



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۴۹۵۴-۶۰۴

چاپ اول

۱۳۹۴

INSO  
14954-604  
1st. Edition  
2016

ویژگی‌های هندسی فرآورده (GPS)-  
بافت سطح: مساحتی - قسمت ۶۰۴:  
مشخصه‌های نامی دستگاه‌های غیر تماسی  
(تداخل سنجی روبشی همدوس)

**Geometrical product specifications  
(GPS)- Surface texture: Areal- part 604:  
Nominal characteristics of non-contact  
(coherence scanning interferometry)  
instruments**

ICS: 17.040.20

## به نام خدا

### آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی 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.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان مؤسسه صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود 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، مصرف کنندگان، صادرکنندگان، وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذینفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود 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 می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شود که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که مؤسسه استاندارد تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)<sup>۱</sup> کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)<sup>۲</sup> و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)<sup>۳</sup> است و به عنوان تنها رابط<sup>۴</sup> کمیسیون کدکس غذایی (CAC)<sup>۵</sup> در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، 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 نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمانها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمانها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آنها اعطا و بر عملکرد آنها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (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 Electro technical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metrology Legal)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

## کمیسیون فنی تدوین استاندارد

"ویژگی‌های هندسی فرآورده (GPS) - بافت سطح: مساحتی - قسمت ۶۰۴:  
مشخصه‌های نامی دستگاه‌های غیر تماسی (تداخل سنجی روبشی همدوس)"

### رئیس:

دشتی‌زاده ، مرتضی

(کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)

### دبیر:

علیمحمدی نافچی ، بهروز

(کارشناسی ارشد ریاضی)

سمت یا نمایندگی  
عضو کمیته فنی متناظر ISIRI/TC 213 (ویژگی‌های ابعادی و هندسی  
فرآورده و تأیید آن) و دبیر کمیته فنی متناظر ISIRI/TC 39

عضو کمیته فنی متناظر ISIRI/TC 213 و معاون ارزیابی انطباق  
اداره کل استاندارد استان چهارمحال و بختیاری

### اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

امینی بروجنی ، حمیدرضا

(کارشناسی فیزیک)

رئیس اداره اوزان و مقیاس‌های اداره کل استاندارد استان اصفهان

احمدی ، حامد

(کارشناسی مهندسی صنایع)

مدیر فنی و مهندسی واحد تولیدی قطعات خودرو تشگاز

اسماعیلی ، مهرباب

(دکترای ریاضی)

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد

پناهی بروجنی ، علی

(کارشناسی مهندسی مکانیک)

مدیر کنترل کیفیت و مسئول آزمایشگاه‌های تأیید صلاحیت شده  
کارخانجات برفاب

حیدریان ، شهرام

(دکترای ریاضی)

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد

حیدری ، غلامحسین

(دکترای فیزیک)

عضو هیئت علمی دانشگاه ملایر

خاکسار حقانی دهکردی ، فرهاد

(دکترای ریاضی)

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد

دایی جواد ، حسین

(کارشناسی مهندسی متالورژی)

کارشناس اداره کل استاندارد استان چهارمحال و بختیاری

کارشناس اداره کل استاندارد استان چهار محال و بختیاری	رهنما ، حکیمه (کارشناسی جغرافیا)
رئیس اداره مهندسی فرایند و کنترل تولید پتروشیمی مارون	رستمی چالشتری ، سیاوش (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)
معاون پژوهشی دانشگاه جامع علمی کاربردی مرکز پیام شهرکرد	سمیع ، حمید (کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)
کارشناس تحلیل استانداردهای محصول شرکت سایپا	عدولی ، علیرضا (کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)
عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی مالک اشتر	علیایی ، شهرام (کارشناسی ارشد فیزیک)
کارشناس سازمان صنعت، معدن و تجارت استان چهار محال و بختیاری	علیرضایی شهرکی ، منصور (کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)
رئیس تحلیل استانداردها و مدیریت مهندسی محصولات شرکت سایپا	غفاری ، مصطفی (کارشناسی مهندسی مکانیک)
مسئول اندازه شناسی، اوزان و مقیاس‌های اداره کل استاندارد استان چهار محال و بختیاری	فروزنده سامانی ، محمد (کارشناسی مهندسی برق)
عضو هیئت علمی و مدیر مرکز رشد واحدهای فناوری دانشگاه شهرکرد	کارگر ، عباس (دکترای مهندسی برق)
شرکت پروفیل پارسیان هرندی	لوح موسوی ، سمیرا (کارشناسی حسابداری)
مدیرکل استاندارد استان چهار محال و بختیاری	نظری دهکردی ، عبدا... (کارشناسی مهندسی صنایع)
مدیر مرکز رشد واحدهای فناور پارک علم و فناوری چهار محال و بختیاری	نوروزی ، عباس (کارشناسی ارشد شیمی تجزیه)

## فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
و	پیش‌گفتار
ز	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ اصطلاحات و تعاریف
۱	۱-۲ اصطلاحات و تعاریف مرتبط با تمامی روش‌های اندازه‌گیری بافت سطح مساحتی
۹	۲-۲ اصطلاحات و تعاریف مرتبط با سیستم‌های روبشی $x$ و $y$
۱۱	۳-۲ اصطلاحات و تعاریف مرتبط با سیستم‌های اپتیکی
۱۴	۴-۲ اصطلاحات و تعاریف مرتبط با خصوصیات اپتیکی قطعه کار
۱۵	۵-۲ اصطلاحات و تعاریف ویژه برای تداخل سنجی روبشی با میکروسکپ
۲۱	۳ توصیف کمیت‌های تأثیرگذار
۲۱	۱-۳ کلیات
۲۲	۲-۳ کمیت‌های تأثیرگذار
۲۴	پیوست الف (اطلاعاتی)- مرور کلی و اجزای میکروسکپ تداخل سنجی روبشی همدوس (CSI)
۳۰	پیوست ب (اطلاعاتی)- نظریه عملیات تداخل سنجی روبشی همدوس (CSI)
۴۱	پیوست پ (اطلاعاتی)- تفکیک‌پذیری فضایی
۴۶	پیوست ت (اطلاعاتی)- مثال روش اجرایی برای برآورد تکرارپذیری توپوگرافی سطح
۴۷	پیوست ث (اطلاعاتی)- ارتباط با مدل ماتریس GPS
۴۹	کتابنامه

## پیش‌گفتار

استاندارد "ویژگی‌های هندسی فرآورده (GPS)- بافت سطح: مساحتی- قسمت ۶۰۴: مشخصه‌های نامی دستگاه‌های غیر تماسی (تداخل سنجی روبشی همدوس)" که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوطه توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده و در دویست و هفتاد و هشتمین اجلاس کمیته ملی استاندارد اندازه‌شناسی، اوزان و مقیاس‌ها تاریخ ۱۳۹۴/۱۲/۱۱ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات سازمان ملی استاندارد ایران مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هرگونه پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استاندارد ارائه شود، در هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین برای مراجعه به استانداردهای ملی ایران باید همواره از آخرین تجدید نظر آنها استفاده کرد.

در تهیه و تدوین این استاندارد سعی شده است که ضمن توجه به شرایط موجود و نیازهای جامعه، در حد امکان بین این استاندارد و استانداردهای بین‌المللی و استاندارد ملی کشورهای صنعتی و پیشرفته هماهنگی ایجاد شود. منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد به کار رفته به شرح زیر است:

ISO 25178-604: 2013, Geometrical product specifications (GPS)- Surface texture: Areal-part 604: Nominal characteristics of non-contact (coherence scanning interferometry) instruments

این استاندارد، یکی از استانداردهای ملی ایران در رابطه با "ویژگی‌های هندسی فرآورده (GPS)"<sup>۱</sup> است و به عنوان یک استاندارد عمومی GPS در نظر گرفته می‌شود (به استاندارد ISO/TR 14638:1995 رجوع شود). این استاندارد بر پیوند زنجیره‌ای ۵ از زنجیره استانداردهای نیم‌رخ زبری، نیم‌رخ موجی، نیم‌رخ اولیه و بافت سطح مساحتی تأثیرگذار است.

طرح فراگیر ISO/GPS ارائه شده در استاندارد ISO/TR 14638:1995، مروری کلی از سیستم ISO/GPS را بیان می‌کند، به طوری که این استاندارد قسمتی از آن محسوب می‌شود. قواعد اساسی ISO/GPS ارائه شده در استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۲۱۱ برای این استاندارد به کار برده می‌شوند و قواعد تصمیم‌گیری پیش‌فرض ارائه شده در استاندارد ملی ایران شماره ۱-۹۹۷۳ در مورد ویژگی‌های تعیین شده مطابق با این استاندارد به کار می‌روند، مگر این که به نحوی دیگر مشخص شده باشد.

برای کسب اطلاعات بیشتر با جزئیات کامل در مورد رابطه این استاندارد با سایر استانداردها و با مدل ماتریس GPS به پیوست ۳ رجوع شود.

این استاندارد، مشخصه‌های اندازه‌شناسی میکروسکپ‌های تداخل سنجی روبشی همدوس که برای اندازه‌گیری نقشه‌های توپوگرافی سطح طراحی شده‌اند را توصیف می‌کند. برای کسب اطلاعات بیشتر با جزئیات کامل در مورد شیوه روبشی همدوس به پیوست‌های الف و ب رجوع شود.

**یادآوری** - بخش‌هایی از این استاندارد به خصوص بندهای اطلاعاتی، ممکن است سیستم و روش‌های همگانی را توصیف کند. این اطلاعات صرفاً برای کمک به کاربران در درک مبانی عملیات تداخل سنجی روبشی همدوس فراهم شده است. این استاندارد نه تنها به منظور ایجاد اولویت برای رعایت حقوق مالکیت معنوی در نظر گرفته نشده، بلکه ارائه گواهی‌نامه در راستای مالکیت فناوری‌هایی که ممکن است در این استاندارد توصیف شود را نیز در بر نمی‌گیرد.

# ویژگی‌های هندسی فرآورده (GPS) - بافت سطح: مساحتی - قسمت ۶۰۴: مشخصه‌های نامی دستگاه‌های غیر تماسی (تداخل سنجی روبشی همدوس)

## ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین مشخصه‌های اندازه‌شناختی سیستم‌های تداخل سنجی روبشی همدوس (CSI)<sup>۱</sup> برای نگاشت سه بعدی<sup>۲</sup> ارتفاع سطح است.

## ۲ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌روند.

### ۱-۲ اصطلاحات و تعاریف مرتبط با تمامی روش‌های اندازه‌گیری بافت سطح مساحتی

۱-۱-۲

#### areal reference

#### مرجع مساحتی

جزئی از دستگاه که سطح مرجع را نسبت به توپوگرافی سطح مورد اندازه‌گیری، ایجاد می‌کند.

۲-۱-۲

#### coordinate system of the instrument

#### سیستم مختصات دستگاه اندازه‌گیری

سیستم محورهای متعام راستگرد  $(x, y, z)$  می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

—  $(x, y)$  صفحه‌ای است که توسط مرجع مساحتی دستگاه ایجاد می‌شود (یادآوری می‌شود برخی دستگاه‌های اپتیکی وجود دارند که دارای راهنمای مساحتی فیزیکی نیستند).

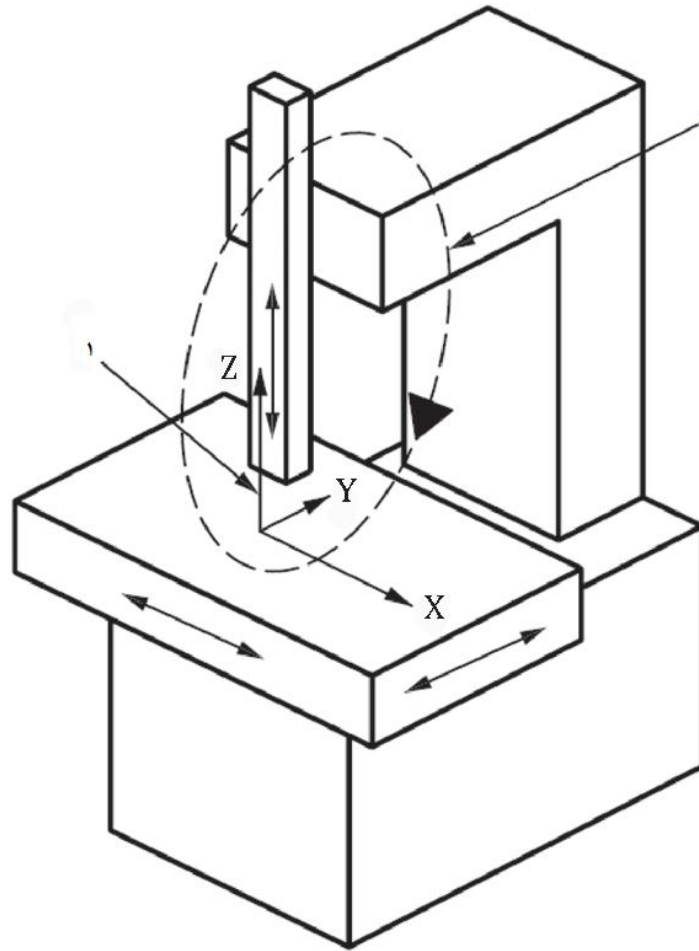
— محور  $z$  موازی با محور اپتیکی، نصب و بر صفحه  $(x, y)$  دستگاه اندازه‌گیری اپتیکی عمود است. محور  $z$  در صفحه خط سیر سوزنک<sup>۳</sup> قرار داشته و برای دستگاه اندازه‌گیری سوزنکی بر صفحه  $(x, y)$  عمود است (به شکل ۱ رجوع شود).

1- Coherence scanning interferometry (CSI)

2- 3D mapping

3- Stylus trajectory





راهنما

۱ سیستم مختصات دستگاه اندازه‌گیری

۲ حلقه اندازه‌گیری

شکل ۱- سیستم مختصات و حلقه اندازه‌گیری دستگاه

یادآوری ۱- معمولاً محور  $x$ ، محور ردیاب<sup>۱</sup> و محور  $y$ ، محور گام<sup>۲</sup> می‌باشد (این یادآوری برای دستگاه‌هایی که در صفحه افقی روبش<sup>۳</sup> می‌کنند کاربرد دارد).

یادآوری ۲- همچنین برای "سیستم مختصات ویژگی" به استاندارد ISO 25178-2:2012 بند ۳-۱-۲ و برای "سیستم مختصات اندازه‌گیری" به استاندارد ملی ایران شماره ۶-۱۴۹۵۴-۱-۳ رجوع شود.

۳-۱-۲

### measurement loop

### حلقه اندازه‌گیری

زنجیره بسته‌ای که در بر گیرنده تمامی اجزای متصل به قطعه کار و پروب از جمله وسایل موقعیت یاب، چفت و بست<sup>۴</sup> نگهدارنده کار، پایه اندازه‌گیری، واحد محرکه و سیستم پروب‌زنی می‌باشد.

- 
- 1- Tracing axis
  - 2- Stepping axis
  - 3- Scan
  - 4- Fixture

یادآوری - حلقه اندازه‌گیری در معرض اختلالات برونی و درونی می‌باشد که بر عدم قطعیت اندازه‌گیری تأثیر گذار است.

به شکل ۱ رجوع شود.

۴-۱-۲

#### real surface of a workpiece

#### سطح حقیقی قطعه کار

مجموعه خصیصه‌هایی که به طور فیزیکی وجود دارند و کل قطعه کار را از محیط اطراف جدا می‌کنند.

یادآوری ۱- سطح حقیقی، نمایش ریاضیاتی آن سطح می‌باشد که مستقل از فرایند اندازه‌گیری می‌باشد.

یادآوری ۲- همچنین برای "سطح مکانیکی" به استاندارد ISO 25178-2:2012 بند ۱-۱-۳ یا استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۳۴۲ سال ۱۳۹۳ بند ۱-۱-۳ و برای "سطح الکترو مغناطیسی" به استاندارد ISO 25178-2:2012 بند ۱-۱-۳ یا استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۳۴۲ سال ۱۳۹۳ بند ۲-۱-۳ رجوع شود.

یادآوری ۳- سطح الکترومغناطیسی در نظر گرفته شده برای یک نوع دستگاه اپتیکی، ممکن است با سطح الکترومغناطیسی برای انواع دیگر دستگاه‌های اپتیکی متفاوت باشد.

۵-۱-۲

#### surface probe

#### پروب سطح

وسیله‌ای که ارتفاع سطح در حین اندازه‌گیری را به یک سیگنال تبدیل می‌کند.

یادآوری- این اصطلاح در استانداردهای قبلی، "ترانسدوسر" نامیده شده است.

۶-۱-۲

#### measuring volume

#### حجم اندازه‌گیری

گستره دستگاه که محدوده‌های اندازه‌گیری در سه محور مختصات را بیان می‌کند.

یادآوری- برای دستگاه‌های اندازه‌گیری بافت سطح مساحتی، حجم اندازه‌گیری توسط گستره اندازه‌گیری واحدهای محرکه  $x$  و  $y$  و همچنین گستره اندازه‌گیری سیستم پروب‌زنی  $z$  تعریف می‌شود.

[منبع: استاندارد ملی ایران شماره ۶۰۱-۱۴۹۵۴-۱۳۹۲، بند ۱-۴-۳]

۷-۱-۲

response curve

منحنی پاسخ

$$F_x, F_y, F_z$$

نمایش گرافیکی تابع که رابطه بین کمیت واقعی و کمیت اندازه‌گیری شده را توصیف می‌کند.

یادآوری ۱- یک کمیت واقعی در  $x$  (به ترتیب  $y$  یا  $z$ ) با کمیت اندازه‌گیری شده  $x_M$  (به ترتیب  $y_M$  یا  $z_M$ ) متناظر می‌شود.

یادآوری ۲- منحنی پاسخ می‌تواند برای تنظیمات و تصحیح خطاها مورد استفاده قرار گیرد.

[منبع: استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۹۵۴-۶۰۱ سال ۱۳۹۲، بند ۳-۴-۲]

۸-۱-۲

amplification coefficient

ضریب تقویت

$$\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$$

شیب منحنی رگرسیون<sup>۱</sup> خطی که از منحنی پاسخ به دست می‌آید.

یادآوری ۱- ضرایب تقویتی وجود دارند که قابل کاربرد به کمیت‌های  $x$ ،  $y$  و  $z$  می‌باشند.

یادآوری ۲- پاسخ مطلوب، یک خط مستقیم با شیبی برابر با ۱ است که به معنای این است که مقادیر اندازه‌ده<sup>۲</sup> با مقادیر کمیت‌های ورودی برابر می‌باشند.

یادآوری ۳- همچنین برای "حساسیت سیستم اندازه‌گیری" به استاندارد ملی ایران شماره ۴۷۲۳ سال ۱۳۹۰، بند ۴-۱۲ رجوع شود.

[منبع: استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۹۵۴-۶۰۱ سال ۱۳۹۲، بند ۳-۴-۳ که یادآوری ۳ به آن اضافه شده است]

۹-۱-۲

instrument noise

نوفه دستگاه

$$N_i$$

نوفه داخلی دستگاه که به سیگنال خروجی دستگاه اضافه می‌شود، در صورتی که دستگاه به نحو مطلوب در محیطی عاری از نوفه قرار گرفته باشد.

یادآوری ۱- نوفه درونی می‌تواند از نوفه الکترونیکی از قبیل تقویت کننده‌ها یا نوفه اپتیکی از قبیل روشنایی هرز<sup>۳</sup> ناشی شود.

یادآوری ۲- این نوفه، نوعاً دارای بسامدهای بالایی است و قابلیت دستگاه را در شناسایی طول موج‌های فضایی با مقیاس کوچک بافت سطح محدود می‌کند.

یادآوری ۳- پالایه نوع S مطابق با استاندارد ملی شماره ۱۴۹۵۴-۳ ممکن است این نوفه را کاهش دهد.

1- Regression  
2- Measurand  
3- Stray

یادآوری ۴- برای برخی از دستگاه‌ها، نوفه دستگاه نمی تواند برآورد شود زیرا که دستگاه فقط در حال حرکت، داده برداری<sup>۱</sup> می کند.

۱۰-۱-۲

measurement noise

نوفه اندازه گیری

$N_M$

نوفه اضافه شده به سیگنال خروجی که به هنگام استفاده عادی از دستگاه رخ می دهد.

یادآوری ۱- یادآوری های ۲ و ۳ ارائه شده در بند ۲-۱-۹، برای این تعریف نیز کاربرد دارند.

یادآوری ۲- نوفه اندازه گیری شامل نوفه دستگاه نیز می شود.

