فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل

سال نهم، شماره ٤، زمستان ١٣٩٧، (پیاپی ٣٦): صص ١٠٣-٩٣

حسگر توزیعی فیبر نوری حساس به فاز در اقدامات پدافند غیرعامل

عبداله ملک‌زاده[1*]، رسول پاشایی[2]، محسن منصور سمایی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۲۵

چکیده

پایش ایمنی سازه‌ها و بناهای مهم نظیر پل، سد، مترو و راه آهن، فرودگاه، همچنین خطوط لوله انتقال انرژی و نیز پایش امنیت محیط‌هایی همچون مرزها و مراکز حساس و ... به منظور کاهش خسارت هنگام بلایای طبیعی و غیرطبیعی می‌تواند از موارد مورد توجه پدافند غیرعامل باشد. روش‌های متنوعی نظیر استفاده از شتاب‌سنج‌ها، رادارها و سامانه‌های تشخیص لرزش که با GPS کار می‌کنند به منظور پایش امنیت پل، تونل و سد، استفاده از رادارها برای پایش باند فرودگاه، استفاده از روش‌های مختلف ارتباط بی‌سیم در خطوط ریلی و نیز تشخیص نشتی خطوط لوله انرژی و... به‌کار گرفته می‌شوند تا خسارات ناشی از حوادث کاهش یابد. مطمئن‌ترین و نوین‌ترین روش دستیابی به این هدف استفاده از حسگر توزیعی فیبر نوری حساس به فاز بر مبنای پراکندگی رایلی می‌باشد. در این حسگرها از تقویت‌کننده اربیوم و پراکندگی‌های رامان و بریلوئن القایی، به‌منظور افزایش محدوده حسگری استفاده می‌شود. در چیدمان‌های اولیه از این حسگر، محدوده سنجش با استفاده از تقویت‌کننده اربیوم به km ۶ رسید. بیشترین مسافت سنجش متعلق به استفاده ترکیبی از تقویت‌کننده‌های اربیوم و بریلوئن می‌باشد که km ۳۰۰ است. علاوه‌بر طول حسگری بالا، دقت و حساسیت مناسب این دسته از حسگرها توجه محققان و مسئولین جوامع مختلف را به‌ویژه به منظور اقدامات پدافندی غیرعامل به خود جلب کرده است.

کلیدواژه‌ها: پدافند غیرعامل، حسگر توزیعی، پراکندگی رایلی، OTDR حساس به فاز، تقویت‌کننده اربیوم، تقویت‌کننده رامان، تقویت‌کننده بریلوئن

۱- استادیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، (afard77@gmail.com)- نویسنده مسئول
۲- دانشجوی دکتری، دانشگاه علم و صنعت ایران
۳- دانشجوی دکتری، دانشگاه جامع امام حسین(ع)

۱- مقدمه

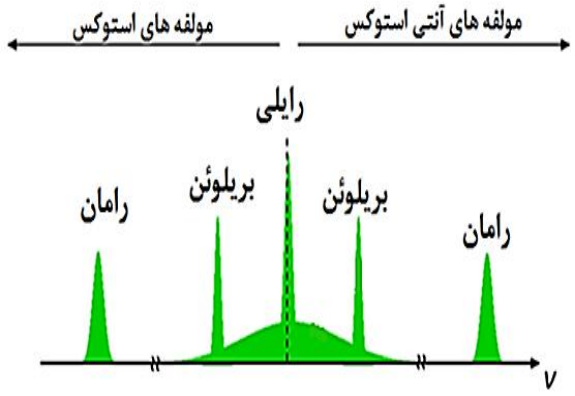
پدافند غیرعامل مجموعه اقداماتی است که مستلزم به‌کارگیری جنگ‌افزار نبوده و با اجرای آن می‌توان از وارد شدن خسارات و تلفات به یک کشور جلوگیری نمود و یا میزان این خسارات را به حداقل ممکن کاهش داد [۱]. پدافند غیرعامل را می‌توان به‌عنوان یک نیاز فطری و سامانه دفاعی ذاتی تلقی کرد که خداوند متعال در نهاد و خلقت جانداران قرار داده است که می‌توانند بر اساس اصول اختفاء، استتار، پوشش و یا فریب به دفاع از خود و دفع تهاجم بپردازند. اقدامات پدافند غیر عامل، فرآیند حیاتی و پیش‌گیرانه‌ای است که می‌بایست در زمان آرامش، شروع و تا پایان وقوع بحران و تهدید ادامه یابد، لذا رویکرد مدیریتی و نحوه مقابله با آن، رویکرد پیش‌گیرانه می‌باشد [۲].

پایش امنیت سازه‌هایی همچون پل‌ها، سدها، خطوط ریلی و فرودگاه‌ها، هم‌چنین نظارت بر خطوط انتقال انرژی، پایش محیط‌ها و مراکز حساس امنیتی مانند مرزها، زندان‌ها، نیروگاه‌ها و ... در حوزه وظایف حیاتی پدافند غیرعامل می‌باشد. تجهیزات استفاده شده در این زمینه‌ها به مرور زمان به تکامل رسیده و از سامانه‌های عمدتا مکانیکی کند و کم دقت به سیستم‌های پایش الکترونیکی دقیق با حساسیت بالا رشد نموده است. نقاط ضعف آنها برطرف شده و امروزه سامانه‌های نوین‌تر و کارآمدتر ترکیبی الکترونیکی و اپتیکی به صورت حسگرهای فیبر نوری توزیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. ویژگی‌هایی از قبیل عدم نیاز به ارتباط الکتریکی از طریق سیم و متعاقبا عدم وابستگی به تداخل امواج الکترومغناطیسی، سرعت عمل بالا، حساسیت بالا، ابعاد کوچک، انعطاف‌پذیری، صرفه‌ی اقتصادی و ... حسگرهای فیبر نوری توزیعی را نسبت به سایر حسگرها بیشتر تحت توجه قرار داده است [۳].

بعد از دو دهه تحقیق و بررسی در حوزه حسگرهای توزیعی فیبر نوری، اکنون این حسگرها به پیشرفت‌های قابل توجهی رسیده‌اند. دقت فوق‌العاده بالا و زمان پاسخ‌دهی اندک از جمله عواملی هستند که حتی بسیاری از کشورهای پیشرفته دنیا استفاده از این فناوری را به بسیاری از روش‌های دیگر ترجیح داده‌اند [۵-۴]. اساس حسگرهای فیبر نوری بر پایه فناوری فیبر است که برای تشخیص کمیت‌هایی نظیر فشار، لرزش و ... از آن‌ها استفاده می‌شود. در این مقاله ما به بررسی کاربرد حسگر توزیعی حساس به فاز برمبنای پراکندگی رایلی خواهیم پرداخت که یکی از انواع این حسگرهای فیبری است. حساسیت بسیار بالا و همچنین بالابودن محدوده سنجش در این حسگر در مقایسه با سایر حسگرهای توزیعی فیبر نوری موجب مقبولیت هرچه بیشتر آن‌ها به ویژه به منظور اقدامات پدافندی غیرعامل شده است [۶]. برای آشنایی بیشتر با این حسگرها ابتدا لازم است تا در مورد پراکندگی نور در فیبر و انواع آن‌ها بیشتر بدانیم.

