

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي  
خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ  
وَالَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتِ  
وَالَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتِ  
وَالَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتِ



دانشگاه شهید بهشتی  
دانشکده علوم  
با همکاری پژوهشکده لیزر و پلاسما

پایان نامه  
جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته فیزیک  
گرایش اتمی - مولکولی (لیزر)

عنوان:  
سنسورهای توزیعی فیبر نوری بر اساس پراکندگی رامان و  
بریلوئن

نگارش:  
سودابه نوری جویباری

استاد راهنما:  
دکتر حمید لطیفی

۱۳۸۶/۸/۲۷

مرداد ۱۳۸۶

۱۵۵۲۱



دانشگاه شهید بهشتی

بسمه تعالی

« صور تجلسه دفاع پایان نامه دانشجویان دوره کارشناسی ارشد »

بهران ۱۹۸۳۹۶۳۱۱۳ اوین

تلفن: ۲۹۹۰۱

بازگشت مجوز دفاع ۱۴۰۲/۵/۱۳۸۶ جلسه هیأت داوران ارزیابی پایان نامه خانم سودابه نوری جویباری به شماره شناسنامه ۱۰۸۴ صادره از قائم شهر متولد ۱۳۶۱ دانشجوی دوره کارشناسی ارشد ناپیوسته رشته فیزیک گرایش اتمی-مولکولی

با عنوان:

سنسورهای توزیعی فیبرنوری براساس پراکندگی رامان و بریلوئن

به راهنمایی:

آقای دکتر حمید لطیفی

طبق دعوت قبلی در تاریخ ۱۳۸۶/۵/۳ تشکیل گردید و براساس رأی هیأت داوری و با عنایت به ماده ۲۰ آئین نامه کارشناسی ارشد مورخ ۷۵/۱۰/۲۵ پایان نامه مزبور با نمره ۱۸،۷۵ و درجه عالی مورد تصویب قرار گرفت.

- ۱- استاد راهنما: آقای دکتر حمید لطیفی
- ۲- استاد داور: آقای دکتر محمد حسین قزل ایاغ
- ۳- استاد داور و نماینده تحصیلات تکمیلی: آقای دکتر رضا مسعودی

من اینک،

در دل این کهکشان نور،

این منظومه های مهر،

این خورشیدهای لبخند،

این رخسارهای شاد،

شکوه لطفتان را با کدامین عمر صدها ساله، پاسخ می توانم داد؟

تقدیم به:

مادر عزیز

پدر دلسوز

و همسر مهربان و همیشه صبورم.

تشکر و قدردانی:

اکنون که به یاری خداوند متعال، این پروژه به اتمام رسیده است، بر خود واجب می دانم تا از عزیزانی که در این مسیر مرا همراهی کرده اند تشکر و قدردانی نمایم.

از جناب آقای دکتر حمید لطیفی که زحمت راهنمایی این پروژه را تقبل کرده اند، کمال سپاس و قدردانی را دارم و موفقیت روزافزون را برای ایشان از درگاه خداوند متعال خواستارم.

از خانواده ام بویژه مادرم که در تمام مراحل پشتیبان من بوده اند، سپاسگذارم و سلامتی و کامیابی ایشان را از خداوند بزرگ خواستارم.

از جناب آقای دکتر مسعودی، ریاست پژوهشکده لیزر و پلاسما و تمامی دوستان و همکاران در پژوهشکده، صمیمانه تشکر می کنم.

از تمامی همکاران پژوهشی آزمایشگاه فیبر نوری بویژه آقای عارف و آقای زیبایی که از راهنمایی های ارزنده شان استفاده کرده ام، کمال قدردانی را دارم.

از دوستان عزیزم خانمها حیدری، نبی پور، عرب سرخی، احمدلو و حسینی صمیمانه تشکر می کنم.

از همسر عزیزم که همیشه مشوق ام بوده اند و در تمامی مراحل از راهنمایی های ایشان استفاده کرده ام، کمال تشکر و قدردانی را دارم و از خداوند متعال موفقیت و سلامتی را برایشان آرزو می کنم.

