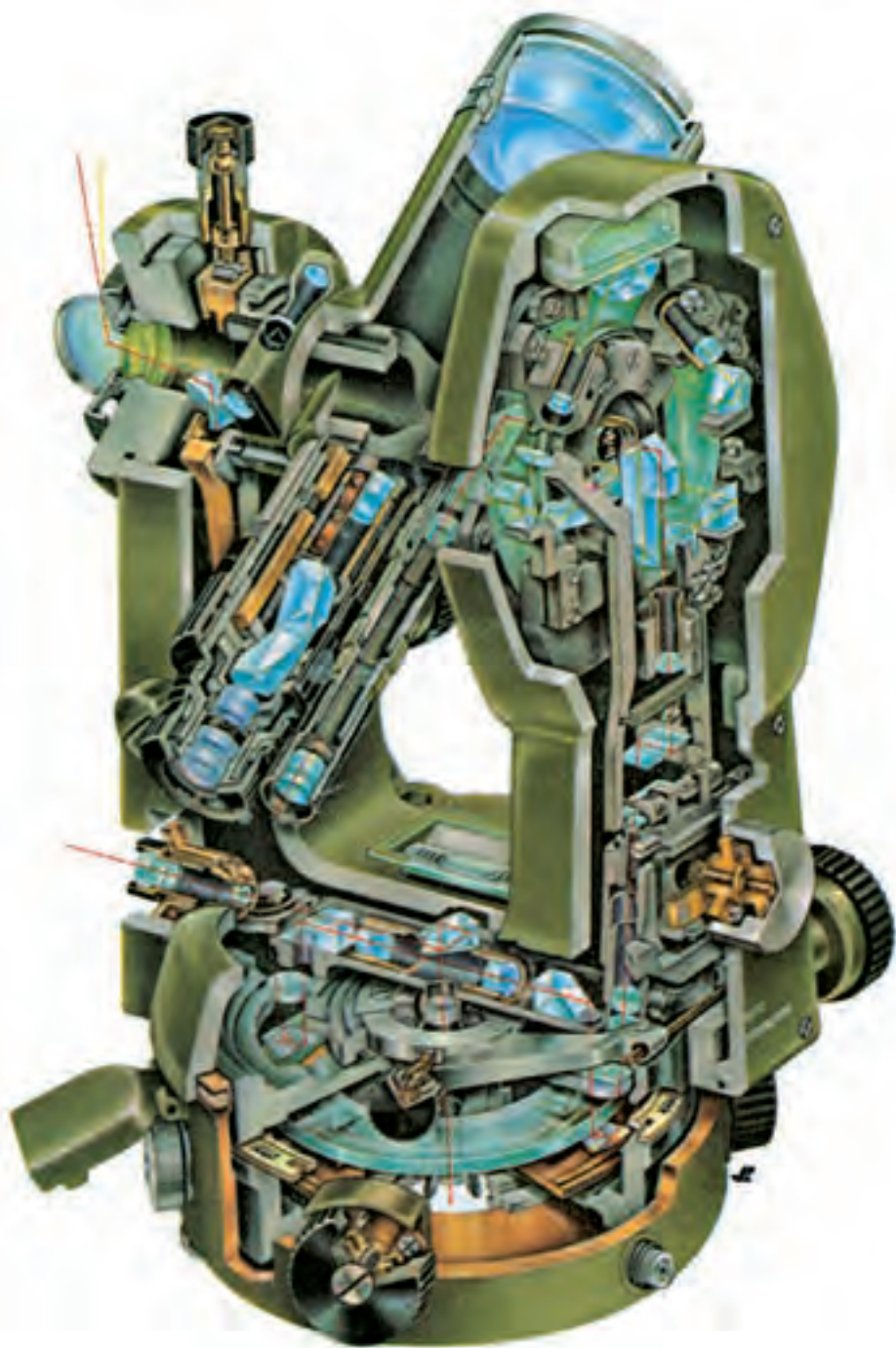


زاویه یاب و زاویه یابی

هدف‌های رفتاری : پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که :

