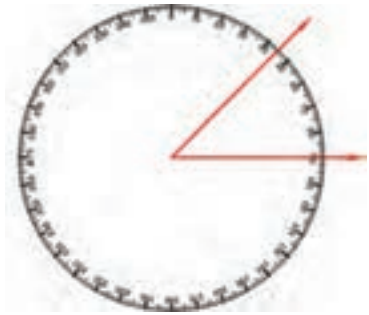
فصل ۲

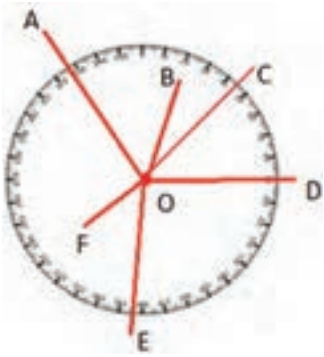
تعیین موقعیت

زاویه

یکی از مهم‌ترین کمیت‌هایی که در نقشه‌برداری اندازه‌گیری می‌شود، زاویه بین دو امتداد می‌باشد و عموماً توسط زاویه‌یاب اندازه‌گیری می‌شود.



جهت تفهیم زاویه امتدادها و زاویهٔ بین آنها با استفاده از یک نقاله ۳۶۰ درجه لازم است هنرجو با ترسیم یک نقطه مرکزی O و چندین نقطه A، B، C، D، E و F در فاصله‌های مختلف از نقطه مرکزی O بر روی کاغذ و انطباق نقاله ۳۶۰درجه‌ای در مرکز نقطه O زاویه امتدادها و بین امتدادها را به‌دست آورد.



زاویه بین دو امتداد						
O	A	B	C	D	E	F
A						
B						
C						
D						
E						
F						

زاویه امتداد	
OA	
OB	
OC	
OD	
OE	
OF	

پیشنهاد می‌گردد زاویه صفر نقاله در جهت‌های مختلف قرار گیرد و برای هر حالت جدول زاویه بین امتدادها و زاویه امتدادها را به‌دست آورند و نتیجه مورد بحث و بررسی قرار گیرد.

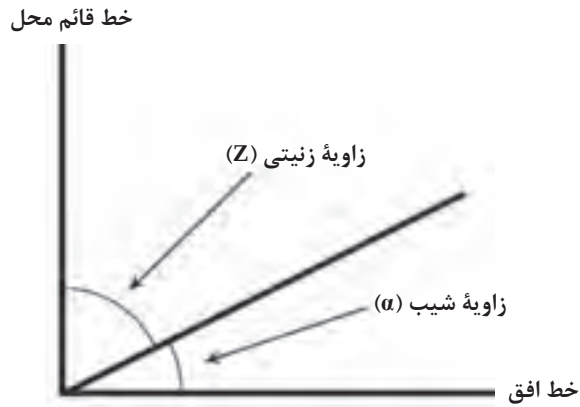
پس از آموزش دوربین تئودلیت همین موضوع توسط دوربین زاویه‌یاب انجام گیرد.

فعالیت عملی ۱

با انتخاب حداقل ۵ نقطه اطراف یک نقطه مرکزی بر روی کاغذ، زاویه بین امتدادها و زاویه خود امتدادها را به‌کمک نقاله ۳۶۰درجه‌ای به‌دست آورید و جدول مربوطه را رسم کنید.
زاویه صفر نقاله را ۳۰درجه در جهت عقربه‌های ساعت بچرخانید و مجدد جدول زاویه‌ها را تکمیل و نتیجه را با هم مقایسه کنید.
نتیجه حاصل از این عملیات را بیان نمایید.

زاویه قائم

زاویه قائم به دو صورت شیب و زنیتی(سمت الرأسی) قابل تعریف می‌باشد. زاویه زنیتی زاویه‌ای است بین یک امتداد و امتداد قائم بر محل(سمت الرأس) و با حرف Z نمایش داده می‌شود. زاویه شیب، متمم زاویه زنیتی بوده و به عبارتی کوچک‌ترین زاویه یک امتداد با صفحه افق می‌باشد که با α نمایش داده می‌شود.



زاویهٔ شیب و زنیتی

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

$Z + \alpha = ۹۰$ (۱۰۰گراد)

واحدهای زاویه و اجزای آن

واحدهای متداول و پرکاربرد در نقشه‌برداری عبارت‌اند از: درجه و گراد.

تبدیل واحدها

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

$$\frac{D}{۳۶۰} = \frac{G}{۴۰۰}$$

که در این رابطه D و G به ترتیب مقدار عددی برحسب درجه و گراد می‌باشد.

فعالیت عملی ۲

با مشاهده زاویه شیب چند امتداد برحسب درجه یا گراد زاویه زنیتی امتداد را برحسب درجه و گراد محاسبه کنید و جدولی همانند جدول زیر را تکمیل کنید.

امتداد	زاویه شیب		زاویه زنیتی		مجموع زاویه شیب و زنیتی	
	گراد	درجه	گراد	درجه	گراد	درجه
OA						
OB						
OC						
OD						
OE						
OF						

دوربین زاویه‌یاب(تئودلیت)

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

نمونه‌ای از دوربین آنالوگ و دیجیتال

اجزای تشکیل‌دهنده زاویه‌یاب

پس از معرفی اجرای دوربین زاویه‌یاب طریقه سانتراژ دوربین بر روی یک نقطه مرکزی(ایستگاه) شرح داده شود و این موضوع با اصول استاندارد به‌صورت عملی به هنرجو آموزش داده شود.

در شکل زیر دیگر اجزای تشکیل‌دهنده دوربین تئودلیت آنالوگ و دیجیتال نمایش داده شده است:

استقرار دوربین زاویه‌یاب بر روی یک نقطه(سانتراژ)

برای استقرار دوربین زاویه‌یاب بر روی یک نقطه، مراحل زیر را انجام دهید:

۱ دوربین زاویه‌یاب را بر روی سه‌پایه قرار داده و توسط پیچ اتصال، آن را محکم به سه‌پایه ببندید.

۲ سه‌پایه را متناسب با قد خود به‌طور تقریبی در روی نقطه موردنظر قرار دهید به نحوی که:

الف) سطح صفحه سه‌پایه که دوربین روی آن نصب است، تقریباً افقی باشد.

ب) دوربین زاویه‌یاب تقریباً در بالای نقطه موردنظر قرار بگیرد.

ج) محل استقرار پایه‌ها در روی زمین تقریباً یک مثلث متساوی‌الساقین تشکیل بدهد.

۳ پدال یکی از پایه‌ها را با پا فشار دهید تا در زمین فرو رفته و محکم شود.

۴ حال پایه دوم را با دست راست و پایه سوم را با دست چپ گرفته و درحالی‌که نوک پای خود را در کنار نقطه ایستگاهی قرار داده و از درون چشمی شاقول اپتیکی نگاه می‌کنیم، این دو پایه را طوری حرکت می‌دهیم که مرکز تاررتیکول شاقول اپتیکی دقیقاً بر روی نقطه موردنظر قرار بگیرد. سپس پدال دو پایه دیگر را در زمین می‌فشاریم تا سه‌پایه، کاملاً در زمین محکم شود با این کار مرحله سانتراژ انجام می‌شود.

۵ با استفاده از پیچ‌های سه‌پایه، با بلند و کوتاه‌کردن سه‌پایه، تراز کروی روی ترابراک را تنظیم کنید.

دقت کنید هنگام بلند و کوتاه کردن پایه، پای خود را بر روی پدال پایه قرار دهید تا از زمین کنده نشود.

۶ آلیداد را در جهت موازی دو تا از پیچ‌های ترابراک قرار داده، سپس دو پیچ موردنظر را هم‌زمان و در خلاف جهت هم(به سمت داخل و یا خارج) بچرخانید تا تراز استوانه‌ای روی آلیداد تنظیم شود. سپس آلیداد را ۹۰درجه چرخانده تا یکی از شاخه‌های آن بر روی پیچ سوم ترابراک قرار گیرد. با چرخاندن این پیچ مجدداً تراز استوانه‌ای را تنظیم کنید.

توجه کنید در این مرحله نباید به پیچ‌های قبلی دست بزنید و تراز استوانه‌ای را فقط با پیچ سوم تنظیم کنید.

۷ پس از آن آلیداد را مجدداً در همان جهت قبلی ۹۰درجه بچرخانید. اگر تراز استوانه‌ای از تنظیم خارج نشود کار تراز دوربین تمام شده است و دوربین تراز است. در غیر این صورت باید دوباره مراحل ۵ تا ۷ را تکرار کنید.

چنانچه پس از چندبار تکرار این مراحل دوربین تراز نشد، نشان‌دهنده این مطلب است که تنظیم تراز آن به هم خورده و باید توسط افراد مجرب تنظیم گردد.

۸ آخرین کاری که باید انجام دهید کنترل سانتراژ است. از چشمی شاقول اپتیکی نحوه سانتراژ دوربین را کنترل نمایید. اگر به میزان اندکی از روی نقطه موردنظر خارج شده است، می‌توانید با شل کردنِ پیچ اتصال دوربین به سه‌پایه و حرکت دادن دوربین روی سه‌پایه، آن را دقیقاً روی نقطه موردنظر قرار دهید.
دقت کنید این کار را به آهستگی و با دقت انجام دهید، همچنین پیچ اتصال دوربین را به همان مقدار اول سفت کنید تا دوربین از تراز خارج نشود.
اگر سانتراژ به میزان زیادی به هم خورده است باید مراحل استقرار را از اول انجام دهید.

فعالیت عملی ۳

با انتخاب یک ایستگاه مناسب بر روی محوطه هنرستان هنرجو با دوربین زاویه‌یاب بر روی ایستگاه مستقر و عملیات تراز (سانتراژ) را در حداقل زمان انجام دهد و سپس اجزای دوربین را شرح دهد.

اندازه‌گیری زاویه با زاویه‌یاب

اگرچه زاویه‌یاب ابزار پیچیده‌ای است ولی اندازه‌گیری زاویه افقی و قائم با این دستگاه بسیار آسان است. در این قسمت ابتدا اصول زاویه‌یابی با زاویه‌یاب و سپس روش کوپل برای بالا بردن دقت اندازه‌گیری تشریح می‌گردد.

