



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

Institute of Standards and Industrial Research of Iran



استاندارد ملی ایران

۱۱۷۰۲-۵

چاپ اول

ISIRI

11702-5

1st.edition

اپتیک و تجهیزات اپتیکی - روش‌های صحرائی
برای آزمون تجهیزات ژئودزی و نقشه برداری -
قسمت پنجم: تاکئومترهای الکترونیکی

**Optics and optical instruments-Field procedures
for testing geodetic and surveying instruments-
Part 5: Electronic tacheometers**

ICS:17.180.30

به نام خدا

آشنایی با موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

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

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

پیش‌نویس استانداردهایی که موسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که براساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که موسسه استاندارد تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

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

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

* موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

- 1- International Organization for Standardization
- 2- International Electrotechnical Commission
- 3- International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metologie Legal)
- 4- Contact point
- 5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد
" اپتیک و تجهیزات اپتیکی - روش های صحرائی برای آزمون تجهیزات
ژئودزی و نقشه برداری - قسمت پنجم: تاکئومترهای الکترونیکی "

رییس: علائی‌وند، علیرضا (لیسانس نقشه برداری)	سمت و / یانمایندگی: مدیر عامل شرکت مهندسین مشاور آمایش و پردازش نقشه
دبیر: مقدم، فاطمه (فوق لیسانس فیزیک)	عضو هیئت علمی پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی
بدراقی، جلیل (دانشجوی دکتری فیزیک)	معاون پژوهشی پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی
اعضاء: (به ترتیب حروف الفبا) پارسافر، ناهید (فوق لیسانس فیزیک)	عضو هیئت علمی پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی
رهبری، محمد (لیسانس عمران - سازه)	مجری طرح و نیروگاه سیمره شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران
صادق آبادی، علیرضا (لیسانس عمران - سازه)	کارشناس نظارت شرکت مهندسین مشاور پارس گستره
عاصمی، شهاب (فوق لیسانس برنامه ریزی شهری، منطقه‌ای)	مدیر پروژه شرکت پیمانکاری آرمه نو
یزدانفر، مجید (فوق لیسانس راه و ساختمان)	رئیس بخش نظارت شرکت مهندسین مشاور پارس گستره

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
و	پیشگفتار
ز	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۲	۴ الزامات
۳	۵ اصول آزمون
۴	۶ روش آزمون ساده
۶	۷ روش آزمون کامل
۱۳	پیوست الف (اطلاعاتی) مثالی از روش آزمون ساده
۱۵	پیوست ب (اطلاعاتی) مثالی از روش آزمون کامل

پیش‌گفتار

استاندارد " اپتیک و تجهیزات اپتیکی - روش‌های صحرائی برای آزمون تجهیزات ژئودزی و نقشه برداری - قسمت پنجم: تاکنومترهای الکترونیکی " که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی تهیه و تدوین شده و در یکصد و سومین اجلاس کمیته ملی استاندارد اندازه‌شناسی، اوزان و مقیاس‌ها مورخ ۸۷/۱۱/۳۰ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی 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 هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبعی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 17123-5:2005, Optics and optical instruments-Field procedures for testing geodetic and surveying instruments-Part 5: Electronic tacheometers

مقدمه

عنوان کلی استاندارد ISO 17123، "اپتیک و تجهیزات اپتیکی - روش‌های صحرائی برای آزمون تجهیزات ژئودزی و نقشه برداری" می‌باشد و شامل قسمت‌های زیر است:

قسمت اول: تئوری؛

قسمت دوم: ترازیاها؛

قسمت سوم: تئودولیت‌ها؛

قسمت چهارم: سنجشگرهای الکترواپتیکی فاصله (تجهیزات EDM)؛

قسمت پنجم: تاکنومترهای الکترونیکی؛

قسمت ششم: لیزرهای چرخشی؛

قسمت هفتم: شاقول اپتیکی.

اپتیک و تجهیزات اپتیکی - روش‌های صحرائی برای آزمون تجهیزات ژئودزی و نقشه برداری - قسمت پنجم: تاکئومترهای الکترونیکی

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد ارائه روش‌های صحرائی برای تعیین و ارزیابی دقت (تکرارپذیری) تاکئومترهای الکترونیکی (توتال استیشن^۱) و تجهیزات جانبی آنها، به‌نگام اندازه‌گیری‌های ساختمانی و نقشه‌برداری می‌باشد. این آزمون‌ها، به منظور بررسی‌های صحرائی و سریع صحت ابزار می‌باشند و الزامات استانداردهای دیگر را هم برآورده می‌نمایند. این روش‌های اجرایی به عنوان آزمونی برای پذیرش یا ارزیابی کارایی دستگاه‌هایی که در طبیعت بیشتر جامعیت دارند، پیشنهاد نمی‌شوند.

این استاندارد را می‌توان به عنوان یکی از اولین گام‌ها در فرآیند ارزیابی عدم اطمینان اندازه‌گیری (به ویژه اندازه‌ده^۲) در نظر گرفت. عدم اطمینان نتیجه یک اندازه‌گیری به تعدادی از عوامل بستگی دارد. این موارد شامل: تکرار مشاهده، تجدید پذیری (تکرار پذیری روزانه مشاهده) و یک برآورد کلی از تمامی منابع خطاهای موجود است، این منابع خطا در راهنمای ISO که عدم قطعیت اندازه‌گیری را بیان می‌کند^۳ شرح داده شده است.

این روش‌های صحرائی، ویژه کاربردها در مکان طبیعی می‌باشند و بدون نیاز به تجهیزات جانبی خاص و با هدف کاهش تأثیرات جوی و اثرات تنظیم ناقص تاکئومترهای الکترونیکی طراحی شده‌اند.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیرحاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد محسوب می‌شود. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است. استفاده از مراجع الزامی زیر برای این استاندارد الزامی است:

2-1 ISO 3534-1:2006, Statistics-Vocabulary and symbols- Part 1:probability and general statistical terms

1-total stations

تاکئومتری است که در آن اندازه‌گیری طول و زاویه همزمان به صورت الکترونیکی انجام می‌شود، اینکار با استفاده از لیزر یا امواج فرا صوت، صورت می‌گیرد و نتایج با نرم افزارهای مرسوم تحلیل می‌شوند.

2-Measurand

3-ISO Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (GUM)

2-2 ISO 4463-1:1989, Measurement method for building-Setting-out and measurement-Part 1: Planning and organization, measuring procedures, acceptance criteria

2-3 ISO 7077:1981, Measuring methods for bulding-General principles and procedures for the verification of dimensional comoliance

2-4 ISO 7078:1985, Building construction-Procedures for setting out, measurement and surveying-Vocabulary and guidance notes

2-5 ISO 9849:2000, Optics and optical instruments- Geodetic and surveying instruments-Vocabulary

2-6 ISO 17123-1:2002, Optics and optical instruments- Field procedures for testing geodetic and surveying instruments-Part1:Theory

2-7 Guide to the expression of uncertainty in measurement(GUM), BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 1993, corrected and reprinted in 1995

2-8 International vocabulary of basic and general terms in metrology(VIM), BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 2nd ed., 1993

۳ اصلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف تعیین شده در ISO 4463-1:1989، ISO3534-1:2006، ISO 7077:1981، ISO 7078:1985، ISO 9849:2000، ISO 17123-1:2002، GUM و VIM به کار می‌روند.

