



جمهوری اسلامی ایران  
سازمان برنامه و بودجه کشور  
سازمان نقشه برداری کشور



## استاندارد

### اطلاعات مکانی – کالیبراسیون و اعتبارسنجی سنجنده‌های تصویربرداری و داده‌های سنجش از دوری – بخش 2: لایدار

مشخصات فنی ISO/TS 2–19159

<http://www.ncc.gov.ir>

گروه استانداردسازی

سازمان نقشه برداری کشور

اداره کل نظارت، کنترل فنی و  
استاندارد

1402

**تهیه کنندگان:**

**سرکار خانم مهرنوش امتی (اداره کل نقشه برداری هوایی و فضایی)**

**سرکار خانم مریم صادقی (اداره کل حوزه ریاست، روابط عمومی و امور بین الملل)**

**ناظر:**

**جناب آقای دکتر یاسر مقصودی**

## فهرست

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| پیش گفتار.....                             | 5  |
| مقدمه.....                                 | 7  |
| 1 دامنه کاربرد.....                        | 8  |
| 2 تطابق.....                               | 8  |
| 3 مراجع الزامی.....                        | 8  |
| 4 اصطلاحات و تعاریف.....                   | 9  |
| 5 نمادها و اصطلاحات اختصاری.....           | 24 |
| 1.5 اصطلاحات اختصاری.....                  | 24 |
| 2.5 نمادها.....                            | 24 |
| 3.5 قراردادها.....                         | 25 |
| 6 کالیبراسیون.....                         | 25 |
| 1.6 پروژه (طرح).....                       | 25 |
| 2.6 سیستم‌های مرجع مختصات.....             | 28 |
| 1.2.6 کلیات.....                           | 28 |
| 2.2.6 چارچوب سنجنده - $s$ .....            | 30 |
| 3.2.6 چارچوب بدنه - $b$ .....              | 30 |
| 4.2.6 زمین مرکز، زمین ثابت - $e$ .....     | 31 |
| 5.2.6 چارچوب مختصاتی تهیه نقشه - $m$ ..... | 33 |
| 3.6 تبدیلات.....                           | 34 |
| 1.3.6 کلیات.....                           | 34 |

|    |                                                              |
|----|--------------------------------------------------------------|
| 34 | 2.3.6 معادله مشاهده لیزر اسکنر هوابرد                        |
| 36 | 3.3.6 سرشکنی نوار                                            |
| 36 | 4.6 شدت                                                      |
| 36 | 5.6 مدل خطا                                                  |
| 36 | 1.5.6 کلیات                                                  |
| 38 | 2.5.6 موقعیت یابی و توجیه در طول مسیر                        |
| 38 | 3.5.6 خطای توجیه نسبی لایدار و بدنه IMU و ماتریس عدم هم تراز |
| 38 | 4.5.6 خطای جابه جایی میان IMU و مرکز فاز GNSS                |
| 39 | 5.5.6 اسکنر                                                  |
| 39 | 6.5.6 خطای نصب و تجميع اسکنر $\Delta\eta$                    |
| 39 | 6.6 کالیبراسیون در حین پرواز                                 |
| 41 | 7.6 باقیمانده خطاهای نوار                                    |
| 42 | 8.6 اعتبارسنجی                                               |
| 43 | پیوست A (اطلاعات) مجموعه آزمون انتزاعی                       |
| 46 | پیوست B (اطلاعات) واژه نامه داده                             |
| 51 | پیوست C (اطلاعات) دوران ها                                   |
| 53 | منابع                                                        |

## پیش‌گفتار

سازمان بین‌المللی استانداردسازی (ISO) یک سازمان جهانی متشکل از موسسه‌های ملی استاندارد (موسسه‌های عضو ISO) می‌باشد. تهیه استانداردهای بین‌المللی معمولاً از طریق کمیته‌های فنی ISO انجام می‌گیرد. هر سازمان عضو علاقه‌مند به موضوعی که کمیته فنی برای آن تشکیل شده، حق حضور در آن کمیته را دارد. سازمان‌های بین‌المللی، دولتی و غیر دولتی نیز با همکاری ISO در انجام کارها مشارکت دارند. ISO در تمام موضوعات استانداردسازی الکتروتکنیکی با کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC) همکاری می‌کند.

روش‌های مورد استفاده در تدوین این سند و موارد در نظر گرفته شده برای نگهداری و به‌روزرسانی آن در بخش اول دستورالعمل ISO/IEC شرح داده شده است. به‌طور خاص معیارهای مختلف مورد نیاز به‌منظور تایید انواع اسناد ISO لازم است در نظر گرفته شود. این سند مطابق با قوانین ویرایشی بخش دوم دستورالعمل ISO/IEC تهیه شده است (به [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives) مراجعه شود).

لازم به ذکر است برخی از موارد این سند ممکن است موضوع حقوق ثبت اختراع بوده و ISO در برابر شناسایی هیچ یک از حقوق ثبت اختراع مسئولیتی نخواهد داشت. در مقدمه و یا لیست اطلاعیه‌های دریافتی ثبت اختراع، جزئیات هر حق ثبت اختراع شناسایی شده در طول تدوین این سند درج خواهد شد (به [www.iso.org/patents](http://www.iso.org/patents) مراجعه شود). هر نام تجاری مورد استفاده در این سند، اطلاعاتی است که به‌منظور راحتی کاربران ارائه شده و به معنای تایید نمی‌باشد.

به‌منظور توضیح معانی اصطلاحات خاص ISO و عبارات مرتبط با ارزیابی تطابق و هم‌چنین اطلاعات موجود درباره پابندی ISO به اصول WTO در بخش فنی موانع تجارت (TBT)، به نشانی اینترنتی در پیش‌گفتار - اطلاعات تکمیلی مراجعه نمایید.

کمیته مسئول این سند، ISO/TC 211 اطلاعات مکانی/ژئوماتیک می‌باشد.

ISO/TS19159 شامل بخش‌های زیر تحت عنوان کلی اطلاعات مکانی - کالیبراسیون و اعتبارسنجی سنجنده‌های تصویربرداری و داده‌های سنجنش از دوری می‌باشد:

بخش اول: سنجنده‌های اپتیکی (مشخصات فنی)

بخش دوم: لایدار (مشخصات فنی)

بخش‌های زیر برنامه‌ریزی شده‌اند:

بخش سوم: SAR/InSAR

بخش چهارم: SONAR

## مقدمه

سنجنده‌های تصویربرداری یکی از منابع اصلی داده برای اطلاعات مکانی می‌باشند. داده‌های تصویری با ثبت مشاهدات مکانی و طیفی می‌توانند در کاربردهای متعدد برنامه‌ریزی‌های جاده‌ای/شهری و تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی به کار گرفته شوند. از اطلاعات مکانی متداول حاصل از پردازش داده‌ها می‌توان به نقشه‌های برداری، مدل‌های رقومی زمین و مدل‌های سه‌بعدی شهری اشاره نمود. به‌طور معمول در دو رویکرد آنالیز طیفی داده‌ها، روش‌های آماری شامل قطعه‌بندی تصویر و روش‌های فیزیک‌مبنا مبتنی بر خصوصیات و ویژگی‌های خاص جذب طیفی می‌باشند.

در هر یک از این موارد، کیفیت محصولات نهایی کاملاً وابسته به کیفیت ابزارهای اندازه‌گیری ثبت داده بوده و کیفیت این ابزارهای اندازه‌گیری توسط کالیبراسیون تعیین و مستندسازی می‌گردد.

کالیبراسیون اغلب یک فرآیند پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد. حال با استفاده از استراتژی‌های مختلف در حال استفاده می‌توان فواصل زمانی طولانی‌تر میان کالیبراسیون‌های بعدی را با روش‌های ساده کالیبراسیون میانی ترکیب نمود. به این ترتیب فاصله زمانی زیاد میان کالیبراسیون‌ها پوشش داده شده و سطح مشخصی از کیفیت تضمین می‌گردد.

سری‌های ISO19159، کالیبراسیون سنجنده‌های تصویربرداری سنجش از دوری و همچنین اعتبارسنجی اطلاعات و روش‌های کالیبراسیون را استانداردسازی نموده و شامل اعتبارسنجی داده‌ها و محصولات استخراجی از آن نمی‌گردد.

انواع بسیاری از سنجنده‌های تصویربرداری به‌منظور کاربردهای سنجش از دوری وجود دارند. علاوه بر فناوری‌های مختلف، نیاز به استانداردسازی انواع گوناگون سنجنده‌ها از سطوح متفاوت اولیاتی برخوردار بوده و از این رو به‌منظور برآورده نمودن این نیازها، سری‌های ISO19159 به بیش از یک بخش تقسیم گردیده‌است.

این بخش از ISO/TS19159، سنجنده لایدار هوابرد (تشخیص و فاصله‌یابی نوری) را پوشش می‌دهد. این استاندارد شامل ثبت داده و کالیبراسیون آن بوده که نتیجه این ثبت داده، تشکیل ابر نقطه لایدار مطابق با ISO19159:2011 می‌باشد. این سری ISO19159 شامل عمق‌سنجی لایدار نمی‌گردد.

برنامه‌ریزی تهیه سری‌های ISO19159-3 و ISO19159-4 به‌منظور پوشش‌دهی مباحث رادار (تشخیص و فاصله‌یابی با استفاده از امواج ماکروویو) با زیرمجموعه‌های SAR (رادار با روزه مجازی) و InSAR (تداخل‌سنجی SAR) و همچنین سونار (تشخیص و فاصله‌یابی با استفاده از صوت) به کار گرفته شده در هیدروگرافی صورت گرفته‌است.

## اطلاعات مکانی – کالیبراسیون و اعتبارسنجی سنجنده‌های تصویربرداری و داده‌های سنجش از دوری –

بخش 2:

### لایدار

#### 1 دامنه کاربرد

این بخش از ISO/TS 19159 به تعریف روش ثبت (اخذ) داده، روابط میان سیستم‌های مرجع مختصات و پارامترهای آن‌ها و همچنین کالیبراسیون سنجنده‌های لایدار (تشخیص و فاصله‌یابی نوری) هوابرد می‌پردازد.

هم‌چنین در این بخش از ISO/TS 19159، فراداده خدمات در روش ثبت (اخذ) داده، روابط میان سیستم‌های مرجع مختصات و پارامترهای آن‌ها، روند کالیبراسیون سیستم‌های لایدار هوابرد، انواع داده‌های مرتبط و لیست کدهای تعریف نشده در دیگر استانداردهای بین‌المللی اطلاعات مکانی ISO، استانداردسازی می‌گردد.

#### 2 تطابق

این بخش از ISO/TS 19159 به استانداردسازی فراداده در ثبت (ضبط) داده، روند کالیبراسیون سیستم‌های لایدار هوابرد و هم‌چنین انواع داده‌های مرتبط و کد لیست‌ها می‌پردازد. بنابراین تطابق با استانداردها به دستگاه یا سازمان اعلام‌کننده این تطابق وابسته است (انواع مختلفی از دستگاه‌ها، نیازها و انتظارات متفاوتی به‌منظور تطابق دارند).

اگر مکانیزم انتقال داده شامل انتقال رکورد و تعریف نوع داده بوده و تعریف آن‌ها، زیرمجموعه‌ای هماهنگ از انواع موضوعات بیان‌شده در استاندارد ISO/TS19159 را پیاده‌سازی یا توسعه دهند، آن‌گاه می‌توان این مکانیزم را سازگار با استاندارد ISO/TS19159 در نظر گرفت (شرایط لازم برای سازگاری مکانیزم‌های انتقال داده با استاندارد ISO/TS19159 را بیان می‌کند).

جزئیات کلاس‌های تطابق در مجموعه آزمون انتزاعی در پیوست A آورده شده است.

#### 3 مراجع الزامی

مدارک زیر به‌طور کامل یا بخش از آن‌ها، مراجع الزامی و لازم‌الاجرا در این سند می‌باشند. در صورت ارجاع به مراجع تاریخ‌دار، تنها نسخه ذکر شده مورد استفاده بوده و در خصوص ارجاع به مراجعی بدون تاریخ انتشار، آخرین نسخه از سند ارجاع داده شده (شامل هر گونه اصلاحیه) به کار گرفته می‌شود.

## 4 اصطلاحات و تعاریف

1.4

### صحت مطلق

#### absolute accuracy

نزدیک بودن مقادیر مختصات گزارش شده به مقادیر پذیرفته شده یا درست

توضیح 1: صحت مطلق با توجه به سطح مبنا تعریف شده (4.11) یا سیستم مرجع بیان می شود.

توضیح 2: صحت مطلق، صحت خارجی نیز نامیده می شود.

2.4

### جهت گیری

#### attitude

توجیه یک جسم توسط زوایای میان محورهای سیستم مختصات آن جسم و محورهای یک سیستم مختصات خارجی بیان می گردد.

