Archive of SID

اندازه‌گیری میدانی تلفات پیوندگاه فیبرهای NZDSF، DSF و SMF در برخی شبکه‌های مخابرات نوری کشور

فرامرز اسمعیلی سراجی[1]، حسن فرخ پیام[2]، علیرضا ذاکری[3]، منصور رضایی مرساق[4]

چکیده: اتصال فیبرهای نوری همسان و ناهمسان با یکدیگر در طراحی، نصب و نگهداری شبکه های کابل نوری بسیار حایز اهمیت است. شناسایی و بررسی عامل‌های مؤثر در تلفات اتصال این فیبرها با یکدیگر گامی مهم در بالا بردن کیفیت شبکه‌های فیبرنوری است. این عامل‌ها را می‌توان به دو دسته درونی و برونی تقسیم کرد. عامل‌های درونی بعد از ساخت فیبرنوری غیر قابل تغییر هستند. عامل‌های مؤثر و ایجاد کننده تلفات در پیوندگاه فیبرها از عامل‌های برونی محسوب می‌شوند که شامل ناهم‌راستایی‌های عرضی، زاویه‌ای و جابه‌جایی طولی فیبرهای در محل اتصال است. دستگاه جوش، برش فیبرها، نحوه انجام آزمایش و مهارت کاربر از دیگر عامل‌های اثر گذار در زمان اتصال هستند. در این مقاله، نتیجه‌های اندازه‌گیری میدانی تلفات پیوندگاه فیبرهای همسان و ناهمسان در برخی شبکه‌های مخابرات نوری کشور ارائه شده که در آن اثرگذاری هر یک از عامل‌های یاد شـــده بر نتیجه‌های به‌دست آمده بررسی شده و با نتیجه‌های تحلیل نظری مقایسه شده‌اند. نتیجه‌های ارائه شده می‌تواند برای مهندسان اجرایی شبکه‌های مخابرات نوری مفید و قابل استفاده باشد.

واژه های کلیدی: اندازه‌گیری، تلفات پیوندگاه، فیبرنوری همسان و ناهمسان.

1. مقدمه

فیبرهای نوری در قالب طول‌های نامحدود و بلند ساخته نمی‌شوند، بنابراین برای خطوط ارتباطاتی راه دور، فیبرهای نوری کابل شده مختلف ممکن است در نقاط متعددی به همدیگر متصل شوند [1]. به همان اندازه نصب کابل‌های نوری پر اهمیت است، نگهداری و تعمیرات اتصال‌های آن‌ها نیز دارای اهمیت است. بنابراین، برای رسیدن به انعطاف‌پذیری در نصب و عملیات تعمیر و نگه‌داری لازم است که به روش‌های اتصال مورد استفاده‌برای فیبرنوری توجه شود. روش‌های اتصال به‌طور غیر قابل اجتناب به ساختار فیبرهای نوری و عملکرد اتصال‌ها وابسته است [2-4].

تفاوت اصلی بین اتصال‌های مسی و فیبرنوری این است که در اتصال‌های مسی تماس فیزیکی بین دو کابل کافی است و عبور جریان الکتریکی کاملاً و صرفاً وابسته به تماس فیزیکی و الکتریکی خوب بین سیم‌ها است که توسط ماژول‌ها و اتصالگرها صورت می‌گیرد ولی برای رسیدن به عملکرد رضایت‌بخش در یک اتصال فیبرنوری لازم است که ظرفیت پذیرش نوری را از یک فیبر (ورودی) به دیگری (خروجی) افزایش دهیم. روش‌های اتصال فیبرنوری غالباً اهمیت به‌سزایی در طرح کابل کشی دارند چون به‌طور قابل ملاحظه میزان توان تلف شده در یک اتصال می‌تواند معادل توان انتقال یافته در چند صد متر کابل نوری باشد. بنابراین، کسب مفاهیم کامل مکانیزم‌های فرایند اتصال و اندازه‌گیری آن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است.

1) استادیار، گروه مخابرات نوری، مرکز تحقیقات مخابرات ایران، تهران feseraji@itrc.ac.ir
2) استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال
3) دانش آموخته، گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال
4)استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

www.SID.ir

Archive of SID

برای درک بیش‌تر نتیجه‌های به‌دست آمده در این مقاله، نخست شرح شیوه‌های اتصال فیبرها و انواع آن‌ها به‌همراه عامل‌های تلفات در پیوندگاه‌های نوری ارائه خواهد شد. سپس با در نظر گرفتن ناهم‌راستایی‌های مختلف، تلفات در اتصال‌های فیبرهای همسان و ناهمسان (از نوع تک مد معمولی[1]، فیبر با پاشش انتقال یافته[2] و پاشش انتقال یافته غیر صفر[3]) محاسبه و تحلیل نظری خواهد شد.

2. شیوه‌های اتصال فیبرها

به‌طور کلی اتصال فیبرها به دو صورت موقت و دایم صورت می‌گیرد. اتصال دایم فیبرها با عمل جوش، موسوم به اتصال هم‌بافت است که می‌تواند از بهترین روش‌ها برای پیوند فیبرها با تلفات کم باشد. در اتصال موقت از اتصالگرهای قابل قطع و وصل شدن استفاده می‌شود که مزیت‌های زیادی بر حسب انعطاف‌پذیری دارند، اما سطح تلفات ایجاد شده در آن‌ها به اندازه اتصال دایم نیست [2،3].

در عملکرد پیوند فیبرها باید سه عامل فیبر، روش تنظیم و مکانیزم‌های پیوند را به‌عنوان سه مفهوم جدا ناپذیر به حساب آورد و پیوندگاه را به‌عنوان یک قسمت از اجزای ساختار مرکب آن در نظر گرفت. در مکانیزم پیوند مطلوب، خواه اتصال دایم یا اتصالگرهای موقت، همواره عملکرد نهایی و مقاوم سازی فیبر مد نظر است. ارزیابی غیر دقیق تلفات بالقوه پیوندگاه در طراحی می‌تواند به‌طور بنیادی، انعطاف‌پذیری شبکه را در هنگام نصب تحت تاثیر قرار داده و منبع مشکلات شبکه باشد و حتی ممکن است باعث خرابی شبکه شود [2].