۴ الزامات

پیش از شروع نقشه‌برداری، کاربر دستگاه باید مطمئن شود که دقت تجهیزات اندازه‌گیری مورد استفاده، برای اندازه‌گیری مورد نظر مناسب می‌باشد.

تاکنومتر الکترونیکی و تجهیزات جانبی آن باید در مکان مناسب و شناخته شده نگهداری شود و به صورت دوره‌ای و مطابق روش‌های مشخص شده در دستورالعمل‌های سازنده تنظیم گردند و برای اینکار از سه پایه و منشور پیشنهادی سازنده استفاده شود.

از آنجا که در تاکنومترهای الکترونیکی پیشرفته می‌توان مقادیر خروجی را تنظیم نمود لذا مختصات به عنوان خروجی و مشاهدات در نظر گرفته می‌شوند.

نتایج این آزمون‌ها متأثر از شرایط هواشناسی، بخصوص گرادیان دما می‌باشد. آسمان ابری و سرعت پایین باد، شرایط آب و هوایی مساعدتری است. پارامترهای هواشناسی واقعی باید برای محاسبه تصحیح جوی، اندازه‌گیری شده و به داده‌های خام اضافه شوند. بسته به مکانی که اندازه‌گیری در آن انجام می‌گیرد مقادیر تصحیحات، متفاوت است. این شرایط می‌تواند شامل تغییرات دمای هوا، سرعت باد، پوشش ابری و قابلیت دید باشد. همچنین باید به شرایط واقعی آب و هوا در زمان اندازه‌گیری و نوع سطحی که بالای آن اندازه‌گیری صورت می‌گیرد، توجه شود. شرایط انتخابی برای آزمون‌ها باید با مواردی که بهنگام آزمایش‌ها در واقعیت روی می‌دهد، انطباق داشته باشند (به استانداردهای ISO 7077:1981 و ISO 7078:1985 مراجعه کنید).

آزمون‌هایی که در آزمایشگاه‌ها انجام گرفته نتایجی ارائه می‌کنند که اغلب از تأثیرات جوی متأثر نمی‌شوند، اما هزینه چنین آزمون‌هایی بسیار بالا است، و بنابراین برای بسیاری از کاربران عملی

نمی‌باشند، بعلاوه، آزمون‌های آزمایشگاهی دقتی بسیار بیشتر از دقت آزمون‌ها تحت شرایط صحرائی بدست می‌دهند.

این استاندارد دو روش صحرائی مختلفی را که در بندهای ۶ و ۷ ارائه شده‌اند، تشریح می‌نماید. کاربر باید روشی را انتخاب نماید که به ادوات ویژه پروژه بیشتر مربوط می‌شوند.

۵ اصول آزمون

۱-۵ روش ۱: روش آزمون ساده

روش آزمون ساده تخمینی ارائه می‌دهد از اینکه آیا دقت ابزار تاکنومتر الکترونیکی مورد نظر در محدوده انحراف مجاز مشخص شده طبق ISO 4463-1:1989 می‌باشد یا نه.

روش آزمونی ساده براساس تعداد محدودی از اندازه‌گیری‌ها می‌باشد. این روش بر اندازه‌گیری مختصات x ، y و z در یک میدان آزمونی بدون مقادیر اسمی تکیه دارد. به دلیل اثر انکسار جوی، دقت محورهای x و y برابر دقت محور z نمی‌باشد. بنابراین دقت به طور جداگانه محاسبه می‌شود. بیشترین اختلاف به عنوان شاخص دقت محاسبه می‌شود.

بنابراین یک انحراف معیار معنی‌دار را نمی‌توان بدست آورد. چنانچه برآوردی دقیق‌تر از تاکنومتر الکترونیکی تحت شرایط صحرائی مورد نیاز باشد، توصیه می‌شود روش آزمونی کامل پیچیده‌تری که در بند ۷ آمده است، انتخاب شود.

۲-۵ روش ۲: روش آزمون کامل

روش آزمون کامل باید برای تعیین بهترین اندازه‌گیری دقت یک تاکنومتر الکترونیکی و تجهیزات جانبی آن تحت شرایط صحرائی انتخاب شود.

این روش بر پایه اندازه‌گیری مختصات در یک میدان آزمون بدون مقادیر اسمی است. انحراف معیار تجربی اندازه‌گیری مختصات یک نقطه از روش کمترین مربعات تعیین می‌شود.

زمانیکه تاکنومتر برای سری‌های مختلفی از اندازه‌گیری‌ها استقرار یافت، باید به مرکز به مرکز شدن (سانتراژ) ^۱ دستگاه بر روی نقطه مبنا (نقطه پنج مارک) توجه ویژه‌ای داشت. دقت سانتراژ بر مبنای انحراف معیارهایی که در ادامه آمده‌اند، بیان می‌شوند:

- شاقول وزنه‌ای: ۱ mm تا ۲ mm (در هوای طوفانی، دارای خطا است)؛

- شاقول لیزری یا اپتیکی: $1\text{ mm} \geq$ (سرشکنی ^۲ باید براساس دستورالعمل سازنده کنترل شود)؛

- میله مرکزی: ۱ mm.

بنابراین توصیه می‌شود شاقول مناسب انتخاب و برای روش‌های آزمون به کار رود.

یادآوری- با نشانه‌هایی در فاصله 100m ، خطای سانتراژ تا 2mm می‌تواند تا $4(\frac{1}{3}\text{mgon})$ بر مشاهده اثر داشته باشد. در فواصل کوتاهتر، این اثر بزرگتر است.

روش آزمون کامل که در بند ۷ این استاندارد آمده برای تعیین دقت اندازه‌گیری یک تاکنومتر الکترونیکی خاص، در نظر گرفته شده است. این دقت اندازه‌گیری در اصل، انحراف معیار تجربی مختصات یک اندازه‌گیری واحد با هر دو لمب تلکسوپ می‌باشد:

$$S_{\text{ISO-TACH-XY}}, S_{\text{ISO-TACH-Z}}$$

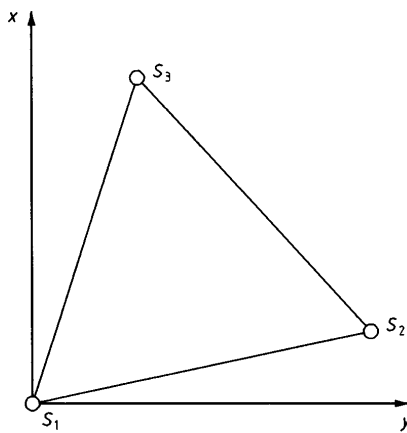
ضمناً، این روش‌ها در موارد زیر مورد استفاده می‌باشند:

- دقت اندازه‌گیری یک دستگاه تاکنومتر الکترونیکی و تجهیزات جانبی آن به وسیله یک گروه نقشه بردار، در زمانی معین؛
 - دقت اندازه‌گیری یک دستگاه بر حسب زمان؛
 - دقت اندازه‌گیری هر یک از انواع تاکنومترهای الکترونیکی به منظور آنکه توانایی مقایسه با دقت‌هایی که تحت شرایط صحرائی مشابه به دست می‌آیند، را داشته باشیم.
- بهتر است برای تعیین اینکه آیا انحراف معیار تجربی به دست آمده s ، به جامعه انحراف معیار نظری تجهیزات σ ، متعلق است، یا دو نمونه مورد آزمون به یک جامعه متعلق هستند، آزمون‌های آماری به کار رود.

