به نام خدا

سرای دانشجو

دانلود برترین جزوات و فیلم های دانشجویی

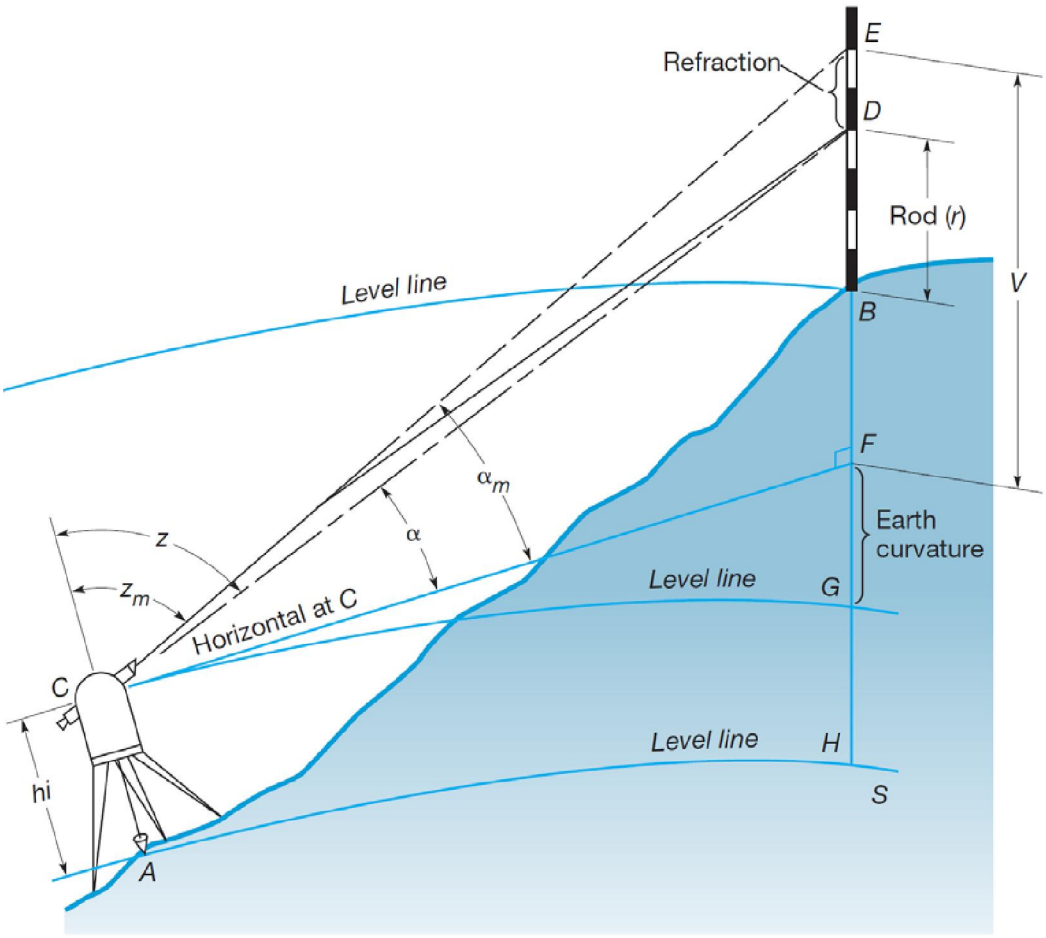
بامادرارتباط باشید

Website:	www.sarayedaneshjo.com
Email:	info.sarayedaneshjo@gmail.com

دانش اگر در ثریا هم باشد مردانی از سرزمین پارس بدان دست خواهند یافت. رسول اکرم (ص)

جزوه درسی

نقشه برداری ۱



تهیه کننده : یحیی جمور

پاییز ۱۳۹۱

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

پیشگفتار

از آنجا که از ابتدای آفرینش، بشر همواره کنجکاو به شناخت محیط پیرامون و گسترش قلمروی خود بوده است، دانستن موقعیت عوارض گوناگون و توجیه آنها نسبت به هم از اهمیت بالایی برخوردار بوده است. همچنین تصویر عوارض مهم زمینی برای بشر اولیه نوعی وسیله ارتباطی و زبان محسوب می شده است. از طرفی تعریف بسیار ساده و ابتدایی نقشه‌برداری به اندازه گیری و نمایش عوارض سطح زمین بر روی یک برگ نقشه اشاره می کند. لذا بدون اینکه موضوع نقشه‌برداری و تهیه نقشه به صورت علمی و امروزی مطرح بوده باشد، می‌توان گفت که بشر از دیر باز به این مهم توجه داشته و به نوعی با بهره گیری از ابزار دوران خود مبادرت به نقشه برداری و تهیه نقشه از محیط پیرامون خود می کرده است.

امروزه با پیدایش فنآوری و سامانه‌های پیشرفته‌ای مانند: توتال استیشن‌ها، ترازیاب‌های الکترونیکی، سامانه‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای GNSS و سخت افزارها و نرم افزارهای محاسبات و ترسیم، به نظر می رسد دیگر نیازی به دستگاه‌ها و روش‌های سنتی نقشه‌برداری نیست. اما از آنجا که مبانی و اساس کار با آنها یکسان است، لذا برای یادگیری بهتر دانشجویان صرفنظر از فناوری های امروزی، سعی شده‌است به بیان مبانی روش‌های اندازه‌گیری و محاسبات و نیز کار با دستگاه‌های نقشه‌برداری پرداخته شود.

خوشبختانه طی سال‌های اخیر کتاب‌های زیادی در زمینه نقشه‌برداری توسط متخصصان و اساتید ذیربط نوشته و منتشر شده‌اند که هریک از ویژگی‌های خاصی برخوردار بوده‌اند. در همین راستا بر اساس تجربه‌های آموزشی نگارنده کتاب در دانشگاه ها و مراکز مختلف آموزش عالی کشور و بررسی محتوای کتب موجود در زمینه نقشه‌برداری عمومی، مطالبی که در این کتاب در نظر گرفته شده اند به شرح ذیل در ۵ فصل دسته بندی شده اند.

- کلیات، مفاهیم و تعاریف
- مروری بر سطوح مبنا و سیستم‌های تصویر
- مروری بر نظریه خطاها
- فاصله‌یابی

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

- ترازیابی

نگارنده امیدوار است این مجموعه موجب رضایت کلیه خوانندگان محترم بویژه دانشجویان عزیز رشته‌های مختلف از جمله: نقشه‌برداری، عمران، معماری، معدن، کشاورزی، زمین شناسی و ... قرار بگیرد و با این وسیله توانسته باشد خدمتی هر چند کوچک در جهت توسعه و اعتلای مهندسی نقشه برداری به علاقمندان و دانش پژوهان و جامعه دانشگاهی مرتبط ارائه کرده باشد.

یحیی جمور

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

فصل یکم

تاریخچه، کلیات و مفاهیم

مطالعات زیادی در زمینه تاریخ نقشه‌برداری و تهیه اولین نقشه در جهان انجام گردیده است. در بررسی‌های انجام شده نشانه‌های زیادی از تسلط ایرانیان بر نجوم و ستاره‌شناسی در دوران اشکانی وجود دارد. اما طبق تاریخ طبری اولین نشانه مستدل از تهیه نقشه و مساحی به دوران قباد و انوشیروان ساسانی بر می‌گردد. چنانچه از این تاریخ بر می‌آید مساحی زمین‌های کشاورزی در آن زمان امری متداول بوده و فناوری نوپایی شناخته نمی‌شده است. در این فصل، پس از بررسی سیر تاریخی نقشه و نقشه‌برداری، به بیان برخی تعاریف و مفاهیم اساسی و معرفی شاخه‌های مختلف نقشه‌برداری که در فصل‌های بعدی به آنها نیاز داریم می‌پردازیم.

۱- تاریخچه نقشه برداری در جهان

نقشه برداری و تهیه نقشه بر پایه اندازه گیری های زمینی و رعایت قواعد هندسی به حدود ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد می رسد. به نظر می رسد مصری ها در ردیف اولین اقوامی بوده اند که مشاهدات خود را در سطح زمین پس از اندازه گیری مستقیم به صورت نقشه معرفی کرده اند. نقشه کانسار طلای جبل البا در حدود ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد تهیه شده که در حال حاضر درکشور مصر موجود است. این گونه نقشه ها اغلب برای تعیین حدود اراضی کشاورزی ساحل نیل تهیه شده اند. به نظر می آید رامسس دوم در فاصله سال های ۱۳۳۲- ۱۳۰۰ قبل از میلاد روش مساحی را پایه گذاری کرده است. بعد از مصری ها می توان به یونانی ها اشاره نمود که اولین نقشه جهان نما منتسب به هومر را در قرن نهم قبل از میلاد ترسیم کرده اند. بر همین اساس کارتوگرافی ریاضی و عملی در یونان شکل گرفت و پایه نقشه برداری امروزی طرح ریزی و بعد از آن تا دوران اسلامی کار قابل توجهی از دیگران مشاهده نشد و اغلب نقشه برداری ها مبتنی بر شیوه یونانی ها بود (FIG, 2010).

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

فصل چهارم

فاصله‌سنجی

یکی از مهمترین کمیت‌هایی که در مهندسی نقشه‌برداری نقش کلیدی دارد و بدون آن نمی‌توان مقیاس را درشبکه‌های کنترل و نقشه‌ها اعمال نمود، فاصله است. امروزه فاصله سنجی در عرصه های مختلف، به ویژه در ایجاد نقاط کنترل و برداشت جزییات دارای اهمیت خاصی است و همواره بخش عمده ای از اندازه‌گیری-های نقشه‌برداری را به خود اختصاص می دهد. در این فصل تلاش می‌شود تا بحث فاصله‌سنجی به روش-های مختلف شامل روش‌های مستقیم و غیر مستقیم مورد بررسی قرار گیرد.

۱- روش‌های مستقیم

روش‌های مستقیم اندازه‌گیری طول به گونه‌ای است که بتوان با مقایسه مستقیم یک طول معلوم و استاندارد و طول مجهول، مقدار آن را برآورد نمود. در ادامه به اینگونه روش‌ها پرداخته می‌شود.

۱-۱- قدم

پیمودن قدم استاندارد یکی از روش‌های ابتدایی و کم دقت در برآورد یک فاصله است. هر فرد می‌تواند بر اساس قدم‌های استاندارد خود از آن در مواردی همچون شناسایی و تهیه نقشه‌های کوچک مقیاس و کروکی بهره ببرد. دقت نسبی مورد انتظار برای این روش بسته به تجربه افراد بین ۱/۵۰ تا ۱/۱۰۰ است.

