



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran  
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۶۹۱۹-۱-۴۲

تجدید نظر اول

۱۳۹۴

INSO  
6919-1-42  
1st. Revision  
2016

فیبرهای نوری -  
قسمت ۱-۴۲: روش‌های اندازه‌گیری و  
روش‌های اجرایی آزمون - پاشندگی رنگ



دارای محتوای رنگی

Optical fibres –  
Part 1 – 42: Measurement methods and test  
Procedures – Chromatic dispersion

ICS: 33.180.10

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: ۸۱۱۴-۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: [standard@isiri.org.ir](mailto:standard@isiri.org.ir)

وبگاه: <http://www.isiri.org>

**Iranian National Standardization Organization (INSO)**

No.1294 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.org.ir](mailto:standard@isiri.org.ir)

Website: <http://www.isiri.org>

## 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)<sup>۱</sup>، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)<sup>۲</sup> و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)<sup>۳</sup> است و به عنوان تنها رابط<sup>۴</sup> کمیسیون کدکس غذایی (CAC)<sup>۵</sup> 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 سامانه‌های 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

« فیبرهای نوری - قسمت ۱-۴۲: روش‌های اندازه‌گیری و روش‌های اجرایی آزمون -

پاشندگی رنگ»

### رئیس:

محرم زاده، محمد

(کارشناسی ارشد مهندسی مکترونیک)

### سمت و/یا محل اشتغال:

کارشناس اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی

### دبیر:

میرزایی، رضا

(کارشناسی مهندسی برق)

کارشناس شرکت صبا صنعت سیمای تبریز

### اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

ابراهیمی، سهیلا

(کارشناسی فیزیک)

کارشناس اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی

برهان، گلشن

(کارشناسی مهندسی برق)

مدیر کنترل کیفیت شرکت سیم و کابل تبریز هادی

بکائی، جواد

(کارشناسی فیزیک)

مسئول آزمایشگاه شرکت سیم و کابل صائب

خانقاهی، انیس

(کارشناسی مهندسی صنایع)

کارشناس استاندارد

رحیمیان اقدم، صالح

(کارشناسی ارشد مهندسی صنایع)

رئیس اداره طرح مهندسی شبکه انتقال مخابرات استان

آذربایجان شرقی

شیخی، یونس

(کارشناسی ارشد مهندسی برق)

کارشناس اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی

صدراالاشرفی، شهرزاد السادات

(کارشناسی ارشد مهندسی فناوری الکترونیک)

مدیر کنترل کیفیت شرکت فجر الکتریک

**اعضا:** (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

فلاح اردشیر، جابر

(کارشناسی ارشد مهندسی برق)

قاسم زاده، حسین

(کارشناسی ارشد مهندسی برق)

محبیان، زهرا

(کارشناسی ارشد شیمی)

**ویراستار:**

محرم زاده، محمد

(کارشناسی ارشد مهندسی مکترونیک)

**سمت و/یا محل اشتغال:**

مدرس دانشگاه تبریز

کارشناس مستقل

کارشناس اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی

کارشناس اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ح	پیش‌گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۲	۲ مراجع الزامی
۳	۳ مرور کلی بر روش‌ها
۳	۱-۳ روش الف، تغییر فازی
۳	۲-۳ روش ب، تأخیر گروهی طیفی در حوزه زمان
۳	۳-۳ روش پ، تغییر تفاضلی فازی
۴	۴ روش‌های آزمون مرجع
۴	۱-۴ فیبرهای چند مد رده A1 و رده A4g، A4f و A4h
۴	۲-۴ فیبرهای تک مد طبقه B
۴	۵ دستگاه‌های آزمون
۴	۱-۵ عمومی
۴	۲-۵ نورهای فرودی
۵	۳-۵ فیلتر مد مرتبه بالا ( تک مد )
۵	۴-۵ دستگاه‌های مکان یاب ورودی
۵	۵-۵ دستگاه‌های مکان یاب خروجی
۵	۶-۵ تجهیزات محاسبه
۵	۶ نمونه برداری و آزمون‌ها
۵	۱-۶ طول آزمون
۵	۲-۶ سطح انتهایی آزمون
۶	۳-۶ فیبر مرجع
۶	۷ روش اجرایی آزمون
۶	۸ محاسبات

صفحه	عنوان
۶	۱-۸ عمومی
۷	۲-۸ فیبرهای چند مد رده A1 و زیررده A4f، A4g و A4h و فیبرهای تک مد رده B1.1، B1.3 و زیررده B6-a1 و B6-a2
۷	۳-۸ فیبرهای تک مد رده B1.2
۷	۴-۸ فیبرهای تک مد رده B2
۸	۵-۸ فیبرهای تک مد رده B4 و B5
۸	۹ نتایج
۹	۱۰ اطلاعات ویژگی
۱۰	پیوست الف (الزامی) الزامات ویژه مربوط به روش الف- تغییر فازی
۱۷	پیوست ب (الزامی) الزامات ویژه مربوط به روش ب- تأخیر گروهی طیفی در حوزه زمان
۲۲	پیوست پ (الزامی) الزامات ویژه مربوط به روش پ- تغییر تفاضلی فازی
۲۸	پیوست ت (الزامی) برآزش پاشندگی رنگ
۳۱	کتابنامه

## پیش‌گفتار

استاندارد « فیبرهای نوری - قسمت ۱-۴۲ - روش‌های اندازه‌گیری و روش‌های اجرایی آزمون - پاشندگی رنگ » که نخستین بار در سال ۱۳۸۷ تدوین و منتشر شد، بر اساس پیشنهادهای دریافتی و بررسی و تأیید کمیسیون‌های مربوط برای اولین بار مورد تجدیدنظر قرار گرفت و در یکصد و هشتاد و چهارمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مخابرات مورخ ۱۳۹۴/۱۰/۲۶ 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 خواهند 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 ۴۲-۱-۶۹۱۹ : سال ۱۳۸۷ می‌شود.

منبع و مأخذی که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

IEC 60793-1-42: 2013, Optical fibres – Part 1-42: Measurement methods and test procedures- Chromatic dispersion



## فیبرهای نوری -

### قسمت ۱-۴۲: روش‌های اندازه‌گیری و روش‌های اجرایی آزمون -

#### پاشندگی رنگ

#### ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین الزامات یکسان برای اندازه‌گیری پاشندگی رنگ فیبر نوری است. این الزامات در بازرسی فیبرها و کابل‌ها برای مقاصد تجاری کاربرد دارد.

پاشندگی رنگ با طول موج تغییر می‌کند. تأخیر گروهی در برخی از روش‌ها و عملیات اجرایی به عنوان تابعی از طول موج اندازه‌گیری شده و پاشندگی رنگ و شیب پاشندگی از مشتقات این داده (با احتساب طول موج) منتج می‌شود. اغلب این مشتق‌گیری پس از برازش داده به صورت یک مدل ریاضی انجام می‌شود. در سایر عملیات اجرایی، امکان اندازه‌گیری مستقیم پاشندگی رنگ در هر طول موج مورد نظر وجود دارد.

برای برخی از (زیر-) رده‌های فیبر، ویژگی‌های پاشندگی رنگ با پارامترهای یک مدل خاص تعیین شده است. در چنین حالتی، مدل مناسبی برای تعریف پارامترهای خاص به کمک استاندارد یا توصیه مربوط تعیین می‌شود. در مورد سایر (زیر-) رده‌های فیبر، پاشندگی در گستره معینی برای یک یا چند بازه از طول موج خاص تعیین می‌شود. در حالت اخیر، هر یک از اندازه‌گیری‌های مستقیم ممکن است در هر دو انتهای طول موج انجام شود یا برخی از مدل‌های برازش ممکن است مورد استفاده قرار گیرند تا روش‌های اندازه‌گیری تأخیر گروهی یا عملیات اجرایی یا انبارش مجموعه کاهش یافته‌ای از پارامترها را امکان‌پذیر سازند. این امر ممکن است برای محاسبه پاشندگی درونی‌یابی شده طول موج‌های ویژه که احتمالاً مقادیر اندازه‌گیری مستقیم حقیقی ندارند، استفاده شود.

شرح کلی از برازش پاشندگی رنگ و طرح کلی از چند معادله مناسب برای استفاده با هر یک از روش‌های اندازه‌گیری یا رده‌های فیبر در پیوست «ت» تعیین شده است.

در این استاندارد، سه روش برای اندازه‌گیری پاشندگی رنگ به شرح زیر تعیین شده است:

- روش الف: تغییر فازی؛

- روش ب: تأخیر گروهی طیفی در حوزه زمان؛

- روش پ: تغییر تفاضلی فازی.

روش‌های الف، ب و پ در مورد اندازه‌گیری پاشندگی رنگ فیبرهای زیر از استاندارد IEC 60793-2 در گستره معینی از طول موج کاربرد دارند:

- فیبرهای چند مد با ضریب تدریجی از رده A1؛

– فیبرهای چند مد از زیر رده A4f، A4g و A4h؛

– فیبرهای تک مد از رده B1، B2، B4، B5 و زیر رده‌های B6-a1 و B6-a2.

روش‌های مذکور را می‌توان در آزمایشگاه، واحد تولیدی و اندازه‌گیری‌های میدانی پاشندگی رنگ به کار برد و گستره طول موج اندازه‌گیری‌ها را می‌توان در صورت لزوم تنظیم کرد. اندازه‌گیری‌ها در دمای ذکر شده مطابق با جدول 1 از استاندارد IEC 60793-1-1: 2008 و در گستره شرایط جوی استاندارد انجام می‌شود.

این روش‌ها برای طول‌هایی از کابل یا فیبر به میزانی بزرگتر از ۱ km مناسب است. همچنین این روش‌ها مجاز است در مورد طول‌های کوتاه‌تر نیز به کار رود، اما در آن صورت به درستی و تکرارپذیری آزمون ممکن است لطمه وارد شود.

اطلاعات کلی در مورد تمامی روش‌ها در بندهای ۱ تا ۸ و اطلاعات مربوط به هر یک از روش‌ها به ترتیب و به طور جداگانه در پیوست‌های الف، ب و پ تعیین شده است

## 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 مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

**2-1** IEC 60793-1-1:2008, Optical fibres – Part 1-1: Measurement methods and test procedures –General and guidance

**یادآوری** – استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱-۶۹۱۹: سال ۱۳۸۲، فیبرهای نوری قسمت ۱-۱: مشخصات عام – کلیات، با استفاده از استاندارد IEC 60793-1-1:1999 تدوین شده است.

**2-2** IEC 60793-1-41, Optical fibres – Part 1-41: Measurement methods and test procedures – Bandwidth

**2-3** IEC 60793-2, Optical fibres – Part 2: Product specifications – General

### ۳ مرور کلی بر روش ها

#### ۱-۳ روش الف، تغییر فازی

در این روش، روش اجرایی برای تعیین پاشندگی رنگ در فیبرهای تک مد طبقه B برای رده‌های B1، B2، B5، B4 و زیررده‌های B6-a1 و B6-a2 فیبرهای چند مد با ضریب تدریجی رده A1 و فیبرهای زیر رده A4g، A4f و A4h در گستره معینی از طول موج و با استفاده از تغییرات نسبی فاز در منابع نوری مدوله شده سینوسی با طول موج‌های متفاوت شرح داده شده است. این منابع به طور نوعی دیودهای لیزری یا دیودهای گسیلنده نور فیلتر شده یا منابع گسیل خود به خود تقویت شده و فیلتر (ASE)<sup>۱</sup> است. تغییرات نسبی فاز به تأخیر نسبی زمانی تبدیل شده و سپس داده تأخیر گروهی طیفی منتج برای هر (زیر) رده فیبری نسبت به معادله‌ای معین برازش می‌شود.

