فصل پنجم

تعیین مختصات ایستگاهی

هدف‌های رفتاری

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

۱ــ روش تقاطع را برای تعیین مختصات نقاط کنترل تعریف نماید.

۲ــ روش ترفیع را برای تعیین مختصات نقاط کنترل تعریف و کاربرد آن را ذکر نماید.

۳ــ مثلث‌بندی و روش‌های آن را برای تعیین مختصات نقاط کنترل تعریف نماید.

۴ــ روش شبکه را برای تعیین مختصات نقاط کنترل تعریف نماید.

۵ــ پیمایش را تعریف کند.

۶ــ تفاوت پیمایش‌های باز و بسته را بیان کند.

۷ــ مراحل مختلف انجام عمل پیمایش را شرح دهد.

۸ــ محاسبات پیمایش را انجام دهد.

۹ــ جدول محاسبات پیمایش را تنظیم نماید.

۱۰ــ خطای بست زاویه‌ای را محاسبه نماید.

۱۱ــ حداکثر خطای مجاز بست زاویه‌ای را محاسبه کند.

۱۲ــ خطاهای پیمایش را سرشکن کند.

۱۳ــ مختصات تصحیح شده رئوس پیمایش را محاسبه کند.

۱۴ــ اطلاعات بدست آمده در جدول پیمایش را کنترل کند.

۱۵ــ روش تعیین موقعیت ماهواره‌ای را شرح دهد.

مطالب پیش نیاز

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

۱ــ آشنایی با فصل ۵ کتاب «مسّاحی»

مقدمه

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 امّا 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 کانوا 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.

مفاهیم کلیدی

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

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

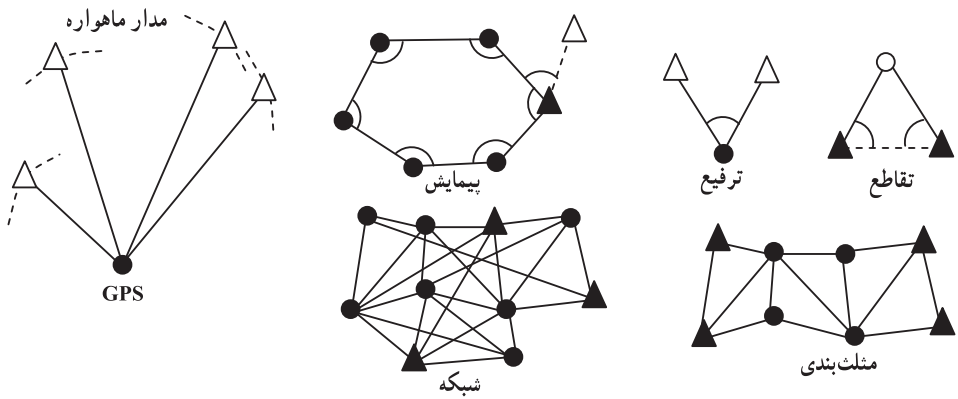
امروزه با پیشرفت فناوری تعیین موقعیت ماهواره‌ای، مختصات ایستگاه‌ها توسط سیستم GPS به‌صورت سه بعدی تعیین موقعیت جهانی می‌گردد. برای این منظور کافی است آنتن گیرنده GPS را روی نقطه مستقر کرده و مشاهدات آن را در مدت کوتاهی (بسته به دقت موردنیاز بین چند دقیقه تا چند ساعت) جمع‌آوری و در نرم‌افزارهای مربوطه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

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

۵ــ۱ــ روش‌های تعیین مختصات ایستگاهی

مختصات نقاط کنترل باید چند برابر دقیق‌تر از خطای مجاز نقشه مورد نظر تهیه شود، زیرا که برداشت جزئیات موردنظر 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، خطادار شده و درنتیجه نقشه حاصله از صحت کافی برخوردار نخواهد بود.

برای تعیین مختصات نقاط کنترل مطابق شکل ۵ــ۱ از اصول هندسی ساده‌ای که روش‌های معمول در نقشه‌برداری بر پایه آنها استوار شده‌اند استفاده می‌شود. در ادامه برخی از روش‌های تعیین مختصات نقاط کانوا ارائه شده‌اند که عبارت‌اند از : تقاطع، ترفیع، پیمایش، مثلث‌بندی و شبکه.



شکل ۵ــ۱ــ روش‌های تعیین مختصات نقاط ایستگاهی در نقشه‌برداری (دو ایر نقاط کنترل مجهول، مثلث‌ها نقاط کنترل معلوم، دو ایر 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 دسترس‌ناپذیر 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 نشانه روی می‌کنند و مختصات نقطه مجهول را تعیین می‌نمایند.

از ترفیع معمولاً هنگامی استفاده می‌شود که موقعیت مسطحاتی تعدادی از نقاطِ دور از دسترس معلوم است و ما بخواهیم به کمک آنها مختصات نقاطی که دسترس پذیرند را در منطقه معلوم کنیم. کاربرد عملی این روش موقعی است که هویت تمام نقاط مختصات‌دارِ دسترس‌پذیر 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.

مثلث‌بندی: منظور از مثلث‌بندی تعیین مختصات مسطحاتی تعدادی از نقاط کانوای نقشه‌برداری است. این نقاط مجموعاً تعدادی مثلث متصل به‌هم را تشکیل می‌دهند که با اندازه‌گیری طولِ یک یا دو ضلع از این مجموعه مثلث و نیز اندازه‌گیری کلیهٔ زوایا می‌توان مختصات رأس مثلث‌ها را تعیین کرد.

معمولاً مثلث‌بندی به سه روش سه ضلع بندی، سه زاویه بندی یا تلفیقی انجام می‌شود. در گذشته به دلیل بالا بودن دقت قرائت زوایا توسط دستگاه‌های نقشه‌برداری و نبود دقت کافی در اندازه‌گیری طول‌ها از روش سه‌زاویه‌بندی استفاده می‌شد امّا امروزه با داشتن دوربین‌های پیشرفته نقشه‌برداری و دارا بودن دقت بالا در اندازه‌گیری طول‌ها، عمل مثلث‌بندی به روش تلفیقی یا سه ضلع‌بندی انجام می‌شود.

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 پروژه‌های بزرگ در مناطق وسیع لازم باشد، روش مثلث بندی نسبت به روش‌های دیگر مانند پیمایش ارجحیت دارد.

بیشتر بدانیم

نمایی از یک ایستگاه تعیین موقعیت دائمی با GPS

شبکه : درصورتی‌که برای انجام مشاهدات طول و زاویه مانند روش مثلث‌بندی، تشکیل مثلث‌های متصل به هم الزامی نباشد و بتوان طول بین هر دو نقطهٔ دلخواه و زاویهٔ بین هر سه نقطهٔ دلخواه را مشاهده نمود، به آن روش شبکه گویند. تعداد مشاهدات و پیچیدگی محاسبات در روش شبکه بیشتر از روش مثلث‌بندی بوده و معمولاً در پروژه‌های حساس مانند تعیین موقعیت و جابجایی‌سنجی پل‌ها، تونل‌ها و سدها که به پروژه‌های میکروژئودزی معروف است و به دقت‌های بسیار بالایی نیاز است از این روش استفاده می‌کنند. لازم به ذکر است که اصولاً هزینه انجام مثلث‌بندی 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 می‌توان از پیمایش به عنوان یک روش کارساز و مؤثر استفاده کرد.

