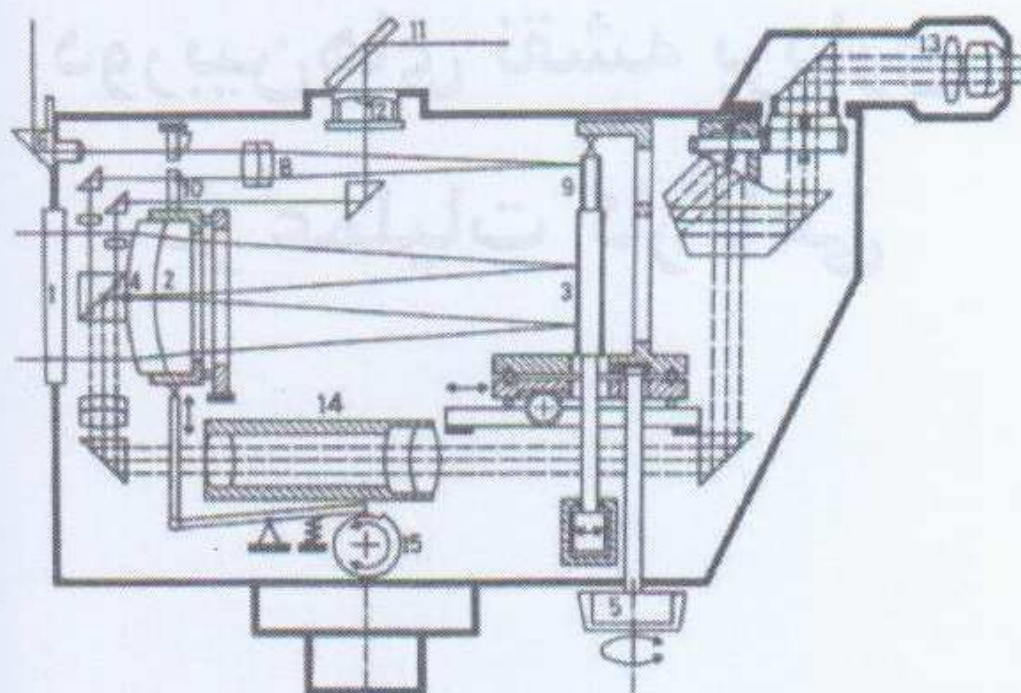


In this chapter we discuss instrument adjustment and repair. The term adjustment means bringing the various fixed parts of an instrument into proper relationship with one another. The accuracy and quality of your surveys will depend upon how well you take care of your surveying equipment. The ability to make these adjustments is an important qualification of any surveyor. To make proper adjustments, the surveyor should have the following knowledge:

1. They must be familiar with the principles upon which the adjustments are based.
2. They must know the methods or tests used to determine if an instrument is out of adjustment.
3. They must know the procedure for making adjustments and the correct sequence by which adjustments must be made.
4. They must be able to tell what effect the adjustment of one part will have on other parts of the instrument.
5. They must understand the effect of each adjustment upon the instrument when it is actually used for measurement.



در این فصل به کنترل و تنظیم دائمی دستگاه‌های نقشه‌برداری می‌پردازیم. مهمترین اهدافی که از ارائه این فصل دنبال می‌شود، عبارتند از:

۱. آشنایی با اجزاء و ساختار دوربین‌های نقشه برداری
۲. آشنایی با اصول و روش‌های تنظیمات دائمی دوربین‌های نقشه‌برداری
۳. آشنایی با روش‌های مشاهداتی مختلف جهت انجام تنظیمات دائمی دوربین‌ها
۴. آشنایی با تنظیم دوربین‌های نقشه برداری در عمل و رفع عیوب آن‌ها
۵. تأثیر خطاهای سیستماتیک دوربین‌های نقشه‌برداری بر روی اندازه‌گیری‌ها

۱-۵ مقدمه

در هر عملیات پیاده کردن طرح عمرانی به صورت سه بعدی، بایستی مهندسین نقشه بردار به تمامی روش‌های تعیین موقعیت مسطحاتی و ارتفاعی و انتقال کد، همچنین با روش‌های مختلف پیاده کردن آشنایی کامل داشته باشد. در صورت وجود خطاهای سیستماتیک در دستگاه‌های نقشه‌برداری، هر چقدر هم مهندسین نقشه بردار روش دقیقی را بکار ببرند، به نتیجه مطلوب نخواهند رسید. بنابراین یکی از وظایف مهم مهندسین نقشه برداری، کنترل کردن کلیه وسایل نقشه برداری مورد نیاز، قبل از شروع به کار و نیز حداقل هر ماه یکبار می باشد. لذا باید به روش تنظیمات دائمی جزئی و کلی دوربین‌های نقشه برداری آشنایی داشت تا بتوان در صورت لزوم آن‌ها را تنظیم نمود و تمیز نگه داشت. لذا هدف از این فصل، بررسی کنترل و تنظیم دستگاه‌های نقشه‌برداری قبل از انجام مشاهدات هر پروژه می‌باشد. مهمترین اهدافی که از ارائه این فصل دنبال می‌شود، عبارتند از:

- آشنایی با اجزاء و ساختار دوربین‌های نقشه برداری
- بررسی و کنترل خطاهای سیستماتیک دوربین‌های نقشه برداری
- تنظیم دوربین‌های نقشه برداری و رفع عیوب آنها

کنترل و تنظیم دستگاه‌ها به دو صورت انجام می‌گیرد:

تنظیمات موقتی: هدف از تنظیمات موقتی قراردادن دستگاه (تئودولیت، توتال استیشن و ترازباب) در شرایط فیزیکی لازم بر روی یک ایستگاه می باشد. یعنی استقرار^۱ (سانتراژ کردن و تراز کردن) صحیح دستگاه در یک ایستگاه نقشه برداری است. این نوع تنظیم برای هر بار استقرار روی ایستگاه لازم است. برای این تنظیم از پیچ‌های تراپاک و سه پایه که به سهولت قابل دسترس هستند، استفاده می‌شود. ابتدا شاقول اپتیکی و تراز کروی توأم تنظیم شده و در نهایت تراز استوانه‌ای تنظیم می‌شود.

تنظیمات دائمی: هدف از تنظیمات دائمی قراردادن دستگاه (تئودولیت، توتال استیشن و ترازباب) در شرایط هندسی لازم برای یک اندازه‌گیری صحیح و دقیق می باشد. یعنی استقرار صحیح اجزاء دستگاه در محل خود می باشد. این نوع تنظیم قبل از اندازه‌گیری با دستگاه در هر پروژه و در دوره‌های زمانی منظم ماهیانه و فصلی لازم است. برای این تنظیم از پیچ‌های مخصوصی استفاده می‌شود که به سهولت قابل دسترس نبوده و نیاز به آچار مخصوص دارند (در غیر این صورت، ممکن است باعث به هم خوردن تنظیمات شوند). تنظیمات دائمی بصورت جزئی و کلی هستند. در

^۱ - Setting up

این نوع تنظیم، مراحل برعکس تنظیم موقتی بوده و ابتدا تراز استوانه‌ای و سپس تراز کروی و شاغول اپتیکی تنظیم می‌شوند.

۲-۵ آشنایی با اجزاء دوربین‌های نقشه‌برداری

به هر وسیله نقشه‌برداری که مجهز به تلسکوپ بوده و بتواند یکی از پارامترهای لازم را اندازه‌گیری کند، دوربین نقشه‌برداری می‌گویند. تلسکوپ یکی از اجزاء مهم دوربین است که حداقل شامل دو عدسی شیئی و چشمی است. وظیفه تلسکوپ ایجاد بزرگنمایی لازم برای نشانه روی صحیح بر نقاط قراولروی است. علاوه بر تلسکوپ و اجزاء داخلی آن، دیگر قسمت‌های دوربین نقشه‌برداری شامل انواع ترازها، پیچ‌های تراز کننده و تنظیم کننده، سیستم سانتراژ، سیستم نشانه روی، سیستم اندازه‌گیری و قرائت و ... می‌باشند.

۵-۲-۱ تراز استوانه‌ای (تراز لوله‌ای)

این تراز یک لوله شیشه‌ای با یک انحنای مشخص می‌باشد. شکل هندسی این ترازها را که همچون تیوپ شیشه‌ای است، اصطلاحاً تور^۱ می‌نامند. درون آن را از مایعات با سیالیت بالا نظیر الکل یا سولفورو کربن پر کرده و یک قسمت کوچکی از آن را با استفاده از گازهای سبک مثل گاز نئون یا آرگون برای قرار گرفتن در بالای مایع، خالی می‌گذارند که به آن حباب^۲ تراز می‌گویند. این ترازها معمولاً دارای یک محفظه نگه دارنده نیز هستند (شکل ۵-۱).

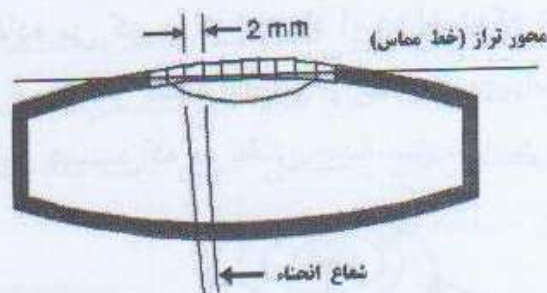


شکل (۵-۱) : نمایش تراز استوانه‌ای همراه با حباب آن

تور جسمی است مانند لاستیک اتومبیل که از چرخش کامل دایره‌ای حول یک محور واقع در صفحه‌اش، که از مرکز خود دایره عبور نکند، بوجود می‌آید. بنابراین در قسمت داخلی لوله در امتداد طولی آن، دارای انحنای می‌باشد. اگر خطی در امتداد طولی از جدار داخلی لوله تراز عبور دهیم، این خط قوسی از دایره خواهد بود. حساسیت تراز بستگی به شعاع انحناء این قوس دایره دارد. معمولاً تراز استوانه‌ای را از قسمت وسط در دو جهت درجه بندی می‌کنند و هر قسمت درجه بندی را یک پالس گویند. اندازه فاصله تقسیمات درجه بندی (پالس) در اغلب دوربین‌ها دو میلی‌متر می‌باشد.

^۱ - Tour

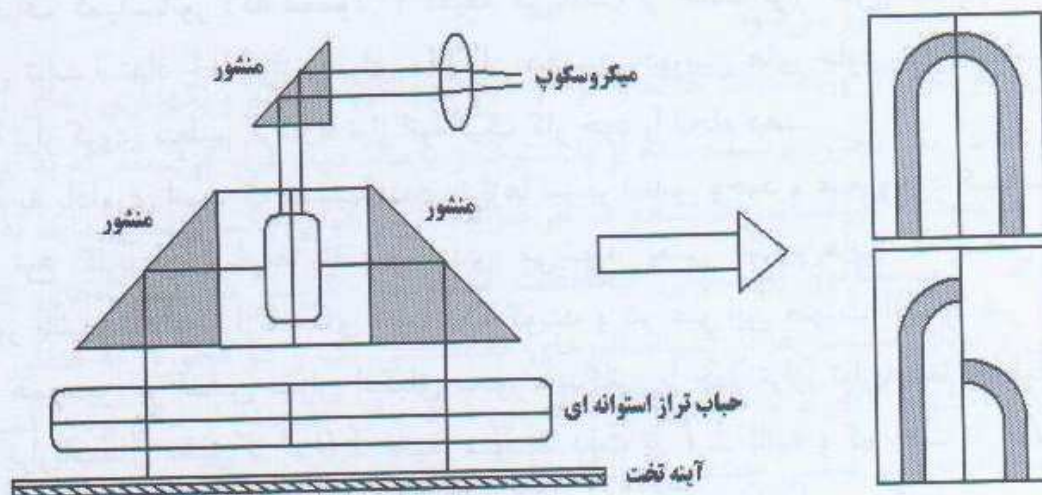
^۲ - Bubble



شکل (۲-۵): تراز استوانه‌ای و نحوه تقسیمات آن

۲-۲-۵ تراز لوبیایی (تراز قائم)

برخی دوربین‌ها یا به تنهایی مجهز به تراز لوبیایی هستند و یا اینکه هم تراز لوبیایی و هم تراز استوانه‌ای دارند. تراز لوبیایی همان تراز استوانه‌ای است که با استفاده از یک سیستم منشوری، حباب آن را به دو قسمت تقسیم کرده و در کنار یکدیگر قرار می‌دهند. این کار باعث می‌شود که در موقع تنظیم کردن دوربین این دو حباب را کنار هم قرار گرفته و تراز استوانه‌ای دقیقاً تراز شود. در حالیکه با تراز استوانه‌ای به تنهایی نمی‌توان کاملاً حباب در وسط قرار داد. از این تراز برای قرار دادن صفر لمب قائم در امتداد خط شاغولی استفاده می‌شود و خطای اندکس^۱ را از بین می‌برد. لذا به آن تراز قائم نیز می‌گویند. شکل (۳-۵) نمونه‌ای از تراز لوبیایی را نشان می‌دهد.