2-1. اتصال‌های مکانیکی

اتصال مکانیکی، یک اتصال موقت است که در آن دو یا چند فیبرنوری تک یا چند مد توسط مکانیزمی به طول تقریبی 50 میلی‌متر در پیوندگاه قرار گرفته و تنظیم می‌شوند. اتصال‌های مکانیکی فیبرهای تک مد به تنظیم قطر خارجی آن‌ها بستگی دارد. این مساله دقت هم مرکز بودن مغزی و پوشش فیبرهای نوری را برای رسیدن به یک اتصال مطلوب با اهمیت می‌سازد. در روش اتصال مکانیکی، دو انتهای فیبرها در یک صفحه قرار گرفته و سپس مغزی‌ها نسبت به هم تنظیم می‌شوند. انتهای تمیز و بدون پوشش فیبرها وارد لوله تنظیم کننده شده و به هم متصل می‌شوند. برای کاهش بازتابش در محل پیوندگاه، لوله اتصال توسط سازندگان از ماده ژله‌ای پر می‌شود. معمولاً فیبرها با فشار در کنار هم نگه داشته می‌شوند.

فیبرهای تک مد با مغزی‌های کوچک دارای قطر میدان مد کوچکی هستند و بیش‌تر تحت تأثیر عدم هم‌راستایی در یک اتصال قرار می‌گیرند. اتصال‌های مکانیکی که مستعد رسیدن به عملکرد قابل قبولی در یک سیستم تک مد باشند تا حدی گران‌قیمت بوده و وقت بیش‌تری برای نصب آن‌ها صرف می‌شود. تلفات الحاقی عمده برای اتصال‌های مکانیکی تک مد از 0/05 تا 0/2 دسی بل تغییر می‌کند.

2-2. اتصال‌های هم‌بافت

اتصال هم‌بافت از نوع اتصال دایم است که با عمل جوش انجام می‌گیرد. به‌دلیل بهبود مداوم تجهیزات و پیشرفت‌های تکاملی کنترل شکل‌های هندسی فیبرهای نوری تولید شده، امروزه با پیشرفت ابزار جوش و فیبرهای جدیدتر، به‌دست آوردن اتصال‌های هم‌بافت مطلوب بسیار آسان است [5-9].

اگر چه از نظر اقتصادی این روش اتصال پرهزینه است و نیاز به سطح مهارت نسبتاً بالای اپراتور مفصل بند دارد، ولی از پر استفاده‌ترین روش باقی مانده و نسبت به سایر روش‌ها از دقت بالاتری برخوردار است. هرچند در شرایطی که زمان و سرعت مطرح باشند زیاد مناسب به نظر نمی‌رسد. اکثر مرحله‌های عملیات جوش

1)Single-Mode Fiber: SMF
2) Dispersion-Shifted Fiber: DSF
3) Nonzero Dispersion-Shifted Fiber: NZDSF

www.SID.ir

Archive of SID

به‌صورت خودکار انجام می‌شود. قسمت اعظم این روش که نیاز به مهارت دارد، برش فیبر است که برای رسیدن به یک اتصال مطلوب دارای اهمیت بسیار است [6]. اتصال‌های مکانیکی و هم‌بافت قابل قبول به کیفیت برش و نوع دستگاهی که با آن عمل برش انجام می‌شود، بستگی دارد.

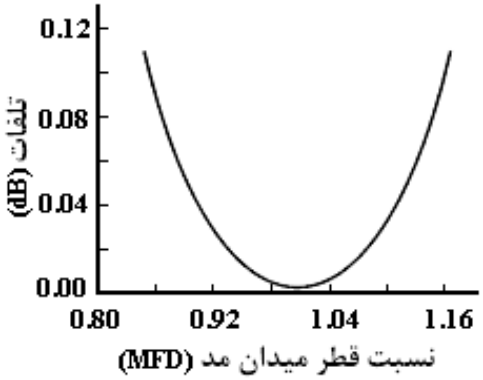
3. عامل‌های تلفات در پیوندگاه‌های نوری

عامل‌هایی که باعث تلفات در هر روش اتصال فیبرها می‌شوند به ساختار فیبر، مهارت اپراتور و نوع دستگاه جوش مربوط می‌شوند. به‌طور کلی، عامل‌های تلفات در پیوندگاه به‌صورت درونی و بیرونی دسته‌بندی می‌شوند.

3-1. عامل‌های درونی

این عامل‌ها مربوط به ساختار فیبرنوری هستند. تلفات ناشی از آن‌ها در زمان تولید فیبر مشخص می‌شوند و خارج از کنترل فردی است که اتصال را انجام می‌دهد.

همانند گشودگی عددی فیبر، قطر میدان مد علاوه بر وابستگی به ضریب شکست مغزی و غلاف، به شعاع مغزی نیز وابسته است. در فیبرهای تک مد، عدم تناسب قطر میدان مد بین دو فیبر اتصال داده شده، عامل غالب مرتبط با فیبر است. برآورد توزیع تلفات درونی به علت عدم تناسب قطر میدان مد در شکل (1) ترسیم شده است. در این شکل مشاهده می‌شود، در بازه 0/98 تا 1/04 نسبت قطر میدان مد، تلفات اتصال به حداقل ممکن می‌رسد [5].



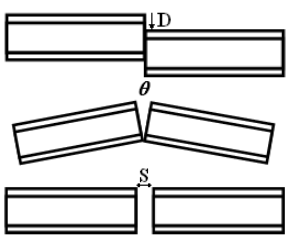
شکل 1: تلفات درونی اتصال تک مد بر حسب نسبت قطر میدان مد

3-2. عامل‌های بیرونی

عامل های بیرونی مرتبط با فرایندهای اتصال، توسط عملیات یا تجهیزات اتصالگرها ایجاد می‌شوند. عامل‌های فرایند اتصال شامل ناهم‌راستایی‌های عرضی، زاویه‌ای، آلودگی انتهای فیبر، سطح مهارت کاربر و نوع سیستم به‌کار رفته در دستگـاه جوش و غیره هستند که بر کیفیت اتصال تاثیر می‌گذارند. عامل‌های دیگر فرایند اتصال که در اتصال‌های مکانیکی وجود دارند شامل جابه‌جایی طولی فیبرها، زاویه شیب سطح انتهای فیبر و بازتاب فرنل است. آماده‌سازی محل کار و کابل، جداسازی پوشش فیبر، برش و تمیزکاری انتهای فیبر از عامل‌های بیرونی تأثیرگذار بر پیوندگاه فیبرنوری هستند که ممکن است باعث افزایش تلفات پیوندگاه شوند.

