فصل
دوم

زاویه‌یابی

زاویه‌یابی به روش کوپل

هدف‌های رفتاری

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

۱ــ زاویهٔ افقی را تعریف نماید.

۲ــ زاویهٔ قائم و انواع آن را توضیح دهد.

۳ــ اندازه‌گیری زاویهٔ افقی به روش کوپل را توضیح دهد.

۴ــ اندازه‌گیری زاویهٔ قائم به روش کوپل را توضیح دهد.

مطالب پیش نیاز

قبل از مطالعهٔ این فصل از فراگیرنده انتظار می رود با مطالب زیر آشنا باشد :

۱ــ آشنایی با فصل اول کتاب «هندسه (نقشه‌برداری) بخش زاویه

۲ــ آشنایی با فصل ششم کتاب «مسّاحی»

نکته‌ها :

رسولُ اللّه (ص) کُلُّ امر ذی بالٍ لا یُبدَاُ فیهِ «بسم اللّه الرّحمنِ الرّحیم» اطلع

هرکار مهمّی که با «بسم اللّه الرّحمن الرّحیم» آغاز نشود بی فرجام 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 صفحهٔ افقی و قائم برای تعیین موقعیت نقاط با دقت بالایی اندازه‌گیری می‌شوند. در این فصل ضمن یادآوری مطالبی از کتاب هندسه و مسّاحی 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

زاویهٔ افقی
Horizontal Angle

زاویهٔ قائم
Vertical Angle

لمب افقی
Horizontal Limb

لمب قائم
Vertical Limb

قراول‌روی (نشانه‌روی)
Pointing

دایره به راست
Circle Right

دایره به چپ
Circle Left

بیشتر بدانیم

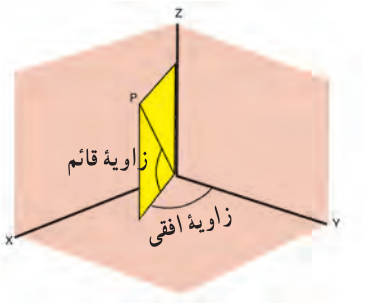
گنجینهٔ نجوم و ساعت: این گنجینه در شهر مقدس مشهد و در موزهٔ آستان قدس رضوی وجود دارد.

در این مجموعه تعدادی کرهٔ جغرافیایی و سماوی، اسطرلاب، تلسکوپ، دوربین‌های مختلف نقشه‌برداری، قبله‌نما و ساعت‌های آفتابی از قرن ۱۲ هجری قمری تاکنون به نمایش درآمده است.

۲ــ۱ــ یادآوری

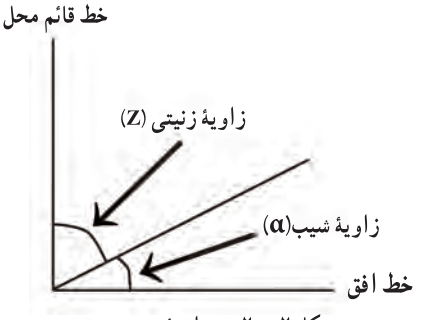
زاویه در نقشه برداری

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



شکل ۲ ــ ۱ ــ زاویهٔ افقی و قائم

زاویهٔ قائم به دو صورت شیب و زنیتی (سمت الرأسی) قابل تعریف می‌باشد. زاویهٔ زنیتی زاویه‌ای است که نسبت به امتداد قائم برمحل (سمت الرأس) اندازه‌گیری شده و با Z نمایش داده می‌شود. زاویهٔ شیب، متمم زاویهٔ زنیتی بوده و به عبارتی کوچک‌ترین زاویهٔ امتداد مورد نظر با صفحهٔ افق می‌باشدکه با α نمایش می‌دهند.



شکل ۲ ــ ۲ ــ زاویهٔ شیب و زنیتی

همانطور که قبلاً آموختید بین زاویه شیب و زنیتی رابطهٔ زیر برقرار می‌باشد :

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

به عبارتی با اندازه‌گیری هر یک از زاویه‌های شیب و زنیتی، می‌توان زاویهٔ دیگر را محاسبه و یا کنترل کرد.

