بسم الله الرحمن الرحیم

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

خانم سوما پدیدار پایان نامه ۹ واحدی خود را با عنوان **حسگرهای فشار و دمای همزمان مبتنی بر فوتونیک کریستال** در تاریخ ۱۳۸۹/۱۲/۲۳ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد الکترونیک پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر وحید احمدی	استاد	
استاد مشاور	دکتر مجید ابن علی حیدری	استادیار	
استاد ناظر	دکتر محمدکاظم مروج فرشی	استاد	
استاد ناظر	دکتر نصرت اله گرانپایه	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمدکاظم مروج فرشی	استاد	

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته برق - الکترونیک است که در سال ۸۹ در دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر وحید احمدی ، مشاوره جناب آقای دکتر مجید ابن علی حیدری از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب سوما پدیدار دانشجوی رشته برق-الکترونیک مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: سوما پدیدار

تاریخ و امضا: ۹۰/۷/۲۰

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب ، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه می باشد، باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق- الکترونیک

سنسورهای فشار و دما با استفاده از فیبرهای فوتونیک کریستال برای استفاده در چاه‌های نفت

سوما پدیدار

استاد راهنما:
دکتر وحید احمدی

استاد مشاور:
دکتر مجید ابن‌علی

اسفند ۸۹

تقدیم به پدر ومادر عزیزم که آرزوی آنها موفقیت من و موفقیت من در خرسندی آنهاست و

هر چه دارم از وجود پربرکت آنهاست،

تقدیم به همسر عزیزم که با محبت‌های فراوان همراه و مشوق من در راه تحصیل علم ودانش

بوده است،

و تقدیم به خواهر و برادرم که بهترین‌ها را برایشان آرزومندم.

تشکر و قدرداني

در اینجا بر خود لازم می دانم از جناب آقای دکتر وحید احمدی بخاطر تمام زحمات ایشان و همچنین حمایت‌هائی که از اینجانب در به ثمر رسیدن این اثر داشته اند کمال سپاسگزاری و قدردانی را داشته باشم. همچنین از جناب آقای دکتر مجید ابن‌علی به خاطر تمام راهنمایی‌ها و کمک‌هایی که نسبت به من داشته‌اند کمال تشکر را دارم. از جناب آقای مهندس مهدی کیانزاد و جناب آقای مهندس سیامک عبداللهی نیز که از کمک‌های ایشان بهره زیادی بردم تشکر می‌نمایم.

سوما پدیدار

اسفندماه ۸۹

چکیده

پایش[1] دائم دو پارامتر مهم، فشار و دما، نقش مهمی را در مهندسی مخازن برای افزایش نرخ بهره‌برداری چاه‌های نفت ایفا می‌کند. مزایای بسیار حسگرهای فیبر کریستال فوتونی[2] ، آنها را گزینه مناسبی برای استفاده در محیط سخت چاه‌های نفت می‌سازد.

ما طرحی را برای حسگر فشار و دما با استفاده از PCF هسته سوراخ‌دار ارائه می‌کنیم. اکثر کارهای انجام شده گذشته درباره حسگرهای PCF مبتنی بر نتایج عملی بوده است در حالی که این تحقیق بر اساس روش تحلیلی است، و ارزیابی طرح پیشنهادی با استفاده از روش سه بعدی FDTD با لایه‌های کاملاً تطبیقی است. بر اساس طرح پیشنهادی ، شیفت طول‌موج تشدید حسگر فیبر کریستال فوتونی را بر حسب تغییرات ضریب‌شکست حفره‌ها و محیط فیبر که از تغییرات دما/فشار محیط اثر می‌پذیرد با تکیه بر پارامترهای هندسی ساختار فیبر بررسی می‌کنیم. در نهایت، تا جایی که ما اطلاع داریم، طرح یک PCF با بیشترین حساسیت حدود ۴۸۰ nm/RIU را با یک رابطه خطی در طول‌موج ۱/۵۵ میکرومتر ارائه می‌کنیم.

کلید واژه : حسگر، دما، فشار، فیبر کریستال فوتونی، هسته سوراخ‌دار، چاه نفت.