توضیح 1: در فتوگرامتری، جهت گیری، توجیه زوایای یک دوربین (حرکت حول محور عمودی خود<sup>1</sup>)، حرکت حول محور عرضی خود<sup>2</sup>، پیچش حول محور طولانی خود<sup>3</sup>) یا عکس اخذ شده توسط آن دوربین با توجه به برخی سیستم های مرجع خارجی می باشد. جهت گیری در لایدار (4.19) و تداخل سنجی رادار با روزنه مجازی (IFSAR) به طور معمول با سه زاویه دورانی (Roll, Pitch, Heading) سنجنده در لحظه ارسال پالس فعال از آن تعریف می شود (4.39).

[ منبع ISO 19116:2004, 4.2، بهبود یافته – شماره 1 به توضیح اضافه شده است ]

<sup>1</sup> Yaw

<sup>2</sup> Pitch

<sup>3</sup> Roll

### ارتفاع زمین بایر

#### bare earth elevation

ارتفاع (4.16) زمین طبیعی عاری از پوشش گیاهی، ساختمان‌ها و دیگر سازه‌های ساخت دست بشر

### تنظیم (توجیه نسبی) لایدار و بدنه IMU

#### boresight

کالیبراسیون (4.6) سیستم سنجنده (4.36) لایدار (4.19) مجهز به یک واحد اندازه‌گیری اینرسی (IMU) (4.20) و یک سیستم ماهواره‌ای ناوبری جهانی (GNSS) بوده تا موقعیت و جهت‌گیری را به دقت تعیین نماید.

توضیح 1: موقعیت سیستم سنجنده لایدار (x,y,z) با توجه به آنتن سیستم ماهواره‌ای ناوبری جهانی تعیین می‌شود. جهت‌گیری (Roll, Pitch, Heading) سیستم سنجنده لایدار با توجه به مسیر پروازی هم‌سطح و پایدار (بدون تغییر ارتفاع و انحراف) مشخص می‌شود.

### خط شکسته

#### breakline

عارضه‌ای خطی که تغییر در همواری یا پیوستگی یک سطح را توصیف می‌کند

توضیح 1: در خط شکسته نرم، ارتفاعات مشخص شده در امتداد یک عارضه خطی (به عنوان مثال: ارتفاعات در امتداد لوله کشی، خط مرکزی جاده یا کانال زهکشی) حفظ می‌شود. هم‌چنین با استفاده از خطوط شکست به عنوان لبه‌های شبکه نامنظم مثلثی (TIN)، عوارض خطی و لبه چندضلعی‌ها در مدل سطحی TIN (4.39) حفظ می‌گردند. این خطوط به علت نمایش با مجموعه‌ای از مختصات (x,y,z) معمولاً مشابه با خطوط شکست سه‌بعدی هستند. برآمدگی‌های حدوداً گرد یا حفره زهکشی‌ها می‌توانند با خطوط شکسته نرم توصیف شوند.

توضیح 2: خط شکسته سخت، تغییرات در همواری سطوحی همانند جریان‌های آبی، خطوط ساحلی، سدها، رشته-کوه‌ها، ساختمان‌ها و دیگر موقعیت‌هایی با تغییرات ناگهانی در سطح را توصیف می‌کند.

## کالیبراسیون

### calibration

به فرآیند تعریف کمی پاسخ‌های یک سیستم به سیگنال مشخص و کنترل‌شده، کالیبراسیون اطلاق می‌شود

توضیح 1: کالیبراسیون فرآیندی تحت شرایط مشخص بوده که در مرحله اول با استفاده از استانداردهای اندازه‌گیری، ارتباط میان مقدار اندازه‌گیری‌شده (با عدم قطعیت نامعلوم) و مقادیر کمیت فیزیکی (با عدم قطعیت معلوم) را برقرار می‌سازد.

توضیح 2: خطای سیستماتیک یک دستگاه اندازه‌گیری، با مقایسه اندازه‌گیری‌های آن با اندازه‌گیری‌های انجام گرفته توسط یک دستگاه مرجع تعیین می‌گردد. سنجنده‌های هوابرد (4.36) می‌توانند به صورت هندسی و رادیومتریکی کالیبره شوند.

توضیح 3: کالیبراسیون یک دستگاه (کالیبراسیون کارخانه) شامل کالیبراسیون رادیومتریکی و هندسی منحصر به فرد برای هر سخت‌افزار سازنده و تنظیم آن به منظور تطابق با مشخصات عملکرد مدل مورد نظر می‌باشد. کالیبراسیون دستگاه تنها می‌تواند توسط کارخانه ارزیابی و تصحیح گردد.

توضیح 4: کالیبراسیون داده شامل کالیبراسیون‌های level-arm و توجیه نسبی لایدار و بدنه IMU (4.4) می‌باشد. کالیبراسیون، مولفه‌های بردار جدایی سنجنده - آنتن GNSS (4.18) را نسبت به مرکز فاز آنتن تعیین می‌کند. مولفه‌های بردار جدایی در هر مرتبه جابه‌جایی سنجنده، آنتن GNSS هواپیما یا تغییر موقعیت آن، مجدداً تعیین می‌گردند. به علت امکان رخداد تغییرات کوچک در نصب قطعات هواپیما، کالیبراسیون میدانی در هر پروژه یا حتی به صورت روزانه با هدف تعیین تصحیحات (4.9) زوایای roll, pitch, yaw، تعیین خطای عدم هم‌ترازی اجزای نصب‌شده بر هواپیما و پارامترهای کالیبراسیون مقیاس انجام می‌گیرد.

[ منبع: ISO/TS 19101-2:2008, 4.2، بهبود یافته - شماره 1 تا 4 به توضیح اضافه شده است ]

7.4

## اعتبارسنجی کالیبراسیون

### calibration validation

به فرآیند ارزیابی اعتبار پارامترها اطلاق می‌گردد

توضیح 1: با توجه به تعریف کلی اعتبارسنجی (4.41)، اعتبارسنجی یک مجموعه داده تنها به مجموعه کوچکی از پارامترها همانند نتیجه کالیبراسیون (4.6) یک سنجنده (4.46) اشاره دارد.

[منبع: ISO/TS 19159-1:2014, 4.4]

8.4

#### **نقطه چک**

#### **check point/checkpoint**

نقطه‌ای در فضای عارضه (زمین) که به منظور تخمین صحت موقعیتی (4.29) یک مجموعه داده مکانی نسبت به یک منبع مستقل با صحت بالاتر مورد استفاده قرار می‌گیرد

9.4

#### **تصحیح**

#### **correction**

جبران یک اثر سیستماتیک تخمین زده شده

توضیح 1: مشاهده راهنمای ISO/IEC 98-3:2008, 3.2.3 درباره توضیحی از اثر سیستماتیک

توضیح 2: این جبران می‌تواند به شکل‌های مختلفی همانند تجمیع، ضرب در عاملی و یا برگرفته از جدولی اعمال گردد.

[منبع: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.53]

10.4

#### **سطح مبنا**

#### **datum**

پارامتر یا مجموعه پارامترهایی که موقعیت مبدا، مقیاس و توجیه یک سیستم مختصات را تعریف می‌نمایند

11.4

#### **مدل رقومی ارتفاعی**

#### **digital elevation model (DEM)**

مجموعه داده‌ای از مقادیر ارتفاعی که با استفاده از الگوریتمی به مختصات دوبعدی نسبت داده می‌شود.

### **مدل رقومی سطح**

#### **digital surface model (DSM)**

مدل رقومی ارتفاعی (DEM) (4.11) که ارتفاع سطوح بالایی زمین از جمله ساختمان‌ها، درختان، برج‌ها و دیگر عوارض قرار گرفته بر زمین بایر را به تصویر می‌کشد.

توضیح 1: مدل‌های رقومی سطح به‌ویژه در مدیریت ارتباطات (برنامه‌ریزی شبکه‌های ارتباطی و انتقال داده)، ایمنی هوایی (برنامه‌ریزی مانورهای پروازی)، مدیریت جنگل و مدل‌سازی و شبیه‌سازی‌های سه‌بعدی بسیار حائز اهمیت می‌باشند.

### **مدل رقومی زمین**

#### **digital terrain model (DTM)**

مدل رقومی ارتفاعی (DEM) که ارتفاع عوارض مهم توپوگرافی در زمین را شامل می‌شود.

مدل رقومی زمین متشکل از نقاط جرم و خطوط شکست (4.5) با توزیع نامنظم، امکان توصیف بهتر شکل واقعی زمین بایر را فراهم می‌آورد. نتیجه مدل‌های رقومی زمین، تعریف واضح‌تر عوارض متمایز زمین و دقت بیش‌تر تعیین موقعیت آن‌ها می‌باشد. هم‌چنین منحنی میزان‌های تهیه شده از مدل‌های رقومی زمین، تقریب نزدیک‌تری از شکل واقعی زمین می‌باشند.

### **میدان دید**

#### **field of view (FOV)**

منطقه دیده شده به صورت لحظه‌ای توسط یک سنجنده (4.36) که به‌صورت زاویه اندازه‌گیری شده مشخص می‌گردد

توضیح 1: در حالت هوابرد، میدان دید برای آرایه خطی به عرض پوشش (4.38)، برای آرایه سطحی به محدوده دید زمینی و برای اسکنر whiskbroom نیز به عرض پوشش اشاره دارد.

توضیح 2: به منظور جلوگیری از ایجاد ابهام، یک سنجنده معمول لایدار (4.19) هوابرد با میدان دید 30 درجه معمولاً به صورت  $\pm 15$  درجه در هر دو طرف نادیر (4.26) تصور می گردد.

[ منبع: ISO/TS 19130-2:2014, 4.20، بهبود یافته - شماره 2 به توضیح اضافه شده است ]

15.4

## سیستم اطلاعات مکانی

### geographic information system

سیستم اطلاعاتی که با اطلاعات مربوط به پدیده ها و موقعیت آن ها نسبت به زمین سروکار دارد

[ منبع: ISO 19101-1:2014, 4.1, 20 ]

16.4

## ارتفاع

### height

فاصله یک نقطه از سطح مرجع انتخابی. این نقطه بالاتر از سطح بوده و فاصله مورد نظر در راستای خط عمود بر سطح اندازه گیری می شود

توضیح 1: ارتفاع پایین تر از سطح مرجع، مقدار منفی خواهد داشت.

توضیح 2: اصطلاحات elevation و height مترادف هستند.

[ منبع: ISO/TS 19111:2007, 4.29، بهبود یافته - شماره 2 به توضیح اضافه شده است ]

17.4

## صحت مسطحانی

### horizontal accuracy

صحت موقعیتی (مکانی) (4.29) یک مجموعه داده با توجه به یک سطح مبنای مسطحانی (4.10)

18.4

### lever arm

بردار موقعیت نسبی یک سنجنده (4.36) نسبت به دیگری در یک سیستم زمین مرجع مستقیم

توضیح 1: به عنوان مثال در دوربین های نقشه برداری هوایی، میان موقعیت مرکز فیزیکی واحد اندازه گیری اینرسی (IMU) (4.20) و مرکز فاز سیستم ماهواره ای ناوبری جهانی (GNSS) جابه جایی وجود داشته و هر کدام از آن ها نسبت به مرکز تصویر لنز دوربین تعیین موقعیت می شوند.

19.4

## لایدار – تشخیص و فاصله یابی نوری

### light detection and ranging (lidar)

سیستم شامل 1) منبع فوتون (معمولاً لیزر)، 2) سیستم تشخیص فوتون، 3) مدار زمان بندی و 4) اپتیک همانند آینه ها برای منبع و گیرنده بوده که از نور لیزر ارسالی به منظور اندازه گیری فاصله تا عوارض و یا ویژگی های آن ها، مطالعه گازها یا ذرات اتمسفر استفاده می شود.

توضیح 1: در زمان پرواز، لایدارها از پالس های کوتاه لیزر استفاده نموده و به دقت زمان هر پالس ارسالی و دریافتی را به منظور محاسبه فاصله میان پالس ارسالی و پراکنش گر ها ثبت می کنند. در لایدارهای توپوگرافی، اندازه گیری های زمان پرواز با داده های دقیق موقعیت/وضعیت سکوی پرواز و موقعیت هر نقطه در فضای سه بعدی ترکیب شده تا محصولی سه بعدی از منطقه مورد نظر مورد تابش قرار گرفته تهیه گردد.

[منبع: ISO/TS 19130-2:2014, 4.40]

20.4

## اندازه گیری

### measurement

مجموعه ای از عملیات ها با هدف تعیین مقدار کمیت (4.30)

[منبع: ISO/TS 19101-2:2008, 4.20]

21.4

## صحت اندازه گیری – صحت

### measurement accuracy/accuracy of measurement/accuracy

نزدیک بودن نتیجه آزمون یا نتیجه اندازه گیری (4.20) با مقدار واقعی

توضیح 1: مفهوم صحت اندازه گیری یک کمیت (4.30) نبوده و یک مقدار کمی عددی (4.30) به آن نسبت داده نمی شود. در صورت خطای کوچک تر در اندازه گیری (4.22)، این اندازه گیری دقیق تر انجام شده است.

توضیح 2: اصطلاح صحت اندازه‌گیری نباید برای درستی اندازه‌گیری استفاده شود و اصطلاح دقت اندازه‌گیری (4.23) نیز نباید برای صحت اندازه‌گیری به کار رود؛ اگرچه این دو مفهوم به یکدیگر مرتبط هستند.