۱-۲- چرخ غلتان

این دستگاه یک چرخ کاملا دایره‌ای شکل است که اندازه محیط آن با دقت بالا معلوم است (نگاره ۱). بنابراین با حرکت آن روی هر طول دلخواه و شمارش تعداد دورهای حرکت می‌توان اندازه طول را برآورد نمود. این روش نیز در کارهای کم دقت بکار می‌رود و دقت نسبی آن حدود ۱/۲۰۰ می‌باشد.

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

نگاره ۱– چرخ غلتان

۱-۳- زنجیر مساحی

زنجیر مساحی مجموعه‌ای از قطعات فلزی حدود ۲۰ سانتیمتری است که با حلقه‌های مخصوص به یکدیگر متصل هستند (نگاره ۲). این روش برای کارهای با دقت متوسط مورد استفاده قرار می‌گیرد و دقت نسبی آن تا حدود ۱/۱۰۰۰ نیز می‌رسد.

نگاره ۲– زنجیر مساحی

۱-٤- نوار پارچه‌ای یا پلاستیکی

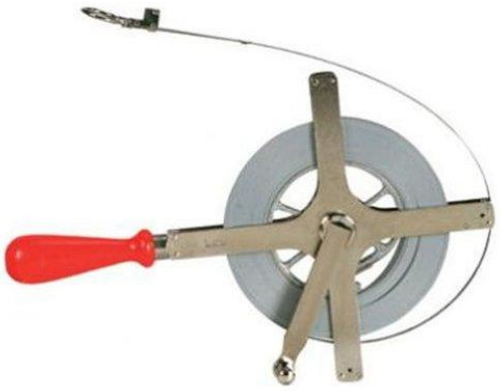
یکی دیگر از ابزارهای سنجش مستقیم طول نوارهایی از جنس پارچه یا پلاستیک است (نگاره ۳). این نوع نوارها عموما دارای درجه بندی سانتیمتری هستند و برای کارهای معمولی مانند مساحی و کنترل برخی نقشه‌های توپوگرافی و ساختمانی که نیاز به دقت بالا ندارند، استفاده می‌شوند. دقت نسبی مورد انتظار از این روش نیز بسته به جنس نوار و تجربه عامل اندازه‌گیری بین ۱/۱۰۰۰ تا ۱/۳۰۰۰ متغیر است.

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

نگاره ۳– نوار فایبر گلاس

۱-٤- نوار فلزی

امروزه متداولترین ابزار اندازه‌گیری مستقیم طول، نوارهای فلزی هستند که از چند متر تا ۵۰ متر در بازار به وفور یافت می‌شوند (نگاره ۴). دقت نسبی اندازه‌گیری طول با این نوارها حدود ۱/۵۰۰۰ است که جوابگوی بسیاری از کارهای دقیق در نقشه‌برداری می‌باشد. برخلاف روش‌های قبلی که اساسا دقیق محسوب نمی-شدند، در این برای دستیابی به دقت‌های بالاتر باید تا حد امکان خطاهای سیستماتیک اثرگذار، که در ادامه به آنها پرداخته خواهد شد، شناسایی و مورد تصحیح قرار گیرند. نوع خاصی از نوارهای فلزی ساخته شده از آلیاژ اینوار معروف به نوار اینوار است که ضریب انبساط طولی آن بسیار کوچک است و به همین دلیل دقت نسبی اندازه‌گیری طول با آن در شرایط مطلوب تا ۱/۱۰۰۰۰۰۰ نیز می‌رسد. بکارگیری این روش برای طول‌های بیشتر از اندازه نوار بویژه در مناطق ناهموار همراه با نکاتی است که در بخش‌های بعدی تحت عنوان مترکشی مورد بررسی قرار می‌گیرد.



نگاره ۴– نوار فلزی

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

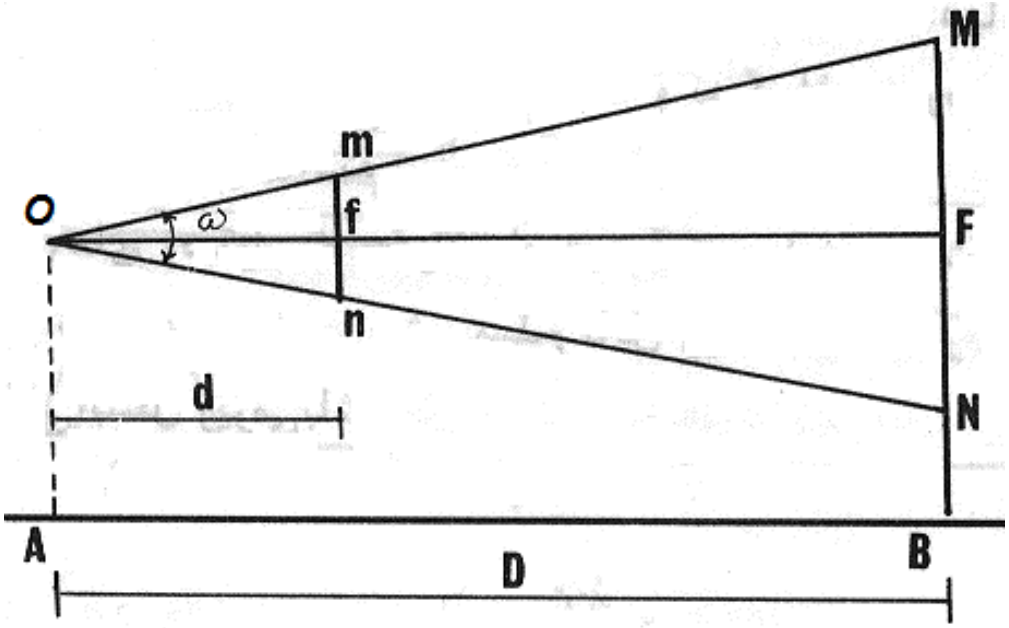
۲- روش‌های غیر مستقیم

بر خلاف روش‌های مستقیم، در این روش‌ها طول به صورت مستقیم مورد سنجش قرار نمی‌گیرد و بر پایه اندازه‌گیری کمیت دیگری مانند زاویه، زمان و اختلاف فاز و بکار گیری یکسری روابط و معادلات می‌توان مقدار طول را برآورد نمود. در ادامه به چند نمونه از این روش‌ها پرداخته می‌شود.

۲-۱- مثلثاتی (استادیمتری)

برای توضیح فاصله یابی به روش مثلثاتی ناگزیر به بیان روش استادیمتری هستیم. اساس استادیمیتری بر قضیه تالس و تشابه مثلث‌ها استوار است. مطابق نگاره ۵ برای تعیین فاصله افقی $AB\ (D)$، از تشابه دو مثلث Omn و OMN استفاده می‌شود.

$$D = AB = \frac{d}{mn} MN \qquad (۱)$$



نگاره ۵- اساس استادیمتری

چنانچه d و mn را معلوم و ثابت در نظر بگیریم و MN را اندازه‌گیری نماییم، در اینصورت طبق رابطه (۱) فاصله افقی $AB\ (D)$ به دست می‌آید. با معلوم و ثابت در نظر گرفتن d و mn زاویه ω موسوم به زاویه استادیمتری نیز عددی ثابت و معلوم خواهد بود.

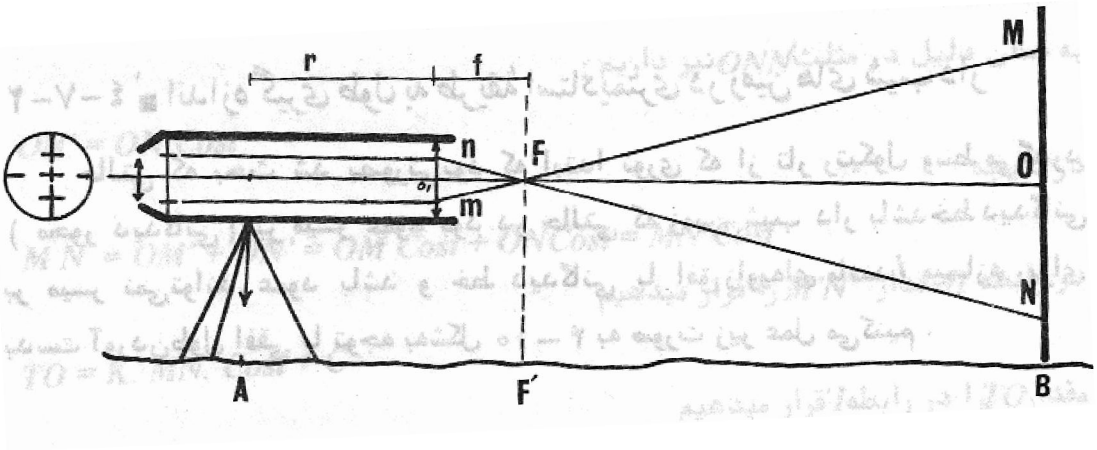
حال موضوع فوق را برای یک دوربین نقشه‌برداری با خط دید افقی توسعه می‌دهیم. چنانچه یک خط‌کش مدرج بنام شاخص در فاصله‌ای افقی به اندازه $AB\ (D)$ نسبت به محل استقرار دوربین قرار گرفته باشد و تصویر تارپایین و بالای دوربین بر روی آن به ترتیب M و N باشد و زاویه استادیمتری، یعنی f/mn، ثابت و برابر با K باشد (نگاره ۶)، در آن صورت فاصله افقی $AB\ (D)$ به صورت زیر به دست می‌آید.