زاویه‌یاب آنالوگ

زاویه‌یاب دیجیتال

شکل ۲ ــ ۳ ــ قرائت زاویه با زاویه‌یاب آنالوگ و دیجیتال

بیشتر بدانیم

کادران : وسیلهٔ اندازه‌گیری زاویه‌های قائم در قدیم

مثال ۲ــ۱ : تبدیل زاویه شیب به زنیتی

زاویهٔ شیب یک سرازیری در امتداد یک مسیر روی زمین برابر ۱۰ درجه اندازه‌گیری شده است. زاویهٔ زنیتی این سرازیری چقدر است؟

راهکار کلی : از آنجاکه زاویه شیب و زنیتی متمم هم هستند، مجموع آنها ۹۰ درجه است. بنابراین $Z = 90 - \alpha$ می‌باشد. همچنین چون زاویهٔ شیب مربوط به سرازیری است بنابراین یک زاویه منفی است. لذا $\alpha = -10$.

روش حل :

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

بحث و بررسی : زاویهٔ زنیتی نسبت به امتداد قائم سمت الرأسی تعریف شده و مقدار آن بین صفر تا ۱۸۰ درجه است اما زاویهٔ شیب نسبت به صفحهٔ افق تعریف شده و مقدار آن بین ۹۰– تا ۹۰+ درجه است. زاویهٔ شیب را معمولاً بدون علامت ذکر کرده و به‌جای آن در حالت سرازیری از عبارت «شیب منفی» استفاده می‌کنند. همچنین باید گفت یک امتداد افقی دارای زاویهٔ شیب صفر و زاویهٔ زنیتی ۹۰ درجه می‌باشد.

کار در کلاس :

جدول زیر را پر کنید :

زاویهٔ شیب	زاویهٔ زنیتی
۱۰	
	۱۲۰
–۸۰	
	۸۰

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(باز)	زاویه قائمه(راست)	زاویه نیم صفحه
زاویه کوژ	زاویه کاو	زاویه متمم	زاویه مکمل

بیشتر بدانیم

در نقشه‌برداری زاویه را به سه دسته تقسیم‌بندی می‌کنند :

۱ــ زاویهٔ افقی

۲ــ زاویهٔ قائم

۳ــ زاویهٔ مایل : زاویهٔ مایل شبه مشاهدهٔ جدیدی است که در بعضی مسائل نقشه‌برداری دقیق (ژئودتیک) از روی زوایای افقی و قائم قابل محاسبه است. بیشترین کاربرد زاویهٔ مایل در نجوم و هیدروگرافی(نقشه‌برداری دریایی) است.

واحدهای زاویه و اجزای آن

واحدهای متداول و پر کاربرد زاویه در نقشه‌برداری عبارت‌اند از : درجه، گراد و رادیان، که به طور خلاصه شرح داده می‌شوند.

الف)درجه : هر گاه محیط دایره‌ای به ۳۶۰ قسمت مساوی تقسیم شود، زاویهٔ مرکزی مقابل به هر قسمت را یک درجه می‌گویند.

حال چنانچه هر درجه را به ۶۰ قسمت تقسیم کنیم به زاویهٔ مرکزی مقابل آن یک دقیقه می‌گویند و به همین ترتیب اگر هر دقیقه را به ۶۰ قسمت مساوی تقسیم کنیم به هر قسمت یک ثانیه می‌گویند. به

عبارتی یک دقیقه برابر $\frac{۱}{۶۰}$ درجه و یک ثانیه $\frac{۱}{۶۰}$ دقیقه و یا $\frac{۱}{۳۶۰۰}$ درجه می باشد.

درجه، دقیقه و ثانیه را با علائم ^{o} ' " نمایش می‌دهند. برای مثال زاویهٔ $۱۰^{\circ}۳۵'۱۸''$ خوانده می‌شود ده درجه و سی و پنج دقیقه و هیجده ثانیه. به این سیستم تقسیم بندی و نمایش زاویه سیستم شصت قسمتی می‌گویند. از سوی دیگر گاهی زاویه را به‌صورت درجهٔ اعشاری ذکر می‌کنند :

$$۱۰^{\circ}۳۵'۱۸'' = ۱۰ + ۳۵/۶۰ + ۱۸/۳۶۰۰ = ۱۰/۰۰۰۰ + ۰/۰۰۵۰ + ۰/۵۸۳۳ = ۱۰/۵۸۸۳$$

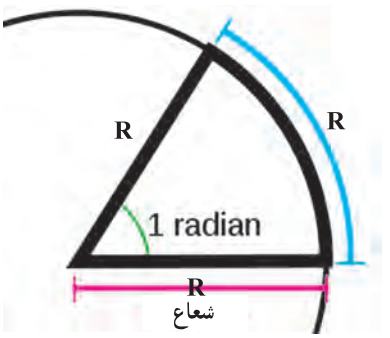
همچنین چگونگی تبدیل زاویه درجه اعشاری به سیستم شصت قسمتی در مثال **۲ــ۲** ذکر شده است.