#### ۲-۳ روش ب، تأخیر گروهی طیفی در حوزه زمان

در این روش، روش اجرایی برای تعیین پاشندگی رنگ در فیبرهای تک مد طبقه B برای رده‌های B1، B2، B5، B4 و زیررده‌های B6-a1 و B6-a2، فیبرهای چند مد با ضریب تدریجی رده A1 و فیبرهای زیر رده A4f و A4g و A4h با استفاده از منابع لیزری Nd: YAG / fibre Raman یا دیودهای لیزری چندگانه که در چند طول موج بزرگ‌تر و کوچک‌تر از طول موج نوعی پاشندگی صفر کار می‌کنند، شرح داده شده است.

در این روش، اختلاف زمانی تأخیر پالس نوری از طریق طول معینی از فیبر در طول موج‌های متعدد اندازه‌گیری می‌شود. مجموعه مرجعی از اندازه‌گیری‌ها نیز باید از طریق فیبر مرجع کوتاه در نظر گرفته شود و داده از مقدار داده برداشته شده از فیبر تحت آزمون برای تعیین تأخیر گروهی طیفی نسبی کسر شود. سپس داده تأخیر گروهی طیفی منتج برای هر (زیر-) رده‌ای از فیبر نسبت به معادله‌ای معین برازش می‌شود.

#### ۳-۳ روش پ، تغییر تفاضلی فازی

در این روش، روش اجرایی برای تعیین پاشندگی رنگ در فیبرهای تک مد طبقه B برای رده‌های B1، B2، B5، B4 و زیررده‌های B6-a1 و B6-a2 فیبرهای چند مد با ضریب تدریجی رده A1 و فیبرهای زیر رده A4f و A4g و A4h شرح داده شده است. ضریب پاشندگی در طول موجی ویژه از تأخیر گروهی تفاضلی بین دو طول موج با فاصله نزدیک به هم تعیین می‌شود.

در این روش اجرایی، منبع نور مدوله شده به فیبر تحت آزمون تزویج شده و فاز نور موجود فیبر در اولین طول موج با فاز نور موجود در دومین طول موج مقایسه می‌شود. میانگین پاشندگی رنگ در بازه بین دو طول موج از تغییر تفاضلی فازی، بازه طول موج و طول فیبر تعیین می‌شود.

---

1 - Amplified Spontaneous Emission

فرض بر آن است که ضریب پاشندگی رنگ در میانک<sup>۱</sup> طول موج به دو طول موج آزمون برابر با میانگین پاشندگی رنگ در بازه دو طول موج است. سپس داده پاشندگی رنگ منتج برای هر (زیر) رده‌ای از فیبر نسبت به معادله‌ای معین برازش می‌شود.

#### ۴ روش‌های آزمون مرجع

##### ۱-۴ فیبرهای چند مد رده A1 و رده A4g، A4f و A4h

در مورد فیبرهای چند مد رده A1 و زیررده A4g، A4f و A4h، روش ب (روش تأخیر گروهی طیفی درحوزه زمان) روش آزمون مرجع (RTM)<sup>۲</sup> است که باید یک مرتبه برای تعیین نتیجه مورد استفاده قرار گیرد.

##### ۲-۴ فیبرهای تک مد طبقه B

در مورد فیبرهای تک مد طبقه B برای رده‌های B1، B2، B4، B5 و زیررده‌های B6-a1 و B6-a2 روش الف (روش تغییر فازی) روش آزمون مرجع (RTM) است. در صورت عدم وجود روش الف، روش پ (روش تغییر تفاضلی فازی) نیز ممکن است برای تعیین نتیجه مورد استفاده قرار گیرد.

#### ۵ دستگاه‌های آزمون

##### ۱-۵ عمومی

دستگاه‌های زیر برای تمامی روش‌های اندازه‌گیری مشترک است. پیوست الف، ب و پ شامل نقشه‌های جانمایی و سایر الزامات تجهیزاتی است که به طور جداگانه و به ترتیب برای هر یک از روش‌های الف، ب و پ به کار برده می‌شود

##### ۲-۵ نورهای فرودی<sup>۳</sup>

خروجی منابع سیگنال باید به فیبر تحت آزمون یا فیبر مرجع به گونه‌ای تزویج شود که طول مسیر فیزیکی برای هر منبع در حین اندازه‌گیری ثابت بماند. (این الزام برای حصول اطمینان از آن است که فازهای نسبی منابع در اثر تغییرات طول مسیر ثابت بمانند). وسایل مناسب مجاز است متشکل از کلیدهای نوری تک مد چند کاناله یا اتصال‌دهنده‌های نوری تعویض پذیر باشند.

برای اندازه‌گیری فیبر چند مد رده A1 و زیررده A4g، A4f و A4h، شرایط فرود باید با روش الف، پاسخ ضربه از استاندارد IEC 60793-1-41 مطابقت کند.

---

1- Medial  
2 -Reference Test Method  
3- Launch optics

### ۳-۵ فیلتر مد مرتبه بالا ( تک مد )

برای اندازه‌گیری فیبر تک مد، از روش برداشتن مدهای انتشار مرتبه بالا در گستره طول موج مورد نظر استفاده کنید. مثالی از چنین فیلتر مد مرتبه بالایی، همان تک حلقه با شعاع به اندازه کافی کوچک است که طول موج قطع را به کمتر از حداقل طول موج مورد نظر انتقال می‌دهد.

### ۴-۵ دستگاه‌های مکان یاب ورودی

تمهیداتی را برای تزویج ورودی آزمون به منبع نوری تأمین کنید. مثال‌هایی از این تمهیدات، استفاده از سطوح ریز مکان یاب X-Y-Z، یا روش‌های تزویج مکانیکی از قبیل اتصال‌دهنده‌ها، اتصالات خلاء، اتصالات سه وجهی و مانند آن است. مکان و موقعیت فیبر باید در مدت زمان آزمون ثابت باقی بماند.

### ۵-۵ دستگاه‌های مکان یاب خروجی

تمهیدات مکان‌یابی سر خروجی آزمون باید به گونه‌ای باشد که توان نوری هدایت شده به آشکارساز سامانه تزویج شود. چنین تزویجی مجاز است با به کارگیری لنزها یا اتصال مکانیکی به دم خوکی<sup>۱</sup> یک آشکارساز حاصل شود.

### ۶-۵ تجهیزات محاسبه

از رایانه دیجیتالی مجاز است برای کنترل تجهیزات، اکتساب داده و ارزیابی عددی داده استفاده شود.

## ۶ نمونه برداری و آزمون‌ها

### ۱-۶ طول آزمون

در روش الف، ب و پ، آزمون باید فیبر یا کابلی با طول معین و به اندازه کافی بلند برای ایجاد درستی کافی در اندازه‌گیری فاز باشد. حداقل طول نوعی ۱ km است. به دلیل آن که فیبرهای زیررده A4f، A4g و A4h افت بیشتری نسبت به فیبرهای رده A1 دارند، برای فیبرهای رده A4، حداقل طول ۱۰۰ m قابل قبول است.

یادآوری - در صورت استفاده از طول‌های کوتاه‌تر در حین اندازه‌گیری، تکرارپذیری تحت تأثیر قرار خواهد گرفت.

معمولاً طول‌های بلندتر تکرارپذیری بهتری را به همراه خواهند داشت.

### ۲-۶ سطح انتهایی آزمون

سطح انتهایی ورودی و خروجی هر آزمون را باید صاف و عمود بر محور فیبر تهیه کنید.

### ۳-۶ فیبر مرجع

فیبر تک مد با مشخصه‌های پاشندگی معین باید برای جبران تاخیرهای رنگ در منابع نوری و سایر اجزا تجهیزات استفاده شود. حداکثر طول این فیبر باید  $\% 2$  طول آزمون باشد.

در مورد فیبرهای رده A4f ، A4g و A4h، حداکثر طول فیبر مرجع باید ۲ m باشد. اگر این طول بیشتر از  $\% 2$  طول آزمون تحت آزمون باشد، پاشندگی رنگ فیبرهای مرجع باید با کسر مقدار پاشندگی رنگ آن از نتیجه اندازه‌گیری شده بر روی طول آزمون در نظر گرفته شود.

دمای آزمون باید با توجه به رفتار موقتی ناشی از این تغییر، در حین اندازه‌گیری در بازه دمایی  $1^{\circ}\text{C}$  تا  $1^{\circ}\text{C}$  ثابت باقی بماند.

### ۷ روش اجرایی آزمون

در مورد روش‌های اجرایی آزمون مربوط به روش‌های الف، ب و پ به ترتیب به پیوست‌های الف، ب و پ مراجعه شود.

اندازه‌گیری‌های فیبر مرجع برای تمامی روش‌ها ضروری است. داده فیبر مرجع را می‌توان برای استفاده در اندازه‌گیری‌های روی آزمون‌ها ذخیره کرد. توصیه می‌شود روش اجرایی اندازه‌گیری فیبر مرجع تکرار شود، به شرط آن که تجهیزات روی منبع تغییر کرده یا نوری را دریافت کنند یا از نظر الکترونیکی تغییری حاصل شود.

### ۸ محاسبات

#### ۱-۸ عمومی

محاسبه تأخیر نسبی مناسب با هر روش به ترتیب در پیوست‌های الف، ب و پ تعیین شده است. در سایر قسمت‌های این بند، به برازش عددی اشاره شده است که آن را می‌توان برای تمامی روش‌های داده تأخیر گروهی طیفی نرمالیزه شده توسط طول،  $\tau(\lambda)$ ، به کار برد. به پیوست نیز مراجعه شود.

$\lambda$	طول موج (بر حسب nm)
$\tau(\lambda)$	برازش داده تأخیر گروهی طیفی نرمالیزه شده (بر حسب ps/km)
$D(\lambda)$	ضریب پاشندگی رنگ، $D(\lambda) = d\tau(\lambda) / d\lambda$ (بر حسب ps/(nm.km))
$\lambda_0$	طول موج پاشندگی صفر (بر حسب nm)
$\tau(\lambda_0)$	حداقل تأخیر نسبی در طول موج پاشندگی صفر (بر حسب ps/km)
$S(\lambda)$	شیب پاشندگی، $S(\lambda) = dD(\lambda) / d\lambda$ (بر حسب ps/(nm <sup>2</sup> .km))
$S_0$	شیب پاشندگی در طول موج پاشندگی صفر (بر حسب ps/(nm <sup>2</sup> .km))

**یادآوری ۱-**  $D(\lambda)$  و  $\tau(\lambda)$  ممکن است اندازه‌گیری‌های مستقیم بوده یا نتیجه برازش اندازه‌گیری‌های مستقیم نسبت به تابع مورد نظر باشند.

