وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات
پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات

رصد فناوری نگهداری از شبکه فیبر نوری

عنوان گزارش: رصد فناوری نگهداری از شبکه فیبر نوری
کلمات کلیدی: فیبر نوری؛ نگهداری
تهیه کنندگان: علی امامی
ناظر علمی: لیلا چهره‌قانی انزابی
گروه پژوهشی: ارتباطات نوری
تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۳

حقوق معنوی این اثر متعلق به پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات است و استفاده از آن با ذکر ماخذ بلامانع است.

چکیده

کابل فیبر نوری، زیرساخت اصلی شبکه ارتباطات شهری و بین‌شهری است. کابل نوری ذاتاً در مقابل نفوذ آب، حفاری‌های ساختمانی نامناسب، هجوم جوندگان، نفوذهای امنیتی و بسیاری از خطرات احتمالی دیگر آسیب‌پذیر است. مانیتورینگ فیبر منجر به تشخیص زودتر در پیدا کردن محل خرابی شده و در نتیجه زمان واکنش و تعمیر را کاهش می‌دهد.

مانیتورینگ فیبر به معنای ارزیابی مداوم کیفیت فیبر از طریق ابزارهای نرم‌افزاری و تجهیزاتی است که شامل یک سیستم یکپارچه نظارت و مدیریت فیبر است. این سیستم در واقع تشخیص خطا یا کاهش کیفیت یا نفوذهای امنیتی را تسهیل کرده و مدیر سیستم در لحظه رخ‌دادن هرگونه تهدید برای یکپارچگی شبکه فیبر نوری، آلارم دریافت می‌کند. از سیستم‌های مانیتورینگ نیز می‌توان برای پیشگیری و تحلیل میرایی و سایر معیارهای عملکرد فیبر نوری در طول زمان استفاده کرد.

حفظ شرایط و عملکرد مطلوب فیبر، مستلزم شیوه‌های پیشرفته نظارت بر فیبر برای شناسایی و واکنش سریع به مشکلات است. فناوری‌های جدید و توسعه شبکه، مرزها و قابلیت‌های مانیتورینگ فیبر را گسترش داده است. در این گزارش، ضمن بررسی استانداردهای ITU-T برای نگهداری شبکه نوری، روش‌ها و تجهیزات نوینی که کشورهای توسعه یافته برای تحقق این امر بکار می‌برند، مورد بررسی قرارگرفته است.

فهرست مطالب

۱- مقدمه ۱
۲- توصیه نامه‌های ITU در خصوص نگهداری شبکه‌های نوری ۱
۲-۱- اصول نگهداری شبکه در حالت کلی ITU-T L.۲۵ ..... ۲
۲-۲- طول موج‌های مورد استفاده در سیستم‌های نگهداری ITU-T L.۴۱ ..... ۳
۲-۳- آزمون خط فیبر در حال استفاده ITU-T L.۶۶ ..... ۳
۲-۴- نگهداری کابل‌های نوری با توان بالا ITU-T L.۶۸ ..... ۴
۲-۵- شناسایی و تشخیص فیبر نوری در نگهداری شبکه‌های دسترسی ITU-T L.۸۵ ..... ۶
۲-۶- نگهداری از خطوط فیبری اصلی و بدنه شبکه نوری ITU-T L.۹۳ ..... ۷
۲-۷- روش‌های آزمون کابل شبکه فیبر نوری ۹
۳- تجهیزات و تکنیک‌های نوین برای نگهداری شبکه نوری ۱۰
۳-۱- اتوماسیون فرآیند آزمون ۱۴
۴- مدیریت نگهداری شبکه ۱۵
۴-۱- پیش بینی تنزل کیفیت و آسیب در اجزا پسیو شبکه ۱۵
۴-۲- نظارت و آزمون اتوماتیک و حسگرهای کنترل از راه دور ۱۶
۴-۳- دیدگاه اقتصادی در نگهداری شبکه برای افزایش طول عمر سرویس ۱۶
۴-۴- مطالعه تطبیقی نگهداری از شبکه‌های نوری در کشورهای دیگر ۱۶
۵- نگهداری خطوط فیبر نوری از راه دور ۱۷
۵-۱- معماری سامانه هوشمند مانیتورینگ فیبر نوری ۱۸
۵-۲- سیستم‌های آزمون از راه دور فیبرهای تاریک ۱۹
۵-۳- سیستم‌های آزمون فیبر از راه دور با نظارت و آزمایش فیبر فعال ۲۲
۵-۴- مزایای کلیدی ۲۴
۵-۵- قابلیت‌های نرم‌افزاری سیستم مانیتورینگ ۲۵
۵-۶- مشخصات فنی ۲۹
۵-۷- معرفی محصولات تجاری ۲۹
۵-۷-۱- کمپانی VIAVI ۲۹
۵-۷-۲- کمپانی EXFO ۳۰
۵-۷-۳- کمپانی UTEL ۳۰
۵-۷-۴- شرکت فن‌آوری‌های نوظهور آریوتک ۳۰
۵-۸- برآورد قیمت ۳۱
۵-۹- تحلیل فنی اقتصادی ۳۲
۶- جمع بندی و پیشنهادات ۳۴
۷- مراجع ۳۶

۱- مقدمه

سیستم‌های کابل فیبر نوری پس از نصب صحیح اگر مزاحمتی در شرایط انتقال ایجاد نشود، برای مدت طولانی به درستی کار خواهند کرد ولی در عمل معمولاً عوامل مختلفی از جمله حفاری‌های جاده‌ای، جانوران و شرایط جوی باعث بهم خوردن شرایط ایده‌آل در انتقال می‌شوند. بنابراین بهتر است با بررسی‌های دوره‌ای شرایط کابل‌های نوری و پارامترهای شبکه با مقادیر اولیه هنگام نصب مقایسه گردند. در این گزارش ابتدا نکات اساسی استانداردهای ITU-T که کشورها برای نگهداری شبکه نوری پیروی می‌کنند را توضیح می‌دهیم و در بخش‌های بعد روش‌ها و تجهیزات نوینی که کشورهای توسعه یافته برای تحقق این امر بکار می‌برند را بررسی می‌کنیم.

۲- توصیه نامه‌های ITU در خصوص نگهداری شبکه‌های نوری

در حالت کلی نگهداری شبکه نوری به دو بخش نگهداری پیشگیرانه و تعمیر و نگهداری پس از خطا یا مشکل تقسیم می‌شود که در هر دو شرایط فعالیت‌های نگهداری به ترتیب شامل نظارت، آزمایش و کنترل هستند[۱]. بعد از آنکه کابل نوری نصب شد، فعالیت نگهداری باید به نحوی انجام شود که درحد امکان در فرآیند انتقال دیتا اختلال ایجاد نکند. یکی از روش‌ها، نظارت بر فیبرهای تاریک یا بدون ترافیک در کابل است که به ما دید خوبی درباره فیبرهای با ترافیک در آن کابل می‌دهد. با این حال اطمینان بیشتر وقتی حاصل می‌شود که فیبرهای زیر سرویس و با ترافیک نظارت شوند. افزایش تلف فیبر، افزایش فشار و کشش فیبر و همچنین تغییر در انعکاس نور به عنوان دلایل معمول خطا مطرح هستند. علاوه بر این، نفوذ آب به داخل محفظه‌ها، می‌تواند مشکلاتی مانند تخریب مکانیکی فیبر و افزایش تلف ناشی از جذب هیدروژنی را در شبکه ایجاد کند.

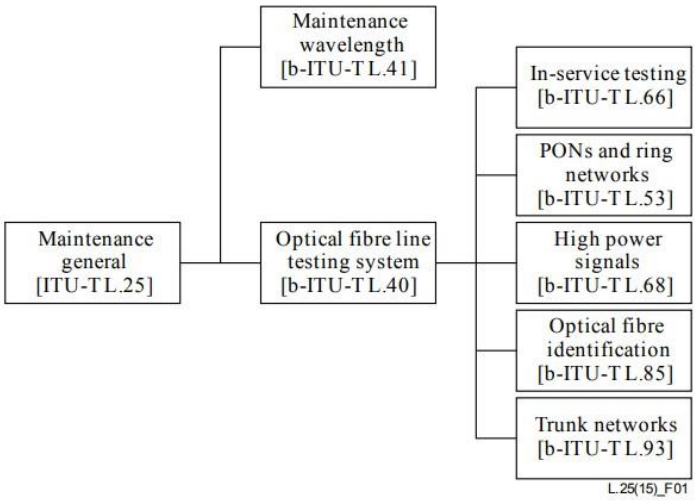
همان‌طور که می‌دانیم آزمون یا آزمایش دومین مرحله نگهداری است. آزمایش برای شناسایی محل و منشأ اشکالات در شبکه‌های کابل فیبر نوری انجام می‌شود. در صورت بروز خطایی که روی سرویس تأثیر بگذارد، باید مشخص شود آیا خطا در تجهیزات انتقال یا شبکه کابل فیبر نوری است. همچنین آزمایش برای تأیید شرایط پس از نصب و ترمیم شبکه کابل فیبر نوری نیز انجام می‌شود.

مرحله سوم نگهداری کنترل، شامل برنامه‌ریزی‌های اصولی برای نگهداری شبکه کابل نوری می‌باشد. گاهی لازم است فیبرهای نوری که تجهیزات انتقال را به مشتری متصل می‌سازد را تعمیر، جایگزین یا تغییر مسیر دهیم. برای کنترل فیبرهای درون کابل‌های شبکه باید بتوانیم با تکنیک‌های شناسایی فیبر، فیبرهای مشخص شده‌ای را از بین فیبرهای درون کابل‌ها شناسایی کنیم.

عملیات تعمیر و نگهداری پس از خطا نیز باید بلافاصله پس از وقوع مشکل مطابق با قوانین تعمیر انجام شود. تعمیر و نگهداری پس از خطا با تشخیص عیب به کمک آلارم تجهیزات انتقال، شکایت مشتری یا نتیجه گزارش نگهداری پیشگیرانه انجام می‌شود.

شکل (۱) کلیه توصیه نامه‌های ITU-T مربوط به نگهداری شبکه کابل‌های فیبر نوری و روابط بین آنها را نشان می‌دهد. در این قسمت ما بخش‌هایی از این استاندارد که مرتبط با موارد زیر است را بررسی می‌کنیم.

- آزمون خطوط فیبرهای نوری
- طول موج‌های مناسب نگهداری
- شبکه‌های با قدرت بالا
- نحوه تشخیص فیبرهای در حال استفاده
- نگهداری از فیبر به عنوان شاهرگ ارتباطی که نقاط مختلف شبکه را به هم متصل می‌کنند.



شکل ۱: توصیه نامه‌های ITU-T مربوط به نگهداری شبکه کابل‌های فیبر نوری[۱]

۲-۱- اصول نگهداری شبکه در حالت کلی ITU-T L.۲۵

برای داشتن شبکه با اطمینان بالا و امکان پاسخ سریع به خرابی‌های فیبرهای نوری به سیستم نگهداری، تعمیر و آزمون شبکه نوری احتیاج داریم. بعد از اینکه کابل‌ها نصب شدند و مورد استفاده قرار گرفتند، عملیات‌هایی مانند پایش[۱] فیبر و کنترل آنها باید بدون دخالت در انتقال سیگنال‌های انتقال داده‌ها انجام شود. با تحت نظر گرفتن فیبرهای تاریک (فیبرهای بدون ترافیک سیگنال) می‌توانیم نسبت به عملکرد فیبرهای تحت استفاده و زیر بار سرویس، دید کلی پیدا کنیم زیرا در صورت بروز شکستگی یا اختلال، احتمال تحت تأثیر قرار گرفتن تمام فیبرهای یک کابل وجود دارد. با این حال برای اطمینان بالاتر بهتر است عملکرد فیبرهای با ترافیک را بدون قطع کردن وقتی تحت استفاده هستند، نظارت کنیم. همچنین سیستم پشتیبانی می‌تواند توسط انسان یا سیستم‌های هوشمند دیگر از راه دور کنترل شود. در اینصورت سیستم می‌تواند اطلاعات را به صورت اتوماتیک از فیبرهای نصب شده در میدان جمع آوری کند. سیستم‌های نظارت با استفاده از OTDR[۲] قابلیت اندازه‌گیری تضعیف فیبرها را به طور متناوب دارند و اگر با تجهیزات هشدار دهنده در طول خط انتقال همراه شوند، می‌توانند گزارش خطا و محل مشکل فیبر را فوری با اخطار به شخص کنترل کننده اطلاع دهند. آزمون تلف و پایش توان نیز با نظارت مداوم سطح توان در انتهای فیبر نوری (قبل ازتجهیزات گیرنده) می‌تواند خطای فیبر را فوری وقتی سطح توان از حد خاصی پایین‌تر آمد، تشخیص دهد. سیستم‌ها باید طوری طراحی شوند تا خطای سیستم را با بهترین بهره اقتصادی به حداقل برسانند و در کمترین

---

۱ Monitoring
۲ Optical Time-Domain Reflectometer

زمان محل بروز مشکل در فیبر را با آلارم هشدار دهند و با جمع آوری اطلاعات و تشخیص افت پارامترهای فیبر قابلیت پیشبینی بروز مشکل را نیز تا حد قابل قبولی داشته باشد.

سیستم پشتیبانی نگهداری بر اساس استاندارد ITU-T L.۲۵ [۱]سه عملیات اصلی زیر را به ترتیب انجام می‌دهد:

- ❖ آزمون‌های دوره‌ای برای تشخیص:
  - ✓ افزایش اتلاف فیبر
  - ✓ افزایش تلف توان سیگنال
  - ✓ نفوذ آب
- ❖ آزمون افت کیفیت فیبر با اندازه‌گیری:
  - ✓ مقدار افزایش تلف فیبر
  - ✓ توزیع فشار/کشش در فیبر
  - ✓ محل ورود آب
- ❖ کنترل و تعمیر اجزاء شبکه:
  - ✓ شناسایی فیبر مورد نظر
  - ✓ انتقال ترافیک از فیبر خراب به فیبر یدک و خالی یا اسپلایس فیبر جدید

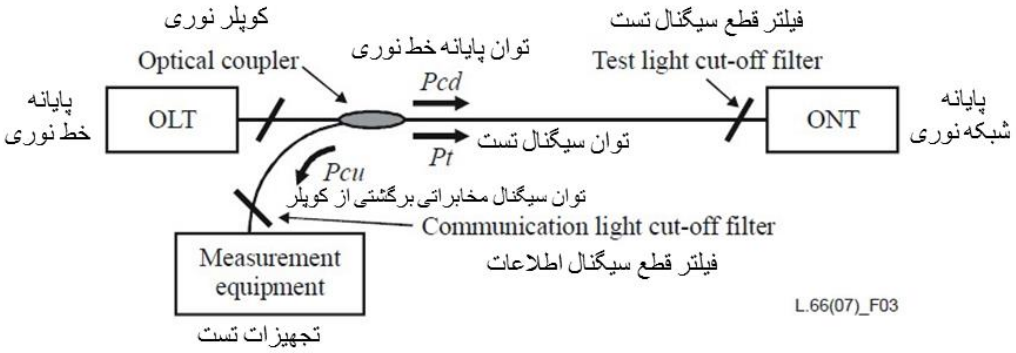
۲-۲- طول موج‌های مورد استفاده در سیستم‌های نگهداری ITU-T L.۴۱

طبق استاندارد ITU-T L.۴۱ [۲]، انتخاب طول موج مناسب برای سیستم‌های نظارت توان، بسیار مهم است تا عملیات‌های نگهداری بدون دخالت در سیگنال‌های انتقالی، انجام شوند. اگر انتقال ترافیک در باند C باشد، می‌توان از طول موج‌های باند L برای آزمون و نگهداری شبکه استفاده نمود ولی چون در سال‌های اخیر برای افزایش ظرفیت انتقال شبکه، طول موج‌های مصرفی سیگنال‌های مخابراتی تا باند L (۱۵۶۵nm - ۱۶۲۵nm) گسترده شده‌اند بنابراین برای جلوگیری از تداخل سیگنال‌های آزمون از عرض باندهای بالاتر باند U برای سیگنال‌های نگهداری استفاده می‌شود.

۲-۳- آزمون خط فیبر در حال استفاده ITU-T L.۶۶

در شبکه‌های نوری که سیگنال‌ها با تکنولوژی WDM منتقل می‌شوند، لازم است بدون قطع سرویس و بدون دخالت در سیگنال‌های انتقالی بتوانیم فیبرهای زیر بار را آزمون و با قابلیت اطمینان بالا از شبکه نگهداری کنیم. در استاندارد L.۶۶ [۳]موارد اساسی برای تحقق آزمون‌های نگهداری در خطوط تحت سرویس به شرح زیر است:

- ✓ آزمون‌ها باید به صورتی انجام شوند که باعث هیچ‌گونه افتی در سیگنال‌های مخابرات نوری انتقالی نشوند.
- ✓ آزمون‌ها باید قابلیت ارزیابی مشخصات فیبرهای نوری را داشته باشند.