[1] Monitoring
[2] Photonic Crystal Fiber(PCF)

فهرست مطالب

فهرست مطالب ا
فهرست علایم و نشانه‌ها د
فهرست شکل‌ها ه
فهرست جداول ک
مقدمه ۱
فصل اول: فیبر کریستال فوتونی ۴
۱-۱.فیبر کریستال فوتونی ۵
۱-۱-۱. تکنیک‌های ساخت ۷
۱-۲-۱. روش طراحی ۹
۱-۱-۳. مشخصات غلاف کریستال فوتونی ۹
۱-۱-۳-۱.بیشترین ضریب شکست ۱۰
۱-۱-۳-۲. طول‌موج موثر عبوری ۱۱
۱-۱-۴. شکاف‌باندهای فوتونیک ۱۲
۱-۱-۵. مشخصات هدایت ۱۲
۱-۱-۶. دسته‌بندی هدایت ۱۲
۱-۱-۶-۱. تفاوت مثبت ضریب شکست هسته غلاف $\Delta_\infty > 0$ ۱۲
۱-۱-۶-۱-۱. بازه نامحدود تک مودی ۱۴
۱-۱-۶-۱-۲. فیبرهایی با هسته چند حالته ۱۴
۱-۱-۶-۲. تفاوت منفی ضریب‌شکست هسته غلاف $\Delta_\infty < 0$ ۱۴
۱-۱-۶-۲-۱. هسته سوراخ‌دار سیلیکا/هوا ۱۵
۱-۱-۶-۲-۲. شیشه‌ای با ضریب شکست بیشتر ۱۵
۱-۱-۶-۲-۳. حالت‌های سطحی روی مرز هسته غلاف ۱۶
۱-۱-۶-۲-۴. ساختارهای تماماً جامد ۱۶
۱-۱-۶-۳. هدایت با نشتی کم ۱۶
۱-۱-۷. فیبر دو شکستی ۱۷
۱-۱-۷-۱. فیبرهای دو شکستی بالا و کاربردهای آنان ۱۸
۱-۱-۸. پاشیدگی سرعت گروه ۲۰

۱-۱-۸-۱. هسته جامد ۲۰
۱-۱-۸-۲. هسته سوراخ‌دار ۲۱
۱-۱-۸-۳. مکانیسم تلفات ۲۱
۱-۱-۹. جذب و پراکنش ۲۲
۱-۱-۱۰. تلفات خمش ۲۴
۱-۱-۱۱. تلفات تحدید ۲۵
۱-۱-۱۲. اثرات غیرخطی کر ۲۵
۱-۲.نتیجه‌گیری ۲۶
فصل دوم : حسگرهای فیبر نوری فشار ودما ۲۷
۲-۱. طبقه بندی حسگرهای فیبر نوری ۲۸
۲-۱-۱. مدولاسیون شدت ۲۹
۲-۱-۲. مدولاسیون طول‌موج ۳۰
۲-۱-۳. مدولاسیون فاز ۳۱
۲-۱-۳-۱. **تکنیک‌های جستجو** ۳۳
۲-۱-۴. مدولاسیون قطبش ۳۴
۲-۱-۴-۱. مکانیزم تغییر فاز نوری ۳۵
۲-۱-۴-۲. حس کردن دما ۳۶
۲-۱-۴-۳. اندازه گیری دما و کشش هم زمان ۳۶
۲-۱-۵. انواع دیگر مکانیسم‌های سنس کردن ۴۰
۲-۲. نتیجه‌گیری ۴۹
فصل سوم : روش تحلیل عددی ۵۰
۳-۱. مقایسه روش‌های تحلیل عددی ۵۱
۳-۲. معادلات سه بعدی تفاضل محدود در حوزه زمان ۵۴
۳-۲-۱.گام مکانی و گام زمانی ۵۶
۳-۳. شرایط مرزی لایه‌های کاملاً تطبیق شده ۵۷
۳-۳. نتیجه‌گیری ۵۸
فصل چهارم : طرح پیشنهادی حسگر و نتایج شبیه‌سازی ۵۹
۴-۱. ساختار طرح پیشنهادی حسگر ۶۰
۴-۱-۱. نحوه عملکرد ۶۰
۴-۱-۲. مزایای طرح ۶۱

