





دانشگاه الزهرا(س)  
دانشکده علوم پایه

پایان نامه  
جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد  
رشته فیزیک گرایش اتمی مولکولی

عنوان  
مدل سازی و شبیه سازی حسگر دمای توری براگ فیبر نوری با روکش فلزی

استاد راهنما  
دکتر فاطمه شهشهانی  
استاد مشاور  
دکتر سیده زهرا شورشینی

دانشجو  
فاطمه سادات حسینی

بهمن ماه سال ۹۱

کلیه دستاوردهای این تحقیق متعلق به  
دانشگاه الزهرا (س) است.



تقدیم بابوسہ بردستان

مادم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه نچ بودو

وجودش برایم همه مهر

و

پدرم که عالمانه به من آموخت

تجربه ایستادگی در عرصه زندگی را



## تشکر و قدردانی

---

سپاس خداوندی را که اول است و قبل از او اولی نبوده و آخر است و بعد از او آخری وجود ندارد. آن که دیده بینایان از رؤیتش ناتوان است و اندیشه توصیف‌کنندگان از وصفش عاجز ... . بدون شک جایگاه و منزلت معلم بزرگتر از آن است که در مقام قدردانی از زحمات او چیزی بنگاریم ولی از آنجایی که تجلیل از معلم سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین می‌کند بر حسب وظیفه:

از پدر و مادر عزیزم ... آن دو معلم بزرگوaram ... که همواره بر کوتاهی و درستی من قلم عفو کشیده و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یاور بی‌چشمداشت من بوده، از استاد عزیزم، سرکار خانم دکتر شهشهانی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننموده و زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند،

و از استاد فرزانه و دلسوز، دکتر بهروزی‌نیا که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. باشد که این خردترین بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

در سال‌های اخیر، حسگرهای فیبر نوری با توری براگ (FBG) تحول عظیمی در زمینه حسگرهای فیبر نوری ایجاد کرد. اندازه کوچک، وزن سبک، کدگذاری ذاتی طول موجی و ایمنی در برابر تداخل‌های الکتریکی-مغناطیسی از مزایای حسگرهای FBG نسبت به حسگرهای فیبر نوری معمولی است. در این پایان‌نامه مدل‌سازی و تحلیل تئوری حسگرهای دمایی فیبر توری براگ با روکش فلزی مورد بررسی قرار گرفته است. در حسگرهای فیبر توری براگ، دوره تناوب توری و ضریب شکست مؤثر فیبر در اثر تغییر پارامتر فیزیکی تغییر می‌کنند، که سبب جابه‌جایی طول موج براگ می‌شود. دقت اندازه‌گیری به میزان جابه‌جایی طول موج براگ بستگی دارد. طیف بازتابی توری براگ با استفاده از روش ماتریس انتقال تحلیل و تأثیر مشخصات ساختاری توری از جمله اختلاف ضریب شکست، طول توری، تأثیر ایجاد انتقال فاز و نیز توری با ساختار نامنظم مورد بررسی قرار گرفته است. در مرحله بعدی عملکرد حسگر FBG با روکش فلزی با جنس، تعداد و ضخامت و نیز مشخصات خود فیبر مانند ضریب شکست مؤثر فیبر و قطر فیبر توری براگ مورد بررسی قرار گرفته است. نتیجه‌های نظری بدست آمده در تطابق کامل با کارهای تجربی گزارش شده است.

در پایان با استفاده از نتایج بدست آمده یک حسگر دمایی فیبر توری براگ با مشخصات بهینه ارائه شده است. مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB انجام گرفته است. هم‌چنین مدل جدیدی برای اندازه‌گیری دمای محیط‌هایی با گرادیان دما با در نظر گرفتن عملکرد توری نامنظم ارائه شده است.