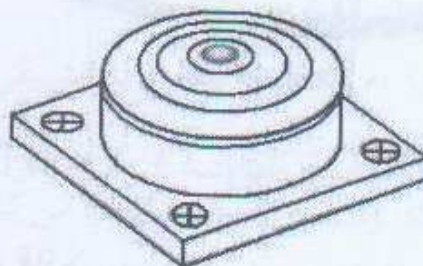
شکل (۳-۵): نحوه استفاده از منشور برای تشکیل حباب تراز لوبیایی

۳-۲-۵ تراز کروی

این تراز مانند تراز استوانه‌ای است با این تفاوت که محفظه تشکیل دهنده آن دارای شکل هندسی کره می‌باشد. از این تراز برای تراز کردن تقریبی دستگاه و از تراز استوانه‌ای برای تراز

^۱ - Index Error

کردن دقیق دستگاه استفاده می کنیم. لازم به یاد آوری است که شعاع انحناء ترازهای استوانه ای معمولاً تا ۱۵۰ برابر بیشتر از شعاع انحناء ترازهای کروی است. لذا ترازهای استوانه‌ای حساس تر از ترازهای کروی هستند که در بخش حساسیت دوربین ها بحث خواهد شد.



شکل (۴-۵): نمایش تراز کروی

۴-۲-۵ تراز اتوماتیک (کمپانساتور)^۱

برخی از دوربین‌های نقشه برداری که فاقد تراز استوانه‌ای یا لوبیایی هستند، دارای تراز اتوماتیک یا کمپانساتورها می‌باشند. کمپانساتورها از یک سیستم سه منشوری تشکیل شده اند که دو منشور در طرفین ثابت و منشور وسطی متحرک می باشد. هدف از این نوع تراز، افقی نگه داشتن محور اپتیکی قراولروی است که همواره باید بر محور شاغولی عمود باشد. این سیستم در بین مسیر خط دید از عدسی شیئی تا عدسی چشمی قرار دارد. اگر دوربین تا حد حداکثر تصحیح میزان انحراف کمپانساتور (که معمولاً ۳ دقیقه می‌باشد) از حالت تراز خارج شده باشد، منشور آویزان می تواند امتداد خط تراز را برای ما نشان دهد. در دوربین های حاوی تراز اتوماتیک، لازم است ابتدا تراز کروی تنظیم گردد تا تراز اتوماتیک کار خود را انجام دهد.

لازم به یادآوری است که تقسیم بندی ترازها نیز بر اساس وجود و عدم وجود کمپانساتورها و همچنین نوع کاربرد ترازها تقسیم بندی می‌شوند یعنی دوربین‌هایی که شامل دستگاه کمپانساتور باشند به آن ترازهای اتوماتیک گویند و در غیر این صورت آنها را غیر اتوماتیک می‌نامند. همچنین بر اساس میزان انطباق محور دیدگانی با خط تراز، ترازها را طبقه بندی می‌کنند. ترازهای دقیق تا ± 0.2 ثانیه، متوسط دقت تا ± 1 ثانیه و کم دقت تا ± 10 ثانیه در نظر گرفته می‌شوند. کمپانساتورها معمولاً دو نوعند اپتیکی و مغناطیسی که در زیر به بررسی آنها می پردازیم.

← **کمپانساتورها مغناطیسی:** این کمپانساتورها از دو قطب مغناطیسی غیر همنام (S و N)، چهار عدد سیم متصل به یک آونگ، دو عدد منشور ثابت برای مستقیم کردن تصویر و قاب فلزی برای اتصال به بدنه تراز یا تشکیل شده‌اند. کمپانساتورهای مغناطیسی که با استفاده از یک

^۱ - Compensator

میدان مغناطیسی می‌تواند نوسان آونگ را کند کند (مانند ساعت‌های دارای آونگ) و در نهایت ثابت نماید بی آنکه آونگ از حالت قائم خارج شود. این سیستم در اغلب دوربین‌های نقشه برداری به کار می‌رود. در نوع کمپانساتورهای پیستونی^۱ برای ثابت نگه داشتن حرکت آونگ از هوای فشرده در یک یا دو پیستون استفاده می‌شود.



شکل (۵-۵): نمای یک کمپانساتور مغناطیسی در دستگاه تراز یاب

معایب این کمپانساتورها عبارتند از:

- سیم‌های کمپانساتور در اثر ضربه‌های نسبتاً شدید صدمه می‌بینند.
- ذرات خاک و گرد و غبار باعث گیر کردن کمپانساتور می‌شوند.
- درجه حرارت زیاد باعث زیاد شدن خطا (انقباض یا انبساط سیم‌ها) در این نوع کمپانساتور می‌شود.

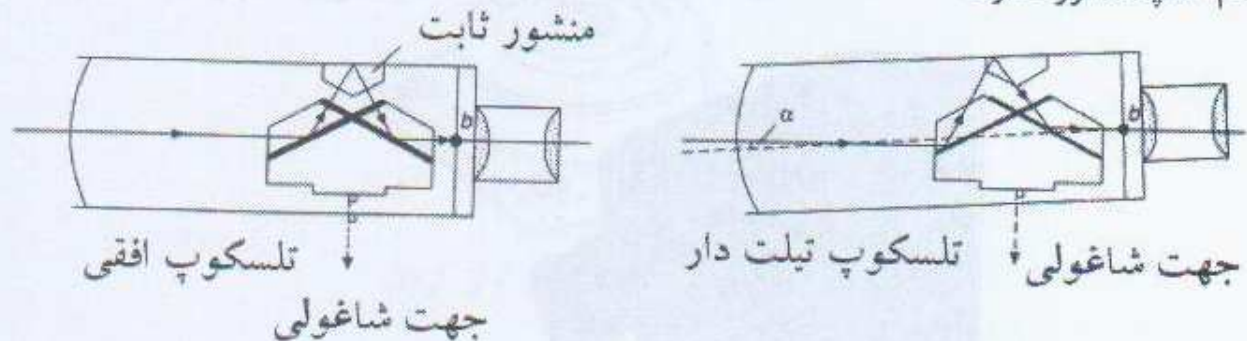
برای جلوگیری از ورود ذرات خاک و گرد و غبار به داخل سیستم و نگهداری دمای ثابت، این کمپانساتورها در یک مخزن پوشیده شده از پلاستیک و یا مواد دیگر قرار گرفته‌اند که به این مخزن گاز تزریق می‌شود تا کمپانساتور همیشه و در هر شرایط آب و هوایی یکسان عمل نماید. به این نوع کمپانساتورها، **کمپانساتور پیستونی محافظت شده** می‌گویند. در دستگاه‌های تئودولیت الکترونیکی و توتال استیشن‌ها از کمپانساتورهای مغناطیسی تک و دو محوره^۲ به منظور تصحیح تراز تا انحراف حدود $2', 40''$ یا ۳ دقیقه استفاده می‌شود. برای اطمینان از سالم بودن کمپانساتور، چند ضربه آرام به زیر عدسی چشمی دستگاه وارد می‌کنیم. در این حالت می‌بینیم که تارهای رتیکول از جای خود خارج و دوباره به جای اولیه خود باز می‌گردند.

← **کمپانساتورها اپتیکی:** در این کمپانساتورها که همانند کمپانساتورهای مغناطیسی است معمولاً دکمه‌ای در کنار تلسکوپ تعبیه شده است که در حین کار برای هر چند وقت یکبار باید این دکمه را فشار دهیم (بعد از هر ۱۰ یا ۲۰ قرائت) تا از سالم بودن و قفل نشدن منشور

^۱ - Damper Compensator

^۲ - Dual-axis tilt sensor

متحرک اطمینان حاصل کنیم. در چنین حالتی اگر تارهای رتیکول را مشاهده کنیم، می بینیم که از جای خود خارج و دوباره به جای اولیه باز می گردند. در این حالت گفته می شود که کمپانساتور سالم است. از فشاردادن آن در هر بار قرائت بایستی اجتناب کرد تا باعث خرابی زود هنگام کمپانساتور نشود.



شکل (۵-۵): وقتی تلسکوپ به یک طرف منحرف می شود، کمپانساتور برعکس آن، انحراف را جبران می کند تا خط دید تراز حاصل شود. در این شکل حالت های مختلف وضعیت تلسکوپ که به ترتیب از راست به چپ، سر بالا، تراز و سر پائین و نحوه عملکرد کمپانساتور نمایش داده شده است. در این شکلها منشورهای دوزنقه ثابت و منشورهای مثلثی بوسیله سیمهای مهار، آویزان و قابل حرکت هستند.

۵-۳ عدسی ها در دوربین های نقشه برداری

همانطوری که از قبل می دانیم عدسی ها را به دو دسته همگرا و واگرا تقسیم می کنند. در عدسی های همگرا، طبق قانون اسنل، پرتوهای تابش پس از برخورد به عدسی به طرف یکدیگر شکسته می شوند، در حالی که در عدسی های واگرا، این پرتوها در موقع خروج از عدسی از یکدیگر دور می شوند. اهم موارد استفاده عدسی ها در دوربین های نقشه برداری عبارتند از:

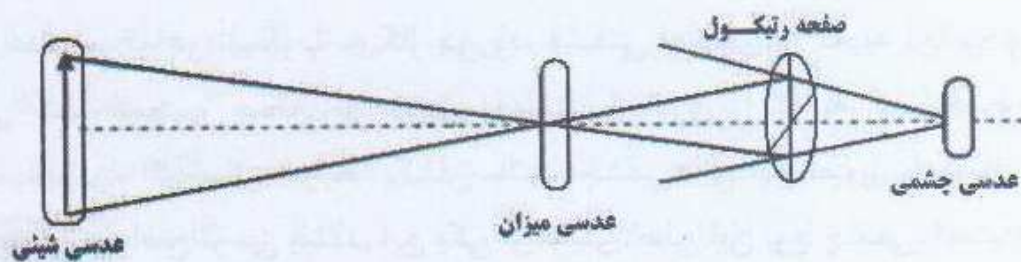
۵-۳-۱ تلسکوپ

مهمترین وسیله در دوربین های نقشه برداری که از ترکیب عدسی های مختلف حاصل می شود، تلسکوپ است. مشخصات یک تلسکوپ خوب عبارتند از:

- روشنی و وضوح کامل تصویر
- بزرگنمای زیاد تصویر
- میدان دید وسیع تلسکوپ

روشنی و واضحی تصویر، بستگی به نوع شیشه عدسی ها، چگونگی تهیه و نصب آنها، گشودگی یا قطر عدسی و نیز تعداد آنها در تلسکوپ دارد. میدان دید، زاویه ای است که مرکز آن در محل چشم ناظر و اضلاع آن خطوطی است که چشم ناظر را به دو نقطه مقابل هم در حاشیه