۴-۲. مشخصات گاز داخل مخزن ۶۱
۴-۳. شرایط شبیه‌سازی ۶۳
۴-۴. نتایج شبیه‌سازی ۶۳
۴-۵. نتیجه‌گیری ۸۰
فصل پنجم: پیشنهادات و نتیجه‌گیری ۸۱
۵-۱. نتیجه‌گیری ۸۲
۵-۲. پیشنهادات ۸۲
مراجع ۸۴
واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۸۷
واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۸۹

فهرست علایم و نشانه‌ها

میدان الکتریکی	E
میدان مغناطیسی	H
ثابت دی الکتریک نسبی	ε_r
ضریب شکست زمینه	n_b
ضریب شکست موثر	n_{eff}
فاصله میان‌حفره‌ای	Λ
قطر فیبر	w
طول فیبر	L
شعاع حفره وسطی فیبر	a
شعاع حفره‌های ردیف دوم به بعد فیبر	b
طول‌موج	λ
تعداد حلقه	N

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱. فیبرهای کریستال نوری ۱بعدی یا همان توری براگ فیبری و۲ بعدی [۱۲] . ۶

شکل۱-۲. انواع مختلف فیبر کریستال فوتونی. نواحی سیاه‌رنگ سوراخ‌ها هستند، نواحی سفید رنگ شیشه خالص است، و نواحی خاکستری شیشه آلاییده است. (a) فیبر کریستال فوتونی بسیار غیرخطی(درصد پرشدگی بالای هوا، هسته کوچک)، (b) هسته جامد دائماً تک‌مود ، (c) فیبر کریستال فوتونی دو غلاف با هسته آلاییده جبرانی و غلاف داخلی با NA بالا برای پمپ کردن(غلاف کریستال فوتونی بوسیله صفحات نازکی از شیشه در جای خود نگه داشته می‌شود)، (e) فیبر کریستال فوتونی هسته جامد دوگانه، (f) فیبر کریستال فوتونی هسته سوراخ‌دار ۱۹تایی، (g) فیبر کریستال فوتونی هسته سوراخ‌دار با شبکه غلاف کاگومه ، شکل (b) به صورت تماماً جامد شیشه‌ای با هدایت نوع شکاف‌باند فوتونیک ساخته شده که در آن کانال‌های سوراخ با رشته‌های شیشه آلاییده با ضریب‌شکستی بزرگتر جایگزین شده است [۱۶] . ۷

شکل۱-۳. انتخابی از ریزنگاری‌های الکترونی اسکن شده از ساختارهای فیبر کریستال فوتونی. (a).اولین فیبر کریستال فوتونی کار شده، هسته شیشه‌ای جامد با آرایه‌های مثلثی کانال‌های هوا با قطر ۳۰۰nm به فاصله ۲/۳ μm از هم احاطه شده است.(b) فیبر کریستال فوتونی هسته جامد دائماً تک مود (فاصله میان حفرهای حدود ۲ μm)، (c) فیبر کریستال فوتونی هسته جامد نگه‌دارنده قطبش، (d) اولین فیبر کریستال فوتونی هسته سوراخ‌دار، (e) یک فیبر کریستال فوتونی ساخته شده از شیشه Sebott SF_6 با هسته‌ای به قطر حدوداً ۲ μm ، (f) فیبر کریستال فوتونی خیلی غیرخطی(قطر هسته ۸۰۰nm) ، (g) فیبر کریستال فوتونی هسته سوراخ‌دار با شبکه Kagome، (h) فیبر کریستال فوتونی هسته سوراخ‌دار هدایت شده با شکاف‌باند فوتونیک (قطر هسته ۲۰ μm) (i) جزئیات شکل (h) [۱۶] . ۸

شکل۱-۴. نمودار انتشار برای یک فیبر کریستال فوتونی با درصد پرشدگی هوای ۴۵٪. به نواحی مختلف انتشار دقت کنید، که با خطوط شیبدار از هم جدا شده‌اند. در سمت چپ هر کدام از خطوط، نور می‌تواند آزادانه در ناحیه مربوطه در ساختار فیبر منتشر شود. در سمت راست خط سیلیکا، کاملاً روند انتشار نور در ساختار قطع می‌شود. شاخه‌های سیاه‌رنگ موقعیت شکاف‌باندهای کریستال فوتونی کاملاً دو بعدی را نمایش می‌دهد. در نقطه A هدایت می‌تواند در یک هسته شیشه‌ای جامد از طریق یک شکل اصلاح شده بازتاب داخلی کلی روی دهد. در نقطه B مود هدایتی می‌تواند در یک هسته سوراخ‌دار شکل گیرد به شرط

