



دانشگاه صنعتی
جعفر آباد شهر الدین طوس

جزء دو، نقشه برداری رئسمودتیسک

مهندس علی اکبر عسگریان

د/س آقای دکتر (روح‌الله)

و مهندسی از این کتاب

Modern theodolites and levels

Second edition

M. A. R. Cooper B.Sc., A.R.I.C.S.
The City University, London

۹۷۵۰

پیشت آزاد

۵۳۰۰

پیشت بالست آموزش

اشارات دانشگاه عمران

مقدمه

سا پیشرفت تکنولوژی و با توجه به درخواستهای زیاد جهت اندازه‌گیری‌های بسیار دقیق که هزینه‌های سالانه را نیز دربردارد، سرتاسر مرسی و تجربه و تحلیل اولیه حبّت بروزهای مختلف سقنه‌سازی امری ضروری واجتناب ناپذیرگردیده است، امروزه هر سقنه بردا رقا در است علاوه بر انتخاب وسائل اندازه‌گیری مورد نیاز کار خود را رسن جندین نوع دستگاه طولیاب، زاویه - یاب و ترازیاب طرحها، روشها و تکنیکهای محاسباتی مختلفی را نیز در آجرای بروزه مورد سطح خود مورداستفاده فرازدهد. بعنوان مثال در مسئله مساده‌ای ما نسبتی عیین مختصات یک نقطه مجهول که از نقطه معلوم قابل رویت میباشد طرحها زیرمیتواند بکار گرفته شود:

الف - اندازه‌گیری دو طول از نقطه مجهول به دو نقطه معلوم

ب - اندازه‌گیری دوزاویه از نقطه مجهول به سه نقطه معلوم سا اندازه‌گیری دوزاویه از نقاط معلوم به نقطه مجهول

ج - اندازه‌گیری کلیه طولها و زوایای ممکن بین نقطه مجهول و نقاط معلوم

که یک نقطه بردا علاوه بر تعیین یکی از طرحها فوق میباشد نوع دستگاه و روش اندازه‌گیرها و اندیزهای توجه مختصات برای مختصات نقطه مجهول قبل از شروع کار همراه با تکنیکهای محاسباتی مورداستفاده مشخص نماید، به حال هر انتخابی که صورت مبتدی بر میباشد علاوه برنا میم دقتها مورد درخواست اقتضای شرین روش ممکن سبزیاب شده این دقتها میباشد ساک سرتاسر مرسی و تجربه و تحلیل صحیح امکان پذیر خواهد بود.

با توجه به مطالعه ذکر شده سعی گردیده در این کتاب علاوه بر شناخت دقت وسائل اندازه‌گیری مورداستفاده در سقنه بردازی، روشها مختلف اندازه‌گیری و دقت آنها، انتخاب بهترین طرح براساس افتخادی بودن آن بحث محضری نزاز سرشکنی شبکه‌های سطحی و ارتفاعی نقاط داشته باشیم.

فصل اول

مختصری درباره پخش خطاهای

۱۰۱ - دقت، فاصله اطمینان و حدوداً غماقی (حدمچازخطا).

Accuracy, confidence interval and tolerance limits

خطای کوادراتیک، خطای استاندارد، انحراف معيار، خذخطا مربوط متوسط و خطای مربوط متوسط بیان یا اصطلاحاتی است که معمولاً در گشایی تکمیکی معنوان شمودار های دقت بکاربرده میشوند. مسحول μ (آتا)، σ (زیکما) و m و $k.m.s$ مخفف آین شمودارها بوده که برای این اصطلاحات مورداً استفاده قرار میگیرند. گرچه بعضی نوبندهای سی در فرق گذاشتن بین این اصطلاحات از نظر آماری دارد ولی میتوان بدون ورود به جزئیات آماری بذیرسته این اصطلاحات تفسیرهای متناهی از دقت بیانند. لازم بمندکراست که در این درس انحراف معيار (استاندارد دیویشن Standard Deviation) s مسحول که بعنوان σ دقت بکاربرده میشود. خطاهای اندازه‌گیری ممکن است در اثر خطاهای اتفاقی یا خطاهای سیستماتیک باشند. در این بحث فرض برای این است که فقط خطاهای اتفاقی بر روی اندازه‌گیریها اثر گذاشته و این اندازه‌گیریها عاری از خطاهای سیستماتیک و اشتباهات میباشد. در این حالت است که معنی آماری انحراف معيار مسارت خواهد بود و دقت اسناده‌گیری یک کمیت مانتد (X) که بدن amat زیاد سخور مستقل اندازه‌گیری شده باشد.

با توجه به اثربخشی اتفاقی از نظر آماری بیشترین مسندکه چنانچه میباشد اندازه‌گیریها یک کمیت (X) با دقت سکان اسحاق شده باشد Δ یعنی این اندازه‌ها در فاصله $\Delta - X$ و $X + \Delta$ قرار گرفته و فقط ۳۶٪ از آنها خارج از این فاصله خواهند بود. بعنوان مثال چنانچه متوجه اندازه‌گیری یک طول 1000 ± 0.05 متر و انحراف معيار آن $0.05 = 0.5\%$ میشود که مسند است این مسندان داشت که طول واقعی 1000.45 احتمال دارد که بین فاصله 1000.45 ± 0.05 قرار داشته باشد و با درحالت کلی مسندان نوشته:

$$P(D - \Delta < D < D + \Delta) = 98\%$$

تجزیه و تحلیل آماری شان مسندک مغربهای از یک انتطباق دارد با احتمال زیرا فاصله اطمینان

۹۷.۵٪ مطابقت دارد با 1.975 .

۹۸٪

۹۹٪

۹۹.۹٪

۹۹.۹۹٪

همانطورکه دیده میشود ۶۷۶ خطای است که خطاهای کوچکتر از آن (از لحاظ تدر

مطلق) سراسر همه میاند . این مقدار خطای محتمل نامیده و با میبل m_6 نسبت میدهند . اختیال ۴۹۹ معمولاً در عمل بعنوان حد ناگمل بین خطای انتباوه پذیرفته شده و بعنوان ماگزیم خطای قابل قبول با خدا غما غیر در طرح برای تعیین دقت اندازهگیری ها رعایت میشود . ولی توصیه میشود در طرح و تجزیه و تحلیلهای اولیه خطای در پروژه های نقطه بردازی خدا غما نه برا سر ۳۶ بکار رسد . بعنوان مثال چنانچه تعیین میخواست یک نقطه (A و B) با ماگزیم خطای ۱۵ سانتیمتر موره نظریاب شد برای اطمینان بیشتر طرح و روش اندازهگیریها طوری میباشد که ریزی گردیده در تجزیه و تحلیلها ولیه خطای انتباوه معيار مختصاص مورد دستور (A_۰ ، B_۰) کوچکتر از A و B نباشد .

لازم بسیار داوری است که برنا مه ریزی صحیح یک پروژه نقطه بردازی برآسان دقتها ری مورد درخواست زمانی قابل انجام است که علاوه بر داشتن ارتباط من انتباوه معيار مثا هدایت و مجهولاب (مختصات) اشناخت صحیحی نیز دقت مستگاههای اندازهگیری و روشها مثا هدایت نیز در دست باشد که این مطالب در فصل های آینده موره سخت ترا رخواهد گرفت .

۲ - قانون پخش خطای Error of Propagation law

چنانچه هم نایابی از جنبین اندازهگیری مستقل $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ با انتباوه معيار های $\Delta m_1, \Delta m_2, \Delta m_3, \dots, \Delta m_n$ ساده و پسیدیریم که اندازهگیریها عاری از خطاهای میضمایند و انتباوهای میباشد طبق قانون زیرکه عالیون پخش خطاهای نامیده میشود این حرف معيار، تابع μ (مکا) برابر خواهد بود با :

$$(1.1) \quad \mu = \sqrt{\frac{\Delta m_1^2}{m_1^2} + \frac{\Delta m_2^2}{m_2^2} + \dots + \frac{\Delta m_n^2}{m_n^2}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m_1}{m_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_2}{m_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\Delta m_n}{m_n}\right)^2}$$

که در آن $\frac{\Delta m_1}{m_1}, \frac{\Delta m_2}{m_2}, \dots, \frac{\Delta m_n}{m_n}$ مشتقات جزئی تابع μ نسبت به متغیرهای مستقل $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ بوده و با قراردادن مقادیر اندازهگیری شده قابل محاسبه است . لازم بسیار داوری است که مربع انتباوه معيار هر کمیت μ واریانس آن کمیت را میدهیم .

۳ - قانون کواریانس The Covariance law

اگر بسیدیریم که بردار \vec{Y} ارتباطی خطی با متغیر \vec{X} سورت زیرداشت باشد .

$$\vec{Y} = C\vec{X} \quad \xrightarrow{\text{که در آن}} \quad \vec{Y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{pmatrix} \quad , \quad \vec{X} = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix}$$

طبق قانون ریبرکه به قانون کواریا سن معروف است خواهیم داشت :

$$\sum_{\gamma} = C \Sigma_X C^T$$

چنانچه بردار \vec{Y} ارتباطی غیرخطی با متغیر X داشته باشد بمحور :

$$\vec{Y} = \vec{F}(X) \quad \text{که در آن} \quad \vec{F}(X) = \begin{bmatrix} f_1(X) \\ f_2(X) \\ \vdots \\ f_m(X) \end{bmatrix}$$

با زطبی قانون کواریا سن داریم :

$$\Sigma_{\gamma} = \left[\frac{\partial f_i}{\partial X_j} \right] \sum_X \left[\frac{\partial f_i}{\partial X_j} \right]^T \quad (1.2)$$

مثال ۱ -

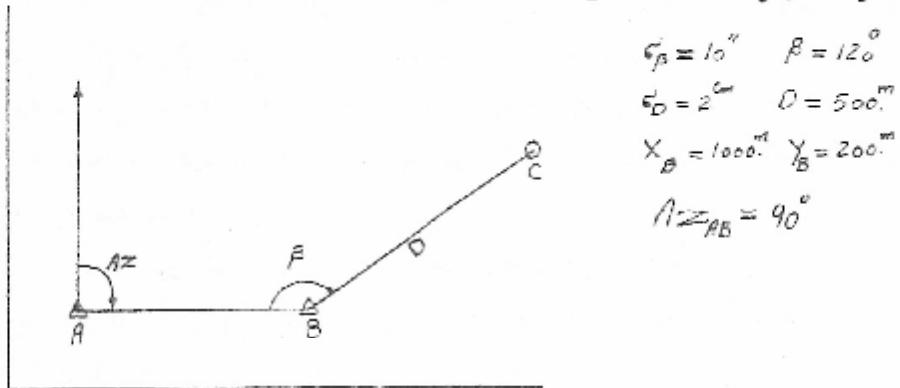
یک طول ۵۰۰ متری $A = 500^m$ را سیله یک سر ۵۰ متری ($d = 50^m$) با انحراف معيار ۵ میلی متر ($\epsilon_d = 5^{mm}$) اندازه گیری شود و با مطلوب انحراف معيار طول اندازه گیری شده .

مثال ۲ -

زاویه β و طول D برای محاسبه مختصات نقطه C اندازه گیری شده است اگر هر کوپل با دقت ۵ ثانیه اندازه گیری شده باشد مطلوب است انحراف معيار زاویه β را که از هر کوپل اندازه گیری شده بسته آیده است .

مثال ۳ -

زاویه β و طول D برای محاسبه مختصات نقطه C اندازه گیری شده است (مطابق شکل) . در صورتی که مختصات A و B و زیمود AB معلوم و بدون خط باشند مطلوب است محاسبه انحراف معيار مختصات نقطه C .



۱ - تجربه و تحلیل اولیه در یک نایع

قانون پخش خط ممکناست سرای شبین دقت اندازه گیریها سیر مکار برد شود بدین معنی که بسطور رسیدن بدقت مورده نیاز در یک نایع که از جدا اندازه گیری مستقل نشکل شده

است با استفاده از قانون پخش خطاهای میتوان دقت اندازه‌گیری‌ها را محض نمود.

بعنوان مثال وقتی در معادله ۱.۱ مقدار β در دست و انحراف معیار آسانه‌گیری‌ها

$(\frac{m_1}{m_2}, \frac{m_2}{m_1}, \frac{m_1}{m_2}, \frac{m_2}{m_1})$ صورت درخواست باشد، البته این مسئله ماده است -

چنانچه نقطه بک مشاهده در تابع تک وجود داشته باشد. اگر مقدار مشاهدات بیش از یک

باشد در نظر گیری و تحلیل اولیه میتوان نتیجه کرد که خطاهای ناشی از هوکدام از مشاهدات

بطور مساوی در بیوجود آوردن خطای تابع $F(\beta)$ پخش شده است یعنی:

$$(1.4) \quad \frac{\delta F}{F} = \left(\frac{\delta m_1}{m_1} + \frac{\delta m_2}{m_2} \right)^2 = \left(\frac{\delta m_1}{m_1} \cdot \frac{\delta m_2}{m_2} \right)^2 = \left(\frac{\delta m_1}{m_1} \cdot \frac{\delta m_2}{m_2} \right)^2$$

که در آن β مقدار مشاهدات میباشد.

حال چنانچه مقادیر ستریبی این مشاهدات در دست باشد (که سوبلے شناسایی مقدماتی

در روی زمین و با ارجاعی گراف باقیت فاصله اندازه‌گیری است) برآختن میتوان مقادیر

انحراف معیار هر یک از مشاهدات را از معادله ۱.۴ محاسبه نمود. باید در نظرداشت که در

این اولین مرحله از بررسی و بیان ممکن است دقت بدست آمده برای سمعی از کمیته‌ای -

مورداً اندازه‌گیری سیار رخوب و قابل دسترس بوده ولی برای بحثی دیگر مثلاً m_2 غیرممکن

غیر انتها دی باشد. در این صورت مقدار β ساتوچه به حداقل قابل دسترس استخاب و

محدود "ساستفاده از معادله ۱.۴ بصورت تقریبی میگردد.

$$(1.5) \quad \frac{\delta F}{F} = \left(\frac{\delta m_1}{m_1} + \frac{\delta m_2}{m_2} \right)^2 = \left(\frac{\delta m_1}{m_1} \right)^2 + \left(\frac{\delta m_2}{m_2} \right)^2$$

چنانچه این نظریه و تحلیل نیاز دهد که دقت مورد شناسایی اکثر کمیته‌ای مورداً اندازه‌گیری

غیرقابل دسترس است در اینصورت درخواست گفته، بروزه باستثنی اطلاع نداده که دقت مورد

درخواست غیرقابل دسترس بوده و باعی آنرا افزایش داد. باعثی در نظرداشت که بررسی

ویژی برای بروزهای بزرگ و شبکه‌های مثبت ممتدی معمولاً سوبلے کامپیوترا نجات ندهد که

در آینده در مورد آنها گفتگو خواهد شد.

مثال ۴ -

طول D در روی سک سطح شبیه دار بین دونقطه با اختلاف ارتفاع $\Delta H = 100$ اندازه‌گیری شده

است، چنانچه طول $D = 500^m$ و بدون خطای قدر نمود مطلوب است حد محاذ خطای اندازه‌گیری

ΔH در صورتیکه انحراف معیار برابر با یک میلی‌متر برای تصحیح تبدیل بافق درخواست باشد

$$(6) \quad \Delta H = 10^m$$

مثال ۵ -

برای تعیین اخلاق ارتفاع بین دونقطه (ΔH) طول D وزاویه β اندازه‌گیری شده باشد

مطلوب است دقت اندازه‌گیری کمیته‌ای D و β در صورتیکه انحراف معیار 5^m برای این اخلاق

$$\beta = 30^\circ \quad D = 500^m$$

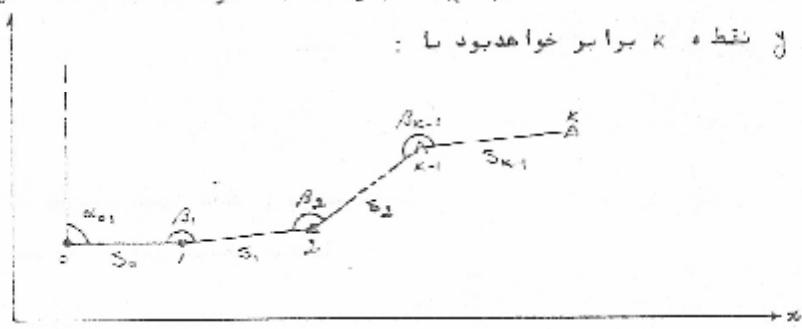
مثال ۶ -

در چرخیان اندازه‌گیری زاویه در نقطه P بعلت وجود موادی علامت تراولی روی در نقطه A دارای خارج از استوکاهی است (مطالعه شکل ۱) . چنانچه حدمجاز خطاب را تصحیح کنید (تصحیح خارج از استوکاهی اندام PB سه برابر 3° باشد مطلوبست تعمیم دقت کمترهاي $w=45^{\circ}$ و $D=1000$ $\rho=10$ سانتیمتر)



۵- بحث خطای دریک پیماش

اگر یک پیماش باز (از نقطه ۰ تا K) مطابق شکل (۱-۱) از دو نقطه معلوم هو : با α - زاویه و $s \rightarrow K$ طول اندازه گیری شده باشد . ممنظور محاسبه خطای موقبیت نقطه δ_{PK} (K) بایستی ابیندا انتزاع معنار بود $\delta_{PK} = \delta_K$ و δ_{PK} (K) نقطه K را مشخص و سپس از روی آن خطای موقبیت نقطه K (δ_{PK}) را محاسبه نمود .
مشخصات x و y نقطه K براسر خواهد بود با :



(۱-۱)

$$x_K = x_0 + s_1 \cos(\alpha_{01} + \beta_1 - 180) - s_2 \cos(\alpha_{01} + \beta_1 + \beta_2 - 2 \times 180) + \dots + s_{K-1} \cos(\alpha_{01} + \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_{K-1} - (K-1) \times 180)$$

(۱-۶)

$$\delta_K = \delta_0 + s_1 \cos(\alpha_{01} + \beta_1 - 180) + s_2 \cos(\alpha_{01} + \beta_1 + \beta_2 - 2 \times 180) + \dots + s_{K-1} \cos(\alpha_{01} + \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_{K-1} - (K-1) \times 180)$$

حال ساخت مدل بودن اندازه گیریها طبق قانون بعث خطاهای خواهیم داشت

$$\delta_{PK}^2 = \left(\frac{\partial x_K}{\partial x_1} \right)^2 \delta_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial x_K}{\partial s_{K-1}} \right)^2 \delta_{s_{K-1}}^2 + \left(\frac{\partial x_K}{\partial \beta_1} \right)^2 \delta_{\beta_1}^2 + \dots + \left(\frac{\partial x_K}{\partial \beta_{K-1}} \right)^2 \delta_{\beta_{K-1}}^2 + \dots + \left(\frac{\partial x_K}{\partial s_1} \right)^2 \delta_{s_1}^2$$

$$\delta_{PK}^2 = \left(\frac{\partial x_K}{\partial \beta_1} \right)^2 \delta_{\beta_1}^2 + \left(\frac{\partial x_K}{\partial x_1} \right)^2 \delta_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial x_K}{\partial s_{K-1}} \right)^2 \delta_{s_{K-1}}^2 + \dots + \left(\frac{\partial x_K}{\partial \beta_{K-1}} \right)^2 \delta_{\beta_{K-1}}^2 + \left(\frac{\partial x_K}{\partial s_1} \right)^2 \delta_{s_1}^2 + \dots + \left(\frac{\partial x_K}{\partial s_{K-1}} \right)^2 \delta_{s_{K-1}}^2$$

که مشتقات جزو آنها عبارتند از :

$$\frac{\partial x_K}{\partial x_1} = \frac{\alpha_{12}}{s_1}, \quad \frac{\partial x_K}{\partial s_{K-1}} = \frac{\alpha_{K-1K}}{s_{K-1}}, \quad \frac{\partial x_K}{\partial \beta_1} = \frac{s_1 \cos(\alpha_{01} + \beta_1 - 180)}{s_1}, \quad \frac{\partial x_K}{\partial \beta_{K-1}} = \frac{s_{K-1} \cos(\alpha_{01} + \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_{K-1} - (K-1) \times 180)}{s_{K-1}}$$

$$\frac{\partial x_K}{\partial s_1} = s_1 \cos \alpha_{12} + s_2 \cos \alpha_{23} + \dots + s_{K-1} \cos \alpha_{(K-1)K} = \delta_{K-1} - \delta_1$$

$$\frac{\partial x_K}{\partial \beta_1} = -s_1 \cos \alpha_{12} + s_2 \cos \alpha_{23} + \dots + s_{K-1} \cos \alpha_{(K-1)K} = \delta_{K-1} - \delta_1$$

$$\frac{\partial x_K}{\partial \beta_2} = s_2 \cos \alpha_{23} + \dots + s_{K-1} \cos \alpha_{(K-1)K} = \delta_{K-1} - \delta_2$$

$$\frac{\partial x_K}{\partial s_{K-1}} = s_{K-1} \cos \alpha_{(K-1)K} = \delta_{K-1} - \delta_{K-1}$$

$$\frac{\partial x_{k+1}}{\partial s_i} = \frac{\partial x_{k+1}}{\partial x_k} \cdot \frac{\partial x_k}{\partial s_i} = \frac{x_{k+1} - x_k}{s_i}$$

$$\frac{\partial x_{k+1}}{\partial s_j} = \frac{\partial x_{k+1}}{\partial x_k} \cdot \frac{\partial x_k}{\partial s_j} = \frac{x_{k+1} - x_k}{s_j}$$

$$\frac{\partial x_{k+1}}{\partial s_{k+1}} = \frac{\partial x_{k+1}}{\partial x_k} \cdot \frac{x_k - x_{k-1}}{s_{k+1}}$$

حال پس از جابگزینی مقادیر فوق در رابطه (۱ - ۷) و خلاصه شودن خواهیم داشت

$$r_{ik}^2 = r_{ik}^2 + \left(\frac{x_k - x_i}{s_i} \right)^2 + \left(\frac{x_k - x_j}{s_j} \right)^2 + \dots + \left(\frac{x_k - x_{k-1}}{s_{k-1}} \right)^2 \quad (1 - 8)$$

$$r_{ik}^2 = r_{ik}^2 + (x_k - x_i)^2 + (x_k - x_j)^2 + \dots + (x_k - x_{k-1})^2 \quad (1 - 9)$$

میدانیم که خطای موقعیت نقطه ۱ برآورده باشد

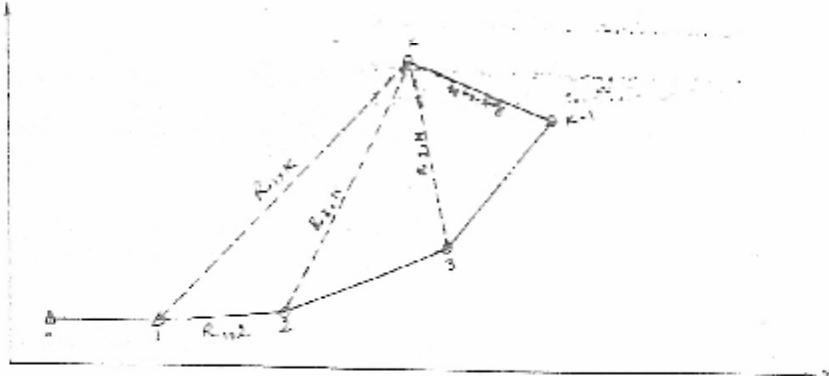
موقعیت نقطه ۲ برآورده باشد

$$r_{ik}^2 = r_{ik}^2 + (x_k - x_i)^2 + (x_k - x_j)^2 + \dots + (x_k - x_{k-1})^2 + r_{jk}^2 + r_{jk}^2 + \dots + r_{j1}^2 \quad (1 - 10)$$

لازم به بادآوری است که مقادیر برابری بکاربرایش ممکنست از روی گرافی به مقیاس بزرگ

که سراسی بینایش مربوطه رسم میگردد مطابق شکل زیر نمودست.

$$R_{ijk}^2 = (x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2$$



شکل (۱ - ۲)

مسئل ۷ - خطای نسبی برای بینایش مستویات مطابق شکل زیر مورد درخواست میباشد
نقشه برداری تصریم گرفته است نام طولهای این بینایش را سوجله دستگاه طولیابی ساخت

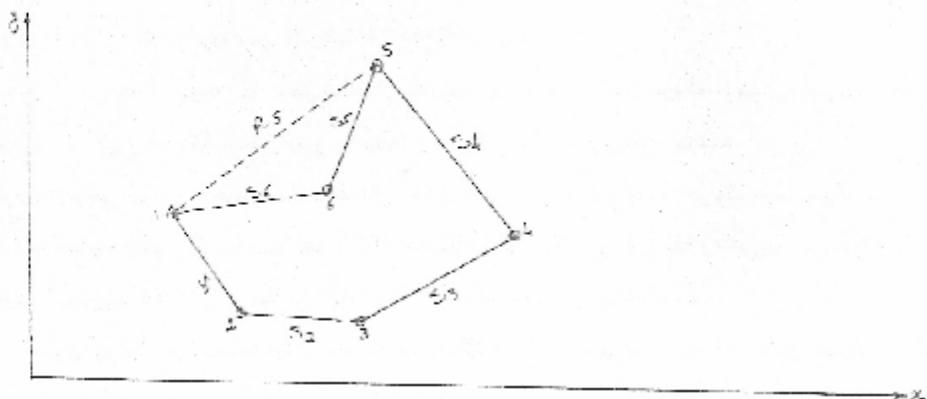
دقت ± 0.5 میکم و زوایای آنرا بادقت $\pm 5^\circ$ اندازه گیری نماید.

حال چنانچه مختصات محلی برای این بینایش مطابق شکل در سطر گرفته شود با فرض معلوم

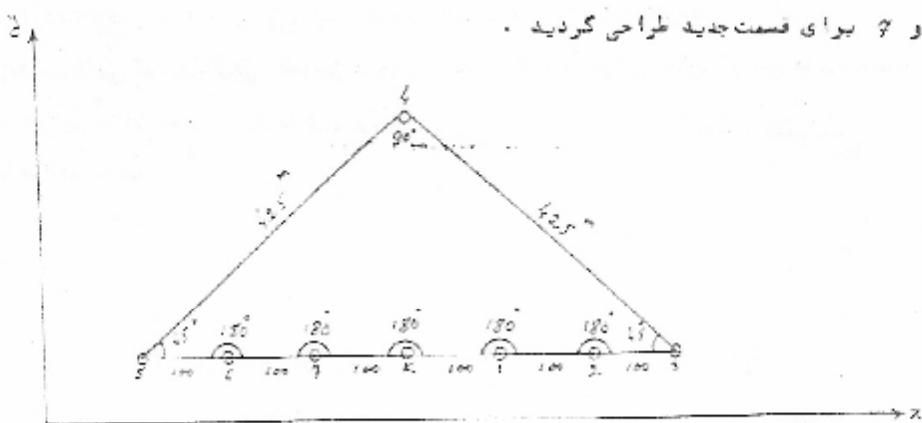
شودن مختصات نقطه ۱ و آریزوی نقطه ۲ و خطابودن آن از روی گرافی که هر کس

به صل خودش مطابق شکل فوق ترسیم و نمودست میباشد، محاسبه نماید که آن به دقت

موقع خواهیم رسید باشد؟



مثال ۸ - مطابق شکل نوشل موجود بین دو نقطه ۳ به K قرار است تا نقطه ۵ گسترش ب بد به منظور سالم نگهداشتن فصل موجود تخصیم گرفته شد فصل جدید از نقطه ۴ به K حفر گردد -
ابتدا نقطه ۳ بوسیله پیمائش ۵ - ۴ - ۳ در روی زمین به هم ارتباط و ساقط جدید ۶ و ۷ برای قسمت جدید طراحی گردید .



جناحه خطای ماگزیم ۲۰ هیلیمتر روی لحن نقطه K (عمود بر محور نوشل) در پیمائش آزمود K به A معلوم نمی باشد فرض شود مشخص ننمایند در صورتی که طولها بوسیله دلو رومتر ۱۰۰ - MA مادقت $70^{\circ} - 2^{\circ}$ اندازه گیری شود برای رسیدن به دقت فوق زوايا با چه دقیقی می بایست اندازه گیری شود .
فرضیات مسئله عبارتند از :

$$K+1 = 1 \rightarrow 2 \times 2 \rightarrow 3 \times 5 \rightarrow 6 \times 7 \rightarrow 7 \times 10 \times 100^m$$

$$3 \rightarrow 4 = 4 - 7 = 42.5^m$$

$$\hat{1} + \hat{2} + \hat{3} = 180^{\circ}$$

$$\hat{3} = \hat{5} = 45^{\circ}$$

$$\hat{4} = 90^{\circ}$$

$$2 \times 500^m = 1000^m \quad 3 \times 100^m = 300^m$$

$$\hat{A} = 90^{\circ}$$

۲ - مختصات :

۳ - زوايا :

۱ - طولها :

۶-۱) واریانس، کوواریانس و ارتباط اندازه گیریها :

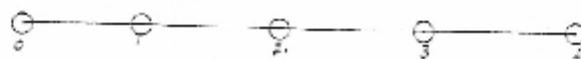
در فرمت قبیل در بحث مربوطه به پخش خطای دریک پیمایش فرض مرا بین سودکه اندازه گیریها سطور مستقل و با به عبارت دیگر بدون هیچ راسته‌ای ساکدیگر انتظام شده بودند.

این فرض دو بعضی موارد صحیح است بعنوان مثال اندازه گیری ذواپا دریک پیمایش کاملاً مستقل از اندازه گیری طولها میباشد زیرا دستگاه‌های متفاوتی در آندازه گیری این دو گروه بکاربرده میشوند که دارای منابع خطای کاملاً متفاوتی اریکدیگرند.

اندازه گیری روایا در استنگاهای مختلف یک شکه مثبت بندی در موردیکه شامل هیچگونه امتداد دو نشانه مشترکی نباشد نموده دیگران است.

مخصران "جناحه خطای که اثر متابیع روی دو اندازه گیری دارد در این دو اندازه گیری وجود نداشته باشند میتوان آنها را مستقل اریکدیگر فرض نمود این فرض در مورد مفادلات - اندازه گیری نیز صدق است بعنوان مثال مختصات خروجی نقاط دریک پیمایش همیشه به یکدیگر ارتباط دارند (جون آرزوایا و طولهای مشترکی محاسبه میشوند).

مگر در حالت خاصی که پیمایش مطابق شکل (۱-۲) کاملاً موازی یکی از محورهای مختصات باشد، در این حالت دقت نقاط فقط به دقت روایا و دقت نقاط فقط بستگی به دقت طولهای خواهد داشت.



شکل (۱-۲) .

جون این اندازه گیری‌ها کاملاً مستقل از یکدیگر بوده و هیچگونه خطای مشابه ساکدیگر ندارند بنا بر این مختصات x و y نقاط و درنتیجه دقت آنها نزد هیچ گوت ارتباطی با یکدیگر نخواهند داشت، با این‌توجه داشت که در این حالت نیز مختصات x و y با نقاط خود ساکدیگر ارتباط خواهند داشت، زیرا دقت آنها بستگی به دقت اندازه گیری طولها و با روایای مشترکی دارد که در محاسبه آنها دجالت نموده‌اند در شکل (۱-۲) نقاط x و y به یکدیگر ارتباط دارند زیرا روایای x و y در محاسبه هردوی آنها دجالت داشته است لازم به بازدید اینکه همچنانکه در آینده نشان داده خواهد شد بی توجهی به ارتباط متناظر ممکن است نقاط کاملاً غلطی را در دروس خطای x و درنتیجه طراحی پروژه‌های نئه سردازی دربرداشت داشته باشد.

سطورگلی نرم کوواریا نس با میبل \hat{x}_n بعنوان اندازه عددی سن ارتباط دومنا هد و \hat{x}_n
و با دو معادله اندازه کمیری بکاربرده میشود .
همانطورکه قبل " نز کفته شد استاندارد دیویشن با انحراف معیار همان جذر واریانس
که بوده که در اثر خطاهای اتفاقی حاصل کشته و نشان دهنده دقت اندازه کمیری باتوانی
مینباشد .

حال اگر کمبیت مانند $x_1 \dots x_n$ باز (x_1, \dots, x_n) اندازه کمیری سماویم و فقط خط
های اتفاقی در آنها دخلت داشته باشند خطای خیقی هر منظمه هد عبارت خواهد بود از :

$$\sum_{i=1}^n x_i - \bar{x}$$

$$x_1 - \bar{x}$$

$$x_2 - \bar{x}$$

$$x_3 - \bar{x}$$

که در آن \bar{x} مقدار خیقی کمبیت موردا اندازه کمیری است .

"رع عموما " دارای خاصیتی است که احتمال مساوی بودن تعداد مشبتهای و متنفسی های آن وجود دارد
بنابراین مجموع آنها برای تعداد نسبتا " زیاد اندازه کمیری (و فتنی به سنت بینهایت میل
کند) برای صفر خواهد بود .

$$(1-1) \quad \sum_{i=1}^n x_i - \bar{x}$$

و مقدار واریانس (S^2) اسن اندازه کمیری سایه تعریف برخواهد بود با

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

وستا براین انحراف معیار آن برای است (1-11) $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$
محصولا " مقدار خیقی کمبیت موردا اندازه کمیری در عمل معلوم نبوده و تعداد اندازه کمیریها نیز حد
مینی دارد که در این حالت نیز خنور امکان تخمین مقدار واریانس برآسانگرا را اندازه کمیریها
وجود داشته که البته با توجه به مقدار تقریبی آن سنها طریق ممکنی است که میتوان نمودار
دققت یک کمبیت موردا اندازه کمیری را محسنه کرد که بعث مفصل آن در درس تئوری خطاهای مده است .
حال با توجه بداینکه فعلا " مسئله کوواریا نس موردنظر است چنانچه دوکمبیت x و \hat{x}_n را n بار
اندازه کمیری سماویم خطای هر کارا از اندازه کمیریها برای اسن دوکمبیت برای برآست با :

$$x_1 = x_0 - \hat{x}_n \quad \text{و} \quad \hat{x}_1 = \bar{x}_n - \hat{x}_n$$

$$x_2 = x_1 - \hat{x}_n \quad \text{و} \quad \hat{x}_2 = \bar{x}_n - \hat{x}_n$$

$$x_3 = x_2 - \hat{x}_n \quad \text{و} \quad \hat{x}_3 = \bar{x}_n - \hat{x}_n$$

$$x_n = x_{n-1} - \hat{x}_n \quad \text{و} \quad \hat{x}_n = \bar{x}_n - \hat{x}_n$$

که کوواریانس آشنا $\Sigma_{ij} \alpha_i \alpha_j$ از رابطه زیر محاسبه میگردد .

(۱ - ۱۲)
جناحه ارتباطی سین Σ_{ij} وجود نداشته باشد با توجه به اختصار مساوی بودن خطاهای متعدد و مصنفی در دوسوی اندازه‌گیری $\Sigma_{ij} \alpha_i \alpha_j$ مقدار میزان برای تعداد نسبت "رباد اندازه‌گیریها بطری خبر می‌بیند خواهد شد . سیطره سزاورده میزان ارتباط دوگستن مورد اندازه‌گیری خوب است ارتباط P_{ij} شعبیت گردید که مقدار آن برای است با :

$$P_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n \alpha_k \alpha_k}{\sum_{k=1}^n \alpha_k^2} \quad (1 - ۱۳)$$

حال با توجه به اینکه قدر مطلق کوواریانس دوگستن همیشه از حاصل قرب احراف معادل آن دوگستن کمتر است سنا برای حداقل مقدار ممکن برای قدر مطلق خوب است ارتباط P_{ij} نسبتاً بزرگتر باشد .

اگر $1 = P_{ij}$ باشد در این صورت ارتباط دوگستن صورت نابغ غضی و جناحه $\Sigma_{ij} \alpha_i \alpha_j$ باشد در این صورت ارتباطی سین آشنا وجود نخواهد داشت . در فناون بخش خطاهای درست نابغ ساده‌سازنده متغیر (معادله ۱ - ۱) بافرض مستقل بودن متغیرها فقط بخواهی دسترس موده جناحه دوگستن زیر بدستوره شود .
۱ - احراف معادلات بسیار کوچک موده سطوحیکه ستوان واریانس متغیرها را برابر صد درصد دسترسیل های آشنا درنظر گرفت متنی

$$\delta_{ij} = d_{ij} \cdot d_{ij} = d_{ij}^2 \quad (1 - ۱۴)$$

۲ - کوواریانس دسترسیل براسن حاصل از دسترسیل آنها درنظر گرفته شود بعنی
 $d_{ij}^2 = d_{ij} \cdot d_{ij} = d_{ij}^2$

بعنوان مثال جناحه نابغ $\Sigma_{ij} \alpha_i \alpha_j$ که باسته به سیاسته کوچکی α_i و α_j بسیار باشد درنظر بگیریم دسترسیل این نابغ برابر خواهد بود .

$$(1 - ۱۵) \quad d_{ij}^2 = (\frac{\partial \alpha_i}{\partial x}) (\frac{\partial \alpha_j}{\partial x}) + (\frac{\partial \alpha_i}{\partial x}) (\frac{\partial \alpha_j}{\partial y}) + (\frac{\partial \alpha_i}{\partial y}) (\frac{\partial \alpha_j}{\partial x})$$

که ساتوجه سه بذریش فرسیده های بالاخواهیم داشت

$$(1 - ۱۶) \quad d_{ij}^2 = (\frac{\partial \alpha_i}{\partial x})^2 + (\frac{\partial \alpha_i}{\partial y})^2 + (\frac{\partial \alpha_j}{\partial x})^2 + (\frac{\partial \alpha_j}{\partial y})^2 + 2(\frac{\partial \alpha_i}{\partial x})(\frac{\partial \alpha_j}{\partial x}) + 2(\frac{\partial \alpha_i}{\partial y})(\frac{\partial \alpha_j}{\partial y})$$

لارم سه با داوری است که نرمول فوق عمویت داشته وستوان آنرا برای هر تعداد متغیری که دریک نابغ وجود دارد تضمیم داد .

جناحه نابغ دیگری مانند $\Sigma_{ij} \alpha_i \alpha_j$ که شامل همان سه اندازه‌گیری نابغ باشد منسقی داشت .

$$d_{ij} = (\frac{\partial \alpha_i}{\partial x}) d_{ij} + (\frac{\partial \alpha_i}{\partial y}) d_{ij} + (\frac{\partial \alpha_j}{\partial x}) d_{ij} + (\frac{\partial \alpha_j}{\partial y}) d_{ij} \quad (1 - ۱۷)$$

و از آنجا مقادیر اولیا س ۱۰۰۰۰۰ می‌باشد و در فرضیه فوق مرا بر خواهد بود مساوی با:

$$(1-19) \quad \sigma_{xy}^2 = \left(\frac{\partial x}{\partial a} \right)^2 \sigma_a^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial b} \right)^2 \sigma_b^2 + 2 \left(\frac{\partial x}{\partial a} \cdot \frac{\partial x}{\partial b} \right) \sigma_{ab} + 2 \left(\frac{\partial x}{\partial c} \cdot \frac{\partial x}{\partial a} \right) \sigma_{ac} + 2 \left(\frac{\partial x}{\partial c} \cdot \frac{\partial x}{\partial b} \right) \sigma_{bc}$$

و درنتیجه کور اریا نسبت دو نتایج با درنظر گرفتن همان دو فرضیه برآ برخواهد بود با:

$$\begin{aligned} \sigma_{xy}^2 &= \left(\frac{\partial x}{\partial a} - \frac{\partial x}{\partial a} \right) \sigma_a^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial b} - \frac{\partial x}{\partial b} \right) \sigma_b^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial c} - \frac{\partial x}{\partial c} + \frac{\partial x}{\partial c} \right) \sigma_{ab} + \left(\frac{\partial x}{\partial a} - \frac{\partial x}{\partial a} \right) \sigma_{ac} \\ &\quad + \left(\frac{\partial x}{\partial b} - \frac{\partial x}{\partial b} \right) \sigma_{bc} \quad (1-20) \end{aligned}$$

اگر ارتباطی بین مساحتات a و b و c وجود نداشته باشد (کاملاً مستقل از یکدیگر باشند)

$$\sigma_{ab} = \sigma_{ac} = \sigma_{bc} = 0 \quad \text{یعنی}$$

از آنجا روابط ۱۲-۱ و ۱۹-۱ و ۲۰-۱ بصورت زیر درخواهد آمد که حالت خاصی از بخش خطاهاست که در آن مشاهدات کاملاً مستقل از یکدیگرند.

$$(1-21) \quad \sigma_{xy}^2 = \left(\frac{\partial x}{\partial a} \right)^2 \sigma_a^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial b} \right)^2 \sigma_b^2$$

$$(1-22) \quad \sigma_{xy}^2 = \left(\frac{\partial x}{\partial a} \right)^2 \sigma_a^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial c} \right)^2 \sigma_c^2$$

$$(1-23) \quad \sigma_{xy}^2 = \left(\frac{\partial x}{\partial b} \right)^2 \sigma_b^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial c} \right)^2 \sigma_c^2$$

چنانچه ملاحظه می‌شود معادله ۱-۲۱ و ۱-۲۲ همان معادله ۱-۱ هستند که قبل بدست آورده بودیم بنابراین معادلات کلی ۱۲-۱ و ۱۹-۱ و ۲۰-۱ برای همه حالاتها صادق بوده و از این به بعد ملک کلیه مسائل مربوط به بخش خطاهای محاسبه دقت کمپنیها مورد استفاده فرار خواهد گرفت.

