

آزمون ها و دستگاه های اندازه گیری در شبکه های فیبر نوری*

استفان نیلسون گیتویک (Stephan Nelsson-Gitstvick)

ترجمه : محمد علی مساواتی

مقدمه

در این مقاله ، آزمون های معمول شبکه های فیبر نوری و دستگاه های اندازه گیری معرفی و راهنمایی های لازم ارائه می شود . دستگاه های اندازه گیری در بازار پیوسته در حال تغییر بوده و در هر تحظه دستگاه هایی با کارایی و عملکرد بالاتر عرضه می شوند و بنابراین در بخش دستگاه های اندازه گیری ، فقط اصول کلی مطرح و از معرفی دستگاه خاص اجتناب شده است . اصول اندازه گیری و رویه های آزمون نیز بدون شک در آینده تغییر خواهند کرد و به همین دلیل فقط دستورالعملها و توصیه های کلی ارائه شده و عمدتاً اندازه گیری و آزمون شبکه های فیبر و کابل نوری و نیز مستند سازی فنی شبکه پس از اتمام نصب مورد بحث قرار گرفته است .

نکته : الزامات مربوط به اندازه گیری ، شامل مشخصه های اندازه گیری های الزامی ، همیشه در قراردادهای پروژه ها گنجانده می شود و ممکن است در هر پروژه نصب به صورت متفاوت تعریف شود . بنابراین لازم است متن قراردادها و یا پروژه ها برای جزئیات مربوط به اندازه گیری ها و رویه های آزمون مورد بررسی قرار گیرد .

دستگاه های اندازه گیری فیبر نوری

در نصب یک شبکه فیبر نوری ، عمدتاً سه نوع دستگاه اندازه گیری مورد استفاده قرار می گیرد :

- دستگاه بازتاب سنج نوری (OTDR)¹
- منبع نوری پایدار- ماژول دیود لیزری (OPS)²
- دستگاه اندازه گیری توان نوری با سنسور نور (OPM)³

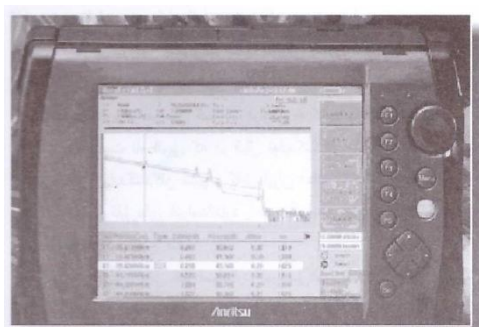
در قسمت اول این مقاله به بررسی دستگاه OTDR پرداخته و بررسی سایر دستگاه ها در قسمت بعد مطرح خواهد شد .

دستگاه بازتاب سنج نوری در حوزه زمان (OTDR)

دستگاه OTDR برای بسیاری از اندازه گیری ها مورد استفاده قرار می گیرد و کم و بیش به عنوان یک دستگاه "همه کاره" شناخته می شود. این دستگاه برای کنترل کیفی کابلها بر روی قرقره، پس از نصب، برای تعیین افت اتصالات، تأییدیه فنی نصب و ردیابی خطاها بکار می رود. در دستگاههای OTDR جدید، امکان تعویض آسان ماژول های دیود لیزری با زدن یک کلید وجود دارد که امکان اندازه گیری در طول موج های مختلف را به سهولت فراهم می سازد. پارامترهای فیبر نوری باید در همان طول موج سیستمی اندازه گیری شود که قرار است فیبر نوری در نصب به آن متصل شود. گرچه در فیبرهای نوری تک مد، طول موج ۱۵۵۰ نانومتر، طول موج معمول است اما لازم است فیبرها در طول موج ۱۳۱۰ نانومتر نیز مورد آزمون قرار گیرند. مطابق یک قاعده عمومی، دستگاههای OTDR دارای یک چاپگر داخلی بوده که امکان تهیه نسخه چاپی از نتایج اندازه گیری را فراهم می آورد. البته می توان آن را به یک پلاتر ویدئویی نیز متصل کرد.