سودابه نوری جویباری

مرداد ۱۳۸۶

۱- مقدمه .....	۱
۲- اصول پراکندگی نور .....	۵
۱-۲- مقدمه .....	۶
۲-۲- نوسان به عنوان اصول پراکندگی نور .....	۸
۳-۲- پراکندگی اسکالر .....	۸
۱-۳-۲- پراکندگی بریلوئن .....	۹
۲-۳-۲- پراکندگی القایی بریلوئن .....	۱۴
۴-۲- پراکندگی تانسوری .....	۲۴
۱-۴-۲- پراکندگی رامان .....	۲۴
۲-۴-۲- پراکندگی رامان القایی .....	۲۸
۵-۲- پراکندگی نور در فیبر نوری .....	۳۷
۱-۵-۲- پراکندگی بریلوئن القایی در فیبر نوری .....	۳۷
۲-۵-۲- پراکندگی رامان القایی در فیبر نوری .....	۳۹
۳- سنسورهای توزیعی فیبر نوری بر اساس پراکندگی بریلوئن .....	۴۱
۱-۳- مقدمه .....	۴۲
۲-۳- اثرات دما و کرنش بر مولفه های پراکندگی بریلوئن .....	۴۲
۱-۲-۳- ضرایب وابستگی تغییرات توان و فرکانس بریلوئن به دما و کرنش .....	۴۲
۲-۲-۳- تعریف ضریب لاندائو- پلاکزک .....	۵۵
۳-۳- سنسورهای توزیعی دما و فشار فیبر نوری بر اساس پراکندگی بریلوئن	
در حوزه زمان .....	۵۷
۱-۳-۳- BOTDR .....	۵۸
۱-۱-۳-۳- آشکارسازی مستقیم .....	۵۸
۲-۱-۳-۳- آشکارسازی همدوس .....	۵۹
۳-۱-۳-۳- شرح چیدمانهای تجربی سنسور BOTDR .....	۶۰
۲-۳-۳- BOTDA .....	۷۰
۱-۲-۳-۳- شرح تجربی سنسور BOTDA .....	۷۷
۴-۳- سنسورهای فیبر نوری بر اساس پراکندگی بریلوئن در حوزه همبستگی .....	۸۱
۱-۴-۳- اصول تئوری سنسور بر اساس پراکندگی بریلوئن در حوزه همبستگی .....	۸۲
۲-۴-۳- شرح تجربی سنسور بر پایه پراکندگی بریلوئن در حوزه همبستگی .....	۸۴
۵-۳- سنسورهای توزیعی فیبر نوری بر اساس پراکندگی بریلوئن در حوزه فرکانسی .....	۸۵
۱-۵-۳- اصول تئوری سنسور بر پایه پراکندگی بریلوئن در حوزه فرکانسی .....	۸۶
۲-۵-۳- شرح تجربی سنسور بر پایه پراکندگی بریلوئن در حوزه فرکانسی .....	۹۰

۹۳	۴- سنسور فیبر نوری بر اساس پراکندگی رامان
۹۴	۱-۴- مقدمه
	۲-۴- سنسورهای توزیعی دمای فیبر نوری بر اساس پراکندگی رامان در
۹۴	حوزه فرکانسی
۹۴	۱-۲-۴- اصول تئوری سنسور بر پایه پراکندگی رامان در حوزه فرکانسی
۱۰۳	۲-۲-۴- شرح تجربی سنسور توزیعی دما بر اساس پراکندگی رامان در حوزه فرکانسی
۱۰۴	۳-۴- سنسورهای توزیعی فیبر نوری بر اساس پراکندگی رامان در حوزه زمان
۱۰۵	۱-۳-۴- اصول تئوری سنسور بر پایه پراکندگی رامان در حوزه زمان
۱۰۵	۲-۳-۴- شرح تجربی سنسور بر پایه پراکندگی رامان در حوزه زمان
۱۰۹	۴-۴- طراحی کابل سنسور توزیعی فیبر نوری
۱۱۴	۵- طراحی چیدمان
۱۱۵	۱-۵- مقدمه
۱۱۵	۲-۵- چیدمان پیشنهادی برای ساخت سنسور BOTDR
۱۱۹	۳-۵- تقویت کننده فیبری با ناخالصی اربیم
۱۲۷	۱-۳-۵- طراحی تقویت کننده فیبری با ناخالصی اربیم
۱۳۲	۶- نتایج تجربی
۱۳۳	۱-۶- مقدمه
۱۳۳	۲-۶- مشاهده اثر پراکندگی در فیبر نوری تک مد
۱۳۸	۳-۶- تاثیر دما بر طیف پس پراکنده شده رامان در فیبر تک مد
۱۴۲	۴-۶- اندازه گیری توان پیکهای رامان توسط OSA
۱۴۴	۵-۶- نتیجه گیری
۱۴۳	۷- مراجع

