

فصل

دوم

# زاویه‌یابی



زاویه‌یابی به روش کویل

## هدف‌های رفتاری

پس از آموزش و مطالعه این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود بتواند :

- ۱- زاویه افقی را تعریف نماید.
- ۲- زاویه قائم و انواع آن را توضیح دهد.
- ۳- اندازه‌گیری زاویه افقی به روش کوپل را توضیح دهد.
- ۴- اندازه‌گیری زاویه قائم به روش کوپل را توضیح دهد.

## مطالب پیش نیاز

قبل از مطالعه این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود با مطالب زیر آشنا باشد :

- ۱- آشنایی با فصل اول کتاب «هندسه (نقشه برداری) بخش زاویه
- ۲- آشنایی با فصل ششم کتاب «مساحی»

### نکته‌ها :

رسول الله (ص) كَلَّمَ امْرَأَتِي بِاللَّيْلِ لَا يُبَدَأُ فِيهِ «بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ»

اطلع

هر کار مهمی که با «بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ» آغاز نشود بی‌فایده است.

## زاویه‌یابی

### مقدمه

زاویه در نقشه‌برداری زمینی پرسابقه‌ترین مشاهده برای تعیین موقعیت نقاط بوده و تاکنون تلاش‌های گسترده‌ای برای اندازه‌گیری دقیق آن صورت گرفته است. امروزه دوربین زاویه‌یاب (تئودولیت) ابزار متداول و دقیق اندازه‌گیری زاویه است. اندازه‌گیری زاویه با دوربین زاویه‌یاب را در اصطلاح زاویه‌خوانی (زاویه‌یابی) می‌گویند. در نقشه‌برداری و علوم وابسته به آن، زوایا توسط زاویه‌یاب در دو صفحه افقی و قائم برای تعیین موقعیت نقاط با دقت بالایی اندازه‌گیری می‌شوند. در این فصل ضمن یادآوری مطالبی از کتاب هندسه و مساحی در مورد زاویه و واحدهای آن، با ساختار دوربین زاویه‌یاب آشنا شده و اصول زاویه‌یابی برای زوایای افقی و قائم را فرا می‌گیرید. همچنین پس از آشنایی با کلیاتی از خطاهای زاویه‌یابی، روش قرائت کوپل را برای افزایش دقت زاویه‌یابی یاد می‌گیرید.



### مفاهیم کلیدی

زاویه

Angle

زاویه افقی

Horizontal Angle

زاویه قائم

Vertical Angle

لمب افقی

Horizontal Limb

لمب قائم

Vertical Limb

قراول روی (نشانه‌روی)

Pointing

دایره به راست

Circle Right

دایره به چپ

Circle Left

### بیشتر بدانیم

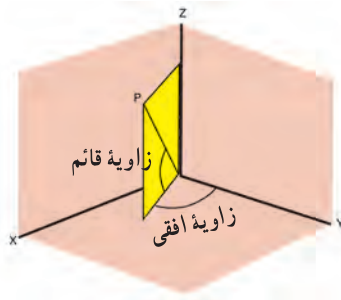


گنجینه نجوم و ساعت: این گنجینه در شهر مقدس مشهد و در موزه آستان قدس رضوی وجود دارد. در این مجموعه تعدادی کره جغرافیایی و سماوی، اسطرلاب، تلسکوپ، دوربین‌های مختلف نقشه‌برداری، قبله‌نما و ساعت‌های آفتابی از قرن ۱۲ هجری قمری تاکنون به نمایش درآمده است.

## ۲-۱- یادآوری

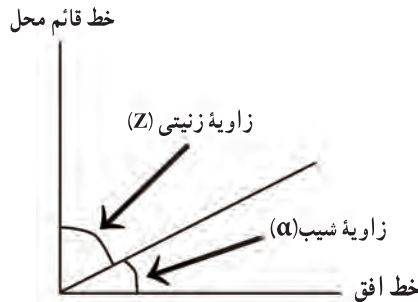
### زاویه در نقشه برداری

همانطور که در سال دوم آموختید، زاویه از تقاطع دو خط در یک صفحه ایجاد می‌شود که محل تقاطع را رأس زاویه می‌نامند. در نقشه برداری زاویه به دو نوع افقی و قائم تقسیم می‌شود. زاویه افقی عبارت است از زاویه‌ای که از تصویر افقی بین دو امتداد در صفحه افقی حاصل می‌شود و زاویه قائم عبارت است از زاویه‌ای که پس از تصویر یک امتداد در صفحه قائم با امتداد قائم محل حاصل می‌شود.



شکل ۲-۱- زاویه افقی و قائم

زاویه قائم به دو صورت شیب و زینتی (سمت الرأس) قابل تعریف می‌باشد. زاویه زینتی زاویه‌ای است که نسبت به امتداد قائم بر محل (سمت الرأس) اندازه‌گیری شده و با  $Z$  نمایش داده می‌شود. زاویه شیب، متمم زاویه زینتی بوده و به عبارتی کوچک‌ترین زاویه امتداد مورد نظر با صفحه افق می‌باشد که با  $\alpha$  نمایش می‌دهند.



شکل ۲-۲- زاویه شیب و زینتی

همانطور که قبلاً آموختید بین زاویه شیب و زینتی رابطه زیر برقرار می باشد :

$$Z = 90^\circ - \alpha$$

به عبارتی با اندازه گیری هر یک از زاویه های شیب و زینتی، می توان زاویه دیگر را محاسبه و یا کنترل کرد.



زاویه یاب آنالوگ



زاویه یاب دیجیتال

شکل ۲-۳- قرانت زاویه با زاویه یاب آنالوگ و دیجیتال

### بیشتر بدانیم



کادران : وسیله اندازه گیری زاویه های قائم در قدیم

## مثال ۲-۱: تبدیل زاویه شیب به زینتی

زاویه شیب یک سرازیری در امتداد یک مسیر روی زمین برابر  $1^\circ$  درجه اندازه‌گیری شده است. زاویه زینتی این سرازیری چقدر است؟

**راهکار کلی:** از آنجاکه زاویه شیب و زینتی متمم هم هستند، مجموع آنها  $90^\circ$  درجه است. بنابراین  $Z = 90^\circ - \alpha$  می‌باشد. همچنین چون زاویه شیب مربوط به سرازیری است بنابراین یک زاویه منفی است. لذا  $\alpha = -1^\circ$ .