شکل ۲: انجام آزمون روی خط در حال استفاده[۳]

شکل (۲) نمونه‌ای از روش انجام آزمون روی خط در حال استفاده[۱] را نشان می‌دهد. همان‌طور که گفتیم سیگنال نوری مربوط به آزمون نباید سیگنال نوری اصلی تأثیر بگذارد بنابراین حداقل توان فرستنده، حداقل حساسیت گیرنده و نسبت سیگنال به نویز سیستم بسیار مهم هستند. در شکل (۲) سیگنال آزمون از طریق یک کوپلر وارد سیستم و به سمت پایانه شبکه نوری ONT[۲] هدایت می‌شود. Pcd و Pt به ترتیب توان‌های پایانه‌های خط نوری OLT[۳] و سیگنال آزمون هستند. این دو توان با کم کردن تلف کوپلر از حداقل خروجی فرستنده و ماکزیمم توان سیگنال آزمون بدست می‌آیند و در انتهای مسیر سیگنال آزمون با گذشتن از فیلتر قطع[۴] تضعیف می‌شود.

۲-۴- نگهداری کابل‌های نوری با توان بالا ITU-T L.۶۸

با افزایش سریع تعداد متقاضیان شبکه‌های نوری، استفاده از تکنولوژی‌های WDM و توزیع کننده تقویت کننده‌های رامان برای انتقال چندین سیگنال بر روی یک تار نوری متداول شده است و به همین دلیل نگهداری فیبرهای نوری در هنگام عبور سیگنال و تقویت کننده‌های با توان بالا در حد چندین وات (چند صد میلی وات) در شبکه اهمیت پیدا کرده‌اند. کارشناسان نگهداری در این شرایط باید دقت کافی برای مراقبت از چشم‌ها و جلوگیری از آتش سوزی احتمالی را در نظارت و آزمون از شبکه به عمل بیاورند.

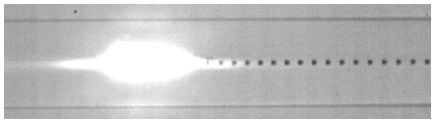
جدول زیر طبق استاندارد ITU-T L.۶۸ [۴] عملیات و موارد مورد نیاز برای رعایت هنگام کار با فیبرها و اجزاء شبکه نوری که سیگنال‌های با توان بالا را از خود عبور می‌دهند، را نشان می‌دهد.

---
۱ In-service line
۲ Optical Network Terminal (ONT)
۳ Optical Line Terminal(OLT)
٤ Cut off filter

جدول ۱: موارد مورد توجه هنگام کار با فیبرها و اجزاء شبکه نوری سیگنال‌های با توان بالا [۴]

ملاحظات	شرایط مورد نیاز برای ورودی سیگنال توان بالا	عملیات
• استفاده از روش فیوژن اسپلایس • استفاده از کانکتورهای اپتیکی یا تمیز کردن و برق انداختن سطح مقطع کانکتورها لازم نیست.	بدون فیوز فیبری یا تشدید افزایش دمایی	اتصالات
• حداقل شعاع خمش R > ۳۰mm برای آزمون فیبر نوری در ODF، • فیبرهای با قابلیت خمش بهبود یافته (مانند G.۶۵۷) شرایط را سختتر را نیز تحمل می‌کنند.	فیبر نوری بدون خمیدگی	پایانه انتهایی
• استفاده از روش فیوژن اسپلایس • اجزاء نوری برای انشعابات با قابلیت تحمل بالا در توان بالای نوری	بدون فیوز فیبری یا تشدید افزایش دمایی	آزمایش دسترسی برای خط فیبر نوری
• ایجاد تضعیف توان بالای نوری • یا ایجاد فاصله بین دو فیبر d<۱۰□m	بدون افزایش شدید دما یا افزایش افت نوری	سوییچ‌های اپتیکی با مکانیزم اتصال (مثال انتخابگرهای فیبری)

در جدول بالا فیوز فیبری[۱] [۵] به شرایطی گفته می‌شود که توان بالای لیزر در مسیر عبوری از فیبر بخاطر ایجاد دمای بسیار بالا جذب می‌شود و باعث قطع رابطه و خرابی فیبر می‌گردد. این اتفاق ابتدا به صورت حباب‌های درخشان نوری متناوب در مغزی ظاهر می‌شوند که در مسیر مخالف سیگنال نوری به سمت لیزر حرکت می‌کنند (شکل (۳)). حد توان سیگنال نوری برای ایجاد پدیده فیوز فیبری با قطر میدان مود فیبر مرتبط و تابعی از طول موج عبوری است.



شکل ۳: فیوز فیبری [۵]

برای جلوگیری از پدیده فیوز فیبر، به خصوص در نزدیکی خروجی یک منبع نوری با قدرت بالا، نباید از کانکتور برای اتصال فیبر نوری استفاده شود. در عوض، اتصالات همجوشی (فیوژن) پیشنهاد می‌شود. همچنین از عایق‌های پوششی که به راحتی باعث افزایش دما نمی‌شوند، به منظور جلوگیری از خطرات آتش سوزی در اطراف محل فیوژن استفاده می‌شود.

طبق استاندارد ITU-T L.۵۰ حداقل شعاع خمش فیبر برای فیبرهای نوری در پایانه‌های ODF قاب توزیع فیبر نوری[۲] باید بیشتر از ۳۰ میلی‌متر باشد خرابی‌های ناشی از عبور سیگنال با توان بالا به عوامل مختلفی از جمله پوشش روی فیبر، تلف خمش فیبر، تبدیل انرژی ورودی به گرما در حین عبور از فیبر، مقدار توان ورودی و طول موج سیگنال عبوری ارتباط دارد. فیبرهایی که تلف خمش کمتری دارند شرایط سخت‌تر را نیز تحمل می‌کنند.

---

۱ Fiber fuse
۲ Optical Distribution Frame (ODF)

یک سیستم نگهداری کابل فیبر نوری به طور کلی دارای سوئیچ‌های نوری برای انتخاب فیبر جهت آزمون هستند. هر نور پرقدرتی که در سوئیچ نوری وارد می‌شود باید ابتدا ضعیف شود و به یک سطح ایمن برسد تا به سوییچ آسیب نرساند. برای آزمون و نگهداری سیستم‌های با سیگنال توان بالای نوری بهتر است سیستم به خاموش شدن خودکار مجهز باشد تا با امنیت:

- ابتدا نظارت برتوان با استفاده از چراغ‌های آزمون کم قدرت در دفاتر مرکزی انجام شود.
- پس از تأیید عدم وجود نقاط با افت زیاد در کابل فیبر نوری، آزمون تعیین تلف فیبر برای توان‌های پایین یا آزمایش OTDR برای شناسایی مکان‌های دارای اشکال انجام پذیرد.
- در نهایت، آزمایش تعیین تلف فیبر یا آزمایش OTDR با استفاده از نور توان بالا انجام شود.

۲-۵- شناسایی و تشخیص فیبر نوری در نگهداری شبکه‌های دسترسی ITU-T L.۸۵

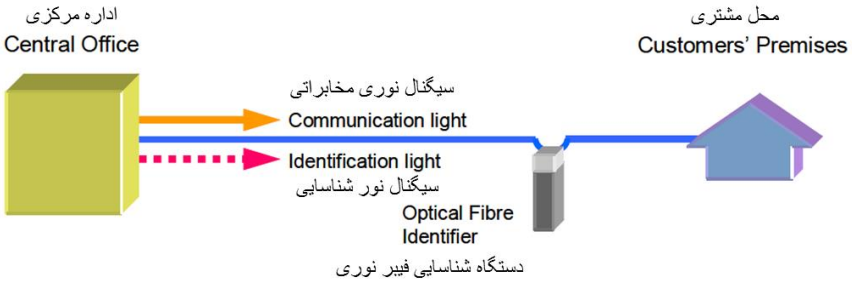
در هنگام نصب و نگهداری از شبکه‌های ارتباطی فیبر نوری، مهندسان میدانی باید یک فیبر خاص را از بین دسته‌ای از فیبرها به درستی شناسایی کنند تا به این وسیله از برش نادرست و یا اتصال اشتباه فیبر نوری جلوگیری شود. همچنین مهندسان باید "فیبرهای فعال" (حامل سیگنال) و همه فیبرهای بلا استفاده (فیبرهای تاریک) را تشخیص دهند. بنابراین، استفاده از آزمایش‌های نوری برای شناسایی فیبر مورد نظر در یک کابل بدون ایجاد اختلال در سیستم انتقال بسیار مورد اهمیت است.

تکنیک شناسایی فیبر نوری نیازمند اصول زیر است:

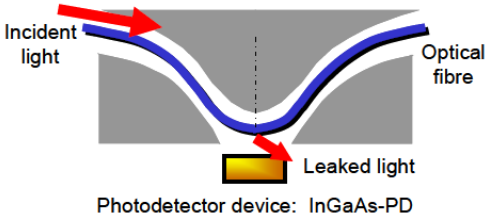
- قابلیت شناسایی و جدا سازی یک فیبر خاص از بین دسته‌ای از فیبرها بوسیله اندازه‌گیری بعضی از مشخصات فیبر
- عدم صدمه به فیبر یا تغییر عملکرد آن
- اجرای عملیات شناسایی فیبر در حین عبور سیگنال مخابراتی نوری

شیوه‌ای که استاندارد L.۸۵ [۶] پیشنهاد می‌دهد، روشی غیرتخریبی مبتنی بر اساس خم‌کردن اندک فیبر است. شکل (۴) شماتیک این تکنیک را نشان می‌دهد. نور شناسایی از انتهای فیبر در ساختمان مرکزی به صورت مستقیم (یا غیر مستقیم از طریق کوپلر) به داخل فیبر تابانده می‌شود. طول موج نور شناسایی با طول موج سیگنال مخابرات نوری که دیتا را منتقل می‌کند، متفاوت است. دستگاه شناسایی که فیبر در آن قرار داده شده است، فیبر را مقدار اندکی خم می‌کند و به این صورت نور شناسایی مدوله شده از محل خمش نشت می‌کند و توسط آشکار ساز نوری[۱] که درون دستگاه شناسایی تعبیه شده است، اندازه‌گیری می‌شود (شکل (۵)).

[۱] Photo detector (PD)



شکل ۴: تکنیک شناسایی فیبر نوری [۶]



شکل ۵: آشکارسازی نور نشتی حاصل از خمش فیبر در شناسایی نوری [۶]

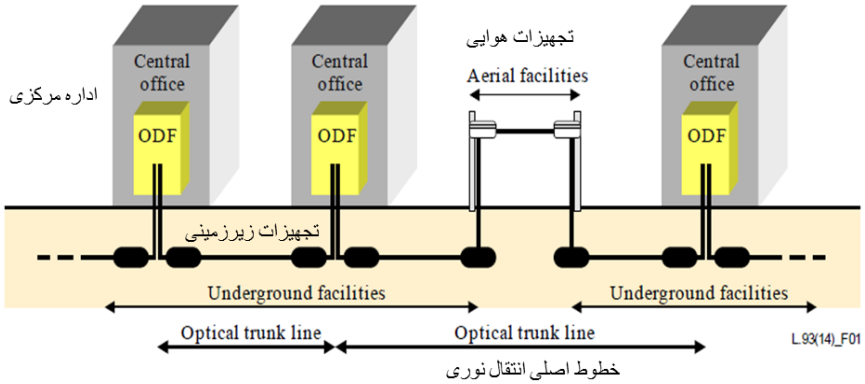
از این روش تقریباً برای شناسایی فیبرها در انواع شبکه‌ها می‌توان استفاده کرد و فقط در شرایطی که فیبر اصلی در ساختمان مرکزی از طریق اسپلیتر به چند شاخه تقسیم شده باشد، این روش مفید نیست زیرا مقدار توان ورودی به طور مساوی به زیرشاخه‌ها تقسیم می‌شود. بنابراین دستگاه شناسایی اگر روی فیبر اصلی مرکز تصب شود، نمی‌تواند فیبرهای شاخه‌های بعد از اسپلیتر را شناسایی کند. البته اگر دستگاه شناسایی در بین فاصله بعد از اسپلیتر و استفاده کننده نصب شود، قابل استفاده است.

همانگونه که ذکر شد، نور شناسایی یا از انتهای فیبر داخل ساختمان مرکزی یا در انتهای فیبر در محل مصرف کننده، تابانده می‌شود. اگر فیبر برای شناسایی در حال استفاده و انتقال داده باشد، نور سیگنال مخابراتی در فیبر نوری حمل می‌شود و در بخش خم شده داخل دستگاه شناسایی فیبر نوری به آشکارساز نوری نشت می‌کند. با مدولاسیون نور شناسایی با فرکانس ویژه‌ای مانند ۲۷۰ هرتز، ۱ کیلوهرتز، ۲ کیلوهرتز و غیره می‌توان نور مخابراتی و نور شناسایی را از هم جدا کرد و نور شناسایی را با سطح توان نوری بالا تشخیص داد. تلف ناشی از خم شدن فیبر معمولاً با افزایش طول موج، زیاد می‌شود و چون در این روش احتیاج به سیگنال نشتی حاصل از خمیدگی فیبر نوری داریم پس باید در نظر داشت که نرخ خطای بیت[۱] سیستم انتقال بخاطر تلف خمیدگی در حد استاندارد باقی بماند. بنابراین لازم است بین شعاع خمش و تلف ناشی از خمیدگی و مقدار توان لازم برای آشکارساز نوری مصالحه کرد که معمولاً دستگاه‌های شناسایی فیبر موجود در بازار دارای این ویژگی هستند.

۲-۶- نگهداری از خطوط فیبری اصلی و بدنه شبکه نوری[۲] ITU-T L.۹۳

استاندارد L.۹۳ [۷] موارد نگهداری از خطوط اصلی انتقال نوری بین ساختمان‌های مخابراتی را مورد بررسی قرار می‌دهد و شکل (۶) پیکربندی معمولی از یک خط اصلی نوری را نشان می‌دهد.

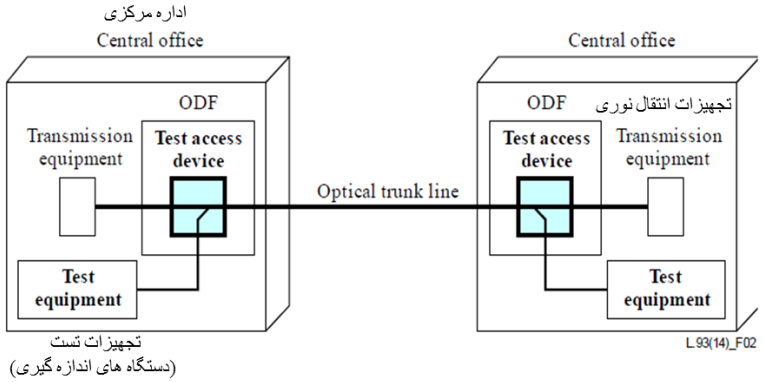
---
۱ Bit Error Rate (BER)
۲ Trunk lines



شکل ۶: خطوط فیبری اصلی و بدنه شبکه نوری [۷]

درحالت کلی خطوط اصلی شبکه نوری, اطلاعات را در فواصل طولانی انتقال می‌دهد و به همین خاطر فیبر باید حداقل افت را داشته باشد و همچنین دستگاه‌های نوری که برای آزمایش در خطوط مخابراتی نصب می‌شوند نیز باید تلف ورودی پایینی داشته باشند. علاوه بر این، تجهیزات آزمایش باید قابلیت اندازه‌گیری بسیار دقیق را به دلیل اهمیت خط اصلی نوری ارائه دهند. سیستم‌های نگهداری کابل اصلی فیبر نوری باید از طریق کوپلر به‌صورت شاخه‌ای نور آزمون را وارد کابل نوری کنند و این کوپلرها خود باید حداقل تلف ورودی را به سیستم اضافه کنند. در این حالت کوپلرها با قابلیت انتخاب طول موج یا کوپلرهایی که بر اساس سیستم WDM کار می‌کنند، بسیار مناسب هستند. دستگاه‌هایی که برای آزمون خطوط اصلی استفاده می‌شوند باید قابلیت استفاده در محدوده وسیع از طول موج‌های مورد استفاده در سیستم انتقال WDM را داشته باشند و چون در آینده استفاده از طول موج‌های باند L نیز برای شبکه پیش‌بینی می‌شود بهتر است دستگاه‌های آزمون، قابلیت استفاده تا طول موج ۱۶۲۵nm را داشته باشند. هنگامی که طول کابل خط اصلی نوری بیش از محدوده قابل اندازه‌گیری تجهیزات آزمایش است، دستگاه‌های شاخه‌ای برای آزمایش دو طرفه باید در هر دو انتهای خط اصلی نوری قرار گیرند.

شکل (۷) شماتیک اتصال دو طرفه دستگاه آزمون را به خط اصلی نوری نمایش می‌دهد. در این زمان چون خطوط اصلی حامل سیگنال‌های توان بالا (به طور مثال هنگام استقرار سیستم DWDM) هستند، باید مراقب اثرات غیرخطی ناشی از سیگنال مخابراتی عبوری بر سیگنال آزمون باشیم.



