



سیستم مدیریت ایزو
www.isomanagement.ir

تماس تلفنی جهت دریافت مشاوره:

۱. مشاور دفتر تهران (آقای محسن ممیز)

☎ ۰۹۱۲ ۹۶۳ ۹۳۳۶

۲. مشاور دفتر اصفهان (سرکار خانم لیلا ممیز)

☎ ۰۹۱۳ ۳۲۲ ۸۲۵۹

مجموعه سیستم مدیریت ایزو با هدف بهبود مستمر عملکرد خود و افزایش رضایت مشتریان سعی بر آن داشته، کلیه استانداردهای ملی و بین المللی را در فضای مجازی نشر داده و اطلاع رسانی کند، که تمام مردم ایران از حقوق اولیه شهروندی خود آگاهی لازم را کسب نمایند و از طرف دیگر کلیه مراکز و کارخانه جات بتوانند به راحتی به استانداردهای مورد نیاز دسترسی داشته باشند.

این موسسه اعلام می دارد در کلیه گرایشهای سیستم های بین المللی ISO پیشگام بوده و کلیه مشاوره های ایزو به صورت رایگان و صدور گواهینامه ها تحت اعتبارات بین المللی سازمان جهانی IAF و تامین صلاحیت ایران می باشد.

هم اکنون سیستم خود را با معیارهای جهانی سازگار کنید...





جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران
۱۰۶۶۴
تجدیدنظر اول
۱۳۹۷

INSO
10664
1st Revision
2019

Identical with
ITU-T G.652:
2016

مشخصه‌های کابل و تار نوری تک‌حالت



دارای محتوای رنگی

Characteristics of a single-mode optical
fibre and cable

ICS: 33.180.10

استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۶۶۴ (تجدیدنظر اول): سال ۱۳۹۷

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱(۰۲۶)

دورنگار: ۸۱۱۴-۳۲۸۰(۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: <http://www.isiri.gov.ir>

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No. 2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.gov.ir

Website: <http://www.isiri.gov.ir>

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استانداردهای کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2- International Electrotechnical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)

4- Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«مشخصه‌های کابل و تار نوری تک‌حالت»

سمت و/یا محل اشتغال:

رئیس:

زارعی، احمد
(کارشناسی مهندسی برق - الکترونیک)
رئیس اداره کل - شرکت مخابرات منطقه بوشهر

دبیر:

خدری، صادق
(کارشناسی ارشد مهندسی برق مخابرات - سیستم)
کارشناس - شرکت معیارآزمای لیان

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

آریان‌پور، حمزه
(کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت)
مدیرعامل - شرکت پاساک نیرو آلامتو

برزویی، مرتضی
(کارشناسی مهندسی برق - قدرت)
مدیرعامل - شرکت تکوین تجهیز مهتاب

حسینیان، هلیاسادات
(کارشناسی ارشد مهندسی برق - سیستم‌های انرژی)
کارشناس فنی - شرکت صنایع گلدیران

دامغانی، حمیدرضا
(کارشناسی ارشد مهندسی برق مخابرات - سیستم)
مدیر فنی و تحقیقات - شرکت صنایع گلدیران

دهباشی، لیلا
(کارشناسی مهندسی برق - الکترونیک)
مدیر فنی - شرکت ارتباطات نوین گستر سیراف

ربیعی، علیرضا
(کارشناسی ارشد - تخصصی شبکه‌های مخابراتی)
کارشناس آموزش فنی مهندسی و فناوری‌های نوین - شرکت
ارتباطات زیرساخت

سلماسی، تورج
(کارشناسی فیزیک کاربردی)
مدیر کنترل کیفیت - شرکت صنایع رامپارسیان

شعاع آذر، نگار
(کارشناسی ارشد مهندسی برق - الکترونیک)
مدیر کنترل کیفیت - مرکز تحقیقات صنایع انفورماتیک

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

کارشناس - مرکز تحقیقات صنایع انفورماتیک

طاهر طلوع دل، سوگل

(کارشناسی ارشد مهندسی برق - الکترونیک)

مدیر بازرسی - شرکت آزمون پردازش لیان

محمودپور، نصراله

(دکتری مهندسی برق - قدرت)

کارشناس - اداره کل استاندارد استان بوشهر

محمودی، حسین

(کارشناسی مهندسی برق - الکترونیک)

کارشناس - شرکت مخابرات منطقه بوشهر

ملاح زاده، نرجس

(کارشناسی مهندسی برق - الکترونیک)

کارشناس - مرکز تحقیقات صنایع انفورماتیک

ملکی، حمیده

(کارشناسی ارشد مهندسی برق - الکترونیک)

ویراستار:

کارشناس دفتر تدوین استانداردهای ملی - سازمان ملی استاندارد
ایران

رثایی، حامد

(کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ح	پیش‌گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۲	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۲	۴ کوتاه‌نوشت‌ها و سرنام‌ها
۳	۵ قراردادها
۳	۶ شاخصه‌های تار
۳	۱-۶ قطر میدان حالت
۴	۲-۶ قطر غلاف
۴	۳-۶ خطای هم‌مرکزی مغزی
۴	۴-۶ دایره‌ای نبودن
۴	۵-۶ طول موج قطع
۵	۶-۶ اتلاف بزرگ‌خمش
۵	۷-۶ ویژگی‌های ماده تار
۶	۸-۶ نمایه ضریب شکست
۶	۹-۶ یکنواختی طولی پاشندگی رنگی
۶	۱۰-۶ پاشندگی رنگی
۷	۷ شاخصه‌های کابل
۸	۱-۷ ضریب تضعیف
۸	۲-۷ ضریب پاشندگی حالت قطبش
۹	۸ جدول‌های مقادیر توصیه‌شده
۱۳	پیوست الف (آگاهی‌دهنده) اطلاعاتی درباره شاخصه‌های پیوند تار کابل‌شده مورد استفاده در طراحی سامانه
۱۳	الف-۱ تضعیف
۱۴	الف-۲ پاشندگی رنگی
۱۴	الف-۳ تأخیر گروه تفاضلی
۱۵	الف-۴ جدول‌های مقدارهای نوعی مشترک
۱۶	الف-۵ ضریب غیرخطی
۱۷	الف-۶ مثالی برای روش آماری

صفحه	عنوان
۱۹	پیوست ب (آگاهی‌دهنده) اطلاعات بیشینه/کمینه پاشندگی رنگی تار رده D برای ویژگی‌های خط مرزی
۲۱	کتاب‌نامه

پیش‌گفتار

استاندارد «مشخصه‌های کابل و تار نوری تک‌حالت» که نخستین بار در سال ۱۳۸۷ تدوین و منتشر شد، بر اساس پیشنهادهای دریافتی و بررسی و تأیید کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی/منطقه‌ای به‌عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی ایران شماره ۵ برای اولین بار مورد تجدیدنظر قرار گرفت و در سیصد و ششمین اجلاس کمیته ملی استاندارد فناوری ارتباطات مورخ ۱۳۹۷/۱۲/۵ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران - ساختار و شیوه نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد جایگزین استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۶۶۴: سال ۱۳۸۷ می‌شود.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی مزبور است:

ITU-T Recommendation G.652: 2016, Transmission systems and media, digital systems and networks-Transmission media and optical systems characteristics- Optical fibre cables

مشخصه‌های کابل و تار نوری تک‌حالت

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، توصیف کابل و تار نوری تک‌حالت با طول‌موج پاشندگی صفر در حدود nm ۳۱۰ است که می‌تواند در ناحیه طول‌موج nm ۳۱۰ و nm ۵۵۰ استفاده شود. انتقال قیاسی و رقمی می‌تواند با استفاده از این تار انجام شود.

پارامترهای هندسی، نوری، انتقالی و مکانیکی در سه رده از شاخصه‌ها به صورت زیر شرح داده می‌شوند:

- شاخصه‌های تار که در طی کابل‌کشی و نصب حفظ می‌شوند؛
- شاخصه‌های کابل که به هنگام تحویل کابل‌ها توصیه می‌شوند؛
- شاخصه‌های پیوند که مشخصه کابل‌های زنجیره‌ای هستند، روش‌های تخمین پارامترهای واسط سامانه را بر اساس اندازه‌گیری‌ها، مدل‌سازی‌ها یا ملاحظات دیگر، شرح می‌دهد. اطلاعات مربوط به شاخصه‌های پیوند و طراحی سامانه در پیوست الف ارائه شده است.