آنکه ناحیه آن به اندازه کافی بزرگ باشد [۱۶] . ۱۰
شکل۱-۵. بیشترین ضریب شکست محوری در غلاف کریستال فوتونی به عنوان تابعی از پارامتر فرکانس $\nu = k\Lambda\sqrt{(n_g^2 - 1)}$ برای $d/\Lambda = 0.4$ و n_g=1.444 (ضریب سیلیکا در 1550nm). برای این درصد پرشدگی هوا (۱۴,۵٪)، مقدار در طول‌موج‌های بلند($\nu \to 0$)، با استناد به رابطه(۱-۴)، n_{max}=1.388 است. مقادیر Δنیز رسم شده است(نقطه‌چین) [۱۶] . ۱۱
شکل۱-۶.تشخیص دیداری طول ضربه L_B بااختلاف فاز نوری δ_ϕمیان‌دو حالت متعامد قطبش [۱۱] . ۱۸
شکل۱-۷ :طرح های فیبر دو شکستی زیاد [۱۱]. ۱۹
شکل۱-۸. نمایه پاشیدگی سرعت گروه، برحسب طول‌موج برای سه PCF مختلف طراحی شده برای داشتن پاشیدگی سرعت گروه سطح پایین مسطح. برای مقایسه نمودار فیبر تک مود28- Corning نیز ارائه شده است [۱۶] . ۲۱
شکل۱-۹. میرایی اندازه‌گیری شده و طیف پاشیدگی سرعت گروه یک فیبر کریستال فوتونی هسته سوراخ‌دار طراحی شده برای عبور 850nm . هسته کمی بیضوی است (ریزنگار الکترونی اسکن شده الحاقی را ببینید)، بنابراین پاشیدگی در هر حالت ویژه از نظر قطبش متفاوت است [۱۶] . ۲۲
شکل۱-۱۰.طیف میرایی یک نوع فیبر کریستال فوتونی هسته سوراخ‌دار بسیار کم تلفات، طراحی شده برای عملکرد در باند مخابراتی ۱۵۵۰nm (ریزنگار الکترونی اسکن شده در شکل ۱-h۹ را ببینید) [۱۶] . ۲۲
شکل ۲-۱. یک فیبر نوری از یک جعبهٔ سیاه عبور می‌کند و از آن خارج می شود که مدوله کنندهٔ پرتو نور در پاسخ به یک اثر محیطی است [۱۱] . ۲۸
شکل ۲-۲. حسگرهای فیبر نوری ذاتی یا یکسره بر انتشار نور از درون فیبر نوری تکیه می کند که یا مستقیماً بوسیلهٔ اثر محیطی یا ازطریق القای محیطی تغییرات طول مسیر نوری در خود فیبر مدوله شده است [۱۱] . ۲۸
شکل۲-۳. حسگر فیبر نوری ارتعاش بر اساس روزنه‌های عددی که می‌توانند برای پشتیبانی فشارسنج‌های "دریچهٔ در" و اندازه‌گیری سطوح ارتعاش در ماشین آلات استفاده شود[۱۱]. ۳۰
شکل۲-۴. حسگر فیبر دریچهٔ عددی با یک آینه منعطف که برای اندازه‌گیری جابجایی و ارتعاش کوچک استفاده می‌شود[۱۱]. ۳۰
شکل۲-۵. سه ورودی مختلف فشار، (a) افزایش خطی، (b) سینوسی، و (c) اشباع نمایی