**یادآوری ۲-** در جایی که برای مثال تابع برازش داده معین باشد، پارامترهای عبارت سمت راست معادله به گونه‌ای تعیین می‌شوند تا مجموع خطاهای مربع با احتساب اندازه‌گیری‌های مستقیم به حداقل مقدار خود برسد. به محض تعیین این پارامترها، این عبارت برای تعیین مقادیر سایر پارامترهای مختلف به کار برده می‌شود.

**یادآوری ۳-** پارامترهای برازش به عنوان متغیرهای A, B, C, D یا E تعیین شده‌اند (به پیوست ت نیز مراجعه شود).

## ۲-۸ فیبرهای چند مد رده A1 و زیررده A4f, A4g, A4h و فیبرهای تک مد رده B1.1, B1.3 و B6-a2 و B6-a1

الزامات زیر در مورد فیبرهای چند مد رده A1 و زیررده A4f, A4g, A4h و فیبرهای تک مد رده B1.3 و B1.1 و زیررده B6-a1 و B6-a2 با طول موج ۱۳۱۰ nm کاربرد دارد.

تأخیر یا برازش داده پاشندگی باید با نوع برازش سلمیر<sup>۱</sup> سه زمانه (به پیوست ت مراجعه شود) هماهنگ باشد. محاسبات ضریب پاشندگی رنگ ( $D(\lambda)$ )، طول موج پاشندگی رنگ ( $\lambda_0$ ) و شیب پاشندگی در طول موج پاشندگی صفر ( $S_0$ ) در پیوست ت نشان داده شده است.

تنها در ناحیه ۱۵۵۰ nm، پاشندگی رنگ را می‌توان به عنوان تابعی خطی با طول موج (نوع برازش درجه دوم نسبت به داده تأخیر) تقریب زد (به پیوست ت مراجعه شود).

## ۳-۸ فیبرهای تک مد رده B1.2

الزامات زیر در مورد فیبرهای تک مد رده B1.2 کاربرد دارد.

بسته به الزامات مربوط به درستی، برای بازه‌های طول موج تا ۳۵ nm، نوع برازش درجه دوم در ناحیه ۱۵۵۰ nm مجاز است. توصیه می‌شود از این معادله برازش شده برای پیش بینی پاشندگی رنگ در طول موج های خارج از گستره مورد نظر برای برازش استفاده نشود. در مورد بازه‌های طول موج بزرگتر، نوع برازش سلمیر پنج زمانه یا نوع برازش چند جمله‌ای مرتبه چهارم توصیه می‌شود. این بدان معناست که این نوع فیبرها در ناحیه ۱۳۱۰ nm مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

محاسبات ضریب پاشندگی رنگ ( $D(\lambda)$ ) و شیب پاشندگی ( $S(\lambda)$ ) در پیوست ت نشان داده شده است.

## ۴-۸ فیبرهای تک مد رده B2

الزامات زیر در مورد فیبرهای تک مد رده B2 کاربرد دارد.

بسته به الزامات مربوط به درستی، برای بازه‌های طول موج تا ۳۵ nm، نوع برازش درجه دوم در ناحیه ۱۵۵۰ nm مجاز است. توصیه می‌شود از این معادله برازش شده برای پیش بینی پاشندگی رنگ در طول موج های خارج از گستره مورد نظر برای برازش استفاده نشود.

در مورد بازه‌های طول موج بزرگتر، نوع برازش سلمیر پنج زمانه یا نوع برازش چند جمله‌ای مرتبه چهارم توصیه می‌شود. این بدان معناست که این نوع فیبرها در ناحیه ۱۳۱۰ nm مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. محاسبات ضریب پاشندگی رنگ  $(D(\lambda))$ ، طول موج پاشندگی صفر  $(\lambda_0)$  و شیب پاشندگی در طول موج پاشندگی صفر  $(S_0)$  در پیوست ت نشان داده شده است.

#### ۵-۸ فیبرهای تک مد رده B4 و B5

الزامات زیر در مورد فیبرهای تک مد رده B4 و B5 کاربرد دارد.

برای استفاده عادی در بازه‌های طول موج بزرگتر (بیشتر از ۳۵ nm)، نوع برازش سلمیر پنج زمانه یا نوع برازش چند جمله‌ای مرتبه چهارم توصیه می‌شود. توصیه می‌شود از این معادله برازش شده برای پیش بینی پاشندگی رنگ در طول موج‌های خارج از گستره مورد نظر برای برازش استفاده نشود.

تنها در مورد فیبرهای رده B4، نوع برازش درجه دوم مجاز است برای بازه طول موج کوتاه‌تر (حداکثر ۳۵ nm) به کار رود. توصیه می‌شود از این نوع برازش برای پیش بینی پاشندگی رنگ در طول موج‌های خارج از گستره مورد نظر برای برازش استفاده نشود.

محاسبات ضریب پاشندگی رنگ  $(D(\lambda))$  و شیب پاشندگی  $(S(\lambda))$  در پیوست ت نشان داده شده است.

#### ۹ نتایج

۱-۹ اطلاعات زیر باید برای هر اندازه‌گیری گزارش شود:

- تاریخ و عنوان اندازه‌گیری؛
  - معادله (معادلات) مورد استفاده برای محاسبه نتایج؛
  - شناسایی نمونه؛
  - طول نمونه مورد استفاده برای نرمالیزه کردن طول؛
  - نتایج اندازه‌گیری (همان طور که در ویژگی تفصیلی مورد نیاز است).
- یادآوری** - مثال‌هایی از اطلاعاتی که در ویژگی تفصیلی ممکن است مورد نیاز باشند، عبارتند از:
- الف - مقادیر ضریب پاشندگی که در طول موج‌های تعیین شده خاص اندازه‌گیری شده‌اند؛
  - ب - حداقل و / یا حداکثر پاشندگی در گستره معینی از طول موج؛



پ - طول موج پاشندگی صفر و شیب پاشندگی در این طول موج.

۲-۹ اطلاعات زیر باید بر حسب درخواست قابل دسترس باشد:

- روش مورد استفاده: الف، ب یا پ؛
- شرح منبع (منابع) نوری و اندازه‌گیری طول موج‌های مورد استفاده؛
- فرکانس مدولاسیون (در صورت کاربرد)؛
- شرح آشکارساز سیگنال، سامانه الکترونیکی آشکارسازی سیگنال و قطعه تأخیر دهنده؛
- شرح روش‌های محاسباتی مورد استفاده؛
- تاریخ آخرین واسنجی تجهیزات اندازه‌گیری.

## ۱۰ اطلاعات ویژگی

اطلاعات زیر باید در ویژگی تفضیلی تعیین شود:

- (زیر) رده فیبر اندازه‌گیری شده؛
- معیار پذیرش یا خطا؛
- اطلاعات قابل گزارش؛
- هر نوع انحرافی از روش اجرایی آزمون که باید اعمال شود.

## پیوست الف

### (الزامی)

#### الزامات ویژه مربوط به روش الف - تغییر فازی

#### الف-۱ دستگاه‌های آزمون

##### الف-۱-۱ منبع روشنایی

منبع روشنایی باید از نظر موقعیت، شدت و طول موج در مدت زمان نسبتاً زیاد پایدار باشد تا روش اجرایی اندازه‌گیری کامل شود. دیودهای لیزری چندگانه (برای مثال: به شکل الف ۱ مراجعه شود)، دیودهای لیزری با طول موج قابل تنظیم، دیودهای گسیلنده نور (برای مثال: به شکل الف ۳ مراجعه شود) یا منابع با باند پهن (برای مثال لیزر Nd: YAG با فیبر رامن یا منبع) بسته به گستره طول موج اندازه‌گیری مجاز است به کار رود.

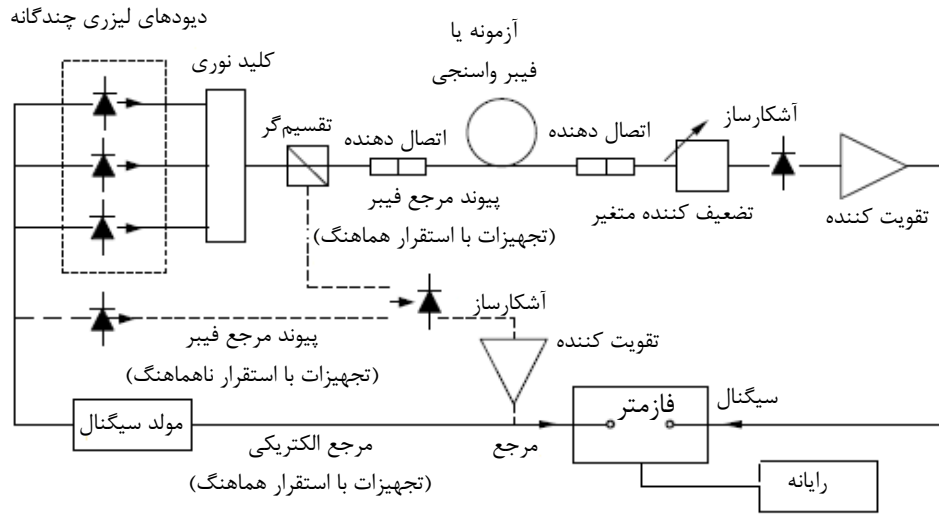
طول موج مربوط به فیبر تحت آزمون مجاز است با استفاده از کلید نوری، تکفام کننده، وسایل پاشندگی، فیلترهای نوری، تزویج گرهای نوری یا با تنظیم لیزر بسته به نوع منابع روشنایی و نحوه چیدمان اندازه‌گیری انتخاب شود. گزینشگر طول موج مجاز است در ورودی یا خروجی فیبر تحت آزمون به کار رود.

در مورد فیبرهای رده B1 اندازه‌گیری شده با سامانه سه طول موج که در آن طول موج‌های منبع مربوط به طول موج پاشندگی ( $\lambda_0$  (به شکل الف ۲ مراجعه شود)) هستند، رواداری یا ناپایداری ( $\delta\lambda$ ) در طول موج مرکزی به حداکثر خطای  $3\delta\lambda$  در اندازه‌گیری  $\lambda_0$  منتهی می‌شود. حداکثر خطاها در شیب پاشندگی ( $S_0$ ) به طور مستقیم با  $\delta\lambda/\Delta\lambda$  متناسب بوده (که در آن  $\Delta\lambda$  فاصله طول موج‌های منبع است) و تقریباً برای  $\delta\lambda/\Delta\lambda = 1\text{nm}/30\text{nm}$  برابر با  $12\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$  است.