این استاندارد و رده‌های مختلف عملکرد که در جدول بند ۸ آمده است، برای پشتیبانی توصیه‌نامه‌های سامانه مربوط زیر در نظر گرفته شده است:

توصیه‌نامه	رده
[2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9]	مشخصه‌های سامانه‌های نوری
[10], [11]	سامانه‌های خط رقمی
[12], [13], [14], [15], [16], [17]	سامانه‌های خط نوری برای شبکه‌های دسترسی و محلی

یادآوری- بسته به طول پیوندها، مناسب‌سازی پاشندگی می‌تواند برای بعضی از کدهای کاربردی نوشته شده در توصیه‌نامه‌های [2]، [3] یا توصیه‌نامه [11] لازم باشد.

مفهوم اصطلاحات استفاده شده در این استاندارد و راهنمایی که باید برای راستی‌آزمایی مشخصه‌های مختلف در اندازه‌گیری‌ها از آن‌ها پیروی شود، در توصیه‌نامه‌های ITU-T G.650.1 و ITU-T G.650.2 ارائه شده‌اند. مشخصه‌های این تار شامل تعاریف پارامترهای مربوط، روش‌های آزمون آن‌ها و مقادیر مربوط در دست مطالعه هستند.

۱- اعداد داخل براکت به کتاب‌نامه ارجاع می‌دهد.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مرجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 Recommendation ITU-T G.650.1: 2010 , Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable.

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۰۶۶۳: سال ۱۳۸۷، تعریف‌ها و روش‌های آزمون ویژگی‌های قطعی خطی کابل و فیبر نوری تک‌مد، با استفاده از توصیه‌نامه ITU-T G.650.1: 2004 تدوین شده است.

2-2 Recommendation ITU-T G.650.2: 2015, Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single-mode fibre and cable

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۰۶۶۳: سال ۱۳۸۷، تعریف‌ها و روش‌های آزمون ویژگی‌های آماری و غیرخطی کابل و فیبر نوری تک‌مد، با استفاده از توصیه‌نامه ITU-T G.650.2: 2005 تدوین شده است.

۳-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۵۰-۲-۶۹۱۹: سال ۱۳۹۵، تارهای نوری- قسمت ۲-۵۰: ویژگی‌های محصول- ویژگی بخشی برای تارهای تک‌مد طبقه B

۴-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۹۸۱۹: سال ۱۳۸۹، کمیت‌ها و یکاها- قسمت ۱: اصول کلی

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف ارائه‌شده در توصیه‌نامه‌های ITU-T G.650.1 و ITU-T G.650.2 به کار می‌روند.

۴ کوتاه‌نوشت‌ها و سرنام‌ها^۱

در این استاندارد، کوتاه‌نوشت‌ها و سرنام‌های زیر به کار می‌رود.

معادل فارسی	معادل انگلیسی	سرنام و کوتاه‌نوشت
ناحیه مؤثر	Effective Area	A_{eff}
تأخیر گروه تفاضلی	Differential Group Delay	DGD
همتافتگری تقسیم طول موج متراکم	Dense Wavelength Division Multiplexing	DWDM
پاشندگی حالت قطبش	Polarization Mode Dispersion	PMD
پارامتر آماری برای PMD پیوند	Statistical parameter for link PMD	PMD_0
سلسله مراتب رقمی همزمان	Synchronous Digital Hierarchy	SDH
همتافتگری تقسیم طول موج	Wavelength Division Multiplexing	WDM

۵ قراردادها

قبل از ارزیابی انطباق، مقادیر باید به تعداد ارقام داده‌شده در جدول‌های مقادیر توصیه‌شده گرد شوند. قاعده متعارف «گرد کردن اعداد اعشاری» که در قاعده ب پیوست ب استاندارد ملی ایران شماره ۱-۹۸۱۹: سال ۱۳۸۹ شرح داده شده، به کار می‌رود. فقط اولین رقم (رقم پرارزش) از ارقام معنی‌دار در تعیین گرد کردن استفاده می‌شود.

۶ شاخصه‌های تار

فقط آن مشخصه‌هایی از تار نوری در این بند توصیه می‌شوند که کمینه چارچوب طراحی ضروری را برای تولید تار فراهم می‌کنند. گستره‌ها یا حدود مقادیر در جدول‌های بند ۸، ارائه می‌شوند. برای این تارها، ساخت یا نصب کابل می‌تواند بر PMD و طول موج قطع تار کابل‌شده تأثیر عمده بگذارد. در سایر موارد، مشخصه‌های توصیه‌شده به طور یکسان برای تک‌تارها، تارهای درون یک کابل پیچیده‌شده حول قرقره و تارهای داخل کابل نصب‌شده، اعمال خواهند شد.

۱-۶ قطر میدان حالت

هر دو مقدار نامی و رواداری حول مقدار نامی باید در طول موج ۱۳۱۰ nm مشخص شوند. مقدار نامی مشخص‌شده، باید درون گستره ارائه‌شده در بند ۸ باشد. رواداری مشخص‌شده نباید از مقدار تعیین‌شده در بند ۸ بیشتر باشد. انحراف از مقدار نامی، نباید از رواداری مشخص‌شده بیشتر باشد.

۶-۲ قطر غلاف

مقدار نامی توصیه شده برای قطر غلاف $125 \mu\text{m}$ است. رواداری نیز برای آن مشخص شده است که نباید از مقدار تعیین شده در بند ۸ بیشتر شود. انحراف قطر غلاف از مقدار نامی، نباید از رواداری مشخص شده بیشتر باشد.

۶-۳ خطای هم‌مرکزی مغزی

خطای هم‌مرکزی مغزی، نباید از مقدار مشخص شده در بند ۸ بیشتر باشد.

۶-۴ دایره‌ای نبودن

۶-۴-۱ دایره‌ای نبودن میدان حالت

در عمل، برای تارهای نوری که به‌طور نامی دارای میدان حالت دایره‌ای هستند، مشخص شده است که دایره‌ای نبودن میدان حالت به قدری کوچک است که بر انتشار نور و اتصال تارهای نوری تاثیر نمی‌گذارد. بنابراین نیاز به توصیه مقدار خاصی برای دایره‌ای نبودن میدان حالت در نظر گرفته نشده است. معمولاً نیازی به اندازه‌گیری دایره‌ای نبودن میدان حالت برای پذیرش نیست.

۶-۴-۲ دایره‌ای نبودن غلاف

دایره‌ای نبودن غلاف، نباید از مقدار مشخص شده در بند ۸ بیشتر باشد.

۶-۵ طول موج قطع

دو نوع طول موج قطع مفید را می‌توان تمیز داد:

الف - طول موج قطع کابل λ_{cc} ؛

ب - طول موج قطع تار λ_c .

یادآوری - برای بعضی از کاربردهای مخصوص کابل زیردریا، ممکن است مقادیر دیگر طول موج قطع کابل مورد نیاز باشند.

ارتباط مقادیر اندازه‌گیری شده λ_c و λ_{cc} ، بستگی به طراحی تار و کابل خاص و شرایط آزمون دارد. گرچه در حالت کلی رابطه $\lambda_{cc} < \lambda_c$ برقرار است، ولیکن رابطه کمی کلی نمی‌تواند به آسانی بین این پارامترها برقرار باشد. انتقال مطمئن تک‌حالت در کمینه طول کابل بین اتصالات در کمینه طول موج کاری مورد مهمی است. این اطمینان از انتقال تک‌حالت، ممکن است با توصیه طول موج قطع بیشینه کابل λ_{cc} برای تار تک‌حالت کابل شده به مقدار 1260 nm یا برای بدترین حالت طول و خمش‌ها با توصیه طول موج قطع تار بیشینه λ_c به 1260 nm حاصل شود.

طول موج قطع کابل، λ_{cc} ، باید کمتر از بیشینه مشخص شده در بند ۸ باشد.

۶-۶ اتلاف بزرگ خمش

اتلاف بزرگ خمش با طول موج، شعاع خمش و تعداد دورها حول استوانه آزمون با شعاع مشخص تغییر می‌کند. اتلاف بزرگ خمش در طول موج (ها)، شعاع خمش و تعداد دورهای مشخص شده نباید از بیشینه‌ی ارائه شده در بند ۸، بیشتر شود.

یادآوری ۱- برای اطمینان از برآورده شدن این الزام، ممکن است آزمون احراز شرایط کافی باشد.

یادآوری ۲- تعداد دورهای توصیه شده با تعداد تقریبی دورهای به کار گرفته شده در همه حالت‌های مفصل در فواصل تکرارکننده نوعی تطابق دارد. شعاع توصیه شده معادل کمینه شعاع خمش است که به طور گسترده برای به کارگیری بلندمدت تارها در نصب سامانه‌های عملی برای جلوگیری از خرابی فرسودگی ناشی از شرایط ایستایی، پذیرفته شده‌اند.