۶ روش آزمون ساده

۱-۶ پیکربندی آزمون میدانی

باید سه ایستگاه نقشه برداری، $S_j (j=1, 2, 3)$ در نقاط گوشه یک مثلث ایجاد شوند (به شکل ۱ مراجعه شود). بهتر است طول اضلاع براساس کار مورد نظر انتخاب شود (برای مثال 100m تا 200m). ارتفاع‌های z_j بهتر است تا جایی که سطح زمین اجازه می‌دهد اختلاف داشته باشند.



شکل ۱- پیکربندی میدان آزمون

۱-۱-۶ اندازه‌گیری

پیش از شروع اندازه‌گیری، تجهیزات باید مطابق دستورالعمل سازنده، تنظیم شوند. تمامی مختصات باید در یک روز اندازه‌گیری شوند. دما و فشار هوا باید در هر ایستگاه برای محاسبه تصحیح جوی داده‌های اندازه‌گیری شده، اندازه‌گیری شوند (مقدار صحیح را با ضریب 10^{-6} وارد نمایید). داده‌ها باید با ضریب 10^{-6} برای هر انحراف 1°C در دما و یا برای هر انحراف 3hPa (3mbar) در فشار هوا تصحیح شوند. تصحیح درست z_0 باید بر حسب منشور مورد استفاده به کار رود.

یک سیستم مختصات محلی دلخواه (z, y, x) باید برای تعیین مختصات ایستگاه S_1 (مثلاً ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰) برقرار شود. قرائت - صفر لمب افقی، محور x را تعریف می‌نماید.

از هر ایستگاه S_j ($j=1, 2, 3$) باید مختصات دو نقطه دیگر (نقاط نشانه) در سیستم مختصات محلی اندازه‌گیری شوند. نتایج این اندازه‌گیری‌های در ایستگاه S_1 باید به عنوان مختصات ایستگاه به ترتیب برای S_2 و S_3 برای اندازه‌گیری‌های متوالی به کار برده شود. تنها از یک نقطه (مثلاً S_1) باید برای توجیه (صفر) دستگاه استفاده نمود.

توجیه می‌تواند به صورت همزمان یا محاسباتی انجام شود. ترجیحاً همان روشی استفاده شود که برای فعالیتهای عملی مورد استفاده قرار خواهد گرفت. تمامی مشاهده‌ها باید با یک لمب دستگاه انجام شود.

جدول ۱- یک شمای مشاهده برای اندازه‌گیری‌های صحرائی را قید کرده است.

جدول ۱- شمای مشاهده برای روش آزمونی ساده

مختصات z (شماره متوالی - ایستگاه)	مختصات y (شماره متوالی - ایستگاه)	مختصات x (شماره متوالی - ایستگاه)	نقطه نشانه
(در محاسبات ارتفاع منشور و ابزار را منظور نمایید)			ایستگاه S_1 مختصات: (۳۰۰ و ۲۰۰ و ۱۰۰۰) جهت‌گیری: اختیاری
$z_{2,1}$	$y_{2,1}$	$x_{2,1}$	S_2
$z_{3,1}$	$y_{3,1}$	$x_{3,1}$	S_3
(در محاسبات ارتفاع منشور و ابزار را منظور نمایید)			ایستگاه S_2 مختصات: $(x_{3,1}, y_{2,1}, z_{2,1})$ جهت‌گیری: نقطه S_1 (۳۰۰ و ۲۰۰ و ۱۰۰۰)
$z_{3,2}$	$y_{3,2}$	$x_{3,2}$	S_3
$z_{1,1}$	$y_{1,1}$	$x_{1,1}$	S_1
(در محاسبات ارتفاع منشور و ابزار را منظور نمایید)			ایستگاه S_3 مختصات: $(x_{3,1}, y_{3,1}, z_{3,1})$ جهت‌گیری: نقطه (۳۰۰ و ۲۰۰ و ۱۰۰۰)
$z_{1,2}$	$y_{1,2}$	$x_{1,2}$	S_1
$z_{2,2}$	$y_{2,2}$	$x_{2,2}$	S_2
S_j ایستگاه یا نقطه نشانه j ($j=1, 2, 3$)			
$x_{j,k}$ اندازه‌گیری k -ام ($k=1, 2$) مختصات x نقطه j ($j=1, 2, 3$)			
$y_{j,k}$ اندازه‌گیری k -ام ($k=1, 2$) مختصات y نقطه j ($j=1, 2, 3$)			
$z_{j,k}$ اندازه‌گیری k -ام ($k=1, 2$) مختصات z نقطه j ($j=1, 2, 3$)			

۶-۱-۲ محاسبه

اختلاف مختصات به صورت زیر محاسبه شده است:

$$\begin{aligned}
 d_1 &= x_{1,1} - x_{1,2} \\
 d_2 &= x_{2,1} - x_{2,2} \\
 d_3 &= x_{3,1} - x_{3,2} \\
 d_4 &= y_{1,1} - y_{1,2} \\
 d_5 &= y_{2,1} - y_{2,2} \\
 d_6 &= y_{3,1} - y_{3,2} \\
 d_7 &= z_{1,1} - z_{1,2} \\
 d_8 &= z_{2,1} - z_{2,2} \\
 d_9 &= z_{3,1} - z_{3,2}
 \end{aligned} \tag{1}$$

و میانگین بیشینه اختلافها به این شکل است:

$$d_{x,y} = \frac{1}{3} \max_{i=1, \dots, 6} |d_i| \tag{2}$$

و

$$d_z = \frac{1}{3} \max_{i=7,8,9} |d_i| \tag{3}$$

میانگینهای $d_{x,y}$ و d_z برای اندازه‌گیری مورد نظر به ترتیب باید در محدوده انحرافهای مجاز معین $p_{x,y} \pm$ و $p_z \pm$ (مطابق ISO 4463-1:1989) باشند. چنانچه $p_{x,y} \pm$ و $p_z \pm$ مشخص نباشند، میانگینها به ترتیب $d_{x,y} \leq 2/5 \times s_{ISO-TACH-XY}$ و $d_z \leq 2/5 \times s_{ISO-TACH-Z}$ هستند، که $s_{ISO-TACH-XY}$ و $s_{ISO-TACH-Z}$ به ترتیب انحراف معیارهای تجربی اندازه‌گیری‌های x, y و z می‌باشند و مطابق روش آزمون کامل با همان دستگاه تعیین می‌شوند. چنانچه میانگینهای $d_{x,y}$ و d_z به ترتیب برای اندازه‌گیری مورد نظر بسیار بزرگ باشند، لازم است برای تعیین علت اصلی انحرافها بررسی‌های بیشتری انجام شود.

۷ روش آزمون کامل

۱-۷ پیکربندی آزمون میدانی

در این روش باید از سه عدد سه پایه که دارای ترازبک دقیق هستند ($j=1, 2, 3$) و در نقاط گوشه‌ای یک مثلث مستقر شده‌اند، استفاده نمود (به شکل ۱ مراجعه شود). طول اضلاع بهتر است بر اساس اندازه‌گیری مورد نظر انتخاب شوند (مثلاً ۱۰۰m تا ۲۰۰m). ارتفاع‌های، z_j ، بهتر است تا جایی که سطح زمین اجازه می‌دهد اختلاف داشته باشند.