۱۱-۱-۲

surface topography repeatability

تکرار پذیری توپوگرافی سطح

تکرار پذیری نقشه توپوگرافی در اندازه گیری های متوالی سطح یکسان که تحت شرایط اندازه گیری یکسان می باشد.

یادآوری ۱- تکرار پذیری توپوگرافی سطح، سنجه توافقی احتمالی بین اندازه گیری های تکرار شده را که معمولاً به عنوان انحراف معیار بیان می شود، فراهم می کند.

یادآوری ۲- برای مبحث عمومی "تکرار پذیری" و مفاهیم مرتبط با آن، به استاندارد ملی ایران شماره ۴۷۲۳ سال ۱۳۹۰، بندهای ۱۵-۳ و ۲۱-۳ رجوع شود.

یادآوری ۳- ارزیابی تکرار پذیری توپوگرافی سطح، روشی رایج برای تعیین نوفه اندازه گیری است.

۱۲-۱-۲

sampling interval in  $x$

بازه نمونه برداری در امتداد  $x$

$D_x$

فاصله بین دو نقطه اندازه گیری شده مجاور که در امتداد محور  $x$  قرار دارد.

یادآوری- در بسیاری از سیستم های میکروسکوپی، بازه نمونه برداری توسط فاصله بین اجزای حسگر<sup>۲</sup> در دوربین، موسوم به پیکسل<sup>۳</sup> تعیین می شود. برای چنین سیستم هایی، اصطلاحات گام پیکسل و فاصله بندی پیکسل غالباً به طور تغییر پذیری با اصطلاح بازه نمونه برداری مورد استفاده قرار می گیرد. اصطلاح دیگر، پهنای پیکسل است که طول تجمیع شده با یک طرف ( $x$  یا  $y$ ) مربوط به ناحیه حساس یک پیکسل را نشان می دهد و همیشه کوچک تر از فاصله بندی پیکسل است. همچنین اصطلاح دیگر، ناحیه نمونه برداری است که ممکن است به منظور نشان دادن طول یا ناحیه ای که طی آن نمونه ارتفاع تعیین می شود، مورد استفاده قرار می گیرد. این کمیت ممکن است بزرگ تر یا کوچک تر از بازه نمونه برداری باشد.

---

1- Takes data  
2- Sensor  
3- Pixel

۱۳-۱-۲

sampling interval in  $y$

بازه نمونه برداری در امتداد  $y$

$D_y$

فاصله بین دو نقطه اندازه‌گیری شده مجاور که در امتداد محور  $y$  قرار دارد.

**یادآوری-** در بسیاری از سیستم‌های میکروسکوپی، بازه نمونه برداری توسط فاصله بین اجزای حسگر در دوربین، موسوم به پیکسل تعیین می‌شود. برای چنین سیستم‌هایی، اصطلاحات گام پیکسل و فاصله‌بندی پیکسل غالباً به طور تغییر پذیری با اصطلاح بازه نمونه‌برداری مورد استفاده قرار می‌گیرد. اصطلاح دیگر، پهنا پیکسل است که طول تجمع شده با یک طرف ( $x$  یا  $y$ ) مربوط به ناحیه حساس یک پیکسل را نشان می‌دهد و همیشه کوچک‌تر از فاصله‌بندی پیکسل است. همچنین اصطلاح دیگر، ناحیه نمونه برداری است که ممکن است به منظور نشان دادن طول یا ناحیه‌ای که طی آن نمونه ارتفاع تعیین می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این کمیت ممکن است بزرگ‌تر یا کوچک‌تر از بازه نمونه برداری باشد.

۱۴-۱-۲

digitization step in  $z$

گام دیجیتال سازی در امتداد  $z$

$D_z$

کوچک‌ترین تغییر ارتفاع در امتداد محور  $z$  که بین دو عرض<sup>۱</sup> سطح استخراج شده قرار دارد.

۱۵-۱-۲

lateral resolution

تفکیک پذیری جانبی

$R_l$

کوچک‌ترین فاصله بین دو خصیصه که می‌تواند شناسایی شود.

[استاندارد ملی ایران شماره ۶۰۱-۱۴۹۵۴-۱۳۹۲، بند ۳-۴-۱۰ که کلمه "جدا سازی" قبل از کلمه "فاصله" حذف شده است]

۱۶-۱-۲

width limit for full height transmission

حد پهنا برای انتقال کامل ارتفاع

$W_l$

پهنای باریک‌ترین شیار مستطیلی که ارتفاع اندازه‌گیری شده آن از طریق اندازه‌گیری، بدون تغییر باقی می‌ماند.

**یادآوری ۱-** خصوصیات دستگاه (از قبیل بازه نمونه برداری در  $x$  و  $y$ ، گام دیجیتال سازی در امتداد  $z$  و پالایه قطع<sup>۲</sup> طول موج کوتاه) توصیه می‌شود به گونه‌ای انتخاب شوند که بر تفکیک‌پذیری جانبی و حد پهنا برای انتقال کامل ارتفاع تأثیرگذار نباشند.

1- Ordinate  
2- Cut-off filter

یادآوری ۲- به هنگام تعیین این پارامتر از طریق اندازه‌گیری، توصیه می‌شود عمق شیار مستطیلی به سطح مورد اندازه‌گیری نزدیک باشد.

[منبع: استاندارد ملی ایران شماره ۶۰۱-۱۴۹۵۴ سال ۱۳۹۲، بند ۳-۴-۱۱ که یادآوری‌ها تغییر کرده‌اند]

۱۷-۱-۲

**lateral period limit**

**حد دوره تناوب جانبی**

$D_{LIM}$

دوره تناوب نیم‌رخ سینوسی فضایی که طی آن پاسخ ارتفاع دستگاه ۵۰٪ افت می‌کند.

یادآوری ۱- حد دوره تناوب جانبی برای توصیف تفکیک‌پذیری فضایی یا جانبی دستگاه اندازه‌گیری توپوگرافی سطح، بر مبنای سیستم متریک است و قابلیت آن برای متمایز کردن و اندازه‌گیری خصیصه‌های سطح است که به طور نزدیک فاصله‌بندی شده‌اند. مقدار آن بستگی به ارتفاع‌های خصیصه‌های سطح و همچنین بستگی به روش مورد استفاده برای پروب سطح دارد. مقادیر بیشینه برای این پارامتر در مقایسه با مقادیر توصیه شده برای پلایه‌های طول موج کوتاه و بازه‌های نمونه برداری در استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۹۵۴-۳ جدول ۳ فهرست شده است.

یادآوری ۲- دوره تناوب فضایی با مفهوم طول موج فضایی یکسان است و معکوس بسامد فضایی می‌باشد.

یادآوری ۳- یکی از عوامل مرتبط با مقدار  $D_{LIM}$  برای ابزار اپتیکی، معیار رایلی<sup>۱</sup> است (به بند ۳-۳-۷ رجوع شود). عامل دیگر، میزان فوکوس عدسی شیئی<sup>۲</sup> بر روی سطح است.

یادآوری ۴- یک عامل مرتبط با مقدار  $D_{LIM}$  برای ابزار تماسی، شعاع نوک سوزنک،  $r_{TIP}$  است (به استاندارد ملی ایران شماره ۶۰۱-۱۴۹۵۴ رجوع شود).

یادآوری ۵- دیگر اصطلاحات مرتبط با حد دوره تناوب جانبی، تفکیک‌پذیری ساختاری و تفکیک‌پذیری توپوگرافیکی می‌باشند.

۱۸-۱-۲

**maximum local slope**

**بیشینه شیب موضعی**

بزرگ‌ترین شیب موضعی مربوط به خصیصه سطح که می‌تواند توسط سیستم پروب‌زنی ارزیابی شود.

یادآوری- اصطلاح "شیب موضعی"، در استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۴۳۰ بند ۳-۲-۹ تعریف شده است.

۱۹-۱-۲

**instrument transfer function**

**تابع انتقال دستگاه**

**ITF**

$f_{ITF}$

تابع بسامد فضایی که چگونگی پاسخ‌های دستگاه اندازه‌گیری توپوگرافی سطح را به توپوگرافی سطح شیء که دارای بسامد فضایی مشخص است، توصیف می‌کند.

1- Rayleigh criterion  
2- Focus of the objective

یادآوری ۱- به طور مطلوب، ITF، دامنه اندازه‌گیری شده شبکه شطرنجی سینوسی با بسامد فضایی معین  $\nu$  را نسبت به دامنه حقیقی آن شبکه شطرنجی بیان می‌کند.

یادآوری ۲- برای بسیاری از انواع دستگاه‌های اپتیکی، ITF ممکن است تابع غیر خطی ارتفاع به استثنای ارتفاع‌هایی که بسیار کوچک‌تر از طول موج اپتیکی هستند را در بر گیرد.

۲۰-۱-۲

پسماند

hysteresis

$z_{HYS}$ ،  $y_{HYS}$ ،  $x_{HYS}$

خصوصیت تجهیزات اندازه‌گیری یا مشخصه‌ای که طی آن، نشان‌دهی تجهیزات یا مقدار مشخصه به جهت تحریک<sup>۱</sup> قبلی بستگی دارد.

یادآوری ۱- پسماند همچنین برای مثال می‌تواند به فاصله طی شده پس از تغییر جهت تحریک، بستگی داشته باشد.  
یادآوری ۲- برای سیستم‌های روبشی جانبی، پسماند عمدتاً خطای موقعیت‌یابی مجدد است.

[منبع: استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۹۶۷ بند ۳-۲۴ که یادآوری ۲ و نمادها به آن اضافه شده است]

۲۱-۱-۲

مشخصه اندازه شناختی

metrological characteristic

<تجهیزات اندازه‌گیری> مشخصه تجهیزات اندازه‌گیری که ممکن است بر نتایج اندازه‌گیری تأثیرگذار باشد.

یادآوری ۱- کالیبراسیون مشخصه‌های اندازه شناختی ممکن است ضروری باشد.  
یادآوری ۲- مشخصه‌های اندازه شناختی بر عدم قطعیت اندازه‌گیری نقش عمده‌ای دارند.  
یادآوری ۳- مشخصه‌های اندازه شناختی برای دستگاه‌های اندازه‌گیری بافت سطح مساحتی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- فهرست مشخصه‌های اندازه شناختی برای روش‌های اندازه‌گیری بافت سطح

مشخصه اندازه شناختی	نماد	تعریف	خطای عمده بالقوه در راستای
ضریب تقویت	$\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$	ارائه شده در بند ۲-۱-۸	$x, y, z$
انحراف خطی بودن	$l_x, l_y, l_z$	بیشینه اختلاف موضعی بین خطی که از آن ضریب تقویت و منحنی پاسخ به دست می‌آید.	$x, y, z$
تختی پسماند	$Z_{FLT}$	تختی مرجع مساحتی	$z$
نوفه اندازه‌گیری	$N_M$	ارائه شده در بند ۲-۱-۱۰	$z$
حد دوره تناوب جانبی	$D_{LIM}$	ارائه شده در بند ۲-۱-۱۷	$z$
تعامد	$\Delta_{PERxy}$	انحراف از $90^\circ$ زاویه بین محورهای $x$ و $y$	$x, y$

[منبع: استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۹۶۷ بند ۳-۱۲ که یادآوری‌ها متفاوت و جدول به آن اضافه شده است]

۲-۲ اصطلاحات و تعاریف مرتبط با سیستم‌های روبشی  $x$  و  $y$

۱-۲-۲

### areal reference guide

### راهنمای مرجع مساحتی

جزء دستگاه که سطح مرجع را ایجاد می‌کند که در آن سیستم پروب‌زنی نسبت به سطح اندازه‌گیری شونده مطابق با خط سیر دقیق نظری حرکت می‌کند.

یادآوری - در مورد دستگاه‌های اندازه‌گیری بافت سطح مساحتی روبشی  $x$  و  $y$ ، راهنمای مرجع مساحتی یک سطح مرجع را ایجاد می‌کند (به استاندارد ISO 25178-2:2012 بند ۳-۱-۸ رجوع شود). این امر می‌تواند از طریق استفاده از دو راهنمای مرجع خطی عمود بر هم (به استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۱۸۸ بند ۳-۳-۲ رجوع شود) یا یک راهنمای سطح مرجع انجام شود.

۲-۲-۲

### lateral scanning system

### سیستم روبشی جانبی

سیستمی که سطح اندازه‌گیری شونده را در صفحه  $(x, y)$  روبش می‌کند.

یادآوری ۱- اساساً چهار جنبه برای سیستم دستگاه روبشی بافت سطح وجود دارد: محرکه محور  $x$ ، محرکه محور  $y$ ، پروب اندازه‌گیری در امتداد  $z$  و سطح اندازه‌گیری شونده. شیوه‌های متفاوتی وجود دارند که این جنبه‌ها ممکن است پیکربندی شوند، بنابراین همانگونه که در جدول ۲ توضیح داده شده، تفاوتی بین پیکربندی‌های متفاوت وجود دارد.

یادآوری ۲- هنگامی که اندازه‌گیری شامل یک میدان دید میکروسکپ باشد، روبش  $x$  و  $y$  مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. با این وجود، هنگامی که چندین میدان دید به روش‌های بخیه‌زنی<sup>۱</sup> [ردیف ۲ کتابنامه] با همدیگر مرتبط شوند، سیستم به عنوان سیستم روبشی در نظر گرفته می‌شود.



جدول ۲- پیکربندی‌های متفاوت ممکن برای راهنماهای مرجع (x و y)

واحد محرکه						
یک راهنمای مرجع مساحتی		دو راهنمای مرجع (x و y) <sup>a</sup>				
$C_{xy}$	$P_{xy}$	$C_x \text{ o } C_y$	$P_x \text{ o } P_y$	$P_x \text{ o } C_y$		
$C_{xy} - A$	$P_{xy} - A$	$C_x \text{ o } C_y - A$	$P_x \text{ o } P_y - A$	$P_x \text{ o } C_y - A$	A: بدون تصحیح خطای کمانی	سیستم پروپزنی
$C_{xy} - S$	$P_{xy} - S$	$C_x \text{ o } C_y - S$	$P_x \text{ o } P_y - S$	$P_x \text{ o } C_y - S$	S: بدون خطای کمانی یا با خطای کمانی تصحیح شده	
<p>a برای دو تابع f و g ارائه شده، fog ترکیب این دو تابع می‌باشد.  <math>P_x</math> سیستم‌های پروپزنی که در امتداد محور x حرکت می‌کنند.  <math>P_y</math> سیستم‌های پروپزنی که در امتداد محور y حرکت می‌کنند.  <math>C_x</math> جزئی که در امتداد محور x حرکت می‌کنند.  <math>C_y</math> جزئی که در امتداد محور y حرکت می‌کنند.</p>						

۳-۲-۲

#### drive unit x

واحد محرکه x

جزئی از دستگاه که سیستم پروپزنی یا سطح اندازه‌گیری شونده را در امتداد راهنمای مرجع بر روی محور x حرکت داده و موقعیت افقی نقطه اندازه‌گیری شده را بر حسب مختصات x جانبی نیم‌رخ برگشت می‌دهد.

۴-۲-۲

#### drive unit y

واحد محرکه y

جزئی از دستگاه که سیستم پروپزنی یا سطح اندازه‌گیری شونده را در امتداد راهنمای مرجع بر روی محور y حرکت داده و موقعیت افقی نقطه اندازه‌گیری شده را بر حسب مختصات y جانبی نیم‌رخ برگشت می‌دهد.

۵-۲-۲

#### lateral position sensor

حسگر موقعیت جانبی

جزئی از واحد محرکه که موقعیت جانبی نقطه اندازه‌گیری شده را ارائه می‌کند.

یادآوری - موقعیت جانبی می‌تواند برای مثال با استفاده از یک کد گذار خطی، تداخل سنسور لیزری یا یک وسیله شمارشگر که با پیچ یک ریزسنج کوپله شده، اندازه‌گیری یا استنتاج شود.

۶-۲-۲

speed of measurement

سرعت اندازه‌گیری

$v_x$

سرعت سیستم پروب‌زنی در حین اندازه‌گیری در امتداد محور  $x$  نسبت به سطح اندازه‌گیری شونده می‌باشد.

[منبع: استاندارد ملی ایران شماره ۶۰۱-۱۴۹۵۴ سال ۱۳۹۲، بند ۳-۴-۱۳]

۷-۲-۲

static noise

نوفه استاتیکی

$N_s$

ترکیب نوفه‌های دستگاه و محیط بر سیگنال خروجی به هنگامی که دستگاه به طور جانبی روبش نمی‌کند.

یادآوری ۱- نوفه محیطی برای مثال توسط اختلالات الکترومغناطیسی بیرونی، لرزه‌ای<sup>۱</sup> و صوتی<sup>۲</sup> ایجاد می‌شود.

یادآوری ۲- یادآوری‌های ۲ و ۳ ارائه شده در بند ۲-۱-۹، همچنین برای این تعریف کاربرد دارند.

یادآوری ۳- نوفه استاتیکی، نوفه اندازه‌گیری را نیز شامل می‌شود (به بند ۲-۱-۱۰ رجوع شود).

۸-۲-۲

dynamic noise

نوفه دینامیکی

$N_D$

نوفه‌ای است که به هنگام حرکت واحدهای محرکه بر سیگنال خروجی به وجود می‌آید.

یادآوری ۱- یادآوری‌های ۲ و ۳ ارائه شده در بند ۲-۱-۹، همچنین برای این تعریف کاربرد دارند.

یادآوری ۲- نوفه دینامیکی همچنین شامل نوفه استاتیکی می‌شود.

یادآوری ۳- نوفه دینامیکی، نوفه اندازه‌گیری را نیز شامل می‌شود (به بند ۲-۱-۱۰ رجوع شود).

۳-۲ اصطلاحات و تعاریف مرتبط با سیستم‌های اپتیکی

۱-۳-۲

light source

منبع نور

وسیله اپتیکی که گستره مناسبی از طول موج‌ها را در یک ناحیه طیفی مشخص گسیل می‌کند.

1- Seismic  
2- Sonic

۲-۳-۲

**measurement optical bandwidth**

**پهنای باند اپتیکی اندازه‌گیری**

$B_{\lambda_0}$

گستره طول موج‌های نور که برای اندازه‌گیری سطح، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

یادآوری- دستگاه‌ها ممکن است با منابع نوری با پهنای باند اپتیکی محدود و/یا با عناصر پالایه اضافی به منظور محدود کردن بیشتر پهنای باند اپتیکی ساخته شوند.

۳-۳-۲

**measurement optical wavelength**

**طول موج اپتیکی اندازه‌گیری**

$\lambda_0$

مقدار مؤثر طول موج نور که به منظور اندازه‌گیری سطح، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

یادآوری- طول موج اپتیکی اندازه‌گیری، تحت شرایطی از قبیل طیف منبع نوری، انتقال طیفی اجزای اپتیکی و پاسخ طیفی آرایه حسگر تصویری<sup>۱</sup> تأثیرپذیر است.

۴-۳-۲

**angular aperture**

**روزنه زاویه‌ای**

زاویه مخروط نور که از یک نقطه بر روی سطح مورد اندازه‌گیری، وارد سیستم اپتیکی می‌شود.

[منبع: استاندارد ISO 25178-602:2010، بند ۳-۳-۳]

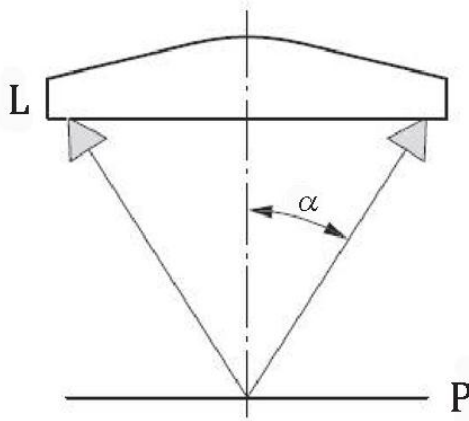
۵-۳-۲

**half aperture angle**

**نیم زاویه روزنه،  $\alpha$**

نصف روزنه زاویه‌ای است.

یادآوری- این زاویه گاهی اوقات "نیم زاویه مخروط" نیز نامیده می‌شود (به شکل ۲ رجوع شود).



راهنما

L عدسی یا سیستم اپتیکی

P نقطه فوکوسی

$\alpha$  نیم زاویه روزنه

شکل ۲- نیم زاویه روزنه

۶-۳-۲

### numerical aperture

روزنه عددی

$A_N$

حاصلضرب سینوس نیم زاویه روزنه در ضریب شکست  $n$  محیط اطراف می باشد.

$$A_N = n \sin \alpha$$

یادآوری ۱- در هوا برای نور قابل رؤیت،  $n \cong 1$  می باشد.