مثال ۹ - مطابق شکل دو طول $S_1 = 3000^m$ و $S_2 = 3800^m$ با دو دستگاه طولیاً مختلف اندازه گیری شده‌اند.

چنانچه وقت این دو دستگاه برای اندازه گیری دو طول S_1 و S_2 بترتیب برآ برآ باشند با

$$\begin{aligned} \sigma_{S_1}^2 &= (5^m)^2 + (4 \times 10 \times 5)^2 \\ \sigma_{S_2}^2 &= (10^m)^2 + (4 \times 10 \times 10)^2 \end{aligned}$$

در صورتیکه شرایط اندمازه گیری دو طول مساوی سوده و تصحیحات مربوطه انجام گرفته باشد مطلوب است محاسبه دقت طول کوتاه $S_1 = 3000^m$ در صورتیکه غربی شکست برای دو طولیاب -

برابر با 10003^m باشد و دقت $S_2 = 4000^m$ محاسبه گردیده باشد.

مثال ۱۰ - در یک پیمایش باز مطابق شکل زیر اندازه گیریها از نقطه A تا C انجام شده است چنانچه مختصات نقطه C برآ برآ با $x_C = 500.00$ و $y_C = 500.00$ و آزمومت نقطه

صفر به سک سرا برآ با $x_0 = 900.00$ باشد و سه راوب 5^m و چهار طول 5^m بترتیب با

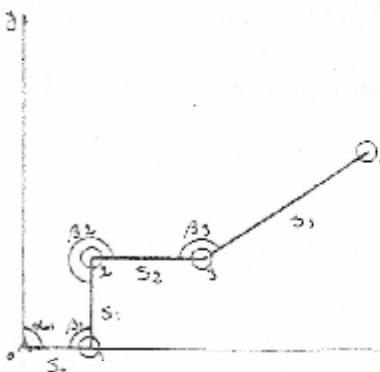
انحراف معماری $\delta_x = 5^m$ و $\delta_y = 5^m$ اندازه گیری شده باشند و مختصات -

بدست آمده برای نقاط بترتیب برآ برآ با:

$$x_1 = 1000.00$$

$$y_1 = 500.00$$

$$\begin{array}{ll} x_1 = 1000.00 & y_1 = 1000.00 \\ x_2 = 2000.00 & y_2 = 1000.00 \\ x_3 = 3000.00 & y_3 = 2000.00 \\ x_4 = 3000.00 & y_4 = 3000.00 \end{array}$$



باشد مطلوبست محاسبه اسحاق معبار آزمیوت امتداد ۲ به ۴ (α_{24}) از روی مختصات بندت آمده برای این دو نقطه .

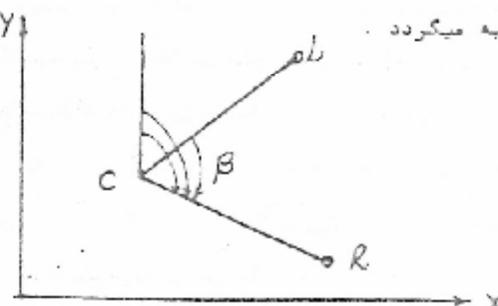
۱ - بخش خطأ در زیمان ، راویه و طول محاسبه شده از مختصات نقاط محاسبه زیمان ، زاویه و طول از روی مختصات نقاط کنترل ابتداء از مسائلی است که هر شش سردار معمولاً در کارهای روزمره خود با آن سروکار دارد . با توجه سایر مختصات این نقاط نسبتی سه و آنهم بوسیله دستگاه هاشی که مکان ابتداء آن بودن آنها هرگز وجود ندارد بسته می باشد . این مختصات حتی دارای خطای خطای خطای هندسه هندسی توجه داشت که زیمان ، طول و زاویه محاسبه شده از روی آنها نیز دارای خطای هندسی هستند . این خطای که شخص کننده دقت کمیت های محاسبه شده می باشد همیشه با شخص باشد مگر اینکه محاسبه کننده ملاتیت به دقت کار انجام شده نباشد که این نیز محدود است . زیرا همانطور که قبلاً شر اشاره کردید هر اندازه گیری و با محاسبه ای که دقت آن مشخص نباشد از نظر سقنه سرداری می معنی است .

زیمان و طول بین دو نقطه R و C از روی مختصات آنها از روابط زیر محاسبه میگردد :

$$\alpha_{ij} = \arctg \frac{x_j - x_i}{y_j - y_i}$$

$$S_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

همینطور زاویه β در نقطه C مطابق شکل (۱ - ۲) از اختلاف بین زیمانهای دو امتداد C به R و C به R محاسبه میگردد .



$$\beta = \arctg \frac{x_R - x_C}{y_R - y_C} - \arctg \frac{x_L - x_C}{y_L - y_C} \quad (1 - 25)$$

از معادله ۲۴ - دیده میشود که زیزمان و طول بکار متنفس هستند، x_i, x_j, y_i, y_j سود، و سایر اسنادها با استفاده از دو نوس (۱۴-۱) و (۱۵-۱) سراسخواهی شود.

با :

الف - واریانس زیزمان

$$\sigma_x^2 = (\mu_x)^2 = \left(\frac{\partial \mu}{\partial x_j} dx_j + \frac{\partial \mu}{\partial x_i} dx_i + \frac{\partial \mu}{\partial y_j} dy_j + \frac{\partial \mu}{\partial y_i} dy_i \right)^2 \quad (1-26)$$

$$\frac{\partial \mu}{\partial x_j} = \frac{x_j - \bar{x}_j}{S^2} = \frac{\Delta x}{S^2} \quad , \quad \frac{\partial \mu}{\partial y_j} = -\frac{x_j - \bar{x}_i}{S^2} = -\frac{\Delta x}{S^2}$$

$$\frac{\partial \mu}{\partial x_i} = -\frac{x_j - \bar{x}_i}{S^2} = -\frac{\Delta x}{S^2} \quad , \quad \frac{\partial \mu}{\partial y_i} = \frac{x_j - \bar{x}_i}{S^2} = \frac{\Delta x}{S^2}$$

که با فرازداهن این مشتقهای در رابطه (۱-۲۶) خواهیم داشت:

$$\sigma_x^2 = \frac{\Delta x^2}{S^4} (6_{ij}^2 + 6_{ji}^2 - 26_{ij}x_j) + \frac{\Delta x^2}{S^4} (6_{xi}^2 + 6_{ix}^2 - 26_{xi}x_j) + \frac{2\Delta x \cdot \Delta x}{S^4} (6_{ij}x_j - 6_{ij}x_i - 6_{ij}x_j + 6_{ij}x_i) \quad (1-27)$$

ـ طول بین دو نقطه i و j میباشد.

ب - واریانس طول

$$\sigma_s^2 = (\mu_s)^2 + \frac{\Delta x^2}{S^4} (6_{xi}^2 + 6_{ix}^2 - 26_{xi}x_j) + \frac{\Delta x^2}{S^4} (6_{ij}^2 + 6_{ji}^2 - 26_{ij}x_i) + \frac{2\Delta x \cdot \Delta x}{S^4} (6_{ij}x_i - 6_{ij}x_j - 6_{ij}x_i + 6_{ij}x_j) \quad (1-28)$$

زاویه θ تابعی شش متغیر $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ سود، و درستجه مقنار واریانس آن - سراسخواهی میباشد سا:

$$\sigma_\theta^2 = (\mu_\theta)^2 = \left[\frac{y_{11}-\bar{y}_{11}}{S^2} dx_1 - \frac{y_{12}-\bar{y}_{12}}{S^2} dx_2 - \frac{y_{13}-\bar{y}_{13}}{S^2} dx_3 - \frac{y_{14}-\bar{y}_{14}}{S^2} dx_4 - \frac{y_{15}-\bar{y}_{15}}{S^2} dx_5 - \frac{y_{16}-\bar{y}_{16}}{S^2} dx_6 \right]^2 \quad (1-29)$$

هذا طورگاه ملاحظه میگردد واریانس زاویه θ رابطه مسیار طولی است که در این متن از توضیح آن صرف نظر گردید و محاسبه آنرا بعده دانشجویان واگذار مینماییم. لازمه بیان دارد وری این است که تمام فرمولهای فوق همانطورگاه در آنسته نیز دیده خواهد شد سا استفاده از جزئیات تربیتی ساده و گونا هتر نویسه میشود.

هذا نظرگاه از فرمولهای (۱-۲۷) و (۱-۲۸) و (۱-۲۹) دیده میشود سرای تبیین داشت -

زیزمان ، طول و زاویه محاسبه شده از روی مختصات نقاط اطلاعات کاملاً از دقت مختصات این نقاط لازم است و زمانی این اطلاعات کامل است که علاوه بر واریانس هاتم کوواریانسهاي موجود میباشد.

ـ ۱- واریانس کوواریانس مختصات دو نقطه پیش از
در رابطه (۱-۸) زیزمان به مستقل از مختصات نقاط و در نظر گرفته شده بود.
درصورتی که این فرض صحیح است که این زیزمان بخور مستقل مثلثاً بوسیله آزمیوب جومنی و با آریوسکوب بدست آمده باشد حال ایکه معمولاً در پروژه های مختلف سقطه سرداری زیزمان ایندا داول از مختصات نقاط داده شده محاسبه میگردد . سنت سایرین نرم افزار عمومی پخش خطای در

لیکن بینما بین با درنظر گرفتن ارتبا θ بین زیرمان رخداده شده برابر میتواند باشد:

الف: واریانس $\sigma_{x_k}^2$ و $\sigma_{y_k}^2$

$$\sigma_{x_k}^2 = \sigma_{x_0}^2 + (\bar{x}_k - \bar{x}_0)^2 \sigma_{x_0}^2 + 2(\bar{y}_k - \bar{y}_0) \sigma_{x_k y_0} + \sum_{i=1}^{n-1} (\bar{x}_k - \bar{x}_i)^2 \sigma_{x_i}^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\bar{x}_{i+1} - \bar{x}_i}{S_i} \right)^2 \sigma_{x_i}^2 \quad (1-20)$$

$$\sigma_{y_k}^2 = \sigma_{y_0}^2 + (\bar{x}_k - \bar{x}_0)^2 \sigma_{y_0}^2 - 2(\bar{x}_k - \bar{x}_0) \sigma_{x_k y_0} + \sum_{i=1}^{n-1} (\bar{x}_k - \bar{x}_i)^2 \sigma_{y_i}^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\bar{x}_{i+1} - \bar{x}_i}{S_i} \right)^2 \sigma_{y_i}^2 \quad (1-21)$$

ب: کواریانس $\sigma_{x_k y_k}$

$$\begin{aligned} \sigma_{x_k y_k} &= \sigma_{x_0 y_0} - (\bar{x}_k - \bar{x}_0)(\bar{y}_k - \bar{y}_0) \sigma_{x_0}^2 + (\bar{y}_k - \bar{y}_0) \sigma_{x_k y_0} - (\bar{x}_k - \bar{x}_0) \sigma_{x_k y_0} + \\ &\quad + \sum_{i=1}^{n-1} (\bar{x}_k - \bar{x}_i)(\bar{x}_k - \bar{x}_i) \sigma_{x_i}^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(\bar{x}_{i+1} - \bar{x}_i)(\bar{x}_{i+1} - \bar{x}_i)}{S_i^2} \sigma_{x_i}^2 \end{aligned} \quad (1-22)$$

که در آن واریانس زیرمان اولیه (۱-۲۲) از فرمول (۱-۲۱) و کواریانس های $\sigma_{x_i y_i}$ و $\sigma_{y_i y_i}$ از اصطلاح زیرمحاسبه میگردند.

$$\begin{aligned} \sigma_{x_k y_k} &= d\bar{x}_k d\bar{y}_k - \frac{\bar{x}_k - \bar{x}_0}{S_k^2} (\sigma_{x_0}^2 - \sigma_{x_k}^2) + \frac{\bar{x}_k - \bar{x}_0}{S_k^2} (\sigma_{x_0 y_0} - \sigma_{x_k y_k}) \\ \sigma_{y_k y_k} &= d\bar{y}_k d\bar{y}_k = \frac{\bar{y}_k - \bar{y}_0}{S_k^2} (\sigma_{y_0}^2 - \sigma_{y_k}^2) + \frac{\bar{y}_k - \bar{y}_0}{S_k^2} (\sigma_{x_k y_0} - \sigma_{x_k y_k}) \end{aligned} \quad (1-23)$$

بابتی توجه داشته که واریانس و کواریانس مختصات نقاط و اگه متعلق بیک شیوه نقاط کنترل صلبی است در اینجا مختصات در دست نداشتند. لازم بود آنرا از جنابه ارتقا طی بین زیرمان اولیه (۱-۲۰) و مختصات نقاط داده شده وجود نداشته باشد بعنی $d\bar{x}_k = d\bar{y}_k = 0$ برابر صفر باشد معادله (۱-۲۰) همان معادله (۱-۲۱) خواهد گردید.

در خیلی از حالات ممکن است دقت نسبی نقطه K سبب توجه نباشد! مورد نظر بوده و پادقت مختصات نقاط ۵ و ۶ نسبت به بینما بش انعام شده بقدرتی زیاد باشند که آنرا روی تعیین موقعیت نقطه K قابل صرف نظر کردن باشند که در اینصورت خطای مختصات نقاط x و y درنتیجه زیرمان محاسبه شده برابر صفر درنظر گرفته شود (نقاط ثابت بدون خطای x و y) فرمول سهای (۱-۲۱) و (۱-۲۰) صورت ماده زیر درخواهند آمد.

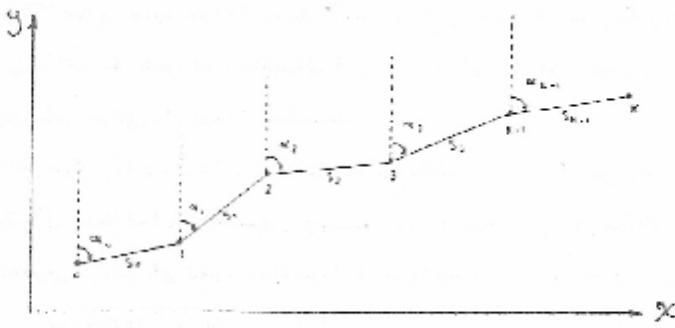
$$\begin{aligned} \sigma_{x_k}^2 &= \sum_{i=1}^{n-1} (\bar{x}_k - \bar{x}_i)^2 \sigma_{x_i}^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\bar{x}_{i+1} - \bar{x}_i}{S_i} \right)^2 \sigma_{x_i}^2 \quad (1-24) \\ \sigma_{y_k}^2 &= \sum_{i=1}^{n-1} (\bar{x}_k - \bar{x}_i)^2 \sigma_{y_i}^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\bar{x}_{i+1} - \bar{x}_i}{S_i} \right)^2 \sigma_{y_i}^2 \\ \sigma_{x_k y_k} &= - \sum_{i=1}^{n-1} (\bar{x}_k - \bar{x}_i)(\bar{x}_k - \bar{x}_i) \sigma_{x_i}^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(\bar{x}_{i+1} - \bar{x}_i)(\bar{x}_{i+1} - \bar{x}_i)}{S_i^2} \sigma_{x_i}^2 \end{aligned}$$

۱-۱-۹-۱ بغض خطا در یک بینماش با اندازهگیری آزمون و طولها با توجه مختصات به معادلات (۱-۲۱) تا (۱-۲۲) مشاهده میگردد که اثر خطای زاویه ای روی مختصات نقاط در یک بینماش سه انت بزرگتر و خطوناکتر از اثر خطای طولی است.

نحوه اسن واقعیت سخوه در بینماش های مستقیم و غولایی مدنی مسی است که جناحه یا تسر یکساخنی از دو کمپ سورداست از دگری طول را وی در روی دقت مختصا دارد، یک بینماش مورد نظر باشد زوایا مبینا بسته دقت بینتری مسافت به طولها اسازه گیری شود.

حال جناحه در یک بینماش آزموده هر آنند "مسندا" سویه ارسام سجوسی با زیردکوب اسازه گیری شود بسادگی بینوان اثبات مسونگ جناحه آزموده ها با دقت کمتری از زوایا اسازه گیری شوند هنور خطای موقعیت نطا در بینماش ممکن است کمتر از حاشیه باشد که روایا اندازه گیری میشود.

مطابق شکل (۱-۴) جناحه بینماشی را در نظر بگیریم که در آن آزموده ها و غولها سرای هر آننداد سطور مستقل اندازه گیری شده باشد مختصات نقطه K برابر خواهد بود با:



شکل (۱-۴)

$$x_k = x_1 + S_1 C_{k-1} \alpha_1 + S_2 C_{k-2} \alpha_2 + \dots + S_{k-1} C_1 \alpha_{k-1}$$

$$y_k = y_1 + S_1 C_{k-1} \alpha_1 + S_2 C_{k-2} \alpha_2 + \dots + S_{k-1} C_1 \alpha_{k-1} \quad (1-22)$$

که دیگران اصل عبارت است از:

$$dx_k = dx_1 + S_1 C_{k-1} d\alpha_1 + S_2 C_{k-2} d\alpha_2 + \dots + S_{k-1} C_1 d\alpha_{k-1} + S_k d\alpha_k + S_{k+1} d\alpha_{k+1} + \dots + S_{n-1} d\alpha_{n-1} + S_n d\alpha_n \quad (1-23)$$

$$dy_k = dy_1 + S_1 C_{k-1} \alpha_1 d\alpha_1 + S_2 C_{k-2} \alpha_2 d\alpha_2 + \dots + S_{k-1} C_1 \alpha_{k-1} d\alpha_{k-1} + C_k d\alpha_k + C_{k+1} \alpha_k d\alpha_k + \dots + C_{n-1} \alpha_{n-1} d\alpha_{n-1} + C_n \alpha_n d\alpha_n \quad (1-24)$$

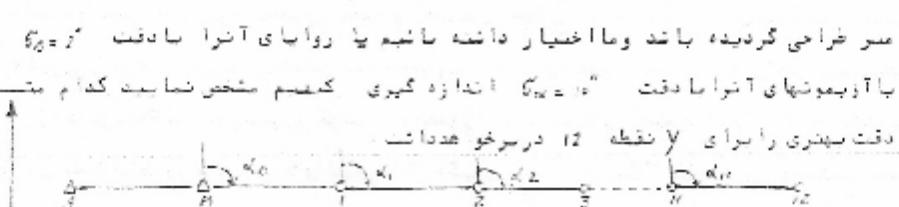
و از انجوازی انس و کواریا خس مختصات نقطه K عبارت خواهد بود از

$$C_{k-1} = (dx_k)^2 = 6_{k-1}^2 + \sum_{i=1}^{k-1} (x_{i+1} - x_i)^2 C_{k-i}^2 = \sum_{i=1}^{k-1} \left(\frac{x_{i+1} - x_i}{S_i} \right)^2 C_{k-i}^2 \quad (1-25)$$

$$C_k = (dy_k)^2 = 6_k^2 + \sum_{i=1}^{k-1} (y_{i+1} - y_i)^2 C_{k-i}^2 = \sum_{i=1}^{k-1} \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{S_i} \right)^2 C_{k-i}^2$$

$$C_{k+1} = dx_k \cdot dy_k + C_{k-1} y_k - \sum_{i=1}^{k-1} (x_{i+1} - x_i)(y_{i+1} - y_i) C_{k-i}^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \frac{(x_{i+1} - x_i)(y_{i+1} - y_i)}{S_i^2} C_{k-i}^2$$

مثال - بینماش بطول شش کیلومتر مطابق نکل ریبر از دو نقطه نامت A و B سطوف نقطه 12 مخواهد اندازه گیری شود جناحه تمام طولهای این بینماش برابر ۵۰۰ متر ضراحتی گردیده باشد و ما اخبار دانه سانجه یا زوایای آنرا باید بزرگ و با آزموده های آنرا مدققت "نمایشگر اندازه گیری" کمیم مشخص نماید کدام متد



ا) اندازه‌گیری روابای افقی

بطورکلی وسائل اندازه‌گیری زاویه (تندولیتها) با توجه به کوچکترین تقسیمات آنها به سنتهای مختلفی تقسیم می‌گردند که حدود ۱۰-۲۰ شاخه اصلی بضم ازابن وسائل را که متوسط کارخانه‌های سازنده مختلفی به بازار عرضه گردیده است نشان می‌دهد، باستی توجه داشت که سالهاست دقت وسائل اندازه‌گیری زاویه پیشرفت چشم گیری نداشت و در زمان حال وجود در بعضی از دستگاههای جدید سیز قطع بمنظور ثبت خودکار و سهولت اندازه‌گیری زاویه موجود و مبتوا نبایان داشت که هنوز هم سیستم‌های فراش ابتدکی از دقت بهتری نسبت به دستگاههای الکترونیکی بروزوردار نمیباشد.

با توجه به نقش مهم روابای افقی در کارهای مختلف نقشه بردازی سررسی و تجزیه و تحلیل خطاهای وروشی اندازه‌گیری زاویه همیشه مردم نظر مبنی بر نقشه بردازی و بخصوص در کارهای دقیق نقشه بردازی میباشد که توجه خاص مدنظر داشت، بهینه منظور در این فعل خطاهای وروشی اندازه‌گیری زوابای افقی همراه با محاسبه دقت آسیارا موردنی بحث و بررسی ترا رخواهیم داد.

۱- خطاهای اندازه‌گیری زوابای افقی

خطاهایی که در تئیین دقت اندازه‌گیری زوابای افقی بوسیله زاویه با بها مژده است عبارتند از:

- ۱- خطاهای دستگاهی تندولیت
- ۲- خطاهای ابتدکاه گذاری کردن با استقرار
- ۳- خطاهای تراز کردن
- ۴- خطاهای نشانه روی کردن
- ۵- خطاهای قراشت کردن
- ۶- خطاهای ناشی از عدم ثبات (بیجشن با فرورفتگی) *(twist end or sinking)*
- ۷- خطاهای اسکار

همانطور که میدانیم خطاهای دستگاهی مانند عدم شودن محور دیدکاری و محور افقی بر معمور جرخش دوربین و خطاهای خارج از مرکزی لعب خطاهایی هستند که بوسیله اندازه‌گیری زاویه در دو حالت دوربین (دایره مجهب و راست) و صحنین خطاهای درجه بندی لعب بوسیله اندازه‌گیری زاویه در در حرایات مختلف لعب خنثی و کاهش خواهد داشت، بنابراین جمیون هبته زوابای در دو حالت دوربین (کوبیل) و معمولاً در کوبیلیای مختلف اندازه‌گیری مذکون لذا در این بحث فقط در مورد خطاهای دیگر اندازه‌گیری زاویه که عملاً سیز در روی دف-

اندازه‌گیری‌ها موشوند بحث می‌گردد.

۱-۲- خطای استنکاگذاری کردن (استقرار)

جهاروسیله زیرمعمولاً سرای استقرار دستگاه‌های اندازه‌گیری را و به مورداستفاده

قرا رمیگرید:

optical plumb

الف) شاقول ابتدکی

plumbing rode

ب) شاقول میله‌ای

string plumb-bobs

ج) شاقول نخی

automatic centering

د) استقرار اتوماتیک

خطای استنادار دستقرار دوربین بوسیله شاقول ابتدکی، چنانچه دستگاه کاملاً

تنظیم و سقطه شانه سیزدیفیا " مشخص شده باشد، سرای سره/ه متنی مترا (60^{mm}) سرای

یکمتر رتفاع دوربین خواهد بود. لازم به بادآوری است که این نوع شاقول احتیاج به چک داکمی را در زیرآفراد اثربرده‌هایی که ممکن است در منتقل و انتقال دوربین حادث شود اسین

خطا ممکن است به یک متری بیشتر نزدیک شود.

شاقول میله‌ای شبیه آنچه در دوربینهای کرن وجود دارد قشی شبیه وبا احتمالاً یکمتری

بیشتر از شاقول ابتدکی در سرخواهد داشت البته اگر همراه با سرای زکروی بوده و نقطه شانه نزد بوسیله یک حفره بقطر ۳ میلیمتر مشخص شده باشد.

استقرار بوسیله شاقول نخی در هواشی سون ماده‌منی برای برقی می‌گذرد سرای یکمتری

ارتفاع دوربین را در سرخواهد داشت و در صورتی که نقطه شانه در بال کن دوربین قرار داشته باشد

باشد (علام درسته برداری زیرزمینی) این دقت بدقت شاقول ابتدکی شرخواهد بست.

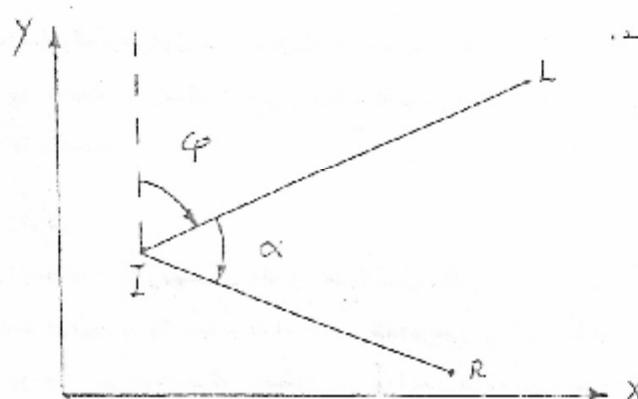
لازم به با درآوری است که در محورت وجود جویا سات هوا استقرار بوسیله شاقول نخی دارای خطای

غیرقا بل بیش بیشی بوده و بیشتر است در جنبین شرایطی بخصوص سرای کارهای دقیق مورداستفاده

قرا رمیگرید.

سپر حال فرمول کلی خطای استقرار سرای یک را و به (۲) مطابق شکل ۲-۱ شرح

زیر میگیرد:



شکل ۲-۱

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{x_R - x_I}{y_R - y_I} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{y_L - y_I}{x_L - x_I} \right) \quad (2-1)$$

طبق قانون کواریانس

$$G_{\alpha}^2 = \left[\frac{\partial \alpha}{\partial x} \right]^2 \sum_x \left[\frac{\partial \alpha}{\partial x} \right]^2 \quad (2-2)$$

که در آن $\frac{\partial \alpha}{\partial x}$ مشتقات جزئی α نسبت به متغیرهای $x_R, y_R, x_I, y_I, x_L, y_L$ و ماتریس واگرایان کواریانس متغیرهای فوق سیاست‌گذاری با فرض مستقل بودن متغیرها (قطبی) بودن \sum_x خواهیم داشت :

$$(2-3) \quad \frac{\partial \alpha}{\partial y_R} = \frac{\partial \alpha}{\partial y_R}^2 + \dots + \frac{\partial \alpha}{\partial y_R}^2 + \frac{\partial \alpha}{\partial y_I}^2 + \dots + \frac{\partial \alpha}{\partial y_I}^2$$

اگر در رابطه فوق $\frac{\partial \alpha}{\partial y_R} = \frac{\partial \alpha}{\partial y_I}$ ، $\frac{\partial \alpha}{\partial y_I} = \frac{\partial \alpha}{\partial y_R}$ و $\frac{\partial \alpha}{\partial y_R} = \frac{\partial \alpha}{\partial y_I}$ فرض شویم و از رابطه

(۱-۲) مترنومیت سه متغیرهای فوق مشتقات جزئی بگیریم و در رابطه (۲-۳) فرازدھیم بازیم :

$$(2-4) \quad G_{\alpha}^2 = \frac{S_L^2}{S_R^2} + \frac{S_R^2}{S_L^2} + \frac{S_L^2 + S_R^2 - 2S_L S_R \cdot \cos \alpha}{S_L^2 S_R^2}$$

که در آن S_L و S_R مترنومیت همان خطای استقرار دوربین و نشانه‌های در سطح I، II و S_L و S_R نیز طولهای بین آنها می‌باشد. در حالت خاص وقتی تقریباً $\frac{\partial \alpha}{\partial y_R} = \frac{\partial \alpha}{\partial y_I}$ و $S_L = S_R$ فرض شوند فرمول تقریبی خطای استقرار برای یک راوید برآورده شدی :

$$(2-5) \quad \rho^2 = \frac{16e}{S}$$

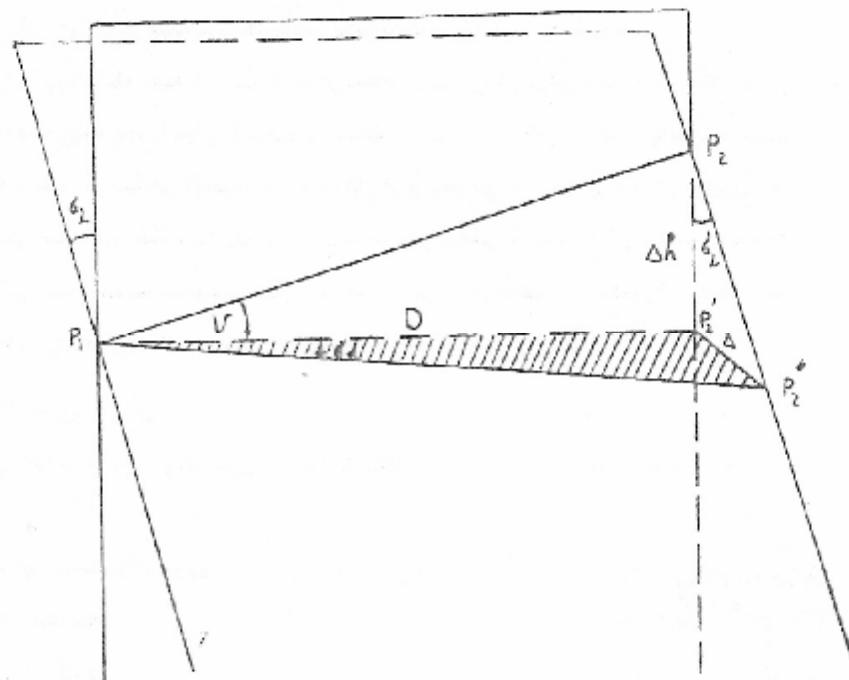
لازم به بازآوری است که جناجمدیک راوید n کوتیل اندازه‌گیری و بین هر کوتیل اندازه‌گیری نشانه‌ها دوربین سانداره $\frac{180}{n}$ جرخن و مجدد است. اینستاگذاشت گردند خطای فوتو تقسیم بر \sqrt{n} خواهد شد.

بطورکلی خطای یک مبلیمتر در استقرار دوربین و نشانه در حالت ماکزیمم خطای بسوایر ثابتی در اندازه‌گیری یک انداده سطح یک کیلومتر است. اینجا بخواهد نشود این خطای اکسم شدن طولهای ازدیاده بینها می‌باشد.

بنابراین هما نظر که از فرمول فرق نیز مشاهده می‌شود استگاگذاری در مثلاً بندی با پیمایشی‌های درجه ۲ با اهمیت نرا زیست بندی و پیمایشی‌ای درجه ۱ بوده رواستی دقت پیشتری در این زمینه معمول داشت.

۲-۱-۴- خطای ترازکردن

حسابیت نرازکولهای در دوربینهای دقیق معمولاً تینه، اثنتینه، ۴-ثانیه برای هر تقصیم می‌باشد و یک مشاهده کننده واقعیت با یک هیاب تراز تنظیم شده در مورسی که لوله تراز در مثلاً بسل نورخور شد و یک منابع حرارتی خفاظت گردد ممکن است به انحراف می‌باری برآورده حسابیت تراز دورسین دست پیدا کند.



شکل ۲-۶

مطابق شکل ۲-۶ ارمغان های داریم:

$$\Delta h = D \tan v$$

$$\Delta = \Delta h \cdot \delta_L$$

$$\delta_d = \frac{\Delta}{D}$$

که با قراردادن مقادیر Δ و Δh در رابطه اخیر خطای سانی از تراز استگاه برای یک امتداد

مانند $P_1 P_2$ سواب خواهد بودها:

$$\delta_d = \delta_L \cdot \tan v \quad (2-6)$$

که در آن δ_L خطای تراز، Δh اختلاف ارتفاع، D طول اعمی و v زاویه شیب بین دو نقطه P_1 و P_2 میباشد. بمنظور بستانت وردی خطای سانی از تراز استگاه برای را و بهای مانند α با استفاده از فاصلون بخش خطاهای خواهیم داشت:

$$\alpha = d_1 - d_2$$

$$\delta_d^2 = \left(\frac{\delta \alpha}{\delta d_1} \right)^2 d_1^2 + \left(\frac{\delta \alpha}{\delta d_2} \right)^2 d_2^2$$

وارآنجا

$$\delta_d^2 = \delta_L^2 (\tan^2 V_1 + \tan^2 V_2) \quad (2-7)$$

که در آن λ و θ زوایای شبیه مربوطه به دواستادا زهگیری شده میباشد،
بهم انتظار که از راه سطه $\lambda\theta$ استنباط میگردد خطای ناشی از تراز استگاه نسبت مستقیم
با زاویه شبیه داشته و چنانچه اندازه گیریها در سطحه سبنا "سطحی انجام بذیرد" فاصله
صرف نظر کردن میباشد، در مناطق کوچک شناسی با درکارهای شجومی که اندادهای تراول روی سا
شبیه زیاده مورد نظر است این خط قابل توجه بوده و با در نظر گرفتن اینکه اثر آن با متدهای
اندازه گیری قابل حدف نمیباشد شرایط میگردد در چنین موادی حتماً "از یک پتراز اضافی" سا
حصیقت زیاده دکه در روی محور چرخش دوربین فراز میگردد استفاده گردد.

۴-۲-۲- خطای شانه روی گردن

بطورگلی خطای ناشی از شانه روی سه امثل مختلفی ممکنی دارد که میتوانند آنها
عبارتند از:

الف) حد تشخیصی در سیستمهای نوری
Target design

ب) طرح علامت شانه

ج) خطای میزان گردن

د) تغییر حوا رشی هوا (تغییرات درجه حرارت هوا)

ه) شرایط دید

امول ساختمان اساسهای دیدگانی برداشتن اجراء جسم بطوروضوح بوده و چنانچه تصویر را واضح
نمایش نمایش داشت سه ای از آنها نیز سودی در برخواهد داشت بطورگلی حد تشخیصی در سیستمهای
نوری ناشی از قطعه عدسی شیشه بسود و هر چند این قطعه بیشتر باشد قلت بیشتری را برای نشانه روی
در برخواهد داشت، در دوربینهای نقشه برداری معمولاً "منظور از حد تشخیص فاصله زاویه آی
بین دو نقطه" مورد نظر بوده تهیه ملکه خطی آنها و آن از رابطه زیر محاسبه میگردد.

$$M = \frac{\lambda}{d} = 1.22 \cdot \frac{\lambda}{d}$$

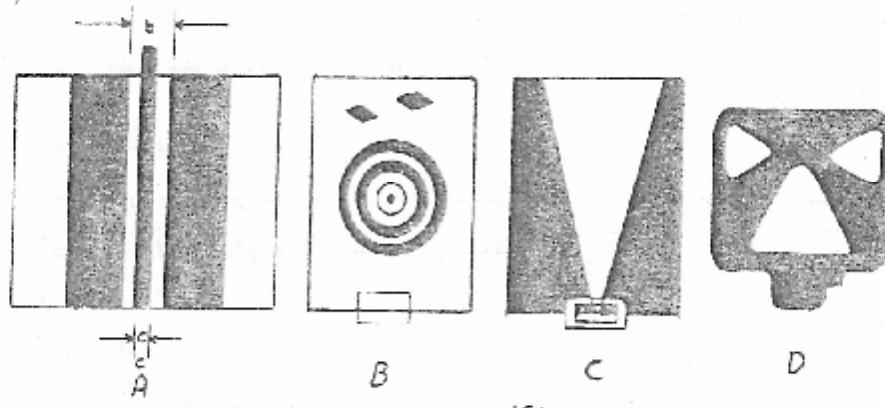
که در آن λ طول موج نور میباشد، از شانه و d قطعه عدسی ابرکنیف دوربین میباشد، بین این
سنتور تشخیص دو نقطه از هم برسیله یک دوربین فاصله زاویه ای بین آنها باستی بزرگتر از ع
و سوزگرگشایی T میباشد اما:

$$M = \frac{d_T}{d_E} = \frac{d_T}{d_E}$$

که در آن d_E و d_T بترتیب حد تشخیص فاصله زاویه ای چشم انسان و دوربین و d_T نیز قطعه موده
چشم انسان و عدسی ابرکنیف دوربین میباشد، لذا با سوجه می سیم قطعه موده چشم انسان
که در حدود ۲ میلیمتر میباشد که دوربین با برگشایی حدود ۴ حداقل نیاز به عدسی ابرکنیفی
بقطه ۰.۵ میلیمتر (0.5 mm) باشد از آن استفاده کشیده را با از سوزگرگشایی موجود در شاشه
روی بحمل آورد، معمولاً در دوربینها نقشه برداری قطعه عدسی ابرکنیف حدود ۲۵٪ کمتر از مقدار
محاسبه شده میباشد، بعبارت دیگر سوزگرگشایی دوربین بزرگتر از مقدار لازم با توجه به حد تشخیص

فاصله زاویه‌ای میباشد، بحثوان مثال در تکردهولت $D = 45$ م و $d = 72$ میباشد
در صورتیکه در این دوربین مقدار $M = 26$ کافی خواهد بود، بهر حال ماکزیم دقتی را که مفسط
با در نظر گرفتن حد تشخیص فاصله را ویا در سیستمی خودی برای نشانه روی میتوان انتظار
داشت برا برآست با: $\frac{10}{M}$

علائمی که معمولاً برای نشانه روی در نقشه برداری مورد استفاده قرار میگیرند بصورت بک نقطه
مشهورانی و یا استوانه‌ویا مفحات مسطحی میباشند که چنانچه نقطه نورانی دوقات "اینکا" گذاشته
و با توجه بطول و شرایط جوی سوران تنضم شده باشد پس از آن علامت برای نشانه روی خواهد بود،
علام ایستوانه‌ای شکل که معمولاً برای طولهای بلند در روز مورد استفاده قرار میگیرد
بدلیل خطای که در شکل پر بخط عدم تقارن روش ای در آنها بوجود میآید، وقت کمتری را دربر
خواهد داشت، علامت بکل مفحات مسلح شبیه آنچه در شکل ۲-۳۲ نشان داده شده است چنانچه
اجسام خارجی جای بدای در روی آنها اینجا دستهای بندمیرا از خطای فوق بوده و دقت خوبی را نمیزد
برای نشانه روی دارا میباشد.



