



دانشگاه سوادکوه

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش: مخابرات

عنوان :

ساخت آنتن های مالتی بند فرکتال با استفاده از نانو لوله های  
کربنی

استاد راهنما: حبیب اله زلفخانی

نگارش: جاویدبخت امید - اقا جانی علی

تابستان 92

## فهرست:

۱ مقدمه ..... 7

۱-۱ تاریخچه: ..... 7

1-1-1 درمخابرات رادیو سیار ..... 9

2-1-1 کاربرد آنتن ها در سیستم های رادیویی سخن پراکنی ..... 9

3-1-1 استفاده از تکنولوژی رادیویی بجای استفاده از خطوط انتقال ..... 9

۲-۱ انواع آنتن ها از نظر کاربرد : ..... 10

1-2-1 آنتن هرتز: ..... 10

2-2-1 آنتن مارکنی: ..... 10

3-2-1 آنتن شلاقی: ..... 10

4-2-1 آنتن لوزی ( روبیک): ..... 11

5-2-1 آنتن V معکوس: ..... 11

6-2-1 آنتن میکروویو: ..... 12

۱-۲-۶-۱ آنتن بوقی شکل (شیپوری): ..... 12

۲-۲-۶-۲ آنتن مخروطی: ..... 14

7-2-1 آنتن آستینی: ..... 16

8-2-1 آنتن حلزونی: ..... 16

9-2-1 آنتن های آرایه ای ..... 17

18-2-10 آنتن فرکتال: ..... دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

18-3-1 پارامترهای آنتن: ..... دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

18-3-1 نمودار پرتو افکنی آنتن ها: ..... دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

19-1-3-1 دستگاه مختصات نمایش نمودار پرتو افکنی: ..... دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

20-1-3-1 نمودار پرتو افکنی سه بعدی و دو بعدی: ..... دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

22-1-3-1 نمودار پرتو افکنی در فضای آزاد و در مجاورت زمین: ..... دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

22-1-3-4 نمودار پرتو افکنی آنتن فرستنده و گیرنده: ..... دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

23-3-2 جهت دهندگی آنتن ها: ..... دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

24-1-2-1 پهنای شعاع و پهنای شعاع نیم توان: ..... دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

25-1-2-2 شعاع های فرعی آنتن ها: ..... دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

26-1-2-3 مقاومت پرتو افکنی آنتن: ..... دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

26-3-3-1 امپدانس ورودی آنتن: ..... دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

27-3-4 سطح موثر یا سطح گیرنده آنتن ها: ..... دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

28-3-5 طول موثر آنتن: ..... دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

29-3-6 پهنای نوار فرکانس آنتن ها: ..... دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

30-1-4 پلاریزاسیون آنتن ها: ..... دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

30-4-1 پلاریزاسیون خطی: ..... دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

31-4-2 پلاریزاسیون دایره ای: ..... دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

32-4-3 پلاریزاسیون بیضوی: ..... دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

32	۵-۱ ساختمان مکانیکی آنتن ها: ..... گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
33	1-5-1 اندازه آنتن: ..... گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
33	2-5-1 نصب آنتن ها: ..... گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
34	3-5-1 خطوط انتقال و موج برها برای تغذیه آنتن ها: ..... گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
35	4-5-1 رسانا و نارسناهای مورد استفاده در ساختن آنتن ها: ..... گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
36	5-5-1 محافظت آنتن در برابر عوامل جوی: ..... گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
39	۲ فصل دوم: نانو لوله‌های کربنی ..... گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
39	۱-۲ معرفی نانو لوله‌های کربنی: ..... گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
40	۲-۲ تاریخچه‌ی نانو لوله‌های کربنی: ..... گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
42	۲-۳ انواع نانوهای کربنی: ..... گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
43	۲-۴ ویژگی‌های نانو لوله‌های کربنی: ..... گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
44	2-4-1 خواص عمومی: ..... گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
44	۲-۴-۱-۱ خاصیت منحصر به فرد ترابری پرتابه‌ای ..... گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
44	۲-۴-۱-۲ رسانایی گرمایی بسیار بالا ..... گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
44	۲-۴-۱-۳ اندازه‌ی بسیار کوچک ..... گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
44	۲-۴-۱-۴ انعطاف‌پذیری بسیار زیاد: ..... گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
45	۲-۴-۱-۵ مدول یانگ بالا ..... گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
45	۲-۴-۱-۶ بروز خواص مکانیکی جالب در طول آن‌ها ..... گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
45	۲-۴-۱-۷ حساس به تغییرات کوچک نیروی اعمال شده: ..... گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان



- دانشگاه زنجان، دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان، دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان، دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان، دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان
- 7-5-2 ساخت سلف و خازن: ..... 56
- ۶-۲ معایب نانو لوله های کربنی: ..... 56
- ۶-۲ نحوه ساخت نانو لوله های کربنی ..... 58
- 1-7-2 تخلیه قوسی الکتریکی ..... 58
- 2-7-2 سایش الکتریکی ..... 58
- 3-7-2 رسوب شیمیایی فاز بخار ..... 58
- 4-7-2 روش الکترولیز ..... 58
- 5-7-2 استفاده از انرژی خورشیدی ..... 58
- ۳ فصل سوم: تحلیل و طراحی آنتن ها با استفاده از نانولوله های کربنی ..... 62
- ۱-۳ بررسی نحوه ی عملکرد نانولوله های کربنی در آنتن ها ..... 62
- ۲-۳ نحوه ی توزیع جریان در ساختار نانولوله های کربنی: ..... 64
- 1-2-3 تحلیل توصیفی ..... 65
- 2-2-3 تحلیل کلاسیک ..... 67
- ۳-۳ ساخت آنتن های فرکتال ثالی بند بوسیله نانولوله های کربنی ..... 70
- 1-3-3 معرفی ..... 71
- 2-3-3 نحوه آماده سازی نانولوله های کربنی تک دیواره ای و آنتن کامپوزیتی : ..... 74
- ۱-۲-۳-۳ آماده سازی باکی پیپر ..... 75
- ۲-۲-۳-۳ آماده سازی روکش با باکی پیپر ..... 75
- 3-3-3 ژئومتری و اندازه گیری های آنتن فرکتال ..... 76