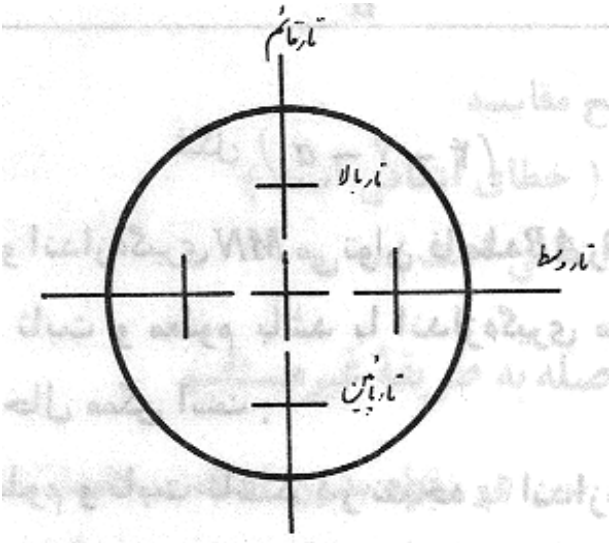
سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

$$D = AB = \frac{f}{mn} MN + (f + r) = K \times MN + C \qquad (۲)$$

ترکیب عدسی‌ها در اغلب دوربین‌های نقشه‌برداری به گونه‌ای است که تصحیح C برابر با صفر و ضریب K برابر با 100 است. بنابراین رابطه (۲) به صورت زیر اصلاح می‌شود.

$$D = AB = K \times MN \qquad (۳)$$





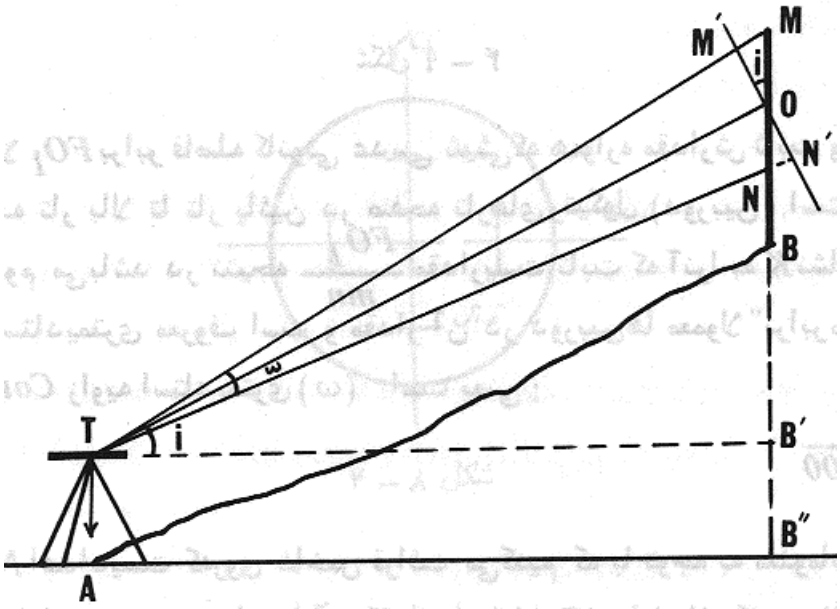
نگاره ۶– استادیمتری در دوربین‌های نقشه‌برداری

رابطه (۳) صرفا برای فاصله‌یابی در یک منطقه کاملا افقی اعتبار دارد و چنانچه منطقه را شیب دار در نظر بگیریم، در این صورت مطابق رابطه زیر باید عمل کرد (نگاره ۷).

$$D_h = K \times MN \times \cos^2 i \qquad (۴)$$

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

که در آن MN فاصله بین تصویر تار بالا و پایین بر روی شاخص و i زاویه شیب نسبت به سطح افق است.



نگاره ۷– فاصله‌یابی مثلثاتی در زمین‌های شیب دار

لازم به ذکر است به دلیل محدودیت دید عامل انسانی در قدرت تفکیک و تخمین درجه‌بندی شاخص، همواره یک خطای اتفاقی در قرائت اعداد شاخص وجود دارد. قدرت تفکیک چشم انسان حدود یک دقیقه کمانی یا ۳/۱۰۰۰۰ رادیان برآورد شده‌است. بنابراین اگر هدف تشخیص a میلی‌متر بر روی شاخص باشد، حداکثر فاصله مجاز بر حسب متر تا شاخص از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$D \le \frac{a}{1000} \times \frac{10000}{3} = a \times \frac{10}{3} \qquad (۵)$$

اگر a را برابر با ۱ میلی‌متر در نظر بگیریم، در آن صورت فاصله مجاز ۳.۳۳۳ متر خواهد شد. به همین دلیل در دوربین‌های نقشه‌برداری از بزرگنمایی استفاده می‌شود تا به صورت مصنوعی قدرت تفکیک چشم را بالا ببرد. چنانچه بزرگنمایی دوربین را G در نظر بگیریم و هدف تشخیص a میلی‌متر بر روی شاخص باشد، در این‌صورت فاصله مجاز از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$D \le \frac{aG}{1000} \times \frac{10000}{3} = aG \times \frac{10}{3} \qquad (۶)$$

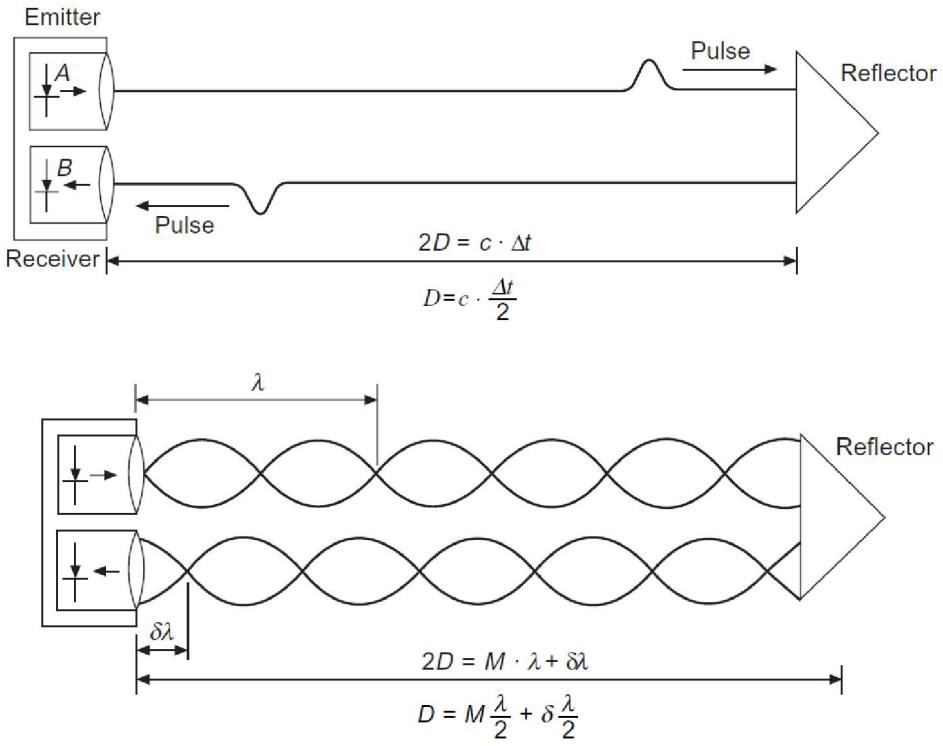
اگر a را برابر با ۱ میلی‌متر و بزرگنمایی دوربین را ۲۵ در نظر بگیریم، در آن صورت فاصله مجاز ۸۳.۳۳۳ متر خواهد شد. در واقع قدرک تفکیک چشم با چنین دوربینی ۲۵ برابر افزایش می‌یابد.

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

۲-۲- الکترونیکی

روش الکترونیکی مبتنی بر فاصله‌یاب‌های الکترونیکی موسوم به EDM ها هستند. برخی از آنها با استفاده از امواج نوری (بویژه امواج لیزری) و برخی دیگر با استفاده از امواج رادیویی طولیابی می‌کنند. اساس کار همه طولیاب‌های الکترونیکی مشابه است و بر تولید و ارسال امواج یا پالس‌ها به سوی یک بازتابنده، دریافت و تشخیص امواج یا پالس‌های برگشتی و اندازه‌گیری اختلاف فاز یا زمان رفت و برگشت استوار است (نگاره ۸). بکارگیری فاصله‌یاب‌های الکترونیکی از دهه ۱۹۵۰ شروع و امروزه این نوع فاصله‌یابی به متداولترین و دقیقترین روش برای اندازه‌گیری فواصل کوتاه تبدیل شده‌است. در کارهای ویژه، علاوه بر تصحیحات شرایط محیطی، به خطاهای سیستماتیک دستگاهی شامل خطای صفر، خطای تناوبی و خطای مقیاس نیز باید توجه نمود و تا حد امکان اثر آنها را کاهش داد. پرداختن به این مقوله خارج از حوصله درس نقشه‌برداری عمومی است و علاقمندان می‌توانند به منابع ذیربط رجوع نمایند.

برد عمومی فاصله‌یاب‌های الکترونیکی بسته به شرایط محیطی و امکان برقراری دید مستقیم بین طولیاب و بازتابنده متغیر است، ولی به هرحال از چند کیلومتر تجاوز نمی‌کند. دقت عمومی آنها با رابطه $\sigma_D = \pm(a_{mm} + b_{ppm})$ بیان می‌شود. به عنوان مثال با فرض داشتن یک فاصله‌یاب الکترونیکی با دقت $\sigma_D = \pm(5_{mm} + 5_{ppm})$ و در نظر یک طول ۱۰۰۰ متری، دقت اندازه‌گیری طول $\sigma_D = \pm 10_{mm}$ می‌باشد. یادآوری می‌شود طول‌های اندازه‌گیری شده عموما شیب دار می‌باشند و می‌توان با اندازه‌گیری زاویه شیب (یا زاویه قائم) آن را به طول افقی تبدیل نمود.



نگاره ۸- اساس فاصله‌یابی الکترونیکی (در دو حالت پالس و موج)

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

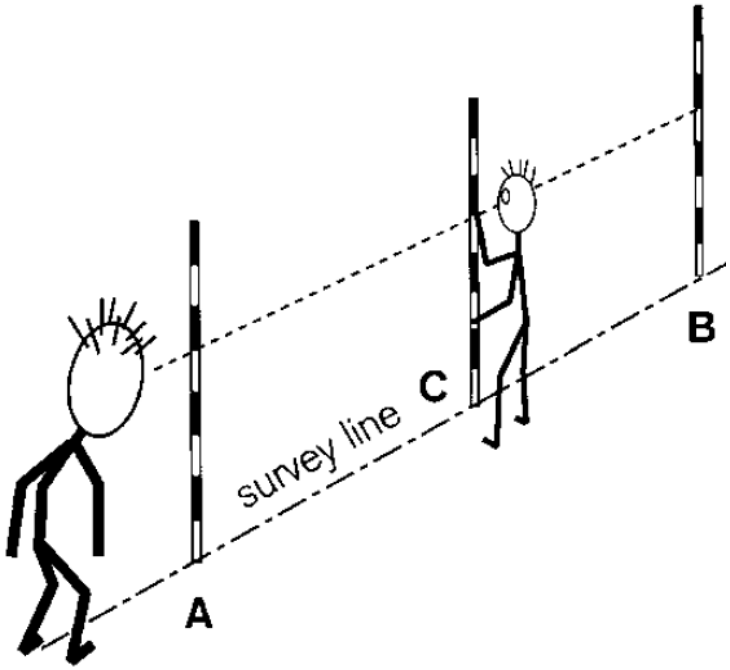
۲-۳- محاسباتی

روش فاصله‌یابی محاسباتی چیزی جز بکارگیری رابطه طول و مختصات نقاط دو سر طول نیست. در واقع با داشتن مختصات دوبعدی یا سه بعدی دو نقطه انتهایی یک طول مانند A و B رابطه زیر می‌توان طول افقی یا مایل بین دو نقطه مورد نظر را تعیین نمود.

