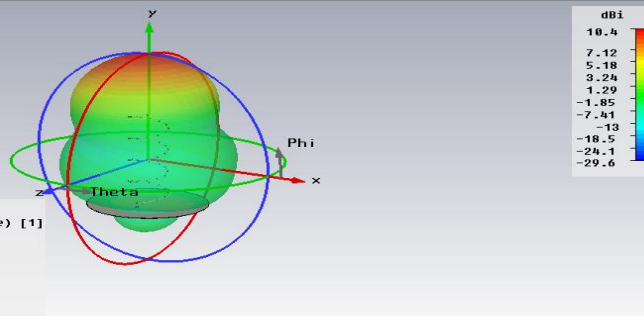
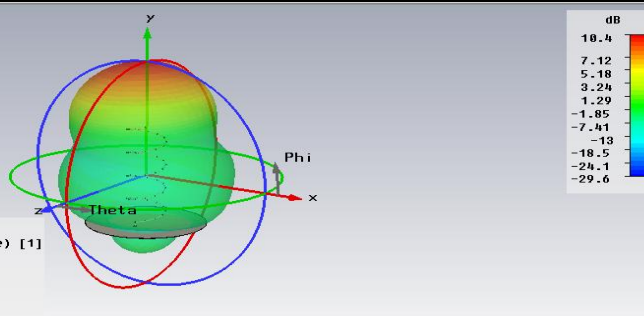
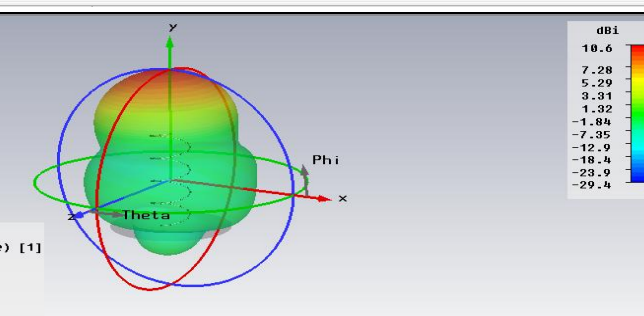
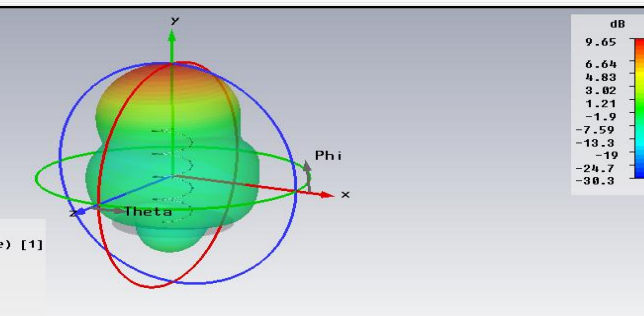
Karbon nanotüp yapısı gereği her alanda kullanıma uygun olsa da dalga emilimi, medikal uygulamalarda RF ablation tekniğinin de uygun olduğu ve medikal alanda kullanılması sonucunda yapılabilecek antenlerin boyutlarında küçülmelere neden olacağı görülmektedir. RCS (Radar Cross Section) uygulamalarında SWNT malzemesiyle kaplanmış bir EBG antende normal antenlere göre düşüş göstermiştir (-32 dBsm). Karşılaştırma yaptığımız biyoimplant antenlerde CNT'in bakırın yerine kullanılması biyoimplant anten için olumlu sonuç verirken aynı anda BaTiO<sub>3</sub>'ün substrat malzemesi olarak yer alması, simülasyon sonuçlarında tutarsızlığa ve CNT kullanılmasıyla artan kazancın düşmesine neden olmuştur. Heliks anten simülasyon sonuçları aşağıda görülmektedir.

Tablo 3.1 Heliks anten sonuç tablosu

Parameteler	PEC	CNT
Geri dönüş Kaybı	-4.35 dB	-5.2 dB
Kazanç	10.35 dB	9.76 dB
Yönlendiricilik	10.36 dBi	10.59 dBi
VSWR	1.14	1.28
Rezonans Frekansı	3 GHz	3 GHz
Hat Empedansı	49.94-j1.00	49.94-j1.00
Işıma Örüntüsü		