[۱۷] . ۳۱
شکل۲-۶. پاسخ بدست آمده حسگر فشار از سه فشار اعمالی متفاوت در شکل (۲-۵) [۱۷] . ۳۱
شکل۲-۷ : یک نمونه پاسخ جابه‌جایی طول موج یک FBG به (a) دما و (b) فشار[۱۱]. ۳۳
شکل ۲-۸. طرح مبدل فشار هیدروستاتیک به کشش طولی[۳]. ۳۴
شکل۲-۹ : شمای یک فیبر دو شکستی برای اندازه‌گیری چرخش قطبش[۱۱]. ۳۵
شکل۲-۱۰. سیستمی برای اندازه‌گیری حساسیت فیبر کریستال فوتونی به دما و فشار. SLD – دیود فوق تابناک، L – لنزها، DL –خط تاخیر، WP-منشور والستون، P-پلارایزر، A –تحلیل‌کننده[۱۸]. ۳۸
شکل۲-۱۱. فیبر کریستال فوتونی نگه‌دارنده قطبش بلازفوتونیکس 1550-01 (a).سطح مقطع فیبر (b). $\Lambda = 4.4\mu m$، که قطر بزرگتر و کوچکتر حفره‌ها به ترتیب ۴/۵ و ۲/۲ μm هستند، و (C) الگوی میدان مود[۱۸]. ۳۸
شکل ۲-۱۲. طرح اصلی حسگر فشار قطبیده تک مود برای نور طول موج ۱۵۰۰nm [۱۸]. ۳۹
شکل۲-۱۳. خروجی یک حسگر فشار فیبر کریستال فوتونی بدون برداشتن پوشش پلاستیکی حسگر فیبری فشار[۱۸]. ۴۰
شکل۲-۱۴. (a) یک ربع از سطح مقطع فیبر کریستال فوتونی نمایش دهنده دو تا داخلی-ترین حلقه‌ها. قطر ناحیه سیلیکای مرکزی μm ۱/۷ ، $\Lambda = 3.24\mu m$ و $d = 3\mu m$است. (b). شکل حفره‌ها در داخلی‌ترین حلقه: $d_1 = 1.22\mu m$ ، $d_2 = 3\mu m$ ، $b = 1.79\mu m$ [۱۹]. ۴۰
شکل۲-۱۵. سیستم تجربی اندازه‌گیری فشار داخل چمبره: فیبر تک مود; PD، آشکارساز نوری [۱۹]. ۴۱
شکل۲-۱۶. کمترین عبور نرمالیزه شده گاز اندازه‌گیری شده بر حسب زمان برای فیبر کریستال فوتونی به طول (a) 25cm . (b) فیبر کریستال فوتونی به طول 10cm [۱۹]. ۴۱
شکل۲-۱۷.سیستم برای اندازه‌گیری حساسیت فیبر سوراخ‌دار به دما، فشار و کشیدگی[۲۰]. ۴۲
شکل ۲-۱۸. تغییرات در تاخیر گروه نوری القا شده بر اثر (a) دما ($\Delta L = 0.67m$)، (b) فشار هیدوستاتیکی ($\Delta L = 0.825m$) و (c) کشیدگی ($\Delta L = 0.425m$) [۲۰]. ۴۳
شکل۲-۱۹. تصویر میکروسکوپی اسکن الکترونی از کاواک. آینه‌ها با A ، قسمت باریک شونده با B، و کاواک با C نشان داده شده‌اند[۲۱]. ۴۴
شکل۲-۲۰. (a): رفتار طول‌موج تشدید به ازای فشارهای مختلف SF_6 . فشار از 5×10^4 تا حدود 1×10^3Pa کاهش یافته است. اندازه‌گیری در گام‌های 5×10^3Pa انجام گرفته است. خط ممتد یک تقریب خطی برای داده‌ها است. (b): جابه‌جایی طول‌موج تشدید برای محیط‌های گازی متفاوت (H_2, N_2, Ar, SF_6). مربع‌های سیاه: مقادیر اندازه‌گیری شده;