شکل ۲-۳

درین این مفحات شکل ۲-۳۶ بهترین نشانه برای فراولروی در روز است زیرا این نشانه
دارای بسط تقارن و سیمی است که مناسب (بدلیل رسالت سطح تقارن) برای نشانه روی بوسیله
شارتیکول خاص دوربینها میباشد، در این سوی علامت مقدار فاصله b برا برآست با:

$$b = \frac{34}{\rho^2}$$

که در آن $C_{0.0} = \frac{1200}{M \cdot \rho}$ عبارت از عرض شارتیکول دوربین در نقطه شناسکه مقدار آن معمولاً
بین $\frac{40}{\rho^2}$ و $\frac{20}{\rho^2}$ میباشد (D فاصله نشانه از دوربین و M درست سماشی آن است) نشانه های
سطح با طرح دواره مرکز (۲-۳۸) باطریای مشتمی شکل (۲-۳۵ و ۲-۳۶) که
در آنها امکان نشانه روی در فواصل مختلف نیز وجود دارد نسبت علامتی محدود که مقدار شکل
۲-۳۸ مورد توجه بوده و میتوان از آنها در کارهای دقیق استفاده نمود، لازم به یاد آوریست که
در این علام ایستاده از شرکیب دورنگ سیاه و درین میتوان بهترین رنگ برای مساحت نویسه
گردید.

مثال :

$$\text{متخص کنند مقدار طیه رای طرح بک نشانه فراولروی مسطح بستگی} \rightarrow ۲\beta = \frac{\pi}{2} \text{ در صورتیکه} \\ D = 1 \text{ باشد،}$$

خطای میزان کردن عامل دیگری برای محدود کردن دقت نشانه روي است این خطای میزان
شنایه در دورسینهای دقیق که دارای سیستم میزان کننده داخلی میباشد تجاوز نکرده و مکان
حذف با کا هش آن نیز اگر نشانه روي در دو حالت دوربین انجام پذیرد و جود دارد.

همچنین اگر فاصله دونشانه در اندازه کبری بک زاویه تغیری " سرا برخوا ازیک کیلو متر کمتر
سبانشانه این خطای میباشد . جنا تجدیدوام کوتاه بوده و اندازه کبری دقیق را و به مورد

نظر باشد شرایطی میگردد که نسبت فوائل دونشانه فراولروی از $\frac{1}{3}$ کمتر باشد.

خطای میزان کلی با بک علامت طرح شده صحیع و دیده شیتا " خوب و همچنین شرایط میانسی خوارزی
هوا خطی است انداده ردمبرای سنا روي روی فوائل کوتاه با جند متر سرا برخوا حدودها :

$$\frac{6p}{2} = \frac{6}{5} p \text{ تا } \frac{60}{3} p \text{ را } \frac{30}{M} \text{ تا } \frac{6p}{M}$$

جناجه زاویه ای (a) در ۱۱ کوبیل اندازه کبری شود با فرض مساوی بودن خطای نشانه روي برای
دواسته ایان مقدار خطای نشانه روي برای برخواهد شد با :

$$6\alpha_p = \frac{6p}{\sqrt{n}}$$

۴-۲- خطای تراشت کردن

خطای است انداده ردمبرای تراشت زوابای افقی بستگی به نوع دوربین بکار برده شد
دانش انداده آن برای دورسینهای مختلف شرح زیر میباشد ،

الف) شودولیتهای سما میکرو متر ایندکی که جگتیون تفییمات آنها سرا برخواه شانه
با بک شانه میباشد ،

ب) شودولیتهای سما میکرو سکوپ و کوچکترین تفییمات ۱۰ تا ۱ دقیقه . $d_m = \frac{6}{\sqrt{n}}$

ج) برای شودولیتهای سما دوربین

که در آنها را و به کوچکترین تفییمات دوربین میباشد .

لازم بذکر است که این مقدار ممکن است در این خطای خارج از مرکزی لعب ویا خطای تفییمات
لسب و میکرو متر کمی زیاد شرکرده که المد مقدار آن در دورسینهای دقیق ازیک شانه تجسس اور
سخا هدکرد ، حال جناجه زاویه ای (a) در ۱۱ کوبیل اندازه کبری شود مقدار خطای تراشت

$$6\alpha_p = \frac{6r}{\sqrt{n}}$$

با این توجه داشت که در چنین حالی مقدار بک فراشتها میباشد در قسمتهای مختلف لسب

بوسیله گرداندن آن با انداده $\frac{180}{n}$ بین هر کربل انجام پذیرد میکرو متر سیز میباشد

در قسمتهای مختلف آن تراشت شانه ای متساوی بودن لسب و میکرو متر بحدا قل ممکن کا هستش

بیندازما بستگی .

۴-۱-۵- خطای ناشی از عدم شبات (پیچشی یا فرورفتگی)

افزايش درجه حرارت در اثر تنش سورخورشیدها دیگر منابع حرارتی پیچشی سیستمها تسبیک در سه بابه دور سیستمها نشانه بردا ری بوجود می آید که ممکن است خطای ناشی از چندین شتاب نهایی دین خطا ممکن است ناشی از چندین دقیقه نیز بهمین دلیل در برجهای اندازه گیری بررسی عدم شتاب سه بابه ممکن است در اثر فرورفتگی ندر پیچی با بهای آن در خاک نیخ ، سنگفرش و آسفالت و همچنین عدم شبات بوجهها ممکن است در اثر فرورفتگی و با ورزش با داد چادرگرد ، بهمین جهت است که در اندازه گیریها دقیق توصیه میگردد علاوه بر محکم شودن با بهای سه بابه و با بوجهها آنها در سهابل تشخیصات حرارتی نیز مهانه نمود . همچنین ناپسندی در اندازه گیری های دقیق ترازویستگاه و استقرار آنها بطور مدام چک و کنترل گردد . بطور کمی با وجود صراعات مرتباً فوای مطمئن بودن در رسیدن بدقت خوب و می نیم شودن این خط در اندازه گیری زوابارعا بنت مرتباً ذیل خوری است .

الف) هر کوبل اندازه گیری باحداکثر سرعت ممکن انجام پذیرد .

ب) نشانه رویها ی متراژی درروی دو علامت قرار و لریوی بمنظور اندازه گیری یک کوبل زاویه بشرطیب ۴-۲-۱ انجام پذیرد .

ج) بعد از هر کوبل اندازه گیری مسجددا " تراز را پستگاه گذاری کنترل گردد .

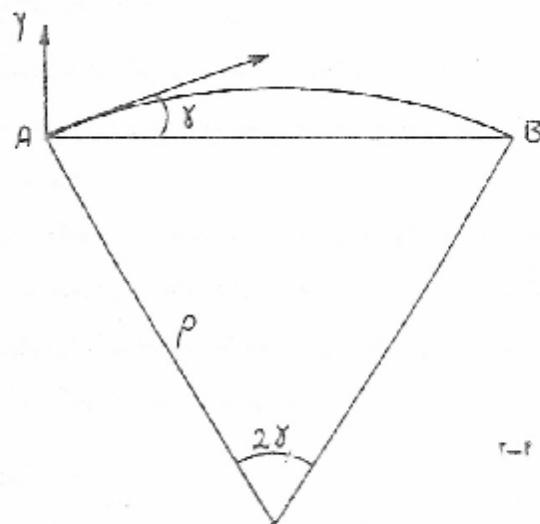
د) چنانچه اندازه گیری بین ازدواجها دمورد نظر باشد میباشد می بین هر دوا متنا دیصورت محذا برداش زوابهای مستقل ناپسند دورانیق (این روش در متدهای اندازه گیری زوابا مورده بحث قرار میگیرد) انجام پذیرد .

۴-۱-۶- خطای انکسار

انکسار جوی یکی از خطای ناشی از عدم شبات در اندازه گیری روا با بوده و تاکنون نیز متدهای وجود نداشته که بتوان اندازای این خطای را برای شرایط مختلف جوی در طول مسیر ترا ولریوی دقیقاً بذست آورد . باید توجه داشت که انکسار جوی متناسب با گرا دیانت (تغییرات برای واحد طول) غریب شکست بوده را اندازه گیری این تغییرات در طول مسیر ترا ولریوی عمل " غیر ممکن میباشد . بهمین دلیل است که همیشه خطوط قرار و لریوی از معاورت ممکنی که دارای تشخیصات حرارتی میباشند خطای زبانی را در اندازه گیری زوابهای اتفاقی باعث میگردند . در مراتق شهروی سخصوص وقتی مسیر خطوط قرار و لریوی از کناره دیوارها و با ساخته نهایی که در معرض سورخورشید قرار دارد معمور مینماید این خطای ناشی از نیز میگردد . همچنین این مراتق با شبکه ریاضی کوhestانی و با سطح آبها و سراسیب مغراهها در مراتق سطح و با سائب کم که دارای شکمیتل شفیریه " بکثرا ختنی نیز میباشد که این اتفاق درجه حرارت غیلی سا جیزو در نیجه این مراتق خطای اندیابل صرف نظر گردن میباشد . بطور کلی برای اجتناب از خطای انکسار سهیتین و مطمئن شوبن

ساعت برای اندازه‌گیری روزایی افقی روزهای ابری و با بهترینهای بحداکثر روزهای
و با صحنهای زودسیماست. ولی هاین وجودها زهم بعلت عدم دسترسی و با مطمئن بودن
اطلاعات دقیق در مورد کیفیت گردیده است ضریب شکست، تغییرات درجه حرارت و فشارهای در طی
مسیر قرار گرفته، همچنان در هر شرایطی قرائتهای انجام شده حتی بحداکثر اسکار (بعثت
آن خواهد آمد) نوام با خط بوده و شنا پیشنهادهای دیرای کاهش آن بخصوص وقتی دقت ریاضی مورود
درخواست میباشد همانا تکرار اساز، کیفیت آنها در شرایط مختلف جوی در روزهای و یا حداقل
 ساعت مختلف میباشد.

در این روش میباشد های سرواژه های سرواژه در یک فضای پیوسته با داشته های مختلف
درجت افقی یک خط منحنی را طی میکند (شکل ۲-۶) که اینجا آن از فرمول زیر محاسبه
میگردد.



شکل ۲-۶

(۲-۴) $\frac{1}{\rho} = \frac{1}{n} \text{ grad } n$
که در آن n ضریب شکست هوا و $\text{grad } n$ کرا دیانت یا تغییرات ضریب شکست (اسازی)
واحد طول در امتدا دمحور ρ (امتداد عمود بر سطح سرمه در صفحه افق) میباشد.
منتظر محاسبه ضریب شکست سخت برای اشده های سرواژه معمولاً از فرمول
Barrell and Sears (۱۹۳۹) استفاده میگردد:

$$(۲-۵) (n - 1) = (n_0 - 1) \frac{273P}{760T} - \frac{273}{T} 5.5 \times 10^{-8}$$

که در آن P فشارهای بر حسب میلیمتر جیوه، T درجه حرارت مطلق هوا بر حسب kelvin (کیلولیتر جیوه
آن هوا بر است) $(T = 273 + t^{\circ})$ ، n_0 فشارهای بوجوده در هوا بر حسب میلیمتر جیوه
و n ضریب شکست نورتگ در شرایط منحاجی هوا (هوای خشک خود در سه انتیگرال دیافراگم
Cauchy ۷۶۰ میلیمتر جیوه و ۲٪ درصد حجم CO_2 بوده که مقدار آن با استفاده از رابطه

برابر است با :

$$(n_0 - 1) \cdot 10^6 = 2AY, 604 + 1, 6248 / \lambda = 0, 0126 / \lambda^4 \quad (2-10)$$

که در آن λ طول موج سورس رحیب میگردن ساخته.

برای محاسبه کردن دیافتار خوب نتکت (dn) متنوan آنرا بصورت زیرنوشت :

$$\text{grad} n = \frac{dn}{dy} = \frac{dn}{dT} \cdot \frac{dT}{dy} \quad (2-11)$$

که در آن $\frac{dT}{dy}$ کردادیافت درجه حرارت برای واحد طول دراستاد عمودیز میگردید و $\frac{dn}{dT}$ کردادیافت خوب نتکت نسبت به درجه حرارت میگاشند. حال چنانچه از راسه ۲-۹ نسبت به $\frac{dT}{dy}$ دیفرانسیل کرده شده در رابطه ۲-۱۱ فرازگردخواهیم داشت :

$$\text{grad} n \approx \frac{0.36(n_0 - 1)P}{T^2} \cdot \frac{dT}{dy} \quad (2-12)$$

با بینی در نظر داشت انکسار افقی تابعی است از کردادیافت درجه حرارت و میمولاً "کردادیافت P و T ناچیز" چندانی در آن شداسته و قابل صرف نظر کردن میگاشند. حال با جابکریں مسودن - معاونه ۲-۱۶ در معادله ۲-۱۴ و فرض نمودن $n = 1$ مقدار آنها مسیغشکست سوربرا سرخواه دهیم :

$$\frac{1}{P} = \frac{0.36(n_0 - 1)P}{T^2} \cdot \frac{dT}{dy} \quad (2-13)$$

حال ساتوجه شکل ۲-۴ مقدار تصحیح انکسار سایه را اندادی مانند آنرا ساخت با :

$$\gamma = \frac{S}{2P} \quad (2-14)$$

که در آن γ خط قرار ایروی و S ابعاد آن در اثر انکسار جوی است. با جابکری مسودن مقدار P دورابلک ۲-۱۴ مقدار تصحیح انکسار در زوایای افقی برآورد شود با :

$$\gamma = \frac{0.36(n_0 - 1)PS}{T^2} \cdot \frac{dT}{dy} \quad (2-15)$$

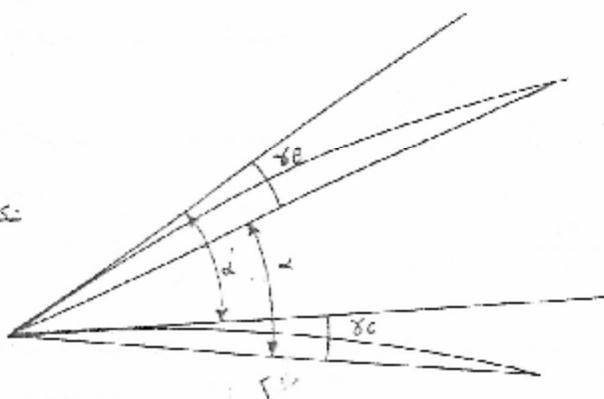
که با فرض نمودن $n = 1, 0005292$ و فرازدادن S بوسیب متزو P بر حسب مبنی سارز T بر حسب $\frac{dT}{dy}$ و $k_{el}V_{in}$ بمحض سایگکار دیو معرفی مول فرق بصورت ساده برآورد شود است

$$\gamma = \delta \left(\frac{PS}{T^2} \right) \cdot \frac{dT}{dy} \quad (2-16)$$

وارازجا مطابق شکل ۲-۵ مقدار زاویه افقی α را تصحیح انکسار برآورد شود با :

$$\alpha = \alpha' + \delta_C - \delta_B$$

شکل ۲-۵



تصحیح اسکار ممکن است با استفاده از تعزیز نور تیز بشرح زیرقابل محاسبه باشد، اگر دو سور شکرینگ مختلف با طول موجهای λ_1 و λ_2 برای اندازه‌گیری امتدادی دور داشته باشند، آنگاه دو سر توجه بداینکه اینها اسخانه مسیر نوری طی شده بستگی به طول موج اشده بکار برده شده درینجا برای این امتداد ممکن است، با توجه به فرمول ۲-۱۳ اسخانه مسیرهای طی شده، نوسط دور نور را بث قوی در شرایط ساده

$$\frac{1}{\ell_1} = C(n_{\lambda_1} - 1) \quad (2-16)$$

$$\frac{1}{\ell_2} = C(n_{\lambda_2} - 1) \quad (2-16)$$

که در آن n_{λ_1} و n_{λ_2} ضریب ضرب شکست نورهای λ_1 و λ_2 در شرایط منشارف جوی و ناکتور باشند، توجه به شرایط بکسان جوی در اینجا از گیری سوا برخواهد بودند؛

$$C = \frac{0.26 \times P}{T^2} \cdot \frac{dT}{dy} \quad (2-17)$$

با جایگزینی روابط ۲-۱۶ در رابطه ۲-۱۴ خواهیم داشت:

$$\lambda = \frac{S}{2} \times C(n_{\lambda_2} - n_{\lambda_1}) \quad (2-18)$$

که ب توجه به رابطه فوق ماتریس C برخواهد بودند؛

$$C = \frac{2 \times \Delta \lambda}{S \times \Delta n_0} \quad (2-19)$$

که در آن آن اختلاف بین تصحیح اسکار رای دور نور λ و λ_1 در حقیقت با توجه به شرایط کاملاً بکسان اندازه گیری اختلاف بین قرانکهای امتدا نیز اذکر با دور نور مختلف λ و λ_1 بوده و Δn_0 نیز اختلاف بین ضریب شکست همین دور نور در شرایط منشارف جوی میباشد، لذا با معلوم λ بودن مقدار C دیگر از گیری شرایط جوی (P ، T ، C) رای محاسبه تصحیح اسکار برای هر یک از دور نور فوق آنکه و برآیند و با توجه به فرمول را برآورده کنند، از این دو نتیجه از راسته زیر محاسبه شود.

$$\gamma_1 = \frac{S}{2} \times \frac{1}{P} = \frac{S}{2} \times C(n_{\lambda_1} - 1) \quad (2-20)$$

که با جایگزینی روابط ۲-۱۶ در ۲-۱۷ خواهیم داشت:

$$\gamma_1 = \Delta \lambda \left(\frac{n_{\lambda_1} - 1}{\Delta n_0} \right) \quad (2-21)$$

البته باستثنی توجه داشت که این تصحیح خود تیز خطای دارد که مقدار آن با استفاده از قاعده پخش خطای سرا برخواهد بودند؛

$$\delta \gamma_1 = \frac{n_{\lambda_1} - 1}{\Delta n_0} \times \delta \Delta \lambda = \frac{\delta_1}{\Delta \lambda} \cdot \delta \Delta \lambda \quad (2-22)$$

مشان ۱:

چنانچه امتدا $\Delta \lambda$ بطول ده کیلو متر در کنار ساحلی بخواهد اندازه گیری شود مطوب است محاسبه تصحیح اسکار برای امتدا نیز در صورتی که $T = 20^\circ C$ ، $P = 750 \text{ mmHg}$ ، $f = 20^\circ C$ و $n_0 = 1.00029$ باشد.

مثال ۴ :

برای تعمیم تمحیح انکسار امتداد \overline{AB} بطول شریعی ده کیلو متر این امتداد در شرایط جویی مکتوختی سا دو سور $= \lambda_1 = 0,4028$ میکرون و $\lambda_2 = 0,6622$ میکرون اندازه گیری شده است، در صورتی که فراشتهای انجام شده برای این امتداد سا دو سور مختلف فوق بترتیب برابر

$$d_{\lambda_1} = 12^{\circ} 22' \quad d_{\lambda_2} = 12^{\circ} 21'$$

و با دقت یک ثانیه ($1'' = 1\text{m}$) نیز انجام شده مانند مطلوب است اولاً تمحیح انکسار برای سور اول نانیا "خطای این تمحیح ثالثاً" چنانچه بخواهیم خطای این تمحیح از یک ثانیه تجاوز نکند ($1'' \leq 1\text{m}$) شخص نماینده امتداد \overline{AB} میباشد با چه دقیقی اندازه گیری شود.

۲-۱-۲- روش‌های اندازه گیری زوابای افقی

بطورکلی سا شوجه امل اندازه گیری زوابای در دو حالت دورسین (کوبیل) روش‌های اندازه گیری زوابای افقی به جهای رگره و زیر تقسیم میگردد.

Method of independent angles

۱- روش زوابای مستقل

Direction method

ب- روش امتدادی

{Method of angles in all

[combinations (Schreiber method)]

ج- روش کلی زوابای ممکن (اسکراسر) (French method)

د- روش زوابای پوششی (فرانسوی)

از روش‌های فوق الذکر روش فرانسوی حالت حاصل از روش اسکراسر است که در آن بحلت مساوی بودن تعداد زوابای اندازه گیری شده با زوابای مورد لزوم هرای هرای یستگاه محاسبات سرتکنسی برای آن مصدق پیدا نمکرده و سنا هرای بن بخشی نیز در موردان لیزری هم بپیدانیم شاید لذا در این بخش فقط به بحث و سرسی سه روش با قیمت انداده که مورد استفاده بیشتری در نظر گرفته شوند.

نیز دارای مزایای زیادی

۱-۲-۱- اندازه گیری زوابای بر روش مستقل

در این روش زوابای بطورکلی ملا" مستقل و بدون پوششی سا پیداگیران اندازه گیری شده و معمولاً در هرای یستگاه سیزما تکمیل دورانی همراه میباشد، سا پوششی توجه داشت که اندازه گیری افقی دورانی به منظور کنترل و سرتکنسی زوابای در هرای یستگاه بوده و عدم انجام آن فقط عمل سرتکنسی ایستگاه را غیر ممکن میگارد، بعنوان مثال در یک ایستگاه سا ۱۷۸ امتداد $A-B$ زوابای مورد لزوم بود که معمولاً "پا تکمیل دورانی" را از زوابه اندازه گیری میشود.

۱-۲-۱-۲- سرتکنسی زوابای در روش مستقل

مطابق شکل (۱۶-۲) چنانچه $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ زوابای ایشانی باشند که در ایستگاه B به

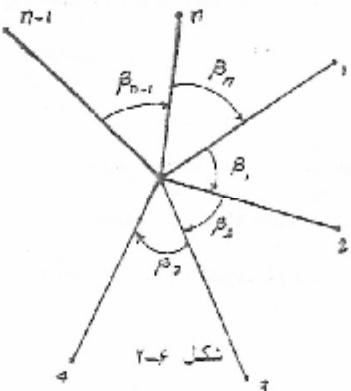
روش مستقل اندازه‌گیری شده‌اند، برای محاسبه روابای سرشکن شده استگاه $(x_1, \beta_1), \dots, (x_n, \beta_n)$ روش کمترین مربعات میتوان نوشت:

$$\hat{\beta}_1 = x_1 - (\beta_1 + v_1)$$

$$\hat{\beta}_2 = x_2 - (\beta_2 + v_2)$$

$$\hat{\beta}_3 = x_3 - (\beta_3 + v_3)$$

(۲-۲۲)



$$\hat{\beta}_{n-1} = x_{n-1} - (\beta_{n-1} + v_{n-1})$$

$$\hat{\beta}_n = \text{S60} + \sum_{j=1}^{n-1} x_j - (\beta_n + v_n)$$

شکل ۲-۲

با درنظر گرفتن $\beta_1, \dots, \beta_{n-1}$ معادلات ۲-۲۲ با علاوه ماتریسی برآورده شود:

$$AX - L = Y \quad (2-23)$$

که در آن A ماتریس فراهم، X بردار مشاهدات و L بردار مجموعات برآورده:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\delta \hat{\beta}_1}{\delta x_1} & \frac{\delta \hat{\beta}_1}{\delta x_2} & \frac{\delta \hat{\beta}_1}{\delta x_3} & \cdots & \frac{\delta \hat{\beta}_1}{\delta x_{n-1}} \\ \frac{\delta \hat{\beta}_2}{\delta x_1} & \frac{\delta \hat{\beta}_2}{\delta x_2} & \frac{\delta \hat{\beta}_2}{\delta x_3} & \cdots & \frac{\delta \hat{\beta}_2}{\delta x_{n-1}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\delta \hat{\beta}_n}{\delta x_1} & \frac{\delta \hat{\beta}_n}{\delta x_2} & \frac{\delta \hat{\beta}_n}{\delta x_3} & \cdots & \frac{\delta \hat{\beta}_n}{\delta x_{n-1}} \end{bmatrix}_{n \times (n-1)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{n-1} \\ x_n \end{bmatrix}, \quad L = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix}$$

با برآورده شدن شرط کمترین مربعات $(V^T P V)^T = \min$ معادلات نرمان و زنجار روابای سرشکن

$$(A^T P A) \hat{X} = A^T P L$$

$$\hat{X} = (A^T P A)^{-1} A^T P L$$

شده برآورده شود:

(۲-۲۴)

در صورتی که مشاهدات با دقت پکان (β) اندازه‌گیری شده با شندوفاکتور واریانس اولیه با واریانس وزن واحد آنها نباید برابر با حدود خود گردید. نصویر ماتریس وزن مشاهدات (P) برای برخواهد بود:

$$P = \delta \theta^2 [I]$$

که با معلوم بودن ماتریس ضرایب بردار مشاهدات و ماتریس وزن مشاهدات میتوان ماتریس های را محاسبه و باید پیگیری آنها در رابطه (۴-۲۵) مقادیر زوای سرشکن

$$\hat{X} = \frac{1}{n} \begin{bmatrix} n\beta_1 - \sum_{i=1}^n \beta_i + 360 \\ n\beta_2 - \sum_{i=1}^n \beta_i + 360 \\ \vdots \\ n\beta_{n-1} - \sum_{i=1}^n \beta_i + 360 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_1 + \frac{360 - \sum \beta_i}{n} \\ \beta_2 + \frac{360 - \sum \beta_i}{n} \\ \vdots \\ \beta_{n-1} + \frac{360 - \sum \beta_i}{n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_1 + \frac{m}{n} \\ \beta_2 + \frac{m}{n} \\ \vdots \\ \beta_{n-1} + \frac{m}{n} \end{bmatrix}$$

m همان خطای بست دورانی زوابای اندازه‌گیری شده در سک است. با مشخص شدن زوابای سرشکن شده (\hat{X}) مقادیر باقیمانده‌ها با استفاده از رابطه (۴-۲۶) برای برخواهد بود:

$$V = \begin{bmatrix} -\frac{m}{n} \\ -\frac{m}{n} \\ \vdots \\ -\frac{m}{n} \end{bmatrix}$$

وارآنجا در دست بودن با قیمانده‌ها که بنام فاکتور واریانس ثابت خوانده میشود ارجاع مول زیر محاسبه خواهد گردید.

$$\hat{\theta}_e^2 = \frac{V^T P V}{DF} \quad (4-26)$$

که در آن DF درجه آزادی یا افزونی تعداد مشاهدات آنجام شده نسبت به تعداد مشاهدات لازم (در اینجا $(n-1)(n-2)$) و مقادیر باقیمانده‌ها و P ماتریس وزن مشاهدات بوده که با

$$\hat{\theta}_e^2 = \frac{\delta \theta^2 \times n \left(\frac{m}{n}\right)^2}{n(n-1)} = \delta \theta^2 \frac{m^2}{n}$$

میخواهیم ابتدا ماتریس واریانس کواریانس زوابای سرشکن شده که با استفاده از رابطه برقرار باشد

$$\hat{C}_X^2 = \hat{\theta}_e^2 (A^T P A)$$

که با جا بگزینی مقادیر A و P_0 در آن خواهیم داشت :

$$C_X = \frac{\sigma^2}{\sigma_{\epsilon}^2} \begin{bmatrix} \frac{n-1}{n} & \frac{1}{n} & \frac{1}{n} & \frac{1}{n} & \dots & \frac{1}{n} \\ \frac{1}{n} & \frac{n-1}{n} & \frac{1}{n} & \frac{1}{n} & \dots & \frac{1}{n} \\ \frac{1}{n} & \frac{1}{n} & \frac{n-1}{n} & \frac{1}{n} & \dots & \frac{1}{n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\frac{1}{n} & -\frac{1}{n} & -\frac{1}{n} & -\frac{1}{n} & \dots & -\frac{1}{n-1} \end{bmatrix}$$

حال با استفاده از ما ترسی فوق مقدار پارامتر و خطای استانداردهای ارزوایی سرشکن شده برابر خواهد بود با :

$$\sigma_{\chi_i}^2 = \frac{\sigma^2}{\sigma_{\epsilon}^2} \left(\frac{n-1}{n} \right)$$

$$\sigma_{\chi_i} = \frac{\sigma}{\sigma_{\epsilon}} \sqrt{\frac{n-1}{n}}$$

که با توجه به نتیجۀ ما ترسی وزن در حل معادلات سرشکنی جناحه فرض نهاییم ($\alpha = 0.05$) برای مقادیر فوق خواهیم داشت .

$$\sigma_{\chi_i}^2 = \sigma^2 \left(\frac{n-1}{n} \right)$$

$$\sigma_{\chi_i} = \sigma \sqrt{\frac{n-1}{n}}$$

رابطه (۲-۲۸) ممکن است با استفاده از قانون اثربخشی (strobl's rule) که یک قانون آماری درباره واریانس مقادیر بحداوزر شکنی است شیوه بدست آید .

در این قانون واریانس مقادیر بحداوزر شکنی از رابطه زیر مطابق میگردد .

$$\sigma_{\chi_i}^2 = \sigma^2 \frac{N}{T}$$

که در آن N تعداد مشاهدات لازم و T تعداد مشاهدات انجام شده میباشد را لنت انداره گیری زوايا بروون مستقل سهاده مشاهدات لازم $N = T - 1$ و مشاهدات انجام شده ساده را فرق $T - n$ می -

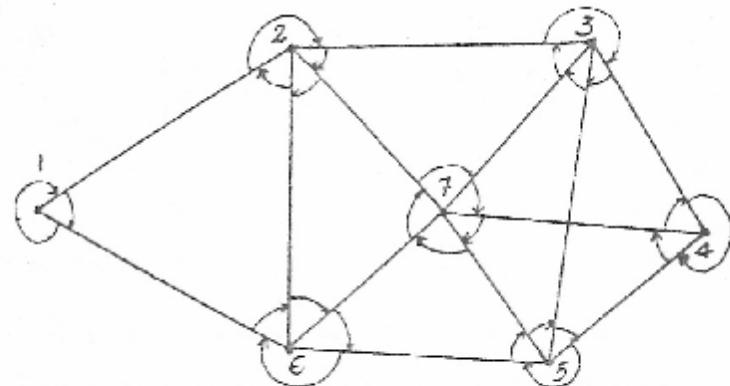
باشد که با استفاده از فرمول فوق داریم :

$$\sigma_{\chi_i}^2 = \sigma^2 \frac{n-1}{n}$$

که همان رابطه (۲-۲۸) خواهد بود .

هذا نظرورگه از را بطيه ۴-۲ مشاهده ميگردد جنا نجه زوايا يك شبكه به روش مستفلسل
 اندازه گيري و در هر ايستگاه ميزرسنكني ايستگاه مورت پذيرد، هرچند كه كليه زوايا با دقت يكجا
 اندازه گيري شده باشد، لين زوايا داراي داراي نشونهاي يكسان نبوده و وارها نباشند.
 بستگي به شدآدا متنهای هرا يستگاه دارد، معنوان متنه چنانچه در شبكه زير زوايا به روش
 مستقل و آنهم با دقت يكسان برای هرا يستگاه اندازه گيري شده با شندطقه را بطيه ۴-۲ زوايا نشون
 زوايا هرا يستگاه برای بروخواهد بود با

$$\begin{aligned} \epsilon_1^2 &= \frac{\epsilon^2}{60} \cdot \frac{1}{1} \\ \epsilon_2^2 &= \frac{\epsilon^2}{60} \cdot \frac{2}{2} \\ \epsilon_3^2 &= \frac{\epsilon^2}{60} \cdot \frac{3}{3} \\ \epsilon_4^2 &= \frac{\epsilon^2}{60} \cdot \frac{4}{4} \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \\ \epsilon_k^2 &= \frac{\epsilon^2}{60} \cdot \frac{5}{5} \end{aligned}$$



۴-۲-۲-۲-۲ اندازه گيري زوايا به روش انداده

در این روش که معمولاً اندازه گيري اولین انداده در دورافق سکرا رنگري داده میشود -
 ممکن است در کوبلهای کامل و بآن قص برای هرا يستگاه مورت پذيرد.

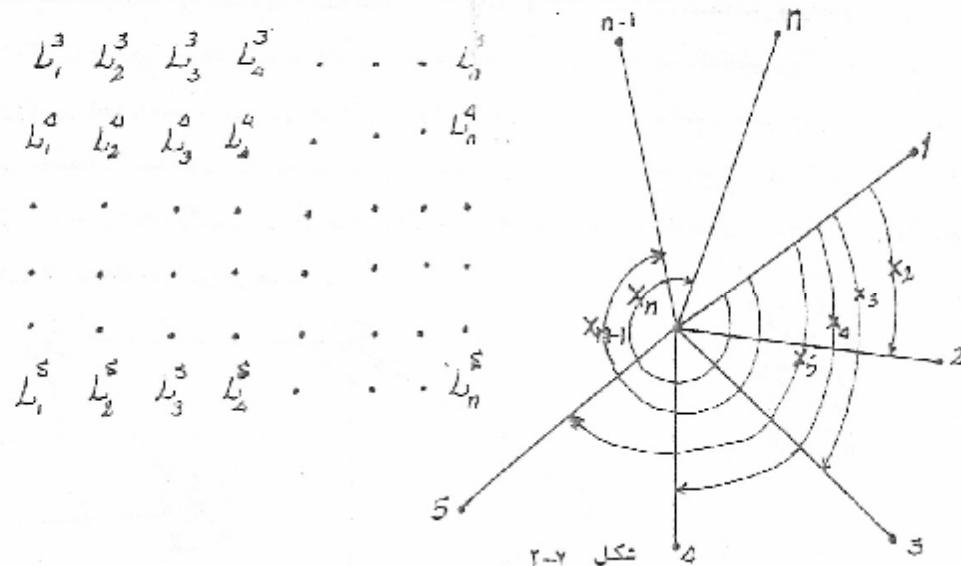
۴-۲-۲-۲-۳ اندازه گيري در کوبلهای کامل

منظور از کوبلهای کامل در روش اندادی آنست که تمام اندادهای هرا يستگاه در گلپایه
 کوبلهای اندازه گيري شده در آن ايستگاه فراشته شده باشد. حال چنانچه ۶۷ انداده ايستگاه هیس
 مطابق شکل ۴-۲ در ۵ کوبه آنهم بمورت کوبلهای کامل اندازه گيري شوند شماره مشاهده
 انجام شده برای چنین ايستگاه هین برای بروخواهد بود با:

۱۱۵

سا پسی توجه داشت که متوسط هر دو اندازه گيري داسره بجبر و دايره برآست برای هرا انداده هر
 کوبه اندازه گيري نشيجه اندازه گيري يك انداد بحساب آمده است، حال اگر نتیجه فراشته
 هر کوبه اندازه گيري برای يك انداد را با مجموع فراخ يافته دهيم (۱۰ مشخص كننده انداد
 و ۵ هفده شخص كننده کوبه) مشاهدات انجام شده برای اين ايستگاه برای بروخواهد بود با:

$$\begin{matrix} ۱ & ۲ & ۳ & ۴ & ۵ & ۶ & ۷ \end{matrix}$$



چنانچه امتداد شماره بک را برای سهولت محاسبه بخوان امتداد مبدأ انتخاب و فراست آنرا در هر کربل اندازه گیری سطر کا هش دهیم مطابق شکل ۲-۷ برای امتداد های سرشکن شده از این (۱-۱) امتداد مجهول $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ و S مردمب صحیح امتداد بپرس $(x_1^2, x_2^2, x_3^2, \dots, x_n^2)$ خواهیم بود که در نتیجه امتداد مجهولات برآ برخواهد بسورد $n-1 + S$

برای محاسبه امتداد های سرشکن شده درایستگاه فوق بروش کمترین مربعات ابددا مقدلات مطالعات برای هر اندازه گیری را بشرح زیر مینویسیم.

$$f_1^1 = x_1 - (L_1^1 + V_1^1) + Z^1 = 0$$

$$f_2^1 = x_2 - (L_2^1 + V_2^1) + Z^1 = 0$$

$$f_3^1 = x_3 - (L_3^1 + V_3^1) + Z^1 = 0$$

⋮

$$f_n^1 = x_n - (L_n^1 + V_n^1) + Z^1 = 0$$

فراشها کوبل اول

$$f_1^2 = x_1 - (L_1^2 + V_1^2) + Z^2 = 0$$

$$f_2^2 = x_2 - (L_2^2 + V_2^2) + Z^2 = 0$$

$$f_3^2 = x_3 - (L_3^2 + V_3^2) + Z^2 = 0$$

⋮

⋮

۱۴۳۹)

فراشها کوبل دوم

فراشتهای کوبیل دوم

$$f_n^2 = X_n - (L_n^2 + V_n^2) + Z^2 = 0$$

$$\begin{aligned} f_1^2 &= X_1 - (L_1^2 + V_1^2) + Z^2 = 0 \\ f_2^2 &= X_2 - (L_2^2 + V_2^2) + Z^2 = 0 \\ f_3^2 &= X_3 - (L_3^2 + V_3^2) + Z^2 = 0 \end{aligned}$$

فراشتهای کوبیل ام

$$f_n^2 = X_n - (L_n^2 + V_n^2) + Z^2 = 0$$

که در آن L_i و V_i اندازه‌گیری و باقیمانده‌ها متداد امدوکوبیل ام؛ X_i مقدار سوتکن شده‌ها متداد آم و Z مقدار تصحیح امداده‌گذار برای کوبیل ام میباشد. معادلات ۲-۹ میباشند. علاوه بر این ماتریسی برای بروخواهد بود با

$$\hat{A}X - L = V$$

که در آن A ما سریس ضرایب، R بودار متشابهات و L بودار محیولات؛ شامل امدادهای سرشنکن شده و تصحیح صفر) میباشد. با بکاربردن شرط کمترین مربوط معاදلات نرم افزار آنجا امدادهای سرشنکن شده و تصحیح امدادهای خضری برای بروخواهد بود با

$$(A^T PA)\hat{X} = A^T PL$$

$$\hat{X} = (A^T PA)^{-1} A^T PL \quad (2-30)$$

با استوجه داشت در مورثی که متشابهات با دقت یکسان اندازه گیری شده باشند و فاکتور واریانس اولیه برای بروآحدی غرض گوید در آن مورث ما شریس وزن متشابهات (P) برای بروخواهد بود با:

$$P = R^2 [I]$$

که با معلوم بودن ما شریس ضرایب، بودار متشابهات و ما سریس وزن وجا یگریتی آنها در راسته (۲-۳۱) مقادیر امدادهای سرشنکن شده و تصحیح امداده‌گذار محسوبه واز سجا با جایگزینی آنها در معادلات متشابهات (۲-۴۹) متشابهات قیمتانده‌ها محاسبه میگردند با منحصر با تبعه شده‌ها فاکتورهای نعناییه با استفاده روابطه (۲-۴۶) فاصل محاسبه بود که در آن درجه آزادی برای بروخواهد بود با: DF

$$DF = (S - (n-1 + S)) = (n-1)(S-1)$$

۳۴

در عمل محاسبه مقادیر با قیمت‌های متفاوت با نوجوه مبتدا دهای سرنشکن مربوطات از راسا ده تری نیست
قابل محاسبه می‌باشد و میتوان ثابت کرد که استاد دهای سرنشکن شده جزوی جز متوسط
حسابی نیز فراشناخت انجام شده برای هر امتدانکه امتدان‌های کاوش پانه است نمی‌باشد.
بمنظور اثبات این مطلب کافی است که مقادیر مجهولات را در معادلات ۲-۲۶ محاسبه نماییم

(اثبات آن بهمدهد داشتگریان می‌باشد) بهره‌حال همان تأثیر داشتگری دید مقادیر استاد دهای سرنشکن

$$X_2 = \bar{g}_2 - \frac{\sum_{i=1}^n g_i}{S} \quad (2-31)$$

$$X_3 = \bar{g}_3 - \frac{\sum_{i=1}^n g_i}{S} = \bar{L}_3 - \bar{L}$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$X_n = \bar{g}_n - \frac{\sum_{i=1}^n g_i}{S} = \bar{L}_n - \bar{L}$$

که در آن $\bar{L}_1, \bar{L}_2, \bar{L}_3, \dots, \bar{L}_n$ متوسط حسابی استاد دهای فراشناخت شده می‌باشد، باشد
توحد داشت جون در این روش حساب امتدادها نسبت به امتدان‌های (ممولاً اولین امتداد) کاوش
می‌باشد بعده با کاوش پانه استاد دهای به ضریرای هر کوبیل اندازه‌گیری تراشیده
امتدادهای دیگر سیزدهمین اندازه کاوش می‌باشد در نتیجه مقادیر استاد دهای سرنشکن شده (X_i)
دقیقاً برابر متوسط حسابی آن امتدادهای در یکوبیل می‌باشد، همچنین مقادیر تمحببیت
امتدادهای دیگر (آخر) برای هر کوبیل اندازه‌گیری بس از سرنشکن برابر خواهد بود با:

$$\bar{g}_1 - \bar{g}_2 = \bar{L}_1 - \bar{L}_2$$

$$\bar{g}_2 - \bar{g}_3 = \bar{L}_2 - \bar{L}_3$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

که در آن $\bar{L}_1, \bar{L}_2, \bar{L}_3, \dots, \bar{L}_n$ می‌باشد. حال با جایگزینی این مقادیر در معادلات معاویات (۲-۲۹) مقادیر

$$V'_1 = \bar{g}_1 - \frac{\sum_{i=1}^n g'_i}{n}$$

$$V'_2 = \bar{g}_2 - \frac{\sum_{i=1}^n g'_i}{n}$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$V'_n = \bar{g}_n - \frac{\sum_{i=1}^n g'_i}{n}$$

با قیمت‌های کوبیل اول

(۲-۳۲)

$$V'_1 = \bar{g}_1 - \frac{\sum_{i=1}^n g''_i}{n}$$

$$V'_2 = \bar{g}_2 - \frac{\sum_{i=1}^n g''_i}{n}$$

با قیمت‌های کوبیل دوم

$$V_n^2 = g_n^2 - \frac{\sum_{i=1}^n g_i^2}{n}$$

با قیمت‌نده‌های کوبیل دوم

$$V_i^2 = g_i^2 - \frac{\sum_{j=1}^n g_j^2}{n}$$

با قیمت‌نده‌های کوبیل ام

$$V_2^2 = g_2^2 - \frac{\sum_{i=1}^n g_i^2}{n}$$

$$V_i^2 = g_i^2 - \frac{\sum_{j=1}^n g_j^2}{n}$$

بطورکلس برای با قیمت‌نده آمده کوبیل نام میتوان نوشت

حال با دردست بودن با قیمت‌نده‌ها، ماتریس وزن و درجه آرادی مقدارها کثیرواریا نشانویس سرا برخواهد بودیا:

$$\hat{G}_0^2 = G_0^2 \frac{n \sum_{i=1}^n g_i^2 - \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^n g_j^2) \sum_{j=1}^n g_j^2}{n(n-1)(S-1)} \quad (2-24)$$

با بحثی در نظرداشت که در عمل ساده‌تر مفایل عددی با قیمت‌نده‌ها میتوان مقدار \hat{G}_0^2 را

برای حسابه و فرمول ۲-۳۴ را فقط جیت‌گذشتل محاسبات نکار سرده ماتریس واریانس کواریانس امتدادهای سرشکن شده نیز با استفاده از رابطه (۲-۲۷) قادر محاسبه بوده واردی آن مقدار واریانس امتدادهای سرشکن شده برای برخواهد بودیا:

$$\hat{G}_{x_i}^2 = \frac{\hat{G}_0^2}{S} \cdot \frac{1}{S}$$

که با فرض $S = \frac{N}{2}$ مقدار واریانس و از آنچنان خراف ممیا را امتدادهای سرشکن شده برای برخواهد بودیا:

$$\hat{G}_{x_i}^2 = \frac{\hat{G}_0^2}{S}$$

$$\hat{G}_{x_i}^2 = \frac{\hat{G}_0^2}{\sqrt{S}}$$

از قانون آنریبسکی نیز همین مسیحه مساهده حواهد شدز برادران روش N تعداد مساهدهای کرم - برای سر μ و σ تعداد مساهدهای انجام شده برای برآورد حواهد بودکه با استفاده از قانون فوق حواهیم

$$\hat{G}_{x_i}^2 = \hat{G}_0^2 \frac{N}{T} = \hat{G}_0^2 \cdot \frac{1}{S}$$

داشت

با بحثی شرح داشت که روابط فوق فقط برای کوبلهای کامل اندازه‌گیری (اندازه‌گیری همه امتدادهای در تما م کوبیلها) مادق بوده و جنابه یک ب چند امتداد بعلت شرایط جوی و غیره دریکی و یا جندکوبیل اندازه‌گیری شده باشد (اندازه‌گیری در کوبلهای شاقع) فرمولهای فرسقو

مادق بحیب شود

مثالی از سرشکنی استگا، مروش استادی در حالت کوپلهاي کامل که نراي چهار
امتداد بطریقه مطلي محاسبه گردیده است در جدول (۲-۱) مده است.