روشن حل:

$$Z = 90^\circ - \alpha = 90 - (-10) = 90 + 10 = 100 \quad \text{درجه}$$

**بحث و بررسی:** زاویه زینتی نسبت به امتداد قائم سمت الرأسی تعریف شده و مقدار آن بین صفر تا  $180^\circ$  درجه است اما زاویه شیب نسبت به صفحه افق تعریف شده و مقدار آن بین  $90^\circ -$  تا  $90^\circ +$  درجه است. زاویه شیب را معمولاً بدون علامت ذکر کرده و به جای آن در حالت سرازیری از عبارت «شیب منفی» استفاده می‌کنند. همچنین باید گفت یک امتداد افقی دارای زاویه شیب صفر و زاویه زینتی  $90^\circ$  درجه می‌باشد.

## کار در کلاس:

جدول زیر را پر کنید:

زاویه شیب	زاویه زینتی
$1^\circ$	
	$12^\circ$
$-8^\circ$	
	$8^\circ$

## کار در کلاس:

با توجه به مقدار یک زاویه یا دو زاویه نسبت به هم می‌توان تعاریف مختلفی را ارائه نمود. با توجه به آنچه در کتاب سال دوم فراگرفته‌اید، برای تعاریف صفحه بعد، زاویه یا زوایای موردنظر را ترسیم کنید.

زاویه حاده(تند)	زاویه منفرجه(پاز)	زاویه قائمه(راست)	زاویه نیم صفحه
زاویه کوژ	زاویه کاو	زاویه متمم	زاویه مکمل

### بیشتر بدانیم

در نقشه برداری زاویه را به سه دسته تقسیم بندی می کنند :

۱- زاویه افقی

۲- زاویه قائم

۳- زاویه مایل : زاویه مایل شبه مشاهده جدیدی است که در بعضی مسائل نقشه برداری دقیق (ژئودتیک) از روی زوایای افقی و قائم قابل محاسبه است. بیشترین کاربرد زاویه مایل در نجوم و هیدروگرافی (نقشه برداری دریایی) است.

### واحدهای زاویه و اجزای آن

واحدهای متداول و پر کاربرد زاویه در نقشه برداری عبارت اند از : درجه، گراد و رادیان، که به طور خلاصه شرح داده می شوند.

**الف) درجه :** هر گاه محیط دایره ای به  $360^\circ$  قسمت مساوی تقسیم شود، زاویه مرکزی مقابل به هر قسمت را یک درجه می گویند.

حال چنانچه هر درجه را به  $60^\circ$  قسمت تقسیم کنیم به زاویه مرکزی مقابل آن یک دقیقه می گویند و به همین ترتیب اگر هر دقیقه را به  $60^\circ$  قسمت مساوی تقسیم کنیم به هر قسمت یک ثانیه می گویند. به

عبارتی یک دقیقه برابر  $\frac{1}{60}$  درجه و یک ثانیه  $\frac{1}{3600}$  دقیقه و یا  $\frac{1}{129600}$  درجه می باشد.

درجه، دقیقه و ثانیه را با علائم  $^{\circ}$   $'$   $''$  نمایش می دهند. برای مثال زاویه  $10^{\circ}35'18''$  خوانده می شود ده درجه و سی و پنج دقیقه و هیجده ثانیه. به این سیستم تقسیم بندی و نمایش زاویه سیستم شصت قسمتی می گویند. از سوی دیگر گاهی زاویه را به صورت درجه اعشاری ذکر می کنند:

$$10^{\circ}35'18'' = 10 + 35/60 + 18/3600 = 10.5883^{\circ}$$

همچنین چگونگی تبدیل زاویه درجه اعشاری به سیستم شصت قسمتی در مثال ۲-۲ ذکر شده

است.

(ب) گراد: اگر محیط یک دایره به  $400$  قسمت مساوی تقسیم شود، زاویه مرکزی مقابل هر

قسمت را یک گراد می گویند.

هر گراد را به  $100$  قسمت مساوی تقسیم کرده و به هر قسمت یک دقیقه گراد (سانتی گراد)

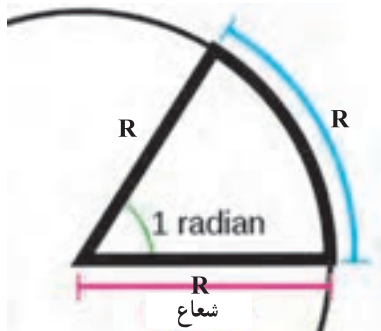
می گویند و همچنین هر دقیقه را به  $100$  قسمت مساوی تقسیم نموده و به هر قسمت یک ثانیه گراد گفته می شود.

به عبارتی یک دقیقه گراد  $\frac{1}{100}$  گراد و یک ثانیه گراد نیز  $\frac{1}{10000}$  دقیقه گراد و یا  $\frac{1}{1000000}$

گراد می باشد. این سیستم واحد را صد قسمتی می گویند.

(ج) رادیان: اگر محیط دایره بر عدد  $2\pi$  تقسیم

شود، هر قسمت آن را یک رادیان می گویند. به عبارتی اگر روی محیط دایره، قوسی به طول شعاع دایره جدا کنیم، زاویه مرکزی روبروی آن قوس، مساوی یک رادیان خواهد شد.



شکل ۲-۴ = مفهوم رادیان.

✓ در محاسبات مهندسی برای رسیدن به دقت

صدم ثانیه باید عدد پی را تا ده رقم اعشار در محاسبات

اعمال نمود. مقدار عددی عدد پی تا ده رقم اعشار برابر

$3.1415926535$  می باشد.

✓ موقعیت نقاط در روی زمین را معمولاً با مختصات جغرافیایی (زوایای طول و عرض

جغرافیایی در واحد درجه شصت قسمتی) نشان می دهند. اگر زمین را کره فرض نماییم، یک ثانیه

حدود  $3^{\circ}$  متر روی زمین است. چرا؟



گزر قدر پی کنند از تو سؤال پاسخی ده که خردمند تو را آموزد  
 خرد و بینش و آگاهی دانشمندان ره سر منزل مقصود بما آموزد  
 $\frac{3}{5} \quad \frac{1}{4} \quad \frac{1}{5} \quad \frac{2}{6} \quad \frac{3}{5} \quad \frac{4}{9} \quad \frac{5}{2} \quad \frac{6}{5} \quad \frac{3}{5}$   
 آیا می‌توانید رابطه‌ای بین بیت دوم و عدد  $\pi$  تا ده رقم اعشار پیدا کنید؟  
 $\pi = 3.1415926535$

تبدیل واحدها: بین واحدهای زاویه رابطه زیر برقرار می‌باشد که از آن می‌توان برای تبدیل آنها به هم استفاده نمود.

$$\frac{D}{360} = \frac{G}{400} = \frac{R}{2\pi} \Rightarrow \frac{D}{180} = \frac{G}{200} = \frac{R}{\pi}$$

$$\frac{D}{9} = \frac{G}{10}$$

که در آن D و G و R به ترتیب مقادیر عددی زاویه بر حسب درجه، گراد و رادیان می‌باشد.