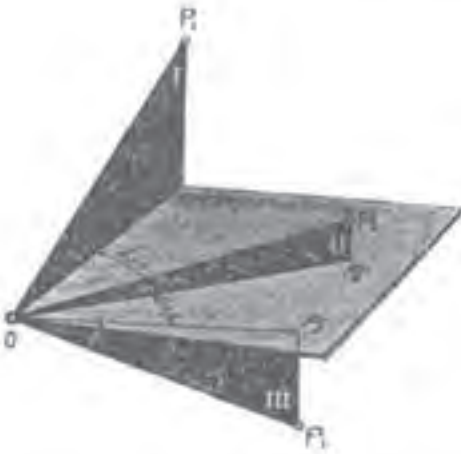
- ۱- دستگاه تئودولیت را توضیح دهد.
- ۲- سه محور تئودولیت را توضیح دهد.
- ۳- اجزای متشکله تئودولیت را توضیح دهد.
- ۴- تئودولیت را روی نقطه مشخص مستقر کند.
- ۵- زوایا را قرائت کند.
- ۶- زوایای شیب و سمت الرأس را توضیح دهد.
- ۷- زاویه شیب را اندازه‌گیری کند.
- ۸- خطاهای اندازه‌گیری زوایای قائم و افقی را تشخیص دهد.
- ۹- فاصله افقی را به طریقه ایستادیمتری با استفاده از دوربین اندازه بگیرد.
- ۱۰- اختلاف ارتفاع دو نقطه را با استفاده از تئودولیت اندازه‌گیری کند.



تئودولیت چیست و چه کاربردی دارد؟ تئودولیت از چه قسمت‌هایی تشکیل شده است؟ چه فرقی بین زاویه افقی و قائم وجود دارد؟ در طبیعت زاویه شیب را چگونه می‌توان اندازه‌گیری کرد؟ فاصله دو نقطه را چگونه می‌توان با تئودولیت به دست آورد؟

زاویه یاب (تئودولیت)

تئودولیت وسیله‌ای است که در نقشه‌برداری برای اندازه‌گیری زوایای افقی و قائم به کار می‌رود. زاویه افقی در صفحه افق و زاویه قائم در صفحه قائم اندازه‌گیری می‌شوند (شکل ۷-۱). این وسیله از سه قسمت اساسی تشکیل شده که عبارتند از: پایه، آلیداد^۲، تلسکوپ، با مقایسه با دستگاه ترازباب در این قسمت یک آلیداد (قطعه U شکل) به منظور ایجاد محوری، برای حرکت دوربین در صفحه قائم اضافه شده است. تئودولیت دارای سه محور است که همدیگر را در یک نقطه (O) قطع می‌کنند (شکل ۷-۲). و به شرح زیرند:



شکل ۷-۱- صفحات افقی و قائم و زوایای افقی و قائم

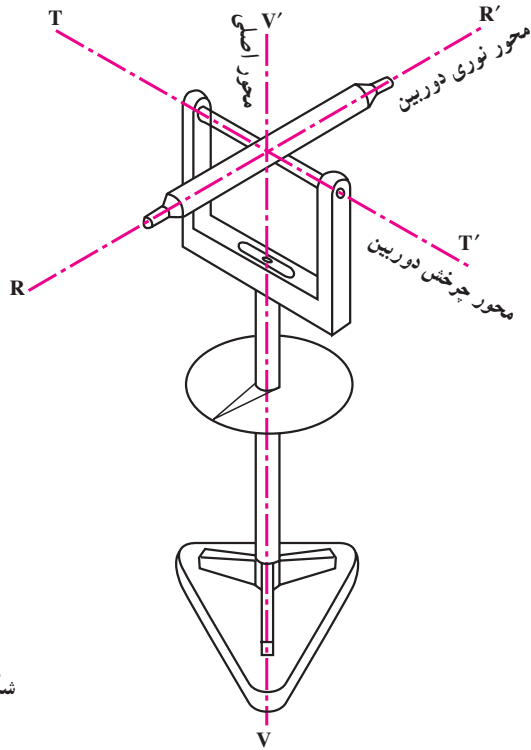
محور نوری دوربین: این محور امتدادی است که محل تقاطع دوتار بلند رتیکول را به مرکز عدسی چشمی متصل می‌کند (محور RR').

محور چرخش دوربین: امتدادی است که تلسکوپ حول آن در صفحه قائم می‌چرخد (محور TT').

محور اصلی دستگاه: امتداد قائمی است که از مرکز تلسکوپ می‌گذرد و بر مرکز لمب افقی عمود است (محور VV').