۲- پراکندگی در فیبر نوری

هر موج نوری هنگام عبور از یک محیط مادی دچار اتلاف می‌شود. این اتلاف به عوامل متعددی بستگی دارد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها پراکنده شدن نور است. پراکندگی نور پیامد افت و خیز خواص نوری محیط انتشار می‌باشد [۷]. در پراکندگی اپتیکی قسمت عمده فوتون‌های نور بصورت کشسان پراکنده می‌شوند بدین معنی که طول موج نور تغییر نمی‌کند یا تغییری در انرژی فوتون نوری روی نمی‌دهد بلکه فقط جهت آن تغییر می‌کند مانند پراکندگی رایلی، درحالی که برای کسری از فوتون‌ها که به صورت غیر الاستیک پراکنده می‌شوند علاوه بر جهت، طول موج (و انرژی) نیز تغییر می‌کند. پراکندگی‌های رامان و بریلوئن عمده‌ترین پراکندگی‌های غیرکشسان نور در فیبر می‌باشند. در شکل (۱) شماتیک طیف نور پراکنده شده که شامل مولفه‌های پراکندگی رایلی، رامان و بریلوئن می‌باشد نشان داده شده است [۸].



شکل (۱): طیف نور پراکنده شده از فیبر.

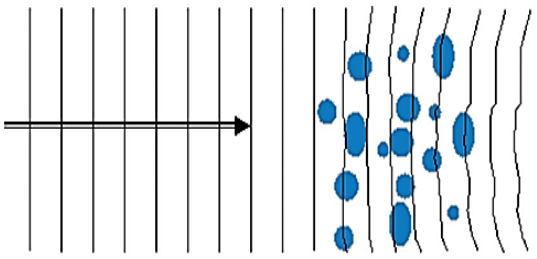
پراکندگی رامان بر اثر برهم‌کنش نور با نوسانات مولکول‌های محیط (فیبر) تولید می‌شود. این پراکندگی به‌صورت پراکندگی نور از فونون‌های اپتیکی نیز توصیف می‌شود. در این پراکندگی تغییر فرکانس از مرتبه تراهرتز می‌باشد. مولفه‌های نور پراکنده شده که به سمت فرکانس‌های بالاتر جابجا می‌شوند و دارای انرژی بیشتری هستند، مولفه‌های آنتی‌استوکس و مولفه‌هایی که به سمت فرکانس پایین‌تر تغییر می‌کنند و انرژی کمتری دارند، مولفه‌های استوکس نامیده می‌شوند. بریلوئن، پراکندگی نور از نوسانات چگالی است که باعث تولید فونون‌های آکوستیکی و میدان‌های استوکس می‌شود. فرکانس این میدان استوکس نسبت به نور فرودی به اندازه فرکانس

موج آکوستیکی جابه‌جا می‌شود. به این جابجایی فرکانسی، جابجایی فرکانس بریلوئن می‌گویند. همانند پراکندگی رامان، در بریلوئن نیز مولفه‌های پراکنده شده با دو عنوان استوکس و آنتی استوکس نام گذاری می‌شوند. پراکندگی غالب در فیبرها رایلی نام دارد که در شرایط عادی ۹۹٪ از حجم پراکندگی‌های رخدادی را به خود اختصاص می‌دهد [۹].

حسگرهای فیبر نوری برای انجام عمل حسگری از نور پراکنده شده در فیبر بهره می‌برند. حسگرهای استفاده‌کننده از پراکندگی رامان، حسگرهای دمایی و حسگرهای بهره‌گیرنده از پراکندگی بریلوئن نیز حسگرهای اختلال‌سنج با حساسیت نسبتا پایین اما دقت تفکیک فضایی بالا هستند که در محدوده‌های سنجش کوتاه استفاده می‌شوند. از پراکندگی رایلی در حسگرهای اختلال‌سنج با حساسیت و طول سنجش بالا و نیز دقت تفکیک مناسب استفاده می‌شود. همین ویژگی‌ها، کاربردهای گوناگون حسگرهای بر مبنای پراکندگی رایلی در حوزه پدافند غیرعامل را توسعه داده است.

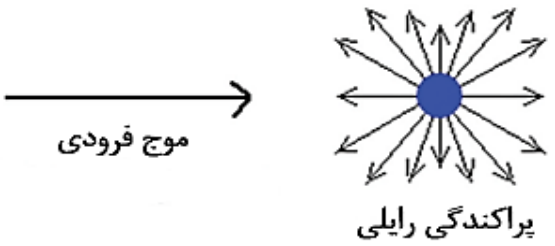
۲-۱- پراکندگی رایلی

پراکندگی رایلی به‌عنوان یک فرایند رخدادی برای پرتو انتشاری در محیط تلقی می‌شود که از ناهمگنی تصادفی که به صورت تغییرات ضریب شکست شامل: تغییرات چگالی، تغییرات ترکیب محیط و دیگر بی‌نظمی‌ها می‌باشد، ظاهر می‌شود [۳ و ۸]. شکل (۲) ناهمگنی در یک فیبر که با ایجاد تغییر در ضریب شکست به عنوان مراکز پراکندگی برای پراکندگی رایلی عمل می‌کند را نشان می‌دهد.



شکل (۲): ناهمگنی در فیبر نوری.

در پراکندگی رایلی مطابق شکل (۳)، نور فرودی از مرکز پراکندگی با یک الگوی تابشی شبیه به یک دو قطبی الکتریکی در تمام جهات متفرق می‌شود. لازمه وقوع پراکندگی رایلی این است که مراکز پراکندگی اندازه‌ای کوچکتر از طول موج پرتو فرودی داشته باشند. حسگرهای فیبر نوری براساس نقاط اندازه‌گیری به ۳ دسته نقطه‌ای، تسهیمی و توزیعی تقسیم می‌شوند. حسگرهای نقطه‌ای و تسهیمی به ترتیب برای پایش یک و چند نقطه در یک محیط استفاده می‌شوند در حالی که در حسگرهای توزیعی تمام طول فیبر بسان بی‌شمار حسگر نقطه‌ای عمل می‌کند و از کاربرد بسیار بالاتری نسبت به بقیه برخوردارند [۱۰].



شکل (۳): متفرق شدن نور به‌وسیله پراکندگی رایلی.

۳- حسگر فیبر نوری توزیعی

حسگرهای فیبر نوری توزیعی می‌توانند از تمام طول فیبر هم به عنوان محیط انتقال و هم به‌عنوان محیط سنجش استفاده کنند به گونه‌ای که به‌طور همزمان هر دوی اطلاعات زمانی و فضایی را در هر نقطه از فیبر به‌دست دهند [۱۱-۱۴]. حسگرهای توزیعی از ادواتی همچون لیزر، فیبر نوری و سایر ابزارهای الکترواپتیکی تشکیل شده‌اند. از آنجایی که نور با پارامترهایی مانند: شدت، فاز، فرکانس و قطبش تعیین می‌شود، زمانی که حسگر در معرض اختلالاتی در قالب فشار، تنش، دما و ... قرار می‌گیرد، یک یا چند مورد از این پارامترها ممکن است دچار تغییر گردند. کارآیی حسگر توزیعی فیبر نوری به توانمندی آن در اندازه‌گیری تغییرات این پارامترها بستگی دارد. از جمله مزایای این حسگرها، می‌توان به عدم وابستگی به تداخل امواج الکترومغناطیسی، ابعاد کوچک، انعطاف‌پذیری و صرفه اقتصادی آن‌ها اشاره کرد [۳]. روش‌های اندازه‌گیری توسط حسگرهای فیبری توزیعی را می‌توان در یک تقسیم‌بندی کلی به دو دسته در حوزه زمان و فرکانس تقسیم کرد. نتایج اندازه‌گیری این دو روش با استفاده از تبدیل فوریه قابل تبدیل به یکدیگر می‌باشند، اما روش اندازه‌گیری در حوزه زمان بسیار مورد توجه‌تر و کاربردی‌تر می‌باشد.