امروزه عموماً سه نوع مختلف از OTDR در بازار یافت می شود:

- دستگاه OTDR ثابت با کیفیت بالا، که عمدتاً توسط تولید کنندگان فیبر و کابل نوری مورد استفاده قرار می گیرد. با این دستگاه ها می توان به صورت اتوماتیک اندازه گیری ها را در خطوط تولید انجام داد. با توجه به امکان کنترل کامپیوتری می توان برای هر محصول تولیدی پروتکل خاص آن را تعریف کرد. دقت اندازه گیری این دستگاه ها از مقدار معمول مورد نیاز در نصب بیشتر است.
- دستگاه OTDR سبک و قابل حمل، که مورد استفاده شرکت های نصب شبکه است. البته نباید تصور کرد که دستگاه های قابل حمل تنها دارای قسمت اندازه هستند بلکه به صورت یک رایانه کامل هستند که امکان تحلیل نتایج اندازه گیری و ارائه نتایج تحلیل به صورت جدول، ذخیره نتایج بر روی دیسکت، دیسک سخت و یا به صورت چاپی را فراهم می سازد که می تواند برای مستند سازی فنی شبکه های نوری مورد استفاده قرار گیرد. تنوع دستگاههای قابل حمل، در بسیاری از مواقع برای رفع نیازهای اندازه گیری در شرایط مختلف (مثلاً برای مسیرهای طولانی و یا شبکه های نوری خانگی) کافی است.



شکل ۱. دستگاه قابل حمل OTDR

- بردهای OTDR جایگزین مناسبی برای این دستگاهها هستند که می توان آنها را در بیشتر رایانه ها نصب کرد . اندازه گیری به همان روش دستگاه های معمول انجام می شود . نتایج در رایانه ذخیره می شوند تا بعدا چاپ شده و یا به دیسکت منتقل شوند . این نوع دستگاه ها در مقایسه با دستگاه های قابل حمل اهمیت خود را از دست داده اند .

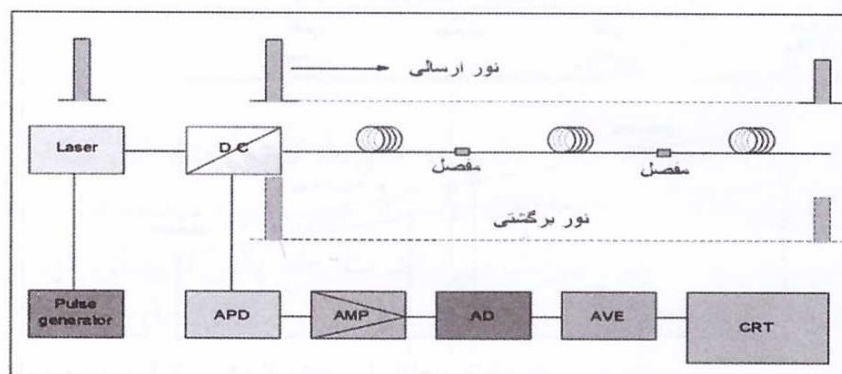
موارد کاربرد OTDR

دستگاه های OTDR را می توان برای انواع مختلف اندازه گیری مورد استفاده قرار داد :

- اندازه گیری مسافت (تعیین محل خطا)
- اندازه گیری تضعیف فیبرها ، لینک فیبر نوری و اتصالات
- افت مفصل ها
- افت اتصالگرها
- تعیین تغییرات محلی تضعیف (تضعیف نقطه ای یا تدریجی)
- بازتاب نور در اتصالگرها و یا پالس نوری بازتاب شده انتها

نحوه کار OTDR

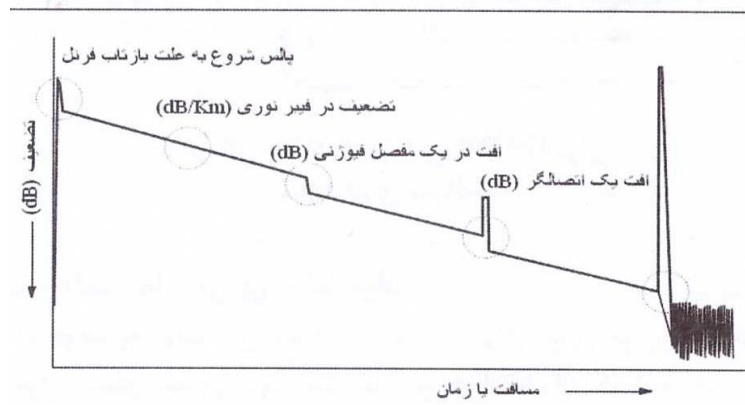
همان طور که از نام این دستگاه مشخص است، عمل OTDR بر پایه انتشار نور در فیبر نوری در مدت مشخصی از زمان است. شکل ۲، نمای شماتیکی از این دستگاه است.