یادآوری ۳- اگر به دلایل عملی، تعداد دورهای کمتر از تعداد توصیه شده برای پیاده‌سازی انتخاب شود، پیشنهاد می‌شود که کمتر از ۴۰ دور نباشد و به تناسب، افزایش اتلاف کمتری لازم است.

یادآوری ۴- توصیه اتلاف بزرگ خمش، مربوط به به کارگیری تارها در نصب‌های عملی تار تک‌حالت است. تأثیر شعاع خمش مربوط به تابیدن تارهای تک‌حالت کابل شده بر عملکرد اتلاف، در ویژگی‌های اتلاف فیبر کابل شده گنجانده می‌شود.

یادآوری ۵- در صورت نیاز به آزمون‌های دوره‌ای، برای درستی و آسانی اندازه‌گیری، می‌توان به جای آزمون توصیه شده از یک حلقه با قطر کوچکتر با یک یا چند دور استفاده کرد. در این حالت، بهتر است قطر حلقه، تعداد دورها و بیشینه اتلاف خمش مجاز برای آزمون چنددور طوری انتخاب شود که با آزمون توصیه شده و اتلاف مجاز ارتباط داشته باشد.

۶-۷ ویژگی‌های ماده تار

۶-۷-۱ مواد تار

توصیه می‌شود، مواد مورد استفاده در ساخت تارها مشخص شوند.

یادآوری- ممکن است در مفصل‌بندی ذوبی^۱ تارهای نوری با مواد مختلف به احتیاط و دقت بیشتری نیاز باشد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که استحکام و اتلاف مفصل مناسب را می‌توان با مفصل‌بندی تارهای مختلف با سیلیکای بالا به دست آورد.

۶-۷-۲ مواد محافظ

توصیه می‌شود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد استفاده شده برای پوشش اولیه تار و بهترین راه برای برداشتن آن (در صورت لزوم)، مشخص شود. در حالت تار تک‌پوششی، باید علائم مشابهی ارائه شود.

۶-۷-۳ سطح تنش محک

تنش محک تعیین شده σ_p ، نباید کمتر از مقدار کمینه مشخص شده در بند ۸ باشد.

یادآوری- تعاریف پارامترهای مکانیکی در بندهای 3.2 و 5.6 توصیه‌نامه ITU-T G.650.1 آمده است.

۶-۸ نمایه ضریب شکست

به طور کلی لازم نیست نمایه ضریب شکست تار، معین شود.

۶-۹ یکنواختی طول پاشندگی رنگی

در دست مطالعه است.

یادآوری- در یک طول موج خاص، مقدار مطلق موضعی ضریب پاشندگی رنگی می تواند با مقدار اندازه گیری شده روی طول بلند، متفاوت باشد. اگر این مقدار به مقدار کمی در یک طول موج نزدیک به طول موج کاری سامانه همتافتگری تقسیم طول موج WDM کاهش یابد، ترکیب چهارموجی^۱ می تواند موجب انتشار توان در طول موج های دیگر شود، اما محدود به طول موج های کاری دیگر نمی شود. اندازه توان ترکیب چهارموجی، تابعی است از مقدار مطلق ضریب پاشندگی رنگی، شیب پاشندگی رنگی، طول موج های کاری، توان نوری و فاصله ای که ترکیب چهارموجی در آن اتفاق می افتد.

در بهره برداری های DWDM در ناحیه ۵۵۰ nm، میزان پاشندگی رنگی تارهای این استاندارد، برای جلوگیری از ترکیب چهارموجی، به اندازه کافی بزرگ است بنابراین یکنواختی پاشندگی رنگی موضوع مهمی نیست.

۶-۱۰ پاشندگی رنگی

تأخیر گروه اندازه گیری شده یا ضریب پاشندگی رنگی نسبت به طول موج، باید با معادله مناسب که در پیوست A توصیه نامه ITU-T G.650.1 تعریف شده است، برازش شود (برای راهنمایی در مورد درون یابی مقادیر پاشندگی به طول موج های اندازه گیری نشده، به زیربند 5.5 توصیه نامه ITU-T G.650.1 مراجعه شود). ضریب پاشندگی رنگی، $D(\lambda)$ برای تار زیررده B این استاندارد با قراردادن حدود روی پارامترهای منحنی پاشندگی رنگی که تابعی از طول موج در ناحیه ۳۱۰ nm است، مشخص می شود. حد ضریب پاشندگی رنگی، برای هر طول موج λ ، بر حسب کمینه طول موج پاشندگی صفر (λ_{0min})، بیشینه طول موج پاشندگی صفر (λ_{0max}) و بیشینه شیب پاشندگی صفر (S_{0max})، طبق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0min}}{\lambda} \right)^4 \right] \quad (۶-۱)$$

مقادیر λ_{0min} ، λ_{0max} و S_{0max} باید در حدود مشخص شده در جدول ۱ (بند ۸) باشد.

پارامترهای پاشندگی رنگی برای تار زیررده D این استاندارد در جدول ۲ (بند ۸) به منظور پیوستگی مقادیر پاشندگی رنگی از ۲۶۰ nm تا ۶۲۵ nm نشان داده شده است. این مقادیر باعث طراحی دقیق تر سامانه می شود که طرح جبران کننده پاشندگی در آن گنجانده شده است. ضریب پاشندگی در تعیین پارامترهای ضریب پاشندگی رنگی تارهای زیررده D این استاندارد تنها با استفاده از ضرایب سلمییر سه جمله ای در ناحیه ۳۱۰ mm، ممکن است هنگام برون یابی در ناحیه ۵۵۰ mm به اندازه کافی دقیق نباشد. به منظور

1- Four-wave mixing

پیوستگی ضرایب پاشندگی رنگی کمینه/بیشینه تارهای زیررده D این استاندارد، ترکیب مشتق اول برازش سلمییر در تأخیر گروه از ۱۲۶۰ nm تا ۱۴۶۰ nm و برازش خطی پاشندگی رنگی (یعنی مشتق اول برازش درجه دوم در تأخیر گروه) از ۱۴۶۰ nm و ۱۶۲۵ nm مناسب است.

ضریب پاشندگی رنگی، $D(\lambda)$ در طول موج λ از ۱۲۶۰ nm تا ۱۴۶۰ nm با نامساوی‌های زیر محدود می‌شود:

$$\frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\max}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\min}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\min}}{\lambda} \right)^4 \right] \quad (\lambda \leq \lambda_{0\min}) \quad (الف-۲-۶)$$

$$\frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\max}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\min}}{\lambda} \right)^4 \right] \quad (\lambda_{0\min} \leq \lambda \leq \lambda_{0\max}) \quad (ب-۲-۶)$$

$$\frac{\lambda S_{0\min}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\max}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\min}}{\lambda} \right)^4 \right] \quad (\lambda_{0\max} \leq \lambda) \quad (پ-۲-۶)$$

کمینه شیب پاشندگی رنگی $S_{0\min}$ ، با توجه به پیوستگی کمینه/بیشینه ضرایب پاشندگی رنگی اضافه می‌شود.

ضریب پاشندگی رنگی، $D(\lambda)$ در طول موج λ از ۱۴۶۰ nm تا ۱۶۲۵ nm با نامساوی زیر محدود می‌شود:

$$۱,۶۲۵ + ۰,۰۵۲ (\lambda - ۱۴۶۰) \leq D(\lambda) \leq ۱۲,۴۷۲ + ۰,۰۶۸ (\lambda - ۱۴۶۰) \quad (۳-۶)$$

برآورد محصولات زیررده D این استاندارد برای تعیین ویژگی‌های پارامتر پاشندگی رنگی و اثرات منحنی پوش اجرا می‌شود. خلاصه نتایج در پیوست ب ارائه شده است.

یادآوری- اندازه‌گیری ضریب پاشندگی رنگی تار تک‌حالت طبق روال عادی، لازم نیست.

۷ شاخصه‌های کابل

از آنجا که فرآیند کابل‌سازی بر مشخصه‌های هندسی و نوری تارها در بند ۶ به‌طور آشکاری تأثیر می‌گذارد، این بند توصیه‌هایی را ارائه می‌دهد که اساساً مربوط به مشخصه‌های انتقال طول‌های کابل‌شده کارخانه‌ای است.

شرایط محیطی و آزمون مهم هستند و در راهنمای روش‌های آزمون شرح داده می‌شوند.

۷-۱ ضریب تضعیف

مقدار بیشینه ضریب تضعیف در یک یا چند طول موج در هر دو ناحیه ۱۳۱۰ nm و ۵۵۰ mm مشخص می‌شود. مقادیر ضریب تضعیف کابل تار نوری نباید از مقادیر مشخص شده در بند ۸ بیشتر باشد.