خط یا نقاط قرمز: مقادیر محاسبه شده و درونیابی خطی هستند. ضریب شکست‌های N_2 و Ar و جابه‌جایی طول‌موج‌های متناظر در نوار خطا یکسان هستند[۲۱]. ۴۴
شکل۲-۲۱. سیستم تجربی فیبر کریستال فوتونی نگه‌دارنده قطبش بر اساس تداخل‌سنج سگنک برای حسگری فشارهای بالا[۵]. ۴۵
شکل۲-۲۲. سیستم آزمایشگاهی برای پر کردن PBF ها با گاز و اندازه‌گیری‌های جذبی[۲۲]. ۴۵
شکل۲-۲۳. تصاویر میکروسکوپی از (a) PBF 1300 (b) PBF 1500 [۲۲]. ۴۶
شکل۲-۲۴. طیف‌های انتقالی دو فیبر از یک نمونه مشابه [۶]. ۴۶
شکل ۲-۲۵. سیستمی که به صورت خارجی فشار را به فیبر اعمال می‌کند[۶]. ۴۷
شکل۲-۲۶. سیستمی که به صورت داخلی فشار را به فیبر اعمال می‌کند[۶]. ۴۷
شکل۲-۲۷. (a) شمای طرح نشان‌دهنده کوپلر مستقیم با یک کانال موجبر حاوی ماده مورد آزمایش. (b) تصویری از یک ساختار فیبر کریستال فوتونی (c) تصویر میکروسکوپی از فیبر کریستال فوتونی اصلی (d) تصویر میکروسکوپی از سطح انتهایی فیبر کریستال فوتونی روغن‌کاری شده[۲۳]. ۴۸
شکل۲-۲۸.اصول حسگر: نمودار ضریب شکست شماتیکی مود هسته فیبر کریستال فوتونی (نمودار خط منقطع)، و مود موجبر پیرو (نمودار خط پیوسته). کوپلینگ در نقطه تقاطع این دو نمودار، نزدیک به λ_c اتفاق می‌افتد [۲۴]. ۴۹
شکل ۳-۱. دو گروه اصلی در روش های عددی [۲۶]. ۵۱
شکل ۳-۲. روش‌های عددی حوزه‌ی زمان [۲۶] . ۵۱
شکل ۳-۳. رو های عددی حوزه‌ی بسامد [۲۶] . ۵۲
شکل ۳-۴. الگوریتم محاسبات روش تفاضل محدود در حوزه زمان. ۵۴
شکل ۳-۵. جانشینی بردارهای میدان مغناطیسی و الکتریکی یک سلول مکعبی در شبکه فضایی ایی[۲۷] . ۵۵
شکل۴-۱.شمای طرح پیشنهادی حسگر. ۶۰
شکل۴-۲. سطح مقطع فیبری در صفحه XY با شعاع همه حفره‌ها μm ۱، تعداد ۷ حلقه حفره (با حفره مرکزی)، فاصله میان حفره‌ای μm ۳، طول فیبر حدود μm ۱/۵ و قطر فیبر μm ۴۵. ۶۴
شکل۴-۳. نمایش سطح مقطع فیبر در صفحه XZ ، نقاط مشاهده قله فرکانس و منبع نوری برای شکل۴-۲ در محیط شبیه‌سازی. ۶۵
شکل۴-۴. توزیع ضریب شکست فیبر شکل ۴-۲ در نقطه (۰ ،۰ ، ۰). الف) در صفحهXY ، ب) در صفحه XZ و ج) در صفحه YZ . ۶۵