فراشتهاي کا هش با فته نسبت با متدا درج شود

Set	Sta 1	Sta 2	Sta 3	Sta 4
1	0.000 0	105°439.8	156°086.8	211°690.8
2	0.000 0	0.440 0	0.087 1	0.690 .6
3	0.000 0	0.439 6	0.087 2	0.691 0
4	0.000 0	0.440 4	0.086 8	0.690 .5
5	0.000 0	0.440 1	0.086 4	0.690 .3
6	0.000 0	0.439 5	0.086 6	0.690 8
=	0.000 00	105°439.90	156°086.82	211°690.67
(Mean)				

$$\text{اختلاف فراشتها از متوسط} = \bar{v}_j^i = \frac{\sum v_j^i}{n}$$

g_i^1	0.0 ^{cc}	1.0 ^{cc}	0.2 ^{cc}	-1.3 ^{cc}	0.0 ^{cc}
g_i^2	0.0	-1.0	-2.8	0.7	-0.8
g_i^3	0.0	3.0	-3.8	-3.3	-1.0
g_i^4	0.0	-5.0	0.2	1.7	-0.3
g_i^5	0.0	-2.0	4.2	3.7	1.5
g_i^6	0.0	4.0	2.2	-1.3	1.2

$$\text{با قيماته} v_i^j = g_i^j - \frac{\sum g_i^j}{n} \quad [v]$$

v^1	0.0 ^{cc}	1.0 ^{cc}	0.2 ^{cc}	-1.3 ^{cc}	-0.1
v^2	0.8	-0.2	-2.0	1.5	0.1
v^3	1.0	4.0	-2.8	-2.3	-0.1
v^4	0.8	-4.2	1.0	2.5	0.1
v^5	-1.5	-3.5	2.7	2.2	-0.1
v^6	-1.2	2.8	1.0	-2.5	0.1

$$[vv] = 108.48 \quad n = 4 \quad s = 6$$

$$\delta_0 = \sqrt{\frac{108.48}{15}} = 2.7^{cc}$$

$$\delta_\delta = \delta_0 / \sqrt{s} = 1.1^{cc}$$

سرشکنی استگا، مروش استادی در کوپلهاي کامل

جدول ۲-۱

۲-۲-۲-۱- اندازهگیری درکوبلهای ناقص

چنانچه در روش امتدادی بعضی از امتدادها در اینستگاهی بحلت مه گرفتگی، با رسیدگی به اینها علیل دیگر قابل رویت و اندازهگیری در یک یا چند کوبله نباشند حالات کوبلهای ناقص در روش امتدادی بوجود خواهد آمد. در چنین حالتی امتدادهایی که در چند کوبله مساهده نگردیده اند بحسب از سرنشکنی اینستگاه غلوت بروزن کمتر و تصحیح کوچکی در متوسط حسابی خود در صورتیکه بیش از یک امتداد باشد اندازهگیری های وابسته بیش بوجود خواهند آورده که با یافتن کواریان آنها را بیش در محاسبات مربوط به سرنشکنی شبکه مقاطع دخالت داد. البته بحلت تقریباً "غیرعملی" سودمند محاسبه کواریا و یا نسبها و همچنین اشکالات مرسوط به معرفی آنها به محاسبات سرنشکنی شبکه نوچه به میگردد که در جمله اول ممکن در جلوگیری از بروز چنین مواردی (بخصوص برای بیش از یک امتداد) در اندازهگیری هاآور صورت عدم امکان امتدادها را صورت گروههایی ذکوبلهای که مسئل و بطور جدا گانه به سرنشکنی شبکه مقاطع کنترل معرفی شماشند.

مثال:

چنانچه در مثال قبل امتداد شماره ۳ بحلت مه گرفتگی درکوبلهای ناقص اندازهگیری شده باشند (جدول ۲-۲) «برای محاسبه امتدادهای سرنشکن شده یا میتوان آنها را مطابق جدول ۲-۳ به دو گروه کوبلهای کامل I و II تقسیم سودمند و سپس متوسط و انحراف معیار آنها را بطور کاملاً جداگانه محاسبه و در سرنشکنی شبکاشرکت داده با مطابق جدول ۴-۲ بطور عملی متوسط و انحراف معیار هر یک از امتدادها را محاسبه کنیم» محو و مورد استفاده قرار دارد. البته همان نظر و که از ملاحظه میگردد مقادیر سرنشکن شده امتدادهای مساهده شده در همه کوبلهای همان متوسط اندازهگیری آنها بوده و مقدار تصحیح امتدادی را که بطور مناسبتی اندازهگیری شده امتداد شماره ۳) بیش میتوان از فرمول تجربی زیر محاسبه نمود.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})}{n-1} \quad (2-25)$$

که در آن S تعداد کوبلهای اندازهگیری شده، n امتدادهای اندازهگیری شده و P امتداد کوبلهایی است که در آن یک امتداد اندازهگیری شده است میباشد. همچنین وزن امتدادهای مشاهده شده در همه کوبلهای اندازهگیری شده و وزن امتداد شماره ۲ (P') بیش از رابطه تجربی زیر قابل محاسبه میباشد.

$$P' = \frac{S(S-S')(n-1)}{S(n-1)+S'} \quad (2-26)$$

که در مثال فوق $S=6$ ، $P=3.6$ و $P'=2.6$ میباشد. با این توجه داشت همانطور که بیان گردید و قبلي فقط یک امتداد در چند کوبله مشاهده شگردیده باشد میتوان مطابق محاسبات فوق امتدادهای سرنشکن شده را همراه با انحراف معیار محاسبه شده برای آنها بطور کاملاً مستقل در مطابق مربوط به سرنشکنی شبکه های مقاطع کنترل شرکت داد.

کویل	ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۳	ایستگاه ۴
۱	0.000 0	105.439 8	158.086 8	311.690 8
۲	0.000 0	-4400	-0271	690 6
۳	0.000 0	-439 6	-0272	-691 0
۴	0.000 0	-4404	-0868	-690 5
۵	0.000 0	-4401		-690 3
۶	0.000 0	-4395		-690 7
متوسط	0.000 0	105.439 90	158.086 98	311.690 67

جدول ۲-۱

کریچها	کریچها	متوسط طرد سرد					اکنون (درجه)
		ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۳	ایستگاه ۴	ایستگاه ۵	
I	۱۰۲	0.000 00	105.439 95	158.086 98	311.690 72	4	
II	۸۰۷	0.000 00	105.439 80		311.690 55	2	
III - IV		0.000 00	-0.000 15		-0.000 17		

جدول ۲-۲

	ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۳	ایستگاه ۴
متوسط	0.000 00	105.439 90	158.086 94	311.690 67
وزن	6	6	3.6	6

جدول ۲-۳: محاسبات مربوط به سریکم ایستگاه بروش استدادی در کوپنهاین شاخص

۱- فواتیhan کامپیوچر (آنکه دست به استداد میدارد)

ردیف	استگاه ۱ (L ₁)	استگاه ۲ (L ₂)	استگاه ۳ (L ₃)	استگاه ۴ (L ₄)	استگاه ۵ (L ₅)
۱	۰.۰۰۰۰	۱۰۵.۴۳۹۸	۱۵۸.۰۸۶۸	۲.۱۱.۶۹۰۸	
۲	۰.۰۰۰۰	.۶۶۰۰	.۰۸۷۱	.۶۹۰۶	
۳	۰.۰۰۰۰	.۴۳۹۶	.۰۸۷۲	.۶۹۱۰	
۴	۰.۰۰۰۰	.۶۶۰۴	.۰۸۶۸	.۶۹۰۵	
۵	۰.۰۰۰۰	.۶۶۰۱		.۶۹۰۳	
۶	۰.۰۰۰۰	.۴۳۹۵		.۶۹۰۵	
Mean	۰.۰۰۰۰	۱۰۵.۴۳۹۳	۱۵۸.۰۸۶۹۸	۲.۱۱.۶۹۰۶۷	

۲- متوسط فراتراز استداد همکنای آندا (R)

L ₁ -L ₂ (R ₁)	L ₂ -L ₃ (R ₂)	L ₃ -L ₄ (R ₃)	L ₄ -L ₅ (R ₄)	ΣR (R _{۱۲۳۴})
۰.۰	۰.۰	+۱.۸	-۱.۳	+۰.۶
۰.۰	-۱.۰	-۱.۲	+۰.۷	-۰.۴
۰.۰	+۳.۰	-۲.۴	-۳.۳	-۰.۶
۰.۰	+۵.۰	+۱.۸	+۱.۷	-۰.۴
۰.۰	-۲.۰		+۳.۷	+۰.۴
۰.۰	+۴.۰		-۱.۳	+۰.۴
۰.۰	۰.۰	+۰.۲	+۰.۲	معنی‌نیز

۳- تابع متادینه مطوار متوسط آن دفترچه داده (R)

۴- تابع عادی و متوسط آن دفترچه داده (R)

K ₁ ¹ -K ₂ ¹ (U ₁)	-۰.۴	+۰.۶	+۱.۶	-۱.۶	-۰.۱
K ₁ ² -K ₂ ² (U ₂)	+۰.۴	-۰.۶	-۰.۸	+۱.۱	+۰.۱
K ₁ ³ -K ₂ ³ (U ₃)	+۰.۶	+۳.۶	-۱.۶	-۲.۷	-۰.۱
K ₁ ⁴ -K ₂ ⁴ (U ₄)	+۰.۶	-۴.۶	+۲.۲	+۲.۱	+۰.۱
K ₁ ⁵ -K ₂ ⁵ (U ₅)	-۰.۶	-۲.۶		+۳.۱	-۰.۱
K ₁ ⁶ -K ₂ ⁶ (U ₆)	-۰.۳	+۳.۱		-۲.۲	۰.۰
ΣU	-۰.۱	-۰.۱	+۰.۳	+۰.۰۵	نیز

K ₁ ¹ -K ₂ ¹ (U ₁)	K ₁ ² -K ₂ ² (U ₂)	K ₁ ³ -K ₂ ³ (U ₃)	K ₁ ⁴ -K ₂ ⁴ (U ₄)	ΣK (U _{۱۲۳۴})
-۰.۳	+۰.۷	+۱.۱	-۱.۶	۰.۰
+۰.۵	-۰.۵	۱۱	+۱.۲	۰.۰
+۰.۷	+۳.۷	-۱.۳	-۳.۶	۰.۰
+۰.۵	-۴.۵	+۱.۳	+۳.۲	۰.۰
-۰.۵	-۲.۵		+۳.۲	+۰.۰۵
-۰.۲	+۳.۲		-۲.۱	+۰.۰۷

۵- تابع عادی و متوسط آن دفترچه داده (R)

۶- مساهدات منطقی متاده

K ₁ ¹ -K ₂ ¹ (U ₁)	-۰.۳	+۰.۷	+۱.۱	-۱.۶
K ₁ ² -K ₂ ² (U ₂)	+۰.۵	-۰.۵	-۱.۱	+۱.۲
K ₁ ³ -K ₂ ³ (U ₃)	+۰.۷	+۳.۷	-۱.۹	-۲.۶
K ₁ ⁴ -K ₂ ⁴ (U ₄)	+۰.۵	-۴.۵	+۱.۹	+۲.۲
K ₁ ⁵ -K ₂ ⁵ (U ₅)	-۰.۶	-۲.۶		+۳.۱
K ₁ ⁶ -K ₂ ⁶ (U ₆)	-۰.۳	+۳.۱		۲.۲
ΣU	-۰.۱	-۰.۱	۰.۰	+۰.۱

نمره	ابتداء ۱	۲۰۰	ابتداء ۲	۴۰۰	ابتداء ۳
۱	۴۰۰.۰۰۰۳	۱۰۵.۴۳۹۳	۱۵۸.۰۸۶۳	۲.۱۱.۶۹۰۳	
۲	۳۹۹.۹۹۹۹۵	-۱۳۹۹۵	.۰۸۷۰۵	.۶۹۰۵۵	
۳	.۹۹۹۹۳	.۶۳۹۵۳	.۰۸۷۱۳	.۶۹۰۹۳	
۴	-۰.۹۹۹۹۵	.۶۶۰۳۵	-۰.۸۱۹۵	.۶۹۰۴۵	
۵	۴۰۰.۰۰۰۰۶	.۶۶۰۱۶		.۶۹۰۳۶	
۶	.۰۰۰۰۹	.۱۳۹۵۹		.۶۹۰۸۹	
	Mean	۴۰۰.۰۰۰۰	۱۰۵.۴۳۹۹۰	۱۵۸.۰۸۶۹۶	۲.۱۱.۶۹۰۶۷

$$[uu] = 9.3 \quad DF = 13 \quad \hat{\sigma}_e^2 = \frac{[uu]}{DF} = 7.15$$

$$\hat{\sigma}_{x_i}^2 = \frac{\hat{\sigma}_e^2}{F}$$

$$F = 6 \quad 6 \quad 3.6 \quad 6$$

۲-۲-۱- اندازه‌گیری زوايا بر اساس روش کلیدز و ابیا مکن (اسکراپر)

در این روش کلیدز و ابیا مکن بین هر دو متاددریک استگاه بدون تکرار اولین انداده دورافتاق اندازه‌گیری شده و بعلت وجود مشاهدات اضافی سرنگنی استگاه لزوم بهدا می‌پنداشته باشد. بعنوان مثال در استگاهی با $\alpha = 17^\circ$ انداده زوايا موردنیزوم $\beta = 17^\circ$ بوده که زوايا قابل اندازه‌گیری در آن برابر $\frac{\alpha - \beta}{2} = 0^\circ$ (ترکیبات α انداده دوری دو) خواهد بود.

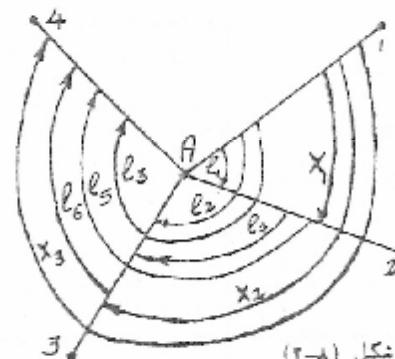
۲-۲-۲- سرنگنی زوايا در روش اسکراپر

بطاین شکل (۲-۴) چنانچهار متاداد او $\alpha = 20^\circ$ در استگاه A بخواهند بررسی اسکراپر اندازه‌گیری شوند زوايا قابل اندازه‌گیری برابر:

$$l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6$$

و نماده زوايا مورد نیاز (مجھولات) در آن برابر (X_1, X_2, X_3, X_4) خواهد بود که در شکل براي محاسبه مجھولات بروش كمترین ممدادات ممدادات مشاهدات عبارت خواهد بود از:

$$\begin{aligned} f_1 &= X_1 - l_1 - v_1 = 0 \\ f_2 &= X_2 - l_2 - v_2 = 0 \\ f_3 &= X_3 - l_3 - v_3 = 0 \\ f_4 &= -X_1 + X_2 - l_4 - v_4 = 0 \\ f_5 &= -X_1 - X_3 - l_5 - v_5 = 0 \\ f_6 &= -X_2 + X_3 - l_6 - v_6 = 0 \end{aligned} \quad (2-27)$$



ممدادات فوق را با علاوه مادریسی بحورت زیر نمایش می‌توان نمایش داد.

$$AX - L = V$$

که در آن f_i مادریس ضرائب، X بردار مجھولات و L بردار مشاهدات برابرند با:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad \hat{X} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} \quad L = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \\ l_4 \\ l_5 \\ l_6 \end{bmatrix}$$

با بگاریدن شرط کمترین مساحت و فرض دقت بکسان براي مشاهدات با فاکتور را بآن اولیه واحد ($I = P = I$) ممدادات نمایش در این مثال برابر خواهد بود:

$$3x_1 - x_2 - x_3 - l_1 + l_4 + l_5 = 0$$

$$-x_1 + 5x_2 - x_3 + l_2 - l_4 + l_6 = 0$$

$$-x_1 - x_2 + 5x_3 - l_3 - l_5 + l_6 = 0$$

وازانگازوابای سرشکن شده (مجیولات) برابر خواهد بود با :

$$\hat{x}_1 = \frac{2l_1 + (l_2 - l_4) + (l_3 - l_5)}{4}$$

$$\hat{x}_2 = \frac{2l_2 + (l_1 + l_4) + (l_3 - l_6)}{4}$$

$$\hat{x}_3 = \frac{2l_3 + (l_1 + l_5) + (l_2 + l_6)}{4}$$

با مشخص شدن زوایای سرشکن شده (\hat{x}) و جا بکریتی آنها در معادلات (۲-۳۷) مطابق با تعیینات ها مطابقه و سپس ناکتور را ریاضی نشونه از رابطه زیر بدست خواهید داشت .

$$\hat{e}_0^2 = \frac{\gamma T P V}{DF}$$

که در T درجه آزادی برابر خواهد بود

$$DF = \frac{n(n-1)}{2} - (n-1)(n-2) = \frac{(n-1)(n-2)}{2}$$

همچنین ماتریس واریانس کواریانس زوایای سرشکن شده با استفاده از رابطه (۲-۳۷) قابل محاسبه خواهد بود . لازم بیان آوریست که در این روش همیشه قطعاً ماتریس واریانس کواریانس را زوایای سرشکن شده برابر $\frac{2}{n}$ میبایشد که در آن n تعداد دادهای در آنستگا میباشد . با توجه به مطلب فوق مقدار را ریاضی نشاند و از آنجا انحراف مطیع را زوایای سرشکن شده در این روش برابر خواهد بود بسا :

$$\hat{e}_{x_i}^2 = \hat{e}_0^2 \frac{2}{n} \quad (2-38)$$

$$\hat{e}_{x_i} = \hat{e}_0 \sqrt{\frac{2}{n}}$$

ارهان نون آنریجی نیز همبین نتیجه ملاحظه میگردد زیرا در این روش تعداد دادهای لازم $N = n - 1$ و شعدها دادهای اسجام شده $\frac{n(n-1)}{2} = 2$ میباشد که با استفاده از قانون فوی خواهیم داشت :

$$\hat{e}_{x_i}^2 = \hat{e}_0^2 \frac{N}{2} = \hat{e}_0^2 \frac{2}{n}$$

که همان رابطه (۲-۳۸) میباشد .

با توجه به رابطه ۲-۴ ملاحظه میگردد که چنانچه زوایای یک شبکه بروش اسکرا پیغامدازه اگری و در هر واستگا نیز سرشکنی صورت گرفته باشد هر چند زوایا با دقت یکسان در همه واستگاهای اسازه اگری شده باشند ، دقت اندازه اگری زوایای در واستگاهای مختلف یکسان نبوده و باستگی به شعدها دادهای در آن ایستگاه دارد .

۴-۲-۴- تبدیل روش استدادی اندازه اگری زاویه به روش های دیگر
چنانچه در یک شبکه نقاط کنترل زوایای بروش استدادی اندازه اگری و بخواهیم در مساحت
مربوط به سرشکنی این شبکه زوایای را بروش مستغل و یا اسکرا پیغام برونا معرفی نمائیم .

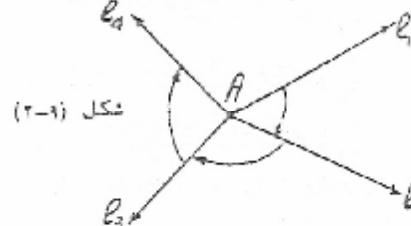
مقدارهای متریک و ماتریس کواریانس آنها بتوثیب بر محاسبه می‌شود.

مطابق شکل ۲-۹ چنانچه چهار استداد $\ell_1, \ell_2, \ell_3, \ell_4$ در اینستگاه بروش استدادی اندازه کمی و بخواهیم در حالت اول آنها را تبدیل به زوایای $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ و α_4 نماییم میتوان توش:

$$\alpha_1 = \ell_2 - \ell_1$$

$$\alpha_2 = \ell_3 - \ell_2$$

$$\alpha_3 = \ell_4 - \ell_3$$



شکل (۲-۹)

و از آنجایی استفاده از قانون کواریانس و دردست بودن واریانس استدادهای سرشکن شده متریک واریانس کواریانس زوایای فوک برآورده بوده با:

$$C_{\alpha} = \left[\frac{\partial \alpha_i}{\partial \ell_j} \right] C_{\ell} \left[\frac{\partial \alpha_i}{\partial \ell_j} \right]^T$$

که در آن $\left[\frac{\partial \alpha_i}{\partial \ell_j} \right]$ ماتریس ضرایب و C_{ℓ} ماتریس واریانس کواریانس استدادهای سرشکن شده برآورده بوده با:

$$\left[\frac{\partial \alpha_i}{\partial \ell_j} \right] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad C_{\ell} = \begin{bmatrix} \ell_1^2 + \ell_2^2 & -\ell_1 \ell_2 & 0 & 0 \\ -\ell_1 \ell_2 & \ell_2^2 + \ell_3^2 & -\ell_2 \ell_3 & 0 \\ 0 & -\ell_2 \ell_3 & \ell_3^2 + \ell_4^2 & -\ell_3 \ell_4 \\ 0 & 0 & -\ell_3 \ell_4 & \ell_4^2 \end{bmatrix}$$

که با جابکری مقدارهای متریک در قانون کواریانس موافق داشت:

$$C_{\alpha} = \begin{pmatrix} \ell_1^2 + \ell_2^2 & -\ell_1 \ell_2 & 0 & 0 \\ -\ell_1 \ell_2 & \ell_2^2 + \ell_3^2 & -\ell_2 \ell_3 & 0 \\ 0 & -\ell_2 \ell_3 & \ell_3^2 + \ell_4^2 & -\ell_3 \ell_4 \\ 0 & 0 & -\ell_3 \ell_4 & \ell_4^2 \end{pmatrix}$$

در حالت دوم چنانچه مطابق شکل ۲-۱۰ بخواهیم استدادهای اندازه کمی شده را تبدیل به

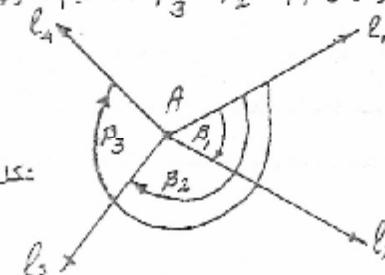
زوایای $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ متریک داریم

$$\beta_1 = \ell_2 - \ell_1$$

$$\beta_2 = \ell_3 - \ell_1$$

$$\beta_3 = \ell_4 - \ell_1$$

شکل (۲-۱۰)



که با استفاده از قانون کواریانس و دردست بودن واریانس استدادهای سرشکن شده برای این حالت نیز خواهیم داشت

۱-۴-۲ تصحیحات اندازه‌گیری زوایای افقی

زوایای افقی بحلت خارج از استکا هی و یا شرایط فیزیکی و هندسی زمین تصحیحاتی را نام می‌شوند که در صورت نیاز ممکن است آنها را محاسبه و بررسی زوایای اندازه‌گیری شده اعمال نمود، در این بخش سعی برآنست که این تصحیحات را سورد بحث و بررسی قرار داده و اثرات آنها را در روش اندازه‌گیریها ارزیابی شوائیم. البته بحلت بحث و نظر کامل تصحیحات شرایط فیزیکی و هندسی زمین درا علیک کتب و جزوایت مربوط به زمین‌شناسی هندسی دراینجا فقط ذکر مختصری از این تصحیحات پیدا می‌کنیم و بیشتر تصحیحات مربوط به خارج از استکا هی سوره بحث و بررسی ضرا رخواهد گرفت.

۱-۴-۲-۱ تصحیحات خارج از استکا هی

چنانچه بدلا پلی زوایای افقی در حالتی که عالم سنا ندویا دوربین تغییر مکان بافتاده اندازه‌گیری شوند اند ازه‌گیریها در حالت خارج از استکا هی انجام شده و تصحیحات مربوط به خارج از استکا هی ممکن است محاسبه و بررسی آنها اعمال گردند، بطور کلی خارج از استکا هی ممکن است در سه حالت زیر اتفاق افتاده که مرتبت به ساخت و بررسی هر کدام از این حالت‌ها حواهیم پرداخت:

Eccentric target

الف - خارج از استکا هی نشانه

Eccentric theodolite

ب - خارج از استکا هی دوربین

Double eccentric

ج - خارج از استکا هی نشانه دوربین

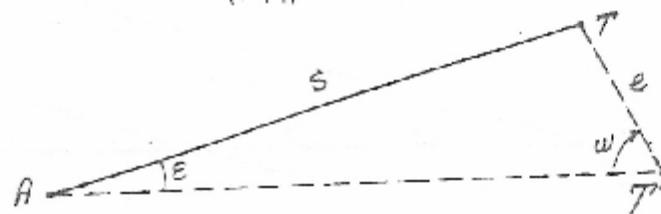
۱-۴-۲-۲ خارج از استکا هی نشانه

چنانچه مطابق شکل ۱-۲-۱ محل ااطی نقطه نشانه خارج از استکا هی تغییر مکان داده شده باشد و نراولری بمنطقه $\angle A$ انجام شود مقدار تصحیح این خارج از استکا هی از مثلث ATP برابر

$$\sin \epsilon = \frac{e}{s} \sin w$$

(۲-۲۹)

خواهد بودیا:



شکل (۲-۱۱)

که در آن ϵ تصحیح خارج از استکا هی، w فاصله خارج از استکا هی، s فاصله دوربین از نقطه نشانه و e زاویه ایست که در منطقه $\angle A$ درجهت عقربه های ساعت از محل انتقال را در دوربین

بطرف نقطه اصلی شانه (۲) اندازه گیری میشود. با پیش نوچ داشت که علامت عطفواره در رابطه با علامت $\sin \omega$ مشخص گردید و معمولاً تغییر بعلت کوچکی سیوس آنرا با خود آن مساوی فرض مینمایند که در نتیجه مقدار آن برای برخواهد هستد با:

$$\epsilon = f \frac{e}{s} \sin \omega \quad (2-40)$$

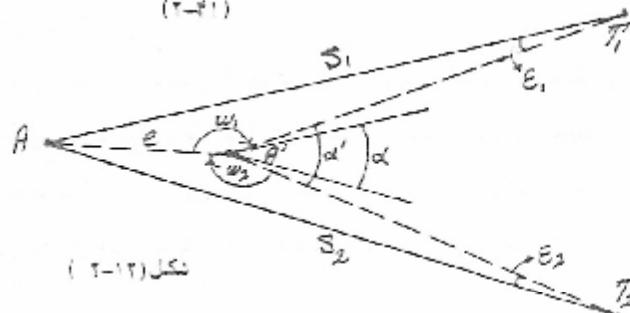
۲-۳-۲- خارج از استگاهی دوربین مطابق شکل ۲-۱۲ جناحه دوربین از نقطه A به نقطه B تغییر مکان داده شده باشد مقصد آن را و به تصحیح شده بعلت این خارج از استگاهی از استگاهی خارج بر محاسبه میگردیم.

$$\alpha = \alpha' - (\epsilon_1 + \epsilon_2)$$

که در آن مقادیر تصحیحات خارج از استگاهی $(\epsilon_1$ و ϵ_2) از مقدار $RA'B'_2$ و $RA'T'_2$ برای

$$\sin \epsilon_1 = \frac{e}{s_1} \sin \omega_1 \quad \text{خواهد بود با:}$$

$$\sin \epsilon_2 = -\frac{e}{s_2} \sin \omega_2 \quad (2-41)$$



شکل (۲-۱۲)

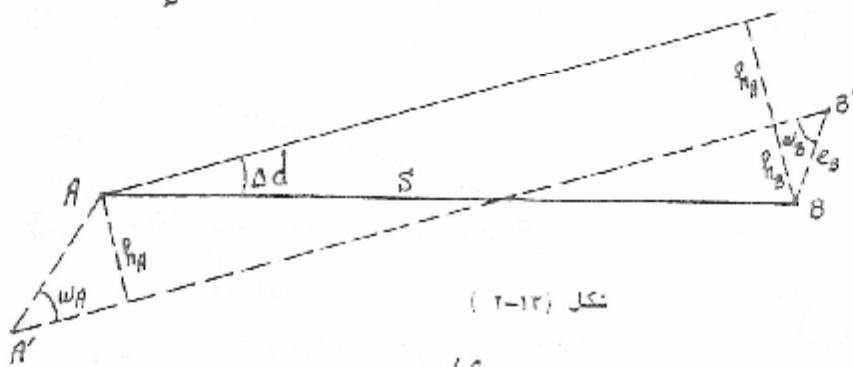
با پیش نوچ داشت که جناحه A را و B را کوچکترین راویده به نقطه A و نقطه B در نظر گرفته شوند علامت ϵ را با شرط به نکل مشخص گردید و در ضمن سنت کوچکی زوايا مینوان آنها را به صورت زیر تجزیه محاسبه نمود.

$$\epsilon_1 = f \frac{e}{s_1} \sin \omega_1 \quad (2-42)$$

$$\epsilon_2 = f \frac{e}{s_2} \sin \omega_2$$

۲-۳-۲- مطابق خارج از استگاهی نشانه دوربین جناحه را سازه گیری امتدادی مطابق شکل ۲-۱۲ هم نشانه وهم دوربین تغییر مکان داده شده باشد مقدار تصحیح خارج از استگاهی برای جنس اندازه گیری (Δd) برای

$$\sin \Delta d = \frac{h_A + h_B}{s} \quad \text{خواهد بود با:} \quad (2-43)$$



شکل (۲-۱۳)

که در آن مطابق شکل $\vec{h}_B = \vec{e}_B \sin \omega_B$ و $\vec{h}_A = \vec{e}_A \sin \omega_A$ بود که با جایگزینی آنها در رابطه ۲-۴۴ خواهیم داشت:

$$\sin \Delta d = \frac{\vec{e}_A}{S} \sin \omega_A + \frac{\vec{e}_B}{S} \sin \omega_B \quad (2-45)$$

چنانچه Δd بحدکافی کوچک باشد میتوان نوشت:

$$\Delta d = \rho \left(\frac{\vec{e}_A}{S} \sin \omega_A + \frac{\vec{e}_B}{S} \sin \omega_B \right) \quad (2-46)$$

۲-۳-۲- محاسبه میزان گرچگی زاویه تصحیح خارج از استگاهی

زمانی میتوان سینوس زاویه تصحیح خارج از استگاهی را در حالات فوق با خود سهای برآورده فرض نمود که میزان گرچگی آنها بحدی باشد که اختلاف بین خود را و سینوس آنها از دقت مسورد نیاز برای اندازهگیری آن امتداد می‌دارد و کوچکتر نباشد. میتوان مثلاً چنانچه دقت اندازهگیری بک زاویه بیو اهر ۲/۰ شاید مورد خواست باشد زمانی میتوان مقدار تصحیح خارج از استگاهی این زاویه (۶) را با سینوس آن مساوی فرض نمود که داشته باشد

$$E - \sin E \leq \frac{0.2}{\rho}$$

که از آنجا برای محاسبه میزان گرچگی ع برای این فرض خواهیم داشت:

$$E = \frac{E^3}{3!} + \dots \leq \frac{0.2}{\rho}$$

وار آنچه بمرف نظر نمودن از سرمهای دیگر بسط سینوس داریم:

$$\frac{E^3}{3!} \leq \frac{0.2}{\rho}$$

$$\text{رادیان} \quad E \leq \frac{1}{36}$$

$$\text{درجه} \quad E \leq 1^\circ$$

و مسا

بعضی پاچشین دقتی زمانی میتوان سینوس زاویه تصحیح خارج از استگاهی را با خود آن مساوی فرض نمود که این تصحیح کوچکتر و یا مساوی بک درجه باشد.

۲-۳-۳- تجزیه و تحلیل خط های در تصحیحات خارج از استگاهی

چنانچه در حال است کلی تصحیح خارج از استگاهی را بصورت رابطه ۲-۴۵ در نظر نگیریم طبق قانون کواریانس مقدار خط اشاری که در آنرا اعمال این تصحیح ایجاد نموده برا بر حواهد بودیم:

$$E'' = \left[\frac{\partial E}{\partial e_A} \quad \frac{\partial E}{\partial S} \quad \frac{\partial E}{\partial \omega} \right] \begin{bmatrix} e_A^2 \\ S^2 \\ \omega^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial e}{\partial e_A} \\ \frac{\partial S}{\partial S} \\ \frac{\partial \omega}{\partial \omega} \end{bmatrix} \quad (2-47)$$

که در آن e_A ، S ، ω بترتیب خطاهای $\frac{\partial e}{\partial e_A}$ ، $\frac{\partial S}{\partial S}$ ، $\frac{\partial \omega}{\partial \omega}$ بترتیب مشتقات جزئی e_A ، S ، ω میباشند که جانجا میتوان سینوس مقدار خطاهای را در رابطه ۲-۴۷ تواردهیم خواهیم داشت:

$$E'' = \left(\rho \frac{e_A \sin \omega_A}{S} \right)^2 + \left(\rho \frac{e_B \sin \omega_B}{S} \right)^2 + \left(\rho \frac{e_A \cos \omega_A}{S} \right)^2$$

و مسا

$$E'' = \left(\frac{E}{\rho} \right)^2 e_A^2 + \left(\frac{E}{\rho} \right)^2 S^2 + \left(\frac{E}{\rho \tan \omega} \right)^2 \omega^2 \quad \checkmark$$

را آنچه مقتدرنخواهی است از این در این تصحیح خارج از اینستگاهی برآورده شود اما:

$$E = \sqrt{\left(\frac{d_A}{L}\right)^2 + \left(\frac{d_B}{L}\right)^2 + \left(\frac{d_C}{L}\right)^2} \quad (2-48)$$

چنانچه در رابطه (2-48) $A = \frac{6w}{L}$, $B = \frac{6w}{L}$, $C = \frac{6w}{L}$ در نظر گرفته شود رابطه اخیر

بصورت زیر در حواهد مذکور رابطه ای ساده جهت محاسبه دقت اندازه گیری کمیتهاي يك خسا را

از استگاهی مینهند

$$E = \sqrt{A^2 + B^2 + C^2} \quad (2-49)$$

مثال ۱:

چنانچه يك زاويه (\angle) بطریقه خارج از استگاهی اندازه گیری و کمیتهاي این خلخال
از استگاهی ترتیب $15^\circ = \text{ح}$, $100^\circ = 5^\circ = \text{س}$, $25^\circ = \text{و}$ باشد مطلوبست دقت اندازه گیری این
کمیتها در صورتیکه دقت کمتر از يك ثانیه برای تصحیح این خارج از استگاهی مورد نظر باشد.

۴-۲-۳-۴- تصحیحات نرایط فیزیکی و هندسی زمین

تصحیحاتی که ناکنون در مورد زرایی اتفاقی ذکر کردید تصحیحاتی بروزمند که بعلت عوامیت
ستگاهی و یا امکانات اجرائی اندازه گیری زرایا در روزی زمین بوجود آمدند، ولی جهت
کاربرد زرایا اتفاقی در صفحه تصویر تصحیحات دیگری لازم است که این تصحیحات را نیز که بعلت نرایط
هندسی و فیزیکی زمین ایجاد نشوند مینهادند پس در صورت نیاز محاسبه و در روزی آنها اعمال شود،
این تصحیحات که شرح مفصل آنها در دروس زمینه هندسی آمده است بطور اجمالی عبارتند از:

الف- تصحیح اضلاع کرویت

ب- تصحیح حدود انتقال اعراض نسبی فاصل

ج- تصحیح ارتفاع نقطه فرا و نزدی

د- تصحیح مقطع فاصل مستقیم به خط زئودستیک

1. What is the main idea of the passage?
A. How to make a good impression
B. How to get along with others
C. How to be a good person
D. How to be successful in business
E. How to be a good teacher

2. What does the author say about the first impression?
A. It is important to make a good one.
B. It is not important to make a good one.
C. It is important to make a bad one.
D. It is not important to make a bad one.
E. It is important to make both good and bad ones.