اصول اندازه‌گیری زاویه افقی به روش ساده

لمب افقیِ زاویه‌یاب شبیه به یک نقاله از صفر تا ۳۶۰درجه یا ۴۰۰گراد است که معمولاً در جهت حرکت عقربه‌های ساعت درجه‌بندی شده است. بنابراین اندازه‌گیری زاویه افقی بین دو امتداد متقاطع روی زمین مشابه اندازه‌گیری یک زاویه بین دو امتداد متقاطع توسط نقاله بر روی کاغذ می‌باشد.
به‌طور کلی مراحل اندازه‌گیری زاویه افقی بین دو امتداد OA و OB (زاویه AOB) با زاویه‌یاب به صورت زیر می‌باشد:

۱ دوربین را بر روی نقطه O قرار می‌دهیم (یعنی رأس زاویه دقیقاً تراز باشد)، به‌نحوی که امتداد قائم که از مرکز تلسکوپ می‌گذرد بر امتداد شاقولی نقطه O منطبق باشد که به این مرحله سانتراژ کردن دوربین زاویه‌یاب می‌گویند.

۲ دوربین را در حالت دایره به چپ به سمت نقطه A نشانه‌روی می‌کنیم و عدد لمب افق را به عنوان قرائت اول مشاهده و یادداشت می‌کنیم (R_A).
(حالت دایره به چپ دوربین حالتی است که لمب قائم دوربین در سمت چپ

نقشه‌بردار و حالت دایره به راست دوربین حالتی است که لمب قائم دوربین در سمت راست نقشه‌بردار قرار گرفته باشد)

۳ دوربین را در حالت دایره به چپ به سمت نقطه B نشانه‌روی می‌کنیم و عدد لمب افق را به‌عنوان قرائت دوم مشاهده و یادداشت می‌کنیم (R_B).

۴ با تفاضل زاویه افقی قرائت دوم از اول زاویه بین دو امتداد محاسبه می‌گردد.

$$AOB = R_B - R_A$$

لازم به ذکر است بین دو امتداد OA و OB دو زاویه وجود دارد. یک زاویه AOB و دیگری زاویه BOA که مجموع این دو زاویه ۳۶۰درجه یا ۴۰۰گراد می‌باشد و مطابق با تعریف زاویه بین دو امتداد در جهت عقربه‌های ساعت از امتداد اول به امتداد دوم محاسبه می‌گردد.

چنانچه حین حرکت دوربین از نشانه‌روی به سمت نقطه A تا رسیدن به نقطه B از درجه صفر دستگاه گذشته باشد در این صورت R_A بزرگ‌تر از R_B می‌گردد و تفاضل دو قرائت منفی می‌گردد که در این حالت جواب محاسبه‌شده را با ۳۶۰درجه یا ۴۰۰گراد جمع می‌کنیم تا زاویه مورد نظر مثبت شود. در نتیجه:

چنانچه $R_B > R_A$

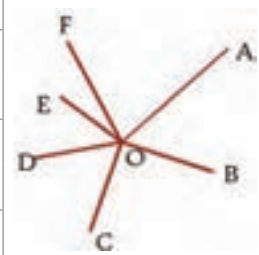
$$AOB = R_B - R_A$$

چنانچه $R_B < R_A$

$$AOB = R_B - R_A + 360^\circ (400\,GR)$$

فعالیت عملی ۴

با انتخاب یک ایستگاه مناسب در محوطه هنرستان و حداقل شش نقطه در فاصله و ارتفاعات مختلف هنرجو با سانتراژ دوربین زاویه‌یاب بر روی ایستگاه زاویه افقی و قائم پنج نقطه به‌همراه زاویه بین امتدادها را در حالت دایره به چپ قرائت کند و نتیجه را مطابق با جدول زیر کامل و کنترل نماید.

ایستگاه	نقطه نشانه‌روی	قرائت زاویه افقی	قرائت زاویه قائم	محاسبه زاویه افقی	کروکی
O	A				
	B				
	C				
	D				
	E				
	F				
	A				
کنترل	محاسبه مجموع زاویه‌ها				

صفرصفر کردن لمب افقی دوربین تئودلیت

در نقشه‌برداری معمول است که لمب افقی را در موقع نشانه‌روی به امتداد اول صفرصفر کنند که این کار توسط قفل لمب افقی انجام می‌گیرد. (اصطلاحاً قرائت زاویه افقی بر روی امتداد OA صفرصفر می‌شود) در این صورت:

$$AOB = R_B - R_A = R_B - 0 = R_B$$

فعالیت عملی ۵

در فعالیت عملی ۴ با صفرصفر کردن لمب افقی دوربین مجدداً مشاهدات را انجام داده و نتیجه را با هم مقایسه و نتیجه‌گیری کنید.

زاویه‌یابی در Excel

همان‌طور که در درس دانش فنی پایه دهم خواندیم با نرم‌افزار Excel می‌توان محاسبات مختلف را انجام داد.

محاسبه زاویه

در نقشه‌برداری زوایای افقی و قائم اندازه‌گیری می‌شود و به خاطر دقت بیشتر و حذف خطاها، این زوایا به‌روش کوپل (در قسمت بعد توضیح داده خواهد شد)، اندازه‌گیری می‌گردند. در این قسمت جهت جلوگیری از خطای محاسباتی و سرعت در محاسبه زاویه افقی از نرم‌افزار اکسل استفاده می‌کنیم.
فرم‌های قرائت زاویه افقی به شکل‌های مختلفی می‌باشد و یکی از این فرم‌ها به شکل زیر است:

زاویه	قرائت امتداد دوم	قرائت امتداد اول	ایستگاه

وارد کردن اطلاعات

برای محاسبه ابتدا باید فرم را در اکسل ایجاد کرده، و سپس قرائت‌ها را در ستون‌های مربوطه تایپ می‌نماییم. سپس تفریق قرائت دوم از قرائت اول زاویه را محاسبه می‌کنیم.

مثال: از ایستگاه O_1 و O_2 و O_3 به دو نقطه اول و دوم نشانه ۰-۰-۰روی می‌کنیم و زاویه افقی این امتداد به شرح زیر می‌باشد.

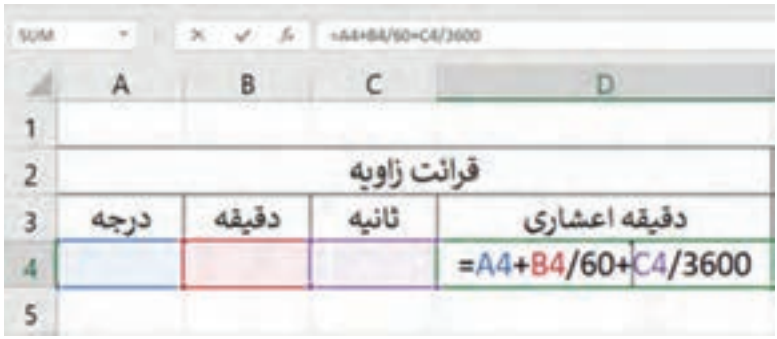
ایستگاه	قرائت امتداد اول	قرائت امتداد دوم	زاویه
O_1	۲۵/۶۵۴	۶۵/۳۲۱۹	
O_2	۱۴۹/۶۵۸۶	۲۱۰/۸۷۵۴	
O_3	۳۲۹/۴۸۵	۳۵۴/۲۵۱	

پس از تهیه فرم محاسبه زاویه در اکسل مطابق شکل زیر در ستون مربوط به زاویه، اختلاف دو قرائت را با مشخص نمودن آدرس خانه محاسبه می‌کنیم و با مشخص نمودن و نوشتن فرمول برای زاویه اول می‌توان برای زاویه‌های دیگر کپی نمود.

فعالیت عملی ۶

مشاهدات فعالیت‌های عملی ۴ و ۵ را با استفاده از نرم‌افزار اکسل محاسبه نمایید و نتایج را با محاسبات دستی مقایسه و از صحت محاسبات اطمینان حاصل نمایید.

پیشنهاد می‌گردد اگر زاویه مشاهده شده برحسب درجه، دقیقه و ثانیه می‌باشد ابتدا زاویه را تبدیل به درجه اعشاری نمایید تا محاسبات راحت‌تر گردد همانند تصویر زیر:



اندازه‌گیری زاویه 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 به‌صورت عملی کاهش می‌یابد. برای اندازه‌گیری زاویه در این روش، زاویه در دو حالت دایره به چپ و به راست اندازه‌گیری می‌شود که به این روش قرائت کوپل می‌گویند.

اگر قرائت لمب افقی را در حالت دایره به چپ L و در حالت دایره به راست R بنامیم، خواهیم داشت:

$$R = L \pm ۱۸۰^{\circ}$$

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:

$$R = L \pm ۱۸۰^{\circ} + e$$

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.

در این روش ابتدا میانگین قرائت زاویه در دو حالت دایره به چپ و دایره به راست برای هر دو امتداد مطابق با رابطه زیر محاسبه می‌شود و سپس اختلاف دو میانگین به‌عنوان زاویه دو امتداد محاسبه می‌گردد:

$$\text{میانگین قرائت امتداد} = \frac{L + R \pm ۱۸۰^\circ (۲۰۰ \text{ گراد})}{۲}$$

اگر $L<R$ باشد از علامت $-$ در رابطه میانگین استفاده می‌شود.
اگر $L>R$ باشد از علامت $+$ در رابطه میانگین استفاده می‌شود.
روش دیگر برای محاسبه زاویه به روش کوپل، محاسبه زاویه میانگین زاویه در حالت دایره به راست و چپ می‌باشد.

فعالیت عملی ۷

با انتخاب سه نقطه A، B و C در محوطه هنرستان بر روی هر یک از نقاط ایستگاه‌گذاری نموده و بعد از سانتراژ کردن با استفاده از صفرصفر کردن لمب افقی دوربین زاویه هر رأس را در یک کوپل مشاهده کنید و نتیجه را در جدول مربوطه صفحه بعد بنویسید.
همان‌گونه که می‌دانید مجموع زاویه‌های داخلی یک سه‌ضلعی می‌بایستی ۱۸۰ درجه (۲۰۰ گراد) باشد. آیا مجموع زاویه‌های محاسباتی ۱۸۰ درجه (۲۰۰ گراد) می‌شود؟ آیا این مغایرت قابل قبول می‌باشد؟ به نظر شما چگونه می‌توان این خطا را از بین برد؟ چه عواملی باعث به‌وجود آمدن این خطا می‌شوند و راهکار به حداقل رساندن خطای زاویه‌ای چیست؟

راهنمایی

۱ دوربین را بر روی نقطه رأس اول مثلث مستقر نمایید و بر دیگر رئوس ژالنی را توسط سه‌پایه ژالن در حالت کاملاً قائم قرار دهید.
۲ دوربین را دایره به چپ کنید. (در حالت مستقیم قرار دهید)
۳ برای اندازه‌گیری زاویه این رأس، ابتدا به ضلع سمت چپ زاویه نشانه‌روی کرده و لمب افقی دوربین را قرائت و یادداشت نمایید.
۴ سپس به ضلع سمت راست نشانه‌روی کرده و برای آن نیز عدد لمب را قرائت و در فرم قرائت زاویه به روش کوپل مطابق جدول صفحهٔ بعد یادداشت کنید.
۵ دوربین را دایره به راست کرده و بر روی همین امتداد (امتداد دوم) عدد لمب افقی را در حالت دایره به راست قرائت کرده و در محل مربوطه در فرم زاویه یادداشت کنید.
۶ سپس در همان حالت دایره به راست مجدداً به امتداد اول نشانه‌روی کرده و عدد لمب افقی را قرائت و در فرم قرائت زاویه، یادداشت کنید.