شکل ۷: پیکربندی معمول یک خط اصلی فیبر نوری طولانی با دستگاه‌های آزمون [۷]

۲-۷- روش‌های آزمون کابل شبکه فیبر نوری

روش‌های متداول که برای آزمون کابل‌های فیبر شبکه نوری استفاده می‌شوند به شرح زیر است[۹،۸]:

- آزمون OTDR

آزمون OTDR (طبق استاندارد ITU-T G.۶۵۰,۳) برای اندازه‌گیری خصوصیات فیبر مانند تلف اتصالات ناشی از فیوژن، محل اتصال، یکنواختی فیبر و طول کابل توصیه می‌شود. معمولاً برای تعیین دقیق تلف اتصالات فیوژنی آزمون دو طرفه OTDR انجام می‌شود. نکته حائز اهمیت در آزمون OTDR استفاده از فیبرهای موسوم به Launch و Tail در ابتدا و انتهای مسیر انجام آزمون است. این دو فیبر استاندارد، به ترتیب اجازه اندازه‌گیری تلف اولین کانکتور و آخرین کانکتور را در کل مسیر به ما می‌دهد و اتلاف کل بر طبق استاندارد با دقت بالا اندازه گیری می‌شود. این فیبرها جزو وسائل جانبی دستگاه آزمون OTDR فروخته می‌شوند.

- آزمون تلف اپتیکی

این آزمون یک روش مؤثر برای اندازه‌گیری تضعیف لینک نوری است. تکنیکی که برای انجام این آزمایش پیشنهاد می‌شود با استفاده از یک منبع نوری و یک پاورمتر نوری است. به این صورت که اندازه توان ورودی در یک انتها با اندازه توان خروجی از سمت دیگر مقایسه می‌شود.

- حسگر توزیعی فیبر نوری حساس به فاز بر مبنای پراکندگی رایلی

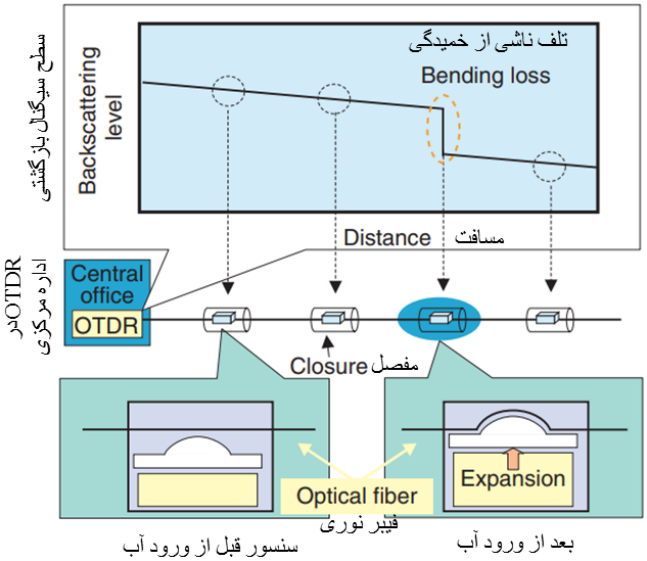
یکی دیگر از تجهیزات مورد استفاده در شبکه‌های نوری دستگاه B -OTDA[۱] (بازتابگر نوری در حوزه زمان بر اساس پراکندگی بریلوئن) است که برای تعیین محل‌های خمش، کشیدگی و تغییرات ناشی از دما در فیبر بکار می‌رود و در سال‌های اخیر دقت تشخیص محل اختلال به رزولوشن متری رسیده است.

بنا به شرایط در صورت نیاز، آزمایشات دیگر برای اندازه‌گیری پراکندگی (شامل PMD و CD) و تضعیف طیفی برای فیبرهای نوری موجود که می‌خواهند در ارسال‌های با نرخ بیت و سرعت‌های بالاتر و عرض باندهای گسترش یافته L استفاده شوند، نیز انجام می‌شود[۱۰].

- سنسورهای تشخیص ورود آب به مفصل ITU-T L.۳۱۵

این سنسورها معمولاً درون مفصل (حوضچه) زیر کابل فیبر نوری غیرفعال بدون سیگنال مخابراتی (فیبرهای تاریک) نصب می‌شوند. درصورت ورود آب به سنسور، حجم ماده بکار گرفته شده در آن افزایش یافته و باعث ایجاد خمیدگی در فیبر می‌گردد. در نتیجه تلفات خمش در OTDR افزایش می‌یابد و آلارم ورود آب را به مرکز نگهداری ارسال می‌کند.[۱۲ و ۱۱].

[۱] Brillouin Optical Time Domain Analyzer(B-OTDA)



شکل ۸: استفاده از سنسور تشخیص آب در مفصل [۱۱]

۳- تجهیزات و تکنیک‌های نوین برای نگهداری شبکه نوری

در این قسمت به تجهیزات نوین و تکنیک‌های مفید دیگر که در کشورهای مختلف برای نگهداری شبکه نوری بکار می‌رود، اشاره می‌کنیم [۱۷].

- فایبر اسکوپ نوری

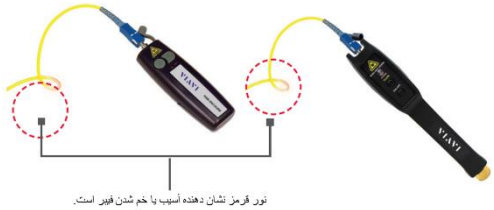
از آنجا که تمیزی سطح مقطع انتهای فیبر و کانکتورها در کیفیت انتقال داده‌ها تأثیر مستقیم می‌گذارد، فایبر اسکوپ نوری برای دیدن دقیق سطح مقطع انتهای فیبر و کانکتور قبل از اتصال بسیار اهمیت دارد. مدل‌های جدید این دستگاه قابلیت تنظیم خودکار مرکز فیبر و فوکوس را دارند. همچنین برای آزمون اتوماسیون این دستگاه هم مانند بقیه تجهیزات آزمون دارای شناسه مخصوص در شبکه نگهداری اینترنتی داخلی است و می‌توان اطلاعات آن را از طریق وایفای به سرور شبکه نگهداری ارسال و ذخیره کرد.

شکل ۹: فایبر اسکوپ نوری [۱۷]

- خطا یاب چشمی[۱]

[۱] Visual Fault Locator(VFL)

به این وسیله قلم نوری نیز گفته می‌شود که به کمک لیزر با طول موج مرئی ۶۵۰ نانومتر, می‌توان خمیدگی‌های تیز، شکستگی‌ها، کانکتورها و اسپلایس‌های خراب را بسته به قدرت لیزر در انواع مختلف تا چندین کیلومتر تشخیص داد.



شکل ۱۰: قلم نوری [۱۷]

- دستگاه شناسایی فیبر[۱]

برای جلوگیری از قطع نادرست فیبرهای در حال سرویس و تشخیص فیبرهای تاریک از بین چندین فیبر، از این دستگاه استفاده می‌شود. این دستگاه از دو بخش تشکیل شده است:

- تولید کننده سیگنال صدا (مدوله کننده فرکانسهای محدوده صوتی)
- تشخیص دهنده فیبرهای در حال سرویس و تاریک

برای تشخیص فیبر تاریک استفاده از بخش تشخیص دهنده فیبر کافی است زیرا هنگام خم شدن فیبر در دستگاه هیچ سیگنال مخابراتی از فیبر تاریک در آشکارساز نشت نمی‌کند ولی برای تشخیص دو سر یک فیبر در حال سرویس در دو مرکز به فواصل چند صد کیلومتر، ابتدا فیبر مورد نظر در مرکز شماره ۱ را درون بخش تولید کننده سیگنال تن قرار داده و سیگنال مدوله شده (با یکی از فرکانس‌های ۲۷۰ هرتز، ۱ کیلو هرتز و ۲ کیلو هرتز) را ارسال می‌کنیم و در سمت دیگر مرکز شماره ۲، فیبر احتمالی را درون بخش تشخیص دهنده قرار می‌دهیم. اگر سیگنال مدوله تن صوتی ارسالی از مرکز شماره ۱ را دریافت کند، دو سر فیبر درست تشخیص داده شده‌اند و اگر سیگنال تن ارسالی دریافت نشود، یکی دیگر از فیبرهای مورد نظر را برای تشخیص درون دستگاه تشخیص دهنده قرار می‌دهیم. به این ترتیب بدون وقفه در انتقال اطلاعات می‌توان فیبر مورد نظر را از بین دو مرکز جداسازی کرد. بعضی از انواع دستگاه‌های شناسایی فیبر قابلیت اندازه گیری مقدار توان اسیگنال عبوری را نیز دارند. شکل (۱۱) نمونه‌ای از ست دستگاه شناسایی فیبر نوری متشکل از تولید کننده سیگنال تن و تشخیص دهنده فیبر را نشان می‌دهد.

شکل ۱۱: دستگاه شناسایی فیبر نوری متشکل از تولید کننده سیگنال تن و تشخیص دهنده فیبر فعال [۱۷]

۱ Fiber Identifier

- مجموعه آزمون تلف نوری

این مجموعه شامل توان‌سنج و منبع نوری است که به کمک آنها می‌توان تلف ورودی را در طول موج‌های مختلف اندازه گیری کرد. نکته مهم در آزمون تلف ورودی استفاده از یک کابل مرجع آزمون (کابل جامپر) متصل به منبع نوری و انجام عملیات تعیین صفر دسی بل مرجع در ابتدای آزمون است. این کابل و اتصال به منبع نوری تا انتهای آزمون نباید تغییر کند. در دستگاه‌های جدیدتر مجموعه OLTS دارای دو پورت فرستنده و گیرنده و همچنین اسکوپ فیبری برای چک کردن تمیزی سر کانکتور ها، همه در یک ماژول می‌باشد. با استفاده از این وسیله می‌توان تلف در دو فیبر در دو طول موج متفاوت و در دو جهت اندازه گیری شود.

شکل ۱۲: مجموعه آزمون تلف نوری [۱۷]

- تضعیف کننده‌های نوری

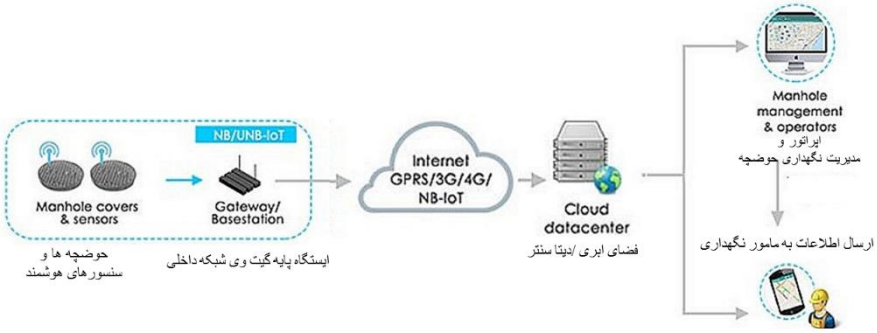
برای انجام آزمون در خطوط پر توان و تعیین حدود بالای توان به صورت موقت تضعیف کننده کالیبره شده با تلف مشخص را به مسیر اضافه کرد و اندازه گیری را انجام داد که البته در تجهیزات جدید سطح تضعیف و طول موج آن قابل تنظیم است.

- سنسورهای IoT[۱] (اینترنت اشیاء)

با نصب سنسورهای هوشمند درون حوضچه‌ها، تونل‌ها و در مکان‌های غیر قابل دسترسی آسان می‌توان از تغییرات محیطی مانند لرزش، دما، رطوبت،... به صورت آنلاین با دریافت اطلاعات صوت/تصویر در موبایل یا کامپیوتر مرکز نگهداری آگاه بود. یکی از موارد استفاده گسترده از این سنسورها برای آگاهی از باز شدن بی موقع درب حوضچه‌ها توسط مزاحمان است که امنیت شبکه را به صورت قابل‌توجهی بالا می‌برد. شکل (۱۳) نمونه‌ای از شبکه هوشمند سنسورهای متصل شده به درب حوضچه‌ها را نشان می‌دهد. این شبکه‌های هوشمند از تکنولوژی NB-IoT (IoT با عرض باند باریک) استفاده می‌کنند. شبکه NB-IoT به علت استفاده از پهنای باند کمتر، برد بسیار بالایی دارد که این امر مصرف انرژی را کاهش و طول عمر حسگرها را افزایش می‌دهد.

---

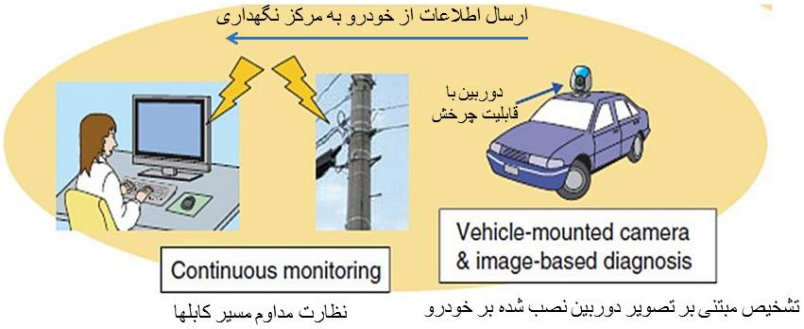
۱ Internet of Things(IoT)



شکل ۱۳: شبکه هوشمند سنسورهای متصل شده به درب حوضچه‌ها [۱۸]

- خودروهای مجهز به دوربین

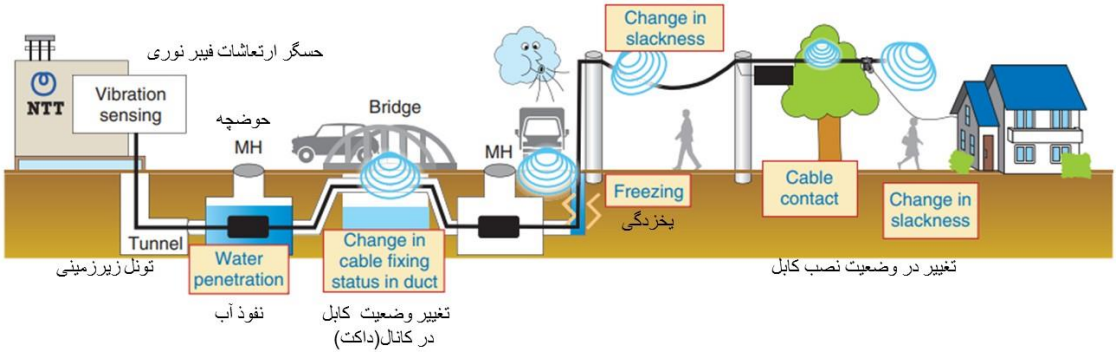
خودروهای مجهز به دوربین‌های عکس/فیلمبرداری به منظور جمع آوری اطلاعات از مسیر کابل‌های نوری (دفن شده و هوایی) استفاده می‌شود [۱۸،۱۹]. از این طریق می‌توان بازدیدهای دوره‌ای را با کیفیت بهتر و همراه با ثبت اطلاعات انجام داد و متخصصین در مرکز نگهداری از آخرین شرایط مسیر که احتمال آسیب به کابل‌ها را دارد، به طور همزمان آگاه هستند و با تصمیم‌گیری‌های به موقع از قطعی شبکه جلوگیری می‌کنند. اخیراً بعضی از کشورها از پهپادهای مجهز به دوربین کنترل از مرکز برای بازدیدهای دوره‌ای استفاده می‌کنند که در این روش نیز با نظارت مستمر می‌توان از آسیب‌های احتمالی به شبکه کابل نوری در مناطق دور از مرکز، جلوگیری کرد.



شکل ۱۴: بازدید حریم یا مسیرهای فیبر نوری با خودروهای مجهز به دوربین [۱۹]

- استفاده از حسگرهای فیبرنوری

در این روش می‌توان از یک یا دو فیبر درون کابل به عنوان حسگر نوری برای بررسی شرایط در طول مسیر استفاده کرد و از راه دور ارتعاشات یا لرزش‌های بیشتر از حد نرمال را با تعیین مکان تشخیص داد. شکل (۱۵) شماتیک ساده چگونگی استفاده از این حسگر را نمایش می‌دهد. اگر در طول مسیر زیرزمینی و یا هوایی عامل خارجی باعث ایجاد فشار یا لرزش غیر مجاز شود، پارامترهای حسگر تغییر می‌کنند و در مرکز نگهداری تشخیص داده می‌شود. این امر امکان بازدید موقعیت مورد خطر قبل از قطعی را به بخش نگهداری می‌دهد[۲۰].