$$D_h = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2}$$
$$D = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2 + (Z_A - Z_B)^2} \quad (۷)$$

۳- مترکشی

بنابر تعریفی که برای طول بین دو نقطه داریم، پر واضح است که اندازه‌گیری فاصله باید در یک مسیر کاملا مستقیم انجام گیرد. یکی از روش‌های متداول برای اندازه‌گیری طول‌های بلند که به چند قسمت کوچکتر تقسیم می‌شوند، ژالن گذاری است. ژالن در نقشه‌برداری عموما یک میله فلزی حدود ۲ متری است که توسط دو رنگ مختلف به نوعی درجه‌بندی شده‌است و از آن به صورت قائم بر روی نقاط مورد نظر استفاده می‌شود. برای سادگی فرض کنید با توجه به طول نوار مترکشی در اختیار، مجبور هستیم فاصله مورد نظر AB را به دو قسمت کوچکتر AC و CB تقسیم و سپس به روش ژالن گذاری اندازه‌گیری نماییم. مطابق نگاره ۹ سه ژالن به صورت قائم بر روی نقاط انتهایی طول یعنی A و B و نقطه میانی C را با کمک چشم به محلی واقع در راستای مستقیم AB قرار داده و سپس دو قطعه AC و CB را مورد اندازه‌گیری و نهایتا از مجموع آن دو به اندازه طول مستقیم AB می‌رسیم.



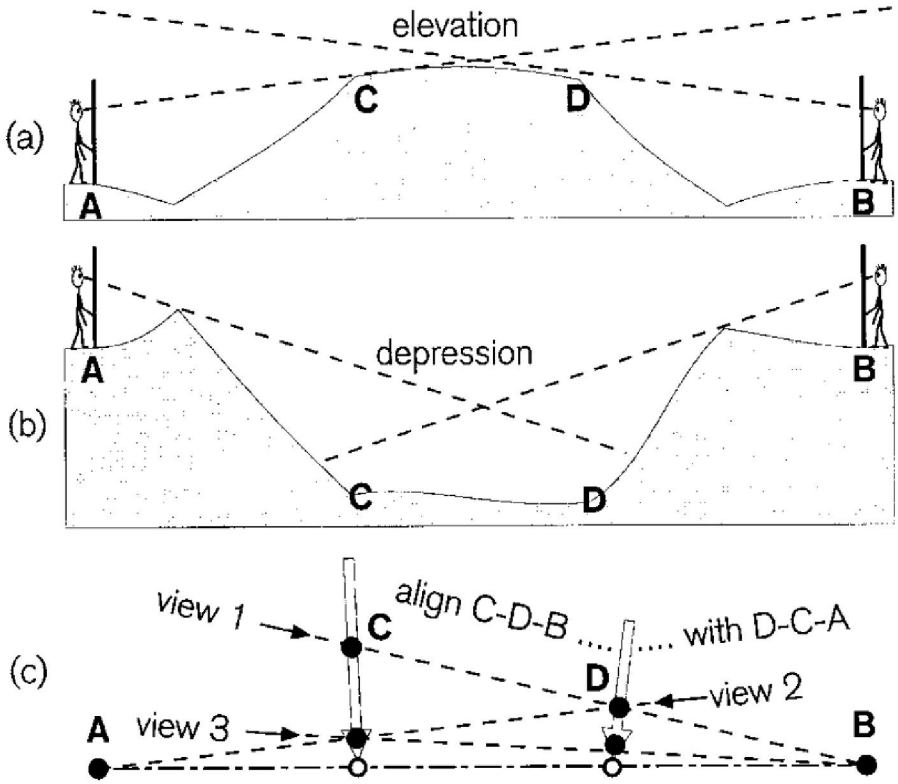
نگاره ۹- اساس ژالن گذاری در مترکشی

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

چنانچه به دلیل وجود بلندی یا پستی (یا وجود مانع برای برقراری دید مستقیم) زیاد امکان ژالن گذاری برای قطعات داخلی وجود نداشته باشد، در اینصورت طی چهار مرحله زیر اقدام به ژالن گذاری و تصحیح پی در پی آن می‌نماییم (نگاره ۱۰):

۱. دو نقطه مانند C و D بین دو سر انتهایی طول یعنی A و B و تقریبا در امتداد آنها بگونه‌ای که از A و B دیده شوند، بر روی بلندی یا پستی (یا بر روی مانع) انتخاب و دو ژالن قائم بر روی آنها مستقر می‌شود.
۲. از نقطه C به B نشانه روی رفته و ژالن D را در امتداد آنها قرار می‌دهیم.
۳. از نقطه D به A نشانه روی رفته و ژالن C را در امتداد آنها قرار می‌دهیم.
۴. مراحل ۲ و ۳ تا جاییکه هیچ جابجایی (در حد ممکن) برای ژالن‌های میانی یعنی C و D نیاز نباشد، تکرار می‌شود.

با انجام مراحل چهارگانه فوق، هر چهار ژالن در یک امتداد قرار می‌گیرند و از ژالن‌های C و D می‌توان برای مترکشی کامل طول مستقیم AB استفاده نمود.



نگاره ۱۰– ژالن گذاری در امتدادهای دارای مانع

٤– تصحیحات در مترکشی

صرفنظر از خطاهای اتفاقی که همواره وجود دارند و نمی‌توان آنها حذف نمود، تعدادی خطای سیستماتیک در مترکشی وجود دارد که بسته به حساسیت کار باید تصحیح گردند. برخی از این تصحیحات عبارتند از:

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

- تصحیح ناشی از اختلاف بین طول اسمی و طول واقعی نوار
- تصحیح ناشی از خروج ژالن از امتداد مستقیم
- تصحیح ناشی از وجود شیب در منطقه کاری
- تصحیح ناشی از کمانی شدن نوار
- تصحیح ناشی از تغییرات دمای محیط کار
- تصحیح ناشی از تغییر کشش نوار
- تصحیح تبدیل به سطح مبنا

٤-١- تصحیح طول واقعی نوار

چنانچه طول واقعی نوار l_t و طول اسمی آن l_n و اختلاف بین آنها δl باشد، در این صورت رابطه زیر برقرار می‌باشد.

$$l_t = l_n + \delta l = l_n\left(1+\frac{\delta l}{l_n}\right) \qquad (۸)$$

که در آن $C_L = \frac{\delta l}{l_n}$ معروف به تصحیح واحد طول است. بنابراین برای هر طول دلخواه اندازه‌گیری شده مانند L_n، طول تصحیح شده متناظر با آن (L_t) از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$L_t = L_n\left(1+\frac{\delta l}{l_n}\right) = L_n \times \frac{l_t}{l_n} \qquad (۹)$$

به عنوان مثال برای دستیابی به دقت نسبی ۱/۵۰۰۰ با استفاده از یک متر نواری ۳۰ متری، اختلاف بین طول اسمی و طول واقعی نوار نباید از ۶ میلی متر تجاوز نماید. با فرض فوق اگر فاصله بین دو نقطه ۱۲۰.۵۱۰ متر اندازه‌گیری شود، تصحیح مربوط به طول واقعی نوار ۰.۰۲۳ متر خواهد شد و طول تصحیح شده ۱۲۰.۶۰۲ متر به دست می‌آید.

٤-٢- تصحیح خروج ژالن از امتداد مستقیم

چنانچه مقدار انحراف ژالن از امتداد مستقیم را در d به ازای طول L در نظر بگیریم، تصحیح مربوط به آن برای طول l از رابطه تقریبی زیر تعیین می‌گردد.

$$C_A = -\frac{d^2}{2L} \qquad (۱۰)$$

به عنوان مثال برای دستیابی به دقت نسبی ۱/۵۰۰۰ با استفاده از یک متر نواری ۳۰ متری، انحراف ژالن (انحراف انتهای متر) از امتداد مستقیم نباید از ۰.۶ متر تجاوز نماید. با فرض فوق، مقدار تصحیح خروج ژالن از امتداد مستقیم ۰.۰۰۶- متر به دست می‌آید.

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

٤-٣- تصحیح شیب زمین

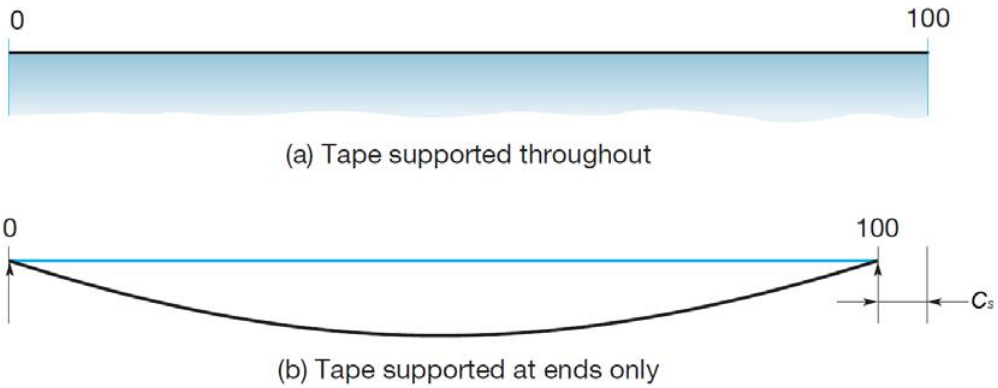
چنانچه اختلاف ارتفاع بین دو نقطه Δh و طول بین آنها L باشد، در این صورت تصحیح شیب از رابطه تقریبی زیر به دست می‌آید. در واقع این تصحیح ناشی از افقی نگرفتن امتداد متر نواری در حین اندازه‌گیری است (یعنی فاصله در امتداد شیب زمین اندازه‌گیری شده‌است).

$$C_G = -\frac{\Delta h^2}{2L} \qquad (۱۱)$$

به عنوان مثال برای دستیابی به دقت نسبی ۱/۵۰۰۰ با استفاده از یک متر نواری ۳۰ متری و اندازه‌گیری بر روی شیب زمین، اختلاف ارتفاع مجاز بین ابتدا و انتهای متر نباید از ۰.۶ متر تجاوز نماید. با فرض فوق، مقدار تصحیح شیب ۰.۰۰۶- متر به دست می‌آید.