3. What does the author say about the second impression?
A. It is important to make a good one.
B. It is not important to make a good one.
C. It is important to make a bad one.
D. It is not important to make a bad one.
E. It is important to make both good and bad ones.

4. What does the author say about the third impression?
A. It is important to make a good one.
B. It is not important to make a good one.
C. It is important to make a bad one.
D. It is not important to make a bad one.
E. It is important to make both good and bad ones.

5. What does the author say about the fourth impression?
A. It is important to make a good one.
B. It is not important to make a good one.
C. It is important to make a bad one.
D. It is not important to make a bad one.
E. It is important to make both good and bad ones.

6. What does the author say about the fifth impression?
A. It is important to make a good one.
B. It is not important to make a good one.
C. It is important to make a bad one.
D. It is not important to make a bad one.
E. It is important to make both good and bad ones.

7. What does the author say about the sixth impression?
A. It is important to make a good one.
B. It is not important to make a good one.
C. It is important to make a bad one.
D. It is not important to make a bad one.
E. It is important to make both good and bad ones.

8. What does the author say about the seventh impression?
A. It is important to make a good one.
B. It is not important to make a good one.
C. It is important to make a bad one.
D. It is not important to make a bad one.
E. It is important to make both good and bad ones.

9. What does the author say about the eighth impression?
A. It is important to make a good one.
B. It is not important to make a good one.
C. It is important to make a bad one.
D. It is not important to make a bad one.
E. It is important to make both good and bad ones.

10. What does the author say about the ninth impression?
A. It is important to make a good one.
B. It is not important to make a good one.
C. It is important to make a bad one.
D. It is not important to make a bad one.
E. It is important to make both good and bad ones.

آثار اگزیتری خوار

تعیین فاصله موضوعی است که در بیشتر کارهای عملیات منتهی بردازی و زشوردری مورد نظر بوده و از اهمیت خاصی برخوردار نمیباشد . روش های مختلفی که برای اندازه گیری طول و جره دارد دارای منتها متفاوتی بوده که می بایست مناسب با دقت مورد درخواست و شرایط کاریکی از آن روش همچنان مورداستفاده قرارداد . مبتدا ن مثال برای سخنی کارها خطای یک با دو متر در مدت مرتب مسئله ای نموده ولی برای نیاز دیگر خطای ۱/۰ متر در کیلو متر نیز ممکن است بین از حد مورد درخواست باشد و با درکارهای بسیار دقیق مثل اندازه گیری طول باز در مشتمل استدی اختلاف بین دواندازه گیری جداگانه در کل طول باز پندر بین از یک میلی متر در کیلو متر بوده و حتی دقت واقعی ممکن است بین از آن نیز باشد .

درکارهای با دقت کم نظر بین محدود مرزها و بین اینها انجام شده بوسیله قطب نما روش های کاملاً سریع و کم دقت محاذ سوده و "ممولا" مورداستفاده قرار میگیرد در - کارهای معمولی مهندسی و منتهی بردازیهای ساده زمینی سندوت دقت زیاد مورد نیاز بوده و معمولاً روشهاست در ارد دقت آنها ممکن است مورداستفاده قرار گیرد .

در مسین موقیعت توبنها ، سدها و کارهای برگ - اخنا نی معمولاً "اندازه گیری با - بالاترین دقت ممکن مورد درخواست بوده و مبایست روشی بکاربرده شود که دقت مورد درخواست برای اینکارهای را در برداشت باشد .

بطورکنی برای اندازه گیری ناچار جهار روش اینکی ، مکانیکی ، الکترونیکی اینترفرمتریکی مورداستفاده قرار میگیرد .

در روش اینکی که فوامل بوسیله سیستمهای اینکی مانند دوربین های تاکنومتری معمولی ، افق سازها و ساینسها را اندازه گیری مینمود فوامل اندازه گیری تمسیسه از نظر اصول هندسی نسبتاً نند دقت خیلی بالاتر را دارا باشند ولی بخاطر سادگی و سرعت در خیلی از کارهای منتهی بردازی نظر برداشت جزئیات مبتدا ن از آنها استفاده شود . احتمالاً مبتدا ن بین داشت که دقت اندازه گیری فوامل بوسیله این روش به چهار راه مسل خطای قائم نبودن معتبر ، تغییر طول معتبر خطای قراحت معتبر و همچنین خطای بار لکس بستگی دارد .

در روش مکانیکی که فوامل مستقیماً "با واحد طول مقایسه شده و اندازه گیری ممدوه بر حسب دقت مورد نیاز و سایلی مانند زنجیر ساخی ، سوار استنبیل و سوار اتوار بکاربرده میشود ، در روش الکترونیکی سیز با استفاده از مسنگاهای الکترونیکی مبتدا ن بوسیله ارسال و - دریافت سمعی موج و تعیین اختلاف فاز رفت و برگشت فاصله بین دو نقطه را مشخص نمود . لازم بذکر است که مابین موج و تعیین اختلاف فاز رفت و برگشت فاصله بین دو نقطه را مشخص نمود . لازم

دانشجویان با امول و طرز کار آین دوروش در این فصل ممکن بحث مختصری در مورد تصحیحات و دقت اندازه‌گیری طول بطریقه مکانیکی فقط به بحث در مورد روش اندازه‌گیری طسول سویله دستگاههای الکترونیکی و دقتها آنها میپردازیم.

جدول ۱-۴ مرور مختصری از دقتها مابل دسترس در هریک از جهارتند ذکر شده فوای را نشان میدهد . البته این دقتها در صورتی قابل دسترسی است که اندازه‌گیریها با دستگاههای کاملاً کنترل شده باشند روش محبیج و سویله یک مشاهده کننده آگاه انجام پذیرفته شده باشد . لازم بسا آوریست که دقت اندازه‌گیری طول معمولاً صورت دقت نسبی ($\frac{\delta}{S}$) که عبارت از نسبت اختلاف معیار طول اندازه‌گیری شده (δ) به طول مورد اندازه‌گیری (S) نمایش داده میشود و در دقتها زبان این دقت اغلب بصورت باریت پر میلیون (PPM) یعنی خطای که به میلی متر در طول یک کیلومتر وجود دارد نمایش داده میشود . میتوان مثال چنانچه اشاره معیار طولی سر بر ۲۰۰۰ متر ۱۰ میلی متر را دقت اندازه‌گیری آنرا میتوان صورت زیر نمایش داد :

$$\frac{\delta}{S} = \frac{1}{2 \times 10^5} \quad \text{ویا} \quad \frac{\delta S}{S} = 5 \text{ PPM}$$

مقدار	وسیله	دقت	محدود
	قائمه‌های موردنی تالارهای اقیانوس سالینس برآن‌آوران	$\frac{1}{500}$ تا $\frac{1}{1000}$ $\frac{1}{5000}$ $\frac{1}{10000}$	100m 150m 100m-1km
	دیا لاستیل نوواریا متفول انوار	$\frac{1}{20000}$ تا $\frac{1}{30000}$ 10mm تا 1mm	هزار از میلیمتر هزار از میلیمتر
	EDM الکترو اپتیکال	5mm تا 20mm 5 PPM برای طبقه هشتم 0.5mm تا 2mm 3 PPM برای طبقه هشتم	1m تا 100m 60m تا 10m 100m
	لیزر استروپتر	0.5 PPM	2m 0.1m تا 0

جدول شماره ۱-۱

بین سالهای ۱۸۸۹ تا ۱۹۶۰ ، طول استاندارد بین المللی میله‌ای از بلژیک ایجاد شده بود که در پاریس نگهداری میشد . آنسته میله‌های نسبه دیگری نیز که داشتند با آن مقایسه شده بود درکشورهای دیگر وجود داشت در سال ۱۹۶۰ دریا زده همین کنفرانس موسوی اوزان و انداره‌ها طی یک توافق بین المللی طول موج سورپرستالی مابل به قرمز عنصر کربن (۸۶-۱۶۵۷-۶۷) معرفی شد . معاشر جهانی طول جا یگزین میله اساسه فوق گردید . در گذشته طول موج این نور بر حسب طول این میله‌فالزی بیان میشد و لی ازان ناریخ به بعد سر ۲۲/۱۶۵۲ مورد تعریف گردید . با این کار علوه بر امکان شبهه طول استاندارد در تمام آزمایشگاه‌های جهان و افزایش دقت اندازه‌گیری طول (بعلت عدم نسبت طول موج و مولیدان مادقت) جنابه میله متر استاندارد سیر اربیل سروید با وجود چشم سر و شاخل منح که همینه در اختیار خواهد بود دیگر اشکانی در تهه متر استاندارد دیگری وجود نخواهد داشت . هم اکنون مقوله و موارهای اسواره میتوانند بوسیله مترهای استانداردی که بطریقه فوق دریکی از سازمانها و با استاندارهای بین المللی وساحتی بعیی از موسات بزرگ نشانه برداری جهان ایجاد شده و نگهداری میشود مقداری میتوانند مورد استفاده تراویح کنند که بعنوان مثال میتوان سازمان بین المللی اوزان و انداره‌ها در پاریس ، لبراتوار بین المللی فیزیک در شهرهای لندن و لندن ، سازمان استانداردهای واشگتن و ... مردانه مپرد .

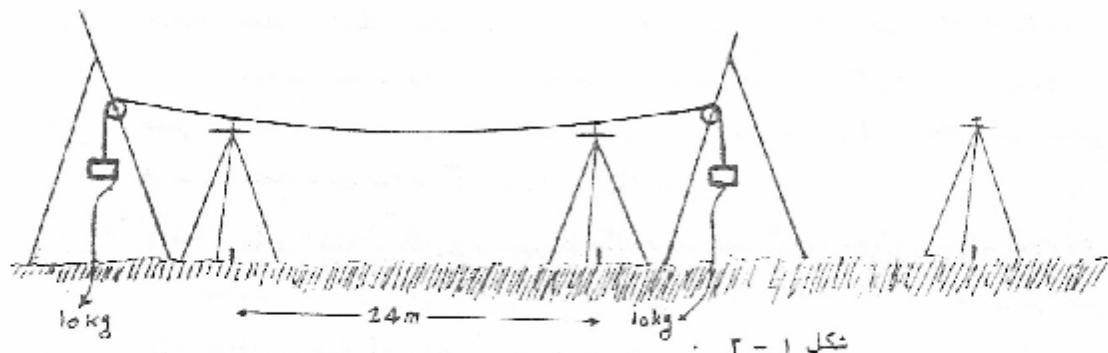
واحدهای اندازه‌گیری ^{نگار} فیراز واحد متربک نظر نیست (feet) درستی از - کنورها وجود دارد که اندازه‌گیریها و محاسبات شبكه‌های مختلف آنها براساس این واحد ها انجام میگیرد . جنابه ارتباط کامل اشته شده و مصحح سین این واحدها و سیستم متربک وجود مدانسته باشد مشکلات و معضلات سیاری و ادرستخ بین المللی بوجه خواهد آورد . در سال ۱۹۵۹ ارتباط بین واحد متربک و پاره که اکثر کنورهای جهان سیر آنها را پذیرفتند ، بشرح زیر مورد نیول واقع گردید .

$$\text{استخ} ۲۲۵۰۷۸۷ \text{ بر } ۲۹ = \text{امتار} \quad \text{سانت} ۵۴۲ = \text{استخ} \\ \text{متسر} ۱۱۴۴ \text{ بر } ۱ = \text{باره}$$

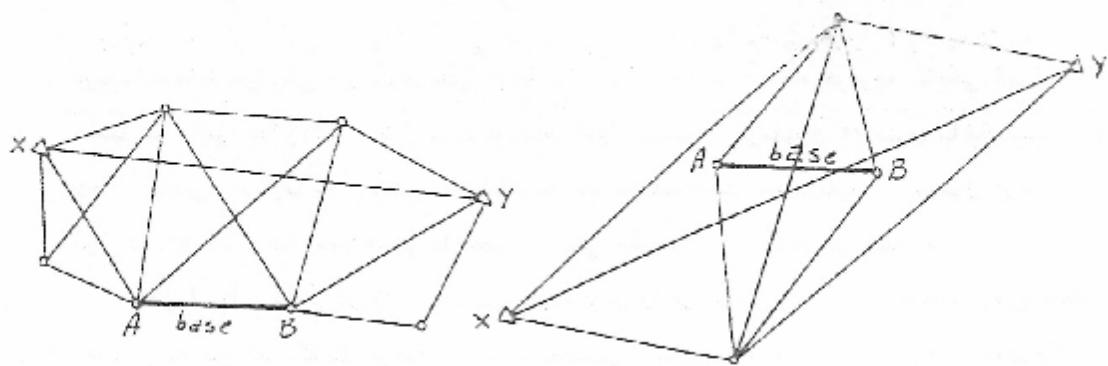
۲-۳ - مرور مختصری از انداره‌گسیل طول مبتنا میله مقوله مترهای اسواره

امولاً اسوار اسی اس که در سال ۱۸۹۲ بوسیله شخصی سام C.E. Guillaume نام گذاری و بیان گشته تغییرنا بذیری ابعاد در پاریس تغییر درجه حرارت میباشد . فلز اسوار الیازی است سهورت ۲۶٪ نیکل ، ۳٪ آهن و ۱٪ منگنز ، سیکون و کربن که

ضریب انتشار حرارتی آن جبری بین $10 \times 10^{-8} / ^\circ\text{C}$ و $10 \times 2 \times 10^{-8} / ^\circ\text{C}$ - در هر درجه سانتی کسراء میباشد . در اندازه گیری طول سنا بوسیله آنوار معمولاً از مبتول ۲۴ متری با قطعه ۱/۶۵ میلی متر و با نوارهای ساطولها و مقاطع مختلف استفاده میگردد . معمول ترین نوارها ۲۴ متری یا ۱۰۰ میلی متر با مقطع ۲ میلی متر در $5/8$ میلیمتر میباشد .
 قطع آنوار خیلی نرسنتر از استیل سرد و در برای فربه و نکان بسیار حساس و در نتیجه احتیاج به مواظبت کامل در حمل و نقل و همچنین کالیبره نمودن مداوم دارد . معمولاً در اندازه گیریها دقيق برای هر رفت و برگشت جدا قبل سه نوار با مبتول آنوار (ترجیحاً دو دسته سه تاشی) که دو تا از آنها برای اندازه گیری و دیگری برای مقابله نوارهای اندازه گیری با آن (قبل و بعد از هر اندازه گیری) در سرزمین مورداستفاده قرار میگیرد لازم بسیار وریست که کلیه مبتولها با نوارهای آنوار مورد استفاده در اندازه گیری هر طول متناسب و بعد از اندازه گیری طول مرسوطه میباشد در لایه ای اسوار کسری و کالیبره گردند . معمولاً در اندازه گیری هر دسته سه قراش مورت میگیرد که اگر اختلاف بین آنها بین از $2/3$ میلی متر باشد قراش ها رخواهد گشت . بهترین نتایج بدست آمده برای اندازه گیری طول میباشد روش معلق (شکل ۱ - ۲) بوده که بوسیله شخص بنام Jaderin آراسته گردیده است .



این طریقه اندازه گیری طول متناسب توجه به سازار آمدن مستگاههای دقیق طولی با الکترونیکی دیگر مورد استفاده چندانی نداشته و فقط در بعضی از کارهای مهندسی مانند اندازه گیری شفیر شکل ساخته شهای بزرگ صنعتی که طولهای کوتاه سادق بسیار زیاد مورده نیاز است ممکن است مورداستفاده قرار گیرد . تغییرات $1/0$ میلیمتر در هر ۲۴ متر ($24000/0$) بکسر با مبتولهای آنوار ممکن است قابل تشخیص باشد . در مثلاً بندی های قدیمی که طولهای میباشند (حدود چند کیلومتر) بوسیله شبکه هایی بنام شبکه باه به اضلاع اصلی شبکه مبتلا بندی گسترش میافتد (شکل ۲ - ۳) انحراف معیاری حدود $199m$ و حتی کسر برای اندازه گیری آنها ادعای شده است .



شکل ۲ - ۲

شرط مربوط به انتخاب محل و طرق اندازه‌گیری طول با زدن این روش در دروس زندوزی آمده که ما از ذکر آنها در این بحث محروم نظر کردیم و فقط اشاره مختصری به تصحیحات خطاهای اندازه‌گیری طول بر این مکانیکی می‌سازیم.

۲ - ۱ - مزوری سر تصحیحات خطاهای آنها در اندازه‌گیری طول بر این مکانیکی.
در اندازه‌گیری طول بر این مکانیکی (مستقیم) علوه بر خطاهای امتداد گذاری و قرئت با توجه به دقت مورد نیاز تصحیحاتی را می‌بایست بطورهای موردنی انداده‌گیری اعمال شود که جنابجه این تصحیحات دستین "اجام نگرد خطاهای دیگری را باعث می‌گردند که مختصر" به سخت و سرسی آنها می‌پردازیم.

۲.۱.۱ - خطای فراشت یا علامت‌گذاری Error of reading or marking

جنابجه تقسیمات نوار سراسر یک میلی متر باشد خطای احتمالی فراشت سراسر $\sqrt{2}/25$ میلی متر خواهد بود سنابر این اگر دو انتهای نوار هم‌مان فراشت گردد خطای احتمالی فراشت یا علامت‌گذاری سراسر $\sqrt{2}/25$ میلی متر خواهد بود.

۲.۱.۲ - خطای امتداد گذاری و تغییر شکل Error of malalignment and deformation

جنابجه انتهای نوار ساندزه ای خارج از امتداد فرار گرفته باشد خطای سراسر این را برابر می‌باشد که مقدار آن سراسر است:

$$\epsilon_1 = \frac{d}{2\ell} \quad (2-1)$$

اگر نوار کمالاً کشیده شود و در فریز گردد که وسط نوار ساندزه d خارج از امتداد فرار گرفته باشد خطای سراسر این را برابر می‌باشد که مقدار آن سراسر خواهد بود با:

$$\epsilon_2 = \frac{\pi d^2}{\ell} = 4\epsilon_1 \quad (2-2)$$

Error of Calibration

۲-۳-۲- خطا کالیبراسیون

: نوارهای استیل یا انوار هر جندیکبار ممکن است تحت شرایط معین از سطر درجه حرارت (T_s) و کش (η_s) با طول استاندارد مقابله و کنترل کردند . چنانچه این متناسب صورت و مشخص گردد که نوار استانداره $\frac{d_s}{d_m}$ خطای استاندار داده این خطأ میتواند با استفاده از ترمومولهای زیرسرای طولهای مورده اندازه گیری تصحیح گردد .

$$d_t = d_m \left(\frac{\ell_s + \epsilon_s}{\ell} \right) \quad (2-3)$$

که در آن d_m طول اندازه گیری شده ، d_t طول صحیح و ℓ طول اسی نوار میباشد .

Error of temperature

۲-۳-۳- خطای تصحیح درجه حرارت

- نوار استیل :

تصحیح درجه حرارت سرای نوار استیل برا برآسته :

$$\epsilon_t = \ell \cdot \alpha_s (t_m - t_s) \quad (2-4)$$

که در آن ℓ طول مورده اندازه گیری ، α_s ضریب انبساط حرارتی نوار ، t_m درجه حرارت محیط و t_s درجه حرارت استاندارد میباشد . حال چنانچه خطای اندازه گیری در اندازه گیری درجه حرارت وجود داشته باشد خطای ناشی از این تصحیح برا بر حواهد مودها :

$$\epsilon_{t_1} = \ell \cdot \alpha_s \cdot \epsilon_m \quad (2-5)$$

$$\text{و با } \epsilon_{t_2} = \ell \cdot \alpha_s \quad (2-6)$$

سایر این برای رسیدن بدقت $\frac{1}{10,000}$ خلای ۲ درجه سانتیگراد و دقیق $\frac{1}{100,000}$ خطای $\frac{1}{2}$ سرای اندازه گیری درجه حرارت محاز میباشد .

- نوار با مفتول انوار :

تصحیح درجه حرارت سرای نوار با مفتول انوار برا برآسته :

$$\epsilon_t = \ell [\alpha_s (t_m - t_s) + \beta_a (t_m - t_s)] \quad (2-7)$$

که در آن α_s و β_a فرایب انبساط حرارتی سرای انوار میباشد که معمولاً β_a بسیار کوچک میباشد . با این توجه داشت که α_s و β_a ممکن است با زمان تغییر شما بند بنا بر این آنها مساویست قبل و با بلایا ملته بحداکثر اندازه گیری دقیق مشخص گردند ، همچنین انوار ممکن است زیادتی درجه حرارت و قدر از این درجه حرارت تکه داری شده (محل تکه داری انوار) برای اندازه گیری آورده میشود نشان دهد که در این صورت تصحیح دیگری را لازم دارد بصورت :

$$\epsilon_{t_2} = -0.00325 \times 10^{-6} \times \ell (t_1^2 - t_m^2) \quad (2-8)$$

که در آن ℓ متوسط درجه حرارت تکه داری شده انوار از جند روز میل از اندازه گیری میباشد

لزم بباد آوریست که فرایب انبساط پراوی پیوای استیل بین 10×10^{-6} تا 12×10^{-6}

سرای انوار بین 4×10^{-6} تا 6×10^{-6} میباشد .

۲-۳-۴ - خطای صحیح کشش

چنانچه سیروی کشش سکاربرده شده در زمان اندازهگیری (T_m) متفاوت از کشش

پکاربرده شده در زمان کالیبراسیون (T_s) سوارباراند صحیح کشش سر برخواهد بود با:

$$C_{T_1} = \frac{(T_m - T_s) \ell}{A \cdot E} \quad (2-9)$$

که در آن A سطح منطق نوار باری مفتول، ℓ طول اندازه گیری شده در هر دهه، E ضریب

الاستیزیتیه یا سگکه برای استabil بین 22×10^4 و 24×10^4 و برای انوار سن 14×10^4 تا 16×10^4 کیلو گرم سرماختیمتر مربع میباشد.

خطای سانی از تصویح کشش ممکن است نتیجه استانداره نبودن وسیله کشش و باستیزیرات

آن در طول اندازه گیری باشد که چنانچه آنرا به ℓ سان دهیم داریم:

$$C_{\epsilon_{\text{ان}}^{\text{س}} \ell} = \frac{\ell \cdot \epsilon_{\text{ان}}^{\text{س}}}{A \cdot E} \quad (2-10)$$

$$\text{و با: } C_{\epsilon_{\text{ان}}^{\text{س}}} = \frac{\epsilon_{\text{ان}}^{\text{س}}}{A \cdot E} \quad (2-11)$$

بنابراین برای رسیدن بدفت $\frac{1}{20000}$ چنانچه سطح منطق نوار

و $E = 22 \times 10^3 \text{ Kg/mm}^2$ باید فقط مجاز بدانشتن خطای $\frac{1}{4}/4$ و $1/4$ کیلوگرم سترنیب

میباشیم. پنجین برای نوار بامتنول انوار خطای حدود 2×10^{-6} گرم سربریوی کشش بدفت 1 PPM

را دربرخواهد داشت. با اینستی توجه داشت که شتاب نقل ($\ddot{\ell}$) در زمان اندازه گیری ممکن

است بعثت تغییر عرض جهان ایابی متفاوت از شتاب ثقل در زمان کالیبراسیون باشد که در آن

صورت تغییراتی را دربریوی کشش (چنانچه کشش بصورت وزنه آویز صورت بذیرد) سروحد

خواهد آورد. لذا برای بدست آوردن سیروی کشش صحیح در زمان اندازه گیری میتوان آنرا با

رابطه زیر محاسبه سود.

$$\frac{T_m - T_s}{T_s} = \frac{\ddot{\ell} - \dot{\ell}_0}{\dot{\ell}} \quad (2-12)$$

تغییریک کال ($\frac{\dot{\ell}}{\dot{\ell}_0}$) در $\ddot{\ell}$ برای نوار و مفتولهای انوار معمولی (۲۴ متری) خطای شی

حدود $2/2 \text{٪}$ را دربردارد.

اگر اندازه گیری در شبب انجام بذیرد. تغییری در شکل منطق نوار معلن بوجود خواهد

آورد که باعث تغییری در طول واقعی نوار مطلق میگردد که سمحیجسر را لازم میباشد.

$$C_{\gamma_{\text{ان}}} = \frac{T_m \ddot{\ell}^2}{2 \ell \cdot A \cdot E} \quad (2-13)$$

که در آن $\ddot{\ell}$ اختلاف ارتفاع بین دو سر نوار باری مفتول میباشد.

۲-۳-۵ - خطای تصویح تبدیل به افق

- اختلاف ارتفاع مستقیماً اندازه گیری شود

$$C_{\gamma} = -\frac{\ddot{\ell}^2}{2 \ell} - \frac{\ddot{\ell}^4}{8 \ell^3} - \frac{\ddot{\ell}^6}{16 \ell^5} - \dots \quad (2-14)$$

از قدم دوم به بعد رابطه بوق زمانی متفاوت در فنطر شود که برای رسیدن بدفت 1 PPM

شبب از $\frac{9}{4}$ بیشتر شاید. پنجین چنانچه خطای اندازه گیری اختلاف ارتفاع $\ddot{\ell}$ باشد

دستیور داده اند. طول درستیجه تبدیل باعف برای خواهد بود با:

(۱۵)

منابع این برای رسیدن سفت 1 ppm سرای ضاری بطول 22 متر خطای محاز اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع برای اختلاف ارتفاعهای $1/0$ ، 1 و 4 متر بترتیب برای $0.6/0$ و $0.14/0$ میلی متر خواهد بود که آجری سرای شبی حدود ده درجه می‌باشد. لذا همانطور که ملاحظه می‌گردد وقتی نیمپزایا دمیگردد اختلاف ارتفاع میباشد با دقت مشتری اندازه‌گیری شود که همین امر محدودیتی برای اندازه‌گیری طولهای دقیق در روی شب ایجاد نمی‌نماید - زاویه شب اندازه‌گیری نمود

$$C_4 = \ell(1 - \cos \beta) \quad (۱۶)$$

$$C_5 = \ell \sin \beta \, d\beta \quad (۱۷)$$

$$C_6 = \frac{\ell}{2} \sin \beta \, d\beta \quad (۱۸)$$

چنانچه ملاحظه می‌گردد در اینحالات سیز سازدهای شب زاره موردا ندازه‌گیری سیز باشند با دقت مشتری اندازه‌گیری گردد. معنوان منابع برای رسیدن سفت 1 ppm چنانچه شب حدود 10 درجه باشد زاویه شب میباشد با دقت بک نایه اندازه‌گیری شود. لازم به یادآوری است که در دستهای زیاد برای حالت فوق میباشد علاوه بر تصحیح مرسوط به اختلاف ارتفاع دورسین و نشانه که در زیر می‌باشد آنها را بدست سیز اندازه‌گیری نمود.

$$\theta'' = \frac{(i-t) \cos d \times \ell}{\ell} \quad (۱۹)$$

که در آن i ارتفاع دورسین، t ارتفاع نشانه، ℓ زاویه اندازه‌گیری شده و θ' تصحیح زاویه به سمعت اختلاف ارتفاع دورسین و نشانه.

۷-۲-۳-۰-۷ - خطای تصحیح شدت

چنانچه سواربصورت نخت استاندارد ولی بصورت مطلق مورداستفاده فرازگیر تصحیحی میباشد بطول موردا ندازه‌گیری اعمال نموده مقدار آن برابر است با:

$$C_5 = -\frac{w^2 \ell^3}{24 T^2} \quad (۲۰)$$

که در آن w وزن واحد طول موارد مقدار آن سرای یک سترای سوارحدود $17/2$ گرم و برای یکمتر است دلحدود $21/2$ گرم، T کشش بکاربرده شده و ℓ طول دهنده موردا ندازه‌گیری است.

- چنانچه سواربصورت مطلق استاندارد ولی بصورت تحت سکاربوده شود تصحیح فوق بصورت مشت و اگر بصورت مطلق و با سیروی کشش متناویت مورداستفاده فرازگیر تصحیح نمیباشد مورد نیاز عبارتست از:

$$C_5 = -\frac{w^2 \ell^3}{24} \left(\frac{1}{T_m^2} - \frac{1}{T_s^2} \right) \quad (۲۱)$$

ما بعنی توجه داشت که تصحیح فوق برای حالتی است که اختلاف ارتفاع سین دوسرین سوار وجود

ساده شده باشد و اگر اختلاف روز دهن مورد اندازه گیری برای β باشد فرمول عمومی تصحیح شده بصورت زیر اعمال خواهد شد .

$$C_{S_1} = \frac{\ell \cdot h^2 \cdot w^2}{24\pi^2} \quad (3-22)$$

خطای ناشی از تصحیح شدن ممکن است ساخت خطای اندازه گیری اختلاف ارتفاع بوزی واحد طول سوار و پای شرسروی کشش بکاربرده شده باشد بنابراین داریم :

$$\frac{r^2}{C_S} = C_S^2 \left[\left(\frac{264}{\ell} \right)^2 + \left(\frac{264}{w} \right)^2 \right] \quad (3-22)$$

لزム بسیار دارد تا میزان محاسبه رابطه ۳-۲۲ بسیار خوبانی و سویستگان مختلف با توجه به مدل ریاضی پذیرفته شده برای شنت ، شبب ، جنس و الاستیمیت سوار فرمولهای مختلفی را ارائه نموده اند .

با بصیرت توجه داشت که فرمولهای ذکر شده برای سعیجات فوق دقیق حدود pp_{jj} را برای محاسبه طول افقی در سر خواهد داشت که جایجه دقت بیشتر مورد سفارش میباشد میباشد علاوه بر فرمولهای دقیق بر سعیجات ذکری مانند اصطکاک ترقه ، باد ، رطوبت و را نیز بر این طریق داشت که برای اطلاع سینه از کتاب با شور و رهاسپاهی که در آن آمده است رجوع داده سینه .

۲۰۴ - روش الکترونیکی اندازه گیری فاصله (EDM)
 ۱۰۴ - تاریخچه پیشرفت دستگاه های EDM و سیستم های رادیویی سینه مرغیت

از نقطه نظر تاریخی بیدام سیستم های رادیویی به سال ۱۸۶۴ میلی که فیزیکدان معروف انگلیسی جمز کلارک ماکسول (James Clark Maxwell) نظریه الکترومغناوگونی را اعلام کرد بر میگردد . تقریباً سی سال بعد فیزیکدان آلمانی هرتز (H. Hertz) بجزء ارسال و دریافت امواج الکترو مغناطیس و ارداد شگاه کارل سر معرفی شاین گذاشته و شناخته که امواج رادیویی در اسکناس ، انکسار و پلاریزه شدن کاملاً شبیه امواج سویی هستند .

در سال ۱۸۹۵ کاکلیسو مارکونی (Guglielmo Marconi) اختری را بدین - استفاده از سیم به محلی در فاصله بی کیلومتری فرستاده پنج سال بعد سکولانتما بیکر (Nikola Tesla) استفاده از امواج رادیویی برای کشف اجسام منحرک امداد در سال ۱۹۰۴ کریستین هالسمایر (Christian Halsmeier) آلمانی جوار ساختن سه موسیلوسکوپ را (Telemobilescope) که یک سیستم کشف رادیویی برای جلوگیری از تصادف کشیها بود از حکومت خود دریافت کرد . در آن زمان کسی بعده از میان مسافران تکمیل دستگاه مزبور نرفت . اولین نلات برای اندازه گیری سکمه ایه با استفاده از - منابع تولید مدام امواج رادیویی توسط دوسر ساهم ایلتون (E. Appleton) و بارنست (M. Barnett) در سال ۱۹۲۴ برای اندازه گیری فاصله بیونصر مورت گرفت .

ستکنال بند روب (G. Breit) و تامو (M. Tuve) ناچه لایه کم طبقه بونصفر را با استاره‌گیری زمان رفت و برگشت ضربات‌های (۵۰۵/۱۷۳) کوتاه از زمین به آن لایه تعیین نمودند.

در اوائل سال ۱۹۲۰ سیستم پالسی کشف و تعیین موقعیت هواپیما بطور جداگانه در کشورهای آمریکا، انگلیس، فرانسه، آلمان روبه توسعه گذاشت. این سیستم در این کشورها اسامی مختلفی را دارد. مودتاً اینکه در سال ۱۹۴۲ شرکت آمریکا این سیستم را رادار (Radio Detection and Ranging) نامید که این اسم در دیگر کشورها نیز مورد قبول واقع گردید.

اولین رادار دریائی در سال ۱۹۲۶ میلادی آمریکا در سال ۱۹۳۷ مورد آزمایش نرار گرفت. انگلستان در سال ۱۹۳۸ پنج خط از رادارهای دیده بان را در ساحل خود نصب گردید. سیستم این رادارها توسط واکسون وات (W.L. Watson Watt) فیزیکدان اسکاتلندی - ارائه شده بود که در آن آرستکاههای تولیدکننده پالس و لامب کانودیک استفاده گردید، بود.

در اوائل سال ۱۹۴۰ آلمانی‌ها از رادار برای هدایت شویهای ضد هوایی خود استفاده کردند این رادارها بhelp استفاده از طول موجهای پنجاه سانتی متری از دقت بسیار کمی دریافتی هدف پرخوردا بودند. پیشرفت و اتحی در سیستم رادار مدرن در سال ۱۹۴۰ زمانی که محققان انگلیسی موفق به ساخت لامب مانترون چند حفره‌ای (Multicavity Magnetron) شدند اتفاق افتاد. این لامپها میتوانستند اشعه‌ای را با طول موج چند سانتی‌متر با ندرت زیاد حدود ده کیلومتر و ابتلاید شاند.

در دو سال اول جنگ چهار سی دوم امریکا و انگلیس روی هم رفته حدود ۳ بیلیون دلار برای ساختن و توسعه سیستمهای رادار برای هدایت شب هنگام بمبافکنها روی هدفهای خود در خاک دشمن و همچنین سیستمهای کشف و تعیین موقعیت هواپیماهای دشمن خرج کردند. سیستم شناشگیری برای بمب اسداختی روی دشمن (Observed Bombing of the Enemy) مشکل از دو استگاه زمینی و دیجیتی بنام گربه (Cat) و موش (Mouse) بود. فرستنده علائم را دیجیتی در داخل هواپیما است که استگاه گربه هواپیما را در مسیر دایره‌ای باقایله ثابت هدایت کرده و استگاه مون موقع صحیح رها کردن بمب را با رسال علامتی به هواپیما اطلاع میدهد. سایک مختصات خوب برای استگاهها و برترانه ریزی صحیح میتوان - سادقی حدود ۲۵۰ متر هدف را از ارتفاع ده هزار متری و در فاصله سیم کیلومتری در این روش مورد اصابت بمب قرار داد. این سیستم سخت با طول موج $\lambda = 1/25$ متر رسرد، میشد ولی ساداً سایک را بردن طول موج $\lambda = 1/100$ متر بدنسی در میان ۱۰۰ متر در فاصله ۴۰ کیلومتری -

سیستم GEE-H (Long range Navigation) در میانکا و LORAN

در آغاز دهه ۱۹۴۰ مورد استفاده قرار گرفت . در سیستم GEE-H یک فرستنده گیرنده داخل هواپیما سببیه شده که علاوه رادیو شی فرکانس ۵۰ و ۱۰۰ مگاهرتز رابه دو دستگاه زمینی که در فرکانس ۴۰ و ۴۵ مگاهرتز پاسخگو میباشد مورد استفاده قرار میدهند . زمان رفت و سرگشت علاوه سیستم استفاده از CRT براساس تغییرات خطی زمان اندازه گیری میشود که دقت آن در حدود ۴۵ متر میباشد . کافر ارنشن بنام M.Hotine از سیستم GEE-H برای تعیین موقعیت هواپیما در عملیات عکسبرداری بمنظور فضای کرامتوی سین مالهای ۴۵-۱۹۴۲ استفاده شود .

بعداً سیستم GEE-H (short range Navigation) جایگزین سیستم HIRAN گردید . که اولین سیستم الکترونیکی برای اندازه گیری طولهای بلند در شبکه های مسافت کنترل زمینی است که بعداً "سیستم High Precision shoran (HIRAN)" نامیده شد . همزمان با اکتشاف سریع سیستمهای رادیویی بسازی جهانی در مدتی که این سیستم اولین دستگاه اندازه گیری ناصله بیز بوده بافت در سال ۱۹۵۰ زشودیمتر مدل ۲ سعنوان اولین دستگاه اندازه گیری دقیق طول با استفاده از امواج خوری سا مدولاسیون دامنه درکشور سوئیت تکمیل و سازار عرضه گردید . سیستم شور رومتر سا امواج کوتاه در سال ۱۹۵۶ در آفریقا جنوبی تکمیل و سیس در سال ۱۹۶۴ استفاده از آنده لیزر سحول شکری در سنته بردازیهای زمینی بجهاد شود .

ماهواره های تعیین موقعیت امکانات جدیدی را برای پیشرفتهای بیشتر در اندازه گیری های تعیین موقعیت در روش دزی در چند سال اخیر بوجود آورده اند . در حال حاضر بیش از یک میلیون مختلف ارائه دهندهای اندازه گیری الکترو مفاطیمی ناصله (EDM) و تعیین موقعیت وجود دارد .

Modulation

۳.۴.۲ - مدولاسیون

امواج حامل بتنیاشی شامل هیچگوی اطلاعات با آکاھی نبوده و سعنوان از آنها بعنوان حمل گشته بیک نوع اطلاعات نظیر بنام ، نوعی صوت و با علامت اندازه گیری استفاده نموده . اطلاعات اصلی که در دستگاههای طولیاب سنته بردازی با استفاده از امواج های حامل ارسال میگردد موجهای سیوسی شکل با طول موجهای سین ۱۰ تا ۴ متر (یا استثناء ، مکانتربا طول ۰.۶-۰.۸ میلیمتر) میباشد که برای اندازه گیری فاصله بکاربرده میشوند . مدولاسیون سودن این امواج سا عالم منابع دیگر سرروی موج حامل را مدولاسیون مینماید . مدولاسیون هایی که معمولاً در دستگاههای EDM بکاربرده میشوند عبارتندار مدولاسیون دامنه (AM) مدولاسیون نرکانس (FM) و مدولاسیون ماز (PM) . لازمه مذکور است که در حال حاضر کلیه دستگاههایی که در آنها امواج سروی موج حامل مکار سوده میشود بخلاف استثناء از مدولاسیون نرکانس که بیک نوع مدولاسیون دامنه است و وسائلی که از امواج میکروویو بعنوان موج حامل بهره میگیرد از مدولاسیون فرکانس استفاده نمینمایند .

اولین اقدام سرای تعبیین سرعت سور توسط منجم دانمارکی **Rømer** در سال ۱۶۷۶ صورت گرفت . او از مشاهده فیزوو بکی از اتمارسپاره زوبپرس عنی سور را حدود $215000 \text{ کیلومتر بر ثانیه}$ بودست آورد . اقدام بعدی توسط منجم انگلیسی بنام سراه لی در سال ۱۷۲۸ ، با مشاهده پارا لکس سالیانه ستاره ها صورت گرفت که مقدار $262000 \text{ کیلومتر بر ثانیه}$ را برای سرعت سور بودست آورد . فیزیکدان فرانسوی فیزوو با آزمایش مشهورش در سال ۱۷۴۹ با استفاده از جرخ داندایه دار . عددی حدود 215000 Km/sec و فیزیکدان دیگر فرانسوی فوکو در سال ۱۸۶۲ با استفاده از آثینیدوار عدد $255 \pm 294000 \text{ کیلومتر بر ثانیه}$ را برای سرعت سور بودست آوردند . در بک مدلی سعد حدود نصت تلاش دیگر با استفاده از کلیه وسایل ابتكی ، مکانیکی الکترونیکی و اینتر فروستربیکی سرای تعبیین سرعت سور اسجام گرفت . در زمان جنگ دوم جهانی عدد $14 \pm 299286 \text{ کیلومتر بر ثانیه}$ که توسط آندرسن با روشنی مشابه روش فیزوو سا . این تفاوت که ارسدولاسیون سور در دستگاه کرس استفاده کرد و بود بودست آمد و مبنای سیستمیای تعبیین موقعیت رادیوئی قرار گرفت . اسلائن سامنا یه طول اسازه $\frac{1}{4} \text{ کیلومتر بر ثانیه}$ را بر سرعت سور بودست آورد . بعد از حدود بیست اقدام دیگر از طرق مختلف سرای اتحادیه بین المللی زیوودزی و زیووبریک (IZL) در سال ۱۹۵۸ ، عدد بین المللی $299791 \pm 4 \text{ km/sec}$ را برای سرعت انتشار سور در خلا استحاب شد .

