





دانشگاه اصفهان
دانشکده علوم
گروه فیزیک

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش اتمی مولکولی

مطالعه آنتن‌های اپتیکی در مقیاس نانو و کاربردهای آن‌ها#
#

استاد راهنما:

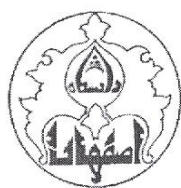
دکتر فردین خیراندیش

پژوهشگر :

میترا مهرویان#

مهرماه ۳۹۰#

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات
و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این سمینار
متعلق به دانشگاه اصفهان است#



دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش اتمی و مولکولی

خانم میترا مهرویان تحت عنوان

مطالعه آنتن‌های اپتیکی در مقیاس نانو و کاربردهای آنها

در تاریخ ۳۰ مهرماه ۱۳۹۰ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه **عالی** به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر فریدین خیراندیش با مرتبه‌ی علمی دانشیار امضا

۲- استاد داور داخل گروه دکتر سید جواد اخترشناس با مرتبه‌ی علمی دانشیار امضا

۴- استاد داور خارج از گروه دکتر شهریار سلیمی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

امضای مدیر گروه



سپاس بیکران خدای بی همتایی را که
پیشاز آن که بخوانمش پاسخم داده و بیش از
آنچه لیاقتم بوده بر من عطا نموده است،
هر چه دارم از اوست،
با من بردباری می کند،
هر آنچه به من عطا نموده از لطف و هر آنچه بر
من دریغ داشته است از سر حکمت اوست و
بزرگترین امید و یاورم در لحظه لحظه زندگیست.

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار

و از خودگذشتگی،

به پاس عاطفه ی سرشار و گرمای امید بخش

وجودشان که در این سردترین روزگاران

بهترین پشتیبان است،

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و

سرگردانی و ترس در پناهِشان به شجاعت می

گرایید،

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز

فروکش نمی کند،

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می

کنم.

چکیده

ساختارهای پلاسمونی در مقیاس نانو، دارای تنوع ساختاری و اپتیک و فوتونیک هستند که به عنوان مثال می توان از نانولیتوگرافی، سنجش پزشکی^۱، فوتوولتائیک ها، مدارهای یکپارچه فوتونی^۲، ذخیره سازی داده های نوری، میکروسکوپی نوری روبشی میدان نزدیک^۳، و پردازش اطلاعات کوانتومی، نام برد. مشخصات نوری این ساختارها،