این روش که در اصطلاح به آن OTDR[1] می‌گویند برای اندازه‌گیری طول فیبر نوری، مکان‌یابی اتلاف نور، شکستگی‌های اتصالات فیبر نوری و ... مناسب می‌باشد. اصل زیربنایی این روش، آشکارسازی و تحلیل نور پراکنده شده از ناخالصی‌ها و نواقص در فیبر نوری است [۱۵]. به دلیل ایجاد اختلالات از جمله همراه شدن نور دریافتی با نویز که میزان صحت تشخیص را به طور قابل توجهی پایین می‌آورد، روش آشکارسازی نور پس‌پراکنده در خلاف جهت نور فرودی (از همان ابتدای فیبر) مرسوم می‌باشد [۱۶]. حسگرهای

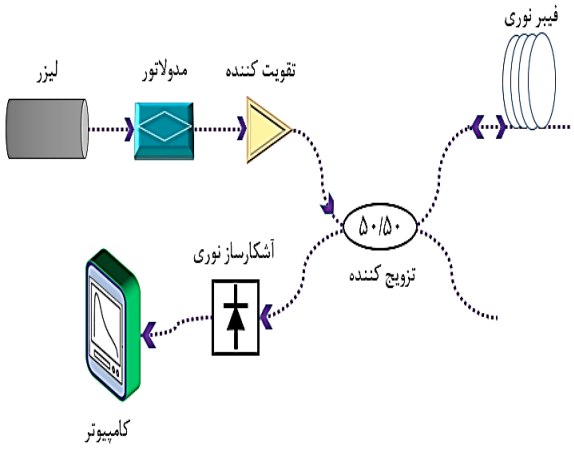
1- Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)

بر پایه پس پراکندگی رایلی در ۳ دسته OTDR معمولی، حساس به قطبش و حساس به فاز تقسیم‌بندی می‌شوند که با توجه به این‌که نوع حساس به فاز آن بالاترین دقت برای سنجش اختلالات را دارا می باشد این نوع حسگرها مد نظر ما می‌باشند. در همگی پایش‌های ... حسگرهای مورد استفاده حسگر رایلی حساس به فاز استفاده می شود.

۳-۱- حسگر حساس به فاز بر پایه پس‌پراکندگی رایلی[1]

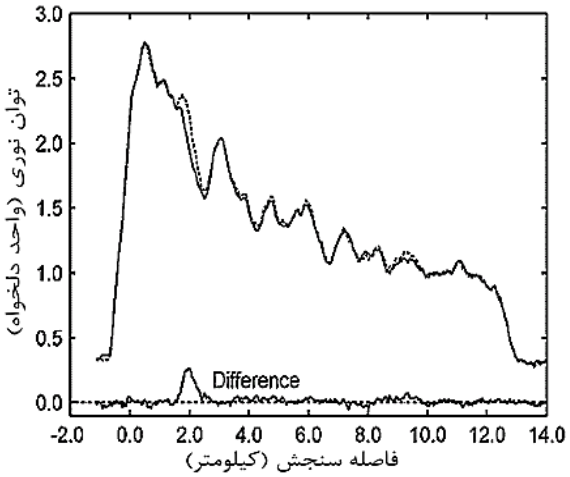
در حسگرهای فیبر نوری توزیعی حساس به فاز بر پایه پس‌پراکندگی رایلی در حین انتشار نور، درصدی از نور رایلی به سمت عقب پس‌پراکنده می‌شود. تداخل این پس‌پراکندگی‌ها در حالتی که به فیبر اختلالی وارد نشده است و حالتی که فیبر در معرض اختلال قرار گرفته است، در نظر گرفته می‌شود و با توجه به تغییر فازی که در پس‌پراکندگی‌های ناشی از تداخل به‌وجود می‌آید، موضع اختلال مشخص می‌شود [۱۷].

در چیدمان این حسگر مطابق با شکل (۴)، پالس‌های نوری از یک لیزر پیوسته کاملا همدوس به یک سر فیبر از طریق مدولاتور شدت، تزریق می‌شوند و پس‌پراکندگی رایلی در امتداد فیبر با آشکارساز نوری کنترل می‌شود.



شکل (۴): چیدمان کلی یک حسگر φ-OTDR.

زمانی که حسگر در معرض اختلال نباشد، آشکارساز یک الگوی مشخص از پس پراکندگی رایلی را نشان می‌دهد که در واقع این الگو به عنوان سیگنال مرجع ما به حساب می‌آید و با ذخیره کردن این الگو، همه سیگنال‌های دریافتی بعدی با سیگنال مرجع مقایسه می‌شوند (شکل ۵). در سیستم Φ-OTDR منبع لیزر مورد استفاده یک لیزر موج پیوسته با پهنای خط بسیار کم (همدوسی بالا) و رانش فرکانسی کم (۵-۱ مگاهرتز در دقیقه) می‌باشد. این منبع لیزری باعث می‌شود که این حسگرها اثرات تغییر فاز ناشی از هرگونه اختلالی بر روی فیبر را تشخیص دهند و در نتیجه حساسیت بسیار بالاتری به اختلال‌ها (حتی کوچکترین آنها) را از خود بروز دهند [۱۷].



شکل (۵): تغییر فاز ایجاد شده در بین سیگنال مرجع و دریافتی در فاصله ۲ کیلومتری از فیبر.

همچنین رانش فرکانسی لیزر در این سامانه یک مسئله مهم تلقی می‌شود؛ چرا که وجود یک لیزر با رانش فرکانسی بالا سبب ایجاد نویز در موج خروجی شده و شناسایی متجاوز را با مشکل مواجه می‌کند. در سیستم‌هایی که انتقال پالس و نظارت بر روی پس‌پراکندگی رایلی نور از همان انتهای فیبر صورت می‌گیرد، از یک تزویج‌کننده جهت‌دار برای جدا کردن این دو سیگنال استفاده می‌شود [۱۸].

با پردازش سیگنال می‌توانیم اختلال را شناسایی کنیم. بالا بودن طول سنجش این حسگرها یکی از ویژگی جذاب آنهاست که در ادامه به روش‌های به‌کار گرفته شده برای رسیدن به این هدف خواهیم پرداخت.

۴- افزایش محدوده حسگری

یکی از اصلی‌ترین دغدغه‌های استفاده از حسگرهای φ-OTDR، افزایش هرچه بیشتر طول سنجش آن‌ها است که این مساله با تقویت توان نور در حین انتشار قابل حصول می‌باشد. از رایج‌ترین آن‌ها می‌توان به تقویت‌کننده‌های فیبرنوری آلاییده به عناصر خاکی کمیاب اشاره کرد [۱۹]. بهترین گزینه از میان عناصر خاکی کمیاب، اربیوم است چرا که می‌تواند در پنجره مخابراتی ۱۵۵۰ نانومتر که حداقل اتلاف در فیبر را دارد، مورد استفاده قرار

1- Phase-sensitive Optical Time Domain Reflectometer

گیرد[۲۰]. EDFA[1] در چیدمان‌های مختلفی از Φ-OTDR به‌کار گرفته شد [۱۸ و ۲۳-۲۱] که حداکثر بازدهی آن افزایش محدوده سنجش به ۱۹ km با دقت تفکیک فضایی ۵۰ متر گزارش شد [۲۴]. همچنین با استفاده از تقویت‌کننده رامان که از فرایند پراکندگی القایی رامان برای تقویت سیگنال‌های انتشاریافته در طول فیبر نوری استفاده می‌کند [۲۸-۲۵] محدوده سنجش ۶۲ km با قدرت تفکیک فضایی ۱۰۰ m به‌دست آمد [۳۰-۲۹]. در یک نمونه از بررسی‌های تقویت‌کننده‌های ترکیبی اربیوم و رامان به طول سنجش ۱۸۰ km رسیدند که در حسگر Φ-OTDR همانند چیدمان‌های قبلی قابل پیاده‌سازی است [۳۱].

