INSO
11697
1st. Revision
2016

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۱۱۶۹۷
تجدید نظر اول
۱۳۹۴

اپتیک و فوتونیک – تابع انتقال اپتیکی
اصول و روش های اجرایی اندازه‌گیری

Optics and photonics - Optical transfer function — Principles and procedures of measurement

ICS:17.180.01

سازمان ملی استاندارد ایران

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

صندوق‌پستی: 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: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: 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

Website: http://www.isiri.org

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بندیک مادهٔ۳ قانون اصلاح قوانین ومقررات مؤسسهٔاستاندارد و تحقیقات صنعتی ایران،مصوب بهمن ماه۱۳۷۱تنها مرجع رسمی کشوراست که وظیفهٔ تعیین، تدوین ونشراستانداردهای ملی (رسمی) ایران رابه 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 منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد-کنندگان، 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 پیشنهادها در کمیتهٔملی 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 درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استانداردملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔملی 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)[1]،کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی(OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی(CAC)[5] 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 زیست محیطی 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 استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهیسیستم‌های 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، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت میکند. ترویج دستگاه بین المللی 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

« اپتیک و فوتونیک – تابع انتقال اپتیکی-اصول و روش های اجرایی اندازه‌گیری »

(تجدید نظر اول)

رئیس:	**سمت و/یا محل اشتغال:**
ذاتی رستمی، احمد (دکترای فیزیک)	مدیر گروه فیزیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری
دبیر:	
عالیشاهی، حمید رضا (کارشناسی ارشد فیزیک)	رییس اداره استاندارد سازی و آموزش و ترویج اداره کل استاندارد گلستان
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
آبدارباشی،مسلم (کارشناسی ارشد فیزیک)	کارشناس مرکز فن آوری هسته ای –سازمان انرژی اتمی ایران
حسینی، سید حامد (دکترای مهندسی مکانیک)	عضو هیات علمی دانشگاه آزاد آزاد اسلامی واحدعلی آباد کتول
حسینی، سید مهدی (کارشناسی ارشد مهندسی صنایع)	رییس اداره ارزیابی کیفیت وصادرات و واردات استاندارد گلستان
خسروی ،محمد (کارشناسی ارشد فیزیک)	مدیر آزمایشگاه کالیبراسیون فراسنجش سازان گلستان

شاه بابایی،بهمن (کارشناسی شیمی)	کارشناس استاندارد –بازنشسته سازمان صنایع هوا و فضا
فخرایی فر ،مریم (کارشناسی ارشد شیمی فیزیک)	مدرس دانشگاه علمی کاربردی گلستان
محمدی لیواری، احد (کارشناسی ارشد فیزیک)	معاون مرکز اندازه شناسی سازمان ملی استاندارد ایران
مجدآبادی،عباس (دکترای لیزر)	رییس پژوهشکده لیزر و اپتیک –عضوهیات علمی پژوهشکده علوم و فنون هسته ای
معدنی پور ،خسرو (دکترای فیزیک)	رییس‌مرکز اندازه شناسی و اوزان و مقیاسها-سازمان ملی استاندارد
نعیمی،آزاده سادات (دکترای فیزیک)	عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علی آباد کتول

ویراستار:

حشمی ، مهناز (کارشناسی ارشد فیزیک)	رییس گروه استانداردسازی مرکز اندازه شناسی و اوزان و مقیاسها سازمان ملی استاندارد ایران

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

پیش‌گفتار ی

مقدمه ک

۱ هدف و دامنه کاربرد ۱

۲ مراجع الزامی ۱

۳ اصطلاحات و تعاریف ۲

۴ تجهیزات اندازه‌گیری و محیط ۲

۴-۱ ویژگی‌های عمومی ۲

۴-۱-۱ شرایط اندازه‌گیری ۲

۴-۱-۲ درستی اندازه‌گیری ۲

۴-۲ محیط ۳

۴-۲-۱ کلیات ۳

۴-۲-۲ کنترل دما و رطوبت ۳

۴-۲-۳ ارتعاش ۳

۴-۲-۴ اختلالات الکترومغناطیسی ۴

۴-۳ تجهیزات اندازه‌گیری ۴

۴-۳-۱ پایه‌های اپتیکی ۴

۴-۳-۲ رواداری عدم کانونی‌شدن ۴

عنوان **صفحه**

۴-۳-۳ فراهم کردن مقیاس‌های اندازه‌گیری ۵

۴-۴ اجزای سیستم ۵

۴-۴- ۱ کلیات ۵

۴-۴-۲ میز اپتیکی ۵

۴-۴-۲-۱ کلیات ۵

۴-۴-۲-۲ شیيء و تصویر در فاصله‌های متناهی ۵

۴-۴-۲-۳ شیيء در بی‌نهایت اسمی ۶

۴-۴-۲-۴ تصویر در بی‌نهایت اسمی ۶

۴-۴-۲-۵ شیيء و تصویر در بی‌نهایت اسمی ۶

۴-۴-۳ بخش هدف آزمون ۷

۴-۴-۳-۱ کلیات ۷

۴-۴-۳-۲ هدف آزمون ۷

۴-۴-۳-۳ پرتودهی ۱۲

۴-۴-۴ نصب نمونه آزمون ۱۳

۴-۴-۵ سیستم ارزیابی تصویر ۱۳

۴-۴-۶ سیستم‌های تصویرساز کمکی ۱۵

۵ روش‌های اندازه‌گیری ۱۵

۵-۱ کلیات ۱۵

عنوان **صفحه**

۵-۲ برقراری شرایط اندازه‌گیری ۱۶

۵-۲-۱ کلیات ۱۶

۵-۲-۲ شرایط محیطی ۱۶

۵-۲-۳ ویژگی‌های طیفی ۱۶

۵-۲-۴ توزیع زاویه‌ای و اهمیت دهانه ۱۶

۵-۲-۵ اندازه تصویر، بزرگ‌نمایی ۱۶

۵-۲-۶ کانونی‌شدن ۱۷

۵-۳ دیگر ملاحظات اندازه‌گیری ۱۸

۵-۳-۱ کلیات ۱۸

۵-۳-۲ گستره خطی نمونه آزمون ۱۸

۵-۳-۳ ناحیه هم‌صفحه ۱۹

۵-۳-۴ نوفه با الگوی ثابت ۱۹

۵-۳-۵ مساحت تحلیل شده ۱۹

۵-۳-۶ تابش زمینه ۱۹

۵-۳-۷ درخشش پنهان ۲۰

۵-۳-۸ موازی‌بودن تصویر و قطعه تحلیل‌کننده ۲۰

۵-۳-۹ نسبت سیگنال به نوفه ۲۰

۵-۴ شرایط اندازه‌گیری ویژه ۲۱

عنوان **صفحه**

۵-۴-۱ سمت‌ها ۲۱

۵-۴-۲ انتخاب ارتفاع‌های تصویر یا زوایای میدان ۲۱

۵-۴-۳ زوایای مرجع نمونه آزمون ۲۲

۶ تصحیحات داده‌های اندازه‌گیری شده ۲۳

۶-۱ بهنجارش ۲۳

۶-۲ تصحیح مقیاس بسامد ۲۳

۶-۳ تصحیح مدولاسیون اندازه‌گیری شده ۲۳

۶-۴ دستگاه‌های تصویرساز کمکی ۲۴

۷ ارائه داده‌های **OTF** ۲۴

۷-۱ کلیات ۲۴

۷-۲ بیان شناسایی و شرایط اندازه‌گیری ۲۴

۷-۳ نمایش نموداری داده‌های **OTF** ۲۶

۷-۴ نمایش عددی ۲۷

۸ بررسی‌های درستی ۲۷

پیوست الف (اطلاعاتی) مثال‌هایی از معرفی نمایش داده‌های **OTF** ۲۹

کتاب نامه ۳۵

پیش‌گفتار

استاندارد "اپتیک و فوتونیک- تابع انتقال اپتیکی- اصول و روشهای اندازه‌گیری " که نخستین بار در سال ۱۳۸۷ تدوین و منتشر شد،بر اساس پیشنهاد های دریافتی و تایید کمیسیون های مربوط برای اولین بار مورد تجدید نظر قرارگرفت و در دویست و شست و سومین اجلاسیه کمیته ملی استاندارد اندازه شناسی و اوزان و مقیاسها مورخ ۱۳۹۴/۱۱/۶ تصویب شد.اینک این استاندارد باستناد بند ۱ ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقرات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ ،به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می شود.

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

این استاندارد جایگزین استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۶۹۷ : سال ۱۳۸۷ می شود.

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

1- ISO 9335 :2012, Optics and photonics - Optical transfer function- Principles and procedures of measurement

مقدمه

تابع انتقال اپتیکی کمک قابل توجهی برای ارزیابی واقعی قابلیت تشکیل تصویر دستگاه های اپتیکی، الکترواپتیکی و فوتوگرافیکی است .به منظور آن که اندازه‌گیری های تابع انتقال اپتیکی که با استفاده از اصول مختلف اندازه‌گیری یا دستگاههای اندازه‌گیری در آزمایشگاه‌های مختلف به دست آمده است را بتوان مقایسه نمود، لازم است از یکسان بودن پارامترهای اندازه‌گیری نظیر تنظیم کانونی شدن و گستره بسامد فضایی اطمینان حاصل شود. به این دلیل، مجموعه ای از اصطلاحات فنی مورد توافق تعریف شده اند تا پارامترهای اندازه گیری که در این استاندارد ملی به آن ها ارجاع می شوند، توسط همه کاربران قابل درک باشد.این استاندارد راهنمایی برای ساخت و عملکرد تجهیزات اندازه گیری تابع انتقال اپتیکی را ارائه می کند.

ویژگی ها در این استاندارد، الزامات اساسی کاربرد تجهیزات و روش های اندازه‌گیری را برای تضمین درستی تعریف شده اندازه‌گیری تابع انتقال اپتیکی تشکیل می دهد.

اپتیک و فوتونیک – تابع انتقال اپتیکی - اصول و روش های اجرایی اندازه‌گیری

۱ هدف ودامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین راهنما برای ساخت و کاربرد تجهیزات برای اندازه‌گیری تابع انتقال اپتیکی[1] (OTF) دستگاه‌های تصویرساز می باشد.

این استاندارد پارامترهای مهمی را که می توانند بر اندازه‌گیری OTF اثر بگذارند مشخص کرده و قوانین عمومی را جهت الزامات کارکرد تجهیزات و کنترل‌های محیط ارائه می‌دهد.این استاندارد تمهیدات مهمی را که باید برای تضمین صحت اندزه‌گیری‌ها در نظر گرفته شود و نیز ضرایب تصحیح کننده‌ای که بر داده های جمع آوری شده اعمال می شوند، را مشخص می نماید.