ب) گراد : اگر محیط یک دایره به ۴۰۰ قسمت مساوی تقسیم شود، زاویهٔ مرکزی مقابل هر قسمت را یک گراد می‌گویند.

هر گراد را به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم کرده و به هر قسمت یک دقیقهٔ گرادی (سانتی‌گراد) می‌گویند و همچنین هر دقیقه را به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم نموده و به هر قسمت یک ثانیهٔ گرادی گفته می‌شود.

به عبارتی یک دقیقهٔ گرادی $\frac{۱}{۱۰۰}$ گراد و یک ثانیهٔ گرادی نیز $\frac{۱}{۱۰۰}$ دقیقهٔ گرادی و یا $\frac{۱}{۱۰۰۰۰}$ گراد می‌باشد. این سیستم واحد را صد قسمتی می‌گویند.

ج) رادیان : اگر محیط دایره بر عدد ۲π تقسیم شود، هر قسمت آن را یک رادیان می‌گویند. به عبارتی اگر روی محیط دایره، قوسی به طول شعاع دایره جدا کنیم، زاویهٔ مرکزی روبروی آن قوس، مساوی یک رادیان خواهد شد.



شکل ۲ ــ ۴ ــ 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 ۳/۱۴۱۵۹۲۶۵۳۵ می‌باشد.

موقعیت نقاط در روی زمین را معمولاً با مختصات جغرافیایی (زوایای طول و عرض جغرافیایی در واحد درجهٔ شصت قسمتی) نشان می‌دهند. اگر زمین را کره فرض نماییم، یک ثانیه حدود ۳۰ متر روی زمین است. چرا؟

بیشتر بدانیم

گرزقدر پی کنند از تو سؤال پاسخی ده که خردمند تو را آموزد

خرد	و	بینش	و	آگاهی	دانشمندان	ره	سر منزل	مقصود	بما	آموزد
۳	۱	۴	۱	۵	۹	۲	۶	۵	۳	۵

آیا می‌توانید رابطه‌ای بین بیت دوم و عدد π تا ده رقم اعشار پیدا کنید؟

$\pi = ۳/۱۴۱۵۹۲۶۵۳۵$

تبدیل واحدها : بین واحدهای زاویه رابطهٔ 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 می باشد.

مثال ۲ــ۲ : تبدیل واحدهای زاویه

یک رادیان چند درجه و چند گراد است؟

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

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

روش حل :

$R = ۱$

$$\frac{1}{\pi}=\frac{D}{180}\rightarrow\frac{1}{\pi}=\frac{D}{180}\rightarrow D=\frac{1\times180}{\pi}=57.2958=57^{\circ}17'44.9''$$

$$\frac{D}{9}=\frac{G}{10}\rightarrow G=\frac{10}{9}\times57.2958=63.6620$$

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 می‌توان 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 می‌شود که حاصل آن عدد ۱۷/۷۴۸۰ می‌باشد. قسمت صحیح عدد حاصل یعنی ۱۷ را به عنوان دقیقه در نظر گرفته و سپس قسمت اعشاری آن یعنی ۰/۷۴۸۰ 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؟

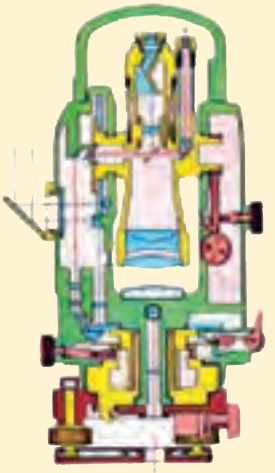
ج) $67^{\circ}\,18'44''$ چند گراد است؟

د) ۲۷۰ درجه چند رادیان است؟

بیشتر بدانیم

ساختار داخلی دوربین زاویه‌یاب

(در مورد قسمت‌های مختلف آن تحقیق کنید)



۲ــ۲ــ دوربین زاویه‌یاب (تئودولیت)

زاویه‌یاب (تئودولیت) دوربینی است که در نقشه‌برداری برای اندازه‌گیری زوایای افقی و قائم به‌کار می‌رود. تفاوت اصلی زاویه‌یاب با ترازیاب در این است که زاویه‌یاب را می‌توان در یک صفحهٔ عمودی حول یک محور افقی نیز چرخاند، در نتیجه با این وسیله علاوه بر زاویهٔ افقی، زاویهٔ قائم را نیز می‌توان اندازه‌گیری کرد.