از عامل‌های بیرونی که در اجرای اتصال‌های فیبرهای نوری حایز اهمیت هستند عبارتند از: آماده سازی محل کار، جداسازی پوشش فیبر، تمیز کاری سطح فیبر، برش انتهای فیبر. عدم انجام درست هر یک از این عامل‌ها باعث افزایش شدید تلفات در اتصال فیبرها خواهد شد [10،9].

از عامل‌های دیگر مؤثر در تلفات پیوندگاه فیبرها، می‌توان ناهم‌راستایی‌هایی عرضی، زاویه‌ای و جابه‌جایی طولی فیبرها را نام برد که به‌ترتیب در شکل (2) نشان داده شده‌اند. در زمان اتصال ممکن است دو فیبر متصل شده نسبت به محورهایشان حداقل در یکی از این حالت‌های فوق قرار بگیرند. البته دستگاه‌های جوش به‌طور خودکار این ناهم‌راستایی‌ها را تا حد ممکن کاهش می‌دهند [11].



www.SID.ir

Archive of SID

شکل 2: ناهم‌راستایی عرضی D (بالایی)، زاویه‌ای θ (میانی) و جابه‌جایی طولی S (پایینی).

علاوه بر عامل‌های گفته شده که تقریباً در عمل غیر قابل اجتناب هستند، سطح مهارت در انجام فرایند اتصال نیز از دیگر موردهای قابل ذکر است. تنظیم نادرست تجهیزات و دستگاه اتصال نیز بر کیفیت اتصال تاثیر می‌گذارد.

4. محاسبه تلفات در پیوندگاه‌های نوری

4-1. تلفات ورودی

عملکرد نوری هر اتصال را می‌توان از دو جنبه عملکرد عبوری و عملکرد برگشتی پیوندگاه مورد بررسی قرار داد. عملکرد عبوری پیوندگاه با نسبت نیروی انتقالی از فیبر فرستنده به مغزی فیبر گیرنده بیان می‌شود. عملکرد برگشتی که به‌عنوان تلفات برگشتی از آن یاد می‌شود، نسبت توان برگشتی از پیوندگاه به توان فرودی به آن تعریف می‌شود.

تلفات ورودی اصطلاحی است که به کاهش در توان انتقالی که توسط اتصال ایجاد می‌شود اطلاق می‌شود. به‌طور کلی تلفات بر حسب دسی‌بل با رابطه زیر بیان می‌شود [11]:

$$L(dB) = -10\log(P_i / P_o) \qquad (1)$$

که در آن P_i توان ورودی و P_o توان خروجی است. یک اتصال مطلوب و آرمانی، 100٪ توان فرودی را انتقال می‌دهد ولی بسیاری از اتصال‌ها دارای تلفات فرودی و برگشتی هستند. در اتصال آرمانی، هر دوی این تلفات صفر است، بدین معنی که کلیه نور فرودی از مغزی فیبر فرستنده توسط مغزی فیبر گیرنده دریافت و منتقل می‌شود. این امر زمانی محقق می‌شود که از کلیه عامل‌های تلفات‌زا در پیوندگاه اجتناب شود.

4-2. محاسبه تلفات در پیوندگاه‌های فیبرهای نوری تک مد

با توجه به نوع اتصال و نوع فیبرها، تلفات در پیوندگاه از رابطه زیر به‌دست می‌آید. این رابطه شامل کلیه اتصال‌ها از جمله اتصال‌های مکانیکی است. با توجه به شرایط جوش فیبر، این رابطه نیز در قسمت‌های مختلف دچار تغییراتی می‌شود [10،11]:

$$L_{sm-tot} = -10\log\left[16 n_1^2 n_3^2/(n_1+n_3)^4 \frac{\sigma}{q} \mathrm{e}^{-pu/q}\right] \qquad (2)$$

که در آن n_1 ضریب شکست مغزی فیبر فرستنده، n_3 ضریب شکست محل اتصال بین دو فیبر و λ طول موج نور است. پارامترهای دیگر در رابطه (2) به‌صورت زیر تعریف شده‌اند:

$$k = 2\pi n_3 / \lambda \qquad (3)$$

$$G = s / k w_1^2 \text{ و } s=\text{جابه‌جایی طولی} \qquad (4)$$

$$F = D / k w_1^2 \text{ و } D=\text{ناهم‌راستایی عرضی} \qquad (5)$$

$$u = (\sigma+1)2F^2 + 2\sigma F G \sin\theta + \sigma(G^2+\sigma+1)\sin^2\theta \qquad (6)$$

$$q = G^2 + (\sigma+1)^2 \qquad (7)$$

$$p = k^2 w_1^2 \qquad (8)$$

$$\sigma = w_2^2 / w_1^2 \qquad (9)$$

که در آن w_1 شعاع میدان مد فیبر فرستنده و w_2 شعاع میدان مد فیبر گیرنده است.

www.SID.ir

Archive of SID

درحالتی که دو فیبر به همدیگر جوش داده می‌شوند با فرض یکسان بودن n_1 و n_3، رابطه (2) به‌صورت زیر ساده می‌شود:

$$L_{sm-fusion} = -10\log\left[\frac{4\sigma}{q}\exp(-pu/q)\right] \quad (10)$$

در حالت آرمانی که از سه ناهم‌راستایی طولی، عرضی و زاویه‌ای صرف‌نظر می‌شود، رابطه (2) را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$L = -20\log\left[(2w_1w_2)/(w_1^2+w_2^2)\right] \quad (11)$$

رابطه (11) نشان می‌دهد درحالت آرمانی، عامل مؤثر در تلفات پیوندگاه، قطر میدان مد دو فیبر است که با رابطه زیر تعیین می‌شود [12، 13]:

$$w_{1,2} = a\left[0.65+\frac{1.619}{V^{3/2}}+\frac{2.879}{V^6}\right] \quad (12)$$

که در آن a شعاع مغزی و V بسامد بهنجار فیبر تک مد است. بنابراین، با توجه به بسامد بهنجار فیبر تک مد مشاهده می‌شود که تلفات پیوندگاه نهایتاً تأثیرپذیر از طول موج نور، شعاع مغزی، گشودگی عددی فیبر است.

4-3. تحلیل نظری تلفات اتصال فیبرها

در تحلیل نظری اتصال فیبرهای مختلف از مشخصات استاندارد فیبرهای SMF، DSF و NZDSF مورد استفاده در مخابرات کشور در جدول (1) استفاده شده است. با استفاده از رابطه (2) و مقدارهای استاندارد، اثر ناهم‌راستایی‌های عرضی، طولی و زاویه‌ای بر تلفات اتصال فیبرهای مختلف تعیین شده‌اند.