- شکل (۱-۱-۲) : طیف نور پس پراکنده شده ..... ۶
- شکل (۱-۳-۲) : پراکندگی استوکس بریلوئن ..... ۱۲
- شکل (۲-۳-۲) : پراکندگی آنتی استوکس بریلوئن ..... ۱۳
- شکل (۳-۳-۲) : شماتیک پراکندگی القایی بریلوئن ..... ۱۴
- شکل (۴-۳-۲) : شماتیک تولید کننده پراکندگی القایی بریلوئن ..... ۱۵
- شکل (۵-۳-۲) : شماتیک تقویت کننده پراکندگی القایی بریلوئن ..... ۱۶
- شکل (۶-۳-۲) : وابستگی انعکاس SBS به بهره سیگنال کوچک ..... ۲۲
- شکل (۷-۳-۲) : توزیع شدت استوکس و لیزر در ناحیه برهمکنش تولید کننده SBS ..... ۲۳
- شکل (۱-۴-۲) : (الف) ترازهای انرژی در پراکندگی آنتی استوکس رامن،  
(ب) ترازهای انرژی در پراکندگی استوکس رامن ..... ۲۵
- شکل (۲-۴-۲) : شرح مولکولی پراکندگی رامن القایی ..... ۲۸
- شکل (۳-۴-۲) : پراکندگی رامن القایی ..... ۳۰
- شکل (۴-۴-۲) : ساختار تشدید پذیرفتاری ..... ۳۲
- شکل (۵-۴-۲) : پذیرفتاری رامن استوکس و آنتی استوکس ..... ۳۳
- شکل (۱-۵-۲) : طیف بهره بریلوئن برای انواع فیبرهای سیلیکای تک مد ..... ۳۸
- شکل (۲-۵-۲) : طیف بهره رامن فیبر سیلیکا ..... ۴۰
- شکل (۱-۲-۳) : نمایش فضا - زمانی انتشار نور پالسی پمپ ..... ۴۴
- شکل (۲-۲-۳) : چیدمان تست نتایج تئوری ..... ۵۱
- شکل (۳-۲-۳) : طیف نور پس پراکنده شده در دماهای مختلف ..... ۵۲
- شکل (۴-۲-۳) : مقادیر توان و شیفت فرکانس بریلوئن در دماهای مختلف ..... ۵۳
- شکل (۵-۲-۳) : طیف نور پس پراکنده شده در کرنشهای مختلف ..... ۵۳
- شکل (۶-۲-۳) : مقادیر توان و شیفت فرکانس بریلوئن در کرنشهای مختلف ..... ۵۴
- شکل (۷-۲-۳) : وابستگی دمایی *LPR* ..... ۵۷



- شکل (۳-۳-۱): بهره بریلوئن در طول فیبر نوری ..... ۵۹
- شکل (۳-۳-۲): چیدمان سنسور *BOTDR* با روش آشکارسازی مستقیم ..... ۶۰
- شکل (۳-۳-۳): شدت سیگنال پس پراکنده شده بریلوئن برحسب طول فیبر ..... ۶۱
- شکل (۳-۳-۴): نسبت *LPR* برحسب طول فیبر ..... ۶۱
- شکل (۳-۳-۵): چیدمان سیستم *BOTDR* با روش آشکارسازی همدوس ..... ۶۲
- شکل (۳-۳-۶): چیدمان بهینه شده *BOTDR* به روش آشکارسازی همدوس ..... ۶۳
- شکل (۳-۳-۷): جزئیات اصول مخلوط کردن نوسانگر محلی و نور پس پراکنده شده آنتی استوکس ..... ۶۴
- شکل (۳-۳-۸): طیف پروب در انتهای فیبر ۱۰۰ کیلومتری برای توانهای مختلف پمپ رامان  
برای حالت پمپ و پروب هم جهت با توان پروب  $80\text{ mW}$  ..... ۶۶
- شکل (۳-۳-۹): دقت دمایی برای ترکیبهای مختلف توانهای پمپ و پروب ..... ۶۷
- شکل (۳-۳-۱۰): تکنیک دو لبه ای ..... ۶۸
- شکل (۳-۳-۱۱): مقایسه سه روش آشکارسازی ..... ۶۸
- شکل (۳-۳-۱۲): تغییرات پیکهای بریلوئن در اثر اعمال دما و کرنش در دو حالت  
(الف) بیشینه عبور رایلی (ب) کمینه عبور رایلی ..... ۶۹
- شکل (۳-۳-۱۳): چیدمان سنسور بر پایه استفاده از فیلتر ماخ-زندر ..... ۷۰
- شکل (۳-۳-۱۴): سیگنال اتلاف بریلوئن، برای طول پالس  $100\text{ ns}$ ، توان پیک پالس  $1,6\text{ mW}$ ، توان  
پیوسته: (الف):  $1,5\text{ mW}$ ، (ب):  $2,2\text{ mW}$ ، (ج):  $3\text{ mW}$ ، (د):  $4,3\text{ mW}$ ، (ه):  $5,3\text{ mW}$ ،  
به روش تئوری (خطوط ضخیم) و با استفاده از آزمایش (خطوط نازک) ..... ۷۶
- شکل (۳-۳-۱۵): محاسبه تئوری توان پرتو پالسی در سیستم اتلاف بریلوئن ،  
منحنی 0 توان پیوسته برابر با صفر، خطوط ۱ الی ۵ معادل با توانهای پیوسته استفاده شده  
از (الف) تا (ه) در شکل قبل ..... ۷۷
- شکل (۳-۳-۱۶): چیدمان سنسور *BOTDA* ..... ۷۷
- شکل (۳-۳-۱۷): شکل پالس ..... ۷۸
- شکل (۳-۳-۱۸): اثر پایه پالس بر طیف بهره بریلوئن ..... ۷۹
- شکل (۳-۳-۱۹): مکان پالس در فیبر و توان پس پراکنده شده از مکان اعمال کرنش  
(الف): برای پالس تک ، (ب): برای پالس دوقلو ..... ۸۰