تجهیزات اندازه‌گیری OTF توصیف شده در این استاندارد منحصر به وسایلی است که توزیع تابشی در صفحه تصویردستگاه تصویر ساز اپتیکی تحت آزمون را تحلیل می کند. این استاندارد در مورد دستگاه‌های اندازه گیری که بر مبنای تداخل سنجی کار می کنند، کاربرد ندارد.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات، جزئی از این استاندارد محسوب می‌شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن ها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

۲-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۶۰۹: سال ۱۳۸۹، اپتیک و فوتونیک-تابع انتقال نوری - تعاریف و روابط ریاضی

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۶۹۸ : سال۱۳۸۷، اپتیک و فوتونیک-درستی اندازه‌گیری تابع انتقال اپتیکی (OTF)

۲-۳ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۶۱۵۰ : سال ۱۳۹۱ ،اپتیک و فوتونیک-تابع انتقال نوری-کاربرد-قسمت ۱: عدسی های قابل تعویض برای دوربین های عکاسی ساکن 35mm

[1] - Optical Transfer Function

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف ارائه شده دراستاندارد ملی ایران شماره ۱۳۶۰۹ به کار می رود.

۴ تجهیزات اندازه‌گیری و محیط

۴-۱ ویژگی‌های عمومی

۴-۱-۱ شرایط اندازه‌گیری

هر OTF اندازه‌گیری شده به حالت تصویرسازی[1] دستگاه تصویرساز بستگی دارد که در ادامه متن به اختصار حالت I نامیده می شود. بنابراین قبل از انجام اندازه گیری ها باید مشخص شود که چه عواملی در تشکیل حالت I دخالت دارند و حالت I تا چه اندازه به هر کدام از این عوامل وابسته است . مجموعه پارامترهایی که یک حالت I را تعیین می کنند باید مجموعه ای از مقادیر ثابت باشند. این مقادیر ثابت که یک حالت I ویژه را نشان می دهند، « شرایط اندازه گیری» نامیده می شوند.

۴-۱-۲ درستی اندازه‌گیری

تجهیزات اندازه‌گیری و محیطی که این تجهیزات در آن مورد استفاده قرار می گیرد، باید با شرایط اندازه‌گیری تعیین شده و با دقتی که برای درستی اندازه‌گیری لازم است، سازگار باشد. درستی یک اندازه‌گیری OTF، می تواند به صورت ترکیب عدم قطعیت های اندازه‌گیری ناشی از چندین پارامتر مختلف حالت I در نظر گرفته می شود.

وقتی درستی مورد نیاز اندازه‌گیری OTF مورد نظر باشد، باید میان پارامترهای سهیم شناخته شده تقسیم گردد، آن چنان که یک رواداری[2] بتواند برای هر پارامتر حالت I برقرار گردد. بنابراین برای رسیدن به درستی اندازه‌گیری ۰/۰۵± برای تابع انتقال مدولاسیون[3] (MTF) از بین عوامل مختلف، پایداری دمایی تجهیزات اندازه-گیری ۱± °C و تنظیم صفحه کانونی تا $\pm 5\mu m$ از الزامات کلی می‌باشند. بخش‌هایی که در ادامه خواهد آمد بحث تنظیمات مربوط به تجهیزات و محیط، به رواداری‌هایی مربوط است که برای یک درستی اندازه‌گیری OTF مورد نظر به روش فوق تقسیم شده‌اند.

(به استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۶۹۸ مراجعه شود،پارامتر های متعدد موثر بر درستی اندازه گیری توضیح داده شده است.)

---

[1] - Imaging State

[2] - Tolerance

[3] - Modulation Transfer Function

۴-۲ محیط

۴-۲-۱ کلیات

شرایط محیطی تجهیزات OTF باید عاری از اثراتی باشد که منجر به اختلالات آب و هوایی، مکانیکی یا الکترومغناطیسی شوند. تجهیزات اندازه گیری و محیط اتاق اندازه‌گیری باید عاری از گرد وغبار، رطوبت و دود باشد. همه سطوح اپتیکی باید در مقابل اثرات انگشت و خراشیدگی محافظت شوند.

۴-۲-۲ کنترل دما و رطوبت

دما باید در یک مقدار مناسب در محدوده رواداری تعیین شده ای ثابت نگه داشته شود. میزان رطوبت نیز باید در محدوده قابل قبولی باشد. دما و رطوبت باید ثبت شوند. تلاطم هوا و لایه لایه شدن آن که بر روی اندازه-گیری تاثیر دارد باید با استفاده از حفاظ کمینه گردد.

۴-۲-۳ ارتعاش

ارتعاشات تا حد ممکن باید کاهش داده شود و در صورتی که ارتعاشاتی مانند ارتعاشات حاصل از ماشین آلات موجود باشد، که حذف آن ها کاملاً ممکن نیست، استفاده از زیرزمین و یا طبقات پایین تر توصیه می شود. درجه عایق بندی محیط برای ارتعاش به منظور دست یابی به یک درستی اندازه گیری خاص وابسته به ویژگی های ارتعاش، روش اندازه‌گیری و گستره بسامد فضایی، است. اگر روش، شامل اندازه‌گیری تابع پخشیدگی خط[1] باشد، یک رواداری مناسبی باید طوری باشد تا جابه‌جایی تصویر ناشی از ارتعاشات روی تحلیل گر افزایش نیابد، به عنوان مثال نباید از ۱/۲۰ پهنا در نصف شدت بیشینه تصویر شکاف آزمون بیشتر شود.

۴-۲-۴ اختلالات الکترومغناطیسی

برای برخی از دستگاه ها ممکن است لازم باشد ارتعاشات منبع تغذیه پایش شوند، تا در کمینه قابل قبول نگه داشته شود. اثر میدان های الکترومغناطیسی خارجی و شدت نور محیط باید آنقدر کم باشد تا نتواند بر روی اندازه‌گیری OTF اثر قابل ملاحظه ای بگذارد.

---

[1] - Line Spread Function

تابع پخشیدگی خط؛ توزیع بهنجار شده تابندگی در تصویر منبع تابشی خطی به طور ناهمدوس است.

۴-۳ تجهیزات اندازه‌گیری

۴-۳-۱ پایه های اپتیکی[1]

محل قرارگیری هر تجهیز اندازه‌گیری باید یک سطح یا میز اپتیکی محکم باشد که پایه های هدف آزمون، نمونه آزمون، تحلیل‌گر تصویر و دیگر واحدهای جانبی بر روی آن متصل شوند به طوری که موقعیت آن ها درستی لازم را برآورده سازد.

بسته به دستگاه های تصویرسازی که مورد آزمون قرار می گیرند، الزامات متفاوتی از جهت خطی بودن تنظیم ها و یا موازی بودن ریل های لغزنده تجهیزات، می تواند اعمال شود. انحرافات ناشی از هم خط و موازی نبودن آرمانی ،نباید سبب ایجاد تغییری بزرگتر از ۱٫۳ درستی اندازه گیری مجاز یا تعیین شده در MTF اندازه گیری شده، گردد.

۴-۳-۲ رواداری عدم کانونی شدن

برای عدسی‌های عکاسی، اثرات عدم کانونی شدن ناشی از ناهم‌راستایی میز کار باعث بروز خطاهایی در MTF اندازه‌گیری شده می‌گردد که با افزایش بسامد فضایی یا با کاهش عدد f و انحراف جبهه موج کاهش یافته، زیاد می‌شود. جدول ۱ رواداری‌های عدم کانونی شدن[2] یک عدسی پراش محدود با مردمک دایروی و روشنایی ناهمدوس را نشان می دهد که منجر به تغییر MTF ±۰٫۰۵ می‌شود. طول موج نور ۵۰۰ nm در نظر گرفته شده است .

[1] - Optical Mounts
[2] - defocusing Tolerances

ابعاد بر حسب میکرومتر

جدول ۱- رواداری عدم کانونی شدن

عدد -f	رواداری عدم کانونی شدن برای بسامد فضایی mm^{-1}					
	۱	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰
۱	۴۵	۹	۴٫۵	۲٫۳	۱٫۰	۰٫۵
۱٫۴	۶۲	۱۲٫۵	۶٫۳	۳٫۲	۱٫۴	۰٫۸
۲	۸۹	۱۸	۹	۴٫۷	۲٫۰	۱٫۱
۴	۱۸۰	۳۶٫۵	۱۸٫۸	۹٫۸	۴٫۶	۳
۸	۳۶۰	۷۴	۳۹	۱۲/۵	۱۲	۱۲٫۲
۱۶	۷۲۰	۱۵۷	۸۶	۵۴	۴۹	۴۶۸

یادآوری- به ازای یک تغییر ۰٫۱۰ در MTF ،رواداری عدم کانونی شدن دو برابر آنچه در جدول بیان شده اند، می باشد.

۴-۳-۳ فراهم کردن مقیاس های اندازه گیری

تجهیزات اندازه‌گیری باید وسایل مناسبی برای تعیین موقعیت های هدف آزمون، نمونه آزمون، تحلیل گر تصویر و دستگاه های جانبی فراهم کند. این وسایل شامل ابزارهای سنجش مقیاس ها، شاقول ها و شاخص‌های عقربه-ای[1] می باشند. علاوه بر این، وسایل باید تمام پارامترهای ایجاد کننده حالت I نمونه را نمایش داده، تعیین و هماهنگ نماید.

[1] - Dial Gage

۴-۴ اجزای سیستم

۴-۴-۱ کلیات

در زیر بندهای بعدی جزییات مربوط به چیدمان اندازه‌گیری و قسمت های اصلی آن ها شامل هدف آزمون، نمونه آزمون، تحلیل گر تصویر و سیستم های تصویرساز جانبی بیان می شوند.

۴-۴-۲ میز اپتیکی

۴-۴-۲-۱ کلیات

چیدمان‌های مختلفی برای تجهیزات اندازه‌گیری ممکن است، که برخی از آن ها در بندهای ۴-۴-۲-۲تا ۴-۴-۲-۵ پیشنهاد شده اند.

۴-۴-۲-۲ شییء و تصویر در فاصله های متناهی

برای آزمون‌هایی که شییء و تصویر در فاصله های متناهی از نمونه اپتیکی آزمون قرار می گیرند، باید چیدمان نشان داده شده در شکل ۱ یا ۲ به کار روند. در این چیدمان، دو بخش از سه بخش اصلی (نمونه آزمون، محدوده هدف و تحلیل گر تصویر) در طول ریل های لغزنده به موازات یکدیگر و عمود بر محور مرجع حرکت می کنند. معمولاً نمونه آزمون ثابت است و دو بخش دیگر چنانچه در شکل ها نمایش داده شده است، حرکت می کنند.

وقتی اجزای الکترواپتیکی نظیر تقویت کننده شدت[1] تصویر مورد آزمون قرار می گیرند، از دستگاه‌های تصویرساز کمکی استفاده می شود تا تصویری از الگوی آزمون در ورودی نمونه آزمون ایجاد کند. سپس تصویر خروجی نمونه آزمون به سمت تحلیل گر تصویر هدایت می شود. چیدمان مربوط به این حالت در شکل ۲ نشان داده شده است.

