

فصل

پنجم

# تعیین مختصات ایستگاهی



## هدف‌های رفتاری

- پس از آموزش و مطالعه این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود بتواند :
- ۱- روش تقاطع را برای تعیین مختصات نقاط کنترل تعریف نماید.
  - ۲- روش ترفیع را برای تعیین مختصات نقاط کنترل تعریف و کاربرد آن را ذکر نماید.
  - ۳- مثلث‌بندی و روش‌های آن را برای تعیین مختصات نقاط کنترل تعریف نماید.
  - ۴- روش شبکه را برای تعیین مختصات نقاط کنترل تعریف نماید.
  - ۵- پیمایش را تعریف کند.
  - ۶- تفاوت پیمایش‌های باز و بسته را بیان کند.
  - ۷- مراحل مختلف انجام عمل پیمایش را شرح دهد.
  - ۸- محاسبات پیمایش را انجام دهد.
  - ۹- جدول محاسبات پیمایش را تنظیم نماید.
  - ۱۰- خطای بست زاویه‌ای را محاسبه نماید.
  - ۱۱- حداکثر خطای مجاز بست زاویه‌ای را محاسبه کند.
  - ۱۲- خطاهای پیمایش را سرشکن کند.
  - ۱۳- مختصات تصحیح شده رؤس پیمایش را محاسبه کند.
  - ۱۴- اطلاعات بدست آمده در جدول پیمایش را کنترل کند.
  - ۱۵- روش تعیین موقعیت ماهواره‌ای را شرح دهد.

## مطالب پیش نیاز

- قبل از مطالعه این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود با مطالب زیر آشنا باشد :
- ۱- آشنایی با فصل ۵ کتاب «مساحی»

## مقدمه



### مفاهیم کلیدی

مختصات  
Coordinates  
ایستگاه  
Station  
تقاطع  
Intersection  
ترفیغ  
Resection  
مثلث‌بندی  
Triangulation  
شبکه  
Network  
پیمایش  
Traverse  
تعیین موقعیت جهانی  
Global Positioning

اصولاً برای تهیه نقشه یا تصویر قائم از یک منطقه مجبور خواهیم بود تعدادی نقطه کنترل زمینی را در آن منطقه مشخص کنیم تا بتوانیم به کمک آنها عوارض مورد نیاز را از روی زمین برداشت و سپس به نقشه انتقال دهیم. به کمک این نقاط می‌توان نقاط مربوط به طراحی‌های رسم شده در روی نقشه را نیز به روی زمین منتقل نمود. این نقاط می‌توانند به صورت عارضه‌های طبیعی باشند اما با توجه به اهمیت و لزوم ماندگاری آنها، معمولاً در قالب سازه‌های مصنوعی و با علایم مشخصی روی زمین طبق استاندارد ساخته و تثبیت می‌شوند. این نقاط را شبکه نقاط کانا می‌نامند و برای استقرار و توجیه دستگاه‌های نقشه‌برداری از آنها استفاده می‌شود. در مورد این نقاط در فصل چهارم بطور مفصل صحبت شد. چنانچه با خط‌های فرضی این نقاط تعیین شده را به هم متصل کنیم کثیرالاضلاعی خواهیم داشت که به آن پلیگون می‌گویند.

با انجام مشاهدات طول و زاویه در امتداد یک پلیگون، می‌توان مختصات مسطحاتی نقاط کنترل را به‌دست آورد. همچنین با انجام ترازایی می‌توان مختصات ارتفاعی نقاط را به‌دست آورد. در نقشه‌برداری به این امر پیمایش گویند. پیمایش زیربنای اکثر کارهای نقشه‌برداری به‌خصوص نقشه‌برداری منطقه‌ای، کارهای ساختمانی، راه‌سازی، نقشه‌برداری کارهای کشاورزی و بالاخره نقشه‌برداری برای تهیه نقشه‌های موضوعی جهت برنامه‌های توسعه و عمران می‌باشد.

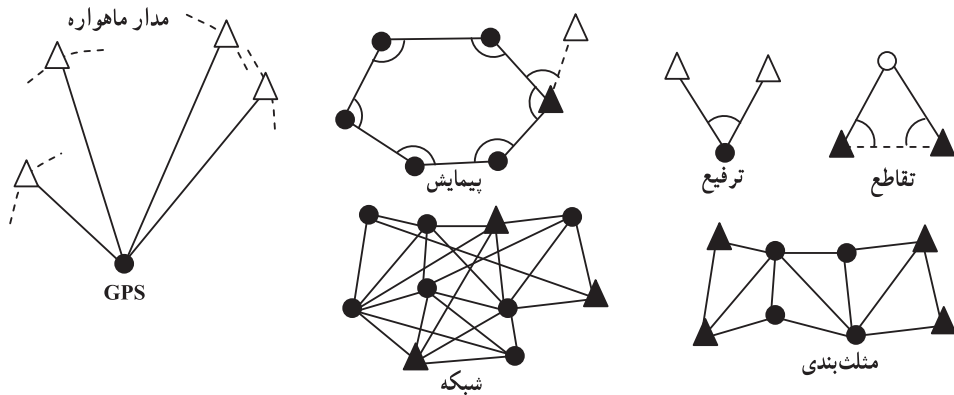
امروزه با پیشرفت فناوری تعیین موقعیت ماهواره‌ای، مختصات ایستگاه‌ها توسط سیستم GPS به‌صورت سه بعدی تعیین موقعیت جهانی می‌گردد. برای این منظور کافی است آنتن گیرنده GPS را روی نقطه مستقر کرده و مشاهدات آن را در مدت کوتاهی (بسته به دقت مورد نیاز بین چند دقیقه تا چند ساعت) جمع‌آوری و در نرم‌افزارهای مربوطه پردازش نمود. البته روی عدد ارتفاع حاصل از GPS باید تصحیحاتی اعمال نمود و برای انجام این کار هنوز نیاز به ترازایی می‌باشد.

در این فصل راجع به روش‌های تعیین مختصات ایستگاهی و به‌خصوص پیمایش و GPS بحث و بررسی خواهد شد.

## ۱-۵- روش‌های تعیین مختصات ایستگاهی

مختصات نقاط کنترل باید چند برابر دقیق‌تر از خطای مجاز نقشه مورد نظر تهیه شود، زیرا که برداشت جزئیات مورد نظر روی زمین متکی به آنها بوده و از روی این نقاط انجام می‌گیرد. چنانچه دقت کافی در مورد تعیین مختصات یک یا چند نقطه کنترل به عمل نیاید کلیه مشاهدات برداشتی در آن نقاط، خطا دار شده و در نتیجه نقشه حاصله از صحت کافی برخوردار نخواهد بود.

برای تعیین مختصات نقاط کنترل مطابق شکل ۱-۵ از اصول هندسی ساده‌ای که روش‌های معمول در نقشه‌برداری بر پایه آنها استوار شده‌اند استفاده می‌شود. در ادامه برخی از روش‌های تعیین مختصات نقاط کانونا ارائه شده‌اند که عبارت‌اند از: تقاطع، ترفیع، پیمایش، مثلث‌بندی و شبکه.



شکل ۱-۵- روش‌های تعیین مختصات نقاط ایستگاهی در نقشه‌برداری (دوایر نقاط کنترل مجهول، مثلث‌ها نقاط کنترل معلوم، دوایر و مثلث‌های توپر نقاط ایستگاه‌گذاری)

**تقاطع:** در این روش روی نقاط معلوم قرار گرفته و به نقطه مجهول نشانه‌روی می‌کنیم. هنگامی از روش تقاطع استفاده می‌شود که مختصات نقاط را نتوان به دلیل بُعد مسافت یا دسترسی ناپذیر بودنشان (مانند نقطه بالای گنبد یا یک برج) با روش‌های معمول نقشه‌برداری تعیین کرد.

**ترفیع:** ترفیع عکس عمل تقاطع است. در این روش ایستگاه‌گذاری روی نقطه مجهول انجام شده و به نقاط با مختصات معلوم نشانه‌روی می‌کنند و مختصات نقطه مجهول را تعیین می‌نمایند.

از ترفیع معمولاً هنگامی استفاده می‌شود که موقعیت مسطحانی تعدادی از نقاط دور از دسترس معلوم است و ما بخواهیم به کمک آنها مختصات نقطه‌ای که دسترسی پذیرند را در منطقه معلوم کنیم. کاربرد عملی این روش موقعی است که هویت تمام نقاط مختصات‌دار دسترسی‌پذیر در منطقه از بین



رفته و لازم باشد تا موقعیت این نقاط را از نو تعیین و یا نقاط جدیدی را از نو شناسایی و تعیین موقعیت کنیم.

**مثلث بندی:** منظور از مثلث بندی تعیین مختصات مسطحاتی تعدادی از نقاط کانوای نقشه برداری است. این نقاط مجموعاً تعدادی مثلث متصل به هم را تشکیل می دهند که با اندازه گیری طول یک یا دو ضلع از این مجموعه مثلث و نیز اندازه گیری کلیه زوایا می توان مختصات رأس مثلث ها را تعیین کرد.

معمولاً مثلث بندی به سه روش سه ضلع بندی، سه زاویه بندی یا تلفیقی انجام می شود. در گذشته به دلیل بالا بودن دقت قرائت زوایا توسط دستگاه های نقشه برداری و نبود دقت کافی در اندازه گیری طول ها از روش سه زاویه بندی استفاده می شد اما امروزه با داشتن دوربین های پیشرفته نقشه برداری و دارا بودن دقت بالا در اندازه گیری طول ها، عمل مثلث بندی به روش تلفیقی یا سه ضلع بندی انجام می شود.

هنگامی که منطقه عملیات به قدری بزرگ باشد که افزایش تعداد نقاط شبکه باعث ازدیاد خطا و در نتیجه کم شدن دقت شود و یا هنگامی که تعیین نقاط کنترل برای انجام پروژه های بزرگ در مناطق وسیع لازم باشد، روش مثلث بندی نسبت به روش های دیگر مانند پیمایش ارجحیت دارد.

#### بیشتر بدانیم



نمایی از یک ایستگاه تعیین موقعیت دائمی با GPS

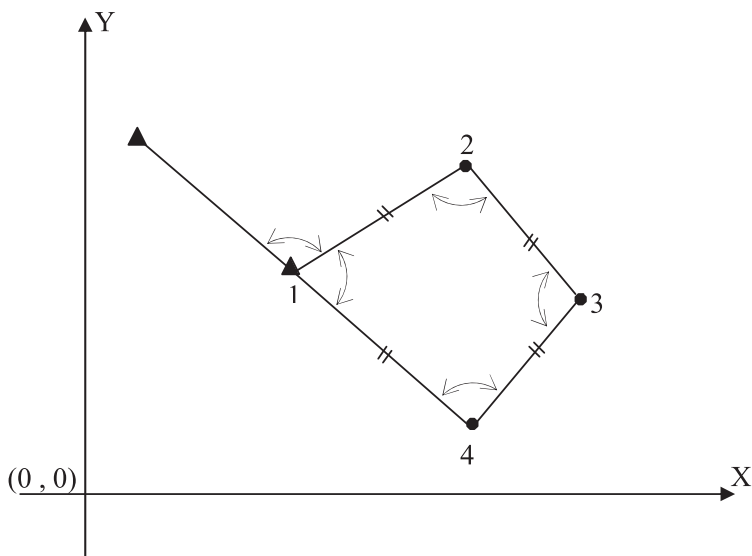
شبکه: در صورتی که برای انجام مشاهدات طول و زاویه مانند روش مثلث بندی، تشکیل مثلث های متصل به هم الزامی نباشد و بتوان طول بین هر دو نقطه دلخواه و زاویه بین هر سه نقطه دلخواه را مشاهده نمود، به آن روش شبکه گویند. تعداد مشاهدات و پیچیدگی محاسبات در روش شبکه بیشتر از روش مثلث بندی بوده و معمولاً در پروژه های حساس مانند تعیین موقعیت و جابجایی سنجی پل ها، تونل ها و سدها که به پروژه های میکروژئودزی معروف است و به دقت های بسیار بالایی نیاز است از این روش استفاده می کنند. لازم به ذکر است که اصولاً هزینه انجام مثلث بندی و شبکه بیش از پیمایش است و به علاوه در اراضی جنگلی به دلیل محدودیت دید این روش کارایی ندارد. بنابراین در غیر موارد فوق می توان از پیمایش به عنوان یک روش کارساز و مؤثر استفاده کرد.