یکی دیگر از راه‌های افزایش محدوده حسگری استفاده از تقویت‌کننده بریلوئن است که از فرایند پراکندگی القایی بریلوئن برای تقویت سیگنال‌های انتشار یافته در طول فیبر استفاده می‌کند. مزیتی که این تقویت‌کننده نسبت به رامان القایی دارد آستانه لیزری بسیار پایین و از مرتبه میلی وات آن است، در حالی که رامان القایی، لیزری با توان در حد وات را احتیاج دارد. مزیت دیگر ۳ مرتبه بیشتر بودن بازدهی بهره در افزایش توان خروجی لیزر مربوط به بریلوئن نسبت به رامان است [۳۲]. با استفاده از ترکیب تقویت‌کننده‌های فیبری اربیوم و بریلوئن و با توجه به امکانات استفاده شده در چیدمان حسگر [۳۴-۳۳]، محدوده سنجش حسگرهای Φ-OTDR به ۳۰۰ km با قدرت تفکیک ۲۵ km رسید [۳۵]. البته با بهبود امکانات می‌توان محدوده سنجش را نیز بیشتر کرد.

۵- حسگر Φ-OTDR در حوزه پدافند غیرعامل

در این قسمت به بخشی از کاربردهای حسگر Φ-OTDR در حوزه پایش امنیت مرزها، فرودگاه‌ها، خطوط لوله انرژی، سدها و پل‌ها و تونل‌ها، خطوط ریلی و مراکز حساس در حوزه پدافند غیر عامل خواهیم پرداخت.

۵-۱- پایش امنیت مرزها

مرزها از مکان‌هایی هستند که تامین امنیت آن در تمامی زمان‌ها و بخصوص در هنگام وقوع بحران بسیار حائز اهمیت می‌باشد [۳۶] و از دیرباز تاکنون به صور مختلف محافظت شده‌اند. مرزبانی به صورت حضور فیزیکی مرزبانان و قرار دادن پست‌های مختلف دیده‌بانی، قرار دادن موانع مختلف طبیعی و دست ساز برای جلوگیری از هرگونه تجاوز، حفر خندق و کانال، ایجاد خاکریز، احداث دیوارهای قطور و نصب سیم خاردار، استفاده از دوربین‌های مختلف مرئی و طیفی و بسیاری روش‌های مشابه از روش‌های تامین امنیت مرزها بوده و می‌باشند. اما حتی چنین تمهیداتی امنیت ۱۰۰٪ را ایجاد نکرده است. در یک گزارش از مرز بین کشورهای ایالات متحده و مکزیک ۱/۱ میلیون دستگیری در طول مرز اتفاق افتاد. در حالی که این آمار تنها مربوط به ۲۰٪ از افرادی بود که به‌طور غیر قانونی از مرز گذشته بودند و از ماموران گشت مرزی حتی با داشتن امکانات فوق نمی‌توان انتظار داشت که در تمام ساعات و نقاط به طور مستمر نظارت داشته باشند [۳۷]. هزینه‌های هنگفتی نیز صرف مستحکم‌تر شدن مراقبت از این مرزها می‌شود اما نتیجه مطلوب حاصل نمی‌شود. بنابراین باید به سمت استفاده از فناوری نوین رفت. سیستم‌های حفاظتی هوشمند بر مبنای فناوری حسگر فیبر نوری بدین دلیل طراحی و ساخته شده‌اند. دقت بالا، خطای کم، کاهش تلفات انسانی بواسطه عدم حضور فیزیکی مراقبان، امکان پایش صدها کیلومتر به‌طور بر خط و زنده از ویژگی‌های این فناوری نوظهور است [۳۸].

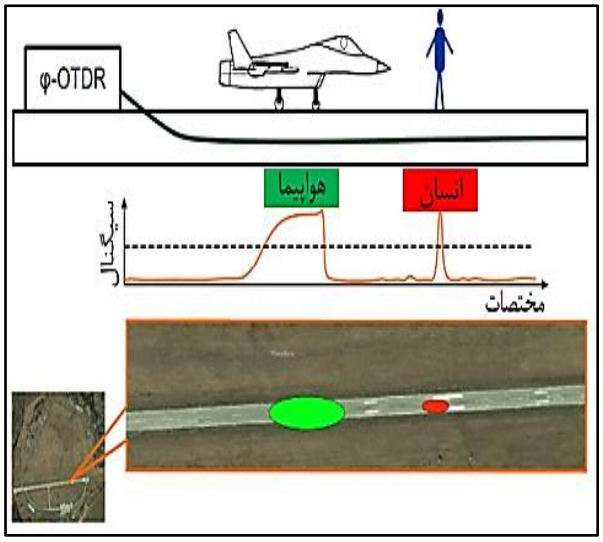
شکل (۶): استفاده از حسگر Φ-OTDR برای امنیت مرزها.

حسگر Φ-OTDR با داشتن تمامی قابلیت‌های فوق و هم‌چنین با قابلیت اختفاء کامل از ابزارهای بسیار کارآمد در پایش امنیت مرزها می‌باشد. فیبر نوری در فاصله کمی از سطح زمین دفن می‌شود [۲۱]. در شرایط عادی نوری که از داخل فیبر می‌گذرد و به آشکارسازهای این سیستم می‌رسد از فیبر مختل نشده عبور می‌کند. در صورت نزدیک شدن به یا عبور از روی این فیبر توسط انسان، وسائل نقلیه و یا هر موجودی، فیبر دچار اختلال (تنش، کرنش و ...) می‌شود و در اثر این اختلالات وضعیت نور رسیده به آشکارسازها، تغییر خواهد کرد. برخی از این سامانه‌ها چنان کالیبره شده‌اند که قادر به تمیز انسان از چهارپایان و یا وسایل نقلیه می‌باشند (شکل۶)، [۳۹]. طبق گزارش شرکت Optasense، ۵۰ کشور دنیا با استفاده از امکانات این شرکت، امنیت مرزهای خود را به کمک این حسگر تامین کرده‌اند [۴۰].

1- Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)

۵-۲- پایش امنیت فرودگاه‌ها

فرودگاه یکی از حیاتی‌ترین زیرساخت‌های حمل و نقل می‌باشد. در مواقع بحران، فرودگاه‌ها می‌توانند هم با هدف کمک‌رسانی و هم با هدف پدافندی مورد استفاده قرار گیرند. ایمنی باندهای یک فرودگاه برای فعالیت آن بسیار حیاتی می‌باشند. سوانح باندهای پروازی به دو دسته تعرض به باند پرواز و تعدی از باند پرواز تقسیم می‌شوند.



شکل (۷): استفاده از حسگر Φ-OTDR در پایش امنیت باند فرودگاه.