شکل ۱۵: فناوری حسگر فیبر نوری برای نظارت بر تجهیزات شبکه نوری در فضای باز [۱۹]

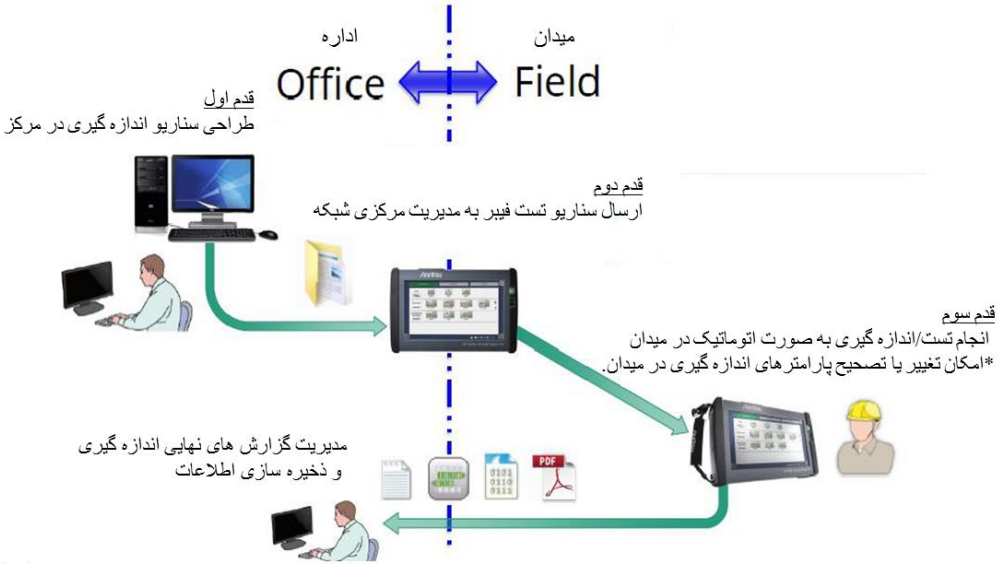
۳-۱- اتوماسیون فرآیند آزمون[۱]

علاوه بر سیستم‌های آزمون و نظارتی از راه دور که ذکر شد، در سال‌های اخیر شرکت‌های پیشرو در ساخت فیبر و تجهیزات شبکه‌های نوری به کمک اتوماسیون آزمون توانسته‌اند با دخالت کمتر نیروی انسانی و دقت بالاتر از شبکه‌های نوری به‌صورت هوشمند با نظارت مداوم نگهداری کنند[۱۶-۱۴]. مهم‌ترین مزایای اتوماسیون فرآیند آزمون در شبکه فیبر نوری شامل موارد زیر است:

- فرآیندهای آزمون و کنترل فعالیت شبکه به صورت مرکزی برای تجهیزات آزمون تعریف می‌شوند. این امر اختلاف در مراحل انجام آزمون را از بین می‌برد و تضمین می‌کند که نتایج بدون در نظر گرفتن مهارت پرسنل در تمام نقاط شبکه سازگار و قابل تکرار هستند.
- نیاز به آموزش فنی پرسنل کاهش می‌یابد و با آموزش‌های ساده برای اتصال وسائل آزمون در نقاط دور، مهندسین آزموده می‌توانند در مرکز فرآیند آزمون‌های تخصصی از راه دور را انجام داده و اطلاعات آزمون را به‌صورت گزارش آنلاین ارائه دهند.
- کل سیستم نگهداری شبکه به صورت یکپارچه به هم متصل می‌شود و با استفاده از نرم افزار طراحی شده، مهندسین نگهداری می‌توانند هم زمان به تمام اطلاعات آنلاین وضعیت نگهداری شبکه از طریق کامپیوتر یا موبایل دسترسی داشته باشند.

مراحل اندازه‌گیری پارامترهای نگهداری شبکه در این روش را می‌توان به صورت شکل (۱۶) توضیح داد. در این سیستم هرکدام از دستگاه‌های اندازه گیری دارای IP خاص خود در شبکه اینترنتی داخلی نگهداری هستند و مهندس نگهداری با تعریف پروژه از راه دور و ارسال آن به واحد مرکزی شبکه می‌تواند به دستگاه اندازه گیری در میدان وصل شود واز راه دور آزمون را انجام دهد و نتایج را هم زمان در کامپیوتر خود و فضای ابری شبکه به صورت گزارش ذخیره کند. به این صورت مهندسین نظارت همواره از شرایط مناطق مختلف در شبکه اطلاع دارند. در این روش استفاده از تجهیزات نوین آزمون برای نگهداری یکپارچه و آنلاین کل شبکه کابل‌های نوری الزامی است

[۱] Test Process Automation (TPA)



شکل ۱۶: شماتیک شبکه هوشمند آزمون و نگهداری [۱۵]

به طور مثال واحد مرکزی مشخص شده در قدم دوم شکل (۱۶) پلت‌فرمی است که قابلیت اتصال، هماهنگ، کنترل و آنالیز کردن دستگاه‌های مختلف نگهداری شبکه از جمله اسپکتروم آنالیزر نوری، OTDR، تلف سنج نوری، پاورمتر، فایبر اسکوپ نوری را از طریق شبکه اینترنتی داخلی، دارد.

۴- مدیریت نگهداری شبکه

مدت زمان استفاده از شبکه کابل‌های نوری در بسیاری از کشورها از جمله ایران به ۳۰ سال و بالاتر رسیده است و این امر باعث توجه بیشتر مسؤلین بخش نگهداری به تصمیمات مدیریتی در خصوص نگهداری و تعمیر اجزاء شبکه انتقال نوری از قبیل فیبر، کاندویت (داکت)، مفصل، حوضچه و تونل‌ها در شبکه شده است. همان طور که می‌دانیم با فرسوده شدن شبکه، امکان آسیب دیدگی و قطعی آن در صورت بروز حوادث طبیعی مانند زلزله، سیل یا رانش زمین بیشتر می‌شود. همچنین در برخی از کشورها به علت افزایش تعداد مشترکان و کابلکشی‌ها، شرکت‌های مخابراتی دچار کمبود نیروی متخصص برای بازرسی‌های دوره‌ای شده‌اند، از این رو تصمیم‌های مدیریتی جدید برای نظارت بر کلیه قسمت‌های شبکه و تعمیر آن حائز اهمیت است. در این راستا روش‌های مدیریتی زیر پیشنهاد می‌شود [۱۸ و ۲۱].

۴-۱- پیش بینی تنزل کیفیت و آسیب در اجزا پسیو شبکه

طرحی که برای این بخش پیشنهاد داده می‌شود تغییر روش‌های بازرسی دوره‌ای، موارد بازرسی، اطمینان از افت کیفیت، تعمیر خرابی‌های مختصر و بهبود سازی است. هم اکنون یک سری از روش‌ها و وسائل آزمون به‌صورت روتین و یکسان در تمام نقاط کشور استفاده می‌شود ولی در یک منطقه جغرافیایی خاص کشور این وسیله ممکن است نتواند مثل بقیه مناطق درست عمل کند و سریع‌تر آسیب ببیند. از این رو در مدیریت و نگهداری شبکه نباید یک روش خاص را برای تمام نقاط انجام دهیم و باید برای هر منطقه با توجه به شرایط روش بهینه نگهداری را اجرا کنیم. برای تحقق این هدف مناطق و بازدیدها الویت بندی می‌شوند و باید نقاطی از کشور که بلا خیزتر هستند را با جمع

آوری اطلاعات دقیق شناسایی و نگهداری شبکه آن منطقه را با استفاده از تکنولوژی روز انجام دهیم. به طور مثال در بازدید دوره‌ای از حوضچه‌ها اطلاعات دقیق در مورد حوضچه‌هایی که آسیب دیده‌اند بر اساس میزان آسیب دیدگی جمع آوری و به ترتیب الویت باید تعمیرات لازم قبل از بروز اختلال در شبکه یا حوادث طبیعی انجام شود. در این تصمیم گیری حوضچه‌های سالم و بدون آسیب در اولویت پایین‌تر برای بازدید دوره‌ای آینده قرار می‌گیرند. البته قابل ذکر است هر چه خرابی‌های جزئی سریع‌تر تعمیر شوند، هزینه نگهداری نیز در طولانی مدت کاهش می‌یابد.

۴-۲- نظارت و آزمون اتوماتیک و حسگرهای کنترل از راه دور

استفاده از شبکه‌های هوشمند آزمون و نگهداری از راه دور و حسگرهای کنترل از راه دور این امکان را می‌دهد تا به اطلاعات مناطق دور از مرکز، همچنین مکان‌هایی که دسترسی به آنها آسان نیست مانند زیرزمین یا بدنه پل‌ها به صورت مداوم و دقیق نظارت داشته باشیم. نصب سنسور در مناطق غیرقابل دسترسی برای کنترل شبکه باعث می‌شود تا مجموعه کمتر به خطا و تجربه تکنیسین وابسته باشد و برای مناطق خطرناک و مرتفع سلامتی افراد کمتر مورد ریسک خطر قرار می‌گیرد. سرمایه گذاری در این زمینه یکی دیگر از مواردی است که در تصمیم‌های مدیریتی شبکه‌های نگهداری کشورهای دیگر مورد توجه قرار گرفته شده است.

۴-۳- دیدگاه اقتصادی در نگهداری شبکه برای افزایش طول عمر سرویس

یکی دیگر از مسائل مهم هنگام گسترش شبکه نوری و افزودن کابل‌ها و اجزاء جدید اطمینان به کارآیی بالا و عدم نیاز به بازدیدهای دوره‌ای یا نگهداری مستقیم آن است به این صورت که با کمک گرفتن از شیوه‌های نوین نصب و استفاده از مواد با طول عمر بالا در ساخت قسمت‌های مختلف، شبکه نوری مقاوم در برابر عوامل خارجی باشد و نیاز به بازرسی در صورت عدم تأثیر شرایط بیرونی به حداقل برسد. توجه مدیریت به این مقوله نیز از عوامل کاهش هزینه‌ها در آینده است.

۴-۴- مطالعه تطبیقی نگهداری از شبکه‌های نوری در کشورهای دیگر

طبق مطالعات انجام شده در این گزارش، اساسی‌ترین رویکرد در طراحی و ارتقاء شبکه نگهداری نوری در کشورهای مختلف پیروی از استانداردهای نگهداری شبکه ITU-T است. با بررسی مثال‌های گوناگون از پروژه‌های نگهداری شبکه‌های نوری در کشورهای نظیر آمریکا, ژاپن، آلمان، انگلیس و ترکیه [۲۲] می‌توان دریافت که تحقق این امر با همکاری شرکت‌های بین المللی مخابرات نوری و دولت‌ها انجام می‌گیرد. اکثر کشورهای ذکر شده از سال ۲۰۰۰ میلادی بر روی موضوع آزمون و نظارت از راه دور فیبرهای فعال تحت سرویس وفیبرهای تاریک سرمایه گذاری کرده‌اند و با خریداری تجهیزات از شرکت‌های بین المللی معتبر و مشارکت آنها در نصب و راه اندازی شبکه نگهداری نوری خود را ارتقاء داده‌اند. به عنوان مثال می‌توان شرکت‌های مخابرات تایلند، ایرلند و آلمان را ذکر کرد که برای طراحی و آزمون از راه دور کابل‌های نوری در شبکه نگهداری خود از مشاوره شرکت VIAVI استفاده می‌کنند و در نمونه‌های دیگری از مناقصه‌های رقابتی در اروپا، شرکت‌های EXFO و Huawei به ترتیب برنده پروژه نظارت و آزمون فیبرهای فعال با تکیه بر فضای ابری از طرف شرکت مخابرات نوری کشور انگلیس (Openreach) و شرکت مخابراتی Openfiber ایتالیا شدند. نمونه‌های عنوان شده بیانگر اهمیت کشورها برای سرمایه گذاری در شبکه

نگهداری، آزمون و نظارت از راه دور فیبرهای فعال است. بررسی‌های دیگر نشان می‌دهند هم اکنون شرکت‌های EXFO,VIAVI, Fluke و Anritsu به صورت تخصصی درباره شبکه‌های هوشمند نگهداری فعالیت می‌کنند. نکته مهم درباره شبکه‌های هوشمند نگهداری، پلت فرم آزمون نوری و ماژول مرکزی ارتباط دهنده بین اجزاء آزمون آن است که امکان نظارت برکل شبکه به صورت آنلاین و جمع آوری داده‌های شبکه در فضای ابری را فراهم می‌کند. همچنین در راستای بهبود کیفیت نگهداری شبکه و کاهش هزینه‌ها در بلند مدت، تحقیقات زیادی درباره استفاده از حسگرهای نوری و غیرنوری کنترل از راه دور در حال انجام است. این حسگرها امکان نظارت آنلاین بر فیبرهای دفن شده زیرزمینی و هوایی را می‌دهد و در شرایطی نظیر نفوذ آب به مفصل‌ها، باز شدن درب حوضچه‌ها، تغییر موقعیت کابل در درون داکت، حوادث طبیعی و غیرطبیعی با ارسال آلارم، امکان تعیین محل مختل شده را قبل از بروز قطعی فراهم می‌کند. طبق تحقیقات انجام شده توسط شرکت مخابرات ژاپن NTT استفاده از حسگرها با دقت بالا بازدیدهای دوره‌ای را به حداقل می‌رساند.

۵- نگهداری خطوط فیبر نوری از راه دور

در حال حاضر چالش‌های ذیل در فرآیند نگهداری شبکه کابل فیبر نوری وجود دارد:

- ✓ عدم وجود راه ساده برای ادغام عملکرد نظارتی OTDR در معماری SDN.
- ✓ تعیین نادرست محل خطا به دلیل عدم بروز بودن شبکه فیزیکی فیبر موجود
- ✓ عدم شناخت زمان واقعی یا دید کلی از وضعیت و روند فعلی شبکه
- ✓ نیاز به نگاه از نقطه مرکزی به نقاط کلیدی برای برنامه‌ریزی بهتر برای بلایای طبیعی
- ✓ تعیین سریع و دقیق محل خرابی شبکه
- ✓ نیاز به راه‌حل‌های نظارتی کاملاً ایمن برای رسیدگی به نگرانی‌های امنیتی فناوری اطلاعات

طبق تجربیات ذکر شده از کشورهای توسعه یافته در استاندارد ITU-T L.۴۰ [۱۳] از سال ۲۰۰۰، سیستم‌های آزمون و نگهداری فیبر از راه دور[۱] در شبکه‌های نوری بسیار کاربردی است. این سیستم شامل طیف وسیعی از قابلیت‌ها از جمله تخمین محل قطعی فیبرها با آزمون فیبرهای تاریک تا سیستم‌های پیچیده‌تر رصد شبکه فعال و تشخیص افت شبکه و ارسال آلارم اخطار قبل از قطعی را دربر می‌گیرد. این سیستم‌ها ممکن است منطقه‌ای یا از طریق مرکز اصلی کنترل شوند. مدل‌های نظارت بر فیبرهای فعال و غیر فعال را در زیربخش‌های بعد بررسی می‌کنیم.

[۱] Remote Fibre Test Systems (RFTSs)

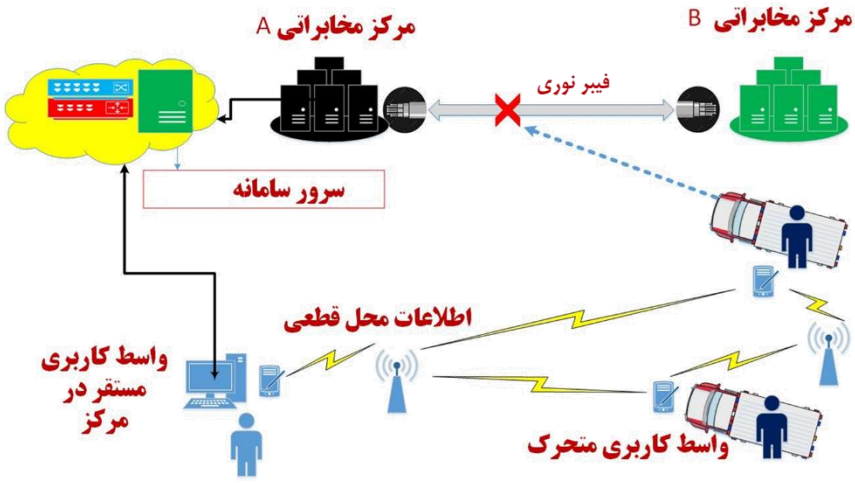
شکل ۱۷: سیستم مانیتورینگ فیبر (از تشخیص قطعی تا محل خرابی) [۱۷]

از جمله کاربردهای مانیتورینگ شبکه فیبر نوری به موارد ذیل می‌توان اشاره کرد:

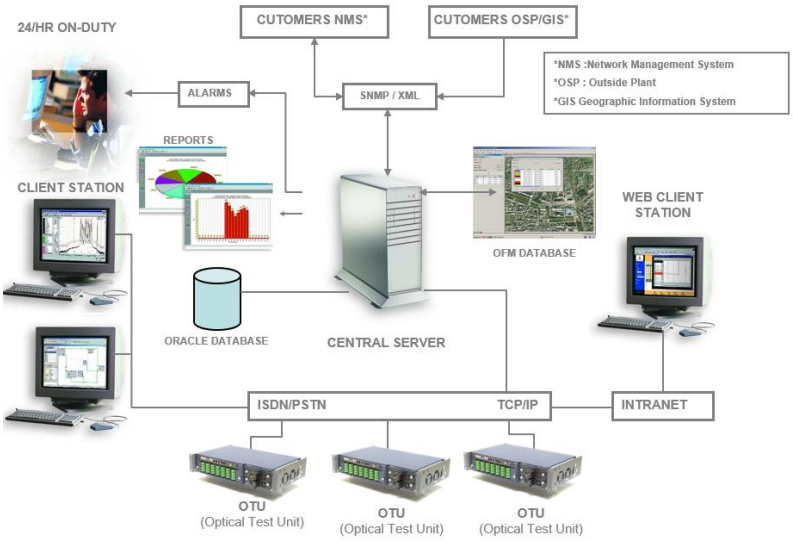
- ❖ فیبر تاریک و ارائه دهندگان عمده فروشی
- ❖ مانیتورینگ کابل فیبر نوری در بک هال، زیردریایی و غیره
- ❖ FTTx برای خدمات تجاری و شبکه‌های تلفن همراه
- ❖ خدمات ابری و شبکه‌های سازمانی
- ❖ شبکه فیبر هسته اصلی انتقال ROADM+۱۰۰G
- ✓ افزودن قابلیت‌های نظارت فیبر به SDN

۵-۱- معماری سامانه هوشمند مانیتورینگ فیبر نوری

همانطور که می‌دانیم در شبکه انتقال فیبر نوری دو سیستم مدیریت تجهیزات شبکه NMS و سیستم مدیریت عملیات شبکه OSS از طریق شبکه داخلی DCN یا TCP/IP وظایف خود را انجام می‌دهند. در صورتیکه سیستم مانیتورینگ فیبر را بخواهیم در شبکه برپا کنیم، بایستی نرم‌افزار مدیریت آن همراه با سیستم مدیریت GIS نیز فعال گردد. همچنین اگر بخواهیم امکان کنترل و نظارت هوشمند را برای پرسنل نگهداری برقرار کنیم باید از طریق شبکه اینترنت این دسترسی برقرار شود. در شکل (۱۸) معماری و پیکربندی این ارتباطات در شبکه مانیتورینگ فیبر نشان داده شده است. در شکل (۱۹) نیز پروتکل ارتباطی واحدهای مختلف در شبکه نشان داده شده است.