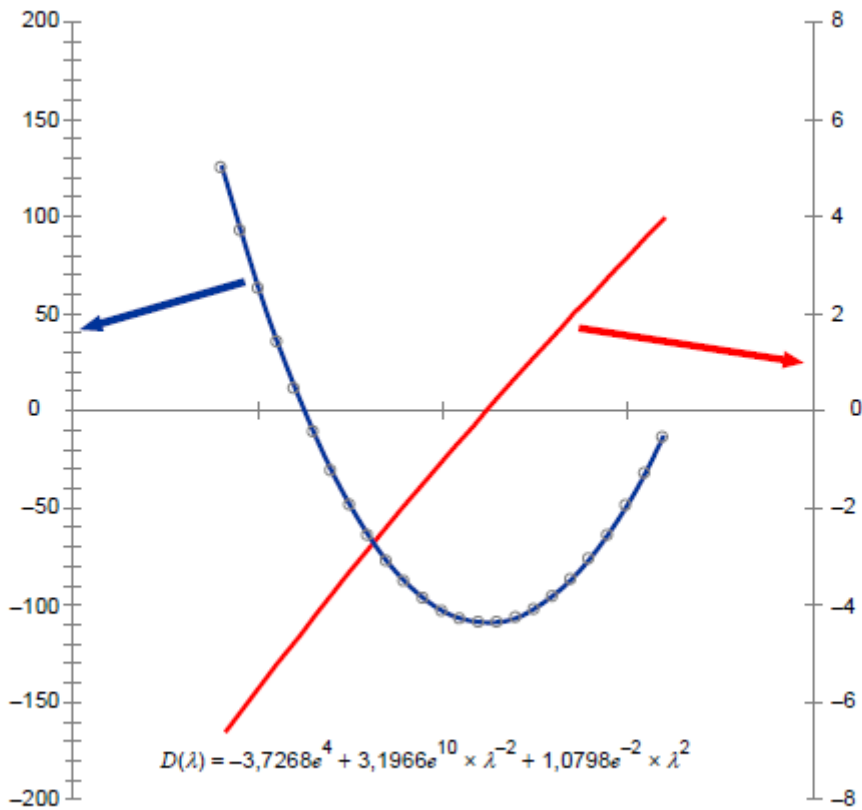
خطاهای کوچکتر از حداکثر خطاهای فوق را می‌توان با انتخاب منابع نوری دارای طول موج میانگین نزدیک به  $\lambda_0$  مورد انتظار آزمون و به کمک بیش از سه طول موج یا هر دوی آنها به دست آورد. زمانی که به طور نوعی از منابع لیزری استفاده می‌شود، دیود لیزری تک مد طولی با کنترل دمایی و با پایداری توان خروجی (برای مثال: پس خور PIN) مناسب است. لیزر تک‌مدی ممکن است برای پیوند مرجع مجموعه‌هایی از اندازه‌گیری میدانی لازم باشد (به بند الف-۱-۴ مراجعه شود).

##### الف-۱-۲ پهنای طیفی

حداکثر پهنای طیفی منبع (همان طور که در آزمون اندازه‌گیری می‌شود) باید در نقاط قدرت ۵۰٪ (FWHM) برابر ۱۰ nm باشد.



شکل الف-۱- مجموعه اندازه گیری پاشندگی رنگ، سامانه لیزر چندگانه (نوعی)



شکل الف-۲- تأخیر نوعی و منحنی‌های پاشندگی

الف-۱-۳ مدولاتور

مدولاتور باید دامنه منابع روشنایی را مدوله کند تا شکل موجی با مؤلفه فوریه تکی غالب حاصل شود. برای مثال، مدولاسیون موج مربعی، دوزنقه‌ای یا سینوسی باید قابل پذیرش باشد. پایداری فرکانسی باید حداقل یک قسمت در  $10^6$  باشد.

ضروری است تا از ابهامات (n)  $360^\circ$  درجه، که در آن n عدد صحیح است، در اندازه‌گیری تغییر فاز اجتناب شود. این امر را می‌توان با تمهیداتی مانند ردیابی تغییرات فازی  $360^\circ$ ، یا انتخاب فرکانس مدولاتور نسبتاً کم برای محدود کردن تغییرات نسبی فاز به کمتر از  $360^\circ$  به دست آورد. در مورد فیبرهای رده B1، حداکثر فرکانس برای تغییر  $360^\circ$  به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$f_{\max} = \frac{8 \times 10^6}{S_0 \times L} \left[ \left( \lambda_1 - \frac{\lambda_0^2}{\lambda_1} \right)^2 - \left( \lambda_j - \frac{\lambda_0^2}{\lambda_j} \right)^2 \right]^{-1} \quad (\text{الف-۱})$$

که در آن:

$f_{\max}$  حداکثر فرکانس برای تغییر  $360^\circ$  در مورد فیبرهای رده B1 (بر حسب MHz)؛

L حداکثر طول آزمون مورد انتظار (بر حسب km)؛

$S_0$  شیب پاشندگی نوعی مورد انتظار در  $\lambda_0$  (بر حسب  $\text{ps/nm}^2 \times \text{km}$ )؛

$\lambda_0$  طول موج پاشندگی صفر نوعی مورد انتظار (بر حسب nm)؛

$\lambda_i$  و  $\lambda_j$  متشکل از زوج طول موج مورد استفاده در اندازه‌گیری هستند که  $f_{\max}$  را به حداقل می‌رسانند.

فرکانس مدولاتور باید به اندازه کافی زیاد باشد تا از دقت اندازه‌گیری اطمینان حاصل شود.

در زیر، مثالی از وابستگی دقت به پارامترهای سامانه آزمون ارائه شده است. در مورد فیبرهای رده B1 و

سامانه دارای سه طول موج که در آن طول موج‌های منبع  $\Delta\lambda$  پدید می‌آید، حداکثر خطاها برای  $S_0$  برابر با

$\text{Km} \cdot 12 \text{ ps/nm}^2$  و برای  $\lambda_0$  برابر با  $4 \text{ nm}$  خواهد بود، به شرط آن که حداقل فرکانس مدولاتور  $f_{\min}$

(MHz) برابر با رابطه زیر باشد:

$$f_{\min} = \frac{\Delta\phi \times 10^7}{L \times (\Delta\lambda)^2} \quad (\text{الف-۲})$$

که در آن:

$f_{\min}$  حداقل فرکانس مدولاتور (بر حسب MHz)؛

$\Delta\Phi$  ناپایداری کلی فاز تجهیزات اندازه‌گیری (بر حسب درجه)؛

L حداقل طول آزمون مورد انتظار (بر حسب km)؛

$\lambda\Delta$  میانگین فاصله طول موج بین منابع مجاور هم (بر حسب nm).

در نتیجه برای  $\Delta\Phi = 0.1^\circ$ ،  $L = 10\text{km}$  و  $\lambda\Delta = 32\text{nm}$ ، حداقل فرکانس تقریبی ۱۰۰ MHz مورد نیاز است.

**یادآوری ۱-** رابطه (الف-۲) با حل مکرر  $\lambda_0$  و  $S_0$  در رابطه تأخیر زمانی (۲) از بند ۶ با مقادیر متفاوت فاصله طول موج و ناپایداری فازی به دست آمده است.

**یادآوری ۲-** خطاهای کوچکتر از حداکثر خطاهای فوق را می‌توان با انتخاب منابعی با میانگین طول موج نزدیک به  $\lambda_0$  مورد انتظار آزمون و به کمک بیش از سه طول موج یا هر دوی آن‌ها به دست آورد.

مدولاسیون فاز در هر یک از منابع روشنایی مجاز است برای تسهیل در واسنجی مجموعه اندازه‌گیری قابل تنظیم باشد.

#### الف-۱-۴ آشکارساز سیگنال و سامانه الکترونیکی آشکارسازی سیگنال

از آشکارساز نوری استفاده کنید که در گستره طول موج اندازه‌گیری در ارتباط با فازمتر حساس است. مجاز است تقویت‌کننده برای افزایش حساسیت سامانه آشکارسازی به کار رود. سامانه نوعی ممکن است متشکل از دیود نوری PIN، تقویت‌کننده فت و ولتمتر برداری باشد.

سامانه آشکارساز، تقویت‌کننده و فازمتر باید تنها نسبت به مؤلفه فوریه اصلی سیگنال مدوله شده پاسخ دهد و باید تغییر فازی سیگنالی را ارائه کند که در گستره توان‌های نوری دریافت شده ثابت باقی بماند. گستره توان دریافتی مجاز است به کمک تضعیف‌کننده نوری متغیری کنترل شود.

#### الف-۱-۵ سیگنال مرجع

سیگنال مرجعی با مؤلفه فوریه زمانی مشابه مانند سیگنال مدوله شده را تهیه کرده تا فازمتر در برابر آن فازهای منابع سیگنال را اندازه‌گیری کند. سیگنال مرجع بهتر است از نظر فازی نسبت به سیگنال مدوله شده قفل شود و به طور نوعی از سیگنال مدوله شده منتج شود.

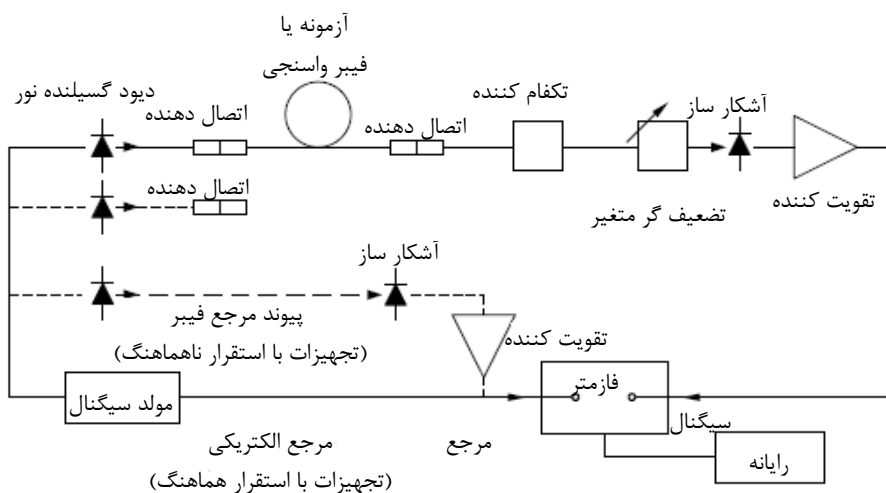
نمونه‌هایی از پیکربندی سیگنال مرجع (به شکل‌های الف-۱ و الف-۳ برای مثال‌های الف، ب و پ مراجعه شود) عبارتند از:

الف - در جایی که منابع سیگنال و آشکارساز به طور هماهنگی نسبت به یکدیگر قرار می‌گیرند (مانند: آزمون آزمایشگاهی یا در حین واسنجی)، اتصال الکتریکی را می‌توان بین مولد سیگنال و درگاه مرجع فازمتر به کار برد.

ب - تقسیم‌گر نوری، واقع در قبل از آزمون، و آشکارساز را همچنین می‌توان برای تجهیزات با استقرار هماهنگ به کار برد.

پ - در مورد آزمون میدانی کابل‌های نوری (منابع و آشکارساز با استقرار ناهماهنگ نسبت به یکدیگر)، به طور نوعی می‌توان از پیوند نوری مشتمل بر منبع روشنایی مدوله شده، فیبر و آشکارسازی مشابه با آن چه که برای آزمون به کار رفته، استفاده کرد.

ت - سیگنال مرجع برای آزمون میدانی را همچنین می‌توان بر روی فیبر تحت آزمون با استفاده از تسهیم کننده تقسیم طول موج انتقال داد.