بعد از سال ۱۹۵۸ ، چندین بار دیگر موسماً و انتخاب مختلف به بررسی واحد از گیسروی سرعت سور در خلا پرداختند که بالاخره در سال ۱۹۷۶ اتحادیه بین المللی نجوم توصیه شود که مقدار زیر بعنوان سرعت پنهان سور در خلا بعنوان مقدار ثابت بذیرفته شود .

$$C = 299792 \pm 458 \text{ km/sec}$$

۴-۲- ضبط بندی دستگاههای EDM

دستگاههای EDM که در کارهای مختلف ترته سرداری موردا استفاده فوا رسکیرند ، ممکن است با وجود یک نوع امواج بکاربرد نماید برای حمل علائم اندازه گیری به دو گروه مشابه ریز تقطیع گردند .

- دستگاههای EDM با طول موجهای کوتاه (میکروویو) حدود چند سانتیمتر .
- دستگاههای EDM با اشده های مرشی و ما دون فرمر (الکترواپتیکال) با طوله موجهای شی حدود چند میکرون .

البته دستگاههای با امواج رادیوئی بله که بعلت عدم مدولاسیون تعبیین مختلف فاز در آنها

دستگار ساده سین در باشد گزروه دیگری از دستگاه های EDM هستند که بعلت آن را برداشته
بیشتر آسها در باز و برقی ، انیمتوس شناسی ، تعیین موقعیت و صدر و گرافی از سخت در مورد
آنها در اینجا مرف نظر گردیده است .

لزام ساده اور بسته ممکن است دستگاه های EDM را بزرگ بوده تهائیز تقسیم
بندی سودکه شرح آن همراه با مشخصات دستگاه های هرگز رو در فرمیتی حزوه بحورت سرحده
نشده آمده است .

۲۰۴۰۱ - دستگاه های میکروویو *Microwave Instruments*

دستگاه های EDM با امواج حسل کننده میکروویو که معمولاً امواج رادیوئی
با طول موج λ_{0-2} سانتیمتر را مورد استفاده فراز می دهد (بجز ظورومتر)
MRA-4 با طول موج $\lambda = \lambda_0$ میلیمتر محدود به توانی بادیه مستحبه سوده و
با پستی بین ترسنده و گیرنده امواج جتنا دید برقرار راست . فواصل قابل اندازه -
گیری بوسیله این دستگاهها بین ۱۰ متر تا ۱۵ کیلومتر بوده که تا حدودی دستگاه به
شرط جوی دارد . با پستی توجه داشت جون امواج ارمالی بوسیله این دستگاهها بتنکل
مغروطی سازاویده راس سین دوناتسیست درجه (توجه به مدل های مختلف) ستاره میباشد
تشاهد روی بین دو دستگاه بسیار منکل نمیباشد .

۲۰۴۰۲ - دستگاه های الکترو اپتیکال *Electrooptical Instruments*

دستگاه های EDM با امواج حسل کننده نور اسی (مرشی و با مادون فرم) بودنها در
شرط مناسب جوی حدود چند کیلو متر بوده و معمولاً از منابع تولید نور مخلطي بشرح
زیر استفاده می شوند .

نوع موج	منابع تولید نور	طول موج
نور مرشی	لامپ بخار حیوه	۵۵ره میکرون
"	لامپ سگن	۵۵ره
لیزر	لامپ هلیوم نئون	۶۴ره
"	لامپ راسی	۶۹ره
ما دون فرم	دایود کالیم ارستاد	۷۵-۸۵ره میکرون

در این گروه فقط یک دستگاه (ME ۲۰۰۰) از منبع تشعشع
دیگری بسام فلاش اکثر نون (Xenon Flash tube) استفاده می شوند که سورفیسی از مخلوط
طول موج های سین ۴/۰-۶/۰ میکرون (حدود ۲۲/۰) ایجاد می شوند . لازم به تذکر
است که در حال حاضر اکثر دستگاه هایی که از لامپ های حسنه ای و ننگنن استفاده می شوند
بوسیله لامپ های لیزری جایگزین شده اند .

در دستگاه های الکترو اپتیکال بعلت تولید دسته اند های باریک (با واگرایی

حدود ۱/۰ درجه) شعاع مورد استفاده اثرزی گمتری را ازدست داده و درنتجه دارای -
دقت بهتری از دستگاهها میکروویر میباشد ولی در عرض سنایه روی بین دوستگاه
میباشد با دقت بهتر انجام شده و شرایط جوی سبز محدود کشیده برداشته اخواهد بود .

بطورکنی میتوان سیان داشت که دستگاههای EDM با طول موجهای حامل کوتاهتر
دقت بهتری از دستگاههای EDM با طول موجهای حامل بلندتر داشته ولی در عرض دستگاههای
با طول موجهای بلند نر را شی و نفوذ بهتری را در شرایط مختلف جوی (مانند گرد و
حک ، باد و پوران ، ابری و غیره) دارا خواهد بود . لذا برای کارهای نفیه برداشی
معمولًا از دستگاههای میکروویر برای طولهای بلند و شرایط بد جوی و از دستگاههای الکترو
آبتدکال برای طولهای کوتاه سادید خوب و شرایط مناسب جوی استفاده میباشد .
لازم بذکراست که صفت اختصاصی دستگاههای با طول موج حامل ما دون قرمز اشتباه
بسیار صیغ آنها میباشد که ماکریسم برداشتها را بسیار کوتاه معمولاً بین ۱ تا ۲ کیلومتر
(ستکی به مدل آنها) نموده است مگر اینکه در این دستگاهها از لیزر ما دون قرمز استفاده
گردد (مانند ناکثومتر الکترونیکی HP-۳۸۲) .

جدول شماره ۲-۳ مشخصات اصلی بعضی از دستگاههای EDM را که تا سال ۱۹۵۲ به
بازار عرضه شده نشان میدهد ، با این توجه داشت که دقتها ارشاد شده دقتهاشی هستند که
بوسیله کارخانه های سازنده ادعائند ، وایکه درجه شرایطی ممکن است باین دقتها رسید
بحش اسکه در تجزیه و حل محل خطای در دستگاههای EDM خواهیم دید .

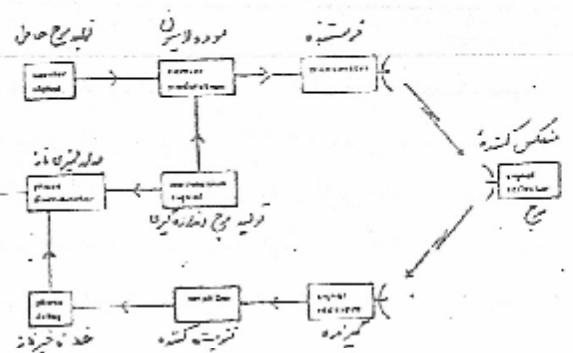
۲۰۴۰۵ - اصول اندازه گیری سیان دستگاههای EDM
در حال حاضر نیام دستگاههای EDM که در حقیقت برداشی بکار گرفته میشوند بر -
اساس اندازه گیری اختلاف فاز عمل نموده و اصول اندازه گیری فاصله در نیام آنها شبیه
بکدیگر است .

اموج مدوله شده در این دستگاهها بطور بیوسه از یک سرطان موردا ندازه گیری فرستاده
شده و در طرف دیگر بوسیله یک منعکس کشیده برگشت داده میشود . اختلاف فاز بین علاطم
ارسالی و دریافتی در دستگاه فرستنده اندازه گیری و جنازه طول موردا ندازه گیری
شامل عدد صحیحی از سحف طول اموج مدوله شده باشد در اینصورت اختلاف فاز را دستگاه
فرستنده سراسر صفر و در فیروان نصیرت اختلاف فاز نشان داده شده با مشخص بودن سرعت
اموج در طول مسیر تبدیل به خورده نصف طول . اموج مدوله شده گشته و س واحد طول -
نشان داده میشود . (شکل ۲-۲) مداریک دستگاههای EDM را که در حقیقت برداشی موردا
استفاده قرار میگیرد نشان میدهد .

Table 3-2 Sample of EDM instruments (1977)

Model	Manufacturer	Range (km)	Accuracy ¹		Remarks
			+/- mm	+/- ppm	
Microwave EDM instruments					
MRA-3	Tellurometer (Pty. Ltd.), S. Africa	70	15	1	Antenna can be separated up to 25 m. Lightweight, 3.5 kg with battery.
CA 1000	Tellurometer (Pty. Ltd.), S. Africa	30	15	5	
MRA-4	Tellurometer (Pty. Ltd.), S. Africa	40	8	3	Out of production
SI 14, MD	Bentley-Albis, Switzerland	150	10	3	Reduced ground swing, separated antenna.
He-Ne laser EDM instruments					
700	AGA, Sweden	40	2	2	
700	AGA, Sweden	5 (with 6 prisms)	3	2	Automatic tachymeter, cassette tape recording (optional).
700	AGA, Sweden	5 (with 6 prisms)	3	2	
Laser 15	Laser Systems & Electronics (for K & F), USA	12 (with 7 prisms)	3	2	10.2 kg, 5- to 10-min warm-up
Karar V	Laser Systems & Electronics, USA	25 (with 7 prisms)	10	2	16.2 kg, 5- to 10-min warm-up
Starrometer	Laser Systems & Electronics, USA	60 (with 10 prisms)	6	2	18.0 kg, 5- to 10-min warm-up
Infrared EDM instruments					
DI 15	Wohl-Herbrugg, Switzerland	1.5 (with 2 prisms)	3	5	Aiming unit mounted on theodolite, plumbable with the telescope, semi- auto. slope correction.
FACT	Wohl-Herbrugg, Switzerland	0.7 (with single prism)	3	5	Automatic tachymeter, cassette tape recording, compact.
MA 140	Tellurometer (Pty. Ltd.)	1.5 (with triple prism)	1.5	1	
CD-5	Tellurometer (Pty. Ltd.)	0.7 (with single prism)	3	5	Mounted on theodolite, 3.7 kg
IN 901	Kern, Switzerland	1.5 (with 2 prisms)	3	5	Mounted on theodolite, plumbable with the telescope, 1.6 kg, compact.
EDM 70	Cubic Corp., USA	1.5 (with triple prism)	3	10	Aiming unit (1 kg) mounted on theodolite, plumbable with the telescope, slope-horz. corr.
EDM 80	Howlett-Packard, USA	3 (with 6 prisms)	3	5	Fully auto. tachymeter, compact, electronic data recording
EDM 8	AGA, Sweden	3 (with 3 prisms)	3	5	Mounted on theodolite, 2.5 kg
EDM 1	Carl-Zeiss, W. Germany	3 (with 1 prism)	3	2	8 kg
EDM 3	Carl-Zeiss, W. Germany	0.4 (with 1 prism)	3	2	Mounted on theodolite, 3.8 kg
EDM 14	Carl-Zeiss, W. Germany	0.7 (with 3 prisms)	10	2	Automatic tachymeter, auto. data recording
EDM 500	Precision Int., USA	0.5 (with 3 prisms)	10	2	Mounted on theodolite, semi-autom. slope reduction, 2.5 kg
EDM 500S	Precision Int., USA	1 (with 3 prisms)	10	2	Mounted on theodolite, semi-autom. slope reduction, 2.5 kg
Xenon flash EDM instruments					
EDM 800	Kern, Switzerland	3	9.5	2	
EDM 800T	Kern, Switzerland	3	9.5	2	

$$\tau = \tau_0 + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\tau_0}{\tau} \right)$$



شکل ۲ - ۶

بسارابن چنانچه فاصله بین یک فرستنده و منگش کننده برای کم باشد مقدار آن برابر است با :

$$\lambda = m(\frac{\lambda}{2}) + \Delta \quad (2-22)$$

که در آن λ طول موج مدوله شده ، m تعداد ارتفاع صحیح سطح طون موج مدوله شده در محل طول و Δ قسمت خورده نصف طول موج مدوله شده آخر (بدست آمده از اختلاف ماز) میباشد . از معادله ۲-۲۴ دیده میشودکه برای بدست آوردن طول λ عدد صحیح m میباشد مشخص گردد . برای تعیین این مقدار همانطورکه میدانید و در ضمیمه جزو شیوه آمده است فاعله موردا ندازه گیری میباشد با دروباینتر (سنگی به نوع دستگاه و طول موردا ندازه گیری) طول موج مدوله شده مختلف اندازه گیری شود .

طول موج مدوله شده (λ) نامی است از فرکانس مدولاسیون (f) و سرعت پخش امواج الکترومagnetیک (V) در محیط یعنی :

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (2-23)$$

از طرفی سرعت پخش امواج الکترومagnetیک در خلاء مقدار ثابتی سوده و همانطورکه سیانند مقدار آن سُر زای است با :

$$C = 299792 / 458 \pm 12 \times 10^8$$

ولی وقتی این امواج در میان لایه های مختلف هوا استخراج میباشد سرعت این متناسب با نتیجه ورق هوا کاهش میافتد و درنتیجه همیشه کمتر از سرعت آنها در خلاء میگردد . بطور

کلی سرعت امواج الکترونیکی در هوا ثابت است از سرعت آسمانی در خلا و ضریب نکست
هوا بصورت :

$$V = \frac{c}{n} \quad (2-26)$$

که در آن c ضریب نکست هوا بوده و ثابتی است از غلط هوا (نمیخته میخیز) رطوبت سوچ
حامل و مقدار ضریب نکست (n) سن ۱ در خلا تا حدود $1/500000$ در شرایط متوسط جوی
متغیر بوده و مقدار دقیق آن ممکن است براساس اندازه گیری شرایط جوی ناشد و حد مراد
نشار و بخار آب موجود در هوا در طول مسیر مشخص گردد . (در فرمولهای آبده در این مورد
بحث خواهد شد) . بنا بر این با استفاده از رابطه $(2-25)$ و $(2-26)$ خواهیم

داشت :

$$\lambda = \frac{c}{n_f} \quad (2-27)$$

که چون سخنوار "فرکانس مدولاسیون" (f) ثابت سرده و با دقت زیاد شناخته شده است سنا سر
این رمانی طول سوچ مدوله شده در طول اندازه گیری مشخص میگردد که ضریب نکست میخیز
نمیخیز "نمیخیز گردد" .

کارخانه های سازنده دستگاه های طول سیاب "ممولا" مقدار $\lambda_1 \neq \lambda_2$ را برای شرایط
معینی از هوا ساخته اند $n_1 \neq n_2$. بنا بر این با مشخص بودن فرکانس مدولاسیون
سیوان میتوان :

$$\lambda_1 = \frac{c}{n_1 f} \quad (2-28)$$

لمسه ای طولی که متوسط جمین دستگاه EDM نسبت میگردد برای خواهد بود با :

$$S_1 = m \frac{\lambda_1}{f} + U_1 \quad (2-29)$$

که در آن U_1 حورده نصف طول سوچ میباشد . حال جنبه در طول اندازه گیری ضریب
نکست محض (n_p) محاله نکت اندازاره دستگاه باشد $(n_p \neq n_1)$ مقدار صحیح
طول مدوله شده (λ_2) و از انجام مقدار واقعی طول برای خواهد بود با :

$$\lambda_2 = \frac{c}{n_p f} \quad (2-30)$$

$$S = m \frac{\lambda_2}{f} + U_2 \quad (2-31)$$

از معادله $(2-22)$ و $(2-29)$ داریم :

$$\lambda_1 = \lambda_2 \frac{n_1}{n_p} \quad (2-32)$$

و سلاخه غول صحیح بودن اندازه گیری برای خواهد بود با :

$$S = \frac{n_1}{n_p} (m \frac{\lambda_1}{f} + U_1) = \frac{n_1}{n_p} S_1 \quad (2-33)$$

همانطوری که ملاحظه میگردد معادله $(2-22)$ (فرمول باید ایست بسطور صحیح شود) نه طول
اندازه گیری شده برای شرایط واقعی خواهد بود ایست ایست EDM مرکز الکترونیکی دستگاه
های EDM مطبق بر مرکز استقرار دستگاه نهایانه نمیتوان تصحیح کرد به نام تصحیح صفر
("zero correction") نامیده میتواند میباشد منبعی بر طول سیانه اندازه ای معموله
(افایده کوچک) . هفچتین این تصحیحات هستی که میتواند سیانه اندازه ای معموله

فوق اضمال تابه سطح مقایسه آورده شود . بنا بر این طول شهاش برآورد می شود :

$$S_0 = S_1 \frac{n_1}{n_r} + Z_0 + \Delta S \quad (2-22)$$

که در آن S_1 طول اسازه گیری شده ، n_r مرتب شکت در زمان کالibrاسیون ،

Z_0 تصحیح صفر دستگاه و ΔS کلیه تصحیحات هندسی لزム برای آوردن طول اسازه گیری شده بر روی سطح مقایسه می باشد .

۳۰۴۰۶ - تجزیه و تحلیل خطاهای در دستگاههای EDM

پنهان نظر سررسی و تضمین دقت طول های بدست آمده بوسیله دستگاههای EDM کافی است

تجزیه و تحلیلی در مورد کلیه مراجع ظاهر اسازه گیری طول عمل آورده شود . لذا ابتدا

با توانادن معادلات (۲-۲۲) و (۲-۲۲) در معادله (۲-۲۲) طول شهاش تصحیح شده

(۲-۲۵) را به شکل زیر نمایش داده :

$$S_0 = m \frac{C}{\tau n_r^2} + U_1 \frac{n_1}{n_r} + Z_0 + \Delta S \quad (2-23)$$

و از آنچه ساده از قانون پخش خطاهای متدار روا ریاضی طول کاراگذاری زیر محاسبه می شویم .

$$\delta_S = \left(\frac{m}{\tau n_r^2} \right)^2 C + \left(\frac{m}{\tau n_r^2} \right)^2 Z_0 + \left(\frac{m}{\tau n_r^2} \right)^2 \Delta S \quad (2-25)$$

معادله (۲-۲۵) ممکن است با تقریب $\delta_S = m \frac{C}{\tau n_r^2}$ بمورت ماده نر زیر نشان داده شود .

$$\delta_S = \left[\left(\frac{C}{\tau n_r^2} \right)^2 + \left(\frac{Z_0}{\tau n_r^2} \right)^2 + \left(\frac{\Delta S}{\tau n_r^2} \right)^2 \right] \frac{C}{\tau n_r^2} \quad (2-26)$$

با استناد به در نظرداشت که در معادلات فوق $n_r = n_1$ و n_1 دهنده امتیازدارد دیوبیش نمایندار $U_1 \frac{n_1}{n_r}$ فرض شده است . لزム بسیار آوربست که جزو U_1 معمولاً طول سفارکوجکی است از خطاهای n_r و n_1 در روی آن صرف نظر شده است .

دقت دستگاههای EDM معمولاً در کتابهای تکنیکی به شکل عمومی زیر داده شده است :

$$\delta_S = a + b S \quad (2-27)$$

یا ساده شده این بصورت :

$$\delta_S = \pm a \pm b S \quad (2-28)$$

معادله (۲-۲۸) ممکن است تبدیل گردد به معادله (۲-۲۷) با توانادن

$$a^2 + b^2 Z_0 = a^2 \quad (2-29)$$

$$b^2 = \left[\left(\frac{C}{\tau n_r^2} \right)^2 + \left(\frac{Z_0}{\tau n_r^2} \right)^2 + \left(\frac{\Delta S}{\tau n_r^2} \right)^2 \right] \quad (2-40)$$

که در آنها خطای پخش سرعت بور در خلا ، b^2 خطای فرکانس مدولاسیون ، a^2 خطای مرتب شکست . Z_0 خطای تصحیح صفر دستگاه مینمایشند . با استناد توجه داشت که خطای تصحیحات

هندسی طول (ΔS) دخالتی در معادلات (۲-۲۷) و (۲-۲۸) ندارد . حال با توجه به

معادلات فوق میتوان در بافت که جراحت دقت دستگاههای EDM در حقول (۲-۲) بوسیله دو

عدد مشخص شده است . اولین عدد نمایش دهنده a به متر (ثابت) و دومین عدد

سیارهای دارند و با وظیفه ملسوون (متناوب سیارهای) میباشند.

مثال (۲۶-۳۰-۴-۲۸) و (۲۹-۲-۲) نشان دهنده کلیه اینا بع خسته

در دستگاههای EDM میباشد که در زیر طور جداگانه در مورد هر کدام مبینه شده است.

۲.۴.۶.۱ - خطای انتشار سرعت نور در خلا

خطای سرعت نور در خلا تابع دو عامل استاندارد طول و استانداره اندازه‌گیری زمان میباشد که اولی سرعتی طول موج خط تاریخی این کوچکتوں بادقت $\pm 10^{-8}$ و دویی سرعتی ساعت انتی بادقت ± 1 ثانی تعیین شده است، لذا همانطورکه بیان شد سرعت پخش نور در خلا شبیه سرعت امواج الکترومagnetیک، پس آخرین تحقیقات برا سرعت نور مقدار ناشی $C = 299793 \pm 458 \text{ km/sec}$ کیلومتر بر ثانیه بدست آمده که با نوجوه سیارهای سیارهای و کوچک آنها PPm (۴۰۰٪) قابل ضبط کردن در دستگاههای EDM میباشد.

۲.۴.۶.۲ - خطای فرکانس مدوله شده

فرکانس نوسانات همینه صورت توابعهای متغیری از وامد بایه هر ترا انداره‌گیری میشود، جداول ۲-۲ و ۴-۲ سرتیپ مدول فرکانسی را که اغلب در الکتروسیکلکاری مدلده میشوند و ارتباط میان فرکانس، بروزد و طول موج را (وفتنی $km/sec = \lambda \times f$) نشان میدهد، مثلاً میان مثقال برای رسیدن بطول موج $\lambda = 10^4 \text{ m}$ متر مومنتساز سیگنال صیانت فرکانسی محدود $f = 40 \text{ MHz} = 7.5 \times 10^8 \text{ sec}^{-1}$ را ایجاد نماید.

Multiplication Factor	Prefix	Symbol
10^3	milli-	m
10^6	micro-	μ
10^9	mega-	M
10^{12}	giga-	G
10^{15}	tera-	T
10^{18}	peta-	P
10^{21}	exa-	E
10^{24}	zetta-	Z
10^{27}	yotta-	Y

Frequency, f	Period, T = 1/f	Wavelength, λ = c/T
Hz	sec	$c = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$
10^3 Hz	$1 \text{ msec} = 10^{-3} \text{ sec}$	$3 \times 10^5 \text{ m}$
10^6 Hz	$1 \text{ microsec} = 10^{-6} \text{ sec}$	$3 \times 10^2 \text{ m}$
10^9 Hz	$1 \text{ nanosec} = 10^{-9} \text{ sec}$	$3 \times 10^3 \text{ m}$
10^{12} Hz	$1 \text{ picosec} = 10^{-12} \text{ sec}$	$3 \times 10^6 \text{ m}$
10^{15} Hz	$1 \text{ femtosec} = 10^{-15} \text{ sec}$	$3 \times 10^9 \text{ m}$

جدول شماره ۲-۲

جدول شماره ۴-۲

میدانیم که در دستگاههای EDM همراهه بدو دلیل اساسی زیر انداره‌گیریها برواسن - امواج مدوله شده مثلاً موجهای سیار باید میان ۱۵ تا ۴۰ متر اسجام مبکرده -

۱ - طول موج خاص سیار کوچک بوده و بدست آوردن تعداد غول موجهای گام در فاصله مورد انداره‌گیری مشکلاتی را موجود می‌آورد -

۲ - پایداری فاز در طول مسافت زیاد مورد تردید است -

برای بحث این موجهای مدوله شونده معمولاً از کریسمالیهای کوارتز که حافظت مهم آنها نیست فرکانس مسائده استفاده می‌گردد - در کنستراکتیون‌های این موجهای مدوله شونده از کریستالهای در مورثکه

۴- زنگ میانگشت آتشها در پردازشگاه از طبقه نگهداری شود بر احتی دستی حدود PPM_{10} را در برداشته و در طول کاربرد دستگاه نیز میتوانند ساده تحدید جند هرنز ثابت نگهداشته شوند . اکثر دستگاه های EDM دارای محظای که درجه حرارت آن ب لک ترمومتر کنترل میگردد بوده و با برآین قابل از شروع هر اندازه گیری نهاد زمانی برای رسیدن آن محظه ب درجه حرارت ثابت موردنیاز میباشد . با استنی توجه داشته که چنانچه درجه حرارت مدار سوپا سازها کنترل نگردد ممکن است تعییراتی در فرکانس ایجاد گردد که خطای حدود PPM_{10} را شا مل گردد . لزم بنتذکراست که با وجود مرتب فوق کریستال ها ممکن است با گذشت زمان بخصوص وقتی که در ارتباط بدجوي سکارکرته میشوند از فرکانس اولیه خود خارج شده که میباشد گاهی (حداقل سالی بکار) با یک مرجمع پابدار دیگر مفایس و کنترل گردد . بعنوان مثال بعضی از دستگاه های میکروویو مالیات خنجراتی حدود ۵ هرتز را شان داده اند که برای فرکانس حدود MHz_{15} خطای حدود PPM_{5} میباشد . چون ستد تشییت و کالبیره نمودن فرکانس سیگنال های انداره گیری در مدل های مختلف دستگاه های EDM متفاوت است لذا توصیه میگردد تشییت و کالبیره نمودن آنها حینما با مشاوره کارخانه سازنده صورت یافید .

۵- مسحور که ملاحظه گردید جنایت دستگاه های EDM حداقل سالی بکار کنترل گردد خلاصه فرکانس موج مدوله شده نیز نا بل صرف نظر کردن میباشد .

۴.۶.۲ - خطی مرتب نکت

سرعت سرکله امواج الکترو مغناطیس در محیط اندازه گیری (V) سفت طبقه اتمسفر میباشد که کمتر از سرعت سرآنها در نهای (C) بوده و نتیجه این دو سرعت را صرب نکت (n) می شامد .

$$n = \frac{C}{V}$$

در دستگاه های EDM توجه زیادی به ضرب نکت هوا مطلع میگردد زیرا بعد از مشخص شدن این ضرب است که بعنوان سرعت امواج در محیط اندازه گیری را محاسبه نمود . بعنوان این آندازه گیری دقیق نامه بوسیله این دستگاهها لازم است که ضرب نکت طول مسیر با دقت زیاد مشخص گردد . ولی چون معمولاً امکان اندازه گیری شرایط آتمسفری برای تعیین ضرب نکت در طول مسیر وجود نداشته و فقط بینان آنها را در نقاط سهائی اندازه گیری ممود لذا این امر محدودیتی را در دقت اندازه گیری نامه بوسیله این وسائل بوجود میباورد . عواملی که در تعیین دقیق ضرب نکت دخالت دارد عبارتند از :

- ۱- ترکیب گاری آتمسفر که تقریباً ثابت است
- ۲- سخار آب موجود در آتمسفر (بخار طرسکتور سودن ورن مخصوص)
- ۳- درجه حرارت و فشار آتمسفر
- ۴- فرکانس سیگنال مورد استفاده

غیر از مورداول که ستوسا" ثابت است زیرا درجه چهارم که برای فرکاسیهای مختلف فرمول های مختلفی دارد، استناده قرار میگیرد مواردی که درجه حرارت و نتار اعملاً در محیط کاراندازه گشته شده و بر این اقتضایها منطبق نگشته دست ضرب نکت میباشد "عموماً" برای محاسبه ضرب نکت ساده درجه میبیشم و فرمولهای مورداستناده واحد پارامترهای درجه حرارت و نتار میتواند بکی از واحدهای ریاضیاتخاب گردد.

درجه حرارت (t) میتواند مقداری مانند (C) ، فاراهایت (F) و

با حرارت مطلق (T) با $kelvin$ نامیده شده باشد که ارتباط آنها به شکل زیر میباشد

$$C = \frac{5}{9}(F - 32)$$

$$F = \frac{9}{5}C + 32$$

$$T = C + 273.15$$

واحد نتار (m) میتواند میلیبار (mb) و یا میلی متر جیوه ($mm Hg$) استخواب -

گردد که ارتباط آنها میتواند از:

$$1013.25 mb = 760 mm Hg$$

در نتام فرمولهای مربوط تدبیین ضرب نکت رطوبت هوا بسروت فشار بخار آب موجود در هوا داشت میوود که در عمل نقریباً هشت آنرا سیله مشاهده هم زمان درجه حرارتی خنک و نر و نتار سا استناده از فرمولهای زیر میتوان محاسبه نمود.

برای درجه حرارت ساده نسبیگرایی:

$$e = e' - 0.00066(1 + 0.00115 \frac{t}{t'})P(t - t')$$

برای درجه حرارت فارنهایت:

$$e = e' - 0.000367 \left(1 + \frac{t - 32}{1571}\right) P(t - t')$$

که در آنها t' درجه حرارت سر ، t درجه حرارت خنک ، P فشار و e' فشار بخار اشباع میباشد . فشارهای P ، C ، و T باک و احتمالاً در فرمولهای شرکت مینمایند .

در عمل عموماً فشار بخار اشباع با استناده از جداول *Smithsonian Meteorological*

(جدول ۵-۲) و با حداقل مشاهده دیگری که بر حسب درجه حرارت تنظیم گشته است

میتواند . مقادیر فشار بخار آب ممکن است از فرمول تقریبی زیر برای استناده از درجه حرارت خنک و نر حسابه گردد .

$$e = e' - 0.7(t - t')$$

که در آن e و e' بر حسب میلی پسار را t و t' بر حسب سانتیگراد میباشد .

همانطور که سیان شد ضرب نکت علاوه بر شرایط طبیعی محیط تابع فرکاسیهای

های مورداستناده سیر میباشد که بهمین مطوفه با توجه به فرکاسیهای مختلف فرمولهای -

محضی برای تعیین آن مورداستناده نیازمند نیازمند حال با توجه به فرکاسیهای موافق نوراوسی

و مکروریبو که در دستگاههای نقطه برداری کاربرد دارند در زیر به تجزیه و تحلیل ضرب نکت

برای سریع از این دو حالت میپردازم .

TABLE D4 (CONTINUED)
SATURATION VAPOR PRESSURE OVER WATER

Tem- per- ature °C.	Metric units									
	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0	6.1078	6.1523	6.1971	6.2422	6.2876	6.3333	6.3793	6.4256	6.4721	6.5190
1	6.3662	6.6137	6.6614	6.7093	6.7579	6.8065	6.8555	6.9049	6.9543	7.0044
2	7.0547	7.1073	7.1563	7.2074	7.2590	7.3109	7.3631	7.4157	7.4685	7.5218
3	7.5753	7.6291	7.6833	7.7379	7.7928	7.8480	7.9036	7.9595	8.0158	8.0724
4	8.1294	8.1858	8.2445	8.3026	8.3610	8.4198	8.4789	8.5384	8.5983	8.6586
5	8.7193	8.7802	8.8416	8.9033	8.9653	9.0250	9.0859	9.1542	9.2179	9.2829
6	9.3455	9.4114	9.4766	9.5423	9.6083	9.6743	9.7416	9.8089	9.8765	9.9436
7	10.013	10.032	10.151	10.231	10.291	10.362	10.433	10.505	10.577	10.649
8	10.722	10.795	10.869	10.943	11.017	11.092	11.168	11.243	11.320	11.397
9	11.474	11.532	11.630	11.708	11.787	11.867	11.947	12.027	12.108	12.190
10	12.272	12.355	12.438	12.521	12.606	12.690	12.775	12.860	12.946	13.032
11	13.119	13.207	13.295	13.383	13.472	13.562	13.652	13.742	13.833	13.925
12	14.017	14.110	14.203	14.297	14.391	14.486	14.581	14.678	14.774	14.871
13	14.969	15.067	15.166	15.265	15.365	15.466	15.567	15.669	15.771	15.874
14	15.977	16.081	16.186	16.291	16.397	16.503	16.610	16.718	16.826	16.935
15	17.044	17.154	17.264	17.376	17.487	17.600	17.713	17.827	17.942	18.057
16	18.173	18.290	18.407	18.524	18.643	18.762	18.882	19.002	19.123	19.245
17	19.362	19.490	19.614	19.739	19.864	19.990	20.117	20.244	20.372	20.501
18	20.630	20.760	20.891	21.023	21.155	21.288	21.422	21.556	21.691	21.827
19	21.964	22.101	22.240	22.379	22.518	22.659	22.800	22.942	23.085	23.229
20	23.373	23.518	23.664	23.811	23.959	24.107	24.256	24.406	24.557	24.709
21	24.861	25.014	25.163	25.323	25.479	25.635	25.792	25.950	26.109	26.269
22	26.430	26.592	26.754	26.918	27.082	27.247	27.413	27.580	27.748	27.916
23	28.086	28.256	28.428	28.600	28.773	28.947	29.122	29.293	29.475	29.657
24	29.831	30.011	30.191	30.373	30.553	30.739	30.923	31.109	31.293	31.483
25	31.671	31.860	32.050	32.242	32.434	32.627	32.821	33.015	33.212	33.410
26	33.608	33.807	34.008	34.209	34.411	34.615	34.820	35.025	35.232	35.440
27	35.649	35.859	36.070	36.282	36.495	36.709	36.924	37.140	37.355	37.576
28	37.781	38.017	38.239	38.462	38.685	38.911	39.137	39.365	39.594	39.821
29	40.055	40.387	40.621	40.855	40.991	41.228	41.466	41.703	41.943	42.187
30	42.430	42.674	42.919	43.165	43.414	43.663	43.913	44.165	44.418	44.672
31	44.927	45.184	45.442	45.701	45.961	45.223	46.486	46.750	47.016	47.281
32	47.531	47.820	48.091	48.354	48.637	48.912	49.188	49.466	49.743	50.023
33	50.307	50.580	50.871	51.190	51.447	51.735	52.025	52.317	52.610	52.904
34	53.200	53.497	53.796	54.096	54.397	54.700	55.004	55.310	55.617	55.926
35	56.236	56.548	56.851	57.176	57.492	57.810	58.129	58.450	58.773	59.097
36	59.422	59.749	60.077	60.407	60.739	61.072	61.407	61.743	62.081	62.421
37	62.762	63.105	63.450	63.795	64.144	64.493	64.844	65.196	65.550	65.906
38	66.254	66.623	66.993	67.347	67.712	68.078	68.446	68.815	69.186	69.559
39	69.934	70.310	70.683	71.068	71.450	71.833	72.218	72.605	72.994	73.383
40	73.777	74.171	74.568	74.966	75.363	75.767	76.170	76.573	76.982	77.391
41	77.801	78.215	78.630	79.046	79.463	79.885	80.307	80.731	81.157	81.585
42	82.013	82.447	82.881	83.316	83.734	84.154	84.536	85.079	85.525	85.973
43	86.423	86.875	87.339	87.795	88.243	88.693	89.165	89.629	90.095	90.564
44	91.034	91.507	91.981	92.458	92.937	93.418	93.901	94.386	94.874	95.363
45	95.855	96.349	96.845	97.343	97.844	98.347	98.852	99.359	99.869	100.38
46	100.89	101.41	101.93	102.45	102.97	103.50	104.03	104.56	105.09	105.62
47	106.16	106.70	107.24	107.78	108.33	108.88	109.43	109.98	110.54	111.10
48	111.66	112.22	112.79	113.36	113.93	114.50	115.07	115.63	116.23	116.81
49	117.40	117.99	118.53	119.17	119.77	120.37	120.97	121.57	122.18	122.79
50	123.40	124.01	124.63	125.25	125.87	126.49	127.12	127.75	128.38	129.01

(continued)

الف - تئوری نورافتن

در صنایع الکترونیکی سو مرد استفاده از دسته سوچانی با طولهای کمتر از ۱۰۰ نانومتر شکل نشده و در نتیجه بدین بدلیل بدینهای پختی مختلف سرعت چشمی امواج این محدود است از سرعت امواج ساده میباشد.

بهمین دلیل سیار این امواج میتوانند تکثیر کروه شخص سود . مجمعین این احتیاط زیوری در سال ۱۹۶۲ توصیه شده که فرمول شکستگی کروه طبقهای نوراسی در رابطه متعارف هوا پذیرفته شود .

$$(n_g - 1) = \frac{287.604 + 4.8864/\lambda^2 + 0.058/\lambda^4}{10^{-6}} \quad (2-44)$$

که در آن n_g ضریب شکستگی و λ طول موج موثر حاصل به بکرون در خله میباشد . با این توجه داشت که ضرایب ثابت فرمول فوق برای هوا خشک صفر درجه سانتیگراد با فشار ۷۶۰ میلی متراژ و ۰٪ درصد CO_2 محاسب گردیده است .

عنوان مثال برای $Ruby laser$ با $\lambda = 0.6943 \text{ میکرومتر}$ میباشد .
 $n_g = 1.000298$
 و برای $He-Ne laser$ با $\lambda = 0.6328 \text{ میکرومتر}$ میباشد .
 حال اگر در محیط اندازه گیری درجه حرارت هوا P ، فشارها P و فشار بخار آب موجود درها e باشد با استفاده از فرمول $Barrall and Sears$ ضریب شکست محیط برای حوا بدستور :

$$(n-1) = \frac{0.359408(n_g-1)P}{273.15+t} - \frac{15.02 \times 10^{-6}}{273.15+t} \quad (2-45)$$

که در آن P و t به میلی متراژ و $\frac{1}{t}$ بر حسب سانتیگراد میباشد . جایگزین P و t به میلی بارداده شده باشد با استفاده از روابط تبدیل میلی متراژیوه به میلی بار فرمول ۲-۴۵ محورت زیر در حوا هدایت .

$$(n-1) = \frac{0.269578(n_g-1)P}{273.15+t} - \frac{11.268 \times 10^{-6}}{273.15+t} \quad (2-46)$$

برای بررسی اثرباری هر یک اربار اسراهای P ، t و سرعت ضریب شکست محاسبه شده برای امواج نوراسی کافی است از مدل ۲-۴۶ نسبت باین اربار اسراهای دیفرانسیل نگریم صورت :

$$\begin{aligned} dn_t &= \left(\frac{-0.269578(n_g-1)P}{T^2} + \frac{11.268 \times 10^{-6}}{T^2} \right) dt \\ dn_p &= \frac{0.269578(n_g-1)}{T} \cdot dp \\ dn_e &= -\frac{11.268 \times 10^{-6}}{T} \cdot de \end{aligned} \quad (2-47)$$

عنوان مثال جنبه $n_g = 1.0003002$ که در آن $He-Ne laser$ میباشد در شرایط نزدیکی $T = 15^\circ C$ ، $P = 1013.25 \text{ mb}$ و $e = 10.87 \text{ mb}$ مورد استفاده قرار

$$\begin{aligned} dn_t &= -0.987 \times 10^{-6} t \\ dn_p &= 0.280 \times 10^{-6} P \\ dn_e &= -0.039 \times 10^{-6} e \end{aligned}$$

(۲- ۴۸)

که اکثر دقت $1/PPm$ مورد نظر باشد که برای اکثر مستکاهای EDM کافی است (خطای استاندارد مورد قبول برای اندازه‌گیری کمیتی‌های t ، P و e برای خواهد بود)

$$t = \pm 1.0^{\circ}\text{C}$$

$$P = \pm 3.6 \text{ mb}$$

$$e = \pm 25.6 \text{ mb}$$

(۲- ۴۹)

هذا نظریه ملاحظه می‌شود از خطای رطوبت در موردنامه امواج بساز ناجیز وقابل مردمیطر کردن می‌باشد ، لازم بسیار آوریست که متوسط نشار بیخوار آب بجز در مناطق گرسنگی معمولاً کمتر از خطای استاندارد فوق (ج ۶) سوده و در بینتر موقع میتوان ازترم دوم معادله ۴۶ که مربوط به رطوبت هوا می‌باشد صرف نظر نمود که در نصوحت خواهیم داشت :

$$(n-1) = \frac{0.26957g(n_g-1)P}{T} \quad (۲- ۵۰)$$

و یا بصورت مثال برای علیوم - نئون لیزر برای حواهی دیدیم :

$$(n-1) = \frac{80.927 P \times 10^{-6}}{T} \quad (۲- ۵۱)$$

ب - امواج رادیویی :

در امواج رادیوسی سجز امواج نزدیک GHz ۶۰ و اطراف GHz ۲۲ که پراکندگی شبیه شخصات نورانی دارد ضریب شکست مستدل از طول موج می‌باشد . ندا مقدار ضریب شکست - برای کلیه باندهای دیگر این امواج که فقط تابعی از t ، P و e می‌باشد ممکن است آزهربک از سه فرمول زیر محاسبه گردد .