۱-Theodolite

۲- Alidad



شکل ۲-۷

اجزای تشکیل دهنده تئودولیت

تئودولیت از هفت قسمت عمده‌ی زیر تشکیل شده که عبارتند از:

۱- **تلسکوپ**: لوله‌ای است استوانه‌ای شکل به طول ۲۵-۲۰ سانتیمتر که در داخل آن عدسی شیئی و چشمی، دیافراگم، عدسی میزان، صفحه‌ی رتیکول و پیچ تنظیم تصویر (پیچ فکوس) قرار دارد.

۲- **آلیداد**: یک قطعه فلز U شکلی است که حامل محور چرخش تلسکوپ است. بدین معنی که تلسکوپ می‌تواند حول این محور دوران نماید ضمناً خود آلیداد می‌تواند حول قائم دستگاه (VV') دوران کند.

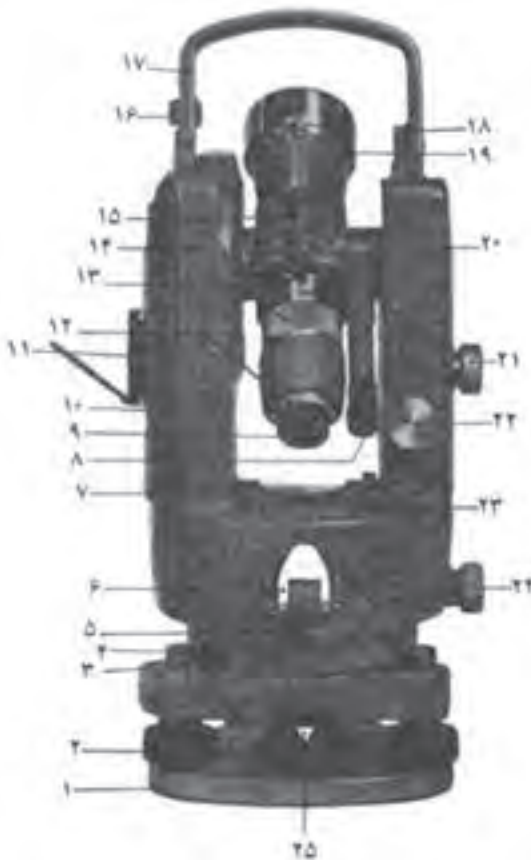
۳- **لمب‌ها**: دو صفحه شیشه‌ای مدرج هستند که یکی به طور افقی و دیگری به طور قائم قرار گرفته و درجات آن‌ها به کمک ورنیه و میکرومتر قرائت می‌شوند.

۴- **ترازها**: برای اینکه بتوانیم محور اصلی دستگاه را منطبق بر امتداد قائم کنیم، بین دو شاخه آلیداد یک تراز استوانه‌ای نصب شده است و در بالای لمب قائم نیز تراز لوبیایی کار گذاشته شده که با پیچ مخصوصی که در زیر آن است، تنظیم می‌شود. در دوربین‌های جدید به جای تراز لوبیایی از کمپنساتور استفاده شده است.

۵- پایه : تئودولیت به وسیله پایه که دارای سه پیچ عاجدار است در وضعیت افقی قرار می‌گیرد.

۶- پیچ‌های کنترل حرکت : برای اینکه حرکت تلسکوپ و آلیداد و لمب افقی قابل کنترل باشد از دو نوع پیچ، یک نوع برای حرکت‌های کلی و نوع دیگر برای حرکت‌های جزئی استفاده شده است.

۷- آئینه : در کنار دستگاه آئینه‌ای تعبیه شده که نور را به طرف داخل دستگاه هدایت می‌کند. این نور به کمک سیستم‌های منشوری و چند عدسی از لمب‌ها عبور کرده و تصویر را درحالتی که باید قرائت شود، به چشمی قرائت که در کنار دوربین قرار گرفته، می‌رساند.



- ۱- صفحه‌ی اتصال تئودولیت به سه پایه
- ۲- پیچ‌های تراز کننده
- ۳- تراز کروی
- ۴- محفظه قرارگرفتن پیچ‌های تراز کننده
- ۵- سکوی قرارگرفتن ضامن
- ۶- ضامن مخصوص قفل کردن نقاله مدرج لمب افقی به آلیداد
- ۷- تراز استوانه‌ای
- ۸- چشمی قرائت زاویه
- ۹- چشمی تلسکوپ
- ۱۰- محفظه گرفتن نور
- ۱۱- آئینه
- ۱۲- پیچ بازکردن چشمی تلسکوپ
- ۱۳- پیچ مخصوص تنظیم همگرایی تلسکوپ
- ۱۴- آلیداد
- ۱۵- وسیله‌ی قراولروی (مگسک)
- ۱۶- پیچ اتصال و دستگیره به آلیداد
- ۱۷- دستگیره برای حمل دوربین
- ۱۸- ضامن آزادکننده دستگیره از آلیداد
- ۱۹- تلسکوپ
- ۲۰- نشانه مخصوص اندازه‌گیری ارتفاع دوربین از زمین
- ۲۱- پیچ قفل کردن حرکت تلسکوپ
- ۲۲- پیچ حرکت خفیف تلسکوپ پس از قفل شدن