- شکل (۳-۳-۲۰): فیبر تحت کرنش ..... ۸۰
- شکل (۳-۳-۲۱): توان پس پراکنده شده نرمالیزه شده برای  
(الف): پالس دوقلو با طول پالس  $40 \text{ ns}$  و فاصله دو پالس  $20 \text{ ns}$  ،  
(ب): پالس تک با پهنا  $80 \text{ ns}$  (طول بخش اول و سوم  $2 \text{ m}$  و طول بخش دوم  $4 \text{ m}$ ) ..... ۸۱
- شکل (۳-۳-۲۲): توان پس پراکنده شده نرمالیزه شده برای  
(الف): پالس دوقلو با طول پالس  $40 \text{ ns}$  و فاصله دو پالس  $20 \text{ ns}$  ،  
(ب): پالس تک با پهنا  $80 \text{ ns}$  (طول بخش اول و سوم  $2 \text{ m}$  و طول بخش دوم  $4 \text{ m}$ ) ..... ۸۱
- شکل (۳-۴-۱): مکان پیک همبستگی در طول فیبر ..... ۸۲
- شکل (۳-۴-۲): طیف بدست آمده در انتهای فیبر ..... ۸۳
- شکل (۳-۴-۳): چیدمان سنسور *BOCDA* ..... ۸۴
- شکل (۳-۴-۴): نتایج اندازه گیری کرنش توزیع شده ..... ۸۵
- شکل (۳-۵-۱): الگوریتم روش *BOFDA* ..... ۹۰
- شکل (۳-۵-۲): چیدمان روش *BOFDA* ..... ۹۱
- شکل (۳-۵-۳): شیفت فرکانسی بریلوئن و دمای توزیع شده در طول فیبر با استفاده بازسازی  
توسط تکنیک هارمونیک و تکنیک کلاسیک ..... ۹۲
- شکل (۴-۲-۱): چیدمان سنسور *ROFDR* ..... ۱۰۴
- شکل (۴-۳-۱): چیدمان سنسور *ROTDR* ..... ۱۰۶
- شکل (۴-۳-۲): توانهای ثبت شده در زمان برای نور رایلی و استوکس ..... ۱۰۷
- شکل (۴-۳-۳): توانهای ثبت شده در زمان برای نور آنتی استوکس ..... ۱۰۸
- شکل (۴-۳-۴): سیگنال آنتی استوکس برحسب زمان برای دو حالت دمای اتاق  
و دمای  $60$  درجه سانتیگراد ..... ۱۰۸
- شکل (۴-۳-۵): نسبت سیگنال آنتی استوکس به استوکس در دو دمای مختلف ..... ۱۰۹
- شکل (۴-۴-۱): سطح مقطع کابل سنسور دما و نمونه واقعی آن ..... ۱۱۱
- شکل (۴-۴-۲): سطح مقطع کابل سنسور کرنش و نمونه واقعی آن ..... ۱۱۲
- شکل (۴-۴-۳): سطح مقطع کابل سنسور همزمان دما و کرنش و نمونه واقعی کابل ..... ۱۱۳
- شکل (۵-۲-۱): چیدمان پیشنهادی ..... ۱۱۶