## فهرست مطالب

### فصل اول: مقدمه

مقدمه	۲
۱-۱ هدف و ساختار پایان‌نامه	۷

### فصل دوم: تئوری حسگرهای فیبر توری براگ

۱-۲ فیبرهای توری براگ	۹
۱-۱-۲ اساس کار فیبر توری براگ	۹
۲-۱-۲ تئوری فیبرهای توری براگ	۱۰
۳-۱-۲ عوامل مؤثر بر توان بازتاب توری براگ	۲۲
۴-۱-۲ روش‌های ساخت توری در فیبر	۲۵
۲-۲ حسگرهای فیبر توری براگ	۳۰
۱-۲-۲ اساس کار حسگرهای FBG	۳۰
۲-۲-۲ روش‌های وامدولاسیون حسگرهای FBG	۳۲
۲-۳-۲ مالتی‌پلاکس کردن حسگرهای FBG	۳۷

### فصل سوم: بررسی اثرات روکش بر روی حسگر دمایی فیبر توری براگ

۱-۳ تئوری الاستیسیته	۴۱
۱-۱-۳ مقدمه‌ای بر تئوری الاستیسیته	۴۱
۲-۱-۳ حل مسائل تعادل در دستگاه قطبی	۳۹
۳-۱-۳ بررسی یک مسأله با تقارن استوانه‌ای	۴۵
۲-۳ بررسی اثر کرنش بر روی ضریب شکست مواد ایزوتروپیک	۴۷
۳-۳ اثر تغییرات دمایی بر روی طول موج براگ FBG	۴۸

۴-۳- روند انجام محاسبات در پایان نامه.....۵۷

## فصل چهارم: تحلیل و بررسی نتایج عددی

- ۱-۴ نتایج مدل سازی FBG ..... ۵۹
- ۱-۱-۴ تأثیر  $\delta n_{eff}$  بر طیف بازتاب ..... ۶۱
- ۲-۱-۴ تأثیر طول توری بر روی طیف بازتابی ..... ۶۲
- ۳-۱-۴ بررسی طیف بازتاب توری براگ با در نظر گرفتن انتقال فاز ..... ۶۳
- ۴-۱-۴ بررسی طیف بازتابی توری های براگ با دوره تناوب نامنظم ..... ۶۵
- ۲-۴ تحلیل و بررسی حساسیت حسگر دمایی فیبر توری براگ ..... ۶۹
- ۱-۲-۴ بررسی حساسیت دمایی فیبر توری براگ یکنواخت معمولی..... ۷۰
- ۳-۴ بررسی حسگر دمایی فیبر توری براگ با یک روکش فلزی..... ۷۱
- ۱-۳-۴ حساسیت حسگر دمایی فیبر توری براگ با یک روکش فلزی..... ۷۱
- ۲-۳-۴ طیف عبوری حسگر دمایی فیبر توری براگ با یک روکش فلزی..... ۷۶
- ۴-۴ بررسی حسگر دمایی فیبر توری براگ با دو روکش فلزی..... ۷۸
- ۱-۴-۴ حساسیت حسگر دمایی فیبر توری براگ با دو روکش فلزی..... ۷۸
- ۲-۴-۴ تأیید نتایج به دست آمده برای حسگر دمایی فیبر توری براگ..... ۸۰
- با دو روکش فلزی.

- ۵-۴ حسگر دمایی فیبر توری براگ با سه لایه روکش فلزی..... ۸۲
- ۱-۵-۴ حساسیت دمایی حسگر فیبر توری براگ با سه لایه روکش فلزی..... ۸۳
- ۲-۵-۴ بررسی تأثیر ضخامت بر حساسیت حسگر دمایی با سه روکش فلزی..... ۸۵
- ۳-۵-۴ بررسی مشخصات فیبر بر عملکرد حسگر دمایی فیبر توری براگ..... ۸۷
- با سه روکش فلزی

- ۶-۴ بهینه سازی حسگر دمایی فیبر توری براگ..... ۹۰
- ۷-۴ طراحی یک حسگر دمایی فیبر توری براگ برای محیط هایی با گرادیان دما..... ۹۲



## فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۹۶.....	۱-۵ نتیجه گیری .....
۹۸.....	۲-۵ پیشنهادات .....
۹۹.....	مراجع .....
۱۰۵.....	پیوست ۱.....
۱۰۸.....	پیوست ۲ .....
۱۱۰.....	<b>abstract</b> .....