۲-۷ اندازه‌گیری‌ها

پیش از شروع اندازه‌گیری‌ها، دستگاه‌ها باید مطابق استانداردهای سازنده، تنظیم شوند. همه مختصات باید در یک روز اندازه‌گیری شوند. شاقول مناسب برای اطمینان از سانتراژ به کار رود. سه سری از اندازه‌گیری‌ها (m و $i=1, \dots, m$ ، برای $m=3$) باید انجام شود، در هر اندازه‌گیری دستگاه باید روی یکی از سه پایه‌ها $n=3$ قرار گیرد و بر روی ایستگاه S_j (مجموعه j) در یک حالت ثابت، مثلاً $\dots \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 3$ استقرار یابد. توصیه می‌شود دستگاه همیشه به دقت تراز شود. نباید هیچ روش جهت‌گیری برای تعیین سیستم مختصات دستگاه مانند "ترفیغ یا تقاطع" استفاده شود. بهتر است فشار و دمای هوا اندازه‌گیری شوند و مقادیر به صورت متوالی برای تصحیح اندازه‌گیری‌های فاصله الکترواپتیکی به کار روند تا تضمین نماید تصحیح جوی موثق اعمال شده است. مختصات (x_j, y_j, z_j) برای هر استقرار دستگاه همیشه باید صفر $(0, 0, 0)$ باشد. مختصات منشور روی دو نقطه دیگر، S_k ($k=1, 2, 3$)، مثلث باید با هر دو لمب تلکسوپ اندازه‌گیری شوند:

$$x_{i,j,k,l}, y_{i,j,k,l}, z_{i,j,k,l}, x_{i,j,k,\text{II}}, y_{i,j,k,\text{II}}, z_{i,j,k,\text{II}}; i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3; k = 1, 2, 3$$

برای اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع z بین نقطه مرجع که روی آن سانتراژ شده است، اختلاف δ بین ارتفاع دستگاه و ارتفاع نشانه باید در محاسبه وارد شود. چنانچه مقدار دقیق اختلاف، یک پارامتر ناشناخته سرشکنی باشد (به ۲-۳-۷ مراجعه شود) δ باید در همه اندازه‌گیری‌ها یک مقدار داشته باشد. بنابراین ضروری است همان منشور یا دو منشور از یک نوع استفاده شود. برای محاسبات بدون خطا و ساده، لازم است از توالی اندازه‌گیری داده شده در جدول ۲ تبعیت شود.

جدول ۲- توالی اندازه‌گیری‌ها

k	j	i	نقاط
۲	۱	۳	$S_1 S \rightarrow 2$
۳	۱	۳	$S_1 S \rightarrow 2$
۱	۲	۳	$S_2 S \rightarrow 1$
۳	۲	۳	$S_2 S \rightarrow 1$
۱	۳	۳	$S_3 S \rightarrow 1$
۲	۳	۳	$S_3 S \rightarrow 1$

k	j	i	نقاط
۲	۱	۲	$S_1 S \rightarrow 2$
۳	۱	۲	$S_1 S \rightarrow 2$
۱	۲	۲	$S_2 S \rightarrow 1$
۳	۲	۲	$S_2 S \rightarrow 1$
۱	۳	۲	$S_3 S \rightarrow 1$
۲	۳	۲	$S_3 S \rightarrow 1$

k	j	i	نقاط
۲	۱	۱	$S_1 S \rightarrow 2$
۳	۱	۱	$S_1 S \rightarrow 2$
۱	۲	۱	$S_2 S \rightarrow 1$
۳	۲	۱	$S_2 S \rightarrow 1$
۱	۳	۱	$S_3 S \rightarrow 1$
۲	۳	۱	$S_3 S \rightarrow 1$

مقادیر میانگین قرائت‌ها با هر دو لمب I و II تلکسوپ به صورت شبه-مشاهده‌های زیر ثبت می‌شود:

$$x_{i,j,k} = \frac{1}{2} (x_{i,j,k,I} + x_{i,j,k,II}) \quad (4)$$

$$y_{i,j,k} = \frac{1}{\sqrt{2}} (y_{i,j,k,l} + y_{i,j,k,\text{ll}})$$

$$z_{i,j,k} = \frac{1}{\sqrt{2}} (z_{i,j,k,l} + z_{i,j,k,\text{ll}})$$

$$i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3; k = 1, 2, 3$$

۳-۷ محاسبات

۱-۳-۷ دقت مختصات x, y

برای دستیابی به نتایج قابل مقایسه این سه سری از اندازه‌گیری‌ها، تبدیل هر یک از سری‌ها به یک موقعیت ضروری است، برای مثال مجموعه اول از اولین سری‌ها. از آنجا که نقطه S_1 باید مختصات موقعیت $(0,0)$ را به دست آورد، یک انتقال باید در هر مجموعه انجام گیرد:

$$x'_{i,j,k} = x_{i,j,k} - x_{i,j,1}$$

$$y'_{i,j,k} = y_{i,j,k} - y_{i,j,1}$$

$$i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3; k = 1, 2, 3 \quad (5)$$

برای اولین مجموعه از اندازه‌گیری‌ها ($i=1, j=1$) نیاز به هیچ دورانی نیست. بنابراین، مختصات تبدیل یافته برای دوران دو نقطه گوشه‌ای S_2 و S_3 از مثلث آزمون مستقیماً به صورت مختصات انتقالی مجموعه $j=1$ از سری‌های $i=1$ به دست می‌آید:

$$x''_{1,1,k} = x'_{1,1,k}$$

$$y''_{1,1,k} = y'_{1,1,k}$$

$$k = 2, 3$$

برای هر یک از مجموعه‌های بعدی $j=1, 2, 3$ از سری‌های $i=1, 2, 3$ دوران $\varphi_{i,j}$ به مرکز S_1 ضروری است.

بهترین راه ممکن برای دوران، استفاده از مختصات قطبی است. برای هر نشانه $k=2, 3$ ، مختصات

متعامد به صورت زیر به مختصات قطبی تغییر می‌یابد:

$$t'_{i,j,k} = \arctan \frac{y'_{i,j,k}}{x'_{i,j,k}} \quad (6)$$

$$s_{i,j,k} = \sqrt{x'^2_{i,j,k} + y'^2_{i,j,k}} \quad (7)$$

دوران هر مجموعه j از سری‌های i را می‌توان به صورت مقدار میانگین بیان نمود:

$$t'_{i,j} = \frac{1}{\sqrt{2}} (t'_{i,j,2} + t'_{i,j,3}) \quad (8)$$

بنابراین زاویه دوران به این صورت است:

$$i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3 \quad \varphi_{i,j} = t'_{i,1} - t'_{i,j}; \quad (9)$$

و بنابراین دوران جدید، به شکل زیر است:

$$t_{i,j,k} = t'_{i,j,k} + \varphi_{i,j}; \quad i=1,2,3; \quad j=1,2,3; \quad k=2,3 \quad (10)$$

سپس مختصات تبدیل یافته به این شکل محاسبه می‌شوند:

$$x''_{i,j,k} = s_{i,j,k} \times \cos t_{i,j,k}; \quad i=1,2,3; \quad j=1,2,3; \quad k=2,3 \quad (11)$$

$$y''_{i,j,k} = s_{i,j,k} \times \sin t_{i,j,k}; \quad i=1,2,3; \quad j=1,2,3; \quad k=2,3 \quad (12)$$

مختصات سرشکن شده S_2 و S_3 به این شکل به دست می‌آیند:

$$\bar{x}_k = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 x''_{i,j,k}; \quad k=2,3 \quad (13)$$

$$\bar{y}_k = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 y''_{i,j,k}; \quad k=2,3 \quad (14)$$