شکل ۲. نمایش شماتیک اجزای اصلی یک OTDR

پالس های الکتریکی کوتاهی (مثلا ۰/۱ تا ۱۰ میکرو ثانیه) با فواصل زمانی مشخص توسط یک مولد پالس تولید می شود. دیود لیزری ، این پالس های الکتریکی را به پالس نوری تبدیل می کند . پالس های نوری قبل از ورود به فیبر از ورود به فیبر از کوپلر به منظور جهت دهی می گذرند . با توجه به اینکه فیبر نوری کاملاً شفاف نیست ، مقدار مشخصی از نور در عبور از فیبر نوری به دلیل پراکنش (Scattering) در همه جهات پخش می شود و قسمتی از آن به دستگاه بر می گردد . نور برگشتی توسط فتو دیود دریافت و به سیگنال الکتریکی تبدیل می شود . سیگنال فتو دیود تقویت شده و به وسیله ریزپردازنده پردازش می شود . از آنجایی که سیگنال های نوری برگشتی بسیار ضعیف اند ، عمل پردازش چندین بار انجام می گیرد تا مبنایی برای مقدار میانگین به دست آید .

مقدار توان سیگنال دریافتی بر روی محور عمودی صفحه مختصات نشان داده می شود . زمان دریافت سیگنال (که اغلب به مسافت تبدیل می شود) بر روی محور افقی قرار دارد . صفحه مختصات به همراه اطلاعات مفید دیگر بر روی صفحه ویدئویی دستگاه نشان داده می شود . سیگنال نوری برگشتی از فیبر، به صورت منحنی شیبدار از چپ به راست نشان داده می شود . معمولاً تصویر صفحه ویدئویی مستقیماً توسط چاپگر دستگاه چاپ شده و یا بر روی دیسکت سخت دستگاه و یا دیسکت ذخیره می شود . نسخه چاپی و یا دیسک حاوی فایل اندازه گیری برای مستند سازی مورد استفاده قرار می گیرد . نمونه ای از منحنی چاپ شده به همراه تحلیل ساده ای از آن در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. منحنی ساده ای از یک OTDR

اندازه گیری های مختلف توسط OTDR

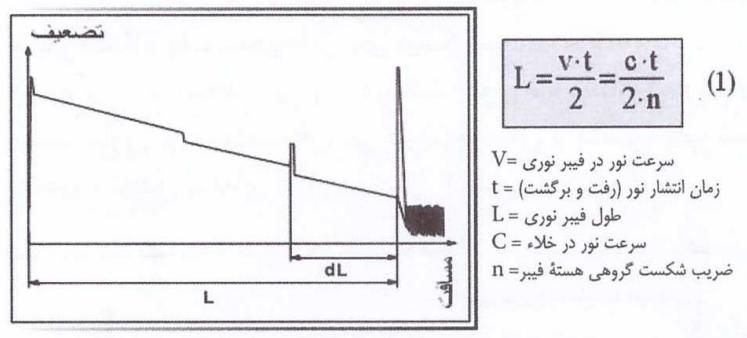
در این بخش شرح مختصری از اندازه گیری های مختلف توسط OTDR ارائه می شود . برای جزییات بیشتر می توان به مارک فنی دستگاه های OTDR مراجعه کرد.

الف- اندازه گیری مسافت

با استفاده از یک OTDR می توان طول فیبر نوری را با دقت بسیار زیادی تعیین کرد . این عمل بخصوص برای تعیین فاصله بین اتصالات و طول کل فیبر نصب شده از اهمیت زیادی برخوردار است و تنها روشی است که می توان برای تعیین محل نقطه عیب در یک فیبر مثلا فیبر قطع شده یا شکسته شده ، و یا فیبر دارای تضعیف نقطه ای یا بالا بکار برد . تضعیف نقطه ای بر اثر فشار ، مجاورت با رطوبت و یا هر علتی است که باعث افزایش تضعیف می شود .

لازم است بدانیم که تنظیم دستگاه OTDR برای ضریب شکست از اهمیت اساسی برخوردار است . تنظیم غلط ضریب شکست ، باعث محاسبه غلط طول کابل شده و محل عیب در فیبر نوری به اشتباه اعلام می گردد . در یک شبکه ، مسافتی که بایستی اندازه گیری شود تقریبا همیشه طول کابل است . فیبر به دلیل پیچیده شدن به دور هسته مرکزی کابل مسیری مارپیچ طی می کند و بنابراین دارای طول بزرگتری از کابل است .