در سوانح ناشی از تعرض به باندهای پروازی، هواپیما دچار برخورد با هواپیمای دیگر، وسائل نقلیه در سطح باند و یا انسان می‌شود. منظور از تعدی از باند پرواز، خروج هواپیما از انتها یا کناره‌های باند پروازی در حین نشست و برخاست است. برای جلوگیری از این سوانح روش‌های مختلفی همچون سامانه‌های تصویربرداری گوناگون به‌کار گرفته شده‌اند، اما عملکرد قابل توجهی به خصوص به هنگام وقوع بحران از خود بروز نداده‌اند. یکی از پیشرفته‌ترین این روش‌ها استفاده از سامانه‌های هشداردهنده تصویربرداری راداری است. اما این سامانه‌ها نیز در شرایط بحرانی به شدت در معرض اختلال هستند و دلیل آن استفاده از امواج الکترومغناطیسی منتشر شده در فضای آزاد است [۴۳-۴۱]. اما حسگر Φ-OTDR فاقد این عیب می‌باشد چرا که امواج الکترومغناطیسی در فیبر نوری که یک محیط اختلال ناپذیر است، منتشر می‌شوند. از معایب دیگر سامانه‌های راداری هزینه بالای نگهداری آنهاست در حالی که در حسگر Φ-OTDR، فیبر در باند فرودگاه در زیر خاک دفن شده و از این جهت هزینه‌های قابل توجهی را با خود به همراه نخواهد داشت. دفن شدن فیبر در زیر خاک به لحاظ اختفاء خود مزیت بسیار خوبی است که رادارها فاقد آن می‌باشند (شکل۷) [۴۴]. شکل (۸)، کاربرد استفاده از حسگر Φ-OTDR در زمینه پایش باند فرودگاه را نشان می‌دهد.

شکل (۸): استفاده از حسگر Φ-OTDR در پایش باند فرودگاه.

۵-۳- پایش امنیت خطوط لوله انرژی

در دنیای امروز تامین انرژی از مهم‌ترین وظایف کشورهاست و به تبع آن امنیت انرژی از اولاترین مسایل کشور می‌باشد به‌طوری‌که بسیاری از جنگ‌ها به‌ویژه در اطراف ما بر سر انرژی می‌باشد. بنابراین، تامین حداکثری امنیت خطوط لوله انرژی مانند: لوله نفت، گاز و یا بنزین در برابر وقوع حوادث اهمیت به‌سزایی دارد. هرگونه نشت از جانب هر کدام از این‌ها می‌تواند خسارات زیادی را موجب شود. اطلاعات مربوط به وضعیت این خطوط توسط روش‌های ارتباط بی‌سیم (GPRS، امواج مایکروویو، امواج رادیویی و ...) جمع‌آوری می‌شود [۴۹-۴۵]. اما این روش‌ها از لحاظ ضریب امنیت دقیقا همان مشکل تصویربرداری راداری را دارند. از کار انداختن این سامانه‌ها به راحتی و توسط یک دستگاه نویز قابل انجام است، بنابراین، در شرایط بحرانی به هیچ وجه قابل اتکا نیستند. یکی دیگر از معایب این سامانه‌ها هزینه نگهداری بالای آنها در محل مورد نظر است. در حالی که حسگر Φ-OTDR هیچ‌کدام از این معایب را ندارد. همزمان با وقوع اولین نشتی حسگر Φ-OTDR با حساسیت بسیار بالایی در تمام طول فیبر مکان شکستگی یا ترک لوله را شناسایی کرده و اپراتور را متوجه می‌کند. با انجام اقداماتی همچون بستن شیرهای اصلی ورودی، دور کردن مردم و وسایل نقلیه از محل نشتی لوله می‌توان از وقوع انفجارهای مهیب جلوگیری کرده و میزان خسارات را به حداقل ممکن رساند[۳۵ و ۵۳-۵۰]. شکل (۹)، استفاده از حسگر Φ-OTDR به‌منظور تشخیص محل شکستگی و ترک لوله‌های انتقال انرژی را به تصویر می‌کشد.

شکل (۹): استفاده از حسگر Φ-OTDR در لوله‌های انتقال انرژی برای شناسایی محل شکستگی یا ترک خوردگی [۵۴].

۵-۴- پایش امنیت سازه‌ها

از جمله سازه‌هایی که پایش امنیت آنها در برابر وقوع حوادث غیرمترقبه حائز اهمیت می‌باشد پل‌ها، سدهای ذخیره‌کننده آب و تونل‌ها هستند. اگر بتوان چند دقیقه یا حتی چند ثانیه قبل از تخریب این سازه‌ها از وضعیت آن‌ها اطلاع پیدا کرد می‌توان با اقداماتی پیشگیرانه نظیر خروج مردم از مکان حادثه، باز کردن دریچه‌های سدها برای کاهش فشار وارده بر دیواره آن، خروج مردم و وسائل نقلیه از داخل تونل و اقدامات دیگر از بیشتر شدن خسارات و تلفات ناشی از این بلایا تا حد زیادی جلوگیری کرد.

شکل (۱۰): نمایی از ترک خوردگی پل‌که با استفاده از حسگر Φ-OTDR قابل شناسایی است.

تاکنون روش‌های متنوعی برای تشخیص ترک‌های احتمالی این سازه‌ها نظیر استفاده از شتاب‌سنج‌ها [۵۵]، تصویربرداری راداری [۵۷-۵۶]، اسکنرهای لیزری [۵۸]، حسگرهای بی‌سیم، و لرزش‌سنج‌هایی که با GPS کار می‌کنند [۵۹] ارائه شده است.

شکل (۱۱): ترک خوردگی تونل که با استفاده از حسگر Φ-OTDR قابل شناسایی است.

در خصوص شتاب‌سنج‌ها، این ابزارها از لحاظ فیزیکی (مقاومت در برابر دما، فشار، تنش و ...) در معرض آسیب هستند و در صورت عدم حضور شخص در مکان نصب سامانه، اطلاع از ترک و ریزش احتمالی مقدور نیست. اما در حسگر Φ-OTDR، کنترل و اطلاع از وضعیت سازه از راه دور انجام می‌گیرد. شکل‌های (۱۲-۱۰) کاربرد حسگر Φ-OTDR در زمینه پایش سازه‌هایی نظیر پل، سد و تونل را نشان می‌دهند.

همان‌طور که اشاره کردیم تصویربرداری راداری، حسگرهای بی‌سیم و همچنین سامانه‌هایی که با GPS کار می‌کنند که در این قسمت به لرزش‌سنج آن اشاره شده است، در زمان وقوع بحران اختلال پذیرند. اسکنرهای لیزری نیز هزینه نگهداری بسیار بالایی دارند چرا که بایستی لیزر در اطراف سازه نصب شده و همچنین به

حضور همیشگی شخص ناظر در کنار دستگاه احتیاج دارد. بهترین گزینه استفاده از حسگر Φ-OTDR است [۶۴-۶۱]. در این حسگرها حتی محتمل است که بتوان دستگاه دریافت‌کننده سیگنال‌های خروجی را به سامانه‌های هشدار دهنده متصل به تلفن همراه مجهز نمود تا در صورت عدم حضور شخص در پایگاه دریافت داده، بتوان از وضعیت سازه‌ها با خبر شد. شکل (۱۳) استفاده از حسگر Φ-OTDR در پل گوتا در سوئد را به تصویر می‌کشد.

شکل (۱۲): ترک خوردگی سد که با استفاده از حسگر Φ-OTDR قابل شناسایی است.

شکل (۱۳): استفاده از حسگر Φ-OTDR در پل گوتا در سوئد [۶۰].