با ۳۶ باقیمانده حاصل از سرشکنی:

$$r_{x,i,j,k} = \bar{x}_k - x''_{i,j,k}; \quad i=1,2,3; \quad j=1,2,3; \quad k=2,3 \quad (15)$$

$$r_{y,i,j,k} = \bar{y}_k - y''_{i,j,k}; \quad i=1,2,3; \quad j=1,2,3; \quad k=2,3 \quad (16)$$

مجموع مربعات باقیمانده‌ها را به شکل زیر، می‌توان نوشت:

$$\sum r_{XY}^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=2}^3 (r_{x,i,j,k}^2 + r_{y,i,j,k}^2) \quad (17)$$

از آنجا که ۸ پارامتر دوران و ۴ میانگین مختصات برای گوشه‌های مثلث، نقطه S_2 و نقطه S_3 ، موجود است، تعداد پارامترهای مجهول سرشکنی $u = 8 + 4 = 12$ می‌باشد. بنابراین درجه آزادی برابر است با:

$$V_{XY} = 36 - 12 = 24 \quad (18)$$

انحراف معیار مختصات x یا y یک مشاهده واحد با هر دو لمب تلسکوپ به این شکل است:

$$s_{XY} = \sqrt{\frac{\sum r_{XY}^2}{24}} \quad (19)$$

و در نهایت:

$$S_{ISO-TACH-XY} = s_{XY} \quad (20)$$

۷-۳-۲ دقت مختصات z

از آنجا که مختصات z از S_1 را صفر قرار دادیم، مجهولات سرشکنی، مختصات z_2 و z_3 نقاط S_2 و S_3 ، و اختلاف ارتفاع δ بین ارتفاع دستگاه و ارتفاع نشانه می‌باشند. روش سرشکنی کمترین مربعات در این حالت، معادلات خطی است که با حل معادلات (۲۱) الی (۲۳) بدست می‌آیند. سه پارامتر مجهول سرشکنی ($u = 3$) مختصات S_2 و S_3 به این صورت هستند:

$$z_2 = \frac{1}{18} \begin{bmatrix} 2z_{1,1,2} + z_{1,1,3} - 2z_{1,2,1} - z_{1,2,3} - z_{1,3,1} + z_{1,3,2} \\ + 2z_{2,1,2} + z_{2,1,3} - 2z_{2,2,1} - z_{2,2,3} - z_{2,3,1} + z_{2,3,2} \\ + 2z_{3,1,2} + z_{3,1,3} - 2z_{3,2,1} - z_{3,2,3} - z_{3,3,1} + z_{3,3,2} \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$z_r = \frac{1}{18} \begin{bmatrix} z_{1,1,2} + 2z_{1,1,3} - z_{1,2,1} + z_{1,2,2} - 2z_{1,3,1} - z_{1,3,2} \\ + z_{2,1,2} + 2z_{2,1,3} - z_{2,2,1} + z_{2,2,2} - 2z_{2,3,1} - z_{2,3,2} \\ + z_{3,1,2} + 2z_{3,1,3} - z_{3,2,1} + z_{3,2,2} - 2z_{3,3,1} - z_{3,3,2} \end{bmatrix} \quad (22)$$

و اختلاف δ :

$$\delta = \frac{1}{18} \begin{bmatrix} -z_{1,1,2} - z_{1,1,3} - z_{1,2,1} - z_{1,2,2} - z_{1,3,1} - z_{1,3,2} \\ -z_{2,1,2} - z_{2,1,3} - z_{2,2,1} - z_{2,2,2} - z_{2,3,1} - z_{2,3,2} \\ -z_{3,1,2} - z_{3,1,3} - z_{3,2,1} - z_{3,2,2} - z_{3,3,1} - z_{3,3,2} \end{bmatrix} \quad (23)$$

با این سه پارامتر، ۱۸ باقیمانده، سرشکنی محاسبه شده‌اند:

$$\begin{aligned} r_{1,1,2} &= z_r - \delta - z_{1,1,2} & r_{2,1,2} &= z_r - \delta - z_{2,1,2} & r_{3,1,2} &= z_r - \delta - z_{3,1,2} \\ r_{1,1,3} &= z_r - \delta - z_{1,1,3} & r_{2,1,3} &= z_r - \delta - z_{2,1,3} & r_{3,1,3} &= z_r - \delta - z_{3,1,3} \\ r_{1,2,1} &= -z_r - \delta - z_{1,2,1} & r_{2,2,1} &= -z_r - \delta - z_{2,2,1} & r_{3,2,1} &= -z_r - \delta - z_{3,2,1} \\ r_{1,2,2} &= -z_r + z_r - \delta - z_{1,2,2} & r_{2,2,2} &= -z_r + z_r - \delta - z_{2,2,2} & r_{3,2,2} &= -z_r + z_r - \delta - z_{3,2,2} \\ r_{1,3,1} &= -z_r - \delta - z_{1,3,1} & r_{2,3,1} &= -z_r - \delta - z_{2,3,1} & r_{3,3,1} &= -z_r - \delta - z_{3,3,1} \\ r_{1,3,2} &= z_r - z_r - \delta - z_{1,3,2} & r_{2,3,2} &= z_r - z_r - \delta - z_{2,3,2} & r_{3,3,2} &= z_r - z_r - \delta - z_{3,3,2} \end{aligned} \quad (24)$$

مجموع مربع‌های باقیمانده‌ها به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\sum r_z^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^r r_{i,j,k}^2 \quad (25)$$

درجه آزادی برابر است با:

$$v_z = 18 - 3 = 15 \quad (26)$$

نهایتاً، انحراف معیار مختصات z یک مشاهده واحد با هر دو لمب تلسکوپ، به این شکل است:

$$s_{ISO-TACH-Z} = \sqrt{\frac{\sum r_z^2}{15}} \quad (27)$$

۴-۷ آزمون‌های آماری

۱-۴-۷ کلیات

آزمون‌های آماری تنها در روش آزمون کامل کاربرد دارند.

برای تفسیر نتایج، آزمون‌های آماری باید با استفاده از انحراف معیار تجربی یک مختصات

اندازه‌گیری شده روی مثلث آزمون انجام گیرد تا به سؤالات زیر پاسخ داده شود (به جدول ۳

مراجعه شود):

۷-۴-۳ پاسخ پرسش ب)

در مورد دو نمونه متفاوت، یک آزمون نشان می‌دهد که آیا انحراف معیارهای تجربی s و \tilde{s} ، به یک جامعه متعلق هستند یا نه. متناظر فرضیه اولیه، $\sigma = \tilde{\sigma}$ ، مورد قبول است مشروط به اینکه شرایط زیر تأمین شوند:

برای x و y	برای z	
$\frac{1}{F_{1-\alpha/2}(v_{XY}, v_{XY})} \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq F_{1-\alpha/2}(v_{XY}, v_{XY})$	$\frac{1}{F_{1-\alpha/2}(v_Z, v_Z)} \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq F_{1-\alpha/2}(v_Z, v_Z)$	(۳۳)
$\frac{1}{F_{./975}(24, 24)} \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq F_{./975}(24, 24)$	$\frac{1}{F_{./975}(15, 15)} \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq F_{./975}(15, 15)$	(۳۴)
$F_{./975}(24, 24) = 2/27$	$F_{./975}(15, 15) = 2/86$	(۳۵)
$0.44 \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq 2/27$	$0.35 \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq 2/86$	(۳۶)

که:

F ، توزیع فیشر می‌باشد.

