تعیین ارتفاع نقاط :در بسیاری از کارهای ترازیابی فقط به اختلاف ارتفاع نقاط نیازمندیم، اما در مواردی علاوه بر اختلاف ارتفاع می‌خواهیم ارتفاع نقاط را نیز تعیین کنیم. ارتفاع نقاط به دو صورت تعریف می‌شوند :

ـ *ارتفاع مطلق:* ارتفاع یک نقطه از سطح مبنا (سطح متوسط دریاهای آزاد M.S.L) را ارتفاع مطلق آن نقطه می‌نامند و برای محاسبه آن باید از سطح متوسط دریاهای آزاد تا نقطه‌ی مورد نظر ترازیابی تدریجی انجام گیرد. در این حالت اختلاف ارتفاع نقطه از سطح مبنا همان ارتفاع مطلق نقطه می‌باشد. از آن‌جا که این کار بسیار مشکلی است در هر کشور توسط دولت یا سازمان‌های ذیربط تعدادی نقاط در سراسر کشور ایجاد شده‌اند و ارتفاع مطلق آن‌ها توسط ترازیابی دقیق به‌دست آمده است. این نقاط بنچمارک‌های ارتفاعی هستند که با علامت اختصاری B.M مشخص شده‌اند. درانجام پروژه‌های بزرگ و دقیق به نزدیکترین B.M مراجعه می‌شود و از ان B.M تا یکی از نقاط پروژه ترازیابی تدریجی انجام می دهند تا ارتفاع مطلق آن نقطه از پروژه به‌دست آید و با استفاده از آن، ارتفاع سایر نقاط پروژه را تعیین کنند.

ـ *ارتفاع نسبی:* معمولاً در پروژه های کوچک نیاز به‌ارتفاع مطلق وجود ندارد وکافی است یک نقطه ثابت و محکم در محلی که محفوظ باشد ایجاد کنیم وارتفاع دلخواهی را برای آن در نظر بگیریم (مثلاً ۱۰۰ یا ۱۰۰۰ یا...) و ارتفاع سایر نقاط را نسبت به این نقطه به‌دست آوریم. در این صورت به نقطه‌ی ثابتی که مبنای ارتفاعات شده بنچمارک اختیاری می‌گویند و ارتفاع نقاط پروژه که نسبت به این بنچمارک به‌دست آمده ارتفاع نسبی نامیده می‌شود.

به‌طورکلی اگر ارتفاع نقطه‌یA معلوم باشد و اختلاف ارتفاع آن با نقطه‌ی B ($\Delta H_{A,B}$) نیز در دست باشد می‌توانیم ارتفاع نقطه‌ی B را از رابطه‌ی زیر محاسبه نماییم :

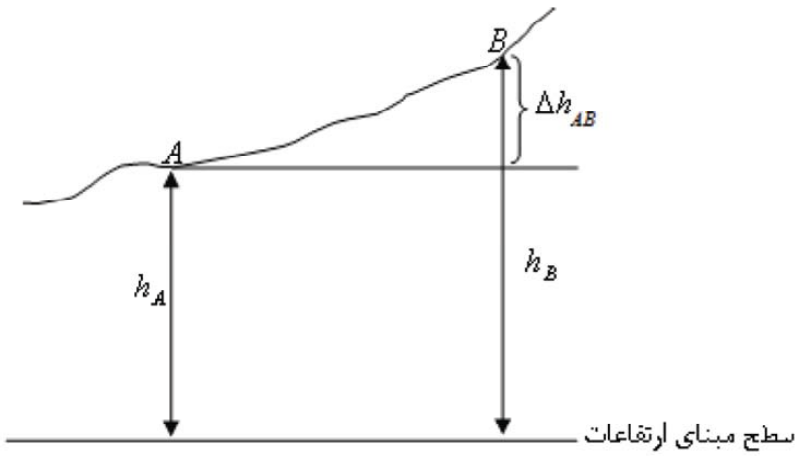
$$H_B = H_A + \Delta H_{A,B}$$

تعیین ارتفاع نقاط به دو روش امکان دارد:

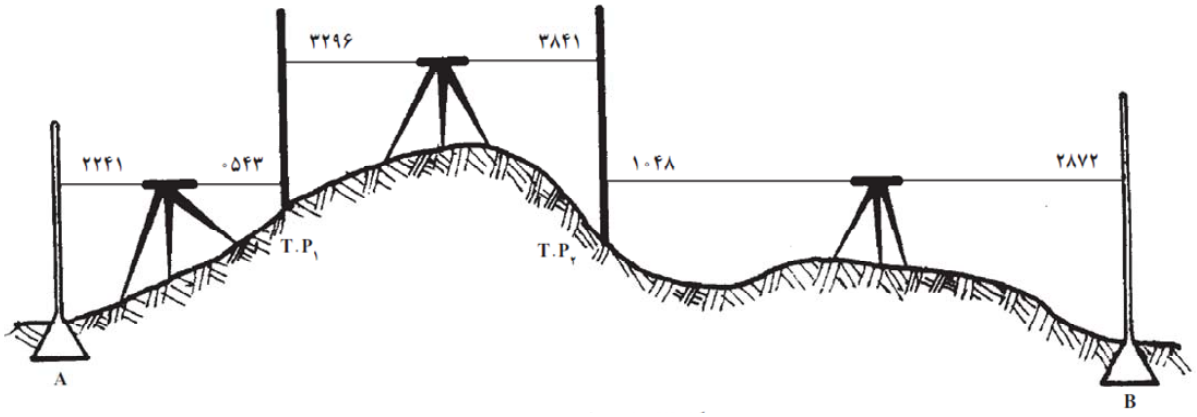
۱- به روش فراز و نشیب

۲- با استفاده از ارتفاع خط دید

۱- تعیین ارتفاع نقاط به روش فراز و نشیب



$$HB = HA + \Delta HA, B$$



محاسبه‌ی ارتفاع نقاط به روش فراز و نشیب

در ترازیابی تدریجی هرگاه ارتفاع نقاط موقت ($H_{T.P}$) نیز مهم باشد می‌توانیم ارتفاع آن‌ها را نیز محاسبه نماییم. بدین منظور جدول محاسبه‌ای را که برای آن رسم کرده بودیم توسعه می‌دهیم و ارتفاع نقطه‌ی A را به دلخواه ۱۰۰ متر فرض می‌کنیم تا بتوانیم ارتفاع نقاط موقت و نقطه‌ی B را محاسبه نماییم. بنابراین یک ستون ارتفاع (H) نیز به آن اضافه می‌کنیم

روش محاسبه به این ترتیب است که ابتدا ΔH بین هر دو نقطه را محاسبه می‌کنیم. برای نقاط A و $T.P_۱$ داریم :

$$\Delta HA._{T.P_۱} = ۲۲۴۱ - ۰۵۴۳ = +۱۶۹۸$$

چون این مقدارمثبت است در ستون اول ΔH آن‌را می‌نویسیم. برای نقاط $T.P_۱$ و $T.P_۲$ داریم :

$$\Delta H_{T.P_۱\ T.P_۲} = ۳۲۹۶ - ۳۸۴۱ = -۰۵۴۵$$

چون این مقدارمنفی است آن را در ستون دوم ΔH می‌نویسیم. برای نقاط $B,T.P_۲$ داریم :

$$\Delta H_{T.P_۲} \text{ و } B = ۱۰۴۸ - ۲۸۷۲ = -۱۸۲۴$$

این مقدار نیز منفی است و در ستون دوم ΔH نوشته می‌شود.

برای محاسبه‌ی ارتفاع نقاط از اختلاف ارتفاع های به‌دست آمده استفاده می‌کنیم.

برای $T.P_۱$ داریم :

$$H_{T.P_۱} = H_A + \Delta H_A \text{ و } T.P_۱$$
$$= ۱۰۰۰۰۰ + ۱۶۹۸ = ۱۰۱۶۹۸ \text{ mm}$$

برای $T.P_۲$ داریم :

$$H_{T.P_۲} = H_{T.P_۱} + \Delta H_{T.P_۱} \text{ و } T.P_۲$$
$$= ۱۰۱۶۹۸ + (-۰۵۴۵) = ۱۰۱۱۵۳ \text{ mm}$$

برای B داریم :

$$HB = H_{T.P_۲} + \Delta H_{T.P_۲} \text{ و } B = ۱۰۱۱۵۳ +$$
$$(-۱۸۲۴) = ۹۹۳۲۹ \text{ mm}$$

این روش محاسبه جدول که درآن از ΔHهای مثبت (فراز) و ΔHهای منفی (نشیب) استفاده می شود اصطلاحاً روش فراز و نشیب نامیده می‌شود و معمولاً جداول ترازیابی به این صورت

محاسبه می‌شوند. در صورتی که نیازی به محاسبه‌ی ارتفاع نقاط T.P بین دو نقطه A و B نباشد و یا قصد کنترل محاسبات را داشته باشیم. (که این کار در محاسبات مختلف کارهای نقشه‌برداری صددرصد ضروری و الزامی است) مجموع قرائت‌های عقب و مجموع قرائت‌های جلو را به‌دست آورده و در زیر هر ستون می‌نویسیم سپس اختلاف آن‌ها را محاسبه کرده به ارتفاع نقطه‌ی A اعمال می‌کنیم داریم :

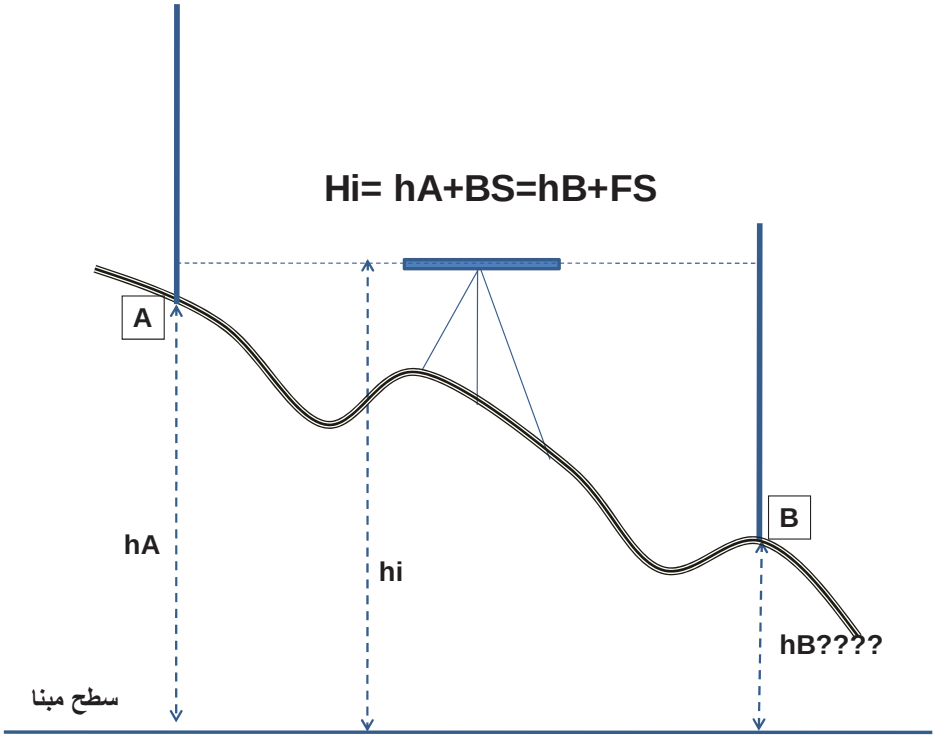
$$H_B = H_A + \Delta H_{A,B} = ۱۰۰۰۰۰ + (۶۵۸۵ - ۷۲۵۶) = ۹۹۳۲۹$$

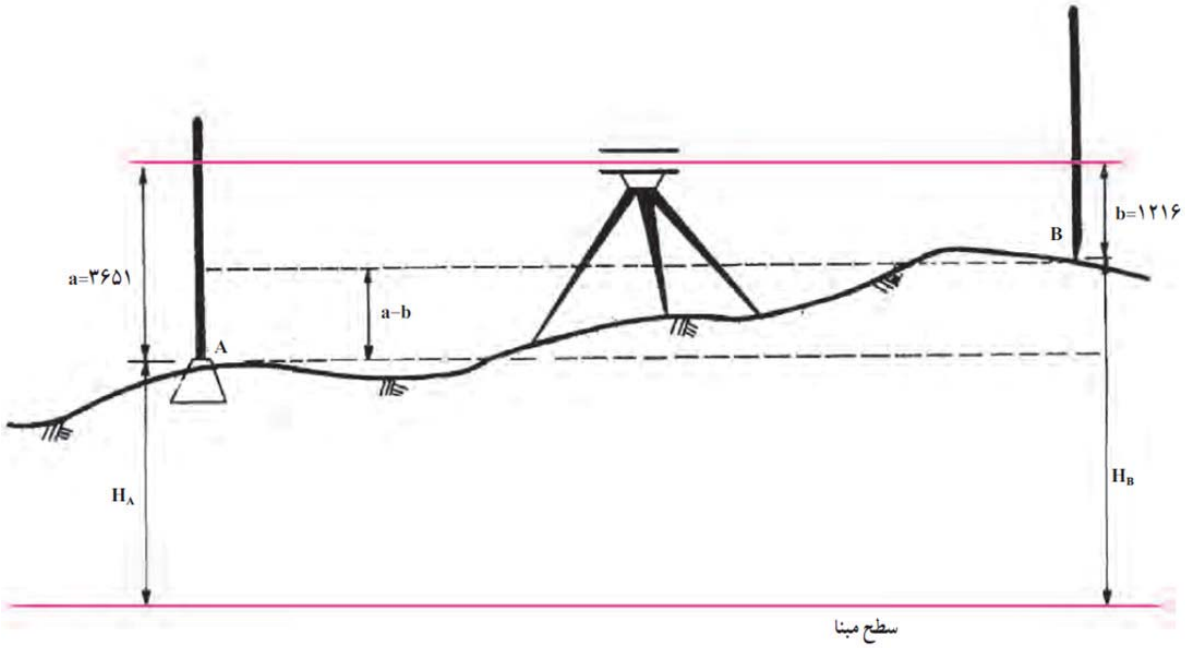
به این روش محاسبه، روش« محاسبه ازمبنا» نیز می‌گویند همان طور که ملاحظه می کنید ارتفاع به‌دست آمده برای نقطه B از هردو روش برابر ۹۹۳۲۹ می‌باشد و این نشان می‌دهد که هر دو روش محاسبه صحیح انجام شده است.

به‌طور کلی جدول فراز و نشیب دارای این مزیت است که شکل زمین بین دو نقطه را از نظر سربالا بودن یا سرازیر بودن نشان می‌دهد. اما از آن‌جا که ارتفاع هر نقطه را از روی نقطه‌ی قبلی محاسبه می‌کنیم در نتیجه اگر روی محاسبه‌ی یک نقطه دچار اشتباه شویم، این اشتباه روی همه‌ی نقاط بعدی تأثیر خواهد گذاشت به همین دلیل معمولاً از روش دیگری جهت محاسبه‌ی ارتفاعات استفاده می‌شود که در آن بدون محاسبه‌ی اختلاف ارتفاعات، به طور مستقیم ارتفاع نقاط را محاسبه می‌کنیم. برای این کار از ارتفاع خط دید ترازیاب استفاده می‌کنیم، که اصطلاحاً به این روش محاسبه‌ی جدول، «محاسبه به روش ارتفاع دستگاه» می‌گویند.