علاوه بر این زاویه‌یاب‌ها طوری طراحی شده‌اند که با استفاده از آنها بتوان زوایا را با دقت بالا اندازه‌گیری نمود.

زاویه‌یاب‌ها را می‌توان به دو دسته تقسیم‌بندی کرد : زاویه‌یاب‌های آنالوگ یا اُپتیکی (دارای ساختار اُپتیکی ــ مکانیکی) و زاویه‌یاب‌های رقومی یا دیجیتال (دارای ساختار اُپتیکی ــ الکترونیکی) که هر دو نوع در دقت‌های مختلفی ساخته شده‌اند و قادرند زاویه را در دقت‌هایی مانند ۱ دقیقه، ۲۰ ثانیه، ۱ ثانیه و حتی ۰/۱ ثانیه اندازه‌گیری نمایند. در زاویه‌یاب‌های دیجیتال، مقدار زوایا روی یک صفحهٔ کریستال مایع (LCD) نمایش داده می‌شود.

شکل ۲ــ ۵ ــ دوربین زاویه‌یاب آنالوگ و دیجیتال

۲ــ۳ ــ 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 زاویهٔ افقی و قائم تشریح می‌گردد.

اصول اندازه‌گیری زاویهٔ افقی

لمب افقی زاویه‌یاب‌ها شبیه به یک نقاله از صفر تا ۳۶۰ درجه و یا ۴۰۰ گراد در جهت حرکت عقربه‌های ساعت درجه‌بندی شده است. بنابراین اندازه‌گیری زاویهٔ افقی بین دو امتداد متقاطع روی زمین شبیه اندازه‌گیری یک زاویه بین دو امتداد متقاطع توسط نقاله روی کاغذ می‌باشد.

شکل ۲ــ ۶ ــ لمب افقی

بیشتر بدانیم

برخی از کاربردهای دوربین زاویه‌یاب :

۱ــ اندازه‌گیری زوایای افقی و قائم

۲ــ تعیین زاویهٔ شیب و شیب‌درصد

۳ــ اندازه‌گیری فاصله به روش استادیمتری

۴ــ مشخص کردن یک امتداد روی زمین

به طور مثال مراحل اندازه‌گیری زاویهٔ افقی B با زاویه‌یاب مطابق شکل(۲ــ۷) به صورت زیر می‌باشد :

۱ــ دوربین بر روی نقطه رأس زاویه یعنی نقطه B دقیقاً قرارگرفته کاملاً تراز می‌شود.

۲ــ به نقطه A نشانه‌روی کرده و عدد لمب افقی ۲۵ درجه مشاهده و یادداشت می‌شود.

۳ــ سپس دوربین را به سمت نقطهٔ C چرخانده و پس از نشانه‌روی، عدد لمب افقی ۱۴۵ درجه مشاهده و یادداشت می‌شود.

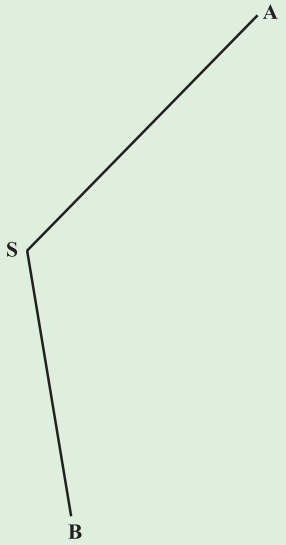
۴ــ اندازهٔ زاویه افقی برابر است با اختلاف این دو عدد

$$\angle B = ۱۴۵^{\circ} - ۲۵^{\circ} = ۱۲۰^{\circ}$$

شکل ۲ ــ ۷ــ اندازه‌گیری زاویهٔ افقی

مثال ۲ــ۳ : محاسبه زاویهٔ افقی از روی مشاهدات زاویه‌یاب

درصورتی‌که قرائت‌های لمب افقی در یک زاویه‌یاب اپتیکی برای نقاط A و B به قرار زیر باشد، زاویهٔ راس S را محاسبه نمایید.