^۱ Biomedical sensing

^۲ Integrated photonic circuits

^۳ Near field scanning microscopy

مانند طول موج نوسانی، افزایش میدان موضعی، گذردهی‌ها و تراوایی‌های مؤثر، برای انجام بهینه‌سازی، بسیار با اهمیت هستند. در این پروژه، یک نوع از وسایل پلاسمونی به نام نانوانت‌ها به صورت نظری مطالعه و بررسی خواهد شد. نانوانت‌ها، نانوذرات جفت‌شده، با یک گاف کوچک بین آن‌ها هستند. تحت شرایط نوسان، نانوانت‌ها می‌توانند میدان‌های موضعی قوی را درون گاف‌ها ایجاد کنند، که به‌عنوان نقاط داغ شناخته می‌شوند، و در کاربردهایی، مانند پراکندگی رامان افزایش یافته سطحی، فلئوئورسانسی افزایش یافته سطحی، و گیراندازی نوری، بسیار مفید واقع می‌شوند. استفاده از فلئوئورسانسی، برای مطالعه آنتن‌های نوری، در واقع، بینشی کمی را از اتلاف مواد در طول موج‌های نوری فراهم می‌آورد. فلئوئورسانسی تک مولکول، می‌تواند در مجاورت یک نانوذره فلزی، که به‌عنوان یک نانوانت نوری عمل می‌کند، افزایش یابد. در واقع، از آن‌جا که با استفاده از نانوذرات فلزی، قادر به کنترل آهنگ واپاشی تابشی گسیلنده‌هایی هستیم که در میدان نزدیک آن‌ها قرار گرفته‌اند، می‌توان از آن‌ها به‌عنوان سامانه‌ای برای دستکاری نور و برهم‌کنش نور- ماده، در مقیاس نانومتری استفاده کرد. در این پروژه، آهنگ فلئوئورسانسی یک تک‌مولکول را نزدیک به نانوذره فلزی که به نوک تیز یک اشاره‌گر شیشه‌ای متصل است، مورد بررسی قرار می‌دهیم و در نهایت، نتایج به‌دست‌آمده، با نتایج آزمایشگاهی، در صورت وجود تطبیق داده خواهد شد. اما، هدف اصلی در این پروژه، به‌دست‌آوردن شرایط بهینه در دو سامانه، مولکول جفت‌شده با نانوذره فلزی کروی و شبه‌کروی، به‌منظور افزایش گسیل نور مولکول مجاور آن‌ها می‌باشد. سامانه‌هایی که در این‌جا مورد بررسی قرار می‌گیرد، از یک نانوذره فلزی (نقره، طلا و مس)، که به یک نوک تیز شیشه‌ای متصل است (نانوانت نوری)، به‌همراه یک تک مولکول (دو قطبی کلاسیکی)، که با نانوانت از طریق پروب موضعی میدان نزدیک برهم‌کنش می‌کند، تشکیل می‌شود. مؤلفه میدان الکتریکی ناشی از نور فرودی، در محل مولکول دوقطبی، در سامانه اول، در جهت Z و در سامانه دوم، در جهت محور اصلی نانوذره شبه‌کروی a، در نظر گرفته می‌شود (قطبش نور در راستای Z و a است). نهایتاً پارامترهای بهینه‌ای (اندازه و جنس نانوذره به کار برده‌شده، فاصله بین نانوذره و مولکول و طول موج) را همراه با میزان افزایش فلئوئورسانسی گزارش خواهیم کرد.

کلید واژه‌ها: ساختارهای پلاسمونی، نانوانت نوری، فلئوئورسانسی

صفحه

عنوان

فصل اول : مقدمه‌ای بر آنتن‌های نوری.....۱

فصل دوم : گسیل نور و برهم‌کنش‌های نوری در محیط‌هایی با مقیاس نانو

۱-۲- بسط چند قطبی ۱۰

۲-۲- هامیلتونی میدان- ذره کلاسیک ۱۶

۲۲	..... ۱-۲-۲ - بسط چندقطبی هامیلتونی برهم کنش
۲۲	..... ۳-۲ - دوقطبی الکتریکی تابشی
۲۴	..... ۱-۳-۲ - میدان‌های دوقطبی الکتریکی در یک فضای همگن
۲۹	..... ۲-۳-۲ - تابش دوقطبی
۲۸	..... ۳-۳-۲ - آهنگ اتلاف انرژی در محیط‌های ناهمگن
۳۰	..... ۴-۳-۲ - واکنش تابشی
۳۲	..... ۴-۲ - واپاشی خودبخودی
۳۶	..... ۱-۴-۲ - آهنگ واپاشی و طول عمر از دیدگاه کلاسیکی
۳۶	..... ۱-۱-۴-۲ - محیط همگن
۳۸	..... ۲-۱-۴-۲ - محیط ناهمگن
۴۰	..... ۲-۴-۲ - جابجایی بسامد

فصل سوم : خصوصیات نوری فلزات و نانوذرات فلزی

۳۸	..... ۱-۳ - مقدمه
۳۹	..... ۲-۳ - الکترودینامیک کلاسیک در ماده
۴۰	..... ۱-۲-۳ - روابط ماکسول در ماده