- شکل (۲-۲-۵): طیف لیزر دستگاه OTDR..... ۱۱۷
- شکل (۳-۲-۵): (الف) سیستم آشکارسازی پالس ،
- (ب) شکل پالس لیزر OTDR برحسب زمان ..... ۱۱۸
- شکل (۱-۳-۵): گذار بین ترازهای انرژی برای یون اربیموم ..... ۱۲۰
- شکل (۲-۳-۵): توزیع توان موج سیگنال در طول فیبر برای توانهای پمپاژ مختلف ..... ۱۲۶
- شکل (۳-۳-۵): توزیع توان پمپ در طول فیبر برای توانهای پمپاژ مختلف ..... ۱۲۷
- شکل (۴-۳-۵): چیدمان EDFA ..... ۱۲۷
- شکل (۵-۳-۵): توزیع توان موج سیگنال در طول فیبر برای توانهای پمپاژ مختلف ..... ۱۳۰
- شکل (۶-۳-۵): توزیع توان موج پمپ در طول فیبر برای توانهای پمپاژ مختلف ..... ۱۳۱
- شکل (۱-۲-۶): چیدمان مشاهده پس پراکندگی پراکندگی رامان در فیبر نوری ..... ۱۳۴
- شکل (۲-۲-۶): طیف اسکن شده توسط OSA ..... ۱۳۵
- شکل (۳-۲-۶): طیف اسکن شده توسط در ولتاژ اعمالی لیزر  $250\text{ volt}$  ..... ۱۳۶
- شکل (۴-۲-۶): چیدمان ثبت نور لیزر ..... ۱۳۶
- شکل (۵-۲-۶): طیف نور لیزر ..... ۱۳۷
- شکل (۱-۳-۶): اعمال تغییر دما روی فیبر ..... ۱۳۸
- شکل (۲-۳-۶): طیف پس پراکندگی شده در دمای  $31.2^{\circ}\text{C}$  ..... ۱۳۹
- شکل (۳-۳-۶): طیف پس پراکندگی شده در دمای  $37.5^{\circ}\text{C}$  ..... ۱۴۰
- شکل (۴-۳-۶): طیف پس پراکندگی شده در دمای  $43.7^{\circ}\text{C}$  ..... ۱۴۱
- شکل (۵-۳-۶): طیف پس پراکندگی شده در دمای  $50.7^{\circ}\text{C}$  ..... ۱۴۲

- جدول (۱-۲-۱): مقادیر نوعی پارامترهای مربوط به طیف نور پراکنده شده ..... ۷
- جدول (۱-۴-۲): خصوصیات مربوط به پراکندگی رامان القایی برای چند ماده ..... ۲۸
- جدول (۱-۲-۳): وابستگی دمایی و کرنشی پارامترها ..... ۵۰
- جدول (۱-۲-۵): مشخصات قطعات استفاده شده در چیدمان ..... ۱۱۹
- جدول (۱-۳-۵): مشخصات فیبر تزریق شده با اربیموم ..... ۱۲۸
- جدول (۱-۴-۶): توانهای اندازه گیری شده ..... ۱۴۳

## چکیده

سنسورهای توزیعی فیبری بر اساس پراکندگی رامان و بریلوئن به جهت توانایی اندازه گیری کرنش و دمای اعمال شده به فیبر به صورت پیوسته در فواصل طولانی، مورد توجه فراوان بوده است. نیاز روز افزون صنعت به اندازه گیری دما و کرنش در فواصل طولانی با دقت بالا، این نسل از سنسورها را به عنوان موفق ترین سنسور فیبری قرار داده است. اساس این سنسور، تغییر در مشخصات طیفی نور پس پراکنده شده از فیبر در مکانهای مختلف از طول آن، می باشد. در این پایان نامه ابتدا به بررسی انواع سنسورهای توزیعی فیبری بر اساس پراکندگی های رامان و بریلوئن پرداخته شد، سپس با توجه به تجهیزات آزمایشگاهی موجود، یک چیدمان جهت مشاهده طیف پس پراکنده شده رامان و بریلوئن در داخل فیبر تک مد ساخته شد. با اعمال تغییر دما روی فیبر تحت آزمایش، اثر دما بر روی طیف پس پراکنده شده حاصله بررسی گردید.