۵ــ۲ــ پیمایش (Traverse)

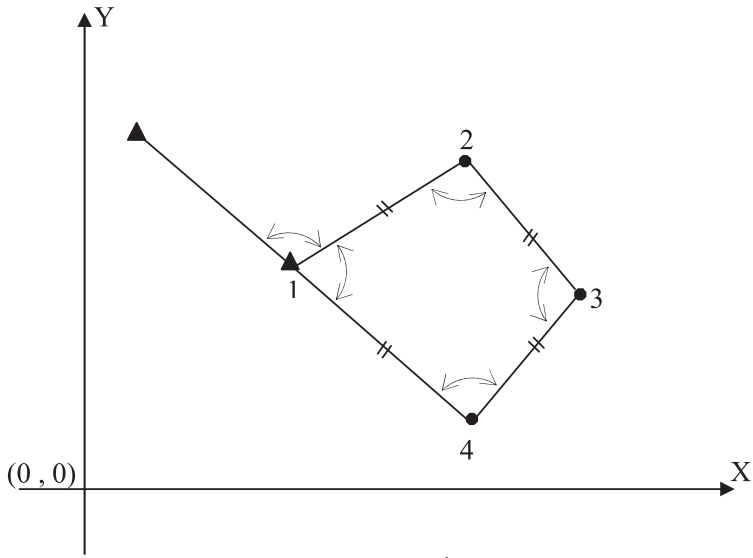
معمول‌ترین و متداول‌ترین روش در تعیین مختصات نقاط نقشه‌برداری، پیمایش می‌باشد.

چنانچه تعدادی نقطه روی زمین ایجاد کرده و توسط خطوط فرضی این نقاط را به ترتیب به هم وصل کنید، در این‌حالت یک چند ضلعی روی زمین ایجاد می‌شود. حال اگر با استفاده از روش‌های دقیقِ نقشه‌برداری، طول اضلاع این چند ضلعی و همچنین همهٔ زوایای رئوس آن اندازه‌گیری شود، به این عمل پیمایش گویند وبه نقاط ایجاد شده ایستگاه پیمایش (Traverse station) گویند.

در واقع پیمایش یکی از روش‌های تعیین مختصات دو بعدی نقاط (x , y) می‌باشد که درآن با استفاده از نقاط معلوم و انجام مشاهدات زمینی بین نقاط مجهول (اندازه‌گیری طول و زاویه) و در نهایت انجام یک‌سری محاسبات، می‌توان مختصات نقاط مجهول را در سیستم مختصات نقاط معلوم، به‌دست 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 می‌باشد. با این معلومات می‌توان مبدأ سیستم و جهت محورهای آن را مشخص کرد. البته در مواقعی این سیستم مختصات را می‌توان کاملاً فرضی اختیار کرد یعنی مختصات نقطه اول و همچنین ژیزمان ضلع اول را فرضی در نظر گرفت.

مختصات نقاطی که با مثلث مشخص شده‌اند معلوم است و نقاط ۲تا۴ نقاط مجهول‌اند که به روش پیمایش، مختصات آنها در این سیستم مختصات مشخص می‌شود.



شکل ۵ــ۲ــ پیمایش

بیشتر بدانیم

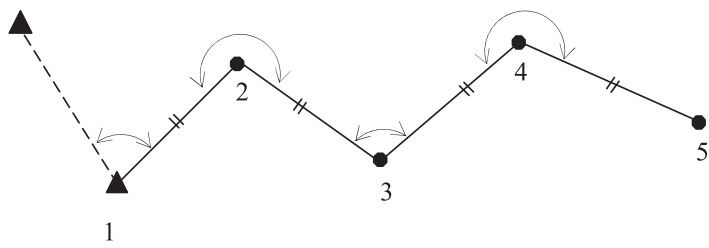
نقشه‌برداری و کمی خنده!!!

۵ــ۳ــ انواع پیمایش

پیمایش معمولاً به دو حالت باز و بسته تقسیم بندی می‌شود :

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.



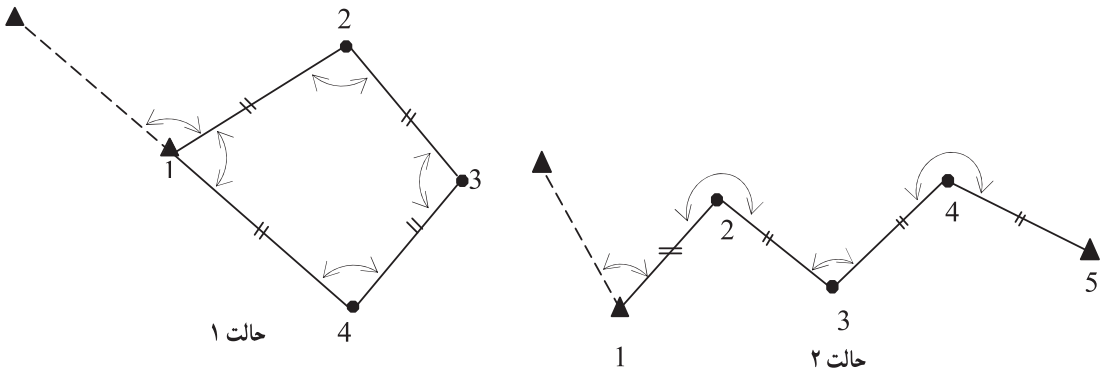
شکل ۵ــ۳ــ پیمایش باز

به دلیل نبودن رابطهٔ ریاضی از قبل معلومی بین اجزای پیمایش باز، کنترل درستی اندازه‌گیری‌ها بدون تکرار اندازه‌گیری‌ها امکان پذیر 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 :

۱ــ 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 ۵ــ۴ حالت ۱)

۲ــ 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 ۵ــ۴ــ پیمایش بسته

قابل کنترل است. در صورت امکان نقاط معلوم از شبکه‌ای با درجه بالاتر انتخاب می‌شود.(شکل ۵ــ۴ حالت ۲)

از پیمایش بستهٔ 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 این‌حالت فقط برای نقشه‌برداری مناطق کوچک کاربرد دارد.

بیشتر بدانیم

نقشه‌برداری و کمی خنده!!!

۵ــ۴ــ 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 ومحل ایستگاه‌های پیمایش را انتخاب و علامت‌گذاری کرده و مستحکم می‌کنند و

در نهایت ازموقعیت نقاط موجود یک کروکی تهیه می‌کنند.

محل ایستگاهای پیمایش بنا به هدفی که از پیمایش دنبال می‌شود انتخاب می‌شوند به عنوان مثال چنانچه هدف، برداشت توپوگرافی منطقه و تهیه نقشه باشد ایستگاه‌های پیمایش را طوری در نظر می‌گیرند 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 می‌گیرند که از آنها بتوان اجزای مسیرمورد نظر (محورمستقیم راه و نقاط ابتدا و رأس و انتهای قوس) را با دقت بالایی پیاده کرد. امّا در هر حال رعایت موارد زیر برای انتخاب محل ایستگاه‌های پیمایش ضروری است :

۱ــ 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.

۲ــ زمینی که در آن ایستگاه پیمایش ساخته می‌شود باید مستحکم و پایدار باشد بنابراین زمین‌های نرم و سست و کنار رودخانه‌ها ونهرها جای مناسبی برای ایستگاه پیمایش نیست

۳ــ 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.

۴ــ برای کاهش خطای سانتراژ(دوربین ومنشور) در اندازه‌گیری 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 می‌شود می‌توان از میخ‌های چوبی و یا فولادی حدود۲۰– ۲۵ سانتی‌متری برای نشانه‌گذاری و تثبیت ایستگاه‌های پیمایش استفاده کرد ولی زمانی که پیمایش برای پروژه‌های بلند مدت و زمان بر از قبیل ایجاد بزرگراه‌ها و سدها استفاده می‌شود باید ایستگاه‌ها را طوری مستحکم کرد که برای مدت طولانی محل آنها ثابت بوده و تخریب نشوند.