در غیر اینصورت، فرضیه اولیه رد می‌شود.

اگر تعداد متفاوتی از اندازه‌گیری‌ها آنالیز شود، درجه آزادی و بنابراین مقادیر متناظر آزمون $t_{1-\alpha/2}(v)$ ، $F_{1-\alpha/2}(v, v)$ ، $\chi^2_{1-\alpha}(v)$ (برگرفته از کتاب‌های مرجع آمار) تغییر می‌کند.

پیوست الف
(اطلاعاتی)
مثالی از روش آزمون ساده

الف- ۱ اندازه‌گیری‌ها

در جدول الف-۱ همه اندازه‌گیری‌ها مطابق شمای مشاهده در جدول ۱، گردآوری شده.

جدول الف-۱ اندازه‌گیری‌ها

۵ مختصات z m	۴ مختصات y m	۳ مختصات x m	۲ نقطه نشانه	۱ ایستگاه
۳۰۰/۰۰۰	۲/۰۰۰/۰۰۰	۱/۰۰۰/۰۰۰		S _۱
۳۰۲/۲۲۷	۲/۰۸۲/۹۵۹	۹۸۴/۰۷۶	S _۲	
۲۸۶/۷۹۴	۲/۰۱۵/۵۵۷	۸۸۳/۴۷۸	S _۳	
۳۰۲/۲۲۷	۲/۰۸۲/۹۵۹	۹۸۴/۰۷۶		S _۲
۲۸۶/۷۹۵	۲/۰۱۵/۵۴۹	۸۸۳/۴۸۰	S _۳	
۳۰۰/۰۰۲	۱/۹۹۹/۹۹۹	۱/۰۰۰/۰۰۰	S _۱	
۲۸۶/۷۹۴	۲/۰۱۵/۵۵۷	۸۸۳/۴۷۸		S _۳
۳۰۰/۰۰۲	۲/۰۰۰/۰۰۰	۱/۰۰۰/۰۰۰	S _۱	
۳۰۲/۲۲۸	۲/۰۸۲/۹۵۵	۹۸۴/۰۸۲	S _۲	

شرایط اندازه‌گیری:

عامل: S.Miller

هوا: نیمه ابری: (۵/۸)

دما: +۱۸ °C

فشار هوا: ۹۹۵ hPa

شماره و نوع ابزار: NNxxx ۶۳۰۴۰۱

تاریخ: ۲۰۰۱/۰۳/۱۵

الف-۲ محاسبه

مطابق معادله ۱، اختلاف مختصات به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$d_1 = 0/000$$

$$d_2 = -0/006$$

$$d_3 = -0/002$$

$$d_4 = -0/001$$

$$d_5 = 0/004$$

$$d_6 = 0/008$$

$$d_7 = 0/000$$

$$d_8 = -0/001$$

$$d_9 = -0/001$$

و طبق معادله (۲)، میانگین بیشینه اختلاف‌ها به صورت زیر است:

$$d_{x,y} = 0/004$$

و طبق معادله (۳)، می‌توان نوشت:

$$d_z = 0/0005$$

پیوست ب
(اطلاعاتی)
مثالی از روش آزمون کامل

ب-۱ اندازه‌گیری‌های مختصات x و y
جدول ب-۱ در ستون‌های ۲ و ۳ اندازه‌گیری مختصات x و y را، در بردارد.

جدول ب-۱- اندازه‌گیری‌ها و باقیمانده‌های زوایای افقی

۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱			
r_y	$t'_{1/1}$	y''	x''	s	t	t'	y'	x'	y	x	k	j	i	
m	m	m	m	m	rad	rad	m	m	m	m				
							۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱	۱	۱	
۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۱۴	۶۳/۹۹۴۰	-۰/۰۰۷۰			۱/۵۷۰/۹۰۶	۶۳/۹۹۴	-۰/۰۰۷	۶۳/۹۹۴	-۰/۰۰۷			۲	
۰/۰۰۰۲	-۰/۰۰۲۳	۳۱/۹۹۹۰	۵۵/۰۰۳۰			۰/۵۲۶/۹۰۶	۳۱/۹۹۹	۵۵/۰۰۳	۳۱/۹۹۹	۵۵/۰۰۳			۳	
							$t'_{1,3}=۱/۰۴۸/۹۰۶$							
							۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۵۶/۱۵۷	۳۰/۶۸۹	۱	۲	۱	
۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۱۷	۶۳/۹۹۵۵	-۰/۰۰۷۳	۶۳/۹۹۵۵	۱/۵۷۰/۹۱۱	۲/۰۷۰/۹۳۷	۵۶/۱۵۷	-۳۰/۶۸۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰			۲	
۰/۰۰۱۹	-۰/۰۰۰۱	۳۱/۹۹۷۴	۵۵/۰۰۰۸	۶۳/۶۳۱۲	۰/۵۲۶/۹۰۱	۱/۰۲۶/۹۲۷	۵۴/۴۵۰	۳۲/۹۲۶	-۱/۷۰۷	۶۳/۶۱۵			۳	
				$\phi_{1,3}=۱/۵۰۰/۰۲۶$		$t'_{1,3}=۱/۵۴۸/۹۳۲$								
							۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۶۳/۵۷۰	-۲/۷۹۱	۱	۳	۱	
-۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۲۹	۶۳/۹۹۹۹	-۰/۰۰۸۶	۶۳/۹۹۹۹	۱/۵۷۰/۹۳۰	۲/۵۷۰/۹۶۹	۳۴/۵۷۰	-۵۳/۸۶۰	-۲۹/۰۰۰	-۵۶/۶۵۱			۲	
۰/۰۰۲۹	-۰/۰۰۰۸	۳۱/۹۹۶۳	۵۵/۰۰۱۵	۶۳/۶۳۱۲	۰/۵۲۶/۸۸۲	۱/۵۲۶/۹۲۰	۶۳/۵۷۰	۲/۷۹۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰			۳	
				$\phi_{1,3}=-۱/۰۰۰/۰۳۹$		$t'_{1,3}=۲/۰۴۸/۹۴۴$								
							۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱	۱	۲	
۰/۰۰۶۱	۰/۰۰۱۶	۶۳/۹۹۳۵	-۰/۰۰۷۲	۶۳/۹۹۳۵	۱/۵۷۰/۹۰۹	۱/۸۷۰/۹۲۱	۶۱/۱۳۳	-۱۸/۹۱۹	۶۱/۱۳۳	-۱۸/۹۱۹			۲	
۰/۰۰۱۶	-۰/۰۰۰۴	۳۱/۹۹۷۷	۵۵/۰۰۱۱	۶۳/۶۳۱۵	۰/۵۲۶/۹۰۳	۰/۸۲۶/۹۱۵	۴۶/۸۲۳	۴۳/۰۸۸	۴۶/۸۲۳	۴۳/۰۸۸			۳	
				$\phi_{1,3}=۰/۱۳۰/۰۱۲$		$t'_{1,3}=۱/۳۴۸/۹۱۸$								
							۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۴/۵۱۹	۶۳/۸۴۶	۱	۲	۲	
-۰/۰۰۶۱	۰/۰۰۱۴	۶۴/۰۰۵۷	-۰/۰۰۷۰	۶۴/۰۰۵۷	۱/۵۷۰/۹۰۶	۳/۰۷۰/۹۳۱	۴/۵۱۹	-۶۳/۸۴۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰			۲	
۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۰۶	۳۱/۹۹۷۳	۵۵/۰۰۰۱	۶۳/۶۳۰۵	۰/۵۲۶/۹۰۶	۲/۰۲۶/۹۳۱	۵۷/۱۲۵	-۲۸/۰۲۸	۵۲/۶۰۶	۳۵/۸۰۸			۳	
				$\phi_{1,3}=-۱/۵۰۰/۰۲۵$		$t'_{1,3}=۲/۵۴۸/۹۳۱$								
							۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۲۸/۹۹۲	-۵۶/۶۴۵	۱	۳	۲	
۰/۰۰۷۲	-۰/۰۰۳۴	۶۳/۹۹۲۵	-۰/۰۰۲۲	۶۳/۹۹۲۵	۱/۵۷۰/۸۳۰	۰/۵۷۰/۷۹۱	۳۴/۵۷۵	۵۳/۸۴۸	۶۳/۵۶۷	-۲/۷۹۷			۲	
-۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۰۶	۳۲/۰۰۲۸	۵۵/۰۰۰۱	۶۳/۶۳۳۳	۰/۵۲۶/۹۸۱	-۰/۴۷۳/۰۵۸	-۲۸/۹۹۲	۵۶/۶۴۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰			۳	
				$\phi_{1,3}=۱/۰۰۰/۰۳۹$		$t'_{1,3}=۰/۰۴۸/۸۶۶$								
							۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱	۱	۳	
-۰/۰۰۶۷	-۰/۰۰۵۳	۶۴/۰۰۶۳	-۰/۰۰۰۳	۶۴/۰۰۶۳	۱/۵۷۰/۸۰۱	۴/۵۷۰/۷۱۱	-۶۳/۳۶۵	-۹/۰۳۸	-۶۳/۳۶۵	-۹/۰۳۸			۲	
-۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۴۷	۳۲/۰۰۲۶	۵۴/۹۹۶۰	۶/۶۲۹۶	۰/۵۲۷/۰۱۱	۳/۵۲۶/۹۲۰	-۲۳/۹۱۶	-۵۸/۹۶۴	-۲۳/۹۱۶	-۵۸/۹۶۴			۳	
				$\phi_{1,3}=-۲/۹۹۹/۹۱۰$		$t'_{1,3}=۴/۰۴۸/۸۱۵$								
							۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۲۶/۶۳۸	۵۸/۲۰۱	۱	۲	۳	
-۰/۰۰۷۷	-۰/۰۰۱۳	۶۴/۰۰۷۳	-۰/۰۰۴۳	۶۴/۰۰۷۳	۱/۵۷۰/۸۶۳	۳/۵۷۰/۸۲۳	-۲۶/۶۳۸	-۵۸/۲۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰			۲	
-۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۱	۳۲/۰۰۰۷	۵۵/۰۰۰۶	۶۳/۶۳۲۶	۰/۵۲۶/۹۴۸	۲/۵۲۶/۹۰۸	۳۶/۶۹۷	-۵۱/۹۸۵	۶۳/۳۳۵	۶/۲۱۶			۳	