- ۲۳- شاقول اپتیکی
- ۲۴- پیچ حرکت جزئی افقی
- ۲۵- ضامن آزادکردن آلیداد از قسمت زیرین

شکل ۳-۷

طرز قرائت زاویه

کارخانه‌های سازنده تئودولیت لمب‌ها را به دو نوع درجه (۳۶۰) و گراد (۴۰۰) تقسیم‌بندی می‌کنند. بر این اساس دوربین‌هایی را که لمب آن‌ها به درجه تقسیم‌بندی شده است، دوربین درجه‌ای و نوع دیگر را دوربین گراد می‌نامند. در شکل (۷-۴) هر دو نوع تقسیم‌بندی به همراه میکرومتر آن‌ها نشان داده شده است. اگر از چشمی قرائت تئودولیت نگاه کنیم دو قسمت درجه‌بندی مشاهده خواهیم کرد که قسمت بالایی نشان دهنده زاویه قائمه (۱۷) و قسمت پایین نشان دهنده زاویه افقی (۲HZ) امتداد است.



زاویه افقی ۲۱۴/۹۶۴ گراد و زاویه قائم ۹۴/۰۶۴ گراد
(گراد ۴۰۰)

زاویه افقی ۵۶/۴' و ۲۳۵° و زاویه قائم ۰۶/۵' و ۹۶°
(درجه ۳۶۰)

شکل ۷-۴

لازم به توضیح است که در تئودولیت‌های جدید شکل (۷-۵) دیگر قرائت زوایا از چشمی قرائت انجام نمی‌گیرد بلکه مقادیر زوایای افقی و قائم مستقیماً از صفحه‌ی نمایش قرائت می‌شود.

۱_ Vertical

۲_ Horizontal



شکل ۵-۷

مستقر کردن تئودولیت بر روی نقطه مشخص

منظور از مستقر کردن تئودولیت بر روی یک نقطه مشخص همانطور که در مورد تراز یاب گفته شد، آن است که تئودولیت را به شکلی قرار دهیم که اولاً محور اصلی دستگاه از آن نقطه مشخص بگذرد، ثانیاً دستگاه تراز شود. طرز عمل به شرح زیر است: ابتدا سه پایه‌ای را به اندازه لازم (قدمان) توسط پیچ‌های تخته پایه تنظیم می‌کنیم و تئودولیت را روی آن سوار می‌کنیم. به کمک شاقول اپتیکی دستگاه را بر روی نقطه مشخص آورده و نوک پایه‌ها را کاملاً در زمین فرو می‌کنیم. با بلند و کوتاه کردن پایه‌ها تراز کروی را تنظیم می‌کنیم. برای تنظیم تراز استوانه‌ای (که بر روی آلیاد قرار دارد) آلیاد را در امتداد دو پیچ تنظیم قرار می‌دهیم. این دو پیچ را در خلاف همدیگر می‌چرخانیم تا حباب در وسط دو خط نشانه قرار گیرد. سپس آلیاد را در امتداد پیچ سوم قرار می‌دهیم و با همین پیچ حباب تراز را بین دو خط نشانه (وسط) تنظیم می‌کنیم، در صورتی که تئودولیت تراز انطباقی هم داشته باشد با پیچ مخصوص که در کنار تراز انطباقی قرار دارد، آن را نیز باید تراز کرد. دستگاه در این حالت تراز شده است. برای اطمینان آلیاد را می‌چرخانیم و تراز را کنترل می‌کنیم. اگر حباب در وسط قرار نگرفته باشد، عملیات بالا را تکرار می‌کنیم.

طرز اندازه گیری زاویه افقی با تئودولیت

برای اندازه گیری زاویه افقی (AOB) پس از قرار دادن تئودولیت روی سه پایه به شرح زیر عمل می کنیم.

