دوفصلنامه محاسبات و سامانه های توزیع شده
سال پنجم، شماره۲، شماره پیاپی۱۰، صفحه ۱ تا ۱۵، سال ۱۴۰۱

طراحی وامکان سنجی چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه توری براگ فیبری درحسگرهای دور برد پیشرفته

محمد رضا عاصمی، شریفه شاهی*[۲]، حوریه انصاری[۳]
[۱و۳] آموزش و پرورش استان اصفهان
[۲] مرکز تحقیقات لیزر و بیوفوتونیک در فناوریهای زیستی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

چکیده

در این پژوهش، با استفاده از تحلیل مقالات مشابه معتبر، یک چشمه لیزری کوک پذیر با استفاده از پمپ لیزری و تقویت کننده رامان در نرم افزار اپتی سیستم طراحی و شبیه سازی شد. نتایج شبیه سازی نشان داد که می توان با استفاده از چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه توری براگ، تا فاصله ۳۰۰ کیلومتر از ایستگاه مانیتورینگ، برای نظارت بر ادوات مورد نظر استفاده کرد. همچنین، با استفاده از حسگرهای توری براگ فیبری و با قراردادن آنها به صورت سریال و با استفاده از یک طول موج چندگانه، رفلکت حسگرها توسط یک فیبر نوری تک مد برای مانیتورینگ در ایستگاه ارسال شد. در آزمایشهای انجام شده تلاش برای بدست آوردن خروجی حسگرهای توری براگ فیبری توان مسطح از چشمه ۹۸۰ نانومتر با توان ۱ وات تقریبا قابل قبول بوده است. بدین ترتیب می توان در فواصل بسیار دور از ایستگاه مانیتورینگ عمل کنترل و نظارت را انجام داد. در نتیجه، فرضیه های پژوهش از جمله طراحی چشمه های لیزری کوک پذیر و استفاده از آنها در حسگرهای توری براگ فیبری، استفاده از چشمه های لیزری کوک پذیر در حسگرهای دور برد پیشرفته و طراحی و شبیه سازی چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه انواع تورهای براگ فیبری در حسگرهای دور برد پیشرفته مورد تایید قرار گرفتند.

کلمات کلیدی: تار نوری،چشمه های لیزری کوک پذیر،توری براگ فیبری، حسگرهای دوربرد پیشرفته.

Design and Feasibility Study of Tunable Fiber Bragg Grating Laser Sources in Advanced Long-Range Sensors

Mohammad Reza Asemi[1], Sharife Shahi* [2], Hoorieh Ansari[3]
[1,3] Education Department Of Isfahan, Isfahan, Iran
[2] Laser and Biophotonics research center in Biotechnologies, Islamic Azad University of Isfahan branch (Khorasgan), Isfahan, Iran

Abstract

In this study, a tunable laser source was designed and simulated using OptiSystem software, based on credible similar articles analysis, by using a laser pump and a Raman amplifier. The simulation results showed that tunable laser sources based on fiber Bragg gratings can be used for monitoring targeted devices up to a distance of 300 kilometers from the monitoring station. Moreover, by serially placing fiber Bragg gratings and using a multi-wavelength, the reflected signals were transmitted through a single-mode fiber for monitoring at the transmission station. In the conducted experiments, it was feasible to obtain a reasonable output power from fiber Bragg grating sensors using a 1-watt 980-nanometer laser source. Therefore, remote control and monitoring can be performed at far distances from the monitoring station. Consequently, the hypotheses of the study, including the design of tunable laser sources and their use in fiber Bragg grating sensors, the use of tunable laser sources in advanced long-range sensors, and the design and simulation of tunable laser sources based on various fiber Bragg gratings in advanced long-range sensors, were confirmed.

Keywords: Optical fiber, Tunable Laser Sources (TLS), Fiber Bragg Grating (FBG), Advanced Long-Range Sensors (ALRS), Lumped Raman Amplifiers (LRA), Wavelength-Division Multiplexing (WDM)

تاریخچه مقاله:

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۱۰/۱
تاریخ اصلاحات: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۹
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۲۹

Keywords:

Optical fiber
Tunable Laser Sources (TLS)
Fiber Bragg Grating (FBG)
Advanced Long-Range Sensors (ALRS)
Lumped Raman Amplifiers (LRA)
Wavelength-Division Multiplexing (WDM)

*ایمیل نویسنده مسئول:
shahilaser@khuisf.ac.ir

۱ – مقدمه

در سال ۲۰۱۶ لارسون[1] «چشمه لیزری کوک پذیر»[2] را اختراع نمود. این چشمه شامل یک فیلتر نوری است که با انتقال هماهنگ نور بین بخش لیزر و بخش نیمه هادی تقویت کننده نوری[3] از یک دستگاه لیزر همراه است. فیلتر نوری ممکن است از یک طرف برای ارائه یک انتقال بالای نزدیک به طول موج لیزری کوک پذیر باشد و از طرف دیگر از بین برنده ی بخش قابل توجهی ازسیگنال ناشی از انتشار خود به خودی تقویت شده در بخش نیمه هادی تقویت کننده نوری باشد. بدون فیلتر نوری، طیف خروجی لیزر، پس از انتشار خود به خود ی باعث تقویت نور در جهت رو به جلو شده، توسط نور لیزر و بازتابش، آن را توسعه می دهد[۱]. یک روش معمول مورد استفاده برای بررسی حسگر توری براگ فیبری، شامل حسگر با یک منبع لیزر پهن باند و باریک است, نور بازتاب شده از توری براگ فیبری دریک سیستم تشخیص نوری حساس به طول موج مورد بررسی قرار می گیرد. تنش های حرارتی یا مکانیکی ایجاد شده توسط حسگر توری براگ فیبری به صورت تغییر در طیف بازتاب آن است. در این طرح با استفاده از پرتوهای همدوس منبع لیزر، یک کاواک لیزری متشکل ازفیبر حلقوی و توری براگ فیبری که از توری براگ فیبری به عنوان عنصر بازتابنده نوری استفاده می شود،ایجاد شده است. کاواک لیزر شامل فیبر الاییده به اربیوم[4] در خروجی حلقه فیبری متصل به توری براگ است، که برای تقویت انتشار تحریک شده در باند C پنجره مخابراتی و تولید طیف مورد نیاز در ناحیه مرکزی طول موجی توری براگ فیبری می باشد[۲]. لیانگ، لی و وانگ[5] (۲۰۱۲) بیان کردند که «حسگر دوربرد پیشرفته»[6] بعنوان مرجعی وظیفه جمع آوری اطلاعات سنجش از دور را فراهم می کند. در پیشینه تحقیق های گوناگون، فناوری براورد متغیرهای سطح زمین از انواع مختلف داده ها، از جمله حسگرهای نوری مانند رادار و LIDAR آمده است. دانشمندان در تعدادی از زمینه های مختلف از جمله دسترسی به اطلاعات جغرافیایی، زمین شناسی، علوم جوی، علوم محیط زیست، علوم سیاره ای و محیط زیست نیاز به فناوری های استخراج داده ها و برنامه های کاربردی نامحدود را دارند و این در حالیست که فناوری های مدرن به خوبی در این زمینه ها طراحی شده است[۳]. ارائه راهکارهایی جهت اجرایی نمودن نمونه شبیه سازی شده چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه انواع توری های براگ در حسگرهای دوربرد پیشرفته برای سازمانهای زیر:

- مخابرات، نوع استفاده: استفاده در سامانه های مخابراتی راه دور
- صنایع اپتیک و لیزر، نوع استفاده: مخابراتی و نظامی
- سازمان نظام مهندسی ساختمان، نوع استفاده: در سازه های هوشمند فیبری و تست سلامت سازه ها

سامانه های نوری به دلیل فناوری بالاً ؛ افزایش سرعت انتقال اطلاعات؛ بهینه بهره و پایداری؛ فشردگی دستگاه و عوامل دیگر، در موارد گوناگونی قابل توجه و پر طرفدار می باشند. در این پژوهش بر امکان سنجی و طراحی چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه توری براگ فیبر نوری در حسگرهای دور برد پیشرفته تاکید شده است. موضوع این سامانه ها در کشور کاملا جدید و کاربردی است. همچنین دراین پژوهش به مقایسه چشمه های کوک پذیر لیزری و بهینه سازی مولفه های نوری در سیستم به ویژه بکارگیری طراحی مناسبی از توریهای براگ نوری پرداخته می شود که در جهت ارایه راهکارهای نوین در بهبود بخشی به استفاده از این سیستم ها به کاربران بسیار مفید خواهد بود.مساله اصلی پژوهش فوق از آنجا ناشی می شود که در حال حاضر نمی توانیم در فاصله های زیاد از فیبر نوری برای کنترل حسگرهای پیشرفته استفاده کنیم. بنابراین لازم است تا امکان استفاده از چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه انواع توری های براگ در حسگرهای دوربرد پیشرفته دقیق بنا بر طول موجهای متفاوت مورد بررسی قرار گیرد. در پژوهش حاضر به امکان سنجی طراحی و استفاده از چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه توری های براگ فیبری در حسگرهای دور برد پیشرفته پرداخته شده است. اهداف اختصاصی عبارتند از طراحی و شبیه سازی استفاده از چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه توری های براگ فیبری در حسگرهای دور برد پیشرفته در فاصله ۵۰ کیلومتری، ۱۰۰ کیلومتری ،۲۰۰ کیلومتری و ۳۰۰ کیلومتری از ایستگاه مانیتورینگ.