### مثال ۲-۲: تبدیل واحدهای زاویه

یک رادیان چند درجه و چند گراد است؟

راهکار کلی: رابطه تبدیل واحد را نوشته و عدد معلوم را جایگذاری می‌کنیم، سپس با طرفین وسطین کردن این رابطه عدد مجهول را برای واحد زاویه مورد نظر محاسبه می‌نماییم. در این مثال زاویه بر حسب رادیان معلوم است بنابراین آن را به جای R در رابطه تبدیل واحدها می‌گذاریم:

$$\frac{D}{360} = \frac{G}{400} = \frac{R}{2\pi} \Rightarrow \frac{D}{180} = \frac{G}{200} = \frac{R}{\pi}$$

روش حل:

$$R = 1$$

$$\frac{1}{\pi} = \frac{D}{180} \rightarrow \frac{1}{\pi} = \frac{D}{180} \rightarrow D = \frac{1 \times 180}{\pi} = 57.2958 = 57^\circ 17' 44.9''$$

$$\frac{D}{9} = \frac{G}{10} \rightarrow G = \frac{10}{9} \times 57.2958 = 63.6620$$

بحث و بررسی : همانطور که در بالا مشاهده کردید بعد از محاسبه زاویه برحسب درجه از آنجا که عدد محاسبه شده اعشاری و به عبارتی در سیستم ده دهی می باشد باید آن را به سیستم شصت قسمتی تبدیل کنیم. برای این کار می توان از کلید مربوط به آن در ماشین حساب استفاده نمود. البته اصول تبدیل به این صورت است که قسمت اعشاری عدد که در اینجا  $۰/۲۹۵۸$  می باشد در عدد  $۶۰$  ضرب می شود که حاصل آن عدد  $۱۷/۷۴۸$  می باشد. قسمت صحیح عدد حاصل یعنی  $۱۷$  را به عنوان دقیقه در نظر گرفته و سپس قسمت اعشاری آن یعنی  $۰/۷۴۸$  در عدد  $۶۰$  ضرب می شود که حاصل آن عدد  $۴۴/۸۸$  همان مقدار ثانیه می باشد که در مثال بالا به عدد  $۴۴/۹$  گرد شده است.

### کار در کلاس:

زوایای زیر را محاسبه کنید :

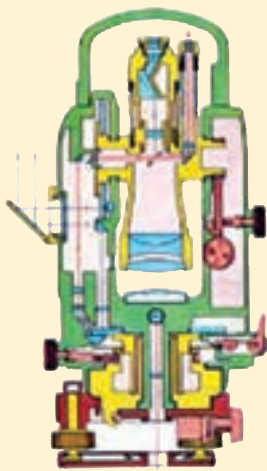
الف)  $۲۶۵$  گراد چند درجه است؟

ب)  $\frac{3\pi}{8}$  چند گراد و چند درجه است؟

ج)  $۱۸^{\circ}۴۴'۴۴''$  چند گراد است؟

د)  $۲۷^{\circ}$  درجه چند رادیان است؟

### بیشتر بدانیم



ساختار داخلی دوربین زاویه یاب

(در مورد قسمت های مختلف آن

تحقیق کنید)

## ۲-۲- دوربین زاویه یاب (تئودولیت)

زاویه یاب (تئودولیت) دوربینی است که در نقشه برداری برای اندازه گیری زوایای افقی و قائم به کار می رود. تفاوت اصلی زاویه یاب با تراز یاب در این است که زاویه یاب را می توان در یک صفحه عمودی حول یک محور افقی نیز چرخاند، در نتیجه با این وسیله علاوه بر زاویه افقی، زاویه قائم را نیز می توان اندازه گیری کرد.

علاوه بر این زاویه یاب ها طوری طراحی شده اند که با استفاده از آنها بتوان زوایا را با دقت بالا اندازه گیری نمود.

زاویه یاب ها را می توان به دو دسته تقسیم بندی کرد: زاویه یاب های آنالوگ یا اپتیکی (دارای ساختار اپتیکی - مکانیکی) و زاویه یاب های رقومی یا دیجیتال (دارای ساختار اپتیکی - الکترونیکی) که هر دو نوع در دقت های مختلفی ساخته شده اند و قادرند زاویه را در دقت هایی مانند ۱ دقیقه، ۲۰ ثانیه، ۱ ثانیه و حتی ۱/۱۰ ثانیه اندازه گیری نمایند. در زاویه یاب های دیجیتال، مقدار زوایا روی یک صفحه کریستال مایع (LCD) نمایش داده می شود.



شکل ۲-۵- دوربین زاویه یاب آنالوگ و دیجیتال

## ۳-۲- اندازه‌گیری زاویه با زاویه‌یاب

اگر چه زاویه‌یاب ابزار پیچیده‌ای است ولی اندازه‌گیری زوایای افقی و قائم با این دستگاه بسیار آسان است. در این قسمت ابتدا اصول زاویه‌یابی با زاویه‌یاب را برای زوایای افقی و قائم تشریح نموده و سپس روش کوپل برای اندازه‌گیری زاویه افقی و قائم تشریح می‌گردد.

### اصول اندازه‌گیری زاویه افقی

لمب افقی زاویه‌یاب‌ها شبیه به یک نقاله از صفر تا  $360^\circ$  درجه و یا  $400$  گراد در جهت حرکت عقربه‌های ساعت درجه‌بندی شده است. بنابراین اندازه‌گیری زاویه افقی بین دو امتداد متقاطع روی زمین شبیه اندازه‌گیری یک زاویه بین دو امتداد متقاطع توسط نقاله روی کاغذ می‌باشد.