نام نقطه N	قرائت عقب B.S	قرائت جلو F.S	اختلاف ارتفاع ΔH +	اختلاف ارتفاع ΔH −	ارتفاع H
A	۲۲۴۱				۱۰۰۰۰۰
$T.P_1$	۳۲۹۶	۰۵۴۳	۱۶۹۸		۱۰۱۶۹۸
$T.P_2$	۱۰۴۸	۳۸۴۱		۰۵۴۵	۱۰۱۱۵۳
B		۲۸۷۲		۱۸۲۴	۹۹۳۲۹
مجموع	۶۵۸۵	۷۲۵۶		۰۶۷۱	

تعیین ارتفاع نقاط با استفاده از خط دید دوربین (Instrument)





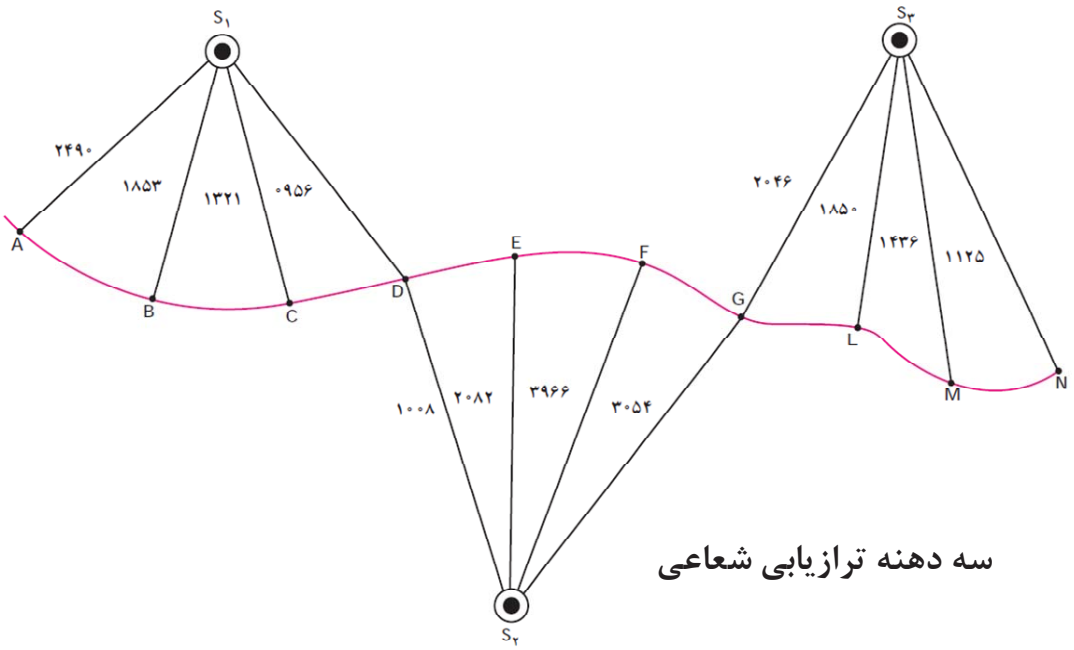
$$HI = H_A + a = ۱۰۰۰ + ۳۶۵۱ = ۱۰۰۳۶۵۱$$

و ارتفاع نقطه‌ی مجهول B ،برابر است با :

$$H_B = HI - b = ۱۰۰۳۶۵۱ - ۱۲۱۶ = ۱۰۰۲۴۳۵$$

(۳) ترازیابی شعاعی

ترازیابی شعاعی در کار هایی مانند تهیه پروفیل های طولی و عرضی از یک مسیر راه یا کانال استفاده می شود. در این روش با یک مرتبه استقرار دوربین می توان ارتفاع چند نقطه دیگر را به دست آورد. ترازیابی از نقطه ای که ارتفاع آن معلوم است با قرائت عقب شروع می شود. اولین قرائت را قرائت عقب و آخرین قرائت را قرائت جلو می نامند. سایر قرائت های بین این دو را قرائت های میانی می نامند. به این ترتیب در جدول این روش ترازیابی ستونی به نام قرائت میانی (Intermediate sight) با علامت (IS) اضافه می گردد.



سه دهنه ترازیابی شعاعی

همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌کنید در ایستگاه S_1 دوربین ترازیاب پس از استقرار چهار قرائت انجام داده است. اولین قرائت را روی میر مستقر در A انجام داده است که به آن قرائت عقب می‌گوییم و آخرین قرائت را در ایستگاه S_1 روی نقطه‌ی D انجام داده و به آن قرائت جلو می‌گوییم. به قرائت‌های انجام شده بین این دو قرائت، اصطلاحاً قرائت وسط می‌گوییم، یعنی روی نقطه‌ی B و نقطه‌ی C قرائت وسط انجام داده است. همچنین در ایستگاه S_2 بر روی نقاط E و F و در ایستگاه S_3 بر روی نقاط L و M قرائت وسط انجام داده است.

در جدول زیر اندازه‌ها را ثبت کرده و به روش فراز ونشیب ارتفاع نقاط را محاسبه کرده‌ایم :

در این‌جا محاسبات انجام شده را به اختصار نوشته‌ایم تا نحوه تکمیل کردن جدول مشخص شود. برای محاسبه‌ی اختلاف ارتفاع هر دو نقطه کافی است قرائت های انجام شده روی آن‌ها را از هم کم کنیم :

ΔH_{AB} = قرائت روی A − قرائت روی B

= ۲۴۹۰ − ۱۸۵۳ = ۰۶۳۷

ΔH_{BC} = قرائت روی B − قرائت روی C

= ۱۸۵۳ − ۱۳۲۱ = ۰۵۳۲

ΔH_{CD} = قرائت جلو روی C − قرائت روی D

= ۱۳۲۱ − ۰۹۵۶ = ۰۳۶۵

ΔH_{DE} = قرائت روی D − قرائت عقب روی E

= ۱۰۰۸ − ۲۰۸۲ = − ۱۰۷۴

ΔH_{EF} = قرائت روی E − قرائت روی F

= ۲۰۸۲ − ۳۹۶۶ = −۱۸۸۴

ΔH_{FG} = قرائت جلو روی F − قرائت روی G

= ۳۹۶۶ − ۳۰۵۴ = ۰۹۱۲

ΔH_{GL} = قرائت روی G − قرائت عقب روی L

= ۲۰۴۶ − ۱۸۵۰ = ۰۱۹۶

ΔH_{LM} = قرائت روی L − قرائت روی M

= ۱۸۵۰ − ۱۴۳۶ = ۰۴۱۴

ΔH_{MN} = قرائت روی M − قرائت روی N

= ۱۴۳۶ − ۱۱۲۵ = ۰۳۱۱

برای محاسبه‌ی ارتفاع هر نقطه ارتفاع نقطه‌ی قبلی را با اختلاف ارتفاع دو نقطه جمع می‌کنیم مثلاً :

$H_B = H_A + \Delta H_{AB}$ = ۱۰۰۰۰۰ + ۰۶۳۷

= ۱۰۰۶۳۷m

$H_C = H_B + \Delta H_{BC}$ = ۱۰۰۶۳۷ + ۰۵۳۲

= ۱۰۱۱۶۹m

$H_N = H_M + \Delta H_{MN}$ = ۱۰۰۰۹۸ + ۰۳۱۱

= ۱۰۰۴۰۹

نام نقطه NO	قرائت عقب B.S	قرائت وسط M.S	قرائت جلو F.S	اختلاف ارتفاع ΔH +	اختلاف ارتفاع ΔH −	ارتفاع H	
A	۲۴۹۰					۱۰۰۰۰۰	
B		۱۸۵۳		۰۶۳۷		۱۰۰۶۳۷	
C		۱۳۲۱		۰۵۳۲		۱۰۱۱۶۹	S1
D	۱۰۰۸		۰۹۵۶	۰۳۶۵		۱۰۱۵۳۴	
E		۲۰۸۲			۱۰۷۴	۱۰۰۴۶۰	
F		۳۹۶۶			۱۸۸۴	۹۸۵۷۶	S2
G	۲۰۴۶		۳۰۵۴	۰۹۱۲		۹۹۴۸۸	
L		۱۸۵۰		۰۱۹۶		۹۹۶۸۴	
M		۱۴۳۶		۰۴۱۴		۱۰۰۰۹۸	S3
N			۱۱۲۵	۰۳۱۱		۱۰۰۴۰۹	

بررسی خطا ها در ترازیابی هندسی (مستقیم)

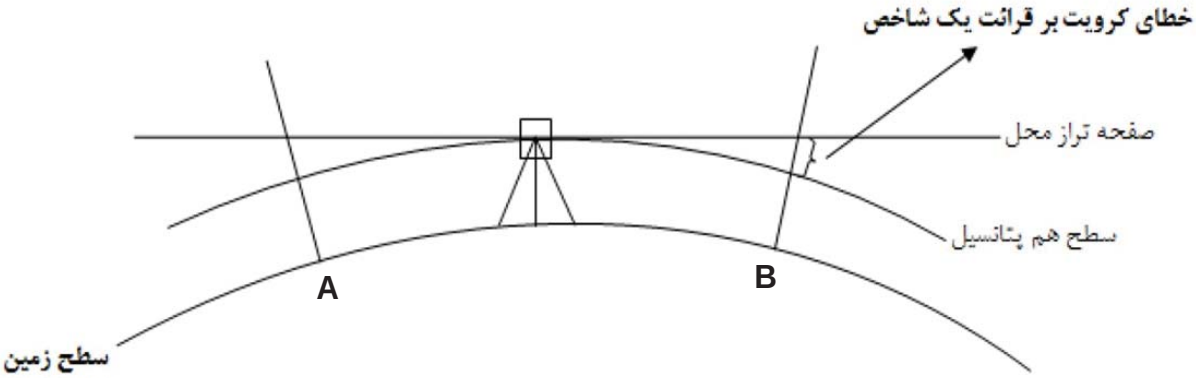
در ترازیابی همچون سایر اندازه گیری ها همواره با اشتباهات و خطا هایی مواجه هستیم که باعث عدم تساوی بین نتایج حاصل از اندازه گیری و مقادیر واقعی ارتفاع می شود. بنابراین لازم است با شناخت این خطا ها و به کارگیری روش های کنترلی، اشتباهات را برطرف نماییم و خطا ها را به حداقل برسانیم.

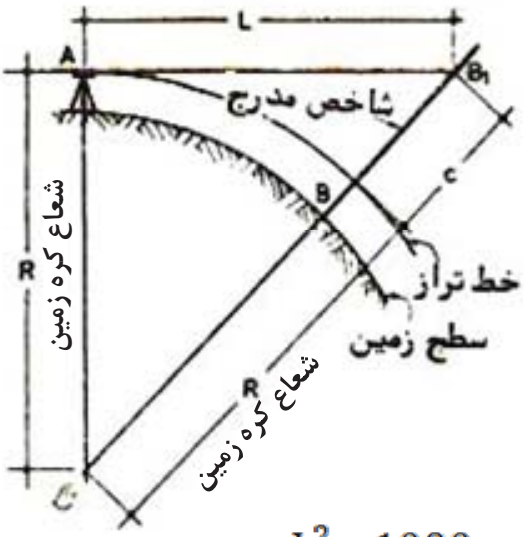
عوامل اصلی خطا در ترازیابی در سه دسته خلاصه می شوند:

- عوامل طبیعی شامل: کرویت زمین، انکسار نور در هوا، تشعشع خورشید، وزش باد، و تغییر ناگهانی دمای هوا.
- عوامل دستگاهی شامل: میزان نبودن تراز دستگاه، افقی نشدن محور دیدگانی دستگاه، صحیح نبودن طول شاخص و یا درجه بندی آن، ناپایدار بودن سه پایه و ... .
- عوامل انسانی شامل: تراز نکردن کامل دستگاه، عدم پایداری تکیه گاه شاخص، قائم نگرفتن شاخص، از بین نرفتن کامل پارالاکس (وضوح دید تصویر شاخص و تارهای رتیکول) و خطا در قرائت شاخص.
- برای مقابله با عوامل جوی باید زمان مناسبی را برای کار ترازیابی انتخاب کرد تا اثرات تغییر دما و تشعشع خورشید در آن کمترین دخالت را داشته باشد (بهترین زمان صبح زود از ابتدای روشنایی هوا تا یک ساعت قبل از ظهر و بعد از ظهر از ساعت حدود ۳ تا رسیدن تاریکی است). در هنگام وزش بادهای شدید، ترازیابی به ویژه در کار های دقیق، نباید انجام گیرد. کرویت و انکسار نور باعث ایجاد خطای سیستماتیک می شود که باید اثر آن ها در اندازه گیری ها و نتایج کار دخالت داده شود.
- در مورد عوامل دستگاهی باید حتی المقدور دستگاه ها آزمایش و تنظیم شوند.
- در مورد خطاهای انسانی باید سعی شود با به کارگیری روش های صحیح اندازه گیری این خطا ها به حداقل برسند و با کنترل عملیات اشتباهات احتمالی کشف و برطرف شوند. در صورت وجود خطا های سیستماتیک مقادیر آن ها محاسبه می شود و با تعیین بهترین مقدار از میان نتایج حاصله، خطاهای تصادفی به حداقل ممکن تقلیل یابد. برای رفع اغلب این خطا ها از جمله خطای کلیماسیون، اثر کرویت زمین و انکسار نور باید سعی شود دوربین در فاصله ای مساوی از دو نقطه عقب و جلو قرار گیرد. در این صورت مقدار این خطا ها در دو دید عقب و جلو با هم برابر و و خلاف جهت یکدیگر می شوند. در ترازیابی تدریجی نیز معمولا ترازیابی را به صورت رفت و برگشت انجام می دهند تا مقدار خطا ها کم شوند.

- **اثر کرویت زمین**

دیدیم که در ترازیابی هندسی اختلاف ارتفاع بین دو نقطه از طریق ایجاد یک سطح افقی (خط دید دوربین) بین دو امتداد قائم گذرنده از نقاط مورد نظر به دست می آید. با توجه به کروی بودن شکل زمین، در محل استقرار دستگاه ترازیاب، سطح تراز (ژئوئید) بر صفحه افق (خط دید دوربین) منطبق می باشد ولی با فاصله گرفتن از آن فاصله بین این دو سطح بیشتر می شود. به فاصله بین سطح تراز و سطح افق خطای کرویت می گویند.





$$(R + C)^2 = R^2 + L^2$$

$$R^2 + C^2 + 2R.C = R^2 + L^2$$

$$C(C + 2R) = L^2$$

$$C = \frac{L^2}{C + 2R}$$

با توجه به اینکه مقدار C نسبت به R (۶۳۷۰ km) بسیار ناچیز است:

$$C = \frac{L^2}{2R} = \frac{L^2}{2 * 6370} \ (km)$$

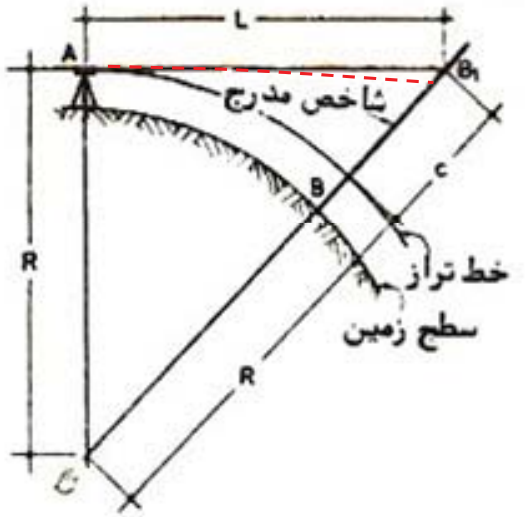
$$C = \frac{L^2 * 1000}{12740} \ (m)$$

$$\boxed{C = 0.0785 * L^2}$$

در این رابطه L بر حسب کیلومتر وارد می شود و C بر حسب متر محاسبه می گردد.

❑ اثر شکست نور

نوری که از چشم خارج می شود یک خط کاملا افقی نیست بلکه بعد از عبور از طبقات جو با انحنایی به سمت زمین منکسر می شود. به این ترتیب علاوه بر خطای کرویت، خطای حاصل از شکست نور نیز در اندازه گیری اختلاف ارتفاع موثر می باشد. مقدار خطای انکسار ۱/۷ خطای کرویت و در جهت مخالف آن می باشد.