یادآوری ۲- روزنه عددی به طول موج نور وابسته است. نوعاً، روزنه عددی برای طول موجی تعیین می شود که در وسط پهنای باند اپتیکی اندازه گیری قرار داشته باشد.

۷-۳-۲

### Rayleigh criterion

معیار رایلی

کمیتی که تفکیک پذیری سیستم اپتیکی فضایی را از طریق جدا سازی دو منبع نقطه ای متمایز می کند به طوری که اولین پراش<sup>۲</sup> کمینه تصویر منبع یک نقطه ای با بیشینه دیگری منطبق می شود.

یادآوری ۱- برای یک سیستم اپتیکی همدوس به لحاظ تئوری ایده آل با مردمک<sup>۳</sup> عدسی شیئی توپُر، معیار رایلی برای سیستم اپتیکی برابر با  $0.61 \lambda_0 / A_N$  است.

یادآوری ۲- این پارامتر برای مشخص کردن پاسخ دستگاه به خصیصه هایی با ارتفاع هایی بسیار کمتر از  $\lambda_0$  برای دستگاه های اندازه شناسی اپتیکی سه بعدی مفید واقع می شود.

1- Refractive  
2- Diffraction  
3- Pupil

۸-۳-۲

### معیار اسپارو

### Sparrow criterion

کمیتی که تفکیک پذیری سیستم اپتیکی فضایی را از طریق جدا سازی دو منبع نقطه‌ای متمایز می کند به طوری که دومین مشتق توزیع شدت مابین دو نقطه تصویر شده ناپدید می شود.

**یادآوری ۱-** برای یک سیستم اپتیکی همدوس به لحاظ ثنوری ایده آل با مردمک عدسی شیئی توپر، معیار اسپارو برای سیستم اپتیکی برابر با  $0.47 \lambda_0 / A_N$  است که به طور تقریبی  $0.77$  ضربدر معیار رایلی می باشد (به بند ۲-۳-۷ رجوع شود).

**یادآوری ۲-** این پارامتر برای مشخص کردن پاسخ دستگاه به خصیصه‌هایی با ارتفاع‌هایی بسیار کمتر از  $\lambda_0$  برای دستگاه‌های اندازه شناسی اپتیکی سه بعدی مفید واقع می شود.

**یادآوری ۳-** تحت شرایط اندازه گیری یکسان با توجه به یادآوری‌های بالا، معیار اسپارو تقریباً با دوره تناوب  $0.50 \lambda_0 / A_N$  فضایی برابر بوده به طوری که از لحاظ نظری، پاسخ دستگاه به صفر افت می کند.

### ۴-۲ اصطلاحات و تعاریف مرتبط با خصوصیات اپتیکی قطعه کار

۱-۴-۲

#### surface film

#### فیلم سطح

ماده نشانده شده بر روی سطح دیگر که خصوصیات اپتیکی آن، از آن سطح متفاوت می باشد.

یادآوری- این مفهوم همچنین ممکن است، "لایه سطح" نامیده شود.

۲-۴-۲

#### thin film

#### فیلم نازک

فیلمی که ضخامت آن به گونه‌ای است که سطوح فوقانی و زیرین نتوانند به آسانی توسط سیستم اندازه گیری اپتیکی تفکیک شوند.

یادآوری- برای برخی سیستم‌های اندازه گیری با خصوصیات و الگوریتم‌های ویژه، ضخامت‌های فیلم‌های نازک ممکن است استنتاج شوند.

۳-۴-۲

#### thick film

#### فیلم ضخیم

فیلمی که ضخامت آن به گونه‌ای است که سطوح فوقانی و زیرین به آسانی توسط سیستم اندازه گیری اپتیکی تفکیک شوند.

۴-۴-۲

### optically smooth surface

### سطح صاف اپتیکی

سطحی که نور بازتابیده<sup>۱</sup> از آن عمدتاً آینه‌وار<sup>۲</sup> است و میزان نور پراکنده شده، قابل توجه نیست.

یادآوری ۱- سطح صاف اپتیکی به طور موضعی مانند یک آینه رفتار می‌کند.

یادآوری ۲- سطحی که به عنوان یک سطح صاف اپتیکی تحت شرایط خاص از قبیل گستره طول موج، روزه عددی، تفکیک‌پذیری پیکسل و غیره عمل می‌کند، به هنگام تغییر یک یا بیشتر این شرایط، می‌تواند به عنوان یک سطح زبر<sup>۳</sup> عمل کند.

۵-۴-۲

### optically rough surface

### سطح زبر اپتیکی

سطحی که مانند یک سطح صاف اپتیکی رفتار نمی‌کند، یعنی میزان نور پراکنده شده، قابل توجه است.

یادآوری- سطحی که به عنوان یک سطح زبر اپتیکی تحت شرایط خاص از قبیل گستره طول موج، روزه عددی، تفکیک‌پذیری پیکسل و غیره عمل می‌کند، به هنگام تغییر یک یا چند شرط می‌تواند به عنوان سطح صاف عمل کند.

۶-۴-۲

### optically non-uniform material

### ماده غیر یکنواخت اپتیکی

نمونه‌ای با خصوصیات اپتیکی متفاوت در نواحی متفاوت می‌باشد.

یادآوری- ماده غیر یکنواخت اپتیکی ممکن است منجر به اختلافات فاز اندازه‌گیری در سرتاسر میدان دید شود به گونه‌ای که به طور اشتباهی می‌تواند به عنوان تفاوت‌ها در ارتفاع سطح تعبیر شود.

### ۵-۲ اصطلاحات و تعاریف ویژه برای تداخل سنجی روبشی با میکروسکپ

۱-۵-۲

### coherence scanning interferometry

### تداخل سنجی روبشی همدوس

CSI

روش اندازه‌گیری توپوگرافی سطح که طی آن متمرکزسازی نوارهای<sup>۴</sup> تداخلی به هنگام روبش طول مسیر اپتیکی، وسیله‌ای را برای تعیین نقشه توپوگرافی سطح فراهم می‌کند.

یادآوری ۱- CSI، شامل دستگاه‌های استفاده کننده از طیف پهن‌بند<sup>۵</sup> و منابع قابل رؤیت (نور سفید) به منظور دستیابی به متمرکزسازی نوار تداخلی می‌شود اما به آن‌ها محدود نمی‌شود.

- 
- 1- Reflected light
  - 2- Specular
  - 3- Rough
  - 4- Fringes
  - 5- Broadband

یادآوری ۲-CSI، یا فقط از متمرکزسازی نوار تداخلی استفاده می‌کند یا در ترکیب با ارزیابی فاز تداخل بسته به نوع سطح، تکرارپذیری توپوگرافی سطح دلخواه و قابلیت‌های نرم‌افزاری استفاده می‌کند.  
یادآوری ۳- جدول ۳، اصطلاحات جایگزین را دست کم در یک قسمت مطابق با تعریف بالا گردآوری می‌کند.

جدول ۳- اصطلاحات شناسایی شده به اختصار برای CSI

اصطلاح به اختصار	معادل اصطلاح به فارسی	اصطلاح به انگلیسی	مرجع ارائه شده در کتابنامه
CSI	تداخل سنجی روبشی همدوس	Coherence scanning interferometry	[۳]
CPM	میکروسکپ پراب همدوس	Coherence probe microscope	[۴]
CSM	میکروسکپ روبشی همدوس	Coherence scanning microscope	[۵]
CR	رادار همدوس	Coherence radar	[۶]
CCI	تداخل سنجی همبستگی همدوس	Coherence correlation interferometry	[۷]
MCM	میکروسکپ همبستگی میراو	Mirau correlation microscope	[۸]
WLI	تداخل سنجی نور سفید	White light interferometry	[۹]
WLSI	تداخل سنجی روبشی نور سفید	White light scanning interferometry	[۱۰]
SWLI	تداخل سنجی نور سفید روبشی	Scanning white light interferometry	[۱۱]
WLPSI	تداخل سنجی تغییر فاز نور سفید	White light phase shifting interferometry	[۱۲]
VSI	تداخل سنجی روبشی عمودی	Vertical scanning interferometry	[۱۰]
EVSI	تداخل سنجی روبشی عمودی بهبود یافته	Enhanced VSI	[۱۰]
HDVSI	تداخل سنجی روبشی عمودی با دقت بالا	High-definition Vertical Scanning Interferometry	[۱۳]
RSP	نیم‌رخ‌نگار سطح زبر	Rough surface profiler	[۱۴]
RST	آزمونگر سطح زبر	Rough surface tester	[۱۵]
HIS	تداخل سنج روبشی ارتفاع	Height scanning interferometer	[۱۶]
IRS	رویش مادون قرمز	Infrared scanning	[۱۷]

[منبع: استاندارد ملی ایران شماره ۶-۱۴۹۵۴-۳-۳ بند ۵-۳-۳]

۲-۵-۲

optical path length

طول مسیر اپتیکی

فاصله فیزیکی طی شده توسط پرتو نور که در ضریب شکست محیط عبور ضرب می‌شود.

یادآوری- اختلاف مسیر اپتیکی در یک تداخل سنج دو پرتویی، اختلاف در طول مسیر اپتیکی بین مسیر مرجع و مسیر اندازه‌گیری می‌باشد.

۳-۵-۲

coherence scanning interferometry signal

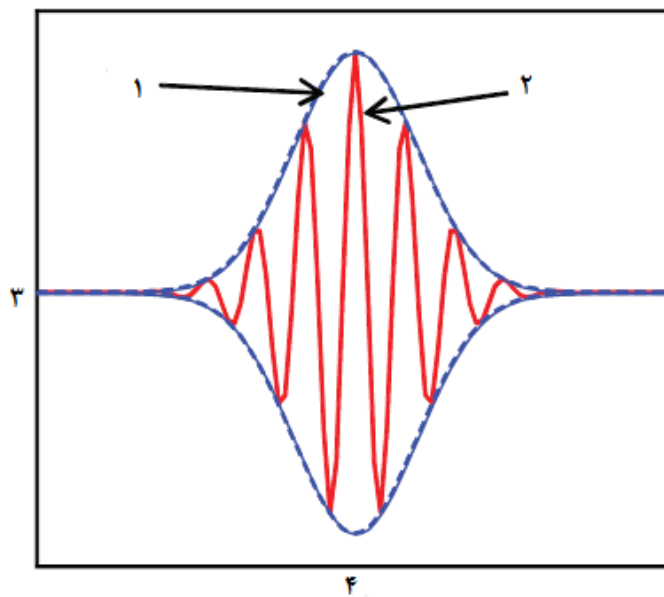
سیگنال تداخل سنجی روبشی همدوس

CSI signal

سیگنال CSI

داده‌های شدت ثبت شده برای نقطه تصویر منفرد یا پیکسل دوربین به عنوان تابعی از موقعیت روبش است.

یادآوری- به شکل ۳ و بند الف-۱ رجوع شود.



راهنما

- ۱ پوش مدولاسیون (محاسبه شده)
- ۲ سیگنال CSI
- ۳ شدت
- ۴ موقعیت روبش

شکل ۳- نمونه‌ای از سیگنال CSI

۴-۵-۲

interference fringes

نوارهای تداخلی

بخشی از سیگنال CSI مرتبط با تأثیرگذاری تداخل که سریعاً مدوله شده و توسط تغییر طول مسیر اپتیکی به هنگام روبش CSI ایجاد می‌شود.

یادآوری ۱- نوارهای تداخلی به عنوان تابعی از موقعیت روبش به طور تقریبی سینوسی می‌باشند.



یادآوری ۲- فاصله بین قله‌های<sup>۱</sup> نوار تداخلی به اختلاف‌های موقعیت روبش که تقریباً نصف میانگین طول موج مؤثر منبع نور می‌باشند، متناظر می‌شود (به بند ۲-۳-۱ رجوع شود).

به شکل ۳ رجوع شود.

۵-۵-۲

### interference phase

### فاز تداخلی

آرگومان تابع سینوس که برای برآورد فرم نوارهای تداخلی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

یادآوری - نوسان یا دوره کامل نوار تداخلی با  $2\pi$  تغییر فاز برابر است.

۶-۵-۲

### amplitude modulation

### مدولاسیون دامنه نوسان

اندازه قله تا دره<sup>۲</sup> یا اندازه معادل سیگنال CSI می‌باشد.

یادآوری ۱- مدولاسیون دامنه نوسان عمدتاً تابش منبع نور، حساسیت دوربین و بازتاب پذیری‌های<sup>۳</sup> شیء و آینه مرجع می‌باشد.  
یادآوری ۲- مدولاسیون دامنه نوسان غالباً به "استحکام سیگنال"<sup>۴</sup> نیز مصطلح است.

به شکل ۳ رجوع شود.

۷-۵-۲

### modulation envelope

### پوش مدولاسیون

تغییر کلی در مدولاسیون دامنه نوسان سیگنال CSI است که به عنوان تابعی از موقعیت روبش در نظر گرفته می‌شود.

یادآوری ۱- پوش مدولاسیون (به شکل ۳ رجوع شود)، ضرورتاً جنبه‌ای از سیگنال نیست که با دقت بالا تعریف شده باشد.  
یادآوری ۲- پوش مدولاسیون با ایده متمرکزسازی نوار تداخلی، بسیار مرتبط است به طوری که مشخصه‌ای پایه برای سیگنال‌های CSI در نظر گرفته می‌شود.

یادآوری ۳- پوش مدولاسیون، پیامدی از همدوسی اپتیکی محدود است که به لحاظ استفاده از منبع نور پهن‌بند طیفی (نور سفید) و منبع نور بسط یافته فضایی یا هر دو آن‌ها پیروی می‌شود.

- 
- 1- Peaks
  - 2- Valley
  - 3- Reflectivities
  - 4- Signal strength

۸-۵-۲

analysis mode

حالت آنالیز

signal processing option

گزینه پردازش سیگنال

انتخاب پردازش تعیین می‌کند که آیا نرم‌افزار به تنهایی موجب استفاده از پوش مدولاسیون به منظور اندازه‌گیری ارتفاع‌های سطح می‌شود یا هم پوش و هم فاز نوار تداخلی (هر دو).

۹-۵-۲

modulation threshold

آستانه مدولاسیون

minimum modulation

کمینه مدولاسیون

$D_{MOD}$

پایین‌ترین مدولاسیون دامنه نوسان که توسط نرم‌افزار برای ارزیابی بیشتر ارتفاع سطح، قابل استفاده باشد.

یادآوری - کمینه سطح مدولاسیون، به طور نوعی انتخاب نقاط داده‌های معتبر را فراهم می‌کند. این نقاط با مدولاسیون دامنه نوسان که در زیر این سطح افت می‌کنند، نامعتبر در نظر گرفته می‌شوند.

۱۰-۵-۲

coherence scanning interferometry scan

رویش تداخل سنجی روبشی همدوس

CSI scan

رویش CSI

رویش مکانیکی یا اپتیکی که طول اپتیکی مسیر مرجع یا مسیر اندازه‌گیری را به منظور ایجاد سیگنالی که نوارهای تداخلی را به نمایش می‌گذارد، تغییر می‌دهد.

یادآوری - در میکروسکوپ‌های CSI، رایج‌ترین وسیلهٔ روبش (اما نه انحصاری)، حرکت انتقالی فیزیکی یک عدسی شیئی تداخلی از پیش تنظیم شده‌ای است که طی آن، قله شدت سیگنال CSI با بهترین موقعیت فوکوس<sup>۱</sup> منطبق می‌شود.

۱۱-۵-۲

scan length

طول روبش

$Z_{TOT}$

گسترهٔ کل طول مسیر فیزیکی که توسط روبش CSI پیموده می‌شود.

یادآوری - طول روبش معمولاً با کل جابجایی جزء در حال حرکت تداخل سنج که به طور مکانیکی در امتداد محور اپتیکی خود حرکت می‌کند، به هنگام پایش داده‌ها هم‌معنا است. جزء در حال حرکت می‌تواند برای مثال، یک عدسی شیئی تداخلی یا یک آینه در بازوی مرجع یا تداخل سنج کامل باشد که نسبت به سطح حرکت می‌کند.

به شکل الف-۵ رجوع شود.

۱۲-۵-۲

**scan increment**

**پلکان روبش**

$\Delta_z$

فاصله طی شده توسط روبش CSI، بین تصویرهای منفرد که توسط دوربین (تصویرهای متحرک دوربین) یا نقاط به دست آمده از داده‌های منفرد ضبط می‌شود.

یادآوری - افزایش روبش به طور رایج معادل ۴ تصویر متحرک بر نوار تداخلی می‌باشد، اما می‌تواند هر تعدادی تصویر متحرک باشد.

۱۳-۵-۲

**scan speed**

**سرعت روبش**

$v_z$

سرعت روبش CSI است.

یادآوری - این می‌تواند برای مثال بر حسب میکرومتر بر ثانیه ( $\mu\text{m/s}$ ) بیان شود.

۱۴-۵-۲

**effective mean wavelength**

**میانگین طول موج مؤثر**

دو برابر دوره تناوب نوار تداخلی می‌باشد که به قله پوش مدولاسیون نزدیکترین است.

یادآوری ۱ - دوره تناوب نوار تداخلی، فاصله روبشی است که دو قله مجاور در سیگنال CSI را جداسازی می‌کند.

یادآوری ۲ - میانگین طول موج مؤثر، عملکرد طول موج اپتیکی اندازه‌گیری، هندسه اپتیکی و روش داده‌برداری می‌باشد. به مرجع [۱۸] در کتابنامه، رجوع شود.

۱۵-۵-۲

**fringe-order error**

**خطای درجه نوار تداخلی**

خطا در شناسایی نوار تداخلی صحیح به هنگام محاسبه ارتفاع‌های نسبی است که با استفاده از فاز تداخلی برای محاسبات توپوگرافی سطح انجام می‌شود.

یادآوری ۱ - خطاهای درجه نوار تداخلی در CSI می‌تواند نتیجه خطاها در آنالیز پوش مدولاسیون باشد.

یادآوری ۲ - خطاهای درجه نوار تداخلی، مضارب صحیحی از نصف معادل طول موج در ارتفاع می‌باشند.

یادآوری ۳ - خطاهای درجه نوار تداخلی، گاهی اوقات به خطاهای  $2\pi$  مصطلح هستند.

$$N_{VIB}$$

حرکات مکانیکی که به شیوه‌ای غیر قابل پیش‌بینی و ناخواسته در روبش CSI اختلال ایجاد کرده و منجر به خطاهای اندازه‌گیری می‌شود.

یادآوری ۱- ارتعاش محیطی ممکن است توسط منابع گوناگون (برای مثال، لرزه‌ای، صوتی و اختلالات الکترومغناطیسی بیرونی) ایجاد شود. به شکل ب-۶ رجوع شود.

### ۳ توصیف کمیت‌های تأثیرگذار

#### ۱-۳ کلیات

دستگاه‌های CSI، اندازه‌گیری مقادیر جانبی  $(x, y)$  و ارتفاع  $(z)$  که از آن‌ها، شکل و پارامترهای بافت سطح محاسبه می‌شوند را فراهم می‌کنند.

#### ۲-۳ کمیت‌های تأثیرگذار

کمیت‌های تأثیرگذار برای دستگاه‌های CSI، در جدول ۴ ارائه شده و این جدول همچنین مشخصه‌های اندازه‌گیری شناختی (به بند ۲-۱-۲۱، جدول ۱ رجوع شود) که توسط انحرافات کمیت‌های تأثیرگذار، تحت تأثیر قرار می‌گیرند را نشان می‌دهد.

یادآوری- برای کامل بودن از لحاظ نظری، در سیستم اپتیکی ناهمدوس با مردمک عدسی شیئی توپُر و به هنگام اندازه‌گیری خصیصه‌ها با ارتفاع‌هایی بسیار کوچکتر از  $\lambda_0$ ، حد دوره تناوب جانبی  $D_{LM}$  مربوط به سیستم‌های CSI، کمینه دو برابر معیار رایلی می‌باشد.