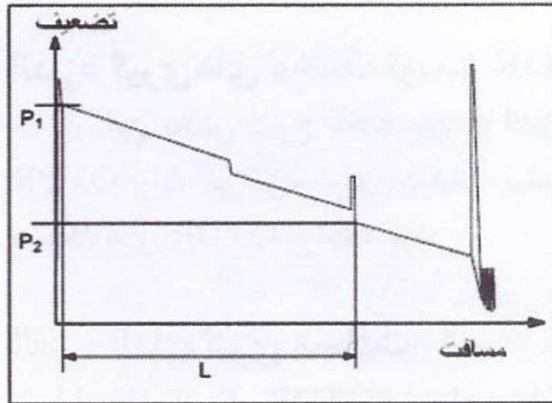
نکته : کابل بلندی با طول مشخص انتخاب کنید . ضریب شکست دستگاه را به صورتی تنظیم کنید تا طول اندازه گیری شده با طول کابل مساوی شود . مقدار ضریب شکست را یادداشت کرده و به دستگاه OTDR بچسبانید .



شکل ۱.۴ استفاده از منحنی OTDR برای اندازه گیری مسافت

ب- افت توان نوری-تضعیف

با توجه به اینکه در صفحه مختصات ، توان نوری بر روی محور عمودی نشان داده می شود ، افت توان نور در انتقال از یک نقطه فیبر به نقطه دیگر را می توان با اختلاف سطح توان در دو نقطه به دست آورد.



افت توان نوری $A(\alpha)$

$$A(\alpha) = P_1 - P_2 \quad (2)$$

افت توان نوری بر واحد طول (dB/m)
(که معمولاً واحد طول Km می باشد.)

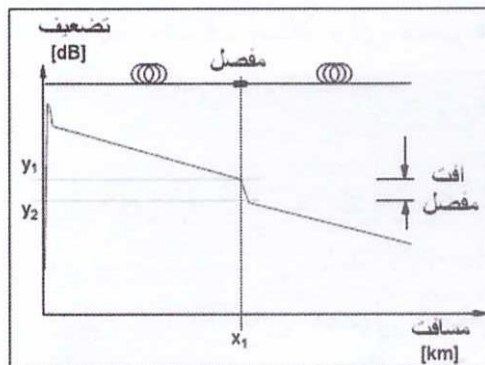
$$A(\alpha) = \frac{P_1 - P_2}{L} \quad (3)$$

شکل ۵. منحنی OTDR و استفاده از آن در اندازه گیری تضعیف

پ. افت مفصل

وقتی از یک OTDR برای اندازه گیری استفاده شود، منحنی به دست آمده، تضعیف را در قسمتهای مختلف کابل نشان می دهد. اگر قسمتی از کابل دارای نقاط جوش یا مفصل باشد این نقاط به صورت زانو یا پله در منحنی دیده می شوند. افت مفصل در این نقاط را می توان با اندازه گیری به یکی از دو روش " دو نقطه " و یا " چند نقطه ای " تعیین کرد.

- روش دو نقطه: دو نقطه اندازه گیری $(y_1 \quad x_1)$ و $(y_2 \quad x_2)$ بر روی منحنی مشخص کرده و افت مفصل بر طبق رابطه زیر به دست می آید.