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۲-۱- الف) ساختار توری براگ در فیبر ب) طیف عبوری و بازتابی توری براگ..... ۷
- شکل ۲-۲- انواع مدهای انتشار یافته در فیبر..... ۱۰
- شکل ۲-۳- الف) کوپل‌شدگی مدهای انتشاری در خلاف جهت،..... ۱۱  
ب) کوپل‌شدگی مدها در جهت یکدیگر [۱۷]
- شکل ۲-۴- پروفایل تغییرات ضریب شکست [۲۱]..... ۱۵
- شکل ۲-۵- تغییرات ضریب شکست با فرض پیوسته بودن..... ۱۵
- شکل ۲-۶- شرایط مرزی..... ۱۸
- شکل ۲-۷- طیف بازتابی توری براگ برحسب مقدر مختلف  $\kappa_{ac} L$  [۱۷]..... ۲۰
- شکل ۲-۸- نمایی از روش ماتریس انتقال..... ۲۱
- شکل ۲-۹- مقایسه تغییرات ضریب شکست  $SSMF$  آلاییده..... ۲۳ به  
ژرمانیوم و یک نمونه ساخته شده همراه با تزریق برن  $(PS\_SMF\_30)$  [۶]
- شکل ۲-۱۰- نمایی از تداخل سنج نگاشت توری شکافنده دامنه [۲۰]..... ۲۶
- شکل ۲-۱۱- نگاشت توری با استفاده از تداخل سنج لوید [۲۰]..... ۲۷
- شکل ۲-۱۲- الف) پراش پرتو عمودی وارد بر ماسک فازی،..... ۲۸  
ب) نگاشت توری با استفاده از تکنیک ماسک فازی [۲۸]
- شکل ۲-۱۳- نمایی از نگاشت توری براگ با استفاده از روش نقطه به نقطه [۲۰]..... ۳۰
- شکل ۲-۱۴- جابه‌جایی طول موج براگ در اثر تغییر مشخصات توری براگ..... ۳۰

- شکل ۲-۱۵- نمایی از فیلتر لبه‌ای..... ۳۲
- شکل ۲-۱۶- نمایی از سیستم تبدیل طول موج به دامنه [۳۳]..... ۳۴
- شکل ۲-۱۷- نمایی از تبدیل طول موج به مکان..... ۳۵
- شکل ۲-۱۸- نمایی از سیستم بازیابی اطلاعات حسگر بر مبنای امواج نشتی تابشی..... ۳۵
- شکل ۲-۱۹- نمایی از تداخل سنج ماخ-زندر..... ۳۷
- شکل ۲-۲۰- نمایی از تکنیک WDM موازی..... ۳۸
- شکل ۲-۲۱- نمایی از تکنیک WDM سری..... ۳۸
- شکل ۲-۲۲- نمایی از سیستم WDM بر مبنای تداخل آزاد..... ۳۹
- شکل ۳-۱- نمایی از انحراف زاویه‌ای ناشی از تنش..... ۴۳
- شکل ۳-۲- نمایی از برش مقطعی استوانه‌ای تحت فشار یکنواخت شعاعی..... ۴۵
- شکل ۳-۳- سطح مقطع یک حسگر فیبر توری براگ با یک لایه روکش..... ۴۸
- شکل ۳-۴- سطح مقطع فیبر توری براگ تحت فشار ناشی از استفاده از روکش..... ۴۹
- شکل ۳-۵- تغییرات محوری فیبر براگ و روکش در اثر تغییر دما..... ۵۰
- شکل ۳-۶- تغییرات طولی فیبر براگ با سه لایه روکش..... ۵۴
- شکل ۳-۷- نمایی از تنش وارد بر FBG (لایه ۱) و سه لایه روکش (۲-۳-۴)..... ۵۵
- شکل ۴-۳- طیف عبوری و بازتابی با  $L=6mm$ ,  $n_{eff} = 1.448$  و..... ۶۰
- $$\delta n_{eff} = 5 \times 10^{-4}$$
- شکل ۴-۴- طیف بازتاب به ازای مقادیر مختلف  $\delta n_{eff}$ ..... ۶۲
- شکل ۴-۵- طیف بازتاب توری براگ با مقادیر مختلف طول توری..... ۶۲
- شکل ۴-۶- نمایی از انتقال فاز در مرکز فیبر توری براگ..... ۶۳
- شکل ۴-۵- طیف بازتابی در اثر انتقال فاز در مرکز و بدون انتقال فاز..... ۶۴
- شکل ۴-۶- تأثیر انتقال فازهای مختلف بر طیف بازتابی توری براگ..... ۶۵