یادآوری - ضریب تضعیف ممکن است در طیفی از طول موج‌ها بر اساس اندازه‌گیری‌ها در تعداد کمی (۳ تا ۴) طول موج پیش‌بینی‌کننده، محاسبه شود. رویه این محاسبه، در زیربند 5.4.4 توصیه‌نامه ITU-T G.650.1 و مثالی نیز در پیوست III توصیه‌نامه ITU-T G.650.1 ارائه شده است.

۷-۲ ضریب پاشندگی حالت قطبش

پاشندگی حالت قطبش تار نوری کابل شده باید براساس یک روش آماری و نه بر پایه‌ی تک‌تار نوری مجزا، تعیین شود. الزامات فقط به جنبه‌هایی از پیوند مربوط است که از اطلاعات کابل محاسبه شده است. معیار ویژگی‌های آماری در ادامه این بند ارائه شده است. روش‌های محاسبات در استاندارد [21] ارائه شده است و در پیوست IV توصیه‌نامه ITU-T G.650.2 به‌طور خلاصه آمده است.

تولیدکننده باید مقدار طراحی پیوند PMD_Q ، PMD ، را ارائه دهد که به عنوان حد بالای آماری برای ضریب PMD کابل‌های تار نوری زنجیره‌ای در یک پیوند متشکل از M قطعه کابل به کار می‌رود. حد بالایی بر حسب سطح احتمال کم، Q ، تعریف می‌شود که احتمال دارد مقدار ضریب PMD کابل‌های زنجیره‌ای، بیش از PMD_Q باشد. برای مقادیر M و Q داده‌شده در بند ۸، مقدار PMD_Q نباید از بیشینه ضریب PMD مشخص شده در بند ۸ بیشتر باشد.

اندازه‌گیری‌ها و ویژگی‌های تارهای کابل نشده ضروری هستند، اما برای تضمین ویژگی تار کابل شده کافی نیستند. مقدار بیشینه طراحی پیوند مشخص شده برای تار کابل نشده باید کمتر یا مساوی با مقدار مشخص شده برای تار کابل شده باشد. نسبت مقادیر PMD برای تار کابل نشده به تار کابل شده، بستگی به جزئیات ساختار و فرآیند کابل و نیز شرایط تزویج تار کابل نشده دارد. توصیه‌نامه ITU-T G.650.2، استفاده از حالت تزویج کم را توصیه می‌کند که به یک کشش کم برای پیچیدن حول یک قرقره با قطر بزرگ برای اندازه‌گیری‌های PMD تار کابل نشده، نیاز دارد.

حدود توزیع مقادیر ضریب PMD می‌توانند طوری تفسیر شوند که تقریباً معادل با حدود تغییر آماری تأخیر گروه تفاضلی (DGD) شوند که به‌طور تصادفی با زمان و طول موج تغییر می‌کنند. اگر توزیع ضریب PMD برای کابل تار نوری مشخص شود، حدود معادل می‌توانند روی متغیر DGD تعیین شوند. اندازه‌ها و مقادیر حدود توزیع DGD پیوند در پیوست الف ارائه شده است.

یادآوری ۱- ویژگی‌های PMD_Q فقط در جایی مورد نیاز است که کابل‌ها برای سامانه‌هایی با ویژگی‌های بیشینه DGD به کار گرفته شوند. برای مثال، ویژگی‌های PMD_Q به سامانه‌های توصیه‌شده در توصیه‌نامه [10] اعمال نمی‌شوند.

یادآوری ۲- PMD_Q بهتر است برای انواع مختلف کابل‌ها و معمولاً با استفاده از مقادیر PMD الگو محاسبه شود. الگوها باید از کابل‌های با ساختار مشابه گرفته شوند.

یادآوری ۳- توصیه می‌شود ویژگی‌های PMD_Q به کابل‌های کوتاه مانند کابل‌های جمپر، کابل‌های داخل بنا و کابل‌های تکه، اعمال نشود.

یادآوری ۴- کابل و تار نوری با ضریب PMD بالاتر می‌تواند برای سامانه‌های دارای الزامات کمتر سختگیرانه PMD استفاده شود (مانند سامانه‌های دارای طول پیوند کم یا سامانه‌های دارای رواداری PMD بالا).

۸ جدول‌های مقادیر توصیه‌شده

مقادیر توصیه‌شده برای تعدادی از رده‌های تار که تأمین‌کننده اهداف این استاندارد هستند، به‌طور خلاصه ارائه شده است. این رده‌ها تا حد زیادی بر پایه الزامات تضعیف در 383 nm ، مشخص می‌شوند. برای اطلاعاتی در خصوص رابطه بین بیشینه مقدار PMD_Q و پشتیبانی نرخ بیت به پیوست الف مراجعه شود.

جدول ۱، شاخصه‌های رده B این استاندارد شامل شاخصه‌های توصیه‌شده و مقادیر لازم برای پشتیبانی کاربردهای نرخ بیت بالاتر تا STM-۶۴، مانند توصیه‌نامه [2] و توصیه‌نامه [3]، STM-۲۵۶ برای کاربردهای توصیه‌نامه [4] و توصیه‌نامه [11]. بسته به کاربردها، ممکن است مناسب‌سازی پاشندگی رنگی لازم باشد.

جدول ۲، شاخصه‌های رده D این استاندارد، شبیه به رده B این استاندارد است ولی امکان انتقال در قسمت‌هایی از گستره طول‌موج بسط‌یافته از 1260 nm و 1625 mm را ایجاد می‌کند.

جدول مرجع کلاس بین رده تار IEC و انواع تار ITU-T G.65x در جدول V.1 پیوست V توصیه‌نامه [19] داده شده است.

جدول ۱- شاخصه‌های تار رده B این استاندارد

شاخصه‌های تار			
واحد	مقدار	جزئیات	شاخصه
nm	۱۳۱۰	طول موج	قطر میدان حالت
μm	۸٫۶ - ۹٫۵	گستره مقادیر نامی	
μm	±۰٫۶	رواداری	
μm	۱۲۵٫۰	نامی	قطر غلاف
μm	±۱	رواداری	
μm	۰٫۶	بیشینه	خطای هم‌مرکزی مغزی
%	۱٫۰	بیشینه	دایره‌ای نبودن غلاف
nm	۱۲۶۰	بیشینه	طول موج قطع کابل
mm	۳۰	شعاع	اتلاف بزرگ‌خمش
	۱۰۰	تعداد دورها	
dB	۰٫۱	بیشینه در ۱۶۲۵ nm	
GPa	۰٫۶۹	کمینه	تنش محک
nm	۱۳۰۰	λ_{0min}	پارامتر پاشندگی رنگی
nm	۱۳۲۴	λ_{0max}	
ps/(nm ² × km)	۰٫۰۹۲	S_{0max}	
شاخصه‌های کابل			
واحد	مقدار	جزئیات	شاخصه
dB/km	۰٫۴	بیشینه در ۱۳۱۰ nm	ضریب تضعیف (یادآوری ۱)
dB/km	۰٫۳۵	بیشینه در ۱۵۵۰ nm	
dB/km	۰٫۴	بیشینه در ۱۶۲۵ nm	
کابل	۲۰	M	ضریب PMD (یادآوری ۲ و ۳)
%	۰٫۰۱	Q	
ps/ \sqrt{km}	۰٫۲۰	بیشینه PMD _Q	
<p>یادآوری ۱- مقادیر ضریب تضعیف فهرست شده در این جدول بهتر است برای کابل‌های کوتاه مانند کابل‌های جمپر^۱، کابل‌های درون‌بنا^۲ و کابل‌های تکه^۳ استفاده نشود. برای مثال، استاندارد [۲۰]، ضریب تضعیف در کابل‌های درون‌بنا به طول ۰٫۱ dB/km یا کمتر در ناحیه ۱۳۱۰ nm و ۱۵۵۰ nm را تعیین می‌کند. ضریب تضعیف در طول موج بیشتر از ۱۶۲۵ nm (برای پایش) مشخص نیست. به‌طور کلی، تضعیف با افزایش طول موج، افزایش می‌یابد و ممکن است طول موج زیادی بسته به اتلاف بزرگ‌خمش و ریزخمش نشان دهد.</p> <p>یادآوری ۲- با توجه به زیربند ۲-۷، مقدار بیشینه PMD_Q در تار کابل نشده برای پشتیبانی الزامات اولیه در PMD_Q کابل مشخص می‌شود.</p> <p>یادآوری ۳- کابل‌های تار نوری با ضریب PMD بالاتر می‌تواند برای سامانه‌های با الزامات سختگیرانه PMD کمتر استفاده شود.</p>			
<p>1- Jumper cable 2- Indoor cable 3- Drop cable</p>			