در ادامه چیدمان نهایی جهت ساخت سنسور توزیعی فیبری بر اساس پراکندگی بریلوئن خودبخودی با روش آشکارسازی مستقیم، طراحی می شود. در طراحی این چیدمان از یک  $OTDR$ <sup>۱</sup> تجاری جهت تزریق لیزر به داخل فیبر و آشکارسازی طیف پس پراکنده شده استفاده شده است. در پایان، بدلیل نیاز به استفاده از تقویت کننده نوری در ساختمان این چیدمان، به طراحی یک تقویت کننده فیبری با ناخالصی اربوم می پردازیم.

کلمات کلیدی: سنسور فیبر نوری، بریلوئن، رامان، دما، کرنش.

---

۱. Optical time domain reflectometry

فصل اول

مقدمه

## مقدمه :

علاوه بر نقش فوق العاده فیبرهای نوری در مخابرات، تکنولوژی نیز کاربرد مهم دیگری را تحت عنوان سنسور فیبر نوری، برای آن معرفی می کند. این سنسورها به خاطر ابعاد کوچک و وزن ناچیز، به سادگی در بسیاری از سازه ها قابل جاسازی می باشند، بنابراین می توان از آنها جهت مانیتور کردن کرنش<sup>۱</sup> در سازه استفاده کرد. همچنین به دلیل استفاده از مواد دی الکتریک در ساختمان فیبرها، این دسته از سنسورها، از ایجاد جرقه و واکنشهای شیمیایی محافظت می شوند و برای محیط های بسیار آلوده به مواد انفجاری کاملاً مناسب هستند. به دلیل تحمل دماهای خیلی بالا توسط فیبرهای نوری، از این دسته از سنسورها در دماهای خیلی بالا که سیستمهای الکترونیکی دچار مشکل می شوند، به راحتی می توان استفاده کرد.

توانایی اندازه گیری دما و کرنش در فواصل طولانی جهت مانیتور کردن ساختارهای بزرگ، نظیر خط لوله انتقال سیالات، چاه های نفت، سدها، پلها، مخازن سوخت و ساختمانها همواره مورد توجه فراوان بوده است. به عنوان مثال، سیستمهای احساسگری بر اساس پراکندگی های رامان<sup>۲</sup> و بریلوئن<sup>۳</sup> برای آشکارسازی نشت سیال از خطوط لوله انتقال، هشدار خطر شکستن لوله های نصب شده در مناطقی که خطر ریزش دارند، بهینه کردن و ایجاد ایمنی در فرآیند تولید نفت از چاه ها، آشکارسازی نقاط داغ در کابل های فشار قوی، استفاده شده اند. بالا بردن دقت در اندازه گیری دما و کرنش و دقت فضایی و افزایش بیشینه رنج قابل اندازه گیری، کاهش زمان لازم برای اندازه گیری، بهبود در پردازش اطلاعات و کاهش هزینه سیستم، همواره مورد توجه متخصصان این حرفه می باشد. در حال حاضر شرکتهای تجاری معتبری تجهیزات کامل مربوط به اندازه گیری پراکندگی رامان و بریلوئن را ساخته و بفروش می رسانند.

احساسگری توزیعی دما و کرنش با استفاده از پراکندگی رامان و بریلوئن، به روشهای مختلفی انجام می شود. تکنیکی که بیشتر از بقیه روشها مورد توجه محققان این رشته قرار گرفته است، روشی است که در آن اندازه گیری ها در حوزه زمان<sup>۴</sup> انجام

---

۱. strain  
 ۲. Raman  
 ۳. Brillouin  
 ۴. Time domain

می گیرد و از آشکارسازی سیگنال پس پراکنده شده رایلی<sup>۱</sup> برای اندازه گیری تلفات نوری در طول فیبر استفاده می کند. این روش اولین بار توسط *Jenson* و *Barnoski* در سال ۱۹۷۶ ابداع شد [۱].

در روش حوزه زمانی، یک پالس وارد فیبر می شود و نور پس پراکنده شده، آشکارسازی و آنالیز می گردد. زمان بین فرستادن پالس و آشکارسازی آن، فاصله در طول فیبر را مشخص می کند.