برای تعیین اثر ناهم‌راستایی عرضی در محل اتصال، فرض شده که ناهم‌راستایی زاویه‌ای و جابه‌جایی طولی بین دو فیبر صفر و ضریب شکست مغزی دو فیبر و محل اتصال 1/456 است. تغییرات ناهم‌راستایی عرضی از صفر تا 1 میکرومتر در نظر گرفته شده است. در جدول (2)، تلفات بیشینه اتصال بین فیبرهای مختلف به ازای ناهم‌راستایی عرضی 1 میکرومتر نشان داده شده است. در شکل (3)، تغییرات تلفات اتصال فیبرهای همسان و ناهمسان بر حسب جابه‌جایی طولی نشان داده شده است. در شکل (3 الف) مشاهده می‌شود، در اتصال فیبرهای همسان، تغییرات تلفات اتصال فیبرهای DSF حداکثر و اتصال فیبرهای SMF حداقل است. در اتصال فیبرهای ناهمسان، پیوندگاه فیبرهای DSF و SMF بیش‌ترین تلفات و پیوندگاه فیبرهای NZDSF و SMF کم‌ترین تلفات را نشان می‌دهد.

جدول 1. مشخصات فیبرهای اندازه‌گیری شده

پارامتر	SM-G652	DSF-G653	NZDSF-G655
قطر میدان مد در 1550 نانومتر (μm)	9/2±0/2	7/8 ±0/5	9/6 ±0/4
قطر غلاف (μm)	125±1	125±1	125±1
خطای مرکزیت میدان مد (μm)	-	کم‌تر از 0/8	کم‌تر از 1
بیضی‌گونگی غلاف (%)	کم‌تر از 1	کم‌تر از 1	کم‌تر از 1
طول موج قطع فیبر (nm)	کم‌تر از 1252	کم‌تر از 1270	کم‌تر از 1480
تلفات خمشی در 1550 نانومتر (dB)	-	کم‌تر از 0/5	کم‌تر از 0/5
تضعیف در 1550 نانومتر (dB/km)	0/18	0/22	0/23
تضعیف در 1310 نانومتر (dB/km)	0/33	-	-
شیب پاشش λ_0 $(ps/nm^2.(km)^{o.5}$	کم‌تر از 0/086	کم‌تر از 0/085	کم‌تر از 0/092
PMD در 1550 نانومتر $(ps/km^{0.5})$	کم‌تر از 0/024	-	کم‌تر از 0/1

www.SID.ir

Archive of SID

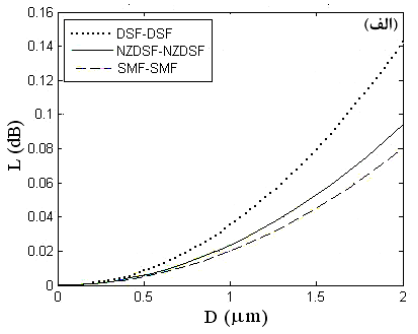
سطح موثر μm^2	-	-	65
پاشش رنگی (ps/nm.km)	16/2	3/5	6-2
طول موج پاشش صفر (nm)	1311	1575-1525	1507

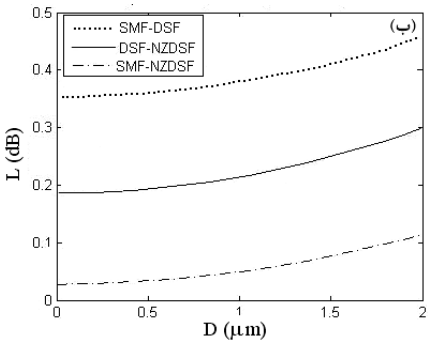
شکل (4)، تغییرات تلفات پیوندگاه فیبرهای همسان و ناهمسان را برحسب ناهم‌راستایی زاویه‌ای نشان می-دهد که در آن ناهم‌راستایی عرضی و جابه‌جایی طولی صفر فرض شده‌اند.

در جدول (3)، نتیجه محاسبات تلفات بیشینه ناشی از ناهم‌راستایی زاویه‌ای در اتصال فیبرهای مختلف به ازای 5 درجه ناهم‌راستایی در طول موج 1550 نانومتر آورده شده است.

جدول 2: تلفات اتصال به ازای ناهم‌راستایی عرضی 1 میکرومتر در طول موج 1550 نانومتر.

نوع اتصال	تلفات بیشینه
SMF-SMF	0/059
DSF-DSF	0/082
NZDSF-NZDSF	0/054
SMF-NZDSF	0/11
SMF-DSF	0/87
NZDSF-DSF	0/493





شکل 3: اثر ناهم‌راستایی عرضی D بر تلفات اتصال فیبرهای (الف) همسان و (ب) ناهمسان

شرایط اتصال همانند مرحله قبل فرض شده و از ناهم‌راستایی عرضی و جابه‌جایی طولی صرف‌نظر شده است.

در شکل (4 الف) مشاهده می‌شود زمانی که فقط ناهم‌راستایی زاویه‌ای در پیوندگاه وجود دارد، در اتصال همسان، تلفات پیوندگاه فیبرهای SMF حداکثر و تلفات پیوندگاه فیبرهای DSF حداقل است. هر چه قدر ناهم‌راستایی زاویه‌ای بیش‌تر می‌شود، اختلاف بین تلفات پیوندگاه فیبرهای مختلف نیز افزایش می‌یابد.

جدول 3: مقدار تلفات اتصال برای 5 درجه ناهم‌راستایی زاویه‌ای.

نوع اتصال	بیشینه تلفات
SMF-SMF	0/52
DSF-DSF	0/28
NZDSF-NZDSF	0/45
SMF-NZDSF	0/57
SMF-DSF	1/19
NZDSF-DSF	0/78

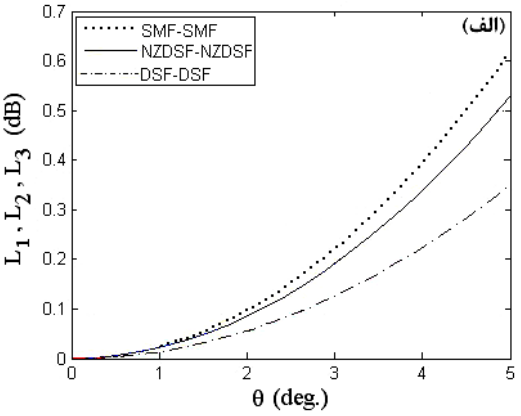
تلفات پیوندگاه فیبرهای ناهمسان در شکل (4 ب)، نشان می‌دهد که پیوندگاه فیبرهای SMF و DSF دارای حداکثر و پیوندگاه فیبرهای SMF و NZDSF دارای حداقل تلفات است.