٤-٤- تصحیح کمانی شدن نوار

وزن نوار مترکشی بسته به جنس آن و طول نوار بگونه‌ای است که باعث کمانی شدن آن (بویژه در قسمت میانی) می‌گردد و در واقع اندازه‌گیری در راستای کاملا افقی انجام نمی‌گیرد (نگاره ۱۱). تصحیح مربوط به این خطا از رابطه زیر به دست می‌آید.



نگاره ۱۱- تصحیح ناشی از کمانی شدن نوار

$$C_S = -\frac{(mg)^2 L^2}{24F^2} \qquad (۱۲)$$

که در آن m جرم یک متر نوار بر حسب کیلوگرم، g شتاب ثقل زمین بر حسب متر بر مجذور ثانیه، L طول نوار بین دو نقطه بر حسب متر و F نیروی کشش اعمال شده به دو سر نوار بر حسب نیوتن است.

به عنوان مثال برای یک متر نواری ۳۰ متری تحت شرایط نیروی کشش ۱۱۰ نیوتن و جرم یک متر نوار ۰.۰۳۱۲ کیلوگرم، تصحیح کمانی شدن نوار ۰.۰۰۸۷- متر به دست می‌آید.

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

٤-٥- تصحیح تغییرات دمای محیط کار

همه نوارهای مترکشی تحت شرایط آزمایشگاهی، بویژه حرارت و نیروی کشش معینی، دارای طول واقعی هستند. این در حالی است که تقریبا هیچگاه امکان فراهم‌سازی شرایط آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری‌ها وجود ندارد. بنابراین ضرورت دارد که تاثیر اختلاف دمای محیط کار با شرایط آزمایشگاهی بر روی طول نوار و نهایتا مسافت اندازه‌گیری شده در نظر گرفته شود. تصحیح مربوط به تغییر دمای محیط کار نسبت به دمای استاندارد کارخانه سازنده نوار از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$C_T = k(T - T_0)L \qquad (۱۳)$$

که در آن k ضریب انبساط طولی نوار، T دمای زمان اندازه‌گیری بر حسب سلسیوس، T_0 دمای استاندارد کارخانه سازنده نوار سلسیوس و L طول مورد اندازه‌گیری بر حسب متر است.

٤-٦- تصحیح تغییر کشش نوار

همانطور که تغییر دمای محیط کار نسبت به دمای استاندارد کارخانه سازنده نوار باعث تغییر در طول واقعی نوار می‌شود، تغییر در نیروی کششی اعمال شده بر نوار نسبت به نیروی استاندارد کارخانه سازنده نوار نیز باعث تغییر در طول نوار و نهایتا تغییر در مسافت مورد اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین رابطه این نوع تصحیح نیز به صورت زیر بیان می‌گردد.

$$C_P = (P - P_0)\frac{L}{AE} \qquad (۱۴)$$

که در آن P نیروی کشش در زمان اندازه‌گیری بر حسب نیوتن، P_0 نیروی کشش مورد نظر در کارخانه سازنده نوار بر حسب نیوتن، L طول مورد اندازه‌گیری بر حسب متر، A سطح مقطع نوار بر حسب میلی متر مربع و E ضریب الاستیسیته بر حسب نیوتن بر میلی متر مربع است.

٤-٧- تبدیل به سطح مبنا

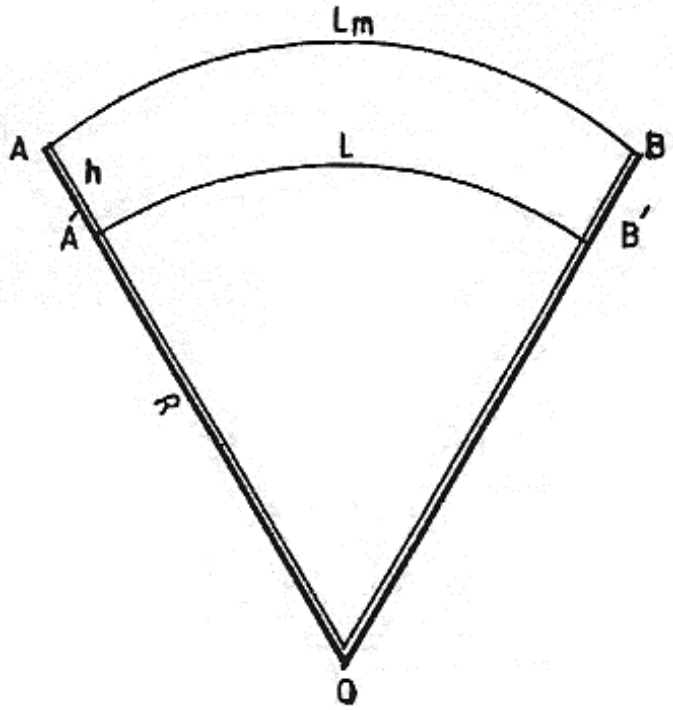
برای پرهیز از پیچیدگی مسئله، فرض کنید فاصله بین دو نقطه مانند A و B در سطح افق با ارتفاع h برابر L_m باشد و زمین نیز کروی شکل با شعاع R در نظر گرفته شود. مطابق نگاره ۱۲، تصاویر نقاط A و B بر روی سطح مبنای مسطحاتی (یا ارتفاعی) می‌باشند و بنابراین تصحیح مربوط به تبدیل طول مورد نظر (C_D) بر روی سطح مبنا (یا انتقال طول از روی زمین به سطح مبنا) به کمک روابط زیر به دست می‌آید.

$$\frac{L}{L_m} = \frac{R}{R+h} \qquad (۱۵)$$

$$L = L_m \frac{R}{R+h} \qquad (۱۶)$$

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

$$C_D = L - L_m = L_m\left(\frac{R}{R+h} - 1\right) \qquad (۱۷)$$



نگاره ۱۲- تبدیل طول از سطح زمین به سطح مبنا

۵- انتشار خطاها در مترکشی

چنانچه خطای سیستماتیک اندازه‌گیری در هر دهنه مترکشی (برابر طول نوار) δl و فاصله بین دو نقطه A و B برابر L_{AB} باشد، در این صورت خطای سیستماتیک اندازه‌گیری مسافت مورد نظر در n دهنه از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$\Delta L_{AB} = \sum_{i=1}^{n} \delta l = n \times \delta l \qquad (۱۸)$$

همچنین بنابر فصل ۳ (مروری بر نظریه خطاها)، چنانچه اندازه‌گیری فاصله بین دو نقطه A و B (L_{AB}) با یک نوار به طول l در n دهنه اندازه‌گیری شود و دقت اندازه‌گیری هر دهنه σ_l در نظر گرفته شود، دقت فاصله مورد از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\sigma_{L_{AB}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \sigma_l^2} = \sqrt{n} \times \sigma_l \qquad (۱۹)$$

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

فصل پنجم

ترازیابی

یکی دیگر از مهمترین کمیت‌های مورد اندازه‌گیری در مهندسی نقشه‌برداری که منجر به تعیین ارتفاع نقاط می‌شود، اختلاف ارتفاع بین نقاط است. منظور از ترازیابی در مهندسی نقشه‌برداری در اغلب اوقات همان اختلاف‌ارتفاع‌یابی است که با دستگاه‌ها و روش‌های مختلف امکان پذیر است. واژه تراز به سطح تراز یا سطح هم پتانسیل اشاره دارد و بنابراین منظور واقعی از ترازیابی اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل بین دو نقطه است که تعبیر هندسی آن اختلاف فاصله بین سطوح تراز گذرنده از دو نقطه مورد نظر است. با این توضیح اختلاف ارتفاع هندسی بین دو سطح تراز در همه جا یکسان نیست و با توجه به تغییرات میدان ثقل زمین دچار نوسان می‌شود. در این فصل تلاش می‌شود تا موضوع ترازیابی و تصحیحات و انتشار خطاها در آن به روش‌های گوناگون شامل روش‌های مستقیم و غیر مستقیم مورد بررسی قرار گیرد.

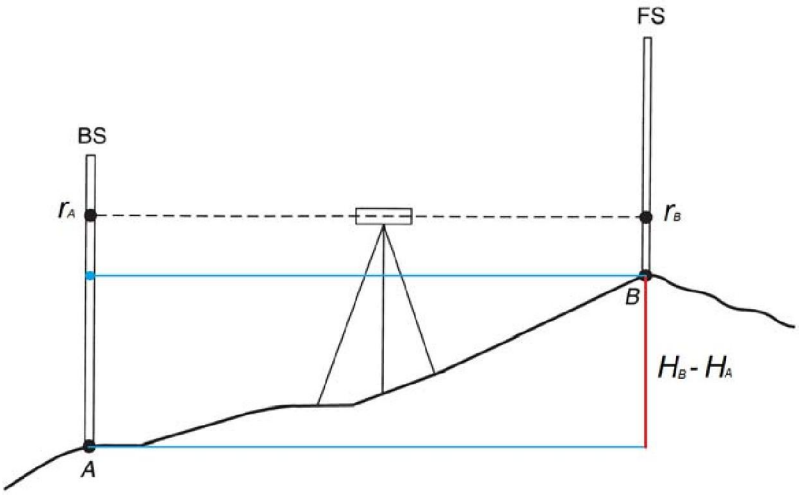
۱- ترازیابی مستقیم (ترازیابی هندسی یا ژئودتیک)

روش مستقیم اندازه‌گیری ارتفاع یا اختلاف ارتفاع به گونه‌ای است که بتوان با مقایسه مستقیم یک طول معلوم و استاندارد در راستای قائم (شاقولی) و ارتفاع یا اختلاف ارتفاع مجهول، مقدار آن را برآورد نمود. ترازیابی مستقیم یا هندسی مشتمل بر اندازه گیری اختلاف ارتفاع بین دو نقطه بر روی یک خط دارای دید افقی در سطح زمین است. در روش مستقیم یا ترازیابی هندسی از یک دستگاه ترازیاب و معمولا دو عدد شاخص مدرج استفاده می‌شود. مطابق نگاره ۱ در این روش ترازیاب در محلی که دو عدد شاخص قائم مستقر بر روی دو نقطه مانند A (شاخص عقب BS) و B (شاخص جلو FS) دیده شوند (معمولا در وسط آنها) استقرار می‌یابد. سپس در حالت کاملا تراز به دو شاخص مذکور نشانه‌روی کرده و دو عدد r_A (b_{AB}) و r_B (f_{AB}) قرائت و یاداشت می‌شوند. با کم کردن قرائت شاخص عقب، r_A (b_{AB})، از شاخص جلو، r_B (f_{AB})، به مقدار اختلاف ارتفاع بین دو نقطه A و B می‌رسیم. از آنجا که هدف نهایی از ترازیابی دستیابی به ارتفاع نقاط است، لذا ترازیابی باید از یک نقطه که ارتفاع آن از سطح مبنای ارتفاعی معلوم است به سوی نقطه مجهول انجام شود. در این مسئله ارتفاع نقطه A معلوم و ارتفاع نقطه B مجهول در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، ارتفاع نقطه B با اضافه نمودن اختلاف ارتفاع اندازه‌گیری شده (ΔH_{AB}) به ارتفاع نقطه A تعیین می‌گردد.