۲ – تار نوری

تار نوری یک موجبر استوانه‌ای از جنس شیشه یا پلاستیک است که از دو ناحیه مغزی و غلاف با ضریب شکست‌های متفاوت و دو لایه پوششی اولیه و ثانویه از جنس پلاستیک تشکیل شده است . بر اساس قانون اسنل، برای انتشار نور در طول تار نوری باید شرط $n_1 > n_2$ برقرار باشد که n_1 و n_2 به ترتیب ضریب شکست‌های مغزی و غلاف هستند. انتشار نور تحت تأثیر عوامل

1- Larson
2- Tunable Laser Source (TLS)
3- Solid Optic Amplifier (SOA)
4- Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)
5- Liang, Li & Wang
6- Advanced Remote Sensor (ARS)

ذاتی و اکتسابی دچار تضعیف می شود. این عوامل عمدتاً ناشی از جذب فرابنفش، جذب فروسرخ، پراکندگی رایلی، خمش و فشارهای مکانیکی بر آنها هستند. تارهای نوری از نظر نحوه انتشار نور، به دو دسته عمده تارهای چند مد و تارهای تک مد تقسیم می‌شوند. الف. تار نوری چند مد: این نوع تارهای نوری عمدتاً در بخشی از مخابرات نوری مورد استفاده قرار می‌گیرند که ارسال داده های مخابراتی راه نزدیک را به عهده دارند که از آن جمله می‌توان ارتباط بین کامپیوتری را نام برد. در این نوع تار در هنگام گسیل نور به داخل آن، مدهای مختلف به طور همزمان از داخل مغزی انتشار می‌یابند. قطر مغزی تارهای چندمد موجود معمولاً در محدوده ۵۰ تا ۱۰۰ میکرون است. این تارها از نظر شکل ضریب شکست، به دو گروه ضریب پله‌ای و ضریب تدریجی تقسیم می شوند. ب. تار نوری تک مد: این تارها به طور عمده در مخابرات نوری بکار گرفته می‌شوند و در مقایسه با تارهای چند مد دارای ابعاد کوچکتری هستند[۴]. اولین نسل تارهای نوری تک مد و چند مد با ضریب شکست پله‌ای و ضریب تدریجی در طول موج ۸۰۰ تا ۹۰۰ میکرون بکار گرفته شد. تارهای نوری نسل اول به دلیل تلفات بالا در طول موج مورد نظر آن چنان مورد استقبال طرفداران آن در استفاده از آن در شبکه مخابرات نوری قرار نگرفتند. ولی در حسگر های تار نوری مورد بهره‌برداری قرار گرفته اند [۵]. امروزه تار های نگه دار نده قطبش مصارف غیرمخابراتی و در سیستم‌های حسگر تار نوری، به ویژه در تجهیزات و جنگ‌افزارهای صنایع دفاعی، کاربرد فراوان دارند. این نوع تارها ساختار متفاوتی با تارهای مخابراتی دارند که با ایجاد شکل بیضوی گون در ناحیه مغزی و غلاف و یا با ایجاد نواحی تنش بین مغزی و غلاف به شکل‌های مختلف طراحی و ساخته می‌شوند [۶]. تقویت‌کننده‌های تار نوری برای تقویت پالس‌های نوری تضعیف شده در فواصل طولانی در مسیر شبکه مخابرات نوری تعبیه می‌شوند و معمولاً در طول موج ۱/۵۵ کاربرد دارند. برای ساخت این نوع تارها ماده‌ای مانند اربیوم به عنوان افزودنی به ناحیه مغزی تار اضافه می شود. در حین کار این قسمت از تار در حالت تحریک اتمی قرار داده می‌شود و هنگامی که پالس‌های تضعیف شده از این قسمت از تار عبور می‌کنند، با یک تبادل انرژی با اتم‌های تحریک شده، تقویت می‌شوند و بدین طریق تلفات ناشی از انتشار جبران می‌شود [15].پدیده پاشندگی در تارهای نوری در پنجره‌های مخابرات نوری در طول موج های ۱/۵۵ و ۱/۳ میکرومتر باعث اختلال در اطلاعات ارسالی به ویژه در مسافت‌های طولانی می شود از این رو باید در مسافت‌های معین پاشندگی پالس را به نحوی در سیستم جبران کرد. تارهای جبران ساز به منظور جبران پاشندگی در سیستم‌های مخابرات نوری طراحی شده‌اند. این تارها در محدوده طول موج ۱/۵۵ میکرومتر دارای پاشندگی منفی زیادی هستند تا پاشندگی مثبت حاصل در تارها را خنثی سازند [16-17]. عمده‌ترین کاربرد تارهای نوری را می‌توان به کاربردهای مخابراتی و کاربردهای غیرمخابراتی بنا بر نوع مصرف متفاوت است. استفاده از حسگرهای تار نوری برای اندازه‌گیری کمیت‌های فیزیکی مانند جریان الکتریکی، میدان مغناطیسی، فشار، حرارت، جابجایی، آلودگی آب‌های دریا، سطح مایعات، تشعشات پرتوهای گاما و ایکس در سال‌های اخیر شروع شده است. در این نوع حسگرها، از تار نوری به عنوان عنصر اصلی حسگر استفاده می‌شود، بدین ترتیب که خصوصیات تار، تحت میدان کمیت مورد اندازه‌گیری، تغییر یافته و به اندازه مقدار کمیت تأثیرپذیر می شود [7-8]. تار نوری کاربردهای بی‌شماری در صنایع دفاعی دارد که از آن جمله می‌توان برقراری ارتباط و کنترل با آنتن رادار، کنترل و هدایت موشک‌ها، ارتباط زیردریایی‌ها (هیدروفون) را نام برد [۷]. تار نوری در تشخیص بیماری‌ها و آزمایش‌های گوناگون در پزشکی کاربرد بی‌شماری دارد که از آن جمله می‌توان دزیمتری غدد سرطانی، شناسایی نارسایی‌های داخلی بدن، جراحی لیزری، آندوسکوپی، استفاده در دندانپزشکی و اندازه‌گیری pH و فشار خون را نام برد [۷].

۲ – توری براگ تار نوری

چندین نوع متمایز ساختارهای توری براگ تار وجود دارد: بازتابنده معمولی، توری براگ Blazed و توری براگ Chirped. این توری‌های براگ تار، یا به وسیله نصب[7] توری آنها (صفحات بین توری) و یا کج بودن توری متمایز هستند رایج‌ترین توری براگ تار، بازتابنده براگ معمولی است، که یک نصب ثابت دارد. توری Blazedجبهه‌های فاز بامحور تار کج شده است؛ که زاویه بین صفحات توری و محور تار کمتر از ۹۰ درجه است. توری Chirped یک نصب نامنظم[8] از صفحات براگ می‌باشد و در واقع نمایشگر افزایش یکنواخت در فضای بین صفحات توری است. بازتابنده براگ معمولی ساده‌ترین و کاربردی‌ترین توری براگ تار نوری است. مشکلات وابسته به نوسانات دامنه یا شدت که در بسیاری دیگر از انواع سیستمهای حسگر تار وجود دارد در این سیستم برطرف شده است.هر بازتابنده براگ می تواند در اثر طول موج رمزگشایی شده خودش طراحی شود. بنابراین یک سری از توری‌های می‌توانند در

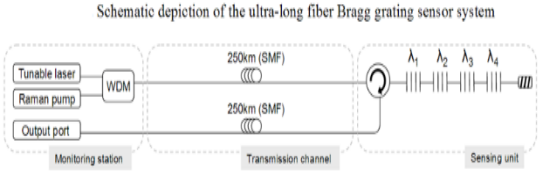
[7] - Pitch

[8] - aperiodic

تار یکسان نوشته شوند، که هر کدام یک سیگنال تشدید مجزا دارند. این پیکربندی می تواند برای تسهیم کردن طول موج به چند بخش[9] یا حسگرهای شبه_ توزیع شده[10] استفاده شود [۸].توری ها همچنین دارای اجزای خیلی مفیدی در تار کوک پذیر یا لیزرهای نیمه رسانا هستند [18-19] و به عنوان یک یا هر دو انتهای کاواک لیزر به کار می روند (وابسته به پیکربندی لیزر).با استفاده از این بال ۷ و مویره[11][۹] یک لیزر تار اربیوم کوک پذیر پیوسته، تک-مد، به همراه دو توری بازتابنده در یک شکل کاواک فابری_ پرو را ارائه کردند.کوک پذیری پیوسته بدون مد چشم داشتی هنگامی که هم توری ها و هم تار محاصره شده به طور یکنواخت کشیده شده باشند بدست می آید. لیزرها تارتوری پراش همچنین می توانند به عنوان حسگرهای دوتایی عنصر کوک شدن و حسگر به کار روند [۱۰].یک سری از بازتابنده‌های براگ اثرات رمزی شده طول موج مجزا دارند که می توانند در پیکربندی حسگر لیزر تار برای حس کردن چند نقطه تسهیم شوند.

۳ – سیستم حسگر فیبر توری براگ برد زیاد (FBG)

ایده محوری سنجش از دور، نظارت مستمر ساختارها از یک ایستگاه مرکزی است که ده ها یا صدها کیلومتر دور از میدان از طریق مکان بحرانی حسگرهایی که اطلاعات را به مکان مرکزی ارسال می کنند، واقع شده است. این قابلیت از راه دور اجازه می دهد تا تشخیص آسیب سریع و در نتیجه اقدامات لازم را می توان به سرعت گرفته شده است. علاوه بر این، این استراتژی، نارسایی های تدارکاتی مربوط به تغذیه برق به مکان های دور را حذف می کند [۱۴]. سیستم حسگر دوربرد ۲۰۰ و ۲۵۰ کیلومتر فیبر براگ توری فوق العاده طولانی به سه بخش اصلی تقسیم شده است [۱۱]. شکل ۱ نشان می دهد واحد حسگر توسط چهار سنسور FBG چندگانه و یک سیرکولاتور ساخته شده است که سیگنال های منعکس شده را نسبت به پورت خروجی هدایت می کند.