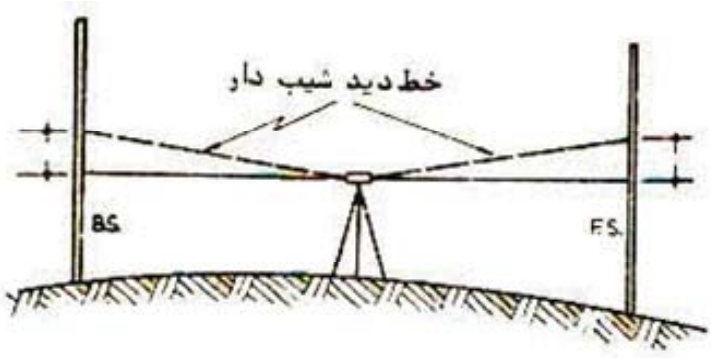
$$C = 0.0785 * L^2 - \frac{1}{7}(0.0785 * L^2)$$

$$C = 0.0673 * L^2$$

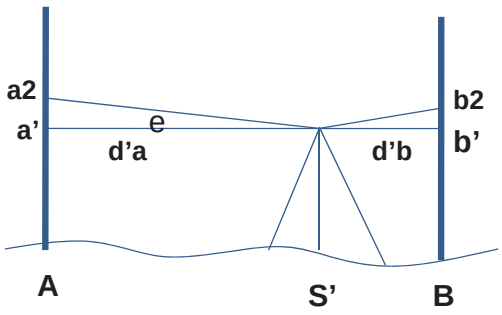
در این رابطه L بر حسب کیلومتر وارد می شود و C بر حسب متر محاسبه می گردد.

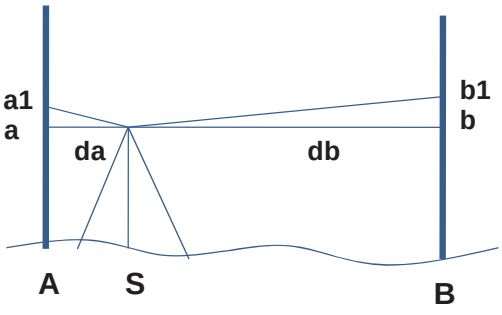
❑ خطای کلیماسیون (Collimation) (ناهمراستایی)

یکی از خطاهای دستگاهی است که ناشی از عمود نبودن محور دیدگانی (کلیماسیون) بر محور قائم یا موازی نبودن محور کلیماسیون با محور لوله تراز و همچنین منطبق نبودن محور کلیماسیون بر محور عدسی ها ایجاد می شود. در این شرایط دستگاه تنظیم نمی باشد و محور دیدگانی دستگاه با افق زاویه ای مثل e می سازد. اگر فاصله بین دهانه های عقب و جلو در هر ایستگاه ترازیابی برابر باشد، کلیماسیون دستگاه ترازیاب در اختلاف ارتفاع بین دو نقطه خطایی ایجاد نمی کند.



❑ نحوه تعیین زاویه کلیماسیون

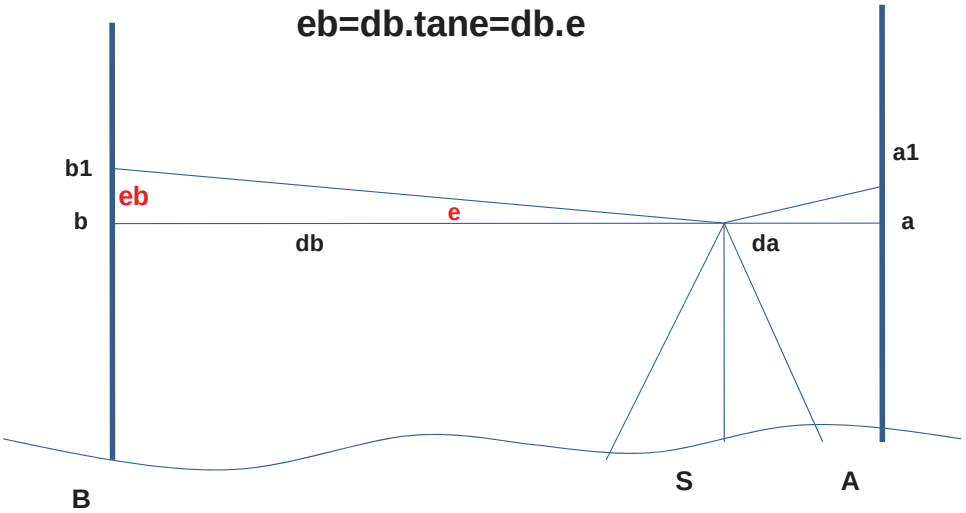




$$e = \frac{(a2+b1)-(a1+b2)}{(db+d'a)-(da+d'b)} = \frac{\text{(جمع قرائت های نزدیک)-(جمع قرائت های دور)}}{\text{(جمع فواصل نزدیک)-(جمع فواصل دور)}}$$

b=b1-eb

eb=db.tane=db.e



زاویه یابی

Angle Measurement

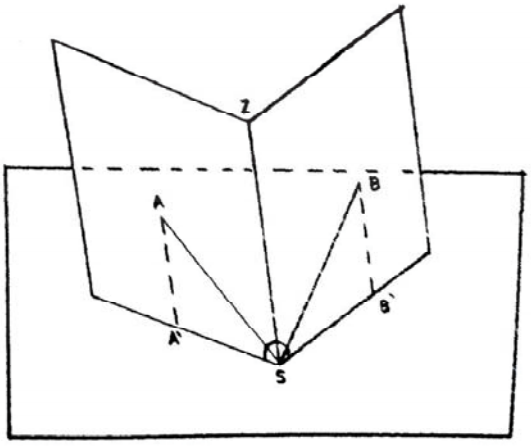
سومین کمیتی که در نقشه برداری اندازه گیری می شود، زاویه است. اسباب اندازه گیری زاویه، تئودولیت (Theodolite) یا زاویه یاب نام دارد. در نقشه برداری به اندازه گیری دو نوع زاویه جهت انجام محاسبات احتیاج داریم :

الف) زاویه افقی

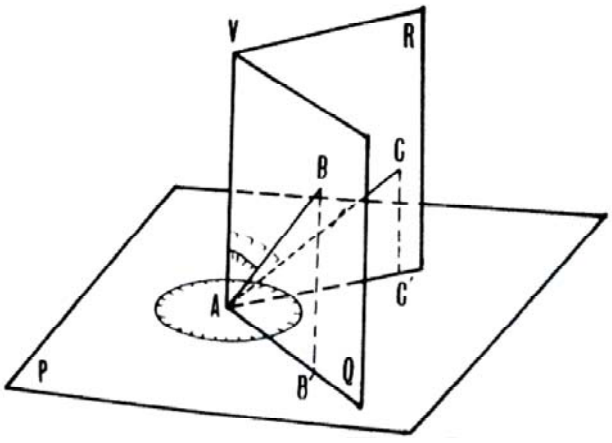
ب) زاویه قائم

زاویه افقی (Horizental angle):

زاویه افقی ASB زاویه بین امتداد های `SA و `SB است که از تصاویر امتداد های SA و SB بر صفحه افقی گذرنده بر S حاصل می شود. به عبارت دیگر از دو امتداد SA و SZ (قائم S) یک صفحه و از دو امتداد SB و SZ صفحه دیگری مرور می دهیم. فرجه ای که بین این دو صفحه حاصل می شود زاویه افقی ASB را تشکیل می دهد. بنابراین زاویه افقی ASB، زاویه بین صفحات قائم گذرنده بر SA و SB می باشد. زاویه افقی ASB معمولا با مبدا AS و در جهت عقربه های ساعت (ساعتگرد Clockwise) تعریف می شود.

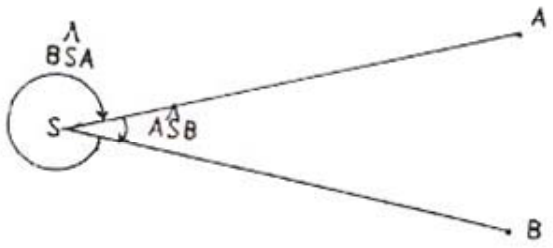


به عبارت دیگر زاویه افقی زاویه ای است که بین تصویر نقاط در صفحه افق حاصل می شود. زاویه C`AB` که در صفحه افقی P قرار دارد یک زاویه افقی است.



به این ترتیب دو زاویه ASB و BSA قرینه یکدیگر می شوند.

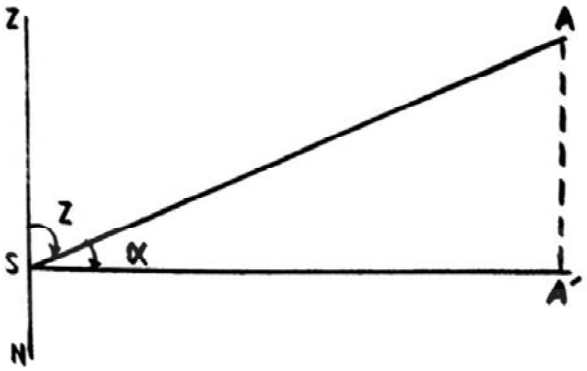
ASB+BSA=360



زاویه قائم (Vertical angle):

زاویه بین خط SZ (امتداد قائم یا شاغول یا راستای سمت الراس S) و امتداد مورد نظر (SA) را زاویه سمت الراسی یا زاویه قائم امتداد SA گویند (Z) . مبدا این زاویه امتداد SZ و جهت آن ساعتگرد است. متمم این زاویه یعنی ASÂ ، که زاویه بین SA و تصویرش بر صفحه افق است را زاویه شیب یا زاویه ارتفاعی گویند (α). به این ترتیب:

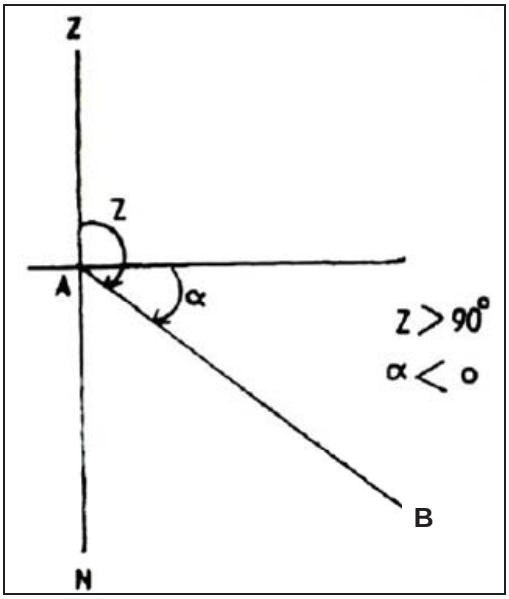
$$\alpha + Z = 90$$

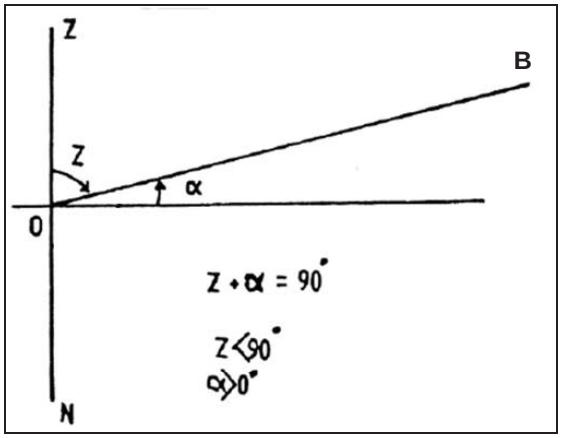


- تعریف سمت الراس یا سرسو (Zenith): نقطه Z و کلیه نقاط واقع بر امتداد قائم نقطه S را که در بالای نقطه S قرار دارند، سمت الراس گویند.

تعریف سمت القدم یا پاسو (Nadir): نقطه N و کلیه نقاط واقع بر امتداد قائم نقطه S را که در زیر نقطه S قرار دارند، سمت القدم گویند.

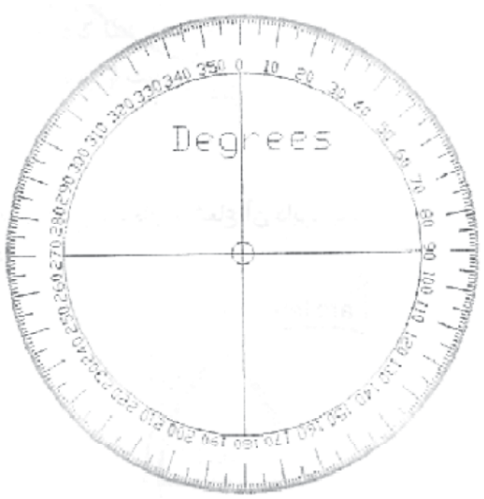
جهت زاویه قائم از سمت الراس به طرف امتداد مورد نظر و در جهت ساعتگرد می باشد و از صفر تا ۱۸۰ درجه تغییر می کند. در حالی که زاویه شیب از صفر (سطح افق) تا ۹۰ درجه و در دو جهت مثبت و منفی تغییر می کند. اگر امتدا مورد نظر در بالای صفحه افق باشد، شیب مثبت و اگر زیر آن باشد، شیب منفی دارد.



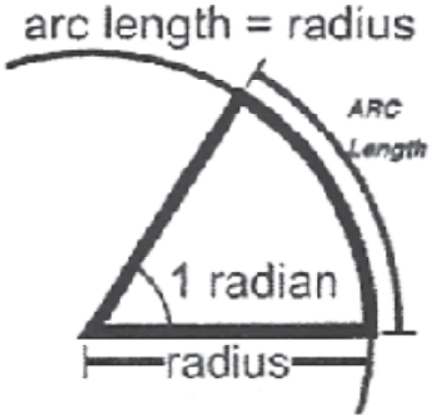


واحد های زاویه و اجزای آن

- **درجه (D)**: اگر محیط دایره به ۳۶۰ جزء مساوی تقسیم شود، زاویه مرکزی مقابل به هر جزء آن را یک درجه گویند. این سیستم را شصت قسمتی گویند. در این سیستم هر درجه برابر با ۶۰ دقیقه و هر دقیقه برابر با ۶۰ ثانیه می باشد که با علائم اختصاری ° و ' و " نشان داده می شود. ۱°=۶۰' و ۱'=۶۰"



- **رادیان (R)**: اگر طول قوسی از یک دایره برابر با شعاع آن دایره باشد، زاویه مرکزی مقابل به آن را یک رادیان می گویند. به عبارت دیگر پیرامون دایره را بر عدد π۲ تقسیم نموده و هر قسمت آن را یک رادیان می گویند. به این ترتیب یک رادیان زاویه مرکزی است که مقابل به π۲/۱ از محیط دایره قرار دارد.



- **گراد (G)**: اگر محیط دایره به ۴۰۰ جزء مساوی تقسیم شود، زاویه مرکزی مقابل به هر جزء آن را یک گراد گویند. در این سیستم هر گراد برابر با ۱۰۰ دقیقه گرادی و هر دقیقه گرادی ۱۰۰ ثانیه گرادی می باشد که با علائم اختصاری G و ' و " یا g و c و cc نشان داده می شود. در این سیستم

زاویه به صورت اعشار نمایش داده می شود. بنابراین می توان بر خلاف سیستم درجه، زاویه را به صورت اعشاری دنبال هم نوشت. برای مثال:

$^{g}۷۵$, $^{c}۱۷$, $^{cc}۳۹$ یا "۳۹ ' ۱۷۷۵ G یا $^{g}۷۵,۱۷۳۹$

- **میلیم (M)**: زاویه مرکزی مقابل به قوس ۶۴۰۰/۱ از محیط دایره است. از این واحد در نقشه برداری در ارتش استفاده می شود.