3-3-4 ساخت آنتن کامپوزیتی با نانولوله کربنی تک دیواره ای .....76

4 فصل چهارم: نتیجه گیری .....79

4-1 مقدمه .....79

4-2 خلاصه ای از نانولوله های کربنی و نتایج به دست آمده .....79

4-3 آینده نانولوله های کربنی و آنتن های ساخته شده با آنها: .....80

4-4 نتایج به دست آمده در زمینه آنتنهای فرکتال ساخته شده با نانولوله های کربنی تک

دیواره ای کربنی .....80

4-5 پیشنهادات .....81

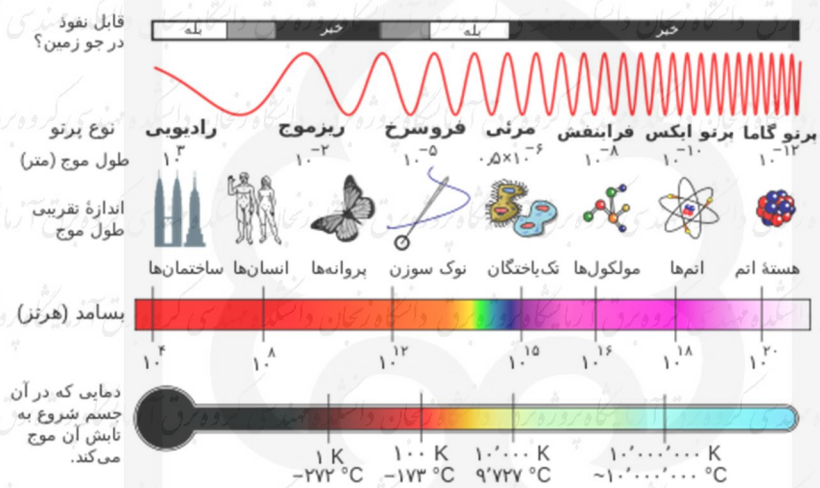
5 مراجع: .....82

## ۱-۱ مقدمه

### ۱-۱ تاریخچه:

مراحل ابتدایی مخابرات توسط امواج صوتی از طریق صدا صورت گرفت. و سپس در مسافت

طولانی تر از ابزارهای مخابراتی نوری که از قسمت مرئی طیف الکترومغناطیسی است، استفاده شده و تنها در تاریخ اخیر بشر است که طیف الکترومغناطیسی خارج از ناحیه مرئی برای ارتباطات راه دور از طریق امواج رادیویی به کار برده شده است.



شکل 1-1: طیف الکترومغناطیسی

آنتن رادیویی یک قطعه اساسی در هر سیستم رادیویی می باشد. یک آنتن رادیویی یک

همانطوری که می دانیم یکی از بزرگترین منابع انسان طیف الکترومغناطیسی است و

آنتن ها در استفاده از این منبع طبیعی نقش اساسی را ایفا کرده اند.

حال تاریخچه مختصری از تکنولوژی آنتن ها و بعضی از کاربردهای آنها در زیر ارائه می



شود:

(1897) در سال 1864 در حضور انجمن سلطنتی انگلستان نظریه خود را مبنی بر اینکه نور و

امواج الکترو مغناطیسی پدیده های فیزیکی یکسانی هستند ارائه داد. فیزیکدان آلمانی هاینریش

هرتز ( 1857- 1897) در سال 1886 توانست صدق ادعا و پیش بینی ماکسول را مبنی بر اینکه

کنش ها و پدیده های الکترو مغناطیسی می توانند در هوا منتشر شوند را نشان دهد و همچنین

وی آنتن های دو قطبی و حلقوی و نیز آنتن های سهموی استوانه ای پیچیده ای را که دارای دو

قطبی هایی در امتداد خط کانونی شان بودند را بعنوان تغذیه ساخت. مهندس برق ایتالیایی (

گوگلیمو مارکونی) فیزیک استوانه سهمی میکروویو در طول موج 23 سانتی متر را برای انتقال

اولیه اش ساخت، ولی کارهای بعدیش برای حصول برد مخابراتی بهتر در طول موج های بلندتر

بود. برای اولین بار در مخابرات رادیویی در ماورای اقیانوس اطلس در سال 1901، آنتن فرستنده

شامل یک فرستنده جرقه ای بود که بین زمین و یک سیستم شامل 50 عدد سیم قائم متصل

می شود. فیزیکدان انگلیسی «الکساندر پوپوف» (1905-1959) نیز اهمیت کشف امواج رادیویی

را در سال 1897 برای ارسال یک سیگنال از کشتی به ساحل در مسافت 3 مایل نشان داد. در هر

حال این مارکونی بود که رادیوی تجارتي را توسعه داده و می توان او را پدر رادیوی آماتور

دانست.

پس از سال 1920، با استفاده از مولدهای سیگنال مانند لامپ « تریود دوفارست»<sup>1</sup>،

ساخت آنتن های تشدید مانند دو قطبی نیم موج امکان یافت. قبل از جنگ دوم جهانی مولدهای

سیگنال مگنترون و کلاسترون مایکروویو (در حدود 1 گیگا هرتز) همراه با موج های تو خالی

اختراع و توسعه یافتند. این تحولات منجر به ابداع و ساخت آنتن های بوقی شد. در خلال جنگ

<sup>1</sup> Terued Dufarest

جهانی دوم یک فعالیت وسیع طراحی، و توسعه برای ساخت سیستم های رادار منجر به ابداع انواع مختلف آنتن های بشقابی، عدسی های آرایه ای شکافی موج بری شد. حال با توجه به این

مقدمه عوامل مختلفی را که در ارجحیت انتخاب بین خطوط انتقال یا آنتن ها دخالت دارند بیان می کنیم.