$$A(s) = y_1 - y_2 \quad (4)$$

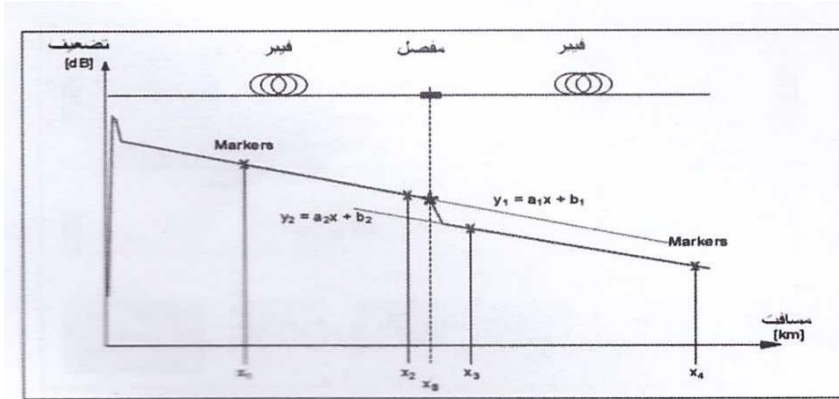
شکل ۶. روش دو نقطه ای

- روش چند نقطه: اندازه گیری با کمک چندین نقطه (معمولاً ۴ تا ۷) بر روی منحنی که حداقل دو نقطه قبل از مفصل و حداقل دو نقطه بعد از آن است انجام می شود. در اینجا روش را برای ۵ نقطه شرح می دهیم. نقطه پنجم را قبل از مفصل و نزدیک به آن قرار می دهیم. خط $y_1 = a_1 x + b_1$ که از نقاط

قبل از مفصل می گذرد (با استفاده از رگرسیون یا برازش عددی) را به دست می آوریم . خط دوم را نیز که از نقاط بعد از مفصل می گذرد به صورت $a_2 x + b_2 = y_2$ می یابیم . افت مفصل یا نقطه جوش XS به صورت زیر محاسبه می شود .

$$A(x_s) = y_1 - y_2 = x_s (a_1 - a_2) + (b_1 - b_2)$$

محاسبات توسط ریزپردازنده و نتایج بر صفحه نمایش داده می شود.



شکل ۷. روش پنج نقطه ای

تعیین افت مفصل

ذکر این نکته لازم است که با توجه به مسایل نظری مربوط به پدیده پس پراکنش ، مقدار محاسبه شده را نمی توان به عنوان افت مفصل تلقی کرد و باید اندازه گیری را از طرف دیگر هم انجام داد . در واقع مقداری خطا در یک طرف به مقدار اصلی افت مفصل اضافه و همان مقدار در اندازه گیری از طرف دیگر کم می شود . به همین دلیل گاهی با مقادیر منفی افت (Gain) مواجه می شویم که به دلیل خطای حاصل از پس پراکنش است . افت مفصل میانگین مقادیر به دست آمده برای نقطه جوش در اندازه گیری دو طرفه است .

$$Splice\ loss = \frac{Splice\ loss_{A \rightarrow B} + Splice\ loss_{B \rightarrow A}}{2} \quad (5)$$

مثال :

$$Splice\ loss = \frac{0.08\ dB_{A \rightarrow B} + (-0.04\ dB)_{B \rightarrow A}}{2} = 0.02\ dB$$

نکات مهم در مورد OTDR

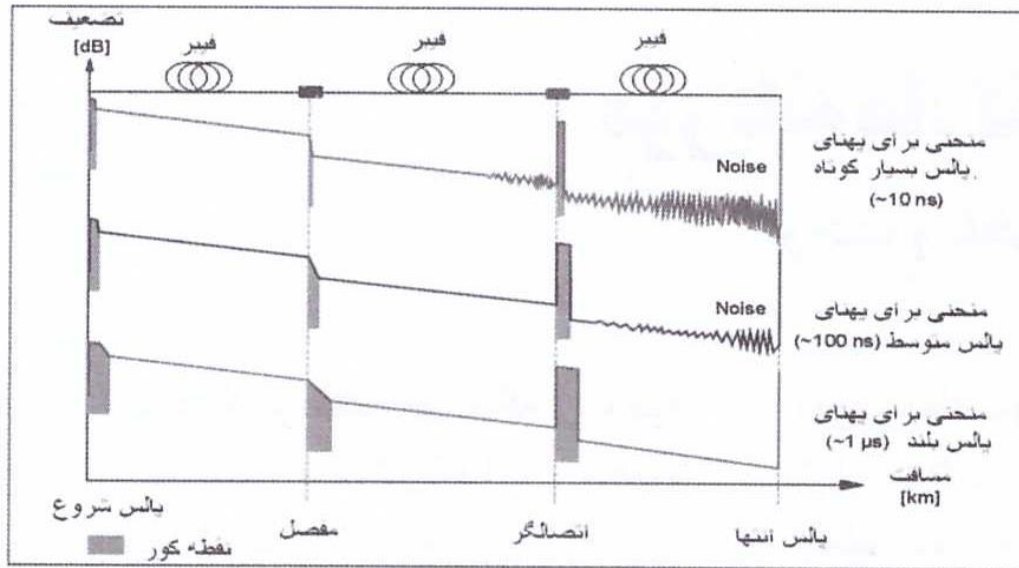
دستگاه OTDR دارای تنظیمات بسیاری است که می تواند بر کیفیت منحنی اثر بگذارد و بنابراین نتایج اندازه گیری را نیز متاثر می سازد.