کروکی	زاویه	میانگین	قرائت دایره به راست	قرائت دایره به چپ	نقطه نشانه‌روی	ایستگاه
					C	A
					B	
					A	B
					C	
					B	C
					A	
		مجموع سه زاویه مثلث به عنوان بررسی مشاهدات و محاسبات				

محاسبه زاویه افقی به روش کوپل در Excel

در ادامه مباحث محاسبات زاویه در اکسل، محاسبه زاویه افقی با توجه به فرمول‌ها و فرم‌های قرائت زاویه افقی کوپل ارائه می‌گردد. فرم‌های قرائت زاویه افقی کوپل به شکل‌های مختلفی می‌باشد و یکی از این فرم‌ها به شکل زیر است:

زاویه	میانگین	قرائت دایره به راست	قرائت دایره به چپ	نقطه نشانه‌روی	ایستگاه

فعالیت عملی ۸

مشاهدات فعالیت عملی شماره ۷ را در اکسل وارد کنید و محاسبات کوپل را با نرم‌افزار اکسل محاسبه و نتیجه را مقایسه کنید.

اندازه‌گیری زوایای چندضلعی بسته و بررسی خطاها و سرشکنی آن

یکی از مهم‌ترین کارهایی که در اجرای تمام پروژه‌های نقشه‌برداری قبل از شروع عملیات بسیار مورد توجه است، ایجاد نقاط در محیط کار و منطقه است که با انجام مشاهدات و جمع‌آوری اطلاعات طول و زاویه مربوط به هر امتداد و بررسی خطای رخ داده در هر امتداد با استفاده از روش‌های سرشکنی، خطای موجود را سرشکن می‌کنیم و مختصات صحیح مربوط به هر نقطه را به‌دست می‌آوریم.
عملیات برداشت، محاسبه و سرشکنی خطای زاویه چند ضلعی بسته را می‌توان به سه‌مرحلهٔ کلی زیر تقسیم‌بندی کرد:
الف) شناسایی
ب) اندازه‌گیری و مشاهدات لازم
ج) محاسبات

الف) شناسایی

در این مرحله با مراجعه مستقیم به محل نقشه‌برداری منطقه را شناسایی کرده و محل ایستگاه‌ها را انتخاب، علامت‌گذاری و مستحکم می‌کنیم و در نهایت از موقعیت نقاط موجود یک کروکی تهیه می‌کنیم.
موقعیت ایستگاه‌ها بنا به هدفی که داریم انتخاب می‌شود به‌عنوان مثال چنانچه هدف برداشت و تهیه نقشه توپوگرافی باشد ایستگاه‌ها به گونه‌ای انتخاب می‌گردد که به حداکثر جزئیات محدوده موردنظر دید داشته باشد و چنانچه هدف عملیات راه‌سازی باشد، نقاط به گونه‌ای انتخاب می‌گردد که اولاً خارج از محدوده عملیاتی باشد و بتوان از آنها اجزای مسیر (محور مستقیم و نقاط ابتدا، رأس و انتهای قوس) را با دقت بالا پیاده یا کنترل نماییم. اما در هر حال رعایت موارد زیر برای انتخاب ضروری است:

۱ از هر ایستگاه به ایستگاه قبلی و بعدی دید برقرار باشد.
۲ نقاط ایستگاه باید مستحکم و پایدار باشد، بنابراین زمین‌های سست و نرم، زراعی و باتلاقی و کنار رودخانه‌ها جایی مناسب برای ایستگاه‌گذاری نمی‌باشد.
۳ نقاط ایستگاه باید از دور به خوبی دیده شوند.

ب) اندازه‌گیری و مشاهدات لازم

پس از ایجاد و استحکام نقاط ایستگاهی با توجه به کروکی زاویه افقی همه رأس‌ها برداشت می‌گردد. جهت بالا بردن دقت زاویه‌ها از زاویه‌یاب‌هایی با دقت ثانیه‌ای و در چند کوپل استفاده می‌گردد و در جدول مشاهدات کوپل یادداشت می‌گردد.

ج) محاسبات

معمولاً تمام مشاهدات ازجمله مشاهده زاویه در نقشه‌برداری با خطا همراه می‌باشد که این خطا می‌تواند ناشی از خطای دستگاهی، خطای انسانی و خطای طبیعی باشد که با روش‌های خاصی همانند روش کوپل این خطا کاهش می‌یابد. در یک چندضلعی بسته با محاسبه مجموع زوایای رئوس، از مشاهدات و مقایسه آن با مجموع مقدار واقعی زوایای چندضلعی خطای زاویه چند ضلعی محاسبه می‌گردد که به آن خطای بست زاویه‌ای می‌گویند:

مجموع زاویه‌های داخلی یک nضلعی: $(n-2)\times 180^\circ$

مجموع زاویه‌های مشاهده شده چندضلعی: $\sum \alpha_i$

خطای بست زاویه‌ای: $e_\alpha = \sum \alpha_i - [(n-2)\times 180^\circ]$

در صورت قابل‌قبول بودن میزان خطای زاویه‌ای، برای به‌دست‌آوردن مقدار صحیح هر زاویه، کافی است خطای بست را بر تعداد زوایای موجود با علامت مخالف تقسیم کنیم و سپس این مقدار تصحیح را با مقدار هر زاویه جمع کنیم تا خطای موجود به اندازه مساوی بر روی زاویه‌ها سرشکن گردد:

مقدار تصحیح برای هر زاویه: $C = \frac{-e_\alpha}{n}$

زاویه تصحیح‌شده: $e'_\alpha = e_\alpha + C$

جهت کنترل محاسبات مجموع زاویه‌های تصحیح‌شده باید با مجموع واقعی زاویه‌های داخلی برابر باشد.

فعالیت عملی ۹

با انتخاب سه نقطه A، B و C در محوطه هنرستان بر روی هر یک از نقاط ایستگاه‌گذاری نموده و بعد از سانتراژ کردن با استفاده از صفر صفر کردن لمب افقی دوربین زاویه هر رأس را در یک کوپل مشاهده کنید و زاویه تصحیح شده در جدول مربوطه را به‌صورت زیر محاسبه کنید.

ایستگاه	نقطه نشانه‌روی	قرائت دایره به چپ/گراد	قرائت دایره به راست/گراد	میانگین	زاویه	تصحیح	زاویه تصحیح شده
A	B						
	C						
B	C						
	A						
C	A						
	B						
مجموع زاویه‌ها و تصحیح جهت کنترل عملیات محاسباتی و مشاهداتی							

حداکثر خطای مجاز بست زاویه‌ای از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$e_{max} = \pm ۲/۵\ d\alpha\ \sqrt{N/m}$

$d\alpha$ = دقت زاویه‌ای دوربین برحسب ثانیه

N = تعداد زوایای چندضلعی

m = تعداد قرائت‌های زاویه

در صورت غیرقابل‌قبول بودن میزان خطای زاویه‌ای، عملیات مشاهده و اندازه‌گیری زاویه بایستی مجدد انجام گیرد.

ایستگاه	نقطه نشانه‌روی	حالت دایره به چپ	حالت دایره به راست	میانگین	زاویهٔ قفلی	کروکی

راهنمایی

با راهنمایی معلم خود زاویه هر رأس را محاسبه کنید و در فرم قرائت زاویه یادداشت نمایید.

اندازه‌گیری طول به کمک زاویه‌یاب

یکی از کارهای مهم در نقشه‌برداری اندازه‌گیری طول است چون بیشتر مواقع به‌عنوان مبنای برداشت‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.
واحد اندازه‌گیری فاصله متر است که در حدود یک چهل میلیونیم محیط نصف‌النهار است. علاوه بر متر واحدهای دیگری نظیر یارد، فوت، اینچ و غیره در کشورهای انگلیسی به‌کار برده می‌شود.

روش‌های اندازه‌گیری طول

روش‌های محاسباتی و ترسیمی:

در دستگاه‌های مختصاتی (دکارتی یا قطبی):

$$D_{AB} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}$$

$$D_{AB} = \sqrt{r_A^2 + r_B^2 - 2 \times r_A \times r_B \times \cos(\theta_A - \theta_B)}$$

روابط مثلثاتی:

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

$$a = \sqrt{b^2 + c^2 - 2 \times b \times c \times \cos \hat{A}}$$

روش‌های مستقیم:

اندازه‌گیری با قدم: در مواردی که شیب زمین زیاد نباشد و به دقت زیادی در اندازه‌گیری نیاز نباشد از این روش استفاده می‌شود.
اندازه‌گیری با چرخ غلتان: با توجه به تعداد دور و محیط چرخ طول مشخص می‌شود. دقت نسبی اندازه‌گیری در این روش ۱/۲۰۰ می‌باشد.
دقت اندازه‌گیری:

۱ بستگی به تجربه شخص دارد.

دقت برای افراد عادی کم‌تجربه $\frac{۱}{۵۰}$ و افراد باتجربه $\frac{۱}{۱۰۰}$

۲ بستگی به شرایط محیطی دارد.

برای زمین ناهموار $\frac{۱}{۱۰۰}$ و برای زمین هموار $\frac{۱}{۲۰۰}$

اندازه‌گیری با زنجیر مساحی: استفاده از زنجیری از مفتول‌های با طول ۲۵ـ۲۰ سانتی‌متر که با حلقه‌هایی به هم متصل شده‌اند و دارای فیش‌هایی برای نشانه‌گذاری می‌باشد. دقت نسبی اندازه‌گیری با این وسیله به حدود ۱/۱۰۰۰ می‌رسد.

انواع مترهای نواری:

۱ فلزی
۲ پارچه‌ای
۳ فایبرگلاس
۴ آلیاژ انوار

آلیاژ انوار آلیاژی است از نیکل و فولاد که ضریب انبساط این متر کمتر از مترهای دیگر است.

دقت نسبی اندازه‌گیری با این وسایل بین ۱/۱۰۰۰ تا ۱/۵۰۰۰ است (دقت ۱/۵۰۰۰ در صورتی عملی می‌شود که تأثیر کشش و اختلاف دما در اندازه‌گیری‌ها مدنظر قرار گیرد).

دقت اندازه‌گیری با نوار انوار به یک میلیونیم (یک میلی‌متر در کیلومتر) می‌رسد.