توضیح 3: صحت اندازه‌گیری گاهی به عنوان نزدیک بودن مقادیر کمیت اندازه‌گیری شده با مقداری که به آن نسبت داده شده در نظر گرفته می‌شود.

توضیح 4: در این بخش از ISO/TS 19159، مقدار واقعی می‌تواند به عنوان یک مقدار مرجع که به عنوان مقدار صحیح پذیرفته شده در نظر گرفته شود.

توضیح 5: به استثنای ایستگاه‌های مرجع دائمی عملیاتی (CORS) که با خطای صفر نسبت به یک سطح مبنای مشخص (4.10) معلوم هستند، در واقعیت موقعیت دقیق مختصات مکانی سه بعدی دیگر نقاط مشخص نبوده و فقط تخمینی از آن‌ها وجود دارد. بنابراین، صحت دیگر اطلاعات مختصاتی مشخص نبوده و تنها می‌توان آن‌ها را تخمین زد.

توضیح 6: صحت، یک کمیت نبوده و مقدار کمی عددی به آن نسبت داده نمی‌شود.

[ منبع: 1,3.3,2006:ISO 3534-2، بهبود یافته - شماره 1 تا 6 به توضیح اضافه شده است ]

22.4

## خطای اندازه‌گیری - خطا

### measurement error/error of measurement/error

تفاضل مقدار کمیت اندازه‌گیری شده (4.30) از مقدار مرجع کمیت

توضیح 1: مفهوم خطای اندازه‌گیری می‌تواند به هر دو صورت استفاده شود

1) در صورتی که یک مقدار مرجع (4.30) برای کمیت مورد نظر وجود داشته و انجام کالیبراسیون (4.6) به وسیله استاندارد اندازه‌گیری (4.20) انجام پذیرد، با تعیین مقدار کمیت به همراه عدم قطعیت (4.40) در اندازه‌گیری آن، خطای اندازه‌گیری مشخص می‌باشد. همچنین با مقایسه مقدار داده شده از یک کمیت با مقدار مرجع آن نیز خطای اندازه‌گیری تعیین می‌شود.

2) در حالت دیگر، چنانچه مقدار اندازه‌گیری شده از کمیت مورد نظر به عنوان تقریبی از مقدار منحصر به فرد و واقعی کمیت بیان شود در این صورت خطای اندازه‌گیری نامعلوم است.

توضیح 2: خطای اندازه گیری نباید با خطای تولید<sup>4</sup> یا اشتباه<sup>5</sup> در عملکرد اشتباه گرفته شود.

[منبع: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.16]

23.4

## دقت اندازه گیری

### measurement precision/precision

نزدیک بودن مقادیر کمیت اندازه گیری شده (4.30) حاصل از تکرار اندازه گیری (4.20) تحت شرایط مشخص بر روی یک عارضه یا عوارض مشابه

توضیح 1: دقت اندازه گیری معمولاً به صورت عددی و از طریق معیارهای ناهمسانی همانند انحراف معیار، واریانس یا ضریب تغییر، تحت شرایط مشخص اندازه گیری بیان می شود.

توضیح 2: شرایط مشخص می تواند به عنوان مثال شرایط تکرارپذیری اندازه گیری، متوسط دقت شرایط اندازه گیری و یا شرایط تکرار اندازه گیری در محیط های متفاوت و یا توسط اشخاص مستقل باشد (به ISO 5725-3:1994 مراجعه شود).

توضیح 3: دقت اندازه گیری به منظور تعریف تکرارپذیری اندازه گیری، متوسط دقت اندازه گیری و تکرارپذیری اندازه گیری در محیط های متفاوت استفاده می شود.

توضیح 4: گاهی اوقات دقت اندازه گیری به اشتباه در معنای صحت اندازه گیری (4.21) به کار می رود.

[منبع: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.15]

24.4

## فراداده

### metadata

اطلاعات درباره یک منبع

[منبع: ISO 19159-1:2014, 4.10]

---

<sup>4</sup> Production Error

<sup>5</sup> Mistake

**قابلیت پیگیری متریک****metric traceability**

این ویژگی بیانگر آن بوده که نتیجه یک اندازه گیری (4.20) یا مقدار یک استاندارد را می توان از طریق زنجیره پیوسته ای از مقایسه ها به همراه عدم قطعیت های مشخص، به مراجع اعلام شده، معمولاً استانداردهای ملی و بین المللی، مرتبط ساخت.

[منبع: ISO/TS 19101-2:2008, 4.23]

**نادیر****nadir**

نقطه ای مستقیماً (خط مستقیم عمود بر سطح زمین) در پایین یک موقعیت

**نویز****noise**

سیگنال ناخواسته که می تواند اندازه گیری (4.20) را تخریب نماید.

توضیح 1: نویز یک نوسان تصادفی در سیگنال بوده که منجر به اختلال در تشخیص اطلاعات موجود در سیگنال می گردد.

[منبع: ISO 12718:2008, 2.26، بهبود یافته - شماره 1 به توضیح اضافه شده است]

**ابر نقطه****point cloud**

مجموعه داده ای از نقاط در فضای سه بعدی

توضیح 1: به طور کلی فاصله میان نقاط، غیر یکنواخت بوده و از این رو سه مولفه مختصاتی (کارترین یا کروی) هر نقطه باید به طور خاص کد گذاری شود.

توضیح 2: به عنوان یک نوع داده پایه‌ای در سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، یک ابرنقطه در چندین جنبه کلیدی از یک مجموعه داده نقطه‌ای معمولی متمایز می‌شود.

- ابرنقاط اغلب همیشه به صورت سه‌بعدی هستند
- ابرنقاط نسبت به مجموعه داده‌های نقطه‌ای از ویژگی‌های بیش‌تری برخوردار هستند
- در ابرنقطه، ویژگی‌های نسبت داده شده به هر نقطه، جداگانه و به تنهایی اطلاعات معناداری به همراه نداشته و ارزش اطلاعاتی یک ابرنقطه از روابط میان تعداد زیادی از ویژگی‌ها حاصل می‌گردد

[منبع: ISO/TS 19130-2:2014, 4.51، بهبودیافته - شماره 2 به توضیح اضافه شده است]

29.4

### صحت موقعیتی

#### positional accuracy

نزدیک بودن مقدار مختصات به مقدار واقعی یا پذیرفته شده در یک سیستم مرجع مشخص  
توضیح 1: صحت موقعیتی شامل امان‌های کیفیت داده از جمله صحت مطلق، نسبی و صحت داده‌های شبکه‌بندی شده

[منبع: ISO 19116:2004, 4.20، بهبودیافته - شماره 1 به توضیح اضافه شده است]

30.4

### کمیت

#### quantity

ویژگی‌ای از پدیده، جسم یا ماده که دارای مقدار بوده و می‌تواند با استفاده از یک مقدار عددی و یک مرجع بیان شود.

توضیح 1: مرجع می‌تواند یک واحد اندازه‌گیری (4.20)، یک روش اندازه‌گیری، یک ماده مرجع و یا ترکیبی از این موارد باشد.

توضیح 2: نماد کمیت‌ها در سری‌های ISO 80000 و IEC 80000 تحت عنوان کمیت‌ها و واحدها آورده شده است. نماد کمیت‌ها به صورت مورب نوشته می‌شوند. یک نماد خاص می‌تواند کمیت‌های متفاوتی را نشان دهد.

توضیح 3: کمیت تعریف شده در این قسمت اسکالر می باشد. اگرچه یک بردار یا تانسور که مولفه های آن متشکل از کمیت ها بوده نیز به عنوان یک کمیت در نظر گرفته می شود.

توضیح 4: به طور کلی مفهوم کمیت می تواند در دسته های کمیت فیزیکی، شیمیایی، زیستی یا کمیت پایه و مشتق تقسیم بندی گردد.

31.4

#### **استاندارد مرجع**

#### **reference standard**

استاندارد اندازه گیری (4.20) طراحی شده به منظور کالیبراسیون (4.6) دیگر استانداردهای اندازه گیری برای کمیت هایی از یک نوع مشخص در یک سازمان یا در مکانی خاص

[منبع: ISO/TS 19159-1:2014, 4.28]

32.4

#### **صحت نسبی، صحت داخلی**

#### **relative accuracy/internal accuracy**

نزدیکی موقعیت نسبی عوارض در یک مجموعه داده به موقعیت نسبی مورد قبول یا صحیح فرض شده از آن ها

توضیح 1: صحت نسبی می تواند به صحت نقطه به نقطه نیز اشاره داشته باشد. به طور کلی معیار صحت نسبی، بررسی خطاهای تصادفی (خطاهای سیستماتیک و بلاندرها حذف شده اند) در تعیین موقعیت و جهت (به طور مثال، فاصله و آزمون) یک نقطه یا عارضه نسبت به دیگری است. در لایدار (4.19)، این تعریف به طور خاص می تواند به صحت میان عرض های پوشش (4.38) مجاور در یک باند اسکن، صحت میان باندهای اسکن مجاور در یک پروژه و یا صحت میان پروژه های مجاور اشاره داشته باشد.

33.4

#### **سنجش از دور**

#### **remote sensing**

جمع آوری و تفسیر اطلاعات درباره یک عارضه بدون تماس فیزیکی با آن

[ منبع: ISO/TS 19101-2:2008, 4.33 ]

34.4

### قدرت تفکیک

#### resolution

<تصویر> کوچک ترین فاصله میان دو عارضه که بتوان آن‌ها را به صورت جداگانه در یک تصویر تشخیص داد

توضیح 1: این تعریف به قدرت تفکیک مکانی اشاره دارد.

توضیح 2: قدرت تفکیک در حالت کلی، توانایی تمایزبخشی میان عوارض مجاور را مشخص می نماید.

توضیح 2: قدرت تفکیک هم چنین می تواند به قدرت تفکیک طیفی و زمانی نیز اشاره داشته باشد.

[ منبع: ISO/TS 19130-2:2014, 4.61 ، بهبود یافته - شماره 1 تا 3 به توضیح اضافه شده است ]

35.4

### قدرت تفکیک

#### resolution

<سنجنده> کوچک ترین تفاوت قابل تشخیص میان آشکارسازهای یک سنجنده (4.36)

توضیح 1: در تصویر، قدرت تفکیک به قدرت تفکیک های رادیومتری، طیفی، مکانی و زمانی اشاره دارد.

توضیح 2: تعریف مطرح شده در استاندارد ISO/TS 19101-2:2008 برای اصطلاح قدرت تفکیک (سنجنده) به کار می رود.

[ منبع: ISO/TS 19101-2:2008, 4.34 ، بهبود یافته - شماره 2 به توضیح اضافه شده است ]

36.4

### سنجنده

#### sensor

المانی از سیستم اندازه گیری که مستقیماً تحت تاثیر یک پدیده، جسم یا ماده حاوی کمیت (4.30) مورد اندازه گیری قرار می گیرد.

توضیح 1: سنجنده های مختلفی اعم از فعال یا غیرفعال وجود دارند. به طور معمول دو یا چندین سنجنده در یک سیستم اندازه گیری ترکیب می شوند.

[منبع: ISO/IEC Guide 99:2007,3.8، بهبود یافته - شماره 1 به توضیح اضافه شده است]

37.4

### **سرشکنی نوار**

#### **strip adjustment**

سرشکنی مشاهداتی که از نواری از تصاویر هوایی، ماهواره‌ای و یا مشاهدات (4.20) لایدار (4.19) ایجاد شده باشند

38.4

### **عرض پوشش**

#### **swath**

مجموعه داده‌های اخذ شده از یک خط پرواز

39.4

### **شبکه نامنظم مثلثی**

#### **triangulated irregular network**

تسلسل متشکل از مثلث‌ها (تسلسل مثلثی)

[منبع: ISO 19123:2005,4.1,42]

40.4

### **عدم قطعیت**

#### **uncertainty**

پارامتر مرتبط با نتیجه اندازه‌گیری (4.20) که پراکندگی مقادیر نسبت داده شده به اندازه‌گیری‌ها را مشخص می‌کند.

توضیح 1: این پارامتر به عنوان مثال ممکن است انحراف معیار (یا مضربی معینی از آن) و یا نیمی از عرض یک بازه با سطح اطمینان مشخص باشد.

توضیح 2: عدم قطعیت اندازه‌گیری به طور کلی شامل مولفه‌های بسیاری است. برخی از این مولفه‌ها می‌توانند از توزیع آماری مجموعه اندازه‌گیری‌ها برآورد شده و با انحراف معیار تجربی مشخص شوند. دیگر مولفه‌های مشخص شده توسط انحراف معیار، براساس توزیع‌های احتمال فرضی به دست آمده از تجربیات یا دیگر اطلاعات موجود برآورد می‌گردند.

توضیح 3: نتیجه اندازه گیری، بهترین تخمین از مقدار اندازه گیری شده بوده و تمامی مولفه های عدم قطعیت ناشی از اثرات سیستماتیک از جمله مولفه های مرتبط با تصحیحات (4.9) و استانداردهای مرجع (4.31) در این پراکندگی نقش دارند.