ب) اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات پیمایش

پس از ایجاد و استحکام نقاط پیمایش، گروه نقشه‌بردار 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 اندازه‌گیری کرده و در فرم‌های موجود ثبت می‌کنند. همچنین لازم است که ژیزمان یکی از اضلاع پیمایش (که معمولاً ضلع اول می‌باشد) نیز اندازه‌گیری شود.

طول‌ها با استفاده ازیک طولیاب و به صورت رفت و برگشت و زوایا هم به‌وسیله یک زاویه‌یاب

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. امّا 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_o) آن را با دقت چند دقیقه اندازه‌گیری کرد.

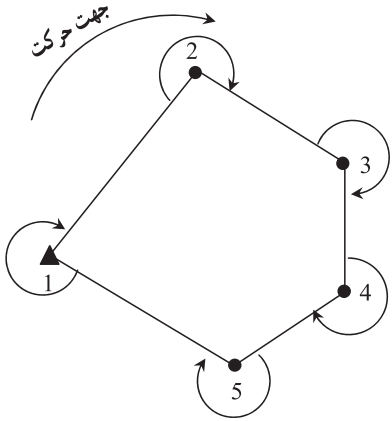
زاویه‌هایی که در پیمایش اندازه‌گیری می‌شوند معمولاً زاویه به راست (Clockwise angle) هستند. زاویه به راست در محاسبات پیمایش همواره مثبت در نظر گرفته می‌شود. منظوراز زاویه به راست، زاویه‌ای است که یک امتداد نسبت به امتداد قبل و در جهت حرکت عقربه‌های ساعت (جهت راست) می‌سازد.

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

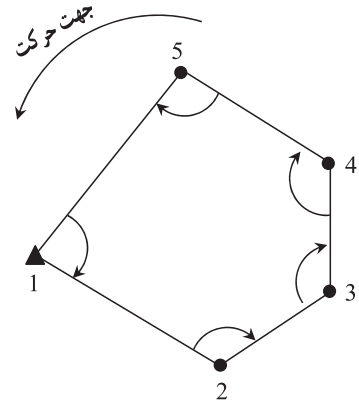
بیشتر بدانیم

نقطه‌ای با دید خوب برای کارهای نقشه‌برداری

فرض کنید پیمایش به صورت یک چند ضلعی بسته باشد، چنانچه جهت حرکت پیمایش مطابق شکل ۵ــ۵ سمت چپ در جهت عقربه های ساعت انتخاب شود زاویه به راست، زاویه‌های خارجی چند ضلعی بسته خواهد بود و در حالتی که جهت حرکت در خلاف عقربه‌های ساعت انتخاب شود در این‌حالت زاویه به راست، زوایای داخلی چند ضلعی بسته خواهد بود. (شکل ۵ــ۵ سمت راست)



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



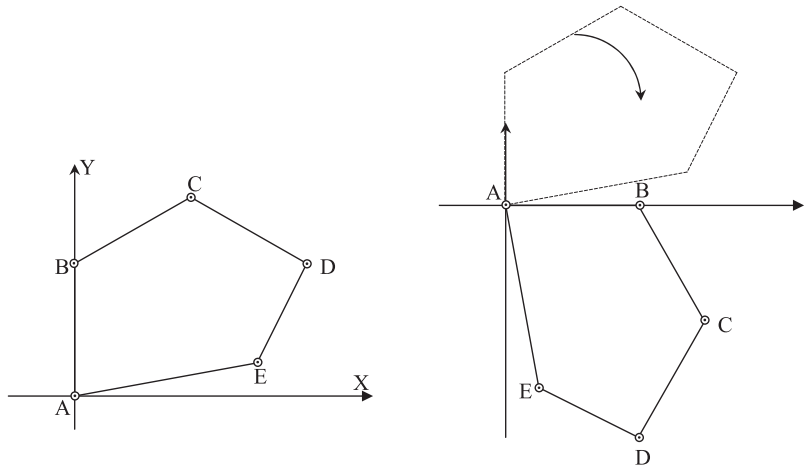
جهت پیمایش خلاف جهت عقربه‌های ساعت و زاویه به راست در این حالت زاویه داخلی است

شکل ۵ــ۵ــ زاویه به راست در پیمایش

هنگام محاسبه ژیزمان اضلاع پیمایش وانتقال ژیزمان، زاویه به راست رئوس همواره مثبت در نظر گرفته می‌شود.

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. در صورتی‌که 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 فرض‌هایی که گرفته می‌شود، به‌دست می‌آیند. به شکل (۵ــ۶) دقت کنید، مختصات نقطه A در هر دو حالت (۰,۰) در نظر گرفته شده ولی ژیزمان ضلع AB در حالت دوم به اندازه ۹۰ درجه تغییر کرده است، همان‌طور که می‌بینید با این کار مانند این است که کل پیمایش را به اندازه ۹۰ درجه



شکل ۵ــ۶ــ 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 درسه مرحله خلاصه کرد :

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

۲ــ محاسبه ΔX و ΔY کلیه اضلاع پیمایش

۳ــ محاسبه مختصات نقاط ایستگاه‌های پیمایش

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

بیشتر بدانیم

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

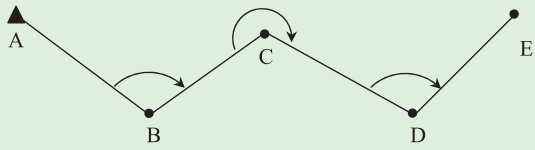
۱ــ خطای اندازه‌گیری زاویه

۲ــ خطای اندازه‌گیری طول

۳ــ خطای سانتراژ دوربین ورفلکتور

مثال ۵ــ۱ : پیمایش باز

مطابق شکل زیر به منظور ایجاد تعدادی نقطهٔ کنترل، یک پیمایش باز انجام شده است. مختصات نقطهٔ A برابر (۱۰۰ , ۱۰۰) و $G_{AB} = ۱۴۰^{\circ}$ می‌باشد. مطلوب است محاسبه مختصات نقاط مجهول در این پیمایش.



$AB = 135m \quad \angle B = 120^{\circ}$

$BC = 125m \quad \angle c = 240^{\circ}$

$CD = 185m \quad \angle D = 100^{\circ}$

$DE = 150\ m$

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	ΔX	ΔY	X	Y
A		140°	135. 000			100. 000	100. 000
B	120°		125. 000				
C	240°		185. 000				
D	100°		150. 000				
E							

مرحلهٔ اول: مرحلهٔ اول، محاسبهٔ ژیزمان کلیهٔ اضلاع پیمایش می‌باشد. یعنی ابتدا ستون سوم از جدول بالا را تکمیل می‌کنیم.

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

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

به عبارتی می‌توان 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 α_B و α_C و α_D در روابط فوق همان زاویه به راست در رأس‌های B وC وD می‌باشند که در رابطه‌ی ژیزمان همواره مثبت در نظر گرفته می‌شوند.