شکل۴-۵. تغییرات قله فرکانس بر حسب تغییر ضریب شکست سوراخ‌های فیبر و محیط ($N=7$ و $L\approx1.5\mu m$ ، $W=45\mu m$ ، $a=b=1\mu m$ ، $\Lambda=3\mu m$). ۶۶
شکل۴-۶.نمایش اثر تغییرات شعاع حفره‌ها بر حساسیت فیبری با $L\cong2\mu m$ ، $W=90\mu m$ ، $N=7$ و $\Lambda=6\mu m$. ۶۷
شکل۴-۷. نمای مود اصلی برای فیبرهای مربوط به شکل ۴-۶ با مقادیر سطح مود اصلی داده شده در جدول۴-۴ در نقاط الف)μm ۱، ب) μm ۱/۲،ج) μm ۱/۴و د) ۲ میکرومتر[۴۶]. ۶۸
شکل۴-۸. اثر تغییر نسبت شعاع حفره‌ها به فاصله میان‌حفره‌ای بر حساسیت فیبری با $\Lambda=3\mu m$ و $\Lambda=4\mu m$ ($L\cong2\mu m$ ، $N=7$ ، $W=15\times\Lambda$). ۶۹
شکل۴-۹. حساسیت فیبر بر حسب نسبت شعاع حفره‌ها به فاصله میان‌حفره‌ای به ازای مقادیر مختلف Λ (۳، ۴، ۵ و ۶ میکرومتر) ، $L\cong2\mu m$ ، $W=15\times\Lambda$ ، $N=7$. ۷۰
شکل ۴-۱۰. اثر تغییرات Λ بر روی حساسیت فیبر، که $a=b=1\mu m$ ، $L\cong2\mu m$ ، $W=90\mu m$ ، $N=7$. ۷۰
شکل۴-۱۱. اثر تغییرات Λ روی حساسیت فیبرهایی با شعاع حفره‌های ۱، ۱/۲ و ۱/۴ میکرومتر، ($N=7$ ، $L\cong2\mu m$ ، $W=15\times\Lambda$). ۷۱
شکل۴-۱۲. سطح مقطع یک نمونه فیبر: $L\cong2\mu m$ ، $W=90\mu m$ ، $N=7$ ، $\Lambda=3\mu m$ ، $a=2\mu m$ و $b=1.4\mu m$. ۷۲
شکل۴-۱۳. اثر تغییرات شعاع حفره وسط بر حساسیت در دو فیبر با مقدار فاصله میان-حفره‌ای ۳ و ۶ میکرومتر و با نسبت قطر سوراخ‌های دیگر به Λ حدود ۰/۹۴ ($L\cong2\mu m$ ، $W=15\times\Lambda$ ، $N=7$). ۷۳
شکل۴-۱۴. اثر تغییرات شعاع حفره وسط بر حساسیت در دو فیبر با Λ یکسان و برابر با ۶ میکرومتر نسبت به a/b ($L\cong2\mu m$ ، $W=90\mu m$ ، $N=7$). ۷۴
شکل۴-۱۵. اثر تغییرات شعاع حفره وسط بر حساسیت در دو فیبر با Λ یکسان و برابر با ۳ میکرومتر نسبت به a/b ($L\cong2\mu m$ ، $W=45\mu m$ ، $N=7$). ۷۵
شکل۴-۱۶. اثر تغییرات تعداد حلقه بر حساسیت فیبری با مشخصات، $L\cong2\mu m$ ، $W=90\mu m$ ، $\Lambda=3\mu m$ ، $a=2\mu m$ و $b=1.4\mu m$. ۷۶
شکل ۴-۱۷. اثر تغییرات طول‌موج بر حساسیت فیبری با مشخصات، ($L\cong2\mu m$ ، $W=90\mu m$ ، $N=7$). ۷۷
شکل ۴-۱۸. اثر W/Λروی حساسیت فیبری با مشخصات $L\cong2\mu m$ ، $N=7$ ، $\Lambda=6\mu m$ ،

. $a = b = 2\mu m$ ۷۷
شکل۴-۱۹. تغییرات جابه‌جایی قله طول موج نسبت به ضریب شکست بر حسب تغییر قطبش نور ورودی در فیبری با مشخصات $L \cong 2\mu m$، $W = 90\mu m$، $N = 7$، $\Lambda = 3\mu m$، $a = 2\mu m$ و $b = 1.4\mu m$ (شیب نمودار نشان‌دهنده حساسیت فیبر است). ۷۸
شکل۴-۲۰. تغییرات جابه‌جایی قله طول موج نسبت به ضریب شکست در فیبری با مشخصات $L \cong 250\mu m$، $W = 90\mu m$، $N = 7$، $\Lambda = 3\mu m$، $a = 2\mu m$ و $b = 1.4\mu m$، (شیب نمودار نشان‌دهنده حساسیت فیبر است). ۷۹

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱.روش های مدولاسیون و اندازه گیری نوری [۱۱] . **۲۹**

جدول۲-۲. نتایج اندازه‌گیری حساسیت فیبر سوراخ‌دار به دما، فشار و کشش[۲۰]. **۴۳**

جدول۳-۱. معایب و مزایای انواع روش‌های عددی برای تحلیل فیبرهای کریستال فوتونی [۱۲] . **۵۳**