توضیح 4: در صورت مشخص بودن کیفیت صحت یا دقت مقادیر اندازه گیری شده همانند مقادیر کمی مختصات ها، پارامتر کیفیت تخمینی از عدم قطعیت در نتایج اندازه گیری ها می باشد. این در حالی است که با توجه به مفهوم کیفی صحت نباید آن را به صورت کمی استفاده نموده و اعداد را با آن مرتبط ساخت. اعداد باید برای معیارهای عدم قطعیت به کار روند.

توضیح 5: عدم قطعیت در اندازه گیری شامل مولفه های ناشی از اثرات سیستماتیک از جمله مولفه های مرتبط با تصحیحات، مقادیر کمیت (4.30) اختصاص شده به استانداردهای اندازه گیری و همچنین عدم قطعیت های تعریف شده می باشد. در برخی مواقع اثرات سیستماتیک تخمینی تصحیح نشده و در مولفه های مربوط به عدم قطعیت اندازه گیری ها لحاظ می گردد.

توضیح 6: به طور کلی، عدم قطعیت در اندازه گیری شامل مولفه های بسیاری است. برخی از این مولفه ها توسط برآورد نوع A عدم قطعیت اندازه گیری، از توزیع آماری مقادیر کمیت حاصل از مجموعه اندازه گیری ها و انحراف معیار مشخص می شوند. دیگر مولفه ها توسط برآورد نوع B عدم قطعیت اندازه گیری، از انحراف معیار و توابع چگالی احتمال به دست آمده از تجربیات یا دیگر اطلاعات موجود برآورد می گردند.

توضیح 7: به طور کلی در یک مجموعه داده، عدم قطعیت در اندازه گیری با مقدار کیفیت نسبت داده شده به اندازه گیری ها در ارتباط است. بهبود این مقدار منجر به بهبود عدم قطعیت مرتبط با آن می گردد.

[ منبع: ISO 19116:2004, 4.26، بهبود یافته - شماره 1 تا 3 و 5 تا 7 به توضیح اضافه شده است ]

41.4

## اعتبارسنجی

### validation

روند ارزیابی کیفیت نتایج حاصل از خروجی های سیستم با استفاده از روش های مستقل از منبع اصلی داده

توضیح 1: این بخش از ISO/TS 19159، به جنبه خاص و محدودی از اصطلاح اعتبارسنجی پرداخته و تنها به اعتبارسنجی داده های کالیبراسیون (4.6) با هدف کنترل تغییرات آن ها در طول زمان مرتبط می باشد.

[ منبع: ISO/TS 19101-2:2008, 4.41، بهبود یافته - شماره 1 به توضیح اضافه شده است ]

**تایید****verification**

ارائه شواهد عینی مبنی بر آن که یک مورد معین، نیاز مشخص شده (شرایط یا استانداردهای خاصی) را برآورده می‌کند.

توضیح 1: در صورت امکان، عدم قطعیت (4.40) اندازه‌گیری‌ها (4.20) لازم است در نظر گرفته شود.

توضیح 2: مورد ذکر شده در بالا ممکن است به‌طور مثال یک فرآیند، روند اندازه‌گیری، مواد، ترکیب آن‌ها یا سیستم اندازه‌گیری باشد.

توضیح 3: الزامات مشخص شده ممکن است به‌عنوان مثال رعایت مشخصات تولیدکننده باشد.

توضیح 4: تایید نباید با کالیبراسیون (4.6) اشتباه گرفته شود. هر تاییدی یک صحت سنجی (4.41) نیست.

**صحت ارتفاعی****vertical accuracy**

اندازه‌گیری صحت موقعیتی (4.29) یک مجموعه داده با توجه به یک سطح مبنای (4.10) ارتفاعی مشخص

**5 نمادها و اصطلاحات اختصاری****1.5 اصطلاحات اختصاری**

CA کالیبراسیون و اعتبارسنجی. این مخفف به ISO/TS 19159-x (این بخش از ISO/TS 19159) اشاره دارد.

FOV میدان دید

RMSE خطای جذر میانگین مربعات

**2.5 نمادها**

$\Theta_s$  زاویه خورشیدی

### 3.5 قراردادهای

برخی از کلاس‌ها و ویژگی‌ها در استانداردهای سری 19100 تعریف شده‌اند. آن کلاس‌ها و ویژگی‌ها با یکی از کدهای دوحرفی زیر مشخص می‌شوند.

ISO/TS 19159-1 = CA "کالیبراسیون و اعتبارسنجی سنجنده‌های تصویربرداری و داده‌های سنجنش از دوری – بخش 1: سنجنده‌های اپتیکی" و ISO/TS 19159-2 "بخش 2: لایدار"

ISO 19115-1 = MS فراداده

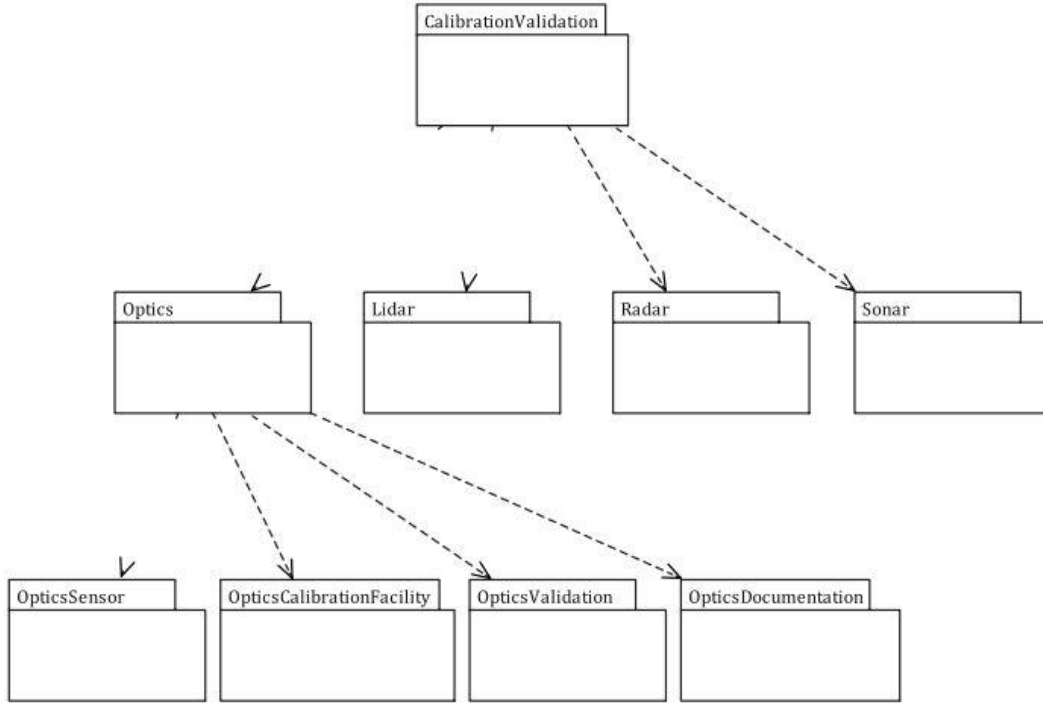
### 6 کالیبراسیون

#### 1.6 پروژه (طرح)

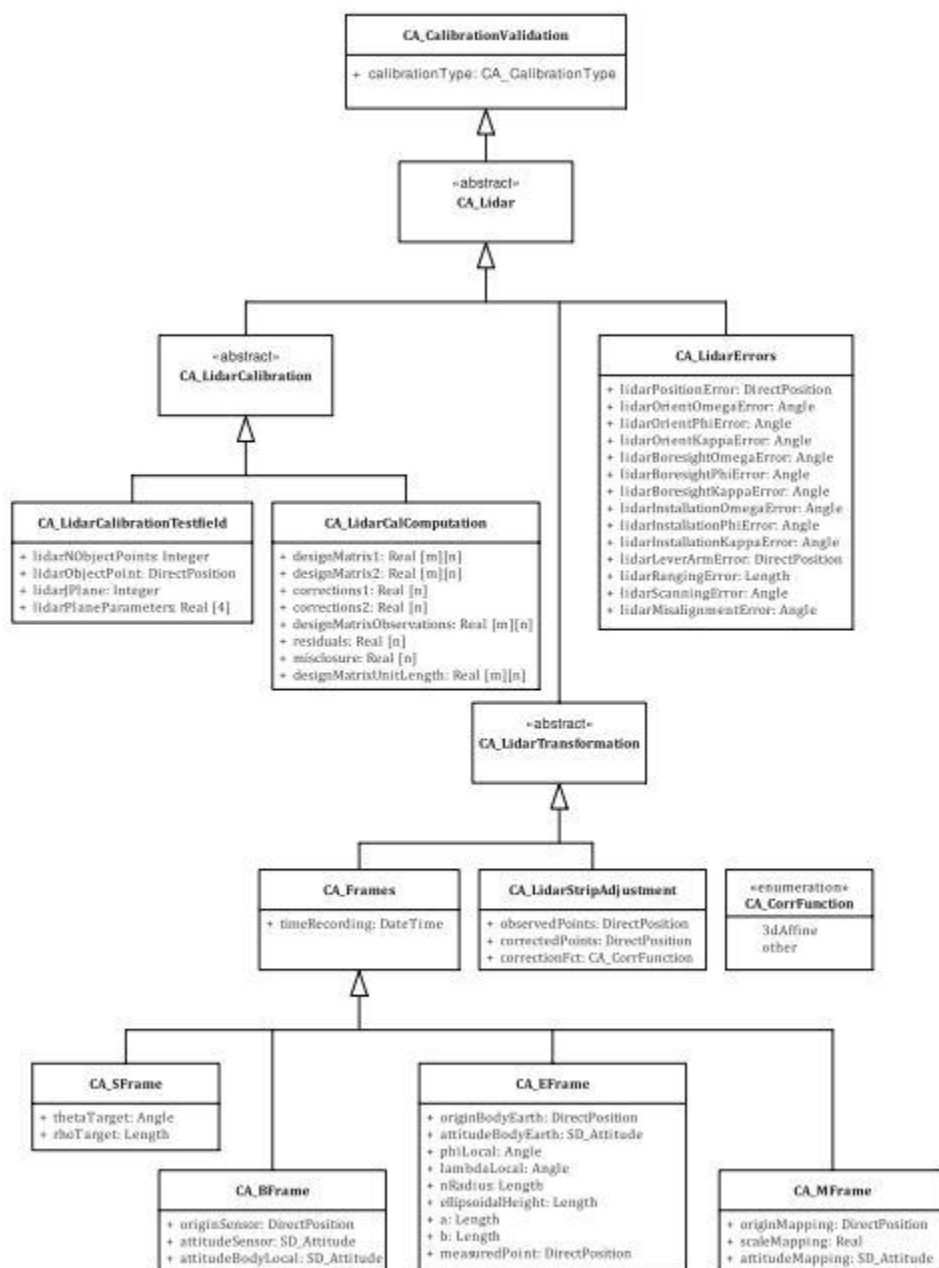
این بخش از ISO/TS 19159 به سنجنده‌های لایدار (تشخیص و فاصله‌یابی نوری) می‌پردازد.

تمامی معیارهای مرتبط با صحت موقعیتی در این بخش از ISO/TS 19159، به ارائه نتایج کمی مطابق با استاندارد ISO 19157 منجر می‌گردد.

شکل 1 نمودار تمامی قسمت‌های موردنظر ISO/TS 19159 را در زمان توسعه این بخش از ISO/TS 19159 نشان می‌دهد. این نمودار کالیبراسیون – اعتبارسنجی، سطوح بالایی را تنها با اطلاعات اضافی اندکی نشان می‌دهد. شکل 2 نمودار کلاس این بخش از ISO/TS 19159 را نشان می‌دهد.



شکل 1- نمودار قسمت کالیبراسیون - اعتبارسنجی



شکل 2- نمودار کلاس ISO/TS 19159-2

## 2.6 سیستم‌های مرجع مختصات

### 1.2.6 کلیات

2.6 تعریف کننده پنج سیستم مختصات مرجع (CRS) بوده که به منظور ایجاد زنجیره تبدیل از سنجنده تا زمین استفاده می‌شوند.

چارچوب مختصاتی سنجنده یا به اختصار s-frame، سیستم مختصات مرجعی است که توسط محورهای اصلی لیزر اسکنر تعریف شده و به منظور توصیف اندازه‌گیری‌ها شامل فاصله  $\rho$  و زاویه  $\theta$  استفاده می‌گردد. این دو مشاهده هر دو به زمان وابسته هستند.

چارچوب مختصاتی بدنه یا به اختصار b-frame، یک سیستم مرجع مختصات کارتیزین راستگرد سه‌بعدی بوده که مرتبط با سکوی پرواز است. در کاربردهای عملی اغلب به واحد اندازه‌گیری اینرسی (IMU) متصل می‌گردد.

چارچوب مختصاتی سطح محلی یا به اختصار l-frame، یک سیستم مرجع مختصات کارتیزین راستگرد سه‌بعدی بوده که مبدا آن محل تقاطع خط عمود از مبدا b-frame و بیضوی مرجع است. محورهای این سیستم به سمت شمال، شرق و جنوب هستند.