## ۵-۲- پیمایش (Traverse)

معمول ترین و متداول ترین روش در تعیین مختصات نقاط نقشه برداری، پیمایش می باشد. چنانچه تعدادی نقطه روی زمین ایجاد کرده و توسط خطوط فرضی این نقاط را به ترتیب به هم وصل کنید، در این حالت یک چند ضلعی روی زمین ایجاد می شود. حال اگر با استفاده از روش های دقیق نقشه برداری، طول اضلاع این چند ضلعی و همچنین همه زوایای رئوس آن اندازه گیری شود، به این عمل پیمایش گویند و به نقاط ایجاد شده ایستگاه پیمایش (Traverse station) گویند. در واقع پیمایش یکی از روش های تعیین مختصات دو بعدی نقاط  $(x, y)$  می باشد که در آن با استفاده از نقاط معلوم و انجام مشاهدات زمینی بین نقاط مجهول (اندازه گیری طول و زاویه) و در نهایت انجام یک سری محاسبات، می توان مختصات نقاط مجهول را در سیستم مختصات نقاط معلوم، به دست آورد.

در پیمایش برای اینکه بتوان ابتدا سیستم مختصات دو بعدی مورد نظر را مشخص نمود به حداقل دو نقطه با مختصات معلوم (یک نقطه با مختصات معلوم و یک امتداد معلوم) در آن سیستم مختصات نیاز می باشد. با این معلومات می توان مبدأ سیستم و جهت محورهای آن را مشخص کرد. البته در مواقعی این سیستم مختصات را می توان کاملاً فرضی اختیار کرد یعنی مختصات نقطه اول و همچنین ریزمان ضلع اول را فرضی در نظر گرفت.

مختصات نقاطی که با مثلث مشخص شده اند معلوم است و نقاط ۲ تا ۴ نقاط مجهول اند که به روش پیمایش، مختصات آنها در این سیستم مختصات مشخص می شود.



شکل ۵-۲- پیمایش

### بیشتر بدانیم

نقشه برداری و کمی خنده!!!

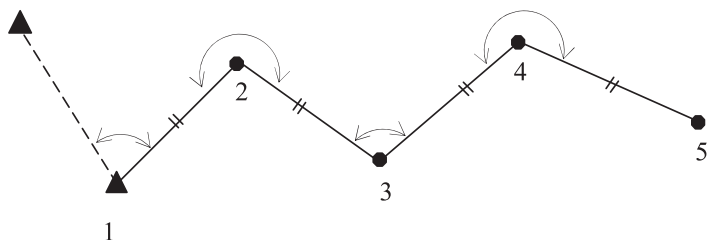


### ۵-۳- انواع پیمایش

پیمایش معمولاً به دو حالت باز و بسته تقسیم بندی می شود :

پیمایش باز (Open traverse) : اگر پیمایش از یک نقطه با مختصات معلوم و یا مفروض

شروع و به نقطه‌ای با مختصات مجهول (نامعلوم) پایان یابد، به آن پیمایش باز می‌گویند.



شکل ۵-۳- پیمایش باز

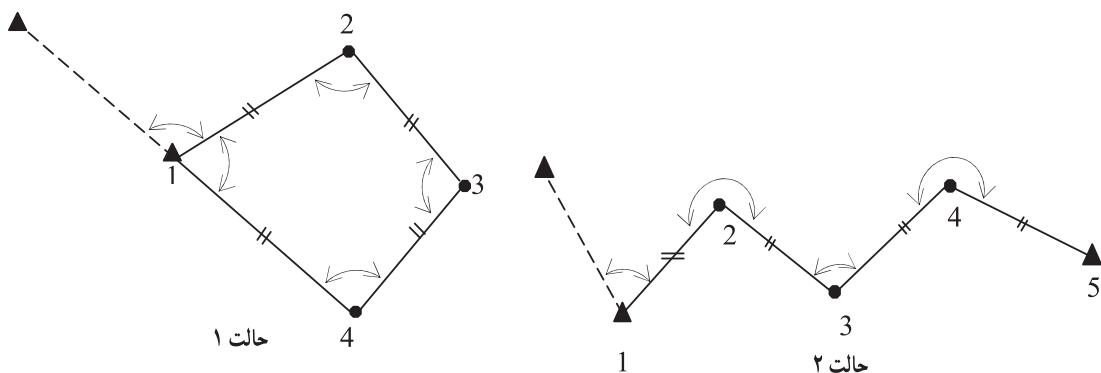
به دلیل نبودن رابطه ریاضی از قبل معلومی بین اجزای پیمایش باز، کنترل درستی اندازه‌گیری‌ها بدون تکرار اندازه‌گیری‌ها امکان‌پذیر نیست، بنابراین از آن در کارهایی که نیاز به دقت بالایی دارند استفاده نمی‌شود.

**پیمایش بسته (Closed traverse):** در دو حالت زیر پیمایش را بسته می‌گویند:

۱- پیمایش از یک نقطه با مختصات معلوم (مفروض) شروع شود و به همان نقطه ختم گردد.

به چند ضلعی بسته که در این حالت ایجاد می‌شود پلیگون (Polygon) می‌گویند. (شکل ۵-۴ حالت ۱)

۲- پیمایش از یک نقطه با مختصات معلوم شروع شود و به نقطه دیگری با مختصات معلوم برسد. به این حالت پیمایش اتصالی (Link traverse) می‌گویند. بهترین حالت برای پیمایش اتصالی زمانی است که دو نقطه با مختصات معلوم در ابتدا و همچنین دو نقطه با مختصات معلوم در انتهای پیمایش موجود باشد. زیرا در این حالت پیمایش هم از لحاظ سمت (آزیموت) و هم از لحاظ موقعیت



شکل ۵-۴- پیمایش بسته

قابل کنترل است. در صورت امکان نقاط معلوم از شبکه‌ای با درجه بالاتر انتخاب می‌شود. (شکل ۴-۵ حالت ۲)

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

### بیشتر بدانیم



نقشه‌برداری و کمی خنده!!!

### ۴-۵- مراحل پیمایش

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

الف) شناسایی

ب) اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات پیمایش

ج) محاسبات

الف) شناسایی :

در این مرحله گروه شناسایی با مراجعه مستقیم به محلی که قرار است پیمایش انجام شود، منطقه را شناسایی کرده و محل ایستگاه‌های پیمایش را انتخاب و علامت گذاری کرده و مستحکم می‌کنند و

در نهایت از موقعیت نقاط موجود یک کروکی تهیه می کنند.

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

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

۲- زمینی که در آن ایستگاه پیمایش ساخته می شود باید مستحکم و پایدار باشد بنابراین زمینهای نرم و سست و کنار رودخانهها و نهرها جای مناسبی برای ایستگاه پیمایش نیست

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

۴- برای کاهش خطای سائتراژ (دوربین و منشور) در اندازه گیری زاویه، تا حد امکان طول اضلاع پیمایش بلند در نظر گرفته شود.

در مناطق کوچک و پیمایشهایی که از آنها برای اهداف کوتاه مدت استفاده می شود می توان از میخهای چوبی و یا فولادی حدود ۲۰-۲۵ سانتی متری برای نشانه گذاری و تثبیت ایستگاههای پیمایش استفاده کرد ولی زمانی که پیمایش برای پروژههای بلند مدت و زمان بر از قبیل ایجاد بزرگراهها و سدها استفاده می شود باید ایستگاهها را طوری مستحکم کرد که برای مدت طولانی محل آنها ثابت بوده و تخریب نشوند.

#### ب) اندازه گیری ها و مشاهدات پیمایش

پس از ایجاد و استحکام نقاط پیمایش، گروه نقشه بردار به محل مراجعه کرده و با توجه به کروکی و نام نقاط، طول افقی همه اضلاع و همچنین زاویه افقی همه رأسهای پیمایش مورد نظر را اندازه گیری کرده و در فرمهای موجود ثبت می کنند. همچنین لازم است که ریزمان یکی از اضلاع پیمایش (که معمولاً ضلع اول می باشد) نیز اندازه گیری شود.

طولها با استفاده از یک طولیاب و به صورت رفت و برگشت و زوایا هم به وسیله یک زاویه یاب

ثانیه‌ای و در چند کوپل (معمولاً در دو کوپل) اندازه‌گیری می‌شوند. در صورت استفاده از توتال استیشن، اندازه‌گیری زاویه‌ها و طول‌ها به طور همزمان انجام می‌شود. در کارهای دقیق مثل نقشه‌برداری تونل و مترو برای محاسبهٔ آزیموت ضلع اول از وسیله‌ای به نام ژیروسکوپ استفاده می‌شود. این دستگاه قادر است آزیموت حقیقی یک امتداد را با دقت ۲۰ ثانیه اندازه‌گیری نماید. اما در کارهای معمولی و زمین‌های محدود می‌توان آزیموت مغناطیسی ضلع اول را با ژیزمان آن یکی در نظر گرفته و با استفاده از یک تئودولیت مغناطیسی (مثل  $T_0$ ) آن را با دقت چند دقیقه اندازه‌گیری کرد.

زاویه‌هایی که در پیمایش اندازه‌گیری می‌شوند معمولاً زاویه به راست (Clockwise angle) هستند. زاویه به راست در محاسبات پیمایش همواره مثبت در نظر گرفته می‌شود. منظور از زاویه به راست، زاویه‌ای است که یک امتداد نسبت به امتداد قبل و در جهت حرکت عقربه‌های ساعت (جهت راست) می‌سازد.

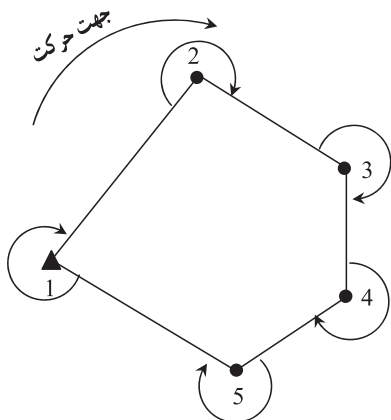
بنابراین برای آنکه امتداد قبل مشخص باشد باید هنگام مشاهدات زاویه یک جهت برای حرکت و پیمایش روی ایستگاه‌ها در نظر گرفته شود.

### بیشتر بدانیم

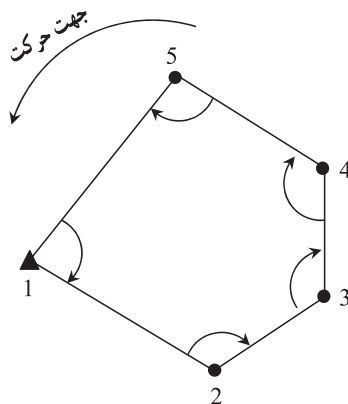
نقطه‌ای با دید خوب برای کارهای نقشه‌برداری



فرض کنید پیمایش به صورت یک چند ضلعی بسته باشد، چنانچه جهت حرکت پیمایش مطابق شکل ۵-۵ سمت چپ در جهت عقربه های ساعت انتخاب شود زاویه به راست، زاویه های خارجی چند ضلعی بسته خواهد بود و در حالتی که جهت حرکت در خلاف عقربه های ساعت انتخاب شود در این حالت زاویه به راست، زوایای داخلی چند ضلعی بسته خواهد بود. (شکل ۵-۵ سمت راست)



جهت پیمایش جهت عقربه های ساعت و زاویه به راست در این حالت زاویه خارجی است



جهت پیمایش خلاف جهت عقربه های ساعت و زاویه به راست در این حالت زاویه داخلی است

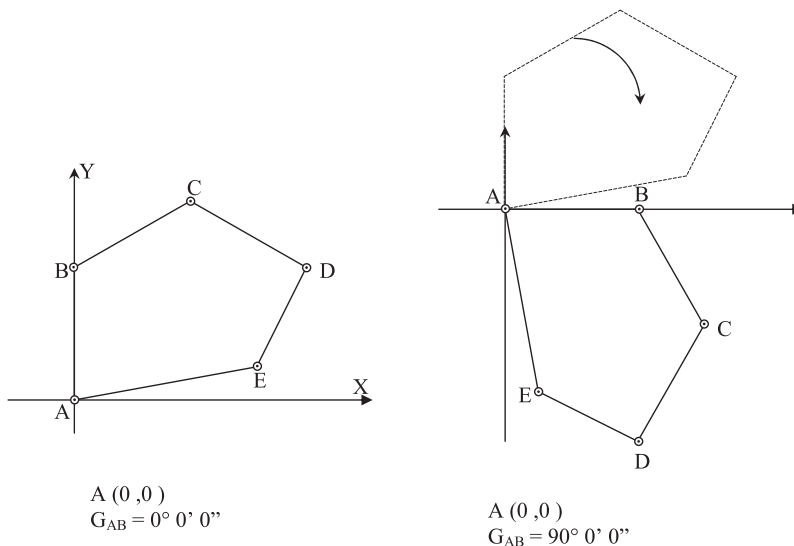
شکل ۵-۵ زاویه به راست در پیمایش

هنگام محاسبه ژیزمان اضلاع پیمایش و انتقال ژیزمان، زاویه به راست رئوس همواره مثبت در نظر گرفته می شود.