به طور کلی بین واحد های مختلف اندازه گیری زاویه روابط زیر برقرار است:

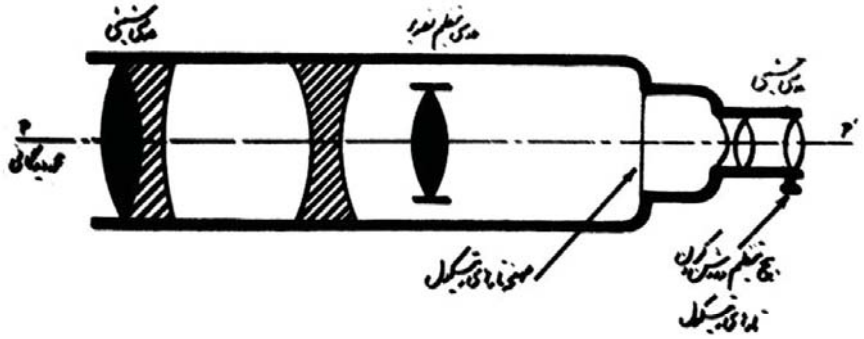
$$\frac{D}{360} = \frac{G}{400} = \frac{R}{2\pi} = \frac{M}{6400}$$

ساختمان زاویه یاب

هر زاویه یاب یا تئودولیت به طور کلی دارای سه بخش می باشد که هر بخش نیز شامل ملحقاتی برای اندازه گیری و یا نشانه روی می باشد.

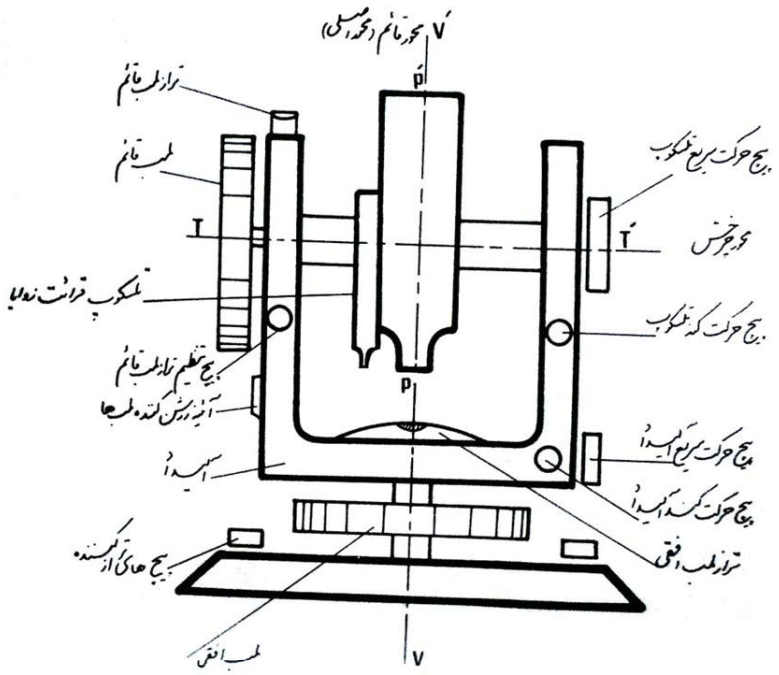
۱- قسمت فوقانی: شامل ملحقات زیر می باشد:

- دوربین یا تلسکوپ



- صفحه تار های رتیکول
- میکروسکوپ قرائت زاویه

❖ آلیداد: از یک فلز به شکل U تشکیل شده است شامل لمب قائم (برای اندازه گیری زوایای قائم)، تراز لمب قائم و افق، پیچ های حرکت سریع و کند آلیداد و تلسکوپ و پیچ تنظیم تراز قائم (لوبیایی) می باشد.



۲- قسمت میانی:

محفظه ای که لمب افق در آن قرار دارد و محور قائم از مرکز این لمب می گذرد.

۳- قسمت تحتانی:

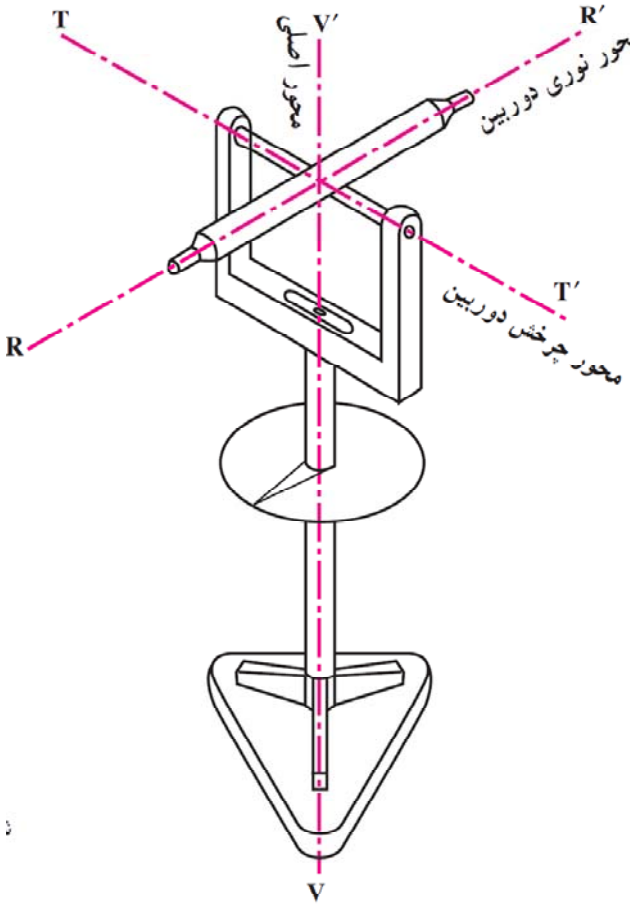
شامل ترابراک (Tribrach)، پیچ های تنظیم کننده تراز، تراز کروی و صفحه اتصال ترابراک به سه پایه می باشد.

محور های اصلی تئودولیت

محور اصلی: Vertical axis که آلیداد حول آن می چرخد. وقتی دستگاه تراز باشد این محور از مرکز لمب افق می گذرد.

محور افقی (ثانوی یا چرخش دوربین) که تلسکوپ حول آن می چرخد. وقتی دستگاه تراز باشد این محور از مرکز لمب قائم می گذرد.

محور نوری (قراول روی): Line of sight. محوری که مرکز اپتیکی عدسی شیئی را به محل تلاقی تار های رتیکول وصل می کند.

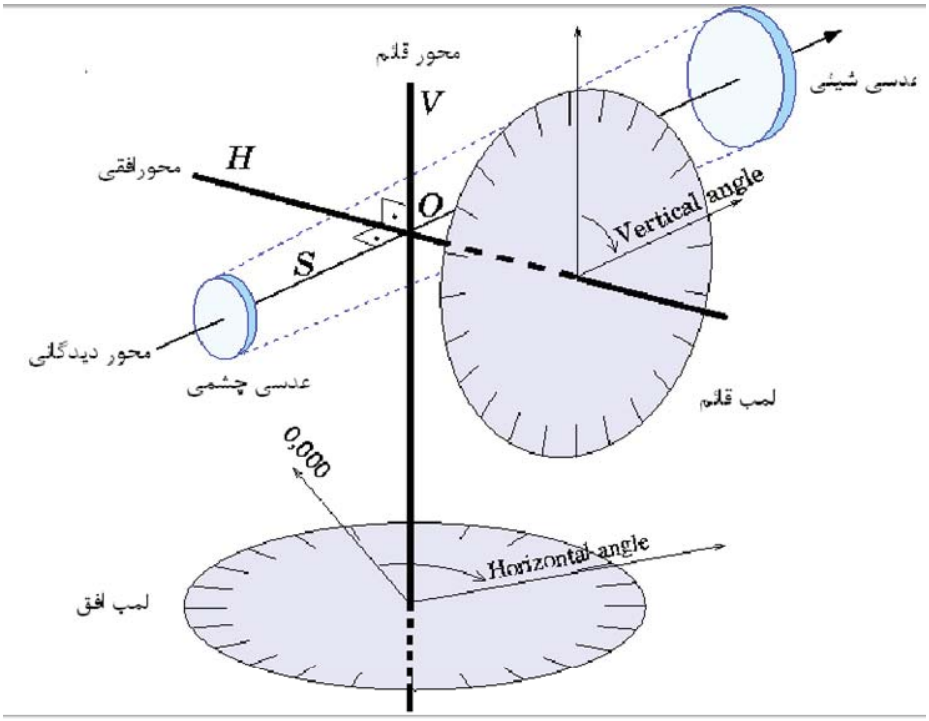


دایره های مدرج (Circles Graduated) یا لمب (Limbe)

برای اندازه گیری زوایای افقی و قائم از دایره های مدرج افقی و قائم استفاده می شود. لمب ها هرکدام نقش یک نقاله بسیار دقیق را دارند که در هر نشانه روی وضعیت تلسکوپ را از نظر سمتی و ارتفاعی تعیین می کنند.

لمب افق، که معمولا در زیر آلیداد قرار دارد، برای مشخص کردن موقعیت سمتی صفحه قراولروی یا به تعبیر دیگر وضعیت سمتی آلیداد به کار می رود. لمب افقی صفحه دایره ای شیشه ایست که محیط آن از ۰-۳۶۰ درجه (یا ۴۰۰ گراد در سیستم های گرادی) تقسیم بندی شده است. در صورتی که دستگاه تنظیم باشد، محور

اصلی زاویه یاب بر لمب افق عمود است و از مرکز این دایره می گذرد. با گردش سمتی آلیداد، شاخص مخصوصی روی این دایره چرخش می کند. امتداد این شاخص تصویر محور قراولروی بر صفحه افقی خواهد بود.
لمب قائم، دایره شیشه ای مدرجی است که صفحه آن به صورت قائم در کنار آلیداد و عمود بر محور افقی دستگاه قرار دارد. اگر دستگاه تنطیم باشد محور قراولروی دستگاه از مرکز این دایره مدرج می گذرد. این لمب برای تعیین وضعیت ارتفاعی محور قراولروی به کار می رود. در بسیاری از دستگاه ها، صفر این لمب در راستای قائم مکان و در بالا قرار دارد. اگر دستگاه تراز باشد، امتداد صفر آن دقیقا امتداد سمت الراس (زنیت) را مشخص می کند و اعدادی که روی آن قرائت می شوند زاویه سمت الرئسی محور قراولروی زاویه یاب را نشان می دهند.
صفحه لمب های افقی و قائم توسط آینه های مخصوصی که از بیرون نور می گیرند، روشن می شوند و تصویر آن ها توسط یک سیستم منشوری داخل دوربین کوچکی در کنار تلسکوپ رویت می شود.



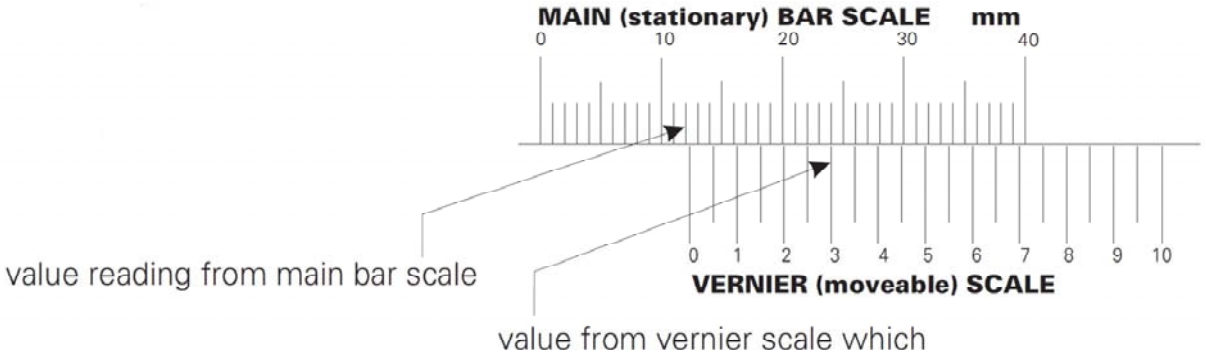
ورنیه (Vernier) و میکرومتر (Micrometer) در دایره های مدرج

قطر لمب ها در دوربین های کم دقت ۵-۹ سانتی متر و در تئودولیت های دقیق تا ۲۴ سانتی متر نیز ساخته می شود. با توجه به محدودیت قطر در لمب، معمولا کوچکترین تقسیمات آن ها برای دوربین های مختلف از ۱ درجه و یا ’۳۰، ’۱۵، ’۱۰ و ‘۵ بیشتر نیست. بنابراین در قرائت تقسیمات کوچک مانند ثانیه و یا دهم ثانیه از ورنیه و میکرومتر استفاده می شود.

ورنیه: دو خط کش، یکی با درجه بندی یک میلیمتری و دیگری با درجه بندی ۹/۰ میلیمتری در کنار هم قرار داده می شوند. خط کش متحرک دوم را ورنیه گویند. برای اندازه گیری طول باید صفر خط کش اصلی را در ابتدای نقطه نشانه قرار داده و انتهای آن را قرائت نمود. عدد اصلی از روی خط کش اصلی خوانده می شود.

برای تعیین مقدار کسری آن، هریک از تقسیمات ورنیه را که دقیقا مقابل تقسیم صحیحی از خط کش قرار گیرد، همان مقدار، اعشار میلیمتر در اندازه گیری طول می باشد. چراکه اگر برای مثال تقسیم ۳ ورنیه دقیقا مقابل یکی از تقسیمات خط کش قرار گیرد، در تقسیم ۲، ۱/۰ میلیمتر و در تقسیم ۱، ۲/۰ میلیمتر و در تقسیم ۰، ۳/۰ میلیمتر از رقم مقابل عقب می ماند. این مقدار در واقع کسری از میلیمتر است که باید به عدد خوانده شده از روی خط کش اصلی اضافه شود.

میکرومتر: برای بالابردن دقت قرائت دوایر مدرج، در بعضی از تئودولیت ها از میکرومتر استفاده می شود. به این ترتیب که ابتدا تار متحرکی را در مقابل خط نشانه قرار می دهند و سپس با یک پیچ میکرومتری آن را در مقابل نزدیک ترین درجه تقسیم لمب قرار می دهند، مقدار حرکت پیچ میکرومتر به زاویه تبدیل می شود و روی طبلک مخصوص قرائت می شود. بنابراین برای قرائت دوایر مدرج باید پیچ میکرومتری را چرخانده تاخط نشانه دقیقا در وسط دو خط موازی شاخص قرار گیرد.