صفحه

عنوان

۴۲	..... ۳-۳ - نظریه حالت جامد برای ثابت‌های نوری فلزات
۴۲	..... ۱-۳-۳ - خصوصیات نوری فلزات و ذرات فلزی
۴۶	..... ۲-۳-۳ - مدل سامرفیلد - درود
۴۸	..... ۳-۳-۳ - عمق پوسته
۴۸	..... ۴-۳ - پلاسمون‌های سطحی
۵۲	..... ۱-۴-۳ - نوسان‌های پلاسمون سطحی جایگزیده

۵۲ ۱-۱-۴-۳- نوسان‌های پلاسمون ذرات کروی

۵۶ ۲-۱-۴-۳- نوسان‌های پلاسمون ذرات بیضوی

فصل چهارم : پراکندگی نور توسط ذرات کوچک در مقایسه با طول موج

۵۷ ۱-۴- تقریب ریلی برای ذرات کوچک - تقریب دوقطبی

۵۹ ۲-۴- تقریب الکتروستاتیک

فصل پنجم : نانوآنتن‌های نوری

۶۵ ۱-۵- آنتن نوری

۶۸ ۱-۱-۵- چگالی موضعی حالت‌های الکترومغناطیس

۷۰ ۲-۱-۵- آهنگ واپاشی خودبخودی

۷۴ ۲-۵- بهره کوانتومی

۷۴ ۱-۲-۵- کنترل بهره کوانتومی یک گسیلنده دوقطبی با مدهای پلاسمونی جفت شده

۷۵ ۲-۲-۵- بهره کوانتومی فلئورسانی

۷۶ ۳-۵- فلئورسانس

۷۷ ۱-۳-۵- نمودار جابلونسکی

صفحه

عنوان

۷۹ ۲-۳-۵- آهنگ فلئورسانی

فصل ششم : سامانه‌های مورد بررسی و تحلیل و نتایج

۸۲ ۱-۶- اولین سامانه مورد بررسی و روش تحلیل- نانوذره کروی جفت‌شده با تک‌مولکول

۸۴ ۱-۱-۶- محاسبه پارامترهای آهنگ فلئورسانی و رسم نمودار

۸۴ ۱-۱-۱-۶- محاسبه آهنگ برانگیختگی $\frac{\gamma_{exc}}{\gamma_{exc}^0}$

۸۵	.....$\frac{\gamma_{rad}}{\gamma_{rad}^{\circ}}$ محاسبه آهنگ واپاشی تابشی ۲-۱-۱-۶
۸۵	.....$\frac{\gamma_{abs}}{\gamma_{rad}^{\circ}}$ محاسبه آهنگ اتلاف ۳-۱-۱-۶
۸۵	..... ۲-۱-۶ بحث و تحلیل نمودارها
۸۸	..... ۱-۲-۱-۶ فلز طلا
۹۳	..... ۲-۲-۱-۶ فلز نقره
۹۷	..... ۳-۲-۱-۶ فلز مس
۱۰۱	..... ۲-۶ دومین سامانه مورد بررسی - نانوذره شبه کروی جفت شده با تک مولکول
۱۰۵	..... ۱-۲-۶ محاسبه پارامترهای آهنگ فلورئورسانی و رسم نمودار
۱۰۷	.....$\frac{\gamma_{rad}}{\gamma_{rad}^{\circ}}$ محاسبه آهنگ واپاشی تابشی ۱-۱-۲-۶
۱۰۶	.....$\frac{\gamma_{exc}}{\gamma_{exc}^{\circ}}$ محاسبه آهنگ برانگیختگی ۲-۱-۲-۶
۱۰۶	.....$\frac{\gamma_{abs}}{\gamma_{rad}^{\circ}}$ محاسبه آهنگ اتلاف ۳-۱-۲-۶
۱۰۶	..... ۲-۲-۶ بحث و تحلیل
۱۰۷	..... ۱-۲-۲-۶ فلز طلا