جدول ۲- شاخصه‌های تار رده D این استاندارد

شاخصه‌های تار			
واحد	مقدار	جزئیات	شاخصه
nm	۱۳۱۰	طول موج	قطر میدان حالت
μm	۸٫۶ - ۹٫۲	گستره مقادیر نامی	
μm	$\pm ۰٫۴$	رواداری	
μm	۱۲۵٫۰	نامی	قطر غلاف
μm	$\pm ۰٫۷$	رواداری	
μm	۰٫۶	بیشینه	خطای هم‌مرکزی مغزی
%	۱٫۰	بیشینه	دایره‌ای نبودن غلاف
nm	۱۲۶۰	بیشینه	طول موج قطع کابل
mm	۳۰	شعاع	اتلاف بزرگ‌خمش
		تعداد دورها	
		بیشینه در ۱۶۲۵ nm	
dB	۰٫۱	کمینه	تنش محک
GPa	۰٫۶۹	کمینه	پارامتر پاشندگی رنگی برازش سلمییر سه‌جمله‌ای (۱۲۶۰ nm تا ۱۴۶۰ nm)
nm	۱۳۰۰	$\lambda_{0\text{min}}$	
nm	۱۳۲۴	$\lambda_{0\text{max}}$	
ps/($\text{nm}^2 \times \text{km}$)	۰٫۰۷۳	$S_{0\text{min}}$	
ps/($\text{nm}^2 \times \text{km}$)	۰٫۰۹۲	$S_{0\text{max}}$	
ps/($\text{nm} \times \text{km}$)	۱۳٫۳	کمینه در ۱۵۵۰ nm	برازش خطی (۱۴۶۰ nm تا ۱۶۲۵ nm)
ps/($\text{nm} \times \text{km}$)	۱۸٫۶	بیشینه در ۱۵۵۰ nm	
ps/($\text{nm} \times \text{km}$)	۱۷٫۲	کمینه در ۱۶۲۵ nm	
ps/($\text{nm} \times \text{km}$)	۲۳٫۷	بیشینه در ۱۶۲۵ nm	
شاخصه‌های کابل			
واحد	مقدار	جزئیات	شاخصه
dB/km	۰٫۴۰	بیشینه از ۳۱۰ nm تا ۱۶۲۵ nm (یادآوری ۲)	ضریب تضعیف (یادآوری ۱)
dB/km	۰٫۴۰	بیشینه در $۱۳۸۳ \text{ nm} \pm ۳ \text{ nm}$ بعد از فرسودگی متأثر از هیدروژن (یادآوری ۳)	
dB/km	۰٫۳۰	بیشینه در ۱۵۳۰-۱۵۶۵ nm	
کابل	۲۰	M	ضریب PMD (یادآوری ۴ و ۵)
%	۰٫۰۱	Q	
ps/ $\sqrt{\text{km}}$	۰٫۲۰	بیشینه PMD_Q	

ادامه جدول ۲- شاخصه‌های تار رده D این استاندارد

یادآوری ۱- مقادیر ضریب تضعیف فهرست شده در این جدول بهتر است برای کابل‌های کوتاه مانند کابل‌های جمپر، کابل‌های درون‌بنا و کابل‌های تکه استفاده نشود. برای مثال استاندارد [۲۰]، ضریب تضعیف در کابل‌های درون‌بنا به طول 0.1 dB/km یا کمتر در ناحیه 1310 nm و 1550 nm را تعیین می‌کند. ضریب تضعیف در طول موج بیشتر از 1625 nm (برای پایش) مشخص نیست. به‌طور کلی، تضعیف با افزایش طول موج، افزایش می‌یابد و ممکن است طول موج زیادی بسته به اتلاف بزرگ‌خمش و ریزخمش نشان دهد.

یادآوری ۲- این ناحیه طول موج می‌تواند با اضافه کردن 0.07 dB/km اتلاف پراکندگی رایلی القاشده به مقدار تضعیف در 1310 nm به 1260 nm گسترش یابد.

یادآوری ۳- فرسودگی متأثر از هیدروژن، یک آزمون نوعی است که باید روی یک مجموعه تار نمونه‌برداری شده مطابق با تار زیررده B1.3 استاندارد ۶۹۱۹-۲-۵۰ انجام شود.

یادآوری ۴- با توجه به زیربند ۲-۷، مقدار بیشینه PMD_Q در تار کابل‌نشده برای پشتیبانی الزامات اولیه در PMD_Q کابل مشخص می‌شود.

یادآوری ۵- کابل‌های تار نوری با ضریب PMD بالاتر می‌تواند برای سامانه‌های با الزامات سختگیرانه PMD کمتر استفاده شود.

پیوست الف

(آگاهی‌دهنده)

اطلاعاتی درباره شاخصه‌های پیوند تار کابل‌شده مورد استفاده در طراحی سامانه

به منظور تخمین محدودیت انتقال به دلیل خواص تار شامل پراکندگی رنگی، PMD، تضعیف و غیرخطی بودن، طرح‌های سامانه «بدترین حالت» و «آماری» می‌توانند همان‌طور که به ترتیب در بند 9 و 10 توصیه‌نامه [18] آورده شده است، در نظر گرفته شوند. طراحی بدترین حالت، یک روش تخمینی با استفاده از مقادیر کمینه و بیشینه است و برای سامانه انتقال شامل اجزا و طول‌های کارخانه‌ای به هم متصل از کابل‌های تار نوری استفاده می‌شود. از طرف دیگر، پارامترهای انتقال برای پیوندهای زنجیره‌ای که دارای تعداد زیادی طول‌های کارخانه‌ای زنجیره‌ای کابل تار نوری هستند، نه تنها عملکرد شاخصه‌های معین طول‌های کابل تکی بلکه پارامترهای آماری زنجیره نیز باید در نظر گرفته شود. الزامات طول‌های کارخانه‌ای در بند 6 و بند 7 داده شده است.

برای حصول اقتصادی‌ترین طرح‌ها، مشخصه‌های انتقال کابل‌های تار نوری با طول کارخانه‌ای، توزیع احتمال معینی خواهند داشت که می‌توان در نظر گرفت. توصیه می‌شود این پیوست با در نظر گرفتن ماهیت آماری پارامترهای مختلف مطالعه شود.

شاخصه‌های پیوند مانند تضعیف انتها به انتها، پراکندگی رنگی، PMD یا غیرخطی بودن به وسیله عامل‌هایی غیر از کابل‌های تار نوری، مانند مفصل‌ها، قطعات غیرفعال و نصب تحت تأثیر قرار می‌گیرند. این عوامل در این استاندارد مشخص نشده است.

به منظور تخمین آماری مقادیر شاخصه پیوند برای تضعیف، مقادیر نوعی پراکندگی رنگی پیوندهای تار نوری در جدول الف-۱ در بند الف-۴ ارائه می‌شوند. روش‌های تخمین پارامترهای پیوند مورد نیاز برای طراحی سامانه بر اساس اندازه‌گیری‌ها، مدل‌سازی یا ملاحظات دیگر هستند.

الف-۱ تضعیف

تضعیف میانگین، A ، یک پیوند به صورت زیر بیان می‌شود:

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y \quad (\text{الف-۱})$$

که در آن:

α ضریب تضعیف میانگین کابل‌های تار در یک پیوند؛

α_s اتلاف مفصل میانگین؛

x تعداد مفصل‌ها در یک پیوند؛

α_c اتلاف میانگین اتصال دهنده‌های خط؛

y تعداد اتصال دهنده‌های خط در یک پیوند (اگر وجود داشته باشد)؛

L طول پیوند است.

بهتر است یک محدوده مناسب برای اصلاحات پیکربندی‌های کابل در آینده (مفصل‌های اضافی، طول‌های کابل بیشتر، اثرات فرسودگی، تغییرات دما و غیره)، اختصاص داده شود. رابطه بالا، اتلاف اتصال دهنده‌های تجهیز را در بر نمی‌گیرد. مقادیر نوعی موجود در بند الف-۴ برای ضریب تضعیف پیوندهای تار نوری هستند. بهتر است بودجه‌بندی تضعیف در طراحی یک سامانه واقعی برای تغییرات آماری در این پارامترها، در نظر گرفته شود.

الف-۲ پاشندگی رنگی

پاشندگی رنگی بر حسب ps/nm می‌تواند از ضرایب پاشندگی رنگی طول‌های کارخانه‌ای، با فرض وابستگی خطی به طول و با رعایت علائم ضرایب محاسبه شود (به زیربند ۶-۱۰ مراجعه شود).

اگر این تارها برای انتقال در ناحیه ۱ ۵۵۰ nm استفاده شوند، اغلب بعضی از روش‌های جبران پاشندگی رنگی به کار گرفته می‌شوند. در این حالت، پاشندگی رنگی متوسط پیوند برای طراحی استفاده می‌شود. پاشندگی اندازه‌گیری شده در پنجره ۱ ۵۵۰ nm می‌تواند با یک رابطه خطی با طول موج در این محدوده مشخص شود. این رابطه بر حسب ضریب پاشندگی رنگی نوعی و ضریب شیب پاشندگی در ۱ ۵۵۰ nm تعریف می‌شود.