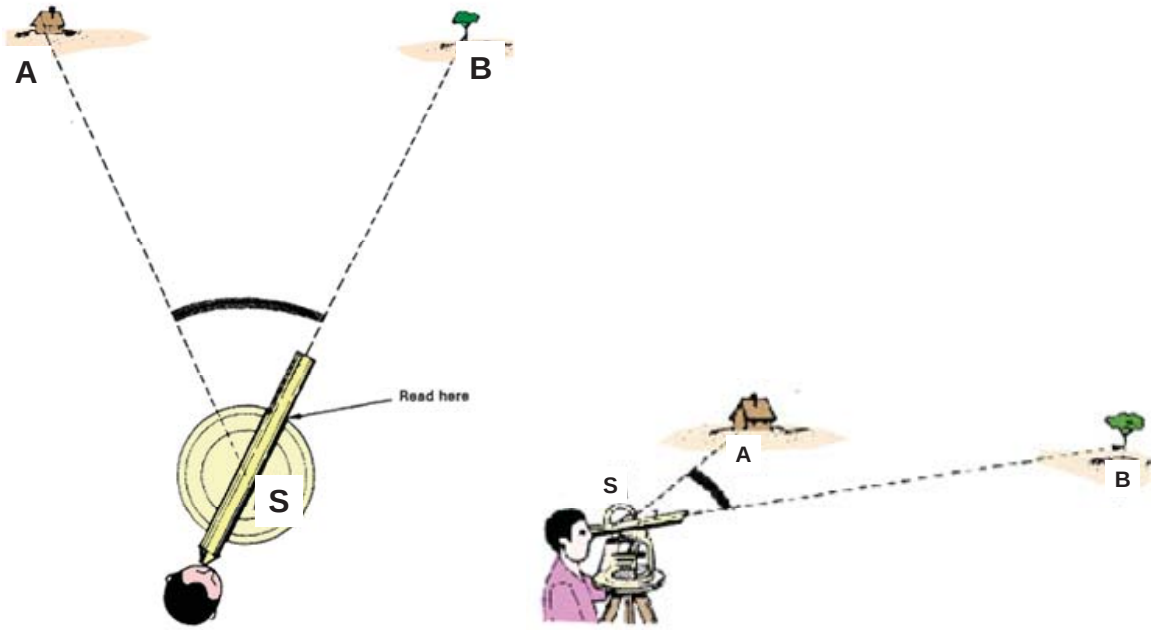


Value on main bar scale = 12 +
Value on vernier scale = 0.3 +
Total = 12.3 mm

تراز ها

وظیفه اصلی تراز ها، افقی کردن دستگاه و در نتیجه شاغولی کردن محور اصلی دستگاه های نقشه برداری می باشد. در تئودولیت نیز برای افقی کردن تکیه گاه، معمولا از دو تراز کروی و استوانه ای استفاده می شود. اولی برای افقی کردن تقریبی صفحه دایره مدرج افقی و دومی برای انجام دقیق تر آن است. علاوه بر این تراز ها، برای آن که صفر لمب قائم وضع ثابتی داشته باشد، از تراز قائم استفاده می شود. این تراز معمولا بالای لمب قائم نصب شده و تراز کردن آن توسط یک پیچ انجام می شود. به این ترتیب صفر لمب قائم نسبت به امتداد قائم وضعیت ثابتی پیدا می کند. با تنظیم بودن سیستم لمب قائم، وقتی که حباب تراز در وسط قرار گیرد، صفر لمب در امتداد سمت الراس قرار داشته و در این صورت عدد قرائت شده از روی لمب قائم در هر قراول روی، زاویه سمت الراسی خط قراولروی را تعیین می کند.

روش اندازه گیری زاویه افقی

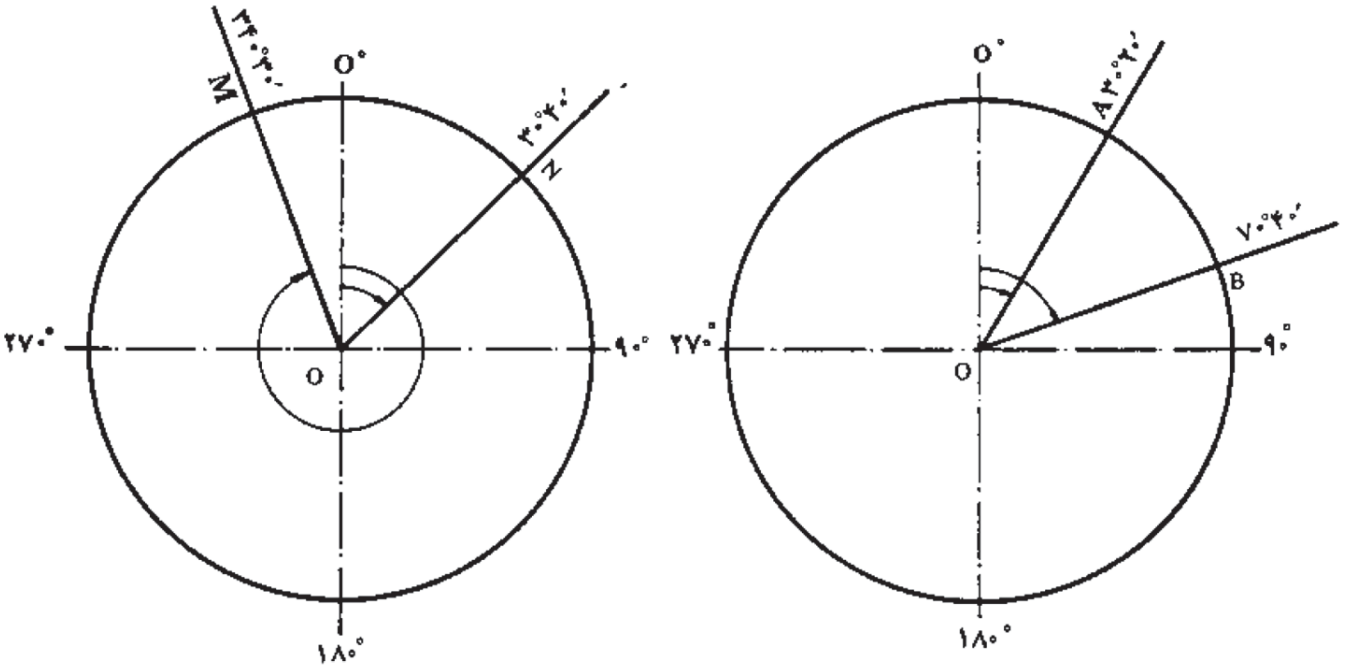


$$\hat{ASB} = R_B - R_A$$

اندازه گیری زاویه مفروض ASB طی سه مرحله انجام می گیرد: ۱- استقرار دوربین در نقطه S، ۲- نشانه روی به نقاط A و B و ۳- قرائت لمب افقی در هر نشانه روی. به این ترتیب:

$$\hat{ASB} = R_B - R_A$$

چون زاویه افقی به طور قرار دادی در جهت ساعتگرد در نظر گرفته می شود و از طرفی درجه بندی لمب افق نیز اکثرا ساعتگرد است، در رابطه فوق چنانچه $R_A > R_B$ ، باید ۳۶۰ درجه (یا ۴۰۰ گراد) به R_B اضافه شود.



$$\hat{MON} = R_N + ۳۶۰^\circ - R_M$$

$$\hat{MON} = ۳۰^\circ ۴۰' + ۳۶۰^\circ - ۳۴^\circ ۳۰' = ۵۰^\circ ۱۰'$$

$$\hat{AOB} = R_B - R_A = ۷۰^\circ ۴۰' - ۳۰^\circ ۲۰' = ۴۰^\circ ۲۰'$$

برای جلوگیری از برزو اشتباهات احتمالی و همچنین به منظور کاهش دادن خطاهای دستگاهی و انسانی در اندازه گیری زاویه افقی، روش های مختلفی برای اندازه گیری زاویه به کار برده می شود.

۱- روش کوپل یا قرائت مضاعف (Double face)

۲- روش دور افق

۳- روش تکرار

۴- روش تجدید

اندازه گیری زاویه افقی به روش کوپل (face Double)

به طور کلی قراول روی به منطقه نشانه در دو حالت میسر می باشد:

(الف) حالتی که لمب قائم در طرف چپ عامل قرار داشته باشد. این حالت را دایره به چپ(FL) (Face left) یا وضعیت I می گویند.

(ب) حالتی که لمب قائم در طرف راست عامل قرار داشته باشد. این حالت را دایره به راست (FR) (Face Right) یا وضعیت II می گویند.

$$FR = FL \pm 180^\circ + e$$

برای آنکه نشانه روی از حالت دایره به چپ به دایره به راست تبدیل شود باید تلسکوپ دوربین را پلانژه نموده (۱۸۰ درجه چرخانده شود) سپس آلیداد را نیز ۱۸۰ درجه حول محور اصلی دوران دهیم. به این ترتیب قرائت های حالت دایره به چپ و راست مربوط به یک نقطه به اندازه ۱۸۰+e با هم تفاوت خواهند داشت (e: خطاهای سیستماتیک و عملیاتی). وقتی امتدادی را در دو حالت دایره به چپ و راست نشانه روی و قرائت کنند، این عمل را قرائت کوپل کویند.

در این روش علاوه بر اینکه قرائت ها کنترل می شوند، بسیاری از خطا ها نیز حذف می شوند.

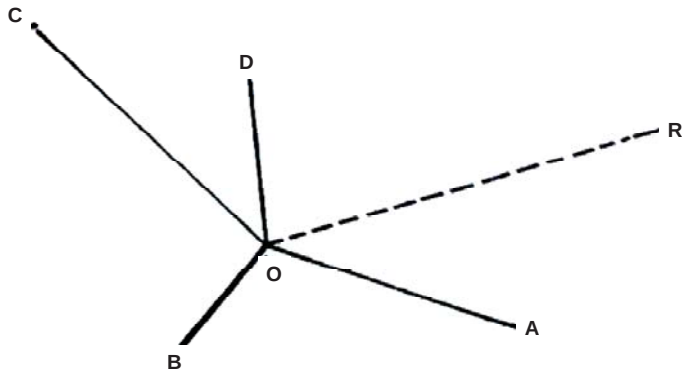
مقدار صحیح قرائت در هر قراول روی، با محاسبه میانگین دو قرائت با استفاده از رابطه زیر به دست می آید:

$$R_A = \frac{FL + FR \pm 180^g}{2}$$

- وقتی سیستم قرائت دستگاه گرادی باشد، در رابطه فوق به جای ۱۸۰ درجه باید ۲۰۰ گراد قرار دهیم.
- اگر اندازه گیری زاویه به صورت منفرد (غیر مضاعف) باشد، باید نقاط را در یک وضعیت دوربین (چپ یا راست) قرائت نمود. در غیر این صورت نتیجه به دست آمده با مقدار حقیقی ۱۸۰ درجه اختلاف خواهد داشت.
- اگر قرائت دایره به چپ بیش از ۱۸۰ درجه (یا ۲۰۰ گراد) باشد، از علامت مثبت (+) و اگر کمتر از ۱۸۰ درجه (یا ۲۰۰ گراد) باشد از علامت منفی استفاده می شود.

اندازه گیری زاویه افقی به روش دور افق

اگر بخواهیم زوایای ROA، ROB، ROC و ROD را که همگی در راس S مشترک اند اندازه گیری کنیم ابتدا باید به نقطه R و سپس به هریک از نقاط B،A، C و D در جهت ساعتگرد نشانه روی کرده و لمب افق را قرائت و یادداشت نمائیم. در پایان دوباره به نقطه R قراول روی نموده و لمب افق را می خوانیم (دور افق را می بندیم). اختلاف دو قرائت روی نقطه R را خطای بست دور افق گویند. متوسط دو قرائت روی R را به عنوان R_R حساب کرده و برای تعیین زاویه این مقدار را از هر یک از قرائت ها کم می کنیم. حد قابل قبول برای خطای بست دور افق در زاویه یاب های ساختمانی حدود ۲ دقیقه، زاویه یاب های مهندسی، ۱ دقیقه و برای زاویه یاب های دقیق ۱۵ ثانیه می باشد.



اندازه گیری زاویه افقی به روش تکرار (Repetition method)

در برخی از زاویه یاب ها مانند T1 و T16 ویلد، با استفاده از یک اهرم می توان لمب افق را به آلیداد ثابت نمود. با این عمل درجه ای از لمب افق که مربوط به قبل از قفل کردن آن بوده، حفظ می شود و با چرخش آلیداد تغییری در آن حاصل نمی شود. این نوع دوربین ها را تکرار کننده (Repetitor) گویند. در این روش برای اندازه گیری زاویه افقیAOB ، ابتدا به نقطه A نشانه روی کرده، لمب افق را قرائت و یادداشت می کنیم. سپس به نقطه B نشانه روی کرده و سپس لمب را قفل می کنیم. در این حالت دوباره به نقطه A نشانه روی کرده و قفل لمب را باز می کنیم و دوباره سراغ نقطه B می رویم. این عمل را چندین بار تکرار مینماییم. متوسط زوایای قرائت شده در هر دور نشانه روی محتمل ترین مقدار زاویه را به دست می دهد .چون بعد از هر نشانه روی به نقطه B لمب افق قفل می شود، لذا در نشانه روی به نقطهA ، قرائت مربوط به B حفظ می شود.

ایستگاه	دور نشانه روی	نقطه نشانه	قرائت لمب افق	اندازه زاویه AOB
O	1	A	a_1	b_1-a_1
		B	b_1	
O	2	A	$a_2=b_1$	b_2-b_1
		B	b_2	
O	3	A	$a_3=b_2$	b_3-b_2
		B	b_3	
O	...	...	...	...
		...	...	
O	n	A	$A_n=b_{(n-1)}$	$b_n-b_{(n-1)}$
		B	b_n	

$$\hat{AOB} = \frac{b_n - a_1}{n}$$

یا

$$\hat{AOB} = \frac{\text{(قرائت } B \text{ در آخر)} - \text{(قرائت } A \text{ در اول)}}{\text{تعداد دفعات تکرار}}$$

باید توجه نمود که اندکس لمب افق ممکن است بعد از چندین بار تکرار، لمب افق را دور بزند. بنابراین برای تعیین زاویه باید از رابطه زیر استفاده نمود.

$$A\hat{O}B = \frac{b_n - a_1 + 360^\circ K}{n}$$

a_1: قرائت لمب افق در نقطه A در دور اول

b_n: قرائت لمب افق در نقطه B در دور آخر

K: تعداد دفعاتی که اندکس مربوط به دایره مدرج افقی از صفر عبور کرده است.

n: تعداد دفعات تکرار

برای تعیین K ، باید مقدار تقریبی زاویه را در دور اول تعیین کنیم.

اندازه گیری زاویه افقی به روش تجدید (Reiterate)

اساس این روش مانند روش تکرار بر مبنای اندازه گیری های متوالی یک زاویه استوار است. با این تفاوت که مبنای هر مرحله، مقدار جدیدی از درجات لمب افق می باشد. به عبارت دیگر در پایان هر مرحله لازم نیست لمب افق بسته شود.

ایستگاه	مراحل	قرائت روی نقطه مبدا (D)	قرائت روی نقطه مقصد(C)	مقدار زاویه	کروکی
	1	0.00	α	α-0.00=α	D, A, C
	2	a	$a+\alpha+e_1$	$(a+\alpha+e_1)-a$	
A	3	b	$b+\alpha+e_2$	$(b+\alpha+e_2)-b$	
	...	...	...	...	
	n	p	$P+\alpha+e_{n-1}$	$(P+\alpha+e_{n-1})-p$	

مزیت روش تجدید نسبت به تکرار در این است که :

۱- می توان از یک ایستگاه زوایای بیش از دو امتداد را نیز قرائت نمود.

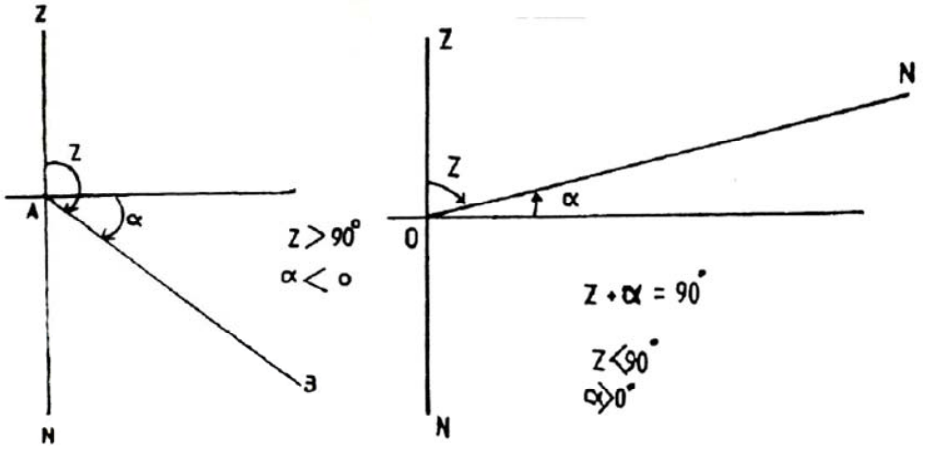
۲- در این روش می توان زوایا را به روش کوپل اندازه گرفت. در روش کوپل بسیاری از خطا ها حذف می شوند.