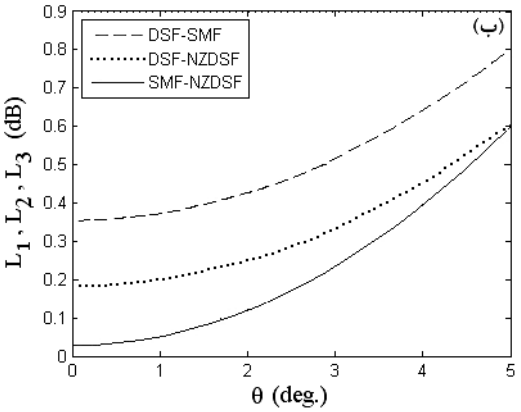
در تعیین اثر جابه‌جایی طولی بین فیبرهای همسان، از اثرات ناهم‌راستایی‌های زاویه‌ای و عرضی بین دو فیبر صرف‌نظر شده است. در جدول (4)، نتیجه تلفات بیشینه حل عددی جابه‌جایی طولی به ازای 3 میکرومتر جابه‌جایی نشان داده شده که در آن اتصال دو

www.SID.ir

Archive of SID

فیبر SMF کم‌ترین تلفات را نشان داده است. منحنی تغییرات تلفات بر اثر جابه‌جایی طولی در اتصال فیبرهای همسان SMF، DSF و NZDSF در بازه صفر تا 10 میکرومتر در شکل (5) ترسیم شده است.





شکل 4: اثر ناهم‌راستایی زاویه‌ای θ بر تلفات اتصال فیبرهای (الف) همسان و (ب) ناهمسان.

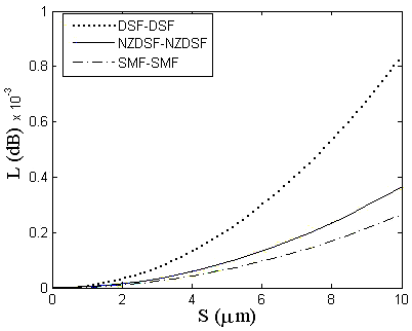
در پیوندگاه‌های فیبرهای همسان، اگر فقط جابه‌جایی طولی وجود داشته باشد، پیوندگاه فیبرهای SMF کم‌ترین تلفات و پیوندگاه فیبرهای DSF بیش‌ترین تلفات دارد.

در حالت آرمانی، ناهم‌راستایی‌های زاویه‌ای، عرضی و جابه‌جایی طولی بین فیبرها در محل اتصال وجود ندارد و قطر میدان فیبرها اثر غالب در ایجاد تلفات پیوندگاه است که در محاسبه در نظر گرفته شده است. نتیجه‌های به‌دست آمده در جدول (5) ارائه شده است.

در حالت آرمانی، تأثیرگذاری قطر میدان مد در اتصال فیبرهای NZDSF و SMF کم‌ترین و در اتصال فیبرهای DSF و SMF بیش‌ترین است.

جدول 4: تلفات اتصال برای جابه‌جایی طولی 3 میکرومتری در 1550 نانومتر.

نوع اتصال	تلفات بیشینه
SMF-SMF	0/00005
DSF-DSF	0/0001
NZDSF-NZDSF	0/00007
SMF-NZDSF	0/064
SMF-DSF	0/819
NZDSF-DSF	0/428



شکل 5: اثر جابه‌جایی طولی S در پیوندگاه فیبرهای همسان

جدول 5: تلفات اتصال فیبرهای ناهمسان در حالت آرمانی.

نوع اتصال	تلفات بیشینه
SMF-NZDSF	0/06
SMF-DSF	0/816
NZDSF-DSF	0/428

در جدول (6)، تلفات نظری اتصال فیبرهای همسان و ناهمسان ناشی از ناهم‌راستایی‌های عرضی و زاویه‌ای و جابه‌جایی طولی ارائه شده است. در اتصال فیبرهای همسان، اتصال فیبرهای SMF به ناهم‌راستایی عرضی و

www.SID.ir

Archive of SID

جابه‌جایی طولی کم‌ترین حساسیت دارد در حالی‌که این دو عامل بیش‌ترین اثر را در اتصال فیبرهای DSF دارند. اثر ناهم‌راستایی زاویه‌ای در اتصال فیبرهای SMF بیش‌ترین و در اتصال فیبرهای DSF کم‌ترین تلفات را ایجاد می‌کند. در اتصال فیبرهای ناهمسان، ناهم راستای‌های عرضی و زاویه‌ای در اتصال فیبر SMF به NZDSF و اتصال فیبر SMF به DSF به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین تلفات را ایجاد می‌کنند.

جدول 6: مقایسه تلفات اتصال پیوندگاه فیبرهای همسان و ناهمسان.

نوع اتصال	تلفات اتصال ناشی از:			
	ناهم-راستایی عرضی	ناهم-راستایی زاویه‌ای	جابه-جایی طولی	حالت آرمانی
SMF-SMF	کم‌ترین	بیش‌ترین	کم‌ترین	-
DSF-DSF	بیش‌ترین	کم‌ترین	بیش-ترین	-
NZDSF-NZDSF	متوسط	متوسط	متوسط	-
SMF-NZDSF	کم‌ترین	کم‌ترین	-	کم‌ترین
DSF-SMF	بیش‌ترین	بیش‌ترین	-	بیش‌ترین
DSF-NZDSF	متوسط	متوسط	-	متوسط

5. نتیجه‌های اندازه‌گیری میدانی تلفات پیوندگاه فیبرهای نوری

در اندازه‌گیری‌های به عمل آمده، از فیبرهای با مشخصات در جدول (1) و استانداردهای توصیه شده توسط مخابرات در جدول‌های (7) و (8) استفاده شده است. در جدول (8) تلفات مجاز قبل و بعد از مفصل-بندی کابل‌ها ارائه شده است. در موردهایی که مقدار ذکر نشده معیار، پاسخ سیستم است، یعنی تا جایی که سوئیچ مورد نظر جواب بدهد.