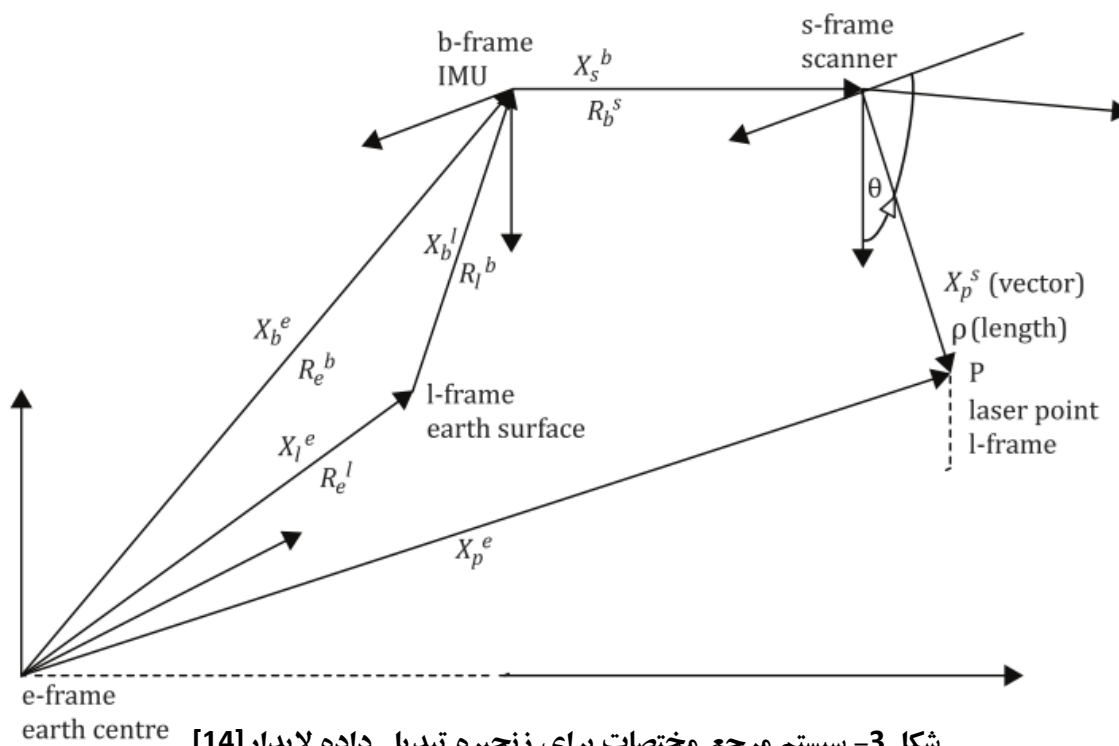
چارچوب مختصاتی زمین مرکز، زمین ثابت یا به اختصار e-frame، یک سیستم مرجع مختصات کارتیزین راستگرد سه‌بعدی بوده که به زمین متصل داشته و مبدا آن مرکز ثقل زمین است.

چارچوب مختصاتی تهیه نقشه یا به اختصار m-frame، به هر سیستم مرجع مختصات ملی اشاره داشته که در نهایت ابر نقطه لیزر به آن تبدیل می‌گردد.

### جدول 1- سیستم‌های مرجع مختصات مرتبط با تبدیل داده‌های لایدار

| شناسه | توصیف                                                                                                                                                                                                                             | مرجع                                   |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| s     | چارچوب مختصاتی سنجنده. چارچوب مختصاتی سنجنده لیزر توسط محورهای اصلی یک سنجنده نوری تعریف شده‌است. به‌عنوان مثال محورهای xy، یک صفحه تصویر در چارچوب مختصاتی تصویربرداری و محورهای yz، صفحه اسکن یک اسکنر دوبعدی را تعریف می‌کنند. | تعریف محورها به نوع سنجنده بستگی دارد. |
| b     | چارچوب مختصاتی بدنه. این چارچوب مختصاتی توسط سه شتاب‌سنج IMU ایجاد گردیده‌است.                                                                                                                                                    | تعریف محورها به نوع سنجنده بستگی دارد. |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                        |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| l | چارچوب مختصات سطح محلی. این چارچوب مختصاتی مماس بر بیضوی جهانی (معمولا WGS84) بوده که مولفه‌های متعامد آن معمولا به‌عنوان شمال (x)، شرق (y) و جنوب (z) تعریف می‌شوند.                                                                                                       | تعریف جهت صفر زوایا به نوع سنجنده بستگی دارد.                                                                          |
| e | چارچوب مختصاتی ECEF (چارچوب مختصاتی زمین ثابت - زمین مرکز). مبدا آن مرکز جرم زمین بوده، محور x آن به سمت نصف‌النهار گرینویچ و محور z آن میانگین جهت محور دورانی زمین است. محور y آن توسط سیستم کارتیزین راستگرد تعیین می‌گردد.                                              | مقدار زاویه برای محورهای مختصات، برابر با صفر در نظر گرفته شده و زوایا در خلاف جهت عقربه‌های ساعت اندازه‌گیری می‌شوند. |
| m | چارچوب مختصاتی تهیه نقشه. چارچوب مختصاتی کارتیزین با مولفه‌های شرق (x)، شمال (y) و بالا (z). ساده‌ترین پیاده‌سازی، استفاده از صفحه مماس محلی به‌عنوان چارچوب مختصاتی بوده و این در حالی است که این چارچوب می‌تواند توسط تصویرسازی و یا یک سطح مبنای ملی نیز نمایش داده شود. | مقدار زاویه برای محورهای مختصات، برابر با صفر در نظر گرفته شده و زوایا در خلاف جهت عقربه‌های ساعت اندازه‌گیری می‌شوند. |



شکل 3- سیستم مرجع مختصات برای زنجیره تبدیل داده لایدار [14]

### 2.2.6 چارچوب سنجنده - s

تبدیل از چارچوب مختصاتی سنجنده به چارچوب مختصاتی بدنه میبایست توسط فرمول (1) تعریف شود:

$$X_p^s(t) = \rho(t) \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ \sin\theta(t) \\ \cos\theta(t) \end{pmatrix} \quad (1)$$

که

$X_p^s$  برداری از لیزر اسکنر تا نقطه عارضه که در سیستم مرجع مختصات اسکنر تعریف شده است.

$\rho$  فاصله‌ای که براساس اندازه‌گیری زمانی میان پالس ارسال و دریافت لیزر به دست می‌آید.

$\theta$  زاویه کدگذاری اسکنر که توجیه جهت پرتو لیزر را با توجه به چارچوب مختصاتی سنجنده مشخص می‌کند.

t زمان

### 3.2.6 چارچوب بدنه - b

تبدیل از چارچوب مختصاتی بدنه به چارچوب مختصاتی سنجنده میبایست توسط فرمول (2) تعریف شود:

$$X^b = X_s^b + R_s^b(\omega, \varphi, \kappa) \cdot X^s \quad (2)$$

که

$X^b$  برداری که در چارچوب مختصاتی b بیان گردیده است.

$X_s^b$  مبدا چارچوب مختصاتی s که در چارچوب مختصاتی b تعریف شده و هم‌چنین به عنوان بردار موقعیت نسبی شناخته می‌شود.

$R_s^b$  ماتریس دوران که نشان‌دهنده عدم هم‌راستایی میان چارچوب‌های مختصاتی s و b بوده که توجیه نسبی لایدار و بدنه شتاب‌سنج نیز نامیده می‌شود.

$\omega, \varphi, \kappa$  زوایای توجیه نسبی لایدار و بدنه شتاب‌سنج به ترتیب حول محورهای x, y و z می‌باشند.

$X^s$  برداری که در چارچوب مختصاتی s بیان گردیده است.

دوران از چارچوب مختصاتی بدنه به چارچوب مختصاتی سطح محلی میبایست توسط فرمول (3) تعریف شود:

$$R_{l_{NED}}^b = R_3(y)R_2(p)R_1(r) \quad (3)$$

که

$R_{l_{NED}}^b$  دوران چارچوب مختصاتی بدنه نسبت به چارچوب مختصاتی مرجع سطح محلی  $l_{NED}$  (NED = شمال - شرق - جنوب)

$R_1(r)$  دوران حول محور طولی (roll)

$R_2(p)$  دوران حول محور عرضی (pitch)

$R_3(y)$  دوران حول محور عمودی (جهت پرواز)

چنانچه از مبدا به سمت مثبت محوری که دوران حول آن انجام شده نگاه شده و دوران در جهت عقربه‌های ساعت باشد، دوران مثبت است. با توجه به عدم خاصیت جابه‌جایی در یک دنباله از دوران‌ها، ترتیب آن‌ها میبایست مشخص شود (ISO/TS 19130:2010).

#### 4.2.6 زمین مرکز، زمین ثابت - $e$

در تبدیل از چارچوب مختصاتی زمین مرکز، زمین ثابت به چارچوب مختصاتی سطح محلی میبایست از ماتریس دوران تعریف شده در فرمول (4) استفاده کرد.

$$R_{l_{NED}}^e = \begin{pmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \lambda & -\cos \varphi \cos \lambda \\ -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \lambda & -\cos \varphi \sin \lambda \\ \cos \varphi & 0 & -\sin \varphi \end{pmatrix} \quad (4)$$

که

$\varphi$  عرض جغرافیایی موقعیت محلی

$\lambda$  طول جغرافیایی موقعیت محلی

تبدیل از چارچوب مختصاتی زمین - مرکز، زمین - ثابت به چارچوب مختصاتی بدنه میبایست توسط فرمول (5) تعریف شود.

(5)

$X^e$  برداری که در چارچوب مختصاتی  $e$  بیان گردیده است.

$R_b^e$  این ماتریس دوران بیانگر عدم هم راستایی میان چارچوب های مختصاتی  $b$  و  $e$  می باشد.

ماتریس دوران  $R_b^e$  می‌تواند مطابق فرمول (6) از حاصل ضرب  $R_l^e$  و  $R_b^l$  محاسبه گردد.

(6)

$R_{i_{NED}}^e$  دوران از چارچوب مختصاتی زمین مرکز، زمین ثابت به چارچوب مختصاتی مرجع سطح محلی

شکل 4-سیستم مختصات کارتیزین و بیضوی [14]

فرمول (7) تعریف کننده رابطه تبدیل از چارچوب مختصاتی سطح محلی به چارچوب مختصاتی زمین مرکز، زمین ثابت می باشد.

$$X^e = \begin{pmatrix} X_1^e \\ X_2^e \\ X_3^e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (N+h) \cos \varphi \cos \lambda \\ (N+h) \cos \varphi \sin \lambda \\ (\frac{b^2}{a^2} N + h) \sin \varphi \end{pmatrix} \quad (7)$$

که

$X^e$  برداری از مرکز زمین تا نقطه عارضه که در سیستم مرجع مختصاتی ECEF تعریف شده است.

$\varphi$  عرض جغرافیایی موقعیت محلی

$\lambda$  طول جغرافیایی موقعیت محلی

$N$  شعاع انحنای قائم اولیه

$h$  ارتفاع بیضوی

$a$  نیم قطر بزرگ بیضوی

$b$  نیم قطر کوچک بیضوی

#### 5.2.6 چارچوب مختصاتی تهیه نقشه $m$

تبدیل از چارچوب مختصاتی زمین - مرکز، زمین - ثابت به چارچوب مختصاتی  $m$  (چارچوب تهیه نقشه) میبایست توسط فرمول (8) تعریف شود.

$$X_p^m = X_e^m + \mu^m R_e^m X_p^e \quad (8)$$

که

$X_p^m$  بردار موقعیت نقطه ثبت شده از بازگشت نور لیزر در چارچوب مختصاتی  $m$

$X_e^m$  مبدا چارچوب مختصاتی  $e$  در چارچوب مختصاتی  $m$

$\mu^m$  ضریب مقیاس مشترک سطوح مبنای ملی

$R_e^m$  ماتریس دوران سطوح مبنا

$X_p^e$  بردار موقعیت نقطه ثبت شده از بازگشت نور لیزر در چارچوب مختصاتی  $e$

### 3.6 تبدیلات

#### 1.3.6 کلیات

بخش 3.6 تبدیل از چارچوب مختصاتی سنجنده به چارچوب مختصاتی زمین - مرکز، زمین ثابت (چارچوب مختصاتی  $e$ ) با عنوان "معادله مشاهده لیزر اسکنر هوابرد" و همچنین تبدیل از چارچوب مختصاتی  $e$  به چارچوب مختصاتی تهیه نقشه را بیان می نماید.