- شکل ۴-۷- طیف بازتاب و زمان زمان تأخیر توری با دوره تناوب نامنظم خطی [۴۶]..... ۶۶
- شکل ۴-۸- مقایسه طیف توری براگ ساده و توری براگ با دوره تناوب نامنظم..... ۶۶
- شکل ۴-۹ - طیف بازتابی توری با دوره تناوب نامنظم به ازای دو طول..... ۶۷  
 $L=10, 20\text{mm}$  و ساختار جدول ۴-۳
- شکل ۴-۱۰- طیف بازتابی توری با دوره تناوب نامنظم به ازای طول..... ۶۸  
 $L=10\text{mm}$  و دو مقدار نایکنواختی  $dA/dz = -6/86, -4/11\text{ nm/Cm}$
- شکل ۴-۱۱- تغییرات طوت موج براگ با تغییر دما برای دو حسگر FBG1 و FBG2..... ۷۰
- شکل ۴-۱۲- تغییرات طول موج براگ در اثر تغییر دما ۱:۱ FBG1، ۲:۲ FBG2..... ۷۲
- شکل ۴-۱۳- نتیجه تجربی تغییرات طول موج براگ برای حسگر دمایی..... ۷۳  
 با روکش مس با افزایش و کاهش دما [۵۲]
- شکل ۴-۱۴- تغییرات طول موج براگ برای ضخامت‌های مختلف روکش فلزی،..... ۷۴  
 الف) Ni، ب) Cu، ج) Ag، د) Al
- شکل ۴-۱۵- وابستگی  $K_T$  به ضخامت روکش فلزی..... ۷۵
- شکل ۴-۱۶- تغییرات حساسیت دمایی در ضخامت‌های پایین..... ۷۶
- شکل ۴-۱۷ - طیف عبوری حسگر FBG1 با روکش Cu با شعاع الف) ۶۷/۷۵، ب) ۸۸/۷۵..... ۷۷
- شکل ۴-۱۸- وابستگی  $K_T$  به ضخامت روکش فلزی در حسگر دمایی..... ۸۰  
 فیبر براگ با دو روکش فلزی Al-Cu
- شکل ۴-۱۹- تأثیر ضخامت روکش‌ها در حسگر دمایی فیبر توری براگ با روکش Cu-Ni..... ۸۱  
 الف) نتیجه تئوری پایان‌نامه ب) نتیجه تئوری [۵۲]
- شکل ۴-۲۰- تغییرات طول موج براگ بر حسب تغییرات دما..... ۸۲  
 با روکش Ni-Cu با  $h_1 = 5/25\mu\text{m}$ ،  $h_2 = 1/85\mu\text{m}$
- شکل ۴-۲۱- نمایی از یک حسگر دمایی با سه لایه روکش فلزی..... ۸۳