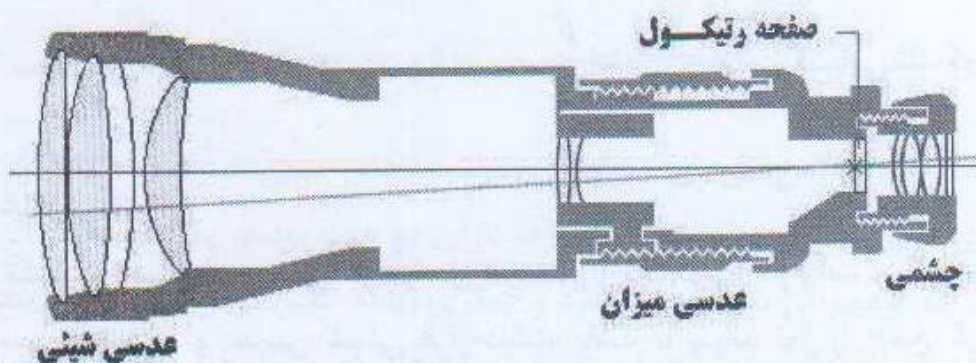
میدان دید وصل می‌کنند. این زاویه بستگی به بزرگنمایی و نوع چشمی مورد استفاده دارد. بطور کلی هرچه بزرگنمایی تلسکوپ بیشتر باشد، میدان دید کوچکتر است. در نتیجه بزرگنمایی را خیلی زیاد نمی‌گیرند. معمولاً میدان دید دوربین‌های نقشه‌برداری، عددی بین ۴۵ دقیقه (برای بزرگنمایی ۴۰ برابر) تا یک و نیم درجه (برای بزرگنمایی ۲۰ برابر) می‌باشد. شکل (۵-۷) ترتیب قرار گرفتن عدسی‌های چشمی، شیئی، میزان و تارهای صفحه رتیکول را در یک تلسکوپ دوربین نقشه‌برداری نمایش می‌دهد.



شکل (۵-۷): ترتیب قرار گرفتن عدسی‌ها در تلسکوپ دوربین نقشه برداری

۵-۳-۲ عدسی شیئی

این عدسی در دوربین‌های نقشه برداری از یک عدسی محدب الطرفین که به یک عدسی هلالی همگرا چسبیده است، تشکیل شده است. از عدسی شیئی در جمع آوری نور و ایجاد بزرگنمایی تصویرها استفاده می‌کنند. این عدسی‌ها برای ترازیاها در اندازه‌های مختلف به قطر ۲۰ الی ۳۰ میلی‌متر و برای تئودولیت‌ها و توتال استیشن‌ها تا ۵۰ میلی‌متر طراحی و ساخته شده‌اند. بزرگنمایی ترازیاها ۲۰ الی ۴۲ برابر و در تئودولیت‌ها تا ۸۰ برابر می‌باشد. به طور کلی هر چه قطر عدسی شیئی بیشتر باشد، وضوح تصویر و برد دستگاه بیشتر و تلسکوپ قوی‌تر است.



شکل (۵-۸): نمای یک عدسی شیئی

۵-۳-۳ عدسی چشمی

از این نوع عدسی جهت وضوح تارهای رتیکول استفاده می‌شود. وظیفه آن تنظیم فاصله کانونی بین چشم انسان تا تارهای رتیکول است. قسمت چشمی تلسکوپ، یا به اختصار چشمی، برای بزرگ کردن و مشاهده این تصویر به کار می‌رود.

دو نوع چشمی وجود دارد: نوع اول، چشمی با تصویر مستقیم است. این نوع چشمی که بیشتر از نوع دوم متداول است، تصویر شیء در روی صفحه رتیکول را مجدداً معکوس می‌کند؛ بنابراین تصویر مستقیم دیده می‌شود. معمولاً، این نوع چشمی از چهار عدسی تخت-محدب تشکیل شده است. نوع دوم، چشمی با تصویر معکوس است این چشمی، فقط تصویر تشکیل شده را روی صفحه رتیکول بزرگ می‌کند. بنابراین تصویر همچنان معکوس باقی می‌ماند. چشمی با تصویر معکوس، از دو عدسی تخت-محدب تشکیل شده است.

هر عدسی، که در تلسکوپ به کار می‌رود، قسمتی از نوری را که به آن برخورد می‌کند، جذب می‌کند. همچنین سطح هر عدسی، قسمتی از نوری را که به آن برخورد می‌کند، باز می‌تاباند. بنابراین، اگر سایر شرایط یکسان باشد، چشمی‌هایی که تصویر معکوس دارند دارای تصاویر روشن‌تر و واضح‌تر می‌باشند. این یکی از مزایای اصلی این نوع چشمی‌هاست. علاوه بر این، طول تلسکوپ در این نوع چشمی‌ها کوتاه‌تر و در نتیجه وزن آن سبک‌تر است. تنها مزیت چشمی-هائی که تصویر مستقیم دارند، سادگی کار با آنها، به خصوص برای افراد مبتدی، می‌باشد. شاید به دلیل این موضوع این نوع دوربین‌ها بیشتر متداول شده‌اند.

۵-۳-۴ بزرگنمایی تلسکوپ

بزرگنمایی عبارتست از میزان بزرگ شدن تصویر جسم نسبت به اندازه جسم. یعنی نسب دو زاویه دید جسم بوسیله تلسکوپ و زاویه دید جسم بوسیله چشم. اگر D : قطر عدسی شیئی، d : قطر عدسی چشمی، F : فاصله کانونی شیئی و f : فاصله کانونی چشمی باشد، بزرگنمایی از رابطه (۵-۱) بدست می‌آید.

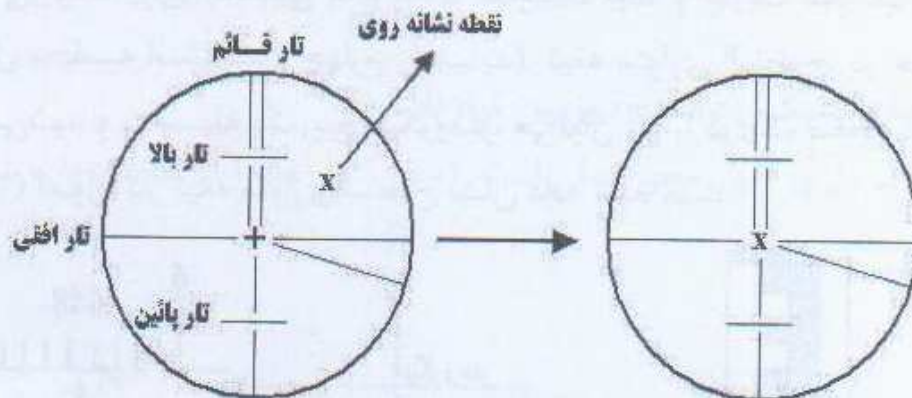
$$\gamma = \frac{D}{d} = \frac{F}{f} \quad \text{معادله (۵-۱)} \quad \text{بزرگنمایی تلسکوپ}$$

۵-۳-۵ عدسی میزان

برای تشکیل تصویر از جسمی در فواصل مختلف از تلسکوپ، لازم است یک عدسی متحرک در بین عدسی چشمی و عدسی شیئی قرار داشته باشد تا بتواند نور را جمع کرده و همزمان تصویر جسم و تارهای رتیکول را ارائه دهد. در دوربین‌هایی که دارای تلسکوپ از نوع تنظیم داخلی هستند، از یک عدسی مقعرالطرفین و یک عدسی تخت-محدب چسبیده به هم، برای تشکیل تصویر در روی صفحه رتیکول استفاده می‌شود. این عدسی بعد از عدسی شیئی قرار دارد و وظیفه آن وضوح تصاویر در تلسکوپ در فواصل مختلف است. وضوح تصاویر با حرکت پیچ وضوح تصویر و جابجایی عدسی میزان در داخل تلسکوپ انجام می‌گیرد.

۵-۳-۶ صفحه رتیکول

بعد از منشور مستقیم کننده تصویر، صفحه تارهای متقاطع رتیکول در تلسکوپ تعبیه شده است. تارهای متقاطع یک نشانه یا مبنایی است که در مرکز تلسکوپ قرار گرفته و از آن برای نشانه روی استفاده می‌شود. تارهای متقاطع بنام تارهای عنکبوتی معروف است ضخامت این تارها به اندازه تارهای عنکبوتی است. معمولاً تارهای متقاطع از یک تار قائم، یک تار افقی وسط، یک تار افقی بالا و یک تار افقی پایین تشکیل شده است. تار بالا و پایین بنام تارهای استادیتری مشهورند. تارهای قائم جهت امتداد دادن و قرائت زاویه‌ی افقی، تار افقی وسط جهت اندازه‌گیری و قرائت اعداد روی شاخص، قرائت زاویه قائم و تار بالا و پایین جهت اندازه‌گیری فاصله بکار می‌روند. فاصله دو تار بالا و پایین از تار وسط به یک اندازه است؛ این فاصله در دستگاه‌های قدیم و جدید متغیر است. در حال حاضر این فاصله‌ها استاندارد شده و در کلیه دستگاه‌ها یکسان است. لذا از ضریب استادیتری ۱۰۰ استفاده می‌شود. اما در بعضی از دستگاه‌ها ضرایب ۵۰ و ۸۰ را نیز در نظر می‌گیرند.



شکل (۵-۹): تارهای رتیکول و نحوه نشانه روی به یک هدف یا تارگت

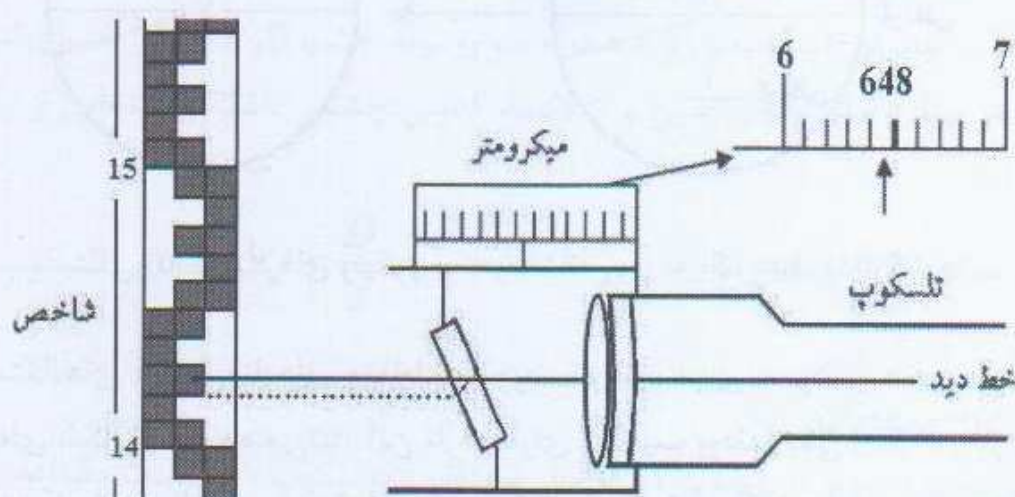
در دستگاه‌های قدیمی تارهای متقاطع بصورت تارهای مویی عمود بر هم بر روی یک لوله فلزی استوانه‌ای شکل چسبانده می‌شد. این تارها دارای دو عیب بودند: یکی اینکه در اثر ضربه تارها صدمه می‌بیند که ترمیم آن بسیار دشوار بود و دیگری اینکه تمیز کردن آنها بسیار مشکل بود. در ترازیب‌های جدیدتر تارهای متقاطع را بین دو شیشه دایره‌ای شکل قرار می‌دهند؛ به این ترتیب، تارها محافظت شده و می‌توان صفحه رتیکول را براحتی تمیز نمود. امروزه در دستگاه‌های نقشه برداری تارهای متقاطع در خود شیشه حک می‌شوند. به این ترتیب معایبی که به آن اشاره شد بوجود نمی‌آید. یادآوری می‌شود که در دستگاه‌های نقشه برداری از تارهای متقاطع به شکل‌های مختلف جهت بالا بردن دقت استفاده می‌شود.