۵-۵- پایش امنیت خطوط ریلی

خطوط مترو و راه‌آهن به‌عنوان یکی از سامانه‌های مسافربری از مکان‌های پر تردد در سطح شهرهاست. هنگام بحران این نقاط بسیار آسیب‌پذیر و خسارت بار خواهند بود. بنابراین، تامین امنیت آنها در برابر وقوع حوادث پیش از وقوع آن، بسیار مهم است. برای پایش امنیت این خطوط به‌عنوان مثال در مترو تهران و بسیاری از شهرهای جهان از سامانه CBTC[1] برای کنترل قطارها استفاده می‌شود. در این سیستم حسگرهایی بر روی ریل‌ها نصب شده است که در فواصل مشخصی از هم قرار دارند. با رسیدن و برخورد قطار به این حسگرها به کمک آنتن‌ها و کابل‌هایی که تعبیه شده است، اختلال توسط امواج وای‌فای به سیستم مرکزی و اتاق کنترل اطلاع داده می‌شود. به کمک سیستم CBTC قطارها نمی‌توانند از یک فاصله مشخصی به یکدیگر نزدیک‌تر شوند. اما موضوعی که همواره باعث نگرانی سازندگان این سامانه هوشمند بوده است، هک شدن آسان و ایجاد اختلال در این داده‌ها در زمان بروز حوادث است، زیرا انتقال آن‌ها به کمک امواج وای‌فای است.

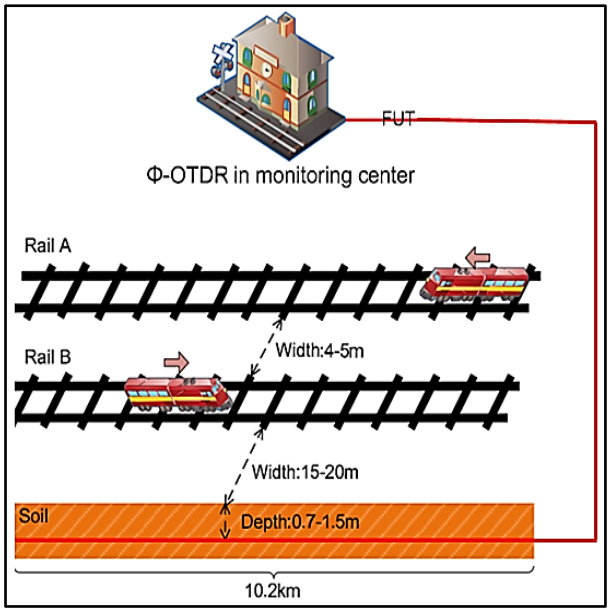
شکل (۱۴): استفاده از حسگر Φ-OTDR برای نمایش آسیب‌دیدگی ریل‌ها و مسیر حرکت قطارها برای جلوگیری از برخورد آن‌ها با هم که فیبر در زیر زمین یا کنار ریل نصب می‌شود [۶۶].

یکی دیگر از معایب این سامانه این است که اگر یکی از حسگرها از کار بیافتد، ارتباط بین حسگرهای قبل و بعد از آن قطع خواهد شد. با توجه به سرعت بالای قطارها و لزوم برخورد آن‌ها با این حسگرها، امکان آسیب دیدن و حتی تخریب این حسگرها چندان دور از ذهن نخواهد بود [۶۵].

این اعتماد به حسگر Φ-OTDR باعث شده که حتی بسیاری از

1- Communications-based train control

کشورهای پیشرفته دنیا برای کنترل ترافیک ریلی در مسیرهای بین شهری، که سرعت قطارها بسیار بیشتر از قطارهای شهری است و احتمال شکستگی ریل‌ها بخاطر قرار داشتن در محیط‌های باز و بدون کنترل بیشتر است، از حسگر Φ-OTDR استفاده می‌کنند. شکل (۱۴)، کاربرد حسگر Φ-OTDR در خطوط ریلی را به نمایش می‌گذارد. دقت بالای این حسگر موجب شده است که در یک نمونه آزمایش شده، فیبر را در فاصله ۱۵ تا ۲۰ متری از ریل و در عمق ۰/۷ تا ۱/۵ متر در زیر زمین دفن کردند و نتایج مورد انتظار را بدست آوردند (شکل۱۵)، [۶۷].

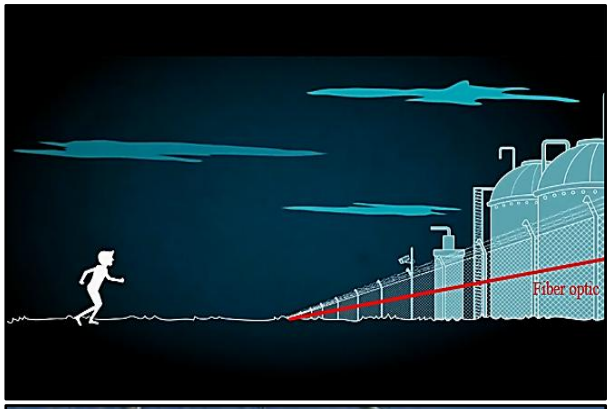


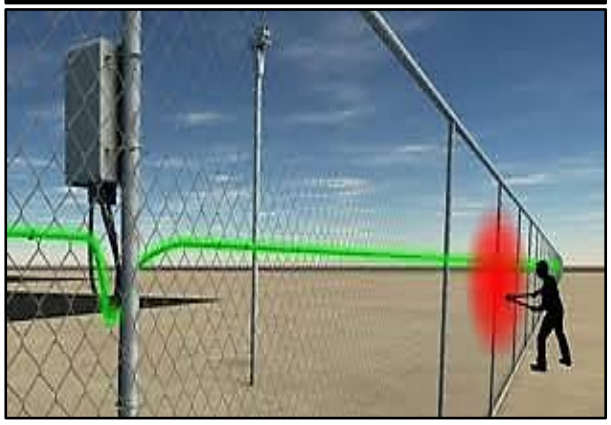
شکل (۱۵): استفاده از حسگر Φ-OTDR برای پایش خطوط ریلی که در فاصله ۱۵ تا ۲۰ متری ریل و در عمق ۰/۷ تا ۱/۵ متری زمین دفن شده است [۶۷].

۵-۶- پایش امنیت مراکز حساس

پر واضح است که در مراکز حساس هر کشور باید طرح‌هایی اجرا گردد تا در مواقع بروز تهدید و بحران مجموعه دچار کمترین آسیب شود. از طرفی تامین امنیت صد درصدی توسط نیروهای گشت‌زنی و دوربین‌های مداربسته وجود ندارد.

یکی از نوین‌ترین و کارآمدترین روش‌ها، نصب حسگر Φ-OTDR بر روی فنس‌ها یا دیوارهای این مراکز است. به محض لرزش آنها و به تبع آن فیبر نوری توسط فرد متجاوز، حسگر مکان شخص را به اپراتور اطلاع می‌دهد (شکل‌های ۱۷-۱۶)، [۶۸].





شکل (۱۶): کاربرد حسگر Φ-OTDR در زمینه تامین امنیت مراکز حساس.

شکل (۱۷): استفاده از حسگر Φ-OTDR در پایش امنیت مراکزحساس.