روش‌های غیرمستقیم (استفاده از دستگاه‌های اپتیکی)

روش‌های استفاده از دستگاه‌های الکترونیکی و الکترواپتیکی

روش استادیمتری:

در این روش به کمک زاویه‌یاب و شاخص فاصله به‌دست می‌آید. با نشانه‌روی و قرائت تار بالا و تار پایین رتیکول و زاویه شیب امتداد نشانه‌روی α باشد. با محاسبات زیر طول محاسبه می‌گردد.

اختلاف تار بالا و پایین: L = تار پایین ـ تار بالا

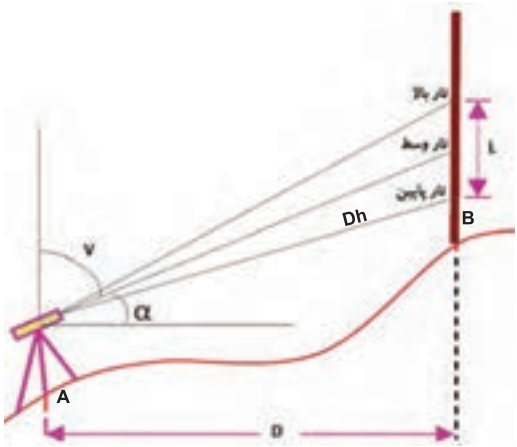
طول مایل AB: $D' = K \times L \times COS\alpha$

طول افقی AB: $Dh = (K \times L \times COS\alpha) \times COS\alpha = K \times L \times COS^{2}\alpha$

که عدد ثابت K معمولاً برای اکثر دوربین‌ها برابر ۱۰۰ است که آن را ضریب استادیمتری می‌نامند. بنابراین داریم: $Dh = ۱۰۰ \times L \times COS^{2}\alpha$

نکته

در صورتی‌که دوربین زاویه‌یاب به جای نمایش زاویه شیب α زاویه زنیتی V را نمایش دهد فرمول طول افقی $Dh=100\times L\times SIN^{2}V$ خواهد بود.



اندازه‌گیری فاصله به کمک فاصله‌یاب الکترونیکی

در روش اندازه‌گیری فاصله به صورت الکترونیکی دستگاه فاصله‌یاب به دو صورت مبتنی بر ۱ـ اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت موج و ۲ـ اندازه‌گیری اختلاف فاز موج ارسالی و برگشتی، فاصله بین دستگاه و نقطه مورد نظر را به‌دست می‌آورد.
ظهور تجهیزات EDM همهٔ وسایل نقشه‌برداری را با یک انقلاب مواجه کرده است. فاصله حالا می‌تواند به‌راحتی، سرعت و با دقت خوبی اندازه‌گیری شود. تئودولیت‌ها می‌توانند با یک ماژول به توتال استیشن تبدیل شوند. یک اندازه‌گیری استاندارد با EDM بین ۱/۵ تا ۳ ثانیه طول می‌کشد. تکرارهای خودکار اندازه‌گیری می‌تواند وابستگی اندازه‌گیری به شرایط جوی را کمتر کند. دسته‌بندی ابزارهای EDM ممکن است از نظر نوع و طول موج انرژی الکترومغناطیسی باشد یا از لحاظ برد دستگاه دسته‌بندی از نظر طول موج.

مادون قرمز (Infra_red radiation (IR))

استفاده از دستگاه EDM مادون‌قرمز در مهندسی رایج‌تر است. امواج مادون‌قرمز یا فروسرخ تقریباً دارای طول موج ۸۰۰ تا ۹۰۰نانومتر می‌باشند. صحت موردانتظار در اندازه‌گیری فاصله نشان می‌دهد که موج اندازه‌گیر(موجی که حاوی اطلاعات است)

نمی‌تواند به‌طور مستقیم استفاده شود و باید از یک موج با فرکانس بالاتر به‌عنوان حامل استفاده شود. علاوه‌بر فروسرخ، نورمرئی، با طول‌موج‌های به‌شدت کم نیز می‌تواند به‌عنوان حامل استفاده شود. بیشتر ابزارهایی که از نورمرئی استفاده می‌کنند دارای برد و صحت بهتری نسبت به آنچه در نقشه‌برداری به‌طور عموم موردانتظار است، می‌باشند. به‌طور مثال KernMekometer ME۵۰۰۰ تا صحت ۰/۲mm/Km ±، ۰/۲mm ± و با برد ۸کیلومتر و همچنین Com_Rad Geomensor CR۲۳۴.

ماکروویو

این‌گونه فاصله‌یاب‌ها از امواج رادیویی به‌عنوان حامل استفاده می‌کنند و بنابراین به ۲دستگاه برای اندازه‌گیری در دو انتهای خطی که قرار است اندازه‌گیری شود، احتیاج است که یکی به‌عنوان گیرنده و دیگری فرستنده می‌باشد. به دلیل اینکه این وسایل به این بستگی ندارند که نور از طرف رفلکتور به فرستنده منعکس شود، بنابراین از این نوع از فاصله‌یاب می‌توان در شب هم استفاده نمود. برد آنها تا ۲۵کیلومتر و گاهاً بالاتر از آن می‌باشد و همچنین صحت آن، به‌طور متوسط ۱۰mm ± تا ۵mm ± در کیلومتر می‌باشد.

و در نهایت آخرین دسته به فاصله‌یاب‌هایی تعلق دارد که از موج‌های رادیویی با طول موج ۱۵۰متر تا ۲کیلومتر(خیلی زیاد) استفاده می‌کنند. از این‌گونه فاصله‌یاب برای هیدروگرافی و نقشه‌برداری اقیانوسی استفاده می‌شود.

برحسب آنچه گفته شد، برای فاصله‌یاب الکترونیکی برحسب برد دسته‌بندی زیر را نیز داریم:

- **برد کوتاه:** ابزارهای الکترواپتیکی و فروسرخ، تا ۵ کیلومتر برد.
- **برد متوسط:** تجهیزات ماکروویو، تا ۲۵ کیلومتر برد.
- **برد زیاد:** تجهیزات موج رادیویی تا برد ۱۰۰ کیلومتر.

دوربین توتال استیشن

دوربین توتال استیشن ترکیبی از زاویه‌یاب الکترونیکی و طول‌یاب الکترونیکی به همراه برنامه‌های نرم‌افزاری جهت محاسبه طول افقی، مایل، اختلاف ارتفاع، مختصات و سایر امور کاربردی نقشه‌برداری می‌باشد.

شرح کامل توتال استیشن در پودمان سوم ذکر گردیده است.

فعالیت عملی ۱۰

به کمک روش استادیمتری اضلاع یک سه‌ضلعی را اندازه‌گیری نمایید.
محاسبات لازم را جهت محاسبه طول افقی در جدول استادیمتری به همراه محاسبات آن در اکسل انجام دهید.
گزارش کاملی با رعایت اصول گزارش‌نویسی از فعالیت انجام شده به‌صورت کتبی به معلم خود ارائه کنید.

راهنمایی

- ابتدا تئودلیت را در روی نقطه اول مستقر نمایید. سپس شاخصی را به‌طور کاملاً قائم در نقطه انتهای فاصله قرار دهید.
- پس از نشانه‌روی به شاخص موردنظر تصویر دوربین را توسط پیچ فوکوس کاملاً واضح کرده همچنین تصویر تارهای رتیکول را برای چشم خود تنظیم و واضح کنید.
- اکنون پیچ حرکت تند دوربی و آلیداد را قفل کرده و اعداد تار بالا و پایین روی شاخص را قرائت و یادداشت نمایید.
- زاویه شیب و یا سمت‌الرأسی را هم در این حالت مشاهده و یادداشت نمایید. برای این کار از معلم خود کمک بگیرید.
- این بار دوربین را به نقطه آخر منتقل کرده و مراحل قبل را تکرار کنید.
- با این کار عملیات به پایان می‌رسد، فاصله افقی موردنظر را برای دو حالت رفت و برگشت محاسبه نموده و از آن میانگین بگیرید.

فعالیت عملی ۱۱

به کمک دوربین مجهز به اندازه‌گیری طول الکترونیکی(EDM) و انتخاب سه نقطه در محوطه هنرستان طول هر امتداد را به‌صورت رفت و برگشت محاسبه و میانگین طول‌ها را محاسبه کنید(همانند جدول زیر).
با داشتن سه طول، مثلث را ترسیم کنید.

کروکی	قرائت طول درحالت		نقطه نشانه‌روی	ایستگاه
	دایره به چپ	دایره به راست		
			B	A
			C	
			C	B
			A	
			A	C
			B	

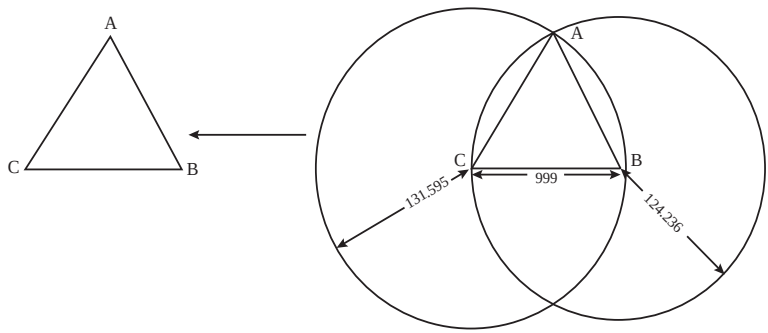
ترسیم در اتوکد

با مشخص نمودن سه طول مثلث (AB=۱۲۴/۲۳۶ و AC=۱۳۱/۵۹۵ و BC=۱۲۶/۹۹۹) و معلوم بودن مختصات نقطه C(۱۰۰و۱۰۰) و امتداد CB(امتداد افقی) ترسیم مثلث ABC در نرم‌افزار اتوکد به شرح ذیل می‌باشد:

۱ ترسیم خط افقی با دستور LINE و دکمه تابعی F۸ به مختصات اولیه (۱۰۰,۱۰۰)c: و طول CB=۱۲۶/۹۹۹ متر

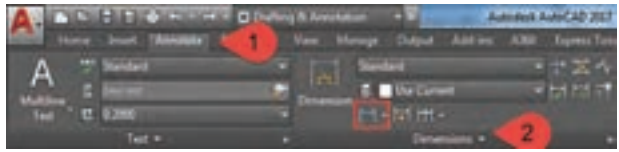
Command: LINE
Specify first point: <Ortho on> ۱۰۰,۱۰۰
Specify next point or [Undo]: ۱۲۶/۹۹۹

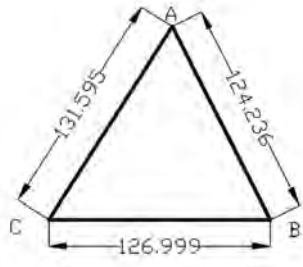
۲ ترسیم دو دایره (با دستور circle) به مرکز نقطه C و شعاع ۱۳۱/۵۹۵ متر و مرکز B و شعاع ۱۲۴/۲۳۶متر و مشخص شدن محل تلاقی دو دایره به عنوان نقطه A و ترسیم سه‌ضلعی ABC:



لازم به ذکر است دو دایره در دو نقطه همدیگر را قطع می‌کنند. نقطه موردنظر بایستی توسط وضعیت موجود و مطابق با کروکی انتخاب گردد.