شکل ۲-۶- لمب افقی

### بیشتر بدانیم

برخی از کاربردهای دوربین زاویه‌یاب :

- ۱- اندازه‌گیری زوایای افقی و قائم
- ۲- تعیین زاویه شیب و شیب درصد
- ۳- اندازه‌گیری فاصله به روش استادیومتری
- ۴- مشخص کردن یک امتداد روی زمین

به طور مثال مراحل اندازه‌گیری زاویه افقی B با زاویه‌یاب مطابق شکل (۲-۷) به صورت زیر

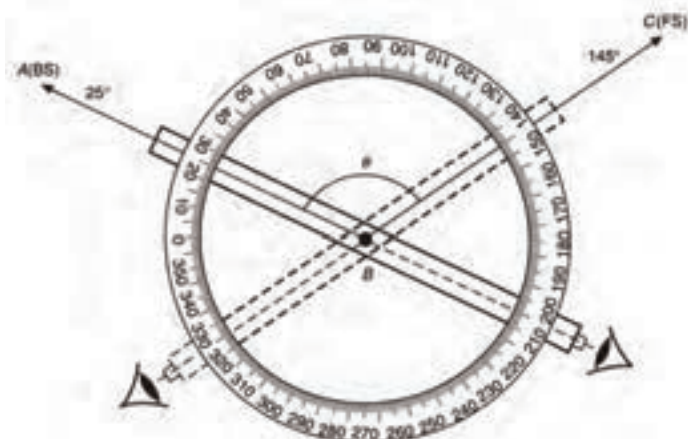
می‌باشد :

- ۱- دوربین بر روی نقطه رأس زاویه یعنی نقطه B دقیقاً قرار گرفته کاملاً تراز می‌شود.
- ۲- به نقطه A نشانه‌رویی کرده و عدد لمب افقی  $25$  درجه مشاهده و یادداشت می‌شود.

۳- سپس دوربین را به سمت نقطه C چرخانده و پس از نشانه روی، عدد لمب افقی ۱۴۵ درجه مشاهده و یادداشت می شود.

۴- اندازه زاویه افقی برابر است با اختلاف این دو عدد

$$\angle B = 145^\circ - 25^\circ = 120^\circ$$



شکل ۲-۷- اندازه گیری زاویه افقی

مثال ۲-۳: محاسبه زاویه افقی از روی مشاهدات زاویه یاب

در صورتی که قرائت های لمب افقی در یک زاویه یاب اپتیکی برای نقاط A و B به قرار زیر باشد، زاویه راس S را محاسبه نمایید.

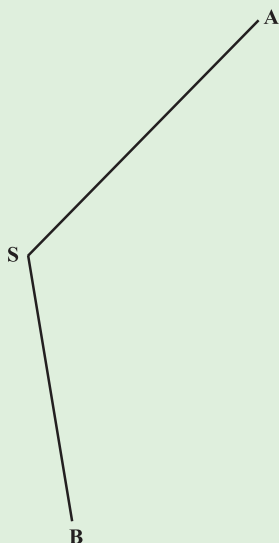
$$L_A = 65.4313 \text{ g}$$

$$L_B = 198.0916 \text{ g}$$

راهکار کلی: از رابطه زیر استفاده کرده و اعداد

داده شده را جایگذاری می کنیم:

$$\angle ASB = \alpha = L_B - L_A$$



## روش حل :

$$\angle ASB = \alpha = L_B - L_A \rightarrow \alpha = 198.0916 - 65.4313 = 132.6603 \text{ g}$$

✓ **بحث و بررسی :** زاویه یاب‌های اپتیکی از نظر واحد زاویه در دو نوع گرادی و درجه‌ای ساخته می‌شوند. که در این مثال همانطور که می‌بینید دوربین از نوع گرادی می‌باشد. اما در دوربین‌های دیجیتالی این امکان وجود دارد که واحد نمایش دوربین را به هر دو حالت درجه‌ای و یا گرادی تنظیم کنید.

✓ در حالتی که قرائت روی نقطه B یعنی  $L_B$  کمتر از  $L_A$  باشد مقدار زاویه منفی خواهد شد که در حالتی که واحد زاویه درجه باشد به این مقدار باید  $36^\circ$  درجه و در حالتی که گراد باشد،  $400$  گراد اضافه شود.

✓ چنانچه نقطه نشانه A یا B از داخل دوربین قابل رؤیت نباشد می‌توان یک ژالن به صورت قائم در نقطه مزبور مستقر کرد. برای کارهای دقیق نیز از یک صفحه نشانه (صفحه تارگت) استفاده می‌شود که بر روی سه پایه تتودولیت نصب می‌شود.

## اصول اندازه‌گیری زاویه قائم

همانطور که در ابتدای فصل گفته شد با زاویه یاب، زاویه قائم را نیز می‌توان اندازه‌گیری کرد. زاویه قائم به دو صورت شیب و زینتی قابل تعریف است اما در اکثر دوربین‌های آنالوگ صفر لمب قائم روی امتداد سمت الرأس قرار گرفته است بنابراین این نوع زاویه یاب‌ها قادرند تنها زاویه زینتی (سمت الرأسی) یک امتداد را اندازه‌گیری نمایند و لذا می‌بایست زاویه شیب را محاسبه نمود. (نحوه محاسبه زاویه شیب از روی زاویه زینتی در قسمت یادآوری همین فصل گفته شد). اما در زاویه یاب‌های دیجیتالی این محدودیت وجود ندارد یعنی می‌توان با تنظیم لمب قائم دوربین، صفر لمب قائم را در حالت زاویه سمت الرأس و یا افق قرار داده و زاویه قائم را در حالت زینتی و یا شیب اندازه‌گیری نمود.

برای اندازه‌گیری زاویه قائم یک امتداد با زاویه یاب ابتدا به نقطه مورد نظر نشانه روی کرده و عدد مربوط به لمب قائم را قرائت و یادداشت می‌کنیم، زاویه قرائت شده در این حالت، همان زاویه قائم آن امتداد خواهد بود. توجه به این مطلب اهمیت دارد که اگر زاویه قائم قرائت شده، زینتی (سمت الرأسی) باشد و عدد زاویه کمتر از  $90^\circ$  درجه ( $100$  گراد) باشد، نشان‌دهنده این مطلب است که شیب این امتداد مثبت بوده و نقطه نشانه روی (هدف) در ارتفاع بالاتری نسبت به نقطه استقرار دوربین

قرار دارد. و چنانچه زاویهٔ زینتی بیشتر از  $90^\circ$  درجه ( $100^\circ$  گراد) باشد، شیب زمین در این امتداد منفی بوده و نقطهٔ مورد نظر در ارتفاع پایین‌تری از نقطه استقرار دوربین قرار دارد.