۱ - فرمول Essen

$$(n-1)_{10}^6 = \frac{77.62}{T} P - \left(\frac{12.92}{T} - \frac{371900}{T^2} \right) e \quad (۲- ۵۲)$$

۲ - فرمول Smith-Weintraub

$$(n-1)_{10}^6 = \frac{77.62}{T} \left(P + \frac{4810 e}{T} \right) \quad (۲- ۵۳)$$

۳ - فرمول Essen-Froome

$$(n-1)_{10}^6 = \frac{103.49}{T} (P - e) + \frac{86.26}{T} \left(1 + \frac{5748}{T} \right) e \quad (۲- ۵۴)$$

در فرمولهای Smith-Weintraub و Essen و Essen-Froome سرحسب درجه حرارت مطلق و -

P و e سرحسب میلی بار می‌باشد و فرمول Essen-Froome نیز در حقیقت همان فرمول Essen می‌باشد که در آن فقط P و e سرحسب میلی متوجه آمده است ، لازم بسیار آوریست که اتحادیه بین المللی زمودری و وزو فیزیک در سال ۱۹۶۶ برای بکتواح -

بودن محاسن اندازه‌گیری طول بوله مستگاهای مسکرونو توهمه نموده است از فرمول -

برای تحقیق درمورد اشخطای کمبهای مورداً ندازه‌گیری شرایط فیزیکی رسمی سر-

روی ضربت سکست امواج رادیویی ارمول Essen نسبت به هریک از بارانترهای خ-

P و ϵ بضریب زبردی عراحتی مکرریم .

$$dn_t = \left[-\frac{27.62}{T^2} P + \left(\frac{12.92}{T^2} - \frac{743800}{T^3} \right) \epsilon \right] 10^6 dt \quad (4-55)$$

$$dn_p = \frac{27.62}{T} 10^6 dP$$

$$dn_e = -\left(\frac{12.92}{T} - \frac{371900}{T^2} \right) 10^6 d\epsilon$$

حال جنابه بعنوان مثال همار شرایط نیزیکی مثال مصل را در نظر گیریم خواهیم داشت :

$$dn_t = -1.282 \times 10^6 dt$$

$$dn_p = 0.269 \times 10^6 dP$$

$$dn_e = 4.434 \times 10^6 d\epsilon \quad (4-56)$$

که اگر بازهم دقت $!PPM$ موردنظر باشد خطای موردهای برای اندازه‌گیری کمبهای

برای خواهد بود P, t, ϵ :

$$\epsilon_t = \pm 0.8 {}^\circ C$$

$$\epsilon_p = \pm 3.7 mb$$

$$\epsilon_e = \pm 0.23 mb$$

(۴-۵۷)

از مقایسه مت دسر ۴-۴ و ۴-۵۲ و ۴-۵۳ ملاحظه می‌گردد که خطای مجاز برای اندازه‌گیری درجه حرارت و نشار برای دو حالت تغرساً یکان بوده ولی خطای مجاز موردنی مسول برای نشار بخار آب در حالت اول مساز رسانی در حالت دوم مساز بحرانی (حدودهای برآورده شده در حالت اول) می‌باشد که این خود عالمی محدود گشته برای این لایردن دقایقی است گاه است .

لازم بیاند که هر سه ممکن است با تقریب کافی از معادله (۴-۴۲) با بکار-

بردن فاتحون بعض خطاهای بمورت زیر محاسبه گردد .

$$\epsilon_t^2 = \epsilon_p^2 + (0.7 \epsilon_e)^2 \quad (4-58)$$

بعنوان مثال جنابه برای شرایطی $(T = 30 {}^\circ C, P = 1000 mb)$ درجه حرارت شرایطی ${}^\circ C$ باشد و -

اختلاف درجه حرارت با دقت ${}^\circ C = 0.5$ باشد فاصله محیطی باشد با استفاده از جدول (۴-۵)

و معادله (۴-۴۸) داریم $2.42 mb = \epsilon_p$ که خطایی حدود $15 PPM$ را در برخواهد

داشت . با توجه به نتیجه فوق بحوبی بعنوان دریافت که رسیدن بدقت $3 PPM$ که در اکثر

دستگاههای میکروویو ادعائده است چندار منکل است .

در عمل اندازه‌گیری شرایط فیزیکی ننط در درجه اصلیه اندازه‌گیری و باحتی درین پیشی

موافق دریک سر آن اندازه‌گیری می‌شود . این در خصیلی از حالات بخصوص و لئنی اندازه‌گیریها

در شرایط توبوگرافی متنوعی انجام می‌شود درجه حرارت بدست آورده از متوسط درجه حرارت

دوسره اعلمه مورداً ندازه‌گیری مطمئناً جدیش درجه سلسیوس را با متوسط درجه حرارت طول

مسیر اختلاف خواهد داشت . بین امواجین هر دو بهتر دین بصفت اندازه کیزیها برویم .
میگردد که فوامل در شرایط مختلف اتصالی (مقادیر مختلف η) بعنوان مثال برک
سری روز و سری شب اندازه کیزی شود . همچنین سرای دقتها زیاداندازه کیزی
شرایط فیزیکی میباشد در نتیجه میتوان طول مسیر نیز حساب " مورب پذیره " . ضمیما " -
ترمومترها ، بارومترها و دستگاههای دوسیزان الحرارتی (Psychrometers)
میباشد با : کیفیت هوای بوده و میزان تبیخنی کنترل و کالibrه نگردند .

۳.۴.۶.۴ - خطای تعیین اختلاف فاز :

همانطور که مذکور گردیدیم اساس اندازه کیزی فاصله در دستگاههای EDM برمیباشد
اندازه کیزی اختلاف فاز بین علاوه ارسالی و وصولی است . روشها که معمولاً بسوی
تعیین این اختلاف فاز بکاربرده میشود مختلف و مستقیم به سیستم و نوع دستگاه مورده است .
استفاده دارد . این روشها که شرح کامل آنها در درین دستگاههای طولاب الکترونیکی
آمده است احتمالاً عبارتند از استفاده از مدار میزی فاز (Phase discriminator)
استفاده از اسیلوسکوپ (C.R.T) ، روشی از نول میتر (Null-Point methods)
وروش دیجیتال (Digital method)

در طول جنده سال گذشته دقت اندازه کیزی فاز بتدربیح بالا رفته بطوریکه تنفسی من
بکمدم سیکل بسیار معمولی و در روشی جدید این حد تخفیض به بهتر از یک هزار سیکل نیز
رسیده است . بعنوان مثال در دستگاه DM-501 کرن که نصف طول موج π نصراست ،
خطای ۱۰ میلیمتر و برای مکامیتر ساطولموج 6cm متراحتای $1/2$ میلی متر برای احتیت قابل
دسترس میباشد . اینتے سایستی توجه داشت که چون در طول اندازه کیزیها معمولاً فراز اشت
اختلاف فاز جندین سار تکرار و متوسط آنها بعنوان طول نهایی مورداستفاده فراز میگردد
بنابراین خطای سیمین اخلاق فاز سیز کا هش و معمولاً کمتر از مقادیر ذکر شده در فوق خواهد
بود .

اندازه کیزی اختلاف فاز در دستگاههای میکروویو ممکن است بوسیله انعکاسات زمینی
یک سیستم از علاوه ارسالی بطور جدی مورد مخاطره قرار گرفته و خطای این را در فراز است
خورده های طول موردا اندازه کیزی (fine) باعث گردد . طول موج حامل برای این
دستگاهها معمولاً 2 cm با 10 cm سانتیمتر بوده که بوسیله آنتن های سهی شکل منعکس
کننده دستگاه بمورت طینهای محروم و نسبتاً " باریکی انتشار میباشد . زاویه راس -
مخروط امواج تولید شده (β_0) بوسیله این دستگاهها ممکن است از ارابه تقریبی
زیر محاسبه گردد .

$$\beta_0 = \frac{\lambda_c}{D} \quad (3-59)$$

که در آن λ_c طول موج حامل و D قطر منعکس کننده دستگاه میکروویو میباشد .

بینهایان مثال سرای سه‌گانه و $D = 25\text{ cm}$ ، جنادک حالتی است در پیش از
مدیهای سلورومتر زاویه راس آمواج متولید شده حدود $\theta = 45^\circ$ خواهد بود، بنابر
اس نظر در حالتی که فاصله مورداندازه‌گیری در عرضی یک درجه بین "عده‌ی فرارگرفته
باشد همواره ممکن است یک قسمط علاطم ارسالی بوسیله زمین متعکس شده و تداخلی در علاطم
متوجه بین دوایسگاه در ریموت ایجاد شاید. تداخل ایجاد شده ممکن است تغییراتی
در تراکت فاز و میانی حذف علاطم مستقیم را ساعت شده را ندازه‌گیری را غیرممکن سازد (حالات
دوم رمانی انداق می‌باشد که اندازه‌گیریها را روی مناطق وسیعی از متعکس‌گشته‌ها شی نظیر
آبای آرام و محمد، مساطق سنگی و بناهای شروانی انجام بدیهی که در آن صور علاطم
متعکس شده تغییریا "ندرستی شبیه آمواج مستقیم داشته و ممکن است تغییراتی تا 15° درجه
را در فاز ایجاد می‌اید.

تغییرات حامله در اندازه‌گیری اختلاف فاز در اثر انعکاس زمین که اصطلاحاً "کرانه
سوشیک" (ground swing) سبز مانده بینهای سایه‌ی است از اخلاق
بین طول مستقیم و طول متعکس شده، مسیرهای فاصله مسیر مستقیم از زمین در نقطه انعکاس
طول موج حامل، طول موج مدوله شده، یا مطلعه مربوب انعکاس (شوابط توپوگرافی
زمین) را بازده و رویدی آمواج. ثابت شده است که فرمول تکامل یافته Feijer که
بوسیله wadley (۱۹۵۲) انتشار یافت فرمول عملی تغییریا "ساده" است سرای
سرآورده طای سانی از انعکاس زمین بر حسب فاکتورهای نون الدکر.

$$\Delta T = \frac{r Am \cos \frac{2\pi \Delta d}{\lambda_c}}{\frac{2\pi}{\lambda_c} \sin \frac{2\pi \Delta d}{Am}} \quad (2-60)$$

که در آن ΔT خطای انعکاس زمین به متر، r ضرب انعکاس (متغیرین $1/4$
تا $1/2$ با توجه به نوع توپوگرافی زمین)، Δd اختلاف بین طول مستقیم و طول متعکس
شده به متر، λ_c طول موج حامل و Am طول موج مدوله شده به متريکها شده، مقصدar
 Δd ممکن است بوسیله فرمول استاندارد زیر محاسبه گردد:

$$\Delta d = \frac{2 h^2}{D} \quad (2-61)$$

که در آن h فاصله مسیر مستقیم از زمین در نقطه انعکاس (clearance line)
و D طول مستقیم مسیر اندام که هردو به متريکها شده، ضرب انعکاس ۳ برای زمینهای
بروز رخدت، سرمه زار و تا همواری نسبم حدود $1/4$ و برای آبهای ساکن و منجمد ماگزینیم
حدود $1/2$ مساله.

در گرایانکیه سنتکا های سیکرو و بو که از تکنیک مدلسیون استفاده می‌نمایند طول
موج مدوله شده Am برای هر سنتکا مقدار نابی است، از طرف دیگر سرای هر طبقه موردن
اندازه‌گیری بقدار Δd نیز ناشست بوده و در نتیجه نرم مسیر در معادله $(2-60)$ کل
نایت و سیره از ضرب انعکاس ۳ دامنه خطای انعکاس را مسحود می‌آورده. برای کاهش
اشرطة اندکاس (ΔT) با توجه به تغییرات سینوسی آن کافی است کاری کنیم که فاصله

مورد اشاره گیری چندین بار سران خوردهای فاصله Δd با معاشر مذکوف ΔT بدست آید که در نتیجه متوسط حساب آنها میتواند سمعان محتمل نرین مقدار خود را فاصله مورد استفاده فرازگیرد . این منظور "محولا" بوسیله یک سری اشاره‌گیری (محولا" ۱۲ بار) برای خوردهای فاصله مورد مطرکه در آن هر اشاره - گیری با فرکانس (طول موج) مختلفی از موج حامل انجام شده است امکان بذیراست تغییر فرکانس موج حامل "محولا" بوسیله کاربیتی تیبون انجام میشود ، از مادله (۶۴-۳) با اساس دیده میشود که ترم کسینوس یک دور خطی اسکالس را باعث میگردد جانج $\frac{2\pi\Delta d}{\lambda_c}$ با اشاره ۲۲ تغییر نماید . برای پیدا نمودن تعداد سیکلها کاملاً ظاهر شده برای خطی اسکالس در یک سری مشاهدات که تغییرات طول موج حامل در آنها بین $\frac{\lambda_c}{2}$ و λ_c میباشد میتوان نوشت :

$$2\pi k = \frac{2\pi\Delta d}{\lambda_{cH}} - \frac{2\pi\Delta d}{\lambda_{cL}} \quad (64-3)$$

که در آن k تعداد سیکلها ، λ_{cH} طول موج حامل با لاترس فرکانس کاربیتی تیبون و λ_{cL} طول موج حامل پائین نرین فرکانس کاربیتی تیبون میباشد . از مادله (۶۴-۳) داریم :

$$k = \frac{\lambda_{cL} - \lambda_{cH}}{\lambda_{cL} \cdot \lambda_{cH}} \cdot \Delta d \quad (64-3)$$

ماگزیم دامنه خطی اسکالس زمانی است که $\frac{2\pi\Delta d}{\lambda_m} = \frac{\pi}{2}$ بعده و نیکه $\frac{3\pi}{2}$ ، $\frac{2\pi\Delta d}{\lambda_m} = \frac{3}{4}\lambda_m$ میباشد و می سبم با مقدار مفرآن زمانی است که $\frac{2\pi\Delta d}{\lambda_m} = \pi$ ، $\frac{2\pi\Delta d}{\lambda_m} = 2\pi$ ، $\frac{2\pi\Delta d}{\lambda_m} = 3\pi$ و قبکه $\frac{2\pi\Delta d}{\lambda_m} = \frac{1}{2}\lambda_m$ ، $\frac{2\pi\Delta d}{\lambda_m} = \frac{1}{3}\lambda_m$ ، $\frac{2\pi\Delta d}{\lambda_m} = \frac{1}{4}\lambda_m$... باشد . همچنین ماگزیم خطی اسکالس زمانی اسک مقدار آن براس مگزیم دامنه نویان آن باشد یعنی هر کدام از مقادیر سینوس و کسینوس در معادله (۶۴-۳) برای یک سری مذکور است که در آن نموده داریم :

$$\Delta T_{max} = \frac{\pi \lambda_m}{2\pi} \quad (64-4)$$

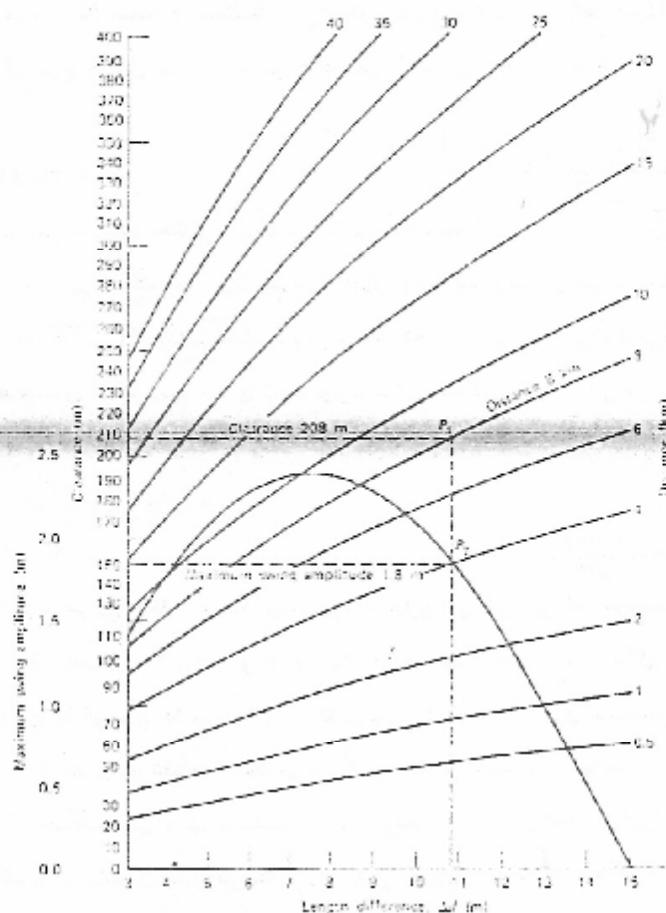
برای برآورد سریع خطی اسکالس زمین میتوان از گرافی که بوسیله (۱۹۷۴) GUN میتوان از معادلات (۶۴-۳) و (۶۴-۴) بدست آمده است (نکل (۶۴-۴) استفاده شود که از آن ماگزیم دامنه خطای اسکالس بصورت تابعی از طول مستقیم مسیر (D) و - نامه آن از زمین در نقطه اسکالس (f) قابل تعیین میباشد . این گراف همچنین مستقیماً اختلاف بین مسیر مستقیم نامه و مسیر منحک شده (Δd) را برای تعیین تعداد سیکلها تشکیل شده در یک سری اشاره گیری میدهد . سخاطر سادگی مقدار نظریب اسکالس در رسم این گراف براس $\frac{D}{f} = 5$ بذیرفته شده است .

بعنوان مثال برای طول $D = 1000$ باحداول نامه از زمین $f = 100$ سا

ما گزینم دامنه با خطای آزمون $\Delta d = 1/A$

$$\Delta d = 10/9 \text{ متر}$$

با استناد به شکل فوق الذکر سرای مدلهای تدبیی نلورومتر برای وسیع که $K = \Delta d$ میباشد طرح گردیده است. لذا جنابجه برگاتهای حامل دیگری بک رسیده شود شده مسکلها K صفات از مقدار Δd خواهدبود. جدول (ع۳) مخاطب پسر ما گزینم دامنه و شفافی دور های برای دوسری از دستگاههای قدیم و جدید نلکروپورا برای وسیع که Δd از دیگر پیشنهاد شان میباشد. با استناد شکل برای دستگاههای تدبیی نلورومتر MRA-1 و MRA-2 با منحصات $A_{CH} = 0.95$ و $A_{CL} = 0.90$ و $A_m = 0.90$ و $A_{CH} = 0.95$ و $A_{CL} = 0.90$ والکتروتیپ DM-20 و $A_{CH} = 0.95$ و $A_{CL} = 0.90$ و $A_m = 0.90$ در نظر گرفته شده است.



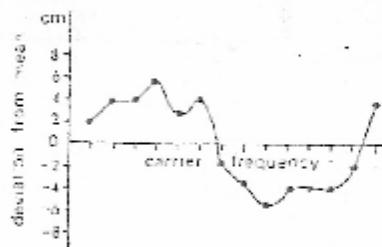
شکل (۲-۴) Error template for ground reflections from Guan, 1984. Graph

MRA-1 and NIRA-7			NIRA-101 and Electroenceph DM-29		
Δd (m)	Amplitude mm	Number of Cycles	Δd (m)	Amplitude mm	Number of Cycles
7.5	1.9	7.5	8.0	1.3	8.2
15.0	0.0	15.0	10.0	0.0	16.4
22.5	1.9	22.5	13.0	1.3	21.6
30.0	0.0	30.0	20.0	0.0	21.8
37.5	1.9	37.5	25.0	1.3	41.0
45.0	0.0	45.0	30.0	0.0	49.2

جدول (۳ - ۶)

های نظور که ذکر گردید یکی از طرق کا هش ارشخطای انعکاس زمین در دستگاه های مکرو و سو نکرا انداره گیربها فای *Fine* در فرکانس های مختلف موج حامل می باشد . عمل دیگری که تا حدی در شخصی مواقع میتواند موثر برای کا هش خطای انعکاس باشد سفیرزا و پهلو روی ای موج برگشتی است که این امر با تغییر ارتفاع دستگاه ایکان پذیر می باشد . در جمله ای از موقع فقط یک سفیر جند دی ستری در ارتفاع دستگاه ممکن است تغییرات زیادی را در فاز و قدرت علائم منعکس شده از زمین باعث گردد . در عمل چنانچه تکرار انداره گیربها ارتفاع را پی بخستی را در بین آنها باشد عملیات کلا " سا تغییر ارتفاع دستگاه های تکرا و میگردد . برای افزایش سریع نتایج بدست آمده از یک سری انداره گیری کافی است متوسط حساسی فرائشتها انجام شده را محاسبه و تغییرات هر کدام از ترا شنها را متوسط در روی محور های مختصاتی آورده و سپس مختصی گراند سوتیک را بر روی این نقاط رسم نماییم . چنانچه این مختصی مزدیک بیک سیکل کامل مختصی سیتو سوئیدالی بوده و ما گزینم گستردن گی قرا شنها ابر پنج برابر طول موج حامل (۱۵ سانتیمتر برای دستگاه های سا $A_c = 2^{\text{cm}}$) تجاوز سهایدرا نمودت مبتدا نطمث بود که انعکاس زمین اثربندانی نداشته و متوسط قرا شنها بدست آمده شیز بیشترین مقدار ممکن را برای طول مورد نظر است . (نکل

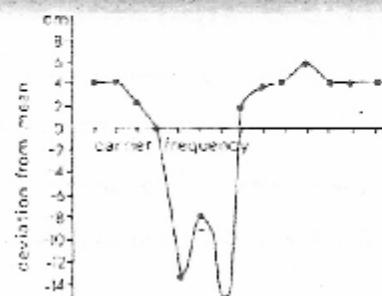
(۳ - ۵)



Typical ground swing curve of a "perfect" measurement.

شکل (۲-۵) .

اگر منحنی گراند سوئینگ سی نظمی های زیاد و مخصوصاً "تغییرات ناگهانی در فرکانس" محبوبی از کاویتی تیون را نشان دهد (شکل ۶-۳) ، اندازه گیریها ممکن است بوسیله انکاسات سیرومندی اشکنده شده وطول متوسط اختلاف خطی سیستمایی بزرگی خواهد داشت . در جنس حالتی اندازه گیریها ممکن است در ارتفاعات مختلف دستگاه تکرار پاسخ گردید که دستگاهها را کمی سطح بالا سیستمی تغییر دادن با رامترهای انکاس کج . . . محدود . اگر بوسیله تغییر دادن پارامترهای انکاس سختی گراند سوئینگ هنوز سی نظمی های سیستمی را نشان ندهند گیری های ناصله ممکن است بوسیله انکاسات داخلی اشکنده شده باشد . این حالت ممکن است وقیع اتفاق افتد که در انکاس دهنده سیمی نکل دستگاه جعیدگی و با تغییر تکلی موجود شده باشد که سبب برگشت علامت فرستاده شده گردد .



Ground swing curve indicating a strong reflection.

شکل (۶-۴) .

اثر انکاسات زمین روی انحراف معبار طول اندازه گیری شده در مورثی که اندازه گیریها ۲۰ مرتبه با فرکانسی کاویتی تیونگ مختلف تکرار شده و منحنی گراند سوئینگ

رقمی سنجشی نیز داشته باشد برای مستکاهای میکروویو با طول موج حاصل $\lambda = 2 \text{ cm}$ از مقادیر $1/5$ تا 2 سانتیمتر ترازو نمیکنند . در شرایط مسازه دستگاهات فوی ممکن است خطای برای 10 سانتیمتر با بینتره رروی طول متوسط ایجاد نماید . اثراں - انکاسات برای اندازه گیری بیان که بوسیله تلورومتر MRA-4 با طول موج حاصل 8 میلی متر اسحاق میگیرد 4 تا 5 متر برای اندازه گیری هایی است که با طول مسوج 2 سانتیمتر صورت میپذیرد .

۵.۶۰.۳ - تصحیح مفر و خطای ناشی از آن .

مراکز الکترونیکی مستکاهای EDM "سمولا" منطبق بر علاشم کاربرده شده . برای استقرارش غولی آنها نصب نشوند . مثلاً در بخشی از مستکاهای میکروویو محور های آتنن پارامولوژید آنها منطبق سرتقطه استقرار نیست . فواصل بین مرکز الکترونیکی و نقطه استقرار مستکاهای را که تصحیح مفر میباشد ، در بعضی از مدل های زیو دیمتریا تلو رو مترا ناحدود سی سانتیمتر میبرد . این فاصله را میتوان با کنترل مستکاهاروی طول های معلوم کالبیره شده تعیین و در اندازه گیری طول های مجھول درنظر گرفت . البته کارخانه های سازنده مستکاهای EDM همینه اطلاعاتی درباره مقادیر این تصحیح در اختیار فرا میدهند . بینتر مستکاهای حدی EDM جای تنظیم نداده اند که مقادیر تصحیح مفرد را نهایا تقریباً "برابر مفر میباشد" و وجود تجربه مشان داده اند که آن تصحیح ممکن است بیندازند کارکرد مستکاه نسبیر خواهد . لذا لازم است تصحیح مفر مستناوساً بوسیله اندازه گیری فواصل کالبیره شده هرجند بکار کنترل و نتیجه گردد .

برای کنترل مستکاهای الکترونیکی ابتکال فواصل معلوم 5 تا 50 متر و برای

مستکاهای میکروویو فواصل از 400 تا 1000 متر توصیه گردیده است . اگر طول مستند اختیار نباشد مقدار تصحیح مفر ممکن است بوسیله متد فواصل تعیین شده در روی یک خط مستقیم که در منطقه ای سینما "مقطع واقع شده قابل تعیین باشد" .

مطابق شکل (۲) چنانچه فاصله AD و تقسیمات AB و BC و CD در روی T -

بوسیله مستکاهی اندازه گیری شده باشد وفرض کنیم که تصحیح مفر A و D برای فواصل AD و CD نداشته باشد از مقایسه طولهای اندازه گیری خواهیم داشت :

$$AD - (AB + BC + CD) = \pm \infty .$$



اگر در نکش فلزی تمام طولهای میکن اند زیرا کسی شده باشد اینها باید روابط زیر سبقت قابل محاسبه میباشد.

$$AC - (AB + BC) = Z_0$$

$$BD - (BC + CD) = Z_0$$

از لزمه ساده اور است که در عمل موسیه میگردد حتی متذکر از مطالعه جهار فرمت معلوم کنند تمام فوائل ممکن در روى آن اندازه گیری شده باشد مورد استفاده در ارجمنده و بوسیله روش کمترین مربعات تصحیح صفر محسنه گردد بالتب در این روش طولهای اندازه گیری شده بوسیله طولیاب باشد قسلاً برای فربت شکست، شب وغیره تصحیح شده باشد.

- شعبین تصحیح مطربوسیله مددکسرین مربعات

چنانچه مطابق شکل زیر برای سه طول معلوم D_{01} ، D_{12} و D_{23} که در روی یک خط مستقیم قرار دارد کلید فوائل ممکن S_{01} ، S_{12} و S_{23} و S_{03} بوسیله دستگاه طولیابی اندازه گیری وفرض گردد که X_1 ، X_2 و X_3 مقادیر سرشنک شده ایان فوائل و Z_0 تصحیح صفر آن (با فرض ثابت شدن اینند برای تعبین Z_0 بروش کسرین مربعات معادلات متعادلات صورت ریاضی شده بیشوند).

$$X_1 - Z_0 - S_{01} = V_1$$

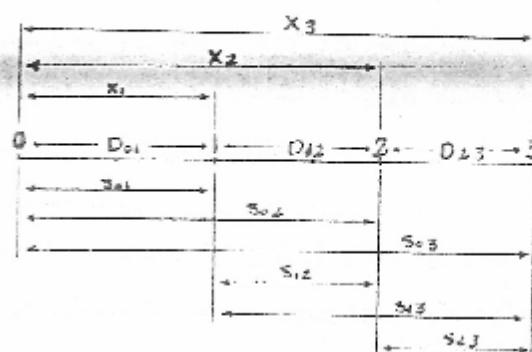
$$X_2 - Z_0 - S_{12} = V_2$$

$$X_3 - Z_0 - S_{23} = V_3$$

$$X_2 - X_1 - Z_0 - S_{12} = V_4$$

$$X_3 - X_2 - Z_0 - S_{23} = V_5$$

$$X_3 - X_1 - Z_0 - S_{03} = V_6$$



که با توجه به معلوم بودن فوائل D_{01} ، D_{12} ، D_{23} معادلات شرط زیر نیز با پذیرانها امداد گردند.

$$X_1 - D_{01} = 0$$

$$X_2 - X_1 - D_{12} = 0$$

$$X_3 - X_2 - D_{23} = 0$$

سادلاب یون را بورت تاری ما تربیت میتوان ببورت زیر سیز نمایش داد :

$$AX - L = V$$

که در آن L تبدیل مشاهدات، X بردار مجهول و A ماتریس غایب بشکل زیر میباشد:

$$\begin{matrix} S_{01} \\ S_{02} \\ S_{03} \\ S_{12} \\ S_{13} \\ S_{23} \\ D_{11} \\ D_{12} \\ D_{23} \end{matrix} \quad X = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ Z_0 \end{pmatrix} \quad A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

ما معلوم بودن ماتریس وا ریاضی کواریانس طولهای اندازهگیری شده و طولهای

معلوم (C_S و C_D) ماتریس وزن مشاهدات برابر خواهد بود با:

$$P = \begin{pmatrix} C_S^{-1} & 0 \\ \dots & \dots \\ 0 & C_D^{-1} \end{pmatrix}$$

که با اعمال شرط کمترین مربعات مقدار مجهولات و وا ریاضی کواریانس طولهای سرشکن شده و تصحیح-
مقدار فرمولهای زیر محاسبه میگردد:

$$X = (A^T P A)^{-1} A^T P L$$

$$C_X = \hat{\sigma}_e^2 (A^T P A)^{-1}$$

لازم سیاست دارد جنابه طولهای معلوم در دست نباشد هوزا مکان برآورده Z_0 سطیع
کمترین مربعات وجود دارد با این تفاوت که مقدار بدست آمده برای Z_0 مشاهدات
دب اسقی دستگاه خواهد بود . بعبارت دیگر در حالت اول (معلوم بودن طولهای) علاوه
بر شمیمی و Z_0 خود دستگاه نز کالیبره و دقتهاي صحیح آن قابل محاسبه میباشد در صورتی
که در حالت دوم امکان کالیبره نمودن و تعیین دقت صحیح دستگاه وجود ندارد .

درینی از دستگاههای ΔS_{12} تصحیح موردنیست و ممکن است گیر به اختلاف فاصله اندازهگیری شده دارد. تغییرات تصحیح موردنیست این دستگاهها پریوریت سوده و نکل پریور دکمال آن با سفیراب فاصله موردندازهگیری با اندازه نصف طول موج مدوله شده حاصل این تغییرات با اندازهگیری میشود بهنگ سری فوامل معلوم و متغیر در نصف طول موج مدوله شده قابل مشاهده میسی ساتمهجهولاً به وسیله جدول یا گرافی که تصحیحات پنج را برای طولهای معلوم و مختلف که بتناسب با اندازه $\frac{1}{2} \Delta S$ نصف طول موج مدوله شده درستگاه مطابق باشد، نشان میدهد مبتداً بر احتی تصحیح طول اندازهگیری شده در سوزمین را مشاهده به قرات خورده طول موردندازهگیری روی آن اعمال نمود. دو بینترحالات تغییرات پنج عرضه دقت تسبیح آن میباشد که در اینصورت مبتداً متوسط مقادیر پنج را بسوان مقدار ثابت تصحیح مضر دستگاه درظر گرفته و بدون توجه به اختلاف فاصله اندازهگیری شده برای طولهای مختلف بطور یکسان اعمال نمود.

۲۰۴۲ - تصحیحات هندسی و خطی آنها :

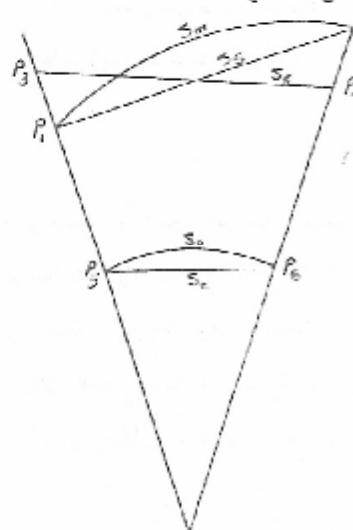
علوه بر تصحیحات ذکر شده درنحو جون فوامل اندازهگیری شده میان دو نقطه وسیله دستگاههای ΔS_{12} کوتاهترین فاصله (خط مستقیم) تعبیه شده و از ظرفی برای استفاده این طولهای بین آنها را بروی سطح مقابله (سخوی مقابله) آورد سراسر این مطابق نکل (ΔS_{12}) باشد تصحیحات دیگری نیز بضریزبروی آنها اعمال نمود.

- ۱ - تصحیح مربوط به انحنای سیم موج (ΔS_{12})
- ۲ - تصحیح مربوط به افقی حدودن طول (ΔS_{12})
- ۳ - تصحیح مربوط به تحریر طول روی سطح سخوی مقابله (ΔS_{12})
- ۴ - تصحیح مربوط به تبدیل و ترسه قوس دور روی سیفوی (ΔS_{12})

لزام بیان آوریست چنانچه طولهای موردندازهگیری بخواهند برای مخفمات فاصله از این

در صفحه تصویر مورد استفاده فرا رکبرند ساختی تصحیح مربوط به تغییرات طولی مبتدا

تصویر موردنظر نیز آنها اعمال نگردد.



نکل (ΔS_{12})

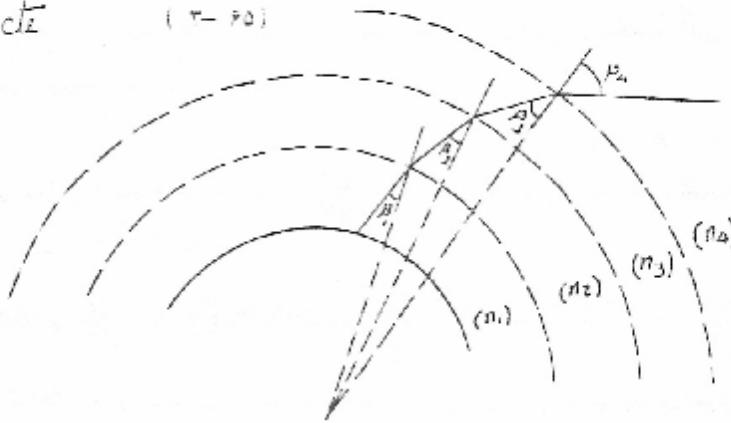
۴.۶.۱ - محاسبه انتشار نسبت بکمترین زوایایی :

میدانیم که کره زمین توسط نشرهای متعدد حاکم ورن مخصوص هوا در آنها بتدربیح به نسبت ارتفاع کم میشود ، احاطه شده است این تغییرات رون مخصوص در نشرهای هوا ، مطابق با نمون دکارت ، باعث نکست نور میگردد و همان طور که گفته شد ضریب نکست (۲) در هر نشر از جوزه مین عبارتست از سمت ضریب سیر نور در خلا به سمت سیر نور در آن نشر (۲- $\frac{c}{n}$) حال چنانچه مطابق شکل (۴-۹) n_1, n_2, n_3, \dots ضرایب نکست نور و $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$ زوایای ناشی شاعع سورا سی باشند مطابق قانون دکارت داریم :

$$n_1 \sin \beta_1 = n_2 \sin \beta_2 = n_3 \sin \beta_3 = \dots$$

و با درج نتیجه داریم :

$$n \sin \beta = c \quad (4-25)$$

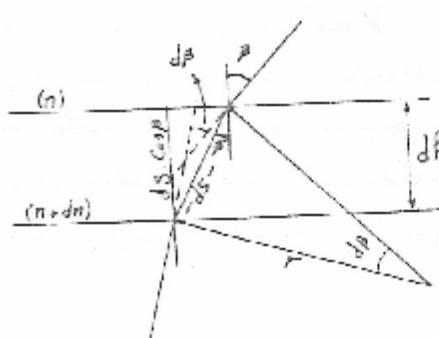


شکل ۹ - ۲

ماتوچه به اینکه تغییرات نسبی وزن مخصوص هوا از نظری به فشردگری با عبارتی تغییرات ضریب نکست نسبت به ارتفاع در حالت عادی مداوم و ثابت میباشد ، مستوان مسیر یک اندیشه سورا سی را در حد بمحورت یک دایره ای فرض نموده ایم این اندیشه این بحث زمین میباشد . سرای محاسبه اندیشه این دایره چنانچه مطابق شکل (۴-۱۰) دونشرنارک محاور حورا را ضریب های نکست n و $n+dn$ و به صفات $d\beta$ در نظر گیریم خواهیم داشت :

$$ds = r \cdot d\beta \quad (4-26)$$

$$\frac{1}{r} = \frac{d\beta}{ds}$$



$$dn \sin \beta + n \cos \beta d\beta = 0 \quad \text{از طرفی از رابطه ۶۵ - ۳ داریم}$$

$$d\beta = - \frac{dn \sin \beta}{n \cos \beta} \quad (2-67)$$

که با توان دادن رابطه ۶۲ - ۳ در ۶۶ - ۴ خواهیم داشت :

$$\frac{1}{r} = - \frac{dn \sin \beta}{n \cos \beta \cdot ds} \quad (2-68)$$

از طرفی مطابق شکل (۱۰ - ۳) داریم $ds = d\theta \cdot \cos \beta$ و بر تقریباً معادله (۲ - ۶۷) را داریم :

$$ds = \frac{d\theta}{\cos \beta} \quad (2-69)$$

که سا با سگزیسی (۲ - ۶۸) در (۲ - ۶۹) داریم :

$$- \frac{1}{r} = - \frac{\sin \beta}{n} \cdot \frac{dn}{d\theta} \quad (2-70)$$

در سورشیکه زاویه β به حدگانی بزرگ ، یعنی شعاع نورانی نزدیک به آفو بخاید مقدار اینها مبتنی بر این شعاع نورانی برابر خواهد بود با

$$- \frac{1}{r} = - \frac{1}{n} \cdot \frac{dn}{d\theta} \quad (2-71)$$

برای محاسبه گردان قائم ضرب شکست ($\frac{dn}{d\theta}$) با استفاده از رابطه ضرب شکست برای امواج نورانی (۲ - ۴۵) داریم :

$$\frac{dn}{d\theta} = \frac{0.359408(n_0 - 1)}{T} \cdot \frac{dP}{d\theta} - \frac{0.359408(n_0 - 1)P}{T^2} \cdot \frac{dt}{d\theta} + \frac{15.02816 \cdot e}{T^4} \cdot \frac{dt}{d\theta} - \frac{15.02816 \cdot e}{T^3} \cdot \frac{de}{d\theta}$$

که با توجه به کوچک بودن ترم سوم و چهارم سخوهای سورهای مرئی و فرم نسودن $n=1$ شعاع اینها برابر خواهد بودند

$$- \frac{1}{r} = \frac{0.36(n_0 - 1)}{T} \left(\frac{P}{d\theta} - \frac{dt}{d\theta} \right) \quad (2-72)$$

که در آن $\frac{dP}{d\theta}$ و $\frac{dt}{d\theta}$ گردان قائم حرارتی و فشارها میباشد . لازم بداند تا این شعاع اینها اشده های مرئی بطور متوسط برای شرایط

منعادل جوی در حدود هشت برابر شعاع کره زمین ($8R \approx 8 \times 10^6 m$) و برای امواج میکروویو این شعاع تقریباً "چهار برابر شعاع کره زمین میباشد ($R \approx 8 \times 10^6 m$)

۲.۴.۷.۴ - طرز تعیین ضرب k

بنابراین تعریف نسبت شعاع کره زمین به شعاع اینها مبتنی بر این ضرب

$$k = \frac{R}{r} \quad \text{آنکار نور در جوانا میده و آشناه حرف } k \text{ نشان میدهد بعضاً}$$

ما بعضاً توجه داشت که ضرب k ما ضرب شکست نور از لحاظ قانون دکارت اشناه -

نشود . همانطور که از فرمول محاسبه ضرب انسکار ملاحظه مسکردهون این ضرب تا بعی از شعاع اینها مسیر نورانی میباشد بنابراین تابع وضع و شرایط جوی بوده و با توجه به ساعت ، فصل و موقعیت محل اندیشه گیری منفی خواهد بود . مقدار این تغییرات معمولاً در ساعات گرم روز و قطبی که

در این هوا و قشرهای مختلف سارای درجه حرارت نسبتاً بیکسان بوده (شکل ۱) مطابق رکوردهای است.