جدول ۴- کمیت‌های تأثیرگذار برای تداخل سنجی روبشی همدوس

مشخصه اندازه شناختی تأثیرپذیر	کمیت‌های تأثیرگذار		عنصر	جزء
$\alpha_z$	طول موج اپتیکی اندازه‌گیری (به بند ۲-۳-۳ رجوع شود)	$\lambda_0$	منبع نور	
$\alpha_z$	پهنای باند اپتیکی اندازه‌گیری (به بند ۲-۳-۳ رجوع شود)	$B_{\lambda_0}$		
$\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$	حالت قطبش نور که بر سطح اندازه‌گیری شده اصابت می‌کند. قطبش نوعاً به عنوان $S, P, C$ ، دایره‌ای $(C)$ ، بیضی شکل $(E)$ یا قطبی نشده $(U)$ توصیف می‌شود.	$S, P, C, E, U$		

جدول ۴- (ادامه)

مشخصه اندازه شناختی تأثیرپذیر	کمیت‌های تأثیرگذار	عنصر	جزء
$\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z, D_{LIM}$	روزنه عددی میکروسکپ (به بند ۲-۳-۶ رجوع شود)	$A_N$	سیستم تصویر سازی تداخل سنج
$\alpha_x, \alpha_y$	بزرگنمایی بین اندازه‌های شیء بر روی سطح و اندازه‌های تصویر بر روی حسگر	$M_{IMG}$	
$\alpha_z$	در هم ریختگی جبهه موج، تابعی که انحرافات خالص در مسیر اپتیکی اندازه‌گیری شده سیستم، به دست آمده از انحرافات را در هر دو بازوهای مرجع و اندازه‌گیری توصیف می‌کند.	$\Delta_{PATH}$	
$\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z, z_{FLT}, l_x, l_y, l_z, D_{LIM}, \Delta_{PERxy}$	کیفیت کلی اجزای اپتیکی مورد استفاده از قبیل عدم انطباق فوکوسی، انتقال، خطاهای همترازی و غیره.	$Q_{OPT}$	
$\alpha_x, \alpha_y, z_{FLT}, l_x, l_y, D_{LIM}, \Delta_{PERxy}$	در هم ریختگی جانبی در مورد تصویر بزرگ نمایی شده بر روی دوربین	$P_{DISxy}$	
$\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z, z_{FLT}, l_x, l_y, l_z$	یکنواختی روشنایی- توزیع روشنایی در عرض میدان دید شیء (توزیع با یکنواختی بالا و ثابت مورد دلخواه است)	$U_I(x, y)$	
$D_{LIM}$	فاصله‌بندی پیکسل $x$ در مورد دوربین تصویرساز	$\Delta_x$	دوربین
$D_{LIM}$	فاصله‌بندی پیکسل $y$ در مورد دوربین تصویرساز	$\Delta_y$	
$\alpha_z, l_z$	سرعت روبش (به بندهای ۲-۵-۱۳، الف-۵ و ب-۴ رجوع شود)	$V_z$	نرم افزار داده- برداری کنترلر
$\alpha_z, l_z$	طول روبش (به بندهای ۲-۵-۱۱، الف-۵ و ب-۴ رجوع شود)	$Z_{TOT}$	
$\alpha_z$	افزایش روبش (به بندهای ۲-۵-۱۲، الف-۵ و ب-۴ رجوع شود)	$\Delta_z$	
$\alpha_z, l_z$	خطی بودن روبش (به بندهای الف-۵ و ب-۴ رجوع شود)	$\Delta_{z-LIN}$	
$N_M$	زمان یکپارچه‌سازی مورد نیاز برای کامل کردن روبش تکی در $z$	$T_I$	
$N_M$	مرحله دیجیتال سازی ارتفاع	$D_z$	
$\alpha_z, l_z$	الگوریتم اندازه‌گیری- روش تفسیر سیگنال CSI شامل گزینه استفاده از اطلاعات فاز (به بند ب-۳ رجوع شود)	$A_{ALG}$	
$\alpha_z, l_z$	آستانه مدولاسیون شدت نوار تداخلی- کمینه تغییر شدت قله به دره که کنترل‌کننده شناسایی می‌کند که نوار تداخلی است	$M_{MOD}$	نرم افزار آنالیز نیم‌رخ
$\alpha_z, l_z$	ضریب کالیبراسیون $z$ ، ضریب تنظیم ارتفاع	$C_z$	

جدول ۴- (ادامه)

مشخصه اندازه شناختی تأثیر پذیر	کمیت‌های تأثیر گذار	عنصر	جزء
$D_{LIM}$	فاصله نمونه برداری جانبی، برابر با فاصله‌بندی پیکسل جانبی دوربین ( $\Delta_x, \Delta_y$ ) تقسیم بر بزرگنمایی	$D_y$ یا $D_x$	دستگاه به طور کلی
$N_M$	نوفه دستگاه (بند ۲-۱-۹)	$N_I$	
$N_M$	ارتعاش محیطی (به بند ب-۶ رجوع شود)	$N_{VIB}$	
$l_x, l_y, l_z$	پسماند (بند ۲-۱-۱۹)	$x_{HYS}$ ، $y_{HYS}$ ، $z_{HYS}$	
$\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$	کجی - زاویه نسبی مابین محور اپتیکی سیستم و بردار نرمال نمونه. شیب‌های سطح شی که موجب بازتاب نور در یا نزدیک لبه یا خارج روزه عدسی شیئی $A_N$ نیز احتمالاً موجب اتلاف قابل توجه سیگنال می‌شود.	$\theta_{TLT}$ *	نمونه
$\alpha_z$	تغییر فاز نسبی در بازتاب مواد غیر یکنواخت	$\phi_{DIS}$ *	
$\alpha_z$	ضخامت فیلم‌های شفاف یا نیمه شفاف. این فیلم‌ها نوعاً دارای ضخامت قابل مقایسه با طول موج روشنایی هستند. یادآوری می‌شود که فیلم‌های نازکتر آلوده یا اکسیده بومی، ضرورتاً بر فرایند اندازه‌گیری CSI تأثیر گذار نیستند.	$T_{FLM}$ *	
$\alpha_z$	لایه میانی شفاف ضخیم- لایه میانی شفاف (از قبیل هر چیز شیشه یا مایع مانند روی جلد) مابین نمونه و دستگاه.	$T_{MED}$ *	
$\alpha_z$	تحت خصیصه‌های به نتیجه رسیده- خصیصه‌های شی که دارای ابعادی برابر یا کوچکتر از تفکیک‌پذیری جانبی می‌باشند (به پیوست پ رجوع شود).	$URF$ *	
* یادآوری این کمیت‌های تأثیر گذار از تعامل بین دستگاه و نمونه تحت اندازه‌گیری تاشی می‌شوند.			

## پیوست الف (اطلاعاتی)

### مرور کلی و اجزای میکروسکپ تداخل سنجی روبشی همدوس (CSI)

#### الف-۱ مرور کلی

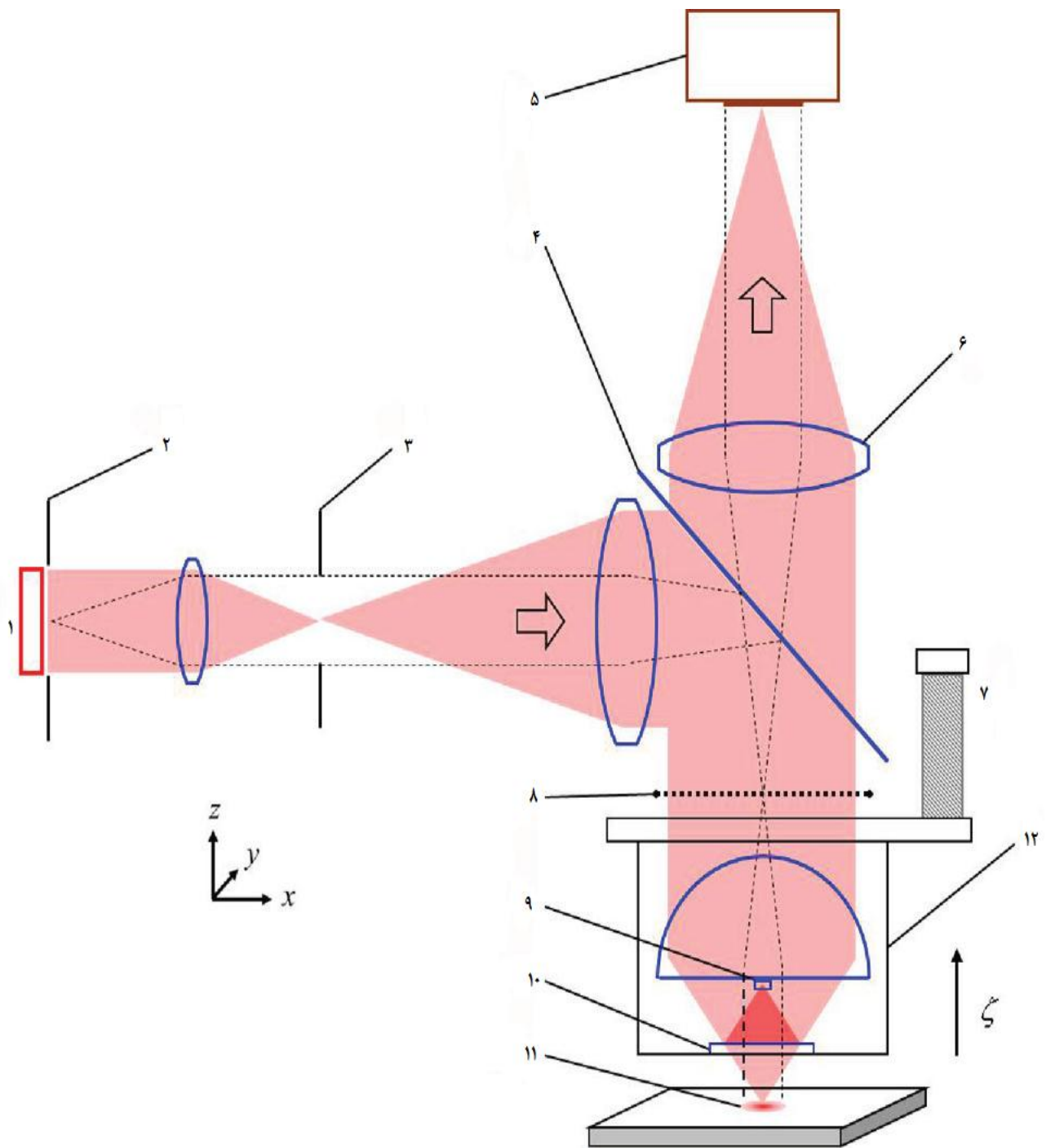
دستگاه‌های CSI، فرایند اندازه‌گیری زیر را مورد استفاده قرار می‌دهند.

- دستگاه بر روی سطحی که از طریق پیدایش نوارهای تداخل نشان داده شده تنظیم فوکوسی می‌شود.
- برای اندازه‌گیری سطوح زبر به طور تصادفی به منظور کمینه کردن تعداد نوارهای تداخلی در سرتاسر میدان دید، کجی نمونه نسبت به محور اپتیکی سیستم تنظیم می‌شود. برای اندازه‌گیری خصیصه‌های گام بر روی سطوح صاف، کجی نمونه برای فراهم کردن یک تا چند نوار تداخلی در سرتاسر میدان دید و عمود بر گام تنظیم می‌شود که ممکن است مفید باشد.
- دستگاه، فرآوری داده‌ها را به هنگام روبش CSI اجرا می‌کند.
- آنالیز داده‌ها با استفاده از پوش مدولاسیون یا نوارهای تداخل یا هر دو آن‌ها، منتج به نقشه توپوگرافی سطح می‌شود.

انحرافات شکل از سطح تخت از قبیل کجی، خمیدگی و استوانه باقی‌مانده، به لحاظ عددی از اندازه‌گیری مساحتی که نقشه توپوگرافی سطح را تولید می‌کند، حذف می‌شوند. پالایش بیشتر، ممکن است برای نقشه توپوگرافی سطح به گونه‌ای که نیاز است، به کار گرفته شود.

#### الف-۲ پیکربندی نوعی

شکل الف-۱، خصیصه‌های اساسی میکروسکپ CSI را نشان می‌دهد. شیء دارای خصیصه‌های ارتفاع  $h$  می‌باشد که بر روی سطح شیء تغییر می‌کند. یک روبش‌گر مکانیکی، روبش صاف و پیوسته  $I$  از عدسی شیئی تداخلی را در جهت  $z$  فراهم می‌کند. در حین روبش، یک رایانه داده‌های شدت  $I(x)$  را برای هر نقطه تصویر یا پیکسل دوربین  $x$ ،  $y$  در تصویرهای متوالی دوربین ثبت می‌کند.



راهنما

- |                           |                              |
|---------------------------|------------------------------|
| ۱ منبع نور                | ۷ روبش‌گر                    |
| ۲ دهانه روزنه             | ۸ صفحه مردمک                 |
| ۳ دهانه میدان             | ۹ آینه مرجع                  |
| ۴ شکاف دهنده پرتو روشنایی | ۱۰ شکاف دهنده پرتو تداخل سنج |
| ۵ دوربین                  | ۱۱ سطح شیء                   |
| ۶ عدسی لامپ یا زوم        | ۱۲ عدسی شیئی تداخلی میراو    |

شکل الف-۱- نمودار ترسیمی میکروسکپ CSI پیکربندی میراو نوعی



### الف-۳ منبع نور

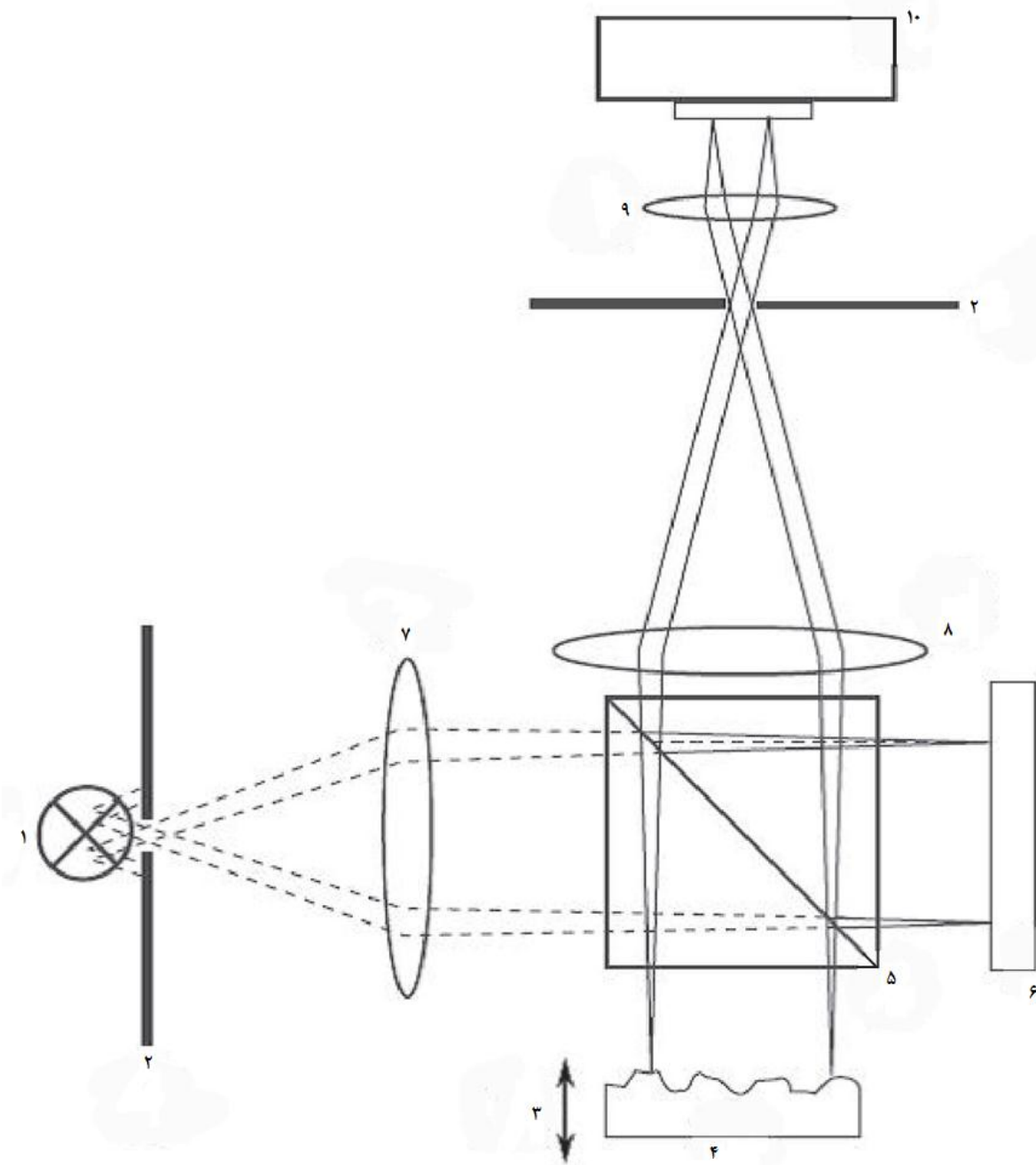
خصیصه برجسته CSI این است که منبع نور عموماً ناهمدوس است. بنابراین، منابع نور نوعاً دارای طیف پهن باند (نور سفید) یا بسط یافته (بسیاری منابع نقطه‌ای مستقل) می‌باشند و یا شامل هر دو می‌شوند. یک مثال کلاسیک در این مورد، لامپ دماشید<sup>۱</sup> (لامپ ملتهب) از قبیل لامپ هالوژن تنگستن می‌باشد. منابع حالت چگال از قبیل دیود انتشار دهنده نور (LED)، به طور افزایشی رایج هستند. آن‌ها ممکن است نور سفید، سبز، آبی یا مادون قرمز ساطع کنند. اپتیک‌های شدت روشنایی به گونه‌ای که در شکل الف-۱ نشان داده شده نوعاً منبع نور را به مردمک عدسی شیئی تداخلی، انعکاس می‌دهند (شدت روشنایی کهلر)<sup>۲</sup>. دهانه روزنه، شدت روشنایی  $A_N$  را کنترل می‌کند (روزنه عددی، به بند ۲-۳-۶ رجوع شود)، در حالی که دهانه میدان، اندازه سطح شیئی که نورانی شده است را کنترل می‌کند. برای اشیایی که به طور دینامیکی حرکت می‌کنند از قبیل سازه‌های کوچک در حال نوسان، منبع نور ممکن است در سرعت بالا به طور استروپسکوپی<sup>۳</sup> به منظور توقف حرکت شیء، چشمک بزند. به ردیف‌های [۱۹] و [۲۰] در کتابنامه رجوع شود.

### الف-۴ عدسی شیئی تداخلی

دستگاه‌های CSI از قبیل میکروسکپ‌های تداخل سنجی تغییر فاز اغلب به سبکی مشابه میکروسکپ‌های عادی با عدسی شیئی نرمال که توسط عدسی شیئی تداخلی دو پرتویی جایگزین شده است، پیکربندی می‌شوند. عدسی‌های شیئی تداخلی از نوع مایکلسون<sup>۴</sup>، میراو یا لینیک<sup>۵</sup> از رایج‌ترین نوع می‌باشند. به ردیف [۲۱] در کتابنامه رجوع شود. برای برخی سیستم‌ها با میدان‌های دید بزرگتر از هندسه تویمن گرین<sup>۶</sup> استفاده می‌شود (به شکل الف-۲ رجوع شود). به ردیف‌های [۶] و [۲۲] در کتابنامه مراجعه شود.

---

1- Incandescent lamp  
2- Köhler illumination  
3- Stroboscopically  
4- Michelson  
5- Linnik  
6- Twyman Green geometry



راهنما

- ۶ تختی مرجع
- ۷ هم‌فوکوس ساز
- ۸ عدسی شی
- ۹ عدسی دوربین
- ۱۰ دوربین

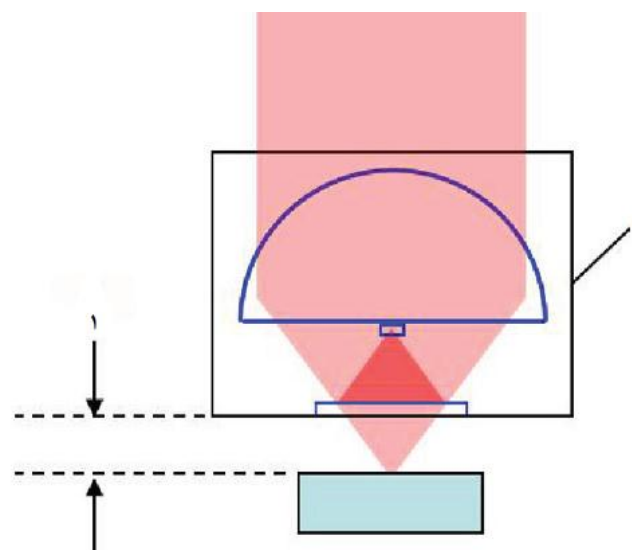
- ۱ منبع نور
- ۲ روزنه
- ۳ موقعیت z
- ۴ آزمون
- ۵ شکاف دهنده پرتو

شکل الف-۲- اصل اپتیکی تداخل سنج تویمن گرین با حسگر دوربین

چون که عدسی شیئی روبش می‌شود، ترجیحاً عدسی شیئی برای عمل کردن به عنوان عدسی دوگانه نامحدود، بهینه می‌شود، یعنی نقطه بر روی شیء در بیکران تصویر می‌شود. بزرگنمایی سیستم، نسبت طول فوکوس عدسی لامپ (شکل الف-۱) به طول فوکوس عدسی شیئی است. بزرگنمایی عدسی شیئی بر حسب طول فوکوس عدسی لامپ (بزرگنمایی یکتایی نامی) تعریف می‌شود که بین ۱۶۰ و ۲۰۰ میلی‌متر، بسته به سازنده آن تغییر می‌کند. بنابراین، عدسی شیئی 10X که برای عدسی لامپ ۲۰۰ میلی‌متر تعریف شده، دارای طول فوکوس ۲۰ میلی‌متر است.