صفحه عنوان

۱۱۴	..... ۲-۲-۲-۶ فلز نقره
۱۲۱	..... ۳-۲-۲-۶ فلز مس
۱۲۹	..... ۳-۶ نتایج

پیوست الف: توابع گرین دیادیک

۱۳۱	..... الف-۱ پایه ریاضی توابع گرین
۱۳۲	..... الف-۲ به دست آوردن تابع گرین برای میدان الکتریکی
۱۳۷	..... منابع و مآخذ

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۳	شکل (۱-۱): طیف الکترومغناطیس.....
۵	شکل (۲-۱): آنتن‌های تک‌قطبی. الف) نمونه آنتن تک‌قطبی، ب) آنتن تک‌قطبی نوری روی نوک تیز [۴].....
۷	شکل (۳-۱): مقایسه‌ای بین طرح‌هایی برای اندازه‌گیری میدان نزدیک یک آنتن رادیو الکتریکی (سمت چپ) و یک آنتن نوری (سمت راست) [۲۲].....
۱۱	شکل (۱-۲): در تصویر ماکروسکوپی، تابش نوری، با بارهای مجزای q_n ماده، برهم‌کنش می‌کند. پاسخ جمعی بارها با مختصات r_n می‌تواند توسط بسط چند قطبی با مبدأ r شرح داده شده باشد.....
۲۸	شکل (۲-۲): میدان‌های یک دوقطبی.....
۲۹	شکل (۳-۲): چگالی انرژی الکتریکی، بیرون یک کره فرضی.....

- شکل (۱-۳): الف) بخش حقیقی تابع دی‌الکتریک طلا (ب) بخش موهومی..... ۴۹
- شکل (۲-۳): رسم تابع دی‌الکتریک. الف) بخش حقیقی، و ب) بخش موهومی تابع دی‌الکتریک طلا از مدل سامرفیلد- درود..... ۴۹
- شکل (۳-۳): الف) بخش حقیقی تابع دی‌الکتریک نقره، ب) بخش موهومی..... ۵۰
- شکل (۴-۳): فصل مشترک تخت فلز و دی‌الکتریک..... ۴۹
- شکل (۵-۳): توزیع میدان پلاریتون پلاسمون سطحی..... ۴۹
- شکل (۶-۳): کره فلزی با اندازه زیرطول موج، که در محیط دی‌الکتریک، تحت تابش یک موج تخت قرار گرفته است..... ۵۱
- شکل (۷-۳): پراکندگی توسط یک کره در تقریب الکتروستاتیک..... ۵۵
- شکل (۱-۴): پراکندگی نور توسط یک ذره با شکل دلخواه [۳۸]..... ۵۸
- شکل (۲-۴): کره در میدان الکتریکی استاتیک یکنواخت [۳۳]..... ۶۲
- شکل (۳-۴): دوقطبی الکتریکی..... ۶۳
- شکل (۱-۵): تئوری آنتن نوری..... ۷۰
- شکل (۲-۵): آزمون نمودار جابلونسکی..... ۸۱
- شکل (۱-۶): آنتن نوری به شکل نانوذره کره فلزی (نقره، طلا یا مس)، که به انتهای یک نوک تیز شیشه‌ای اشاره گر متصل شده و با یک تک‌مولکول برهم‌کنش می‌کند [۴۱]..... ۸۷
- نمودار (۱-۶): ثابت دی‌الکتریک طلا. (سمت راست) بخش موهومی ثابت دی‌الکتریک، (سمت چپ) بخش حقیقی ثابت دی‌الکتریک..... ۹۰