روش دیگر، تکنیک حوزه فرکانسی<sup>۲</sup> است که توسط *Okoshi* و *Ghafforri-Shiraz* انجام شد [۲]. این روش بر اساس اندازه گیری تابع انتقال *baseband* مختلط طراحی شده است که سپس دامنه موج پمپ و استوکس را در طول فیبر با استفاده از *network Analyzer* بدست می آورد.

این دو روش هر دو هم در سنسورهای توزیعی فیبری بر اساس پراکندگی رامان و هم در سنسورهای بر اساس پراکندگی بریلوئن، استفاده شدند. روش دیگری که در پنج سال اخیر ابداع شده است و توجه زیادی به آن می شود، تکنیک اندازه گیری در حوزه همدوسی<sup>۳</sup> می باشد، که تنها برای سنسورهای توزیعی بر اساس پراکندگی بریلوئن استفاده شده است [۳]. این روش بدلیل دقت فضایی بالا، مورد استقبال فراوان قرار گرفت.

هم اکنون محققان در مراکز تحقیقاتی در دیگر کشورها به ویژه کانادا و ژاپن، به مطالعه در زمینه این دسته از سنسورها می پردازند.

در این پایان نامه ضمن آشنایی با انواع سنسورهای توزیعی فیبر نوری بر اساس پراکندگی رامان و بریلوئن، قصد داریم تا با توجه به تجهیزات آزمایشگاهی موجود به طراحی و ساخت سنسور توزیعی بر اساس پراکندگی بریلوئن در حوزه زمان پردازیم. مطالبی که در این پایان نامه به آنها پرداخته می شود، عبارتند از:

فصل دوم: در این فصل با اصول پراکندگی نور آشنا خواهیم شد، پراکندگی های رامان و بریلوئن از دیدگاه اپتیک غیرخطی بررسی خواهند شد، سپس به پراکندگی های نور در فیبر نوری اشاره خواهد شد.

فصل سوم: این فصل به بررسی سنسورهای توزیعی بر اساس پراکندگی بریلوئن اختصاص دارد، انواع سنسور بر اساس پراکندگی بریلوئن در این فصل بیان خواهد شد.

فصل چهارم: در این فصل به بررسی سنسورهای توزیعی بر اساس پراکندگی رامان می پردازیم. سپس انواع مختلف این سنسورها بیان خواهد شد.

۱. Rayleigh

۲. Frequency domain

۳. Correlation domain



فصل پنجم : در این فصل آزمایشهای اولیه انجام شده نظیر مشاهده اثر پراکندگی رامان در فیبر نوری و تاثیر دما روی طیف

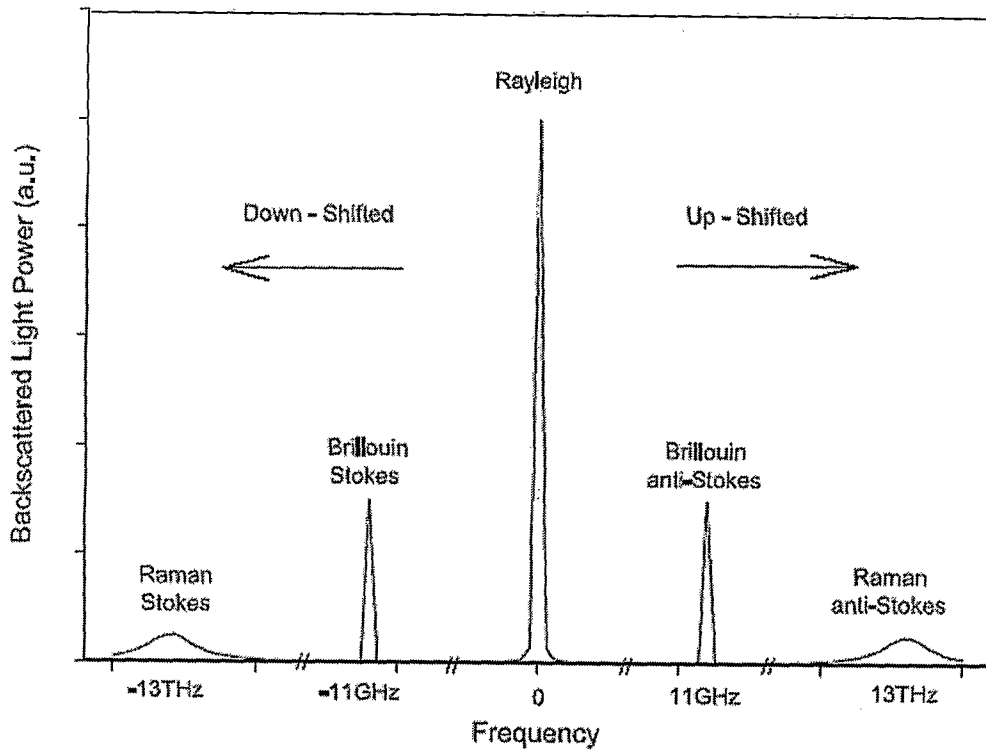
آن بیان می شود. سپس چیدمان پیشنهادی ارائه و بررسی می گردد.