- شکل ۴-۲۲- تغییرات طول موج براگ برای حسگر دمایی با..... ۸۴  
سه لایه روکش فلزی با روکش اولیه الف) Al(ب) Cu(ج) Ni
- شکل ۴-۲۳- وابستگی ضریب حساسی دمایی برای ضخامت‌های مختلف روکش..... ۸۶-۸۷  
حسگر Cu-Ni-Al به ازای  $h_1$ : الف) ۵، ب) ۱۰، ج) ۱۵، د) ۲۰، ه) ۲۵ میکرومتر
- شکل ۴-۲۴- مقایسه حساسیت دمایی برای دو فیبر FBG1 و FBG2 با..... ۸۸ سه  
روکش فلزی Cu-Ni-Al
- شکل ۴-۲۵- میزان حساسیت دمایی حسگر FBG1 با سه روکش فلزی..... ۸۸  
Cu-Ni-Al و مدول یانگ مختلف
- شکل ۴-۲۶- وابستگی ضریب حساسیت دمایی به ضریب شکست مؤثر فیبر..... ۸۹
- شکل ۴-۲۷- طیف عبوری و بازتابی فیبر براگ با..... ۹۰  
 $\delta n_{eff} = 10^{-4}$  و  $L=8mm$   $n_{eff} = 1.488$
- شکل ۴-۲۸- تأثیر گرادیان دمای خطی بر طیف توری براگ یکنواخت با..... ۹۳  
گرادیان دمایی الف) ۱۰، ب) ۱۵، ج) ۲۰
- شکل ۴-۲۹- مدل پیشنهادی حسگر در محیط با گرادیان دمایی..... ۹۴

## فهرست جدول‌ها

---

- جدول ۱-۱- مقایسه حسگرهای فیبر نوری..... ۳
- جدول ۱-۲- نمونه‌ای از SSMF آلانئیده به ژرمانیوم..... ۲۳
- جدول ۲-۲- مقایسه دو فیبر توری براگ با ساختار پلیمری PMMA [۲۶]..... ۲۴
- جدول ۲-۴- مقایسه حساسیت دمایی و کرنش برای طول..... ۶۰  
موج‌های مختلف فیبرهای سیلیکایی [۴۵]
- جدول ۳-۴- نتایج عددی به دست آمده برای سه مقدار مختلف  $\delta n_{eff}$ ..... ۶۱
- جدول ۳-۴- ویژگی‌های توری چیرپ مدل‌سازی شده [۴۶]..... ۶۶
- جدول ۴-۴- مقادیر تئوری فیبر توری براگ [۴۸،۴۷]..... ۶۹
- جدول ۵-۴- مقادیر تئوری روکش‌های فلزی به‌کاررفته [۴۹-۵۱]..... ۷۱
- جدول ۶-۴- میزان حساسیت دمایی به ازای روکش‌های مختلف برای  
دو حسگر FBG1 و FBG2..... ۷۲
- جدول ۷-۴-  $K_T$  برحسب قرارگیری ترکیب‌های مختلف دو روکش فلزی..... ۷۹  
برای فلزهای Ni، Cu، Ag و Al (الف)  $h_1 = 5/25 \mu m$ ،  $h_2 = 7/1 \mu m$  (ب)  $10/5 \mu m$   
 $h_2 = 14/2 \mu m$ ،  $h_1 =$