عدسی‌های شیئی میکروسکپ عموماً دارای  $A_N$  بزرگتر با بزرگنمایی افزایشی هستند که بر طراحی تداخل سنج تأثیرگذارند. همان گونه که در بند ۲-۳-۶ تعریف و در شکل ۲ نشان داده شده،  $A_N = n \sin \alpha$ . محیط در دستگاه CSI معمولاً هوا می‌باشد. بنابراین، ضریب  $n$  نزدیک به ۱ است. سینوس زاویه  $\alpha$  با شعاع مردمک که بر طول فوکوس عدسی شیئی تقسیم شده برابر است.

دیگر مشخصه مهم عدسی شیئی تداخلی، فاصله کاری است و همان گونه که در شکل الف-۳ نشان داده شده، این فاصله از محفظه عدسی شیئی تا شیء می‌باشد. فاصله کاری تابعی از طراحی عدسی شیئی می‌باشد و به عواملی از قبیل هندسه تداخل سنج، طول فوکوس، ساختار مکانیکی و طراحی عدسی مرتبط است. فاصله کاری بزرگ عموماً ترجیح داده می‌شود و می‌تواند عاملی تصمیم‌ساز در گزینش هندسه تداخل سنج باشد. برای بزرگنمایی 10X و کوچکتر، برای مثال تداخل سنج مایکلسون، استفاده از شکاف دهنده پرتو منشور طیف‌نما به طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا که برای ساخت آسان بوده، تیره سازی نداشته و فاصله کاری مناسبی را نیز فراهم می‌کند. تداخل سنج توپمن گرین برای مثال، فاصله کاری بزرگ و گستره روبشی بزرگ را مجاز می‌کند. در بزرگنمایی‌های بالاتر، هندسه میراو بیشتر متداول است زیرا که فاصله کاری بزرگتری را فراهم می‌کند. برای بیشترین بزرگنمایی‌ها، گاهی اوقات تداخل سنج لینیک انتخاب می‌شود چون که دارای بزرگترین فاصله کاری برای طراحی عدسی داده شده نسبت به تمامی هندسه‌های دیگر می‌باشد.



راهنما

۱ فاصله کاری

۲ محفظه عدسی شیئی

### شکل الف-۳- نمایش فاصله کاری

در تمامی موارد، عدسی شیئی تداخلی برای دستگاه CSI باید با منبع نور کم‌همدوس سازگار باشد، یعنی توصیه می‌شود بهترین موقعیت فوکوس با موقعیت اختلاف مسیر اپتیکی صفر همزمان شود و همچنین توصیه می‌شود دو مسیر تداخل سنج برای پراکندگی ضریب شکست با طول موج متوازن شود. در برخی موارد که سطح شیئی ممکن است در قسمت زیرین شیشه یا لایه مایع قرار گیرد، مفید است که جزء دخیل در پراکندگی در مسیر مرجع معرفی شود. به ردیف [۲۳] در کتابنامه رجوع شود. به علاوه، مدولاسیون دامنه نوسان (به بند ۲-۵-۶ رجوع شود) و نسبت سیگنال به نوفه به هنگام شدت‌های بازتاب شده برگشتی از بازوی مرجع و بازوی شیئی تقریباً برابر می‌باشند. این موضوع می‌تواند توسط استفاده از یک عدسی شیئی با بازتاب‌پذیری سطح مرجع سازگار با سطح یا از طریق افزودن پالایه چگالی خنثی در یکی از بازوها محقق شود.

برای برخی کاربردها، سطح مرجع غیر تخت که با شکل نمونه، سازگاری بهتری دارد ممکن است مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال، اندازه‌گیری توپوگرافی سطح از سطح منحنی شکل، ممکن است با سطح مرجع کروی شکل بهینه‌سازی شود. به ردیف [۲۴] در کتابنامه رجوع شود.

### الف-۵ روبش‌گر

رویش‌گر نشان داده شده در شکل الف-۱، عدسی شیئی تداخلی یا برجک<sup>۱</sup> عدسی شیئی را حرکت می‌دهد. در موارد دیگر، شیئی حرکت می‌کند. به طور کلی، حرکت روبش به گونه‌ای که در شکل الف-۱ نشان داده شده است در امتداد محور اپتیکی عدسی شیئی عمود بر سطح نمونه یعنی در جهت z می‌باشد. طول روبش برای روبش‌گر CSI، نوعاً مابین  $10\ \mu\text{m}$  و  $200\ \mu\text{m}$  برای روبش‌گرهای پیزوالکتریک<sup>۲</sup> است. برای روبش‌گرهای موتوردار، طول روبش ممکن است تا  $700\ \text{mm}$  باشد. به ردیف [۲۵] در کتابنامه رجوع شود. حرکت ثابت روبش‌گر یا آگاهی دقیق از موقعیت روبش‌گر که از سیستم بازخورد موقعیت به دست می‌آید برای درستی کلی دستگاه CSI به گونه‌ای که در بند ب-۴ توضیح داده شده دارای اهمیت است. گرچه کمتر رایج است، بجای حرکت انتقالی کل عدسی شیئی، این امکان وجود دارد که آینه مرجع، شکاف دهنده پرتو یا ترکیبی از اجزای اپتیکی در محدوده عدسی شیئی حرکت کنند.

### الف-۶ دوربین

بیشتر سیستم‌های CSI، نقشه‌های توپوگرافی سطح سه بُعدی (3D) را با استفاده از آشکارساز الکترونیکی متشکل از آرایه 2D پیکسل‌ها ایجاد می‌کنند. هر چند، نیم‌رخ‌های 2D با استفاده از آشکارسازهای خطی 1D نیز قابل عمل می‌باشند اما در دستگاه‌های تجاری مدرن، کمتر رایج هستند.

1- Turret

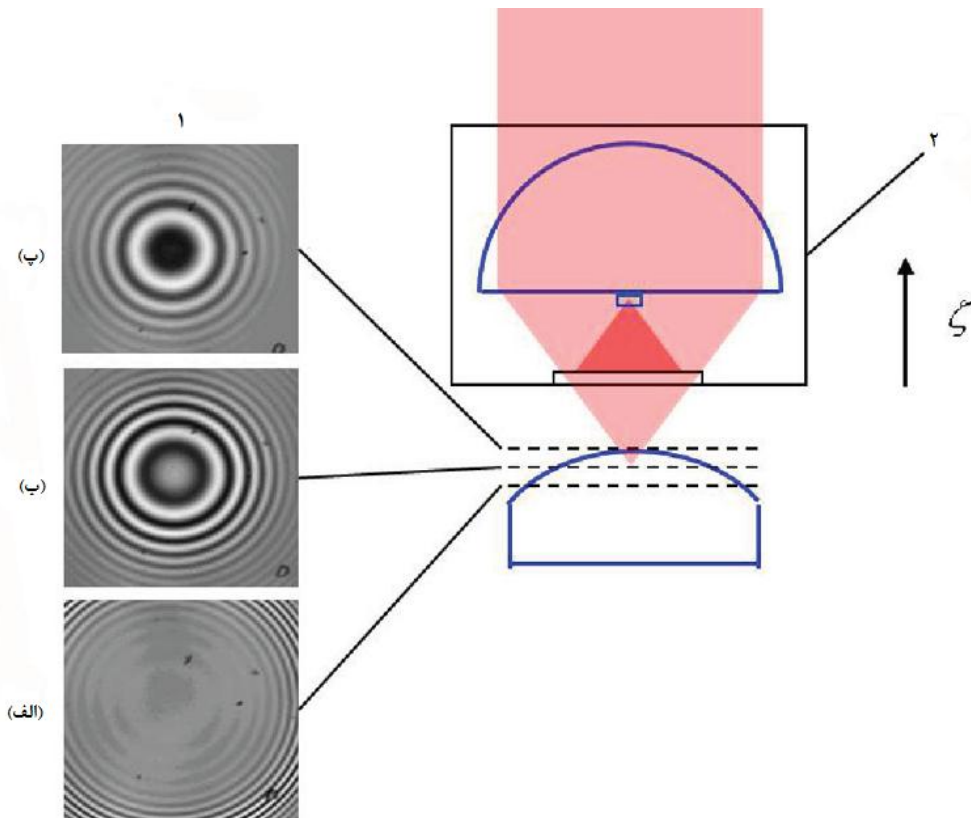
2- Piezoelectric

پیوست ب  
(اطلاعاتی)

نظریه عملیات تداخل سنجی روبشی همدوس (CSI)

ب-۱ مفاهیم

شکل ب-۱، تصویری را نشان می‌دهد که توسط دوربین در شکل ب-۲ برای سه موقعیت روبش متوالی در دیدرس قرار گرفته است. روندهای تداخلی حلقه‌ای هم‌مرکز برای این شیء منحنی شکل محدب از بیرون به داخل بهبود می‌یابند در حالی که عدسی شیئی تداخلی به طرف بالا روبش می‌کند. محلی سازی نوارهای تداخلی به منظور تعیین ارتفاع سطح شیء برای مثال از طریق شناسایی موقعیت روبش متناظر با عبور نوار تداخلی با بالاترین کنتراست<sup>۱</sup> در هر پیکسل در میدان دید، مجاز می‌شود.



راهنما

۱ تصاویر

۲ عدسی شیئی تداخلی

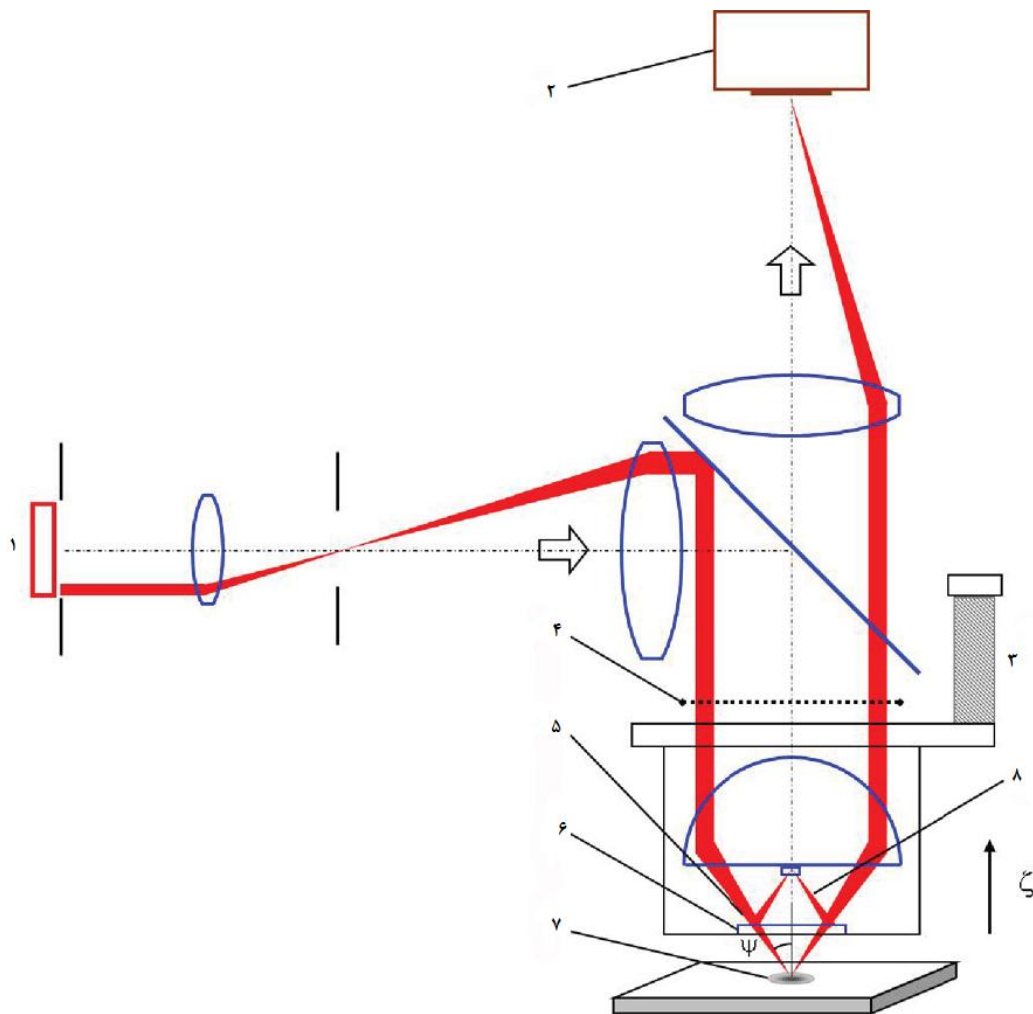
شکل ب-۱- نقشه مفهومی عملیات دستگاه CSI که روند نوار تداخلی بر روی شیء منحنی شکل

برای سه موقعیت روبش متوالی متفاوت (الف)، (ب) و (پ) نشان داده شده

## ب-۲ ایجاد سیگنال

### ب-۲-۱ ابر موقعیت ناهمدوس

مدل ساده سازی شده ایجاد سیگنال، یک روشنایی قطبی شده تصادفی و ناهمدوس فضایی و سطح صاف عمود بر پرتو نور برخوردی را به گونه‌ای فرض کرده که نور برخوردی را پراکنده یا منکسر<sup>۱</sup> نمی‌کند. به ردیف‌های [۲]، [۶] و [۲۶] در کتابنامه مراجعه شود. کل سیگنال، مجموع تمامی تأثیرات تداخلی ناهمدوس دسته‌های اشعه عبوری از صفحه مردمک عدسی شیئی و بازتابی از شیء و سطوح مرجع می‌باشد.



راهنما

- ۵ برخورد اشعه در زاویه برخوردی  $\psi$
- ۶ شکاف دهنده تداخل سنج
- ۷ سطح شیء
- ۸ مسیر مرجع

- ۱ منبع نور
- ۲ دوربین
- ۳ روبش‌گر
- ۴ صفحه مردمک

شکل ب-۲- میکروسکپ CSI که مسیر دسته اشعه تکی برای منبع نقطه‌ای

و نقطه تصویر مشخص برخوردی بر روی سطح شیء در زاویه  $\psi$

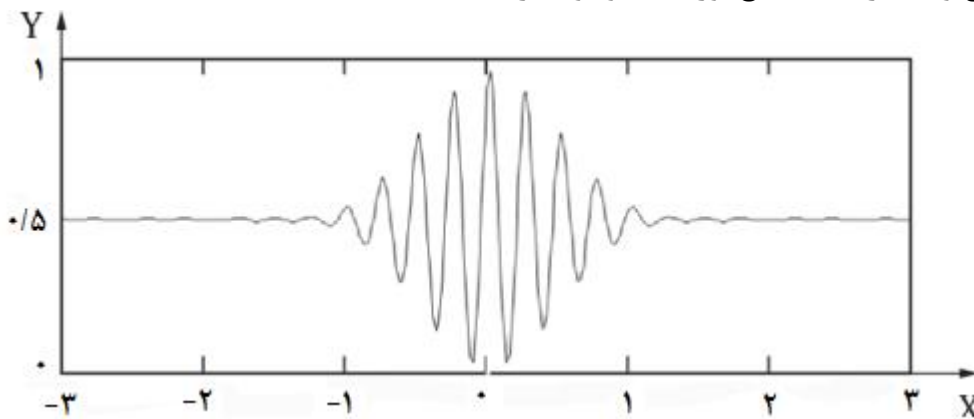
برای مثال، دسته اشعه در زاویه برخوردی  $\psi$  که در شکل ب-۲ نشان داده شده، هم با نقطه تصویر مشخص  $(x', y')$  و هم با موقعیت مشخص در مردمک متناظر می‌شود. این دسته اشعه در شکاف دهنده پرتو به دو دسته تقسیم می‌شود به طوری که یک دسته همسو با مسیر اندازه‌گیری به سطح شیء در نقطه ویژه  $(x, y)$  و دسته دیگر همسو با مسیر مرجع به آینه مرجع می‌باشد.  $K$  موقعیت روبش سطح نسبت به میکروسکپ است و بسامد نوار تداخلی فضایی به صورت زیر می‌باشد:

$$K = 4\pi \frac{\beta}{\lambda}$$

که در آن، کسینوس جهت‌دار  $\beta = \cos(\Psi)$  و طول موج  $\lambda$  است. حاصل جمع بر روی گستره بسامدها منتج به استحکام قله سیگنال شده به گونه‌ای که تمامی تأثیرات منفرد به طور متقابل در فاز قرار می‌گیرند. این موقعیت گاهاً به عنوان نقطه فاز ایستگاهی مصطلح است و به قله پوش که در شکل ب-۳ نشان داده شده، متناظر می‌شود. مدل ابرموقعیت ناهمدوس، پیش‌بینی شکل سیگنال را از نظر ریاضی مجاز می‌کند و برای ارزیابی شیوه نرم‌افزاری برای تعیین ارتفاع‌های سطح از سیگنال CSI مفید واقع می‌شود. به ردیف‌های [۲۷] و [۲۸] در کتابنامه رجوع شود.

### ب-۲-۲ حالت حدی: نور سفید و $A_N$ پایین

موارد حدی ساده‌سازی قطعی از ارزش عملی و معنوی برخوردار هستند. یک پیکربندی آشنا،  $A_N$  پایین با پهن‌باند یا نور "سفید" است که شکل ب-۳ یک سیگنال تداخلی نوعی را نشان می‌دهد. توزیع طیفی برای این شکل، در شکل ب-۴ نشان داده شده و به طور مستقیم با توزیع طیفی منبع متناسب است. بنابراین، رابطه تبدیل فوریه<sup>۱</sup> بین سیگنال تداخلی و انتشار طیف منبع نور سفید وجود دارد.



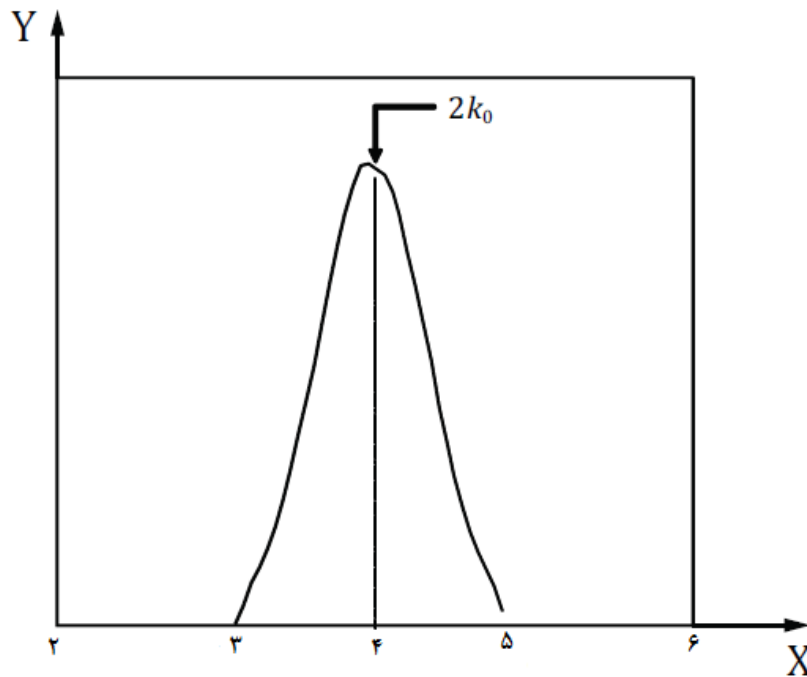
راهنما

X موقعیت روبش ( $\mu\text{m}$ )

Y شدت

یادآوری - پهنای باند طیفی پهن منبع نور منتج به پوش مدولاسیون می‌شود که نوارهای تداخلی را در اطراف موقعیت روبش صفر محلی‌سازی می‌کند (به شکل ۳ رجوع شود).