شکل الف-۳- مجموعه اندازه‌گیری پاشندگی رنگ، سامانه دیود گسیلنده نور (نوعی)

## الف-۲ روش اجرایی

### الف-۲-۱ واسنجی

فیبر مرجع (به زیربند ۶-۳ مراجعه شود) را در دستگاه اندازه‌گیری قرار داده و سیگنال مرجع (به بند فرعی الف ۱-۵ مراجعه شود) را مستقر کنید. فاز  $\Phi_{in}(\lambda_i)$  را برای هر یک از منابع سیگنال، اندازه‌گیری و ثبت کنید.

از سوی دیگر، اگر منابع سیگنال از نوع قابل تنظیم فازی باشند، با قرار دادن فیبر مرجع در محل خود، فازهای تمامی منابع سیگنال باید متعادل شوند. سپس اندازه‌گیری‌های آزمون را مطابق با زیر بند الف-۲-۲ انجام دهید. برای محاسبات زیربند الف ۱-۳،  $\Phi_{in}(\lambda_i)=0$  در نظر گرفته می‌شود.

### الف-۲-۲ اندازه‌گیری‌های آزمون

آزمون را در دستگاه اندازه‌گیری قرار داده و سیگنال مرجع (به زیربند الف-۱-۵ مراجعه شود) را مستقر کنید. فاز  $\Phi_{out}(\lambda_i)$  را برای هر یک از منابع سیگنال، اندازه‌گیری و ثبت کنید.

**یادآوری** - تمامی اندازه‌گیری‌های مربوط به آزمون‌ها و واسنجی یا متعادل‌سازی را با توجه به سطح توان نور ورودی و در حالی که آشکارساز تا گستره‌ای تنظیم شده است که تغییرات فازی مستقل سطح را در آشکارساز و سامانه الکترونیکی آشکارساز به حداقل برساند، انجام دهید.

### الف-۳ محاسبات

**الف-۳-۱** فاز ورودی اندازه‌گیری شده را در هر طول موج از فاز خروجی در آن طول موج کم کنید.

تأخیر گروهی نسبی (برای تمامی  $\lambda_i$ ) عبارت است از:

$$\tau(\lambda_i) = [\phi_{out}(\lambda_i) - \phi_{in}(\lambda_i)] \times \frac{10^6}{360 \times f \times L} \quad \text{(الف-۳)}$$

که در آن:

$\tau(\lambda_i)$  تأخیر گروهی نسبی (بر حسب ps/km)؛

$\Phi_{out}(\lambda_i)$  اندازه‌گیری شده مطابق با زیربند الف-۲-۲ (بر حسب درجه)؛

$\Phi_{in}(\lambda_i)$  اندازه‌گیری شده مطابق با زیربند الف-۲-۱ (بر حسب درجه)؛

$f(MHz)$  فرکانس شکل موج مدولاسیون؛

$L(km)$  طول آزمون منهای طول آزمون واسنجی.

**الف-۳-۲** با استفاده از داده تأخیر الف-۳-۱، بهترین برازش را نسبت به یکی از معادلات تأخیر در بند ۸ محاسبه کنید.

**الف-۳-۳** با استفاده از بهترین مقادیر برازش شده ضرایب مقتضی بند ۸، پاشندگی  $(D(\lambda))$  یا سایر پارامترهای مورد نیاز در ویژگی تفضیلی را محاسبه کنید. به شکل الف-۲ به عنوان مثالی از داده تأخیر  $(\tau(\lambda))$  و پاشندگی محاسبه شده  $(D(\lambda))$  مراجعه شود.

**الف-۳-۴** پاشندگی را می‌توان از طریق طول موج پاشندگی صفر  $(\lambda_0)$  و شیب  $(S_0)$  یا با تعیین ضریب پاشندگی رنگ در یک یا چند طول موج، یا به کمک هر دو تعیین کرد. در برخی از حالات، طول موج پاشندگی صفر و پارامترهای شیب تنها برای محاسبه ضریب پاشندگی در طول موج‌هایی به اندازه کافی دور از طول موج پاشندگی صفر به کار می‌رود.

زمانی که طول موج پاشندگی صفر مشخص باشد، طول موج‌های اندازه‌گیری بهتر است طول موج پاشندگی صفر را دربرگرفته یا شامل داده‌ای در طول موج ۱۰۰ nm باشند. زمانی که شیب و طول موج پاشندگی صفر تنها برای محاسبه ضرایب پاشندگی در طول موجی به اندازه کافی دور از طول موج

پاشندگی صفر استفاده می‌شود، اندازه‌گیری‌ها باید طول موج‌هایی را پوشش دهند که در آن از این محاسبه استفاده می‌شود. زمانی که ضریب پاشندگی معین باشد، اندازه‌گیری‌ها باید طول موج‌هایی را پوشش دهند که در آن‌ها ضریب پاشندگی مشخص باشد. برای کسب اطلاع در خصوص گستره‌های طول موج اندازه‌گیری شده و فن‌های برازش مناسب به پیوست ت مراجعه شود.



## پیوست ب

### (الزامی)

#### الزامات ویژه مربوط به روش ب- تأخیر گروهی طیفی در حوزه زمان

##### ب-۱ دستگاه آزمون

###### ب-۱-۱ منبع روشنایی

###### ب-۱-۱-۱ لیزر فیبر رامن

سامانه لیزر فیبر رامن، متشکل از لیزر Nd: YAG با کلیدزنی Q و مد همزمانی قفل که طول مناسبی از فیبر تک‌مد (طول تقریبی ۲۰۰ m) را در مدار قرار داده و به طور طیفی با وسیله‌ای مانند تکفام کننده پراشی<sup>۱</sup> فیلتر می‌شود، باید قادر به تولید پالس‌های نوری با مدت زمان کوتاه (کمتر از ۴۰۰ ps از حداکثر نیمه پهنای کامل (FWHM)<sup>۲</sup>)، شدت کافی و پایداری موقتی و فضایی برای انجام اندازه‌گیری‌های شرح داده شده باشد (به شکل ب-۱ مراجعه شود).

###### ب-۱-۱-۲ دیودهای چندگانه لیزری

دیودهای لیزری تزریقی چندگانه (سه یا بیشتر) در طول موج‌های متعدد باید برای این اندازه‌گیری‌ها مناسب باشند، به شرط آن که مدت زمان کوتاهی داشته (کمتر از ۴۰۰ ps از حداکثر نیمه پهنای کامل (FWHM))، شدت آن‌ها پایدار بوده و بتوانند در مدت زمان اندازه‌گیری به طور پایداری راه‌اندازی شود (به شکل ب ۲ مراجعه شود).

###### ب-۱-۱-۳ دیودهای لیزری با طول موج قابل تنظیم

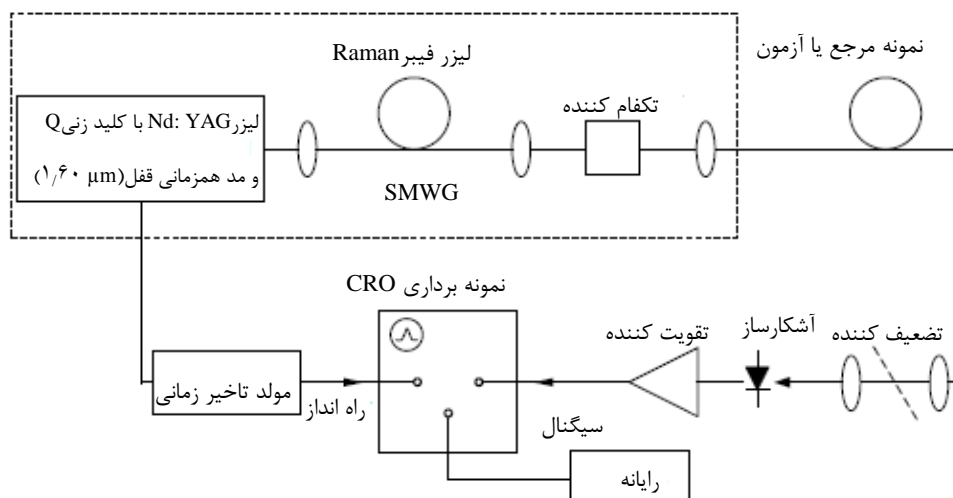
از یک یا چند دیود لیزری با طول موج قابل تنظیم (برای مثال: لیزر با حفره بیرونی) مجاز است استفاده شود، به شرط آن که پالس‌هایی با مدت زمان کوتاه تولید کرده (کمتر از ۴۰۰ ps از حداکثر نیمه پهنای کامل (FWHM))، شدت آن‌ها پایدار بوده، بتوانند طول موج پایداری داشته و در مدت زمان اندازه‌گیری به طور پایداری راه‌اندازی شوند.

###### ب-۱-۱-۴ پهنای طیفی

حداکثر پهنای طیفی منبع (همان طور که در آزمون اندازه‌گیری می‌شود) باید در نقاط قدرت ۵۰٪ (FWHM) برابر ۱۰ nm باشد.

1- Grating

2 - Full Width Half Max



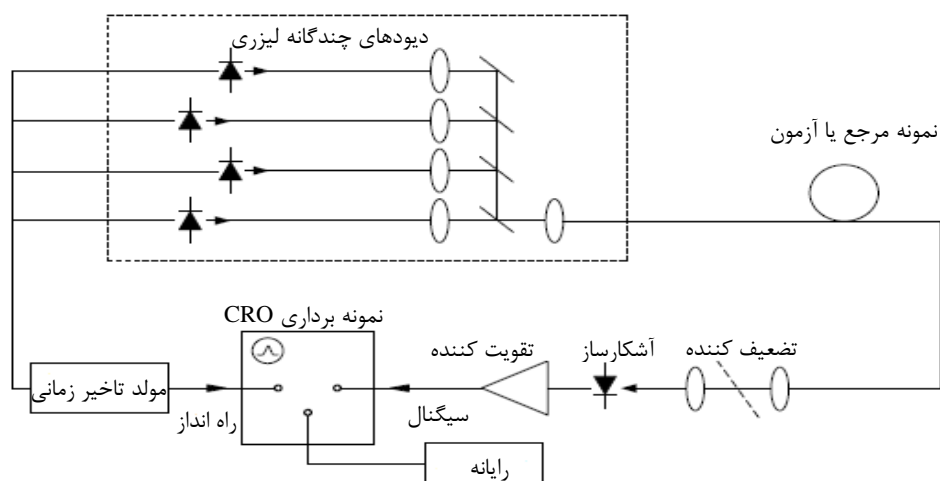
شکل ب-۱- بلوک دیاگرام سامانه لیزر فیبری رامان

### ب-۱-۲ آشکارساز سیگنال

از آشکارساز نوری با سرعت بالا استفاده کنید (مانند: دیود نوری بهمنی ژرمانیومی) که در گستره‌ی طول موج‌های مورد استفاده حساس است. این آشکارساز باید در ۱۰٪ از گستره‌ی شدت‌های مواجهه شده خطی باشد. توضیح آن که الزام اصلی خطی بودن فقط برای آن است که قله پالس فشرده نشده تا موقعیت موقتی قله پالس تحت تأثیر قرار نگیرد. تقویت کننده با باند پهن مجاز است برای افزایش حساسیت سامانه آشکارسازی استفاده شود، به شرط آن که مشخصات سرعت و خطی بودن برآورده شود. تضعیف کننده‌ای نوری مجاز است برای ایجاد دامنه ثابتی از سیگنال به کار رود.