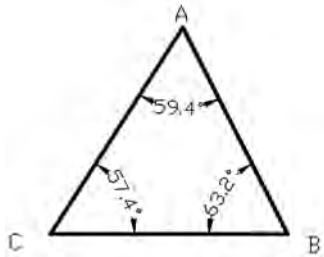
۳ جهت کنترل ترسیمات می‌توان از تب Home پنل Annotation یا تب Annotate پنل Dimension، گزینه کشویی اندازه‌گذاری را باز کنید و گزینه Aligned را به‌عنوان خط اندازه مورب انتخاب کرد و با کلیک بر روی ابتدا و انتهای خط اندازه آن را روی نقشه مشخص کرد:





(جهت مشاهده مختصات نقاط می‌توان از دستور ID و کلیک بر روی نقطه موردنظر مختصات نقاط را در خط فرمان مشاهده نمود. همچنین با استفاده از دستور LIST و کلیک بر روی خطوط اطلاعات خط مانند مختصات ابتدا و انتها، طول و... مشخص می‌گردد)

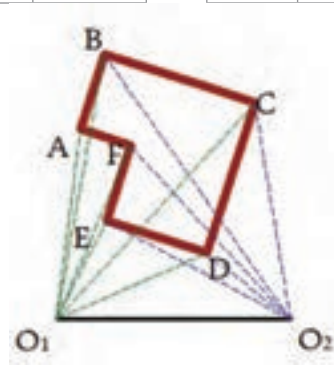
پس از ترسیم نقاط و امتدادهای برداشتی در نرم‌افزار اتوکد می‌توان زاویه بین امتدادها را به کمک آنچه در قسمت ۳ مثال قبل گفته شد و انتخاب گزینه Angular و کلیک بر روی دو امتداد مورد نظر مشخص نمود:



یکی از روش‌های تهیه و ترسیم یک چندضلعی اندازه‌گیری و مشاهدات دو طول می‌باشد، بدین معنی که طول هر نقطه از دو نقطه معلوم مشاهده و به کمک تقاطع دو دایره چند ضلعی ترسیم گردد. این موضوع در مثال زیر مشخص می‌باشد.

طول	نقطه نشانه‌روی	ایستگاه
۱۰۷/۶۵	A	O_2
۱۲۳/۰۸	B	
۸۳/۵۲	C	
۴۰/۷۱	D	
۷۹/۴۱	E	
۸۹/۸	F	

طول	نقطه نشانه‌روی	ایستگاه
۷۲/۸۵	A	O_1
۱۰۲/۴۸	B	
۱۱۷/۷	C	
۶۲/۳۵	D	
۴۲/۰۸	E	
۷۱/۸۷	F	

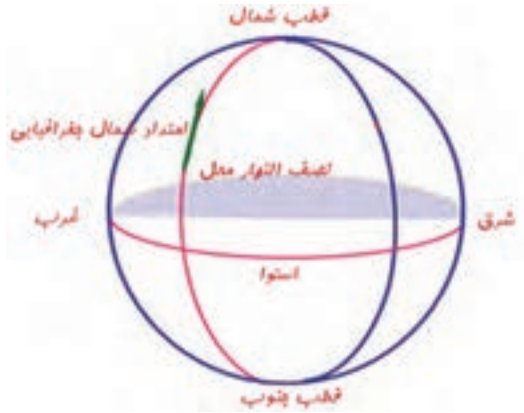


امتدادهای مبنا در نقشه‌برداری

به منظور توجیه نقشه در منطقه و یا برای مشخص‌نمودن موقعیت یک امتداد هنگام نقشه‌برداری در منطقه لازم است که زاویه امتدادهای زمینی را با یک امتداد مبنا (Refrence line) به‌دست آورد. از امتدادهایی که در نقشه‌برداری به عنوان امتداد مبنا یا مقایسه در نظر گرفته می‌شوند، می‌توان نصف النهار جغرافیایی محل، امتداد نصف‌النهار مغناطیسی و امتداد شمال شبکه یا محور Yها در صفحه نقشه را نام برد. در نقشه‌برداری امتداد مبنا، معمولاً به‌صورت یکی از سه حالت زیر می‌تواند تعریف شود:

الف) شمال جغرافیایی (True North)TN: اگر از محل استقرار دوربین، خطی به قطب شمال وصل شود، این امتداد، امتداد شمال جغرافیایی نامیده می‌شود.

به‌عبارت دیگر امتداد نصف‌النهار محل استقرار دوربین به سمت قطب شمال، جهت شمال جغرافیایی نامیده می‌شود.



شمال جغرافیایی و جهت‌های جغرافیایی

ب) شمال مغناطیسی (Magnetic North) MN: با توجه به میدان مغناطیسی زمین ناشی از حرکت دورانی زمین و ساختار قطب‌نما که مانند یک آهن ربا عمل می‌کند و قطب‌های همنام که همدیگر را جذب می‌نمایند و تمایل به قرارگیری در جهت میدان مغناطیسی زمین دارند، جهتی را که عقربه قطب‌نما نشان می‌دهد، امتداد شمال مغناطیسی نامیده می‌شود.

شکل یک نوع قطب‌نما

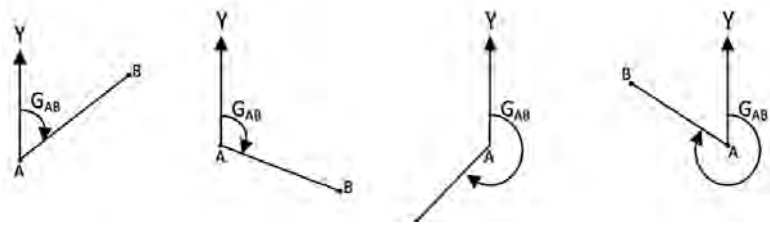
ج) شمال شبکه (Grid North) GN: جهت محور yها در نقشه را اصطلاحاً شمال شبکه می‌نامند و با GN (Grid North) نشان می‌دهند.

شمال مغناطیسی و شمال جغرافیایی بر هم منطبق نبوده و با هم اختلاف دارند، این اختلاف زاویه انحراف مغناطیسی نامیده می‌شود. معمولاً شمال شبکه را منطبق بر شمال مغناطیسی و مقدار اولیه آن را به کمک قطب‌نما مشاهده می‌نمایند.

ژیزمان

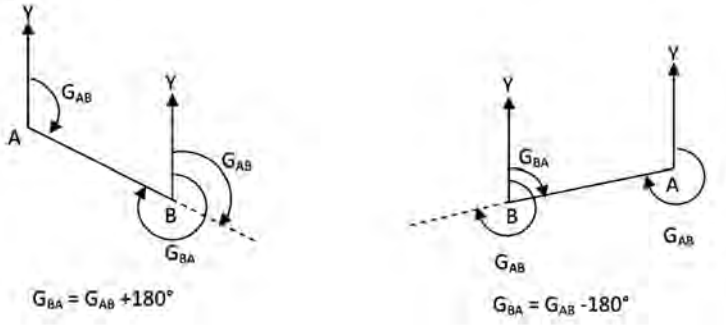
برای تعیین جهت یک امتداد در روی زمین باید زاویه این امتداد و یک امتداد مبنا را اندازه‌گیری کرد. چنانچه امتداد مبنا را شمال شبکه در نظرگرفته و زاویه بین شمال شبکه و امتداد زمینی را در جهت عقربه‌های ساعت اندازه‌گیری کنیم به زاویه حاصل ژیزمان می‌گویند. بنابراین:

ژیزمان عبارت است از زاویه شمال شبکه با هر امتداد در جهت عقربه‌های ساعت که با G نمایش داده می‌شود و مقدار آن بین صفر تا ۳۶۰درجه می‌باشد.



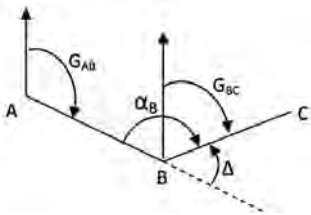
ژیزمان امتداد AB در چهار وضعیت

درصورتی‌که ژیزمان امتداد AB معلوم باشد و خواسته شود ژیزمان امتداد BA محاسبه شود، اصطلاحاً ژیزمان امتداد BA را ژیزمان معکوس امتداد AB می‌نامند. ژیزمان معکوس یک امتداد با ژیزمان آن ۱۸۰درجه یا ۲۰۰گراد اختلاف دارد. اگر ژیزمان یک امتداد کوچک‌تر از ۱۸۰درجه باشد، ژیزمان معکوس آن با ۱۸۰درجه جمع می‌شود و درصورتی‌که ژیزمان یک امتداد بزرگ‌تر از ۱۸۰ باشد، ژیزمان معکوس آن از ۱۸۰درجه کم می‌شود.



ژیزمان و ژیزمان معکوس امتداد AB

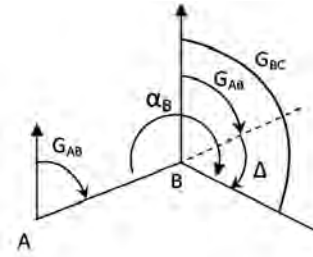
دو امتداد AB و BC را مطابق شکل الف در نظر بگیرید. در صورتی که ژیزمان امتداد AB و همچنین زاویه رأس B یعنی αB معلوم باشد ژیزمان امتداد BC به‌راحتی محاسبه می‌گردد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنید امتداد AB که با خط چین مشخص شده است از نقطه B به اندازه زاویه انحراف Δ در خلاف جهت عقربه‌های ساعت از جهت خود منحرف شده است تا به امتداد BC تبدیل شود. بنابراین کافی است زاویه انحراف Δ را از ژیزمان امتداد AB کم کنیم تا ژیزمان امتداد BC به‌دست آید. زاویه انحراف Δ به‌راحتی از روی زاویه رأس B قابل محاسبه است به‌عبارتی می‌توان نوشت:



$$\left.\begin{array}{l} G_{BC} = G_{AB} - \Delta \\ \Delta = 180^{\circ} - \alpha_B \end{array}\right\} G_{BC} = G_{AB} - (180^{\circ} - \alpha_B) = G_{AB} + \alpha_B - 180^{\circ} \quad (\text{یا } 200\text{grad})$$

(الف)

حال به شکل ب دقت کنید. در این حالت امتداد AB که با خط چین مشخص شده است در نقطه B به اندازه زاویه Δ در جهت عقربه‌های ساعت از جهت اولیه خود منحرف شده است تا امتداد BC حاصل شود. پس در این حالت کافی است که زاویه Δ را با ژیزمان امتداد AB جمع کنیم تا ژیزمان BC به‌دست آید. بنابراین داریم:



$$\left.\begin{array}{l} G_{BC} = G_{AB} + \Delta \\ \Delta = 180^{\circ} - \alpha_B \end{array}\right\} G_{BC} = G_{AB} + (180^{\circ} - \alpha_B) = G_{AB} - \alpha_B + 180^{\circ}$$

(ب)

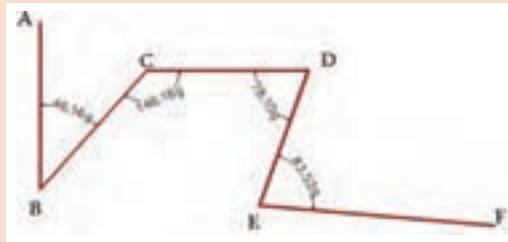
همان‌طور که دیدید در هر حالت به سادگی می‌توان ژیزمان امتداد BC را از امتداد معلوم AB به‌دست آورد. کافی است زاویه رأس αB مشاهده و زاویه انحراف Δ به همراه جهت انحراف مشخص گردد.