۵-۳-۷ منشور مستقیم کننده تصویر

منشور مستقیم کننده تصویر یک منشور چند وجهی است که در محور دیدگانی بعد از عدسی واگرا قرار دارد که در تلسکوپ یا در داخل کمپانساتور تعبیه شده است. تصویر بصورت طبیعی در محور دیدگانی بر عکس دیده می شود. این منشور تصویر معکوس را وارونه نموده و مستقیم نشان می دهد.

۵-۳-۸ میکرومتر

کوچکترین تقسیم بندی روی شاخص ها معمولاً یک سانتی متر است. بنابراین قرائت شاخص بطور عادی، تا حد سانتی متر و با تخمین تا حد میلی متر انجام می شود. در کارهایی که نیاز به دقتی بیش از این دارد، از میکرومتر با تیغه متوازی السطوح استفاده می شود. تیغه متوازی السطوح، یک شیشه با دو سطح دیوپتر مستوی موازی می باشد. خاصیت تیغه این است که اگر یک پرتو نور به آن بتابد، امتداد پرتو خارج شده از تیغه، که موازی با پرتو تابش است، با اندازه مشخصی بطور جانبی جابجا می شود. میزان جابجایی با توجه به ضخامت تیغه و ضریب شکست منشور و میزان دوران تیغه قابل محاسبه است (فصل چهارم را ببینید). تیغه متوازی السطوح، در جلو عدسی شیئی دوربین نصب می شود و به وسیله یک پیچ میکرومتر، می توان آن را در یک صفحه عمودی چرخاند. در شکل (۵-۱۰) اصول کار تیغه متوازی السطوح نشان داده شده است.



شکل (۵-۱۰): اصول کار میکرومتر با تیغه متوازی السطوح در دستگاه تراز یاب

اگر تیغه در حالت قائم قرار بگیرد (در بعضی میکرومترها در زاویه ۴۵ درجه)، مسیر یک پرتو افقی (خط دید دوربین)، پس از برخورد به آن تغییر نخواهد کرد؛ بنابراین قرائت شاخص، در شکل (۵-۱۰)، ۱۴۲۵ یا ۱۴۲۷ میلی متر خواهد بود که رقم میلی متر آن تخمین زده شده است. اگر با استفاده از پیچ میکرومتر، تیغه را آنقدر بچرخانیم تا خط دید منطبق بر عدد ۱۴۲۰ گردد، مقدار جابجایی خط دید، در روی پیچ میکرومتر قابل قرائت است. بنابراین، قرائت دقیق شاخص

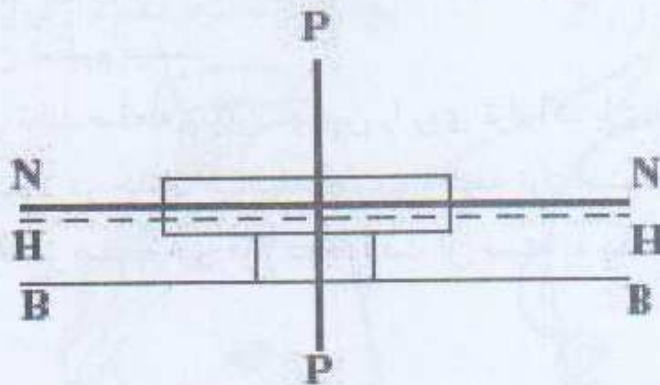
۱۴۲۵/۴۸ میلی‌متر می باشد. در اینجا نیز رقم آخر تخمین زده شده است. همانطوری که در شکل مشخص است، تیغه را می‌توانستیم، در جهت مخالف نیز بچرخانیم، در این صورت، بایستی خط دید را منطبق بر ۱۴۳۰ میلی‌متر می‌کردیم و نهایتاً قرائت میکرومتر را می‌بایست از آن کم می‌کردیم. پیچ میکرومتر از صفر تا ده می‌چرخد و برای خواندن شاخص، همیشه خط دید پایین آورده می‌شود و در نتیجه همیشه باید قرائت میکرومتر، به قرائت شاخص اضافه شود. برای شاخص‌هایی که کوچکترین درجه بندی آنها 5^{mm} است نیز میکرومتر با تیغه متوازی السطوح ساخته شده است.

۴-۵ کنترل و تنظیم دوربین‌های تراز یاب

همانطوری که قبلاً ذکر شد. تنظیم دوربین‌ها معمولاً به صورت موقت و دائم می باشد. منظور از تنظیم موقتی دستگاه تراز یاب همان تراز کردن است که برای انجام مشاهدات صورت می گیرد. اما زمانی از تنظیمات دائمی استفاده می کنیم که دستگاه از حالت استاندارد کارخانه، خارج شده و دارای خطاهای سیستماتیک شده باشد. برای تشخیص این خطاهای سیستماتیک بایستی دستگاه را تنظیم موقتی نمود و با یکسری مشاهدات آن را کنترل و در صورت وجود خطا آن را تنظیم کرد.

۱-۴-۵ محورهای تشکیل دهنده دوربین تراز یاب

هر دستگاه تراز یاب دارای چهار محور اصلی است که در شکل (۱۱-۵) نمایش داده شده اند.



شکل (۱۱-۵): محورهای چهارگانه تراز یاب

- محور اصلی (P-P) خطی است که از مرکز اپتیکی تراز یاب و هم چنین از مرکز لمب افقی عبور کرده و بر آن صفحه عمود می شود.
- محور دیدگانی (N-N) خطی است که در داخل لوله تلسکوپ تراز یاب قرار گرفته، از مرکز نوری عدسی شیئی و مرکز نوری عدسی چشمی می گذرد.
- محور تراز استوانه ای یا لوبیایی (H-H) خطی است افقی که بر حباب تراز در وسط آن مماس می شود.
- محور تراز کروی (B-B) که موازی با محور تراز استوانه ای است (در صورت وجود).

۵-۴-۲ مشخصات یک تراز یاب سالم

لازمه سالم بودن یک دستگاه تراز یاب برای اندازه گیری صحیح و دقیق اختلاف ارتفاع، داشتن خصوصیات زیر می باشد:

- (۱) محور دیدگانی از مرکز صفحه تارهای رتیکول بگذرد.
 - (۲) محور دیدگانی و محورهای تراز کروی و استوانه ای باهمدیگر موازی باشند.
 - (۳) محور اصلی بر صفحه تراز دستگاه و لمب افقی عمود باشد.
- برای بدست آوردن شرایط فوق، بایستی خطای پارالاکس قابل رفع باشد، تراز های دستگاه را بتوان تنظیم نمود، صفحه تارهای رتیکول چرخش نداشته باشد، محور نشانه روی پس از تراز نمودن دستگاه افقی شود، اجزای اپتیکی و مکانیکی تراز یاب از لحاظ مکانیکی معیوب نباشند.

۵-۴-۳ وظایف ترازهای دستگاه

در دستگاه های تراز یاب غیر اتوماتیک، معمولاً دو عدد تراز، تعبیه شده است که به هنگام استقرار باید هر دو را تنظیم نمود. اما در دستگاه های اتوماتیک کافی است تنها تراز کروی تنظیم گردد. زیرا کمپانساتور بطور خودکار وظیفه تراز دوم را انجام می دهد. به منظور اطمینان پیدا کردن از تنظیم بودن ترازهای دستگاه، پس از قرار گرفتن حباب در وسط محفظه تراز، باید با حرکت افقی دوربین و قرار گرفتن آن در امتداد های مختلف، حباب در وسط دایره نشانه باقی بماند، در غیر اینصورت تراز دوربین تنظیم نیست.

تراز کروی می تواند صفحه زیرین دوربین را روی تراپراک با دقت کم بر صفحه افق منطبق کند که دقت آن معمولاً در حدود ۸ دقیقه است و وظیفه تراز استوانه ای این است که لمب افقی دوربین را با دقت بالا در صفحه افق قرار دهد. دقت آن بسته به دقت تراز یاب می تواند ± 0.2 ، ± 1 و ± 10 ثانیه باشد.

۵-۴-۴ کنترل و تنظیم تراز کروی: قبل از کنترل هندسی محل تراز کروی، خصوصیات ظاهری تراز کروی بررسی می شود که عبارتند از:

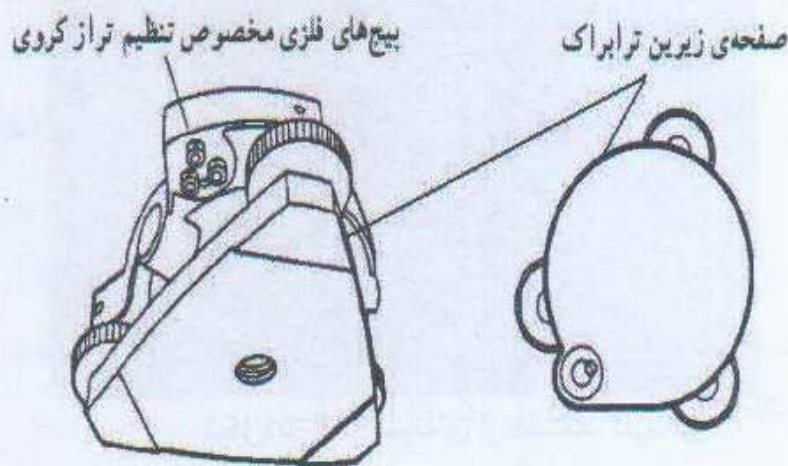
- قطر حباب باید از قطر دایره ی نشانه کوچکتر باشد. در غیر این صورت باید آن را تعویض کرد، چون اگر تعویض نشود به مرور زمان حباب بزرگ شده، سطح حباب کروی را فرا می گیرد و دقت تراز کم می شود.
- حباب تراز کروی نباید از مرکز دایره نشانه فرار کند؛ در این حالت حساسیت تراز کروی از بین رفته، مرکز حباب در جای دیگری غیر از مرکز دایره ی نشانه قرار می گیرد. در چنین حالتی نیز تراز کروی را باید تعویض نمود.

- در بعضی مواقع تراز کروی در اثر عواملی مانند ضربه و کار زیاد از تنظیم خارج شده، خطا پیدا می‌کند که روش تشخیص و تنظیم آنرا در ادامه می‌بینیم.

۵-۴-۵ نحوه تشخیص و تنظیم خطای تراز کروی

دستگاه تراز یاب را روی سه پایه مستقر نموده، توسط سه پایه یا پیچ‌های سه گانه تراپراک، تراز را تنظیم کرده و حباب را در مرکز دایره قرار می‌دهیم. سپس دوربین را به آهستگی به اندازه‌ی ۱۸۰ درجه نسبت به حالت قبل می‌چرخانیم. اگر حباب در مرکز دایره باشد، تراز کروی در این جهت خطا ندارد در غیر این صورت فاصله‌ی بین مرکز حباب تا مرکز دایره‌ی نشانه مقدار خطای تراز کروی را نشان می‌دهد. همین کار را برای امتداد ۹۰ درجه نسبت به حالت قبل تکرار می‌کنیم تا خطای تراز کروی در دو جهت عمود بر هم کنترل شود.

پس از تشخیص وجود خطای تراز کروی، در آخرین مرحله بوسیله پیچ‌های سه گانه کنار یا زیر تراز کروی، نیمی از انحراف تراز را بر طرف می‌کنیم. در اینجا نیز باید تراز کروی را در دو جهت ۹۰ درجه از همدیگر تنظیم نمود تا دوربین پس از تنظیم در هر جهت که قرار گرفت، همواره حباب در وسط قرار گیرد. پیچ‌های تنظیم تراز بوسیله آچار آلن کوچک یا آچار سوزنی یا pin شکل استفاده می‌شوند.