اندازه‌گیری تلفات پیوندگاه‌ها از دو طریق دستگاه جوش و دستگاه بازتاب‌سنج نوری (OTDR) صورت گرفته و با تحلیل نظری مقایسه شده است.

5-1. اندازه‌گیری تلفات توسط دستگاه جوش

برای بررسی اندازه‌گیری میدانی تلفات پیوندگاه، فیبرهای همسان و ناهمسان را با دستگاه جوش به هم متصل کرده و تلفات پیوندگاه را اندازه‌گیری کردیم.

فیبرهای مورد بررسی از نوع SMF، DSF، NZDSF بوده‌اند که به‌صورت SMF+DSF، DSF+NZDSF، SMF+SMF، NZDSF+NZDSF، NZDSF+SMF به هم متصل شده‌اند.

جدول 7: استاندارد تلفات بیشینه پیوندگاه فیبرهای نوری برحسب dB

نوع فیبرنوری	تلفات با دستگاه جوش	تلفات با دستگاه OTDR
فیبر DSF دارای مشکل جزئی	0/05	0/5
فیبر DSF برای اتصال همسان	0/05	0/2
فیبر SMF برای اتصال همسان	0/05	0/2
فیبر NZ-DSF برای اتصال همسان	0/05	0/1
فیبر DSF برای اتصال ناهمسان	0/08	1/5
فیبر SMF برای اتصال ناهمسان	0/08	1/5
فیبر NZ-DSF برای اتصال ناهمسان	0/08	1/5

جدول 8: استاندارد تلفات بیشینه کابل فیبرنوری (dB/km).

نوع فیبر	طول موج 1550 نانومتر		طول موج1310 نانومتر	
	قبل از مفصل بندی	بعد از مفصل بندی	قبل از مفصل بندی	بعد از مفصل بندی
DSF دارای مشکل حزئی	0/25	0/27		

www.SID.ir

Archive of SID

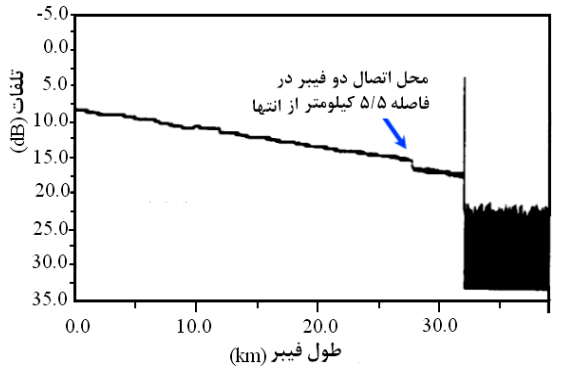
DSF برای اتصال همسان	0/25	0/27	0/36	0/45
SMF برای اتصال همسان	0/25	0/27	0/36	0/45
NZ-DSF برای اتصال همسان	0/23	0/25	-	-

در هر بار اتصال، متناسب با شرایط اندازه‌گیری هر کابل نوری، چند رشته فیبر همسان یا ناهمسان موجود در کابل پس از عمل اتصال با دستگاه جوش استاندارد، تلفات پیوندگاه اندازه‌گیری و ثبت شده است.

برای دستیابی به مقدار تلفات استاندارد مطابق جدول (7)، عمل جوش دو فیبر با دفعات مختلف تکرار شده و مقدارهای بیشینه، کمینه و میانگین تلفات آن در بازه استاندارد محاسبه شده و منحنی‌های میله‌ای تلفات پیوندگاه به ازای دفعات عمل جوش برای هر نوع اتصال فیبرها ترسیم شده و در جدول (9) نشان داده شده است.

5-2. اندازه‌گیری تلفات پیوندگاه توسط دستگاه OTDR

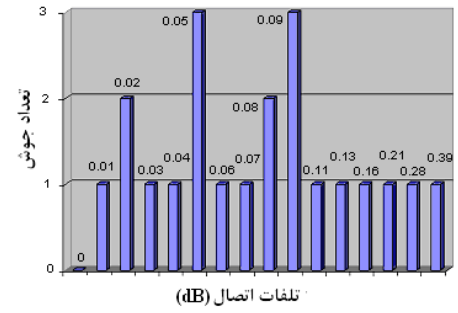
در این بخش از اندازه‌گیری میدانی، تلفات پیوندگاه فیبرهای مختلف توسط دستگاه OTDR انجام شده است. در این بررسی نیز فیبرهای مختلف توسط دستگاه جوش به هم متصل شده‌اند و در شرایط موجود زمان اندازه‌گیری، اتصال فیبر NZDSF به DSF، SMF به DSF، SMF به NZDSF و NZDSF به NZDSF انجام شده است. در هر نوع اتصال، تلفات پیوندگاه را توسط دستگاه OTDR اندازه‌گیری کرده و با ترسیم منحنی-های میله‌ای هر اتصال، میانگین تلفات محاسبه شده است.



شکل 6: منحنی تلفات اتصال فیبرهای NZDSF و DSF از خروجی OTDR

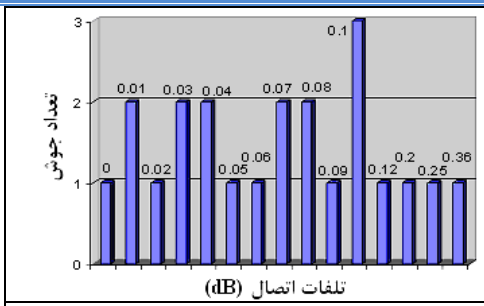
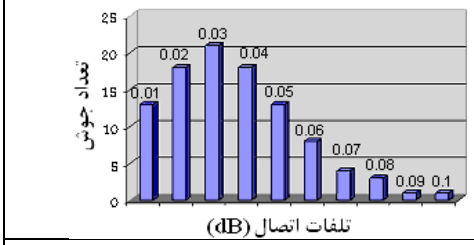
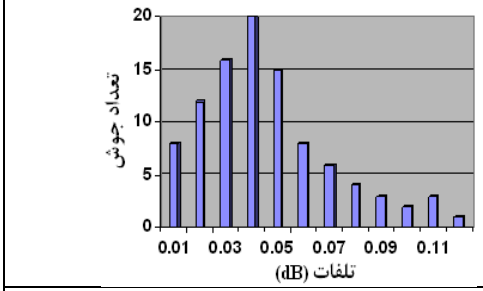
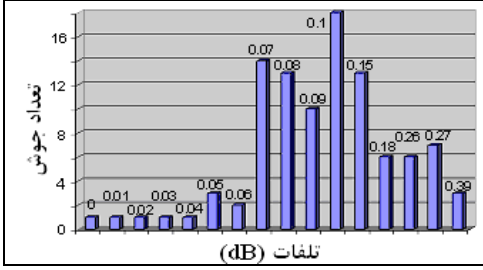
در شکل (6)، منحنی تجربی تلفات اتصال فیبرهای NZDSF و DSF، 5/5 کیلومتر از انتهای فیبر NZDSF نشان داده شده که تلفات کل مسیر 9/7 dB به‌دست آمده است.