شکل ۱. طرح شماتیک سیستم حسگر توری براگ دوربرد [۱۱]

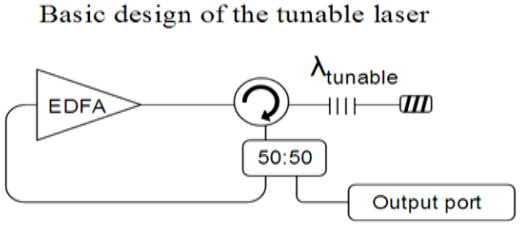
FBG ها در پیکربندی سریال قرار گرفته و درون باندهای طول موج تقویت Raman قرار دارند. طول موج مرکزی آنها ۱۵۵۵/۲۴ = λ1، نانومتر، ۱۵۴۹/۸۲ = λ2 نانومتر، ۱۵۴۶/۸۸ = λ3 و ۱۵۵۲۰/۴۰ = λ4، نانومتر بوده و هر یک دارای پهنای باند ۰/۱۹ نانومتر، ۰/۱۶ نانومتر، ۰/۱۹ نانومتر و ۰/۲۴ نانومتر و باز تاب ۹۸/۹٪، ۹۸/۳٪، ۹۹٪ و ۹۹/۸٪ می باشند. در ابتدا، این پیکربندی سریال به مانعی به نظر می رسد برای رسیدن به برابری قدرت برای کانال، با این حال، در این طرح آن است که یک مشکل نیست، زیرا این سیستم بر یک ساختار لیزر در مسافت های طولانی بر اساس نیست. در این سیستم ها، رقابت حالت تاثیر بسیار مهمی در زمانی که همه کانال ها باید در همان زمان به نمایش بگذارند. در سیستم پیشنهادی ما، برابری کانال وابسته به هر دو شکل غیر یکنواخت از مشخصات رامان و از دست دادن درج از FBGs واقع در مقابل سنسور بازجویی در هر لحظه ای است.تا آنجا که به ایستگاه نظارت مربوط می شود، آن است که توسط تقسیم کننده طول موج (WDM) که ترکیبی از سیگنال که از لیزرکوک پذیر و پمپ رامان می آید تشکیل شده است. لیزر فیبر رامان با رزولوشن ۱۴۴۵ نانومتر برای تولید انبساط رامان توزیع شده در سیستم مستقر شده است. از سوی دیگر، دو لیزر قابل تنظیم متفاوت با توجه به طول سیستم حسگر هنگامی که شبکه ۲۰۰ کیلومتری یک لیزر قابل تنظیم تجاری ANDO با پهنای باند ۱۰۰ مگاهرتز برای جابجایی کل میدان استفاده می شود، اما زمانی که FBG ها قرار می گیرند، استفاده می شود در فاصله ۲۵۰ کیلومتری ایستگاه نظارت، برخی از اثرات غیرخطی ظاهر می شود. یعنی، پراکندگی برلیوئین تحریک شده (SBS) با اثر ناخودآگاهی ایجاد می شود که این امر مستلزم آن است. تجزیه و تحلیل دقیق این موضوع در بخش بعدی ارائه خواهد شد. در نتیجه، یک لیزر کوک پذیر با پهنای باند وسیع تر برای مقابله با این اختلالات اعمال می شود [۱۳]. نمونه ی دیگری از توری های فیبری با دوره بزرگتر هستند که LPFG نامیده می شوند. اندازه گیری توسط این حسگرها بر اساس تغییر طول موج های تشدید نسبت به تغییرات محیط صورت می گیرد. چون امکان تشکیل طول موج های تشدید با حساسیت های مختلف فقط به یک پارامتر وجود دارد می توان از این توری ها برای جدا سازی حساسیت به پارامتر های مختلف استفاده کرد. همچنین، با توجه به اینکه

9 - WDM
10 - Quasi-distributed
11 - morey

تغییرات طول موج های کاهش یافته و شـــدت آن ها برای مدهای متفاوت به ویژگی های فیبر نوری و توری نوشـــته شـــده بســـتگی دارد، افزایش حـ سا سیت و بهینه سازی اینگونه حـ سگرها از طریق رســـم نمودارهای مجزا برای مدهای گوناگون مورد بررســـی قرار گرفته اســـت. در پایان این ســـابقه پژوهشـــی، اســـتفاده از ترکیب FBG و LPFG به عنوان راهکار دیگری برای جلوگیری از تداخل حســـاســـیت بین پارامترهای فیزیکی و اندازه گیری همزمان این پارامترها پیشنهاد شده و نتایج آن شبیه سازی گردیده است[۲۰].

۴- لیزر کوک پذیر

طراحی اولیه از لیزر کوک پذیر، که شامل یک FBG است در شکل ۲ به تصویر کشیده است، FBG دارای پهنای باند از ۰/۶ نانومترا ارائه می دهد.



شکل ۲ طرح اولیه لیزر کوک پذیر[۱۱]

کانال انتقال شامل دو راه نوری طولی یک سان ا ست. اولین م سیر ق صد دارد سیگنال لیزر تقویت شده را با ا ستفاده از تقویت رامان گ سسته راه اندازی کند و دیگری برای هدایت سیگنال بازتاب به سیستم پذیرش استفاده می شود. توجیه استفاده از دو مسیر، که فیبر مورد نیاز در ســـیســـتم را دو برابر می کند، بر اســـاس کاهش هزینه های موثر اجزای فیبر نوری، به ویژه کابل های SMF است. علاوه بر این، اگر در پروژه های اجرایی از دو الیاف به جای یک الیاف ا ستفاده شود هزینه نهایی سیستم نصب شده به طور قابل توجهی افزایش نمی یابد، این روش ســـاده ترین حالت عملیاتی سیستم سنجش از راه دور است. [۱۱]. آزمایشات انجام شده نشان می دهد که امکان ا ستفاده از دو سیستم حسگر فیبر توری براگ (FBG) فوق العاده طولانی وجود دارد. هر دو ســـیســـتم ســـاده براساس یک لیزر جابجا شده با طول موج برای تحقیق FBG های چندگانه ا ست. سیستم ها با دو م سیر نوری از طول های یک سان ت شکیل می شوند: اولین سیگنال لیزر تقویت شده تو سط تقویت رامان را راه اندازی می کند و دیگری برای هدایت ســـیگنال بازتاب به ســـیســـتم پذیرش اســـتفاده می شـــود. طرح های پیشـــنهادی به برخی از عوامل محدود کننده مانند پس لرزه Rayleigh اشـــاره می کنند. در اولین رویکرد، چهار FBG ها در فاصـــله ۲۰۰ کیلومتری ایســـتگاه نظارت قرار گرفتند و OSNR ۲۰ dB به دست آمد. یک نسخه بهینه شده از سیستم توانست FBG ها را در ۲۵۰ کیلومتری با OSNR ۶-۸ دسی بل (۱۸-۲۰ دسی بل با استفاده از روش های میانگین) شناسایی کند. بنابراین، این سنسور طولانی ترین سنسور FBG است که تا به امروز گزارش شده است که شامل قابلیت چندگانه سازی سنسور است[۱۱].

۵- پیشینه پژوهش

در پژوهش حاضر طراحی و شبیه سازی چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه انواع توری های براگ فیبری درحسگرهای دوربرد پیشرفته انجام می شود. به نظر می رسد در این زمینه خاص تحقیقاتی اندکی انجام شده است. ولی با بررسی متون علمی و پروانه های ثبت اختراع تحقیقات مرتبطی قابل مشاهده است که به چند نمونه از این تحقیقات مرتبط اشاره می شود. فرناندز والجو، روتا رودریگو و لوپزامو[۱۲] در سال ۲۰۱۱ کاربرد توری های براگ فیبر نوری را در سیستمهای جامع حسگر نشان داده اند. در اولین رویکرد چهار نوع از توری براگ فیبر نوری را در فاصله دویست کیلومتری ایستگاه نمایشگر قرار داده اند و سیگنالی با OSNR برابر با ۲۰ دسیبل بدست آورده اند. در ورژن توسعه یافته نوع دوم محققین با قرار دادن یک تسهیم کننده چهار کاناله و گذاشتن چهار توری براگ سیگنال به نویزی معادل ۶-۸ دسیبل در فاصله ۲۵۰ کیلومتری بدست آوردند. نهایتا با انجام مرحله به مرحله و افزایش و تغییر امکانات سیستم به این نتیجه رسیدند که سیستم فوق توانایی تسهیم پذیری حسگر فیبر نوری را دارد. ضمنا هر دو سیستم بر اساس یک طول موج در رفت و برگشت و برای اسکن بازتاب فیبر توریهای براگ مورد آزمایش قرار گرفتند. همچنین در دو سیستم فوق دو مسیر نوری تشخیص طول تشکیل داده شد: اول برای راه اندازی سیگنال لیزر تقویت شده به وسیله تقویت کننده رامان[۱۳] و دومی برای هدایت سیگنال بازتابی به گیرنده[۱۱]. هو و همکاران[۱۴] (۲۰۱۲) پژوهشی در رابطه با حسگر فشاری مبتنی بر توری براگ فیبری، بدون بستگی دمایی انجام دادند. در این پژوهش یک حسگر فشاری جدید همراه با توری براگ فیبری درون میله پلیمری استوانه ای مخروطی، ارائه و ثبت شد. این محققین با اعمال کشش غیریکنواخت و فشار حاصله، پهنای باند را تغییر داده و بدین ترتیب توان اپتیکی بازتابش یافته از توری براگ فیبری نیز تغییر کرد. در این پژوهش اندازه گیری های غیرحساس به دما توسط اندازه گیری

[12]- Fenandez-Vallejo, Rota-Rodrigo& Lopez-Amo
[13]- Raman AMP.
[14]- Hu et al.