۴-۴-۲-۳ شییء در بی نهایت اسمی

برای آزمون‌هایی که شییء در بی نهایت است (یعنی هدف آزمون در کانون اصلی یک موازی ساز است) چیدمانی مشابه با آنچه در شکل ۳ وجود دارد باید به کار رود. وقتی اندازه‌گیری های خارج محور انجام می شود، می توان موازی ساز را به اندازه زاویه ω حول محوری که از مردمک ورودی نمونه آزمون می گذرد و بر محور مرجع عمود است چرخاند (شکل ۳ را ببینید).

در حالت دیگر، موازی ساز می تواند ثابت باشد و نمونه آزمون و تحلیل گر تصویر همراه با هم حول مردمک خروجی چرخانده شوند. در این حالت، چفت و بست پایه های مربوط به نمونه آزمون و ریل لغزنده تحلیل گر

[1] - Intensifier

تصویر هر دو به صفحه چرخان به طور صلب ثابت می شوند (به این چیدمان اغلب الگوی میز چرخان می گویند).

۴-۴-۲-۴ تصویر در بی نهایت اسمی

از همان چیدمانی که در زیر بند ۴-۴-۱-۲ (شکل ۳ ملاحضه شود.) بیان شده است، باید استفاده شود.که تحلیل گر تصویر و هدف آزمون با هم جابه جا می شوند.

۴-۴-۲-۵ شیيء و تصویر در بی نهایت اسمی

برای دستگاه هایی که هم شیيء و هم تصویر در بی نهایت مورد آزمون قرار می گیرند، باید چیدمانی مشابه با آنچه که در شکل ۴ نشان داده شده است به کار رود. وقتی اندازه گیری ها خارج محور انجام می گیرد، موازی ساز سمت شیيء باید همراه با هدف آزمون به اندازه زاویه ω حول محوری که از مردمک ورودی می گذرد و بر محور مرجع نمونه آزمون عمود است، چرخانده شود. پاد موازی ساز سمت تصویر همراه با تحلیل گر تصویر باید به اندازه زاویه $\acute{\omega}$ حول محوری که از مردمک خروجی می گذرد و بر محور مرجع عمود است چرخانده شود و باید مطابق با معیارهای آزمون دوباره متمرکز شود.

۴-۴-۳ بخش هدف آزمون[1] (TTU)

۴-۴-۳-۱ کلیات

بخش هدف آزمون (TTU)،باید از دو قسمت منبع تابشی و هدف آزمون تشکیل می شود.

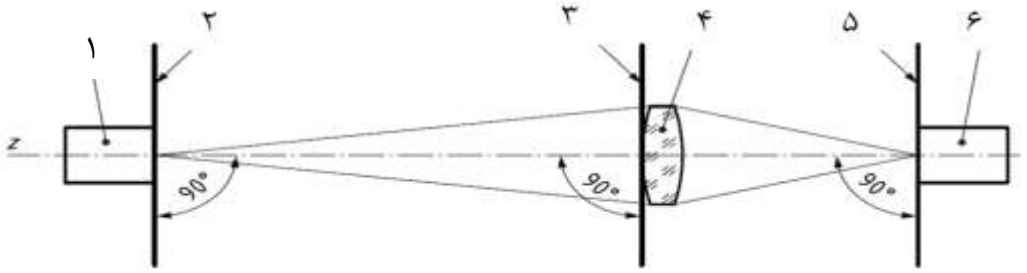
۴-۴-۳-۲ هدف آزمون

بسته به مشخصات نمونه آزمون، می توان انواع مختلفی از هدف های آزمون به کار برد. معمولاً روزنه های دایروی، شکاف ها، لبه ها، توری ها و هدف های آزمون خود تابنده نظیر سیم های ملتهب[2] به کار می روند. طیف بسامد فضایی هدف آزمون به کار رفته شده برای اندازه گیری OTF باید با درستی که با درستی اندازه-گیری لازم تعیین می شود، شناخته شود.

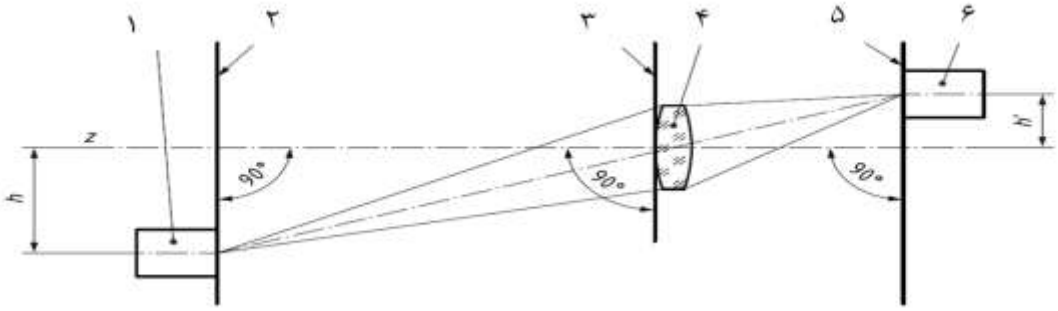
طیف واقعی بسامد هدف آزمون معمولاً با طیف ایده آل آن متفاوت است (که به طور هندسی پیش بینی شده است). اگر طیف واقعی را نتوان اندازه گیری کرد، پیش بینی های محتاطانه ای[3] باید در نظر گرفته شود تا این اطمینان حاصل شود که هدف به اندازه کافی به هندسه مشخص شده نزدیک باشد.

---

[1] - Test target unit
[2] - Incandescent
[3] - Precautions



۱-الف)روی محور



۱-ب)خارج محور

راهنما :

۱ بخش هدف آزمون (TTU)

۲ ریل لغزنده TTU

۳ فیکسچر[1] نمونه آزمون

۴ نمونه آزمون

۵ ریل لغزنده تحلیل گر تصویر

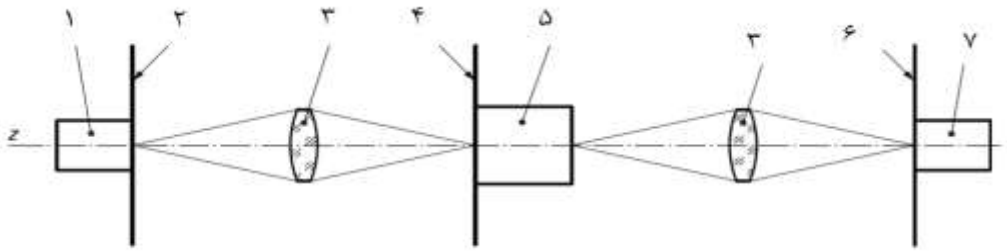
۶ تحلیل گر تصویر

z محور مرجع

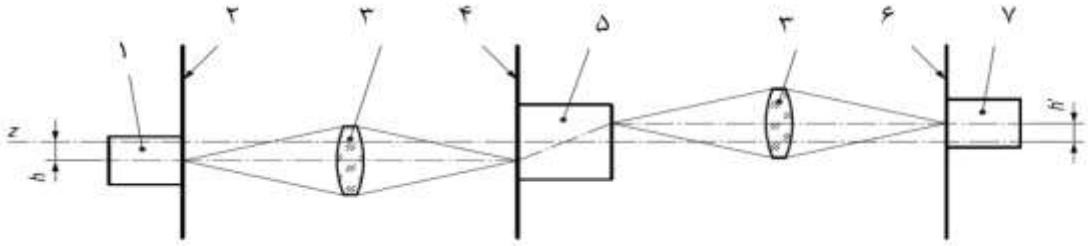
$\acute{h}, h$ ارتفاع های شیيء و تصویر

شکل ۱- شمایی از چیدمان آزمون: شیيء و تصویر در فاصله های متناهی

[1] - Fixture



۲-الف)روی محور



۲-ب)خارج محور

راهنما :

۱ (TTU)

۲ ریل لغزنده TTU

۳ عدسی های هدایت کننده

۴ فیکسچر نمونه آزمون

۵ نمونه آزمون

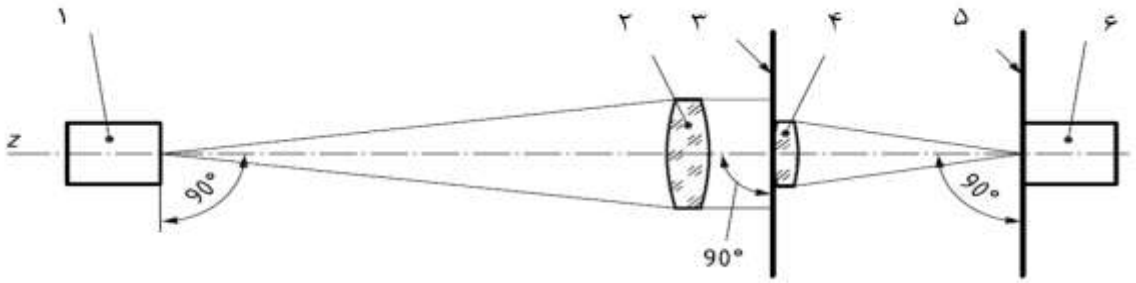
۶ ریل لغزنده تحلیل گر تصویر

۷ تحلیل گر تصویر

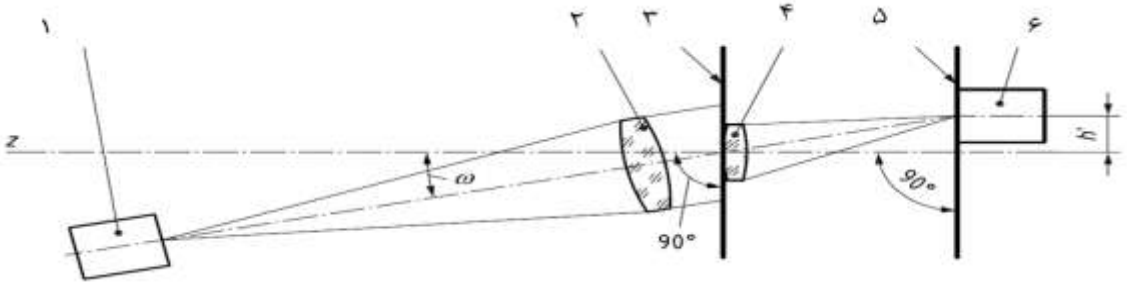
Z محور مرجع

$\acute{h}, h$ ارتفاع های شییء و تصویر

شکل ۲- شمایی از چیدمان تقویت کننده های تصویر



۳-الف)روی محور



۳-ب)خارج محور

راهنما :

۱ (TTU)