جدول 9: اندازه‌گیری تلفات اتصال فیبرهای همسان و ناهمسان با استفاده از دستگاه جوش

نوع فیبرهای اتصالی	تعداد اتصال‌های انجام شده	تلفات (dB)			تلفات اتصال حاصل از تعداد دفعات جوش
		حداکثر	حداقل	میانگین	
SMF+DSF	20	0/39	0/01	0/109	

www.SID.ir

Archive of SID

	0/086	صفر	0/36	22	+NZDSF DSF
	0/026	0/01	0/1	100	SMF+SM F
	0/044	صفر	0/12	100	+NZDSF NZDSF
	0/073	صفر	0/39	100	+SM NZDSF

در جدول (10)، کلیه نتیجه‌های اندازه‌گیری تلفات اتصال فیبرهای همسان و ناهمسان توسط دستگاه OTDR نشان داده شده است.

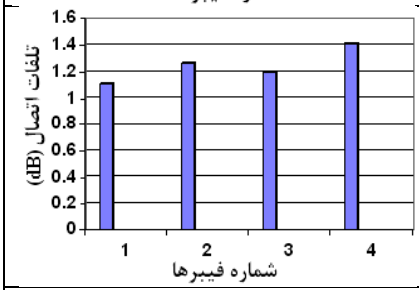
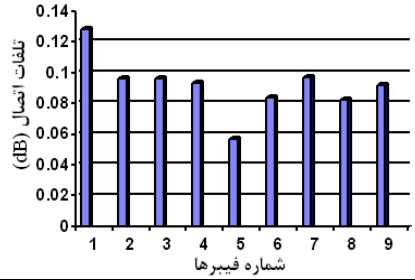
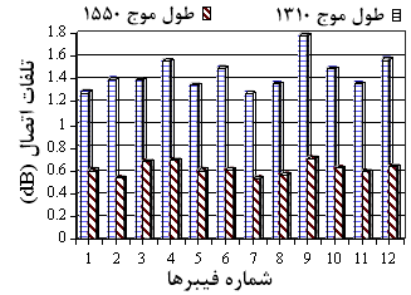
در شکل (7)، نمایش هم‌زمان منحنی تلفات اتصال 12 رشته فیبر DSF به SMF از خروجی OTDR در نقطه 150 متری از انتهای فیبر نشان داده شده است. میانگین تلفات اتصال 1/84 dB به‌دست آمده است. این اندازه‌گیری در طول موج 1310 نانومتر انجام شده است.

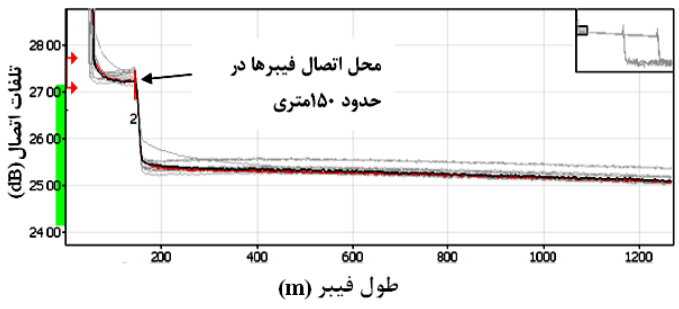
جدول 10: اندازه‌گیری تلفات اتصال فیبرهای همسان و ناهمسان با استفاده از دستگاه OTDR

نوع فیبرهای اتصالی	تعداد فیبرهای موجود در کابل	تلفات (dB)			تلفات اتصال به ازای شماره فیبرهای موجود در کابل
		حداکثر	حداقل	میانگین	
SMF+DSF	12	2/067	1/65	1/84	

www.SID.ir

Archive of SID

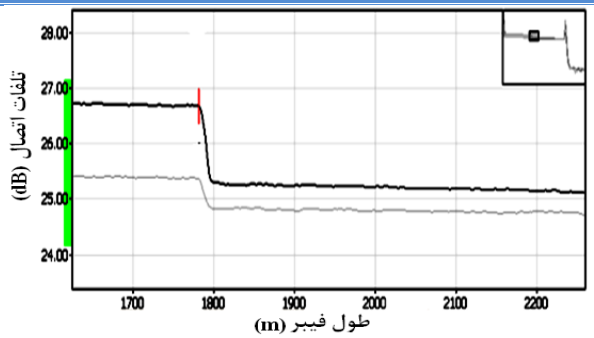
	1/30	1/11	1/42	4	+NZDSF DSF
	0/093	0/057	0/128	9	+NZDSF NZDSF
	0/62	0/531	0/709	در 1550	12 +SMF NZDSF
	1/45	1/278	1/781	در 1310	



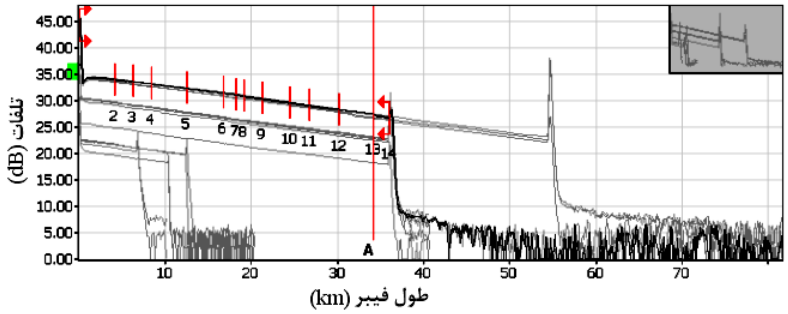
شکل 7: نمایش همزمان منحنی تلفات اتصال 12 رشته فیبر DSF به SMF

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 8: نمایش همزمان تلفات اتصال بیبرهای NZDSF و SM. در طول موج‌های 1310 (منحنی بالا) و 1550 نانومتر (منحنی پایین)



شکل 9: نمایش همزمان محل اتصال فیبرهای NZDSF در طول موج 1550 نانومتر

در اتصال فیبرهای SMF و NZDSF، با توجه به شرایط موجود در زمان اندازه‌گیری، اکثر اتصال‌ها نامتقارن بوده‌اند. در شکل (9)، منحنی‌های تلفات اتصال در طول موج‌های 1310 (منحنی بالا) و 1550 نانومتر (منحنی پایین) نشان داده شده‌اند. میانگین تلفات در طول موج 1310 نانومتر 1/45 dB و در طول موج 1550 نانومتر 0/62 dB ثبت شده است. این نتیجه نشان می‌دهد که تلفات به‌دست آمده در طول موج 1310 نانومتر تقریباً دو برابر آن در طول موج 1550 نانومتر است.