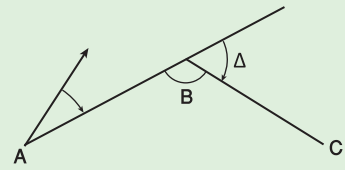
نکته : اثبات رابطهٔ بالا :

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

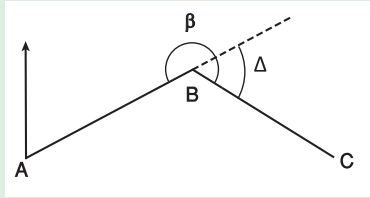
$$\boxed{\Delta = 180^\circ - \beta}$$

در این حالت

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



یا حالت دیگر



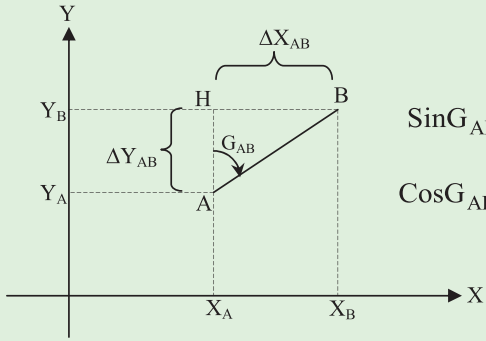
$$\Delta = \beta - 180$$

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

مرحلهٔ دوم: در این مرحله ΔX وΔY کلیهٔ اضلاع پیمایش محاسبه می‌شود به عبارتی ستون‌های پنجم و ششم در این مرحله تکمیل می‌شوند.

برای محاسبه ΔX و ΔY می‌توان یک رابطهٔ 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 :



$$SinG_{AB} = \frac{HB}{AB} \rightarrow HB = AB \times SinG_{AB}$$

$$CosG_{AB} = \frac{AH}{AB} \rightarrow AH = AB \times CosG_{AB}$$

امّا همانطور که در شکل مشاهده می‌کنید، HB همان ΔX_{AB} و AH همان ΔY_{AB} می‌باشد. پس می‌توان نوشت :

$$\Delta X_{AB} = AB \times SinG_{AB}$$
$$\Delta Y_{AB} = AB \times CosG_{AB}$$

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

$$\Delta X_{BC} = BC \times SinG_{BC}$$
$$\Delta Y_{BC} = BC \times CosG_{BC}$$

$$\Delta X_{CD} = CD \times SinG_{CD}$$
$$\Delta Y_{CD} = CD \times CosG_{CD}$$

$$\Delta X_{DE} = DE \times SinG_{DE}$$
$$\Delta Y_{DE} = DE \times SinG_{DE}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

روش حل :

مرحلهٔ 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)	ΔX(m)	ΔY(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							

مرحلهٔ دوم : محاسبه ΔX و ΔY اضلاع

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

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

$\Delta X_{CD}=185\times \text{Sin}\,140^\circ=118.916$

$\Delta Y_{CD}=185\times \text{Cos}\,140^\circ=-141.718$

$\Delta X_{BC}=125\times \text{Sin}\,80^\circ=123.101$

$\Delta Y_{BC}=125\times \text{Cos}\,80^\circ=21.706$

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

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

ایستگاه	زاویه	ژیزمان	طول (m)	ΔX(m)	ΔY(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							

مرحلهٔ سوم : محاسبه مختصات نقاط

$$X_B=100+86.776=186.776$$

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

$$X_D=309.887+118.916=428.793$$

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

$$X_C=186.776+123.101=309.877$$

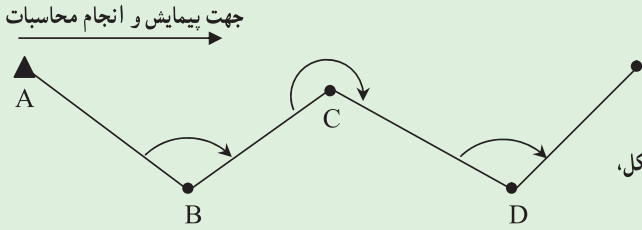
$$Y_C=-3.416+21.706=18.290$$

$$X_E=428.793+129.904=558.697$$

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

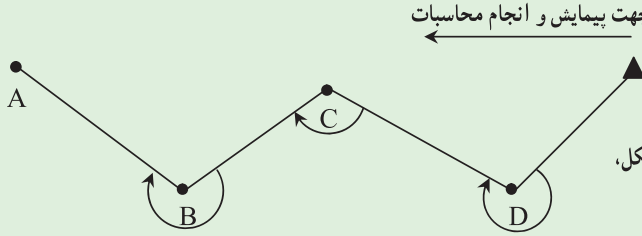
ایستگاه	زاویه	ژیزمان	طول (m)	ΔX(m)	ΔY(m)	X(m)	Y(m)
A		140°	135 .000	86 .776	−103 .416	100 .000	100 .000
B	120°	80°	125 .000	123 .101	21 .706	186 .776	−3 .416
C	240°	140°	185. 000	118 .916	−141 .718	309 .877	18 .290
D	100°	60°	150 .000	129 .904	75 .000	428 .803	−123 .428
E						558 .697	−48 .428

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 می‌توان 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 می‌شوند.



زوایای مشاهده شده در شکل، زاویه به راست هستند.

امّا 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.



زوایای مشاهده شده در شکل، زاویه به راست هستند.

ب) محاسبات پیمایش چند ضلعی بسته : همانطور که گفته شد پیمایش بسته از یک نقطه شروع شده و به همان نقطه ختم می‌شود. در این‌حالت یک چند ضلعی بسته روی زمین ایجاد می‌شود که به آن پلیگون می‌گویند. بر خلاف پیمایش باز که کنترلی در محاسبات آن وجود ندارد پیمایش بسته را می‌توان 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 می‌گیرد و محاسبات پیمایش بسته اتصالی را در دوره‌های بالاتر فراخواهید گرفت.

محاسبات پیمایش بسته را می‌توان در سه مرحله زیر تقسیم‌بندی کرد :

الف)مرحله تعدیل و سرشکنی خطای بست زاویه‌ای :

- محاسبه خطای بست زاویه‌ای و محاسبه مقدار مجاز خطای بست زاویه‌ای و مقایسه آنها با هم

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

ب) مرحله محاسبه ΔX و ΔY کلیه اضلاع :

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

● محاسبه مقادیرΔX و ΔY 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 ΔX و ΔY کلیه اضلاع پیمایش در صورت مجاز بودن خطای بست طولی و همچنین محاسبه کلیه ΔXها و ΔYهای تعدیل شده برای کلیه اضلاع

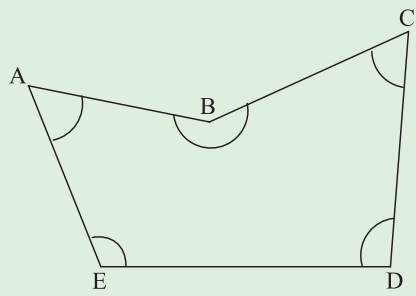
محاسبه X و Y نقاط مجهول

● با حل یک مثال کلیه مراحل بالا را شرح می‌دهیم :

مثال ۵ــ۲ : پیمایش بسته

مطابق شکل زیر یک عمل پیمایش بسته انجام گرفته است. با فرض اینکه مختصات نقطه A برابر (Y=۹۰۸/۹۸۰ و X=۱۰۰/۰۰۰) و G_{AB} =۱۰۶°۲۳′۴۵″ باشد، مختصات نقاط دیگر (E , D , C , B) را محاسبه کنید. دقت زاویه‌ای دوربین را ۱۰ ثانیه درنظر بگیرید.