### ب-۱-۳ سامانه الکترونیکی آشکارسازی سیگنال

از وسیله نمایشگر و / یا اندازه‌گیری (به طور نوعی نوسان نمای نمونه برداری با فرکانس بالا) با قابلیت نمایش زمان نسبی ورودی پالس‌های نوری در مقیاس زمانی کالیبره شده استفاده کنید.



شکل ب- ۲- بلوک دیاگرام سامانه دیود چندگانه لیزری

#### ب-۱-۴ وسیله تأخیر دهنده

وسيله‌ای مانند مولد تأخیر دیجیتالی که منبع روشنایی را راه‌اندازی کرده یا به کمک منبع راه‌اندازی می‌شود، تهیه کنید. این وسیله باید قادر به تأمین سیگنال راه‌اندازی با تأخیر برای سامانه الکترونیکی آشکارسازی (نوسان‌نمای نمونه برداری) برای جبران تفاوت‌ها در تأخیر انتشار بین آزمون‌های مرجع و آزمون باشد. این وسیله باید زمان‌های تأخیری را تأمین کند که در مدت زمان اندازه‌گیری با ریشه میانگین مربع بی‌ثباتی و رانش مؤثر کمتر از ۵۰ ps پایدار است.

#### ب-۲ روش اجرایی

##### ب-۲-۱ اندازه‌گیری‌های نمونه برداری مرجع

فیبر مرجع را در دستگاه اندازه‌گیری قرار داده و طول موج منبع روشنایی را برای اندازه‌گیری به میزان اولین طول موج تنظیم کنید. مولد تأخیر دهنده را برای ایجاد نمایشی از پالس ورودی بر روی مقیاس زمانی معین و کالیبره شده‌ای از نوسان‌نما تنظیم کنید.

موقعیت پالس با مرکز ثقل یا قله آن تعیین می‌شود. محل موقتی این پالس‌ها را نسبت به نشانه ثابتی (مانند: شطرنجی کردن صفحه نمایش) از جاروب کالیبره شده برای اولین طول موج مرجع ثبت کنید.

منبع روشنایی را به میزان طول موج بعدی تنظیم کرده و بدون تغییر در مولد تأخیردهنده، اختلاف موقتی بین موقعیت‌های این پالس و طول موج مرجع را ثبت کنید. این روش اجرایی در تمامی طول موج‌های مورد نظر برای تعیین نتایج بر حسب تغییر موقعیت پالس بر حسب طول موج مرجع تکرار می‌شود.

یادآوری - دقت در میزان تأخیر در وسیله تأخیردهنده در این روش حائز اهمیت نمی‌باشد. چنانچه انجام این اندازه‌گیری‌ها به واسطه اختلاف بزرگ زمانی پالس‌ها در طول موج‌های متفاوت امکان‌پذیر نباشد، استفاده از مولد تأخیر دهنده یا ابزاری مشابه با

دقتی معین و ثبت موقعیت پالس و زمان تأخیر آن بر روی نوسان نما در هر طول موج برای کسب نتیجه مورد نظر ضروری خواهد بود.

### ب-۲-۲ اندازه‌گیری‌های آزمون

آزمون را در دستگاه اندازه‌گیری قرار داده، اولین طول موج را انتخاب کرده و مولد تأخیردهنده را برای ایجاد نمایشی از پالس خروجی بر روی مقیاس زمانی معین و کالیبره شده‌ای از نوسان نما تنظیم کنید. محل موقتی موقعیت این پالس را ثبت کنید.

منبع روشنایی را به میزان طول موج بعدی تنظیم کرده و اختلاف موقتی  $\tau_{out}(\lambda_i)$  بین موقعیت این پالس و موقعیت پالس طول موج مرجع فوق الذکر را بدون تنظیم مجدد مولد تأخیردهنده ثبت کنید. این روش اجرایی در تمامی طول موج‌های مورد نظر برای تعیین نتایج بر حسب جا به جایی زمانی موقعیت پالس خروجی نسبت به موقعیت پالس طول موج مرجع تکرار می‌شود. چنانچه انجام اندازه‌گیری‌ها به طریق تعیین شده امکان‌پذیر نباشد، مطابق یادآوری بند ب-۲-۱ اقدام شود.

جا به جایی موقتی پالس ورودی اندازه‌گیری شده در هر یک از طول موج‌ها را از جا به جایی پالس خروجی در طول موج مشابه کم کنید.

### ب-۳ محاسبات

ب-۳-۱ تأخیر گروهی،  $\tau(\lambda_i)$ ، بر واحد طول از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\tau(\lambda_i) = \frac{[\tau_{out}(\lambda_i) - \tau_{in}(\lambda_i)]}{L} \quad (ب-۱)$$

که در آن:

$\tau(\lambda_i)$  تأخیر گروهی بر واحد طول؛  
 $\tau_{in}(\lambda_i)$  اندازه‌گیری شده مطابق با زیربند ب-۲-۱؛  
 $\tau_{out}(\lambda_i)$  اندازه‌گیری شده مطابق با زیربند ب-۲-۲؛  
 $L$  طول فیبر آزمون منهای طول فیبر مرجع (بر حسب km).

ب-۳-۲ با استفاده از داده بند فرعی ب-۳-۱، بهترین برازش را نسبت به یکی از معادلات تأخیر ارائه شده در بند ۸ محاسبه کنید.

ب-۳-۳ با استفاده از بهترین مقادیر برازش شده ضرایب مقتضی بند ۸، پاشندگی  $(D(\lambda))$  یا سایر پارامترهای مورد نیاز در ویژگی تفصیلی را محاسبه کنید. به شکل الف ۲ به عنوان مثالی از داده تأخیر برازش شده  $(\tau(\lambda))$  و پاشندگی محاسبه شده  $(D(\lambda))$  مراجعه شود.

ب-۳-۴ پاشندگی را می‌توان از طریق طول موج پاشندگی صفر  $(\lambda_0)$  و شیب  $(S_0)$  یا با تعیین ضریب پاشندگی رنگ در یک یا چند طول موج، یا به کمک هر دو تعیین کرد. در برخی از حالات، پارامترهای شیب و طول موج پاشندگی صفر تنها برای محاسبه ضریب پاشندگی در طول موج‌هایی به اندازه کافی دور از طول موج پاشندگی صفر محاسبه می‌شود.

زمانی که طول موج پاشندگی صفر مشخص باشد، طول موج‌های اندازه‌گیری بهتر است طول موج پاشندگی صفر را دربرگرفته یا شامل داده‌ای در طول موج ۱۰۰ nm باشند. زمانی که شیب و طول موج پاشندگی صفر تنها برای محاسبه ضرایب پاشندگی در طول موجی به اندازه کافی دور از طول موج پاشندگی صفر استفاده می‌شود، اندازه‌گیری‌ها باید طول موج‌هایی را پوشش دهند که در آن از این محاسبه استفاده می‌شود. زمانی که ضریب پاشندگی معین باشد، اندازه‌گیری‌ها باید طول موج‌هایی را پوشش دهند که در آن‌ها ضریب پاشندگی مشخص باشد. برای کسب اطلاع در خصوص گستره‌های طول موج اندازه‌گیری شده و فن‌های برازش مناسب به پیوست ت مراجعه شود.

## پیوست پ

### (الزامی)

#### الزامات ویژه مربوط به روش پ- تغییر تفاضلی فازی

##### پ-۱ دستگاه آزمون

###### پ-۱-۱ منبع روشنایی

###### پ-۱-۱-۱ دیودهای لیزری چندگانه

در صورت استفاده از دیودهای لیزری، دو طول موج لیزری برای هر اندازه‌گیری از پاشندگی رنگ مورد نیاز است (به شکل پ-۱ مراجعه شود). طول موج مرکزی و فاز خروجی مدوله شده‌ی هر یک از منابع باید در سرتاسر مدت زمان اندازه‌گیری در جریان بایاس، فرکانس مدولاسیون و دمای حاصله از دیود، پایدار باشد. از دیود لیزری چندگانه یا تکی با مد طولی و کنترل شده با دما و پایداری توان خروجی (برای مثال: ناشی از سیگنال پس‌خور با استفاده از آشکارساز نوری) می‌توان استفاده کرد. لیزر تکمیلی ممکن است برای پیوند مرجع جهت مجموعه‌های اندازه‌گیری میدانی مورد نیاز باشد (به زیربند پ-۱-۴ مراجعه شود).

###### پ-۱-۱-۲ دیودهای گسیلنده نور فیلتر شده

از یک یا چند دیود گسیلنده نور استفاده کنید (به شکل پ-۲ مراجعه شود). طیف این دیودها باید به طور نوعی از طریق تکفام‌کننده‌ای (همان‌طور که در آزمون اندازه‌گیری می‌شود) برای ایجاد پهنای طیفی فیلتر شده و حداکثر پهنای طیفی منبع باید در نقاط قدرت ۵۰٪ (FWHM) برابر ۱۰ nm باشد.

###### پ-۱-۲ مدولاتور

مدولاتور باید منابع روشنایی را مدوله کند تا شکل موجی با مؤلفه فوریه تکی غالب حاصل شود. برای مثال، مدولاسیون موج مربعی، ذوزنقه‌ای یا سینوسی باید قابل پذیرش باشد. به طور نوعی، پایداری فرکانسی  $1 \times 10^{-6}$  مناسب است.

ضروری است تا از ابهامات (n)  $360^\circ$ ، که در آن n عدد صحیح است، در اندازه‌گیری تغییر فاز تفاضلی اجتناب شود. این امر را می‌توان با تمهیداتی مانند کاهش فرکانس مدولاتور برای طول‌های بزرگتری از آزمون و ضرایب پاشندگی بزرگ یا هر دو به دست آورد. برای مثال، فرکانس مدولاسیون را می‌توان به اندازه‌ای کم انتخاب کرد تا تغییرات تفاضلی فاز به کمتر از  $360^\circ$  در هر زوج از طول موج محدود شود، در این حالت، در مورد فیبرهای طبقه B1، حداکثر فرکانس را می‌توان از رابطه (پ-۱) تعیین کرد:

$$f_{\max} = \frac{4 \times 10^{12} \times \lambda_1^3 \times (\lambda_1^4 - \lambda_0^4)^{-1}}{S_0 \times L \times \Delta\lambda} \text{ Hz} \quad (\text{پ-۱})$$

که در آن:

- $f_{\max}$  حداکثر فرکانس؛
- $\lambda_i$  طول موج منبع (بر حسب nm) که  $f_{\max}$  را به حداقل می‌رساند؛
- $\lambda_0$  طول موج پاشندگی صفر نوعی مورد انتظار (بر حسب nm)؛
- $S_0$  شیب پاشندگی نوعی مورد انتظار در  $\lambda_0$  (بر حسب (ps/(nm<sup>2</sup> × km))؛
- $L$  طول نمونه (بر حسب km)؛
- $\Delta\lambda$  فاصله طول موج بین نقاط اندازه‌گیری تفاضلی فاز (بر حسب nm).

فرکانس مدولاتور باید به اندازه کافی زیاد باشد تا از دقت اندازه‌گیری اطمینان حاصل شود.