صفحه

عنوان

- نمودار (۲-۶): یک نمودار حاصل از تحلیل‌ها و محاسبات نظری ما (سمت چپ) و نمودار موجود در مرجع (سمت راست) [۴۷]، به‌منظور مقایسه..... ۸۷
- نمودار (۳-۶): افزایش فلئورسانی نزدیک یک نانوذره طلا برانگیخته با طول موج ۶۵۰ نانومتر نسبت به فاصله بین نانوذره و مولکول. الف) نمودار بهره کوانتومی (سمت راست) و افزایش آهنگ برانگیختگی یا افزایش آهنگ تابشی (سمت چپ)، ب) افزایش گسیل..... ۸۸
- نمودار (۴-۶): فاصله ثابت بین مولکول و نانوذره طلا، برای بیشینه افزایش فلئورسانی در طول موج ۶۵۰ نانومتر..... ۸۸
- نمودار (۵-۶): الف) وابستگی طیفی افزایش فلئورسانی نزدیک یک نانوذره طلا..... ۸۹
- نمودار (۶-۶): طول موج مناسب برای بیشینه فلئورسانی در فاصله ثابت ۱۴ نانومتر بین مولکول و نانوذره با شعاع ۵۰ نانومتری ۹۰

- نمودار(۶-۷): سمت چپ) افزایش فلوئورسانی مولکول مجاور نانوذره طلا برانگیخته با طول موج ۷۰۶,۳۲ نانومتر نسبت به فاصله بین نانوذره و مولکول..... ۹۱
- نمودار(۶-۸): سمت راست) وابستگی طیفی افزایش فلوئورسانی مولکول نزدیک یک نانوذره طلا..... ۹۲
- نمودار (۶-۹): افزایش فلوئورسانی مولکول مجاور نانوذره نقره برانگیخته با طول موج ۶۵۰ نانومتر، نسبت به فاصله بین نانوذره و مولکول. الف) نمودار بهره کوانتومی (سمت راست) و افزایش آهنگ برانگیختگی یا افزایش آهنگ تابشی (سمت چپ)، ب) افزایش گسیل..... ۹۳
- نمودار (۶-۱۰): فاصله ثابت بین مولکول و نانوذره نقره برای بیشینه افزایش فلوئورسانی در طول موج ۶۵۰ نانومتر..... ۹۳
- نمودار (۶-۱۱): الف) وابستگی طیفی افزایش فلوئورسانی مولکول نزدیک یک نانوذره نقره..... ۹۴
- نمودار (۶-۱۲): طول موج مناسب برای بیشینه فلوئورسانی مولکول در فاصله ثابت ۹ نانومتر بین مولکول و نانوذره کروی نقره..... ۹۴
- نمودار (۶-۱۳): سمت چپ) افزایش فلوئورسانی مولکول نزدیک یک نانوذره نقره برانگیخته با طول موج ۳۵۵,۱۸ نانومتر، نسبت به فاصله بین نانوذره و مولکول..... ۹۵
- نمودار (۶-۱۴): سمت چپ) افزایش فلوئورسانی نزدیک یک نانوذره نقره برانگیخته در فاصله ثابت ۷ نانومتر بین نانوذره و مولکول..... ۹۶

صفحه

عنوان

- نمودار (۶-۱۵): افزایش فلوئورسانی مولکول مجاور نانوذره مس برانگیخته با طول موج ۶۵۰ نانومتر، نسبت به فاصله بین نانوذره و مولکول. الف) نمودار بهره کوانتومی (سمت راست) و افزایش آهنگ برانگیختگی یا افزایش آهنگ تابشی (سمت چپ)، ب) افزایش گسیل..... ۹۷
- نمودار (۶-۱۶): فاصله ثابت بین مولکول و نانوذره مس، برای بیشینه افزایش فلوئورسانی در طول موج ۶۵۰ نانومتر..... ۹۷
- نمودار (۶-۱۷): الف) وابستگی طیفی افزایش فلوئورسانی مولکول نزدیک یک نانوذره مس..... ۹۸
- نمودار (۶-۱۸): طول موج مناسب برای بیشینه فلوئورسانی در فاصله ثابت ۱۶ نانومتر بین مولکول و نانوذره مس..... ۹۹