اندازه گیری زاویه قائم

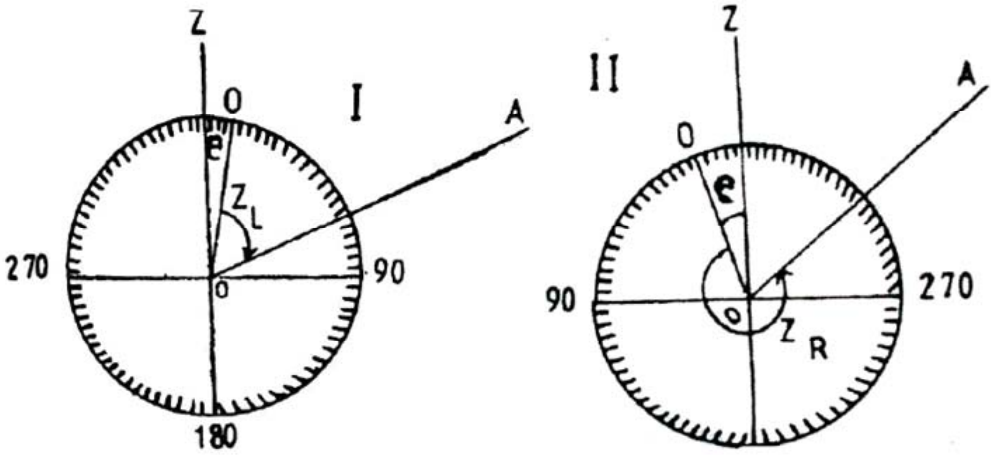
برای اندازه گیری زوایای قائم و شیبی از لمب قائم دستگاه زاویه یاب استفاده می شود. اگر صفر لمب قائم در سمت الراس باشد، اعداد قرائت شده بر روی لمب قائم، زاویه سمت الراسی خط قراول روی را تعیین می کند. و اگر صفر مذکور در صفحه افقی گذرنده بر محور ثانوی دستگاه باشد، اعداد قرائت شده معرف زاویه شیب این محور است. دستگاه های زاویه یاب که امروزه استفاده می شوند، اکثرا از نوع اول اند.

جهت زاویه قائم (سمت الراسی) به طرف امتداد مورد نظر و در جهت ساعتگرد است و از صفر (سمت الراس) تا ۱۸۰ (سمت القدم) تغییر می کند.

زاویه شیب از صفر (سطح افق) تا ۹۰ درجه و در دو جهت مثبت و منفی تغییر می کند. اگر امتداد مورد نظر در بالای صفحه افق باشد، شیب مثبت و اگر زیر آن باشد شیب منفی است.



برای اندازه گیری صحیح زاویه قائم لازم است که صفر لمب قائم دقیقا بر روی خط قائمی باشد که از مرکز این لمب می گذرد. برای این منظور در ساختمان دستگاه های زاویه یاب، یک تراز استوانه ای که به این لمب متصل است پیش بینی شده است. اگر این تراز تنظیم باشد، هدف فوق تامین می شود. در صورتی که امتداد قائم گذرنده بر مرکز لمب به جای عدد صفر روی عدد دیگری قرار گیرد، این عدد زاویه قائم امتداد صفر لمب قائم می باشد که به آن انحراف صفر لمب قائم یا کلیماسیون لمب قائم (Vertical collimation error) گویند.



برای تعیین میزان انحراف و مقدار صحیح زاویه قائم، قرائت لمب قائم را در دو حالت دایره به چپ (I) و دایره به راست (II) انجام می دهند. اگر کلیماسیون لمب قائم صفر باشد، هنگامی که دوربین دوران مضاعف انجام میدهد، قرائت های لمب قائم به صورت دو عدد قرینه در می آید:

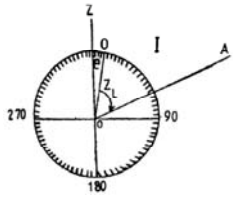
$$Z_L + Z_R = 360^\circ$$

Z_L و Z_R به ترتیب قرائت لمب قائم در وضعیت دایره به چپ (I) و راست (II) می باشند.

ولی در صورت وجود کلیماسیون در لمب قائم، مجموع فوق اندکی با ۳۶۰ درجه اختلاف خواهد داشت. اگر انحراف صفر لمب قائم را e فرض کنیم:

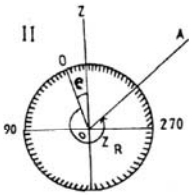
وضعیت I:

$$Z_{OA} = Z_L + e$$



وضعیت II:

$$Z_{OA} = 360° - (Z_R + e)$$



زاویه قائم:

$$Z_{OA} = \frac{Z_L + (360° - Z_R)}{2}$$

انحراف صفر لمب قائم:

$$e = \frac{360° - (Z_R + Z_L)}{2}$$

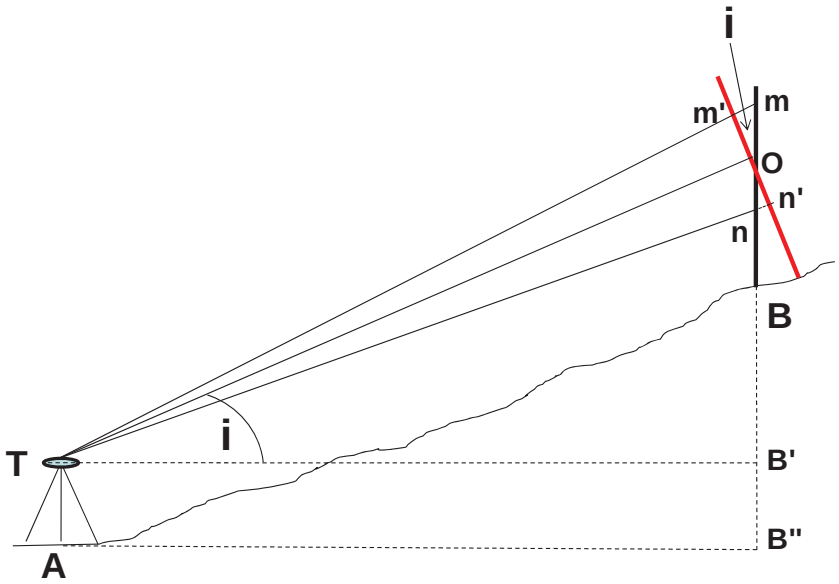
زاویه شیب قراول روی:

$$\propto = 90° - Z$$

$$\propto = \frac{Z_R - Z_L - 180}{2}$$

اندازه گیری طول و اختلاف ارتفاع به طریقه استادیمتری

برای تعیین فاصله افقی در حالتی که امتداد قراول روی بر امتداد شاخص عمود باشد از رابطه (D=K.mn) استفاده می شود. (K: ضریب استادیمتری است که معمولا برابر ۱۰۰ است؛ اعداد m و n قرائت های تار های استادیمتری از روی شاخص می باشند). این رابطه مربوط به زمانی است که محور دیدگانی (نوری که از تار وسط رتیکول می گذرد) بر میر عمود باشد. در حالی که اگر زمین شیب دار باشد، خط دیدگانی بر میر نمی تواند عمود باشد و خط دیدگانی با افق زاویه ای مانند i می سازد.



به این ترتیب برای محاسبه فاصله افقی و اختلاف ارتفاع بین دو نقطه از روابط زیر استفاده می شود:

$$TB'=AB''=K.mn.Cos^2i$$

$$\Delta h_{AB}=1/2\ K.mn.Sin2i+hi-hs$$

i: زاویه خط دیدگانی با افق که توسط تئودولیت خوانده می شود

AB=TB'": فاصله افقی بین دو نقطه AB

K: ضریب استادیمتری

mn: قرائت های تار های استادیمتری از روی شاخص

Δh: اختلاف ارتفاع بین دو نقطه A و B

hi=TA=B'B": ارتفاع دوربین از نقطه A است که با متر اندازه گیری می شود.

OB=hs: قرائت تار وسط

بررسی خطا ها در زاویه یابی

در اندازه گیری زاویه نیز مانند ترازیابی با سه دسته خطا های طبیعی، انسانی و دستگاهی مواجه هستیم. خطا های طبیعی شامل انکسار نور، کرویت زمین، وزش باد، تشعشع آفتاب و ... . خطا های انسانی شامل خطا در استقرار دستگاه، خطا در قراول روی به نقطه نشانه، خطا در قرائت لمب و خطای پارالاکس است. خطاهای دستگاهی شامل عمود نبودن محور اصلی بر محور افقی، عمود نبودن محور قراول روی بر محور افقی (خطای کلیماسیون)، خطای قرار نداشتن مرکز دایره مدرج افقی بر محور اصلی (خطای عدم مرکزیت آلیداد و لمب) و ... .

برای مقابله با خطا های طبیعی باید زمان مناسب برای انجام عملیات انتخاب شود تا اثر تشعشع خورشید کم شود. انکسار نور و کرویت زمین در زوایای افقی تاثیر عمده ای ندارند و برای زوایای قائم در صورت لزوم می توان از قراول روی های دو طرفه استفاده نمود. در مورد خطاهای دستگاهی، هر دستگاهی باید قبل از شروع کار و یا هر چند روز یک بار آزمایش و تنظیم شود.

مختصات نقاط و امتداد ها

مختصات یک نقطه

عناصر اصلی تعیین کننده هر نقطه زمینی عبارتند از مختصات جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) و ارتفاع. ولی چون این مختصات بر روی نقشه دو بعدی نمایش پذیر نیستند، بنابراین برای نمایش نقاط و امتداد ها در نقشه، از دو محور عمود بر هم (مختصات دکارتی) و یا نسبت به یک محور و یک مبدا (مختصات قطبی) استفاده می شود. در سیستم مختصات دکارتی، موقعیت مسطحاتی هر نقطه توسط مختصات X (یا E: Easting) و Y (یا N: Northing) مشخص می شود. رابطه بین این مختصات و مختصات جغرافیایی توسط سیستم های تصویر مشخص می شود. ارتفاع نقاط را می توان مستقیما در کنار آن ها نوشت.

در سیستم مختصات قطبی، موقعیت مسطحاتی هر نقطه مانند M با فاصله اش از مبدا مفروض O (موسوم به قطب) و زاویه ای که امتداد OM با محور مفروض OX (موسوم به محور قطبی) می سازد، تعیین می شود.

مختصات یک امتداد

مختصات هر امتداد بر روی زمین به وسیله دو زاویه معرفی می شود:

(۱) زاویه قائم که زاویه امتداد مورد نظر با امتداد قائم مکان (امتداد شاغول) است؛ این زاویه با قرائت لمب قائم تئودولیت تعیین می شود.

(۲) زاویه افقی آن با یک امتداد خاص زمینی به نام شمال که آن را سمت، آزیموت یا گرا گویند. این زاویه بر حسب ضرورت نسبت به یکی از امتداد های زیر سنجیده می شود:

۱- شمال حقیقی (شمال جغرافیایی)

۲- شمال مغناطیسی

۳- شمال فرضی

۴- شمال شبکه

شمال حقیقی (جغرافیایی): هرگاه هریک از نقاط روی سطح زمین را به سوی مرکز قطب شمال کره زمین امتداد دهیم، سمتی پدید می آید که به آن شمال حقیقی یا جغرافیایی می گویند. به عبارت دیگر شمال جغرافیایی هر نقطه روی سطح زمین امتداد قوس نصف النهار گذرنده از آن نقطه به سمت قطب شمال می باشد. زاویه افقی که بین مماس بر این قوس و امتداد مورد نظر وجود دارد را آزیموت حقیقی (آزیموت جغرافیایی) آن امتداد گویند. شروع این زاویه امتداد شمال و جهت آن ساعتگرد است و بین صفر تا ۳۶۰ درجه تغییر می کند.

شمال مغناطیسی: جهتی را که عقربه قطب نما در یک نقطه نشان می دهد جهت شمال مغناطیسی گویند. به عبارت دقیق تر زمین به دلیل حرکت دورانی دائم به دور محورش یک میدان مغناطیسی ایجاد می کند که باعث

انحراف عقربه مغناطیسی قطب نما می شود. دلیل این امر آن است که در آهن ربا قطب های غیر هم نام یکدیگر را جذب می کنند. به این ترتیب امتدادی را که نوک جنوبی عقربه مغناطیسی نشان می دهد، شمال مغناطیسی گویند. زاویه بین این شمال و امتداد مفروض زمینی را آزیموت مغناطیسی گویند که مبدا آن امتداد شمال، جهت آن ساعتگرد و تغییرات آن بین صفر و ۳۶۰ درجه می باشد.

شمال فرضی: گاهی در نقشه برداری های محلی، امتداد دلخواهی را به عنوان مبدا برای امتداد ها انتخاب می کنند و وضعیت امتداد های دیگر را نسبت به آن می سنجند. در اینجا نیز زاویه ای که بین شمال فرضی و امتداد مفروض تشکیل می شود، آزیموت فرضی گویند.

شمال شبکه: به دلیل دو بعدی بودن نقشه، مشخص کردن موقعیت نقاط در نقشه از روی مختصات جغرافیایی آن ها به آسانی میسر نیست. از این رو موقعیت هر نقطه را در نقشه در سیستم مختصات دکارتی (قائم الزاویه) و توسط دو مختص X و Y تعیین کنند. در این سیستم، محور عمودی ON تصویر نصف النهار مرکزی منطقه و محور افقی OE خط عمود بر آن در نقطه تقاطعش با استوا (یا مدار مرکزی منطقه) می باشد. به این ترتیب امتداد ON را شمال شبکه گویند. زاویه بین شمال شبکه و امتداد مورد نظر در جهت ساعتگرد را آزیموت شبکه (ژیزمان Gisement) گویند.

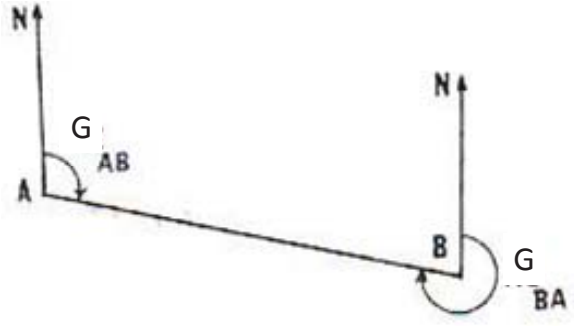
ژیزمان عبارت است از زاویه ای که هر امتداد با امتداد شمال شبکه و در جهت عقربه ساعت می سازد. که با G نمایش می دهند.

- **در تعریف ژیزمان سه نکتهٔ اساسی را باید در نظر گرفت :**
  - **ژیزمان، یک زاویهٔ افقی بین یک امتداد مبنا و امتداد مورد نظر است.**
  - **مبدأ اندازه‌گیری (امتداد مبنا) ژیزمان همواره شمال شبکه (محور Y نقشه) است.**
  - **ژیزمان در جهت حرکت عقربه‌های ساعت اندازه‌گیری می‌شود.**

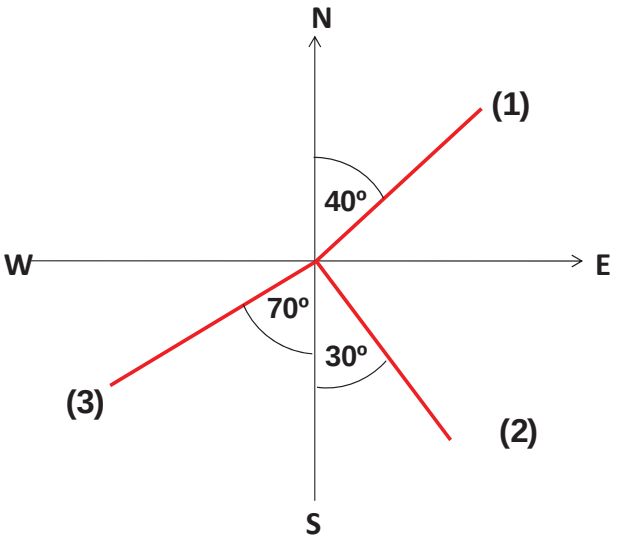
ژیزمان معکوس : در صورتی‌که ژیزمان امتدادی چون AB معلوم فرض شود(G_{AB}) ژیزمان معکوس آن را به صورت ژیزمان BA خوانده و به شکل G_{BA} نشان می‌دهیم که مقدار آن از رابطه زیر قابل محاسبه است :

$$G_{AB} = G_{BA} \pm ۱۸۰^\circ$$

که در این رابطه چنانچه G_{AB} کوچکتر از ۱۸۰° باشد از علامت(+)و در صورتیکهG_{AB} مساوی و یا بزرگتر از ۱۸۰° باشد از علامت (-)استفاده می‌شود.