شکل (۵-۱۲): محل پیچ‌های تنظیم خطای تراز کروی



شکل (۵-۱۳): به ترتیب از راست، آچار آلن و آچار سوزنی (پینی شکل)

۵-۴-۶ کنترل و تنظیم تراز استوانه‌ای

با توجه به اینکه در اغلب ترازهای فعلی یک کمپانساتور وظیفه تراز استوانه‌ای را انجام داده و جایگزین آن می‌گردد، لذا برای تنظیم تراز استوانه‌ای می‌توان به قسمت تنظیمات تئودولیت مراجعه نمود. تنها باید به این نکته توجه کرد که قبل از تنظیم تراز کروی باید تراز استوانه‌ای کنترل و تنظیم شود.

۵-۴-۷ کنترل و تنظیم خطای کلیماسیون تراز یاب

منظور از خطای کلیماسیون در دستگاه تراز یاب، انحراف محور دیدگانی از صفحه افق یا خط موازی با محور تراز کروی دستگاه می‌باشد. به منظور میزان کردن محور دیدگانی لازم است دستگاه کنترل و تنظیم گردد. برای این منظور به دو روش می‌توان محور دیدگانی را کنترل نمود.

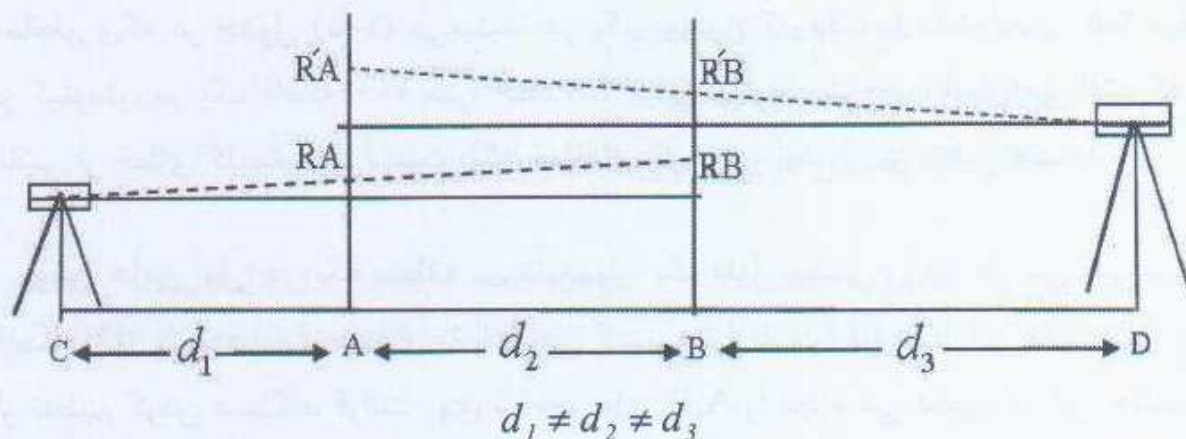
← **روش کارگاهی:** در این روش با کمک دستگاه کلیماتور، به بررسی وضعیت محور نشانه روی می‌توان پی می‌برد. در شکل (۵-۱۴) نمونه‌ای از کلیماتور را می‌بینید.



شکل (۵-۱۴): نمونه‌ای از دستگاه کلیماتور

← **روش صحرایی:** در این روش به کمک عملیات‌های خاص به روش‌های مختلف می‌توان میزان خطای کلیماسیون را تعیین کرد. در روش صحرایی معمولاً به صورت‌های زیر تراز یاب را کنترل می‌کنند که روش کلی عبارتست از:

روش کلی: دوربین را در دو موقعیت مختلف C و D مستقر کرده و به شاخص‌ها در دو مکان متفاوت A و B قراولروی می‌کنیم. مقدار قرائت‌های روی شاخص می‌تواند به اندازه $x = e \times d_i$ خطای کلیماسیون داشته باشد. یعنی هرچه فاصله بیشتر می‌شود، این خطا نیز بیشتر می‌گردد. اختلاف ارتفاع صحیح و خطا دار را در هر دو نقطه C و D بدست می‌آوریم.



شکل (۵-۱۵): روش کلی تعیین خطای کلیماسیون تراز یاب

$$C: \begin{cases} \Delta h_{AB} = R_A - R_B \\ \Delta h'_{AB} = (R_A - ed_1) - [R_B - e(d_1 + d_2)] = (R_A - R_B) + ed_2 \end{cases} \quad \text{معادله (۵-۲)}$$

$$D: \begin{cases} \Delta h_{AB} = R'_A - R'_B \\ \Delta h'_{AB} = [R'_A - e(d_2 + d_3)] - (R'_B - ed_3) = (R'_A - R'_B) - ed_2 \end{cases} \quad \text{معادله (۵-۳)}$$

اختلاف ارتفاع بین دو نقطه از هر دو طرف ثابت می باشد. پس خواهیم داشت.

$$\begin{aligned} \Rightarrow \Delta h'_{AB} - \Delta h_{AB} &= (R'_A - R'_B) - (R_A - R_B) - 2ed_2 = 0 \\ \Rightarrow e &= \frac{(R'_A - R'_B) - (R_A - R_B)}{2 \times d_2} \end{aligned} \quad \text{معادله (۵-۴)}$$

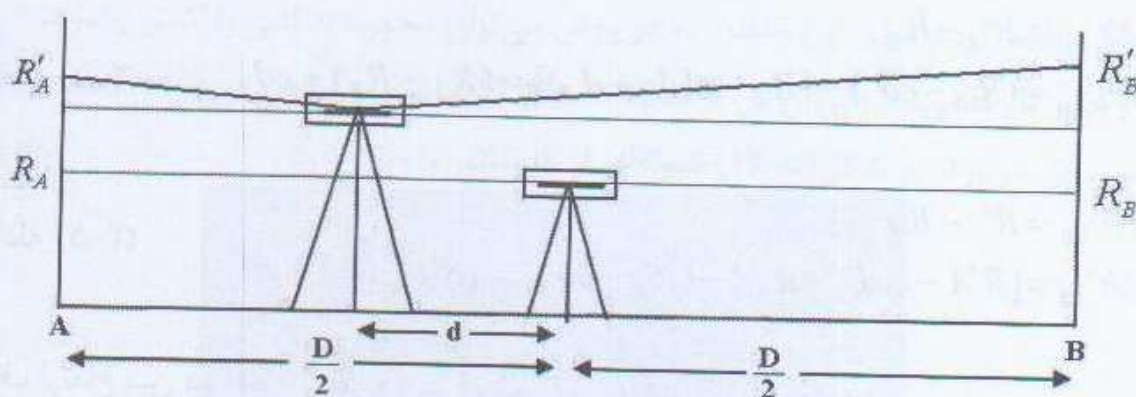
خطای بدست آمده، میزان خطا کلیماسیون را در هر متر نشان می دهد. حد مجاز این خطا بر حسب دقت دستگاه تراز یاب در جدول (۵-۱) آمده است.

جدول (۵-۱): حد مجاز خطای کلیماسیون

نوع تراز یاب	دقت در هر کیلومتر	زاویه انحراف کلیماسیون	کلیماسیون در هر متر	
			رادیان	میلیمتر
خیلی دقیق	۰/۳ میلیمتر	۰/۲ ثانیه	9.7×10^{-7}	0.00097
دقیق	۰/۷ میلیمتر	۱/۰ ثانیه	4.8×10^{-6}	0.0048
معمولی	۱/۰ میلیمتر	۳ ثانیه	1.5×10^{-5}	0.015
کم دقت	۲/۵ میلیمتر	۱۰ ثانیه	4.8×10^{-5}	0.048

همانطوری که در جدول (۵-۱) می بینید، در یک دوربین کم دقت با دقت اسمی ۲/۵ میلی متر در هر کیلومتر، در یک فاصله ۱۰۰ متر، خطا ۴/۸ میلی متر روی شاخص، اتفاق می افتد که لزوماً تنها ناشی از خطای کلیماسیون نیست بلکه خطاهای کرویت و انکسار نیز دخیل هستند.

روش خاص اول: در یک منطقه نسبتاً هموار، یک طول معینی را در نظر می گیریم. سپس این فاصله (D) را دو قسمت مساوی تقسیم می کنیم و ترازیب را در وسط این فاصله قرار داده و بعد از تنظیم کردن دستگاه، قرائت روی شاخص های A, B را انجام می دهیم. در این حالت چون دوربین در وسط قرار گرفته لذا خطاهای کرویت و انکسار به قرینه حذف می شوند و اختلاف ارتفاع به دست آمده، به اختلاف ارتفاع واقعی نزدیک تر است.



شکل (۵-۱۶): روش خاص تعیین خطای کلیماسیون ترازیب

حال دوربین را به اندازه d از حالت وسط جابجا می کنیم و دوباره قرائت های روی شاخص AB را انجام می دهیم و Δh را بدست می آوریم. اگر این دو Δh تقریباً باهم برابر باشند، دوربین دارای خطای کلیماسیون نیست، در غیر این صورت مقدار خطای کلیماسیون به صورت معادله (۵-۵) محاسبه می گردد.

$$\Delta h_{AB} = R_A - R_B$$

$$\Delta h'_{AB} = R'_A - R'_B = [R'_A - e \times (\frac{D}{2} - d)] - [R'_B - e \times (\frac{D}{2} + d)] \quad \Rightarrow \quad (5-5)$$

$$e = \frac{\Delta h_{AB} - \Delta h'_{AB}}{2 \times d} = \frac{R_A - R_B - (R'_A - R'_B)}{2 \times d} = \frac{(R_A - R'_A) - (R_B - R'_B)}{2 \times d}$$

مثال (۵-۱): دو نقطه A و B به فاصله ۵۳ متر از همدیگر قرار دارند. ابتدا دوربین را در وسط طول AB قرار داده و از شاخص های قائم در نقاط A, B به ترتیب مقدار ۲۴۲۵ و ۲۸۹۴ میلی متر را قرائت می کنیم. سپس دوربین را در فاصله ۱۰ متری وسط قرار داده و مقادیر ۱۰۳۳ و ۱۴۹۹ میلی-متر را قرائت می کنیم. مطلوب است:

- اختلاف ارتفاع و مقدار کلیماسیون
- قرائت‌های صحیح روی دو شاخص
- خطای کلیماسیون دوربین برای فاصله ۱۱۰ متری

$$\left. \begin{aligned} \Delta h_{AB} &= R_A - R_B = 2425 - 2894 = -469 \text{ mm} \\ \Delta h'_{AB} &= R'_A - R'_B = 1033 - 1499 = -466 \text{ mm} \end{aligned} \right\} \Rightarrow e = \frac{-0.469 + 0.466}{2 \times 10} = 0.00015$$

اختلاف ارتفاع واقعی ۴۵۹- میلی‌متر می باشد. اما خطای کلیماسیون ۰/۰۰۰۱۵ رادیان یا ۰/۱۵ میلی‌متر در هر متر می باشد. برای تعیین قرائت‌های صحیح روی شاخص داریم.