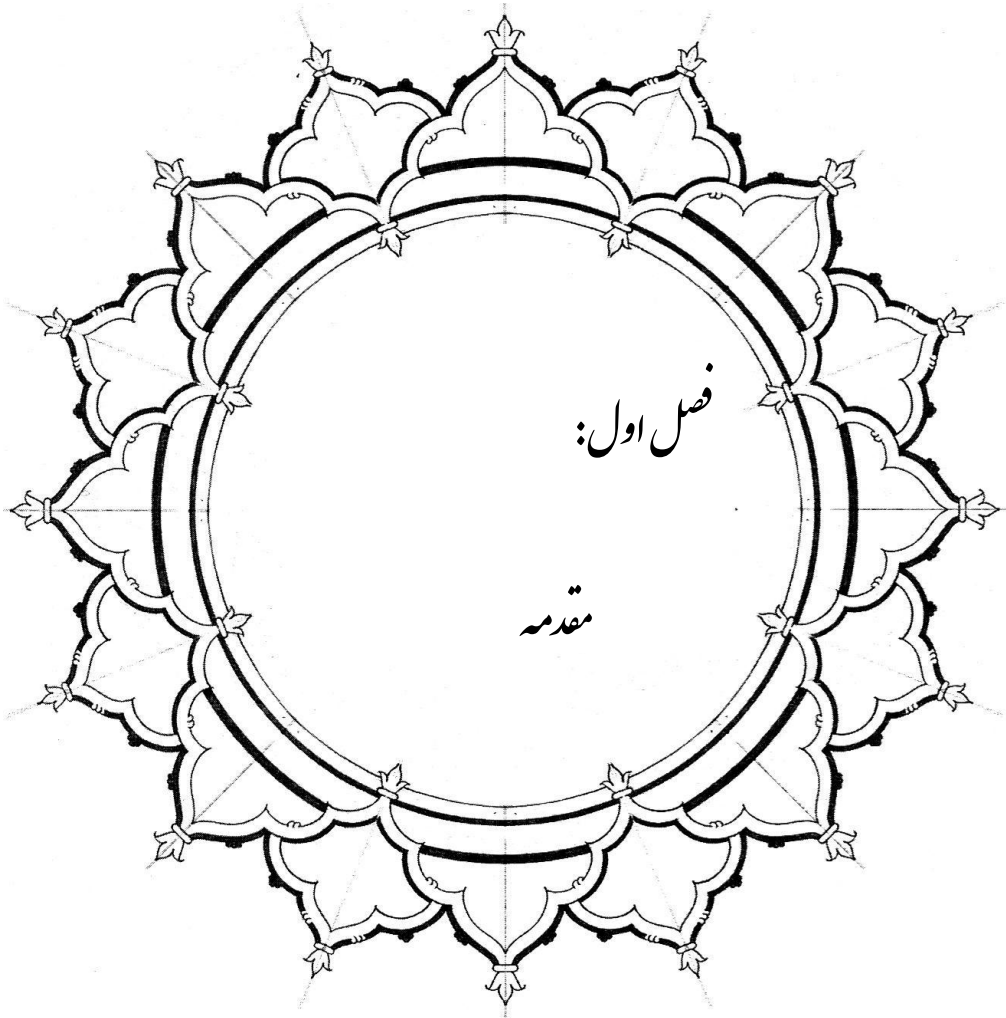
جدول ۴-۸ - مقادیر تئوری به دست آمده برای سه لایه روکش..... ۸۵

جدول ۴-۹- فیبر توری براگ بهینه برای حسگر دمایی..... ۹۱

جدول ۴-۱۰- مشخصات بهینه برای حسگر فیبر براگ با یک لایه روکش فلزی..... ۹۱

جدول ۴-۱۱- مشخصات حسگر دمایی فیبر براگ بهینه با دو روکش فلزی..... ۹۲

جدول ۴-۱۲- مشخصات حسگر دمایی فیبر براگ بهینه با سه روکش فلزی..... ۹۲





## فصل اول : مقدمه

---

با اختراع لیزر در سال ۱۹۶۰ میلادی و ساخت فیبرهای نوری با اتلاف کم در سال ۱۹۷۰ میلادی، پیشرفت در حوزه حسگرهای فیبر نوری (FOS)<sup>۱</sup>، گسترش یافت. سرعت رشد فن-آوری فیبر نوری به اندازه‌ای بود که تا سال ۱۹۸۲ بیش از شصت نوع FOS ساخته و گزارش داده شده است [۱]. از سال ۲۰۰۰ میلادی به بعد به جرأت می‌توان گفت حسگرهای فیبر نوری به تدریج جایگزین حسگرهای الکتریکی معمول شدند. تاکنون حسگرهای فیبر نوری زیادی شناخته شده و به طور تجاری قابل دسترس‌اند [۲].