۲ موازی ساز

۳ فیکسچر نمونه آزمون

۴ نمونه آزمون

۵ ریل لغزنده تحلیل گر تصویر

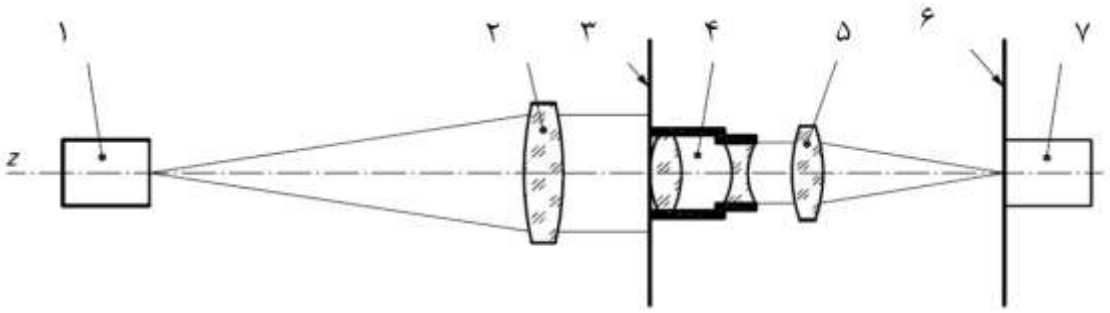
۶ تحلیل گر تصویر

Z محور مرجع

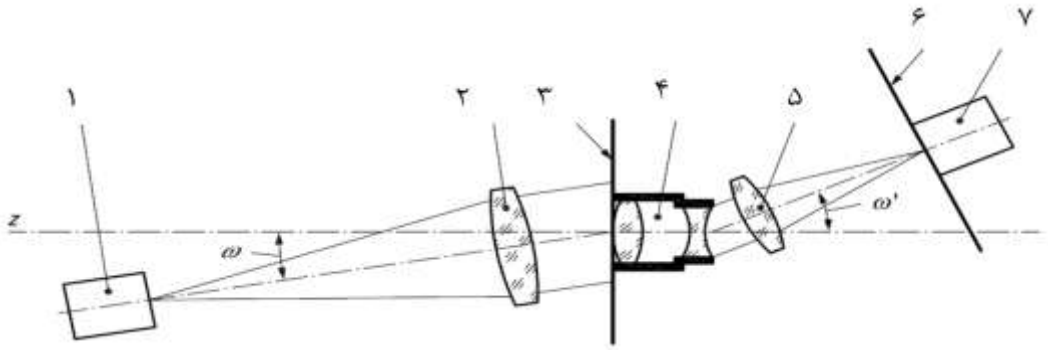
ω زاویه میدان شییء

$\acute{h}$ ارتفاع تصویر

شکل ۳- شمایی از چیدمان آزمون : شییء در بی نهایت



۴-الف) روی محور



۴-ب) خارج محور

راهنما :

۱ (TTU)

۲ موازی ساز

۳ فیکسچر نمونه آزمون

۴ نمونه آزمون

۵ دی‌کلیماتور[1] ساز سمت تصویر

۶ ریل لغزنده تحلیل گر تصویر

۷ تحلیل گر تصویر

Z محور مرجع

$\acute{\omega}, \omega$ زوایای میدان شییء و تصویر

شکل ۴- شمایی از چیدمان آزمون : شییء و تصویر در بی نهایت

[1] -Decollimator

مثال

اگر از یک شکاف به عنوان هدف آزمون استفاده شود، بهتر است پهنای آن روی طول موثر ثابت بماند. رواداری نوعی توازی لبه های شکاف ٪۲ پهنای متوسط آن است و زبری لبه نباید از ٪۱۰ این پهنای متوسط بیشتر شود. همان طور که رواداری خود شکاف باید مشخص شود، لازم است که مقدار عبور دهی سطح اطراف شکاف نیز معین باشد. بسته به درستی مورد نیاز، نسبت شار تابشی کل از سطح باز شکاف به شار تابش کل از محیط تاریک نباید از یک ضریب معلومی کمتر باشد. ضریب ۱۰۰۰ معمولاً برای اغلب دستگاه های اپتیکی مناسب است.

به منظور این که امکان انجام اندازه‌گیری های OTF در سمت های مختلف وجود داشته باشد باید امکان تغییر جهت هدف های آزمون متقارن به طور غیر چرخشی نیز وجود داشته باشد. برخی از دستگاه های تصویرساز، تصویر هدف های آزمون را می چرخانند، بنابراین یک تنظیم ظریف[1] برای چرخاندن تصویر هدف آزمون یا بخش آنالیز کننده به منظور قرار گیری در جهت مناسب تحلیل می تواند لازم باشد.

برای این که بتوان شرط لازم برای یک ناحیه هم صفحه[2] را ارزیابی و برآورده کرد، باید وسعت هدف آزمون قابل کنترل باشد.

۴-۴-۳-۳ پرتودهی[3]

گسیل طیفی و توزیع تابش فضایی کلی منبع، باید در حین اندازه‌گیری ها ،ثابت و بدون اغتشاش باقی بماند.

هدف آزمون ،باید در جهت صفحه ها پرتودهی شود یا به طور یکنواخت تحت تابش قرار گیرد.

برای دست یابی به توزیع طیفی مطلوب و جلوگیری از آسیب دیدن هدف آزمون به خاطر افزایش دما می توان از فیلترهایی استفاده کرد.

می توان پرده های تابشی[4]، پخش کننده ها[5] ، منحرف کننده های محدود یا اجزای دیگری را برای دست یابی به توزیع زاویه ای لازم به کار برد.

تابش خروجی از هدف آزمون باید به اندازه کافی ناهمدوس باشد. در اغلب موارد ناهمدوسی مطلوب هنگامی که دهانه عددی[6] چگالنده[7] در سمت هدف آزمون دو برابر بزرگی آن در سمت نمونه آزمون باشد، حاصل می شود.

---

[1] - Fine
[2] - Isoplanatic
[3] - Irradiation
[4] - Radiating Screens
[5] - Diffusers
[6] - Numerical Aperture
[7] - Condenser

ضمناً ناهمدوسی را می توان با افزودن یک پخش کننده بین منبع و هدف آزمون در مجاورت هدف نیز به دست آورد. اگر هدف آزمون خود-تابان[1] (مثلاً یک سیم ملتهب) باشد، شرط ناهمدوسی همواره برآورده است.

یک آزمون برای تعیین این که آیا پرتودهی هدف به قدر کافی ناهمدوس است، آن است که یک صفحه فاز بین منبع نور و هدف آزمون در مجاورت هدف قرار دهیم و بررسی نماییم که MTF یا PTF[2] اندازه‌گیری شده تغییر نمی یابد.

۴-۴-۴ نصب نمونه آزمون

نمونه آزمون باید نسبت به هدف آزمون قابل چرخش باشد ،طوری که بتوان آن را در زوایای مرجع مختلف تحت بررسی قرار داد.

همراستایی سازه نصب شده به میز با نمونه آزمون، به ویژه در جایی که واسطه ها [3] بین سطح نمونه و سطح قید قید و بند نصب می شوند، باید مورد ارزیابی قرار گیرد.

۴-۴-۵ سیستم ارزیابی تصویر

سیستم ارزیابی تصویر، شامل تحلیل گر تصویر و دستگاه پردازش سیگنال مربوط به آن می باشد که برای ارزیابی OTF به کار می رود. معمولاً دستگاه های ارزیابی تصویر به دو صورت اصلی به کار می روند. در یکی از آن ها تبدیل فوریه آنالوگ مستقیم[4] به وسیله روبش توزیع تابندگی تصویر الگوی شکاف آزمون[5]، با بسامد فضایی متغیر تحلیل گر، انجام می شود. روش دوم توزیع تابندگی تصویر الگوی شکاف آزمون را اندازه‌گیری می-کند و OTF، یعنی طیف بسامد فضایی صفحه تصویر به طور مناسب بهنجار شده، را محاسبه می کند. دقت شود که آشکار ساز تابش در آنالیزر تصویر و مدارهای پردازش سیگنال باید در محدوده های خطی آن ها عمل کنند. بعد از اعمال اصلاحات با به حساب آوردن طیف بسامد فضایی هدف آزمون و دیگر عامل ها، نتیجه OTF یا MTF نمونه آزمون است (بخش ۵ را ببینید). دقت تحلیل بسامد باید به قدری باشد که درستی اندازه‌گیری کلی لازم حفظ شود.

قطعه تحلیل کننده معمولاً یک شکاف، یک لبه، یا یک توری است که ابعاد و جهت آن ها مطابق با تصویری که مورد تحلیل قرار گرفته قابل تنظیم می باشد.

---

[1] - Self-luminous
[2] -phase Transfer Function
[3] - Adaptors
[4] - Direct Analogue Fourier Transformation
[5] - Slit Test Pattern

روبش از حرکت نسبی قطعه تحلیل‌گر نسبت به تصویر تاثیر می پذیرد. در صورتی که مشخصه های زمانی و غیر هم صفحه‌گی[1] نمونه آزمون منجر به هیچ اندازه‌گیری نادرستی نشود و ضریب مقیاس بندی موضعی[2] مشخص باشد، هدف آزمون و یا قطعه تحلیل گر می تواند قسمت متحرک باشند.

طول روبش باید آنقدر باشد، تا همه اطلاعات لازم برای محاسبه OTF با درستی مورد نیاز از تصویر به دست آید (بخش ۵-۳-۵ را ببینید).

حساسیت طیفی و زاویه ای آشکار ساز تابشی باید معلوم باشند و در شرایط اندازه گیری مشخص شود و تحلیل گر نباید عامل محدود کننده ای روی تنظیم دهانه خروجی نمونه آزمون باشد.

پیش بینی ها باید به گونه ای باشد تا این اطمینان حاصل شود که غیر همگنی ها، غیر خطی بودن و ناپایداری آشکار ساز تاثیر قابل ملاحظه ای بر روی درستی اندازه گیری نگذارد. به عنوان مثال، منابع تغذیه باید پایدار باشند، و اثرات تغییرات موضعی در حساسیت صفحه فوتوکاتد با استفاده از پخش کننده برطرف شود. تاثیر تابش های الکترومغناطیسی قوی نیز باید در نظر گرفته شود.

تابش عبوری از محیط تاریک اطراف قطعه تحلیل گر که به آشکار ساز برخورد می کند باید در مقدار کمینه ای نگه داشته شود. بسته به درستی اندازه گیری مورد نیاز، در گستره طیفی معین، انرژی منتقل شده توسط سطح باز[3] باید حداقل به اندازه ۱۰۰۰ برابر بیشتر از انرژی منتقل شده از محیط تاریک اطراف باشد.

اگر طیف بسامد فضایی تصویر به وسیله یک فیلتر الکتریکی آنالوگ تحلیل شود، پهنای باند فیلر باید آنقدر باریک باشد تا طیف بسامد فضایی OTF را تفکیک نماید. اگر تحلیل طیفی با استفاده از چند فیلتر صورت پذیرد، باید ویژگی های فیلتر، نظیر بهره و فاز در داخل باند عبوری[4] برای همه فیلترها همسان سازی یا اصلاح شود.