				$\varphi_{r_{32}} = -1/999/960$		$t'_{r_{32}} = 3/048/865$								
								۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۶۳/۵۷۳	-۲/۷۹۱	۱	۳	۳
-۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۱۲	۶۴/۰۰۲۰	-۰/۰۰۰۶۸	۶۴/۰۰۲۰	۱/۵۷۰/۹۰۳	۲/۵۷۰/۹۱۶	۳۴/۵۷۴	-۵۳/۸۶۰	-۲۸/۹۹۹	-۵۶/۶۵۱		۲		
-۰/۰۰۰۰۱	-۰/۰۰۰۲۵	۳۱/۹۹۹۴	۵۵/۰۰۳۲	۶۳/۶۳۴۲	۰/۵۲۶/۹۰۹	۱/۵۲۶/۹۲۲	۶۳/۵۷۳	۲/۷۹۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		۳		
				$\varphi_{r_{32}} = -1/000/013$		$t'_{r_{32}} = 2/048/919$								
										\bar{x}''	\bar{y}''			
										-۰/۰۰۰۵۶	۶۳/۹۹۹۶			
										۵۵/۰۰۰۷	۳۱/۹۹۹۲			
$\sum r_{XY}^2 =$												$4/259 \times 10^{-4} m^2$		
$S_{ISO-TACH-XY} =$												$0/0042 M$		
$v_{XY} =$												24		
شرایط اندازه‌گیری:														
S.Miller												عامل:		
آفتابی												هوا:		
+۱۲°C												دمای هوا:		
۹۷۶ hPa												فشار هوا:		
NNxxx۳۰۴۰۱												شماره و نوع هوا:		
۲۰۰۱/۰۳/۱۲												تاریخ:		

ب-۲ محاسبه

مطابق معادله (۶) زوایای جهت‌گیری $t'_{i,j,k}$ برای هر راستا محاسبه شده و در ستون ۶ قرار داده می‌شود (در مثال برحسب رادیان داده شده). فواصل، $s_{i,j,k}$ با استفاده از معادله (۷) محاسبه شده و در ستون ۸ قرار داده می‌شود. معادله (۸) زاویه جهت‌گیری $t'_{i,j}$ را برای هر سری می‌دهد. با زاویه دوران $\varphi_{i,j,k}$ براساس معادله (۹) جهت‌گیری جدید $t_{i,j,k}$ در ستون ۷ درج می‌شود. با $t_{i,j,k}$ و $s_{i,j,k}$ مختصات تغییر یافته $x'_{i,j,k}$ و $y'_{i,j,k}$ مطابق معادلات (۱۱) و (۱۲) محاسبه شده و در ستون‌های ۹ و ۱۰ درج شده‌اند. معادلات (۱۳) و (۱۴) مختصات سرشکن شده x'' و y'' از s_3 و s_2 را می‌دهد (در انتهای ستون‌های ۹ و ۱۰ فهرست شده‌اند). سپس باقیمانده‌ها برحسب معادلات (۱۵) و (۱۶) محاسبه می‌شوند (ستون‌های ۱۱ و ۱۲). بالاخره، معادله (۱۷) این نتیجه را می‌دهد:

$$\sum r_{XY}^2 = 4/259 \times 10^{-4} m^2$$

و با معادلات (۱۹) و (۲۰)

$$S_{ISO-TACH-XY} = 0/0042 m$$

انحراف معیار تجربی یک مختصات اندازه‌گیری واحد با هر دو لمب تلسکوپ به دست می‌آید.

ب-۳ اندازه‌گیری مختصات z

جدول ب-۲ مختصات z را در ستون ۴ آورده است.