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



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 :

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

$\Sigma\alpha_i$ مجموع زوایای پلیگون

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

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

از رابطه $(n-2) \times 180^\circ$ زمانی‌که 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 رابطهٔ زیر بدست می‌آید :

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

d_α 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 رابطهٔ زیر بدست می‌آید :

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

e_α 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 تک‌تک زوایا جمع می‌کنیم تا زوایای تعدیل شده محاسبه شود. جهت کنترل، بعد از اعمال مقدار تصحیح به زوایا، یک‌بار دیگر آنها را جمع می‌کنیم. درصورتی که مقدار حاصل جمع زوایای جدید با مقدار واقعی آن برابر بود، این اعداد را به عنوان مقدار درست برای هر زاویه درنظر 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	ΔX	C_X	ΔX_C	ΔY	C_Y	ΔY_C	X	Y
A											
B											
C											
D											
E											

ب) مرحله محاسبه ΔX و ΔY کلیه اضلاع:

راهکار کلی: برای محاسبه ΔX و ΔY 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:

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

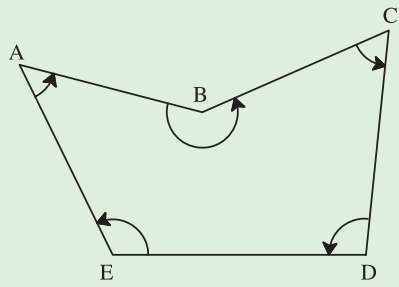
به عبارتی می‌توان نوشت :

$$G_{BC}=(G_{AB}+\alpha_B)\pm 180^\circ$$
$$G_{CD}=(G_{BC}+\alpha_C)\pm 180^\circ$$
$$G_{DE}=(G_{CD}+\alpha_D)\pm 180^\circ$$
$$G_{EA}=(G_{DE}+\alpha_E)\pm 180^\circ$$

نکته‌ای که باید به آن توجه داشت این است که زاویهٔ رئوس α در این رابطه، زاویه به راست در نظر گرفته شده‌اند و چنانچه زاویه‌های پیمایش، زاویه به راست نباشند، در این رابطه منفی می‌شوند. به عبارتی رابطهٔ بالا به صورت زیر تبدیل می‌شود :

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

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



پس از محاسبه ژیزمان‌ها، با استفاده از رابطه زیر،ΔX وΔY اضلاع را محاسبه می‌کنیم :

$$\begin{cases}\Delta X_i = L_i \times \text{Sin}G_i \\ \Delta Y_i = L_i \times \text{Cos}G_i\end{cases}$$

G_i : ژیزمان ضلع i ام Li : طول ضلع i ام

روش حل :

ب) مرحله محاسبه ΔX و ΔY کلیهٔ 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 می‌کنید، همان مقدار برای ژیزمان AB بدست آمد که خود نشان دهنده درستی محاسبات ژیزمان می‌باشد. در اینجا ستون‌های دوم و سوم جدول پیمایش مطابق شکل زیر تکمیل می‌شوند :

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 طول‌های اضلاع و ژیزمان محاسبه شده برای هر ضلع می‌توان ΔX و ΔY اضلاع را بدست آورد :

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

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

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

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

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

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

نقاط ایستگاه	زاویه تعدیل شده	ژیزمان	طول	ΔX	ΔY
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	$\Sigma\alpha_i = 540^\circ$	$106^\circ 23' 45''$			

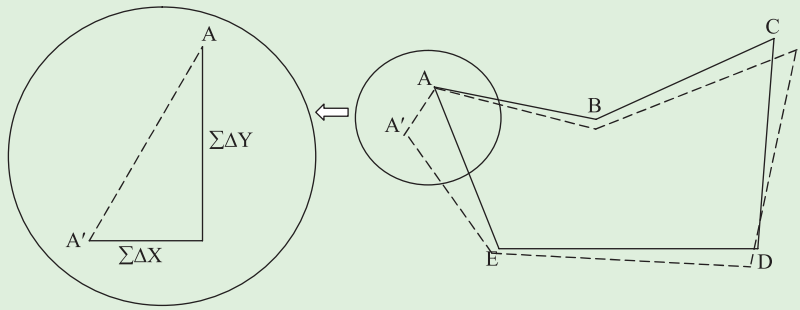
ج) مرحله تعدیل و سرشکنی خطای بست طولی :

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 رابطهٔ 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 مقادیری خطا می‌باشند که در محاسبه ΔX و ΔY 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 $\Sigma\Delta x_i$ و $\Sigma\Delta y_i$ مساوی صفر شوند. امّا به دلیل آنکه طول‌ها و زوایا دارای مقادیری خطا هستند که این خود خطایی در محاسبهٔ ΔX و ΔY ایجاد می‌کند، در نتیجه این شرط برقرار نمی‌شود. بنابراین $\Sigma\Delta_{xi}$ و $\Sigma\Delta_{yi}$ بیانگر مقادیر خطا در جهت محور x و y می‌باشند. به عبارتی نشان می‌دهند که نقاط پیمایش چه‌مقدار در اثر خطای طول و زاویه جابجا شده‌اند. بنابراین خطای بست موضعی در پیمایش بسته پلیگون، از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$e_{X_1Y} = \sqrt{(\Sigma\Delta X_i^2 + \Sigma\Delta Y_i^2)}$$

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، نقطهٔ A و ´A بر هم منطبق نمی‌شوند، به ضلع ´AA ضلع خطا می‌گویند و طول آن که از رابطه بالا بدست می‌آید، همان خطای بست موضعی پیمایش می‌باشد.

از تقسیم طول ضلع خطا (خطای بست طولی) بر مجموع اضلاع پیمایش، خطای نسبی بست (دقت پیمایش) بدست می‌آید که خود معیاری است برای ارزیابی دقت کار و مجاز بودن خطای بست. در اکثر کارهای عمرانی خطای نسبی بست طولی ۱/۵۰۰۰ یا کمتر، خطای قابل قبول تلقی می‌شود. در صورتی که این مقدار در حد مجاز باشد، می‌توان آن را سرشکن کرد.

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

روش‌های مختلفی برای تعدیل خطای بست طولی وجود دارد که در این کتاب یکی از آنها را شرح می‌دهیم.

این روش که به روش قطب‌نما (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 اندازه‌گیری زاویه و طول با هم برابرند. امروزه وسایل دقیق اندازه‌گیری طول به تحقق این فرض کمک کرده است. تعدیل برای هر ضلع در دو جهت X و Y اعمال می‌شود و مقدارآن از رابطهٔ زیر بدست می‌آید :

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

$\sum L$: مجموع طول‌های پیمایش بسته

که با مقادیر ΔX و ΔY جمع شده و مقادیرتعدیل شده آنها بدست می‌آیند :

ΔX تصحیح شده = ΔX تصحیح نشده + C_X

ΔY تصحیح شده = ΔY تصحیح نشده + C_X

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

روش حل :

ج) مرحله تعدیل و سرشکنی خطای بست طولی :

نقاط ایستگاه	زاویه تعدیل شده	ژیزمان	طول	ΔX	ΔY
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	$\Sigma\alpha_i = 540^\circ$	$106^\circ 23' 45''$		$\Sigma\Delta X = -0.158$	$\Sigma\Delta Y = -0.579$

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

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

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

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

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

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

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

حال مقدار تصحیح ΔX و ΔY را برای هر ضلع پیمایش را به صورت صفحه بعد محاسبه می کنیم :