توان اپتیکی بازتاب یافته بوسیله یک توان سنج اپتیکی تحقق یافته است. حساسیت اندازه گیری فشار nW/N ۵/۰ از نظر تجربی با دامنه ای تا N ۱۸۰۰ حاصل شده است [۱۲]. فرناندز والجو و لوپز امو[15] در سال ۲۰۱۲ به بررسی اجمالی شبکه های حسگر فیبر نوری پرداخته اند. آنها در ابتدا پس از مرور سیستم های حسگر فیبری از راه دور، خلاصه ای از سیر تکاملی این سیستم ها را ارائه داده اند. با تاکید بر نقش این حسگرها در دنیای تکنولوژی و طیف گسترده کاربردهای عملی آنها، سپس توضیحات مختصری در رابطه با سیستمهای فوق الذکر بیان کرده، نکاتی در زمینه طراحی، چالشها، مزایا و معایب بیان کرده اند. نهایتا خلاصه ای از فاکتورهای اساسی بکار گرفته شده در یک سیستم حسگر دوربرد را جمع آوری کرده اند [۱۳]. امینی (۱۳۹۰) در پایان نامه کارشناسی ارشد خود به طراحی و شبیه سازی توری براگ فیبر نوری با حسگر فشار پرداخت. او در پژوهش خود بیان می کند با پیشرفت علم در زمینه مخابرات نوری و الکترواپتیک نمونه ی جدیدی از حسگرهای فیبر نوری مورد توجه قرار گرفتند [20]. با مرور پیشینه های پژوهشی چنین برداشت شد که در رابطه با موضوع پژوهش کارهای گوناگونی در زمینه های حسگرهای مختلف انجام شده است. از جمله کاربرد دو فیبر توری براگ فوق طول موج در سیستمهای درون تجمیع شده حسگر مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین درابطه با حسگر فشاری مبتنی بر توری براگ فیبری بدون بستگی دما و بررسی اجمالی شبکه های حسگر فیبر نوری تحقیقاتی انجام شده است. از طرفی در تحقیقات پیشین به طراحی و شبیه سازی توری براگ فیبر نوری با حسگر فشار نیز پرداخته شده است. همانگونه که بررسی متون علمی پژوهشی پیشین نشان داد که در زمینه طراحی و شبیه سازی چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه انواع توریهای براگ فیبری درحسگرهای دوربرد پیشرفته کاری زیادی انجام نشده است و پژوهش حاضر به بررسی استفاده چشمه های لیزر فیبری کوک پذیر بر پایه توری براگ فیبری در طراحی حسگرهای دوربرد پرداخته است.

۶- روش

تجزیه و تحلیل اطلاعات بر مبنای اطلاعات موجود در مقالات مشابه ؛ معتبر و به روز دنیا و تلاش در جهت بهبود کیفیت خروجی با طراحی واجرا سامانه در نرم افزار OptiSystem انجام شده است.

۶-۱. نرم افزار اپتی سیستم (OptiSystem 7.0)

در سیستمهای مخابرات نوری بعلت کار با عناصر غیرخطی و تاثیر نویزهای غیرخطی نیاز به آنالیز و تحلیل دقیق و مشخص میباشد، که در این راستا نرم افزار اپتی سیستم برای طراحی،تست وبهینه سازی واقعی هرلینک نوری باسیستمهای باندعریض بسیارمناسب است. درضمن این نرم افزارباشبیه سازی قدرتمند خود تجدیدنظرهای طراحی رادرجهت بهینه سازی سیستمهای نوری میسر می سازد.از طرفی نرم افزاری توانمند برای طرح ریزی، آزمایش و شبیه سازی شبکه های فیبر نوری است.

کاربردهای نرم افزار اپتی سیستم: طراحی سیستمهای مخابرات نوری از اجزاء سیستم در لایه فیزیکی، طراحی مالتی پلکسرهای TDM/WDM وسیستمهای CATV، شبکه های نوری پسیو(PONs) بر پایه FTTH، سیستمهای نوری free space(FSO)، سیستمهای ROF (رادیو بر روی فیبر)، سیستهای SONET ویاSDH بصورت طراحی توپولوژی حلقه(Ring)، طراحی فرستنده ها –گیرنده ها و تقویت کننده هاوکانال نوری، طراحی ومحاسبه ضریب پاشندگی(Dispersion)، برآورد BER(نرخ بیت خطا) و هزینه سیستم با مدلهای مختلف.

قابلیت های اساسی نرم افزار اپتی سیستم شامل این مواردست: اجزاء کتابخانه ای ، اجزاء اندازه گیری، یکپارچگی و اتحاد عناصر نرم افزار، ارائه نمایش سیگنال ترکیبی نوری و الکتریکی و باینری، محاسبات کیفی واجزاءسیستم، ابزارهای مانیتورینگ پیشرفته، نمایشهای داده ای، شبیه سازی سلسله مراتبی بازیرسیستمها، زبان نوشتاری قوی، طرح بندهای متفاوت، صفحه گزارش (Report). ضمنا این نرم افزار قابلیت های تجزیه و تحلیل لینک ها و ادوات نوری را دارا می باشد.

۶-۲. مراحل انجام کار

در این تحقیق جهت رسیدن به اهداف تحقیق و اثبات فرضیه ها، طی پنج مرحله چشمه های لیزری کوک پذیر را بر پایه توری براگ فیبری در حسگرهای دوربرد پیشرفته طراحی و شبیه سازی کردیم:

- **مرحله اول:** طراحی و شبیه سازی توسط چهار عدد حسگر که در فاصله ۵۰ کیلومتری از ایستگاه مانیتورینگ بصورت سریال قرار گرفته اند.
- **مرحله دوم:** طراحی وشبیه سازی توسط چهار عدد حسگر که در فاصله ۵۰ کیلومتری از ایستگاه مانیتورینگ بصورت موازی قرار گرفته اند،

[15]- Fernandez-Vallejo and Lopez-Amo

– **مرحله سوم:** طراحی وشبیه سازی توسط چهار عدد حسگرکه در فاصله۱۰۰کیلومتری ازایستگاه مانیتورینگ بصورت سریال قرارگرفته اند،

– **مرحله چهارم:** طراحی و شبیه سازی توسط چهار عدد حسگر که درفاصله۲۰۰کیلومتری ازایستگاه مانیتورینگ بصورت سریال قرارگرفته اند،

– **مرحله پنجم:** طراحی وشبیه سازی توسط چهار عدد حسگرکه در فاصله ۳۰۰ کیلومتری ازایستگاه مانیتورینگ بصورت سریال قرارگرفته اند.

در اولین گام با استفاده از یک پمپ لیزری و تولید سیگنالی بطول موج ۹۸۰ نانو متر و اعمال آن به یک تقویت کننده اربیوم باعث برانگیخته شدن آن شده و یک طیف فرکانسی در محدوده مخابراتی ۱۵۵۰ نانو متری ایجاد می شود. با گذراندن طیف ایجاد شده از یک کانال انتقال فیبر نوری تک مد،به طول ۵۰ کیلومتر و قراردادن چهار حسگر توری براگ فیبری بصورت سریال،رفلکت های ایجاد شده توسط FBGهای سریال را به یک مالتی پلکس نوری ۴ به۱ (WDM) اعمال نموده و خروجی آن را توسط یک کانال انتقال فیبر نوری تک مد دیگر که به همان طول ۵۰ کیلومتر بود، به سمت ایستگاه مانیتورینگ ارسال شد.لازم به ذکر است که در طول مسیر رفت وبرگشت برای تقویت سیگنال از تقویت کننده SOA بهره جویی شد.در مرحله دوم نیز از همین روش استفاده شد بااین تفاوت که این بار از حسگرهای FBG بصورت موازی استفاده شد.در مرحله سوم برای مسیر رفت و برگشت از خط انتقال فیبر نوری تک مد ۱۰۰ کیلومتری ،به طور جداگانه استفاده شد.

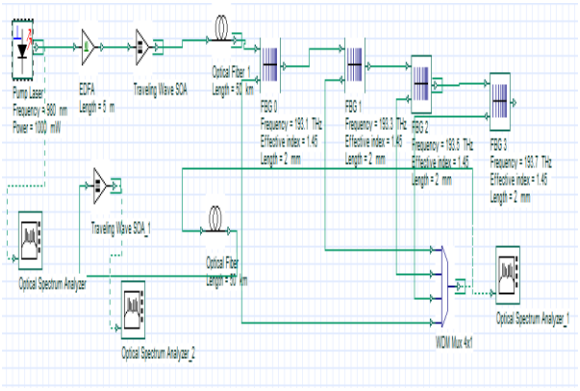
در مرحله چهارم با افزایش مسیر رفت و برگشت تا ۲۰۰ کیلومتر از تقویت کننده رامان به جای EDFA استفاده کرده و عمل مانیتورینگ حسگرهای دوربرد پیشرفته کوک پذیر شبیه سازی و طراحی شد.در مرحله پنجم برای رسیدن به فاصله ۳۰۰ کیلومتری که برای اولین بار طراحی وشبیه سازی می شود،از چشمه لیزری کوک پذیر و پمپ رامان بهره گرفته و عمل کنترل و نظارت بر FBGها از ایستگاه مانیتورینگ انجام شد.

۷- نتایج تجربی

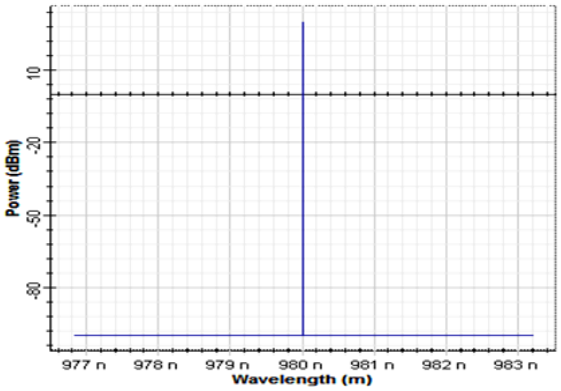
دراین قسمت یافته های تحقیق براساس اهداف اختصاصی تحقیق بیان شده است. نتایج بدست آمده در قالب نمودارها و شکل های خروجی از نرم افزاری های تخصصی مربوطه ارایه شده است.