- نمودار (۶-۱۹): سمت چپ) افزایش فلئورسانی مولکول نزدیک نانوذره کروی مس برانگیخته با طول موج $706/32$ نانومتر نسبت به فاصله بین نانوذره، سمت راست) فاصله ثابت بین مولکول و نانوذره مس برای بیشینه افزایش گسیل در طول موج $706/32$ نانومتر. ۱۰۰
- شکل (۶-۲): ذرات بیضوی. ۱۰۱
- شکل (۶-۳): آنتن نوری به شکل نانوذره شبه کره فلزی (نقره، طلا یا مس)، که به انتهای یک نوک تیز شیشه‌ای اشاره‌گر متصل شده و با یک تک مولکول، برهم‌کنش می‌کند. ۱۰۴
- نمودار (۶-۲۰): تغییرات طیفی افزایش فلئورسانی مولکول مجاور نانوذره شبه کروی برانگیخته با نیم‌محورهای b و c متغیر در فاصله ثابت $Z = 13 \text{ nm}$ بین نانوذره و مولکول. ۱۰۷
- نمودار (۶-۲۱): افزایش فلئورسانی نزدیک یک نانوذره شبه کروی برانگیخته با نیم‌محورهای 15 nm نسبت به تغییرات فاصله بین مولکول و نانوذره. ۱۱۰
- نمودار (۶-۲۲): تغییرات طیفی افزایش فلئورسانی مولکول مجاور نانوذره شبه کروی نقره برانگیخته با نیم‌محورهای b و c متغیر در فاصله ثابت $Z = 6 \text{ nm}$ بین نانوذره و مولکول. ۱۱۴
- نمودار (۶-۲۳): افزایش فلئورسانی مولکول نزدیک نانوذره شبه کروی نقره برانگیخته با نیم‌محورهای $b=c=15 \text{ nm}$. نسبت به تغییرات فاصله بین مولکول و نانوذره. ۱۱۷
- نمودار (۶-۲۴): تغییرات طیفی افزایش فلئورسانی مولکول مجاور نانوذره شبه کروی برانگیخته مس با نیم‌محورهای b و c متغیر در فاصله ثابت $Z = 13 \text{ nm}$ بین نانوذره و مولکول. ۱۲۱
- نمودار (۶-۲۵): افزایش فلئورسانی مولکول نزدیک نانوذره شبه کروی مس برانگیخته با نیم‌محورهای $b=c=15 \text{ nm}$ نسبت به تغییرات فاصله بین مولکول و نانوذره. ۱۲۴
- شکل (الف-۱): نمایش تابع گرین دیادیک [۲۷]. ۱۳۵

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول (۳-۱): ساختار نواری فلزات نجیب با ساختار بلوری (مکعبی مرکز- سطحی).	۴۵
جدول (۳-۲): پارامترهای درود برای فلزات نجیب طلا، نقره و مس.	۴۵
جدول (۶-۱): پارامترهای مناسب یافت شده و میزان افزایش فلئورسانی در این پارامترها در فاصله 14 نانومتر، بین نانوذره کروی طلا و مولکول.	۹۰

جدول (۶-۲): میزان افزایش فلوئورسانی در پارامترهای طول موج ۷۰۶/۳۲ نانومتر و فاصله ۱۳ نانومتر بین نانوذره کروی طلا و مولکول.....	۹۲
جدول (۶-۳): پارامترهای مناسب و میزان افزایش فلوئورسانی برای تک مولکول جفت شده با نانوذره کروی نقره.....	۹۶
جدول (۶-۴): میزان افزایش فلوئورسانی در پارامترهای مناسب در طول موج ۷۰۶/۳۲ نانومتر برای مولکول جفت شده با نانوذره کروی مس.....	۱۰۰
جدول (۶-۵): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت شده با نانوذره شبه کروی طلا با $a = 70 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۰۸
جدول (۶-۶): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت شده با نانوذره شبه کروی طلا با $a = 60 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۰۸
جدول (۶-۷): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت شده با نانوذره شبه کروی طلا با $a = 50 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۰۹
جدول (۶-۸): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت شده با نانوذره شبه کروی طلا با $a = 40 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۰۹
جدول (۶-۹): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت شده با نانوذره شبه کروی طلا با $b = 15 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۱۱
جدول (۶-۱۰): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت شده با نانوذره شبه کروی طلا با $b = 20 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۱۱
جدول (۶-۱۱): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت شده با نانوذره شبه کروی طلا با $b = 25 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۱۱