شکل ۱۸: معماری سیستم مانیتورینگ شبکه فیبر نوری [۲۵]

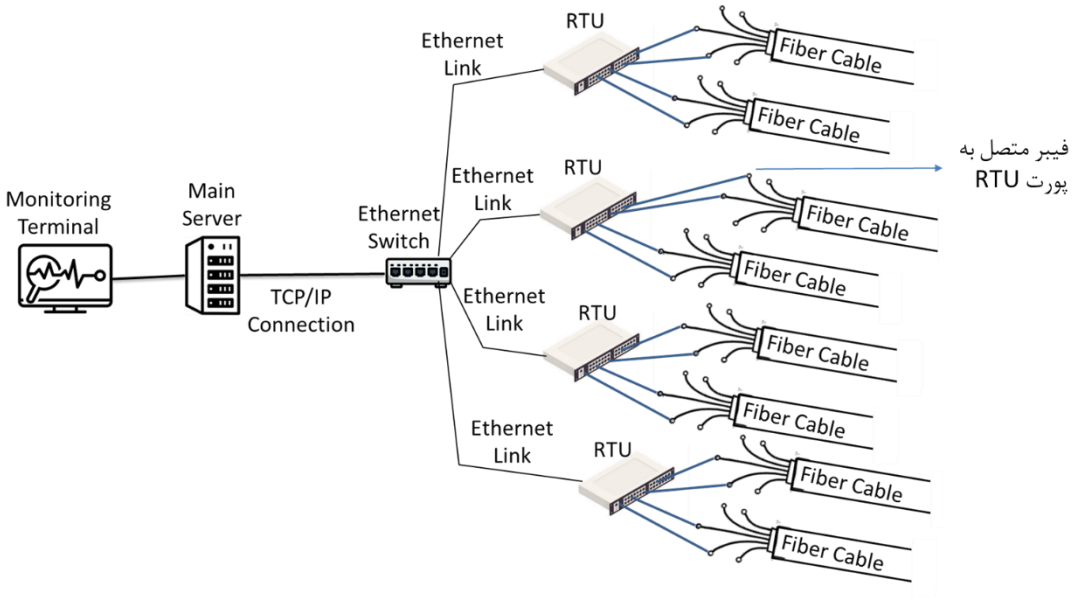


شکل ۱۹: پروتکل ارتباطی بین واحدهای مختلف در سیستم مانیتورینگ شبکه فیبر نوری [۱۷]

۵-۲- سیستم‌های آزمون از راه دور فیبرهای تاریک

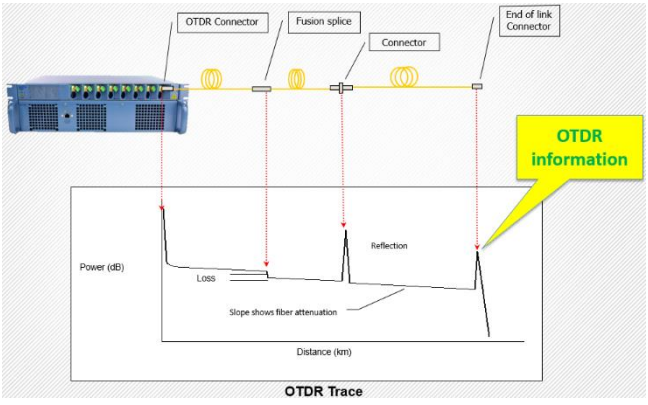
ویژگی‌های مانیتورینگ فیبر خارج از سرویس (فیبر تاریک) به شرح زیر است:

- یک فیبر اضافی مورد نیاز است
- از هر طول موج می توان برای آزمایش استفاده کرد
- نیازی به اصلاح لینک نیست
- مانیتورینگ ۱ فیبر به شما امکان می دهد بیش از ۸۰ درصد خطاهای کابل را تشخیص دهید
- اقتصادی ترین راه حل



شکل ۲۰: پیکربندی مانیتورنگ فیبر تاریک [۲۵]

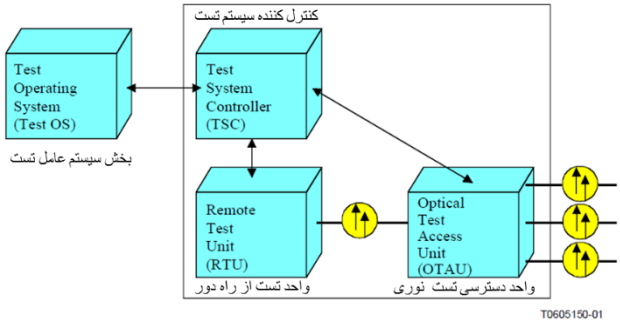
سیستم آزمون فیبر تاریک از راه دور به طور کلی شامل سه بخش اصلی است. بخش اول واحد دسترسی آزمایش نوری[۱] (OTAU) است که این قسمت سوییچ نوری کنترل شده از راه دور می‌باشد. سایز سوییچ به تعداد فیبرهای مورد نیاز برای آزمون بستگی دارد و معمولاً قابلیت سوییچ بین ۷۲ فیبر را دارا هستند و همچنین سوییچ‌های با سایز بزرگ‌تر بنا به نیاز شبکه نیز استفاده می‌شوند. این سوییچ‌ها فیبرهای زیر آزمون را به دومین قسمت سیستم یعنی واحد آزمون از راه دور[۲] (RTU) وصل می‌کنند. این واحد از راه دور OTDR را کنترل می‌کند و OTDR با فرستادن سیگنال آزمون بر روی فیبر مشخصات مربوطه را اندازه‌گیری می‌نماید. در شکل (۲۱) این عملیات نشان داده شده است. سومین بخش از این مجموعه کنترل کننده سیستم آزمون[۳] (TSC) نام دارد. این قسمت فیبر تحت آزمایش را انتخاب و واحد RTU را عملیاتی می‌کند.



شکل ۲۱: آزمون OTDR توسط واحد آزمون از راه دور RTU [۱۷]

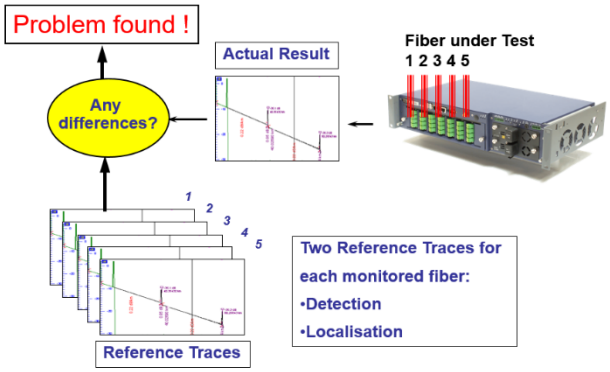
۱ Optical Test Access Unit (OTAU)
۲ Remote Test Unit (RTU)
۳ Test System Controller (TSC)

در بخش TSC اطلاعات قبلی فیبرهای آزمون شده به همراه مکان و مسیر قرار گرفتن فیبرها ذخیره شده است و هر بخش TSC می‌تواند چندین بخش RTU را کنترل کند. بخش TSC شروع به آزمون فیبرهای تاریک بخش خود می‌کند و وقتی به انتهای لیست رسید دوباره به صورت حلقه وار از اولین فیبر آزمون و کنترل را انجام می‌دهد. یکی از معایب این سیستم این است که اگر تعداد فیبرهای این بخش زیاد باشند و شکستگی یا خرابی فیبر به فاصله کمی بعد از آزمون آن رخ دهد، ممکن است زمان طول بکشد تا TSC خرابی را پیدا کند. برای رفع این مشکل TSC را به بخش سیستم عامل آزمون[۱] TOS که در مرکز نگهداری قرار دارد، متصل کردند. در حالی که تمام آلارم‌های اخطاری شبکه به مرکز نگهداری ارسال می‌شود. اپراتورها در این مرکز تمام آلارم های ارسال شده از TSC و بقیه قسمت‌های دیگر شبکه (مانند اخطار از شبکه انتقال) را ارزیابی می‌کنند و با کمک اطلاعات OTDR از قسمت TSC محل خطا رو بهتر تشخیص داده و گروه تعمیرات را به محل اعزام می‌کنند. اگر اخطار از شبکه انتقال زودتر دریافت شود، در این حالت TOS می‌تواند آزمون دوره‌ای TSC را متوقف کند و روی فیبر مورد نظر که از سمت شبکه انتقال در موردش اخطار داده شده است، مجدد آزمون OTDR را انجام دهد.



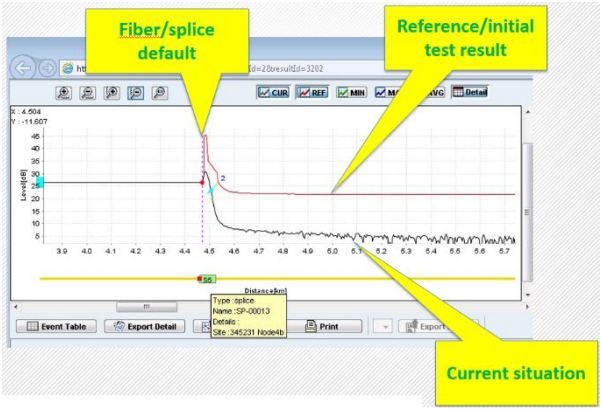
شکل ۲۲: سیستم آزمون از راه دور فیبر تاریک غیرفعال [۱۷]

در واحد RTU بطور دائمی مسیر فیبر نوری توسط OTDR مانیتور می‌شود و نتیجه آزمون با نتایج آزمون اولیه هر مسیر مقایسه می‌شود و در صورت وجود مغایرت از طریق سیستم هشدار پیام تشخیص و محل خرابی برای اپراتور ارسال می‌شود.



شکل ۲۳: مکانیزم تشخیص خطا توسط مانیتورینگ دائمی مسیر فیبر نوری [۱۷]

[۱] Test Operating System (TOS)



شکل ۲۴: مقایسه مانیتورینگ لحظه‌ای با نتایج آزمون اولیه مسیر فیبر نوری [۱۷]

نظارت بر فیبرهای تاریک همیشه تمام خطاها را مشخص نمی‌کند. به طور مثال اگر آب وارد کابل شود و یخ بزند، فیبرهای فعال تلف بسیار زیادی را متحمل می‌شوند در صورتی که فیبرهای تاریک خطای زیادی را در آزمون‌های نظارتی نشان نمی‌دهند. برای غلبه بر این مشکل آزمون فیبرهای فعال پیشنهاد می‌شود که اینکار هزینه مالی سیستم نگهداری را بالا می‌برد و در عمل معمولاً یک یا دو فیبر از هر کابل تحت نظارت آنلاین قرار دارند.

۵-۳- سیستم‌های آزمون فیبر از راه دور با نظارت و آزمایش فیبر فعال

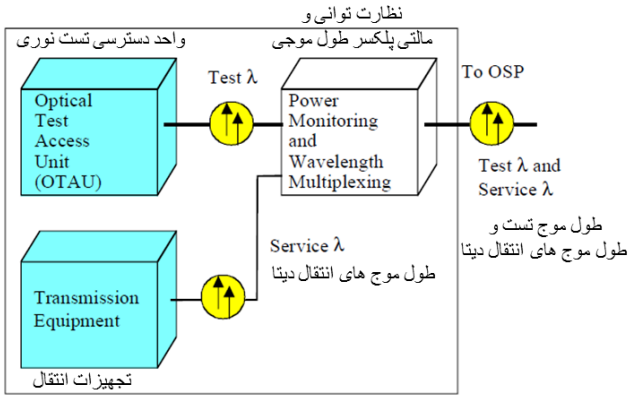
در این روش سیگنال‌های ارسالی و دریافتی در فیبرهای فعال به صورت تمام وقت قابل نظارت هستند. همینطور سیگنال آزمون OTDR که خارج از باندهای اطلاعاتی است را می‌توان بدون اینکه با سیگنال ارسالی تداخل داشته باشد به فیبرهای مورد استفاده در محیط‌های بیرونی[۱] (به وسیله قرار دادن یک WDM بین تجهیزات ارسال دیتا مخابراتی و فیبرهای محیط بیرونی) وارد کرد و نظارت را انجام داد.

شکل‌های (۲۵) و (۲۶) به ترتیب ساختار اصلی سیستم آزمون از راه دور فیبرهای فعال و مدل ساده شده این روش را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر این سیستم بر اساس اندازه‌گیری توان و داخل کردن سیگنال آزمون OTDR به وسیله یک WDM به کل سیگنال‌های ارسالی در شبکه کار می‌کند. مزایای این سیستم عبارتنداز:

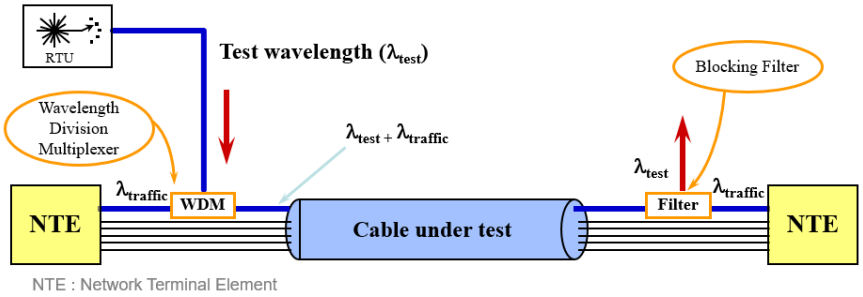
- از واحد آزمون از راه دور RTU فقط وقتی استفاده می‌شود که توان سیگنال کاهش پیدا کرده است و به کمک RTU محل خطا را می‌توانیم تشخیص دهیم.
- تشخیص تلف سیگنال اساساً فوری است و با دریافت اخطار کم شدن توان، قسمت نگهداری به کنترل کننده سیستم آزمونTSC فرمان می‌دهد که با استفاده از RTU واحد آزمون از راه دور و واحد دسترسی آزمایش نوری OTAU آزمون OTDR را انجام داده و محل خطا را پیدا کنند.
- هر دو فیبر فعال وتاریک در این سیستم می‌توانند به صورت دسته‌ای آزمایش شوند.
- به کمک دو روش همزمان نظارت بر مقدار توان انتقالی و روتین آزمون OTDR، می‌توان برای نگهداری پیشگیرانه استفاده کرد. در این روش کم شدن توان سیگنال مخابراتی و نظارت بر کیفیت فیبر در طولانی مدت احتمال بروز خطا را پیشبینی می‌کند.