در عملیات اتصال فیبر NZDSF به NZDSF، فاصله بین اتصال‌ها در حدود 36/5 کیلومتر اندازه‌گیری شده است. برای اتصال، 9 رشته فیبر NZDSF به‌صورت کاتوره‌ای انتخاب شده‌اند و در مجموع 93 اتصال مورد بررسی قرار گرفت. میانگین تلفات کل در حدود dB 0/093 حاصل شده است. منحنی‌های تجربی از خروجی دستگاه OTDR در طول موج 1550 نانومتر در شکل (10) نشان داده شده است.

6. نتیجه‌گیری

نتیجه‌های به‌دست آمده در اندازه‌گیری میدانی پیوندگاه فیبرهای مختلف نشان می‌دهند که بیش‌ترین میزان تلفات در پیوندگاه فیبرهای ناهمسان ایجاد می‌شود. در واقع هر چه تفاوت در قطر میدان مد فیبرهای اتصال داده شده افزایش یابد، میزان تلفات نیز افزایش خواهد یافت. در این بین بیش‌ترین تلفات مربوط به اتصال فیبرهای SMF-DSF و کم‌ترین میزان تلفات در فیبرهای ناهمسان مربوط به اتصال فیبرهای SMF-NZDSF در طول موج 1550 نانومتراست.

www.SID.ir

Archive of SID

در حالت آرمانی که ناهم‌راستایی عرضی، زاویه‌ای وجابه‌جایی طولی بین فیبرها وجود ندارد، اثر غالب بر تلفات پیوندگاه وجود ناتطبیقی بین قطر میدان مد فیبرهای اتصال داده شده است. علاوه بر اثرهای سه عامل یاد شده، تمیز بودن انتهای فیبر، دستگاه برش و محل استقرار فیبرها در دستگاه جوش نیز بسیار مؤثر هستند. از اثرات دیگر می‌توان به‌وجود حباب یا ناخالصی در محل اتصال اشاره کرد که در زمان ساخت فیبر به‌وجود می‌آیند. در صورت برخورد با چنین مسئله‌ای محل جوش را باید چند سانتی‌متر به عقب تر انتقال داد.

عامل اصلی ایجاد ناهم‌راستایی زاویه‌ای در پیوندگاه اتصال دو فیبر، وجود برش زاویه‌دار در انتهای فیبرها است که رابطه مستقیم با کیفیت دستگاه برش دارد. اگر در پیوندگاهی ناهم‌راستایی زاویه‌ای ناگزیر به‌وجود آید، اثر آن بر تلفات پیوندگاه وابسته به قطر میدان مد فیبرها است. هر چه قطر میدان مد کم‌تر باشد، تلفات پیوندگاه بیش‌تر خواهد شد. در عمل، ناهم‌راستایی زاویه‌ای و جابه‌جایی طولی فیبرها هم‌زمان رخ می‌دهند. در فیبرهای DSF، وقتی سطح مقطع مؤثر مغزی کاهش یابد، حساسیت هم‌راستا شدن فیبرها در پیوندگاه بالا می‌رود و کوچک‌ترین نا هماهنگی باعث تلفات زیادی خواهد شد، در صورتی که فیبر SMF معمولی که در طول موج 1550 نانومتر دارای سطح مؤثر بالاتری است، تلفات کم‌تری در پیوندگاه ایجاد می‌کند. فیبرهای NZDSF به‌طور ذاتی به‌دلیل برخورداری از نمایه ضریب شکست پیچیده‌تر، به برش انتها برای اتصال‌دهی حساس‌ترند.

مراجع

[1] Splicing of Different Fibers, http//www.aurora-instruments.com, 18 Jan. 2000.

[2] Elliott B. J., and Gilmore Mike, *Fiber Optic Cabling*, 2nd Ed., Newnes Publisher, UK, 2002, Chap. 5.

[3] Splicing Methods, http://www.corning.com /cable system, 2002.

[4] Elliott B. J., and Gilmore Mike, *Fiber Optic Cabling*, 2nd Ed., Newnes Publisher, UK, 2002, Chap. 4.

[5] Single Fiber Fusion Splicing, Application Note, Corning Incorp., www.corning.com/opticalfiber, Sept. 2001.

[6] Tanabe A., Yamamoto K., Kazama J., Kato M., Harada S., Mishima S., Kojima H., Hino T., Suzuki N., and Kawazoe H., "*Development of Direct Core Monitoring Fusion Splicer S175*", Furukawa Rev., No. 19, 2000.

[7] Bellcore Generic Requirement for Single Fiber Single-Mode Optical Splices and Splicing Systems, GR-765-Core, Issue 1, Sep. 1995.

[8] Nemoto S. and Makimoto T., "Analysis of Splice Loss in Single-Mode Fibers Using a Gaussian Field Approximation," Vol. 11, No.5, pp. 447-457, 1979.

[9] Miller M., *Optical Fiber Splices and Connectors, Theory and Methods*, New York, Dekker, 1986.

[10] Keiser, G. *Optical Fibre Communications*, McGraw-Hill, 1991.

[11] [Powers J., *An Introduction to Fiber Optic System*, 2nd Ed., 1997, Chap. 4.

[12] Artiglia M, Coppa G., di Vita Pietro, Potenza M., Sharma A., "*Mode Field Diameter Measurements in Single-Mode Optical Fibers*", IEEE J. Lightwave Technol., Vol. 7, p. 1139, 1989.

[13] TIA/EIA-455-191 (FOTP-191), *Measurement of Mode-Field Diameter of Single-Mode Optical Fiber*, 1998.

www.SID.ir