تذکر

اگر ژیزمان امتدادی بیشتر از ۳۶۰درجه یا ۴۰۰گراد محاسبه گردید مقدار ۳۶۰درجه یا ۴۰۰گراد از ژیزمان کسر می‌گردد و همچنین اگر ژیزمان امتدادی منفی محاسبه گردید، عدد ۳۶۰درجه یا ۴۰۰گراد به ژیزمان اضافه می‌گردد تا همیشه مقدار ژیزمان بین عدد ۰ تا ۳۶۰درجه یا ۴۰۰گراد قرار گیرد.

مثال ۱

در شکل زیر با فرض اینکه امتداد AB در جهت منفی محور Yها است ژیزمان امتدادهای دیگر را به‌دست آورید.



ابتدا جدول انتقال ژیزمان را ترسیم کرده و زاویه انحراف هر زاویه را محاسبه می‌کنیم(درجهت عقربه‌های ساعت مثبت و خلاف آن منفی).

انحراف زاویه B = ۲۰۰ -۴۶/۱۶=-۱۵۳/۸۴

انحراف زاویه C = ۱۴۶/۱۶-۲۰۰=۵۳/۸۴

انحراف زاویه D = ۲۰۰ -۷۸/۱=۱۲۱/۹

انحراف زاویه E = ۸۳/۵۲-۲۰۰= -۱۱۶/۴۸

سپس زاویه انحراف‌ها را با ژیزمان قبلی جمع می‌کنیم.

نقطه	زاویه	زاویه انحراف	ژیزمان
A	-	-	۲۰۰
B	۴۶/۱۶	-۱۵۳/۸۴	
C	۱۴۶/۱۶	۵۳/۸۴	
D	۷۸/۱	۱۲۱/۹	
E	۸۳/۵۲	-۱۱۶/۴۸	
F	-		

نقطه	زاویه	زاویه انحراف	ژیزمان
A	-	-	۲۰۰
B	۴۶/۱۶	-۱۵۳/۸۴	۴۶/۱۶
C	۱۴۶/۱۶	۵۳/۸۴	۱۰۰
D	۷۸/۱	۱۲۱/۹	۲۲۱/۹
E	۸۳/۵۲	-۱۱۶/۴۸	۱۰۵/۴۲
F	-		

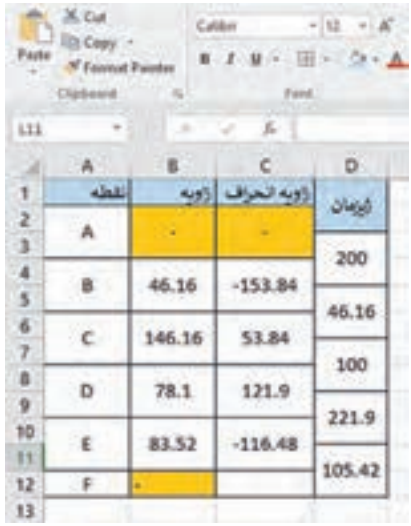
در مثال قبل محاسبات را در نرم‌افزار اکسل محاسبه کنید.
پس از ورود اطلاعات زاویه در اکسل در خانه زاویه انحراف از دو فرمول زیر استفاده می‌شود:
اگر زاویه انحراف خلاف عقربه‌های ساعت باشد:

زاویه انحراف = زاویه − ۲۰۰

همانند زاویه انحراف رأس A و E
اگر زاویه انحراف در جهت عقربه‌های ساعت باشد:

زاویه انحراف = زاویه − ۲۰۰

همانند زاویه انحراف رأس C و D
در ستون ژیزمان، ژیزمان هر امتداد از مجموع ژیزمان امتداد قبل و زاویه انحراف محاسبه می‌گردد.



	A	B	C	D
1	نقطه	زاویه	زاویه انحراف	ژیزمان
2	A	-	-	200
3				
4	B	46.16	-153.84	46.16
5				
6	C	146.16	53.84	100
7				
8	D	78.1	121.9	221.9
9				
10	E	83.52	-116.48	105.42
11				
12	F	-		
13				

فعالیت عملی ۱۲

- در محوطه هنرستان چهار نقطه که تشکیل یک چهارضلعی باز را می‌دهند به گونه‌ای انتخاب کنید که از هر نقطه، نقطهٔ قبل و بعد آن قابل دید باشد.
- آزیموت مغناطیسی امتداد اول را به‌کمک قطب‌نما اندازه‌گیری نمایید و آن را به‌عنوان ژیزمان امتداد اول در نظر بگیرید.
- با اندازه‌گیری زاویه بین امتدادها به روش کوپل ژیزمان سه امتداد دیگر را محاسبه کنید.
- محاسبات انتقال ژیزمان را با نرم‌افزار اکسل نیز محاسبه کنید و نتایج کار را به همراه گزارش عملیات تحویل هنرآموز دهید.

روش‌های تعیین مختصات ایستگاهی

نقاط کنترل

انواع شبکه‌های ژئودزی

شبکه نقاط ژئودزی به شبکه‌ای از نقاط ثابت روی سطح زمین گفته می‌شود که به نام نقاط کنترل معروف است. موقعیت این نقاط در چارچوب عملیات ژئودزی با مختصات آن نقطه تعیین می‌شود. دو نوع شبکه نقاط ژئودزی سراسری موجود است، یکی دارای مختصات پلانیمتری (افقی) و دیگری دارای مختصات ارتفاعی. نقاط ژئودزی پلانیمتری دارای مختصات معین X و Y و نقاط ژئودزی ارتفاعی به صورت بنچ مارک‌های (نقاط نشانه در نقشه‌برداری که به‌صورت بتنی است) دارای ارتفاع معین، H است.

شبکه نقاط ژئودزی پلانیمتری (افقی)

شبکه نقاط پلانیمتری با روش‌های مثلث بندی، سه‌ضلعی‌بندی و پلیگن سنجی ایجاد می‌شود.

الف) مثلث‌بندی: مثلث‌بندی در شبکه‌ای از مثلث به وجود می‌آید. در این روش همه زوایای مثلث و بعضی از اضلاع آن اندازه‌گیری می‌شود.

ب) سه‌ضلعی‌بندی: در این مثلث‌بندی تنها اضلاع مثلث‌ها اندازه‌گیری می‌شود.

ج) پلیگن‌سنجی: این روش برای ایجاد نقاط جدید ژئودزی از طریق پیمایش بین نقاط ژئودزی اولیه به‌کار می‌رود. در این روش فاصله همه اضلاع و همچنین زوایای پیمایش اندازه‌گیری می‌شود.

شبکه نقاط نجومی ژئودزی

در شبکه نقاط نجومی ژئودزی درجه یکی از نوارهای مثلث‌بندی در امتداد نصف‌النهارها و مدارها تشکیل می‌شود. این ردیف‌های شبکه مثلث‌بندی به شکل پلیگن همدیگر را قطع می‌کنند. این گونه تقاطع‌ها در فاصله هر ۲۰۰ تا ۲۵۰کیلومتر اتفاق می‌افتد. مناطق خالی بین نقاط ژئودزی درجه اول از شبکه مثلث‌بندی نقاط ژئودزی درجه دوم پر می‌شود و به همین ترتیب تا نقاط ژئودزی درجه چهارم ادامه می‌یابد. در این روش لازم است حداقل دوپایه مبنا (Base Line) برای اتصال این شبکه به شبکه دارای درجات بالاتر ایجاد و اندازه‌گیری شود. نقاط شبکه ژئودزی سراسری باید با پراکندگی یکنواخت در سطح منطقه نقشه‌برداری انتخاب شود و از هر نقطه حداقل ۳ نقطه قابل رؤیت باشد.

نقاط متراکم ژئودزی

شبکه‌های متراکم ژئودزی به شبکه‌های مثلث‌بندی و پیمایش درجات یک و دو تقسیم می‌شود. این شبکه‌ها براساس مثلث‌بندی، سه‌ضلعی‌بندی یا تقاطع به وجود می‌آیند. شبکه نقاط متراکم معمولاً مابین نقاط ژئودزی سراسری کشور ایجاد می‌شود.

شبکه نقاط کنترل نقشه‌برداری

چنین شبکه‌هایی به منظور تعیین موقعیت تفصیلی بناها، مثلاً انتقال بناهای مهندسی، روی زمین ایجاد می‌شوند. شبکه نقاط نقشه‌برداری با روش تقاطع به کمک نقاط ژئودزی که درجات دقت متفاوت دارند، پیمایش با تئودلین، تخته سه پایه و ایجاد شبکه‌های مختلف هندسی به‌وجود می‌آید. دقت اندازه‌گیری زاویه در این نوع شبکه بین ۳۰ ثانیه تا ۱دقیقه و دقت نسبی اندازه‌گیری اضلاع نیز ۱:۳۰۰۰ است که بنا به اهداف کار و روش‌های اندازه‌گیری از این مقدار نیز کمتر می‌شود.

شبکه سراسری نقاط ارتفاعی ژئودزی

روش اصلی تعیین نقاط شبکه ارتفاعی از طریق ترازیابی است. شبکه سراسری نقاط ارتفاعی شامل ترازیابی درجه یک تا چهار است.

ترازیابی درجه یک ترازیابی بسیار دقیق است. با استفاده از تکنیک‌های جدید می‌توان ترازیابی دقیق را با دقت ۰/۵ میلی‌متر در کیلومتر انجام داد.