در میان حسگرهای فیبر نوری حسگرهای فیبر توری براگ (FBG)<sup>۲</sup> به دلیل برخی خصوصیات زیر مورد توجه قرار دارند [۳]:

۱- قطر بسیار کم این نوع حسگرها امکان ساخت پروب‌های نازک برای استفاده در مکان‌های کوچک مانند بدن انسان را فراهم می‌سازد.

۲- جابه‌جایی خطی طول موج براگ به پارامتر اعمال شده امکان اندازه‌گیری تغییرات به‌طور مستقیم را فراهم می‌سازد.

۳- امکان اندازه‌گیری محض پارامتر فیزیکی با انتخاب یک مبنای مقایسه مناسب وجود دارد.

---

<sup>۱</sup> Fiber optical sensor

<sup>۲</sup> Fiber Bragg grating

۴- قابلیت مالتی پلاکس کردن<sup>۱</sup>، که بخش مهمی از تکنولوژی لازم برای ساخت حسگر می باشد، در حسگرهای FBG، بالا می باشد. با استفاده از این تکنیک امکان استفاده از چندین حسگر در طول یک مسیر با یک خروجی فراهم می شود.

در جدول ۱-۱ مقایسه ای بین حسگر FBG و چند نمونه دیگر حسگر فیبر نوری صورت گرفته است [۳].

جدول ۱-۱- مقایسه حسگرهای فیبر نوری

	حسگر توری براگ (FBG)	حسگر فابری-پرو (FP)	حسگر فیبر دومدی (TM)	حسگر فیبر قطبشی (PM)
پاسخ خطی	√	√*	√*	√*
اندازه گیری محض	√	√*	√*	√*
بازه اندازه گیری	بالا	بالا	پایین	پایین
طول گیج حسگر	کوتاه	کوتاه	بلند	بلند
قدرت مکانیکی	بالا	*پایین	بالا	بالا
توانایی مالتی پلاکس شدن	√	√*	√*	√*
تولید تجاری	√	√*	√*	√*
هزینه تولید	پایین	*پایین	*پایین	*پایین

مواردی که با علامت \* مشخص شده اند تحت شرایط خاصی برقرارند. مزایای این جدول نشان می دهد حسگرهای FBG در مقایسه با سایر حسگرهای فیبر نوری دارای قابلیت های بیشتری می باشند.

<sup>۱</sup> Multiplexed ability

امروزه حسگرهای فیبر توری براگ در زمینه‌های مختلفی کاربرد دارند، که می‌توان آن را به طور کلی در پنج گروه شامل استفاده در کامپوزیت‌ها و سازه‌های بتنی، صنعت برق، پزشکی، سنجش‌های شیمیایی و صنعت نفت و گاز قرار داد اما مهم‌ترین کاربرد این حسگرها که در واقع در هر یک از این زیر شاخه‌ها نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد استفاده از این حسگرها در ساخت سازه‌های هوشمند می‌باشد. یک سازه هوشمند سازه‌ای است که قابلیت انطباق با مقدار معین اولیه‌ای را دارا می‌باشد. اولین خصوصیتی را که یک سازه هوشمند باید دارا باشد، توانایی آن در آشکارسازی عوامل محیطی درونی و بیرونی است. این سیگنال‌ها می‌بایست از طریق مناسب‌ترین راه به محل پردازش انتقال یابد تا اطلاعات آنالیز شده و عکس‌العمل مناسب انجام گیرد [۴]. این عکس‌العمل در واقع محرکی در داخل سازه است که می‌تواند به صورت تغییراتی مانند تغییر در شکل، اندازه، حالت، موقعیت و یا فرکانس طبیعی باشد [۵]. در واقع می‌توان گفت سازه هوشمند متشکل از شبکه‌ای از حسگرها، واحد پردازش سیگنال و یک مرکز کنترل هستند.