#### 2.3.6 معادله مشاهده لیزر اسکنر هوابرد

معادله 9 (فرمول 9) شامل تبدیل از چارچوب مختصاتی  $s$  به  $e$  به همراه سیستم های مرجع مختصات میانی مرتبط با دو چارچوب مختصاتی  $b$  و  $l$  می باشد.

$$X_p^e(t) = X_l^e + R_l^e(t) \left( X_b^l(t) + R_b^l \left( X_s^b + R_s^b \cdot \rho(t) \begin{pmatrix} 0 \\ \sin \theta(t) \\ \cos \theta(t) \end{pmatrix} \right) \right) \quad (9)$$

معادله 10 (فرمول 10) شامل تبدیل از چارچوب مختصاتی  $s$  به  $e$  به همراه سیستم مرجع مختصات میانی مرتبط با تک چارچوب مختصاتی  $b$  می باشد.

$$X_p^e(t) = X_b^e + R_b^e(t) \left( X_s^b + R_s^b \cdot \rho(t) \begin{pmatrix} 0 \\ \sin \theta(t) \\ \cos \theta(t) \end{pmatrix} \right) \quad (10)$$

معادله 11 (فرمول 11) المان های مشابه با معادله 9 (فرمول 9) دارد. اگرچه بردار میان دو چارچوب مختصاتی  $b$  و  $s$  به معنای  $X_b^s = -X_s^b$  و از چارچوب مختصاتی  $s$  به چارچوب مختصاتی  $b$  اشاره دارد. بدین ترتیب این بردار در سیستم مختصات مرجع چارچوب  $s$  بیان می گردد. معادله 11 (فرمول 11) در برخی موارد معادله مشاهده لیزر اسکنر هوابرد نامیده می شود.

$$X_p^e(t) = X_b^e + R_l^e(\varphi(t), \lambda(t)).R_b^l(r(t), p(t), y(t)).R_s^b(\omega, \varphi, \kappa) \left( X_b^s + \rho(t) \begin{pmatrix} 0 \\ \sin \theta(t) \\ \cos \theta(t) \end{pmatrix} \right) \quad (11)$$

که

$X_p^e$  برداری از مرکز زمین تا نقطه عارضه که در سیستم مختصات مرجع ECEF تعریف شده است.

$X_l^e$  برداری از مرکز زمین به مبدا سیستم مختصات مرجع محلی که در سیستم مختصات مرجع ECEF تعریف شده است.

$R_b^l$  دوران از چارچوب مختصاتی مرجع سطح محلی  $l$  به چارچوب مختصاتی بدنه

$X_b^l$  برداری از سیستم مختصات مرجع محلی به مبدا چارچوب مختصاتی بدنه

$R_s^b$  دوران از چارچوب مختصات بدنه به سیستم مختصات مرجع سنجنده

$X_s^b$  مبدا چارچوب مختصاتی  $s$  که در چارچوب مختصاتی  $b$  تعریف گردیده و به عنوان موقعیت نسبی یک سنجنده نسبت به دیگری شناخته می شود.

$X_b^s$  مبدا چارچوب مختصاتی  $b$  که در چارچوب مختصاتی  $s$  تعریف گردیده و به عنوان موقعیت نسبی یک سنجنده نسبت به دیگری شناخته می شود.

$\rho$  فاصله ای که براساس اندازه گیری زمانی میان پالس ارسال و دریافت لیزر به دست می آید.

$\theta$  زاویه کدگذاری اسکتر که توجیه جهت پرتو لیزر را با توجه به چارچوب مختصاتی سنجنده مشخص می کند.

$X_b^e$  برداری از مرکز زمین به مبدا چارچوب مختصاتی بدنه که در سیستم مختصات مرجع ECEF تعریف شده است.

$R_b^e$  دوران از سیستم مختصات مرجع زمین به چارچوب مختصاتی بدنه

برای توضیح بیش تر متغیرها به فرمول (2) تا (6) مراجعه نمایید.

تبدیل از چارچوب مختصاتی سنجنده به چهارچوب مختصاتی تهیه نقشه میبایست توسط یکی از معادلات 9، 10 و یا 11 تعریف شود (فرمول 9، 10 یا 11).

### 3.3.6 سرشکنی نوار

سرشکنی نوار یک روش تصحیح خطای سیستماتیک مدل نشده با استفاده از هندسه قوی بلوکی از مجموعه نوارهای همپوشانی دار و متقاطع است. به منظور شناسایی عوارض (نقاط، خطوط یا الگوهای مشخص) کنترل و گرهی، همپوشانی کافی از نوارها نیاز است. تابع تصحیح برای هر نوار با فرمول (12) تعریف می گردد.

$$X_p^{'e}(s) = X_p^e(s) + f(s) \quad (12)$$

که

$X_p^e(s)$  نقطه مشاهداتی در نوار  $s$

$X_p^{'e}(s)$  نقطه تصحیح شده

$f(s)$  تابع تصحیح برای نوار  $s$

### 4.6 شدت

شدت انرژی بازگشتی پالس لیزر اغلب یک مقدار مرتبط با کالبراسیون است. کلاس CA-Intensity پارامترهای مرتبط را دربردارد.

### 5.6 مدل خطا

#### 1.5.6 کلیات

اندازه گیری ها در لیزر اسکنر هوابرد تحت تاثیر خطاهای سیستماتیک مدل ها و همچنین خطاهای سیستماتیک و تصادفی ناشی از ابزارهای غیردقیق می باشند. یک نمونه معمول از خطای سیستماتیک، زوایای مرتبط با توجیه نسبی لایدار و بدنه IMU بوده که بخشی از تبدیل از چارچوب مختصات  $s$  به  $b$  می باشد. مقادیر این زوایا اغلب نیازمند کالبراسیون خواهند بود.

بردار موقعیت لیزر اسکنر هوابرد تابعی از مسیر تخمینی توسط GNSS/IMU، فاصله مشاهداتی توسط لیزر اسکنر و زاویه کدگذاری است.

$$l_p = (X_b^e \ Y_b^e \ Z_b^e \ rpy\rho\theta)^T \quad (13)$$

که

$l_p$  بردار موقعیت لیزر اسکنر (بردار  $X_p^e$  در فرمول (16))

$$\text{GNSS/IMU موقعیت } X_b^e = (X_b^e \ Y_b^e \ Z_b^e)^T$$

$$\text{GNSS/IMU توجیه } (r \ p \ y)^T$$

$\rho$  فاصله اندازه گیری شده توسط لیزر اسکنر

$\theta$  زاویه کدگذاری

به علت کالیبره متناوب زوایای توجیه میان IMU و GNSS و همچنین لایدار و بدنه IMU در طول یک ماموریت و در نظر گیری آن ها بدون خطا، تبدیل از چارچوب مختصات بدنه به چارچوب مختصات سنجنده در مدل خطا تاثیری نخواهد داشت.

بر اساس معادله 11 (فرمول 11)، مدل خطای کلی زیر برای این بخش از ISO/TS 19159 اعمال می گردد.

$$X_p^e = X_b^e + \Delta \hat{X}_b^e + R_l^e R_b^l (\hat{r} \hat{p} \hat{y}) R_b^b (\Delta r \Delta p \Delta y) R_s^b (\Delta \omega \Delta \phi \Delta \kappa) T_s^s (\hat{\omega} \hat{\phi} \hat{\kappa})$$

$$\times \begin{pmatrix} -(\hat{\rho} + \Delta \rho) \sin(\Delta \eta) \\ (\hat{\rho} + \Delta \rho) \sin(\hat{\theta} + \Delta \theta) \cos(\Delta \eta) + \hat{X}_b^s + \Delta X_b^s \\ (\hat{\rho} + \Delta \rho) \cos(\hat{\theta} + \Delta \theta) \cos(\Delta \eta) \end{pmatrix} \quad (14)$$

که

$X_p^e$  نقطه عارضه که در چارچوب مختصات زمین مرکز - زمین ثابت تعریف گردیده است.

$X_b^e$  مبدا چارچوب مختصات بدنه که در چارچوب مختصات زمین مرکز - زمین ثابت تعریف گردیده است.

$\Delta \hat{X}_b^e$  خطاهای موقعیت یابی GNSS/IMU

$R_b^b (\Delta r \Delta p \Delta y)$  خطاهای توجیه GNSS/IMU (delta roll, delta pitch, delta yaw)

$R_s^b (\Delta \omega \Delta \phi \Delta \kappa)$  ماتریس خطای توجیه بدنه IMU و لایدار

$T_s^s (\hat{\omega} \hat{\phi} \hat{\kappa})$  به عنوان بخشی از ماتریس نصب (موقعیت سنجنده های لایدار در یک سیستم) شناخته می شود.

$\Delta X_b^s$  خطای جابه جایی میان IMU و مرکز فاز GNSS

$\Delta \rho$  خطای کلی فاصله اندازه گیری شده

$\Delta \theta$  خطای کلی کدگذاری/اسکنر

$\Delta\eta$  عدم هم ترازی میان کدگذار زاویه‌ای و صفحه اسکن

#### 2.5.6 موقعیت‌یابی و توجیه در طول مسیر

اگر موقعیت‌یابی نسبی به‌طور دقیق انجام شود خطاهای تعیین موقعیت در طول مسیر  $\Delta X_b^e$  نسبتاً کوچک می‌باشند. اگرچه خطاهای توجیه در طول مسیر  $R_b^b$  نمی‌توانند به‌طور کامل توسط فیلتر کالمن GNSS/IMU حذف شوند. این بدان معناست که خطای توجیه ضعیف‌ترین بخش سیستم بوده و بیش‌ترین تاثیر را در دقت و عملکرد کل سیستم دارد.

#### 3.5.6 خطای توجیه نسبی لایدار و بدنه IMU و ماتریس عدم هم‌ترازی

خطای توجیه نسبی لایدار و بدنه IMU نشان‌دهنده عدم قطعیت در توجیه نسبی میان چارچوب بدنه، عمدتاً IMU و لیزر اسکنر می‌باشد. این خطا به‌عنوان مهم‌ترین جز در میان عوامل خطاها مطرح می‌گردد.

حاصل ضرب دو ماتریس  $R_s^b$  و  $T_s^s$  به‌عنوان ماتریس عدم هم‌ترازی  $R_s^b$  شناخته می‌شود:

$$R_s^b = R_s^b \cdot T_s^s$$

در این فرمول  $T_s^s$  به‌عنوان ماتریس نصب در نظر گرفته شده که معمولاً متشکل از دوران‌های 90 یا 180 درجه و ماتریس باقی‌مانده توجیه نسبی لایدار و بدنه IMU برای زوایای کوچک،  $R_s^b$ ، است. بنابراین  $R_s^b$  می‌تواند توسط فرمول (15) تقریب زده شود.

$$R_s^b \approx \begin{pmatrix} 1 & -\Delta\kappa & \Delta\varphi \\ \Delta\kappa & 1 & -\Delta\omega \\ -\Delta\varphi & \Delta\omega & 1 \end{pmatrix} = I + dR_s^b \quad (15)$$

که

$$dR_s^b = \begin{pmatrix} 0 & -\Delta\kappa & \Delta\varphi \\ \Delta\kappa & 0 & -\Delta\omega \\ -\Delta\varphi & \Delta\omega & 0 \end{pmatrix}$$

#### 4.5.6 خطای جابه‌جایی میان IMU و مرکز فاز GNSS

خطای جابه‌جایی میان IMU و مرکز فاز GNSS،  $\Delta X_b^s$ ، دارای دو جنبه می‌باشد. مولفه ایجاد شده از IMU به اسکنر به‌علت طول کوچک آن و کالیبراسیون انجام شده توسط سازنده تقریباً همیشه ناچیز می‌باشد. این در حالی است که اثر جابه‌جایی مرکز فاز آنتن GNSS از IMU بیش‌تر بوده و تاثیر غالبی بر  $\Delta X_b^s$  دارد.

## 5.5.6 اسکنر

منابع خطاهای مولفه اسکنر  $\Delta\rho$  و  $\Delta\theta$  پیچیده بوده و وابسته به ابزار اندازه گیری می باشد.

## 6.5.6 خطای نصب و تجمیع اسکنر $\Delta\eta$

این خطا به علت این واقعیت بوده که رمز گذارهای زاویه اسکنر دقیقاً عمود بر زاویه دوران آینه نصب نشده است.

## 6.6 کالیبراسیون در حین پرواز

مجموعه لیزر اسکنر هوا برد نیازمند کالیبراسیون چندین مولفه جداگانه می باشد. مجموع آن اجزا به عنوان کالیبراسیون مجموعه لیزر اسکنر شناخته می شوند.

کالیبراسیون جابه جایی میان لیزر اسکنر و IMU و همچنین مرکز فاز آنتن GNSS توسط روش های نقشه برداری انجام می گیرد که منجر به صحت کافی در کالیبراسیون می گردد.

کالیبراسیون جابه جایی میان لیزر اسکنر و IMU و همچنین مرکز فاز آنتن GNSS روی زمین انجام می گیرد. این کالیبراسیون و همچنین کالیبراسیون آزمایشگاهی ابزارها بسیار مهم بوده اما در این قسمت از ISO/TS 19159 به صورت مفصل مورد بحث قرار نمی گیرند.

تاکنون به علت عدم وجود روش های آزمایشگاهی، خطاهای توجیه لیزر اسکنر نسبت به سکو در حین پرواز تعیین می شوند. این خطاهای توجیه شامل زوایای توجیه نسبی لایدار و بدنه IMU و خطاهای نصب و تجمیع اجزای اسکنر می باشند.