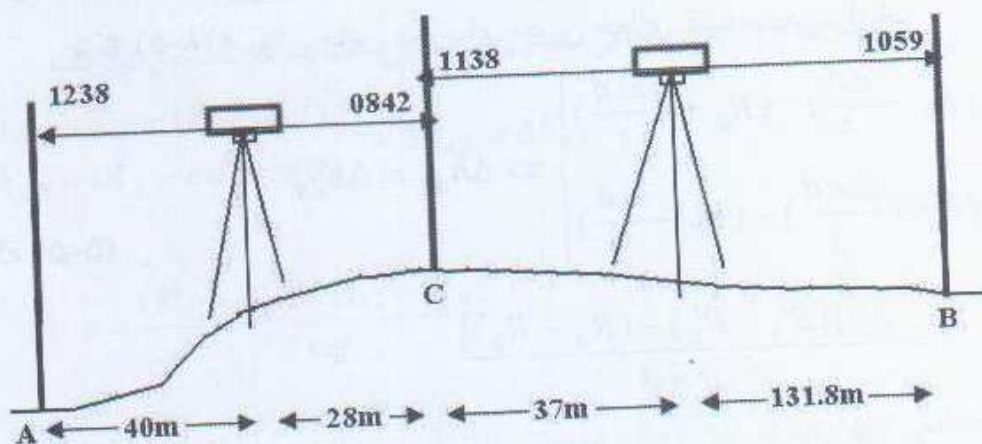
$$R_A = R'_A - e \times \left(\frac{D}{2} - d \right) = 1033 - (-0.15) \times (31.5 - 10) = 1033 + 3.2 = 1036.2$$

$$R_B = R'_B - e \times \left(\frac{D}{2} + d \right) = 1499 - (-0.15) \times (31.5 + 10) = 1499 + 6.2 = 1505.2$$

برای تعیین مقدار خطای کلیماسیون در فاصله ۱۱۰ متری، بصورت زیر عمل می کنیم.

$$e_{110} = e \times d = 0.15 \times 110 = 16.5 \text{ mm}$$

مثال (۵-۲): با دوربین ترازیبی که خطای کلیماسیون آن ۰/۴۱۷ میلی‌متر در هر متر می باشد، قرائت‌هایی طبق شکل (۵-۱۷) انجام داده‌ایم. اختلاف ارتفاع دقیق بین دو نقطه و همچنین قرائت‌های تصحیح شده جهت تنظیم دوربین چقدر است؟



شکل (۵-۱۷): ترازیبی با دوربین دارای خطای کلیماسیون

$$R_A = R'_A - e \times d_1 = 1238 - (0.417 \times 40) = 1238 - 16.68 = 1221.32 \text{ mm}$$

$$R_{C1} = R'_{C1} - e \times d_2 = 0842 - (0.417 \times 28) = 0842 - 11.68 = 0830.32 \text{ mm}$$

$$R_{C2} = R'_{C2} - e \times d_3 = 1138 - (0.417 \times 37) = 1138 - 15.43 = 1122.57 \text{ mm}$$

$$R_B = R'_B - e \times d_4 = 1059 - (0.417 \times 131.8) = 1059 - 54.96 = 1004.04 \text{ mm}$$

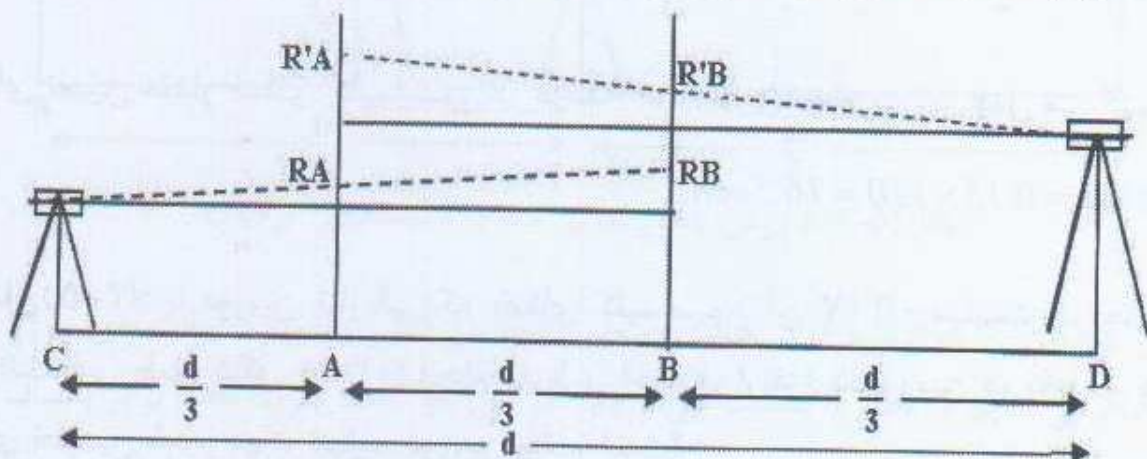
پس از بدست آوردن قرائت‌های تصحیح شده، اختلاف ارتفاع صحیح را بدست می آوریم:

$$\Delta h_{AC} = 1221.32 - 830.32 = +391 \text{ mm}$$

$$\Delta h_{BC} = 1004.04 - 1122.57 = -118.53 \text{ mm}$$

$$\Delta h_{AB} = 1221.32 - 1004.04 = +217.28 \text{ mm}$$

روش خاص دوم: در این روش یک فاصله معین را به سه قسمت مساوی تقسیم کرده و سپس دو شاخص را در نقاط وسط قرار داده و در نقاط کناری، دوربین ترازیب قرار می گیرد. با توجه به شکل (۵-۱۸)، خطای کلیماسیون برای هر متر را بدست می آوریم.



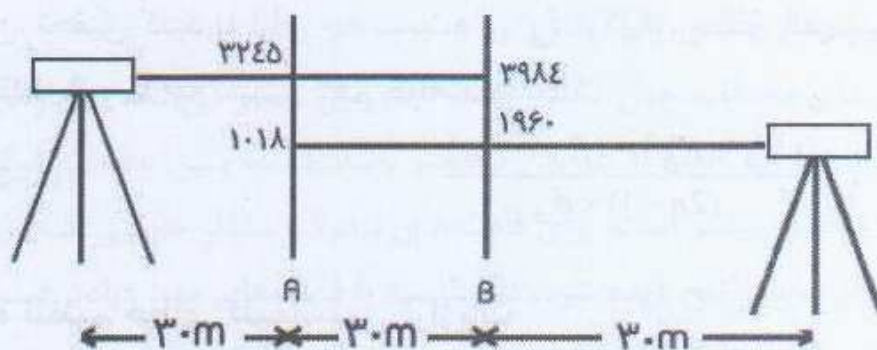
شکل (۵-۱۸): روش خاص دوم برای تعیین خطای کلیماسیون ترازیب

$$\left. \begin{aligned} \Delta h_{AB} &= \left(R_A - \frac{e \cdot d}{3} \right) - \left(R_B - \frac{2 \cdot e \cdot d}{3} \right) \\ \Delta h'_{AB} &= \left(R'_A - \frac{2 \cdot e \cdot d}{3} \right) - \left(R'_B - \frac{e \cdot d}{3} \right) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta h_{AB} = \Delta h'_{AB}$$

معادله (۵-۵)

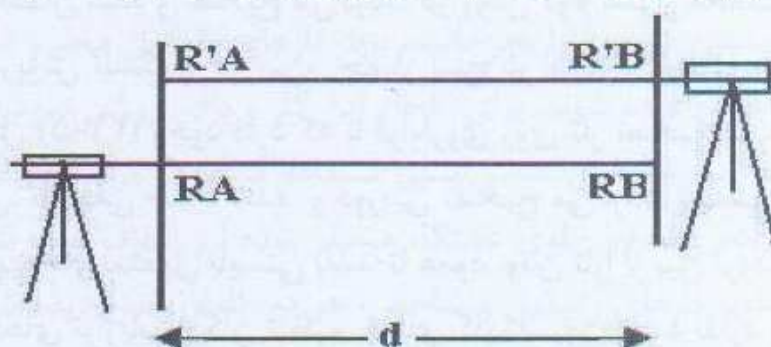
$$e = \frac{3 \times [(R'_A - R'_B) - (R_A - R_B)]}{2 \times d}$$

تمرین (۴-۱): با توجه به شکل (۵-۱۹) و قرائت‌های انجام شده یک طول ۹۰ متری را به ۳ قسمت مساوی تقسیم کرده ایم. خطای کلیماسیون و قرائت‌های صحیح دوربین را جهت تنظیم دستگاه بدست آورید.



شکل (۵-۱۹): روش خاص تعیین خطای کلیماسیون ترازپاب

روش خاص سوم: در این روش یک فاصله معین (حدود ۵۰ متر) را انتخاب کرده و دو شاخص در طرفین آن قرار می‌دهیم. سپس در مرحله اول دوربین را در نزدیکی یکی از شاخص‌ها (۱ تا ۵ متری آن) قرار داده و قرائت روی هر دو شاخص انجام می‌دهیم. به دلیل نزدیکی دوربین به آن شاخص، فرض می‌کنیم قرائت روی آن شاخص صحیح و خطای کلیماسیون آن ناچیز باشد. سپس در مرحله دوم دوربین را در نزدیکی شاخص دوم قرار داده و همین کار را طبق شکل (۵-۲۰) تکرار می‌کنیم. در این روش خطای کلیماسیون برای هر متر عبارتست از:



شکل (۵-۲۰): روش خاص سوم برای تعیین خطای کلیماسیون ترازپاب

$$\left. \begin{aligned} \Delta h_{AB} &= R_A - (R_B - ed) \\ \Delta h'_{AB} &= (R'_A - ed) - R'_B \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta h_{AB} = \Delta h'_{AB}$$

معادله (۵-۷)

$$e = \frac{(R'_A - R'_B) - (R_A - R_B)}{2 \times d}$$

روش خاص چهارم: در این روش دوربین ترازپاب را ما بین دو نقطه A و B قرار داده طوری که فاصله آن از شاخص A برابر d_A و از شاخص B برابر d_B باشد. سپس شاخص‌ها را قرائت می‌کنیم. در مرحله بعد اگر دوربین را طوری جابجا کنیم که در حالت دوم فاصله n برابر شود، فرمولی برای محاسبه خطای کلیماسیون به صورت معادله (۵-۸) بدست می‌آید. ضمن تحقیق این رابطه و

بدست آوردن آن، تحقیق کنید به ازای چه نسبت‌های d_A و d_B ، خطای کلیماسیون وجود ندارد؟ در این صورت نقاط A و B چه نسبتی باهم خواهند داشت؟

$$e = \frac{(R'_A - R'_B) - (R_A - R_B)}{(2n - 1) \times d_A} \quad \text{معادله (۸-۵)}$$

۸-۴-۵ نحوه تنظیم خطای کلیماسیون تراز یاب

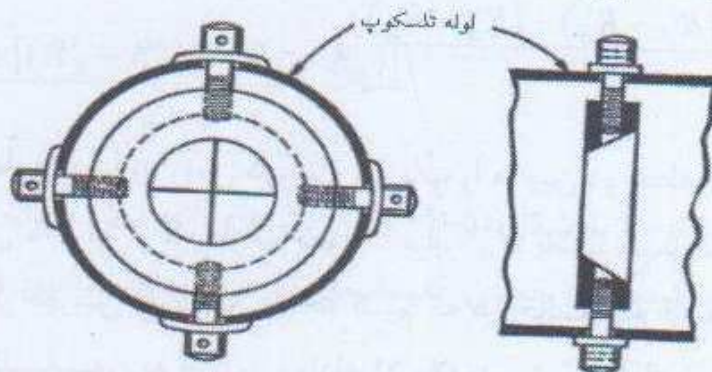
بعد از تعیین خطای کلیماسیون و محاسبه تارهای تصحیح شده، به دوروش می توان این خطا را تصحیح نمود.

۱. اعمال خطا بر روی مشاهدات

۲. تنظیم دائمی این خطا

در روش اولی نیاز به فاصله دهنه‌های تراز یابی داریم تا متناسب با آن فاصله، مقدار خطا بر روی بر روی مشاهدات اعمال کنیم. معمولاً در تراز یابی معمولی (اپتیکی) این فواصل را نداریم لذا بایستی از روش دوم استفاده نمائیم. ولی در تراز یاب‌های رقومی چون فواصل دهنه‌های تراز یابی نیز اندازه‌گیری می‌شوند. لذا با معرفی مقدار خطای کلیماسیون در حین اندازه‌گیری، مقدار خطا بر روی تک تک مشاهدات اعمال شده و تصحیح می‌گردد. در روش دوم بعد از محاسبه تارهای تصحیح شده، با باز کردن درپوش تلسکوپ دوربین، چهار پیچ در امتداد تارهای افقی و قائم صفحه رتیکول همانند شکل (۵-۲۱) وجود دارد که با قراولروی روی تار تصحیح شده و با شل و سفت کردن پیچ‌های افقی، تار افقی جابجا شده و دوربین تصحیح می‌گردد. بایستی توجه کرد که میزان شل یا سفت بودن پیچ‌های متقابل بایستی باشد تا عمود بودن تارا از بین نرود.