### ج) محاسبات پیمایش

برای شروع محاسبات لازم است مختصات یکی از ایستگاه های پیمایش (معمولاً نقطه اول) و همچنین ژیزمان یکی از اضلاع پیمایش (معمولاً ضلع اول) معلوم باشد. در صورتی که این معلومات در دسترس نباشد یک روش متداول و ساده این است که مختصات نقطه اول و همچنین ژیزمان ضلع اول را اختیاری در نظر گرفت. در این حالت مختصات نقاط در یک سیستم محلی و کاملاً اختیاری و نسبت به فرض هایی که گرفته می شود، به دست می آیند. به شکل (۵-۶) دقت کنید، مختصات نقطه A در هر دو حالت (°,°) در نظر گرفته شده ولی ژیزمان ضلع AB در حالت دوم به اندازه ۹۰ درجه تغییر کرده است، همان طور که می بینید با این کار مانند این است که کل پیمایش را به اندازه ۹۰ درجه





شکل ۵-۶- تغییر در ژیزمان

در جهت عقربه‌های ساعت حول نقطه A دوران داده‌ایم که این خود باعث تغییر مختصات سایر نقاط می‌گردد.

در این قسمت محاسبات پیمایش را در دو حالت پیمایش باز و پیمایش چند ضلعی بسته شرح می‌دهیم.

**الف) 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 سه مرحله خلاصه کرد:

۱- محاسبه ژیزمان کلیه اضلاع پیمایش با استفاده از ژیزمان ضلع اول و زاویه به راست رئوس

پیمایش

۲- محاسبه  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  کلیه اضلاع پیمایش

۳- محاسبه مختصات نقاط ایستگاه‌های پیمایش

اکنون در قالب یک مثال مراحل محاسبه پیمایش باز به طور کامل شرح داده می‌شود.

انواع خطا در پیمایش : به طور کلی خطاها را در پیمایش می‌توان به سه دسته

تقسیم‌بندی کرد :

۱- خطای اندازه‌گیری زاویه

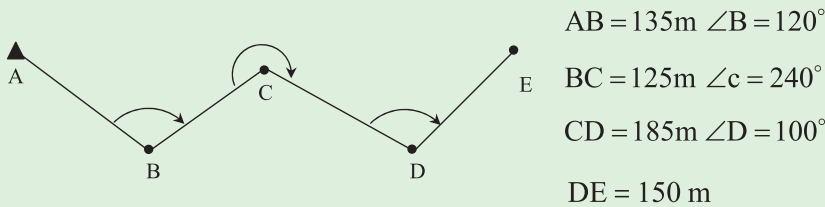
۲- خطای اندازه‌گیری طول

۳- خطای ساتراژ دوربین ورفلکتور

### مثال ۵-۱ : پیمایش باز

مطابق شکل زیر به منظور ایجاد تعدادی نقطه کنترل، یک پیمایش باز انجام شده

است. مختصات نقطه A برابر  $(100, 100)$  و  $G_{AB} = 140^\circ$  می‌باشد. مطلوب است محاسبه مختصات نقاط مجهول در این پیمایش.



راهکار کلی : برای راحتی کار و جلوگیری از اشتباه در محاسبات، ابتدا

معلومات مسئله را در جدولی مطابق زیر وارد می‌کنیم :

ایستگاه	زاویه	ژیزمان	طول	$\Delta X$	$\Delta Y$	X	Y
A		$140^\circ$	135.000			100.000	100.000
B	$120^\circ$		125.000				
C	$240^\circ$		185.000				
D	$100^\circ$		150.000				
E							

**مرحله اول:** مرحله اول، محاسبه ژیزمان کلیه اضلاع پیمایش می باشد. یعنی ابتدا ستون سوم از جدول بالا را تکمیل می کنیم.

در فصل پیش با روش محاسبه ژیزمان یک امتداد از روی امتداد قبلی آن آشنا شدید. همانطور که گفته شد با معلوم بودن ژیزمان امتداد قبلی و زاویه به راست رؤس، ژیزمان امتداد بعدی را می توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$G_{\text{امتداد بعدی}} = (G_{\text{امتداد قبلی}} + \text{زاویه به راست رأس}) \pm 180^\circ$$

به عبارتی می توان نوشت:

$$G_{BC} = (G_{AB} + \alpha_B) \pm 180^\circ$$

$$G_{CD} = (G_{BC} + \alpha_C) \pm 180^\circ$$

$$G_{DE} = (G_{CD} + \alpha_D) \pm 180^\circ$$

زوایای  $\alpha_B$  و  $\alpha_C$  و  $\alpha_D$  در روابط فوق همان زاویه به راست در رأس های B و C و D می باشند که در رابطه ی ژیزمان همواره مثبت در نظر گرفته می شوند.

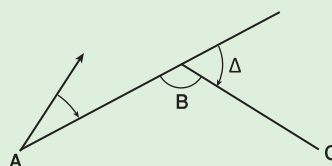
**نکته:** اثبات رابطه بالا:

$$G_n = G_{n-1} \pm \Delta$$

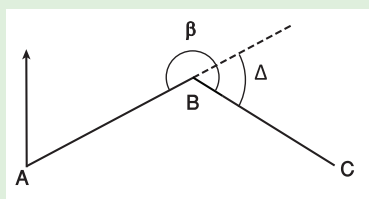
$$\Delta = 180^\circ - \beta$$

در این حالت

$$\Rightarrow G_{BC} = G_{AB} + \Delta = G_{AB} - \beta + 180$$



یا حالت دیگر



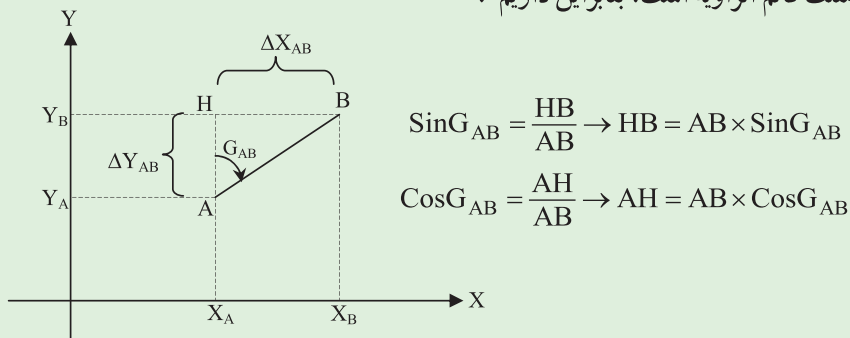
$$\Delta = \beta - 180$$

$$\Rightarrow G_{BC} = G_{AB} + \Delta = G_{AB} + \beta - 180$$

**مرحله دوم:** در این مرحله  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  کلیه اضلاع پیمایش محاسبه می شود به عبارتی ستون های پنجم و ششم در این مرحله تکمیل می شوند.

برای محاسبه  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  می‌توان یک رابطه کلی بدست آورد. به شکل زیر دقت کنید :

فرض کنید AB یکی از اضلاع پیمایش باشد، مطابق شکل مثلث AHB یک مثلث قائم الزاویه است، بنابراین داریم :



اما همانطور که در شکل مشاهده می‌کنید، HB همان  $\Delta X_{AB}$  و AH همان  $\Delta Y_{AB}$  می‌باشد. پس می‌توان نوشت :

$$\Delta X_{AB} = AB \times \sin G_{AB}$$

$$\Delta Y_{AB} = AB \times \cos G_{AB}$$

این روابط کلی هستند، بنابراین برای سایر اضلاع نیز می‌توان این روابط را نوشت :

$$\Delta X_{BC} = BC \times \sin G_{BC}$$

$$\Delta Y_{BC} = BC \times \cos G_{BC}$$

$$\Delta X_{CD} = CD \times \sin G_{CD}$$

$$\Delta Y_{CD} = CD \times \cos G_{CD}$$

$$\Delta X_{DE} = DE \times \sin G_{DE}$$

$$\Delta Y_{DE} = DE \times \cos G_{DE}$$

**مرحله سوم:** در این مرحله به راحتی می‌توان مختصات نقاط مجهول را با استفاده از روابط بدیهی صفحه بعد بدست آورد :

$$X_B = X_A + \Delta X_{AB}$$

$$Y_B = Y_A + \Delta Y_{AB}$$

$$X_D = X_C + \Delta X_{CD}$$

$$Y_D = Y_C + \Delta Y_{CD}$$

$$X_C = X_B + \Delta X_{BC}$$

$$Y_C = Y_B + \Delta Y_{BC}$$

$$X_E = X_D + \Delta X_{DE}$$

$$Y_E = Y_D + \Delta Y_{DE}$$

روش حل :

مرحله اول : محاسبه ژیزمان اضلاع

$$G_{BC} = (140^\circ + 120^\circ) - 180^\circ = 80^\circ$$

$$G_{CD} = (80^\circ + 240^\circ) - 180^\circ = 140^\circ$$

$$G_{DE} = (140^\circ + 100^\circ) - 180^\circ = 60^\circ$$

ایستگاه	زاویه	ژیزمان	طول (m)	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	X(m)	Y(m)
A		140°	135 .000			100 .000	100 .000
B	120°	80°	125 .000				
C	240°	140°	185 .000				
D	100°	60°	150 .000				
E							

مرحله دوم : محاسبه  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  اضلاع

$$\Delta X_{AB} = 135 \times \sin 140^\circ = 86.776$$

$$\Delta Y_{AB} = 135 \times \cos 140^\circ = -103.416$$

$$\Delta X_{CD} = 185 \times \sin 140^\circ = 118.916$$

$$\Delta Y_{CD} = 185 \times \cos 140^\circ = -141.718$$

$$\Delta X_{BC} = 125 \times \sin 80^\circ = 123.101$$

$$\Delta Y_{BC} = 125 \times \cos 80^\circ = 21.706$$

$$\Delta X_{DE} = 150 \times \sin 60^\circ = 129.904$$

$$\Delta Y_{DE} = 150 \times \cos 60^\circ = 75.000$$

ایستگاه	زاویه	ژیزمان	طول (m)	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	X(m)	Y(m)
A		140°	135.000	86.776	-103.416	100.000	100.000
B	120°	80°	125.000	123.101	21.706		
C	240°	140°	185.000	118.916	-141.718		
D	100°	60°	150.000	129.904	75.000		
E							

مرحله سوم : محاسبه مختصات نقاط

$$X_B = 100 + 86.776 = 186.776$$

$$Y_B = 100 + (-103.416) = -3.416$$

$$X_D = 309.887 + 118.916 = 428.793$$

$$Y_D = 18.290 + (-141.718) = -123.428$$

$$X_C = 186.776 + 123.101 = 309.877$$

$$Y_C = -3.416 + 21.706 = 18.290$$

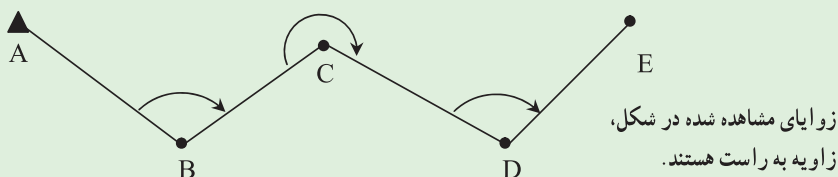
$$X_E = 428.793 + 129.904 = 558.697$$

$$Y_E = -123.428 + 75.000 = -48.428$$

ایستگاه	زاویه	ژیزمان	طول (m)	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	X(m)	Y(m)
A		140°	135.000	86.776	-103.416	100.000	100.000
B	120°	80°	125.000	123.101	21.706	186.776	-3.416
C	240°	140°	185.000	118.916	-141.718	309.877	18.290
D	100°	60°	150.000	129.904	75.000	428.803	-123.428
E						558.697	-48.428

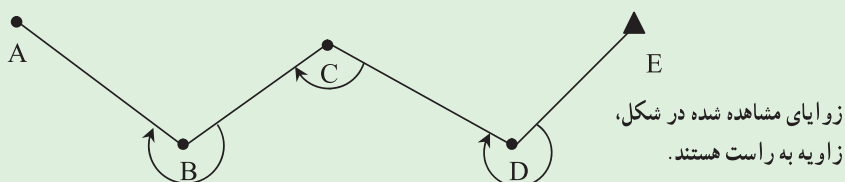
**بحث و بررسی :** در محاسبه ژیزمان اضلاع برای پیمایش باز، همانند حالتی که در پیمایش بسته گفته شد از روی جهت حرکت پیمایش و همچنین جهت محاسبات می توان زاویه به راست را تعیین کرد. در این مثال حرکت از چپ به راست است، بنابراین زوایای بالایی، زاویه به راست هستند که در محاسبات ژیزمان هم با علامت مثبت قرار داده می شوند.