ترازیابی درجه دو معمولاً برای راه‌آهن و شاهراه‌ها استفاده می‌شود. در ترازیابی درجه دو خطای مطلق عملیات ترازیابی از مقدار ۵ رادیکال L میلی‌متر نباید زیادتر شود. ۵ میلی‌متر خطای مجاز در یک کیلومتر و L طول مسیر ترازیابی به کیلومتر است.

شبکه ترازیابی درجه سه بین شبکه ترازیابی درجه دو احداث می‌شود. خطای مجاز ترازیابی درجه سه ۱۰ رادیکال L میلی‌متر است.

شبکه ترازیابی درجه چهار، که در نقشه‌برداری توپوگرافی استفاده می‌شود، دارای خطای مطلق ۲۰رادیکال L میلی‌متر است.

بنچ مارک‌ها و علائم نقاط ارتفاعی با توجه به درجات مختلف ترازیابی با علائم پیش ساخته روی زمین نصب می‌شود. فواصل این بنچ مارک‌ها برای دقت‌های بالا و در مناطق کوهستانی بین ۵۰ تا ۸۰کیلومتر است. فاصله بین بنچ مارک‌های نقاط شبکه ارتفاعی درجه سوم و چهارم بین ۵ و ۷کیلومتر است و در مناطق ناهموار به ۱۰ تا ۱۵کیلومتر می‌رسد.

محاسبات پیمایش باز

در این پیمایش همان‌طور که گفته شد هیچ کنترلی برای صحت و دقت پیمایش وجود ندارد و فقط با استفاده از وسایل دقیق‌تر و تکرار اندازه‌گیری‌ها می‌توان درجه اطمینان را بالا برد. محاسبه مختصات در پیمایش باز را می‌توان در قالب مراحل زیر خلاصه کرد:

گام ۱ـ تشکیل جدول و واردکردن مشاهدات (برای راحتی کار و جلوگیری از اشتباه در محاسبات) در این مرحله مشاهدات شامل طول و زاویه می‌باشد.

ایستگاه	زاویه	طول	ژیزمان	ΔX	ΔY	X	Y

گام ۲ـ محاسبه ژیزمان امتدادها با استفاده از ژیزمان امتداد اول که معمولاً به‌کمک قطب‌نما مشاهده می‌گردد.

گام ۳ـ محاسبه ΔX، ΔY همه اضلاع به کمک طول مشاهده شده و ژیزمان محاسباتی

$$\Delta X = L \times SIN\ (G) \qquad \Delta Y = L \times COS\ (G)$$

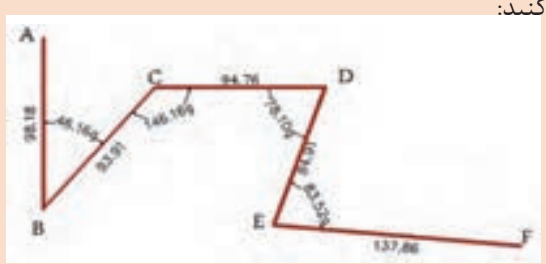
گام ۴ـ محاسبه مختصات نقاط ایستگاهی به‌کمک مختصات معلوم نقطه اول:

$$X_n = X_{n-1} + \Delta X \qquad Y_n = Y_{n+1} + \Delta Y$$

اکنون در قالب یک مثال مراحل محاسبه پیمایش باز به‌طور کامل شرح داده می‌شود:

مثال ۲

در پیمایش باز شکل زیر که ژیزمان آن در مثال گذشته محاسبه گردید با فرض مختصات نقطه A(۲۰۰و۲۰۰) مختصات نقاط رئوس دیگر پیمایش را محاسبه کنید:



گام ۱ـ برای راحتی کار و جلوگیری از اشتباه در محاسبات، ابتدا معلومات مسئله را در جدولی مطابق زیر وارد می‌کنیم:

نقطه	زاویه	طول	ژیزمان	ΔX	ΔY	X	Y
A	-	۹۸/۱۸	۲۰۰			۲۰۰	۲۰۰
B	۴۶/۱۶	۹۳/۹۱					
C	۱۴۶/۱۶	۹۴/۷۶					
D	۷۸/۱	۸۴/۹۱					
E	۸۳/۵۲	۱۳۷/۸۶					
F							

گام ۲ـ پس از محاسبه زاویه انحراف با معلوم بودن ژیزمان امتداد اولیه ژیزمان دیگر امتدادها را مطابق آنچه در مبحث انتقال ژیزمان آورده شد، محاسبه

و در جدول ثبت می‌کنیم.

$G_{AB} = ۲۰۰g$

$G_{BC} = G_{AB} - \Delta = ۲۰۰ - (۲۰۰ - ۴۶/۱۶) = ۴۶/۱۶$

$G_{CD} = G_{BC} + \Delta = ۴۶/۱۶ + (۲۰۰ - ۱۴۶/۱۶) = ۱۰۰$

$G_{DE} = G_{CD} + \Delta = ۱۰۰ + (۲۰۰ - ۷۸/۱) = ۲۲۱/۹$

$G_{DE} = G_{CD} - \Delta = ۲۲۱/۹ - (۲۰۰ - ۸۳/۵۲) = ۱۰۵/۴۲$

نقطه	زاویه	طول	ژیزمان	ΔX	ΔY	X	Y
A	-	۹۸/۱۸	۲۰۰			۲۰۰	۲۰۰
B	۴۶/۱۶	۹۳/۹۱	۴۶/۱۶				
C	۱۴۶/۱۶	۹۴/۷۶	۱۰۰				
D	۷۸/۱	۸۴/۹۱	۲۲۱/۹				
E	۸۳/۵۲	۱۳۷/۸۶	۱۰۵/۴۲				
F							

گام ۳ـ محاسبه ΔY، ΔX همه اضلاع:

از ضرب طول در سینوس ژیزمان ΔX و از ضرب طول در کسینوس ژیزمان ΔY را محاسبه و در جدول وارد می‌کنیم.

$\Delta X = L \times SIN(G)$

$\Delta X_{AB} = ۹۸/۱۸ \times SIN(۲۰۰) = ۰$

$\Delta X_{BC} = ۹۳/۹۱ \times SIN(۴۶/۱۶) = ۶۲/۲۸$

$\Delta X_{CD} = ۹۴/۷۶ \times SIN(۱۰۰) = ۹۴/۷۶$

$\Delta X_{DE} = ۸۴/۹۱ \times SIN(۲۲۱/۹) = -۲۸/۶۴$

$\Delta X_{EF} = ۱۳۷/۸۶ \times SIN(۱۰۵/۴۲) = ۱۳۷/۳۶$

$\Delta Y = L \times COS(G)$

$\Delta Y_{AB} = ۹۸/۱۸ \times COS(۲۰۰) = -۹۸/۱۸$

$\Delta Y_{BC} = ۹۳/۹۱ \times COS(۴۶/۱۶) = ۷۰/۲۹$

$\Delta Y_{CD} = ۹۴/۷۶ \times COS(۱۰۰) = ۰$

$\Delta Y_{DE} = ۸۴/۹۱ \times COS(۲۲۱/۹) = -۷۹/۹۴$

$\Delta Y_{EF} = ۱۳۷/۸۶ \times COS(۱۰۵/۴۲) = -۱۱/۷۲$

نقطه	زاویه	طول	ژیزمان	ΔX	ΔY	X	Y
A	-	۹۸/۱۸	۲۰۰	۰/۰۰	-۹۸/۱۸	۲۰۰	۲۰۰
B	۴۶/۱۶	۹۳/۹۱	۴۶/۱۶	۶۲/۲۸	۷۰/۲۹		
C	۱۴۶/۱۶	۹۴/۷۶	۱۰۰	۹۴/۷۶	۰/۰۰		
D	۷۸/۱	۸۴/۹۱	۲۲۱/۹	-۲۸/۶۴	-۷۹/۹۴		
E	۸۳/۵۲	۱۳۷/۸۶	۱۰۵/۴۲	۱۳۷/۳۶	-۱۱/۷۲		
F							

گام ۴ـ محاسبه مختصات نقاط ایستگاهی و درج در جدول:

$X_n = X_{n-1} + \Delta X$ $\quad Y_n = Y_{n-1} + \Delta Y$

$X_B = X_A + \Delta X = ۲۰۰ + ۰ = ۲۰۰$ $\quad Y_B = Y_A + \Delta Y = ۲۰۰ + -۹۸/۱۸ = ۱۰۱/۸۲$

$X_C = ۲۰۰ + ۶۲/۲۸ = ۲۶۲/۲۸$ $\quad Y_C = ۲۰۰ + ۷۰/۲۹ = ۱۷۲/۱۱$

$X_D = ۲۶۲/۲۸ + ۹۴/۷۶ = ۳۵۷/۰۴$ $\quad Y_D = ۱۷۲/۱۱ + ۰ = ۱۷۲/۱۱$

$X_E = ۳۵۷/۰۴ + -۲۸/۶۴ = ۳۲۸/۴۰$ $\quad Y_E = ۱۷۲/۱۱ + -۷۹/۹۴ = ۹۲/۱۷$

$X_F = ۳۲۸/۴۰ + ۱۳۷/۳۶ = ۴۶۵/۷۶$ $\quad Y_F = ۹۲/۱۷ + -۱۱/۷۲ = ۸۰/۴۵$

نقطه	زاویه	طول	ژیزمان	ΔX	ΔY	X	Y
A	ـ	۹۸/۱۸	۲۰۰	۰/۰۰	-۹۸/۱۸	۲۰۰	۲۰۰
B	۴۶/۱۶	۹۳/۹۱	۴۶/۱۶	۶۲/۲۸	۷۰/۲۹	۲۰۰/۰۰	۱۰۱/۸۲
C	۱۴۶/۱۶	۹۴/۷۶	۱۰۰	۹۴/۷۶	۰/۰۰	۲۶۲/۲۸	۱۷۲/۱۱
D	۷۸/۱	۸۴/۹۱	۲۲۱/۹	-۲۸/۶۴	-۷۹/۹۴	۳۵۷/۰۴	۱۷۲/۱۱
E	۸۳/۵۲	۱۳۷/۸۶	۱۰۵/۴۲	۱۳۷/۳۶	-۱۱/۷۲	۳۲۸/۴۰	۹۲/۱۷
F						۴۶۵/۷۶	۸۰/۴۵

فعالیت عملی ۱۳

در محوطه هنرستان ۶ نقطه را به‌گونه‌ای مشخص کنید که هر نقطه از نقطه قبل و بعد قابل دیدن باشد. ابتدا به کمک قطب‌نما آزیموت امتدا اول را به عنوان ژیزمان مشاهده کنید و به کمک دوربین نقشه‌برداری مشاهدات طول و زاویه را با دقت مناسب (زاویه‌ها را در یک کوپل و طول‌ها به‌صورت رفت و برگشت) مشاهده کنید. با استفاده از جدول پیمایش مختصات نقاط را مشخص کنید.