۷-۱. طراحی و استفاده از چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه توری های براگ فیبری در حسگرهای دور برد پیشرفته در فاصله ۵۰ کیلومتری از ایستگاه مانیتورینگ

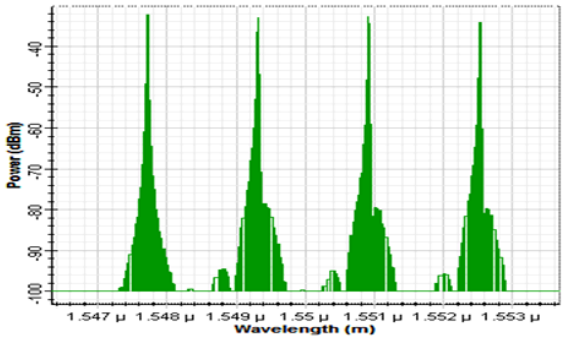
ابتدا مداری به صورت زیر که شامل پمپ لیزر،تقویت کننده های نوری EDFAوSOA ،فیبر نوری تک مد بطول ۵۰ کیلومتر،WDMچهار به یک وچهار عدد توری براگ است،طراحی شد.بطوریکه لیزر تولید شده توسط پمپ لیزر در طول موج ۹۸۰ نانو متر و با توانی معادل ۱۰۰۰میلی وات ،پس از عبور از EDFAباعث برانگیخته شدن آن شده وطیف نوری با طول موج مخابراتی ۱۵۵۰ نانومتر ایجاد می کند. طیف ایجاد شده پس از عبور از یک تقویت کننده نوری (SOA)،تقویت شده واز طریق یک فیبر نوری تک مد بطول ۵۰ کیلومتر به سمت واحد حسگرها ارسال می شودوسپس توسط چهارعدد توری براگ فیبری پیشرفته که بصورت سریال قرار گرفته است،دریافت می شود. در مسیر برگشت طیف بازگشتی از FBGها ،توسط یک مالتی پلکسر ۴به ۱تجمیع شده و از طریق فیبر نوری تک مد ۵۰ کیلومتری دوم به سمت ایستگاه نظارت باز می گرددو پس از یک مرحله تقویت بوسیله SOA،مانیتورینگ می شود.



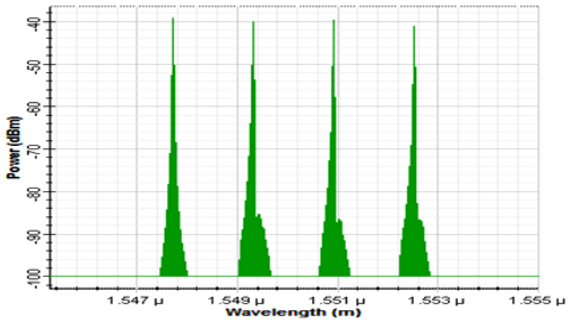
شکل ۳. مدار شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای سریال دوربرد ۵۰ کیلومتری توری براگ



شکل ۴. خروجی پمپ لیزر در شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای سریال دوربرد ۵۰ کیلومتری



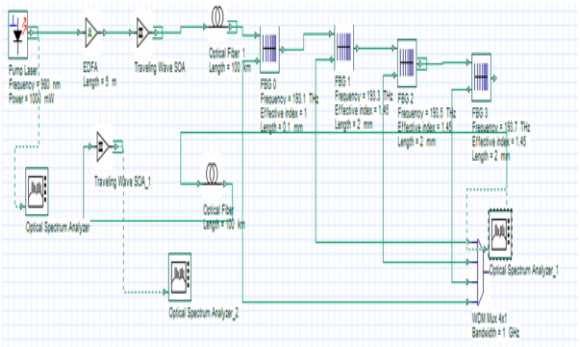
شکل ۵. طیف خروجی بازگشتی FBGها در واحد حسگرها در شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای سریال دوربرد ۵۰ کیلومتری



شکل ۶. طیف خروجی بازگشتی FBGها در واحد نظارت در شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای سریال دوربرد ۵۰ کیلومتری

۷-۲. طراحی و استفاده از چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه توری های براگ فیبری در حسگرهای دور برد پیشرفته در فاصله ۱۰۰ کیلومتری از ایستگاه مانیتورینگ بصورت سریال

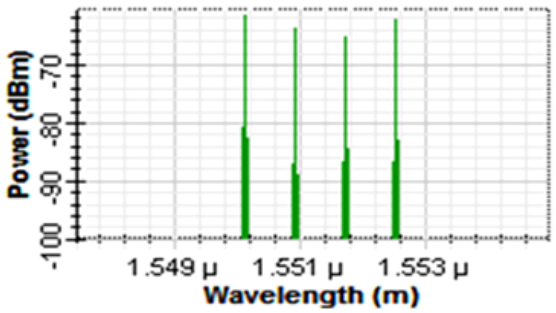
در این مرحله با افزایش طول مسیروبا استفاده از فیبر نوری ۱۰۰ کیلومتری وبا تغییر پارامترهای توری های براگ و مالتی پلکسراز قبیل اندازه توری،فرکانس توری،شاخص توری وفرکانس مالتی پلکسر به نتایج قابل قبول وخوبی رسیده شد.



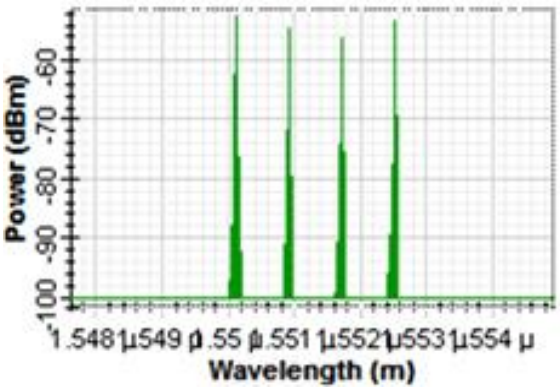
شکل ۷. مدار شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای دوربرد ۱۰۰ کیلومتری توری براگ

همانطور که شکل های ۷-۹ نشان می دهد در این مرحله طیف سیگنال بازتابی FBGها در ۱۰۰ کیلومتری از ایستگاه نظارت که طول موج مرکزی آنها λ1 = ۱۵۵۰/۱۵ ،λ2 = ۱۵۵۰/۹۵ نانومتر، λ3 = ۱۵۵۱/۷۵ و λ4 = ۱۵۵۲/۵۵ نانومتر و Δλ= ۰/۸۰ نانومتر بوده دارای سطح سیگنال تقریبا مسطح خوبی است.

در این مرحله با افزایش دو برابری مسافت انتقال نسبت به مرحله اول، توان خروجی ها در واحد حسگرها و ایستگاه مانیتورینگ به۶۰- تا۵۰-dbm تقلیل پیدا کرد.ولی نسبتOSNRبه همان اندازه مرحله قبل یعنی بین ۱۰ در کمترین حالت و۲۰ در بهترین حالت باقی ماند.



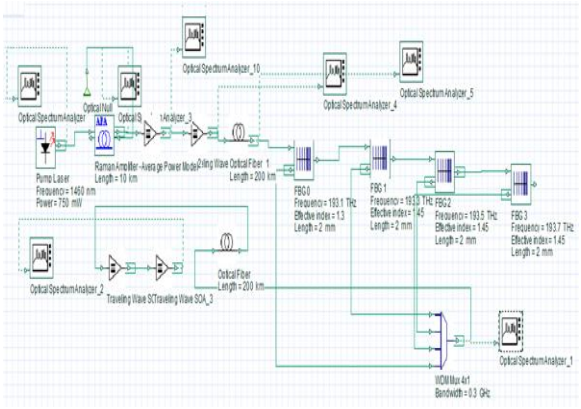
شکل ۸. طیف خروجی بازگشتی FBGها در واحد حسگرها در شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای دوربرد ۱۰۰ کیلومتری



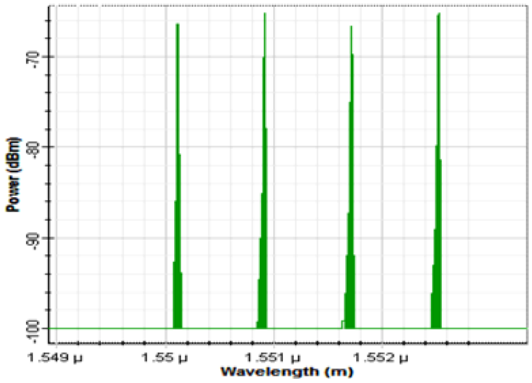
شکل ۹. طیف خروجی بازگشتی FBGها در واحد نظارت در شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای دوربرد ۱۰۰ کیلومتری

۷-۳. طراحی و استفاده از چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه توری های براگ فیبری در حسگرهای دور برد پیشرفته در فاصله ۲۰۰ کیلومتری از ایستگاه مانیتورینگ

درمرحله سوم برای اینکه بتوان در مسافت خیلی دور ۲۰۰ کیلومتری طیف بازتابی با OSNR قابل قبولی بدست بیاید،از تقویت کننده رامان به جای EDFAاستفاده شدوبرای این منظور پمپ لیزر با طول موج ۱۴۶۰نانومتر بکارگرفته شد تا تقویت کننده رامان برانگیخته شود و طیف مورد نیاز با طول موج مرکزی ۱۵۵۰ نانومتر را ایجاد نماید.در این مرحله علاوه بر تغییر المانهای مدار،پارامترهایی نظیر طول تقویت کننده و... تغییر یافت. همان طور که شکل های ۲-۶ نشان می دهد، خروجی بازتابی از FBGها که طول موج مرکزی آنها $\lambda1$ = ۱۵۴۷/۷۵ نانومتر، $\lambda2$ = ۱۵۴۹/۲۵ نانومتر، $\lambda3$ = ۱۵۵۰/۹۰ و $\lambda4$ = ۱۵۵۲/۵۰ نانومتربوده، بصورت یکنواخت وتوانی برابر-30dbm ونسبت OSNRحدودا ۲۰در واحد حسگرها و توان - 40dbm انسبتOSNR حدود۱۰ در ایستگاه مانیتورینگ دیده می شود.

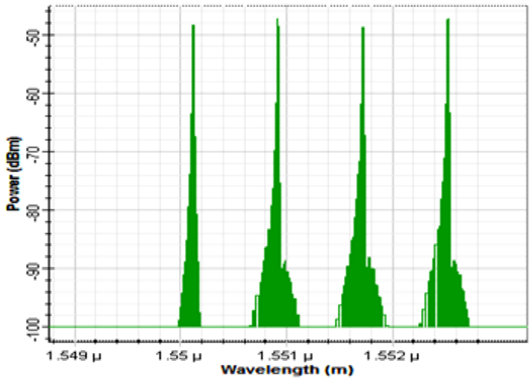


شکل ۱۰. مدار شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای دوربرد ۲۰۰ کیلومتری توری براگ



شکل ۱۱. طیف خروجی بازگشتی در واحد حسگرها در شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای دوربرد ۲۰۰ کیلومتری

در این مرحله طیف سیگنال بازتابی FBGها در ۲۰۰ کیلومتری از ایستگاه نظارت که طول موج مرکزی آنها $\lambda1$ = ۱۵۵۰/۱۵، $\lambda2$ = ۱۵۵۰/۹۵ نانومتر، $\lambda3$ = ۱۵۵۱/۷۵ و $\lambda4$ = ۱۵۵۲/۵۵ نانومتر و $\Delta\lambda$= ۰/۸۰ نانومتر بوده وسطح توان بین ۷۴- تا ۵۰- dbm بدست آمد.