۶- نتیجه‌گیری

برنامه‌ریزی و مدیریت در زمینه پایش امنیت مراکز حساس نظیر: مرزها، تاسیسات نظامی و سایر مراکز امنیتی، همچنین نظارت بر ساختارهای کشوری مانند: خطوط لوله، پل‌ها، سدها و تونل‌ها، فرودگاه‌ها، خطوط ریلی و ... در زمان پیش از وقوع حوادث در قالب

اقدامات پدافند غیرعامل از منظر کاهش هزینه‌ها و کاهش سوانح جانی امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. در این مقاله نحوه عملکرد و کاربردهای حسگرهای فیبری توزیعی حساس به فاز به‌عنوان یکی از پرکاربردترین حسگرهای فیبری در حوزه اقدامات پدافند غیرعامل مرور شد. استفاده روزافزون از این حسگرها از یک طرف و تکامل و توسعه آن‌ها از طرف دیگر باعث امن‌تر شدن محیط و فعالیت‌های مرتبط خواهد شد. امروزه در بسیاری کشورها حتی در همسایگی ما در زمینه‌های مذکور اقدامات متعددی توسط این فناوری انجام می‌گیرد که با صرف هزینه‌های معقول و مفید در این زمینه از هدر رفت منابع انسانی و غیرانسانی جلوگیری کرده و با دقت بیشتری به مدیریت و کنترل می‌پردازند.

۷- منابع

1. J. Movahedinia, “Principles of passive defense,” Malek Ashtar Industrial university, 2007.
2. H. Hajhosseinzadeh and A. Aghadadi, “The role of passive defense in risk management of national and strategic projects,” International Conference on Strategic Project Management, Sharif University of Technology, 2008.
3. D. A. Krohn, “Fiber optic sensors-Fundamental and applications,” Instrument Society of America, 2014.
4. National Institute of Building Sciences, “Provide Security for Building Occupants and Assets,” http: //www .wbdg.org/ design/ provide_security.php, 2007.
5. Global Security.org. “US-Mexico border fence,” http:// www.global security.org/security/systems/mexico-wall.htm, 2007.
6. F. Xinyu, et al, “Distributed Fiber- Vibration Sensing Based on Phase Extraction from Optical Reflectometry,” Journal of Lightwave Technology, vol. 35, no. 16, pp. 3281-3288, 2016.
7. R. W. Boyd, “Nonlinear Optics,” Third Edition, 2003.
8. I. L. Fabelinskii, “Molecular scattering of light,” Springer Science & Business Media, 2012.
9. K. S. Thyagarajan and A. Ghatak, “Fiber optic essentials,” John Wiley & Sons, vol. 10, 2007.
10. C. M. Davis, E. F. Carome, M. H. Weik, S. Ezekiel, and R. E. Einzig, “Fiber optic sensors technology handbook,” Optical Technologies- A Division of Dynamic System INC.
11. H. F. Taylor and C. E. Le, “Apparatus and method for fiber optic intrusion sensing,” U.S. Patent 5 194 847, March 16, 1993.
12. M. Mansoursamaei, A. Malakzadeh, S. Nouri Jouybari, and R. Pashaei, “Achieving the spatial resolution of a millimeter for 17.5 km sensing fiber in distributed optical fiber sensor based on Brillouin scattering,” Tabriz Azad University, 2016.
13. M. Mansoursamaei, A. Malakzadeh, S. Nouri Jouybari, and R. Pashaei, “Improvement of spatial resolution in distributed fiber optic sensors based on correlation using phase correlation method,” Tabriz Azad University, 2016.
14. M. Mansoursamaei, A. Malakzadeh, and S. Nouri Jouybari, “Distributed Fiber Optic Sensors, A New Method for Reduction of Damage Caused by Disasters and Disasters in Tehran's Urban Structures,” Quarterly Journal of Crisis Management and Prevention, vol. 7, no. 4, pp. 320-331, 2017.
15. S. D. Personick and P. Probe, “An Optical-Fiber Time-Domain Reflectometer,” TheBell System Technical Journal, pp. 355-366, vol. 56, no. 3, 1977.
16. L. Xin, et al, “Distributed Fiber-Optic Sensors for Vibration Detection,” Sensors, vol. 16, no. 8, p. 1164, 2016.
17. H. F. Taylor and C. E. Lee, “Apparatus and method for fiber optic intrusion sensing,” U.S. Patent 5 194 847, March 16, 1993.
18. J. C. Juan, et al, “Distributed fiber-optic intrusion sensor system,” Journal of lightwave technology, vol. 23.6, pp. 2081-2087, 2005.
19. C. A. Cem and A. Altuncu, “Gain and noise figure performance of Erbium doped fiber amplifiers (EDFA),” Journal of electrical & electronics engineering, vol. 4.2, 2004.
20. A. Ghatak and K. Thyagajan “introduction to fiber optics,” Cambridge university press, 1997.
21. C. Kyoo Nam, J. C. Juarez, and H. F. Taylor, “Distributed fiber optic pressure/seismic sensor for low-cost monitoring of long perimeters,” Unattended Ground Sensor Technologies and Applications, International Society for Optics and Photonics, vol. 5090, 2003.
22. J. C. Juarez and H. F. Taylor, “Polarization discrimination in a phase-sensitive optical time-domain reflectometer intrusion-sensor system,” Optics letters, vol. 30.24, pp. 3284-3286, 2005.
23. Y. J. Rao, et al, “Distributed intrusion detection based on combination of φ-OTDR and POTDR,” 19th International Conference on Optical Fibre Sensors, International Society for Optics and Photonics, vol. 7004, 2008.
24. J.C. Juarez, and H.F. Taylor, “Field test of a distributed fiber-optic intrusion sensor system for long perimeters,” Applied Optics, vol. 46.11, pp. 1968-1971, 2007.
25. Li. Qian, “Experiment on erbium-doped fiber amplifiers,” Advanced Labs for Special Topics in Photonics (ECE 1640H), University of Toronto, pp. 1-36, 1998.
26. M. N. Islam, “Raman Amplifiers for Telecommunications 1,” Physical Principles, 2004.
27. K. Rasmus, et al, “Raman amplification in optical communication systems,” Diss. unknown, 2008.
28. A. Malakzadeh, R. Pashaei, and M. Mansoursamaei, “Increasing the gain and decreasing the noise figure in the φ-OTDR sensor with combinations of Erbium and Raman amplifiers,” Imam Hussein University, 2017.
29. Y. J. Rao, et al, “Long-distance fiber-optic Φ-OTDR intrusion sensing system,” 20th International Conference on Optical Fibre Sensors, International Society for Optics and Photonics, 2009.
30. R. Pashaei and A. Malakzadeh, “Designing and simulation a phase sensitive distributed fiber optic sensor based on Rayleigh backscattering for monitoring borders,” 20th International Conference on Optical Fibre Sensors. International Society for Optics and Photonics, 2017.
31. B. OL. Matheus, M. J. Pontes, and M. EV. Segatto, “Design of a wideband hybrid EDFA with a fiber Raman amplifier,” Microwave & Optoelectronics Conference (IMOC), 2011 SBMO/IEEE MTT-S International, IEEE, 2011.
32. G. P. Agrawal, “Nonlinear fiber optics,” Academic press, 2007.
33. Li, Jin, et al, “124 km Phase-sensitive OTDR with Brillouin Amplification,” Proc. SPIE., vol. 9157, 2014.
34. Wang, Zinan, et al, “175 km phase-sensitive OTDR with hybrid