جدول۴-۱. چند نمونه از تغییرات ضریب شکست مواد مختلف نسبت به تغییرات فشار. **۶۲**

جدول ۴-۲. چند نمونه از تغییرات ضریب‌شکست مواد مختلف نسبت به تغییرات دما. **۶۳**

جدول۴-۳. نتایج اندازه‌گیری حساسیت برای فیبر شکل ۴-۲. **۶۵**

جدول۴-۴. تغییرات سطح مود اصلی با تغییر شعاع حفره‌ها برای فیبری با مشخصات داده شده درشکل۴-۶[۴۶]. **۶۷**

جدول۴-۵. نتایج بهینه‌سازی حساسیت برای فیبر شکل ۴-۱۲ **۷۹**
($L \cong 2\mu m$ ، $W = 90\mu m$ ، $N = 7$ ، $\Lambda = 3\mu m$ ، $a = 2\mu m$ و $b = 1.4\mu m$).

جدول۴-۶. مقایسه نتیجه حسگر پیشنهادی به عنوان فشارسنج با دیگر حسگرها. **۸۰**

مقدمه

در سال‌های گذشته، افزایش زیادی در رشد، توسعه و استفاده از سیستم‌های پایش چاه‌های نفت برای نمایش پارامترهای مختلف از جمله فشار، دما و نرخ جریان وجود داشته است. مهندسین نفت با نصب این سیستم‌ها و کسب داده‌های لحظه‌ای به طور مداوم به دنبال ایده چاه‌های هوشمند هستند. این سیستم‌ها امکان ارائه اطلاعات چاه را به صورت لحظه‌ای فراهم می‌سازد ،که به بهینه‌سازی نرخ تولید چاه و بازیافت مخازن کمک می‌کند[۲-۱].

دو پارامتر مهم در این بررسی دما و فشار است که به صورت نمونه به ترتیت حدود ^{0}C ۱۷۵و MPa ۱۳۸ است. اندازه‌گیری در محیط سخت چاه نیازمند تجهیزات خیلی دقیق است[۳] . بیشترین طول‌عمر افرازه-های اندازه‌گیری الکتریکی معمولاً بین ۱ تا ۳ سال است و محدودیتی تا دمای ^{0}C ۱۷۵ دارند. افرازه‌های الکتریکی رایج در چاه‌های نفت به دلیل دمای بالای محیط کاری نرخ خرابی بالایی را دارند[۴] . بنابراین، این حسگرها برای چاه‌های عمیق که دمایی بالای ^{0}C ۲۰۰ دارند انتخاب مناسبی نیست. به علاوه، حسگرهای الکتریکی به نویزهای الکترومغناطیسی حساس هستند و پتانسیل پایینی برای کاربردهای چند منظوره دارد. دسته دیگری از حسگرها که برای استفاده در چاه‌های نفت استفاده می‌شود حسگرهای فیبر نوری است. این حسگرها برای پایش دائم چاه‌ها، مخصوصاً برای استفاده در دماهای بالا مورد مناسبی است. حسگرهای فیبر نوری در دماهای بالا تا ^{0}C ۲۵۰ ، طول عمری حدود ۵ تا ۱۰ سال دارند[۴] ، و برای محیط‌های خورنده و یا انفجاری انتخاب مناسبی هستند. می‌توان مزایای حسگرهای فیبر نوری را به طور خلاصه بدین صورت بیان کرد:

مناسب بودن برای محدودهٔ وسیعی از دما، مقاوم در مقابل محیط های خورنده و رادیواکتیو، حفاظت قابل توجه در مقابل انفجارها، مقاوم در برابر تداخل های الکترومغناطیسی، ابعاد کوچک، قیمت های پایین تولید، حساسیت بالاو پهنای باند زیاد[۳]. به علاوه چندین نوع حسگر می‌توانند به صورت مولتی‌پلکس با یکدیگر روی خط مشترکی کار کنند[۳].

به همین دلیل امروزه تحقیقات در زمینه کاربرد حسگر فیبرنوری در چاه‌های نفت در عرصه‌های صنعتی و پژوهشی افزایش روزافزونی داشته است[۵] . همان‌طور که اشاره شد کاربرد حسگرهای فیبرنوری در چاه-های نفت برای اندازه‌گیری دما، فشار، کشش، شدت جریان و ... است[۱] . در حال حاضر، برخی از این حسگرها در چندین چاه نفت در مناطق گوناگون دنیا، نصب و راه‌اندازی شده‌اند، به طور نمونه شرکت‌های