### مثال ۲-۳: تعیین جهت شیب زمین از روی زاویهٔ قائم

زاویه زینتی امتداد AB با زاویه یاب  $103.8890^\circ$  گراد قرائت شده است. مطلوب

است:

الف) محاسبه زاویه شیب امتداد AB

ب) تعیین جهت شیب زمین روی امتداد AB

راهکار کلی:

الف) از رابطه روبه‌رو استفاده کرده و زاویه شیب را به دست می‌آوریم:

$$\alpha = 100 - Z$$

ب) اگر عدد زاویه زینتی از  $100^\circ$  گراد بیشتر باشد می‌توان نتیجه گرفت که شیب

امتداد مورد نظر منفی است.

روش حل: الف)

$$\alpha = 100 - 103.8890 = -3.8890 \text{ grad}$$

ب) جهت شیب زمین امتداد مورد نظر منفی است چون عدد زاویه زینتی از  $100^\circ$

گراد بیشتر است.

بحث و بررسی: البته با توجه به علامت زاویه شیب که در اینجا منفی است

می‌توان فهمید که شیب زمین در امتداد مورد نظر منفی یا سربالایی است.

### بیشتر بدانیم

گذشته از پیشرفت‌های اخیر در ساخت زاویه‌یاب‌های دقیق، اندازه‌گیری زاویه به روش فوق با انواع خطاهای سیستماتیک و اتفاقی همراه می‌باشد. معمولاً برای کاهش و تعدیل این خطاها از روش‌های زاویه‌یابی مختلفی از قبیل تجدید، تکرار، دور افق و کوپل استفاده می‌شود. این روش‌ها علاوه بر افزایش دقت اندازه‌گیری زاویه، اعتمادپذیری به مقدار زاویهٔ اندازه‌گیری شده را نیز افزایش می‌دهد. در ادامه ابتدا خطاهای زاویه‌یابی

را بررسی کرده و سپس متداول‌ترین روش قرائت زاویه یعنی روش کوپل را تشریح می‌نماییم.

**خطاها در زاویه‌یابی :** خطاهای زاویه‌یابی را بر اساس منابع خطا به سه دسته خطاهای دستگاهی، انسانی و طبیعی و بر اساس نوع آن به سه دسته خطاهای اتفاقی، تدریجی و اشتباه تقسیم‌بندی می‌کنند. خطاهای طبیعی ناشی از عوامل محیطی است اما خطاهای دستگاهی معمولاً در اثر عدم کالیبراسیون دستگاه پیش می‌آید و برای کاهش آن دستگاه را کنترل و تنظیم می‌نمایند. همچنین خطاهای انسانی ناشی از عملکرد عامل نقشه‌بردار بوده و کاهش آن به تجربه و مهارت فرد بستگی دارد. جدول زیر انواع خطاها و منابع آن را در زاویه‌یابی نشان می‌دهد.

خطا	لمب	منبع خطا	نوع خطا	تعریف خطا	روش تعدیل یا کاهش خطا
خطای کلیماسیون افقی	لمب افقی	دستگاهی	تدریجی	هرگاه محور دیدگانی بر محور چرخش تلسکوپ عمود نباشد در این صورت زاویه انحراف کوچکی در اندازه‌گیری زوایای افقی با زاویه‌یاب به وجود می‌آید که به آن خطای کلیماسیون افقی گویند.	برای کاهش این خطا، از روش قرائت کوپل زوایای افقی استفاده می‌کنند.
خطای کلیماسیون قائم	لمب قائم	دستگاهی	تدریجی	هرگاه محور دیدگانی بر محور اصلی (قائم) عمود نباشد، در این صورت زاویه انحراف کوچکی در اندازه‌گیری زوایای قائم با زاویه‌یاب به وجود می‌آید که به آن خطای کلیماسیون قائم گویند.	برای کاهش این خطا، از روش قرائت کوپل زوایای قائم استفاده می‌کنند.
خطای تقسیمات لمب	لمب افقی و قائم	دستگاهی	اتفاقی	با اینکه لمب‌های افقی و قائم زاویه‌یاب توسط دستگاه‌های دقیق مدرج می‌شوند ولی باز هم ممکن است تقسیمات لمب یکنواخت نباشند و باعث ایجاد خطاهایی اتفاقی می‌شود.	با تکرار مشاهدات و متوسط‌گیری این خطا را کاهش می‌دهند.



خطا	لمب	منبع خطا	نوع خطا	تعریف خطا	روش تعدیل یا کاهش خطا
خطای خروج از مرکز لمب	لمب افقی و قائم	دستگاهی	تدریجی	اگر محور اصلی (قائم) دوربین از مرکز لمب افقی آن نگذرد، این خطا برای زوایای افقی ایجاد می‌شود. همچنین اگر محور چرخش تلسکوپ از مرکز لمب قائم نگذرد، این خطا برای زوایای قائم ایجاد می‌شود.	برای کاهش این خطا از روش قرائت کویبل استفاده می‌کنند.
خطای ایستگاه گذاری (سانتراژ)	لمب افقی	انسانی	اتفاقی	اگر مرکز لمب افقی در راستای شاقولی منطبق بر مرکز ایستگاه دوربین نباشد، این خطا ایجاد می‌شود، که به علت عدم توجه کامل در استقرار دوربین یا انحراف شاقول اپتیکی دوربین می‌باشد.	مقدار این خطا با کاهش طول قراولروی افزایش می‌یابد. برای کاهش آن، عملیات سانتراژ را تکرار و مشاهدات را تکرار می‌نمایند.
خطای تراز نبودن دستگاه	لمب قائم	انسانی	اشتباه	عدم انطباق محور اصلی (قائم) بر محور شاقولی محل.	باید دستگاه را مجدداً تراز و سانتراژ نمود و مشاهده را دوباره تکرار کرد
خطای نشانه‌روی	لمب افقی و قائم	انسانی و دستگاهی	اتفاقی	عدم انطباق تارهای رتیکول تلسکوپ بر محور اپتیکی و نقطه نشانه‌روی	برای کاهش آن، تارهای رتیکول را کالیبره کرده نشانه‌روی را مجدداً انجام داده و قرائت‌ها را تکرار می‌کنند.
خطای نشانه‌گذاری	لمب افقی	انسانی	اتفاقی	این خطا معمولاً به علت شاقولی نبودن (قائم نبودن) ژالن روی نقطه نشانه ایجاد می‌شود.	به‌کارگیری تراز نبشی ژالن و نحوه صحیح نگهداری ژالن
خطای قرائت	لمب افقی و قائم	انسانی	اتفاقی	عامل ایجاد این خطا زاویه دید چشم و ایجاد پارالاکس هنگام قرائت و تقریبات ذهنی یا دستگاهی اعداد خوانده شده می‌باشد.	برای کاهش آن، قرائت‌ها را تکرار می‌کنند.