Tablo 3.2 Heliks anten 3D simülasyon sonuçları

<b>PEC Yönlendiricilik</b>	 <p>Type: Farfield Approximation: enabled (kR &gt;&gt; 1) Monitor: Farfield (f=frequency_centre) [1] Component: Abs Output: Directivity Frequency: 3 Rad. effic.: -0.002153 dB Tot. effic.: -1.994 dB Dir.: 10.36 dBi</p>
<b>PEC Kazanç</b>	 <p>Type: Farfield Approximation: enabled (kR &gt;&gt; 1) Monitor: Farfield (f=frequency_centre) [1] Component: Abs Output: Gain Frequency: 3 Rad. effic.: -0.002153 dB Tot. effic.: -1.994 dB Gain: 10.35 dB</p>
<b>CNT Yönlendiricilik</b>	 <p>Type: Farfield Approximation: enabled (kR &gt;&gt; 1) Monitor: Farfield (f=frequency_centre) [1] Component: Abs Output: Directivity Frequency: 3 Rad. effic.: -0.9334 dB Tot. effic.: -2.326 dB Dir.: 10.59 dBi</p>
<b>CNT Kazanç</b>	 <p>Type: Farfield Approximation: enabled (kR &gt;&gt; 1) Monitor: Farfield (f=frequency_centre) [1] Component: Abs Output: Gain Frequency: 3 Rad. effic.: -0.9334 dB Tot. effic.: -2.326 dB Gain: 9.653 dB</p>

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada günümüzde askeri ve medikal alanda gittikçe kullanımı artan karbon nanotüp malzemesinin anten performansı üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğu heliks anten yardımıyla incelendi. Heliks anten çizimini CST firmasının Antenna Magus 4 classroom edition sürümüyle gerçekleştirildi. Program anten ölçüleri ve istenilen parametreleri girmemiz sonucunda anten sonucunu verdi. Alınan Sonuçların 3 boyutlu simülasyon sonuçlarının elde edilmesi için CST Studio Suite 2012 (Beta) programı kullanıldı. Heliks antenin karbon nanotüp malzemedan yapılmasıyla; yönlendiricilik ve kazanç üzerinde olumlu etkilere sahip olduğu, kayıpların düşmesine, ışıma performansı ve yönlendiricilik parametrelerinde artmaya neden olduğunu gözlemlendi.

#### 5. Kaynaklar

- [1] Bourzac, K., 2011. Nano Paint Could Make Airplanes Invisible to Radar. Technology Review. MIT.
- [2] Dekker, C. 1999. Carbon Nanotubes as Molecular Quantum Wires. Physics Today 52 (5): 22–28. DOI:10.1063/1.882658.
- [3] Halber, D. 2012. MIT LEES on Batteries. Lees.mit.edu. Retrieved on 2012-06-06.
- [4] Hong, S., Myung, S. 2007. Nanotube Electronics: A Flexible Approach to Mobility. Nature Nanotechnology 2 (4): 207–208.
- [5] Jensen, K., Mickelson, W., Kis, A., Zettl, A. 2007. Buckling and Kinking Force Measurements on Individual Multiwalled Carbon Nanotubes. Physical Review B 76(19): 195436.
- [6] Kordás K., Tóth G., Moilanen, P., Kumpumäki, M., Vähäkangas, J., Uusimäki, A., Vajtai, R. and Ajayan, P. M. 2007. Appl. Phys. Lett. 90123105 [AIP Scitation].
- [7] Martel, R., Derycke, V., Lavoie, C., Appenzeller, J., Chan, K., Tersoff, J., Avouris, Ph. 2001. Ambipolar Electrical Transport in Semiconducting Single-Wall Carbon Nanotubes". Phys. Rev. Lett. 87 (25): 256805.
- [8] Mintmire, J. W., Dunlap, B. I., White, C. T. 1992. "Are Fullerene Tubules Metallic?". Phys. Rev. Lett. 68 (5): 631–634.
- [9] Monthieux, M., Kuznetsov, V. 2006. Who should be given the credit for the discovery of carbon nanotubes? Carbon 44: 1621.
- [10] Peng, B., Locascio, M., Zapol, P., Li, S., Mielke, S. L., Schatz, G. C., Espinosa, H. D. 2008. Measurements of Near-ultimate Strength for Multiwalled Carbon Nanotubes and Irradiation-Induced Crosslinking Improvements. Nature Nanotechnology 3 (10): 626–631.

- [11] Zhao, Y., Wei, J., Vajtai, R., Ajayan, P. M., Barrera, E. V. 2011. Iodine Doped Carbon Nanotube Cables Exceeding Specific Electrical Conductivity of Metals. Scientific Reports (Nature) 1.