۱- ایستگاه گذاری: دستگاه را طوری روی رأس زاویه (O) قرار می دهیم که محور اصلی دستگاه از نقطه ایستگاه بگذرد. سپس دستگاه را تراز می کنیم.

۲- نشانه روی و قرائت: به نقاط روی دو ضلع (A,B) قراولروی کرده و مقادیر مربوط به هر امتداد را قرائت می کنیم R_B و R_A چنانچه مستقیماً به نقاط A و B دید نداشته باشیم، از ژالون استفاده می کنیم.

چنانچه $R_B > R_A$ باشد، داریم: $\hat{A}OB = R_B - R_A$ و چنانچه حین حرکت دوربین بعد از قراولروی به نقطه A تا رسیدن به نقطه B از درجه صفر لمب دستگاه گذشته باشد، در این صورت $R_B < R_A$ داریم:

$$\hat{A}OB = R_B + 36^\circ - R_A \quad (\text{چنانچه لمب برحسب درجه تقسیم بندی شده باشد})$$

$$\hat{A}OB = R_B + 40^\circ \text{gr} - R_A \quad (\text{چنانچه لمب برحسب گراد تقسیم بندی شده})$$

مثال: برای اندازه گیری زاویه $\hat{A}OB$ و $\hat{M}ON$ روی ایستگاه O مستقر شده (شکل ۶-۷)

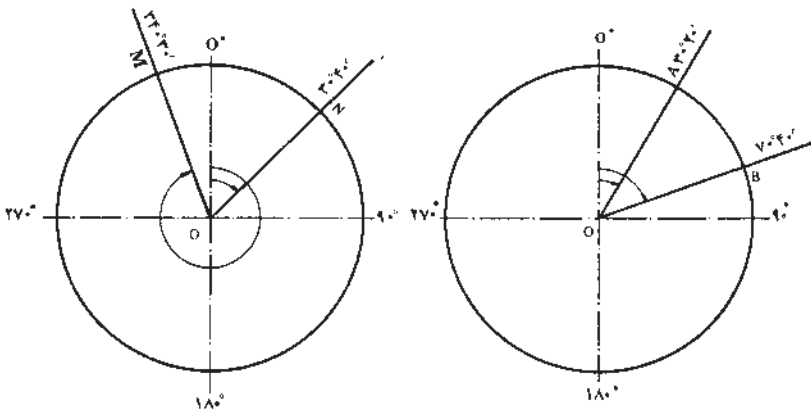
و امتدادهای A, B به ترتیب برابر $R_A = 3^\circ 20'$ و $R_B = 7^\circ 40'$

و امتدادهای M و N به ترتیب $R_M = 34^\circ 30'$ و $R_N = 3^\circ 40'$ قرائت شده است. زوایای

$$\hat{A}OB \text{ و } \hat{M}ON \text{ را محاسبه کنید.} \quad \hat{A}OB = R_B - R_A = 7^\circ 40' - 3^\circ 20' = 4^\circ 20'$$

$$\hat{M}ON = R_N + 36^\circ - R_M \quad \text{چون } R_B > R_A \text{ است پس:}$$

$$\hat{M}ON = 3^\circ 40' + 36^\circ - 34^\circ 30' = 5^\circ 10' \quad \text{چون } R_N < R_M \text{ پس:}$$



شکل ۶-۷

تنظیم تار رتیکول و تصویر

برای اینکه اندازه‌گیری با دقت انجام شود، اولاً باید قبل از قراولروی تار رتیکول را تنظیم کنیم برای این کار کاغذ سفید را جلوی عدسی شیئی می‌گیریم و از داخل چشمی نگاه می‌کنیم و پیچ تنظیم تارهای رتیکول را می‌چرخانیم تا تارهای رتیکول به وضوح و هرچه ممکن است روشن‌تر دیده شوند. و ثانیاً حین عمل قراولروی و قبل از قرائت به کمک پیچ مخصوص عدسی میزان جای تصویر حاصله را تنظیم می‌کنیم (برای اطمینان از تنظیم شدن تصویر چشم را در پشت عدسی چشمی به طرف بالا و پایین حرکت می‌دهیم. وضع تصویر نسبت به تارهای رتیکول نباید تغییر کند. چنانچه تغییری ایجاد شود اصطلاحاً می‌گویند پارالاکس وجود دارد) در این صورت تصویر کاملاً برصنحه رتیکول قرار گرفته است.