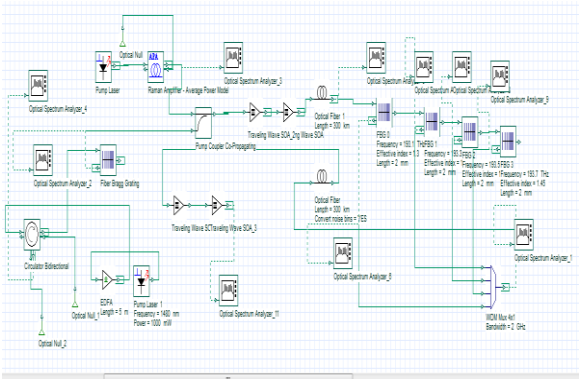


شکل ۱۲. طیف خروجی بازگشتی حسگرها در واحد نظارت در شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای دوربرد ۲۰۰ کیلومتری

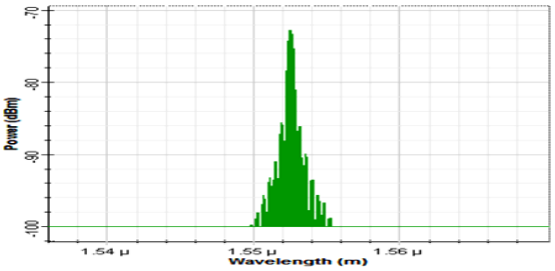
همان طور که در شکل های ۱۰-۱۲ دیده می شود،OSNR در کمترین وبیشترین حالت بین ۱۲ تا ۱۶ dbmاست،که این نشان دهنده یک طیف بازگشتی مسطح و قابل قبول می باشد. در مقایسه با طراحی قبلی توان سیگنال تقریبا ثابت ولی نسبت OSNRدر حالت حد اکثر۴dbmکاهش یافت.این در حالی است که ۱۰۰کیلومتر افزایش مسیر داشته وطیف مسطح تر شده است.

۴-۷. طراحی و استفاده از چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه توری های براگ فیبری در حسگرهای دور برد پیشرفته در فاصله ۳۰۰ کیلومتری از ایستگاه مانیتورینگ

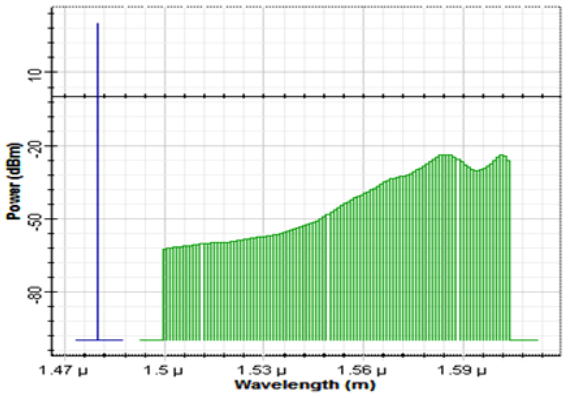
طی آزمایشهای بعمل آمده در شبیه سازی،مشخص شدکه نمی توان برای رسیدن به بردهای بیشتراز مدارهایی که تاکنون طراحی شده استفاده نمود.لذا دست به طراحی جدیدی زده که در آن بتوان علاوه بر افزایش سطح توان سیگنال ازOSNR بیشتری بهره ببریم.برای این منظور با تولید یک لیزر کوک شده و ترکیب آن با پمپ رامان ونتیجتا ایجاد انبساط در طول مسیر ۳۰۰ کیلومتری به این هدف دست پیدا شد.



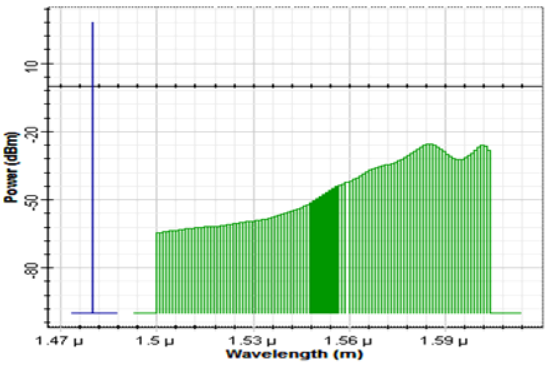
شکل ۱۳. مدار شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای دوربرد ۳۰۰ کیلومتری توری براگ



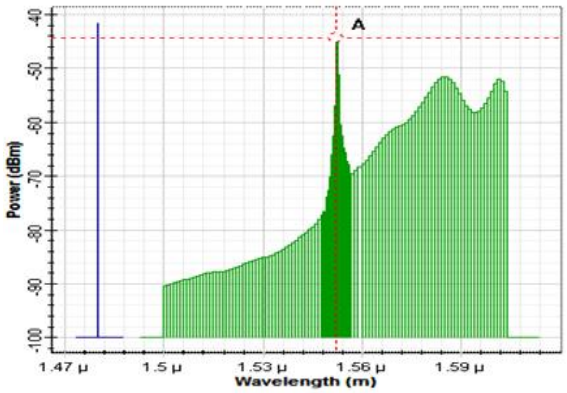
شکل ۱۴. طیف لیزر کوک شده در شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای دوربرد ۳۰۰کیلومتری



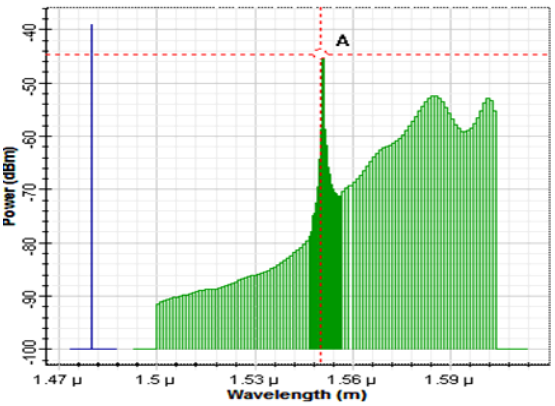
شکل ۱۵. طیف خروجی تقویت کننده رامان در شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای دوربرد ۳۰۰کیلومتری



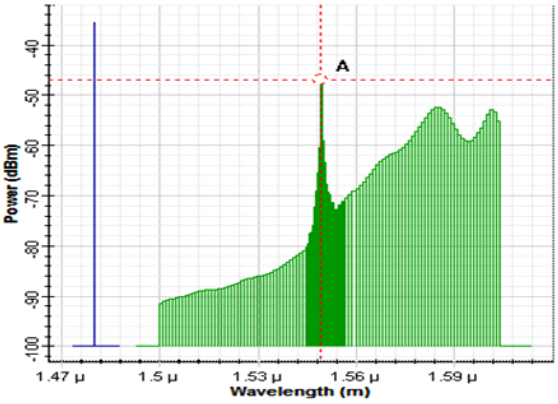
شکل ۱۶. طیف ترکیبی رامان و لیزر کوک شده در شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای دوربرد ۳۰۰کیلومتری



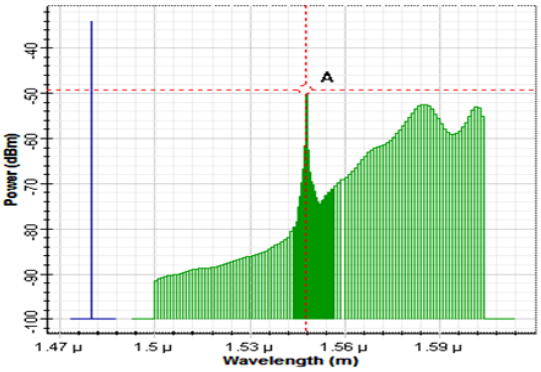
شکل ۱۷. طیف بازتابی حسگر اول در شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای سریال دوربرد ۳۰۰کیلومتری



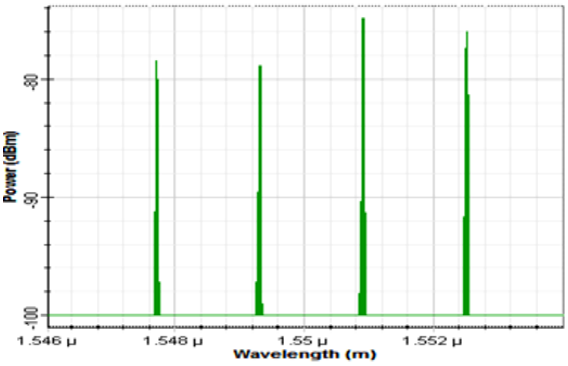
شکل ۱۸. طیف بازتابی حسگردوم در شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای دوربرد ۳۰۰کیلومتری



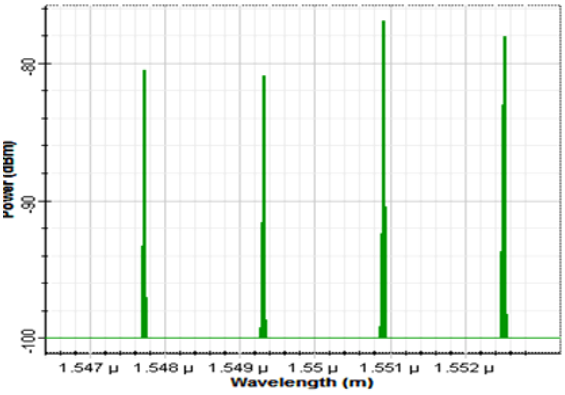
شکل ۱۹. طیف بازتابی حسگر سوم در شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای سریال دوربرد ۳۰۰ کیلومتری