$$L_A = 65.4313\ g$$

$$L_B = 198.0916 g$$

راهکار کلی : از رابطه زیر استفاده کرده و اعداد داده شده را جایگذاری می‌کنیم :

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

روش حل :

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

بحث و بررسی : زاویه‌یاب‌های 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 نقطهٔ 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 ۳۶۰ درجه و در حالتی که گراد باشد، ۴۰۰ گراد اضافه شود.

چنانچه نقطهٔ نشانهٔ A یا B از داخل دوربین قابل رؤیت نباشد می‌توان یک ژالن به صورت قائم در نقطهٔ مزبور مستقر کرد. برای کارهای دقیق نیز از یک صفحهٔ نشانه (صفحه تارگت) استفاده می شود که بر روی سه‌پایه تئودولیت نصب می‌شود.

اصول اندازه‌گیری زاویهٔ قائم

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

برای اندازه‌گیری زاویهٔ قائم یک امتداد با زاویه‌یاب ابتدا به نقطهٔ مورد نظر نشانه‌روی کرده و عدد مربوط به لمب قائم را قرائت و یادداشت می‌کنیم، زاویهٔ قرائت شده در این حالت، همان زاویهٔ قائم آن امتداد خواهد بود. توجه به این مطلب اهمیت دارد که اگر زاویهٔ قائم قرائت شده، زنیتی (سمت‌الرأسی) باشد و عدد زاویه کمتر از ۹۰ درجه (۱۰۰ گراد) باشد، نشان‌دهندهٔ این مطلب است که شیب این امتداد مثبت بوده و نقطهٔ نشانه‌روی (هدف) در ارتفاع بالاتری نسبت به نقطهٔ استقرار دوربین

قرار دارد. و چنانچه زاویهٔ زنیتی بیشتر از ۹۰ درجه (۱۰۰ گراد) باشد، شیب زمین در این امتداد منفی بوده و نقطهٔ مورد نظر در ارتفاع پایین‌تری از نقطه استقرار دوربین قرار دارد.

مثال ۲ــ۳ : تعیین جهت شیب زمین از روی زاویهٔ قائم

زاویه زنیتی امتداد AB با زاویه‌یاب ۱۰۳/۸۸۹۰ 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 به‌دست می‌آوریم :

$$\alpha = ۱۰۰ - Z$$

ب) اگر عدد زاویه زنیتی از ۱۰۰ 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 زنیتی از ۱۰۰ 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 سرپایین 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 اندازه‌گیری‌شده 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 زاویهٔ انحراف کوچکی در اندازه‌گیری زوایای افقی با زاویه‌یاب به‌وجود 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 به‌وجود می‌آید که به آن خطای کلیماسیون قائم گویند.	برای کاهش این خطا، از روش قرائت کوپل زوایای قائم استفاده می کنند.
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 نباشد 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 کوپل 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 کرویت زمین	لمب قائم	طبیعی	تدریجی	این خطا به علت کرویت زمین به‌خصوص 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 به‌خصوص 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 با نور کافی انجام می‌دهند.
خطای پیچش سه‌پایه	لمب افقی و قائم	طبیعی	اتفاقی	خطای ناشی از نشت 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 زاویه‌یاب : برای قرائت زاویه، هنگام نشانه‌روی که نقشه‌بردار پشت دوربین قرار می‌گیرد، اگر دایرهٔ 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 ۱۸۰ درجه چرخانده شود. طبیعی است برای آنکه چشمی تلسکوپ مقابل چشم نقشه‌بردار قرار بگیرد باید آلیداد دوربین را نیز ۱۸۰ 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 ۱۸۰ درجه (۲۰۰ گراد) اختلاف دارند. در این‌صورت 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، رابطهٔ فوق کمتر حالت واقعی پیدا می‌کند و بین این دو قرائت رابطهٔ زیر برقرار است :

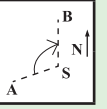
$$F_R = F_L \pm 180 + e$$

که در آن e جمع جبری خطاهای اندازه‌گیری است.