صفر صفر کردن تئودولیت

در نقشه برداری معمول است که لمب افقی را در موقع نشانه‌روی به امتداد اول صفر صفر کنند. (درجه و دقیقه لمب و ورنیه صفر باشند) که این کار توسط قفل لمب افقی انجام می‌گیرد. (اصطلاحاً قرائت زاویه افقی بر روی امتداد OA صفر صفر می‌شود.) در این صورت

$$\hat{A}OB = R_B - R_A = R_B - O = R_B$$

قرائت کوپل (زوج)

در اندازه‌گیری زاویه موقعی که می‌خواهند مقدار زاویه دقیقتر به دست آید با دو حالت مستقیم و معکوس دوربین زاویه را می‌خوانند و میانگین می‌گیرند. در حالت مستقیم، لمب قائم در طرف چپ ناظر و در حالت معکوس لمب قائم در طرف راست ناظر قرار می‌گیرد. این دو حالت را اصطلاحاً دایره به چپ و دایره به راست می‌گویند.

$$LR = \frac{200 \text{ gr یا } 18^\circ - \text{قرائت دایره به راست} + \text{قرائت دایره به چپ}}{2}$$

اگر $L < R$ باشد از علامت - در رابطه استفاده می‌شود.

اگر $L > R$ باشد از علامت + در رابطه استفاده می‌شود.

مثال: برای اندازه‌گیری زاویه $\hat{A}OB$ روی ایستگاه O مستقر شده و امتدادهای A و B

در حالت دایره به چپ تئودولیت به ترتیب برابر $L_A = 38^\circ 40'$ و $L_B = 74^\circ 50'$ و در حالت دایره به

راست تئودولیت به ترتیب $R_A = 218^\circ 50'$ و $R_B = 254^\circ 50'$ و قرائت شده است. مطلوبست

محاسبه زاویه $\hat{A}OB$.

$$LR_A = \frac{L_A + R_A - 18^\circ}{2} = \frac{38^\circ 45' + 218^\circ 50' - 18^\circ}{2} = 38^\circ 45'$$

$$LR_B = \frac{L_B + R_B - 18^\circ}{2} = \frac{74^\circ 50' + 254^\circ 50' - 18^\circ}{2} = 74^\circ 50'$$

$$\hat{AOB} = LR_B - LR_A = 74^\circ 50' - 38^\circ 45' = 36^\circ 5'$$

برای جلوگیری از اشتباه و همچنین برای محاسبات از جدول زیر استفاده می‌کنیم.

جدول ۱-۷

تاریخ:		فرم قرائت زاویه				شماره صفحه	
ساعت:						عامل:	
وضعیت هوا:						نوع و شماره دستگاه	
ایستگاه	نقاط قراولروی	دایره به چپ	دایره به راست	میانگین	مقدار زاویه	کروکی	
O	A	38°40'	218°50'	38°45'	36°5'		
	B	74°50'	254°50'	74°50'			

زوایای شیب و سمت الرأس

وضع هر امتداد را در صفحه‌ی قائم با یکی از دو زاویه شیب (زاویه قائم) (α) یا سمت الرأس (زاویه زینتی) (Z) می‌توان مشخص کرد. پس می‌توان گفت دو نوع زاویه قائم داریم که عبارتند از:

– زاویه شیب یک امتداد، زاویه ایست که آن امتداد با صفحه افق می‌سازد (α) .

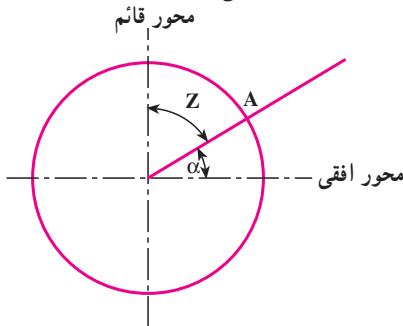
– زاویه سمت الرأس یک امتداد، زاویه ایست که

آن امتداد با خط قائم می‌سازد (Z) .