۶-۴-۴ سیستم های تصویر ساز کمکی

اگر یک سیستم تصویرساز کمکی مثل موازی ساز که شامل نمونه آزمون است، برای شبیه سازی فاصله های شیئی بلند یا به عنوان بخشی از تحلیل گر تصویر به کار برده شود، باید انحراف جبهه موج آن در گستره طیفی موثر، آنقدر کوچک باشد که در مقایسه با مقدار مورد انتظار برای نمونه آزمون، قابل صرفنظر کردن باشد (مثلاً با یک ضریب ۱/۱۰) . موازی ساز نباید دهانه های ورودی یا خروجی نمونه آزمون را محدود کند.

---

[1] - Nonisoplanatism

دستگاه هم صفحه ای دستگاه تصویرسازی است که با دقتی مشخص تابع پخشیدگی نقطه ای آن مستقل از موقعیت چشمه نقطه ای مزدوج در صفحه جسم می باشد.

[2] - Local Scaling Factor

[3] - Open Area

[4] - Pass Band

اگر از یک عدسی شیئی میکروسکوپ برای بزرگ نمودن تصویر قطعه آزمون استفاده شود، باید دقت شود که اندازه دهانه عددی به قدری بزرگ باشد که در اندازه گیری ها، بر روی محور و خارج محور، از سایه افکنی جلوگیری کند. یعنی ابیراهی آن در مقایسه با ابیراهی نمونه آزمون کوچک باشد.

اگر سیستم های تصویرساز کمکی به طور ناهمدوس جفت شده استفاده شود، به عنوان مثال وقتی تصویر لامپ های تقویت کننده شدت مورد آزمون قرار می گیرند، OTF آن ها باید معلوم باشد تا بتوان تاثیر آن ها بر روی OTF اندازه گیری شده را با استفاده از قانون ضرب تصحیح کرد.(معادله ۱ ملاحظه شود.) اگر در شرایط کاربردی، قطعات اپتیکی کمکی، نظیر پنجره ها و یا شیشه شطرنجی[1]، بین میدان شیئی و میدان تصویر قطعه آزمون وجود داشته باشند، این قطعات باید در ابزار اندازه گیری قرار گرفته یا شبیه سازی شده باشند.

باید مطمئن شد که، قابلیت عبور قطعات تصویرساز جانبی با دیگر ویژگی های طیفی مورد نیاز سازگار باشد.

۵ روش های اجرایی اندازه‌گیری

۵-۱ کلیات

قبل از اندازه گیری واقعی، شرایط اندازه گیری که یک حالت I خاص نمونه آزمون را مشخص می کند، باید با مقادیر تعیین شده هماهنگ باشد. میزان دقتی که با آن تنظیمات انجام گرفته باید یادداشت شود و تاثیر آن ها بر روی درستی اندازه گیری کل بررسی شود.

بعد از اندازه گیری ممکن است با در نظر گرفتن اصل اندازه گیری و ابزار اندازه گیری به کار رفته تصحیحاتی لازم باشد. اعمال چنین تصحیحاتی بعداً در بند ۶ شرح داده می شود.

۵-۲ برقراری شرایط اندازه گیری

۵-۲-۱ کلیات

ملاحظات کلی اعمال شده برای برقراری شرایط اندازه گیری و تاثیر آنها بر درستی اندازه گیری، در بندهای ۵-۲-۲ تا ۵-۲-۶ ارائه شده است. در این بندها شرایط اندازه گیری برای همه سیستم های تصویرساز مشابه در نظر گرفته شده است. در مورد الزامات خاص برای سیستم های ویژه به استاندارد شماره ۱-۱۶۱۵۰ مراجعه شود.

۵-۲-۲ شرایط محیطی

عوامل محیطی مثل دما، رطوبت و فشار هوا بخشی از شرایط اندازه گیری می باشند. لازم است قبل از شروع آزمایش، از این که این عوامل در محدوده های قابل قبولی هستند، اطمینان حاصل نمود.

نمونه آزمون باید عاری از غبار و اثر انگشت باشد.

---

[1] - Graticules

شیشه شطرنجی مدرجی که در سطح کانونی تلسکوپ و سایر وسایل دارای عدسی قرار داشته و برای اندازه گیری اشیا به کار می رود.

۵-۲-۳ ویژگی های طیفی

توزیع طیفی تابش هدف آزمون و پاسخ طیفی تحلیل گر تصویر باید مطابق با شرایط اندازه گیری مورد نیاز تنظیم شود، این تنظیم به طور مثال می تواند با استفاده از فیلترهای مناسب انجام شود.

اگر نمونه آزمون، تابش فرودی را به تابشی با توزیع طیفی کاملاً غیر مرتبط تبدیل نمی نماید (همان طوری که با سیستم های تصویرساز الکترو اپتیکی انجام می شود) کافی است تمام ویژگی های حاصل از ترکیب منبع، آشکار ساز، فیلتر و سایر قطعات جانبی به کار گرفته شده، مشخص باشند.

۵-۲-۴ توزیع زاویه ای و اهمیت دهانه

توزیع زاویه ای تابش فرودی بر روی نمونه آزمون باید با استفاده از منابع و یا پخش کننده های مناسب به صورت مورد نیاز شکل گیرد. باید دقت شود که تنها تابش از طریق دهانه ورودی نمونه آزمون محدود شود. ضمناً، پاسخ زاویه ای تحلیل گر تصویر باید شرایط اندازه گیری تعیین شده را برآورده نماید.

۵-۲-۵ اندازه تصویر، بزرگ نمایی

به طور معمول تنظیم اندازه تصویر و کانونی شدن تقریباً به یکدیگر وابسته می باشند.

اگر یک سیستم عدسی یا آینه در فاصله های متناهی تحت آزمون قرار گیرند، اندازه تصویر، یا فاصله شیئ-تصویر یا فاصله کانونی راس پشتی[1] باید مشخص باشند. اگر بزرگ نمایی و موقعیت صفحات گرهی[2] مشخص باشند، موقعیت شیئ و تصویر متناظر را می توان با استفاده از معادله عدسی نیوتن محاسبه نمود.

اگر یک سیستم عدسی یا آینه در فاصله های متناهی تحت آزمون قرار گیرند، موقعیت اندازه‌گیری باید مطابق بند ۴-۴-۲ باشد.

اگر نمونه آزمون یک قطعه تصویر ساز الکترواپتیکی باشد (مثلاً تقویت کننده تصویر) اندازه تصویر با روش های مناسب تعیین می شود. اندازه های تصویر هر یک از سیستم های اپتیکی کمکی که شامل سیستم اندازه گیری است باید به طور مستقل از یکدیگر تنظیم شوند. اگر نمونه آزمون یک سیستم تصویر ساز شامل مجموعه ای از چند بخش اپتیکی و الکترواپتیکی باشد، اندازه تصویر هر بخش مجزا تنظیم جداگانه ای، لازم دارد.

یادآوری ۱- وقتی از هدف های آزمون تکراری استفاده می شود، ضریب اندازه گذاری موقعیتی بسامد فضایی را می توان از یک اندازه گیری دقیق از روی تکرار آنها در صفحه تصویر تعیین نمود.

[1] - Back Vertex Focal Distance
[2] - Nodal Planes

۵-۲-۶ کانونی شدن

معیار کانونی شدن بخشی از شرایط اندازه گیری می باشد و اغلب برای تخمین صفحه مبنا[1] به کار برده می شود. کانونی شدن نباید اندازه تصویر را به وسیله درستی اندازه گیری مورد نیاز خیلی بیشتر از حد مجاز تغییر دهد.

به عنوان مثال، میزان کانونی شدن می تواند به شکل زیر باشد :

الف- نمونه آزمون روی محور تا مقدار بیشینه MTF در یک بسامد فضایی معین، (r_o) متمرکز می شود. در عمل این معیار را می توان با فرض این که سطح مبنا در وسط مسیر مابین دو صفحه واقع است، انجام داد تا جایی که MTF با درصد تعیین شده از مقدار بیشینه (r_o) MTF روی دهد.

ب- برای یک نمونه آزمون، با آستیگماتیسم و انحنا میدان، می توان یک سطح اندازه گیری بهینه مشخص کرد. این سطح باید با اندازه گیری های اولیه MTF در صفحات و موقعیت های متفاوت و با هدف آزمون در جهات مختلف تعیین شود و سپس با استفاده از قوانین مشخص به طور مناسب میانگین گیری شود.

پ- بهینه سازی با استفاده از دیگر مشخصات وضوح، نظیر شدت قله (تابع پخشیدگی خط) LSF[2] شیب لبه، پهنای باند فضایی و غیره حاصل می شود.

۵-۳ دیگر ملاحظات اندازه گیری

۵-۳-۱ کلیات

اندازه گیری های OTF تحت تاثیر پارامترهای دیگری نیز قرار دارد. بنابراین، ضروری است که تنظیم این پارامترها صحیح باشد. مهم ترین پارامترها در بند ۵-۳-۲ تا ۵-۳-۹ بیان می شوند.

۵-۳-۲ گستره خطی نمونه آزمون

نمونه آزمون باید در گستره خطی اش عمل کند. این موضوع را می توان برای اغلب سیستم ها با تغییر تابندگی ورودی با یک ضریب، مثلا ۵، مورد بررسی قرار داد. مقادیر OTF اندازه گیری شده، که به طور خودکار بهنجار شده اند، نباید بیش از رواداری با درستی اندازه گیری مورد نیاز تغییر کند.

اگر یک سیستم تصویر ساز در یک حالت غیرخطی رفتار کند، باید از روش های خاصی که در استاندارد شماره ۱-۱۶۱۵۰ ارائه شده است، برای تعیین این انحراف استفاده نمود.

[1] - Datum Plane
[2] - Line Spread Function

اگر گستره خطی در مرز پایین آن توسط یک سطح غیر صفر مقید شده باشد، مانند سیستم های ویدیویی، بهتر است OTF با استفاده از اختلالات سیگنال تصویراندازه‌گیری شوددرچنین حالاتی امکان دارد شامل سیگنال های مثبت و منفی باشند. مثالی از این اثرات جفت شدگی ac در سیستم های ویدیویی است .

نتیجه چنین پدیده هایی آن است که مدولاسیون[1] OTF که از تابع پخشیدگی اندازه گیری شده ارزیابی می شود، بیشینه اش در بسامد فضایی صفر وجود ندارد. برای انتخاب یک توافق ممکن در مورد روش بهنجارش، قراردادی باید اتخاذ شود که با آن OTF به نزدیک ترین بسامد به بسامد فضایی صفر (یا برابر) بهنجار شود، تا ضرایب تبدیل فوریه تابع پحشیدگی اندازه گیری شده به مقدار کمینه ای برسد. با این روش، به نزدیک ترین توافق با حالت قراردادی خواهیم رسید.