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = r_A(b_{AB}) - r_B(f_{AB}) \qquad (۱)$$

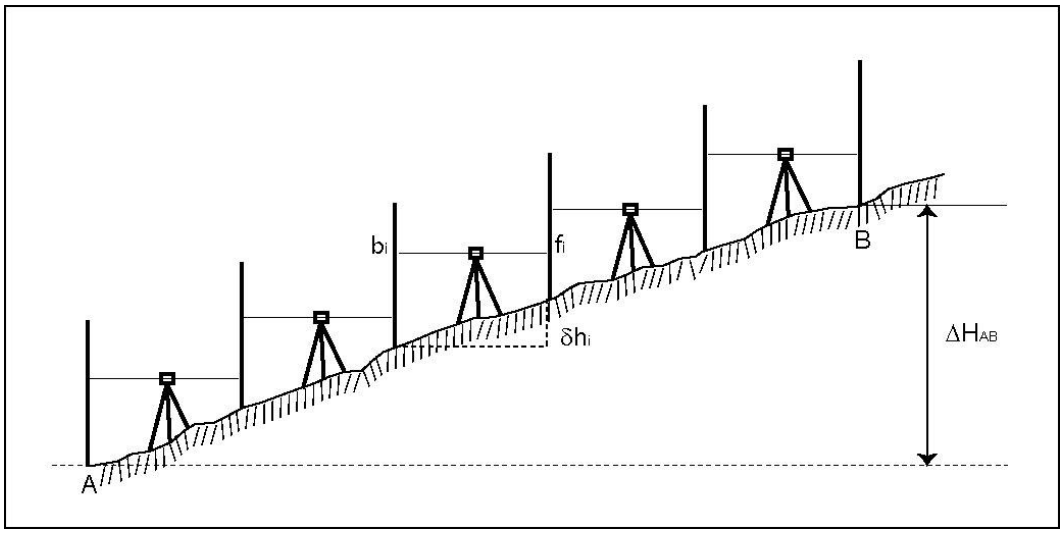
سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB} \qquad (۲)$$



نگاره ۱– اساس ترازیابی مستقیم در یک دهنه

به دلیل فاصله زیاد بین دو نقطه یا وجود مانع بین آنها و یا شیب زیاد بین آنها، معمولا انـدازه‌گیـری اخـتلاف ارتفاع بین دو نقطه با یک دهنه تنها و یکبار استقرار ترازیاب به اتمام نمی‌رسد و بناچار باید آن را به چند دهنه متوالی تقسیم و سپس ترازیابی را به صورت تدریجی اجرا نمود. بنابراین مجموع اختلاف ارتفاعات اندازه گیری شده در امتداد یک مسیر ترازیابی منجر به تعیین ارتفاع یک نقطه نسبت به نقطه اولیه می شود (نگاره ۲).



نگاره ۲– اساس ترازیابی تدریجی ژئودتیک یا هندسی

در چنین حالتی که اغلب مواقع با آن روبرو هستیم، اختلاف ارتفاع بین هر دو نقطه دلخواه ماننـد A و B کـه اصطلاحا یک قطعه ترازیابی را تشکیل می دهند، از رابطه ساده زیر به دست می‌آید.

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

$$\Delta H_{AB} = \sum_{i=1}^{N} \delta h_i = \sum_{i=1}^{N} b_i - \sum_{i=1}^{N} f_i = \sum_{i=1}^{N} (b_i - f_i) \quad (۳)$$

که در آن:

N : تعداد استقرارها در یک قطعه ترازیابی

δh_i: اختلاف ارتفاع i امین استقرار (دهنه i ام)

b_i : قرائت عقب در i امین استقرار (دهنه i ام)

f_i : قرائت جلو در i امین استقرار (دهنه i ام)

دقت مورد انتظار در ترازیابی به لوازم و تجهیزات مورد استفاده و شیوه اجرایی و پردازش‌های صورت گرفته بر روی اندازه گیری های خام بستگی دارد. برای دستیابی به یک ترازیابی با دقت بالا، قطعات (sections) یک خط ترازیابی بصورت یک رفت $(A \to B)$ و یک برگشت $(B \to A)$ اندازه گیری می شوند. به این ترتیب هر قطعه شامل دو اندازه گیری است که ابتدا با یکدیگر مقایسه (آنالیز کیفیت ترازیابی) و سپس میانگین آنها به عنوان اختلاف ارتفاع نهایی آن قطعه در نظر گرفته می شوند.

در برخی موارد که نیاز به دقت بالا نمی‌باشد، از نقاط میانی نیز استفاده می‌شود که هیچگونه کنترلی بر روی آنها انجام نمی‌گیرد. نقاط میانی همانطور که نامشان پیداست، نقاطی بین شاخص‌عقب و جلو هستند و تنها یکبار بر روی این نقاط اندازه‌گیری انجام می‌شود. قرائت‌های انجام شده بر روی این نقاط در ستونی جداگانه یاداشت می‌شوند و در محاسبات نقش قرائت‌های جلو را خواهند داشت. یکی از موارد کاربرد چنین شیوه‌ای که اصطلاحا ترازیابی شعاعی نامیده می‌شود، در برداشت‌های نیمرخ‌های طولی و عرضی است.

۲- ترازیابی غیرمستقیم (مثلثاتی)

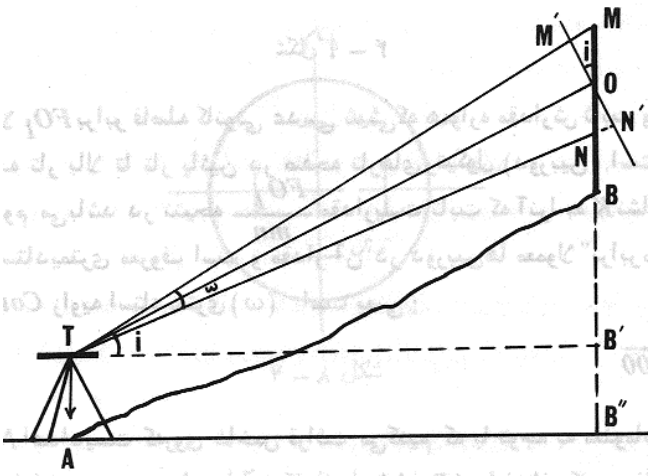
بر خلاف ترازیابی مستقیم، در این روش اختلاف ارتفاع به صورت مستقیم مورد سنجش قرار نمی‌گیرد و بر پایه اندازه‌گیری کمیت‌های دیگری مانند طول و زاویه و بکار گیری یکسری روابط و معادلات مقدار آن برآورد می‌شود.

مطابق فصل قبل در بخش فاصله‌یابی مثلثاتی می‌توان رابطه زیر را به عنوان طول شیب‌دار بین دو نقطه دلخواه مانند A و B در نظر بگیریم (نگاره ۳).

$$D = K \times MN \times \cos i \quad (۴)$$

که در آن MN فاصله بین تصویر تار بالا و پایین بر روی شاخص و i زاویه شیب نسبت به سطح افق است.

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM



نگاره ۳- اساس ترازیابی مثلثاتی

حال با توجه به نگاره ۳ می‌توان دابطه زیر را برای تعیین اختلاف ارتفاع بین دو نقطه A و B به دست آورد.

$$\Delta H_{AB} = D\sin i + h_i - h_t \qquad (۵)$$

$$\Delta H_{AB} = K \times MN \times \cos i \sin i + h_i - h_t = \frac{1}{2} K \times MN \times \sin 2i + h_i - h_t$$

۳- ترازیابی فشارسنجی

ازآنجا که فشار هوا رابطه معکوس با ارتفاع دارد، از تغییرات فشار هوا می توان به ارتفاع نقاط پی برد. هر چند ارتفاع حاصل از این روش فاقد ارزش مهندسی است و تنها در کارهای غیردقیق مورد استفاده قرار می‌گیرد، لیکن این روش معروف به ترازیابی فشارسنجی است.

رابطه تقریبی زیر یکی از روابطی است برای تعیین اختلاف ارتفاع (بر حسب متر) بر اساس اندازه‌گیری فشار و دمای هوا ارئه شده‌است.

$$\Delta H_{AB} = 18400\left(1 + \frac{T}{273}\right)\log\frac{P_A}{P_B} \qquad (۶)$$

که در آن T میانگین دما در نقاط A و B بر حسب درجه سلسیوس، و P_A و P_B به ترتیب فشار هوا در نقاط A و B بر حسب میلی‌متر جیوه است.

٤- تصحیحات و خطاها در ترازیابی

علیرغم آسان بودن اساس کار ترازیابی مستقیم، به منظور به حداقل رساندن منابع مختلف خطاهای سیستماتیک، لازم است تصحیحات مربوط تا حد امکان انجام گیرند. صرفنظر از خطاهای اتفاقی که همواره

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

وجود دارند و نمی‌توان آنها حذف نمود، تعدادی منبع خطای سیستماتیک در ترازیابی مستقیم وجود دارد که بسته به حساسیت کار باید مورد توجه و تصحیح قرار گیرند. برخی از منابع این خطاها عبارتند از:

- حساسیت تراز
- کرویت یا انحنای سطح زمین
- انکسار نور
- کلیماسیون ترازیاب (عدم تنظیم بودن محور قراولروی)