---

[۱] Outside Plant (OSP) fiber



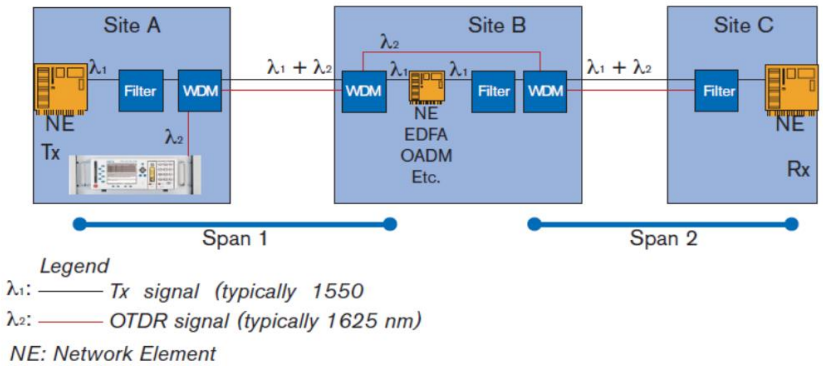
شکل ۲۵: ساختار سیستم آزمون از راه دور فیبرهای فعال [۱۷]



شکل ۲۶: مدل ساده شده نظارت بر فیبر فعال از راه دور [۹]

ویژگی‌های مانیتورینگ فیبر در حال سرویس عبارتنداز:

- ✓ هر فیبر را می توان کنترل کرد
- ✓ از همه الیاف می توان برای تردد استفاده کرد
- ✓ اجزای غیرفعال اضافی مورد نیاز (WDM و فیلتر)
- ✓ برای پیوندهای بسیار استراتژیک مفید است و فیبر اضافی در دسترس نیست.



شکل ۲۷: مانیتورینگ فیبر فعال در شبکه [۹]

شایان ذکر است یک روش دیگر برای مانیتورینگ فیبر فعال توسط خود سیستم انتقال است. شرکت‌های مختلف سازنده تجهیزات انتقال نوری این ماژول را ارائه می‌دهند که می‌توان از سیسکو، فایبرهوم، هواویی نام برد. برای مثال در تجهیزات انتقال نوری کمپانی Huawei کارت OTDR که در شکل (۲۸) نشان داده شده است.

شکل ۲۸: کارت OTDR تجهیزات انتقال نوری هواوی [۲۳]

۵-۴- مزایای کلیدی

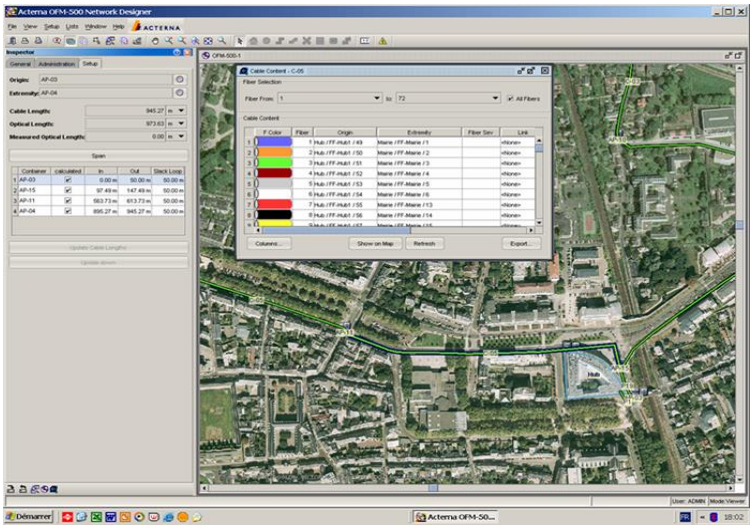
بکارگیری از سامانه هوشمند مانیتورینگ فیبر نوری شامل مزایای ذیل است:

- ✓ مانیتورینگ هوشمند تمام وقت شبکه و یا دوره‌ای
- ✓ آشکارسازی برخط رخداد قطعی فیبر
- ✓ عیب یابی و اطلاع‌رسانی سریع وقوع قطعی فیبر
- ✓ مکان‌یابی سریع و دقیق محل خرابی
- ✓ تحلیل کیفیت فیبر نوری مبتنی بر هوش مصنوعی و تعیین نوع ناهنجاری روی فیبر (اتصال بد یا کثیف، خمش فیبر، دستکاری جهت شنود فیبر)
- ✓ ثبت اطلاعات وضعیت فیبرها در پایگاه داده و ایجاد داشبورد مدیریتی وضعیت فیبرها در نقاط مختلف
- ✓ دریافت، ذخیره‌سازی و مدیریت اطلاعات GIS کابل‌های فیبر نوری (نقشه As Built)
- ✓ امکان پایش فیبر تاریک (بدون ترافیک) و فیبر روشن (دارای ترافیک)
- ✓ حذف آزمون‌های PM شش ماهه فیزیکی
- ✓ حذف آزمون‌های اپتیکی سالانه PM (تاریک و فعال)
- ✓ حذف تهیه و ارسال کلیه گزارشات و اطلاعات و آمار
- ✓ افزایش سرعت تشخیص و رفع خرابی
  - ❖ کاهش حداقل ۳۰٪ متوسط زمان تعمیر و خرابی شبکه
  - ❖ پیش‌بینی اختلالات سرویس قبل از خرابی سرویس
- ✓ کاهش هزینه‌های نگهداری شبکه (Opex)
  - ❖ کاهش هزینه ایاب و ذهاب برای بازدیدهای دوره‌ای مسیرهای فیبر نوری
  - ❖ کاهش هزینه ایاب و ذهاب به منظور رفع خرابی
  - ❖ کاهش هزینه نیروی انسانی
  - ❖ افزایش کارآیی و بهره‌وری تیم تعمیر و نگهداری
  - ❖ اندازه‌گیری از راه دور و اعزام هوشمند پرسنل
  - ❖ کاهش هزینه حضور و افزایش پرسنل در شرایط نامساعد جوی، زلزله و ....
  - ❖ هزینه ارسال گزارشات ماهانه

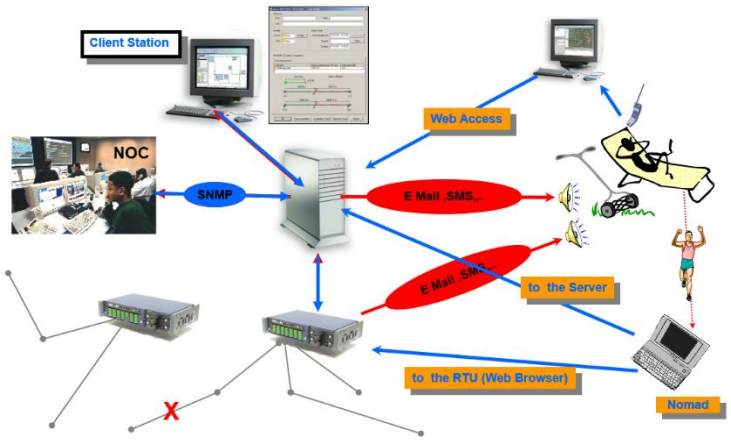
- ✓ ساده‌سازی مدیریت SLA
- ✓ افزایش دقت و صحت آمارهای قطعی و خرابی شبکه فیبر
- ✓ محافظت از سرمایه زیرساخت فیبری با نظارت بر عملکرد بلند مدت
- ✓ بهبود عیب‌یابی و مرزبندی بین ارائه دهندگان
- ✓ افزایش امنیت شبکه، تشخیص نفوذ به فیبر، محافظت از اطلاعات ارزشمند در برابر نفوذ

۵-۵- قابلیت‌های نرم‌افزاری سیستم مانیتورینگ

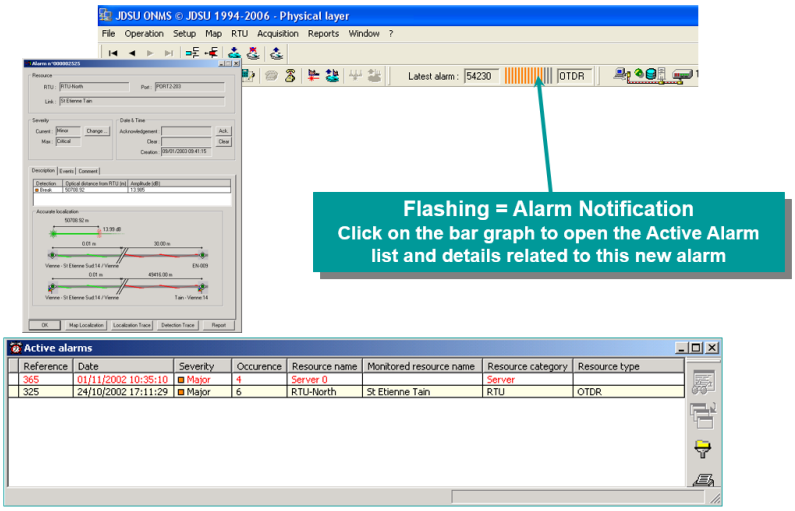
سیستم مانیتورینگ کابل فیبر نوری دارای قابلیت‌های نرم‌افزاری زیر است:



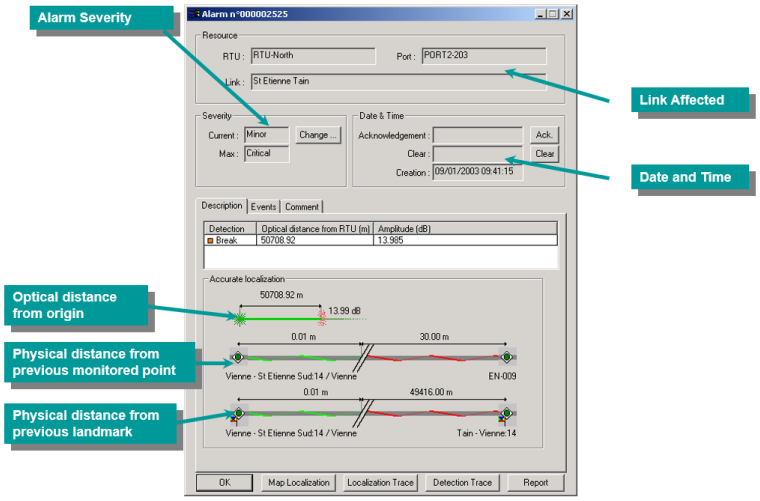
شکل ۲۹: نمایش اطلاعات روی نقشه (GIS یکپارچه) [۱۷]



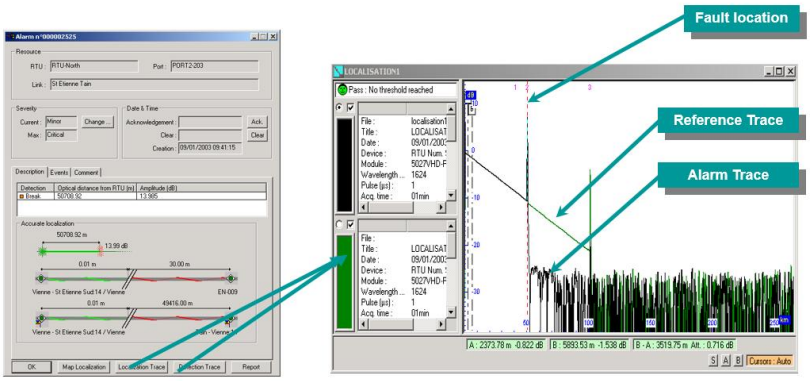
شکل ۳۰: فرآیند مدیریت آلارم در سیستم مانیتورینگ کابل فیبر نوری [۱۷]



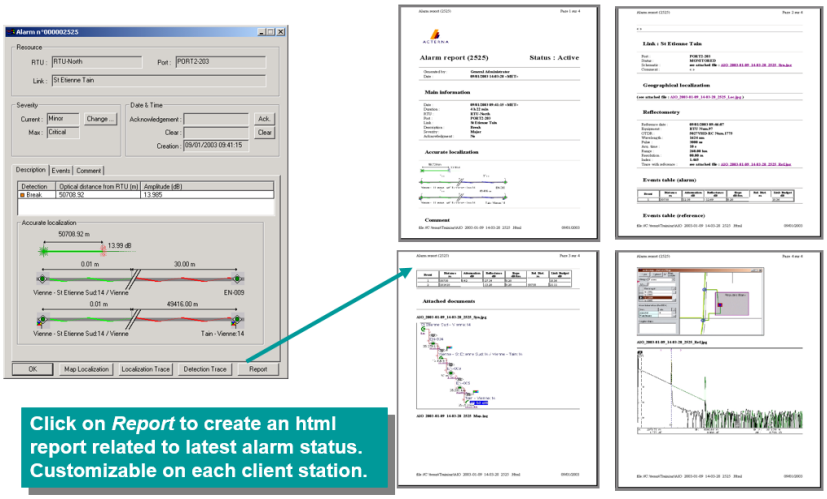
شکل ۳۱: نمایش آلارم و توضیحات تیکت هشدار [۱۷]



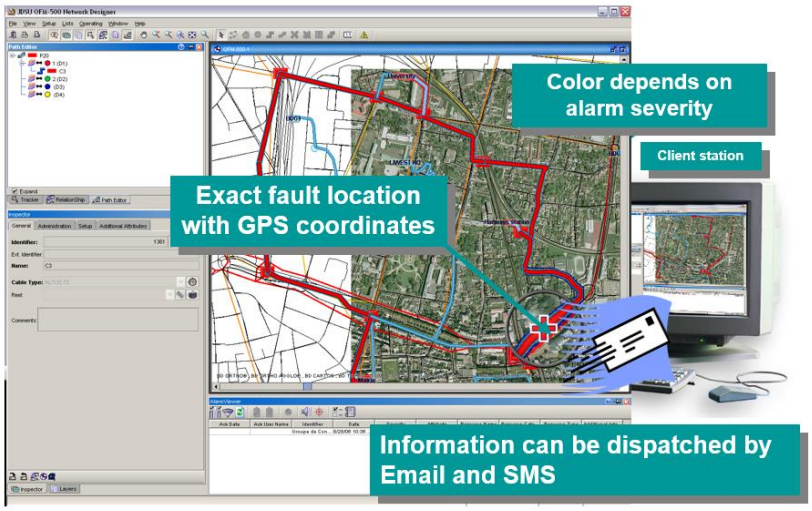
شکل ۳۲: دسترسی به اندازه‌گیری‌های OTDR [۱۷]



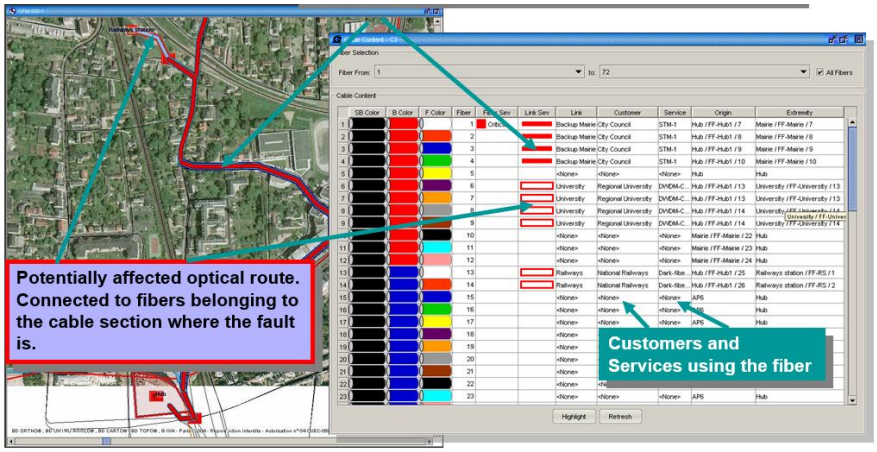
شکل ۳۳: نمایش محل خرابی، ردیابی OTDR اولیه، ردیابی آلارم [۱۷]



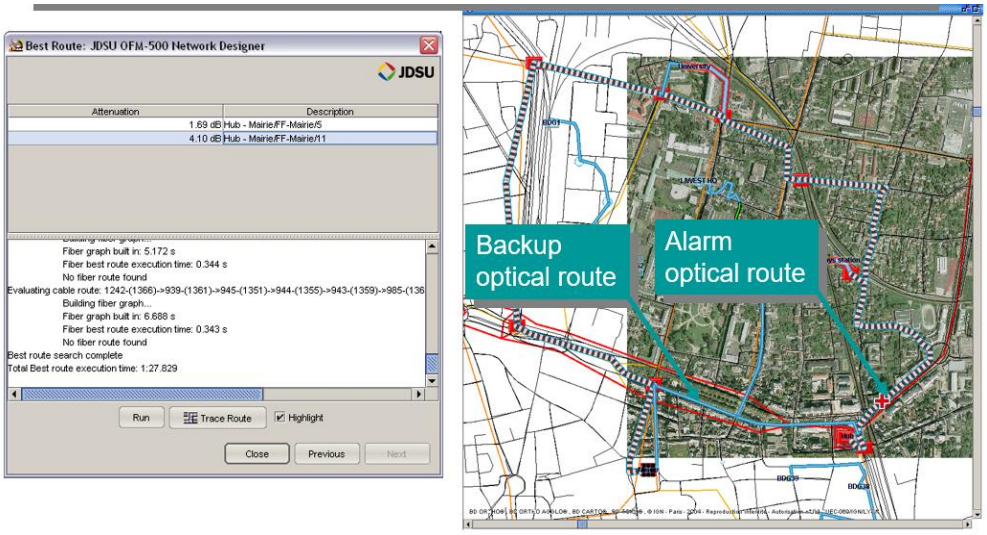
شکل ۳۴: گزارش خطاها: ارسال گزارش خرابی روی سیستم GIS، امکان تعریف رنگ آلارم متناسب با شدت آن، تعیین محل دقیق خرابی با مختصات GPS، ارسال اطلاعات خرابی به ایمیل یا SMS [۱۷]