۵-۳-۳ ناحیه هم صفحه

ابعاد هدف آزمون به کار رفته شده، نباید از اندازه ناحیه هم صفحه نمونه آزمون بیشتر شود. این الزام را می توان با اندازه گیری OTF در اندازه کامل و نیمه الگوی آزمون، مورد ارزیابی قرار داد. اگر دو OTF دارای مقادیر مساوی در محدوده رواداری بدست آمده از درستی اندازه گیری لازم باشد، می توان فرض کرد که این الزام برآورده شده است .

۵-۳-۴ نوفه با الگوی ثابت

صفحه تصویر هدف ازمون می تواند شامل نوفه با الگوی ثابت باشد، به عنوان مثال، به وسیله اندازه ذرات صفحات فسفری یا صفحات پخش کننده نور. هدف آزمون و قطعه تحلیل کننده به قدر کافی باید بزرگ باشد تا اثرات نوفه الگوی ثابت روی اندازه گیری در نظر گرفته نشود. اگر در حضور نوفه با الگوی ثابت، اندازه هدف آزمون به نصف تقلیل یابدبدون اینکه تاثیری بر OTF اندازه گیری شده داشته باشد آنگاه تاثیر نوفه الگو ثابت مهم نمی شود.

۵-۳-۵ مساحت تحلیل شده

مساحت صفحه تصویر مورد تحلیل به کیفیت تصویر ایجاد شده نمونه آزمون و درستی اندازه گیری لازم وابسته است. اگر سطح تحلیل شده خیلی کوچک باشد، خطای قطع ایجاد خواهد شد چون فرض می شود که تابع پخشیدگی نقطه ای در خارج از سطح تحلیل شده، دارای مقدار صفر خواهد بود. از طرف دیگر، اگر سطح تحلیل شده خیلی بزرگ باشد، خطاهای دیگری می توانند ایجاد شوند (مثلاً از روشنایی زمینه).

[1] - Modulus

یادآوری - هنگامی که تابع پخشیدگی لبه ای[1] (ESF) قابل دسترسی باشد، اگر سطح تحلیل شده به قدر کافی بزرگ باشد، امکان بررسی آن وجود دارد به طوری که ESF به صورت یک خط افقی مستقیم شروع شده و خاتمه پیدا می کند.

۵-۳-۶ تابش زمینه

روشنایی زمینه بخشی از تابش خروجی یا سیگنال خروجی است که توسط شییء تحت بررسی به وجود نمی آید بلکه به وسیله نور پیرامون یا توسط جریان تاریک در دستگاه های تصویر ساز الکترواپتیکی ایجاد می شود. وقتی بسامد فضایی از مقدار صفر اسمی اش بیشتر می شود، تابش زمینه باعث ایجاد افت سریعی در MTF اندازه گیری شده می شود.

سیستم اندازه گیری همواره باید تا جای ممکن از نور زمینه محافظت شود، تابش زمینه جریان تاریکی ایجاد می کند که در سیگنال اندازه گیری شده به شکل یک سیگنال زمینه اضافی خود را نشان می دهد. با تغییر تابندگی الگوی آزمون باید OTF نزدیک به بسامد فضایی صفر بدون تغییر باقی بماند. چنانچه مجاز است، اگر سیگنال زمینه بر سیگنال اندازه گیری شده بیش از آنچه صحت اندازه گیری اجازه می دهد، تاثیر بگذارد باید قبل از انجام تبدیل فوریه آن را کم نمود (یا منها شود). همچنین وقتی که طیف سیگنال اندازه گیری شده شامل سیگنال زمینه باشد و همچنین طیف ترکیبی سیگنال زمینه به تنهایی قابل دسترسی باشد، در این صورت می توان سیگنال زمینه را حذف نمود. در این مورد، طیف زمینه ترکیبی باید از طیف اندازه گیری شده ترکیبی کاسته شود.

۵-۳-۷ درخشش پنهان[2]

به طور کلی، جداسازی دقیق جریان OTF ایجاد شده با انحراف و درخشش پنهان غیر ممکن است.باقی مانده در MTF اندازه‌گیری شده هنگامی که بسامد فضایی از مقدار صفر ظاهری‌اش افزایش می یابد، بعد از تصحیح تابش زمینه ،می تواند نشان از درخشش پنهان داشته باشد. (به بند ۶-۱ مراجعه شود.)

۵-۳-۸ موازی بودن تصویر و قطعه تحلیل کننده

اگر الگوی آزمون به شکل اهداف میله ای شکل یا دیگر ساختارهای شئ غیر چرخشی نامتقارن باشند، تصویر الگوی آزمون و قطعه تحلیل کننده باید موازی یا با جهت گیری معین نسبت به یکدیگر قرار گرفته باشند.

به عنوان مثال، این تنظیم را می توان با مشاهده تصویر هدف آزمون بین یک میکروسکوپ قرار گرفته در مجاورت قطعه تحلیل کننده یا با بهینه مقادیر MTF اندازه گیری شده در یک بسامد فضایی بالا موقعی که هدف آزمون یا قطعه تحلیل کننده چرخانده می شود، انجام گیرد.

---

[1] - Edge Spread Function
[2] - Veiling Glare

یادآوری- به ویژه چرخش تصویر قابل اندازه گیری را می توان با استفاده از سیستم های تصویر ساز الکترواپتیکی انجام داد (استاندارد ۱-۱۶۱۵۰ را ببینید).

۵-۳-۹ نسبت سیگنال به نوفه

منابع نوفه که OTF اندازه گیری را کاهش می دهند شامل :

الف- نوفه ایجاد شده در آشکار ساز تابش و مدارهای تولید کننده سیگنال؛

ب- نوفه کوانتومی تابش فرودی؛

پ- در مورد سیستم های تصویرساز الکترواپتیک، منابع نوفه داخلی نمونه آزمون؛

ت- نوفه الگوی ثابت؛

با ترکیب های یک پارچه زمانی و فضایی می توان بر تاثیر این منابع نوفه غلبه کرد.

به منظور کمینه کردن مشکلات ناشی از نوفه، سطح الگوی آزمون، تابندگی و اندازه قطعه آنالیز کننده باید تا حدی بزرگ باشد که محدوده فرکانس فضایی مورد انتظار، هم خط بودن، هم صفحه بودن نمونه آزمون و درستی اندازه گیری مورد نظر، اجازه دهد.

نسبت واقعی سیگنال به نوفه را می توان توسط پایش[1] سیگنال خروجی آشکارساز تابشی برآورد کرد. اگر از شکافی استفاده شود، می توان پهنای مطلوب شکاف را به منظور دریافت نسبت سیگنال به نوفه بهینه، انتخاب کرد. اگر r_m بیشترین بسامد فضایی اندازه گیری شده باشد، پهنای بهینه مفید شکاف، b_{opt} عبارتست از :

$$b_{opt} = \frac{1}{2} r_m$$

افت وخیز[2] ناشی از منبع تابش یا نور محیط می تواند موجب عدم درستی‌های مشابهی شود و باید تا جای ممکن، از آن ها جلوگیری نمود.

۵-۴ شرایط اندازه‌گیری ویژه

۵-۴-۱ سمت ها

در هر کدام از موقعیت های خارج محور، اندازه گیری عموماً در سمت شعاعی یا مماسی شیء آزمون انجام می گیرد. دیگر سمت ها (جهت 45°) را نیز می توان انتخاب کرد.

[1] - Monitoring
[2] - Ripple

۵-۴-۲ انتخاب ارتفاع های تصویر یا زوایای میدان

توصیه می شود که انداز ها از جدول ۲ انتخاب شوند.

در جدول ۲، $\acute{h}_{max}$ بیشینه ارتفاع تعیین شده تصویر و ω_{max} بیشینه زاویه میدان تعیین شده می باشند.

در جدول ۲ مجموعه ارتفاع های تصویر باید به منظور تطبیق میان نتایج OTF به کار رود. هرچند، برای کاربردهای خاص مجموعه متفاوتی از ارتفاع های تصویر ،می تواند انتخاب شود.

جدول ۲- مقادیر پیشنهادی ارتفاع تصویر و زاویه میدان

ارتفاع تصویر $\acute{h}$	زاویه میدان ω
۰	۰
۰٫۳ $\acute{h}_{max}$	۰٫۳ $tan \quad \omega_{max}$
۰٫۵ $\acute{h}_{max}$	۰٫۵ $tan \quad \omega_{max}$
۰٫۷ $\acute{h}_{max}$	۰٫۷ $tan \quad \omega_{max}$
۰٫۸۵ $\acute{h}_{max}$	۰٫۸۵ $tan \quad \omega_{max}$
$\acute{h}_{max}$	$\tan \omega_{max}$

۵-۴-۳ زوایای مرجع نمونه آزمون

وقتی که نمونه های آزمون به طور متداول در تقارن چرخشی نباشد، OTF را می توان در یک ارتفاع تصویر معین نسبت به زاویه مرجع تغییر داد. در این مورد بهتر است اندازه گیری ها در محدوده زوایای مرجع ایجاد شوند.

باید زوایای مرجعی که ضریب انتقال مدولاسیون بیشینه یا کمینه را در (۰٫۷ $tan \quad \omega_{max}$) ۰٫۷ $\acute{h}_{max}$ برای یک بسامد فضایی معین r_o ارائه می‌دهند، تعیین شوند. r_o اغلب کوچکتر از بسامد فضایی استفاده شده به منظور کانونی شدن می‌باشد.

تا هنگامی که اختلاف مقادیر کرانه های MTF های اندازه گیری شده کمتر از یک ضریب معین برای هر سیستم تصویرساز باشد، می توان سیستم تصویرساز را برای هر زاویه $\emptyset_o$ که همان مقدار MTF در

($\pm$.٫۷ $\acute{h}_{max}$ (.٫۷ $tan\ \ \omega_{max}$ دارد، آزمود. در غیر این صورت بهتر است، سیستم را برای چند زاویه مرجع مربوط به نوع نمونه آزمون و کاربرد آن تحت آزمایش قرار داد. (به استاندارد ۱-۱۶۱۵۰ مراجعه شود.)

۶ تصحیحات داده های اندازه‌گیری

۶-۱ بهنجارش

هرچند طبق تعریف، OTF برای این که در بسامد فضایی صفر مقدار واحدی داشته باشد، بهنجار می شود اما اغلب انجام این کار در حین اندازه گیری به طور دقیق غیرممکن است. اگر ناحیه تحلیل شده اندازه محدود داشته باشد و هیچ مقدار OTF در بسامد فضایی صفر در اختیار نباشد، می تواند مشکل به وجود آورد.

هرچند، در صورتی که درخشش پنهان ایجاد شده توسط دستگاه تحت آزمون قابل چشم پوشی باشد و هیچ گونه خطای قطع نیز وجود نداشته باشد، می توان منحنی را با درستی اندازه گیری مورد نیاز، بهنجار کرد.