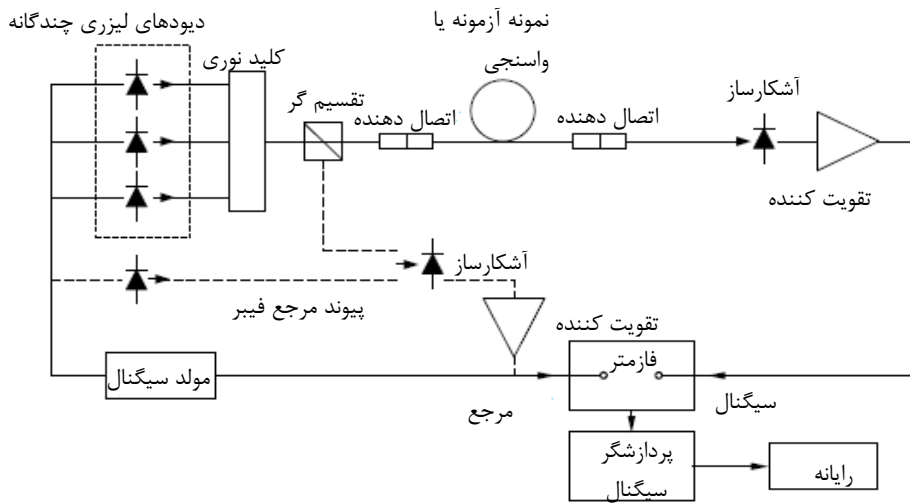
فاصله طول موج ( $\Delta\lambda$ ) بین نقاط اندازه‌گیری تفاضلی فاز به طور نوعی در گستره ۲ nm تا ۲۰ nm است.

### پ-۱-۳ آشکارساز سیگنال و سامانه الکترونیکی آشکارسازی سیگنال

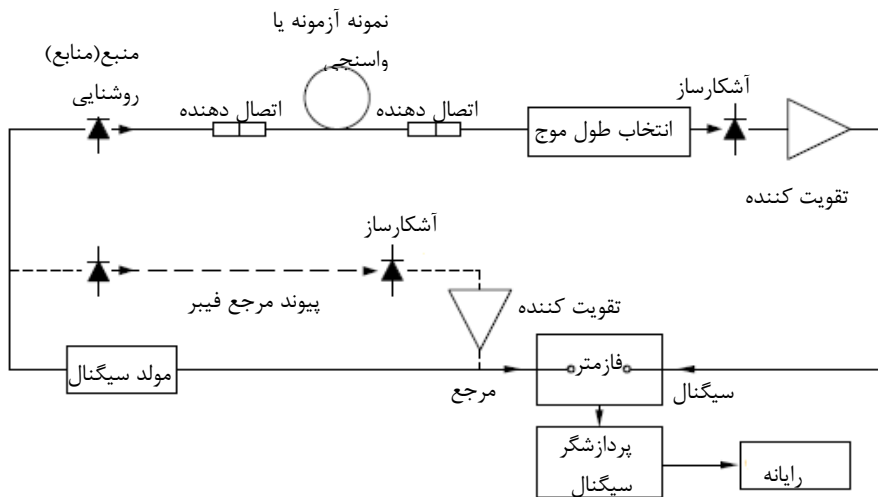
از آشکارساز نوری که در گستره طول موج اندازه‌گیری در ارتباط با فازمتر حساس است، استفاده کنید. تقویت‌کننده را می‌توان برای افزایش حساسیت سامانه آشکارسازی به کار برد. سامانه نوعی ممکن است متشکل از دیود نوری PIN، تقویت‌کننده فت و آشکارساز حساس به فاز باشد.

سامانه آشکارساز، تقویت‌کننده و فازمتر باید تنها نسبت به مؤلفه فوریه اصلی سیگنال مدوله شده پاسخ دهد و باید تغییر فازی سیگنالی را ارائه کند که در گستره توان‌های نوری دریافت شده ثابت باقی بماند.

واحد پردازشگر سیگنال، خروجی تفاضلی را از فازمتر وارد شده توسط زوج طول موج آزمون ثبت کرده و خروجی مبین فاز تفاضلی بین دو طول موج سامانه اکتساب رایانه / داده را به وجود می‌آورد. انتخاب طول موج و اندازه‌گیری فاز نسبی در دو طول موج باید به اندازه کافی سریع باشد تا نتیجه توسط انحراف دو طول موج به طور مخالف تحت تأثیر قرار نگیرد. بلوک پردازشگر سیگنال مجاز است به چندین روش اجرا شود (سه مثال از آن در زیر تعیین شده است). در اولین مثال نشان داده شده در شکل پ-۱ و پ-۲، فاز در یکی از طول موج‌های آزمون توسط بلوک پردازشگر سیگنال ثبت شده و سپس فاز در طول موج دیگر نیز ثبت می‌شود. پاشندگی رنگ در میانگین طول موج از طول فیبر و فاز تفاضلی تعیین می‌شود. بلوک نشانه گذاری شده با « پردازشگر سیگنال » در شکل پ-۲ مجاز است با رایانه احاطه شود. مثال دوم در شکل پ-۳ نشان داده شده است. سیگنال مرجع برای فاز متر، خود یکی از دو طول موج آزمون است که از فیبر عبور می‌کند.

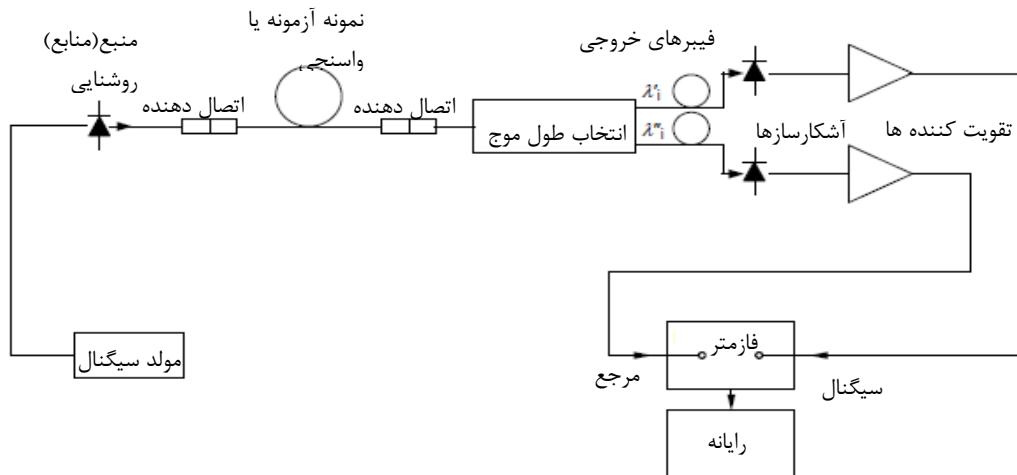


شکل پ-۱- مجموعه اندازه گیری پاشندگی فاز تفاضلی رنگ، سامانه لیزر چندگانه

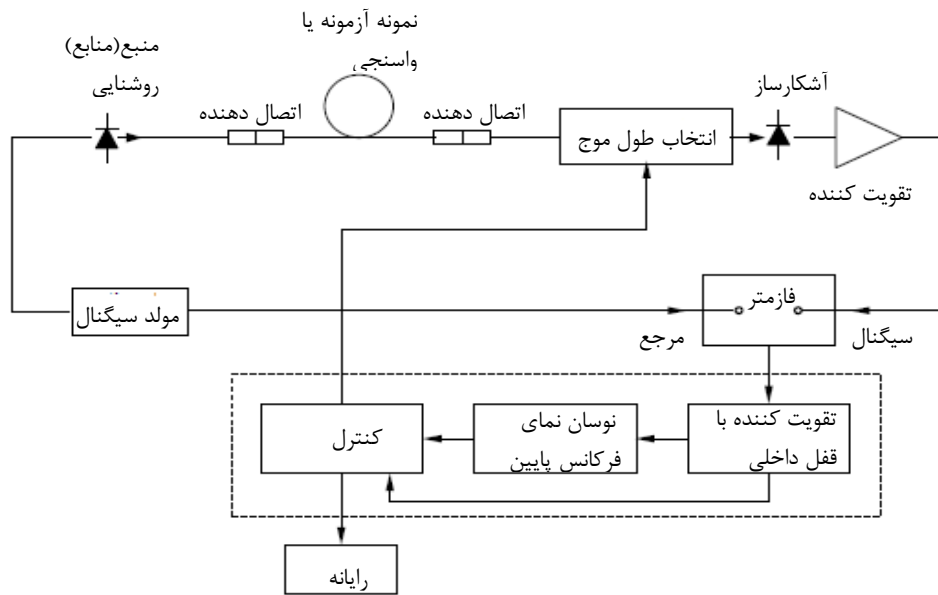


شکل پ-۲- مجموعه اندازه گیری پاشندگی فاز تفاضلی رنگ، سامانه دیود گسیلنده نور





شکل پ- ۳- مجموعه اندازه گیری پاشندگی رنگ، فاز تفاضلی به کمک روش طول موج دوگانه



شکل پ- ۴- مجموعه اندازه گیری پاشندگی رنگ، فاز تفاضلی به کمک روش وامدولاسیون دوگانه

مثال سوم در شکل پ-۴ نشان داده شده است. روشنایی بین دو طول موج در فرکانس چند صد هرتز پدیدار شده و آشکارسازی خروجی فاز تفاضلی با استفاده از فازمتر امکان پذیر می شود. سیگنال متناوبی همزمان با ومدولاسیون طول موج با دامنه ای متناسب با فاز تفاضلی بین دو طول موج آزمون توسط فاز متر تولید می شود. متعاقباً این سیگنال به کمک تقویت کننده با قفل داخلی برای تولید سیگنال متناوبی مبین فاز تفاضلی وامدوله می شود. پاشندگی رنگ را در میانگین طول موج از فاز تفاضلی و طول فیبر تعیین کنید.

از وسایل نوری (مانند: تضعیف‌کننده نوری متغیر) مجاز است برای کنترل توان نوری دریافتی استفاده شود.

#### پ-۱-۴ سیگنال مرجع

سیگنال مرجعی با مؤلفه فوریه اصلی مشابه مانند سیگنال مدوله شده را تهیه کرده تا فازمتر در برابر آن فازهای منابع سیگنال متفاوت را اندازه‌گیری کند. سیگنال مرجع باید نسبت به سیگنال همزمان شده و به طور نوعی از سیگنال مدوله شده منتج شود.

نمونه‌هایی از سیگنال‌های مرجع عبارتند از (به شکل پ-۱ مراجعه شود):

الف - در جایی که منابع سیگنال و آشکارساز به طور هماهنگی قرار می‌گیرند (مانند: آزمون آزمایشگاهی یا در حین واسنجی)، اتصال الکتریکی را می‌توان بین مولد سیگنال و درگاه مرجع فازمتر به کار برد.

ب - از تقسیم‌گر نوری، واقع در قبل از آزمون و آشکارساز نیز می‌توان برای تجهیزات با استقرار هماهنگ به کار برد.

پ - در مورد آزمون میدانی کابل‌های نوری (منابع و آشکارساز با استقرار ناهماهنگ)، به طور نوعی می‌توان از پیوند نوری مشتمل بر منبع روشنایی مدوله شده، فیبر و آشکارسازی مشابه با آن چه که برای آزمون به کار رفته، استفاده کرد.