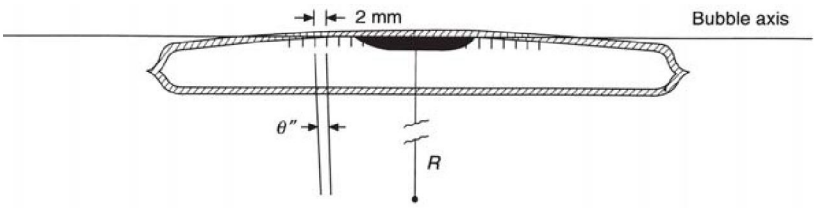
٤-١- حساسیت تراز

ترازهای لوله‌ای یا استوانه‌ای یکی از متداولترین ترازهایی هستند که به کمک آنها دستگاه‌های نقشه‌برداری و بویژه ترازیاب‌ها تراز می‌شوند. این نوع ترازها که در واقع کمان کوچکی از یک دایره بزرگ می‌باشند، دارای خطوط درجه‌بندی هستند که در حالت تراز کامل، حباب تراز باید در بالاترین قسمت و در وسط خطوط قرار بگیرد (نگاره ۴). فاصله بین این خطوط درجه‌بندی معمولا ۲ میلی‌متر است که یک کمان بسیار کوچکتری را از دایره تراز تشکیل می‌دهد. به زاویه مربوط به این کمان بسیار کوچک اصطلاحا حساسیت تراز گفته می‌شود. هرچه شعاع دایره تراز بزرگتر باشد، زاویه مربوط به کمان ۲ میلی‌متری نیز کوچکتر و در نتیجه حساسیت تراز نیز بیشتر می‌شود. در واقع هرچه شعاع دایره تراز بزرگتر باشد، مقدار جابجایی حباب تراز نیز بیشتر خواهد شد. با داشتن R شعاع دایره تراز بر حسب متر و d_s فاصله درجه‌بندی تراز بر حسب متر، می‌توان مقدار حساسیت تراز θ را بر حسب رادیان به صورت زیر به دست آورد.

$$\theta = R \times d_s \qquad (۷)$$

برای تبدیل واحد θ از رادیان به ثانیه، کافیست ضریب تبدیل ۲۰۶۲۶۵.۴ را در سمت راست رابطه (۷) ضرب نماییم.

$$\theta'' = 206265.4(R \times d_s) \qquad (۸)$$



نگاره ۴- حساسیت تراز

بنابراین یکی از منابع خطاها در تراز یابی عدم تراز کامل ترازیاب است که با توجه به فاصله ترازیاب تا شاخص می تواند موجب خطا در اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع شود. ترازیاب‌هایی که فاقد تراز استوانه‌ای هستند

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

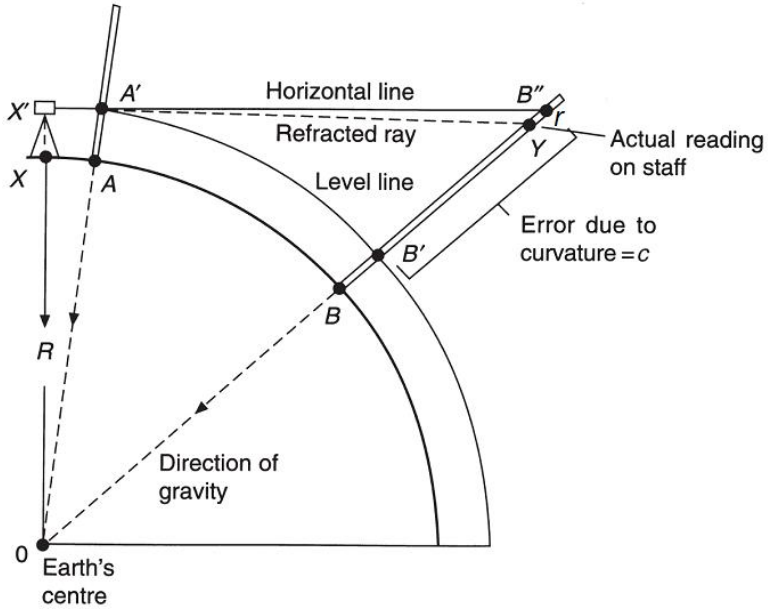
و تنها دارای تراز کروی می‌باشند، به مراتب از خطای بزرگتری برخوردار خواهند بود زیرا معمولا شعاع کره تراز کوچکتر از شعاع دایره تراز می‌باشد.

٤-٢- کرویت یا انحنای سطح زمین

همانطورکه در ابتدای فصل گفته شد، منظور از اختلاف ارتفاع همان اختلاف پتانسیل بین دو سر مسیر ترازیابی است. از طرفی سطح تراز یا سطح هم پتانسیل، کم و بیش از شکل زمین پیروی کرده و بنابراین دارای انحنا است. این در حالی است که خط دید ترازیابی مستقیم بوده و منطبق بر انحنای سطح تراز گذرنده از نقطه استقرار نیست. لذا هرچه نقطه نشانه‌روی دورتر باشد، اثر ناشی از این پدیده هم بیشتر نمایان می‌گردد (نگاره ۵). چنانچه فاصله بین ترازیاب و شاخص را D و شعاع میانگین زمین را R در نظر بگیریم، رابطه تقریبی زیر تصحیح مربوط به اثر کرویت را به دست می‌دهد.

$$C_c \cong \frac{D^2}{2R} \qquad (۸)$$

برای دستیابی به اختلاف ارتفاع عاری از خطای کرویت، تصحیح فوق باید از قرائت شاخص مورد نظر کم شود. در صورتیکه فاصله ترازیاب از شاخص‌های جلو و عقب برابر باشد، تصحیح کرویت نیز برای هر دو شاخص یکسان می‌شود و در نتیجه مطابق رابطه (۱)، خطای مورد بحث هیچ تاثیری بر روی اختلاف ارتفاع بین دو نقطه نخواهد داشت. در این صورت دیگر نیازی به محاسبه تصحیح کرویت و پاکسازی مشاهدات از این خطا نیست.



نگاره ۵- اثر کرویت و انکسار نور در ترازیابی

٤-٣- انکسار نور

علاوه بر اینکه خط دیدگانی از انحنای زمین تبعیت نمی‌کند، به دلیل عبور آن از لایه‌های مختلف جو به تدریج شکسته می‌شود و به جای یک خط مستقیم تبدیل به یک خط منحنی می‌گردد (نگاره ۵). بنابراین عددی که روی شاخص قرائت می‌شود تحت تاثیر این پدیده قرار گرفته و نسبت به واقعیت کمی دچار انحراف می‌شود. در شرایط جوی معمولی، اثر این خطا تقریبا $\frac{1}{7}$ اثر کرویت و در جهت مخالف آن است.

$$C_r \cong \frac{D^2}{14R} \qquad (۹)$$

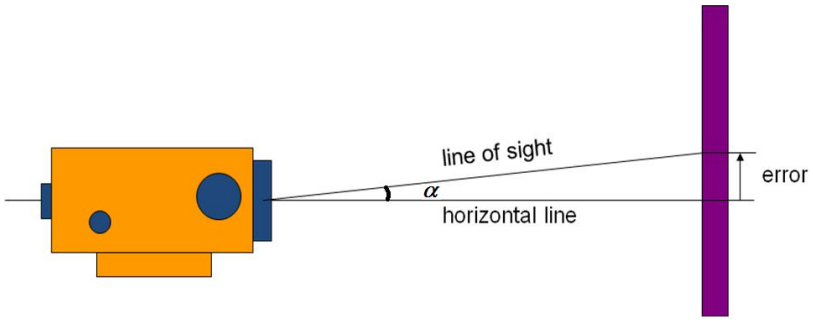
در اینجا نیز اگر فاصله ترازیاب از شاخص‌های جلو و عقب برابر باشد، تصحیح انکسار برای هر دو شاخص یکسان می‌شود و در نتیجه مطابق رابطه (۱)، خطای مورد بحث هیچ تاثیری بر روی اختلاف ارتفاع بین دو نقطه نخواهد داشت. در این صورت دیگر نیازی به محاسبه تصحیح انکسار و پاکسازی مشاهدات از این خطا نیست.

معمولا اثر کرویت و انکسار به صورت یکجا در نظر گرفته می‌شود، بنابراین با توجه به رابطه‌های (۸) و (۹) به رابطه جدید زیر می‌رسیم.

$$C_{cr} \cong C_c - C_r = \frac{D^2}{2R} - \frac{D^2}{14R} = \frac{3D^2}{7R} \qquad (۱۰)$$

٤-٤- کلیماسیون ترازیاب

اساس کار تمام ترازیاب‌ها بر پایه قرار داشتن محور دیدگانی ترازیاب در سطح تراز نقطه استقرار یا به عبارت دیگر عمود بودن محور دیدگانی بر راستای شاقولی دستگاه است. به انحراف محور دیدگانی از سطح تراز کلیماسیون گویند که در صورت وجود یک زاویه بسیار باریک (α) است (نگاره ۶). چنانچه کلیماسیون ترازیاب از قبل مشخص باشد، می‌توان اثر آن را بر روی قرائت شاخص‌ها مشابه حساسیت تراز محاسبه و سپس تصحیح نمود. اما از آنجا که این خطا ثابت نیست و با گذشت زمان دچار تغییر و نوسان می‌شود، لازم است ترازیاب‌ها را به طور مرتب مورد بازدید قرار داد و در صورت وجود چنین خطایی آن را به روش محاسباتی، صحرایی یا آزمایشگاهی تصحیح یا حذف نمود. یکی از راه‌های صحرایی برای تشخیص و تعیین مقدار کلیماسیون دستگاه ترازیاب بکارگیری روش زیر است.



نگاره ۶- اثر کرویت و انکسار نور در ترازیابی

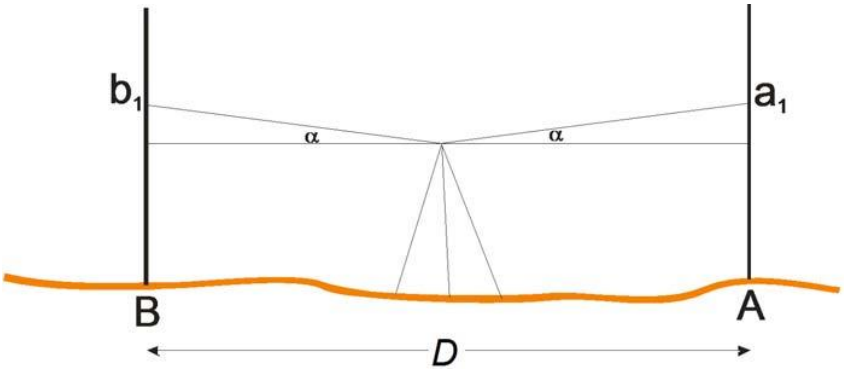
سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

دو نقطه مانند A و B را در یک منطقه صاف با فاصله D از یکدیگر انتخاب کرده و با استقرار ترازیاب در وسط آنها، اختلاف ارتفاع دقیق بین آنها (ΔH_{AB}) که عاری از خطاهای کرویت، انکسار و کلیماسیون هست، به دست می‌آید (نگاره ۷). حال ترازیاب را از وسط شاخص‌ها به عقب شاخص A در فاصله کوتاهی مانند d قرار می‌دهیم (نگاره ۸). اگر ترازیاب فاقد خطای کلیماسیون باشد قرائت شاخص‌های A و B، یعنی a و b، صحیح هستند و نیاز به هیچگونه تصحیح ندارند (نگاره ۸). اما در صورتیکه ترازیاب دارای کلیماسیون باشد، به جای قرائت‌های a و b دو قرائت دیگر مانند a_2 و b_2 انجام می‌شوند (نگاره ۸). در این صورت اثر خطای کلیماسیون روی قرائت شاخص A به اندازه $e_1 = a_2 - a$ و شاخص B به اندازه $e_2 = b_2 - b$ خواهد بود (نگاره ۸). حال بدون توضیح ولی با توجه به نگاره ۸ مراحل مربوط به محاسبه خطای کلیماسیون را در ادامه می‌بینیم.