۶-۲ تصحیح مقیاس بسامد

وقتی اندازه گیری های خارج محور با یک هدف آزمون توری قرار گرفته در سطح کانونی یک موازی ساز انجام می گیرد، باید تصحیحی از مقیاس فرکانس انجام شود. اگر توری در سمت مماسی باشد مقیاس بسامد باید با یک ضریب $cos^2\omega$ و اگر توری در سمت شعاعی باشد با یک ضریب $cos\omega$ کاهش یابد. به علاوه ممکن است که تغییری در پهنای شکاف مورد نیاز باشد. هنگامی که سیستم ها خارج کانون تحت آزمون قرار می گیرند، تصحیحی لازم نیست.

۶-۳ تصحیح مدولاسیون اندازه‌گیری

دامنه های طیف های بسامد فضایی هم هدف آزمون و هم قطعه آنالیز کننده، نتیجه اندازه گیری را تحت تاثیر قرار می دهند. اگر این کار به طور خودکار توسط آنالیزور انجام نگیرد، تاثیر آن ها باید با تصحیح نتیجه اندازه گیری شده، حذف شوند.

مثال

برای یک شیء یا شکاف روبش کننده با پهنای شکاف b، نتیجه MTF اندازه گیری شده بدون تصحیح، $T_m(r)$ را می توان به شکل زیر تصحیح کرد :

$$T(r) = T_m(r)\left[\frac{sin(\pi rb)}{\pi rb}\right]^{-1}$$

که b وr مربوط به همان صفحه اندازه‌گیری می باشند.

اگر توری های غیر سینوسی به عنوان هدف آزمون استفاده شوند، همه بسامدهای فضایی به جز بسامد اصلی هدف باید حذف شوند یا باید با محاسبه، اثرات آنها را روی نتیجه اندازه‌گیری از بین برد.

۶-۴ دستگاه های تصویرساز کمکی

اگر عدسی های بازپخش‌کننده[1] در اندازه‌گیری MTF اجزای الکترواپتیکی یا سیستم های دیگری که جفت شدگی ناهمدوس بین اجزای آن ها وجود دارند، به کار گرفته شوند، نتیجه MTF بدون تصحیح اندازه گیری شده $T_m(r)$ را باید به وسیله تقسیم MTF ها بر $T_i(r)$ های $T_1(r)$، $T_2(r)$ و غیره، عدسی های تقویت کننده و دیگر اجزا تصحیح نمود.

$$T(r) = \frac{T_m(r)}{\pi T_i(r)} \qquad (۱)$$

۷ ارائه داده های OTF

۷-۱ کلیات

داده های OTF باید به شکل نمودارها یا جداولی همراه با جزییات شرایط اندازه‌گیری و درستی اندازه‌گیری برآورده شده آن ها، ارائه شوند.این کار باید مقایسه ای سریع و ساده از داده های OTF بین آزمایشگاه های گوناگون و با دستگاه های تصویرساز مشابه را تضمین نماید. بنابراین چندین شکل منتخب از نمایش پیشنهاد می گردند. نمایش خاص انتخاب شده به سیستم تصویرساز و شرایط اندازه گیری بستگی دارد و در استاندارد ۱-۱۶۱۵۰ مشخص می شود.

آنچه در زیر پیشنهاد می شوند تنها به داده های OTF ای که از اندازه گیری به دست آمده اند مربوط نمی شوند بلکه به داده های OTF محاسبه شده نیز ارتباط دارند. بنابراین می توان مقایسه ای ساده بین داده های OTF اندازه گیری شده و محاسبه شده به دست آورد.

۷-۲ بیان شناسایی و شرایط اندازه‌گیری

حالت تصویر ساز (حالت I) نمونه آزمون باید طوری مشخص باشد تا امکان تکرار پذیری شرایط اندازه گیری در هر آزمایشگاهی را به طور دقیق فراهم کند. بنابراین باید فهرست کاملی از مقادیر همه عواملی که شرایط اندازه-گیری را تعیین می نمایند، ارائه شده باشد.

گزارش باید شامل شاخصه های زیر باشند :

[1] - Relay Lens

الف- نام آزمایشگاه؛

ب- نوع نتایج (اندازه‌گیری؛ محاسباتی)؛

پ- ذکر مشخصات نمونه آزمون : نوع، تعداد و غیره؛

ت- فاصله کانونی؛

ث- عدد f یا دهانه عددی؛

ج- نشانه مرجع؛

چ- بیشینه ارتفاع تصویر، $\acute{h}_{max}$ یا بیشینه زاویه میدان ω_{max} ؛

ح- مقیاس تصویر و مقیاس تصویر موضعی[1] ؛

خ- صفحه مرجع؛

د – زاویه مرجع نمونه آزمون؛

ذ- داده های طیفی و زاویه ای تابش؛

ر- ارتفاع شیيء یا زاویه میدان؛

ز- سمت (مثلاً شعاعی، مماسی)؛

ژ- معیارکانونی شدن و صفحه مبنا؛

س- صفحه اندازه‌گیری؛

ش- گستره بسامد فضایی یا مجموعه ای از بسامدهای فضایی مجزا؛

ص- صفحه یا فضایی که در آن مقیاس بسامد فضایی به کار می رود.

بسته به نمونه آزمون، دیگر شرایط اندازه‌گیری باید گزارش شود. فهرستی از جزییات استاندارد ۱-۱۶۱۵۰ داده می شود.

این موارد می توانند شامل :

الف- هر قطعه اپتیکی افزوده شده؛

ب- دما، رطوبت و دیگر عوامل محیطی؛

پ- ولتاژهای اعمال شده روی هر بخش الکترواپتیکی باشند.

[1] - Local Image Scale

۷-۳ نمایش نموداری داده های OTF

OTF که می تواند به دو شاخه MTF و PTF تقسیم شود (به استاندارد ملی ۱-۱۶۱۵۰ مراجعه شود)؛ بهتر است به صورت یک شکل دو بعدی نمایش داده شود. در اغلب موارد فقط MTF در اختیار است و ارائه می شود. اگر هم MTF و هم PTF عرضه شوند می توان هر دو را با هم در یک نمودار یا در دو نمودار جداگانه نمایش داد. اگر احتمال هرگونه ابهامی وجود داشته باشد بهتر است از دو نمودار جداگانه استفاده شود.

پیشنهاد می شود که OTF به صورت تابعی از بسامد فضایی، ارتفاع تصویر، h ،یا زاویه میدان ω رسم شود. بهتر است استفاده از متغیرهای دیگر بر دستگاه های تصویرساز خاص یا کاربردهای خاص محدود شود.

توصیه می شود هر دو محور خطی باشند و از صفر آغاز شوند.

وقتی PTF را رسم می کنیم، بهتر است نقطه صفر (در بسامد فضایی صفر) در مرکز محور مختصات باشد. به این دلیل بهتر است PTF در محدوده $\pm 180^\circ$ $(\pm\pi)$ رسم شود. مقادیر PTF مثبت بهتر است یک انتقال مربوط به بسامدهای فضایی به سمت فواصل شعاعی یا زوایای میدان بزرگتر نشان بدهند.

قبل از رسم نمودار نابع PTF اندازه گیری شده جمله خطی آن باید کم شود (استاندارد ملی ۱-۱۶۱۵۰ را ببینید). به طوری که PTF در بسامد فضایی صفر با یک خط افقی آغاز می شود. اگر این کار صورت گیرد در بسامد فضایی صفر، مشتق PTF نسبت به بسامد فضایی، صفر خواهد شد. با وجود این که گاهی اوقات تعیین جمله خطی به طور دقیق مشکل می باشد، اما به خاطر این که مقایسه ها امکان پذیر باشد بهتر است تا جایی که ممکن است این کار انجام گیرد.

بسامد فضایی بر حسب mm^{-1} یا $mrad^{-1}$ بیان می شوند. زاویه میدان بر حسب $mrad$ و فواصل شعاعی بر حسب mm داده می شوند.

مقدار بیشینه متغیر عرض از مبدا توسط ۱، ۲ یا ۵ ضرب در 10^x بیان شود که x عددی صحیحی است که به دستگاه تصویر ساز و متغیر عرض از مبدا وابسته است . پیشنهادات مشروح تر در مورد دستگاه های تصویرساز خاص دراستاندارد ۱-۱۶۱۵۰ داده شده اند.

هنگامی که منحنی‌های OTF شعاعی و مماسی در یک نمودار نمایش داده می شوند بهتر است OTF شعاعی به صورت یک خط پیوسته و OTF مماسی به صورت خط چین رسم شوند. نمونه ای در پیوست الف نمایش داده شده است.

وقتی نتایج OTF به شکل نموداری نمایش داده می شوند شرایط اندازه گیری مربوط که در بند ۷-۱ فهرست شده اند نیز باید در داخل نمودار، مثلاً به صورت نموداری در گوشه ای از نمودار آورده شوند. علاوه بر این باید شامل درستی اندازه گیری نیز باشند.

۷-۴ نمایش عددی

نمایش عددی داده های OTF باید همان محدوده هایی را که برای نمایش نموداری ارائه شده بپوشاند (پیوست الف-۴ را ببینید).

۸ بررسی های درستی

تجربه به دست آمده در اندازه گیری OTF لزوم داشتن دقت زیاد در کالیبراسیون [1] و استفاده از تجهیزات برای اطمینان از درستی قابل قبول اندازه گیری را نشان می دهد. درستی اندازه گیری می تواند به تکرارپذیری تنظیمات عوامل متغیر بر روی نمونه آزمون نیز وابسته باشد.

ضمن اینکه درستی کل را می توان با استفاده از یک نمونه آزمون استاندارد مورد ارزیابی قرار داد، این موارد تنها در یک حالت I محدود عمل می کنند. برای تعیین دقت عوامل تابش‌سنجی[2] و هندسی و همچنین تعیین خطاهای احتمالی ناشی از اپتیک تقویت کننده و عوامل محیطی به آزمایشات اساسی تری نیاز است .

هنگام کالیبراسیون تجهیزات اندازه گیری OTF عوامل زیر لازم است در نظر گرفته شوند :

الف- عوامل تابش سنجی

۱- پاسخ طیفی[3]؛
۲- همدوسی نمونه آزمون؛
۳- خطی بودن؛
۴- محدوده کنترل؛
۵- نور سرگردان؛[4]
۶- نوسانات نور؛
۷- چگالی هدف آزمون.

ب- عوامل هندسی

۱- عرض، طول و راست بودن ساختار نمونه آزمون؛
۲- اندازه‌شناسی[5] میزکار؛
۳- تنظیم الگو و تحلیل گر؛
۴- درستی کانونی شدن.

پ- عوامل اپتیک کمکی

---

[1] - Calibration
[2] - Radiometric
[3] - Spectral Responsivety
[4] - Stray Light
[5] - Metrology

۱- موازی سازها؛
۲- اپتیک رله.

ت- عوامل محیطی

۱- اغتشاش جوی[1]؛
۲- دما؛
۳- رطوبت؛
۴- ارتعاش.