بطور کلی خطوط انتقال در فرکانس های پایین و فواصل کوتاه عملی هستند، فرکانس های بالا اغلب به علت پهنای باند موجود بکار می روند. با افزایش فواصل و فرکانس ها تلفات سیگنالی و هزینه های کاربردی خطوط انتقال بیشتر می شود و در نتیجه استفاده از آنتن ها مقرون به صرفه تر است.

بطور کلی تعدادی از موارد استفاده آنتن ها بدین صورت می باشد :

### 1-1-1 در مخابرات رادیو سیار

شامل هواپیماها، فضاپیماها، کشتی ها یا خودروهای زمینی. **1-1-2 کاربرد آنتن ها در سیستم های رادیویی سخن پراکنی**

مانند رادیوی خودروی متحرک سیار و کاربردهای غیر سخن پراکنی مانند سیستم های رادیو سیار ( مانند پلیس، آتش نشانی، امداد،...) و رادیو آماتور.

### 1-1-3 استفاده از تکنولوژی رادیویی بجای استفاده از خطوط انتقال.

بعنوان مثال در آمریکا بیشتر از نصف مکالمات تلفنی دور ( بین شهری) توسط ارتباطات رادیویی میکروویو انجام می گیرد. و با توجه به اینکه هر سال هزینه های دستگاه های رادیویی کاهش یافته و اطمینان پذیری آنها بهبود می یابد، کاربردهای سیستم های رادیویی ارجحیت می یابد.

## ۲-۱ انواع آنتن ها از نظر کاربرد :

آنتن ها از نظر ساختار و نوع کاربرد به انواع مختلفی تقسیم می شوند، که در ذیل به

تعدادی از آنها اشاره می شود :

### 1-2-1 آنتن هرتز<sup>1</sup>:

برق آنتنهایگاه پروژه برق دانشگاه زنجان و ولتاژ واقع شده و ممکن است بطور افقی یا عمودی باشد و برای

فرکانس های زیاد به کار می رود.

### 1-2-2 آنتن مارکنی<sup>2</sup>:

در این نوع آنتن، انتهای پایین مولد به زمین متصل است و سطح زمین بجای صفحه

هادی به کار می رود. توزیع جریان و ولتاژ برای فرکانس اصلی، چهل برابر طول آنتن می باشد و

این آنتن برای فرکانس های کم مورد استفاده قرار می گیرد. آنتن مارکنی در بعضی موارد ممکن

است برای فرکانس های بالا نیز به کار رود، مثل آنتن های ارتباطی هواپیما که در این حالت بدنه

هواپیما بجای زمین عمل می کند.

### 1-2-3 آنتن شلاقی:

معمولی ترین آنتنی است که در عملیات تاکتیکی برای ایجاد ارتباط در ساخت های

نسبتاً کوچک بکار می رود. بیشتر آنتن های شلاقی طوری طراحی شده اند که در زمانی که مورد

احتیاج نیستند با فشار جزیی یک قسمت، داخل قسمت دیگر قرار می گیرند. وقتی که آنتن های

شلاقی در باند فرکانسی زیاد کار می کنند، طول آن ها معمولاً کسر کوچکی از طول موج می

باشد و در این حالت باید یک سیم پیچ با خاصیت القایی زیادی به کار برده شود تا آنتن مزبور به

<sup>1</sup> Hertze

<sup>2</sup> Markeni

## 4-2-1 آنتن لوزی ( روبیک )<sup>1</sup>:

این آنتن از چهار سیم ساخته شده است که به شکل لوزی متصل شده اند و موازی زمین

قرار گرفته اند. با قرار دادن چرخ ها روی دکل های نگهدارنده، می توان ارتفاع آنتن را نسبت به