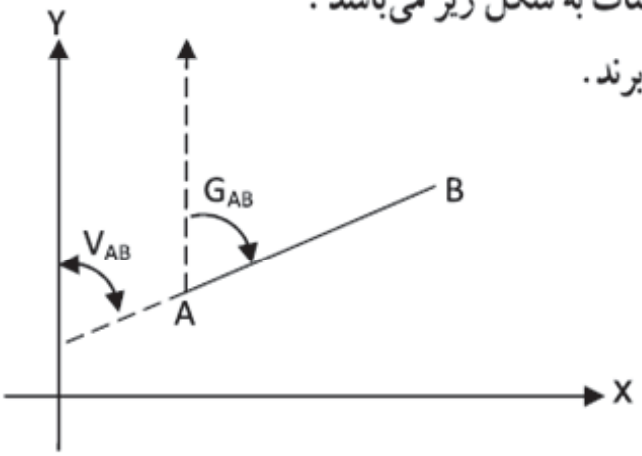
زاویه حامل: کوچکترین زاویه ای که بین محور Y و امتداد مورد نظر تشکیل می شود و در آن جهت زاویه اهمیتی ندارد را زاویه حامل (Bearing) گویند و با V نشان می دهند.



آزیموت	زاویه حامل	امتداد
40°	N 40° E	1
150°	S 30° E	2
250°	S 70° W	3

رابطه ژیزمان و زاویه حامل در چهار ربع مختصات به شکل زیر می‌باشد :

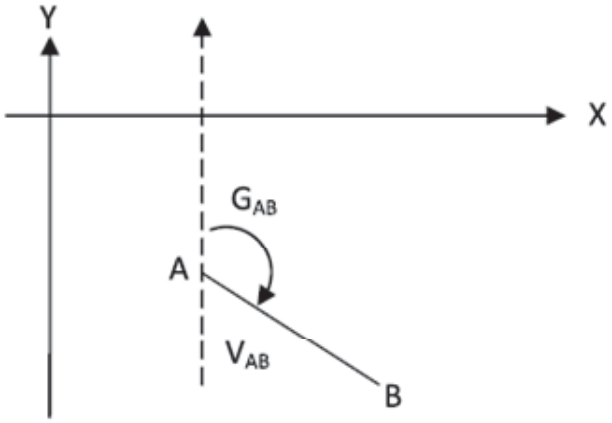
۱ــ در ربع اول ژیزمان و زاویه حامل با هم برابرند.



امتداد در ربع اول قرار دارد $\begin{cases} \Delta X_{AB} > 0 \\ \Delta Y_{AB} > 0 \end{cases}$

$G_{AB} = V_{AB}$

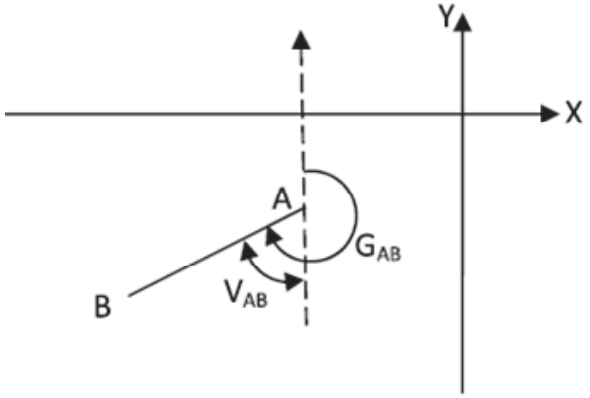
۲ــ اگر امتدادی در ربع دوم باشد، بین ژیزمان و زاویه حامل رابطه زیر برقرار است :



$$\left.\begin{matrix}\Delta X_{AB} > 0 \\ \Delta Y_{AB} < 0\end{matrix}\right\}$$ امتداد در ربع دوم قرار دارد

$$G_{AB} = 180^{\circ} - V_{AB}$$

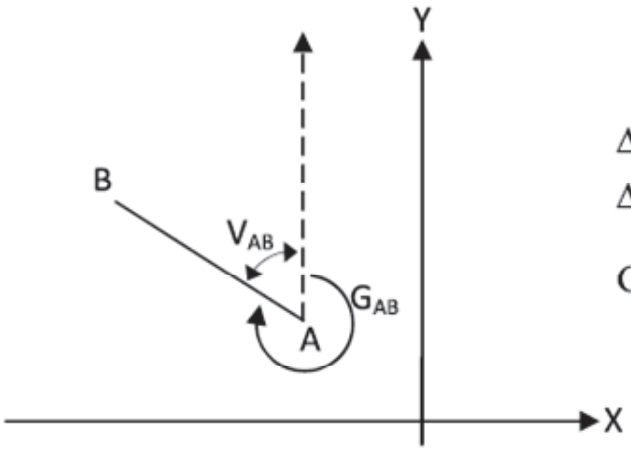
۳ــ اگر امتدادی در ربع سوم باشد، بین ژیزمان و زاویه حامل در این‌حالت رابطه زیر برقرار است :



$$\left.\begin{matrix}\Delta X_{AB} < 0 \\ \Delta Y_{AB} < 0\end{matrix}\right\}$$ امتداد در ربع سوم قرار دارد

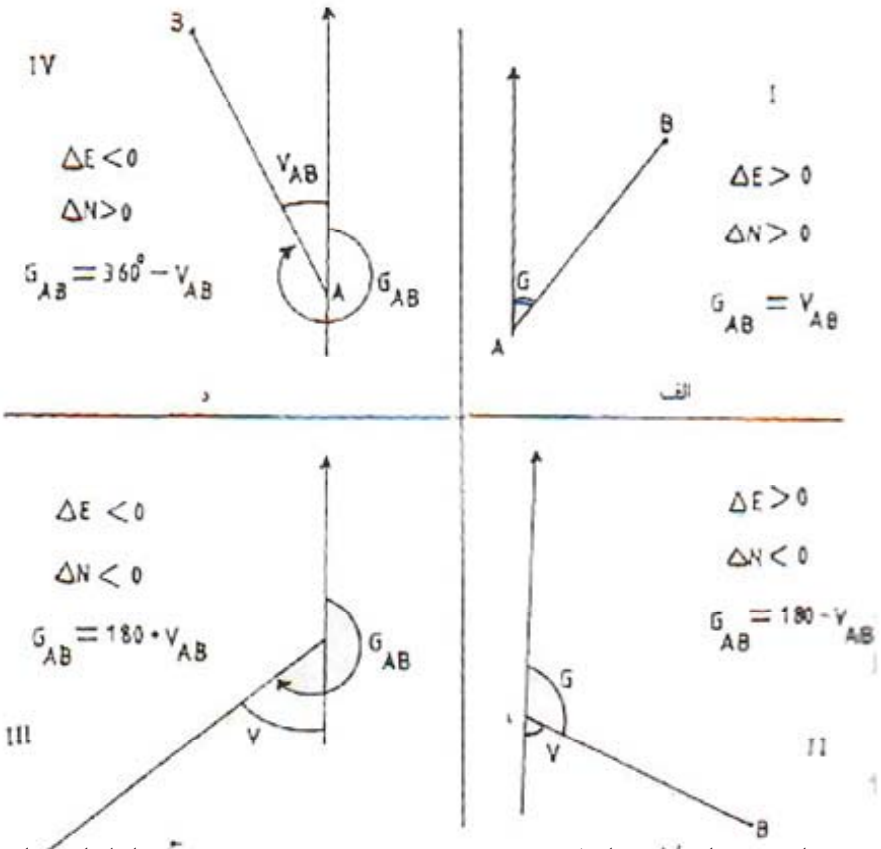
$$G_{AB} = 180^{\circ} + V_{AB}$$

۴ــ اگر امتدادی در ربع چهارم باشد، بین ژیزمان و زاویه حامل رابطه زیر برقرار است :



$$\left.\begin{matrix}\Delta X_{AB} < 0 \\ \Delta Y_{AB} > 0\end{matrix}\right\}$$ امتداد در ربع چهارم قرار دارد

$$G_{AB} = 360^{\circ} - V_{AB}$$



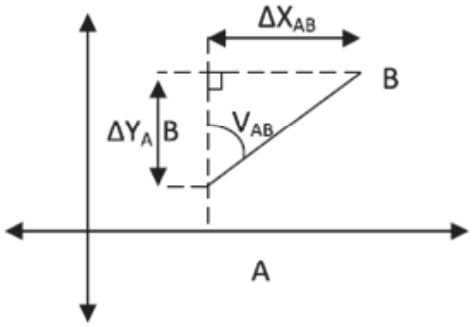
رابطه بین ژیرمان و زاویهٔ حامل بر حسب وضعیت نسبی نقاط ابتدا و انتهای امتداد

در این روابط:

$$\Delta E_{AB}=E_B-E_A$$
$$\Delta N_{AB}=N_B-N_A$$

نحوه محاسبه زاویه حامل:

اگر A و B دو نقطه از امتداد AB باشند و X_A و Y_A مختصات نقطه A و X_B و Y_B مختصات نقطه B باشند



با توجه به شکل مقابل داریم :

$$\tan V_{AB} = \left|\frac{\Delta X_{AB}}{\Delta Y_{AB}}\right| \rightarrow$$

$$V_{AB} = \tan^{-1}\left|\frac{\Delta X_{AB}}{\Delta Y_{AB}}\right|$$

برای آنکه معلوم شود زاویه مورد نظر مربوط به کدام ربع است، از علامت ΔX و ΔY استفاده می شود.

نحوه تعیین ژیزمان یک امتداد:

برای تعیین ژیزمان یک امتداد دو حالت زیر را در نظر می گیریم:

- (۱) محاسبه ژیزمان یک امتداد وقتی مختصات دو نقطه از آن معلوم باشد؛
- (۲) محاسبه ژیزمان یک امتداد وقتی زاویه آن نسبت به یک امتداد مشخص، معلوم باشد.

(۱) تعیین ژیزمان یک امتداد وقتی مختصات دو نقطه از آن معلوم باشد:

چنانچه A به مختصات X_A و Y_A و B به مختصات X_B و Y_B دو نقطه از امتداد AB معلوم باشند، برای تعیین ژیزمان AB ابتدا مقدار زاویه حامل امتداد را محاسبه نموده (V) و سپس با استفاده از آن ربعی را که در آن قرار می گیرد مشخص می نماییم. مطابق با جدول زیر، ژیزمان امتداد از روی زاویه حامل و ربع مربوط به آن تعیین می شود.

$$V_{AB} = \tan^{-1}\left|\frac{\Delta X_{AB}}{\Delta Y_{AB}}\right|$$

ربع مختصات	رابطه ژیزمان و زاویه حامل
اول	$G_{AB}=V_{AB}$
دوم	$G_{AB}=180^{\circ}-V_{AB}$
سوم	$G_{AB}=180^{\circ}+V_{AB}$
چهارم	$G_{AB}=360^{\circ}-V_{AB}$

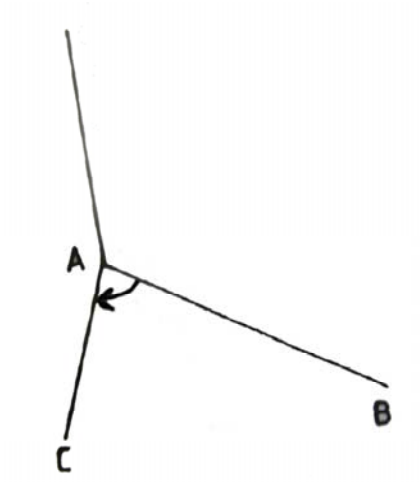
(۲) تعیین ژیزمان یک امتداد وقتی زاویه آن نسبت به یک امتداد مشخص، معلوم باشد.

اگر ژیزمان امتداد AB معلوم باشد (G_{AB}) و بخواهیم ژیزمان امتداد AC را که در مبدا با AB مشترک است تعیین کنیم؛ به این ترتیب:

$$G_{AC}=G_{AB}+\alpha$$

در این رابطه باید دقت نمود که:

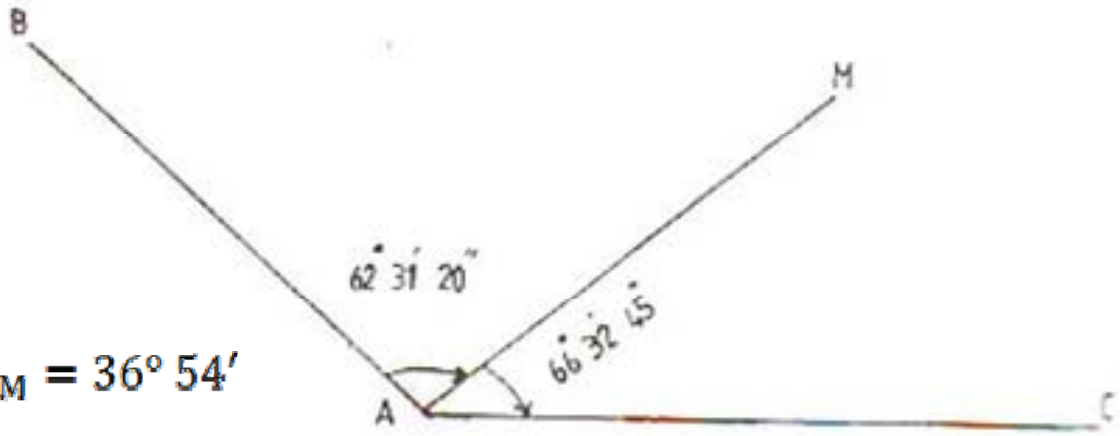
- ✓ زاویه بین دو امتداد(α) باید از مبدا امتداد معلوم (مبدا AB) و در جهت ساعتگرد اندازه گیری شود و اگر پادساعتگرد باشد باید از قرینه آن استفاده نمود.
- ✓ نظر به اینکه زاویه کامل (۳۶۰ درجه) عملا به عنوان زاویه صفر منظور می شود، اگر در جریان محاسبات، ژیزمان یک امتداد و یا مقدار یک زاویه از ۳۶۰ درجه بیشتر شود و یا مقدار آن منفی شود، می توان با دخالت دادن زاویه کامل به آن، ژیزمان و یا زاویه را به مقدار بین صفر و ۳۶۰ درجه تبدیل نمود. این تبدیل در هیچ یک از نسبت های مثلثاتی تغییری حاصل نمی کند.



$$G_{AB} = 165^\circ\, 30'$$

$$\widehat{BAC} = 75^\circ\, 21'\, 30''$$

$$G_{AC} = G_{AB} + \widehat{BAC} = 240^\circ\, 51'\, 30''$$



$G_{AM} = 36° 54'$

$\widehat{MAC} = 66° 32' 45''$

$\widehat{BAM} = 62° 31' 20''$

$$G_{AC} = G_{AM} + \widehat{MAC} = 103° 26' 45''$$

$$G_{AB} = G_{AM} + \widehat{MAB} = 36° 54' + (360° - 62° 31'20'') = 334° 22' 40''$$

به طور کلی بین مختصات دو نقطه A و B، G_{AB} و فاصله AB رابطه زیر برقرار است:

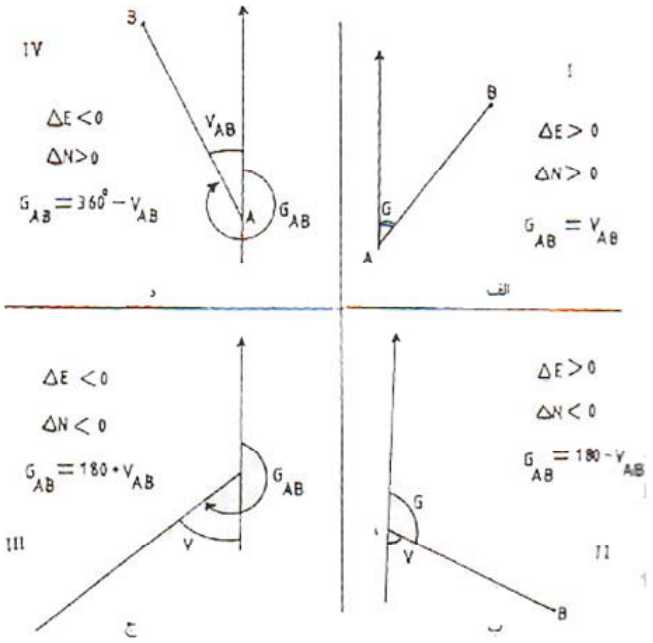
$\Delta E_{AB}=E_B-E_A$

$\Delta N_{AB}=N_B-N_A$

$$\Delta E_{AB} = D_{AB} \times \text{Sin } G_{AB}$$

$$\Delta N_{AB} = D_{AB} \times \text{Cos } G_{AB}$$

$$D_{AB} = \sqrt{\Delta E^2 + \Delta N^2}$$



پیمایش
Traverse

تعریف:

اگر چند نقطه روی زمین به گونه ای انتخاب شوند که متوالیاً تشکیل خط شکسته ای را بدهند، اندازه گیری طول ها و زوایای این خط را "پیمایش" گویند.