اساس عملکرد حسگرهای FBG تغییراتی است که در توری‌های نگاشته شده در فیبر به وجود می‌آید. این توری‌ها اولین بار توسط شخصی به نام هیل<sup>۱</sup> در سال ۱۹۷۸ میلادی شناخته شد. وی برای بهتر کردن عملکرد لیزر فیبر رامن کوک‌پذیر، دو فیبر تک‌مدی با ضریب گشودگی بالا سفارش داد. این فیبرها برای استفاده در لیزر ناکافی بود اما به طور تصادفی سبب کشف اثر فتوسنسیویته<sup>۲</sup> (اثر حساسیت به نور) شد. اثر حساسیت به نور در واقع سبب تغییر ذاتی ضریب شکست متناسب با طول موج و شدت تابیده شده به مغزی می‌شود. پارامترهای مختلفی می‌توانند روی این پدیده اثرگذار باشند، هم‌چون مواد سازنده فیبر، روش ساخت فیبر، طول موج عملکرد فیبر و حتی منبع نوری که برای نگاشت توری مورد استفاده قرار می‌گیرد، پارامترهایی هستند که می‌توانند روی این پدیده در فیبر مؤثر باشند [۶]. مهم‌ترین و جالب-

---

<sup>۱</sup> Hill

<sup>۲</sup> Photosensitivity

ترین اثر مربوط به فیبر سیلیکا آلاینده به ژرمانیوم می‌باشد که ضریب شکست مغزی می‌تواند با تابش اشعه فرابنفش (UV) تغییر یابد.

فیبرهای سیلیکایی حساس به نور در بسیاری از کاربردها از جمله مخابرات، پردازش و انتقال سیگنال‌های اپتیکی و حسگرها شناخته شده‌اند. نمونه‌های مختلفی از انواع این فیبرها وجود دارد که می‌توان به توری‌های چیرپ (chirp grating)، توری‌های بریده شده (apodized grating) و توری با دوره تناوب بلند (long-period grating) اشاره نمود که در سال‌های اخیر مطالعات زیادی بر روی آن‌ها صورت گرفته و این فیبرها در حال حاضر با قیمت به نسبت ارزانی موجود می‌باشند.

در این میان نمونه‌های دیگری از فیبر با ساختار پلیمری (POF)<sup>۱</sup> وجود دارند که در زمانی مشابه فیبرهای سیلیکایی در سال ۱۹۶۸ میلادی شناخته شدند. اثر حساسیت به نور در این فیبرها توسط شخصی به نام تام لینسون<sup>۲</sup> شناخته شد. این فیبرها در مقایسه با فیبرهای سیلیکایی حساس به نور مزیت‌هایی دارند که سبب شده‌است مورد توجه قرار گیرند، از جمله [۶]:

- ۱- طول نگاشت توری در آن‌ها کوتاه است.
- ۲- مدول یانگ در فیبرهای پلیمری ۳۰ برابر کوچکتر از فیبرهای سیلیکایی است، بنابراین هماهنگ‌پذیری مکانیکی آن‌ها ۳۰ برابر فیبرهای سیلیکایی است.
- ۳- از آن‌جا که ضریب انبساط دمایی فیبرهای پلیمری قابل مقایسه با فیبرهای سیلیکایی است بازه هماهنگ‌پذیری دمایی فیبرهای توری براگ پلیمری به طور قابل چشمگیری پهن‌تر است. بنابراین، استفاده از حسگرهای توری براگ با ساختار پلیمری یکی از راهکارهایی است که می‌تواند میزان حساسیت در این حسگرها را برای اندازه‌گیری پارامترهای دما و کرنش افزایش دهد.

---

<sup>۱</sup> Polymer optical fiber

<sup>۲</sup> Tom Linson