مقادیر نوعی برای ضریب پاشندگی رنگی، D_{1550} و ضریب شیب پاشندگی رنگی، S_{1550} در ۱ ۵۵۰ nm در جدول الف-۱ آمده است. این مقادیر به همراه طول پیوند L_{Link} می‌تواند برای محاسبه پاشندگی رنگی نوعی در طراحی پیوند نوری، مورد استفاده قرار گیرد.

$$D_{Link}(\lambda) = L_{Link} [D_{1550} + S_{1550}(\lambda - 1550)]_{[ps/nm]} \quad (\text{الف-۲})$$

یادآوری- ویژگی الزامی پاشندگی رنگی برای تارهای رده D این استاندارد تجدیدنظر شده است، پس این معادله برای این نوع تار به کار نمی‌رود.

الف-۳ تأخیر گروه تفاضلی (DGD)

تأخیر گروه تفاضلی، اختلاف در زمان‌های رسیدن دو حالت قطبش در زمان و طول موج مشخص است. PMD اساساً آماری است و DGD مبتنی بر وضعیت تصادفی مرتبط با موقعیت طولی کابل نوری، دچار نوسان می‌شود. بنابراین وقتی قرار است که یک پیوند با قسمت‌های زنجیره‌ای کابل‌های تار مربوط شکل بگیرد،

روش آماری در طراحی این پیوند، برای تعیین اثر PMD، یک اصل است. برای یک پیوند با ضریب PMD مشخص، DGD پیوند به طور تصادفی با زمان و طول موجی مشابه توزیع ماکسول تک پارامتری تغییر می کند که توزیع ماکسول تک پارامتری، حاصل ضرب ضریب PMD پیوند و ریشه دوم طول پیوند است. نقص سامانه به علت PMD در یک زمان و طول موج مشخص، بستگی به DGD در همان زمان و طول موج دارد. بنابراین، وسیله ایجاد محدودیت های مفید در توزیع DGD که به توزیع ضریب PMD کابل تار نوری و حدود آن مرتبط است، بسط داده می شود و در استاندارد [21] مستند می شود و در پیوست IV توصیه نامه TU-T G.650-2 به طور خلاصه بیان می شود. اندازه های محدودیت های توزیع PMD به شرح زیر هستند:

یادآوری - تعیین میزان مشارکت اجزایی غیر از کابل تار نوری خارج از دامنه کاربرد این استاندارد است ولیکن در استاندارد [21] بحث می شود.

طول پیوند مرجع، L_{Ref} : بیشینه طول پیوند است که به آن بیشینه DGD و احتمال، اعمال خواهد شد. برای طول های پیوند بلندتر، بیشینه DGD در ریشه دوم نسبت طول واقعی به طول مرجع، ضرب می شود.

بیشینه طول کابل نوعی، L_{cab} : بیشینه وقتی معتبر است که کابل های منفرد نوعی از زنجیره یا طول های کابل هایی که در تعیین توزیع ضریب PMD اندازه گیری می شوند، از این مقدار کمتر باشند.

بیشینه DGD، DGD_{max} : مقدار DGD است که می تواند در هنگام طراحی سامانه نوری مورد استفاده قرار گیرد.

بیشینه احتمال، P_F : احتمال اینکه یک مقدار DGD واقعی از DGD_{max} بیشتر شود.

الف-۴ جدول های مقدارهای نوعی مشترک

مقادیر داده شده در جدول های الف-۱ و الف-۲، به ترتیب، نشان دهنده پیوندهای تار نوری زنجیره ای طبق بندهای الف-۱ تا الف-۳، هستند. مقادیر بیشینه DGD القایی تار اشاره شده در جدول الف-۲ برای راهنمایی در خصوص الزامات برای عناصر نوری دیگر که ممکن است در پیوند باشند، در نظر گرفته می شوند. مقادیر نشان داده شده در این بند برای تمام تارهای سازگار با این استاندارد شامل تارهای رده A توصیه نامه ITU-T G.657 به کار می رود.

یادآوری - طول قطعه کابل ۱۰ km کیلومتر است به جز در مواردی که طول پیوند بیش از ۴۰۰۰ km و PMD برابر $0.10 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ باشد، که در این حالت، طول قطعه کابل ۲۵ km و سطح احتمال خطا برابر $10^{-8} \times 6.5$ است.

جدول الف-۱- مقادیر پیوند تار نوری زنجیره‌ای

مقدار پیوند نوعی	ناحیه طول موج	ضریب تضعیف
۰٫۵ dB/km	۱۳۶۰ nm تا ۱۲۶۰ nm	(یادآوری)
۰٫۲۷۵ dB/km	۱۵۶۵ nm تا ۱۵۳۰ nm	
۰٫۳۵ dB/km	۱۶۲۵ nm تا ۱۵۶۵ nm	
۱۷ ps/(nm × km)	D_{1550}	پارامتر پاشندگی رنگی
۰٫۱۰۵۶ ps/(nm ² × km)	S_{1550}	
یادآوری- مقدار پیوند نوعی با ضریب تضعیف پیوند استفاده شده در توصیه‌نامه‌های [10] و [2] مطابقت دارد.		

جدول الف-۲- تأخیر گروه تفاضلی

نرخ‌های بیت کانال	بیشینه DGD القایی ضمنی تار (ps)	طول پیوند (km)	بیشینه PMD _Q [ps√km]
تا ۲٫۵ Gbit/s			بدون مشخصه
۱۰ Gbit/s	۲۵٫۰	۴۰۰	۰٫۵
۱۰ Gbit/s	۱۹٫۰ (یادآوری)	۴۰	
۴۰ Gbit/s	۷٫۵	۲	
۱۰ Gbit/s	۱۹٫۰	۳۰۰۰	۰٫۲۰
۴۰ Gbit/s	۷٫۰	۸۰	
۱۰ Gbit/s	۱۲٫۰	۴۰۰۰ <	۰٫۱۰
۴۰ Gbit/s	۵٫۰	۴۰۰	
یادآوری- این مقدار برای سامانه‌های اتترنت ۱۰ Gbit نیز اعمال می‌شود.			

الف-۵ ضریب غیرخطی

اثر پراکندگی رنگی با ضریب غیرخطی، n_2/A_{eff} ، با توجه به خرابی‌های سامانه ناشی از اثرات نوری غیرخطی برهم اثرگذارند (به توصیه‌نامه‌های [1] و ITU-T G.650.2 مراجعه شود). مقادیر نوعی با پیاده‌سازی تغییر می‌کند. روش‌های آزمون ضریب غیرخطی در دست مطالعه است.

الف-۶ مثالی برای روش آماری

زمانی که تصادفی بودن در طراحی در نظر گرفته شود، رویکرد ریاضی برای طراحی آماری پیوند می‌تواند استفاده شود (به‌عنوان مثال، هنگامی که تعداد نسبتاً زیادی کابل از انتخاب اتفاقی، برای تشکیل یک پیوند بهم وصل می‌شوند)، اگرچه تطبیق‌پذیری آن در دست مطالعه است. به‌عنوان مثال، در یک پیوند زنجیره‌ای متشکل از N کابل شده که از تعداد محدودی تار مجزا تشکیل شده است، عامل اتفاق محدودیت داشته و روش طراحی در بدترین حالت برای تعیین محدوده قابل قبول سامانه، مناسب‌تر است.

روش کلی برای طراحی سامانه آماری در توصیه‌نامه [18] شرح داده شده است و در ادامه، یک رابطه برای حد بالای آماری برای یکی از پارامترهای تار/کابل ارائه می‌شود. محاسبه با ایجاد یک توزیع آماری آغاز می‌شود. x_i و L_i به ترتیب، پارامتر تار به ازای طول واحد و طول کابل می‌باشند که تار در کابل نام در پیوند زنجیره‌ای از N کابل است. یک پارامتر تار کلی در پیوند کل x_N در نسبت طول، x_N به‌صورت زیر است:

$$x_N = \frac{\sum_{i=1}^N L_i x_i}{\sum_{i=1}^N L_i} = \frac{1}{L_{Link}} \sum_{i=1}^N L_i x_i \quad (\text{الف-۳})$$

اگر فرض شود تمام طول بخش کابل کمتر از مقدار مشترک، L_{Cab} است و همزمان، کاهش تعداد بخش‌های کابلی موردنظر $M = L_{Link} / L_{Cab}$ باشد، پس برای یک پیوند شکل‌یافته از کابل‌های با طول مساوی، $L_i = L_{Cab}$ ، معادله بالا به‌صورت زیر می‌شود:

$$x_N \leq x_M = \frac{L_{Cab}}{L_{Link}} \sum_{i=1}^M x_i = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_i \quad (\text{الف-۴})$$

تغییرات در پارامتر پیوند زنجیره‌ای، x_M ، به دلیل متوسط‌گیری از تارهای زنجیره‌ای، کمتر از تغییرات در بخش‌های کابل جداگانه، x_i خواهد بود.