شکل ب-۳ - شبیه سازی سیگنال تداخلی نور سفید



راهنما

X بسامد سیگنال تداخلی فضایی (چرخه /  $\mu m$ )

Y دامنه فوریه

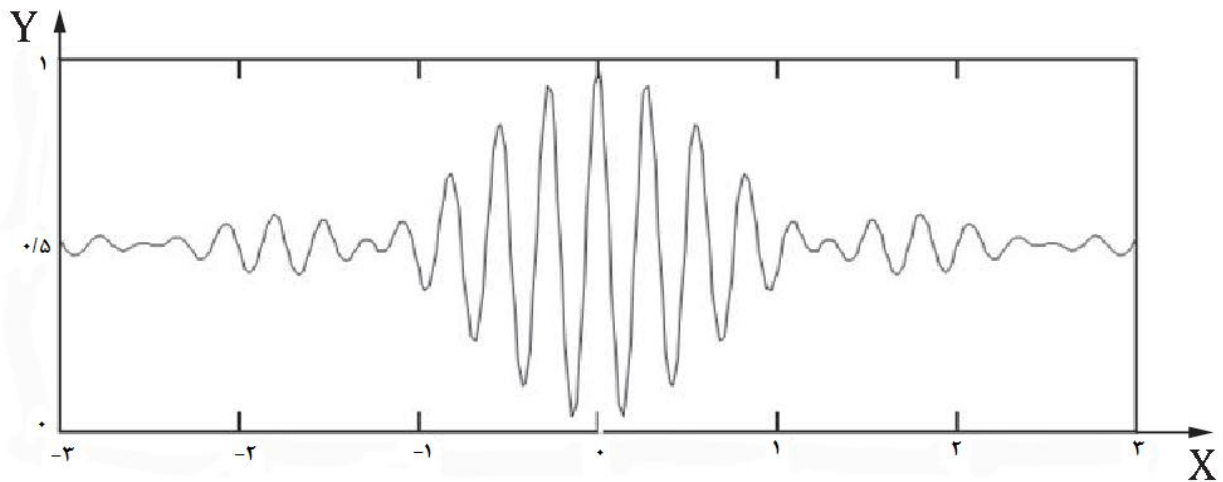
یادآوری- در اینجا،  $k_0 = 2\pi/500 \text{ nm}$  و یک چرخه برابر با  $2\pi$  است. گستره بسامدها، نتیجه پهنای باند طیفی منبع نور می باشد.

شکل ب-۴- دامنه فوریه سیگنال تداخلی (شکل ب-۳) برای سیستم با  $A_N$  پایین برابر با  $0.2$ ، روشن شده توسط منبع نور سفید با پهنای باند  $100 \text{ nm}$  مرکزیت یافته در  $500 \text{ nm}$

ب-۲-۳ حالت حدی: پهنای باند باریک و  $A_N$  بالا

مورد نسبتاً آشنا و مرتبط، پهنای باند باریک در  $A_N$  بالا می باشد. اکنون طیف بسامد (شکل ب-۶) و سیگنال تداخلی (شکل ب-۵) از طریق توزیع نور ترجیحاً بجای طیف منبع نور در صفحه مردمک تشکیل می شوند که فرض شده است تک رنگ با شماره موج تکی  $k_0 = 2\pi/\lambda_0$  باشند. هرچند قاطعانه صحبت از تداخل سنج نور سفید نباشد، سیستم تک رنگ با  $A_N$  بالا به هر حال، کارکرد و سیگنال های مشابه را قطعاً به شیوه ای یکسان مانند دستگاه نور سفید ایجاد می کند.





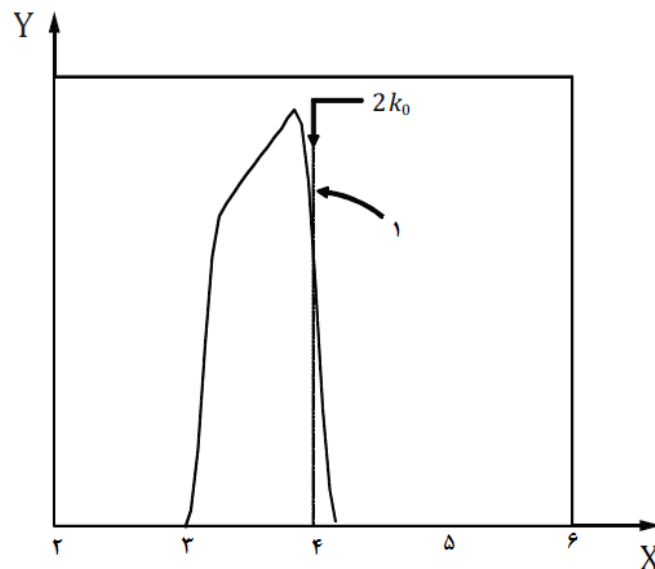
راهنما

X موقعیت روبش ( $\mu\text{m}$ )

Y شدت

یادآوری- پوش مدولاسیون در نتیجه  $A_N$  بالا و روشنایی ناهمدوس فضایی است

شکل ب-۵- شبیه سازی سیگنال تداخلی تک رنگ با  $A_N$  بالا



راهنما

X بسامد سیگنال تداخلی (چرخه/ $\mu\text{m}$ )

Y دامنه فوریه

1 حد برخورد نرمال

یادآوری- در اینجا،  $k_0 = 2\pi/500 \text{ nm}$  و یک چرخه برابر با  $2\pi$  است. گستره بسامدها، نتیجه پهنای باند طیفی منبع نور می باشد.

شکل ب-۶- دامنه فوریه سیگنال تداخلی (شکل ب-۵) برای منبع پهنای باند باریک  $20 \text{ nm}$

که به طور یکنواخت، مردمک پهن با  $A_N 0.6$  (به طور تقریبی با بزرگنمایی  $50\times$ ) را اجرا می کند

در عمل، میکروسکپ‌های CSI به شیوه‌ای سازگار عمل می‌کنند به گونه‌ای که هم همدوسی فضایی و هم پهنا‌ی باند طیفی هر دو بر شکل سیگنال تأثیرگذار هستند. نوعاً، شرط نور سفید با  $A_N$  پایین به طور تقریبی به هنگام استفاده از عدسی‌های شیئی با بزرگنمایی 5X یا پایین‌تر، برآورده می‌شود در حالی که برای بزرگنمایی 50X یا بالاتر، تأثیرات فوکوس قویاً بر شکل سیگنال دخیل است.

### ب-۳ پردازش سیگنال

سیگنال‌های CSI از لحاظ کیفی توسط نوارهای تداخلی که به سرعت نوسان می‌کنند و تغییرات کلی در استحکام سیگنال که تأثیر تداخل بر مقدار ویژه  $\zeta$  را محلی‌سازی می‌کند، متمایز می‌شوند. در برخی موارد ویژه از قبیل سطح بدون ساختار،  $h_{x,y}$ ، طیف نور سفید متقارن با  $A_N$  پایین و سیگنال تداخلی مشترک  $I_{x,y}(\zeta)$  (شکل ب-۳) از نظر ریاضی به انحراف ثابت  $I_0$  قابل جداسازی هستند و سیگنال موج حامل سینوسی مشترک در بسامد فضایی  $K_0$  توسط پوش مدولاسیون  $I_{AC}$  که به آرامی تغییر می‌کند، به صورت زیر به طور تقریبی مدوله می‌شود:

$$I_{x,y}(\zeta) = I_0(\zeta) + I_{AC}(\zeta - h_{x,y}) \cos[K_0(\zeta - h_{x,y})]$$

برای سیستم‌هایی با  $A_N$  بالاتر به عنوان نتیجه تأثیرات همدوسی فضایی، شکل پوش، هم تابعی از تفاوت مسیر اپتیکی و هم تابعی از تأثیرات فوکوس می‌باشد.

سیگنال‌های حقیقی CSI عموماً پیچیده‌تر از موج حامل با پوش مدوله شده می‌باشند، با این وجود، مفهوم پایه برای پوش سیگنال دارای کارایی عملی در توسعه راهبردهای پردازش سیگنال می‌باشد. به این دلیل، توسعه شیوه‌های خودکار برای اندازه‌گیری سه بعدی توپوگرافی سطح با استفاده از CSI همراه با شیوه‌های متنوع برای تشخیص پوش الکترونیکی در دهه ۱۹۸۰ شروع شد، به ردیف‌های [۲۹] و [۳۰] در کتابنامه رجوع شود.

بسیاری از میکروسکپ‌های CSI، حالت آنالیز بهسازی شده را ارائه می‌دهند به طوری که تشخیص پوش ترتیب نوار تداخلی با تفکیک‌پذیری بسیار دقیق‌تر برآورد فاز تداخلی به منظور بهبود دقت CSI بر روی سطوح صاف (برای مثال، کمتر از  $\lambda/10$  ریشه میانگین مربع<sup>۱</sup> زبری سطح) را پیوند می‌زند. یک رویکرد به منظور تشخیص پوش و آنالیز فاز به طور همزمان، همبسته کردن داده‌های شدت اندازه‌گیری شده در هر پیکسل است که با عملکرد هسته مختلط برای حساس بودن به سیگنال CSI طراحی می‌شود، به ردیف [۳۱] در کتابنامه رجوع شود. متناوباً، سیگنال CSI را می‌توان از طریق بررسی مستقیم محتوای بسامد آن در دامنه تبدیل فوریه، تجزیه و تحلیل کرد، به ردیف [۳۲] در کتابنامه رجوع شود.

روش‌های تشخیص گوناگون برای اندازه‌گیری نقشه‌های توپوگرافی سطح بر روی هر دو سطح هم صاف و هم زبر مؤثر واقع می‌شوند اما ممکن است از حساسیت به منابع خطا به مقدار بسیار زیادی نسبت به شیوه‌های فاز تداخلی متداول از قبیل تداخل سنجی تغییر فاز، دچار زیان شود، به ردیف [۳۳] در کتابنامه رجوع شود. بعضی خطاها در ارزیابی، به عنوان خطا در ارزیابی ترتیب نوار تداخلی قابل رؤیت هستند و گاهی اوقات خطاهای  $2\pi$  نامیده می‌شوند. این خطاها در سطوحی که دارای خصوصیات اپتیکی متفاوت در سراسر میدان دید، ساختارهای فیلم، لبه‌های تیز یا زبری زیاد سطح هستند، رایج‌ترین می‌باشند. تلاش‌های قابل ملاحظه‌ای برای طرز رفتار مناسب با ترتیب نوار تداخلی

1- Root mean square (rms)

انجام پذیرفته و این به عنوان نکته اساسی توسعه نرم افزار برای CSI پا بر جا مانده است، به ردیف‌های [۱۰]، [۳۴] و [۳۵] در کتابنامه رجوع شود.

#### ب-۴ تعیین جابجایی عمودی برای CSI

در CSI بر خلاف سایر شیوه‌های تداخل سنجی، طول موج نور، مقیاس ارتفاع را تعریف نمی‌کند. از آنجا که روند تداخل سنجی تنها به عنوان حسگر سطح مورد استفاده قرار می‌گیرد، بخش اصلی اندازه‌گیری توسط "افزایش روبش" ترجیحاً به جای طول موج نور تعریف می‌شود، به ردیف [۳۶] در کتابنامه رجوع شود. از نظر مفهومی، دستگاه CSI مانند پراب تماسی اپتیکی با توازی بالا رفتار می‌کند. نرم افزار، مکان سیگنال CSI را در هر پیکسل نسبت به موقعیت روبش ثبت کرده که منتج به نقشه توپوگرافی سطح، مقیاس و خطی بودن شده به طوری که مستقیماً به دانش حرکت روبش همبسته می‌شوند.

اندازه‌شناسی در راستای افزایش روبش حتی به هنگام یکپارچه کردن فاز تداخل به منظور بهبود دقت اندازه‌گیری‌های CSI پا بر جا می‌ماند. این نتیجه الزام تشخیص پوش و اندازه‌گیری‌های برآورد فاز است که در مقیاس به منظور تلفیق آنها به نتیجه نهایی موافقت می‌شود، (ردیف [۳۷] از کتابنامه) که توسط چنین تأثیراتی از قبیل  $A_N$  عدسی شیئی، پیچیده می‌باشد به گونه‌ای بر طول موج مؤثر، تأثیرگذار است، به ردیف [۲۶] در کتابنامه رجوع شود. آنالیز دامنه بسامد (ردیف [۳۲] از کتابنامه)، پس پردازش طول موج سیگنال‌های CSI (ردیف [۱۲] از کتابنامه) یا تنظیم روش اجرایی کالیبراسیون به منظور کالیبره کردن اندازه‌گیری‌های فاز نسبت به افزایش روبش ممکن است مورد استفاده قرار گیرد.

با فرض این که اندازه‌گیری CSI بر دانش حرکت روبش متکی است برخی دستگاه‌ها، روبش‌گر را با حسگرهای الکترونیکی از قبیل حسگرهای ظرفیتی، مبدل‌های دیفرانسیلی متغیر خطی (LVDTs)<sup>۱</sup>، جابجایی تداخل سنج‌ها (ردیف‌های [۲۰] و [۳۸] از کتابنامه)، کدگذارهای اپتیکی یا سایر روش‌های مورد استفاده در سیستم‌های بازخورد به منظور بهبود خطی بودن روبش، مجهز می‌کنند.

#### ب-۵ مواد نامشابه

خصوصیات اپتیکی مواد که سطح شیء را می‌سازند در راستای فرایند اندازه‌گیری، یکپارچه هستند به ویژه، با فرض این که مواد دارای ضریب شکست با بیشترین پراکندگی خطی در شماره موج  $(2\pi/\lambda)$  می‌باشند که می‌توانند شناسایی شوند، به ردیف‌های [۳۵] و [۳۹] در کتابنامه رجوع شود:

- تغییر فاز بر روی بازتاب (PCOR)<sup>۲</sup> که بر فاز نوار تداخلی اندازه‌گیری شده تأثیرگذار است؛
- نرخ تغییر PCOR یا "پراکندگی PCOR" که بر موقعیت پوش مدولاسیون است.

اگر ماده سطح شیء یکنواخت باشد، عموماً منجر به خطای قابل شناسایی در نقشه توپوگرافی سطح نهایی نمی‌شود در صورتی که انحراف DC کلی، غیر مرتبط فرض شود. برای سطوح ترکیب یافته از مخلوط موادی که دارای

1- Linear variable differential transformers (LVDTs)  
2- Phase change on reflection (PCOR)

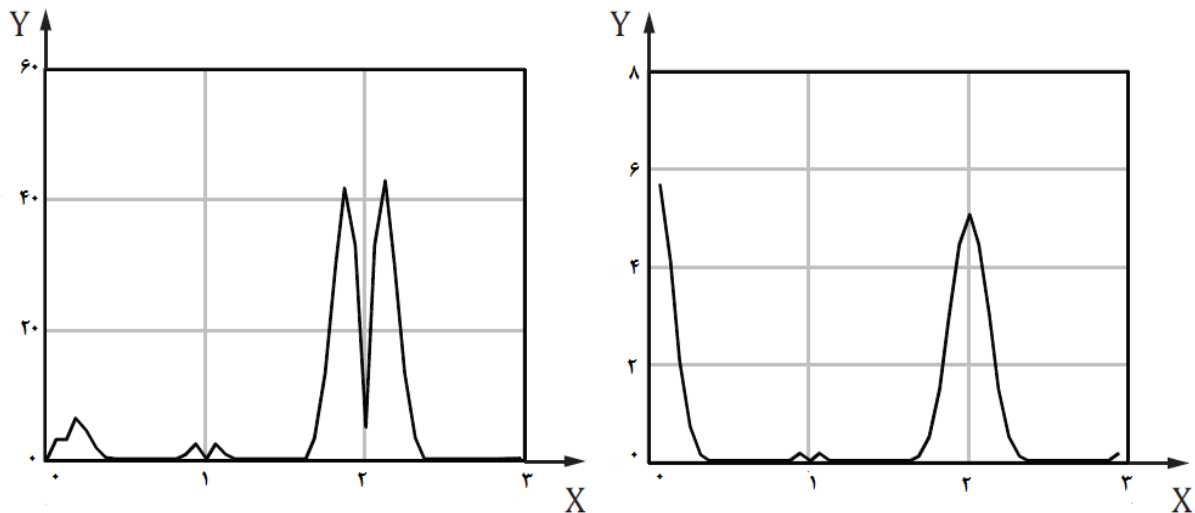
خصوصیات اپتیکی متفاوت می‌باشند، خطاها در اندازه‌گیری توپوگرافی می‌توانند به لحاظ تفاوت‌ها در تغییر فاز بر روی بازتاب معرفی شوند. حتی اکسیدهای غیر یکنواخت نازک می‌توانند موجب تغییرات معنادار در تغییر فاز بر روی بازتاب در سراسر سطح شوند. این خطاها ممکن است در اصل با استفاده از دانش قیاسی PCOR و نرخ تغییر PCOR صحیح باشند، به ردیف [۱۶] در کتابنامه رجوع شود.

جدول ب-۱، تأثیرات اندازه شناسی PCOR و پراکندگی PCOR را برای تعدادی مواد رایج چندی‌سازی می‌کند. یادآوری می‌شود که همبستگی ساده مابین تغییر پوش و تغییر فاز وجود ندارد که در عمل به معنای این است که توسعه یک راهبرد برای تعیین PCOR در جای اصلی خود بدون اطلاعات بیشتر، دشوار است. تغییرات ارتفاع مشاهده شده همچنین در روندی که به تواند از طریق طرح‌ریزی سیگنال مفصل تعیین شود به  $A_N$  عدسی شیئی بستگی دارد، به ردیف [۱۶] در کتابنامه رجوع شود.

#### جدول ب-۱- تغییر در ارتفاع سطح آشکار نتیجه شده از PCOR (تغییر فاز) و

نرخ تغییر PCOR (تغییر پوش) برای نور منبع ۵۷۰ nm با پهنای باند ۱۰۰ nm در  $A_N$  پایین

تغییر فاز nm	تغییر پوش nm	ماده
صفر	صفر	شیشه عریان
صفر	-۳	سیلیکون
-۱۳	-۹	آلومینیم
-۱۳	-۱۵	کروم
-۱۸	-۱۱	پلاتین
-۳۱	-۱	مس
-۱۸	-۱۱	کبالت



راهنما

X بسامد ارتعاشی/نرخ نوار تداخلی  
Y خطای rms

یادآوری- نمودار طرف چپ برای تشخیص پوش و نمودار طرف راست برای فاز تداخلی در نظر گرفته شده است.

شکل ب-۷- حساسیت CSI به ارتعاش مکانیکی سینوسی دامنه نوسان 10 nm  
به عنوان تابعی از بسامد ارتعاشی، به ردیف [۲۸] در کتابنامه رجوع شود

### ب-۶ ارتعاشات

اندازه‌گیری‌های CSI، امکان داده‌برداری را در طول زمان فراهم می‌کند این به معنای آن است که سایر پدیده‌های وابسته به زمان از قبیل ارتعاشات مکانیکی تمایل دارند در داده‌ها همتاب شوند. بنابراین، محیط می‌تواند یک تأثیرگذار مهم در خطای اندازه‌گیری باشد.

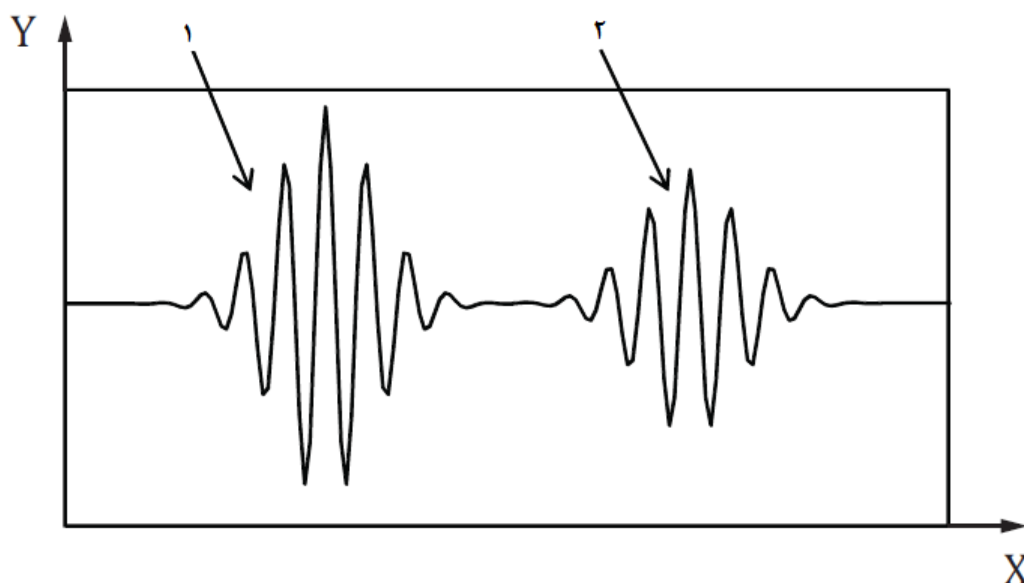
شکل ب-۷، حساسیت CSI به ارتعاش را به عنوان تابعی از بسامد، نرمال بر نرخ روبش نوار تداخلی نشان می‌دهد، به ردیف [۲۸] در کتابنامه رجوع شود (برای مثال، ارتعاش 10 Hz در نرخ روبش از قبیل 5 نوار تداخلی که در هر ثانیه عبور می‌کند، بسامد نرمال شده 2 می‌باشد). حساسیت بسیار بالای تشخیص پوش نسبت به ارتعاش به طور تقریبی 10 برابر بزرگتر برای اندازه‌گیری فاز، ابزار CSI را مجاز می‌کند در یک محیط ایزوله شده از منابع ارتعاش بخصوص در بسامد نرمال شده 2 قرار گیرد.