جهت پیمایش و انجام محاسبات



اما چنانچه جهت پیمایش و محاسبات از راست به چپ باشد، در این حالت زوایای پایینی زاویه به راست هستند و در رابطه ژیزمان، باید با علامت مثبت قرارداده شوند.

جهت پیمایش و انجام محاسبات



**ب) محاسبات پیمایش چند ضلعی بسته :** همانطور که گفته شد پیمایش بسته از یک نقطه شروع شده و به همان نقطه ختم می شود. در این حالت یک چند ضلعی بسته روی زمین ایجاد می شود که به آن پلیگون می گویند. بر خلاف پیمایش باز که کنترلی در محاسبات آن وجود ندارد پیمایش بسته را می توان از نظر خطاهای طول و زاویه کنترل کرده و صحت و دقت آن را بررسی نمود. در این قسمت محاسبات پیمایش چند ضلعی بسته مورد بررسی قرار می گیرد و محاسبات پیمایش بسته اتصالی را در دوره های بالاتر فراخواهید گرفت.

محاسبات پیمایش بسته را می توان در سه مرحله زیر تقسیم بندی کرد :

**الف) مرحله تعدیل و سرشکنی خطای بست زاویه ای :**

● محاسبه خطای بست زاویه ای و محاسبه مقدار مجاز خطای بست زاویه ای و مقایسه آنها با هم

● محاسبه مقدار تصحیح زاویه برای هر رأس و اعمال آن بر روی هر رأس و به دست آمدن زوایای تعدیل شده برای پیمایش

ب) مرحله محاسبه  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  کلیه اضلاع:

● محاسبه ژیزمان کلیه اضلاع پیمایش با استفاده از زوایای تعدیل شده و ژیزمان معلوم ضلع

اول

● محاسبه مقادیر  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  برای کلیه اضلاع پیمایش

ج) مرحله تعدیل و سرشکنی خطای بست طولی و محاسبه مختصات صحیح نقاط:

● محاسبه خطای بست طولی پیمایش و محاسبه دقت پیمایش و ارزیابی آن

● محاسبه مقدار تصحیح  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  کلیه اضلاع پیمایش در صورت مجاز بودن خطای بست

طول و همچنین محاسبه کلیه  $\Delta X$  ها و  $\Delta Y$  های تعدیل شده برای کلیه اضلاع

محاسبه  $X$  و  $Y$  نقاط مجهول

● با حل یک مثال کلیه مراحل بالا را شرح می دهیم:

### مثال ۵-۲: پیمایش بسته

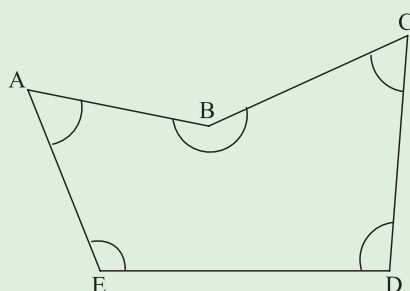
مطابق شکل زیر یک عمل پیمایش بسته انجام گرفته است. با فرض اینکه

مختصات نقطه A برابر  $(X=100/000$  و  $Y=908/980$ ) و  $G_{AB}=106^{\circ}23'45''$

باشد، مختصات نقاط دیگر (B, C, D, E) را محاسبه کنید. دقت زاویه ای دوربین را

$10^{\circ}$  ثانیه در نظر بگیرید.

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





## راهکار کلی :

الف) مرحله تعدیل و سرشکنی خطای بست زاویه‌ای : مجموع زوایای یک چند ضلعی در فضای ایده‌آل و بدون خطای ریاضی از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$\text{جمع زوایای داخلی} = (n-2) \times 180^\circ$$

$$\text{جمع زوایای خارجی} = (n+2) \times 180^\circ$$

که در آن  $n$  تعداد اضلاع چند ضلعی است.

بنابراین برای هر پیمایش چند ضلعی می‌توان این مقدار را معیاری برای درستی زوایای اندازه‌گیری شده در نظر گرفت. به عبارتی با مقایسه این مقدار با جمع زوایای مشاهده شده، می‌توان خطای بست زاویه‌ای را بدست آورد، بنابراین :

$$\text{خطای بست زاویه‌ای : } e_\alpha = \sum \alpha_i - (n \pm 2) \times 180^\circ$$

مجموع زوایای پلیگون  $\sum \alpha_i$

مجموع زوایای پلیگون بدون خطا  $(n \pm 2) \times 180^\circ$

نکته : از رابطه  $(n+2) \times 180^\circ$  زمانی که زاویه پلیگون، زاویه خارجی است استفاده می‌شود.

از رابطه  $(n-2) \times 180^\circ$  زمانی که زاویه پلیگون، زاویه داخلی است استفاده می‌شود.

بعد از محاسبه خطای بست زاویه‌ای باید مقدار آن را مورد ارزیابی قرار داده و با مقدار مجاز آن مقایسه کنید.

در صورتی می‌توان این خطا را پذیرفت که مقدار آن کوچک‌تر و یا مساوی مقدار مجاز باشد. مقدار مجاز خطای بست زاویه‌ای از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$\text{مقدار مجاز خطای بست زاویه‌ای} \quad e_{\max} = \pm 2.5 \times d_\alpha \times \sqrt{\frac{n}{m}}$$

$d_\alpha$  دقت زاویه‌ای دوربین

$n$  تعداد اضلاع چند ضلعی

$m$  دفعات قرائت زاویه هر رأس

در صورتی که خطای بست زاویه‌ای قابل قبول باشد باید آن را بین زوایای پلیگون سرشکن کرده و زوایای تعدیل شده را بدست آورد.

برای بدست آوردن مقدار تصحیح برای هر زاویه، کافی است خطای بست را بر تعداد زوایای موجود با علامت مخالف تقسیم کنیم. سپس این مقدار تصحیح را با مقدار هر زاویه جمع می‌کنیم.

به عبارتی با این کار به هر رأس، سهم مساوی از تصحیح را اعمال می‌کنیم. بنابراین مقدار تصحیح برای زوایا از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$C = \frac{-e_{\alpha}}{n} \quad \text{مقدار تصحیح برای زوایا}$$

$e_{\alpha}$  خطای بست زاویه‌ای

$n$  تعداد زوایا

در نتیجه برای هر زاویه خواهیم داشت :

$$\alpha_i' = \alpha_i + (C)$$

روش حل :

الف) مرحله تعدیل و سرشکنی خطای بست زاویه‌ای :

$$\sum \alpha_i = 64^{\circ}53'00'' + 206^{\circ}34'45'' + 64^{\circ}20'45'' + 107^{\circ}33'45'' + 96^{\circ}38'15''$$

$$\sum \alpha_i = 540^{\circ}00'30''$$

$$e_{\alpha} = 540^{\circ}00'30'' - (5 - 2) \times 180^{\circ} = +00^{\circ}00'30''$$

$$e_{\max} = \pm 2.5 \times 10 \times \sqrt{\frac{5}{1}} \approx \pm 56'' \rightarrow e_{\alpha} < e_{\max}$$

$$C = -\frac{+30''}{5} = -6''$$

حالا مقدار تصحیح را با تک تک زوایا جمع می‌کنیم تا زوایای تعدیل شده محاسبه شود. جهت کنترل، بعد از اعمال مقدار تصحیح به زوایا، یک بار دیگر آنها را جمع می‌کنیم. در صورتی که مقدار حاصل جمع زوایای جدید با مقدار واقعی آن برابر بود، این اعداد را به عنوان مقدار درست برای هر زاویه در نظر می‌گیریم.

$$64^{\circ}53'00''+(-6'')=64^{\circ}52'54''$$

$$206^{\circ}34'45''+(-6'')=206^{\circ}34'39''$$

$$64^{\circ}20'45''+(-6'')=64^{\circ}20'39''$$

$$107^{\circ}33'45''+(-6'')=107^{\circ}33'39''$$

$$96^{\circ}38'15''+(-6'')=96^{\circ}38'09''$$

---


$$\Sigma\alpha_i=540^{\circ}00'00''$$

از این پس اطلاعات موجود را در جدولی مطابق زیر وارد کرده و محاسبات را ادامه می‌دهیم.

نقاط ایستگاه	زاویه تعدیل شده	ژیزمان	طول	$\Delta X$	$C_x$	$\Delta X_c$	$\Delta Y$	$C_y$	$\Delta Y_c$	X	Y
A											
B											
C											
D											
E											

ب) مرحله محاسبه  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  کلیه اضلاع :

راهکار کلی : برای محاسبه  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  اضلاع پیمایش، ابتدا باید ژیزمان کلیه اضلاع را از روی ژیزمان معلوم ضلع اول و زوایای تعدیل شده در مرحله قبل محاسبه کنیم. روش محاسبه ژیزمان اضلاع را در فصل ۴ آموختید. همانطور که گفته شد، ژیزمان اضلاع را از رابطه زیر می‌توان محاسبه کرد :

$$G = (G \pm 180^{\circ}) \text{ (زاویه به راست رأس + امتداد قبلی) } \text{ امتداد بعدی}$$

به عبارتی می توان نوشت :

$$G_{BC} = (G_{AB} + \alpha_B) \pm 180^\circ$$

$$G_{CD} = (G_{BC} + \alpha_C) \pm 180^\circ$$

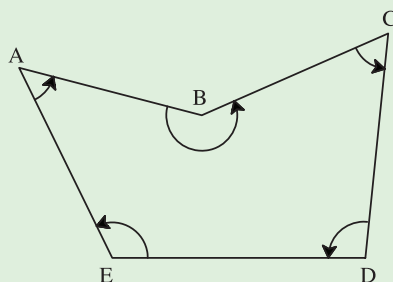
$$G_{DE} = (G_{CD} + \alpha_D) \pm 180^\circ$$

$$G_{EA} = (G_{DE} + \alpha_E) \pm 180^\circ$$

✓ نکته ای که باید به آن توجه داشت این است که زاویه رؤس  $\alpha$  در این رابطه، زاویه به راست در نظر گرفته شده اند و چنانچه زاویه های پیمایش، زاویه به راست نباشند، در این رابطه منفی می شوند. به عبارتی رابطه بالا به صورت زیر تبدیل می شود :

$$G_{\text{امتداد بعدی}} = (G_{\text{امتداد قبلی}} - (\text{زاویه به راست رأس}) \pm 180^\circ$$

در این مثال مطابق شکل زیر، جهت حرکت و محاسبات پیمایش در جهت خلاف حرکت عقربه های ساعت است، بنابراین زوایای داخلی قرائت شده برای پیمایش زاویه به راست نیستند. در نتیجه زوایا در رابطه ژیزمان، منفی در نظر گرفته می شوند.