این قسمت از ISO/TS 19159، روش خود کالیبراسیون زمین مبنا در هنگام پرواز را به عنوان مدل استاندارد برای کالیبراسیون مجموعه لیزر اسکنر تعیین می کند (14).

تاکنون چندین روش کالیبراسیون پیشنهاد گردیده است. مبنای این روش ها، شیب زمین، نقاط کنترل یا پروفیل های ساختمانی استخراج شده از ابر نقاط هم پوشانی دار می باشند. برخی از این روش ها نیازمند کار مستمر، غیر دقیق و یا فاقد معیارهای تضمین کیفیت آماری می باشند.

بنابراین اساس مدل سری های ISO 19159 بر پایه شرط قرار گیری نقاط عوارض زمین مرجع شده بر روی صفحات استوار بوده و پارامترهای این صفحات همراه با پارامترهای کالیبراسیون تخمین زده می شوند. در یک مدل بهینه، صفحات انتخاب شده باید در جهات مختلف قرار گرفته و به عبارتی دیگر بردارهای نرمال بر صفحات نباید با یکدیگر

موازی باشند. هشت مشاهده در هر نقطه عبارتند از سه موقعیت و سه دوران تخمین زده شده از سیستم GNSS/IMU و همچنین اندازه گیری های فاصله و زاویه لیزر اسکنر.

معادله مشاهده نقطه عارضه  $i$  با بردار موقعیت  $X_{p_i}^e$  توسط فرمول (16) تعریف می شود.

$$\left\langle s_j, \begin{pmatrix} X_{p_i}^e \\ 1 \end{pmatrix} \right\rangle = 0 \quad (16)$$

که در آن

$i$  شماره نقطه عارضه

$X_{p_i}^e$  نقطه عارضه

$j$  شماره صفحه

می باشند. پارامترهای صفحه با استفاده از فرمول (17) بیان می گردد.

$$s_j = (s_1 \quad s_2 \quad s_3 \quad s_4)^T \quad (17)$$

که در آن

$s_1 \quad s_2 \quad s_3$  جهت های کسینوسی و

$s_4$  فاصله عمودی منفی میان صفحه و مبدا سیستم مختصات می باشند. جهت های کسینوسی باید شرط طول یکه در فرمول (18) را برآورده نمایند.

$$s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 - 1 = 0 \quad (18)$$

سیستم خطی سازی شده از معادلات مشاهدات پارامترهای بردار نرمال بر صفحه با استفاده از فرمول (19) ارائه شده است.

$$A_1 \hat{\delta}_1 + A_2 \hat{\delta}_2 + B \hat{v} + w = 0 \quad (19)$$

که در آن

$A_1 \quad A_2$  ماتریس های طراحی متشکل از مشتقات جزئی تابع

$\hat{\delta}_1 \hat{\delta}_2$  بردارهای تصحیح متناظر

$B$  ماتریس طراحی متشکل از مشتقات جزئی نسبت به مشاهدات

$\hat{v}$  بردار باقی مانده ها

$w$  بردار خطای بست

سیستم خطی سازی شده از قیود وزن دار پارامترهای بردار نرمال بر صفحه با استفاده از فرمول (20) ارائه شده است.

$$G_c \hat{\delta}_2 + w_c = \hat{v}_c \quad (20)$$

$G_c$  ماتریس طراحی متشکل از مشتقات جزئی قید طول واحد نسبت به پارامترهای صفحه

$\hat{\delta}_2$  بردار تصحیح متناظر

$\hat{v}_c$  بردار باقی مانده ها

$w_c$  بردار خطای بست

## 7.6 باقی مانده خطاهای نوار

باقی مانده خطای نوار با اندازه گیری خطا در موقعیت نسبی عوارض گرهی و کنترل در نوارهای هم پوشانی دار و متقاطع، به دنبال کمی سازی کیفیت روند کالیبراسیون داده های به دست آمده در حین پرواز و کارخانه می باشد.

مشابه سرشکنی نوار، هم پوشانی کافی از نوارها به منظور شناسایی عوارض گرهی و کنترل مورد نیاز است.

باقی مانده خطای نوار با اندازه گیری فاصله نقطه - به - صفحه، فاصله میان نقاط چک در یک عرض پوشش و بهترین صفحه برازش یافته به نقاط همسایگی آن در عرض پوشش دوم و با استفاده از روش حداقل مربعات تعیین می گردد. این اندازه گیری ها تنها در مناطق مسطح هم پوشانی دار معتبر می باشند.

## 8.6 اعتبارسنجی

به منظور اعتبارسنجی کالیبراسیون، این بخش از ISO/TS19159 شش روش را ارائه می نماید: تست فیلد (مجموعه ای از نقاط مشخص و منظم که می توانند دارای مختصات زمینی باشند)، پرواز با نوار متقاطع، پرواز مجدد، ارتفاع مجدد، پارامترهای واقعی اندازه گیری و غیره.

اعتبارسنجی کالیبراسیون باید شامل زمان انجام اعتبارسنجی باشد.

## **پیوست A**

### **(اطلاعات)**

#### **مجموعه آزمون انتزاعی**

##### **1.A مفاهیم**

انطباق این بخش از ISO/TS 19159 شامل انطباق سرویس یا داده می‌باشد.

به علت توصیف هندسه استاندارد در فرمول‌های ارائه شده در بند 6، استفاده از آن‌ها در انطباق این بخش از 19159 ISO/TS نیازی نیست. اگرچه استاندارد نیازمند مستندسازی متغیرهای مشخص شده می‌باشد.

مجموعه آزمون انتزاعی دارای چهار کلاس انطباق است.

(1) سیستم‌های مرجع مختصات

(2) تبدیل‌ها

(3) مدل خطا

(4) کالیبراسیون

##### **2.A سیستم‌های مرجع مختصات**

###### **1.2.A چارچوب سنجنده - s**

هدف آزمون: تایید استفاده از رابط مناسب برای چارچوب سنجنده

روش آزمون: بررسی اسناد رابط به منظور تایید استفاده از یک رابط تعریف شده در c 2.1 A.

منبع: 6.2.2

###### **2.2.A چارچوب بدنه - b**

هدف آزمون: تایید استفاده از رابط مناسب برای چارچوب بدنه

روش آزمون: بررسی اسناد رابط به منظور تایید استفاده از یک رابط تعریف شده در c A.2.2

منبع: 6.2.3

### **3.2.A چارچوب زمین مرکز، زمین ثابت - e**

هدف آزمون: تایید استفاده از رابط مناسب برای چارچوب زمین مرکز، زمین ثابت

روش آزمون: بررسی اسناد رابط به منظور تایید استفاده از یک رابط تعریف شده در c A.2.3

منبع: 6.2.4

### **4.2.A چارچوب تهیه نقشه - m**

هدف آزمون: تایید استفاده از رابط مناسب برای چارچوب تهیه نقشه

روش آزمون: بررسی اسناد رابط به منظور تایید استفاده از یک رابط تعریف شده در c A.2.4

منبع: 6.2.5

## **3.A تبدیلات**

### **1.3.A کلیات**

هدف آزمون: تایید استفاده از رابط مناسب برای یک سرویس تبدیل

روش آزمون: بررسی اسناد رابط به منظور تایید استفاده از رابط‌های تعریف شده در c A.3.1

منبع: 6.3

### **2.3.A معادله مشاهده لیزر اسکنر هوابرد**

هدف آزمون: تایید استفاده از رابط مناسب برای یک معادله مشاهده لیزر اسکنر هوابرد

روش آزمون: بررسی اسناد رابط به منظور تایید استفاده از یک رابط تعریف شده در c A.3.2

منبع: 6.3.2

### **3.3.A سرشکنی نوار**

هدف آزمون: تایید استفاده از رابط مناسب برای معادله سرشکنی نوار

روش آزمون: بررسی اسناد طرح یا پروفایل برنامه به منظور تایید استفاده از یک رابط تعریف شده در c A.3.3

منبع: 6.3.3

#### **4.A مدل خطا**

هدف آزمون: تایید استفاده از یک کلاس برنامه مناسب برای یک مدل خطا

روش آزمون: بررسی اسناد طرح یا پروفایل برنامه به منظور تایید استفاده تعریف شده در c A.4

منبع: 6.5

#### **5.A کالیبراسیون**

هدف آزمون: تایید استفاده از رابط مناسب برای یک سرویس کالیبراسیون

روش آزمون: بررسی اسناد رابط به منظور تایید استفاده از روابط تعریف شده در c A.5

منبع: 6.6

## پیوست B

### (اطلاعات)

### واژه‌نامه داده

| نام/نام نقش                     | تعریف                                                                                                           | الزام/شرط                       | حداکثر وقوع                       | نوع داده/کلاس                                          | دامنه |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------|-------|
| 1. CA_CalibrationValidation     | ریشه موجودیتی (نقطه شروع) که اطلاعات مربوط به کالیبراسیون را تعریف می‌کند.                                      | استفاده از الزام/شرط عارضه مرجع | استفاده از حداکثر وقوع عارضه مرجع | Aggregated Class (MD_Coverage Description)             |       |
| 2. CA_Lidar                     | ریشه موجودیتی (نقطه شروع) کالیبراسیون و اندازه‌گیری لایدار                                                      | استفاده از الزام/شرط عارضه مرجع | استفاده از حداکثر وقوع عارضه مرجع | Specialized Abstract Class (CA_Calibration Validation) |       |
| 3. CA_LidarCalibration          | ریشه موجودیتی (نقطه شروع) کالیبراسیون لایدار                                                                    | استفاده از الزام/شرط عارضه مرجع | استفاده از حداکثر وقوع عارضه مرجع | Specialized Abstract Class (CA_Lidar)                  |       |
| 4. CA_LidarCalibrationTestfield | کلاس شامل تمام اطلاعات مربوط به تنظیمات میدان آزمون                                                             | استفاده از الزام/شرط عارضه مرجع | استفاده از حداکثر وقوع عارضه مرجع | Specialized Class (Lidar Calibration)                  |       |
| 5. lidarNObjectPoints           | تعداد نقاط عارضه داده شده برای کالیبراسیون                                                                      | M                               | 1                                 | Integer                                                |       |
| 6. lidarObjectPoint             | نقاط عارضه                                                                                                      | M                               | N                                 | DirectPosition                                         |       |
| 7. lidarJPlane                  | تعداد صفحات                                                                                                     | M                               | 1                                 | Integer                                                |       |
| 8. lidarPlaneParameters         | جهت‌های کسینوسی بردار نرمال بر سطح (سه عنصر اول) و فاصله عمودی منفی میان صفحه و مبدا سیستم مختصات (مقدار چهارم) | M                               | 4×N                               | Real                                                   |       |
| 9. CA_LidarCalComputation       | کلاس شامل تمام اطلاعات مربوط به محاسبات کالیبراسیون                                                             | استفاده از الزام/شرط عارضه مرجع | استفاده از حداکثر وقوع عارضه مرجع | Specialized Class (CA_Lidar Calibration)               |       |

|  |                                          |              |                                 |                                                                                                                        |                          |     |
|--|------------------------------------------|--------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----|
|  | Real                                     | $M \times N$ | M                               | ماتریس A سرشکنی شامل مشتقات جزئی مربوط به پارامترهای کالیبراسیون                                                       | designMatrix1            | 1.0 |
|  | Real                                     | $M \times N$ | M                               | ماتریس A سرشکنی شامل مشتقات جزئی مربوط به پارامترهای صفحه                                                              | DesignMatrix2            | 1.1 |
|  | Real                                     | N            | M                               | بردار تصحیح برای پارامترهای کالیبراسیون                                                                                | corrections1             | 1.2 |
|  | Real                                     | N            | M                               | بردار تصحیح برای پارامترهای صفحه                                                                                       | corrections2             | 1.3 |
|  | Real                                     | $M \times N$ | M                               | ماتریس A سرشکنی شامل مشتقات جزئی مربوط به توابع مشاهداتی                                                               | designMatrixObservations | 1.4 |
|  | Real                                     | N            | M                               | باقی مانده مشاهدات                                                                                                     | residuals                | 1.5 |
|  | Real                                     | N            | M                               | بردار خطای بست                                                                                                         | misclosure               | 1.6 |
|  | Real                                     | $M \times N$ | M                               | ماتریس A سرشکنی شامل مشتقات جزئی طولهای واحد نسبت به پارامترهای صفحه                                                   | designMatrixUnitLength   | 1.7 |
|  | Specialized Abstract Class (CA_Lidar)    | 1            | استفاده از الزام/شرط عارضه مرجع | کلاسی که برای تمامی پارامترهای لازم جهت تعریف تبدیل به عنوان کلاس اصلی عمل می نماید                                    | CA_LidarTransformation   | 1.8 |
|  | Specialized Class (Lidar Transformation) | 1            | استفاده از الزام/شرط عارضه مرجع | کلاسی که برای تمامی پارامترهای لازم جهت تعریف سیستم های مرجع مختصات به عنوان کلاس اصلی عمل می نماید                    | CA_Frames                | 1.9 |
|  | Date Time                                | 1            | M                               | زمانی که پالس لیزر ارسال و ثبت شده است                                                                                 | timeRecording            | 2.0 |
|  | Specialized Class (CA_Frames)            | 1            | استفاده از الزام/شرط عارضه مرجع | سیستم اسکتری که یک سیستم مختصات مرجع دست راستی را تشکیل می دهد                                                         | CA_SFrame                | 2.1 |
|  | Angle                                    | 1            | M                               | زاویه میان بردار مشاهداتی از سنجنده به عارضه و محور Z سیستم مختصات مرجع (CFS) سنجنده. این زاویه در خلاف عقربه های ساعت | thetaTarget              | 2.2 |