در برخی موارد مورد علاقه، خطاهای اندازه‌گیری بالا مرتبط با ارتعاشات با بسامد منفرد و پایدار می‌تواند از طریق تغییر نرخ روبش کاهش یابد تا از حساسیت‌های قله قابل رؤیت در شکل ب-۷ جلوگیری شود.

### ب-۷ فیلم‌ها

یکی از مزیت‌های منحصر به فرد CSI که قبلاً شناسایی شد، قابلیت جداسازی بازتاب‌های چندگانه از ساختارهای فیلم نیمه شفاف بر روی سطوح می‌باشد، به ردیف‌های [۴]، [۵] و [۴۰] در کتابنامه رجوع شود. از شکل ۸ واضح است که برای فیلم تک لایه با ضخامت مناسب، دو پوش مدولاسیون قابل شناسایی آشکار به بازتاب‌های سطح از

مرزهای فیلم متناظر می‌شوند. بنابراین، یک رویکرد برای ایجاد نقشه‌های توپوگرافی سطح بر روی فیلم‌ها، شناسایی مناسب‌ترین سیگنال به عنوان سیگنال سطح بالایی می‌باشد که در شکل ب-۸ نشان داده شده است. همچنین، اگر خصوصیات انکساری فیلم معلوم باشند، سطح زیرلایه یا سطوح ثانویه دیگر در زیر سطح بالایی می‌توانند برای ارتفاع از طریق آنالیز سیگنال‌ها که از سیگنال سطح بالایی پیروی می‌کنند، ترسیم شوند به طوری که منجر به اطلاعات اضافی از قبیل نقشه‌های ضخامت فیلم ۳D می‌شوند. متناوباً، اگر ضخامت فیزیکی لایه فیلم معلوم باشد، خصوصیات انکساری ماده فیلم ممکن است از طریق آنالیز سیگنال CSI تعیین شود.



۱ سیگنال زیرلایه  
۲ سیگنال سطح بالایی

راهنما  
X موقعیت روبش  
Y شدت

یادآوری- نمودار طرف چپ برای تشخیص پوش و نمودار طرف راست برای فاز تداخلی در نظر گرفته شده است.

#### شکل ب-۸- سیگنال CSI در حضور فیلم شفاف تک لایه با ضخامت چند میکرومتر

یک احتیاط به هنگام آنالیز نقشه‌های ضخامت فیلم این است که مکان سیگنال زیرلایه یا سیگنال سطح ثانویه توسط دو عامل تأثیرگذار رقابتی زیر تحت تأثیر قرار می‌گیرد:

- طول مسیر اپتیکی در امتداد محور مبتنی بر سرعت گروهی که در فیلم طولانی‌تر از در هوا است؛
- بهترین موقعیت فوکوس که در فیلم کوتاه‌تر از در هوا است.

این دو عامل تأثیرگذار رقابتی، قویاً بر شکل و موقعیت سیگنال‌های CSI که از بازتاب‌ها در فیلم نتیجه می‌شوند، تأثیر می‌گذارند، به ردیف [۱۶] در کتابنامه رجوع شود.

اگر فیلم بسیار نازک باشد، سیگنال‌های مجزای نشان داده شده در شکل ب-۸ در هم آمیخته می‌شوند و به طور واضح جدا کردن آنها دشوار خواهد بود. ضخامت فیلم که طی آن، جداسازی دشوار می‌شود بستگی به طول همدوسی

نور اندازه‌گیری در فیلم نازک دارد و تقریباً به چند  $\mu\text{m}$  می‌رسد. بسته به پیکربندی دستگاه، حد پایین‌تری برای آنالیز به طور کلی بر پایه جداسازی سیگنال وجود دارد به طوری که زیر سطح برخی مدل‌سازی، تفسیر سیگنال CSI ضروری می‌شود.

#### ب-۸ داده‌های مفقودی و داده‌های بد

برخی مکان‌ها بر روی سطح ممکن است به لحاظ نسبت سیگنال پایین به نوفه قابل اندازه‌گیری نباشند. این‌ها ممکن است ناحیه‌هایی با شیب بالا یا مکان‌هایی باشند که بی‌قاعدگی‌های سطح وجود دارند. اگر الگوریتم اندازه‌گیری، این مکان‌ها را شناسایی کند آنها ممکن است به عنوان "داده‌های مفقودی یا افتاده" طبقه‌بندی شوند. متناوباً، اندازه‌گیری چنین ناحیه‌هایی ممکن است منتج به "داده‌های بد یا پرت" شود که شناسایی نمی‌شوند اما به هنگامی که سطح برای پارامترها مورد آنالیز قرار می‌گیرد می‌توانند منجر به نتایج اشتباهی شوند. الگوریتم‌های آماری اضافی می‌توانند به منظور شناسایی این نقطه‌داده‌های<sup>۱</sup> بد مورد استفاده قرار گیرند. سطوح سپس می‌توانند برای پارامترها از طریق جلوگیری از نقاط بد و مفقودی یا از طریق درون‌یابی نقطه‌داده‌های بد و مفقودی مورد آنالیز قرار گیرند.

## پیوست پ (اطلاعاتی)

### تفکیک پذیری فضایی

#### پ-۱ تابع انتقال دستگاه

یک روش اطلاعاتی برای توصیف توان تفکیک پذیری (جانبی) میکروسکوپ‌های CSI فضایی توسط تابع انتقال دستگاه [ITF<sup>۱</sup> یا  $f_{ITF}(v)$ ] انجام می‌شود، به ردیف‌های [۴۱] و [۴۲] در کتابنامه رجوع شود. ITF معادل دستگاه‌های اندازه‌گیری توپوگرافی برای تابع انتقال اپتیکی (OTF)<sup>۲</sup> [استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۶۰۹، بند ۳-۸] برای میکروسکوپ‌های متداول است. ITF چگونگی پاسخ دستگاه به سطح شیء را که دارای بسامد ویژه فضایی است، توصیف می‌کند. به طور مطلوب، ITF به ما می‌گوید که دامنه نوسان اندازه‌گیری شده شبکه سینوسی بسامد ویژه فضایی  $v$  (برای مثال، در خطوط/mm) با دامنه نوسان واقعی شبکه مرتبط است. ITF همچنین بر مقدار پلایه  $S$  که باید به منظور جلوگیری از داده‌های دست‌ساز منجر شده از نوفه بسامد بالا به کار برده شود، تأثیرگذار است (به استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۴۹۵۴، بند ۴-۲-۳ رجوع شود). برای ساده‌سازی فرض شده است که سطح در امتداد جهت  $x$  زیر بوده و توسط تابع  $h(x)$  توصیف می‌شود. چون ساختار سطح ممکن است به عنوان مجموع اجزای بسامد فضایی توسط تبدیل فوریه ( $F$ ) ارائه شود، سطح دارای نیم‌رخ ارتفاع اندازه‌گیری شده  $h'(x)$  است که به صورت زیر می‌باشد:

$$h'(x) = F^{-1} G'(v) \quad (\text{پ-۱})$$

که در آن  $F^{-1}$ ، تبدیل فوریه معکوس می‌باشد.

$$G'(v) = f_{ITF}(v) G(v) \quad (\text{پ-۲})$$

و

$$G(v) = F h(x) \quad (\text{پ-۳})$$

در حد ارتفاع‌های بسیار کوچک سطح، ITF دستگاه CSI دارای منبع نور ناهمدوس بوده که مردمک عدسی شیئی را پُر می‌کند و به صورت زیر می‌باشد:

$$f_{ITF}(v) = \frac{2}{\pi} [\phi - \cos(\phi) \sin(\phi)] \quad (\text{پ-۴})$$

که در آن

$$\phi = \arccos \left( \frac{\lambda v}{2 A_N} \right) \quad (\text{پ-۵})$$

1- Instrument transfer function (ITF)  
2- Optical transfer function (OTF)



برای متمایز کردن کامل دستگاه، این ITF [فرمول (پ-۴)] باید در تابع انتقال مدولاسیون (MTF) ضرب شود که تفکیک پذیری آن توسط اندازه پیکسل محدود می شود. شکل پ-۱، ITF های نظری برای میکروسکوپ های CSI را با چند عدسی شیئی که شامل MTF دوربین مخصوص نیز می شود، نشان می دهد. لحاظ نکردن تأثیر تفکیک پذیری دوربین، ITF برای بسامد فضایی به صفر می رسد که به صورت زیر می باشد:

$$\phi = 0$$

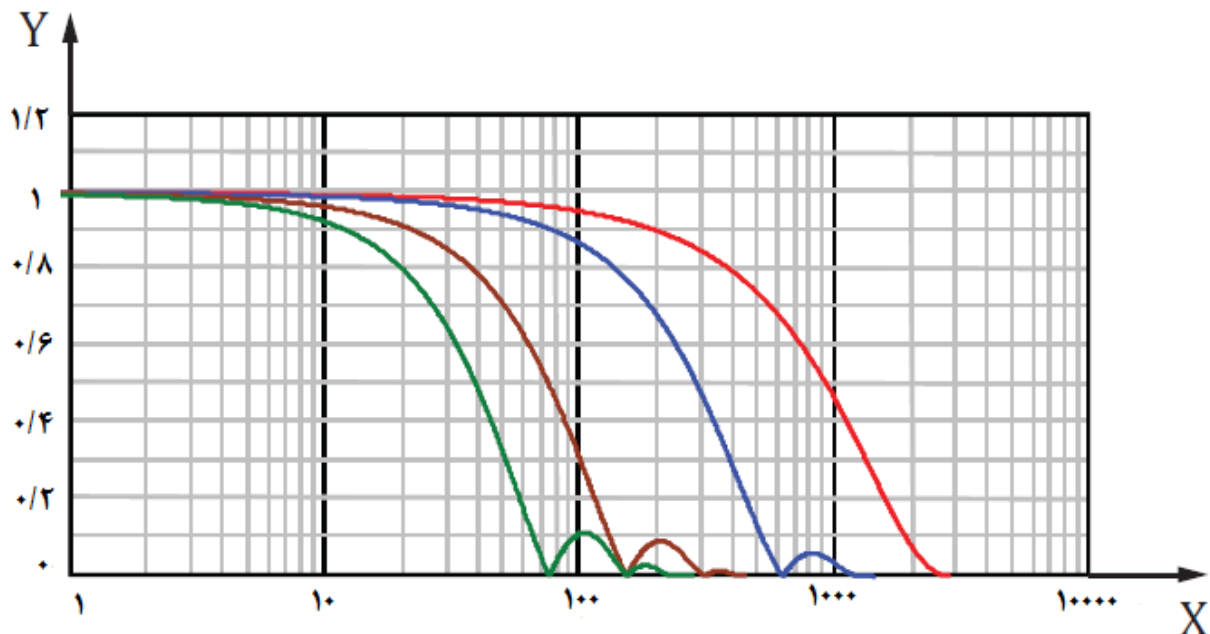
یا

$$v_{0\%} = \frac{2 A_N}{\lambda} \quad (\text{پ-۶})$$

که تقریباً با معیار اسپارو برای تفکیک پذیری اپتیکی برابر است. نقطه ۵۰٪ به صورت زیر است:

$$v_{50\%} = \frac{A_N}{1,22 \lambda} \quad (\text{پ-۷})$$

که نصف بسامد فضایی (دو برابر دوره تناوب فضایی) مربوط به معیار رایلی می باشد، به ردیف های [۴۳] و [۴۴] در کتابنامه رجوع شود. جدول پ-۱، تفکیک پذیری جانبی اپتیکی برای عدسی های شیئی CSI متداول را بر حسب این دو معیار خلاصه می کند.



راهنما

X بسامد فضایی (چرخه/mm)

Y تابع انتقال دستگاه

شکل پ-۱- دامنه نوسان ITF نظری برای عدسی های میکروسکوپ ۲/۵X، ۵X، ۲۰X و ۱۰۰X

( $A_N$  به ترتیب برابر است با ۰/۰۷۵، ۰/۱۳، ۰/۳ و ۰/۸) با بزرگنمایی بالاتر به طرف راست

شامل تأثیرگذاری ۶۴۰×۴۸۰ پیکسل دوربین با ۱X عدسی لامپ

جدول پ-۱- تفکیک پذیری توپوگرافیکی فضایی مربوط به عدسی های شیئی CSI متداول با فرض اپتیک های کامل و به استثنای تأثیرات دوربین محاسبه شده برای طول موج ۵۵۰ nm

تفکیک پذیری توپوگرافیکی فضایی			
اسپارو $\mu\text{m}$	رایلی $\mu\text{m}$	$A_N$	بزرگنمایی
۸,۶۲	۱۱,۱۸	۰,۰۳	۱x
۳,۲۳	۴,۱۹	۰,۰۸	۲,۵x
۱,۹۹	۲,۵۸	۰,۱۳	۵x
۰,۸۶	۱,۱۲	۰,۳۰	۱۰x
۰,۶۵	۰,۸۴	۰,۴۰	۲۰x
۰,۴۷	۰,۶۱	۰,۵۵	۵۰x
۰,۳۲	۰,۴۲	۰,۸۰	۱۰۰x

این ضرورت دارد به آسانی درک شود داشتن  $A_N$  ویژه، به معنای آن نیست که عدسی شیئی طبق جدول پ-۱ عمل می کند. عدم انطباق کانونی<sup>۱</sup> یا تغییرات در روشنایی می تواند قویاً بر عملکرد واقعی دستگاه تأثیرگذار باشد.

مابین دو معیار، تنها معیار رایلی (بند ۲-۳-۷) می تواند به طور مستقیم از طریق اندازه گیری تجربی پاسخ دستگاه به سطح ۵۰٪ تصدیق شود. بنابراین، این یک ویژگی ترجیحی می باشد. اگر مقدار اسپارو (بند ۲-۳-۸) مورد استناد قرار گیرد می تواند ابتدا از طریق تعیین مقدار معیار رایلی و سپس ضرب آن در ۰,۷۷ تصدیق شود.

تفکیک پذیری دوربین معمولاً با تفکیک پذیری اپتیکی به طور تقریبی تا  $10X$  جور می شود یعنی اندازه پیکسل فضایی شیء به گونه ای که در جدول پ-۱ فهرست شده، دارای ابعاد جانبی یکسان می باشد. در بالای  $20X$ ، تفکیک پذیری دوربین از تفکیک پذیری اپتیکی فراتر رفته به گونه ای که یک حد قابل اغماض بر روی شبکه ITF در  $100X$  محسوب شده که در جدول پ-۱ نیز قابل رؤیت می باشد.

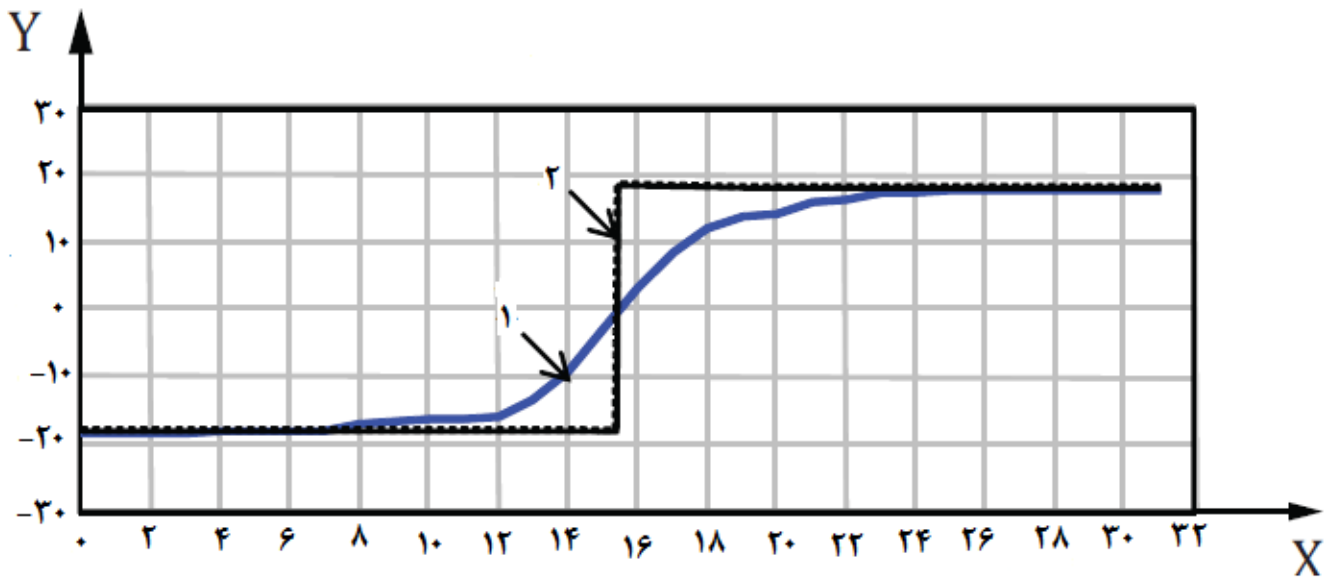
یک احتیاط در مورد ITF این است که به طور نظری تنها در مورد ارتفاعات سطح، بسیار کوچکتر از طول موج معتبر می باشد. به علاوه، بسامدهای بالاتر فضایی می تواند منجر به نتایج غیر واقعی شود، به ردیف [۴۵] در کتابنامه رجوع شود.

خصیصه های مرتبط با تغییرات ارتفاع بزرگتر می تواند نتایج غیر منتظره از قبیل حساسیت به بسامد فضایی فراتر از معیار اسپارو را به لحاظ همبستگی خطی دربر داشته باشد، به ردیف های [۴۱] و [۴۶] در کتابنامه رجوع شود. احتیاط بیشتر این است که محاسبه ITF به نظریه عددی ابه<sup>۲</sup> بستگی دارد، در حالی که راه حل برداری دقیق تر معادلات ماکسول<sup>۳</sup> ممکن است منجر به نتایج متفاوت بخصوص در  $A_N$  بالا شود. احتیاط های بیان شده در روال عادی منحنی های ITF که در شکل پ-۱ نشان داده شده، پیشگویی های مفید در رابطه با عملکرد دستگاه می باشند.

1- Aberration  
2- Abbe  
3- Maxwell's equations

## پ-۲ اندازه‌گیری ITF

از نظر روش اجرایی، ITF ممکن است به طور مستقیم توسط مقایسه محتوای بسامد نقشه توپوگرافی سطح اندازه‌گیری شده فضایی تقسیم بر محتوای بسامد نظری سطح شی فضایی محاسبه شود. شی مناسب برای این مقایسه، ارتفاع گام نه بیشتر از یک هشتم میانگین طول موج منبع در ارتفاع می‌باشد، به ردیف [۴۱] در کتابنامه رجوع شود. شکل پ-۲، چنین نیم‌رخ را برای گام نامی ۴۰ nm نشان می‌دهد. نسبت تبدیل فوریه برای این دو طرح به گونه‌ای که در شکل پ-۳ نشان داده شده، ITF را سبب می‌شود.