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

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

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

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

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

نقاط ایستگاه	زاویه تعدیل شده	ژیزمان G_i	طول L_i	ΔX	ΔY	C_X	C_Y
A	$64^\circ 52' 54''$	$106^\circ 23' 45''$	690 .880	662 .785	−195 .016	0 .029	0 .107
B	$206^\circ 34' 39''$	$79^\circ 49' 06''$ $195^\circ 28' 27''$	616 .050	606 .349	108 .899	0 .026	0 .096
C	$64^\circ 20' 39''$	$267^\circ 54' 48''$	677 .970	−180 .885	−653 .394	0 .029	0 .105
D	$107^\circ 33' 39''$	$351^\circ 16' 39''$	970 .260	−969 .617	−35 .328	0 .041	0 .150
E	$96^\circ 38' 09''$	$106^\circ 23' 45''$	783 .320	−118 .790	774 .260	0 .033	0 .121
A	$64^\circ 52' 54''$						
B							
جمع	$\Sigma\alpha_i = 540^\circ$			Σ =−0.158	Σ =−0.579	Σ =0.158	Σ =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 ΔX و ΔY جمع جبری می کنیم تا ستون‌های نهم و دهم یعنی ΔX_C و ΔY_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	ژیزمان G_i	طول L_i	ΔX	ΔY	C_X	C_Y	ΔX_C	ΔY_C
A	$64^\circ 52' 54''$	$106^\circ 23' 45''$	690 .880	662 .785	−195 .016	0 .029	0 .107	662 .814	−194 .909
B	$206^\circ 34' 39''$	$79^\circ 49' 06''$	616 .050	606 .349	108 .899	0 .026	0 .096	606 .375	108 .995
C	$64^\circ 20' 39''$	$195^\circ 28' 27''$	677 .970	−180 .885	−653 .394	0 .029	0 .105	−180 .856	−653 .289
D	$107^\circ 33' 39''$	$267^\circ 54' 48''$	970 .260	−969 .617	−35 .328	0 .041	0 .150	−969 .576	−35 .178
E	$96^\circ 38' 09''$	$351^\circ 16' 39''$	783 .320	−118 .790	774 .260	0 .033	0 .121	−118 .757	774 .381
A	$64^\circ 52' 54''$	$106^\circ 23' 45''$							
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 ΔX_C و ΔY_C را جمع ببندید حاصل برابر صفر می‌گردد.

در پایان با معلوم بودن مختصات نقطهٔ اول (A) و ستون‌های ΔX_C و ΔY_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	ژیزمان G_i	طول L_i	ΔX	ΔY	C_X	C_Y	ΔX_C	ΔY_C	X	Y
A	64°52′54″	106°23′45″	690 .880	662 .785	−195 .016	0 .029	0 .107	662 .814	−194 .909	100 .000	908 .980
B	206°34′39″	79°49′06″	616 .050	606 .349	108 .899	0 .026	0 .096	606 .375	108 .995	762 .814	714 .071
C	64°20′39″	195°28′27″	677 .970	−180 .885	−653 .394	0 .029	0 .105	−180 .856	−653 .289	1369 .189	823 .066
D	107°33′39″	267°54′48″	970 .260	−969 .617	−35 .328	0 .041	0 .150	−969 .576	−35 .178	1188 .333	169 .777
E	96°38′09″	351°16′39″	783 .320	−118 .790	774 .260	0 .033	0 .121	−118 .757	774 .381	218 .757	134 .599
A	64°52′54″										

۵ــ۵ــ 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 به‌کارگیری بود. پیشرفت مهم بعدی در امر ناوبری کشف قطب‌نمای مغناطیسی و دستگاه زاویه‌یاب (sextant) بود. عقربهٔ قطب‌نما همیشه نقطه شمال را نمایش می‌داد، بنابراین همیشه جهت مسیر حرکت را نسبت به شمال تعیین می‌نمود.

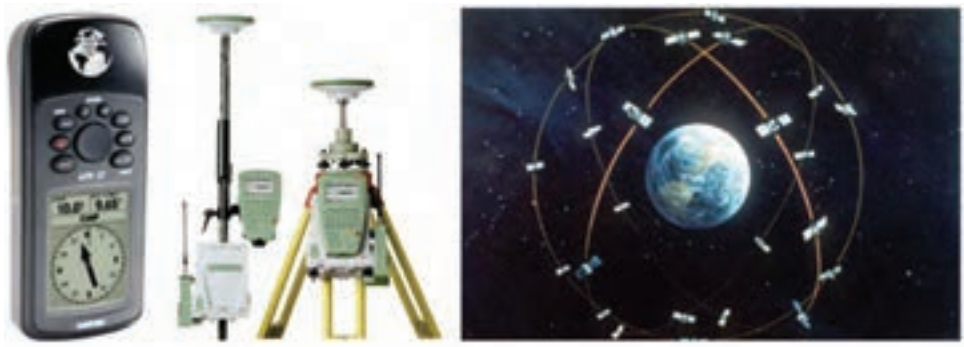
امروزه توسعه ارتباطات جهانی و لزوم تعیین موقعیت و ناوبری دقیق افراد و اشیاء متحرک، اصولاً زمینه استفاده از این‌گونه روش‌ها را تا حد زیادی منتفی کرده است. به هر صورت در شرایط فعلی، با گسترش فناوری‌های گوناگون، این امر توسط سیستم‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای انجام می‌پذیرد. در حقیقت دنیای امروز، دنیایی 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 امّا اصول عملکرد آن بسیار پیچیده بوده و متخصصان علومی 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.



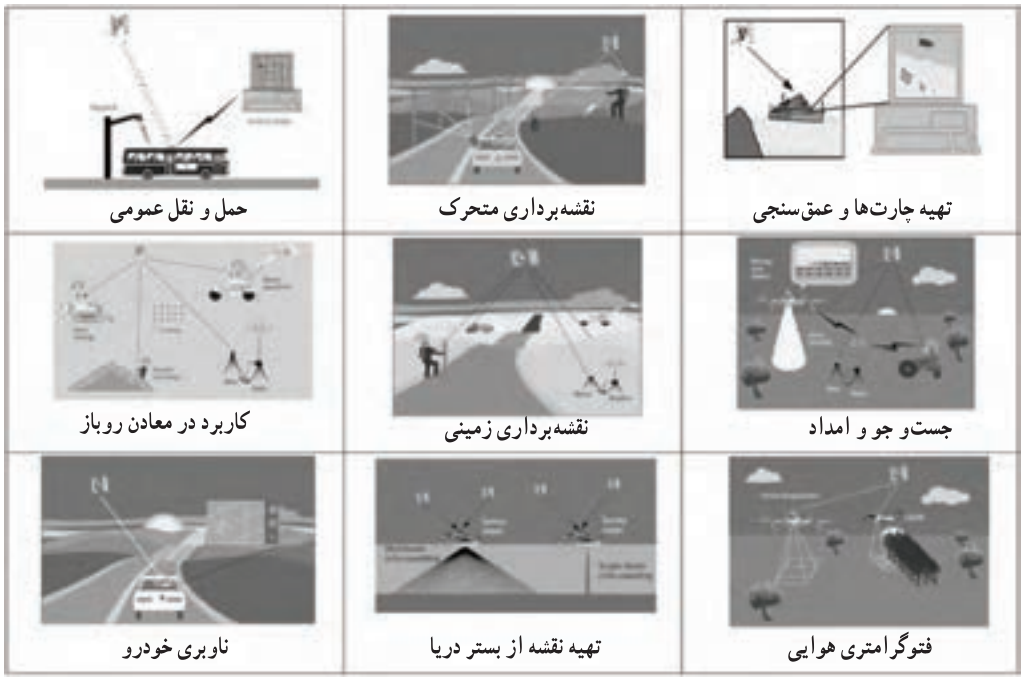
شکل ۵ــ۷ــ شبکه ماهواره‌ای جی پی اس گیرنده ..... نقشه‌برداری، گیرنده دستی

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 آنی هواپیماها، کشتی‌ها و اتومبیل‌ها استفاده می‌شود. استفاده‌های زمینی GPS بسیار گسترده‌تر می‌باشد. مراکز علمی از GPS برای استفاده از قابلیت و دقت زمان سنجی‌اش واطلاعات مکانی‌اش استفاده می‌کنند. نقشه‌برداران از GPS برای توسعه منطقهٔ کاری خود بهره می‌گیرند. گیرنده‌های GPS گران‌قیمت نقشه‌برداری دقت‌هایی تا یک میلی‌متر را فراهم می‌آورند .استفاده‌های تفریحی از GPS نیز به تعداد تمام ورزش‌های تفریحی متنوع است. به عنوان مثال برای شکارچیان، برف‌نوردان، کوهنوردان و سیاحان. در نهایت باید گفت هرکسی که می خواهد بداند که درکجا قراردارد، راهش به چه سمتی است، و یا با چه سرعتی درحرکت است می‌تواند از یک GPS استفاده کند . در خودروها نیز وجود GPS به امری عادی بدل خواهد شد. سیستم‌هایی درحال تهیه است تا درکنار هر جاده‌ای با فشار دادن یک کلید، موقعیت به یک مرکز اورژانس انتقال یابد (به‌وسیله انتقال موقعیت فعلی به یک مرکز توزیع) و سیستم‌های پیچیده دیگری موقعیت هر خودرو را دریک خیابان ترسیم کنند. این سیستم‌ها به راننده بهترین مسیر برای رسیدن به یک هدف خاص را پیشنهاد می‌کنند. در کشورهای توسعه یافته از این سیستم جهت کمک به راهبری خودرو، کشتی و انواع وسایل نقلیه بهره گیری می‌شود.