خطا	لمب	منبع خطا	نوع خطا	تعریف خطا	روش تعدیل یا کاهش خطا
خطای کرویّت زمین	لمب قائم	طبیعی	تدریجی	این خطا به علت کرویّت زمین به خصوص برای طول‌های بلند در زوایای قائم ایجاد می‌شود.	از روابط مربوطه برای جبران این خطا استفاده می‌کنند.
خطای انکسار	لمب افقی و قائم	طبیعی	تدریجی	این خطا به علت شکست نور در لایه‌های مختلف جو به خصوص در روزهای گرم رخ می‌دهد.	برای کاهش آن زاویه‌یابی را در ساعات غیرآفتابی و با دمای پایین انجام می‌دهند.
خطای دید	لمب افقی و قائم	طبیعی	اتفاقی	خطای ناشی از عدم تشخیص رفلکتور یا عارضه	برای کاهش آن زاویه‌یابی را در ساعات غیرمه‌آلود یا بدون غبار یا نور کافی انجام می‌دهند.
خطای پیش‌سه‌پایه	لمب افقی و قائم	طبیعی	اتفاقی	خطای ناشی از نشست سه‌پایه که در زمین‌های ناپایدار و ساعات بادی بیشتر رخ داده و باعث خطای ایستگاه‌گذاری و خروج از تراز دستگاه می‌شود.	برای کاهش آن زاویه‌یابی را در ساعات غیربادی انجام داده و از سه‌پایه محکم با استقرار پایدار استفاده می‌کنند.

اندازه‌گیری زاویهٔ افقی به روش کوپل: برای جلوگیری از اشتباه، کسب دقت بیشتر و کاهش و تعدیل خطاهای دستگاهی و انسانی، روش‌های مختلفی در اندازه‌گیری زاویه وجود دارد. یکی از این روش‌ها، روش قرائت کوپل (قرائت مضاعف) است. در این روش علاوه بر کنترل صحت و درستی قرائت‌ها، خطاهایی مانند خطای کلیماسیون و خطای عدم مرکزیت لمب افقی به صورت عملی کاهش می‌یابد. برای اندازه‌گیری زاویه در این روش، زاویه در دو حالت دایره به چپ و دایره به راست

اندازه‌گیری می‌شود.

**حالت دایره به چپ و دایره به راست در زاویه یاب:** برای قرائت زاویه، هنگام نشانه‌روی که نقشه‌بردار پشت دوربین قرار می‌گیرد، اگر دایره لمب قائم دوربین در سمت چپ او باشد، حالت دوربین را دایره به چپ (حالت مستقیم) و چنانچه لمب قائم دوربین در سمت راست او باشد به حالت دوربین، دایره به راست (حالت معکوس) می‌گویند.

همانطور که گفته شد چنانچه زاویه در دو حالت دایره به چپ و دایره به راست اندازه‌گیری شود، به این روش قرائت کوپل می‌گویند. در این روش برای اینکه دوربین از حالت دایره به چپ به حالت دایره به راست تغییر پیدا کند باید تلسکوپ دوربین به اندازه  $180^\circ$  درجه چرخانده شود. طبیعی است برای آنکه چشمی تلسکوپ مقابل چشم نقشه‌بردار قرار بگیرد باید آلیداد دوربین را نیز  $180^\circ$  درجه دوران داد. در نتیجه لمب دوربین از سمت چپ به سمت راست منتقل شده و دوربین حالت دایره به راست می‌شود.

عدد لمب افقی در حالت دایره به راست و دایره به چپ دوربین با هم  $180^\circ$  درجه ( $200^\circ$  گراد) اختلاف دارند. در این صورت اگر قرائت لمب افقی را در حالت دایره به چپ  $F_L$  و در حالت دایره به راست  $F_R$  بنامیم، خواهیم داشت:

$$F_R = F_L \pm 180$$

ولی در عمل به خاطر وارد شدن خطاهای دستگاهی (و در برخی موارد خطاهای انسانی) در عملیات زاویه‌یابی، رابطه فوق کمتر حالت واقعی پیدا می‌کند و بین این دو قرائت رابطه زیر برقرار است:

$$F_R = F_L \pm 180 + e$$

که در آن  $e$  جمع جبری خطاهای اندازه‌گیری است.

بنابراین می‌توان هنگام زاویه‌یابی اعداد قرائت شده را در دو حالت دایره به راست و دایره به چپ با هم مقایسه کرده و از درستی آنها مطمئن شویم. برای جلوگیری از اشتباه هنگام قرائت زاویه و یادداشت آن، از فرم مخصوص جدول قرائت زاویه به روش کوپل استفاده می‌شود.

## مثال ۲-۴: محاسبه زاویه افقی به روش کوپل

مطابق جدول زیر مشاهدات زاویه افقی یک نقطه توسط زاویه باب به روش کوپل داده شده است. زاویه افقی این رأس را محاسبه و جدول را کامل کنید.

ایستگاه	نقاط نشانه روی	حالت دایره به چپ	حالت دایره به راست	میانگین	زاویه	کروکی
S <sup>۱</sup>	A	۲۴۵/۵۸۵۲	۴۵/۵۸۴۲			
	B	۳۹۸/۲۴۳۱	۱۹۸/۲۴۴۱			

راهکار کلی: برای محاسبه و تکمیل جدول، باید میانگین قرائت هر امتداد را در دو حالت دایره به راست و دایره به چپ به دست بیاوریم. سپس برای محاسبه زاویه افقی  $\angle ASB$  مطابق جدول زیر میانگین محاسبه شده برای امتداد دوم یعنی SB را از امتداد اول کم می‌کنیم:

ایستگاه	نقاط نشانه روی	حالت دایره به چپ	حالت دایره به راست	میانگین	زاویه	کروکی
S	A	$L_A$	$R_A$	$X = \frac{L_A + (R_A \pm 200)}{2}$	$\angle ASB = Y - X$	
	B	$L_B$	$R_B$	$Y = \frac{L_B + (R_B \pm 200)}{2}$		

روش حل:

$$\frac{245.5852 + (45.5842 + 200)}{2} = 245.5847$$

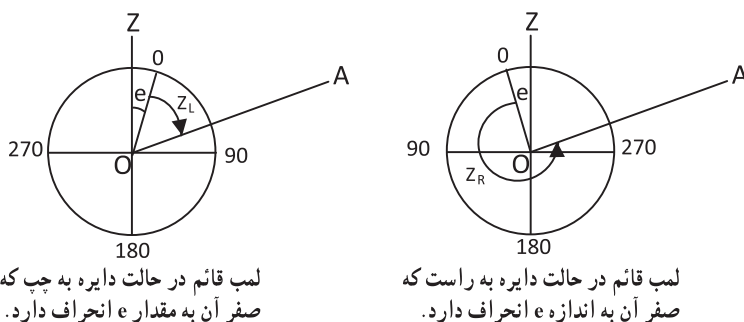
$$\frac{398.2431 + (198.2441 + 200)}{2} = 398.2436$$

$$\angle S = 398.2436 - 245.5847 = 152.6589$$

بحث و بررسی: همان‌طور که مشاهده می‌کنید واحد قرائت زاویه گراد است.