راهنما

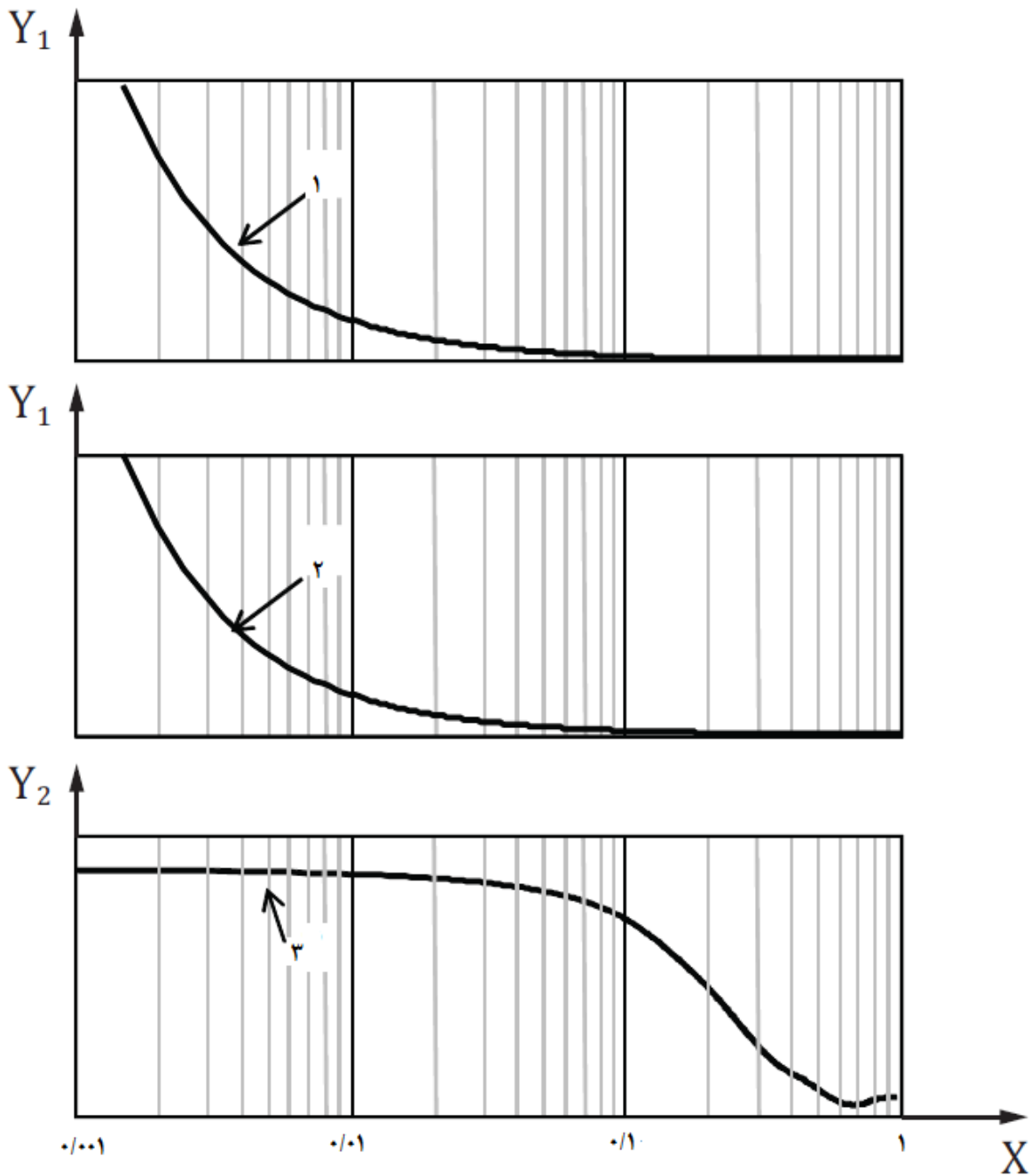
X مختصات جانبی (پیکسل)

Y ارتفاع (nm)

۱ داده‌های خروجی

۲ گام کامل

شکل پ-۲- مقایسه نیم‌رخ اندازه‌گیری شده گام با گام کامل نظری



راهنما

$X$  بسامد فضایی (نیکوئیست) برابر ۱ است)

$Y_1$  شدت

$Y_2$  دامنه نوسان نسبی

۱ تبدیل فوریه گام اندازه گیری شده

۲ تبدیل فوریه گام کامل

۳ نسبت  $\frac{C}{D}$

یادآوری- بسامد فضایی در این نمودار بر بسامد نمونه برداری نیکوئیست، نرمال است که نصف بسامد فضایی (دو برابر فاصله بندی) مربوط به پیکسل های دور بین است.

شکل پ-۳- نمایش فرایند برای تعیین ITF به طور تجربی با استفاده از داده های نیم رخ گام

## پیوست ت (اطلاعاتی)

### مثال روش اجرایی برای برآورد تکرار پذیری توپوگرافی سطح

دستگاه CSI، اندازه‌دهی‌های<sup>۱</sup> گوناگون از قبیل قله به دره، rms زبری، ارتفاع گام و غیره که همگی از تصویر توپوگرافی ارتفاعات سطح نتیجه می‌شوند را گزارش می‌دهد. تکرار پذیری توپوگرافی سطح، تعریف شده در بند ۱-۲-۱۱ توافق مابین اندازه‌گیری‌های تکرار شده را فراهم می‌کند. برای تصدیق کپی‌برداری<sup>۲</sup> و عملکرد دستگاه، تکرار پذیری توپوگرافی سطح معمولاً بر روی سطح صاف اپتیکی اجرا می‌شود. شرایط و پارامترها برای تکرار پذیری توپوگرافی سطح باید توصیف شوند.

روش اجرایی زیر برای برآورد تکرار پذیری توپوگرافی سطح مورد استفاده قرار می‌گیرد:

الف- به دست آوردن تعداد  $n$  نقشه‌های اندازه‌گیری (برای مثال، ۱۰) بدون متوسط‌گیری یا صاف‌سازی جانبی و برداشتن از هر نقشه منفرد یک صفحه‌کمترین مربعات به گونه‌ای که هر نقشه نتیجه شده  $(h_{x,y})_{1,2,...,n}$  دارای میانگین ارتفاع صفر و کجی صفر می‌باشد.

ب- نقشه متوسط  $\langle h_{x,y} \rangle$  ایجاد شود.

پ- نقشه متوسط  $\langle h_{x,y} \rangle$  از هر نقشه منفرد  $(h_{x,y})_{1,2,...,n}$  تفریق شود و مقدار ریشه میانگین مربعی  $\varepsilon_{1,2,...,n}$  برای هر نقشه تفاوت بر روی تمامی پیکسل‌ها ثبت شود.

ت- تکرار پذیری توپوگرافی سطح، مقدار میانگین حسابی جامعه مقادیر  $\varepsilon_{1,2,...,n}$  می‌باشد.

توصیه می‌شود افزایش روبش (اغلب ۴ تصویر دوربین توسط نوار تداخلی برای CSI) و تمامی شرایط محیطی مرتبط، صریحاً یادآوری شوند.

---

1- Measurands  
2- Benchmarking

## پیوست ث (اطلاعاتی)

### ارتباط با مدل ماتریس GPS

#### ث-۱ کلیات

برای کسب جزئیات کامل درباره مدل ماتریس GPS به استاندارد ISO/TR 14638:1995 رجوع شود. طرح فراگیر ISO/GPS ارائه شده در استاندارد ISO/TR 14638:1995، مروری بر سیستم ISO/GPS را بیان می‌کند که این استاندارد قسمتی از آن محسوب می‌شود. قواعد اساسی ISO/GPS ارائه شده در استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۲۱۱ برای این استاندارد مورد استفاده قرار می‌گیرد. قواعد تصمیم‌گیری پیش‌فرض ارائه شده در استاندارد ملی ایران شماره ۱-۹۹۷۳ سال ۱۳۸۶ در مورد ویژگی‌های تعیین شده مطابق با این استاندارد به کار گرفته می‌شود، مگر آن که به نحوی دیگر مشخص شده باشد.

#### ث-۲ اطلاعات درباره این استاندارد و موارد استفاده از آن

این استاندارد، مشخصه‌های پایه اصطلاح‌شناسی و اندازه‌شناختی را برای دستگاه‌های غیر تماسی (تداخل‌سنجی روبشی هم‌دوس با میکروسکپ) تعریف می‌کند.

#### ث-۳ موقعیت در مدل ماتریس GPS

این استاندارد یکی از استانداردهای ملی ایران در رابطه با "ویژگی‌های هندسی فرآورده (GPS)" است که بر پیوند زنجیره‌ای ۵ از زنجیره استانداردهای نیم‌رخ زبری<sup>۱</sup>، نیم‌رخ موجی<sup>۲</sup>، نیم‌رخ اولیه<sup>۳</sup> و بافت سطح مساحتی<sup>۴</sup> در ماتریس GPS عمومی به گونه‌ای که در جدول ث-۱ نشان داده شده تأثیرگذار است.

#### ث-۴ استانداردهای بین‌المللی مرتبط

استانداردهای بین‌المللی مرتبط، استانداردهایی هستند که در زنجیره استانداردها در جدول ث-۱ نشان داده شده است.

---

1- Roughness profile  
2- Waviness profile  
3- Primary profile  
4- Areal surface texture

جدول ث-۱- ماتریس استانداردهای پایه و عمومی ISO GPS

استانداردهای فراگیر GPS

استانداردهای عمومی GPS							استانداردهای پایه GPS
۶	۵	۴	۳	۲	۱	شماره پیوند زنجیره‌ای	
						اندازه	
						فاصله	
						شعاع	
						زاویه	
						فرم خط مستقل از مبنا <sup>۱</sup>	
						فرم خط وابسته به مبنا <sup>۲</sup>	
						جهت <sup>۳</sup>	
						مکان <sup>۴</sup>	
						لنگی دایره‌ای <sup>۵</sup>	
						لنگی کل <sup>۶</sup>	
						مبناها <sup>۷</sup>	
	•					نیمرخ زبری	
	•					نیمرخ موجی	
	•					نیمرخ اولیه	
						عیب‌های سطحی <sup>۸</sup>	
						لبه‌ها <sup>۹</sup>	
	•					بافت سطح مساحتی	

- 1- Form of line independent of datum
- 2- Form of line dependent of datum
- 3- Orientation
- 4- Location
- 5- Circular run-out
- 6- Total run-out
- 7- Datums
- 8- Surface imperfections
- 9- Edges

## کتابنامه

- [۱] استاندارد ملی ایران شماره ۴۷۲۳ سال ۱۳۹۰، واژه‌نامه اندازه‌شناسی - مفاهیم پایه و عمومی و اصطلاحات مربوط
- [۲] استاندارد ملی ایران شماره ۶۰۳-۱۴۹۵۴ سال: ۱۳۹۳، ویژگی‌های هندسی فرآورده (GPS) - بافت سطح: مساحتی - قسمت ۶۰۳: مشخصه‌های نامی دستگاه‌های غیر تماسی (تداخل سنجی تغییر فاز میکروسکوپی)
- [۳] استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۲۱۱ سال ۱۳۸۷، ویژگی‌های هندسی فرآورده (GPS) - مبانی - مفاهیم، اصول و قواعد
- [۴] استاندارد ملی ایران شماره ۱-۹۹۷۳ سال ۱۳۹۳، ویژگی‌های هندسی فرآورده (GPS) - بازرسی به وسیله اندازه‌گیری قطعه کارها و تجهیزات اندازه‌گیری - قسمت ۱: قواعد تصمیم‌گیری برای اثبات انطباق یا عدم انطباق با ویژگی‌ها
- [۵] استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۹۶۷ سال: ۱۳۸۷، ویژگی‌های هندسی فرآورده (GPS) - مفاهیم و الزامات عمومی برای تجهیزات اندازه‌گیری GPS
- [۶] استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۴۹۵۴ سال: ۱۳۹۲، ویژگی‌های هندسی فرآورده (GPS) - بافت سطح: مساحتی - قسمت ۳: ویژگی کاربران
- [۷] استاندارد ملی ایران شماره ۶-۱۴۹۵۴ سال: ۱۳۹۱، ویژگی‌های هندسی فرآورده (GPS) - بافت سطح: مساحتی - قسمت ۶: طبقه‌بندی روش‌ها برای اندازه‌گیری بافت سطح
- [۸] استاندارد ملی ایران شماره ۶۰۱-۱۴۹۵۴ سال: ۱۳۹۲، ویژگی‌های هندسی فرآورده (GPS) - بافت سطح: مساحتی - قسمت ۶۰۱: مشخصه‌های نامی دستگاه‌های تماسی (سوزنی)
- [۹] استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۴۳۰ سال: ۱۳۸۷، ویژگی‌های هندسی فرآورده (GPS) - بافت سطح: روش نیم‌رخ - اصطلاحات، تعاریف و پارامترهای بافت سطح
- [۱۰] استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۱۸۸ سال: ۱۳۸۸، ویژگی‌های هندسی فرآورده (GPS) - بافت سطح: روش نیم‌رخ - مشخصه‌های اسمی دستگاه‌های اندازه‌گیری تماسی (سوزنی)



- [12] WYANT. JC and Schmit, J. Large Field of View, High Spatial Resolution, Surface Measurements. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 1998, **38** (5-6) pp. 691–698
- [13] WINDECKER. R, Haible, P and Tiziani, HJ. Fast coherence scanning interferometry for measuring smooth, rough and spherical surfaces. *J. Mod. Opt.* 1995, **42** (10) pp. 2059–2069
- [14] DAVIDSON. M, Kaufman, K, Mazor, I and Cohen, F. An application of interference microscopy to integrated circuit inspection and metrology. *Proc. SPIE.* 1987, **775** pp. 233–247
- [15] LEE. BS and Strand, TC. Profilometry with a coherence scanning microscope. *Appl. Opt.* 1990, **29** (26) pp. 3784–3788
- [16] DRESEL. T, Haeusler, G and Venzke, H. Three-dimensional sensing of rough surfaces by coherence radar. *Appl. Opt.* 1992, **31** (7) pp. 919–925
- [17] LEE-BENNETT, I. Advances in non-contacting surface metrology. *Optical Fabrication and Testing, OTuC1*, 2004, Rochester, October 11-13.
- [18] KINO. GS and Chim, SSC. Mirau correlation microscope. *Appl. Opt.* 1990, **29** (26) pp. 3775–3783
- [19] LARKIN. KG. Efficient nonlinear algorithm for envelope detection in white light Interferometry. *J. Opt. Soc. Am. A Opt. Image Sci. Vis.* 1996, **4** pp. 832–843
- [20] WYANT, JC.. How to extend interferometry for rough-surface tests. *Laser Focus World*, September 1993, pp. 131-135
- [21] CONNOLLY, T.. Scanning interferometer characterizes surfaces. *Laser Focus World*, August 1995, p. 84.
- [22] SCHMIT. J and Olszak, AG. Some challenges in white light phase shifting Interferometry. *Proc. SPIE.* 2002, **4777** p. 118
- [23] SCHMIT, J and CHEN, D.. Greater Measurement Detail with High-Definition Vertical Scanning Interferometry. Veeco Instruments Inc. Applications Note AN541.
- [24] CABER. PJ.. Interferometric profiler for rough surfaces. *Appl. Opt.* 1993, **32** (19) pp. 3438–3441
- [25] WYKO RST (Rough Surface Tester). Wyko Corporation product literature. Tucson, Arizona, 1992
- [26] de GROOT. P and Colonna de Lega, X. Signal modeling for low coherence height-scanning interference microscopy. *Appl. Opt.* 2004, **43** (25) p. 4821
- [27] de GROOT, P, Biegen, J, Clark, J, Colonna de Lega, X and Grigg, D. Optical interferometry for measuring the geometric dimensions of industrial parts. *Appl. Opt.* 2002, **41** (19) pp. 3853–3860

- [28] WAN, D-S, Schmit, J and Novak, E. Effects of source shape on the numerical aperture factor with a geometrical-optics model. *Appl. Opt.* 2004, **43** (10) pp. 2023–2028
- [29] NAKANO, K, Yoshida, H, Hane, K, Okuma, S and Eguchi, T. Fringe scanning interferometric imaging of small vibration using pulsed laser diode. *Trans. of SICE.* 1995, **31** (4) pp. 454–460
- [30] NOVAK, E, Krell, MB and Browne, T. Template-based software for accurate MEMS characterization. *Proc. SPIE.* 2003, **4980** pp. 75–80
- [31] de GROOT. P, Colonna de Lega, X and Grigg, D. Step height measurements using a combination of a laser displacement gage and a broadband interferometric surface profiler. *Proc. SPIE.* 2002, **4778** pp. 127–130
- [32] HAN, S, Novak, E, Wissinger, J, et al. Surface profiler for fixed through glass measurement. *Proc. SPIE.* 2005, **5716** pp. 189–197
- [33] DECK. LL. High precision interferometer for measuring mid-spatial frequency departure in free form optics. *Optifab 2007: Technical Digest. SPIE Technical Digest.* 2007, **TD04** p. TD040M
- [34] BAUER. W. Special Properties of Coherence Scanning Interferometers for large Measurement Volumes. *J. Phys. Conf. Ser.* 2011, **311** p. 012030
- [35] SHEPPARD. CJR and Larkin, KG. Effect of numerical aperture on interference fringe spacing. *Appl. Opt.* 1995, **34** (22) pp. 4731–4733
- [36] de GROOT. P and COLONNA de LEGA, X. Signal modeling for low coherence height-scanning interference microscopy. *Appl. Opt.* 2004, **43** (25) p. 4821
- [37] de GROOT. P. Coherence scanning interferometry. In: *Optical Measurement of Surface Topography*, (Leach R.ed.). Springer Verlag, Berlin, First Edition, 2011, pp. 187–208.
- [38] HANEISHI. H. Signal processing for film thickness measurements by white light interferometry. Graduate thesis, Department of Communications and Systems Engineering, University of Electrocommunications, Chofu, Tokyo, 1984.
- [39] SCHMIT. J. High-speed measurements using optical profiler. *Proc. SPIE.* 2003, **5144** pp. 46–56
- [40] SANDOZ. P. Wavelet transform as a processing tool in white-light interferometry. *Opt. Lett.* 1997, **22** (14) pp. 1065–1067
- [41] de GROOT, P and DECK, L. Surface profiling by analysis of white-light interferograms in the spatial frequency domain. *J. Mod. Opt.* 1995, **42** (2) pp. 389–401
- [42] RHEE. H-G, Vorburger, TV, Lee, JW and Fu J. Discrepancies between roughness measurements obtained with phase-shifting and white-light interferometry. *Appl. Opt.* 2005, **44** (28) pp. 5919–5927
- [43] HARASAKI. A and Wyant, JC. Fringe modulation skewing effect in white-light vertical scanning interferometry. *Appl. Opt.* 2000, **39** (13) pp. 2101–2106

- [44] de GROOT. P, Colonna de Lega, X, Kramer, J and Turzhitsky, M. Determination of fringe order in white light interference microscopy. *Appl. Opt.* 2002, **41** (22) pp. 4571–4578
- [45] VDI/VDE 2655, Optical measurement and micro-topographies — Calibration of interference microscopes and depth measurement standards for roughness measurement
- [46] SCHMIT. J, Krell, M and Novak E. Calibration of high-speed optical profiler. *Proc. SPIE.* 2003, **5180** pp. 355–364
- [47] SCHMIT. J, Olszak, G and McDermed, S. White light interferometry with reference signal. *Proc. SPIE.* 2003, **5180** pp. 355–364
- [48] DUBOIS. A. Effects of phase change on reflection in phase-measuring interference microscopy. *Appl. Opt.* 2004, **43** (7) pp. 1503–1507
- [49] BOSSEBOEUF. A and Petigrand, S. Application of microscopic interferometry techniques in the MEMS field. *Proc. SPIE.* 2003, **5145** pp. 1–16
- [50] de GROOT. P and Colonna de Lega, X. Interpreting interferometric height measurements using the instrument transfer function. In: *Proc. FRINGE 2005*, (Osten W., ed.). Springer Verlag, Berlin, 2006, pp. 30-37
- [51] CHU. J, Wang, Q, Lehan, JP, Gao, G and Griesmann, U. Spatially resolved height response of phaseshifting interferometers measured using a patterned mirror with varying spatial frequency. *Opt. Eng.* 2010, **49** (9) p. 095601
- [52] SMITH. WJ. *Modern Optical Engineering*. McGraw-Hill, New York, 1966, pp. 139.
- [53] STEWART. JE.. *Optical Principles and Technology for Engineers*. CRC Press, Boca Raton, 1996, pp. 19.
- [54] PETZING. J, Coupland, J and Leach, R.. *The Measurement of Rough Surface Topography using Coherence Scanning Interferometry*, NPL Good Practice Guide No. 116. National Physical Laboratory, Teddington, 2011
- [55] TAKACS. P, Li, M, Furenlid, K and Church, E. A Step-Height Standard for Surface Profiler Calibration. *Proc. SPIE.* 1993, **1995** pp. 65–74
- [56] ISO 10934-2:2007, Optics and optical instruments — Vocabulary for microscopy — Part 2: Advanced techniques in light microscopy
- [57] ISO 25178-2:2012, Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Areal — Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters
- [58] ISO 25178-602:2010, Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Areal — Part 602: Nominal characteristics of non-contact (confocal chromatic probe) instruments
- [59] ISO 9334:2012, Optics and photonics — Optical transfer function — Definitions and mathematical relationships