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 «بسم‌اللّه الرّحمنِ الرّحیم» اطلع

هرکار مهمّی که با «بسم‌اللّه 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

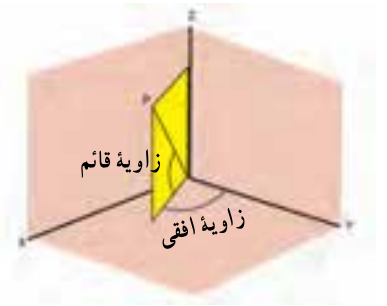
گنجینهٔ نجوم و ساعت: این گنجینه در شهر مقدس مشهد و در موزهٔ آستان قدس رضوی وجود دارد.

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

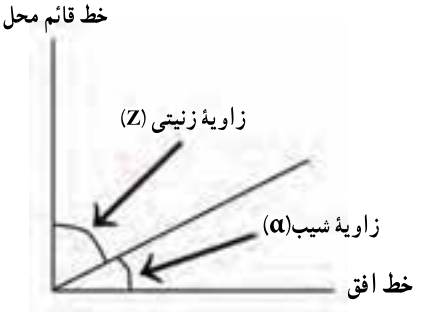
زاویه در نقشه برداری

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 "۱۸'۳۵°۱۰ 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 :

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

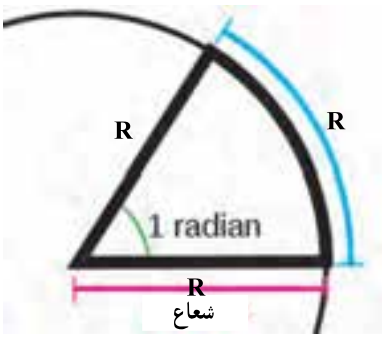
همچنین چگونگی تبدیل زاویه درجه اعشاری به سیستم شصت قسمتی در مثال **۲ــ۲** ذکر شده است.

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؟

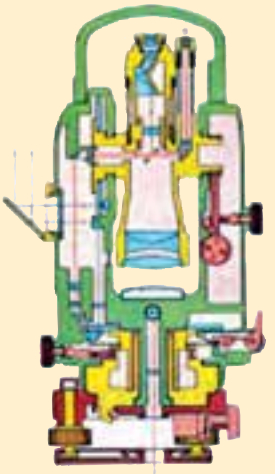
ج) $67^{\circ}\,18'44''$ چند گراد است؟

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.