52. Peng, Fei, et al, "Ultra-long high-sensitivity Φ-OTDR for high spatial resolution intrusion detection of pipelines," Optics express, vol. 22.11, pp. 13804-13810, 2014.
53. Shi, Yi, H. Feng, and Z. Zeng, "A long distance phase-sensitive optical time domain reflectometer with simple structure and high locating accuracy," Sensors, vol. 15.9, pp. 21957-21970, 2015.
54. https://www.apsensing.com/application/pipeline-monitoring/, accessed on 06/11/2018.
55. Lynch, P. Jerome, et al, "Design of piezoresistive MEMS-based accelerometer for integration with wireless sensing unit for structural monitoring," Journal of Aerospace Engineering, vol. 16.3, pp. 108-114, 2003.
56. G. Luzi, M. Crosetto, and O. Monserrat, "Advanced techniques for dam monitoring," Proc. of II Int. Congress on Dam Maintenance and Rehabilitation. 2010.
57. A. Loperte, et al, "Ground penetrating radar in dam monitoring: the test case of Acerenza (Southern Italy)," International Journal of Geophysics 2011, 2011.
58. Alba, Mario, et al, "Structural monitoring of a large dam by terrestrial laser scanning," International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 36.5, no. 6, 2006.
59. C. Mehmet and A. Sanli, "GPS in pioneering dynamic monitoring of long-period structures," Earthquake Spectra, vol. 18.1, pp. 47-61, 2002.
60. https://roctest.com/en/case-study/gota-bridge-monitoring-2/, accessed on 06/11/2018.
61. Zhang, Jingdong, et al, "Breaking through the band width barrier in distributed fiber vibration sensing by sub-Nyquist randomized sampling," Optical Fiber Sensors Conference (OFS), 2017 25th. IEEE, 2017.
62. Fan, Xinyu, et al, "Distributed Fiber-Optic Vibration Sensing Based on Phase Extraction from Optical Reflectometry," Journal of Lightwave Technology, vol. 35.16, pp. 3281-3288, 2017.
63. Lu. Yuelan, et al, "Distributed vibration sensor based on coherent detection of phase-OTDR," Journal of lightwave Technology, vol. 28.22, pp. 3243-3249, 2010.
64. Sh. Leilei, et al, "Effect of laser linewidth on phase-OTDR based distributed vibration sensing regime," 23rd International Conference on Optical Fibre Sensors, International Society for Optics and Photonics, vol. 9157, 2014.
65. M. Hartong, R. Goel, and D. Wijesekera, "Communications security concerns in communications based train control," WIT Transactions on The Built Environment, vol. 88, 2006.
66. Application of Fiber Optic Sensors in rail Safety, "rail_monitoring," http://www.fotech.com/product/ -_with-das.
67. Peng, Fei, et al, "Real-time position and speed monitoring of trains using phase-sensitive OTDR," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 26.20, pp. 2055-2057, 2014.
68. Yu. Xuhui, et al, "Phase-sensitive optical time domain reflectometer for distributed fence-perimeter intrusion detection," AOPC 2015: Optical Fiber Sensors and Applications, International Society for Optics and Photonics, vol. 9679, 2015.

distributed amplification," Proc. SPIE, vol. 9157, 2014.

35. Inaudi, Daniele, and B. Glisic, "Long-range pipeline monitoring by distributed fiber optic sensing," Journal of pressure vessel technology, vol. 132.1, p. 011701, 2010.
36. S. H. Zarghani, H. Azami, and A. Lotfi, "Investigating of Border Management Methods and Policies and Its Role in Border Security," Ferdowsi University of Mashhad, 2013.
37. Snidera, T. William, et al, "Border security utilizing a distributed fiber optic intrusion sensor," 2008.
38. W. Huijuan, et al, "Field test of a fully distributed fiber optic intrusion detection system for long-distance security monitoring of national border line," OFS2014 23rd International Conference on Optical Fiber Sensors. International Society for Optics and Photonics, 2014.
39. C. K. Madsen, et al, "Real-time processing of a phase-sensitive distributed fiber optic perimeter sensor," Proc. SPIE., vol. 6943, 2008.
40. http://www.optasense.com/, accessed on 06/11/2018.
41. Beasley, DL. Patrick, et al, "Tarsier/spl R/, a millimetre wave radar for airport runway debris detection," Radar Conference, 2004. EURAD. First European, IEEE, 2004.
42. Pi. Yiming, L. Fan, and X. Yang, "Airport detection and runway recognition in SAR images," Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS'03. Proceedings. 2003 IEEE International, IEEE, Vol. 6, 2003.
43. J. Andrews and J. Robinso, "Radar-based analysis of the efficiency of runway use," AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, 2001.
44. M. Sabina, et al, "Runways ground monitoring system by phase-sensitive optical-fiber OTDR," Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace), 2017 IEEE International Workshop on. IEEE, 2017.
45. Yu. Huaping and M. Guo, "An efficient oil and gas pipeline monitoring systems based on wireless sensor networks," Information Security and Intelligence Control (ISIC), 2012 International Conference on. IEEE, 2012.
46. Jawhar, Imad, N. Mohamed, and K. Shuaib, "A framework for pipeline infrastructure monitoring using wireless sensor networks," Wireless telecommunications symposium, 2007. WTS 2007. IEEE, 2007.
47. S. Yoon, W. Ye, J. Heidemann, B. Littlefield, and C. Shahabi, "SWATS: Wireless sensor networks for steamflood and waterflood pipeline monitoring," IEEE network, vol. 25, no. 1, 2011.
48. Jawhar, Imad, et al, "A routing protocol and addressing scheme for oil, gas, and water pipeline monitoring using wireless sensor networks," Wireless and Optical Communications Networks, 2008. WOCN'08. 5th IFIP International Conference on. IEEE, 2008.
49. Sun, Zhi, et al, "MISE-PIPE: Magnetic induction-based wireless sensor networks for underground pipeline monitoring," Ad Hoc Networks, vol. 9.3, pp. 218-227, 2011.
50. T. Dongjie, et al, "An oil and gas pipeline pre-warning system based on Φ-OTDR," 23rd International Conference on Optical Fibre Sensors, International Society for Optics and Photonics, vol. 9157, 2014.
51. Zhang, Jingdong, et al, "Breaking through the band width barrier in distributed fiber vibration sensing by sub-Nyquist randomized sampling," Optical Fiber Sensors Conference (OFS), 2017 25th. IEEE, 2017.

Phase-Sensitive Distributed Fiber Optic Sensor in Passive Defense Measures

A. Malekzadeh*, R. Pashaei, M. MansourSamaei

Abstract

Monitoring the safety of huge structures and buildings such as bridges, dams, subways railways and airports as well as energy transmission pipelines and also monitoring places such as borders, security centers etcetera to reduce damages due to natural and non-natural disasters are subjects of particular interest in passive defense. In order to reduce the detriment of the events, various methods are applied such as: the use of accelerometers, radars, and vibration detection systems that operate with GPS to monitor the safety of bridges, tunnels and dams; the use of radars to monitor runways; the use of various wireless communication methods in rail lines, as well as methods to detect leakage of energy pipelines and etc. The safest and most innovative way to achieve this goal is the use of phase-sensitive distributed optical fiber sensor based on Rayleigh scattering. In these sensors, the Erbium amplifier and stimulated Raman and Brillouin scatterings are used to increase the sensing range. In the initial configurations of the sensor, the sensing range was about 6 km by utilizing Erbium amplifier. Maximum sensing range belongs to combination of Erbium and Brillouin amplifiers, which is about 300 kilometers. Along with the high sensing range, the accuracy and sensitivity of this category of sensors attract the attention of researchers and officials of various communities, especially for the purpose of passive defense measures.

Key Words: *Passive Defense, Distributed Optical Fiber Sensor, Rayleigh Scattering, Phase-Sensitive OTDR (Φ-OTDR), Erbium Amplifier, Raman Amplifier, Brillouin Amplifier*

* Imam Hossein Comprehensive University (afard77@gmail.com)- Writer-in-Charge