جدول ب-۲- اندازه‌گیری‌ها و باقیمانده‌های زوایای عمودی

۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
$r_{i,j,k}$ m	۰/۰۴۹۸m	۵/۷۱۲۸m	۲/۶۶۳۲m	δ	z_7	z_5	$z_{i,j,k}$ m	k	j	i
-۰/۰۰۱۰	-۱	۰	۱	-۱	۱	۲	۲/۶۱۵	۲	۱	۱
۰/۰۰۵۶	-۱	۱	۰	-۱	۲	۱	۵/۶۵۸	۳	۱	
۰/۰۰۱۶	-۱	۰	-۱	-۱	-۱	-۲	-۲/۷۱۴	۱	۲	۱
-۰/۰۰۳۶	-۱	۱	-۱	-۱	۱	-۱	۳/۰۰۴	۳	۲	
۰/۰۰۵۰	-۱	-۱	۰	-۱	-۲	-۱	-۵/۷۶۷	۱	۳	۱
-۰/۰۰۱۸	-۱	-۱	۱	-۱	-۱	۱	-۳/۰۹۷	۲	۳	
-۰/۰۰۲۰	-۱	۰	۱	-۱	۱	۲	۲/۶۱۶	۲	۱	۲
۰/۰۰۶۸	-۱	۱	۰	-۱	۲	۱	۵/۶۵۷	۳	۱	
-۰/۰۰۰۴	-۱	۰	-۱	-۱	-۱	-۲	-۲/۷۱۲	۱	۲	۲
-۰/۰۰۳۶	-۱	۱	-۱	-۱	۱	-۱	۳/۰۰۴	۳	۲	
۰/۰۰۱۰	-۱	-۱	۰	-۱	-۲	-۱	-۳/۷۶۳	۱	۳	۲
-۰/۰۰۴۸	-۱	-۱	۱	-۱	-۱	۱	-۳/۰۹۴	۲	۳	
-۰/۰۰۴۰	-۱	۰	۱	-۱	۱	۲	۲/۶۱۸	۲	۱	۳
۰/۰۰۲۶	-۱	۱	۰	-۱	۲	۱	۵/۶۶۱	۳	۱	
-۰/۰۰۱۴	-۱	۰	-۱	-۱	-۱	-۲	-۲/۷۱۱	۱	۲	۳
-۰/۰۰۴۶	-۱	۱	-۱	-۱	۱	-۱	۳/۰۰۵	۳	۲	
۰/۰۰۲۰	-۱	-۱	۰	-۱	-۲	-۱	-۵/۷۶۴	۱	۳	۳
۰/۰۰۲۲	-۱	-۱	۱	-۱	-۱	۱	-۳/۱۰۱	۲	۳	
<p>پارامترهای مجهول: $\sum r_z^2 = ۲/۱۵۶ \times ۱۰^{-۴} m^2$ ۲/۶۶۳۲m ۵/۷۱۲۸m ۰/۰۴۹۲m</p> <p>$s_{ISO-TACH-Z} = ۰/۰۰۳۸ m$</p> <p>$v_z = ۱۵$</p>										
<p>شرایط اندازه‌گیری</p> <p>عامل: S.Miller</p> <p>هوا: آفتابی</p> <p>دما: $+۱۲^\circ C$</p> <p>فشار هوا: ۹۷۶hPa</p> <p>شماره و نوع ابزار: NNxxx ۶۳۰۴۰۱</p> <p>تاریخ: ۲۰۰۱/۰۳/۱۲</p>										

ب-۴ محاسبه

برای محاسبه ساده و بدون خطای این سه پارامتر مجهول، طبق معادلات (۲۱) تا (۲۳)، ضرایب $z_{i,j,k}$ در ستون‌های ۵ تا ۷ فهرست شده‌اند. فقط لازم است حاصلضرب اعداد ستون ۴ به ترتیب در ستون‌های ۵ یا ۶ یا ۷، با یکدیگر جمع شوند، مثلاً برای z_7 محاسبه به صورت مجموع مقادیر ستون ۴ ضربدر مقادیر ستون ۶ می‌باشد، یعنی:

$$z_p = \frac{1}{18} [2/615 \times 1 + 5/658 \times 2 - 2/714 \times (-1) + 0 \dots - 3/101 \times (-1)] m = 5/7128 m$$

برای محاسبه آسان باقیمانده‌ها، طبق معادله (۲۴) مقادیر پارامترهای مجهول در ستون‌های ۸ تا ۱۰ در ردیف اول جدول تکرار شده‌اند و در ردیف‌های بعدی ضرایب این پارامترهای مجهول فهرست شده‌اند. بنابراین محاسبه مثلاً برای $r_{1,3,2}$ به اینصورت است:

$$r_{1,3,2} = 1 \times 2/6632 - 1 \times 5/7128 - 1 \times 0/0492 - (-3/097) m = -0/018 m$$

با معادله (۲۵) مجموع r_z^2 به این شکل محاسبه می‌شود:

$$\sum r_z^2 = 2/156 \times 10^{-4} m^2$$

و در نهایت با استفاده از معادله (۲۷):

$$s_{ISO-TACH-Z} = 0/038 m$$

ب-۵ آزمون‌های آماری

ب-۵-۱ آزمون آماری مطابق پرسش الف):

آزمون برای x و y :

$$\sigma = 5/0 \text{ mm}$$

$$s_{ISO-TACH-XY} = 4/2 \text{ mm}$$

$$v_{XY} = 24$$

$$4/2 \text{ mm} \leq 5/0 \text{ mm} \times 1/23$$

$$4/2 \text{ mm} \leq 6/2 \text{ mm}$$

از آنجا که شرایط بالا برقرار می‌شوند، فرضیه اولیه که بیان می‌کند انحراف معیار تجربی از آنجا که شرایط بالا برقرار می‌شوند، فرضیه اولیه که بیان می‌کند انحراف معیار تجربی $s_{ISO-TACH-XY} = 4/2 \text{ mm}$ کوچکتر یا برابر مقدار مورد نظر سازنده $\sigma = 5/0 \text{ mm}$ است، با سطح اطمینان ۹۵٪ پذیرفته می‌شود.

آزمون برای z :

$$\sigma = 5/0 \text{ mm}$$

$$s_{ISO-TACH-Z} = 3/8 \text{ mm}$$

$$v_Z = 15$$

$$3/8 \text{ mm} \leq 5/0 \text{ mm} \times 1/29$$

$$3/8 \text{ mm} \leq 6/45 \text{ mm}$$

از آنجا که شرایط بالا برقرار می‌شوند، فرضیه اولیه که بیان می‌کند انحراف معیار تجربی از آنجا که شرایط بالا برقرار می‌شوند، فرضیه اولیه که بیان می‌کند انحراف معیار تجربی $s_{ISO-TACH-Z} = 3/8 \text{ mm}$ کوچکتر یا برابر مقدار مورد نظر سازنده $\sigma = 5/0 \text{ mm}$ است، با سطح اطمینان ۹۵٪ پذیرفته می‌شود.

ب-۵-۲ آزمون آماری مطابق پرسش ب):

آزمون برای x و y :

$$s = 4/2 \text{ mm}$$

$$\bar{s} = 4/8 \text{ mm}$$

$$v_{XY} = 24$$

$$.044 \leq \frac{17/64 \text{ mm}^2}{23/0.4 \text{ mm}^2} \leq 2/27$$

$$.044 \leq .077 \leq 2/2$$

از آنجا که شرایط بالا برقرار می شود، فرضیه اولیه که بیان می کند انحراف معیارهای تجربی $s=4/2 \text{ mm}$ و $\bar{s}=4/8 \text{ mm}$ به یک جامعه متعلقند، با سطح اطمینان ۹۵٪ پذیرفته می شوند.

آزمون برای z :

$$s = 3/8 \text{ mm}$$

$$\bar{s} = 5/2 \text{ mm}$$

$$v_z = 15$$

$$.044 \leq \frac{14/44 \text{ mm}^2}{27/0.4 \text{ mm}^2} \leq 2/86$$

$$.035 \leq .053 \leq 2/86$$

از آنجا که شرایط بالا برقرار می شود، فرضیه اولیه که بیان می کند انحراف معیارهای تجربی $s=3/8 \text{ mm}$ و $\bar{s}=5/2 \text{ mm}$ به یک جامعه متعلق هستند، با سطح اطمینان ۹۵٪ پذیرفته می شوند.