شکل ۲۰. طیف بازتابی حسگر چهارم در شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای دوربرد ۳۰۰کیلومتری



شکل ۲۱. طیف بازگشتی کوک پذیر در واحد حسگرها در شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای سریال دوربرد ۳۰۰کیلومتری

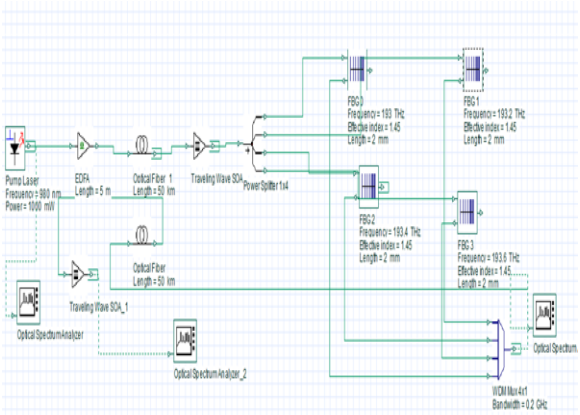


شکل ۲۲. طیف بازگشتی کوک پذیر در ایستگاه نظارت در شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای سریال دوربرد ۳۰۰کیلومتری

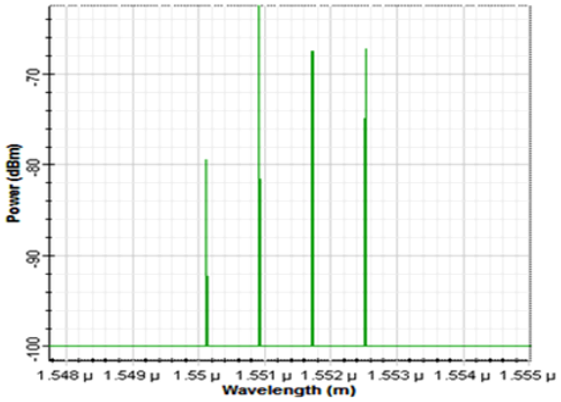
همانطور که شکل های ۱۳-۲۲ نشان می دهد بیشترین مسافت ممکن که در این پروژه توانستیم طیف خروجی خوب وقابل قبولی هم در واحد حسگرها وهم در ایستگاه نظارت بدست آوریم، برابر با ۳۰۰ کیلومتر فاصله از ایستگاه نظارت بود.هرچند بدلیل پیچیدگی مدار و افزایش مسیرکاهش توان دیده می شود ولی در عوض نسبت OSNRخوبی بدست آمد.در این مرحله برای رسیدن به این نتیجه از یک لیزر کوک پذیر با پهنای باند مناسب و یک تقویت کننده رامان در ایستگاه مبدا استفاده نمودیم. طیف ایجاد شده توسط تقویت کننده رامان باعث انبساط کانال انتقالی شده وکمک می کند تا لیزر کوک شده راحتتر به اخر مسیر برسد. در این آزمایش از لیزر کوک شده با پهنای باند مناسب استفاده شدتا به خاطر طول بسیار زیاد خط انتقال ،اثر پراکندگی برلیوئنی تقویت شده(SBS)باعث از بین رفتن طیف ارسالی نشود. فرناندز در مقاله خود بیا ن نموده است که طولانی ترین فاصله ی که توسط یک سیستم سنسور FBG برای یک واحد تحت پوششFBG قرار گرفته، ۲۳۰ کیلومتر وOSNRچهار دسی بل بوده که او توانسته آنرا به ۲۵۰ کیلومتر و OSNR ۶تا ۸ دسی بل برساند [۱۱]. در این طراحی این مسافت به ۳۰۰ کیلومتر رسیده واین در حالی است که OSNRحداکثر ۴ دسی بل می باشد.

۷-۵. طراحی و استفاده از چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه توری های براگ فیبری در حسگرهای دور برد پیشرفته در فاصله ۵۰ کیلومتری از ایستگاه مانیتورینگ بصورت موازی

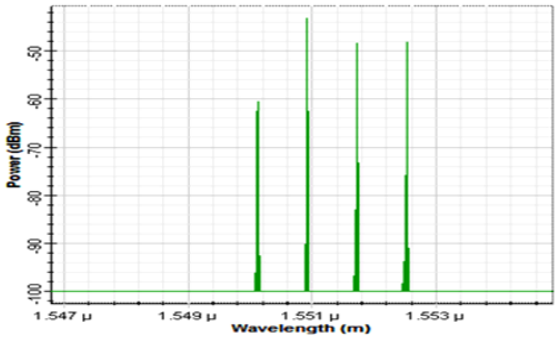
همانطور که شکل های ۲۳-۲۵ نشان می دهد در این مرحله طیف سیگنال بازتابی FBGها در ۵۰ کیلومتری از ایستگاه نظارت که طول موج مرکزی آنها λ1 = ۱۵۵۰/۱۵، λ2 = ۱۵۵۰/۹۵ نانومتر، λ3 = ۱۵۵۱/۷۵ و λ4 = ۱۵۵۲/۵۵ نانومتر و Δ λ= ۰/۸۰ نانومتربوده است. برعکس مرحله اول که به صورت سری بوده است، اصلا مسطح نبوده و بنابراین در تحقیق از پیکربندی سریال حسگرها استفاده شد و این مرحله صرفا به عنوان یک نمونه و یافته اضافی تحقیق جهت مقایسه با اهداف اصلی تحقیق ارائه شده است.



شکل ۲۳. مدار خروجی نرم افزار OptiSystem در شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای موازی دوربرد ۵۰ کیلومتری



شکل ۲۴. طیف خروجی بازگشتی در واحد حسگرها در شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای موازی دوربرد ۵۰ کیلومتری



شکل ۲۵. طیف خروجی بازگشتی در ایستگاه نظارت در شبیه سازی مانیتورینگ حسگرهای موازی دوربرد ۵۰ کیلومتری

در این قسمت نتایج بدست آمده از امکان سنجی طراحی و شبیه سازی استفاده از چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه توری های براگ فیبری در حسگرهای دور برد با استفاده از نرم افزار OptiSystem براساس اهداف تحقیق به ترتیب ارایه شد.

۸- نتیجه‌گیری و پژوهش‌های آتی

در تحقیق حاضر طراحی و استفاده از چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه توری های براگ فیبری در حسگرهای دور برد پیشرفته در فواصل ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلومتری بررسی شد. بطور خلاصه نتایج بدست آمده نشان داد که در فاصله ۵۰ کیلومتری خروجی بازتابی از FBGها که طول موج مرکزی آنها ۱۵۴۷/۷۵ = λ1 نانومتر، ۱۵۴۹/۲۵ = λ2 نانومتر، ۱۵۵۰/۹۰ = λ3 و ۱۵۵۲/۵۰ λ4 = نانومتربوده، بصورت یکنواخت وتوانی برابر-30dbm در واحد حسگرها و-40dbm در ایستگاه مانیتورینگ دیده می شود. در فاصله ۱۰۰ کیلومتری ازایستگاه نظارت طیف سیگنال بازتابی FBGها که طول موج مرکزی آنها ۱۵۵۰/۱۵ = λ1، ۱۵۵۰/۹۵ λ2 = نانومتر، ۱۵۵۱/۷۵ = λ3و ۱۵۵۲/۵۵ = λ4نانومتر و ۰/۸۰ =Δλ نانومتر بوده، سطح سیگنالها تقریبا مسطح وخوب است.طیف سیگنال بازتابی FBGها در ۲۰۰ کیلومتری از ایستگاه نظارت که طول موج مرکزی آنها ۱۵۵۰/۱۵ = λ1، ۱۵۵۰/۹۵ = λ2 نانومتر، ۱۵۵۱/۷۵ = λ3و ۱۵۵۲/۵۵ = λ4نانومتر و ۰/۸۰ =Δλ نانومتر بوده، سطح سیگنالها کاملا مسطح وخوب می باشد. در مسافت ۳۰۰ کیلومتری طیف خروجی خوب وقابل قبولی هم در واحد حسگرها وهم در ایستگاه نظارت بدست آمد. در این مرحله برای رسیدن به این نتیجه از یک لیزر کوک پذیر با پهنای باند مناسب و یک تقویت کننده رامان در ایستگاه مبدا استفاده شد. طیف ایجاد شده توسط تقویت کننده رامان باعث انبساط کانال انتقالی شده وکمک می کند تا لیزر کوک شده راحتتر به اخر مسیر برسد. در این آزمایش از لیزر کوک شده با پهنای باند مناسب استفاده شد تا به خاطر طول بسیار زیاد خط انتقال اثر پراکندگی برلیوئینی تحریک شده(SBS)باعث از بین رفتن طیف ارسالی نشود. در فاصله ۵۰ کیلومتری بصورت موازی طیف سیگنال بازتابی FBGها در ۵۰ کیلومتری از ایستگاه نظارت که طول موج مرکزی آنها ۱۵۵۰/۱۵ = λ1، ۱۵۵۰/۹۵ λ2 = نانومتر، ۱۵۵۱/۷۵ = λ3و ۱۵۵۲/۵۵ = λ4نانومتر و ۰/۸۰ =Δλ نانومتر بوده، برعکس مرحله اول که به صورت سریال بوده است، اصلا مسطح نبوده و بنابراین در مراحل بعدی تحقیق، از پیکربندی سریال حسگرها استفاده شده است و این مرحله صرفا به عنوان یک نمونه و یافته اضافی تحقیق جهت مقایسه با اهداف اصلی تحقق ارائه شد. بطور کلی چنین نتیجه گیری شد که همان طورکه ازتحقیقات پیشین بدست آمد،بیشترین فاصله ممکن که بتوان ازلیزرکوک پذیربرپایه توری براگ درحسگرهای دوربردپیشرفته استفاده نمود،از ۲۳۰ تا ۲۵۰ کیلومتر تجاوز نمی کرد. واین به خاطر پراکندگی برلیوئینی تحریک شده(SBS)درطیف لیزر ارسالی و نتیجتا تضعیف سیگنال نوری ارسال شده بود.بطوریکه درمسافتهای بیش از ۲۵۰ کیلومترنسبتOSNRسیگنال به کمتراز۶ dbm می رسید. مادراین تحقیق باافزایش پهنای باند لیزرکوک پذیروبا استفاده ازانبساط طول کانال فیبرنوری تک مد(SMF) توسط تقویت کننده رامان توانستیم این فاصله راحدود ۵۰ تا ۷۰ کیلومترافزایش داده وحداکثرفاصله ممکن برای استفاده ازچشمه های لیزری کوک پذیربرپایه توری براگ درحسگرهای دوربردپیشرفته را به ۳۰۰ کیلومتر برسانیم.