|     |                   |                                                                                                                                       |                                 |                                                  |                               |  |
|-----|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------|--|
|     |                   |                                                                                                                                       |                                 | حول محور X سیستم مختصات مرجع سنجنده دوران می کند |                               |  |
| 2.3 | rhoTarget         | طول بردار مشاهداتی از سنجنده به عارضه                                                                                                 | M                               | 1                                                | Length                        |  |
| 2.4 | CA_BFrame         | اطلاعاتی درباره چارچوب بدنه که مرتبط با سیستم حامل بوده و این سیستم به نحوی انتخاب شده تا در مرکز ناوبری سیستم ناوبری داخلی قرار گیرد | استفاده از الزام/شرط عارضه مرجع | 1                                                | Specialized Class (CA_Frames) |  |
| 2.5 | originSensor      | بردار موقعیت مرکز سنجنده که در سیستم مختصات مرجع بدنه تعریف شده و معمولاً lever-am نامیده می شود                                      | M                               | 1                                                | DirectPosition                |  |
| 2.6 | attitudeSensor    | دوران سیستم مختصات مرجع سنجنده نسبت به سیستم مختصات مرجع بدنه که معمولاً توسط زوایای $\omega$ ، $\phi$ و $\kappa$ انجام می گیرد       | M                               | 1                                                | SD_Attitude                   |  |
| 2.7 | attitudeBodyLocal | دوران سیستم مختصات مرجع محلی نسبت به سیستم مختصات مرجع بدنه که معمولاً توسط زوایای roll، pitch و yaw انجام می گیرد                    | M                               | 1                                                | SD_Attitude                   |  |
| 2.8 | CA_EFrame         | اطلاعاتی درباره چارچوب زمین مرکز- زمین ثابت (ECEF)                                                                                    | استفاده از الزام/شرط عارضه مرجع | 1                                                | Specialized Class (CA_Frames) |  |
| 2.9 | OriginBodyEarth   | بردار موقعیت مرکز بدنه که در سیستم مختصات مرجع زمین مرکز - زمین ثابت تعریف شده است                                                    | M                               | 1                                                | DirectPosition                |  |
| 3.0 | attitudeBodyEarth | دوران سیستم مختصات مرجع بدنه نسبت به سیستم مختصات مرجع ECEF                                                                           | M                               | 1                                                | SD_Attitude                   |  |
| 3.1 | phiLocal          | عرض جغرافیایی موقعیت محلی                                                                                                             | M                               | 1                                                | Angle                         |  |
| 3.2 | lambdaLocal       | طول جغرافیایی موقعیت محلی                                                                                                             | M                               | 1                                                | Angle                         |  |

|  |                                            |   |                                 |                                                                                                      |                         |         |
|--|--------------------------------------------|---|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------|
|  | Length                                     | 1 | M                               | شعاع انحنای قائم اولیه                                                                               | nRadius                 | 3.<br>3 |
|  | Length                                     | 1 | M                               | ارتفاع بیضوی                                                                                         | ellipsoidalHeight       | 3.<br>4 |
|  | Length                                     | 1 | M                               | نیم قطر بزرگ بیضوی                                                                                   | a                       | 3.<br>5 |
|  | Length                                     | 1 | M                               | نیم قطر کوچک بیضوی                                                                                   | b                       | 3.<br>6 |
|  | DirectPosition                             | 1 | M                               | بردار موقعیت نقطه اندازه گیری شده که در سیستم مختصات مرجع زمین مرکز - زمین ثابت (ECEF) تعریف شده است | measuredPoint           | 3.<br>7 |
|  | Specialized Class (CA_Frames)              | 1 | استفاده از الزام/شرط عارضه مرجع | اطلاعاتی درباره چارچوب ملی (سیستم مختصات مرجع ملی)                                                   | CA_MFrame               | 3.<br>8 |
|  | DirectPosition                             | 1 | M                               | بردار موقعیت مبدا سیستم مختصات مرجع ملی که در سیستم مختصات مرجع زمین مرکز - زمین ثابت تعریف شده است  | originMapping           | 3.<br>9 |
|  | Real                                       | 1 | M                               | ضریب مقیاس مشترک سطوح مبنای ملی                                                                      | scaleMapping            | 4.<br>0 |
|  | SD_Attitude                                | 1 | M                               | دوران سیستم مختصات مرجع ملی نسبت به سیستم مختصات مرجع ECEF                                           | attitudeMapping         | 4.<br>1 |
|  | Specialized Class (CA_LidarTransformation) | 1 | استفاده از الزام/شرط عارضه مرجع | اطلاعاتی درباره سرشکنی نوار                                                                          | CA_LidarStripAdjustment | 4.<br>2 |
|  | DirectPosition                             | N | M                               | نقاطی که ورودی تبدیل به مجموعه نقاط تصحیح شده می-باشند.                                              | observedPoints          | 4.<br>3 |
|  | DirectPosition                             | N | M                               | نقاط خروجی پس از تبدیل                                                                               | correctedPoints         | 4.<br>4 |
|  | CA_CorrFunction                            | 1 | M                               | تعریف کننده روش ریاضی مورد استفاده به منظور اتصال نوارهای مجاور                                      | correctionFct           | 4.<br>5 |

|     |                             |                                                    |                                 |   |                              |
|-----|-----------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|---|------------------------------|
| 4.6 | CA_LidarErrors              | اطلاعاتی درباره خطاهای اندازه-گیری یک نقطه با لیزر | استفاده از الزام/شرط عارضه مرجع | 1 | Specialized Class (CA_Lidar) |
| 4.7 | lidarPositionError          | خطاهای تعیین موقعیت GNSS/IMU                       | M                               | 1 | DirectPosition               |
| 4.8 | lidarOrientOmegaError       | خطای توجیه $\omega$                                | M                               | 1 | Angle                        |
| 4.9 | lidarOrientPhiError         | خطای توجیه $\phi$                                  | M                               | 1 | Angle                        |
| 5.0 | lidarOrientKappaError       | خطای توجیه $\kappa$                                | M                               | 1 | Angle                        |
| 5.1 | lidarBoresightOmegaError    | خطای $\omega$ توجیه نسبی لایدار و بدنه IMU         | M                               | 1 | Angle                        |
| 5.2 | lidarBoresightPhiError      | خطای $\phi$ توجیه نسبی لایدار و بدنه IMU           | M                               | 1 | Angle                        |
| 5.3 | lidarBoresightKappaError    | خطای $\kappa$ توجیه نسبی لایدار و بدنه IMU         | M                               | 1 | Angle                        |
| 5.4 | lidarInstallationOmegaError | خطای $\omega$ نصب                                  | M                               | 1 | Angle                        |
| 5.5 | lidarInstallationPhiError   | خطای $\phi$ نصب                                    | M                               | 1 | Angle                        |
| 5.6 | lidarInstallationKappaError | خطای $\kappa$ نصب                                  | M                               | 1 | Angle                        |
| 5.7 | lidarLeverArmError          | خطای lever arm                                     | M                               | 1 | DirectPosition               |
| 5.8 | lidarRangingError           | خطای فاصله نسبت به طول اندازه-گیری شده             | M                               | 1 | Length                       |
| 5.9 | lidarScanningError          | خطای اسکن نسبت به زاویه اندازه-گیری شده            | M                               | 1 | Angle                        |
| 6.0 | lidarMisalignmentError      | عدم هم ترازی میان کدگذار زاویه-ای و صفحه اسکن      | M                               | 1 | Angle                        |

| نام/نام نقش        | کد دامنه | تعریف                                |
|--------------------|----------|--------------------------------------|
| 1. CA_CorrFunction | caCoFu   | تابع به کاررفته به منظور سرشکنی نوار |
| 2. 3dAffine        | 001      | تبدیل سه بعدی افاین                  |
| 3. other           | 002      | دیگر روش                             |

## پیوست C

### (اطلاعات)

### دوران‌ها

پیوست C اطلاعات بیشتری در مورد تبدیل‌ها ارائه می‌دهد.

**1.C دوران حول محور  $x_j$  - محور  $(j=1,2,3)$  با زاویه  $\theta$**

$$R_1(\theta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$$

$$R_2(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{pmatrix}$$

$$R_3(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

دوران از چارچوب  $p$  به  $q$  حول محور  $x_i^p$  - محور  $(i=1,2,3)$  با زاویه  $\theta$

$$R_p^q = R_3(\kappa)R_2(\varphi)R_1(\omega)$$

**2.C یک زاویه دوران  $\theta$  حول محور  $n$**

$$n = (n_1, n_2, n_3)^T$$

$$R = \begin{pmatrix} \cos \theta + n_1^2(1 - \cos \theta) & n_1 n_2(1 - \cos \theta) + n_3 \sin \theta & n_1 n_3(1 - \cos \theta) - n_2 \sin \theta \\ n_1 n_2(1 - \cos \theta) - n_3 \sin \theta & \cos \theta + n_2^2(1 - \cos \theta) & n_2 n_3(1 - \cos \theta) + n_1 \sin \theta \\ n_1 n_3(1 - \cos \theta) + n_2 \sin \theta & n_2 n_3(1 - \cos \theta) - n_1 \sin \theta & \cos \theta + n_3^2(1 - \cos \theta) \end{pmatrix}$$

### 3.C چهار پارامتر جبری به عنوان واحد چهارمولفه ای

$$\dot{q} = q_0 + q_1 i + q_2 j + q_3 k = q_0 + q$$

که

$$q_0^2 + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2 = 1$$

یک چند جمله ای با چهار مولفه می تواند به عنوان یک بردار به علاوه یک اسکالر و یا یک عدد مختلط با سه مولفه موهومی در نظر گرفته شود.

$$R = \begin{pmatrix} q_0^2 + q_1^2 - q_2^2 - q_3^2 & 2(q_1 q_2 + q_0 q_3) & 2(q_1 q_3 + q_0 q_2) \\ 2(q_1 q_2 - q_0 q_3) & q_0^2 - q_1^2 + q_2^2 - q_3^2 & 2(q_2 q_3 + q_0 q_1) \\ 2(q_1 q_3 + q_0 q_2) & 2(q_2 q_3 - q_0 q_1) & q_0^2 - q_1^2 - q_2^2 + q_3^2 \end{pmatrix}$$

چهار مولفه واحد

$$\dot{q} = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) + \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)n_1 i + \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)n_2 j + \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)n_3 k$$

- [1] ISO 19115-2:2009, Geographic information — Metadata — Part 2: Extensions for imagery and gridded data
- [2] ISO/TS 19101-2:2008, Geographic information — Reference model — Part 2: Imagery
- [3] ISO/TS 19130-2:2014, Geographic information — Imagery sensor models for geopositioning — Part 2: SAR, InSAR, lidar and sonar
- [4] Heidamann Hans Karl (2012): Lidar base specification version 1.0, U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 11, chapter B4.
- [5] American Society for Photogrammetry & Remote Sensing (2011): LAS SPECIFICATION, Version 1.4-R11, November 14.
- [6] Flood Martin Airborne 1 Corporation, 5777 West Century Blvd. #725, Los Angeles, CA 90045, USA.
- [7] Habib A., & Van Rens J. Quality Assurance and Quality Control of LiDAR Systems and Derived Data. University of Calgary, Canada, 2009
- [8] Kresse W., & Danko D. Handbook of Geographic Information. Springer, 2012
- [9] Naus T. Unbiased LiDAR Data Measurement (Draft). Fugro Horizons, Inc, 2008
- [10] Schuckm and Karen, & Graham Lewis (2008): A New Framework for Accuracy Assessment of Lidar Data and Derived Elevation Models, Pennsylvania State University & GeoCue Corporation.
- [11] Renslow M. S. Manual of airborne topographic lidar. American Society for Photogrammetry Remote Sensing, Bethesda: 2012
- [12] Merchant D.C. Aerial camera in situ metric calibration guidelines, March 25. Ohio State University, Columbus: 2012
- [13] ASTM E2807 11 —Standard Specification for 3D Imaging Data Exchange, Version 1. 0.

- [14] Vosselman G., & Maas H.-G. Airborne and Terrestrial Laser Scanning. CRC Press, Taylor & Francis, 2010
- [15] ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)
- [16] ISO/IEC Guide 99:2007, International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)
- [17] Sampath A., Heidemann H.K., Stensaas G.L., Christopherson J.B. ASPRS Research on quantifying the geometric quality of lidar data. Photogramm. Eng. Remote Sensing. 2014, 80 (3) pp. 201–205