پس از محاسبه ژیزمان ها، با استفاده از رابطه زیر،  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  اضلاع را محاسبه می کنیم :

$$\begin{cases} \Delta X_i = L_i \times \sin G_i \\ \Delta Y_i = L_i \times \cos G_i \end{cases}$$

$L_i$  : طول ضلع  $i$  ام :

$G_i$  : ژیزمان ضلع  $i$  ام :

روش حل :

ب) مرحله محاسبه  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  کلیه اضلاع پیمایش :

$$G_{BC} = (106^\circ 23' 45'' - 206^\circ 34' 39'') + 180^\circ = 79^\circ 49' 06''$$

$$G_{CD} = (79^\circ 49' 06'' - 64^\circ 20' 39'') + 180^\circ = 195^\circ 28' 27''$$

$$G_{DE} = (195^\circ 28' 27'' - 107^\circ 33' 39'') + 180^\circ = 267^\circ 54' 48''$$

$$G_{EA} = (267^\circ 54' 48'' - 96^\circ 38' 09'') + 180^\circ = 351^\circ 16' 39''$$

✓ نکته : برای اطمینان از درستی محاسبات، ژیزمان AB را مجدداً محاسبه کرده و با مقدار معلوم آن مقایسه می کنیم :

$$G_{AB} = G_{EA} - \alpha_A \pm 180^\circ$$

$$G_{AB} = 351^\circ 16' 39'' - 64^\circ 52' 54'' - 180^\circ = 106^\circ 23' 45''$$

همانطور که مشاهده می کنید، همان مقدار برای ژیزمان AB بدست آمد که خود نشان دهنده درستی محاسبات ژیزمان می باشد. در اینجا ستون های دوم و سوم جدول پیمایش مطابق شکل زیر تکمیل می شوند :

نقاط ایستگاه	زاویه تعدیل شده	ژیزمان
A	$64^\circ 52' 54''$	$106^\circ 23' 45''$
B	$206^\circ 34' 39''$	$79^\circ 49' 06''$
C	$64^\circ 20' 39''$	$195^\circ 28' 27''$
D	$107^\circ 33' 39''$	$267^\circ 54' 48''$
E	$96^\circ 38' 09''$	$351^\circ 16' 39''$
A		
B	$\Sigma \alpha_i = 540^\circ$	$106^\circ 23' 45''$

حال با استفاده از طول های اضلاع و ژیزمان محاسبه شده برای هر ضلع می توان  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  اضلاع را بدست آورد :

$$\begin{cases} \Delta X_{AB} = 690.880 \times \sin 106^\circ 23' 45'' = +662.785 \\ \Delta Y_{AB} = 690.880 \times \cos 106^\circ 23' 45'' = -195.016 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta X_{BC} = 616.050 \times \sin 79^\circ 49' 06'' = +606.349 \\ \Delta Y_{BC} = 616.050 \times \cos 79^\circ 49' 06'' = +108.899 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta X_{CD} = 677.970 \times \sin 195^\circ 28' 27'' = -180.885 \\ \Delta Y_{CD} = 677.970 \times \cos 195^\circ 28' 27'' = -653.394 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta X_{DE} = 970.260 \times \sin 267^\circ 54' 48'' = -969.617 \\ \Delta Y_{DE} = 970.260 \times \cos 267^\circ 54' 48'' = -35.328 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta X_{EA} = 783.320 \times \sin 351^\circ 16' 39'' = -188.790 \\ \Delta Y_{EA} = 783.320 \times \cos 351^\circ 16' 39'' = +774.260 \end{cases}$$

در اینجا ستون‌های پنجم و ششم جدول پیمایش مطابق شکل زیر تکمیل

می‌شوند :

نقاط ایستگاه	زاویه تعدیل شده	رئیزمان	طول	$\Delta X$	$\Delta Y$
A	$64^\circ 52' 54''$	$106^\circ 23' 45''$	690.880	662.785	-195.016
B	$206^\circ 34' 39''$	$79^\circ 49' 06''$	616.050	606.349	108.899
C	$64^\circ 20' 39''$	$195^\circ 28' 27''$	677.970	-180.885	-653.394
D	$107^\circ 33' 39''$	$267^\circ 54' 48''$	970.260	-969.617	-35.328
E	$96^\circ 38' 09''$	$351^\circ 16' 39''$	783.320	-118.790	774.260
A					
B	$\Sigma \alpha_i = 540^\circ$	$106^\circ 23' 45''$			

### ج) مرحله تعدیل و سرشکنی خطای بست طولی :

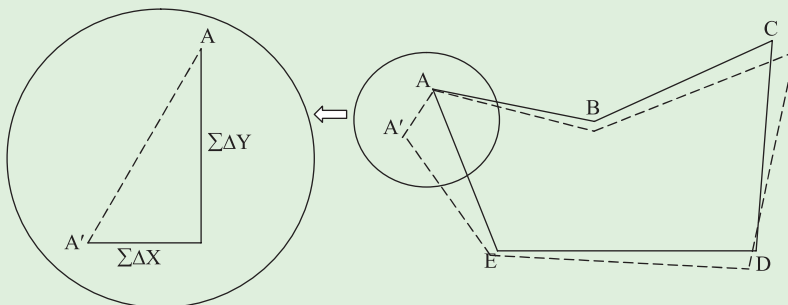
راهکار کلی: همانطور که مشاهده کردید، خطای زاویه‌ای موجود در پیمایش چنانچه در حد مجاز باشد، بین رأس‌های پیمایش تعدیل می‌شود ولی این بدین معنی نیست که این خطا حذف می‌شود بلکه سرشکنی این خطا فقط به رابطه هندسی حاکم بر شکل تحقق بخشیده است. به عبارتی این خطا هنوز در پیمایش وجود دارد. همچنین طول‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش نیز مانند زوایای اندازه‌گیری شده دارای مقداری خطا می‌باشند که در محاسبه  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  خطایی ایجاد می‌کنند که به آن خطای بست موضعی (خطای بست طولی) می‌گویند.

از آنجا که پیمایش به صورت یک چند ضلعی بسته است یعنی از یک نقطه شروع شده و به همان نقطه ختم می‌گردد، پس باید جمع جبری اختلاف مختصات نقاط متوالی پیمایش یعنی مقادیر  $\sum \Delta x_i$  و  $\sum \Delta y_i$  مساوی صفر شوند. اما به دلیل آنکه طول‌ها و زوایا دارای مقداری خطا هستند که این خود خطایی در محاسبه  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  ایجاد می‌کند، در نتیجه این شرط برقرار نمی‌شود. بنابراین  $\sum \Delta x_i$  و  $\sum \Delta y_i$  بیانگر مقادیر خطا در جهت محور  $x$  و  $y$  می‌باشند. به عبارتی نشان می‌دهند که نقاط پیمایش چه مقدار در اثر خطای طول و زاویه جابجا شده‌اند. بنابراین خطای بست موضعی در پیمایش بسته پلیگون، از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$e_{X,Y} = \sqrt{(\sum \Delta X_i^2 + \sum \Delta Y_i^2)}$$

شکل زیر که در آن خطاهای طول و زاویه با اغراق ترسیم شده‌اند، به وضوح،

مطالب گفته شده در بالا را نشان می‌دهد :



همانطور که در شکل صفحه قبل مشاهده می کنید، به دلیل وجود خطاهای موجود در پیمایش، نقطه  $A$  و  $A'$  بر هم منطبق نمی شوند، به ضلع  $AA'$  ضلع خطا می گویند و طول آن که از رابطه بالا بدست می آید، همان خطای بست موضعی پیمایش می باشد.

از تقسیم طول ضلع خطا (خطای بست طولی) بر مجموع اضلاع پیمایش، خطای نسبی بست (دقت پیمایش) بدست می آید که خود معیاری است برای ارزیابی دقت کار و مجاز بودن خطای بست. در اکثر کارهای عمرانی خطای نسبی بست طولی  $1/5000$  یا کمتر، خطای قابل قبول تلقی می شود. در صورتی که این مقدار در حد مجاز باشد، می توان آن را سرشکن کرد.

$$e_s = \frac{e_{x,y}}{\sum L_i}$$

روش های مختلفی برای تعدیل خطای بست طولی وجود دارد که در این کتاب یکی از آنها را شرح می دهیم.

این روش که به روش قطب نما (compass) معروف است خطای بست را به نسبت طول اضلاع پیمایش بین اضلاع سرشکن می کند. به عبارتی در این روش، فرض بر آن است که تأثیر خطاهای اندازه گیری زاویه و طول با هم برابرند. امروزه وسایل دقیق اندازه گیری طول به تحقق این فرض کمک کرده است. تعدیل برای هر ضلع در دو جهت  $X$  و  $Y$  اعمال می شود و مقدار آن از رابطه زیر بدست می آید:

$$\begin{cases} C_X = \frac{-L_i}{\sum L} \times \sum \Delta X \\ C_Y = \frac{-L_i}{\sum L} \times \sum \Delta Y \end{cases}$$

مجموع طول های پیمایش بسته:  $\sum L$

که با مقادیر  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  جمع شده و مقادیر تعدیل شده آنها بدست می آیند:

$$C_X + \text{تصحیح نشده } \Delta X = \text{تصحیح شده } \Delta X$$

$$C_Y + \text{تصحیح نشده } \Delta Y = \text{تصحیح شده } \Delta Y$$

و در پایان  $X$  و  $Y$  را به راحتی می توان از روی این مقادیر بدست آورد.



روش حل :

ج) مرحله تعدیل و سرشکنی خطای بست طولی :

نقاط ایستگاه	زاویه تعدیل شده	رُیزمان	طول	$\Delta X$	$\Delta Y$
A	64°52'54"	106°23'45"	690.880	662.785	-195.016
B	206°34'39"	79°49'06"	616.050	606.349	108.899
C	64°20'39"	195°28'27"	677.970	-180.885	-653.394
D	107°33'39"	267°54'48"	970.260	-969.617	-35.328
E	96°38'09"	351°16'39"	783.320	-118.790	774.260
A					
B	$\Sigma\alpha_i=540^\circ$	106°23'45"		$\Sigma\Delta X = -0.158$	$\Sigma\Delta Y = -0.579$

$$\Sigma\Delta X = 662.785 + 606.349 + (-180.885) + (-969.617) + (-118.790)$$

$$\Sigma\Delta X = -0.158$$

$$\Sigma\Delta Y = (-195.016) + 108.899 + (-653.394) + (-35.328) + (774.260)$$

$$\Sigma\Delta Y = -0.579$$

$$e_{X_1Y} = \sqrt{(-0.158)^2 + (-0.579)^2} = 0.6002\text{m} = 60.02\text{cm}$$

$$e_s = \frac{0.600}{3738.480} = \frac{1}{6230}$$

همانطور که مشاهده می کنید خطای نسبی (دقت) این پیمایش ۱:۶۲۳۰ است که

دقت بالایی محسوب می شود.

حال مقدار تصحیح  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  را برای هر ضلع پیمایش را به صورت صفحه بعد

محاسبه می کنیم :

$$\begin{cases} CX_{AB} = \frac{-690.880}{3738.480} \times -0.158 = 0.029\text{m} \\ CY_{AB} = \frac{-690.880}{3738.480} \times -0.579 = 0.107\text{m} \end{cases}$$


$$\begin{cases} CX_{BC} = \frac{-616.050}{3738.480} \times -0.158 = 0.026\text{m} \\ CY_{BC} = \frac{-616.050}{3738.480} \times -0.579 = 0.096\text{m} \end{cases}$$

$$\begin{cases} CX_{CD} = \frac{-677.970}{3738.480} \times -0.158 = 0.029\text{m} \\ CY_{CD} = \frac{-677.970}{3738.480} \times -0.579 = 0.105\text{m} \end{cases}$$

$$\begin{cases} CX_{DE} = \frac{-970.260}{3738.480} \times -0.158 = 0.041\text{m} \\ CY_{DE} = \frac{-970.260}{3738.480} \times -0.579 = 0.150\text{m} \end{cases}$$

$$\begin{cases} CX_{EA} = \frac{-783.320}{3738.480} \times -0.158 = 0.033\text{m} \\ CY_{EA} = \frac{-783.320}{3738.480} \times -0.579 = 0.121\text{m} \end{cases}$$

نقاط ایستگاه	زاویه تعدیل شده	رُیزمان $G_i$	طول $L_i$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$C_x$	$C_y$
A	64°52'54"	106°23'45"	690.880	662.785	-195.016	0.029	0.107
B	206°34'39"	79°49'06" 195°28'27"	616.050	606.349	108.899	0.026	0.096
C	64°20'39"	267°54'48"	677.970	-180.885	-653.394	0.029	0.105
D	107°33'39"	351°16'39"	970.260	-969.617	-35.328	0.041	0.150
E	96°38'09"	106°23'45"	783.320	-118.790	774.260	0.033	0.121
A	64°52'54"						
B							
جمع	$\Sigma \alpha_i = 540^\circ$			$\Sigma = -0.158$	$\Sigma = -0.579$	$\Sigma = 0.158$	$\Sigma = 0.579$

نکته:  برای کنترل محاسبات اگر  $C_X$  ها و  $C_Y$  ها را با هم جمع کنید، باید به ترتیب با مقدار  $-\Sigma\Delta X$  و  $-\Sigma\Delta Y$  برابر شود.