بیشتر بدانیم

بخشی از دستگاه‌های نصب شده در داخل یک ماهوارهٔ 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 می باشد، که بسته به کیفیت گیرنده تغییر می کند. 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 لس آنجلس 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 تکتونیکی 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 سکوهای دریایی نفتی،تعیین موقعیت جزیره‌های مرجانی، مین‌یابی، اسکن کردن دریا، بروزرسانی سیستم‌های تعیین موقعیت، استفاده جهت کنترل ماهواره‌های سنجش از دور و کاربردهای وسیع نظامی.

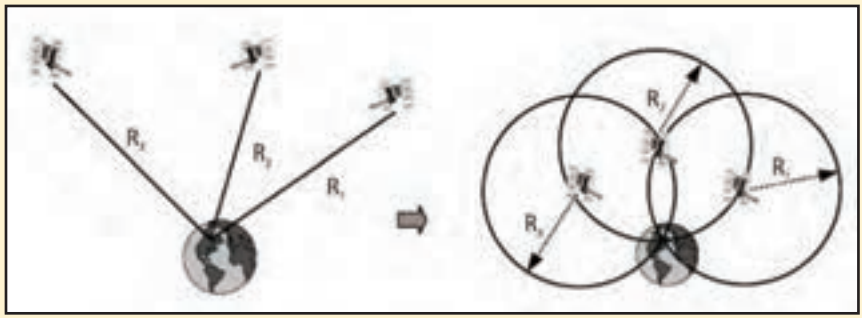


مثال‌هایی از کاربردهای GPS

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 به‌صورت همزمان اندازه‌گیری می‌شود. در صورتی‌که موقعیت ماهواره‌ها در فضا معلوم باشد (این کار توسط پنج ایستگاه زمینی مشابه عمل تقاطع در نقشه‌برداری انجام می‌پذیرد)، از طریق این مشاهدات می‌توان محل گیرنده را تعیین موقعیت نمود. این امر مشابه عمل ترفیع در نقشه‌برداری می‌باشد.



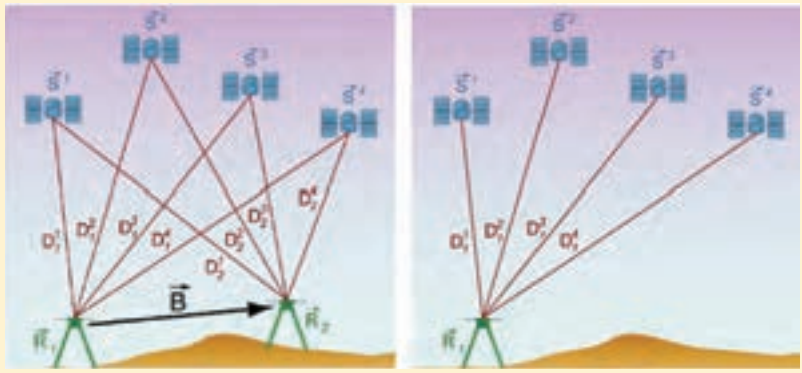
اصول تعیین موقعیت با GPS

در واقع هر ماهواره پیامی را به سوی گیرنده ارسال می کند که بـه‌طور 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. حاصلضرب‌تفاوت 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، می توان 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 می بایست مورد توجه قرار گیرد، این‌است که ارتفاعی که GPS اندازه‌گیری می‌کند نسبت به بیضوی مبنای مسطحاتی جهانی به‌نام WGS۸۴ است. امّا ارتفاعی که توسط عملیات ترازیابی 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 به‌دست 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 می‌باشد که بطور همزمان ماهواره‌های مشترک را مشاهده و اندازه گیری نمایند. از روش تعیین موقعیت نسبی با GPS اکثراً در کارهای نقشه‌برداری و گسترش شبکه‌های ژئودزی استفاده می‌شود. دقت تعیین مختصات مطلق با سیستم GPS در حال حاضر در بهترین حالت ۳ ± متر است درحالی‌که دقت تعیین مختصات نسبی با این سیستم در حد میلی‌متر می‌باشد.

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

۱ــ نوع گیرنده (گیرنده تک فرکانسه و دو فرکانسه) و مشاهدات جمع‌آوری شده و نحوهٔ پردازش آنها (تعیین موقعیت مطلق و نسبی)

۲ــ تعداد ماهواره‌های قابل رویت : هر چه تعداد ماهواره‌ها بیشتر باشد، تعداد مشاهدات بیشتر شده و در اکثر حالات دقت هم بیشتر می‌شود. امروزه با وجود ماهواره‌های تعیین موقعیت آمریکایی، روسی و اروپایی گیرنده‌های با بیش از ۲۰۰ کانال هم تولید و به‌کارگیری می‌شود.

۳ــ استحکام هندسی شبکه ماهواره‌ها(DOP (Dilution of precision که همان تعداد و موقعیت نسبی ماهواره‌ها نسبت به هم ونسبت به ایستگاه‌های زمینی می‌باشد :

استحکام هندسی یا DOP بد (راست) و خوب (چپ) ماهواره‌ها

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

۵ــ خطای چند مسیری (Multipath) : چنانچه در اطراف گیرنده‌ها سطوح

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

۶ــ 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 می یابد.

۷ــ خطاهای مداری که موجب خطای موقعیت ماهواره‌ها در فضا می‌شود. بخشی از این خطاها به عمد توسط سازنده سیستم ایجاد می شود امّا 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.

۸ــ سیگنال‌هایی که از ماهواره ساطع می‌شود و به گیرنده می‌رسد از لایه‌هایی چون یونوسفر و تروپسفر عبور می کنند که باعث کاهش سرعت امواج ماهواره و کوتاه شدن طول مشاهداتی بین ماهواره تا گیرنده می‌شود.

۹ــ خطاهای مربوط به آنتن گیرنده : 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.

۱۰ــ 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 کارآیی و دقت تعیین موقعیت با GPS، باید از گیرنده‌های دو

فرکانسه استفاده کرد.