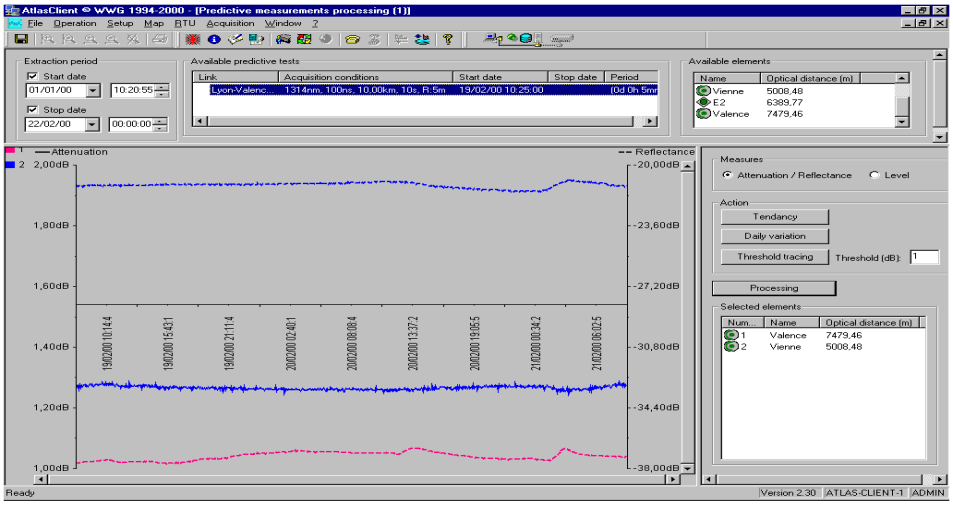
شکل ۳۵: ارسال زنگ هشدار به OFM و نمایش روی نقشه GIS [۱۷]



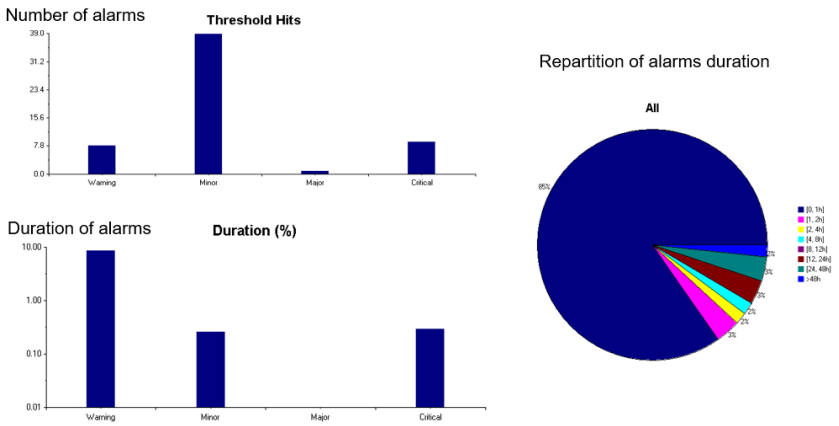
شکل ۳۶: گزارش وضعیت بکارگیری از فیبر خراب درون کابل مسیر نوری توسط مشتری یا سرویس [۱۷]



شکل ۳۷: گزارش مسیر نوری خراب و تعیین مسیر نوری پشتیبان [۱۷]



شکل ۳۸: سازماندهی کمپین‌های تعمیر و نگهداری فعال بر روی فیبر خاص و ذخیره منظم نتایج OTDR برای تجزیه و تحلیل و پیش بینی خطاهای موجود در فیبر [۱۷]



شکل ۳۹: قابلیت گزارش عملکرد در هر منطقه یا دوره برای پشتیبانی از SLA [۱۷]

۵-۶- مشخصات فنی

مهمترین مشخصات فنی یک سیستم مانیتورینگ کابل فیبر نوری شامل موارد ذیل است:

- ✓ تعداد پورت‌های سوئیچ RTU: ۴, ۸, ۱۶،۳۲, ۶۴
- ✓ زمان سویچینگ
- ✓ میزان افت الحاقی سوئیچ
- ✓ میزان افت وابسته به طول موج
- ✓ همشنوایی بین کانال‌ها
- ✓ تکرار پذیری
- ✓ طول عمر
- ✓ تعداد فیبر تاریک و فیبر فعال روی هر سوئیچ
- ✓ طول مسیر کابل فیبر نوری
- ✓ نوع کانکتور
- ✓ ماژول اسپلیتر یا WDM برای مانیتورینگ مسیر فعال
- ✓ دمای عملکرد
- ✓ دمای نگهداری
- ✓ توان مصرفی
- ✓ امکان بکارگیری بصورت آفلاین یا آنلاین
- ✓ نرم‌افزار کنترل، GIS و امکان مدیریت OTDR

۵-۷- معرفی محصولات تجاری

محصولات تجاری موجود در بازار را به دو دست خارجی و داخلی تقسیم کرده‌ایم. در بخش خارجی محصولات شرکت‌های VIAVI، EXFO و UTEL و در بخش داخلی محصول شرکت دانش بنیان آریوتک بررسی شده است.

۵-۷-۱- کمپانی VIAVI

این کمپانی آمریکایی یک سیستم مدیریت شبکه نوری منحصربه‌فرد را برای تجهیزات خود با نام ONMSi معرفی کرده است. ONMSi یک سیستم نظارت بر شبکه نوری است و موجب بهبود پشتیبانی عملیاتی و کیفیت خدمات (QoS) برای هر نوع شبکه می‌شود.

ONMSi یک سیستم آزمون فیبر از راه دور است که شبکه فیبر را به‌صورت ۲۴ ساعته و ۷ روزه اسکن می‌کند و بدون نیاز به اعزام تکنسین‌های موجود به طور خودکار خطاها را شناسایی و تعیین می‌کند. ماژول اصلی، یک ماژول نظارتی است که یک OTDR و یک سوئیچ نوری را در یک کارد ادغام می‌کند، دائماً داده‌ها را مقایسه می‌کند و در صورت تخریب فیبر هشدارها را ارسال می‌کند. ماژول‌های اصلی برای مسافت‌های طولانی و کوتاه قابل استفاده می‌باشند.

شکل ۴۰: تجهیز RTU شرکت VIAVI مدل OTU-۸۰۰۰ [۱۷]

۵-۷-۲- کمپانی EXFO

راه‌حل آزمایش و نظارت فیبر از راه دور کمپانی کانادایی EXFO بر اساس تجهیزات آزمون OTDR ثابت که در مکان‌های مرکزی استراتژیک در سراسر شبکه قرار گرفته‌اند، ساخته شده‌اند. وضعیت تأسیسات فیبر نوری به طور مداوم بررسی می‌شود و مکان‌های تخریب یا شکست در عرض چند دقیقه پس از وقوع مشخص می‌شود. با استفاده از سوئیچ نوری و اجرای آزمایش آزمون OTDR بر فیبرهای مختلف، چرخه حیات شبکه به‌طور خودکار بررسی و تشخیص خرابی سرعت می‌بخشد. استفاده از سیستم GIS محل دقیق خرابی را در شبکه مشخص می‌کند.

- ✓ زمان تشخیص خرابی از ساعت به دقیقه
- ✓ مانیتورینگ وضعیت فیبر از راه دور و از هر مکانی
- ✓ خودکارسازی درخواست انجام رفع خرابی و تعیین جزئیات خطا و مکان آن روی نقشه
- ✓ حذف روال‌های بازرسی و آزمون میدانی شبکه فیبر
- ✓ مقایسه و ردیابی نتایج آزمون OTDR فعلی با آزمون اولیه
- ✓ پیش‌بینی خرابی قبل از قطعی سرویس

۵-۷-۳- کمپانی UTEL

کمپانی انگلیسی UTEL سیستم FASTLight را معرفی کرده است. هر واحد RTU سیستم تا ۶۴ پورت سوئیچ قابل ارائه است. ساختار آن نیز بصورت ماژولار است.

شکل ۴۱: تجهیز Fast Light شرکت UTEL [۲۴]

۵-۷-۴- شرکت فن‌آوری‌های نوظهور آریوتک

از جمله قابلیت‌های محصول این شرکت عبارتنداز:

- ✓ قابلیت مانیتورینگ خودکار و دستی فیبرها
- ✓ قابلیت اتصال به سامانه تحلیل لاگ های NMS سیستم‌های انتقال موجود
- ✓ افزایش دقت تحلیل دسترس‌پذیری شبکه با تجمیع اطلاعات سامانه مانیتورینگ و آلارم‌های NMS

- ✓ قابلیت استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و هوش مصنوعی (AI/ ML) به‌منظور افزایش دقت، صحت و کیفیت نگهداری شبکه انتقال
- ✓ ساختار یکپارچه سیستم

شکل ۴۲: نمای کلی دو مدل RTU (۶۴ و ۴ پورت) مانیتورینگ فیبر نوری شرکت آریوتک [۲۵]

۵-۸- برآورد قیمت

قیمت محصول هر یک از شرکت‌ها در جداول ذیل ارائه شده است. بر اساس اظهارات نمایندگی کمپانی‌ها قیمت نصب، راه اندازی، آموزش، وارد کردن نقشه و اطلاعات مربوطه، خدمات پس از فروش نرم‌افزاری شامل بروز رسانی و رفع عیب نرم افزاری، ارتباط از راه دور جهت رفع اشکال و پاسخ به سوالات فنی پس از مشخص شدن ابعاد پروژه تعیین می‌شود.

جدول ۲: سیستم **ONMS** کمپانی **VIAVI** [۱۷]

شماره فنی	توصیف تجهیز	قیمت (بر حسب دلار)
E۹۸-FP-RF	OTU-۸۰۰۰ base unit - Front Power Input	۵۸۴۰۹
E۸۱۱۶۵B	OTDR module B with ۱۶۵۰ nm filtered wavelength	
E۹۸X۰۴	Optical switch ۱x۴ plug-in module (SC/APC)	۱۲۰۱۳
E۹۸X۰۸	Optical switch ۱x۸ plug-in module (SC/APC)	۱۵۴۹۶
E۹۸X۱۶	Optical switch ۱x۱۶ plug-in module (SC/APC)	۲۴۱۵۴
E۹۸X۲۴	Optical switch ۱x۲۴ plug-in module (SC/APC)	۳۰۷۹۲
E۹۸X۳۶LCAPC	Optical switch ۱x۳۶ plug-in module (LC/APC)	۴۰۷۴۷
E۹۸X۴۸LCAPC	Optical switch ۱x۴۸ plug-in module (LC/APC)	۵۰۷۰۶
E۹۸LGX۲W۱۶۵SA	LGX box with two ۱۶۵۰ nm WDM (SC/APC)	۱۳۱۳
E۹۸LGX۱BP۱۶۵SA	LGX box with one ۱۶۵۰ nm bypass (SC/APC)	۱۳۲۵
E۹۸LGX۲F۱۶۵SA	LGX box with two ۱۶۵۰ nm filters (SC/APC)	۱۳۱۳
-	RACK MOUNTING KIT FOR LGX BOX -۱۹ INCHES-	۲۵۹
ONMSi SW	ONMSI SOFTWARE PACKAGE	۵۹۶۴۸۰
ONMSi Backup SW	ONMSi Backup Management Software	۷۹۸۲۴

جدول ۳: سیستم **FastLight** کمپانی **UTEL** [۲۴]

توصیف	قیمت (بر حسب دلار)
ROSC - Remote Optical Switch Controller	۴۸۰۰
OTDR - U-TEST ۹۰۳	۱۹۲۰۰
FS۰۴ - ۴ port optical switch	۱۲۰۰
FS۰۸- ۸ port optical switch	۲۰۸۰
FS۱۶- ۱۶ port optical switch	۳۵۲۰
FS۳۲- ۳۲ port optical switch	۶۰۸۰
FS۶۴- ۶۴ port optical switch	۱۲۰۰۰
FS۱۲۸-۱۲۸ port optical switch	۲۲۴۰۰
FastLight۲ EMS	۸۰۰۰
Test Access Filter (TAF)	۱۶۰
Test ByPass Filter (TBF)	۲۷۲
Test End Filter (TEF)	۱۶۰

جدول ۴: سیستم **NQMS** کمپانی **EXFO** [۱۵]

شماره فنی	توصیف تجهیز	قیمت (بر حسب دلار)
RTU-۷۰۰-NS۱۴۵۹X	NQMS fiber Remote Test Units - Eight (۸) Optical Ports; SC-APC - ۱۶۲۵nm wavelength, ۴۲ dB Filtered DR	۴۴۵۵۲
FWDM-۲۳۴-۸۸	Filtered Wavelength Division Multiplexer	۱۱۱۲
RMK-۷۲۰-RK۱۹	Rack Mount Chassis for FWDMs	۴۷۲
FIBER-RHLO-STD-OSP-SN-E	NQMSfiber release ۵,۶ EMS software - Standard	۴۰۳۹۲
DCC-NS۸۷۲	Data Collection Center Server Platform	۱۴۳۹۲

جدول ۵: سیستم شرکت فن‌آوری‌های نوظهور آریوتک [۲۵]

تجهیزات	قیمت (بر حسب دلار)
نرم‌افزار هوشمند مانیتورینگ فیبر مبتنی بر نقشه و اطلاعات GIS	۱۵۰۰۰
سرور ارتباط با ایستگاه‌ها و جمع‌آوری اطلاعات	۱۵۰۰۰
سامانه نوری ۴ پورت ۴۲dB	۱۲۰۰۰
سامانه نوری ۶۴ پورت ۴۲dB	۲۰۰۰۰

۵-۹- تحلیل فنی اقتصادی

برای تحلیل اقتصادی باید هزینه نگهداری شبکه را بدانیم. اینکار مستلزم آن است که شرح خدمات نگهداری و هزینه هر آیتم مشخص باشد تا بعد از آن مشخص گردد که اگر شبکه مانیتورینگ از راه‌دور فعال شود چه آیتم‌هایی از شرح خدمات نگهداری کاسته می‌شود و در نهایت صرف اقتصادی اتوماسیون مشخص گردد. همانطور که می‌دانیم فرآیند نگهداری از شبکه فیبر نوری شامل مجموعه عملیاتی است که برای حفظ و مراقبت از شبکه کابل فیبر نوری

از ODF مرکز مبدأ تا ODF مرکز مقصد به‌همراه تجهیزات، محدثات و منصوبات طول مسیر و رفع خرابی و قطعی در آن شبکه انجام می‌پذیرد تا خللی در سرویس‌دهی مطلوب ایجاد نگردد. اینکار با بازدید مستمر از مسیرهای فیبر نوری جهت بازدید، پایش و حفاظت از مسیرهای فیبر نوری به نحوی که همواره از کلیه فعالیت‌های و وقایع از جمله آب‌بردگی، تخریب، فرسایش و حفاری‌های در حال انجام در حریم مسیرهای فیبر نوری مطلع بوده و ارائه گزارش روزانه از وقایع افتاده، فعالیت‌های در دست انجام و اقدامات انجام پذیرفته از سوی عوامل نگهداری در خصوص افزایش ایمنی مسیرهای فیبر نوری و پیشگیری از بروز قطع ارتباط و ثبت آن در دفاتر مربوطه انجام می‌گیرد. هر مسیر فیبر نوری در حالت عادی می‌بایست حداقل هر سه روز یکبار مورد بازدید و پایش قرار بگیرد و در شرایط خاص و با نظر دستگاه نظارت تعداد بازدید و پایش مسیرها کم یا زیاد می‌شود. شایان ذکر است پرسنل و تجهیزات واحدها و محل‌های استقرار نگهداری فیبر نوری در طول هفته و حتی ایام تعطیل باید آمادگی ۲۴ ساعته و تمام وقت جهت تعمیر و رفع خرابی داشته باشند.

همچنین ارسال گزارش ماهانه پیمانکار به بهره‌بردار صورت پذیرد. همچنین انجام کلیه اقدامات پیشگیرانه و اتخاذ تدابیر لازم در راستای جلوگیری از فعالیت‌های بدون مجوز و نظارت بر فعالیت‌های دارای مجوز در حریم فیبر نوری اعم از پیگیری موضوع حفاری‌های غیر مجاز از طریق نیروی انتظامی و سایر مبادی ذیربط باید توسط پیمانکار نگهداری انجام شود.