فصل دوم

اصول پراکنندگی نور

۱-۲- مقدمه

وقتی نور به یک محیط مادی برخورد می کند، از آن پراکنده می شود. شکل (۱-۱-۲) طیف نور پراکنده شده از یک محیط مادی (نظیر سیکیکای گداخته) شامل پراکندگی رامان، بریلوئن و رایلی را نشان می دهد [۴]:



شکل (۱-۱-۲) : طیف نور پس پراکنده شده

مولفه‌های نور پراکنده شده که به سمت فرکانسهای بالاتر جابجا می‌شوند، مولفه‌های آنتی‌استوکس<sup>۱</sup> و مولفه‌هایی که به سمت فرکانس پایین‌تر شیفت می‌یابند، مولفه‌های استوکس<sup>۲</sup> نامیده می‌شوند. یکی از این مولفه‌های پراکنندگی که اتفاق می‌افتد، رامان<sup>۳</sup> است. پراکنندگی رامان بر اثر برهمکنش نور با مدهای ارتعاشی<sup>۴</sup> مولکولهای تشکیل دهنده محیط ایجاد می‌گردد. این پراکنندگی بصورت پراکنندگی نور از فونونهای اپتیکی<sup>۵</sup> نیز توصیف می‌شود. مولفه دیگر این طیف، پراکنندگی بریلوئن<sup>۶</sup> است. این پراکنندگی بصورت پراکنندگی نور از موج آکوستیکی ای<sup>۷</sup> که از انتشار نوسانات در چگالی محیط تولید می‌شود، بوجود می‌آید. به عبارت دیگر این پراکنندگی حاصل پراکنندگی نور از فونونهای آکوستیکی<sup>۸</sup> است.

پراکنندگی رایلی<sup>۹</sup>، پراکنندگی نور از نوسانات چگالی غیر منتشر شونده می‌باشد و بصورت پراکنندگی نور از نوسانات آنتروپی<sup>۱۰</sup> نیز توصیف می‌گردد. به این پراکنندگی، پراکنندگی الاستیک گفته می‌شود زیرا هیچ تغییر فرکانسی‌ای برای آن تولید نمی‌شود. پراکنندگی رایلی-وینگ<sup>۱۱</sup> (پراکنندگی وینگ از خط رایلی) پراکنندگی از نوسانات در جهت گیری مولکولهای ناهمسانگرد<sup>۱۲</sup> است. از آنجایی که جهت گیری مجدد مولکولها خیلی سریع است، این مولفه پراکنندگی از نظر طیفی خیلی پهن می‌باشد. این پراکنندگی برای مولکولهای با یک تانسور قطبش پذیری همسانگرد<sup>۱۳</sup> اتفاق نمی‌افتد. جدول زیر مقادیر نوعی پارامترهای مربوط به طیف نور پراکنده شده را نشان می‌دهد [۵].

جدول (۱-۲): مقادیر نوعی پارامترهای مربوط به طیف نور پراکنده شده

فرآیند	شیفت ( $cm^{-1}$ )	پهنای باند ( $cm^{-1}$ )	بهره ( $cm / MW$ ) (فرآیند القایی)
رامان	1000	5	$5 \times 10^{-3}$
بریلوئن	0.1	$0.5 \times 10^{-3}$	$10^{-2}$
رایلی	0	$5 \times 10^{-4}$	$10^{-4}$
رایلی - وینگ	0	5	$10^{-3}$

- ۱ . anti stokes
- ۲ . stokes
- ۳ . Raman
- ۴ . vibrational mode
- ۵ . optical phonon
- ۶ . Brillouin
- ۷ . acoustic wave
- ۸ . acoustic phonon
- ۹ . Rayleigh
- ۱۰ . entropy
- ۱۱ . Rayleigh-Wing
- ۱۲ . anisotropic molecule
- ۱۳ . isotropic polarizability tensor