زمین تغییر داد. منبع تغذیه در حالت فرستنده توسط خط انتقال متعادلی از یک سو به آنتن وصل

می شود و مقاومت سوی دیگر را به گونه ای تنظیم می کنند که تنها موج رونده روی آنتن بوجود

آید. توجه کنید که خط انتقال متعادل، خط انتقالی است که امپدانس در بازوی آن نسبت به

زمین برابر باشد. در فضای آزاد حداکثر پرتو افکنی آنتن در امتداد قطر بزرگ لوزی صورت می

گیرد و پلاریزسیون آن افقی است. این آنتن به علت سادگی طرح در فرستنده ها و گیرنده ها

کاربرد زیادی داشته و به منظور ایجاد ارتباط در مسافت های زیاد و کار فرکانس های بالا به حد

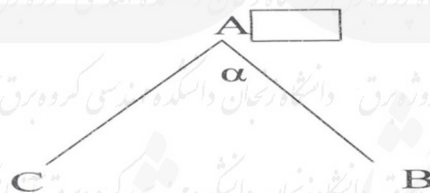
زیادی مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین این آنتن در ارتباطات منطقه به کار می رود. زیرا در هر

باند وسیعی به کار رفته و نصب و نگهداری آن ساده تر از آنتن های دیگر می باشد عیب اصلی آن

این است که احتیاج به یک زمین وسیع دارد.

## 5-2-1 آنتن $\nabla$ معکوس:

این آنتن از دکل نارسانا و دو رشته سیم مطابق شکل 2-1 تشکیل شده است.



شکل 2-1: آنتن  $\nabla$  معکوس

خط انتقال بین نقطه A و زمین وصل می شود. انتهای آنتن (نقطه C) را به وسیله

<sup>1</sup> Rubick

مقاومت متصل می‌کنند. مقدار  $R$  نزدیک امپدانس مشخصه خط  $ABC$  برگزیده می‌شود تا

مانع از هر گونه بازتاب موج شود و در نتیجه، روی سیم آنتن  $ABC$  موج پیش رونده بوجود می‌آید.

در این آنتن، اندازه زاویه  $\alpha$  دارای اهمیت است و بسته به کاربرد، باید به گونه ای ویژه

برگزیده شود، در صورتی که این آنتن بالای صفحه رسانای کاملی قرار گرفته باشد، جهت جریان

های تصویر، عکس جریان های آنتن خواهد بود حداکثر پرتو در امتداد زمین، دارای پلاریزاسیون

عمودی، برای انتشار از راه یونسفر مناسب نیستند و تنها به عنوان آنتن گیرنده امواج زمینی و یا

سطحی در بخش پایین نوار فرکانس بالا، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

چون این آنتن ها در مجاورت زمین، دارای شعاع های فرعی بی شماری با پلاریزاسیون

افقی نیز هستند، امواج ناخواسته رسیده از جهت های دیگری را دریافت می‌کنند که دارای

پلاریزاسیون عمودی و یا افقی هستند که این مساله از نکات منفی این آنتن به شمار می‌آید.

### 1-2-6 آنتن مایکروویو:

اصول اصلی کار این آنتن ها، کار کردن آنها در ناحیه مایکروویو (300MHZ-

300GHZ) می باشد. خاصیت مایکروویو نزدیکی آنها در طیف فرکانسی به امواج نوری می

باشد. بیم این نوع آنتن ها بعضا توسط منعکس کننده شلجی تمرکز می یابد.

دو نوع از آنتن های ماکروویو عبارت اند از آنتن بوقی شکل و آنتن مخروطی:

### ۱-۶-۲-۱ آنتن بوقی شکل (شیپوری):

آنتن های شیپوری در شکل های مختلفی وجود دارند که سه نوع از متداول ترین آنها در

اینجا نشان داده شده است. شیپور بخشی فقط در یک جهت وسیع شده و شبیه به منعکس

کننده سهموی جعبه قوسی است. شیپور هرمی در دو جهت وسعت پیدا نموده و دارای شکل یک

هرم ناقص است.