صفحه

عنوان

جدول (۶-۱۲): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت شده با نانوذره شبه کروی طلا با $b = 30 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۱۲
جدول (۶-۱۳): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت شده با نانوذره شبه کروی طلا با $b = 35 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۱۲
جدول (۶-۱۴): پارامترهای بهینه برای افزایش فلوئورسانی مولکول جفت شده با نانوذره طلا.....	۱۱۳

جدول (۶-۱۵): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت‌شده با نانوذره شبه‌کروی نقره با $a = 70 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۱۵
جدول (۶-۱۶): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت‌شده با نانوذره شبه‌کروی نقره با $a = 60 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۱۵
جدول (۶-۱۷): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت‌شده با نانوذره شبه‌کروی نقره با $a = 50 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۱۶
جدول (۶-۱۸): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت‌شده با نانوذره شبه‌کروی نقره با $a = 40 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۱۶
جدول (۶-۱۹): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت‌شده با نانوذره شبه‌کروی نقره با $b = 15 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۱۸
جدول (۶-۲۰): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت‌شده با نانوذره شبه‌کروی نقره با $b = 20 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۱۸
جدول (۶-۲۱): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت‌شده با نانوذره شبه‌کروی نقره با $b = 25 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۱۸
جدول (۶-۲۲): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت‌شده با نانوذره شبه‌کروی نقره با $b = 30 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۱۹
جدول (۶-۲۳): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت‌شده با نانوذره شبه‌کروی نقره با $b = 35 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۱۹
جدول (۶-۲۴): پارامترهای بهینه برای افزایش فلوئورسانی مولکول جفت‌شده با نانوذره نقره.....	۱۲۰
جدول (۶-۲۵): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت‌شده با نانوذره شبه‌کروی مس با $a = 70 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۲۲

صفحه

عنوان

جدول (۶-۲۶): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت‌شده با نانوذره شبه‌کروی مس با $a = 60 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۲۲
جدول (۶-۲۷): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت‌شده با نانوذره شبه‌کروی مس با $a = 50 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۲۳
جدول (۶-۲۸): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت‌شده با نانوذره شبه‌کروی مس با $a = 40 \text{ nm}$ در این پارامترها.....	۱۲۳

- جدول (۶-۲۹): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت‌شده با نانوذره شبه‌کروی مس با $b = 15\text{nm}$ در این پارامترها. ۱۲۵
- جدول (۶-۳۰): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت‌شده با نانوذره شبه‌کروی مس با $b = 20\text{nm}$ در این پارامترها. ۱۲۵
- جدول (۶-۳۱): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت‌شده با نانوذره شبه‌کروی مس با $b = 25\text{nm}$ در این پارامترها. ۱۲۵
- جدول (۶-۳۲): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت‌شده با نانوذره شبه‌کروی مس با $b = 30\text{nm}$ در این پارامترها. ۱۲۶
- جدول (۶-۳۳): پارامترهای یافت شده و میزان افزایش فلوئورسانی مولکول جفت‌شده با نانوذره شبه‌کروی مس با $b = 35\text{nm}$ در این پارامترها. ۱۲۶
- جدول (۶-۳۴): پارامترهای بهینه برای افزایش فلوئورسانی مولکول جفت‌شده با نانوذره مس. ۱۲۷

فصل اول

مقدمه‌ای بر آنتن‌های نوری

آنتن یکی از وسایل الکترونیکی است که غالباً در جامعه مدرن استفاده شده است. طبق تعریف استاندارد IEEE، یک آنتن "بخشی از یک سامانه فرستنده یا گیرنده است که برای تابش یا دریافت امواج الکترومغناطیس، طراحی شده است" [۱].