روش‌های 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 روش‌ها را توضیح مختصری می‌دهیم :

روش استاتیک : در این روش گیرنده‌ها روی ایستگاه‌های ثابت استقرار یافته و پس از جمع‌آوری مشاهدات، محاسبات صورت گرفته و مختصات نقاط ایستگاهی با دقت بالا به‌دست می‌آیند. برای مثال یک گیرنده روی نقطه معلوم و گیرنده دیگر روی نقطه دوم قرار می‌گیرد . هر دو گیرنده مشاهدات یکسانی را همزمان با ماهواره به‌دست می‌دهند . مدت زمان مشاهده در این روش ۱۵ تا ۶۰ دقیقه است و برای طول‌های بلند ۱ تا ۲۰ کیلومتر و دقت‌های بالا از چند سانتی‌متر تا چند میلی‌متر به‌کار می‌رود. از دیگر کاربردهای این روش می‌توان ردیابی حرکات پوسته زمین در سطح کشوری و قاره‌ای را نام برد. از مزایای این روش می‌توان صرفه اقتصادی، صرفه‌جویی 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 می‌گیرد. سپس متحرک شروع به حرکت نموده و تعیین موقعیت (به‌صورت آنی تا توقف چند دقیقه) با دقت مناسب (در حد چند سانتی‌متر) صورت می‌گیرد. این روش با سه راهکار کینماتیک پیوسته، شبه کینماتیک و ایست ــ 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 می‌شود و گیرنده دیگر روی نقاط دیگر شروع به حرکت می‌کند. روی هر ایستگاه ۵ تا ۱۰ دقیقه مشاهده انجام می‌شود و یک ساعت بعد دوباره همان ایستگاه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه مورد مشاهده قرار می‌گیرند. یعنی هر ایستگاه حداقل دوبار در فاصله زمانی یک ساعت مشاهده می‌شوند. نکته مهم این است که گیرنده در هنگام حرکت بین دو ایستگاه خاموش می‌شود. در راهکار ایست ــ رو (Stop — Go)، گیرنده روی نقطه معلوم قرار می‌گیرد و روی نقاط دیگر حرکت می‌کند و با سرعت بالا طی زمان یک دقیقه موقعیت‌ها را با دقت سانتی‌متر جمع آوری می‌کند.

خلاصه فصل

● **پیمایش** : مجموعهٔ عملیاتی که برای تعیین موقعیت مسطحاتی یک سری نقاط دنبال هم (نقاط ایستگاهی) در یک منطقه از زمین انجام می‌گیرد، پیمایش گفته می‌شود.

● 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 می‌باشد.

● پیمایش معمولاً به دو حالت باز و بسته تقسیم‌بندی می‌شود.

● **پیمایش باز** : 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.

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

۱ــ 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.

۲ــ پیمایش از یک نقطه با مختصات معلوم شروع شود و به نقطهٔ دیگری با مختصات معلوم برسد. به این حالت پیمایش اتصالی (Link traverse) می‌گویند.

● 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 نقطهٔ اول از این نوع پیمایش استفاده کرد. البته این‌حالت فقط برای نقشه‌برداری مناطق کوچک کاربرد دارد.

● مراحل کلی پیمایش عبارتند از :

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 در نهایت از موقعیت نقاط موجود یک کروکی تهیه می‌کنند.

● ***ب) اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات پیمایش*** : پس از ایجاد و استحکام نقاط پیمایش، گروه نقشه‌بردار به محل مراجعه کرده و با توجه به کروکی و نام نقاط، طول افقی همه اضلاع و همچنین زاویه افقی همهٔ رئوس پیمایش و ژیزمان یکی از اضلاع مورد نظر (که معمولاً ضلع اول می‌باشد) نیز اندازه‌گیری می‌شود.

● زاویه‌هایی که در پیمایش اندازه گیری 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 نقطهٔ اول) و همچنین ژیزمان یکی از اضلاع پیمایش (معمولاً ضلع اول) معلوم باشد.

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

۱ــ محاسبهٔ ژیزمان کلیهٔ اضلاع پیمایش با استفاده از ژیزمان ضلع اول و زاویه به راست رئوس پیمایش.

۲ــ محاسبه ΔX و ΔY کلیهٔ اضلاع پیمایش.

۳ــ محاسبه مختصات نقاط ایستگاه‌های پیمایش.

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

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

● با استفاده از رابطهٔ زیر می‌توان ΔX و ΔY کلیهٔ امتدادها را محاسبه کرد :

$$\begin{cases} \Delta X_i = L_i \times \text{Sin}G_i \\ \Delta Y_i = L_i \times \text{Cos}G_i \end{cases}$$

● پس از محاسبهٔ ΔX و ΔYها 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 :

$$\text{جمع زوایای داخلی} = (n-۲)\times 180^\circ$$

$$\text{جمع زوایای خارجی} = (n+۲)\times 180^\circ$$

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

$$e_{\alpha} = \sum \alpha_i - (n \pm ۲) \times ۱۸۰^{\circ}$$

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

$$e_{max} \pm ۲/۵ \times d_a \times \sqrt{\frac{n}{m}}$$

● مقدار تصحیح برای زوایا از رابطهٔ 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 ΔX و ΔY خطایی ایجاد می‌کنند که به آن خطای بست موضعی (خطای بست طولی) می‌گویند.

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

$$e_{X,Y} = \sqrt{(\sum \Delta X_i^{۲} + \sum \Delta Y_i^{۲})}$$

● 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 رابطهٔ زیر به‌دست 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 ΔX و ΔY جمع شده و مقادیر تعدیل شده آنها به دست می‌آیند :

ΔX تصحیح شده = ΔX تصحیح نشده + C_X

ΔY تصحیح شده = ΔY تصحیح نشده + C_X

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

خودآزمایی

سؤالات تشریحی

۱ــ روش تقاطع را برای تعیین مختصات نقاط کنترل تعریف نمایید.

۲ــ روش ترفیع را برای تعیین مختصات نقاط کنترل تعریف و کاربرد آن را ذکر نمایید.

۳ــ مثلث‌بندی و روش‌های آن را برای تعیین مختصات نقاط کنترل تعریف نمایید.

۴ــ روش شبکه را برای تعیین مختصات نقاط کنترل تعریف نمایید.

۵ــ پیمایش را تعریف کنید.

۶ــ تفاوت پیمایش‌های باز و بسته را بیان کنید.

۷ــ مراحل مختلف انجام عمل پیمایش را شرح دهید.

۸ــ روش تعیین موقعیت ماهواره‌ای را شرح دهید.

سؤالات چهارگزینه‌ای

۹ــ زاویه حامل امتداد AB برابر با $S32^{\circ} W$ و طول امتداد ۵۰ متر و(۲۰۰ , ۱۰۰) A می‌باشد، مختصات B کدام گزینه است؟

۱) (۱۵۷/۶۰ و ۷۳/۵۰)

۲) (۱۷۲/۷۷و۵۸/۰۷)

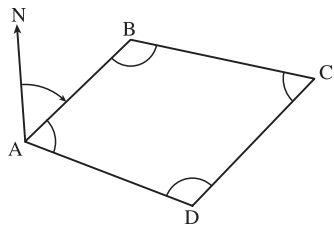
۳) (۱۴۳/۱۱و۴۱/۲۲)

۴) (۴۲/۲۲و۱۴۳/۱۱)

۱۰ــ برای رسیدن به دقت زاویه‌ای ۲۰ ثانیه در یک پیمایش ۸ ضلعی زاویه‌ها را با یک تئودولیت با دقت زاویه ۵ ثانیه چند مرتبه باید اندازه‌گیری کرد؟

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

۱۱ــ در یک پیمایش بسته (چهارضلعی) زوایا تصحیح شده و طول‌ها طبق جدول صفحه بعد اندازه‌گیری شده است. با توجه به مجاز بودن خطای بست پیمایش، جدول پیمایش را کامل کنید.



ایستگاه	زوایای تصحیح شده (gr)	ژیزمان (gr)	طول (m)	تغییرات طول و عرض (m)		تغییرات تصحیح شده (m)		مختصات (m)	
S	A	G	l	Δx	Δy	Δxc	Δyc	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			ΣL =437/09	$\Sigma \Delta x$ = ?	$\Sigma \Delta y$ = ?	$\Sigma \Delta X_c$ =0	$\Sigma \Delta y_c$ =0		