زیرا در حالت دایره به راست و دایره به چپ زوایا حدود ۲۰۰ گراد با هم اختلاف دارند.

اندازه‌گیری زاویه قائم به روش کویل: همان‌طور که گفته شد برای اندازه‌گیری صحیح زاویه قائم لازم است صفر لمب قائم دقیقاً بر روی خط قائمی باشد که از مرکز این لمب می‌گذرد. این هدف توسط یک تراز اتوماتیک (کمپانساتور) که در ساختمان زاویه‌یاب قرار دارد به صورت خودکار تأمین می‌شود. ولی در بعضی از مواقع تنظیم صفر لمب قائم ممکن است به هم بخورد در این صورت امتداد قائم گذرنده بر لمب قائم به جای صفر بر روی عدد دیگری قرار می‌گیرد این عدد در واقع زاویه قائم امتداد صفر لمب قائم است که اصطلاحاً به آن انحراف صفر لمب قائم یا کلیماسیون لمب قائم می‌گویند. در شکل زیر نیم‌رخ لمب قائم زاویه‌یاب را مشاهده می‌کنید که زاویه قائم را در دو حالت دایره به راست و دایره به چپ برای امتداد OA نشان می‌دهد.



شکل ۲ - ۸ - اندازه‌گیری زاویه قائم به روش کویل

برای تعیین مقدار انحراف و مقدار صحیح زاویه قائم، لمب قائم در دو وضعیت دایره به چپ و دایره به راست قرائت می‌شود. در صورتی که کلیماسیون لمب قائم صفر باشد قرائت لمب قائم در حالت دایره به چپ و دایره به راست به صورت دو عدد قرینه در می‌آید به عبارتی جمع آنها برابر  $360^\circ$  درجه ( $400^\circ$  گراد) می‌شود یعنی:

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

ولی در صورت وجود کلیماسیون در لمب قائم مجموع فوق اندکی با  $360^\circ$  درجه اختلاف خواهد داشت. اگر انحراف صفر لمب قائم را  $e$  فرض کنیم با توجه به شکل (بالا) برای امتداد OA خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} Z_{OA} &= Z_L + e && \text{(در حالت دایره به چپ)} \\ Z_{OA} &= 360^\circ - (Z_R + e) && \text{(در حالت دایره به راست)} \end{aligned}$$

بنابراین می‌توان با گرفتن میانگین از این دو مقدار زاویه قائم را از رابطه زیر به دست آورد :

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

همانطور که مشاهده می‌شود با قرائت کوپل و میانگین‌گیری از قرائت‌ها مقدار انحراف کلیماسیون لمب قائم (e) از رابطه بالا حذف می‌شود و مقدار صحیح زاویه قائم به دست می‌آید. البته مقدار e را نیز می‌توان از رابطه زیر به دست آورد :

$$e = \frac{360 - (Z_L + Z_R)}{2}$$

چنانچه دوربین در واحد گراد باشد باید در روابط بالا به جای ۳۶۰ از عدد ۴۰۰ استفاده

شود.

### مثال ۲-۵ : محاسبه زاویه قائم به روش کوپل

زاویه قائم امتداد OA به روش کوپل قرائت شده است. مقدار این زاویه را محاسبه

کنید.

$$Z_L = 87^\circ 15' 10''$$

$$Z_R = 272^\circ 44' 10''$$

راهکار کلی : بین زاویه قائم در حالت دایره به چپ و دایره به راست زاویه باب، رابطه زیر برقرار است :

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

روش حل :

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

$$Z_{OA} = \frac{87^\circ 15' 10'' + (360 - 272^\circ 44' 10'')}{2} = 87^\circ 15' 30''$$

## خلاصه فصل

- در نقشه برداری، زاویه به دو نوع افقی و قائم تقسیم می‌شود. زاویه افقی عبارت است از زاویه‌ای که از تصویر افقی بین دو امتداد در صفحه افقی حاصل می‌شود و زاویه قائم عبارت است از زاویه‌ای که بین تصویر یک امتداد در صفحه قائم با امتداد قائم محل حاصل می‌شود.
- همانطور که قبلاً آموختید بین زاویه شیب و زینتی در حالت دایره به چپ زاویه یاب، رابطه زیر برقرار می‌باشد:

$$Z + \alpha = 100^\circ \text{ یا } Z + \alpha = 90^\circ$$

- بین واحدهای زاویه رابطه زیر برقرار می‌باشد که از آن می‌توان برای تبدیل آنها به یکدیگر استفاده نمود:

$$\frac{D}{360} = \frac{G}{400} = \frac{R}{2\pi} \quad \text{یا} \quad \frac{D}{180} \Rightarrow \frac{G}{200} = \frac{R}{\pi} \rightarrow \frac{D}{9} = \frac{G}{10}$$

- زاویه یاب (تودولیت) دوربینی است که در نقشه برداری برای اندازه‌گیری زوایای افقی و قائم به کار می‌رود. تفاوت اصلی زاویه یاب با تراز یاب در این است که زاویه یاب را می‌توان در یک صفحه عمودی حول یک محور افقی، نیز چرخاند.

- دوربین‌های زاویه یاب از لحاظ ساختار به دو دسته آنالوگ و دیجیتال تقسیم می‌شوند.
- لمب افقی زاویه یاب‌ها شبیه به یک نقاله، از صفر تا  $360^\circ$  درجه و یا  $400^\circ$  گراد در جهت عقربه ساعت درجه بندی شده است. بنابراین اندازه‌گیری زاویه افقی بین سه نقطه روی زمین، شبیه اندازه‌گیری یک زاویه بین سه نقطه توسط نقاله روی کاغذ می‌باشد.
- زاویه خوانی با زاویه یاب اعم از آنالوگ و دیجیتال شامل چهار مرحله اساسی است که عبارتند از: استقرار، نشانه روی، صفر- صفر کردن و قرائت.