اکنون مقادیر تصحیح  $C_X$  و  $C_Y$  را با مقادیر  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  جمع جبری می کنیم تا ستون های نهم و دهم یعنی  $\Delta X_C$  و  $\Delta Y_C$  تکمیل شوند:

$$\begin{cases} \Delta X_{C\ AB} = 662.785 + 0.029 = 662.814 \\ \Delta Y_{C\ AB} = -195.016 + 0.107 = -194.909 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta X_{C\ BC} = 606.349 + 0.026 = 606.375 \\ \Delta Y_{C\ BC} = 108.899 + 0.096 = 108.995 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta X_{C\ CD} = -180.885 + 0.029 = -180.856 \\ \Delta Y_{C\ CD} = -653.394 + 0.105 = -653.289 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta X_{C\ DE} = -969.617 + 0.041 = -969.576 \\ \Delta Y_{C\ DE} = -35.328 + 0.150 = -35.178 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta X_{C\ EA} = -118.790 + 0.033 = -118.757 \\ \Delta Y_{C\ EA} = 774.260 + 0.121 = 774.381 \end{cases}$$

نقاط ایستگاه	زاویه تعدیل شده	رُیزمان $G_i$	طول $L_i$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$C_X$	$C_Y$	$\Delta X_C$	$\Delta Y_C$
A	64°52'54"	106°23'45"	690.880	662.785	-195.016	0.029	0.107	662.814	-194.909
B	206°34'39"	79°49'06"	616.050	606.349	108.899	0.026	0.096	606.375	108.995
C	64°20'39"	195°28'27"	677.970	-180.885	-653.394	0.029	0.105	-180.856	-653.289
D	107°33'39"	267°54'48"	970.260	-969.617	-35.328	0.041	0.150	-969.576	-35.178
E	96°38'09"	351°16'39"	783.320	-118.790	774.260	0.033	0.121	-118.757	774.381
A	64°52'54"	106°23'45"							
B									
جمع	$\Sigma\alpha_i = 540^\circ$			$\Sigma = -0.158$	$\Sigma = -0.579$	$\Sigma = +0.158$	$\Sigma = +0.579$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$

✓ نکته: برای کنترل محاسبات، چنانچه ستون‌های  $\Delta X_C$  و  $\Delta Y_C$  را جمع ببندید حاصل برابر صفر می‌گردد.

در پایان با معلوم بودن مختصات نقطه اول (A) و ستون‌های  $\Delta X_C$  و  $\Delta Y_C$ ، مختصات سایر نقاط را محاسبه کرده و ستون‌های یازدهم و دوازدهم جدول را تکمیل می‌کنیم:

$$\begin{cases} X_B = X_A + \Delta X_{C \ AB} = 100.000 + 662.814 = 762.814 \\ Y_B = Y_A + \Delta Y_{C \ AB} = -194.909 + 908.980 = 714.071 \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_C = X_B + \Delta X_{C \ BC} = 762.814 + 606.375 = 1369.189 \\ Y_C = Y_B + \Delta Y_{C \ BC} = 714.071 + 108.995 = 823.066 \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_D = X_C + \Delta X_{C \ CD} = 1369.189 - 180.856 = 1188.333 \\ Y_D = Y_C + \Delta Y_{C \ CD} = 823.066 - 653.289 = 169.777 \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_E = X_D + \Delta X_{C \ DE} = 1188.333 - 969.576 = 218.757 \\ Y_E = Y_D + \Delta Y_{C \ DE} = 169.777 - 35.178 = 134.599 \end{cases}$$

نقاط ایستگاه	زاویه تعدیل شده	زیرمان $G_i$	طول $L_i$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$C_x$	$C_y$	$\Delta X_c$	$\Delta Y_c$	X	Y
A	$64^{\circ}52'54''$	$106^{\circ}23'45''$	690.880	662.785	-195.016	0.029	0.107	662.814	-194.909	100.000	908.980
B	$206^{\circ}34'39''$	$79^{\circ}49'06''$	616.050	606.349	108.899	0.026	0.096	606.375	108.995	762.814	714.071
C	$64^{\circ}20'39''$	$195^{\circ}28'27''$	677.970	-180.885	-653.394	0.029	0.105	-180.856	-653.289	1369.189	823.066
D	$107^{\circ}33'39''$	$267^{\circ}54'48''$	970.260	-969.617	-35.328	0.041	0.150	-969.576	-35.178	1188.333	169.777
E	$96^{\circ}38'09''$	$351^{\circ}16'39''$	783.320	-118.790	774.260	0.033	0.121	-118.757	774.381	218.757	134.599
A	$64^{\circ}52'54''$										

## ۵-۵- تعیین موقعیت ماهواره‌ای

از زمان‌های قدیم، مردم سعی می‌کردند روش قابل اطمینانی پیدا کنند که به آنها بگوید کجا هستند و حتی آنها را به جایی که می‌روند راهنمایی کرده و سپس به خانه بازگرداند. مردمان غارنشین وقتی که برای تهیه غذا به شکار می‌رفتند، احتمالاً از سنگ‌ها و شاخه‌های کوچک برای علامت‌گذاری مسیر خود استفاده می‌کردند. ملوانان نیز ابتدا سواحل را به دقت دنبال می‌کردند تا از گم شدنشان جلوگیری کنند. وقتی دریا نوردان اولیه در اقیانوس‌ها کشتیرانی کردند، دریافتند که می‌توانند مسیر خود را با دنبال کردن ستاره‌ها ردیابی کنند. این روش تنها در شب‌های صاف که ستاره‌ها قابل رؤیت بودند قابل به کارگیری بود. پیشرفت مهم بعدی در امر ناوبری کشف قطب‌نمای مغناطیسی و دستگاه زاویه‌یاب (sextant) بود. عقربه قطب‌نما همیشه نقطه شمال را نمایش می‌داد، بنابراین همیشه جهت مسیر حرکت را نسبت به شمال تعیین می‌نمود.

امروزه توسعه ارتباطات جهانی و لزوم تعیین موقعیت و ناوبری دقیق افراد و اشیاء متحرک، اصولاً زمینه استفاده از این گونه روش‌ها را تا حد زیادی منتفی کرده است. به هر صورت در شرایط فعلی، با گسترش فناوری‌های گوناگون، این امر توسط سیستم‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای انجام می‌پذیرد. در حقیقت دنیای امروز، دنیایی است که هیچ فردی در آن گم نخواهد شد و همه چیز بر روی تمام نقاط زمین قابل شناسایی است و این قدرت دستیابی به سیستم‌های شناسایی را ماهواره‌ها و کامپیوترها در اختیار بشر قرار داده‌اند.

### بیشتر بدانیم

#### تعیین موقعیت ماهواره‌ای در قطب شمال



در حال حاضر مطرح‌ترین سیستم‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای شامل سیستم ماهواره‌ای ناوبری جهانی گلوناس (Glonass) مربوط به شوروی سابق، سیستم تعیین موقعیت جهانی جی پی اس (GPS-Global Positioning System) مربوط به آمریکا، و سیستم ماهواره‌ای ناوبری جهانی گالیله (Galileo) مربوط به اتحادیه اروپا می‌باشد. امروزه این سیستم‌های ماهواره‌ای، شبکه ایستگاه‌های مشاهداتی زمینی که اطلاعات پردازش شده خود را به‌صورت آنی در اطراف مخابره می‌نمایند (WAAS-Wide Area Augmentation System)، امکان تعیین موقعیت و ناوبری اجسام متحرک در سطح کشورها را بصورت گسترده، آنی، دقیق و پایدار فراهم نموده است.

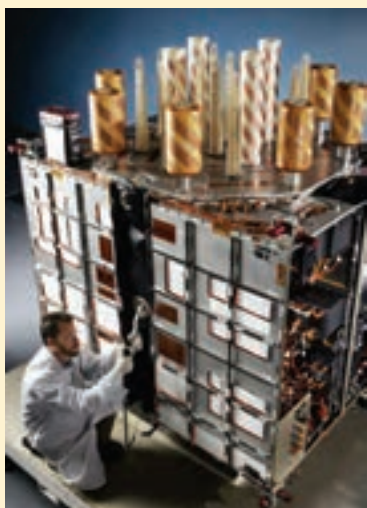
**آشنایی با GPS :** GPS یک سیستم تعیین موقعیت جهانی بر مبنای فناوری ماهواره‌ای است که توسط آن موقعیت متحرک در هر زمان، هر مکان و در هر شرایط آب و هوایی به‌صورت کاملاً رایگان تنها با فشار یک دکمه قابل تعیین است. هر چند تعیین موقعیت و ناوبری با GPS بسیار فراگیر شده است اما اصول عملکرد آن بسیار پیچیده بوده و متخصصان علوم نظیر الکترونیک، مکانیک مداری، هوا فضا، هواشناسی، زمین شناسی، فیزیک، ریاضیات و نرم افزار در طراحی، ساخت و توسعه آن مشارکت داشته‌اند. GPS شامل ۲۸ ماهواره است که به‌تدریج از سال ۱۹۷۰ میلادی پیش تاکنون ساخته و در مدار قرار داده شده‌اند. این ماهواره‌ها که کل سطح کره زمین را به‌طور همزمان پوشش می‌دهند، در ۶ مدار بیضی شکل با زاویهٔ میل ۵۵ درجه نسبت به صفحه استوای زمین، روزی دو بار به دور زمین می‌چرخند و در ارتفاع ۲۰۸۰۰ کیلومتری از سطح زمین قرار دارند. هر ماهواره حدوداً ۱۰ سال فعال می‌ماند و جایگزینی ماهواره‌ها به‌موقع انجام گشته و ماهواره‌های جایگزین به فضا پرتاب می‌گردند. این سیستم در ابتدا برای کاربردهای نظامی تهیه شد ولی از سال ۱۹۸۰ استفاده عمومی آن آزاد گردید.



شکل ۵-۷- شبکه ماهواره‌ای جی پی اس گیرنده ..... نقشه برداری، گیرنده دستی

GPS دارای کاربردهای متنوعی در زمین، دریا، هوا و فضا می باشد. اساساً GPS هر جایی قابل استفاده است مگر در نقاطی که امکان وصول امواج ماهواره در آنها نباشد مانند داخل ساختمان، درون غار و نقاط زیرزمینی و یا در زیر دریا. از GPS برای ناوبری آبی هواپیماها، کشتی ها و اتومبیل ها استفاده می شود. استفاده های زمینی GPS بسیار گسترده تر می باشد. مراکز علمی از GPS برای استفاده از قابلیت و دقت زمان سنجی اش و اطلاعات مکانی اش استفاده می کنند. نقشه برداران از GPS برای توسعه منطقه کاری خود بهره می گیرند. گیرنده های GPS گران قیمت نقشه برداری دقت هایی تا یک میلی متر را فراهم می آورند. استفاده های تفریحی از GPS نیز به تعداد تمام ورزش های تفریحی متنوع است. به عنوان مثال برای شکارچیان، برف نوردان، کوهنوردان و سیاحان. در نهایت باید گفت هرکسی که می خواهد بداند که در کجا قرار دارد، راهش به چه سمتی است، و یا با چه سرعتی در حرکت است می تواند از یک GPS استفاده کند. در خودروها نیز وجود GPS به امری عادی بدل خواهد شد. سیستم هایی در حال تهیه است تا در کنار هر جاده ای با فشار دادن یک کلید، موقعیت به یک مرکز اورژانس انتقال یابد (به وسیله انتقال موقعیت فعلی به یک مرکز توزیع) و سیستم های پیچیده دیگری موقعیت هر خودرو را در یک خیابان ترسیم کنند. این سیستم ها به راننده بهترین مسیر برای رسیدن به یک هدف خاص را پیشنهاد می کنند. در کشورهای توسعه یافته از این سیستم جهت کمک به راهبری خودرو، کشتی و انواع وسایل نقلیه بهره گیری می شود.