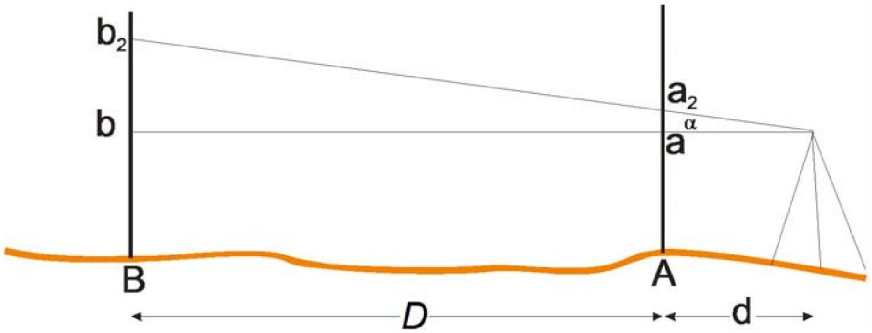
$$\Delta H_{AB} = (a_2 - \alpha \cdot d) - (b_2 - \alpha(d + D)) \qquad (۱۱)$$

$$\Delta H_{AB} = a_2 - b_2 + \alpha D \qquad (۱۲)$$

$$\alpha = \frac{\Delta H_{AB} - (a_2 - b_2)}{D} \qquad (۱۳)$$



نگاره ۷- خطای کلیماسیون در حالتی که ترازیاب در وسط شاخص‌های A و B قرار گرفته است



نگاره ۸- خطای کلیماسیون در حالتی که ترازیاب عقب شاخص B قرار گرفته است

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

۵- سرشکنی خطاها در ترازیابی

هر چند تلاش می‌شود که هیچ اثری از خطاهای سیستماتیک بر روی اندازه‌گیری‌ها باقی نماند، لیکن این موضوع در عمل تحقق پیدا نمی‌کند و بخشی از آنها در اندازه‌گیری‌ها باقی می‌مانند. علاوه بر این، حتی اگر اثر خطاهای سیستماتیک نیز به صفر برسد، هنوز خطاهای اتفاقی وجود دارند. همانطورکه قبلا گفته شد، برای دستیابی به یک ترازیابی با دقت بالا و مطمئن، مسیر ترازیابی مورد نظر بصورت یک رفت ($A \to B$) و یک برگشت ($B \to A$) یا به صورت یک حلقه بسته اندازه‌گیری می‌شود. به این ترتیب با مقایسه اختلاف ارتفاع رفت و برگشت متوجه تفاوت بین آنها می‌شویم. این اختلاف ناشی از همان خطاهای سیستماتیک باقیمانده و خطاهای اتفاقی موجود در اندازه‌گیری‌هاست. بنابراین در صورتیکه اختلاف مجاز باشد، باید آن را به طور عادلانه بین اندازه‌گیری‌ها تقسیم نمود تا نتیجه رفت و برگشت یکسان شود. به این عمل در نقشه‌برداری سرشکنی اتلاق می‌گردد. ساده‌ترین حالت ممکن در سرشکنی یک مسیر ترازیابی تقسیم مقدار اختلاف به تعداد دهنه‌های ترازیابی مسیر و اعمال آن با علامت مخالف به اختلاف ارتفاع هر دهنه است. از آنجا که اختلاف ارتفاع نهایی یک مسیر از مجموع تدریجی اختلاف ارتفاع‌های هر دهنه به دست می‌آید، لذا تصحیح مورد نظر نیز باید به صورت تجمعی اعمال شود تا در آخرین دهنه تصحیح مورد نظر به مقدار اختلاف با علامت مخالف برسد. یادآوری می‌شود در صورت وجود نقاط میانی، هیچگونه تصحیحی برای آنها نباید در نظر گرفته شود. در جدول ۱، می‌توان به طور واضح‌تر یک نمونه سرشکنی برای یک مسیر کوتاه که به صورت رفت و برگشت انجام شده‌است را دید. در این مثال ارتفاع نقطه A از سطح دریا ۱۵۰۰.۰۰۰ متر در نظر گرفته شده‌است و تمام قرائت‌های جلو (**F.S.**) و عقب (**B.S.**) بر حسب میلی‌متر هستند.

جدول ۱- سرشکنی یک مسیر رفت و برگشت ترازیابی

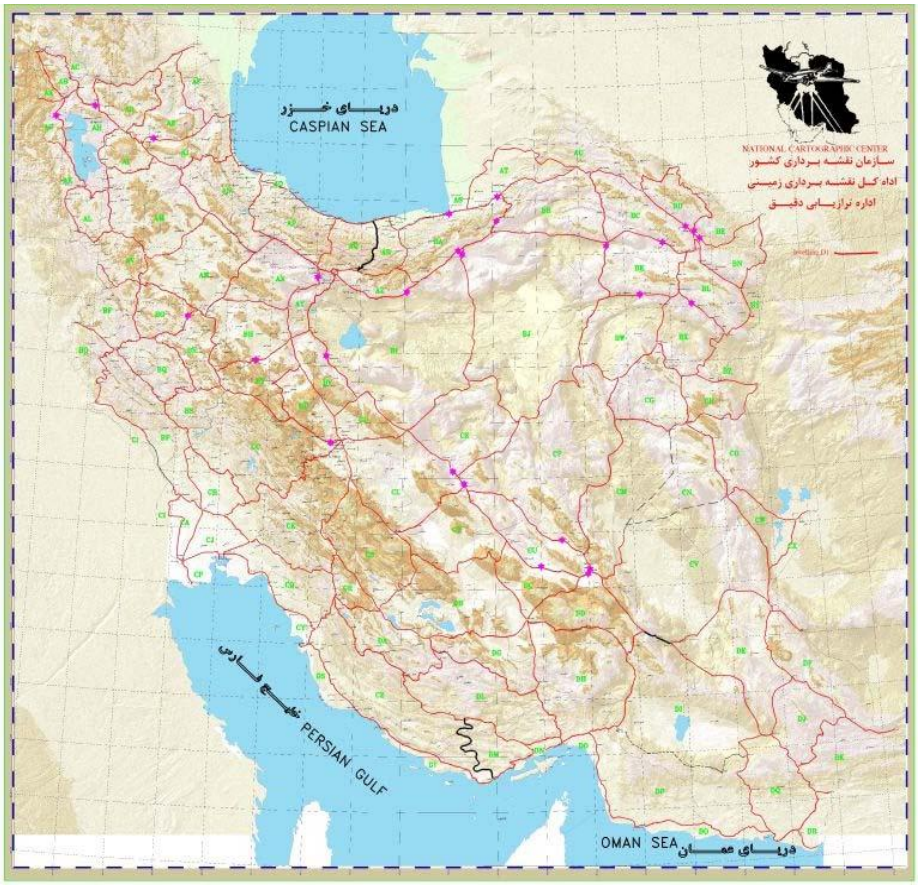
Point No.	B.S.	F.S.	ارتفاع (متر)	تصحیح (متر)	ارتفاع نهایی (متر)
A	2301		1500.000	+0.0000	1500.000
B	2600	0354	1501.947	+0.0024	1501.949
C	1854	0702	1503.845	+0.0047	1503.850
D	1205	2478	1503.221	+0.0071	1503.228
E	1573	1454	1502.972	+0.0095	1502.981
F	2390	1325	1503.220	+0.0119	1503.231
G	0614	1772	1503.838	+0.0142	1503.852
H	0369	2516	1501.936	+0.0166	1501.953
A		2324	1499.981	+0.0190	1500.000

٦- شبکه ترازیابی درجه یک کشور جمهوری اسلامی ایران

اولین شبکه ترازیابی درجه یک کشور جمهوری اسلامی ایران به دلیل نیاز جدی به یک سطح مبنای ارتفاعی ملی برای تهیه نقشه های پوششی در سال ۱۳۵۸ توسط سازمان نقشه برداری کشور (NCC) پایه ریزی شد. این شبکه مشتمل بر ۹۸ لوپ، ۲۳۷ خط ترازیابی به طول تقریبی ۳۰۰۰۰ کیلومتر، حدود ۱۳۰۰۰ نقطه ارتفاعی و بیش از یک میلیون دهنه است (نگاره ۲). تکرار اول این شبکه حدود ۱۷ سال به طول انجامید که یک نقطه ضعف از دیدگاه اجرایی محسوب می شود. شبکه ترازیابی درجه یک برای اولین بار به کمک یک

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM

ترازیاب N3-Wild و یک شاخص انوار اندازه گیری شد. به دلایل خاصی بعضی از خطوط این شبکه دو بار به وسیله این تجهیزات اندازه‌گیری شده‌اند. شبکه ترازیابی درجه یک کشور از سال ها پیش مجدداً به کمک یک ترازیاب رقومی جدید Ziess DINI-12 و یک شاخص بارکدی مورد اندازه گیری قرار گرفته اند که تا تاریخ تهیه این گزارش به اتمام نرسیده است. مطابق دستوالعمل های اجرایی به منظور به حداقل رساندن اختلاف تصویر درجات شاخص، کلیه اندازه گیری ها در فاصله زمانی بین طلوع خورشید و حدود ساعت ۱۰صبح به وقت محلی انجام شده‌اند.



نگاره ۹– شبکه ترازیابی درجه یک ایران

تمام خطوط ترازیابی بصورت مستقل مطابق با قواعد تعبیه شده از سوی انجمن بین‌المللی ژئودزی (IAG) به شکل رفت و برگشت و دقیق ترازیابی شده‌اند. به موجب قواعد پذیرفته شده توسط IAG در سال ۱۹۴۸، اختلاف بین اندازه گیری های رفت و برگشت برای شبکه درجه یک نباید از 3mm/km تجاوز کند. این قاعده تا زمانی معتبر است که طول خط ترازیابی کمتر از چندین ده کیلومتر باشد (Bomford,۱۹۸۰). دقت متوسط خطوط ترازیابی ایران بوسیله معمارزاده (۱۹۹۸) ۱/۴۳mm/km برآورد شده است که نشان از دقت بالای مشاهدات دارد.

سرای دانشجو
SARAYEDANESHJO.COM