- برای اندازه‌گیری زاویه قائم یک امتداد با زاویه یاب، ابتدا به نقطه مورد نظر نشانه روی کرده و عدد مربوط به لمب قائم را قرائت و یادداشت می‌کنیم. زاویه قرائت شده در این حالت همان زاویه قائم آن امتداد خواهد بود.

- خطاهای زاویه یابی را بر اساس منابع خطا به سه دسته خطاهای دستگاهی، انسانی و طبیعی و بر اساس نوع آن به سه دسته خطاهای اتفاقی، تدریجی و اشتباه تقسیم بندی می‌کنند.
- برای جلوگیری از اشتباه، کسب دقت بیشتر و کاهش و تعدیل خطاهای دستگاهی و انسانی،

روش‌های مختلفی در اندازه‌گیری زاویه وجود دارد. یکی از این روش‌ها، روش قرائت کویل (قرائت مضاعف) است.

در این روش علاوه بر کنترل صحت و درستی قرائت‌ها، خطاهایی مانند خطای کلیمسیون و خطای عدم مرکزیت لمب افقی به صورت عملی کاهش می‌یابد. برای اندازه‌گیری زاویه در این روش، زاویه در دو حالت دایره به چپ و دایره به راست اندازه‌گیری می‌شود.

● عدد لمب افقی در حالت دایره به راست و دایره به چپ دوربین با هم  $18^\circ$  درجه ( $2^\circ$  گراد) اختلاف دارند. در این صورت اگر قرائت لمب افقی را در حالت دایره به چپ  $F_L$  و در حالت دایره به راست  $F_R$  بنامیم، خواهیم داشت:

$$F_R = F_L \pm 18^\circ$$

● ولی در عمل به خاطر وارد شدن خطاهای دستگاهی (و در برخی موارد خطاهای انسانی) در عملیات زاویه‌یابی، رابطه فوق کمتر حالت واقعی پیدا می‌کند و بین این دو قرائت رابطه زیر برقرار است:

$$F_R = F_L \pm 18^\circ + e$$

که در آن  $e$  جمع جبری خطاهای اندازه‌گیری است.

● برای تعیین مقدار انحراف و مقدار صحیح زاویه قائم، لمب قائم در دو وضعیت دایره به چپ و دایره به راست قرائت می‌شود.

در صورتیکه خطای کلیمسیون لمب قائم صفر باشد، قرائت لمب قائم در حالت دایره به چپ و دایره به راست به صورت دو عدد قرینه در می‌آید. به عبارتی جمع آنها برابر  $36^\circ$  درجه ( $4^\circ$  گراد) می‌شود یعنی:

$$Z_R + Z_L = 36^\circ$$



## خودآزمایی

### سوالات تشریحی

- ۱- زاویه افقی را تعریف نمایید.
- ۲- زاویه قائم و انواع آن را توضیح دهید.
- ۳- مراحل زاویه یابی افقی با زاویه یاب را نام برده و توضیح دهید.
- ۴- اندازه گیری زاویه افقی به روش کوپل را توضیح دهید.
- ۵- اندازه گیری زاویه قائم به روش کوپل را توضیح دهید.

### سوالات چهارگزینه‌ای

- ۶- زاویه زینتی امتدادی ۱۱۲ گراد می باشد زاویه شیب این امتداد کدام گزینه است؟  
 (۱) ۱۰/۸ گراد (۲) ۱۰/۸- درجه (۳) ۱۲- درجه (۴) ۱۲ گراد
- ۷- زاویه شیب امتدادی ۳- درجه است، زاویه سمت الراسی این امتداد کدام گزینه است؟  
 (۱) ۸۶/۶۶ گراد (۲) ۹۳ گراد (۳) ۱۰۳/۳۳ گراد (۴) ۸۷ درجه
- ۸- برای یافتن زاویه AOB قرائت قراولروی به نقطه A برابر با ۳۹۵/۳۹۵ گراد و برای نقطه B برابر با ۱۲/۱۲۳ گراد می باشد، زاویه چند درجه است؟  
 (۱) ۱۶/۷۲۸ (۲) ۱۵/۰۵۵ (۳) ۳۸۳/۲۷۲ (۴) -۳۸۳/۲۷۲

### مسائل عددی :

- ۹- با توجه به جدول زیر مقدار زاویه  $\hat{BAC}$  چقدر است؟

st	o. b	L	R
A	B	۲۰۱° ۲۱'	۲۱° ۲۲'
	C	۶۱° ۱۶'	۲۴۱° ۱۵'

۱۰- برای اندازه‌گیری یک زاویه به روش کوپل قرائت‌های لازم مطابق جدول زیر داده شده است. مطلوبست محاسبه زاویه داده شده.

زویه	میانگین	حالت دایره به راست	حالت دایره به چپ	نقاط نشانه	ایستگاه	کروکی
		۱۴۰° ۱۰' ۱۸"	۳۲۰° ۱۰' ۱۶"	A	S	
		۲۱۴° ۲۶' ۴۰"	۳۴۰° ۲۶' ۳۸"	B		

۱۱- نتایج حاصل از قرائت‌های دایره مدرج افقی یک تتودولیت در ایستگاه S و روی نقاط A و B و C به شرح زیر است اندازه هر یک از زوایای ASB و ASC را تعیین کنید.

زویه افقی	متوسط	قرائت دایره به راست	قرائت دایره به چپ	هدف	ایستگاه
		۲۱۴° ۵۶' ۵۵"	۳۴° ۵۶' ۳۵"	A	S
		۲۶۹° ۱۲' ۳۰"	۸۹° ۱۲' ۲۰"	B	
		۳۳۳° ۲۶' ۰۰"	۱۵۳° ۲۵' ۴۰"	C	

۱۲- قرائت لمب قائم در دو حالت دایره به چپ و دایره به راست به شرح زیر است.

کلیماسیون لمب قائم، زاویه قائم و زاویه شیب کدامند؟

$$Z_L = ۸۳^\circ ۲۷' ۳۵''$$

$$Z_R = ۲۷۶^\circ ۳۲' ۰۵''$$

۱۳- زاویه قائمی یک کوپل قرائت شده است در صورتی که از تمامی خطاها به جز خطای صفر

لمب صرف نظر کنیم خطای صفر لمب دورین چقدر است؟

$$Z_L = ۸۷^\circ ۱۵' ۲۵''$$

$$Z_R = ۲۷۲^\circ ۴۳' ۱۰''$$