در بعضی از دستگاه‌های تراز یاب امکان تنظیم خطای کلیماسیون وجود ندارد و بهتر است تا قبل از تنظیم توسط کارخانه سازنده یا شرکت‌ها و نمایندگی‌های مجاز دستگاه، کلیه مشاهدات انجام شده با دستگاه را تصحیح نمود. برای این منظور لازم است هر سه تار مشاهده شوند. از تار بالا و پائین، فاصله بدست می‌آید و این فاصله را در مقدار زاویه کلیماسیون دستگاه بر حسب رادیان ضرب می‌کنیم تا مقدار تصحیح بدست آید.



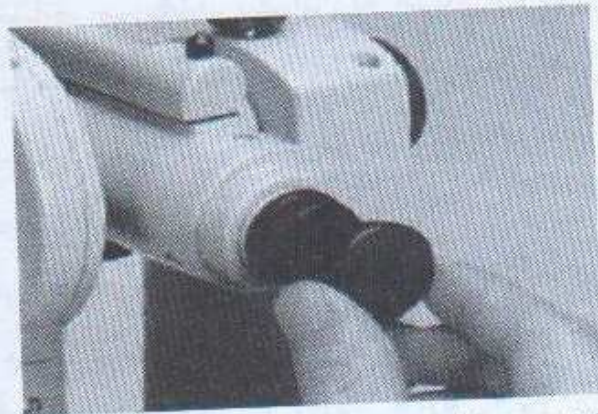
شکل (۵-۲۱): تنظیم خطای کلیماسیون تراز یاب

۵-۴-۹ کنترل و رفع خطای پارالاکس

در نشانه‌روی‌های مختلف، چون فاصله جسم تا دوربین تغییر می‌کند، هر بار باید محل عدسی فوکوس را تغییر داد. هر چه جسم به دوربین نزدیکتر باشد، فاصله بین عدسی فوکوس و صفحه رتیکول، در حالت تنظیم، بیشتر است. برای فاصله‌های نزدیک، مقدار حرکتی که باید به عدسی فوکاس داد، تا تصویر بطور واضح دیده شود، در مقایسه با فاصله‌های دور، زیادتر است. تلسکوپ را نمی‌توان برای دیدن فاصله‌های خیلی کم به کار برد، مگر آنکه عدسی مخصوص فوکوس در فاصله‌های کم در آن بکار رفته باشد. کوتاهترین فاصله فوکوس برای ترازیب‌های مختلف حدود یک تا ۲/۲ متر و برای تئودولیت‌ها حدود ۱/۴ تا ۴ متر می‌باشد.

تصویری که بوسیله تلسکوپ از شاخص (یا هر نقطه نشانه روی) تشکیل می‌شود، باید در صفحه تارهای رتیکول قرار گیرد. اگر این تصویر و تصویر تارهای رتیکول در یک صفحه قرار نگیرند، تصاویر از هم جدا شده‌اند. در چنین وضعیتی خطای پارالاکس در عدسی چشمی بوجود می‌آید. اگر چنین خطایی در دوربین ترازیب وجود داشته باشد، هر قدر هم که پیچ‌های تنظیم تارهای رتیکول و تنظیم تصویر را تغییر دهیم، تصاویر واضحی از تارهای رتیکول و شاخص ایجاد نمی‌شود و تصاویر سایه دار به نظر می‌رسند.

اگر قاب روی چشمی دوربین را بچرخانیم، باید تارهای رتیکول محو و سپس کمرنگ و سر انجام پر رنگ و کاملاً واضح دیده شوند. برای انجام این کار و برای روشن نمودن زمینه میدان دید، بهتر است از یک صفحه سفید جلوی عدسی شیئی استفاده کنیم. در مرحله‌ی بعد اگر پیچ تصویر را بچرخانیم تا تصویر شاخص که در جلوی دستگاه مستقر شده نیز شفاف دیده شود. در یک دوربین سالم همزمان باید تصاویر تارهای رتیکول و شاخص، هر دو کاملاً واضح دیده شوند و با حرکت سر به طرف بالا و پایین نباید این دو تصویر در مقابل یک‌دیگر قرار گیرند.



شکل (۵-۲۲): نحوه تنظیم چشمی و رتیکول برای رفع خطای پارالاکس

پس از تنظیم تصاویر تارهای رتیکول و شاخص، اگر این تصاویر با حرکت چشم در مقابل یک‌دیگر قرار گیرند، (در این وضعیت با کمی دقت سایه‌هایی نیز همراه تصاویر دیده می‌شوند. لذا

دوربین «خطای پارالاکس» دارد و باید وضعیت مکانیکی پیچ تنظیم تصویر و قاب روی چشمی و عدسی‌های چشمی و میزان کنترل تصحیح شوند.

اگر در این موقع از طریق چشمی، با حرکت دادن چشم از یک طرف به طرف دیگر، یک حرکت ظاهری در خطوط صفحه رتیکول، نسبت به تصویر شئی، مشاهده شود، معلوم می‌گردد که صفحه تصویر و صفحه رتیکول بر یکدیگر منطبق نیستند و فوکوس کردن درست انجام نشده است. چنین حالتی را نیز "پارالاکس" گویند. از آنجا که پارالاکس منشأ خطا در سنجش‌ها می‌باشد، باید مجدداً اول چشمی تلسکوپ را تنظیم کرد و بعد به فوکوس کردن به وسیله پیچ آن پرداخت تا آزمایش مجدد نشان دهد که دیگر پارالاکس وجود ندارد. اگر نتوان خطای پارالاکس دوربین را با روش‌های فوق حذف نمود می‌بایست دستگاه را به تعمیرگاه مجاز فرستاد و از باز کردن دستگاه خودداری شود.

۵-۴-۱۰ کنترل سالم بودن کمپانساتورها

همانطوری که قبلاً بیان شد، کمپانساتور یک سیستم منشوری یا مغناطیسی اتوماتیک است که همان کار تراز استوانه‌ای یا لوبیایی را در دوربین‌های نقشه‌برداری انجام می‌دهد. به عنوان مثال اگر کمپانساتور به خوبی عمل ننماید و از دقت لازم برخوردار نباشد، خطایی به مراتب بیشتر از تراز یاب‌های غیر اتوماتیک به وجود می‌آورد. کنترل سالم بودن کمپانساتور به دو روش انجام می‌گیرد.

الف- اگر کمپانساتور سالم باشد به هنگام تراز یابی، با فشار دادن دکمه‌ی مخصوص شوک و یا ضربه‌ی آهسته به کمپانساتور، تار افقی وسط تراز یاب نوسان نموده، بالا و پایین می‌رود و بر روی یک عدد ثابت می‌شود در غیر این صورت تار افقی بالا یا پایین رفته به حالت اول بر نمی‌گردد که نشان دهنده خرابی کمپانساتور می‌باشد. بنابراین به هنگام تراز یابی باید به نوسان تار وسط توجه کنیم که اگر این نوسان نباشد اجازه‌ی استفاده از تراز یاب را نداریم.

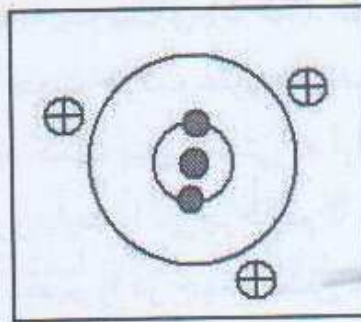
ب- کمپانساتور باید در شش جهت مختلف عمل نموده، خطا ایجاد ننماید به این منظور به روش زیر عمل می‌نماییم:

۱- سه پایه را در فاصله‌ی ۱۰ تا ۲۰ متری از سطح یک دیوار، قرار داده و تراز یاب را روی آن کاملاً تراز می‌کنیم.

۲- سپس مرکز تارهای متقاطع را با نقطه‌ی «A» بر روی سطح دیوار مشخص می‌کنیم.

۳- به وسیله پیچ‌های تراپراک، حباب را مانند شکل (۵-۲۲) دو بار در خلاف جهت هم از مرکز دایره نشانه خارج می‌کنیم (میزان انحراف حباب زیاد نباشد)، در هر بار پس از

خارج شدن حباب از داخل دایره‌ی نشانه به سطح دیوار به نقطه A نگاه می‌کنیم. اگر تار وسط تراز یاب بر روی نقطه‌ی «A» منطبق باشد کمپانساتور سالم است.

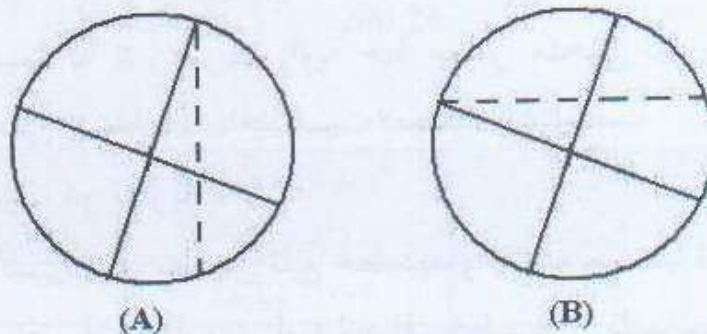


شکل (۵-۲۳): نحوه خارج کردن حباب تراز کروی برای تشخیص سالم بودن کمپانساتور

۵-۴-۱۱ کنترل و تنظیم صفحه تارهای رتیکول

صفحه تارهای رتیکول، یک صفحه شیشه‌ای است که تارهای رتیکول بر روی آن حک شده‌اند و این صفحه بر روی یک قاب فلزی سوار شده و توسط چهار پیچ از اطراف آن کنترل و تنظیم می‌گردد. گاهی اوقات در اثر ضربه یا تکان‌های شدید، این صفحه از تنظیم خارج شده و چرخش پیدا می‌نماید. وضعیت صفحه تارهای رتیکول را به دو طریق می‌توان کنترل نمود:

الف - با یک امتداد قائم دقیق، تار قائم رتیکول را مقایسه می‌کنیم. به این ترتیب که پس از تراز نمودن دستگاه، دوربینی را بطرف امتداد قائم دقیق (مثلاً امتداد نخ شاقول) قرار داده، تار قائم رتیکول را بر روی این امتداد قائم قرار می‌دهیم. اگر تار قائم رتیکول به طور قائم بر روی این امتداد قرار گرفت، صفحه رتیکول چرخش ندارد. در غیر اینصورت صفحه چرخش پیدا کرده و نیاز به تنظیم دارد.

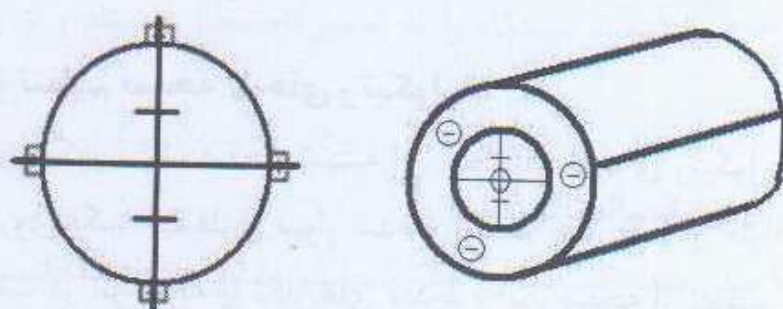


شکل (۵-۲۴): پیچ‌های تنظیم تارهای رتیکول

ب - به کمک یک نقطه کوچک در فاصله ۵۰ تا ۱۰۰ متر از دوربین، قائم رتیکول را مقایسه می‌کنیم. به این ترتیب که پس از تراز نمودن دستگاه، نقطه واضح علامت گذاری شده را روی دیوار، در انتهای یک تار افقی رتیکول نشانه روی می‌نماییم. سپس دوربینی را در صفحه‌ی افقی حرکت می‌دهیم تا نقطه در انتهای دیگر تار افقی رتیکول قرار گیرد. با توجه به شکل (۵-۲۴)،

می‌توان این کار را برای تار قائم نیز انجام داد. در صورتی که نقطه از تار جدا شد، صفحه تارها چرخش پیدا کرده است و نیاز به تنظیم دارد.