نقطه کور تضعیف

هر اتصالگر و یا مفصلی باعث اختلال در سیگنال نوری (ارسالی و برگشتی) می شود. این اختلال در ناحیه ای که مفصل و یا اتصالگر قرار دارد اثر گذاشته و باعث می شود که نتوان با OTDR آن ناحیه را بررسی کرد. به عنوان مثال افت مفصل ها در کابینت توزیع (ODF) به دلیل نزدیکی آن به اتصالگرها را نمی توان اندازه گیری کرد. اندازه گیری از طرف دیگر نیز به دلیل نزدیکی مفصل و اتصالگر و وجود پالس برگشتی انتهایی از اتصالگر امکان پذیر نیست. در صورتی که در فاصله چند متری از فیبر چند مفصل وجود داشته باشد، منحنی دستگاه آنرا به صورت یک نقطه و با افت تجمعی قلمداد می کند.

پهنای پالس

در صورت تنظیم پهنای پالس به صورت کوتاه (ns)، این امکان فراهم می شود که تنها بعداز چند متر بتوان فیبر را مورد مطالعه قرار داد و این، نقطه کور را بسیار کوچک می سازد. متأسفانه پالس با پهنای کوتاه در مسافت های بزرگ دچار اعوجاج می شود. برای مسافت های طولانی بایستی از پالس با پهنای بالا (μs or s) استفاده شود. در این صورت منحنی بهتر و مفیدتری به دست خواهد آمد، ولی از طرف دیگر ناحیه مرده افزایش می یابد.



شکل ۸. سه منحنی با پهنای پالس مختلف و نقاط کور و نویز حاصل از پهنای باند مقادیر زمانی اعلام شده صرفاً نشانگر زمان های معمول مورد استفاده است

در بازار دستگاه های OTDR وجود دارد که برای مسافت های بزرگ تر می توان به صورت دینامیک پهنای پالس را افزایش داد.

گستره دینامیک

گستره دینامیک یک OTDR مقداری است که قدرت انتشار نور دیود لیزری و حساسیت فتودیود برای دریافت نور برگشتی را نشان می دهد. گستره دینامیک بالاتر به مفهوم توانایی اندازه گیری در مسافتهای طولانی با دقت بیشتر است. دستگاه های با گستره دینامیکی بالاتر معمولاً گران تر از دستگاه های با گستره دینامیکی پایین تر هستند. معمولاً دستگاه های قابل حمل دارای گستره دینامیکی برای اندازه گیری مسافت های تا ۱۰۰ کیلومتر هستند که برای بسیاری از کاربردها بیش از حد نیاز است. برای مثال، در مسافت ۱۰۰ کیلومتر مقدار تضعیف فیبر به تنهایی ۳۵dB (در طول موج ۱۳۱۰ نانومتر) است و با توجه به تضعیف در ODF ها و نقاط جوش می توان به راحتی مشخص کرد که گستره دینامیکی OTDR بایستی بیش از ۴۰dB باشد. به یاد داشته باشید که سیگنال نوری در انتهای مسیر دو برابر مسافت نصب (مسیر رفت و برگشت) را طی می کند.

چند توصیه

- با کاهش پهنای پالس نقطه کور را تا حد امکان کاهش دهید.
- برای اندازه گیری ناحیه اول نصب ، توان سیگنال ورودی را کاهش دهید.
- با افزایش پهنای پالس و یا افزایش توان سیگنال نویز را کاهش دهید.
- برای دسترسی به منحنی بهتر از امکان میان گیری استفاده کنید.
- برای مسافت های طولانی ، چند بار دستگاه را برای ناحیه شروع ، ناحیه میانی و ناحیه آخر تنظیم کنید تا تصویر دقیق کل مسیر نصب به دست آید.
- به یاد داشته باشید که کیفیت همه اندازه گیری ها به کیفیت دستگاه مورد استفاده و نیز به مهارت اپراتور دستگاه بستگی دارد.

پانویس ها:

1. Optical Time Domain Reflector
2. Optical Power Source
3. Optical Power Meter