هنگامی که توزیع پارامتر تار ایجاد شده است، روش مونت کارلو می‌تواند برای تعیین چگالی احتمالی، f_{link} ، از پارامتر تار پیوند زنجیره‌ای بدون ایجاد هرگونه پیش‌فرض در مورد شکل آن استفاده شود. این روش، فرآیند ساخت پیوندها را با نمونه‌گیری از تعداد پارامتر اندازه‌گیری تار، مکرراً شبیه‌سازی می‌کند.

پارامتر تار بر روی تعداد زیادی از بخش‌ها اندازه‌گیری می‌شود به‌گونه‌ای که به‌عنوان مشخصه اساسی توزیع معرفی می‌شود. سپس داده‌ها برای محاسبه پارامتر تار برای یک مسیر در پیوند زنجیره‌ای استفاده می‌شوند.

محاسبه با انتخاب تصادفی مقادیر M از پارامترهای تار اندازه‌گیری شده و افزودن به معادله الف-۴ انجام می‌شود. تضعیف زنجیره‌ای محاسبه شده در یک جدول یا بافت‌نگار مقادیر به دست آمده از سایر نمونه‌های تصادفی قرار می‌گیرد. این فرآیند تا زمانی تکرار می‌شود که تعداد کافی از مقادیر تضعیف زنجیره‌ای برای تولید یک بافت‌نگار با تراکم بالا از توزیع زنجیره‌ای پارامتر تار محاسبه شوند. در صورتی که بافت‌نگار به طور مستقیم بدون تعیین مشخصه اضافی نظیر برازش گوسی مورد استفاده قرار گیرد، بهتر است تعداد نمونه‌ها، دست کم 10^4 باشد.

به دلیل اصل حد مرکزی، بافت‌نگار مقادیر آماری پارامتر تار در پیوند کابل شده زنجیره‌ای، تمایل به همگرایی با توزیع‌هایی دارد که می‌تواند به طور کمینه با دو پارامتر توصیف شود. از این رو، بافت‌نگار می‌تواند متناسب با یک توزیع پارامتری باشد که امکان برون‌یابی سطوح احتمالی که کمتر از آنچه که توسط تعداد نمونه بیان می‌شود را دارد. این دو پارامتر به طور پیوسته دو جنبه توزیع را نشان می‌دهند: مقدار مرکزی و تغییرپذیری مقدار مرکزی.

برای به دست آوردن سطوح احتمالی $Q = 10^{-3}$ با استفاده از روش عددی خالص، شبیه‌سازی مونت کارلو با دست کم 10^4 نمونه مورد نیاز است. پس از به دست آوردن سطوح احتمالی، تضعیف و/یا توزیع پراکندگی رنگی می‌توانند از توابع چگالی احتمالی تجمعی مربوط درون‌یابی شوند. لازم به ذکر است که کاربرد روش مثال بالا برای مطالعه بیشتر است.

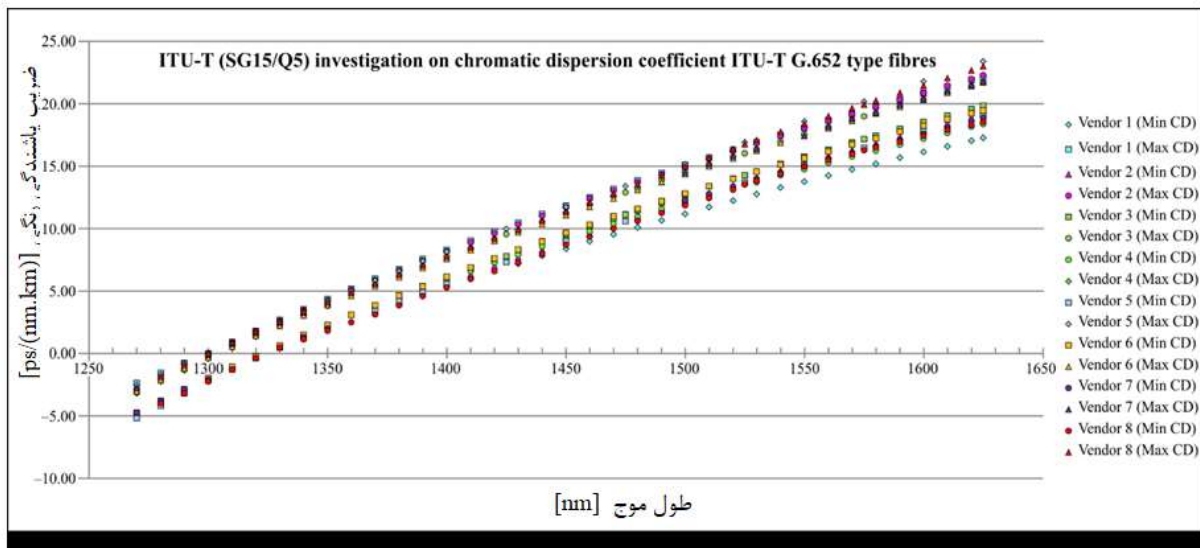
پیوست ب

(آگاهی‌دهنده)

اطلاعات پیشینه/کمینه پاشندگی رنگی تار رده D برای ویژگی‌های خط مرزی

در ماه نوامبر ۲۰۱۴، ITU-T SG15/Q5 تصمیم گرفت که ویژگی‌های پراکندگی رنگی موجود در تارهای رده D این استاندارد را ارتقاء دهد و این ویژگی جدید را از لحاظ پیشینه/کمینه خطوط مرزی در ناحیه طول موج ۱۲۷۰ nm تا ۱۶۲۵ nm بیان کند. به این منظور، تحقیق در مورد پراکندگی رنگی با همکاری هشت فروشنده عمده تار از اعضای ITU-T SG15/Q5 صورت گرفت. این بررسی روی تمام انواع تارهای رده D این استاندارد صورت گرفت که شامل تارهای رده A توصیه‌نامه ITU-T G.657 و تارهای رده D این استاندارد مبتنی بر هسته سیلیکا خالص بود. بازرسی به صورت ناشناس انجام شد.

نتایج این بررسی در شکل ب-۲ نشان داده شده است.



شکل ب-۱- بررسی پیشینه/کمینه ضریب پراکندگی رنگی برای تارهای رده D این استاندارد در گستره طول موج ۱۲۷۰ nm تا ۱۶۲۵ nm

جدول ب-۱، داده‌های جمع‌آوری شده از پراکندگی رنگی را در گستره طول موج ۱۲۷۰ nm تا ۱۶۲۵ nm نشان می‌دهد که از ۸ فروشنده تار دریافت شده است.

بر اساس چیدمان این داده‌ها، پیشینه و کمینه ویژگی‌های خط مرزی برای پراکندگی رنگی تار رده D این استاندارد بسط یافته است، به جدول ۲ بند ۸ مراجعه شود که اولین بار در ویرایش نهم معرفی شده است.

جدول ب-۱- بررسی بیشینه/کمینه ضریب پراکندگی رنگی برای تارهای رده D این استاندارد در گستره طول موج ۱۶۲۵ nm تا ۱۲۷۰ nm