برای تنظیم تار قائم رتیکول با توجه به شکل (۵-۲۵)، در پوش پیچ‌های تنظیم صفحه‌ی رتیکول را از روی چشمی، در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت چرخانده و باز می‌کنیم. سپس پیچ‌های تنظیم صفحه‌ی رتیکول را به کمک پیچ گوشتی به آرامی شل می‌کنیم. سپس قسمت چشمی (که صفحه رتیکول در آن قرار دارد) را می‌چرخانیم تا تار قائم رتیکول روی نقطه‌ی مورد نظر قرار بگیرد و در نهایت پیچ‌های تنظیم را در جهت عکس همان قدر که باز کرده بودیم، می‌بندیم. این کنترل را مجدداً انجام می‌دهیم تا تارها دقیقاً قائم شوند.



شکل (۵-۲۵): پیچ‌های تنظیم تارهای رتیکول

۵-۴-۱۲ حساسیت دستگاه و تعیین آن

به طور کلی حساسیت وسیله اندازه‌گیری به صورت زیر تعریف می‌گردد. اگر فرض کنیم وسیله اندازه‌گیری، اندازه کمیت x را به کمک مشاهده پارامتر a تعیین کند و پارامتر a تابعی از x باشد یعنی $a = f(x)$ بر حسب تعریف مشتق جزئی $\frac{da}{dx}$ را حساسیت دستگاه می‌نامند. در نمودار تغییرات a نسبت به x ، ضریب زاویه خط مماس منحنی نیز بیانگر حساسیت دستگاه است. هر چه شیب منحنی بیشتر باشد، حساسیت دستگاه بیشتر است.

← حساسیت در تراز یاب‌ها

در تراز یاب‌ها، اندازه‌گیری روی شاخص تابع خط دید و آن هم مستقیماً تابع محل قرار گرفتن حباب تراز است. میزان تغییرات حباب به زاویه انحراف خط دید یا کلیماسیون، حساسیت تراز یاب را نشان می‌دهد. اگر L طول تغییر مکان حباب و α زاویه مرکزی بر حسب رادیان باشند، می‌توان نوشت:

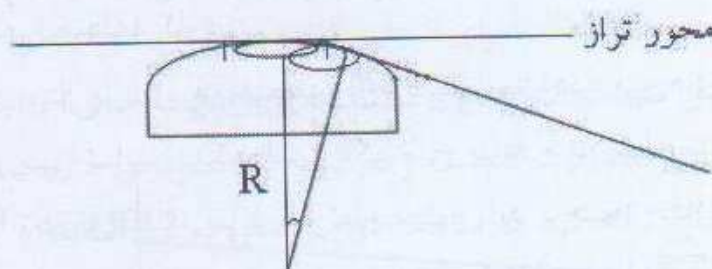
$$L = R \times \alpha \quad \Rightarrow \quad S = \frac{dL}{d\alpha} = R \quad \text{معادله (۵-۹)}$$

بنابراین هر چه شعاع انحناء سطح تراز بیشتر باشد، دوربین حساس تر و دقیق تر خواهد بود. در نتیجه در این نوع ترازها با کوچکترین انحراف حباب خارج شده و عدم تراز را نشان می‌دهد.

حالیکه اگر حساسیت کم باشد، ممکن است حباب تراز با انحرافات بزرگ هم از جایش تکان نخورده و همچنان حالت تراز را نشان دهد. پس به طور خلاصه می‌توان حساسیت تراز را اندازه طول قوسی که حباب تراز بر حسب یک ثانیه تغییر زاویه مرکزی طی می‌کند، تعریف کرد. هر قدر این اندازه بیشتر باشد، حساسیت بهتر است.

۵-۴-۱۳ محاسبه حساسیت تراز در عمل

محور تراز، خط مماس بر حباب تراز در وسط آن است (شکل ۵-۲۶). اگر تراز تنظیم نشده باشد، امتداد مماس بر محور تراز منطبق نیست. در نتیجه با محور تراز زاویه $d\alpha$ را می‌سازد. اگر فرض کنیم حباب تراز به اندازه یک پالس یا دو میلیمتر از حالت وسط منحرف شود، خواهیم داشت.



شکل (۵-۲۶): محاسبه حساسیت تراز دوربین

$$dL = R \times d\alpha \Rightarrow d\alpha = \frac{dL}{R} \Rightarrow d\alpha = \frac{dL}{R} \times \frac{180}{\pi} \times 3600 = \frac{dL}{R} \times 206265$$

$$d\alpha(^{\circ}) = \frac{0.002}{R} \times 206265 = \frac{412.53}{R} \quad \text{معادله (۵-۱۰)}$$

$$dL(mm) = \frac{R \times 1''}{206265} \times 1000 = \frac{R}{206.26}$$

جدول (۵-۲): حساسیت ترازهای مختلف

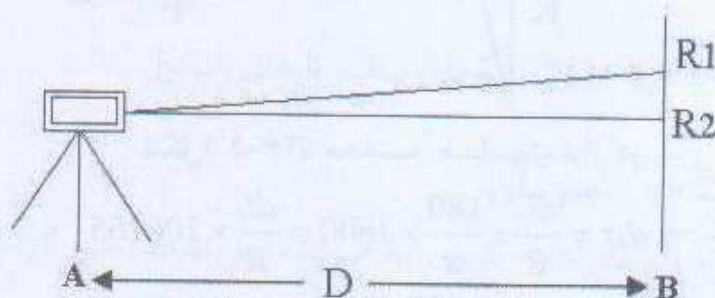
نوع تراز	شعاع انحناء تراز	جابجایی به ازای یک ثانیه انحراف	زاویه انحراف به ازای ۲ mm جابجایی
تراز کروی ساده	۰/۸۵ متر	۰/۰۰۴ میلیمتر	۸'
تراز کروی دقیق	۵/۵۰ متر	۰/۰۲۷ میلیمتر	۷۵"
تراز لوبیایی	۹/۱۷ متر	۰/۰۴۴ میلیمتر	۴۵"
تراز استوانه ای	۱۳/۷۵ متر	۰/۰۵۵ میلیمتر	۳۰"
تراز مهندسی	۲۰/۵۲ متر	۰/۰۹۹ میلیمتر	۲۰"
تراز قائم	۳۱/۷۳ متر	۰/۱۵۴ میلیمتر	۱۳"
تراز T3	۵۸/۹۳ متر	۰/۲۸۵ میلیمتر	۷"
تراز T4	۲۰۵/۲۵ متر	۱/۰۰۰ میلیمتر	۲"

← اندازه گیری حساسیت تراز

برای این منظور، می توان به ترتیب زیر عمل کرد.

- (۱) پس از استقرار، محور تراز استوانه ای را در امتداد محور دیدگانی دوربین قرار می دهیم. (ضرورتی به تراز کردن دوربین نیست)
- (۲) شاخصی را به طور قائم در فاصله D از دوربین قرار داده و تار وسط رتیکول را در حالتی که تلسکوپ افقی است، قرائت می کنیم.
- (۳) تراز را به اندازه n پالس از حالت تراز منحرف کرده و مجدداً تار وسط را قرائت می کنیم.
- (۴) مراحل فوق را حداقل ۱۰ بار تکرار کرده و ۱۰ جفت قرائت خواهیم داشت. معدل تغییر قرائت شاخص در اثر تغییر حباب به اندازه n پالس را بدست آورید. حال حساسیت تراز استوانه‌ای با توجه به شکل (۵-۲۷) از فرمول (۵-۱۱) قابل محاسبه خواهد بود.

$$\Delta R = R_1 - R_2 \quad \Rightarrow \quad d\alpha(") = \frac{\bar{\Delta R}}{n \times D} \times 206265 \quad \text{معادله (۵-۱۱)}$$



شکل (۵-۲۷): عملیات اندازه گیری حساسیت تراز یاب

در این رابطه باید واحدهای فاصله و متوسط اختلاف قرائت روی شاخص، یکسان باشد. در این فرمول حساسیت تراز برحسب ثانیه، ΔR اختلاف قرائت روی شاخص، D فاصله‌ی بین دوربین تا شاخص و n تعداد پالس انحراف حباب تراز می باشد.

۵-۵ موارد انتقال دستگاه به کارخانه

تعمیرات دستگاه می تواند بصورت کلی یا جزئی باشد. منظور از تعمیرات جزئی، تنظیمات دائمی دستگاه می باشد که به مرور زمان دستگاه از تنظیمات استاندارد کارخانه ممکن است خارج شود. اما تعمیرات کلی دستگاه، با از بین رفتن یک قطعه و یا از هم پاشیدن قطعات دستگاه و یا آسیب دیدن جدی آنها نیاز می شود که در کارخانه سازنده یا نمایندگی فروش آنها انجام می شود. در موارد زیر را باید دستگاه تراز یاب به کارخانه منتقل گردد.

- شکسته شدن هر یک عدسی ها و منشورهای موجود در دستگاه

- خالی شدن حباب و محتویات تراز کروی
- صدمه دیدن و یا گیر کردن کمپانساتور دستگاه
- لق شدن پیچ‌های پایه تراپراک در صورتی که با سفت کردن پیچ‌های آن رفع نشود.
- از تنظیم خارج شدن ترازپایب در اثر افتادن ترازپایب از روی سه پایه
- وجود بخار آب و گرد و غبار بیش از اندازه در داخل لوله تلسکوپ
- هرز شدن هر یک از پیچ‌های دستگاه از جمله پیچ‌های فوکوس تصویر و رتیکول

۵-۶ کنترل و تنظیم دستگاه تئودولیت

اولین نسل دستگاه‌های اندازه گیری زاویه، ترانزیت‌ها بودند که علت نامگذاری آن‌ها، استفاده از آنها از حدود سال ۱۵۸۰ میلادی برای مشاهده عبور ستارگان از نصف‌النهار بوده است. ترانزیت‌ها دارای یک تلسکوپ ضعیف و کم دقت برای اندازه گیری زاویه با ورنیه‌ای در حدود ۳۰ دقیقه داشته‌اند. بعدها با تکمیل سیستم نشانه روی (استفاده از تلسکوپ قوی) و سیستم قرائت (دارای میکرومتر اپتیکی)، نام آنرا تئودولیت گذاشته و شرکت ویلد سوئیس با استفاده از حرف اول آن مدل‌های مختلف را به بازار ارائه کرد که ساخت دوربین معروف T2 با اندازه گیری زاویه در حد ثانیه، در سال ۱۹۲۱ میلادی انجام گرفت. از آنجا که تئودولیت‌ها، ظریف‌تر، سبک‌تر و دقیق‌تر از ترانزیت‌ها می‌باشند، امروزه استفاده از ترانزیت‌ها تقریباً منسوخ شده است.



شکل (۵-۲۸): روند رو به رشد ترانزیت‌ها به تئودولیت‌ها

تئودولیت‌ها را می‌توان بر اساس ساختار و روش اندازه گیری به سه دسته تقسیم کرد:
 (الف) تئودولیت‌های مکانیکی، (ب) تئودولیت‌های اپتیکی - مکانیکی و (ج) تئودولیت‌های دیجیتالی

الف) تئودولیت‌های مکانیکی: زاویه‌یاب‌هایی هستند که قرائت زوایای افقی و قائم به کمک یک عدسی و بصورت مستقیم از روی لمب انجام می‌شود. در این زاویه‌یاب‌ها لمب افق و قائم،