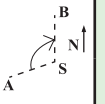
بنابراین می‌توان هنگام زاویه‌یابی اعداد قرائت شده را در دو حالت دایره به راست و دایره به چپ با هم مقایسه کرده و از درستی آنها مطمئن شویم. برای جلوگیری از اشتباه هنگام قرائت زاویه و یادداشت آن، از فرم مخصوص جدول قرائت زاویه به روش کوپل استفاده می‌شود.

مثال ۲ــ۴ : محاسبهٔ زاویهٔ افقی به روش کوپل

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

کروکی	زاویه	میانگین	حالت دایره‌به‌راست	حالت دایره‌به‌چپ	نقاط نشانه روی	ایستگاه
			۴۵/۵۸۴۲	۲۴۵/۵۸۵۲	A	S۱
			۱۹۸/۲۴۴۱	۳۹۸/۲۴۳۱	B	

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

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

روش حل :

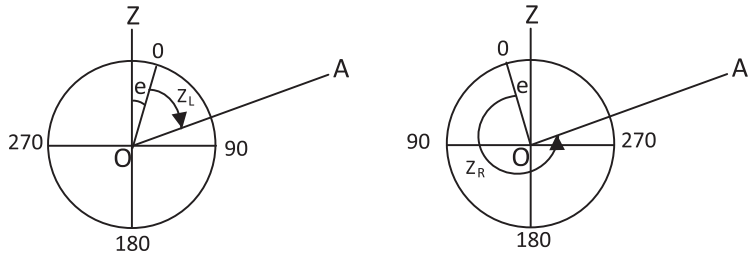
$$\frac{245.5852 + (45.5842 + 200)}{2} = 245.5847$$

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

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

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 زاویهٔ قائم به روش کوپل : همان‌طور که گفته شد برای اندازه‌گیری صحیح زاویهٔ 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 به‌هم بخورد در این صورت امتداد قائم گذرنده بر لمب قائم به جای صفر بر روی عدد دیگری قرار می‌گیرد این عدد در واقع زاویهٔ 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 زاویهٔ قائم را در دو حالت دایره به راست و دایره به چپ برای امتداد OA نشان می‌دهد.



لمب قائم در حالت دایره به چپ که صفر آن به مقدار e انحراف دارد.

لمب قائم در حالت دایره به راست که صفر آن به اندازه e انحراف دارد.

شکل ۲ ــ ۸ ــ اندازه‌گیری زاویهٔ قائم به روش کوپل

برای تعیین مقدار انحراف و مقدار صحیح زاویهٔ قائم، لمب قائم در دو وضعیت دایره به چپ و دایره به راست قرائت می‌شود. در صورتی‌که 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 ۳۶۰ درجه (۴۰۰ گراد) می‌شود یعنی :

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

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 با توجه به شکل (بالا) برای امتداد OA خواهیم داشت :

$Z_{OA} = Z_L + e$ (در حالت دایره به چپ)

$Z_{OA} = ۳۶۰^\circ - (Z_R + e)$ (در حالت دایره به راست)

بنابراین می‌توان با گرفتن میانگین از این دو مقدار زاویه قائم را از رابطهٔ زیر به‌دست آورد :

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

همانطورکه مشاهده می‌شود با قرائت کوپل و میانگین‌گیری از قرائت‌ها مقدار انحراف کلیماسیون لمب قائم (e) از رابطهٔ بالاحذف می‌شود و مقدار صحیح زاویهٔ قائم به‌دست می‌آید. البته مقدار e را نیز می‌توان از رابطهٔ زیر به‌دست 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 ۲ــ۵ : محاسبهٔ زاویهٔ قائم به روش کوپل

زاویهٔ 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 زاویهٔ قائم در حالت دایره به چپ و دایره به راستِ زاویه‌یاب، رابطهٔ 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 نقشه‌برداری، زاویه به دو نوع افقی و قائم تقسیم می‌شود. زاویهٔ افقی عبارت است از زاویه‌ای که از تصویر افقی بین دو امتداد در صفحهٔ افقی حاصل می‌شود و زاویهٔ قائم عبارت است از زاویه‌ای که بین تصویر یک امتداد در صفحهٔ قائم با امتداد قائم محل حاصل می‌شود.