بنابراین می‌توان گفت زوایای شیب و سمت

الرأس متمم یکدیگرند.

$$a + z = 90^\circ = 100^\circ \text{ gr}$$

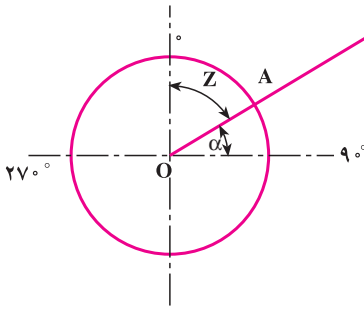


شکل ۷-۷

روش اندازه‌گیری زاویه شیب

در بعضی از تودولیت‌ها وقتی دوربین در حالت افقی است، زاویه لمب قائم صفر (و در حالت معکوس 18° یا 200° گراد) قرائت می‌شود و در بقیه دوربین‌ها در حالت افقی زاویه قائم 90° یا 100° (و در حالت معکوس 27° و یا 300° گراد) قرائت می‌شود. با توجه به این مطلب می‌توان زاویه شیب یک امتداد را به طریق زیر اندازه‌گیری کرد.

تار افقی رتیکول را روی نقطه‌ای که زاویه‌ای که می‌خواهیم زاویه آن را پیدا کنیم، می‌گذاریم و عدد لمب قائم را قرائت می‌کنیم. اختلاف این مقدار و قرائت لمب قائم در حالت افق زاویه شیب را به ما می‌دهد.



شکل ۸-۷
۱۸۰°

مثال: اگر زاویه قائم امتداد OA برابر 6° قرائت شود و دوربین وقتی در حالت افقی است برابر 90° باشد، زاویه شیب امتداد OA را حساب کنید.

در اندازه‌گیری زاویه قائم نیز مانند زاویه افقی برای دقیق‌تر بودن نتیجه می‌توان زاویه را در حالت دایره به چپ و دایره به راست دوربین قرائت کرد. سپس قرائت دایره به راست را از 36° یا 400° گراد کم می‌کنیم و با قرائت دایره به چپ میانگین می‌گیریم. اگر قرائت دایره به چپ را به V_L و قرائت دایره به راست V_R نمایش دهیم مقدار زاویه برابر خواهد بود با:

$$V = \frac{V_L + (360 - V_R)}{2}$$

خطاها در اندازه‌گیری زوایای افقی و قائم

خطاهایی را که در اندازه‌گیری زوایا پیش می‌آیند به دو دسته تقسیم می‌کنند که عبارتند از: خطاهای دستگاهی و خطاهای عملیاتی: به کمک روش‌های مختلف خواندن زاویه (قرائت ساده - کوپل - تکرار) برای کارهای دقیق می‌توان خطاهای دستگاهی را کاهش و یا حذف کرد و برای کارهای کم دقت قابل صرف‌نظر کردن هستند. در اینجا بخش دیگر خطاها یعنی خطاهای عملیاتی باید مورد توجه قرار گیرند. به این ترتیب که ضمن عملیات باید سعی کرد که از پیش آمدن آن‌ها احتراز شود. مهمترین این خطاها عبارتند از:

- ۱- خطای قائم نبودن محور اصلی
- ۲- خطای ایستگاه گذاری
- ۳- خطای ثابت نبودن دستگاه در موقع اندازه‌گیری
- ۴- خطای نشانه روی
- ۵- خطای قرائت

اندازه گیری طول به روش ایستادیمتری

در این روش با استفاده از دستگاه تئودولیت و شاخص، فاصله به دست می آید. فرض کنید می خواهیم فاصله افقی بین دو نقطه A, B را اندازه گیری کنیم. دوربین را در ایستگاه A مستقر می کنیم و در نقطه B شاخص را به طور قائم نگه می داریم. شکل (۷-۹) سپس به شاخص نشانه روی کرده و تار بالا (L_1) و تار پایین (L_2) رتیکول را قرائت می کنیم. چنانچه زاویه شیب امتداد AB برابر α باشد با توجه به شکل خواهیم داشت:

$$L = L_1 - L_2$$

$$D' = KL \cos \alpha$$

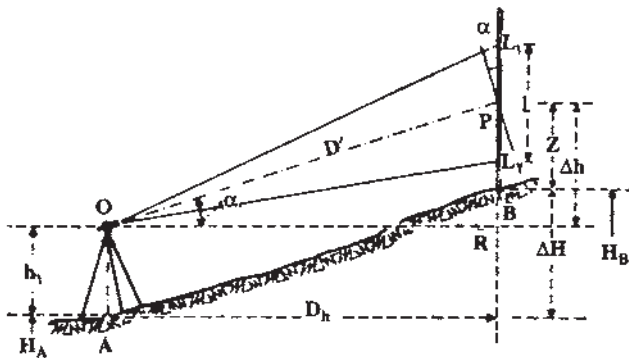
$$D_h = (KL \cos \alpha) \cos \alpha = KL \cos^2 \alpha$$