۸-۱. محدودیت های پژوهش

در تحقیق حاضر امکان سنجی طراحی و استفاده از چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه توری های براگ فیبری در حسگرهای دور برد پیشرفته به مسافت های ۵۰ ، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلومتری محدود شده است. این تحقیق را می توان در فواصل دیگر نیز انجام داد و در فواصل بیشتر ممکن است نتایج دیگری بهمراه داشته باشد. همچنین این تحقیق محدود به پایه توری های براگ فیبری انجام شده است و اگر شرایط تغییر کند نتایج متفاوت خواهد بود. از طرفی طراحی و شبیه سازی با استفاده از چند نرم افزار خاص که مفصل در فصل سوم توضیح داده شده است انجام شده و اگر با نرم افزارهای دیگر این شبیه سازی انجام شود احتمال دارد نتایج متفاوتی به همراه داشته باشد.

۸-۲. پیشنهادهای پژوهشی

در تحقیق حاضر طراحی و شبیه سازی استفاده از چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه توری های براگ فیبری در حسگرهای دور برد پیشرفته انجام شده است. این تحقیق می تواند در صنایع مختلف بصورت خاص انجام شود به عنوان مثال در موارد زیر:

- طراحی و شبیه سازی استفاده از چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه توری های براگ فیبری در حسگرهای دور برد پیشرفته در صنعت پتروشیمی

- طراحی و شبیه سازی استفاده از چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه توری های براگ فیبری در حسگرهای دور برد پیشرفته در صنعت مخابرات
- طراحی و شبیه سازی استفاده از چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه توری های براگ فیبری در حسگرهای دور برد پیشرفته در صنعت ساختمان

- طراحی توریهای براگ مختلف در حسگرهای دوربرد کم اتلاف
- طراحی و شبیه سازی حسگرهای دوربرد پیشرفته با تعداد بیشتر از ۴عدد FBG

۸-۳. پیشنهادهای کاربردی

نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر کاربردهای زیادی می تواند داشته باشد. به عنوان نمونه پیشنهاد می شود نتایج تحقیق حاضر به صورت کاربردی در این موارد بکار گرفته شود: ساخت هواپیما، سیستم سنسورهای نور، فشار، دما یا درجه حرارت، همچنین کاربردهای پزشکی و سلامت سازه می تواند داشته باشد. در صنایع مختلف می توان از نتایج این تحقیق در نظارت وکنترل تجهیزاتی که در فواصل خیلی دورو غیر قابل دسترس میباشند وامکان استفاده از منابع تغذیه برای راه اندازی سنسورهای غیر نوری در آنجا وجود ندارد استفاده نمود.همچنین از این سنسورهای توری براگ فیبر نوری می توان در مسافتهای فوق زیاد که به سرعت زیادی برای تشخیص نیاز است نیز استفاده نمود.

۵- منابع

[1] *Larson MC, 4 Aug. 2016. Tunable Laser Source. Patent. Original Assignee: Lumentum Operation LIc. Application No.: US 15/094,591. Publication No.: US20160226218 A1.*

[2] *Balogun O. 2009. A fiber Bragg grating based tunable laser source for quasi-static and dynamic strain monitoring Article in Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. MarchDOI: 10.1117/12.815651*

[3] *Liang SH, Li X, Wang J. 2012. Advanced Remote Sensing: Terrestrial Information Extraction and Applications. 1st Ed. Academic Press.*

[4] *Senior J. 2009. Optical Fiber Communications: Principles and Practice, 3rd Ed., Prentice Hall International, UK.*

[5] *Kao KC, Hockham GA.1966. "Dielectric-Fibre Surface Waveguides for Optical Frequencies", Proc. IEEE, Vol. 113 (7), pp. 1151-1158. doi:10.1049/piee.1966.0189*

[6] *Noda J, Okamoto K, Sasaki Y. 1986. "Polarization-Maintaining Fibers and Their Applications", J. Lightwave Technol., Vol 4, No. 8, pp. 1071-1089, doi: 10.1109/JLT.1986.1074847*

[7] *Pal BP.2009. "Fundamentals of Fibre Optics in Telecommunication and Sensor Systems", New Age International (P) Limited, Publishers, New delhi.*

[8] *Riant I, Haller F. 1997. "Study of the photosensitivity at 193 nm and comparison with photosensitivity at 240nm influence of fiber tension:Type IIA aging,"IEEE Journal of Lightwave Technology,Vol.15, pp.1646-1649.*

[9] *St.J.Russell P, Ulrich R. 1985. "Grating fiber-coupler as a high-resolution spectrometer, "Optics Letters,Vol.10, Pp 291-293.*

[10] *Prohaska JD, et al. 1993. "Magnification of mask fabricated fiber Bragg gratings,"Electronics Letters,Vol. 29, pp.1614-1616.*

[11] *Fernandez-Vallejo M, Rota-Rodrigo S, Lopez-Amo M. 2011. Remote (250 km) Fiber Bragg Grating Multiplexing System. Sensors. 11, 8711-8720. Doi: 3390/s110908711.*

[12] *Hu L, Dong X, Zhang SH, Jin SH, Wang Y, Chan CH CH, Shum P. 2012. Fiber Bragg Grating-Based Load Sensor Without Temperature Dependence. Microwave and Optical Technology Letters. Vol. 54, No. 4, 930-933. DOI 10.1002/mop. Address: http://cdpt.ntu.edu.sg/Documents/mop%2054%20930.pdf*

[13] *Fernandez-Vallejo M, Lopez-Amo M. 2012. Optical Fiber Networks for Remote Fiber Optic Sensores. Sensors (Basel). Vol 12, No.4: 3929-3951.*

[14] *Mehrani E, Ayoub A, Ayoub A.2009. Evaluation of Fiber Optic Sensors for Remote Health Monitoring of Bridge Structures. Mater. Struc. 42, 183-199.*

[15] *Urquhart P.1992. Review of Rare Earth Doped Fibre Lasers and Amplifiers", IEE*

Proc., Pt. J Vol 036, No. 5, pp. 386-417, 0088.

[16] Mukasa K, Akasaka Y, Suzuki Y, Kamiya T. 1997. "Novel Network Fiber to Manage Dispersion at 0566 mm With Combination of 053 mm Zero Dispersion Single Mode Fiber", Proc. of ECOC'07, MO3C-027.

[17] Sugizaki R, Akasaka Y, Arai S, Furukawa K, Suzuki Y, Kamiya T, Hondo H. 1995. "High-Reliability Dispersion Compensator Using Negative Slope DCF, IWCS '05, pp. 888-889.

[18] Xie WX,et al. 1993. ''Experimental evidence of two types of photorefractive effects occurring during photoinscriptions of Bragg gratings written within germanosilicate fibers,''Optic Communications, Vol.104, pp.185-195.

[19] Archambault JL, Reekie L, Russell PSt J. 1993. ''100% reflectivity Bragg reflectors produced in optical fibres by single excimer laser pulses ,''Electronics Letters,Vol.29, pp.453.455.

[۲۰] امینی م. ۱۳۹۰ . طراحی و شبیه سازی فیبر نوری توری براگ حسگر فشار. پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک گرایش فوتونیک. دانشگاه گیلان: دانشکده علوم پایه. استاد راهنما: مشایخی ح ر.

محمد رضا عاصمی مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق گرایش قدرت از دانشگاه آزاد نجف آباد و مدرک کارشناسی ارشد خود را در رشته برق گرایش الکترونیک از دانشگاه آزاد واحد خوراسگان اخذ کرده است. ایشان در حال حاضر به عنوان دبیر هنرستان در آموزش و پرورش استان اصفهان در زمینه های آموزشی و پژوهشی مورد علاقه خود مشغول به کار هستند.

دکتر شریفه شاهی کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را از دانشگاه اصفهان و دانشگاه تهران در رشته فیزیک کاربردی گرایش اتمی- مولکولی اخذ کرده است. ایشان دکتری لیزر و فوتونیک خود را از مرکز تحقیقاتی لیزر و فوتونیک دانشگاه دولتی یوام مالزی اخذ کرده است واکنون مدیر مرکز تحقیقات لیزر و فوتونیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان هستند. زمینه های مطالعاتی - تحقیقاتی ایشان در زمینه : اپتیک و لیزر، فیبر نوری (تقویت کننده های فیبری، لیزر فیبری، سنسور فیبری) و مخابرات فیبر نوری و...(اپتو الکترونیک ، بیو فوتونیک، نانوفوتونیک و لیزر پزشکی) است.

حوریه انصاری مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق گرایش الکترونیک از دانشگاه آزاد اسلامی واحد نایین اخذ کرده‌اند. ایشان هم اکنون به عنوان دبیر در آموزش و پرورش استان اصفهان مشغول به تدریس و تحقیق در زمینه های مورد علاقه خود هستند .

روش ارجاع: م.عاصمی، ش.شاهی، ح. انصاری، طراحی وامکان سنجی چشمه های لیزری کوک پذیر بر پایه توری براگ فیبری درحسگرهای دور برد پیشرفته. فصلنامه محاسبات و سامانه های توزیع شده ،سال پنجم، شماره۲، شماره پیاپی۱۰، صفحه ۱ تا ۱۵، سال ۱۴۰۱

How to cite: M.R.Asemi, Sh.Shahi, H.Ansari, Design and Feasibility Study of Tunable Fiber Bragg Grating Laser Sources in Advanced Long-Range Sensors, Journal of Distributed Computing and Systems(JDCS), Vol 5, Issue 2, Page 1-15, 2023.