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

#### ۵-۴ پیشنهادات

در ابتدا باید گفت برای کار عملی بر روی این پروژه محدودیت های بسیاری برای ما به وجود آمد به

طوری که می توان بیان کرد در شرایط کنونی کار عملی در این زمینه غیر ممکن است چرا که دستگاه هایی

همچون خرد کن های با دقت بالا یا نانولوله های کربنی پر کاربرد در ساخت آنتن ها در صورت وجود در

دسترس نیستند. در دانشگاه زنجان حتی آنالیزور شبکه هم برای به دست آوردن پارامترهای اسکاترینگ

موجود نیست و این امر کار عملی را بسیار دشوار و همان طور که بیان شد غیر ممکن می کند و ما بالاچار

به مقادیر به دست آمده و گزارش شده در مقالات بسنده کردیم. امید است هر چه زودتر این محدودیت ها

رفع شوند و برای کار عملی در پروژه های اینچنین مشکلات مرتفع شوند.

با توجه به اینکه ما که بر روی خواص نانولوله های کربنی و آنتن های ساخته شده با آنها مطالعات

زیادی را انجام داده ایم متوجه شدیم یکی از مشکلات پیش روی نانو تکنولوژی در مخابرات نبود معادلات و

ساختارهای ریاضی دقیق در این علم است، پیشنهاد می شود که بر روی گرد آوری و تنظیم معادلات ریاضی

مربوط به نانولوله های کربنی در شاخه مخابرات همت شود تا همانند معادلاتی که ما برای نانولوله های

کربنی تک دیواره ای ارائه کردیم در مورد نانولوله های کربنی چند دیواره ای و کامپوزیت های دیگر نیز

چنین معادلات دقیقی ارائه شوند.

## ۵ مراجع:

[۱] A. Mehdipour , I. D. Rosca , A.-R. Sebak , C. W. Trueman and S. V. Hoa "Full-composite fractal antenna using carbon nanotubes for multiband wireless applications", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. ۹, pp. ۸۹۱-۸۹۴ ۲۰۱۰

[۲] R. H. Baughman, A. A. Zakhidov, W. A. De Heer, Carbon nanotubes- The route toward application, *Science* ۲۹۷, ۲۰۰۲, Page ۷۸۷.

[۳] W. A. De Heer, W. S. Bacsá, A. Chatelain, T. Gerfin, R. Humphrey Baker, Nanocapillarity and chemistry in carbon nanotubes, *Science* ۲۶۸, ۱۹۹۵, Page ۸۴۵.

[۴] A. Mehdipour , I. D. Rosca , A.-R. Sebak , C. W. Trueman and S. V. Hoa "Carbon nanotube composites for wideband millimeter-wave antenna applications", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. ۵۹, no. ۱۰, pp. ۳۵۷۲-۳۵۷۸ ۲۰۱۱

[۵] A. Mehdipour , I. D. Rosca , C. W. Trueman , A. Sebak and S. Van Hoa "Multiwall carbon nanotube-epoxy composites with high shielding effectiveness for aeronautic applications", *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. ۵۴, no. ۱, pp. ۲۸-۳۶ ۲۰۱۲

[۶] Y. Lan and B. Zeng "Properties of Carbon Nanotube Antenna", *International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT)*, ۲۰۰۷

[۷] G. W. Hanson "Fundamental transmitting properties of carbon nanotube antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. ۵۳, no. ۱۱, pp. ۳۴۲۶-۳۴۳۵ ۲۰۰۵

[۸] O'Connell M J ۲۰۰۶ *Carbon Nanotubes Properties and Applications* (London: CRC Press)

[۹] Balanis, C. A. (۲۰۰۵). *Antenna Theory: Analysis and Design*. (۳, Ed.) Wiley.

[۱۰] Meyyappan, M. (۲۰۰۵). *Carbon nanotubes Science and Applications*. CEC.