### بیشتر بدانیم



بخشی از دستگاه های نصب شده در داخل یک ماهواره GPS



هر چه نقشه‌های منطقه‌ای که در حافظه گیرنده GPS بارگذاری می‌شود دقیق‌تر باشد، سرویس‌هایی که از آن می‌توان دریافت داشت نیز ارتقا می‌یابد. برای مثال، می‌توان از گیرنده GPS مسیر نزدیک‌ترین پمپ‌بنزین، تعمیرگاه و یا ایستگاه قطار را سؤال نمود و مسیر پیشنهادی را دنبال کرد. دقت مکان‌یابی این سیستم در حد چند متر می‌باشد، که بسته به کیفیت گیرنده تغییر می‌کند. پیش‌بینی زلزله از دیگر کاربردهای GPS است. (در حال حاضر برای پیش‌بینی زلزله بیش از ۱۲۰۰ عدد GPS در ژاپن نصب شده و همچنین فقط در اطراف شهر لس‌آنجلس آمریکا، به تعداد ۲۵۰ GPS در حال اندازه‌گیری و فعالیت ۲۴ ساعته هستند.) از دیگر کاربردهای این سیستم به طور فهرست‌وار می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: کاداستر، کنترل امور مربوط به حمل و نقل و ترافیک، کنترل حرکات تکنیکی زمین، کنترل جابه‌جایی سدها و برج‌های بلند، پیش‌بینی وضع هوا (از طریق اندازه‌گیری میزان انرژی موج فرستاده شده از سوی GPS پس از عبور از لایه‌های جو و ابرهای موجود در منطقه مورد نظر)، هیدروگرافی (آبنگاری)، تعیین موقعیت سکوها در یابی نفتی، تعیین موقعیت جزیره‌های مرجانی، مین‌یابی، اسکن کردن دریا، بروزرسانی سیستم‌های تعیین موقعیت، استفاده جهت کنترل ماهواره‌های سنجنش از دور و کاربردهای وسیع نظامی.

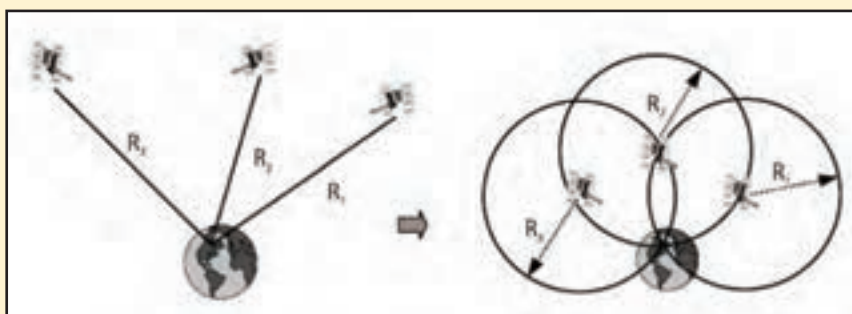


مثال‌هایی از کاربردهای GPS

در نهایت این نکته قابل ذکر است که با توجه به نزول شدید بهای گیرنده‌های این سیستم، و افزایش امکانات آنها، این تکنولوژی در آینده نزدیک بیش از پیش در اختیار همگان قرار خواهد گرفت.

## بیشتر بدانیم

**اصول تعیین موقعیت با GPS :** در این سیستم فاصله بین گیرنده و تعدادی از ماهواره‌ها به صورت همزمان اندازه‌گیری می‌شود. در صورتی که موقعیت ماهواره‌ها در فضا معلوم باشد (این کار توسط پنج ایستگاه زمینی مشابه عمل تقاطع در نقشه برداری انجام می‌پذیرد)، از طریق این مشاهدات می‌توان محل گیرنده را تعیین موقعیت نمود. این امر مشابه عمل ترفیع در نقشه برداری می‌باشد.



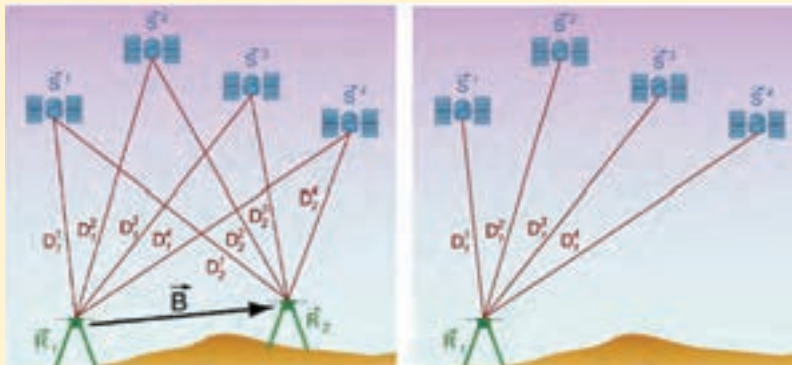
اصول تعیین موقعیت با GPS

در واقع هر ماهواره پیامی را به سوی گیرنده ارسال می‌کند که به‌طور ساده می‌گوید: من ماهواره شماره X هستم، موقعیت فعلی من Y است، و این پیام در زمان Z ارسال شده است. حال برای تعیین موقعیت، گیرنده GPS زمان‌های دریافت شده را با زمان خود مقایسه می‌کند. حاصلضرب تفاوت این دو زمان در سرعت نور، مشخص‌کننده فاصله گیرنده GPS از ماهواره مزبور می‌باشد. این عملی است که دقیقاً یک گیرنده GPS انجام می‌دهد. با استفاده از حداقل چهار ماهواره یا بیشتر، می‌توان طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع گیرنده را تعیین موقعیت نمود. با انجام متوالی این محاسبات، می‌توان سرعت و جهت حرکت گیرنده را نیز به دقت تعیین نمود. هر چه تعداد ماهواره‌های قابل

مشاهده بیشتر شود، زمان لازم برای تعیین موقعیت یک نقطه کاهش یافته و دقت تعیین موقعیت نیز افزایش خواهد یافت. امروزه در بعضی مکان‌های ایران قادر به دریافت اطلاعات تا ۱۰ ماهواره می‌باشیم و حداقل به ۴ تا ۵ ماهواره در هر زمان از شبانه روز و در هر مکان دسترسی داریم.

نکته مهمی که می‌بایست مورد توجه قرار گیرد، این است که ارتفاعی که GPS اندازه‌گیری می‌کند نسبت به بیضوی مبنای مسطحاتی جهانی به نام WGS۸۴ است. اما ارتفاعی که توسط عملیات ترازبایی اندازه‌گیری شده و در نقشه‌ها نمایش می‌یابد، نسبت به سطح مبنای ارتفاعی بنام ژئوئید می‌باشد. اختلاف این دو ارتفاع در مناطق مختلف متفاوت بوده و حداکثر تا ۱۰۰ متر می‌رسد.

توسط GPS می‌توان هم تعیین موقعیت مطلق (مختصات جغرافیایی یک نقطه) و هم تعیین موقعیت نسبی (اختلاف مختصات جغرافیایی دو نقطه) نمود. برای تعیین موقعیت مطلق و نسبی می‌توان از روش‌های در حال سکون یا استاتیک (Static) و در حال حرکت یا کینماتیک (Kinematics) استفاده کرد.



تعیین موقعیت مطلق با یک گیرنده و حداقل چهار ماهواره و تعیین موقعیت نسبی با حداقل دو گیرنده و چهار ماهواره

در روش تعیین موقعیت نسبی، معمولاً موقعیت نسبی یک نقطه مجهول نسبت به یک نقطه مختصات دار معلوم به دست می‌آید. روش تعیین موقعیت نسبی به علت حذف خطاهای سیستماتیک موجود در اندازه‌گیری‌های GPS از اهمیت خاصی

برخوردار است و برای انجام آن نیاز به دو گیرنده GPS می باشد که بطور همزمان ماهواره های مشترک را مشاهده و اندازه گیری نمایند. از روش تعیین موقعیت نسبی با GPS اکثراً در کارهای نقشه برداری و گسترش شبکه های ژئودزی استفاده می شود. دقت تعیین مختصات مطلق با سیستم GPS در حال حاضر در بهترین حالت  $\pm 3$  متر است در حالی که دقت تعیین مختصات نسبی با این سیستم در حد میلی متر می باشد.

**خطاهای تعیین موقعیت با GPS :** عوامل مختلفی روی دقت تعیین موقعیت با GPS تأثیر دارد که عبارتند از :

۱- نوع گیرنده (گیرنده تک فرکانسه و دو فرکانسه) و مشاهدات جمع آوری شده و نحوه پردازش آنها (تعیین موقعیت مطلق و نسبی)

۲- **تعداد ماهواره های قابل رویت :** هر چه تعداد ماهواره ها بیشتر باشد، تعداد مشاهدات بیشتر شده و در اکثر حالات دقت هم بیشتر می شود. امروزه با وجود ماهواره های تعیین موقعیت آمریکایی، روسی و اروپایی گیرنده های با بیش از ۲۰۰ کانال هم تولید و به کارگیری می شود.

۳- استحکام هندسی شبکه ماهواره ها (DOP (Dilution of precision که همان تعداد و موقعیت نسبی ماهواره ها نسبت به هم و نسبت به ایستگاه های زمینی می باشد :



استحکام هندسی یا DOP بد (راست) و خوب (چپ) ماهواره ها

۴- **مدت زمان و نرخ جمع آوری مشاهدات :** هر چه زمان و نرخ بالاتر باشد تعداد مشاهدات بیشتر شده و دقت هم بیشتر می شود.

۵- **خطای چند مسیری (Multipath) :** چنانچه در اطراف گیرنده ها سطوح



صیقلی وجود داشته باشد، سیگنال‌های GPS به آنها برخورد کرده و به آنتن‌های گیرنده می‌رسد که باعث افزایش طول اندازه‌گیری شده بین گیرنده و ماهواره می‌شود.

#### ۶- خطای ساعت ماهواره که

حاصل‌ضرب آن در سرعت نور باعث

ایجاد خطای اندازه‌گیری فاصله می‌شود. معمولاً این خطا با اعمال یک سری ضرایب تا حد بسیار زیادی کاهش می‌یابد.

#### ۷- خطاهای مداری که موجب خطای موقعیت ماهواره‌ها در فضا می‌شود.

بخشی از این خطاها به عمد توسط سازنده سیستم ایجاد می‌شود اما امروزه موقعیت دقیق ماهواره‌ها به خاطر ملاحظات امنیتی پس از یک تاخیر دو هفته‌ای از طریق اینترنت در اختیار کلیه کاربران GPS برای مقاصد تعیین موقعیت دقیق قرار می‌گیرد.

#### ۸- سیگنال‌هایی که از ماهواره ساطع می‌شود و به گیرنده می‌رسد از لایه‌هایی

چون یونوسفر و تروپوسفر عبور می‌کنند که باعث کاهش سرعت امواج ماهواره و کوتاه شدن طول مشاهداتی بین ماهواره تا گیرنده می‌شود.

#### ۹- خطاهای مربوط به آنتن‌گیرنده: معمولاً نقطه اندازه‌گیری که همان مرکز

دریافت امواج در آنتن (بنام مرکز فاز آنتن) است با نقطه ایستگاه یکی نبوده و مشابه خطای سانتراژ باعث کاهش دقت اندازه‌گیری ایستگاه می‌شود.

#### ۱۰- آگاهی و تجربه کاربران GPS در انتخاب ایستگاه، زمان و چگونگی انجام

مشاهدات و پردازش‌های مربوطه در محاسبات نیز روی دقت تعیین موقعیت نقاط مؤثر است.

#### خطای تعیین موقعیت ارتفاعی در حدود ۲ الی ۳ برابر بیشتر از خطای تعیین

موقعیت مسطحاتی است. بهترین حالت هنگامی است که ماهواره‌ها پوشش کاملی در دور تا دور افق و در ارتفاع‌های مختلف نسبت به نقطه اندازه‌گیری داشته باشند. برای رسیدن به حداکثر کارایی و دقت تعیین موقعیت با GPS، باید از گیرنده‌های دو

فرکانسه استفاده کرد.

**روش های تعیین موقعیت با GPS :** تعیین موقعیت با GPS به دو روش کلی استاتیک (در حال سکون) و کینماتیک (در حال حرکت) قابل انجام است. در ادامه هر یک از این روش ها را توضیح مختصری می دهیم :

**روش / استاتیک :** در این روش گیرنده ها روی ایستگاه های ثابت استقرار یافته و پس از جمع آوری مشاهدات، محاسبات صورت گرفته و مختصات نقاط ایستگاهی با دقت بالا به دست می آیند. برای مثال یک گیرنده روی نقطه معلوم و گیرنده دیگر روی نقطه دوم قرار می گیرد. هر دو گیرنده مشاهدات یکسانی را همزمان با ماهواره به دست می دهند. مدت زمان مشاهده در این روش ۱۵ تا ۶۰ دقیقه است و برای طول های بلند ۱ تا ۲۰ کیلومتر و دقت های بالا از چند سانتی متر تا چند میلی متر به کار می رود. از دیگر کاربردهای این روش می توان ردیابی حرکات پسته زمین در سطح کشوری و قاره ای را نام برد. از مزایای این روش می توان صرفه اقتصادی، صرفه جویی در زمان و دقت بالا را ذکر نمود.