Wavelength (nm)	Vendor 1 (Min CD)		Vendor 1 (Max CD)		Vendor 2 (Min CD)		Vendor 2 (Max CD)		Vendor 3 (Min CD)		Vendor 3 (Max CD)		Vendor 4 (Min CD)		Vendor 4 (Max CD)		Vendor 5 (Min CD)		Vendor 5 (Max CD)		Vendor 6 (Min CD)		Vendor 6 (Max CD)		Vendor 7 (Min CD)		Vendor 7 (Max CD)		Vendor 8 (Min CD)		Vendor 8 (Max CD)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max		
1270	-4,96	-2,36	4,82	2,81	-4,74	-3,14	-4,83	-3,18	-5,18	-2,54	-4,80	-3,05	-4,70	-2,76																		
1280	-3,99	-1,56	3,87	1,88	-3,79	-2,18	-3,87	-2,26	-4,18	-1,68	-3,83	-2,12	-3,80	-1,82																		
1290	-3,05	-0,77	2,90	0,94	-2,80	-1,25	-2,94	-1,34	-3,19	-0,83	-2,89	-1,21	-2,90	-0,91																		
1300	-2,12	0,00	2,00	0,82	-1,90	-0,33	-2,03	-0,43	-2,17	-0,01	-1,97	-0,32	-2,10	-0,10																		
1310	-1,23	0,91	-1,18	0,88	-1,08	0,56	-1,14	0,46	-1,28	0,89	-1,07	0,55	-1,20	0,84																		
1320	-0,35	1,81	-0,33	1,76	-0,22	1,44	-0,28	1,33	-0,35	1,75	-0,20	1,41	-0,40	1,68																		
1330	0,45	2,68	0,50	2,62	0,61	2,29	0,56	2,19	0,49	2,61	0,65	2,24	0,59	2,50																		
1340	1,19	3,53	1,31	3,47	1,43	3,13	1,38	3,03	1,25	3,41	1,49	3,06	1,30	3,30																		
1350	1,92	4,37	2,10	4,29	2,23	3,94	2,19	3,85	2,01	4,25	2,30	3,86	2,00	4,08																		
1360	2,63	5,29	2,87	5,10	3,01	4,75	2,97	4,65	2,75	5,04	3,10	4,64	2,80	4,90																		
1370	3,32	5,99	3,55	5,90	3,79	5,51	3,73	5,44	3,47	5,83	3,88	5,39	3,48	5,59																		
1380	4,09	6,78	4,28	6,68	4,55	6,27	4,47	6,21	4,17	6,58	4,05	6,13	4,05	6,13																		
1390	4,67	7,54	4,88	7,44	5,29	7,02	5,19	6,97	4,88	7,39	5,41	6,86	5,41	6,86																		
1400	5,32	8,30	5,60	8,19	6,02	7,76	5,91	7,72	5,58	8,14	6,15	7,58	6,15	7,58																		
1410	5,96	9,04	6,37	8,92	6,74	8,48	6,60	8,45			6,88	8,30	6,88	8,30																		
1420	6,58	9,76	7,05	9,65	7,44	9,19	7,27	9,18			7,60	9,01	7,60	9,01																		
1425					7,79	9,55			7,31	9,97																						
1430	7,20	10,47	7,72	10,35	8,14	9,89	7,94	9,89			8,31	9,71	8,31	9,71																		
1440	7,80	11,17	8,31	11,05	8,82	10,58	8,58	10,58			9,00	10,40	9,00	10,40																		
1450	8,39	11,86	8,90	11,73	9,50	11,26	9,18	11,27	8,98	11,71	9,67	11,08	9,67	11,08																		
1460	8,97	12,53	9,60	12,41	10,16	11,93	9,79	11,94			10,33	11,76	10,33	11,76																		
1470	9,54	13,19	10,32	13,07	10,82	12,59	10,40	12,61			10,98	12,42	10,98	12,42																		
1475					11,35	12,92			10,00	13,40																						
1480	10,10	13,84	10,90	13,72	11,45	13,22	10,99	13,26			11,61	13,08	11,61	13,08																		
1490	10,65	14,48	11,59	14,36	12,10	13,87	11,57	13,90			12,23	13,73	12,23	13,73																		
1500	11,19	15,10	12,21	14,99	12,74	14,53	12,13	14,53	12,16	15,16	12,83	14,37	12,83	14,37																		
1510	11,72	15,72	12,82	15,61	13,36	15,14	12,68	15,15			13,42	15,00	13,42	15,00																		
1520	12,24	16,33	13,42	16,23	13,98	15,76	13,21	15,76			14,00	15,63	14,00	15,63																		
1525					14,28	16,06			13,66	16,89																						
1530	12,76	16,93	14,01	16,83	14,50	16,37	13,74	16,36			14,56	16,25	14,56	16,25																		
1540	13,26	17,53	14,50	17,41	15,18	16,97	14,27	16,94			15,12	16,85	15,12	16,85																		
1550	13,76	18,09	15,16	18,02	15,76	17,56	14,78	17,52	15,10	18,56	15,66	17,45	15,66	17,45																		
1560	14,25	18,66	15,73	18,60	16,33	18,14	15,28	18,10			16,20	18,05	16,20	18,05																		
1570	14,73	19,22	16,28	19,18	16,89	18,71	15,78	18,66			16,73	18,63	16,73	18,63																		
1575					17,17	18,99			16,46	20,20																						
1580	15,20	19,78	16,82	19,76	17,45	19,27	16,27	19,21			17,24	19,21	17,24	19,21																		
1590	15,67	20,32	17,36	20,33	17,99	19,83	16,75	19,76			17,75	19,77	17,75	19,77																		
1600	16,13	20,86	17,80	20,80	18,53	20,37	17,23	20,30	17,81	21,81	18,25	20,33	18,25	20,33																		
1610	16,59	21,39	18,41	21,45	19,00	20,91	17,70	20,83			18,75	20,80	18,75	20,80																		
1620	17,03	21,91	18,92	22,01	19,58	21,04	18,17	21,36			19,23	21,43	19,23	21,43																		
1625	17,25	22,17	19,17	22,28	19,84	21,71	18,40	21,62	19,09	23,38	19,47	21,70	19,47	21,70																		

کتابنامه

- [1] Recommendation ITU-T G.663 (2011), Application-related aspects of optical amplifier devices and subsystems
- [2] Recommendation ITU-T G.691 (2006), Optical interfaces for single channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers
- یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۸۸۸۱: سال ۱۳۸۵، واسطه‌های نوری برای STM-64 تک‌کاناله و سایر سیستم‌های SDH با تقویت‌کننده‌های نوری، با استفاده از توصیه‌نامه ITU-T G.691:2003 + Amd1: 2005 تدوین شده است.
- [3] Recommendation ITU-T G.692 (1998), Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers
- یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۸۸۸۳: سال ۱۳۸۵، واسطه‌های نوری برای سیستم‌های چند کاناله دارای تقویت‌کننده‌های نوری، با استفاده از توصیه‌نامه ITU-T G.692:1998 + Amd1: 2005 تدوین شده است.
- [4] Recommendation ITU-T G.693 (2009), Optical interfaces for intra-office systems
- [5] Recommendation ITU-T G.695 (2015), Optical interfaces for coarse wavelength division multiplexing applications
- [6] Recommendation ITU-T G.696.1 (2010), Longitudinally compatible intra-domain DWDM applications
- [7] Recommendation ITU-T G.698.1 (2009), Multichannel DWDM applications with single-channel optical interfaces
- [8] Recommendation ITU-T G.698.2 (2009), Amplified multichannel dense wavelength division multiplexing applications with single channel optical interfaces
- [9] Recommendation ITU-T G.698.3 (2012), Multichannel seeded DWDM applications with single-channel optical interfaces
- [10] Recommendation ITU-T G.957 (2006), Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy
- [11] Recommendation ITU-T G.959.1 (2016), Optical transport network physical layer interfaces
- یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۹۵۹/۱: سال ۱۳۸۸، سری‌های G - رسانه و سامانه‌های انتقال - شبکه‌ها و سامانه‌های رقمی - بخش‌های رقمی و سامانه خط رقمی - سامانه‌های خط رقمی - واسطه‌های لایه فیزیکی شبکه‌های ترابری نوری، با استفاده از توصیه‌نامه ITU-T G.959.1: 2008 تدوین شده است.
- [12] Recommendation ITU-T G.983.1 (2005), Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON)
- [13] Recommendation ITU-T G.984.2 (2003), Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification
- [14] Recommendation ITU-T G.985 (2003), 100 Mbit/s point-to-point Ethernet based optical access system
- [15] Recommendation ITU-T G.986 (2010), 1 Gbit/s point-to-point Ethernet-based optical access system

- [16] Recommendation ITU-T G.987.2 (2016), 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Physical media dependent (PMD) layer specification
- [17] Recommendation ITU-T G.989.2 (2014), 40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification
- [18] Recommendation ITU-T G-Sup.39 (2016), Optical system design and engineering considerations
- [19] Recommendation ITU-T G-Sup 40 (2010), Optical fibre and cable Recommendations and standards guideline

[۲۰] استاندارد ملی ایران شماره ۱۱-۲-۸۷۱۶: سال ۱۳۹۴، بافه‌های تار نوری (کابل‌های تار نوری) - قسمت ۱۱-۲: بافه‌های تار نوری داخلی - ویژگی تفصیلی بافه‌های (کابل‌های) یک‌طرفه و دوطرفه برای استفاده در بافه‌کشی محوطه بنا

- [21] IEC/TR 61282-3 (2006), Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۳-۸۸۸۵: سال ۱۳۸۵، راهنمای طراحی سیستم مخابرات فیبرنوری - قسمت ۳: محاسبه پاشندگی مد قطبش، با استفاده از استاندارد IEC 61282-3: 2002 تدوین شده است.