در واقع، زمانی که، سیگنال‌های الکترونیکی، در یک مدار پردازش می‌شوند، یا به طور موضعی در یک خط انتقال، منتقل می‌شوند، انرژی الکترومغناطیس درون سامانه محدود می‌شود و به‌سختی می‌تواند به بیرون تابش شود. یک آنتن، وسیله‌ای است که به طور کارآمد برای توزیع انرژی درون فضای آزاد طراحی شده است، تا جایی که ارتباط بین فواصل زیاد را، از طریق امواج الکترومغناطیس، ممکن می‌سازد.

بدین ترتیب، آنتن، واسطه‌ی میان مدارهای الکتریکی فرستنده و یا گیرنده رادیویی، و فضا است. آنتن فرستنده، نشانه‌های الکتریکی را به امواج الکترومغناطیسی منتشر شده در هوا تبدیل می‌کند و آنتن گیرنده، بخشی از انرژی امواج الکترومغناطیسی منتشر شده در فضا را جذب کرده و به گیرنده رادیویی می‌رساند.

در اوایل، تا قبل از جنگ جهانی دوم، بسیاری از انواع آنتن‌ها از نوع سیمی بودند، که برای انتقال یا گرفتن امواج رادیویی استفاده می‌شدند. با پیشرفت فن‌آوری میکروموج، در طول جنگ و بعد از آن، انواع جدیدی از آنتن‌ها وارد شدند و اندازه آنتن‌ها کاهش یافت، به طوری که به طول موج الکترومغناطیس وابسته می‌شد [۲].

در آغاز دوره ارتباطات رادیویی، امواجی با طول موج هزاران متری به کار برده می‌شد. در آن زمان اعتقاد بر این بود که طول موج‌های از مرتبه ۲۰۰ متر یا کوتاه‌تر هیچ منافع تجاری ندارد و برای استفاده غیر حرفه‌ای، اختصاص داده شده بود. اما طی مدت زمانی تا سال ۱۹۲۱، نشان داده شد که این طول موج‌ها، می‌توانند ارتباطات گرداگرد جهان را با توان کاملاً پایین، تحقق بخشند [۳]. از آن پس، استفاده از طول موج‌های کوتاه و کوتاه‌تر مرسوم شد و در انواع وسایل، برای هدف‌های مختلف، محقق گردید.

در ساده‌ترین شکل، آنتن، یک قطب فلزی به طول $\frac{1}{4}$ طول موج می‌باشد که روی یک صفحه رسانا قرار گرفته است و آنتن تک‌قطبی نامیده می‌شود [۴].

وسایل بی‌سیم مدرن، عمدتاً، ناحیه بسامدی $10^{11} \square 10^4$ Hz را در طیف الکترومغناطیس پوشش می‌دهند، که مطابق با طول موج بین 10^4 m \square ۱ mm است. این ناحیه بسامدی، عموماً، به عنوان بسامد رادیویی و میکروموج‌ها اشاره شده است.

هرچند که اخیراً نتایجی به دست آمده است، اما هنوز یک سوال در حال تکامل است، که چگونه می‌توان، وسایلی که سیگنال‌های الکترومغناطیس را، به‌طور همدوس، در دامنه‌های نوری و فرسرخ، تابش و دریافت می‌کنند، طراحی کرد؟.

بسامد نوری، به‌طور تقریبی، محدوده 10^{14} Hz \times (۷-۴)، بسیار بالاتر از همه بسامدهایی است که در وسایل بی‌سیم استفاده شده است.