که عدد ثابت K معمولاً برای اکثر دوربین ها برابر 100 است که آن را ضریب ایستادیمتری می نامند. بنابراین داریم:

$$D_h = 100 \cdot L \cos^2 \alpha$$

در اندازه گیری فاصله چنانچه امتداد شاخص بر امتداد قراولروی عمود باشد، زاویه شیب برابر صفر است. (در ترازباب این حالت به طور طبیعی وجود دارد) و در این صورت:

$$D_h = 100 \cdot L \cos^2 0^\circ \Rightarrow D_h = 100 \cdot L(1)^2$$



شکل ۷-۹

تعیین اختلاف ارتفاع به روش ایستادیمتری (ترازیابی مثلثاتی)

برای به دست آوردن اختلاف ارتفاع دو نقطه A, B در شکل (۷-۱۰) چنانچه ارتفاع دوربین h_1 و قرائت تار وسط Z باشد، با توجه به مثلث OPR خواهیم داشت:

$$OP = D' = 100 \cdot L \cos \alpha$$

$$PR = OP \sin \alpha = (100 \cdot L \cos \alpha) \sin \alpha = 100 \cdot L \sin \alpha \cos \alpha$$

$$\Delta H = 100 \cdot L \sin \alpha \cos \alpha + h_1 - Z$$

و چنانچه ارتفاع دوربین (Z) با قرائت تار وسط برابر باشند خواهیم داشت:

$$h_1 = Z$$

$$\Delta H = 100 \cdot L \sin \alpha \cos \alpha$$

مثال: برای اندازه گیری فاصله افقی و اختلاف ارتفاع نقاط A, B روی نقطه A ایستگاه گذاری

کرده و شاخص را در نقطه B قرار داده ایم و تار بالا $L_1 = 157 \text{ mm}$ و تار پایین $L_2 = 52 \text{ mm}$ و زاویه قائم 8° و ارتفاع دستگاه $1/55$ متر و تار وسط $Z = 104 \text{ mm}$ قرائت شده است. مطلوب است محاسبه فاصله و اختلاف ارتفاع نقاط A, B.

$$L = L_1 - L_2 = 157 - 52 = 105 \text{ mm} = 1/05 \text{ m}$$

$$D_h = 100 \cdot L \cos^2 \alpha = 100 \times 1/05 \times \cos^2 8^\circ = 102/96 \text{ m}$$

$$\Delta H_{AB} = 100 \cdot L \sin \alpha \cos \alpha + h_1 - Z = 100 \times 1/05 \times \sin 8^\circ \times \cos 8^\circ + 1/55 - 1/04$$

$$\Delta H_{AB} = 14/98 \text{ m}$$

خودآزمایی

- ۱- سه محور تئودولیت را نام ببرید.
- ۲- زاویه شیب و زاویه سمت الرأس را تعریف کنید.
- ۳- زاویه‌ی شیب به دست آمده در سؤالات فصل ۲ به وسیله شیب سنج را با استفاده از دوربین تئودولیت به دست آورید آیا مقادیر یکسان است؟ چرا؟

مسائل

- ۱- چنانچه زاویه سمت الرأس امتدادی برابر $25^{\circ}30'$ باشد زاویه شیب آن را برحسب گراد حساب کنید. (با استفاده از جداول ضمیمه آخر کتاب)
- ۲- برای اندازه‌گیری زاویه $\hat{A}OB$ روی ایستگاه O مستقر شده و در امتداد A در حالت دایره به چپ دوربین عدد $35/75^{\text{gr}}$ و روی امتداد B عدد $120/25^{\text{gr}}$ و در حالت دایره به راست دوربین روی امتداد A عدد $235/754^{\text{gr}}$ و روی امتداد B عدد $320/256^{\text{gr}}$ را قرائت کرده‌ایم. مطلوب است محاسبه زاویه $\hat{A}OB$.
- ۳- برای به دست آوردن فاصله افقی و اختلاف ارتفاع دو نقطه A, B روی نقطه A مستقر شده و روی نقطه B شاخص را به طور قائم نگه داشته‌ایم و تار بالا 317°mm و تار پایین 175°mm و تار وسط را 225°mm قرائت کرده‌ایم. چنانچه ارتفاع دوربین $1/5^{\circ}$ متر و قرائت زاویه قائم $82/5^{\circ}$ گراد باشد، مطلوب است محاسبه فاصله افقی و اختلاف ارتفاع نقاط A و B.