#### پ-۲ روش اجرایی

##### پ-۲-۱ اندازه‌گیری‌های آزمون

آزمون را در دستگاه اندازه‌گیری قرار داده و سیگنال مرجع را راه‌اندازی کنید. فاز تفاضلی  $(\Delta\Phi(\lambda_i))$  زوج‌های مجاور طول موج‌های  $\lambda_i'$  و  $\lambda_i''$  را با میانگین طول موج  $\lambda_i$  اندازه‌گیری و ثبت کنید.

##### پ-۲-۲ واسنجی

فیبر مرجع را در دستگاه اندازه‌گیری قرار داده و سیگنال مرجع را راه‌اندازی کنید.

فاز تفاضلی  $(\Delta\Phi'(\lambda_i))$  زوج‌های مجاور طول موج‌های  $\lambda_i'$  و  $\lambda_i''$  را با میانگین طول موج  $\lambda_i$  اندازه‌گیری و ثبت کنید.

یادآوری - تمامی اندازه‌گیری‌های مربوط به آزمون و کالیبراسیون با توجه به سطح توان نور ورودی و در حالی که آشکارساز تا گستره‌ای تنظیم شده است که تغییرات فازی مستقل سطح را در آشکارساز و سامانه الکترونیکی آشکارساز به حداقل برساند، انجام دهید.

پ-۳ محاسبات

برای محاسبه پاشندگی، فاز تفاضلی فیبر کالیبراسیون را در هر زوج طول موج از فاز تفاضلی آزمونه متناظر کم کنید.

پ-۳-۱ ضریب پاشندگی رنگ ( $D(\lambda_i)$ ) هر طول موج  $\lambda_i$  عبارت است از:

$$D(\lambda_i) = \frac{\Delta\phi(\lambda_i) - \Delta\phi'(\lambda_i)}{360 \times f \times L \times \Delta\lambda} \times 10^{12} \text{ ps}/(\text{nm} \times \text{km}) \quad (\text{پ-۲})$$

که در آن:

$D(\lambda_i)$	ضریب پاشندگی رنگ؛
$\lambda_i$	مقدار میانگین دو طول موج $\lambda_i'$ و $\lambda_i''$ (بر حسب nm)؛
$\Delta\Phi(\lambda_i)$	اندازه‌گیری شده مطابق با بند فرعی پ-۲-۱ (بر حسب درجه)؛
$\Delta\Phi'(\lambda_i)$	اندازه‌گیری شده مطابق با بند فرعی پ-۲-۲ (بر حسب درجه)؛
$f$	فرکانس شکل موج مدولاسیون (بر حسب Hz)؛
$L$	طول آزمونه منهای طول آزمونه واسنجی (بر حسب km)؛
$\Delta\lambda$	برابر با تفاضل دو طول موج $\lambda_i'$ و $\lambda_i''$ (بر حسب nm).

پ-۳-۲ ضریب پاشندگی رنگ مجاز است برای تعیین مشخصات فیبر تحت آزمون استفاده شود. هیچ محاسبه یا پردازش داده دیگری برای اندازه‌گیری ضریب (ضرایب) پاشندگی در طول موج (های) اندازه‌گیری به کار رفته لازم نمی‌باشد.

پ-۳-۳ پاشندگی را می‌توان از طریق طول موج پاشندگی صفر ( $\lambda_0$ ) و شیب ( $S_0$ ) یا با تعیین ضریب پاشندگی رنگ در یک یا چند طول موج، یا به کمک هر دو تعیین کرد. در برخی از حالات، پارامترهای شیب و طول موج پاشندگی صفر تنها برای محاسبه ضریب پاشندگی در طول موج‌هایی به اندازه کافی دور از طول موج پاشندگی صفر محاسبه می‌شود.

زمانی که طول موج پاشندگی صفر مشخص باشد، طول موج‌های اندازه‌گیری بهتر است طول موج پاشندگی صفر را دربرگرفته یا شامل داده‌ای در طول موج ۱۰۰ nm باشند. زمانی که شیب و طول موج پاشندگی صفر تنها برای محاسبه ضرایب پاشندگی در طول موجی به اندازه کافی دور از طول موج پاشندگی صفر استفاده می‌شود، اندازه‌گیری‌ها باید طول موج‌هایی را پوشش دهند که در آن از این محاسبه استفاده می‌شود. زمانی که ضریب پاشندگی معین باشد، اندازه‌گیری‌ها باید طول موج‌هایی را پوشش دهند که در آن‌ها ضریب پاشندگی مشخص باشد. برای کسب اطلاع در خصوص گستره‌های طول موج اندازه‌گیری شده و فن‌های برازش مناسب به پیوست ت مراجعه شود.

## پیوست ت

### (الزامی)

## رنگ پاشندگی برآزش

### ت-۱ کلیات

خروجی اندازه‌گیری پاشندگی رنگ به طور مستقیم مقادیر پاشندگی رنگ اندازه‌گیری شده یا مقادیر تاخیرگروهی به عنوان تابعی از طول موج است. مقدار پاشندگی رنگ و شیب پاشندگی از انحرافات این داده‌ها به دست می‌آید. اغلب پس از برآزش داده به مدل ریاضی یا نوع برآزش، دیفرانسیل‌گیری انجام می‌شود.

در این پیوست، توضیح کلی برآزش پاشندگی رنگ و طرح کلی تعدادی از معادلات برآزش استاندارد تعیین شده است.

یادآوری- حتی اگر مشخصه‌های شیب پاشندگی به عنوان مقررات الزامی نباشند، اغلب مقادیر نوعی توسط سازندگان برای سهولت در تطابق پاشندگی تأمین می‌شوند.

### ت-۲ تعریف مربوط به معادلات و ضرایب برآزش

توضیح کلی مدل‌های ریاضی برآزش در جدول ت-۱ ارائه شده است. فرمول چند جمله‌ای کلی بوده و می‌توان آن را از طریق اصول مشابه به چند جمله‌ای مرتبه بالاتر توسعه داد، به شرط آن که برآزش پایدار باقی بماند (به جدول زیر مراجعه شود).

معادلات مربوط به شیب پاشندگی در جدول ت-۲ نشان داده شده است.

فرمول طول موج پاشندگی صفر و شیب در آن طول موج (شیب پاشندگی صفر) برای مدل چند جمله‌ای مرتبه دوم و مدل سلمیر سه حالته در جدول ت-۳ نشان داده شده است.

جدول ت-۱- تعریف مربوط به انواع برازش و ضرایب برازش، معادلات تأخیر گروهی و ضریب پاشندگی

نوع برازش	تأخیر گروهی ( $\tau(\lambda)$ )	ضریب پاشندگی ( $D(\lambda)$ )
سلمیر سه حالته	$A+B\times\lambda^2+C\times\lambda^{-2}$	$2\times B\times\lambda-2\times C\times\lambda^{-3}$
سلمیر پنج حالته	$A+B\times\lambda^2+C\times\lambda^{-2}+D\times\lambda^4+E\times\lambda^{-4}$	$2\times B\times\lambda-2\times C\times\lambda^{-3}+4\times D\times\lambda^3-4\times E\times\lambda^{-5}$
چند جمله‌ای مرتبه دوم	$A+B\times\lambda+C\times\lambda^2$	$B+2\times C\times\lambda$
چند جمله‌ای مرتبه سوم	$A+B\times\lambda+C\times\lambda^2+D\times\lambda^3$	$B+2\times C\times\lambda+3\times D\times\lambda^2$
چند جمله‌ای مرتبه چهارم	$A+B\times\lambda+C\times\lambda^2+D\times\lambda^3+E\times\lambda^4$	$B+2\times C\times\lambda+3\times D\times\lambda^2+4\times E\times\lambda^3$

جدول ت-۲- معادلات شیب

نوع برازش	شیب پاشندگی ( $S(\lambda)$ )
سلمیر سه حالته	$2\times B+6\times C\times\lambda^{-4}$
سلمیر پنج حالته	$2\times B+6\times C\times\lambda^{-4}+12\times D\times\lambda^2+20\times E\times\lambda^{-6}$
چند جمله‌ای مرتبه دوم	$2\times C$
چند جمله‌ای مرتبه سوم	$2\times C+6\times D\times\lambda$
چند جمله‌ای مرتبه چهارم	$2\times C+6\times D\times\lambda+12\times E\times\lambda^2$

جدول ت-۳- معادلات شیب و طول موج پاشندگی صفر

نوع برازش	طول موج پاشندگی صفر ( $\lambda_0$ )	شیب پاشندگی صفر ( $S_0$ )
سلمیر سه حالته	$(C/B)^{1/4}$	8B
چند جمله‌ای مرتبه دوم	$-B/(2C)$	2C

یادآوری ۱- در مورد نوع برازش سلمیر سه حالته، شکل دیگر ضریب پاشندگی رنگ عبارت است از:

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \times \lambda \times \left( 1 - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^4} \right) \quad (ت-۱)$$

یادآوری ۲- در مورد چند جمله‌ای مرتبه دوم، شکل دیگر ضریب پاشندگی رنگ عبارت است از:

$$D(\lambda) = S_0 \times (\lambda - \lambda_0) \quad (\text{ت-۲})$$

### ت-۳ روش اجرایی برازش

در مورد بهترین برازش عددی، طول طبیعی (طول موجها) بهتر است پیش از تکمیل رگرسیون کمترین مجذورها با تغییر مختصات به مقداری با گستره کاهش یافته تبدیل شود. پس از رگرسیون، پارامترهای برازش باید پیش از انجام هر مشتق به مقیاس طول موج اصلی تبدیل شود.

اجرای مناسب رگرسیون کمترین مجذورها بهتر است برای حل مشکل برازش انتخاب شود. این روش بهتر است برای نوفه و سایر خطاهای ایجاد شده در حین اندازه گیری تأخیر گروهی یا داده پاشندگی پایدار باشد. [۱] بسته به منبع داده ورودی، از معادلات تأخیر گروهی یا پاشندگی مشتق استفاده می‌شود. بهتر است دقت لازم به عمل آید تا تعداد مناسبی از نقاط در این برازش لحاظ شوند. چنانچه مرتبه برازش و تعداد نقاط قابل توجه باشند، نتیجه دقیقی از این برازش به دست نخواهد آمد.

چنانچه برازش بر حسب داده تأخیر گروهی انجام شود، داده پاشندگی رنگ را می‌توان از معادلات پاشندگی در جدول ت-۱ با استفاده از ضرایب حاصل از این برازش محاسبه کرد. از آن جایی که برازش ممکن است رفتار غیر فیزیکی در نقاط خارج از این ناحیه داشته باشد، از برون یابی طول موجهای خارج از ناحیه برازش بهتر است به طور دقیق استفاده شود.

شیب پاشندگی را می‌توان از معادلات جدول ت-۲ با استفاده از ضرایب حاصل از این برازش محاسبه کرد.

---

۱ - عدد داخل کروشه به کتابنامه اشاره می‌کند

کتابنامه

- [1] PRESS, William H., TEUKOLSKY, Saul A., VETTERLING, William T., FLANNERY, Brian P., Numerical Recipes – The Art of Scientific Computing, Cambridge University Press, 2nd edition (1993).