**روش کینماتیک :** در این روش گیرنده روی متحرک نصب شده و مدت زمان کوتاهی مشاهدات در حالت سکون انجام می گیرد. سپس متحرک شروع به حرکت نموده و تعیین موقعیت (به صورت آنی تا توقف چند دقیقه) با دقت مناسب (در حد چند سانتی متر) صورت می گیرد. این روش با سه راهکار کینماتیک پیوسته، شبه کینماتیک و ایست - رو قابل انجام است. در راهکار کینماتیک پیوسته، گیرنده متحرک (Rover)، حرکت پیوسته دارد و ممکن است در هواپیما یا ماشین و یا قطار مستقر شده باشد. در راهکار شبه کینماتیک، یک گیرنده به طور ثابت در روی نقطه معلوم مستقر می شود و گیرنده دیگر روی نقاط دیگر شروع به حرکت می کند. روی هر ایستگاه ۵ تا ۱۰ دقیقه دقیقه مشاهده انجام می شود و یک ساعت بعد دوباره همان ایستگاه ها به مدت ۱۰ دقیقه مورد مشاهده قرار می گیرند. یعنی هر ایستگاه حداقل دوبار در فاصله زمانی یک ساعت مشاهده می شوند. نکته مهم این است که گیرنده در هنگام حرکت بین دو ایستگاه خاموش می شود. در راهکار ایست - رو (Stop - Go)، گیرنده روی نقطه معلوم قرار می گیرد و روی نقاط دیگر حرکت می کند و با سرعت بالا طی زمان یک دقیقه موقعیت ها را با دقت سانتی متر جمع آوری می کند.

## خلاصه فصل

- **پیمایش :** مجموعه عملیاتی که برای تعیین موقعیت مسطحاتی یک سری نقاط دنبال هم (نقاط ایستگاهی) در یک منطقه از زمین انجام می گیرد، پیمایش گفته می شود.
- در پیمایش برای این که بتوان ابتدا سیستم مختصات دو بعدی مورد نظر را مشخص نمود، به حداقل دو نقطه با مختصات معلوم (یک نقطه با مختصات معلوم و یک امتداد معلوم) در آن سیستم مختصات نیاز می باشد.
- پیمایش معمولاً به دو حالت باز و بسته تقسیم بندی می شود.
- **پیمایش باز :** اگر پیمایش از یک نقطه با مختصات معلوم و یا مفروض شروع و به نقطه ای با مختصات مجهول (نامعلوم) پایان یابد، به آن پیمایش باز می گویند.
- **پیمایش بسته (Closed traverse) :** در دو حالت زیر پیمایش را بسته می گویند :
  - ۱- پیمایش از یک نقطه با مختصات معلوم (مفروض) شروع شود و به همان نقطه ختم گردد. به چند ضلعی بسته که در این حالت ایجاد می شود پلیگون (Polygon) می گویند.
  - ۲- پیمایش از یک نقطه با مختصات معلوم شروع شود و به نقطه دیگری با مختصات معلوم برسد. به این حالت پیمایش اتصالی (Link traverse) می گویند.
- از پیمایش بسته (پلیگون) معمولاً در مناطقی که طول و عرض منطقه تقریباً مساوی است استفاده می شود. همچنین در مناطقی که نقاط با مختصات معلوم در دسترس نیست می توان با فرضی گرفتن مختصات نقطه اول از این نوع پیمایش استفاده کرد. البته این حالت فقط برای نقشه برداری مناطق کوچک کاربرد دارد.
- **مراحل کلی پیمایش عبارتند از :**
  - الف) شناسایی (ب) اندازه گیری ها و مشاهدات پیمایش (ج) محاسبات
  - **الف) شناسایی :** در این مرحله گروه شناسایی با مراجعه مستقیم به محلی که قرار است پیمایش انجام شود، منطقه را شناسایی کرده و در نهایت از موقعیت نقاط موجود یک کروکی تهیه می کنند.
  - **ب) اندازه گیری ها و مشاهدات پیمایش :** پس از ایجاد و استحکام نقاط پیمایش، گروه نقشه بردار به محل مراجعه کرده و با توجه به کروکی و نام نقاط، طول افقی همه اضلاع و همچنین زاویه افقی همه رئوس پیمایش و ریزمان یکی از اضلاع مورد نظر (که معمولاً ضلع اول می باشد) نیز اندازه گیری می شود.

● زاویه‌هایی که در پیمایش اندازه‌گیری می‌شوند معمولاً زاویه به راست (Clockwise angle) هستند. زاویه به راست در محاسبات پیمایش همواره مثبت در نظر گرفته می‌شود.

● منظور از زاویه به راست، زاویه‌ای است که یک امتداد نسبت به امتداد قبل و در جهت عقربه ساعت (جهت راست) می‌سازد.

● (ج) محاسبات پیمایش: برای شروع محاسبات لازم است مختصات یکی از ایستگاه‌های پیمایش (معمولاً نقطه اول) و همچنین ژیزمان یکی از اضلاع پیمایش (معمولاً ضلع اول) معلوم باشد.

● محاسبه مختصات در پیمایش باز را می‌توان در سه مرحله خلاصه کرد:

۱- محاسبه ژیزمان کلیه اضلاع پیمایش با استفاده از ژیزمان ضلع اول و زاویه به راست رئوس

پیمایش.

۲- محاسبه  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  کلیه اضلاع پیمایش.

۳- محاسبه مختصات نقاط ایستگاه‌های پیمایش.

● ژیزمان یک امتداد را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$G = (G_{\text{امتداد قبلی}} + \text{زاویه به راست رأس}) \pm 180^\circ$$

G  
امتداد بعدی

● با استفاده از رابطه زیر می‌توان  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  کلیه امتدادها را محاسبه کرد:

$$\begin{cases} \Delta X_i = L_i \times \sin G_i \\ \Delta Y_i = L_i \times \cos G_i \end{cases}$$

● پس از محاسبه  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  ها با استفاده از روابط کلی زیر مختصات نقاط رئوس پیمایش را

محاسبه می‌کنیم. به عنوان مثال برای نقطه B داریم:

$$X_B = X_A + \Delta X_{AB}$$

$$Y_B = Y_A + \Delta Y_{AB}$$

● در محاسبه ژیزمان اضلاع در پیمایش باز، از روی جهت حرکت پیمایش و همچنین جهت

محاسبات می‌توان زاویه به راست را تعیین کرد.

● مجموع زوایای یک چند ضلعی در فضای ایده‌آل و بدون خطای ریاضی از رابطه زیر به

دست می‌آید:

$$\text{جمع زوایای داخلی} = (n-2) \times 180^\circ$$

$$\text{جمع زوایای خارجی} = (n+2) \times 180^\circ$$



● مقدار خطای بست زاویه‌ای در یک پیمایش بسته از رابطه زیر محاسبه می‌شود :

$$e_{\alpha} = \sum \alpha_i - (n \pm 2) \times 18^{\circ}$$

● مقدار مجاز خطای بست زاویه‌ای در یک پیمایش بسته از رابطه زیر محاسبه می‌شود :

$$e_{\max} \pm 2 / 5 \times d_a \times \sqrt{\frac{n}{m}}$$

● مقدار تصحیح برای زوایا از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$C = \frac{-e_{\alpha}}{n}$$

● پس از تصحیح زوایا، با معلوم بودن ژیزمان امتداد اول، سایر ژیزمان‌ها را محاسبه می‌کنیم.  
 ● طول‌های اندازه‌گیری شده در پیمایش مانند زوایای اندازه‌گیری شده دارای مقادیری خطا می‌باشند که در محاسبه  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  خطایی ایجاد می‌کنند که به آن خطای بست موضعی (خطای بست طولی) می‌گویند.

● خطای بست موضعی (خطای بست طولی) از رابطه زیر محاسبه می‌شود :

$$e_{X,Y} = \sqrt{(\sum \Delta X_i^2 + \sum \Delta Y_i^2)}$$

● خطای نسبی بست (دقت پیمایش) از رابطه زیر محاسبه می‌شود :

$$e_s = \frac{e_{X,Y}}{\sum L_i}$$

● تعدیل برای هر ضلع در دو جهت  $X$  و  $Y$  اعمال می‌شود و مقدار آن از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$\begin{cases} C_X = \frac{-L_i}{\sum L} \times \sum \Delta X \\ C_Y = \frac{-L_i}{\sum L} \times \sum \Delta Y \end{cases}$$

که با مقادیر  $\Delta X$  و  $\Delta Y$  جمع شده و مقادیر تعدیل شده آنها به دست می‌آیند :

$$\Delta X_{\text{تصحیح نشده}} + C_X = \Delta X_{\text{تصحیح شده}}$$

$$\Delta Y_{\text{تصحیح نشده}} + C_Y = \Delta Y_{\text{تصحیح شده}}$$

و در پایان  $X$  و  $Y$  را به راحتی می‌توان از روی این مقادیر به دست آورد.

## خودآزمایی

### سؤالات تشریحی

- ۱- روش تقاطع را برای تعیین مختصات نقاط کنترل تعریف نمایید.
- ۲- روش ترفیع را برای تعیین مختصات نقاط کنترل تعریف و کاربرد آن را ذکر نمایید.
- ۳- مثلث بندی و روش های آن را برای تعیین مختصات نقاط کنترل تعریف نمایید.
- ۴- روش شبکه را برای تعیین مختصات نقاط کنترل تعریف نمایید.
- ۵- پیمایش را تعریف کنید.
- ۶- تفاوت پیمایش های باز و بسته را بیان کنید.
- ۷- مراحل مختلف انجام عمل پیمایش را شرح دهید.
- ۸- روش تعیین موقعیت ماهواره ای را شرح دهید.

### سؤالات چهارگزینه ای

- ۹- زاویه حامل امتداد AB برابر با  $S32^{\circ}W$  و طول امتداد ۵۰ متر و  $(200^{\circ}, 100^{\circ})$  A می باشد، مختصات B کدام گزینه است؟
- (۱)  $(157/60^{\circ}$  و  $73/50^{\circ})$
  - (۲)  $(172/77^{\circ}$  و  $58/07^{\circ})$
  - (۳)  $(143/11^{\circ}$  و  $41/22^{\circ})$
  - (۴)  $(42/22^{\circ}$  و  $143/11^{\circ})$

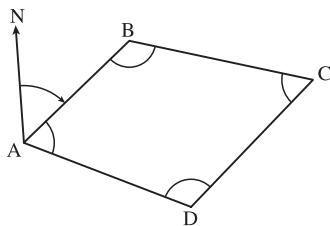
- ۱۰- برای رسیدن به دقت زاویه ای  $2^{\circ}$  ثانیه در یک پیمایش ۸ ضلعی زاویه ها را با یک تتودولیت با دقت زاویه ۵ ثانیه چند مرتبه باید اندازه گیری کرد؟

۴ (۴)

۳ (۳)

۲ (۲)

۱ (۱)



- ۱۱- در یک پیمایش بسته (چهارضلعی) زوایا تصحیح شده و طول ها طبق جدول صفحه بعد اندازه گیری شده است. با توجه به مجاز بودن خطای بست پیمایش، جدول پیمایش را کامل کنید.

ایستگاه	زوایای تصحیح شده (gr)	ژیرمان (gr)	طول (m)	تغییرات طول و عرض (m)		تغییرات تصحیح شده (m)		مختصات (m)	
S	A	G	l	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta x_c$	$\Delta y_c$	X	y
A	101/6858	77/9815	107/86	101/473	36/566	101/478	36/554	1000	1000
B	111/2407	166/7408	92/51	461/162	-80/170	46/166	-80/181	1101/478	1036/554
C	97/4216	؟	128/17	-113/572	؟	؟	؟	1147/644	956/373
D	89/6519	؟	108/55	؟	103/060	؟	؟	؟	؟
A								1000	1000
جمع			$\Sigma L = 437/09$	$\Sigma \Delta x = ?$	$\Sigma \Delta y = ?$	$\Sigma \Delta x_c = 0$	$\Sigma \Delta y_c = 0$		