❖ **انواع پیمایش در نقشه برداری:**

۱- پیمایش باز

۲- پیمایش بسته

❖ **اصول کلی در پیمایش:**

۱- پیمایش باید از یک نقطه معلوم شروع و به نقطه معلوم دیگری پایان یابد.

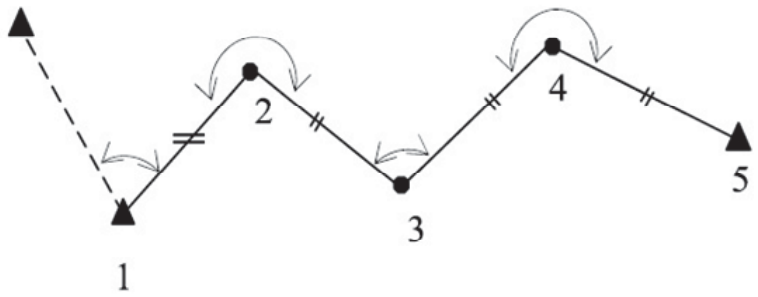
۲- آزیموت ها یا ژیزمان های خطوط اول و آخر پیمایش باید معلوم باشند.

پیمایش باز یا پیمایش زنجیره ای (traverse or Link traverse Open):

در این روش نقطه شروع با نقطه پایانی پیمایش متفاوت است. برای کنترل صحت عملیات و دستیابی به میزان خطای مجاز می توان عملیات را به یکی از دو صورت زیر کنترل نمود:

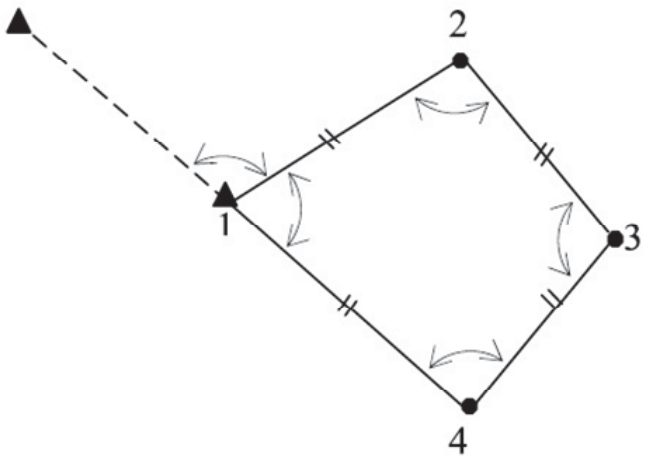
الف) پیمایش را از نقطه ای که قبلا مختصات آن معلوم بوده شروع و به نقطه ای دیگر که مختصات آن نیز در همان دستگاه معلوم است ختم می نمایند.

ب) آزیموت امتداد های شروع و پایان پیمایش را مستقیما اندازه گیری نموده؛ یک بار نیز آزیموت پایانی را با توجه به زوایای خوانده شده در حین پیمایش محاسبه کرده و نتیجه را با آزیموت اندازه گیری شده مقایسه می کنند.



پیمایش بسته یا پیمایش چند ضلعی (traverse Closed)

در این روش پیمایش از یک نقطه شروع و به همان نقطه ختم می شود. به چند ضلعی که در این حالت ایجاد می شود پلیگون (Polygon) گویند.



از پیمایش بستهٔ پلیگون معمولاً در مناطقی که طول و عرض منطقه تقریباً مساوی است استفاده می‌شود. همچنین در مناطقی که نقاط با مختصات معلوم در دسترس نیست می‌توان با فرضی گرفتن مختصات نقطه اول از این نوع پیمایش استفاده کرد. البته این‌حالت فقط برای نقشه‌برداری مناطق کوچک کاربرد دارد.

مراحل پیمایش:

پیمایش را می‌توان به سه مرحله کلی زیر تقسیم بندی کرد :

الف) شناسایی

ب) اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات پیمایش

ج) محاسبات

الف) شناسایی :

در این مرحله گروه شناسایی با مراجعه مستقیم به محلی که قرار است پیمایش انجام شود، منطقه را شناسایی کرده ومحل ایستگاه‌های پیمایش را انتخاب و علامت‌گذاری کرده و مستحکم می‌کنند و در نهایت ازموقعیت نقاط موجود یک کروکی تهیه می‌کنند.

محل ایستگاهای پیمایش بنا به هدفی که از پیمایش دنبال می‌شود انتخاب می‌شوند به عنوان مثال چنانچه هدف، برداشت توپوگرافی منطقه و تهیه نقشه باشد ایستگاه‌های پیمایش را طوری در نظر می‌گیرند که از آنها بتوان بیشترین جزئیات محدوده مورد نظر را برداشت کرد و چنانچه هدف از پیمایش پیاده کردن نقشه یک مسیر باشد محل ایستگاه‌ها را طوری در نظر می‌گیرند که از آنها بتوان اجزای مسیرمورد نظر (محورمستقیم راه و نقاط ابتدا و رأس و انتهای قوس) را با دقت بالایی پیاده کرد. امّا در هر حال رعایت موارد زیر برای انتخاب محل ایستگاه‌های پیمایش ضروری است :

۱ــ از هر ایستگاه به ایستگاه قبلی و بعدی باید حتماً دید برقرار باشد، ولی نیازی نیست که از یک نقطه به همه نقاط پیمایش دید برقرار باشد.

۲ــ زمینی که در آن ایستگاه پیمایش ساخته می‌شود باید مستحکم و پایدار باشد بنابراین زمین‌های نرم و سست و کنار رودخانه‌ها ونهرها جای مناسبی برای ایستگاه پیمایش نیست

۳ــ ایستگاه‌های پیمایش باید از دور به خوبی دیده شوند، بنابراین زمین‌های مسطح و مرتفع مکان مناسبی برای نقاط پیمایش بوده و زمین‌های پوشیده از بوته و علف‌های وحشی مکان مناسبی برای آنها نیست.

۴ــ برای کاهش خطای سانتراژ(دوربین ومنشور) در اندازه‌گیری زاویه، تا حد امکان طول اضلاع پیمایش بلند در نظر گرفته شود.

ب) اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات پیمایش

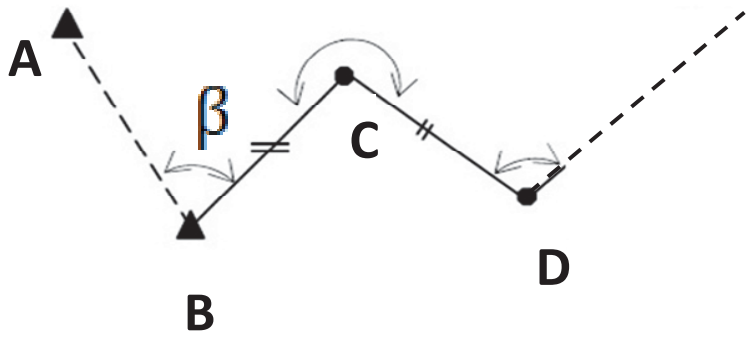
طول‌ها با استفاده ازیک طولیاب و به صورت رفت و برگشت و زوایا هم به‌وسیله یک زاویه‌یاب ثانیه‌ای و در چند کوپل (معمولاً در دو کوپل) اندازه‌گیری می‌شوند. در صورت استفاده از توتال استیشن، اندازه‌گیری زاویه‌ها و طول‌ها به طور همزمان انجام می‌شود. در کارهای دقیق مثل نقشه‌برداری تونل و مترو برای محاسبهٔ آزیموت ضلع اول از وسیله‌ای به نام ژیروسکوپ استفاده می‌شود. این دستگاه قادر است آزیموت حقیقی یک امتداد را با دقت ۲۰ ثانیه اندازه‌گیری نماید.

ج) محاسبات پیمایش

برای انجام محاسبات باید مختصات ایستگاه اول و همچنین ژیزمان امتداد اول مشخص باشد.

کمیت های اندازه گیری در پیمایش:

در هر پیمایش دو کمیت طول و زاویه (آزیموت) اندازه گیری می شوند. رایج ترین وسیله برای اندازه گیری طول در پیمایش، نوار فولادی است. برای تعین آزیموت امتداد ها می توان آن ها را به طور مستقیم و یا با اندازه گیری زاوایای بین امتداد ها تعیین نمود. در این حالت فقط آزیموت یک یا دو امتداد به طور مستقیم تعیین می شود و آزیموت سایر خطوط با اندازه گیری زاویه بین امتداد ها و دخالت دادن آن ها در آزیموت ضلع قبلی محاسبه می شود.



$$Az_{AB} = \propto$$

$$Az_{BC} = Az_{BA} + \beta$$

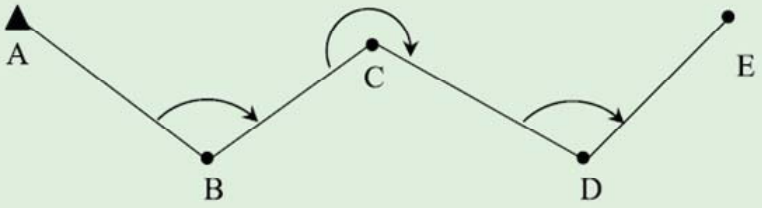
$$Az_{BC} = Az_{AB} \pm 180^{\circ} + \beta$$

$$\Delta X_{AB} = X_B - X_A = L_{AB} \times \mathrm{Sin}\, Az_{AB}$$

$$\Delta Y_{AB} = Y_B - Y_A = L_{AB} \times \mathrm{Cos}\, Az_{AB}$$

مثال:

مطابق شکل زیر به منظور ایجاد تعدادی نقطهٔ کنترل، یک پیمایش باز انجام شده است. مختصات نقطهٔ A برابر (۱۰۰ , ۱۰۰) و $G_{AB} = ۱۴۰^{\circ}$ می‌باشد. مطلوب است محاسبه مختصات نقاط مجهول در این پیمایش.



$AB = 135m \ \angle B = 120^{\circ}$

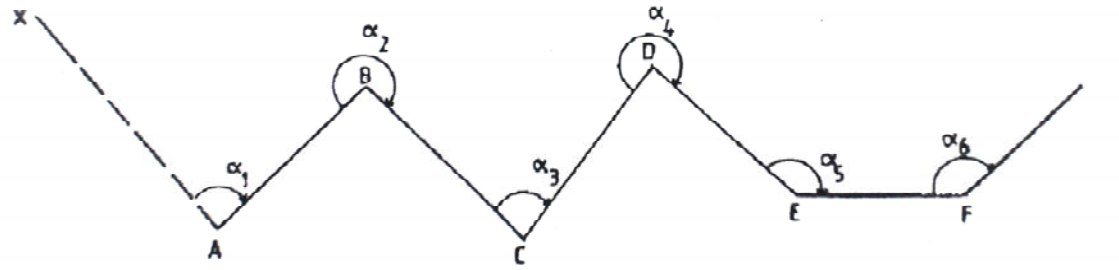
$BC = 125m \ \angle c = 240^{\circ}$

$CD = 185m \ \angle D = 100^{\circ}$

$DE = 150\ m$

خطای بست زاویه ای در پیمایش باز:

اگر GXA (ژیزمان ضلع اولیه) و GFY (ژیزمان ضلع پایانی) را به عنوان ژیزمان های معلوم داشته باشیم، و n تعداد رئوس پیمایش باشد؛ خطای بست زاویه ای در این نوع پیمایش به شرح زیر است:



$$G_{FY} = G_{XA} + 180°n + \sum \alpha_i$$

$$F_{\alpha} = G_{XA} + 180°n + \sum \alpha_i - G_{FY}$$

خطای بست زاویه ای در پیمایش بسته:

قبل از محاسبه مختصات لازم است کلیه اندازه گیری ها از نظر اشتباهات احتمالی و نیز مجاز بودن خطا های اندازه گیری کنترل شوند. برای کنترل عملیات با توجه به خطای مجاز، بایستی مجموع زوایای داخلی پلیگون برابر با (n-۲)×90(4 باشد.

به طور کلی در یک چند ضلعی بسته که زوایای داخلی (∝) و خارجی (β) باشند باید داشته باشیم:

$$\sum \alpha = (2n - 4) \times 90° \qquad \sum \beta = (2n + 4) \times 90°$$

n: تعداد رئوس چند ضلعی

اما در عمل به دلیل وارد شدن خطا های اندازه گیری، مجموع مقادیر فوق به ندرت با مقادیر تئوری آن ها برابر می شود. بین این دو مقدار اختلافی وجود دارد که آن را خطای بست زاویه ای می گویند.

$$f_{\alpha} = \sum \alpha - (2n - 4) \times 90° \qquad F_{\alpha} = \sum \beta - (2n + 4) \times 90°$$

تعدیل خطای بست زاویه ای

وجود خطاهای اندازه گیری باعث می شوند که بین مقادیر حاصل از اندازه گیری و مقادیر تئوری، اختلاف وجود داشته باشد. تفاضل بین این دو مقدار، خطای بست زاویه ای است. اگرخطای بست ازحداکثر مقدار مجاز ($F_{\alpha\ max}$) بیشتر نباشد، می توان خطای بست را به نسبت مساوی بین اندازه گیری ها توزیع نمود:

$$F_{\alpha\ max} = 2.5\ e\sqrt{n}$$

$F_{\alpha\ max}$: حداکثر خطای مجاز

n: تعداد رئوس پیمایش

e: حداقل مقدار قابل تخمین در قرائت لمب افقی زاویه یاب

$$C_{\alpha} = \frac{-f_{\alpha}}{n}$$

f_{α} : خطای بست زاویه ای

C_{α} : سهم تعدیل هر زاویه

$$\acute{\alpha} = \alpha + C_{\alpha}$$

زاویه تعدیل شده

برای محاسبه ژیزمان تعدیل شده امتداد ها باید زاویه های تعدیل شده را به ژیرمان ضلع قبلی وارد نمود.

مثال:

مطابق شکل زیر یک عمل پیمایش بسته انجام گرفته است. با فرض اینکه مختصات نقطه A برابر (X ۱۰۰/۰۰۰ و Y ۹۰۸/۹۸۰) و G_{AB} ۱۰۶°۲۳′۴۵″ باشد، مختصات نقاط دیگر (E , D , C , B) را محاسبه کنید. دقت زاویه‌ای دوربین را ۱۰ ثانیه درنظر بگیرید.

زاویه	طول
A=64°53′00″	AB = 690 . 880
B=206°34′45″	BC = 616 . 050
C=64°20′45″	CD = 677 . 970
D=107°33′45″	DE = 970 . 260
E=96°38′15″	EA = 783 . 320