محاسبات پیمایش باز با نرم‌افزار Excel

مثال ۳

پیمایش مثال قبل را با استفاده از نرم‌افزار اکسل محاسبه کنید

گام ۱ـ برای راحتی کار و جلوگیری از اشتباه در محاسبات، ابتدا معلومات مسئله را در جدولی مطابق زیر وارد می‌کنیم:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	نقطه	زاویه	طول	ΔX		ΔY	X	Y
2	A	-	98.18	200			200	200
3	B	46.16	93.91					
4	C	146.16	94.76					
5	D	78.1	84.91					
6	E	83.52	137.86					
7	F							
8								

گام ۲ـ پس از محاسبه زاویه انحراف با معلوم‌بودن ژیزمان امتداد اولیه ژیزمان دیگر امتدادها را مطابق آنچه در مبحث انتقال ژیزمان آورده شد، محاسبه و در جدول ثبت می‌کنیم.

فرمول خانه‌های اکسل به طریق زیر نوشته می‌شود:

	A	B	C	D
1	نقطه	زاویه	طول	ژیزمان ΔX
2	A	-	98.18	200
3	B	46.16	93.91	=D2-(200-B3)

	A	B	C	D	E
1	نقطه	زاویه	طول	ژیزمان ΔX	
2	A	-	98.18	200	
3	B	46.16	93.91	46.16	
4	C	146.16	94.76	=D3+(200-B4)	

	A	B	C	D	E
1	نقطه	زاویه	طول	ژیزمان ΔX	
2	A	-	98.18	200	
3	B	46.16	93.91	46.16	
4	C	146.16	94.76	100	
5	D	78.1	84.91	=D4+(200-B5)	

	A	B	C	D	E
1	نقطه	زاویه	طول	ژیزمان ΔX	
2	A	-	98.18	200	
3	B	46.16	93.91	46.16	
4	C	146.16	94.76	100	
5	D	78.1	84.91	221.9	
6	E	83.52	137.86	=D5-(200-B6)	

گام ۳ـ محاسبه ΔY، ΔX همه اضلاع:

در Excel زوایا برحسب رادیان محاسبه می‌شود و باید زاویه‌ها تبدیل به رادیان شوند و همان‌طور که می‌دانید برای تبدیل درجه به رادیان، آن را در $\frac{\pi}{۱۸۰}$ و برای تبدیل گراد به رادیان، آن را در $\frac{\pi}{۲۰۰}$ ضرب می‌کنیم. در Excel عدد π به‌صورت تابع PI() تعریف می‌شود.

$\Delta X = L \times SIN(A \times PI()/۲۰۰)$ $\Delta Y = L \times COS(A \times PI()/۲۰۰)$

	A	B	C	D	E	F
1	نقطه	زاویه	طول	ارتفاع	ΔX	ΔY
2	A	-	98.18	200	=C2*SIN(D2*PI()/200)	
3	B	46.16	93.91	46.16		
4	C	146.16	94.76	100		

	A	B	C	D	E	F
1	نقطه	زاویه	طول	ارتفاع	ΔX	ΔY
2	A	-	98.18	200		=C2*COS(D2*PI()/200)
3	B	46.16	93.91	46.16		
4	C	146.16	94.76	100		

فرمول را در سایر خانه‌های ستون مربوطه کپی می‌کنیم.

گام ۴ـ محاسبه مختصات نقاط ایستگاهی و درج در جدول:

در انتها X و Y از رابطه $Xn = X_{n-۱} + \Delta X$ و $Yn = Y_{n-۱} + \Delta Y$ محاسبه می‌شوند.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	نقطه	زاویه	طول	ارتفاع	ΔX	ΔY	X	Y
2	A	-	98.18	200	0.00	-98.18	200	200
3	B	46.16	93.91	46.16	62.28	70.29	=G2+E2	
4	C	146.16	94.76	100	94.76	0.00		

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	نقطه	زاویه	طول	ارتفاع	ΔX	ΔY	X	Y
2	A	-	98.18	200	0.00	-98.18	200	200
3	B	46.16	93.91	46.16	62.28	70.29	200.00	=H2+F2
4	C	146.16	94.76	100	94.76	0.00		

فرمول را در سایر خانه‌های ستون مربوطه کپی می‌کنیم.

فعالیت عملی ۱۴

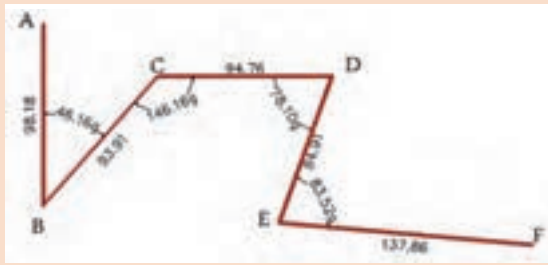
با استفاده از اطلاعات فعالیت عملی ۱۳، محاسبات پیمایش را با نرم‌افزار Excel انجام دهید.

ترسیم پیمایش در CIVIL۳D

همان‌گونه که در کتاب نقشه‌برداری ساختمان توضیح داده شد، در ابتدا می‌بایستی تنظیمات نرم‌افزار را انجام داد که در اینجا با ذکر یک مثال پیمایش در CIVIL۳D شرح داده می‌شود.

مثال ۴

در پیمایش باز مثال قبل با فرض مختصات نقطه A(۲۰۰و۲۰۰) مختصات نقاط رئوس دیگر پیمایش را محاسبه کنید: (G_{AB}=۲۰۰g)

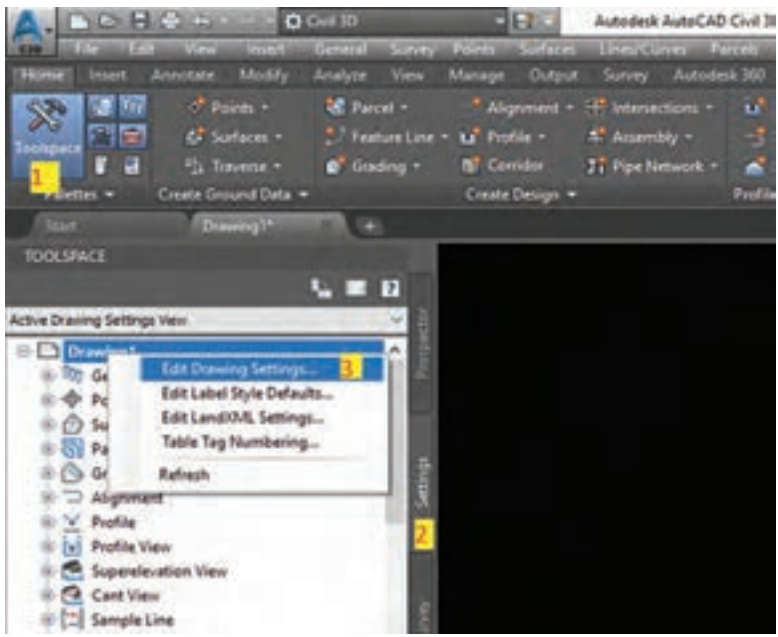


در ابتدا تنظیمات زاویه را برحسب گراد و طول را برحسب متر تنظیم می‌کنیم:

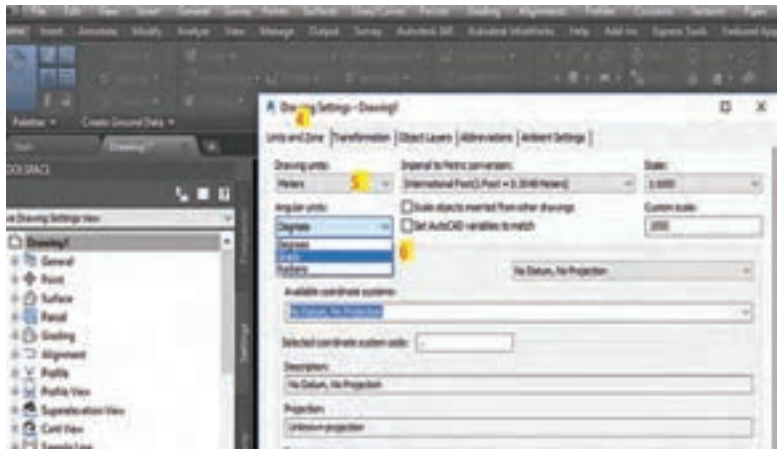
۱ باز کردن پنجره Toolspace

۲ در پنجره باز شده انتخاب تب Setting

۳ راست کلیک بر روی Drawing1 (اسم فایل) و انتخاب Edit Drawing Settings...

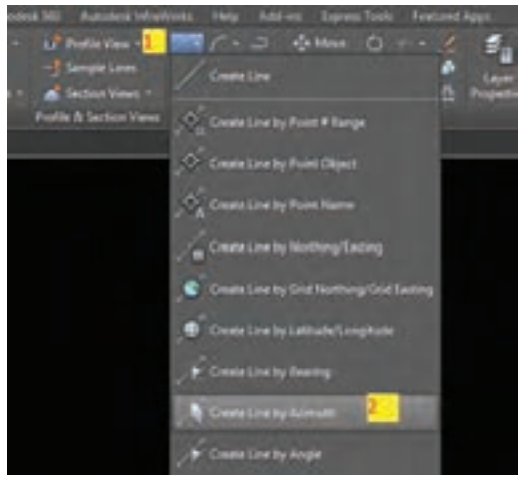


۴ در پنجره باز شده انتخاب تب Units and Zone
۵ در قسمت Drawing units انتخاب واحد متر
۶ در قسمت Angular units انتخاب واحد زاویه گراد



جهت ترسیمات پیمایش ابتدا خط AB با معلوم بودن طول و ژیزمان ترسیم می‌شود برای این کار از آیکن LINE، دستور Create Line by Azimuth را انتخاب می کنیم. سپس با وارد کردن مختصات نقطه A، ژیزمان و طول AB خط AB ترسیم می گردد.

معرفی مختصات Specify first point: 200,200
Specify next point or [Undo]:'ZD
Current direction unit: degree, Input: DD° MM' SS.SS" (spaced)
معرفی ژیزمان برحسب درجه << Specify azimuth: 180
معرفی طول << Specify distance: 98.18



سپس جهت ترسیمات دیگر طول‌های پیمایش که دارای اطلاعات طول و زاویه بین دو امتداد است از آیکن LINE، دستور Create Line by side and shot استفاده می‌کنیم.

با کلیک بر روی خط AB و نزدیک نقطه B نرم‌افزار نقطه B را به‌عنوان ایستگاه انتخاب کرده و شما با وارد کردن زاویه و طول هر امتداد می‌توانید اضلاع پیمایش را ترسیم نمایید.