در حال حاضر شرح خدمات نگهداری شامل موارد زیر است:

- بازدید و بررسی تجهیزات راک OCDF/ODF و کابل‌های مربوطه
- بازدید و بررسی وضعیت کابلکشی داخل مراکز
- بازدید و بررسی وضعیت کابلکشی داخل کانال
- بازدید و بررسی وضعیت مسیر کابلکشی خاکی
- بازدید و بررسی وضعیت عبور کابل ار کف آبروها، پیشانی پل‌ها
- بازدید و بررسی وضعیت تیرک‌های شناسایی
- بازدید و بررسی چاله مفصل‌ها
- انجام آزمون‌های PM شش ماهه فیزیکی و سالیانه اپتیکی

بطور کلی هزینه نگهداری شامل:

- ✓ هزینه تأمین نیروی انسانی و حق مأموریت نیروهای متخصص و مجرب
- ✓ هزینه تأمین محل استقرار پرسنل فنی جهت انجام شرح وظایف و تعهدات

است. با توجه به قابلیت‌های ذکر شده برای سیستم مانیتورینگ هوشمند، تخمین دقیق محاسبه میزان بهره‌وری آن برای شرایط مختلف در یک شبکه متفاوت است. اما آنچه که مشخص است که دیگر نیازی به انجام آزمون‌های PM نیست و سرعت تشخیص خرابی و محل دقیق آن بالا می‌رود و نیاز به حضور دائم و استقرار پرسنل نگهداری کاهش چشمگیری خواهد داشت. طبق بررسی‌های صورت گرفته بکارگیری از این فناوری باعث افزایش سرعت رفع

خرابی و کاهش هزینه‌های پرسنلی خواهد شد. طبق برآورد انجام شده در بدترین شرایط باعث کاهش ۲۵٪ هزینه‌ها و در بهترین حالت تا ۵۰٪ هزینه‌های نگهداری را کاهش می‌دهد.

۶- جمع بندی و پیشنهادات

در حالت کلی نگهداری شبکه نوری به دو بخش نگهداری پیشگیرانه و تعمیر و نگهداری پس از خطا یا خرابی تقسیم می‌شود که در هر دو شرایط فعالیت‌های نگهداری به ترتیب شامل نظارت، آزمایش و کنترل هستند. موضوعات بررسی شده در این گزارش به شرح ذیل است:

- آخرین توصیه نامه‌های ITU در خصوص نگهداری شبکه کابل فیبر نوری
- تجهیزات و تکنیک‌های نوین برای نگهداری شبکه کابل فیبر نوری
- مدیریت و نگهداری شبکه
- نگهداری خطوط فیبر نوری از راه دور

هدف اصلی مانیتورینگ هوشمند به‌منظور کنترل و نظارت بر عملکرد شبکه فیبر نوری است که شامل مباحث ذیل است:

- تعریف مانیتورینگ فیبر

مانیتورینگ فیبر به معنای ارزیابی مداوم کیفیت فیبر از طریق ابزارهای نرم‌افزاری و تجهیزاتی است که شامل یک سیستم یکپارچه نظارت و مدیریت فیبر است. این سیستم در واقع تشخیص خطا یا کاهش کیفیت یا نفوذهای امنیتی را تسهیل کرده و مدیر سیستم در لحظه رخدادن هرگونه تهدید برای یکپارچگی شبکه فیبر نوری، آلارم دریافت می‌کند. از سیستم‌های مانیتورینگ نیز می‌توان برای پیشگیری و تحلیل میرایی و سایر معیارهای عملکرد فیبر نوری در طول زمان استفاده کرد.

- نیاز به مانیتورینگ فیبر

کابل فیبر نوری زیرساخت اصلی شبکه ارتباطات شهری و بین‌شهری است. کابل نوری ذاتاً در مقابل نفوذ آب، حفاری‌های ساختمانی نامناسب، هجوم جوندگان، نفوذهای امنیتی و بسیاری از خطرات احتمالی دیگر آسیب‌پذیر است. حفظ شرایط و عملکرد مطلوب فیبر مستلزم شیوه‌های پیشرفته نظارت بر فیبر برای شناسایی و واکنش سریع به مشکلات است. فناوری‌های جدید و توسعه شبکه، مرزها و قابلیت‌های مانیتورینگ فیبر را پیش می‌برد. کابل‌های زیردریایی، فیبرهای نوری بسیار طولانی هستند که در ترانشه‌های کف اقیانوس قرار گرفته و توسط کشتی‌های تخصصی با سرعت ۲۰۰ کیلومتر یا بیشتر در روز نصب می‌شوند. در حالی که ارزش این فیبرهای نوری مشخص است، هزینه نصب و نگهداری آنها می‌تواند قابل توجه باشد. هنگام بروز مشکلات، نیاز به غواصان برای بررسی و ترمیم خرابی است. مانیتورینگ فیبر منجر به تشخیص زودتر در پیدا کردن محل خرابی شده و در نتیجه زمان واکنش و تعمیر را کاهش می‌دهد.

- نظارت بر فیبر فعال

نگرانی‌های امنیتی فیبر نوری به طور فزآینده‌ای اهمیت یافته است زیرا هر ساله نفوذها و حوادث سرقت اطلاعات بیشتری گزارش می‌شود. اگرچه کابل‌کشی فیبر نوری به‌طور کلی ایمن‌تر از کابل‌کشی معمولی تلقی می‌شود، اما حوادث تخریبی به فیبر همچنان مسئولان و توانایی‌های سیستم نظارت بر فیبر را به چالش می‌کشد.

سارقین اطلاعات برای جلوگیری از لو رفتن، روش‌های جدیدی با استفاده از اسپلیتر یا با خم‌کردن فیبر برای ایجاد نشت، استفاده می‌کنند. رمزگذاری دیتا اولین خط دفاعی مشخص برای چنین نفوذهایی است، اما از فناوری نظارت بر فیبر نیز می‌توان برای شناسایی تغییرات در بازخورد نوری استفاده کرد که سارقان به دنبال پنهان کردن آن هستند.

یکی از روش‌های نوآورانه برای نظارت بر فیبر که می‌تواند امنیت را با حداقل زیرساخت سخت افزاری اضافی بهبود بخشد، نظارت بر فیبر فعال است. با تشخیص تغییرات کوچک در انتقال نور در خطوط فیبر فعال، می‌توان زنگ هشدارها را افزایش داد تا اقدامات امنیتی مناسب انجام شود. با استفاده از نظارت فعال، نیازی به اختصاص فیبر اضافی برای اهداف نظارت نیست زیرا فیبر فعال که دارای دیتایی با اولویت بالا هستند، می‌توانند به صورت استراتژیک برای مشاهده انتخاب شوند.

- نظارت بر فیبر از راه دور

سیستم مانیتورینگ فیبر از راه دور امکان نظارت بر کل شبکه فیبر نوری، از جمله فیبر تاریک را از یک مکان مرکزی فراهم می‌کند. با استفاده از این روش، می‌توان عملکرد شبکه را به طور مداوم ارزیابی کرد و میانگین زمان تعمیر[۱] را به حداقل رساند. MTTR معیار اثربخشی سیستم نظارت و مدیریت فیبر است که بیانگر مدت زمان متوسط مورد نیاز برای عیب‌یابی خرابی و بازگشت سیستم به حالت کار است. فرآیند تعمیر و عیب‌یابی از فرآیند "یافتن" یا محلی‌سازی خطا و فرآیند تعمیر تشکیل می‌شود. هنگامی که یک خرابی مثل قطعی فیبر رخ می‌دهد، اغلب ۵~۴ تکنسین برای ۵~۴ ساعت برای رفع مشکل اعزام می‌شوند تا محل خرابی را پیدا کنند. مانیتورینگ از راه دور بخش محلی‌سازی فرآیند تعمیر را به کمتر از پنج دقیقه کاهش می‌دهد و از راه دور و به صورت خودکار انجام می‌شود. این به طور معمول ۴۰٪~۳۰٪ از کل مدت زمان فرآیند تعمیر است. بنابراین دقت مانیتورینگ فیبر از راه دور، با استفاده از فناوری OTDR برای تشخیص خطاهای فیبر، یکی از کلیدهای به حداقل رساندن MTTR و افزایش رضایت کاربر است. پیام‌های هشدار تولید شده توسط سیستم‌های مانیتورینگ فیبر نوری از راه دور را می‌توان از طریق ایمیل و همچنین پروتکل‌های SMS یا SNMP ارسال کرد. پیامک SMS در صورت وقوع زنگ هشدار به طور خودکار به متولیان تعمیر و نگهداری ارسال می‌شود. با اینکار نیاز به نظارت مداوم به حداقل می‌رسد. پروتکل ساده مدیریت شبکه (SNMP) یکی دیگر از ابزارهای ارتباطی است که معمولاً برای نظارت از راه دور دستگاه‌ها و انتقال هشدارها به یک مکان یا میزبان مرکزی استفاده می‌شود.

- محدودیت‌های نظارت بر فیبر

با وجود کارآیی فناوری OTDR، وجود مناطق مرده در لینک‌های فیبر نوری منبع بالقوه عدم قطعیت نظارت بر فیبر است. یک منطقه مرده در اندازه‌گیری OTDR می‌تواند زمانی رخ دهد که یک بازتاب شدید در خط فیبر وجود داشته باشد که می‌تواند ناشی از شکاف‌های هوا، اتصالات یا کانکتورها باشد که میزان بازتاب کافی را برای اشباع موقت آشکارساز OTDR ایجاد می‌کند. در طول این دوره "خاموشی"، در حالی که آشکارساز در حال بازیابی از اشباع است، OTDR قادر نخواهد بود سایر رویدادهای نزدیک در خط فیبر را به طور دقیق تشخیص دهد. این امر زمانی

[۱] Mean Time To Repair: MTTR

اهمیت پیدا می‌کند که یک خطا در نزدیکی یک اتصال ایجاد شود، به طوری که یک مسئله جدید توسط یک منبع بازتاب قبلی از بین برود.

یکی دیگر از اجزای رایج شبکه‌های فیبر نوری که می‌تواند منجر به چالش‌ها و همچنین فرصت‌ها شود، شیوع فیبر تاریک است. این اصطلاح صرفاً به وجود فیبر بلااستفاده یا "روشن نشده" در شبکه اشاره می‌کند. این کلمه گاهی اوقات برای توصیف کابل‌های فیبر نوری که از زیرساخت شبکه به اپراتورها اجاره داده شده است، نیز استفاده می‌شود. فیبر تاریک هنوز نیاز به آزمایش و نظارت برای اطمینان از یکپارچگی دارد، به ویژه اگر فیبر برای فرصت‌های توسعه آینده تعیین شده باشد. وجود فیبر بلااستفاده و خاتمه یافته گاهی می‌تواند برای نظارت، مفید باشد. شرایط خطا معمولاً بر همه فیبرهای یک کابل تأثیر می‌گذارد، بنابراین نظارت بر فیبر تاریک انتخاب شده یک راه موثر برای تأیید مداوم یکپارچگی کابل بدون ایجاد اختلال در فیبر فعال است.

- آینده نظارت بر فیبر

با پیشرفت و توسعه پهنای باند کابل فیبر نوری، نیاز به سیستم‌های دقیق و جامع نظارت بر فیبر نیز افزایش می‌یابد. افزایش پیچیدگی شبکه فیبر نوری، نظارت بر فیبر را بیش از پیش مهم می‌سازد. نوآوری و بهبود دقت و عملکرد OTDR، به طور ذاتی به نفع سیستم‌های مانیتورینگ فیبر نوری بوده و تأثیر مناطق مرده را کاهش می‌دهند. حفظ امنیت شبکه‌های فیبر نوری ضروری است، بنابراین فناوری نظارت بر فیبرهای آینده باید به طور مداوم در حال پیشرفت باشد تا یک قدم جلوتر از این چالش‌ها باقی بماند.

در این گزارش مشخصات فنی محصولات سه شرکت خارجی برتر در این زمینه و یک شرکت داخلی از لحاظ فنی بررسی و از لحاظ اقتصادی هزینه پیاده‌سازی آن برآورد شده است. با توجه به اجرای پروژه شبکه ملی فیبر نوری منازل و کسب و کارها برای ۲۰ میلیون مشترک در سراسر کشور، استفاده از شبکه‌های هوشمند نگهداری فیبر نوری علاوه بر افزایش امنیت شبکه، در حدود ۲۵ تا ۵۰ درصد هزینه‌های نگهداری شبکه را کاهش و سرعت رفع خرابی و بهبود کیفیت شبکه را افزایش می دهد.

۷- مراجع

[۱] ITU-T Recommendation L.۲۵, Series L: Construction, Installation and protection of cables and other elements of outside plant, “Optical fibre cable network maintenance”, January ۲۰۱۵.

[۲] ITU-T Recommendation L.۴۱, Series L: Construction, Installation and protection of cables and other elements of outside plant, “Maintenance wavelength on fibres carrying signals”, May ۲۰۰۰.

[۳] ITU-T Recommendation L.۶۶, Series L: Construction, Installation and protection of cables and other elements of outside plant, “Optical fibre cable maintenance criteria for in-service fibre testing in access networks”, May ۲۰۰۷.

[۴] ITU-T Recommendation L.۶۸, Series L: Construction, Installation and protection of cables and other elements of outside plant, “Optical fibre cable maintenance support, monitoring and testing system for optical fibre cable networks carrying high total optical power”, October ۲۰۰۷.

[۵] Sh. Todoroki, “Fiber Fuse: Light-Induced Continuous Breakdown of Silica Glass Optical Fiber,” Springer; ۲۰۱۴.

[۶] ITU-T Recommendation L.۸۵, Series L: Construction, Installation and protection of cables and other elements of outside plant, “Optical fibre identification for the maintenance of optical access networks”, July ۲۰۰۷.

[۷] ITU-T Recommendation L.۹۳, Series L: Construction, Installation and protection of cables and other elements of outside plant, “Optical fibre cable maintenance support, monitoring and testing systems for optical fibre trunk networks”, May ۲۰۱۴.

[۸] B. Chomycz; “Fiber Optic Installer’s Field Manual”, MacGrowHill Education, Second Ed. ۲۰۱۵.

[۹] J. Laferrière, et al., “Reference Guide to Fiber Optic Testing,” Vol. ۱, VIAVI Solutions.

[۱۰] B. Collings, “Reference Guide to Fiber Optic Testing: Advanced fiber optic testing high-speed fiber link and network characterization,” Vol.۲, VIAVI Solutions.

[۱۱] ITU-T Recommendation L.۳۱۵, Series L: Environment and ICTS, climate change, E-waste, energy efficiency; construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant, “Water detection in underground closures for the maintenance of optical fibre cable networks with optical monitoring system”, March ۲۰۱۸.

[۱۲] N. Nakagawa, et al., “Development of world’s highest density ultra-high-count and high-density optical fiber cable (۲۰۰۰ Cores)”, NTT Technical Review, Vol. ۱۳, No. ۱۰, October ۲۰۱۵.

[۱۳] ITU-T Recommendation L.۴۰, Series L: Construction, Installation and protection of cables and other elements of outside plant, “Optical fibre outside plant maintenance support, monitoring and testing system”, October ۲۰۰۰.

[۱۴] https://www.viavisolutions.com/en-us/literature/transform-fiber-construction-certification-viavi-stratasync-test-process-automation-case-studies-en.pdf

[۱۵] https://www.exfo.com/en/products/field-network-testing/test-reporting-automation/testflow/

[۱۶] https://www.anritsu.com/en-us/test-measurement/solutions/mt۱۰۰۰a-mt۱۱۰۰a-۰۱/seek

[۱۷] Tools for fiber test and monitoring, VIAVI Solutions, https://www.viavisolutions.com/ru-ru/literature/tools-fiber-test-and-monitoring-selection-guides-en.pdf

[۱۸] F.Sugino and H. Masakura, “Maintenance and management technology for safe, secure, and economical operation of telecommunication infrastructure facilities”, Vol. ۱۲, No. ۱۰, October ۲۰۱۴.

[۱۹] K. Sasaki, “Research and development of innovative operation technology for access network infrastructure”, NTT Technical Review, Vol. ۱۵, No.۴, April ۲۰۱۷.

[۲۰] A. Nobiki,”Research and development of optical fiber and cable technology”, NTT Technical Review, Vol. ۱۶, No. ۴, April ۲۰۱۸.

[۲۱] K. Kawabata, et al.,” Facilities management technology for optimizing inspection and repair timing”, NTT Technical Review, Vol. ۱۲, No.۱۰, October ۲۰۱۴.

[۲۲] O. Akdemir, et al.,”A GIS-based novel active monitoring system for fiber networks”, Turk J. Elec. Eng. & Comp. Sci., (۲۰۱۶) ۲۴: ۲۴۷-۲۶۱.

[۲۳] Huawei, “Optix OSN۸۸۰۰’, https://www.huaweitelecomequipment.com, ۲۰۲۰.

[۲۴] UTEL.co.uk, “Fiber Management System”, https://www.utel.co.uk, ۲۰۲۳

[۲۵] شرکت فن آوری‌های نوظهور آریوتک؛ دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ساختمان ابوریحان، مرکز نوآوری دانشکده مهندسی برق، ۱۴۰۲

نشانی: تهران، انتهای کارگر شمالی، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، معاونت پژوهش و توسعه ارتباطات علمی

تلفن: ۰۲۱-۸۸۶۳۰۳۵۵

نمابر: ۰۲۱-۸۸۶۳۰۳۵۶