● همانطور که قبلاً آموختید بین زاویهٔ شیب و زنیتی در حالت دایره به چپ زاویه‌یاب، رابطهٔ زیر برقرار می‌باشد :

$$Z + \alpha = 100\,g \quad \text{یا} \quad Z + \alpha = ۹۰^{\circ}$$

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

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

● زاویه‌یاب (تئودولیت) دوربینی است که در نقشه‌برداری برای اندازه‌گیری زوایای افقی و قائم به‌کار می‌رود. تفاوت اصلی زاویه‌یاب با ترازیاب در این است که زاویه‌یاب را می‌توان در یک صفحهٔ عمودی حول یک محور افقی، نیز چرخاند.

● دوربین‌های زاویه‌یاب از لحاظ ساختار به دو دستهٔ آنالوگ و دیجیتالی تقسیم می‌شوند.

● لمب افقی زاویه‌یاب‌ها شبیه به یک نقاله، از صفر تا ۳۶۰ درجه و یا ۴۰۰ گراد در جهت عقربهٔ ساعت درجه‌بندی شده است. بنابراین اندازه‌گیری زاویهٔ افقی بین سه نقطه روی زمین، شبیه اندازه‌گیری یک زاویه بین سه نقطه توسط نقاله روی کاغذ می‌باشد.

● زاویه‌خوانی با زاویه‌یاب اعم از آنالوگ و دیجیتالی شامل چهار مرحلهٔ اساسی است که عبارتند از : استقرار، نشانه‌روی، صفر– صفر کردن و قرائت.

● برای اندازه‌گیری زاویهٔ قائم یک امتداد با زاویه‌یاب، ابتدا به نقطهٔ مورد نظر نشانه روی کرده و عدد مربوط به لمب قائم را قرائت و یادداشت می‌کنیم. زاویهٔ قرائت شده در این حالت همان زاویهٔ قائم آن امتداد خواهد بود.

● خطاهای زاویه‌یابی را بر اساس منابع خطا به سه دستهٔ خطاهای دستگاهی، انسانی و طبیعی و بر اساس نوع آن به سه دستهٔ 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 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.

● عدد لمب افقی در حالت دایره به راست و دایره به چپ دوربین با هم ۱۸۰ درجه (۲۰۰ گراد) اختلاف دارند. در این‌صورت اگر قرائت لمب افقی را در حالت دایره به چپ F_L و در حالت دایره به راست F_R بنامیم، خواهیم داشت :

$$F_R = F_L \pm ۱۸۰^\circ$$

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

$$F_R = F_L \pm ۱۸۰^\circ + e$$

که در آن e جمع جبری خطاهای اندازه‌گیری است.

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

در صورتیکه خطای 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 ۳۶۰ درجه (۴۰۰ گراد) می‌شود یعنی :

$$Z_R + Z_L = ۳۶۰^\circ$$

خودآزمایی

سؤالات تشریحی

۱ــ زاویهٔ افقی را تعریف نمایید.

۲ــ زاویهٔ قائم و انواع آن را توضیح دهید.

۳ــ مراحل زاویه یابی افقی با زاویه‌یاب را نام برده و توضیح دهید.

۴ــ اندازه گیری زاویه افقی به روش کوپل را توضیح دهید.

۵ــ اندازه گیری زاویه قائم به روش کوپل را توضیح دهید.

سؤالات چهارگزینه‌ای

۶ــ زاویه زنیتی 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

۷ــ 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

۸ــ 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؟

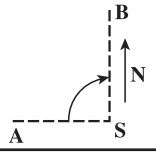
۱) ۱۶/۷۲۸ ۲) ۱۵/۰۵۵ ۳) ۳۸۳/۲۷۲ ۴) ۳۸۳/۲۷۲–

مسائل عددی :

۹ــ 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'

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

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

۱۱ــ نتایج حاصل از قرائت‌های دایره مدرج افقی یک تئودولیت 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.

زاویه 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	

۱۲ــ 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؟

$Z_L = ۸۳^\circ\ ۲۷'\ ۳۵"$

$Z_R = ۲۷۶^\circ\ ۳۲'\ ۰۵"$

۱۳ــ زاویه قائمی یک کوپل قرائت شده است در صورتی که از تمامی خطاها به‌جز خطای صفر لمب صرف‌نظر کنیم خطای صفر لمب دوربین چقدر است؟

$Z_L = ۸۷^\circ\ ۱۵'\ ۲۵"$

$Z_R = ۲۷۲^\circ\ ۴۳'\ ۱۰"$