ث- وسیله‌های بازبینی[2]

۱- شکاف ها، هدف های آزمون؛
۲- عدسی های استاندارد و معیار؛
۳- صفحات فاز (برای آزمون های ناهمدوس) ؛
۴- فیلترهای رنگی و فیلترهایی با چگالی خنثی.[3]

[1] - Atmospheric Turbulence
[2] - Verification Devices
[3] - Neutral Density

پیوست الف

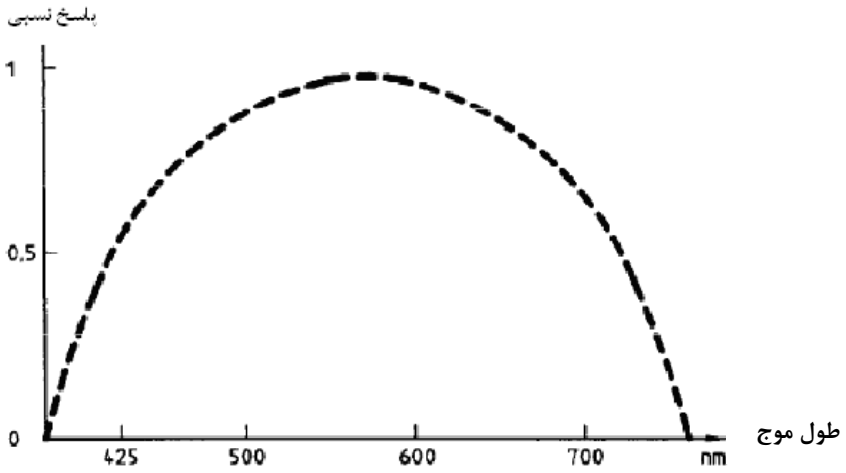
(اطلاعاتی)

مثالهایی از معرفی نمایش داده های OTF

الف-۱ مثالی از مشخصات حالت تصویر

آزمایشگاه	ISO
اندازه گیری ها	MTF و PTF
نمونه	خط هم شیب $f = ۳۵\ mm\ f/۲$
شماره سریال	۰۰۰۱۲۳
بیشینه ارتفاع تصویر $(\acute{h}_{max})$	۲۲ mm
اندازه تصویر	0
صفحه مرجع	فلنج اتصال عدسی
علامت مرجع	پیکان قرمز روی چارچوب دستگاه
زوایای مرجع	۰°، ۹۰°، ۱۸۰°، ۲۷۰°
داده های طیفی و زاویه ای	پاسخ طیفی A، شکل الف-۱
ارتفاع های تصویر	۰ $\acute{h}_{max}$ ،۰.۵ $\acute{h}_{max}$ ،۰.۷ $\acute{h}_{max}$ ،۰.۸۵ $\acute{h}_{max}$ ،۱/۰ $\acute{h}_{max}$
سمت	شعاعی و مماسی
معیار کانونی شدن (صفحه مبنا)	پیشینه MTF در ۲۰ mm^{-1} $\acute{h} = ۰\ mm$
پاسخ طیف	A
زاویه مرجع	0

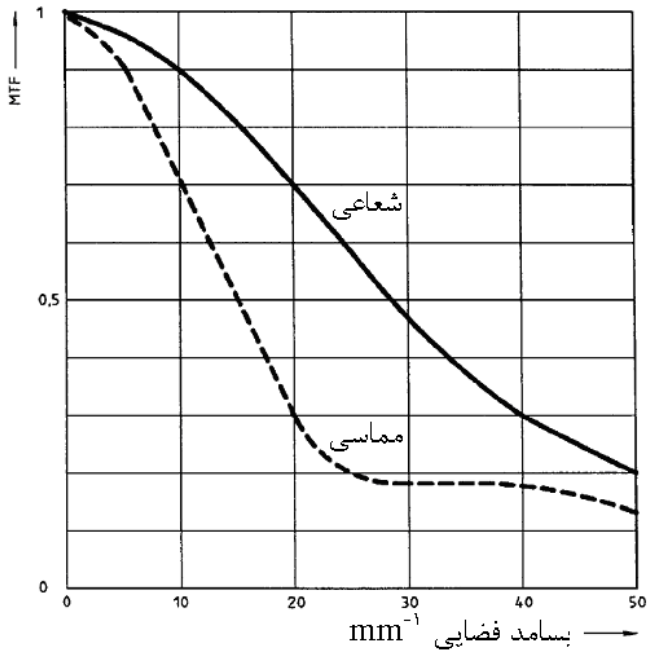
سمت	مماسی
صفحات اندازه گیری	صفحه مبنا، صفحه مبنا $+۵\mu m$ ، صفحه مبنا $-۵\ \mu m$
درستی اندازه گیری	$\pm$۰٫۰۳ برای MTF ، $\pm\ ۵^{\circ}$ برای PTF
بسامدهای فضایی مربوط به	صفحه تصویر
محدوده بسامد فضایی	$۰\ mm^{-1}$ تا $۵۰\ mm^{-1}$ با گام‌های $۱۰\ mm^{-1}$



شکل الف ۱- پاسخ طیف A سیستم اندازه گیری

الف-۲ مثالی از نمایش نموداری OTF به صورت تابعی از بسامد فضایی

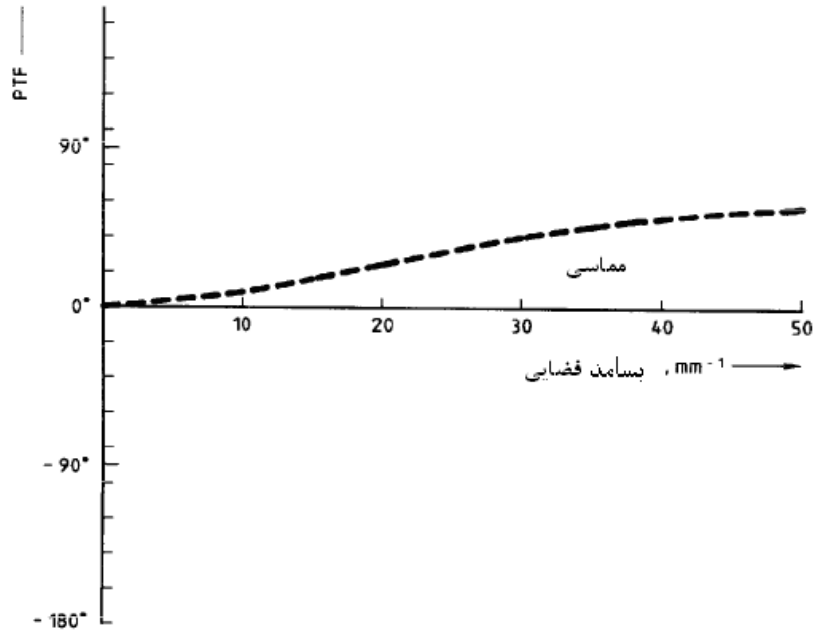
آزمایشگاه	ISO LAB
نوع نمونه	Isogon
شماره سریال	۰۰۰۱۲۳
زاویه مرجع	۲۷۰°
ارتفاع تصویر	۶ *mm*
سمت	مماسی و شعاعی
صفحه اندازه گیری	مبنا
پاسخ طیف	A
دهانه	*f*/۲



شکل الف ۲- MTF به صورت تابعی از بسامد فضایی

الف۳- مثالی از نمایش نموداری PTF به صورت تابعی از بسامد فضایی

آزمایشگاه	ISO LAB
نوع نمونه	Isogon
شماره سریال	۰۰۰۱۲۳
زاویه مرجع	۲۷۰°
ارتفاع تصویر	۶ *mm*
سمت	مماسی
صفحه اندازه‌گیری	مبنا
پاسخ طیف	A
دهانه	*f*/۲



شکل الف ۳- PTF به صورت تابعی از بسامد فضایی

الف- ۴ مثالی از نمایش عددی MTF و PTF

جدول الف ۱- مقادیر MTF و PTF به صورت تابعی از بسامد فضایی

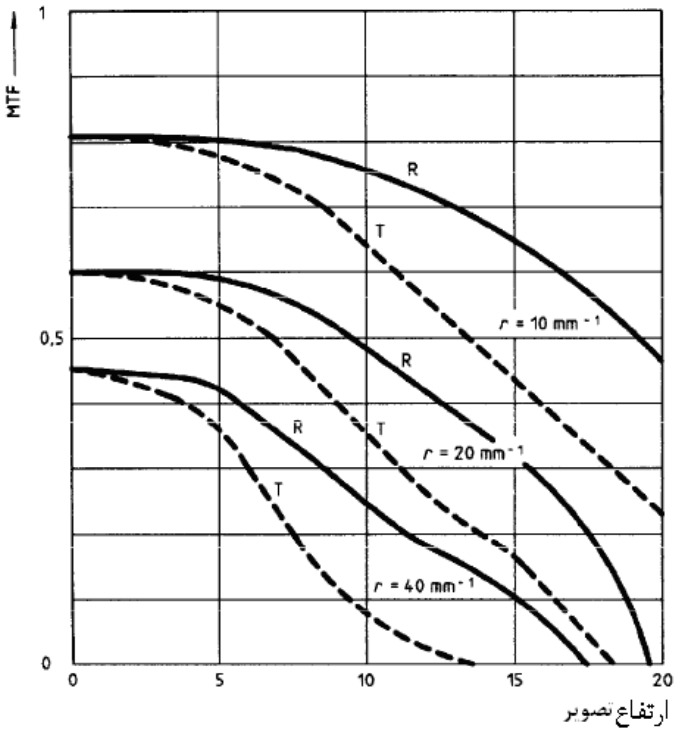
بسامد فضایی mm^{-1}	MTF(r) شعاعی	MTF(r) مماسی	PTF(r) درجه
۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۰
۱۰	۰٫۸۹	۰٫۷۲	۸
۲۰	۰٫۶۵	۰٫۳۱	۲۱
۳۰	۰٫۴۰	۰٫۱۸	۳۵
۴۰	۰٫۲۹	۰٫۱۸	۴۹
۵۰	۰٫۲۲	۰٫۱۳	۵۶

مشخصات و شرایط آزمایش

آزمایشگاه	ISO LAB
نوع نمونه	Isogon
شماره سریال	۰۰۰۱۲۳
زاویه مرجع	۲۷۰°
ارتفاع تصویر	۶ mm
سمت	مماسی و شعاعی
صفحه اندازه‌گیری	مبنا
پاسخ طیف	A
دهانه	$f/۲$

برای عوامل دیگر صفحه مشخصات را ببینید.

الف ۵- مثالی از نمایش نموداری MTF به صورت تابعی از ارتفاع تصویر



شکل الف ۴- MTF به صورت تابعی از ارتفاع تصویر

کتاب نامه

[1] استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۶۹۸ سال ۱۳۸۷ ، اپتیک و فوتونیک- درستی اندازه گیری تابع انتقال اپتیکی (OTF)

[2] استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۶۱۵۰ سال ۱۳۹۱، اپتیک وفوتونیک –تابع انتقال نوری-کاربرد قسمت۱ :عدسی های قابل تعویض برای دوربین های عکاسی ساکن35 mm