هذا نظر که بسلاً تبر در مورد شماع اینها: سبیر بک آنده در شرایط متعادل جوی سان گردید مقدار متوسط ضریب K برای امواج خواری متربها "برابر با $125/0$ " و برای امواج مانکرو بو $25/0$ میباشد. برای تعیین مقدار صحیح این ضریب ایندرا یا شماع اینها سبیر را در شرایط جوی موجود اندازه گیری کرده سپس مقدار K را باز آن بدست آورده.

لازم نذکر است که برای محاسبه شماع اینها معمولاً "شرایط جوی را در دواستهای طول موردنظر اندازه گیری کرده" و مسیر شور را نیز بک دایره فرض می نماییم این فرض با وجود اینکه دقت محاسبه شماع اینها را کم میکند ولی اجتناب ناپذیر است.

در عمل ترجیح داده میشود که برای ساعت، روزها، فصول، ارتفاع و سلیمانی مختلف ضریب K مستقیماً "وبه طریق تجربی تعیین شود" (بحث این مطلب در فصل مردم موضع به شرایط این مسئله میشود) خواهد آمد.

۲۰۴۰۳ - صحیح مربوط به اینها، مسراشده در دستگاههای EDM (صحیح انکار) ها نظر که مذکور گردیدم فاصله اندازه گیری شده بین دو نقطه بوسیله دستگاههای EDM کوتاهترین فاصله (طول وتر) بین آن دو نقطه بوده و تابعی است از شکل سبیر اند مورد استفاده. مطابق شکل (۱۱-۲) جنایه S_m مسراشده بین دو نقطه P و Q و 0° مرکز و 90° شماع آن فرض شود داریم:

$$\gamma = \frac{S_m}{r}$$

از طرفی مطابق شریف ضریب انکار

$$r = \frac{R}{K}$$

(۲-۲۲)

پس

$$\gamma = \frac{K \cdot S_m}{R}$$

(۲-۲۴)

از طرفی در مسئله $O'P'Q$ داریم:

$$S_s = 2r \sin \frac{\gamma}{2}$$

که با جابگزینی ۲-۲ و ۲-۳ در آن داریم:

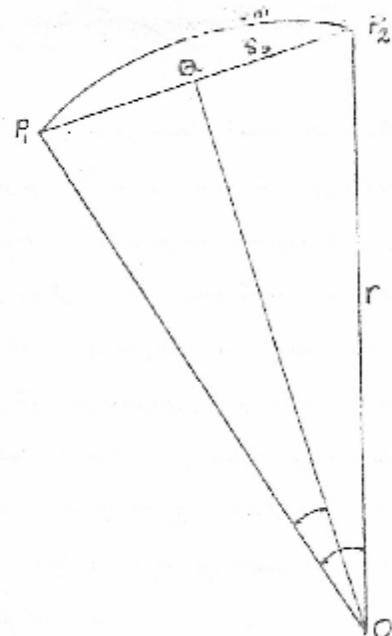
$$S_s = \frac{2R}{K} \sin \left(\frac{K \cdot S_m}{2R} \right)$$

با است \sin داریم:

$$S_s = \frac{2R}{K} \left(\frac{K \cdot S_m}{2R} - \frac{K^3 \cdot S_m^3}{48 R^3} + \dots \right)$$

وازانجا

$$S_s = S_m - \frac{K^2 \cdot S_m^3}{24 R^2}$$



شکل (۳ - ۱۱)

لزム سیا دا وریست چون انجهاء زمین مصوّلاً سرگمرا را بخواهی مسیر اندیشه دسگاههای EDM میباشد بنا بر این مسیر آنها تعیین کننده انجهاء زمین مبوده و در میان راه با فاصله کمتری از سطح زمین میورمیندند . این امر باعث میگردد که ضرب نکست محسنه شده از طرق درجه حرای دسها و فناوارهای اندازه گیری شده در دو استهای مسیرگمرا ضرب نکست واقعی مسیر باشد که درنتیجه تصمیح دیگری را برای انکسار لازم میدارد . مقدار این تصمیح بسر اساس محاسبات (۱۹۶۲) Saastamoinen برابر است با :

$$\Delta S = -\frac{K(1-K) S_m^3}{12 R^2}$$

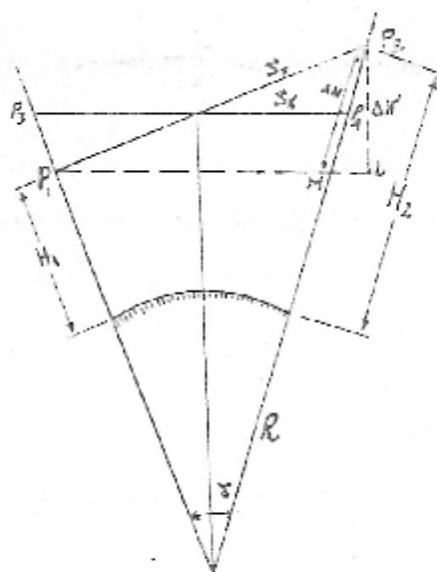
بنابراین مقدار تصمیح انکسار در دسگاههای EDM (ترکیب دو تصمیح فوق) مساوی خواهد بود در :

$$\Delta S_1 = S_S - S_m = -\frac{K(2-K) S_m^3}{24 R^2} \quad (۳ - ۲۵)$$

لزム سیا دا وری است که درنتیجه برداری های دقیق وقتی طولها بیش از ۴ کیلومتر و با اختلاف ارتفاع بیش از ۵۰ متر بشود ضرب انکسار K " را باستی حتماً " با اندازه گیری زوایای قائم از دو ضرف بطور همزمان و در زمان اندازه گیری طول تمیین کرده و در فرمول نویسی بکار رود .

۳ - ۷۰ . ۴ - تصمیح مربوط به افقی خودن گول (ΔS_2) .

حقانجہ مطابق شکل (۳ - ۱۲) H_1 ارتفاع نقطه P_1 و H_2 ارتفاع نقطه P_2 را شمع کرده زمین سراسر R و $R_2 L$ در مثلث $P_1 P_2 L$ ، تقریباً " برا سیا " اختلاف ارتفاع سین دو نقطه P_1 و P_2 (ΔH) فرض گردد داریم :



شکل (۲ - ۱۲)

$$S_s - S_g = S_s - (S_s^2 - \Delta H^2)^{1/2} = S_s [1 - (\frac{\Delta H}{S_s})^2]^{1/2} \quad (2 - 76)$$

که ساده را بله (۲ - ۷۶) خواهیم داشت :

$$S_s - S_g = S_s \left(1 - \frac{\Delta H^2}{2S_s^2} - \frac{\Delta H^4}{8S_s^4} - \dots \right)$$

که از این مقدار تصحیح برابر خواهد بود با

$$\Delta S_2 = S_g - S_s = -\left(\frac{\Delta H^2}{2S_s} - \frac{\Delta H^4}{8S_s^3} \right) \quad (2 - 77)$$

لازم می‌باشد و بسته که با پذیرفتن $\Delta H = \Delta H'$ خطای کوچک در محاسبه متفاوت باشد تصحیح وارد خواهد گردید

که برای تصحیح این خطای جنابده از ترم دوم تصحیح فوق صرف نظر نسایم مطابق قانون بخش خطاهای داریم :

$$\epsilon'_{\Delta S_2} = -\frac{\Delta H}{S_s} \cdot \epsilon'_{\Delta H} \quad (2 - 78)$$

حال با فرض اینکه $\epsilon'_{\Delta H} = \Delta H' - \Delta H$ از ملت است $MP_2 L$ داریم :

$$\Delta H' = \Delta H \cdot \cos \gamma_2$$

که ساقریب کافی مبتدا نوشته :

$$\gamma_2 = \frac{S_s}{2R}$$

ساقریب مقدار $\epsilon'_{\Delta H}$ برابر خواهد بود با :

$$\epsilon'_{\Delta H} = \Delta H \cos \gamma_2 - \Delta H = \Delta H \left(1 - \frac{S_s^2}{8R^2} + \dots \right) - \Delta H$$

$$\epsilon'_{\Delta H} = -\frac{S_s^2 \cdot \Delta H}{8R^2} \quad (2 - 79)$$

که با حاکمیتی معادله (۲ - ۷۹) در معادله (۲ - ۷۸) داریم :

$$\epsilon'_{\Delta S_2} = \frac{S_s \cdot \Delta H^2}{8R^2} \quad (2 - 80)$$

سابقی توجه داشت که: میان محیط درک، های دهن و آسیاب سمح بین اینها

افق افتد گردد.

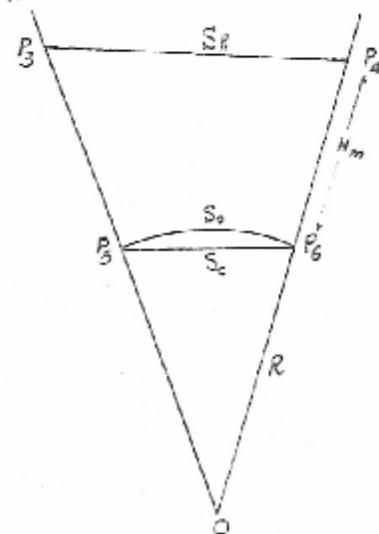
۳.۴.۷.۵ - تصحیح مربوط به تصور طول روی سطح سخوی متناسب

سرای محاسن این تصحیح جناید ارتفاع طول S_p را برابر با H_m نظر نمایم از شاید دوستلت $O P_3 P_4$ و $O P_5 P_6$ داریم:

$$S_c = S_p \cdot \frac{R}{R + H_m}$$

$$S_c = S_p \cdot \frac{1}{1 + H_m/R}$$

و با



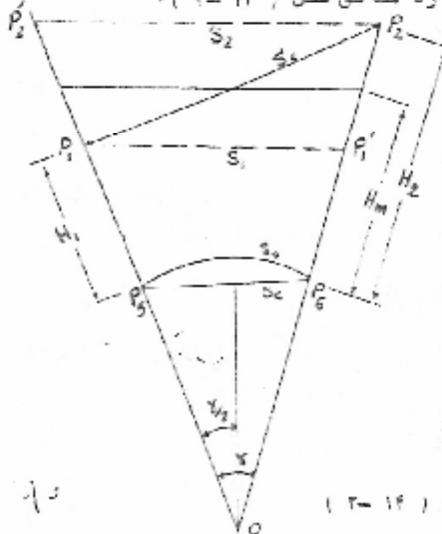
شکل (۳-۱۲)

$$S_c = S_p \left(1 - \frac{H_m}{R} + \frac{H_m^2}{R^2} - \dots \right) \quad (3-12)$$

$$S_c = S_p - \frac{S_p \cdot H_m}{R} + \frac{S_p \cdot H_m^2}{R^2} \quad (3-13)$$

روش دیگری سیر سرای محاسن طول روی بیضوی متناسب که متفاوتاً از روی طول مابل

محاسبه میگردد وجود دارد مطابق شکل (۳-۱۴).



شکل (۳-۱۴)

چنانچه خطوط ممکن است مواردی باشند که $P_1 P_2' = S_1$ و $P_2 P_1' = S_2$ در این دو حالت داریم :

$$S_s^2 = S_1 S_2 + (H_2 - H_1)^2 \quad (2-AT)$$

از مسئلهایی که S_1 و S_2 مقدار S_c و $OP_1 P_2'$ را برخواهد دارد :

$$S_1 = \frac{R + H_1}{R} \cdot S_c$$

$$S_2 = \frac{R + H_2}{R} \cdot S_c$$

با محاسبه مقدار ساق دیگری در رابطه (2-AT) داریم :

$$S_s^2 = \frac{(R + H_1)(R + H_2)}{R^2} \cdot S_c^2 + (H_2 - H_1)^2$$

که از آنها مقدار طول روی سفید ممکن است برخواهد دارد :

$$S_c = \left[\frac{S_s^2 - (H_2 - H_1)^2}{(1 + H_1/R)(1 + H_2/R)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2-AT)$$

راه سوسی سیز وجود دارد که مستقیماً طول تبدیل شده به قوس روی بیضوی از آن :

محاسبه میگردد که عبارتست از :

$$S_o = \left[\frac{12 R^2 M}{12(R + H_1)(R + H_2) - M} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2-AT)$$

که در آن $M = S_s - (H_2 - H_1)^2$ میباشد.

ساده ترین روش داشت که شاع انحنای بیضوی ممکن است برای مقاطع مختلف در نظر گرفته شود آن متغیر است. در همه بیضوی ثابت میگردد که مقدار این شاع برای منظمی ساقه از سوت سراس است با :

$$R_A = \frac{NM}{M \sin^2 \theta + N \cos^2 \theta}$$

که در آن A زیومت امتداد موردنظر و N شاع انحنای مقطع قائم یا قائم اصلی و M شاع

$$M = \frac{\alpha(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}} \quad$$

که در آن α خروج از مرکز بیضوی

θ زاویه عرض جغرافیا بی محل (Excentricity) $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$ و b و a (Latitude) نیم قطر بزرگ و کوچک بیضوی متساهم موردنظر میباشد. لازم بسادآوری است که در محاسبات می توان بحای R_A با تقریب کافی شاع متوسط کرد زمین در محل را در نظر گرفت که مقدار آن سراس است با :

$$R_m = \sqrt{M \times N} = \frac{b}{(1 - e^2 \sin^2 \theta)} \quad 2-4.7.6$$

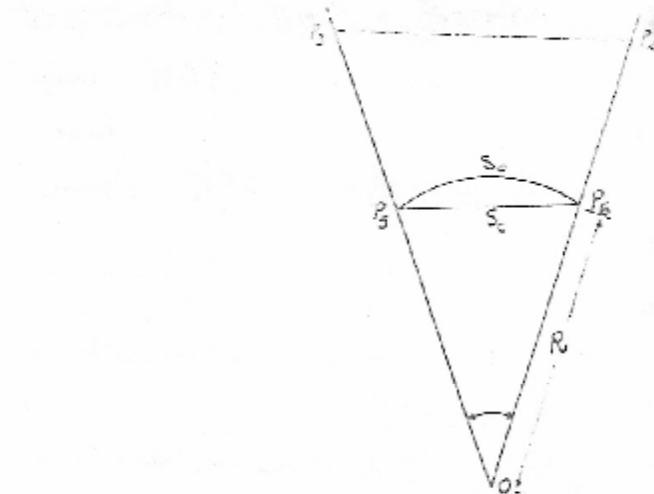
برای محاسبه این تصحیح مطابق شکل زیر داریم :

$$S_c = 2R \sin \frac{\gamma}{2} = 2R \left(\frac{\gamma}{2} - \frac{3}{4} \sin^2 \theta + \dots \right)$$

و از طریق پاش تقریب کافی داریم :

$$\Delta S_4 = S_o - S_c = \frac{S_c^3}{24R^2}$$

بنابراین



شکل (۱۵ - ۲)

لزム بدهیا دا وریست جهانجه شماع سیفوی مقابله برای طولهای تا ۱۰۰ کیلومتر
برای مندار ثابت $R = 6370$ کیلومتر در نظر گرفته شود خطای کمتر از $1PPm$ را
بوجود خواهد آورد .

همچنین جون تصمیحات ΔS_1 و ΔS_4 بسازکوچک میباشد ساخته این دو خواهیم

داشت :

$$\Delta S_1 + \Delta S_4 = \frac{S_m^3}{24R^2} (1-k)^2$$

و با لایهه بساکه ریودن تقریب $S_c = S_m$ طول صحیح شده برا برخواهد شود :

$$S_c = S_m - \frac{\Delta H^2}{2S_m} - \frac{\Delta H^4}{8S_m^3} - \frac{S_m \cdot H_m}{R} + \frac{S_m^3}{24R^2} (1-k)^2$$

مقادیر تصمیحی ($\Delta S_1 + \Delta S_4$) برای طولهای تا ۲۰ کیلومتر کمتر از $1PPm$

خواهد شود . همچنین برای شباهی $\frac{\Delta H}{S} < \frac{1}{20}$ بفتر دوم صحیح تبدیل بافق قابل
صرف نظر کردن میباشد زیرا مقادیر از $1PPm$ نجاوز خواهد کرد .

بنابراین اگر دقت بوردرخواست برای تصمیحات فوق کمتر از $1PPm$ نبوده و طولهای
موردنظر کمتر از ۲۰ کیلومتر باشند $\frac{\Delta H}{S} < \frac{1}{20}$ باشد مقادیر تصمیح برا برخواهد
بود با :

$$S_c = S_m - \frac{\Delta H^2}{2S_m} - \frac{S_m \cdot H_m}{R}$$

که در آن $S_c = S_m - \frac{\Delta H^2}{2S_m}$ میباشد .

خطای مربوط به ΔH و H_m در میان تصمیحات مربوط به آوردن طول روی —

سیفوی مقابله نقش حساسی دارند . جهانجه خطای باندازه ΔH دوی تعیین اختلاف

ΔH داشته باشیم این خطای اشرش روی طول صحیح ند «سرا بر است با :

$$\delta_S' = \frac{\Delta H}{S_m} \cdot \delta_{\Delta H}'$$

بعنوان مثنا از سرای 1000^m بیش از 1000^m و $\Delta H = 100^m$ مطالعه سرای 25^m کنترل تولید خواهد شد .

خیلی از نظرهای بردازان از اهمیت اختلاف ارتفاع دو سطح‌های مطالعه محاسبه تصحیح تبدیل به افق آن سی اطلاع بوده و آنرا ناجز می‌شمارند چنان‌جذرا و به شب β متنظر محاسبه تصحیح تبدیل باقی بک طول اندازه‌گیری شده باشد یا بسته به احاطه‌داشت که تصحیح مرسوط سه گروهیت زمین و اسکارچوی در آن اعمال گردد .

زاویه شب تصحیح شده β از راسه ریقائل محاسبه می‌شود (اثبات آن بعداً)

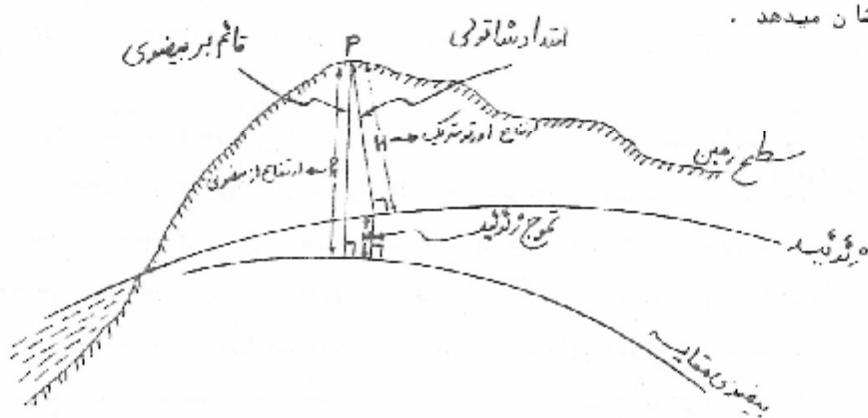
در شرایط مطلقاً متناظر خواهد آمد) .

$$\beta_0 = \beta + \frac{S(1-K)}{2R} \rho^4$$

که در آن K ضریب انتشار سوده و در شرایط متوسط هوا تقریباً "برابر $1/25$ " می‌باشد . مقدار K ممکن است بین ۱ تا ۱۰ در شرایط بدجوى تغییر کند بعنوان مثنا اندازه‌گیری در شرایط بخطیان روی رودخانه با سردیک زمین درهای بساز کرم . با این در نظر داشت که در نظر نگرفتن تصحیح فوق خطای $5PPm$ روی طول اندازه‌گیری شده برای شب 6 درجه بوجود خواهد آورد .

خطای ارتفاع متوسط بین دو نقطه (H_m) نیز بحسب می‌باشد در محاسبه تصحیح آوردن طول بروی سطح مقابله می‌شاند . با این در نظر داشت که ارتفاع نقاط معمولاً "ار سطح متوسط دریاها" (زشود) اندازه‌گیری شده ولی طولها بروی بینوی مقابله آورده می‌شوند . فاصله بین زشود و بینوی مقابله (اختلاف ارتفاع از بیصوی و ارتفاع اورسو- متربیک) در مبدأ دنیا متر بینوی را N نموج زشود یا (Geoidal undulation) می‌گویند که گاهی ناجدبین متر نزدیک است . با این دیده می‌تواند خطای در حدود 6 متر روی H_m (N) خطای حدود $5PPm$ در روزی تصحیح مربوطه ایجاد می‌نماید و خطای 6 متر خطای برابر $5PPm$ است .

شكل زیر ارتفاع از بینوی و ارتفاع از زشود (ارتفاع اورتو متربیک) را برای نقطه P نشان می‌دهد .



اما نظریه دیدیم خطاهای EDM سطوح خالص و بصورت زیرنماش داده میشود .

$$\sigma_s^2 = a^2 + b^2 S^2 + \sigma_e^2$$

بعد از بحث های مرسوط به منابع خطای درستگاههای EDM سایی تبول سودکه مقادیر ادعائده برای بارامترهای a و b بوسیله کارخانهای سازنده (جدول ۳-۲) اگر دوراً زسترس نباشد رسیدن با آنها هم بدون اشکال نخواهد بود .

تا احکام دستگاههای الکتروواستیکی مربوط میشود مقدار بارامتر a برای آنها کاملاً معلوم دیگر نشسته است . مقدار بارامتر b نیز اساساً بستگی به فیزیک اطلاعات از مرتب شکت هوا و شناسنامه ای این دستگاه دارد . شرموتری رومتر دلیل با یعنی کنترل و کالیبره گردد . تجربه مشان داده است که مقدار ادعائده $2ppm$ برای بارامتر b بوسیله دستگاههای سازنده اغراق آمیز سوده حتی اگر عطایت باکنترل و پراپل جوب حوب حی انجام پذیرد . مقدار $4ppm \leq b$ بنتظیر میشود به واقعیت نزدیکتر باشد زیرا وقتی واریانس بدست آمد از این مقدار را برای طولهای اندازه گیری شده دریک شکن نفشه برداشی بطریقه کمترین مربعات نسبتگار میگیریم .

دستگاههای میکروویو در مقابل انعکاسات زمین آسیب پذیر میشوند و همچنین معلمات -

تردیدهایی که در تسمین طربت نصی هوا وجود دارد ممکن است بارامترهای داده شده a و b بوسیله کارخانه سازنده ملی متغیر از مقدار واقعی باشند . این دستگاههای احیاچ سمهار و تجربه بیشتری در ارزیابی نتیجه نسبت به دستگاههای الکتروواستیکی دارند .

دستگاههای با طول موج ۲ سانتیمتر جنازه نتیجه سطوح منظم برای تصحیح مفرکنترل شده و خطای

انعکاس زمین نیز با تفسیر معنی که از منحنی کوارنسیونگ مورت میگیرد من نیمیم

بررسی برای A مقدار ۲ تا ۲ سانتیمتر معمول میباشد . همچنین مقدار b حدود ۳ppm که بوسیله کارخانه سازنده ادعائده خارج از دسترس بوده و مقدار $b=5ppm$ و قیمت دستگاه کاملاً کنترل و کالیبره شده ساده معمول تراست . تجربه مشان داده است که $b=1ppm$ سار میتواند برای این نوع دستگاهها مینباشد . بخوبی و تدقیک واریانس بدست آمده از این مقدار را مشتوف دقت طولهای اندازه گیری شده درستگاهی سقاط کنترل . بستگار میگیریم .

بطورگلی بعد از این تجزیه و تطبیقی که در مورد دقت دستگاههای EDM بعمل آمده و همچنین ساتوجه به مشخصات فنی هرگزه اراین وسائل (در درس دستگاههای طویل الکترو و سطوح کامل گفته شده ای سوانح ایان داشت که دستگاههای الکتروواستیکی در حقیقت - مکمل گشته دستگاههای میکروویو برای اندازه گیری طول میباشد . رسار دستگاههای الکترو ایستگال ساتوجه به مشخصات و دقت آنها مساب برای طولهای کوتاه و وسائل میکروویو مناسب برای طولهای بلند میباشد . ناییتی توجه داشت که بالا بودن برد وسائل سوری در حال حاضر مشخصات این وسائل را حدسه دارگردد و از طرف دیگر نیز اندازه گیری طولهای کوتاه با وسائل میکروویو ندرت تعبیر آسیارا کا هش خواهد داد .

9 Adjustments and accuracies of non-automatic levels

As with theodolite adjustments, the adjustments to levels should always be made in accordance with the manufacturer's instructions. However, certain basic principles apply to all non-automatic levels and the following descriptions are in general terms. Adjustments to the telescope (eyepiece-setting and elimination of parallax) are the same as those already described in sections 4.5.1 and 4.5.2.

9.1 Adjustment of the tilting level (collimation)

The requirement is for the line of sight to be parallel to the principal tangent of the spirit level. Then, when the bubble is central, the line of sight is horizontal. A procedure for testing and adjusting simple levels to be used for low-order work follows. For other levels, the test and adjustment should be as described in section 9.5.1.

1. Select two points A and B, about 75 m apart and on fairly level ground. Put in firm ground marks at A and B.
2. Set up the level midway between A and B (pacing is sufficiently accurate to determine the mid-point). Direct the telescope towards a staff held vertically on A, centre the bubble using the tilting screw, eliminate parallax and take a staff reading (R_A).
3. From the same position, take a similar reading to the staff held vertically on B (R_B).
4. Remove the level and set it up about 1 m from the staff at A. Take a staff reading on A (R'_A).
5. From the same position, take a reading on the staff at B in the normal way (R'_B).
6. Calculate the difference in height from A to B from the two sets of readings;

$$\Delta h = R_A - R_B$$

$$\Delta h' = R'_A - R'_B$$

If $\Delta h = \Delta h'$, the adjustment is satisfactory. Δh is the true difference

in height between A and B, even if the level is not in adjustment and it is found that $\Delta h \neq \Delta h'$. In Fig. 9.1, the line of sight is assumed to be elevated through an angle α above the horizontal, so that each reading is too high by an amount x , hence $R_A - R_B$ is the correct difference in height. When observations are made from the second position of the level (Fig. 9.2) the difference in height ($\Delta h'$) will not equal the true difference, Δh , because the reading R'_A is not in appreciable error whereas the reading R''_B is in error by $+2x$.

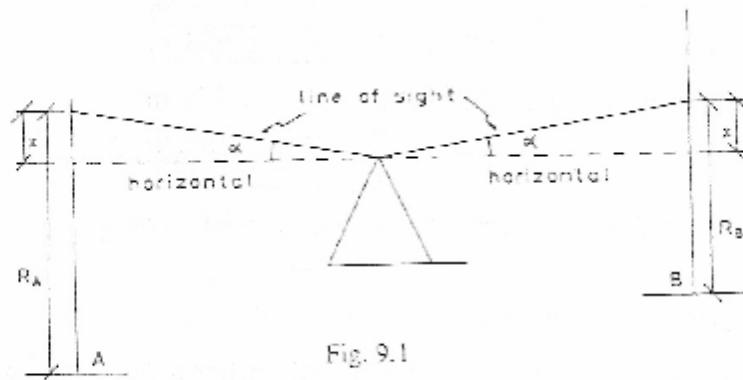


Fig. 9.1

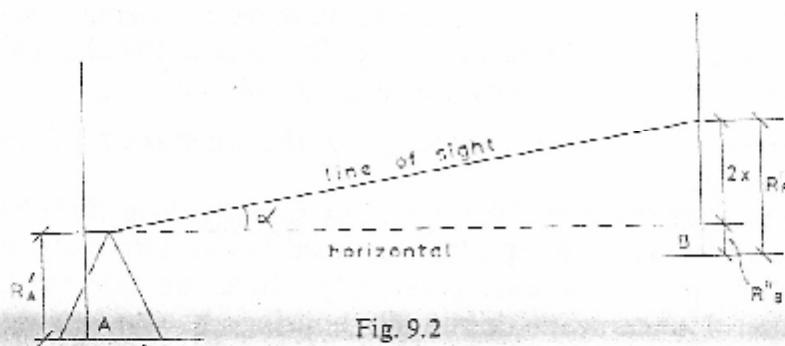


Fig. 9.2

7. If $\Delta h \neq \Delta h'$ then calculate $R''_B = R'_A - \Delta h$. This is the correct reading for the staff at B (i.e. $R''_B = 2x$).
8. By means of the tilting screw, bring the horizontal hair on to the staff at this reading.
9. The bubble will no longer be central, so re-centre it using the bubble locking screws.
10. Repeat the test until $\Delta h = \Delta h'$ within 5 mm. The adjustment is then satisfactory for ordinary levelling.

This adjustment is often referred to as the *two-peg test*. A numerical example follows:

1. From the first position,
- | | |
|--------------------------------------|---------|
| $R_A =$ | 1.872 m |
| $R_B =$ | 1.264 m |
| (True) $\Delta h = +0.608 \text{ m}$ | |

2. From the second position, $R'_A = 1.380 \text{ m}$
 $R'_B = 0.698 \text{ m}$
 $\Delta h' = + 0.682 \text{ m}$

$$R''_B = (1.380 - 0.608) = 0.772 \text{ m} \text{ (adjusted)}$$

(Note that the line of collimation was depressed by 0.074 m over the distance AB).

3. From the 1st position again $R_A = 1.926 \text{ m}$
 $R_B = 1.318 \text{ m}$
 (True) $\Delta h = + 0.608 \text{ m}$

4. From 2nd position again $R'_A = 1.378 \text{ m}$
 $R'_B = 0.768 \text{ m}$
 $\Delta h' = + 0.610 \text{ m}$

Thus $\Delta h = \Delta h' - 2 \text{ mm}$. Adjustment satisfactory.

9.1.1 Adjustment of the spherical spirit level

This spirit level is used in conjunction with either a quickset head or footscrews to set the line of sight approximately horizontal, so that final levelling can be carried out within the range of the tilting screw. The adjustment of the spherical level is as follows:

1. Centre the circular bubble using the quickset head or the footscrews.
2. Rotate the telescope 180° about the standing axis. If the bubble moves off centre, bring it back half-way towards the centre by the bubble locking screws. (Generally, there are three of these, situated underneath the bubble housing. Loosen slightly that screw towards which the bubble is to run, and then tighten the other two).
3. Bring the bubble back the rest of the way to the centre by means of the quickset head or the footscrews.
4. Rotate the telescope through a further 180° . If the bubble remains central, the adjustment is complete. If not, repeat the procedure until the bubble stays central.

Care should be taken not to tighten the adjusting screws too much; this will cause deformation of the vial and eventual fracture.

9.2 Adjustments of the dumpy level

Two adjustments are necessary. First of all, the principal tangent of the spirit level must be perpendicular to the standing (vertical) axis. Secondly, the line of sight must be parallel to the principal tangent of

the level vial. Then, the standing axis can be set vertical and the line of sight will describe a horizontal plane when it is rotated about the vertical standing axis.

9.2.1 Adjustment of the spirit level

This is carried out in exactly the same way as the adjustment of a theodolite plate level (section 4.1) using the footscrews and the spirit level locking nuts.

9.2.2 Adjustment of the line of collimation

The procedure described in section 9.1 is followed (except that no tilting screw is used as described in step 2 for example) up to step 7, after which the following procedure is followed.

8. The correct reading (R''_s) is set on the staff at B by means of the reticule locking screws (see section 4.2, step 7) the reticule being moved vertically until the horizontal hair gives the correct reading.
9. Repeat the test until $\Delta h = \Delta h'$ within 5 mm.

9.3 Adjustment of the reversible level

Because the telescope can be rotated 180° about its longitudinal axis, the test for collimation error is more easily carried out than for the simple tilting level. A staff about 75 m away is sighted on bubble-left and a reading taken (R_L). From the same position, the telescope is rotated and a reading (R_R) taken on bubble-right. If the level is in adjustment, $R_L = R_R$. If not, the mean of R_L and R_R is calculated and this reading is set on the level by means of the tilting screw, followed by adjustment of the spirit level as described in section 9.1 (step 9). The test is repeated until R_L and R_R agree to within the desired limits.

9.4 Instrumental accuracies

For a tilting level assumed to be in adjustment, the accuracy of a staff reading depends basically upon the accuracy with which the bubble can be centred (neglecting non-instrumental factors such as atmospheric conditions, length of sight, nature of ground etc.). If a simple mirror is used to view the bubble, setting can be made to about ± 0.4 mm with 2 mm graduations. For a builder's level the value of one bubble division is about $40''$ per 2 mm. Thus the line of sight can be levelled to about $\pm 8''$. For a length of sight of 100 m, an $8''$ inclination

gives an error in the staff reading of about 4 mm.

One step higher in the precision of levels is an 'engineer's level' with the same spirit level, but using coincidence reading. This gives an approximate 10-times increase in accuracy enabling the line of sight to be set horizontal to about $\pm 1''$.

If a level is constructed with a more sensitive spirit level (20" per 2 mm for example) and coincidence reading is used, horizontality to about $\pm 0.5''$ can be achieved and the use of a parallel plate micrometer is justified.

There is no universally recognised classification of levels, but the terms 'builder's', 'engineer's' and 'engineer's precise' levels are generally taken to be those levels giving theoretical setting accuracies of the line of sight of about $\pm 8''$, $\pm 1''$ and $\pm 0.5''$ respectively.

It must not be thought that the mere provision of a more sensitive level vial and bubble viewing device is all that is required to improve the accuracy of a level. Objective aperture, magnification, resolution, image brightness, machining tolerances and insensitivity to temperature changes must also be improved if the full benefits of the increased accuracy in levelling the line of sight are to be realised.

In general, every level (and theodolite) is an assembly of components, each made with only the precision necessary to give the final design accuracy. It is therefore desirable for a prospective user to recognise this fact, to assess the accuracy required in any particular project and to select an instrument which will give that desired accuracy and no more.

The manufacturers often quote the accuracy attainable using normal field techniques and taking reasonable precautions for different levels in the form ' x mm per km' where x can be the average, probable or standard error of a forward and backward run of series levelling over 1 km. Thus, for example, Kern quote ± 7 mm ± 2.5 mm and ± 2.0 mm as mean errors for their GK 0, GK 1 and GK 23 respectively in basic form. These values provide a guide to the accuracy attainable and are of assistance in selecting a suitable level for a particular task.

Kissam (1963) describes a test for estimating the accuracy of a level in which field conditions for series levelling are simulated as closely as possible except that the two staffs remain fixed about 100 m apart and the level is set up at different positions between them. Readings to the two staffs from these different positions enable an estimate to be made of the error in horizontality of the line of sight, together with an estimate of the standard error of the average slope of the line of sight.

This enables a statistical estimate to be made of the standard error per kilometre of levelling, for given lengths of sight. Levels are rated first-order, second-order or third-order according to whether the line

of sight can be levelled with a standard error of less than $1.46''$, $3.5''$ or $6.11''$ respectively.

9.5 Geodetic levels

These levels are designed to give a very high accuracy and are used for example to provide the fundamental levelling network on a national basis, to give a framework for large scale civil engineering works, to measure deflections in structures and for the positioning of machinery within very small tolerances. Invariably, they should be used with parallel-plate micrometers and invar staffs if their full accuracy is to be obtained.

Most geodetic levels are not reversible; the introduction of a longitudinal axis of rotation means an additional source of instrumental error, increased weight, instability and cost. With suitable field precautions, the mean error of a double levelling over 1 km is less than 1 mm.

Two adjustments are necessary for a non-automatic geodetic level; the line of sight must be horizontal when the spirit bubble is central, and secondly, the vertical planes containing the line of sight and the principal tangent of the level vial must be parallel. The latter requirement theoretically is one which all tilting levels must meet, but in practice, the existence of such an error in lower-order levels is negligible. Such an error is often called a *cross error*, or *intersection error*.

9.5.1 Adjustment of the spirit level

The procedure is basically that described in section 9.1, but rather more care is needed. In all cases, the manufacturer's instructions should be referred to, but the following procedure illustrates the basic principles of the adjustment.

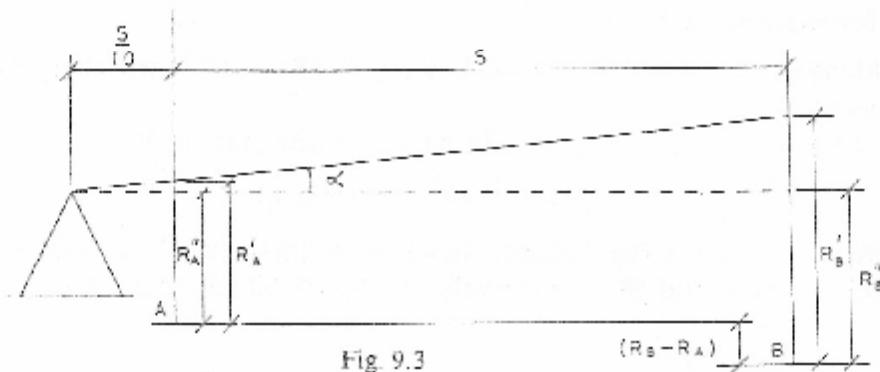


Fig. 9.3

1. Select two points A and B, about 60 m apart. These points should be stable and well defined.
2. Set up the level midway between A and B. The mid-point should be found to an accuracy of about 0.1 m, so taping is preferable to pacing. From this mid-point, take full staff and micrometer readings to A (R_A) and B (R_B). Then $(R_B - R_A)$ is the correct difference in level between B and A.
3. Set up the level on the line BA produced at a distance from A equal to 1/10th of the distance AB (Fig 9.3). Take staff readings to A' (R'_A) and to B (R'_B). Calculate the reading (R''_B) which would be obtained on B if the line of sight were horizontal;

$$(R_B - R_A) = (R''_B - R''_A)$$

Therefore, $R''_B = R_B - R_A + R''_A$

$$\text{But } R''_A = R'_A - \frac{1}{10} [(R'_B - R'_A) - (R_B - R_A)]$$

$$\text{Therefore, } R''_B = (R_B - R_A) + R'_A - \frac{[(R'_B - R'_A) - (R_B - R_A)]}{10}$$

This should be equal to the reading actually obtained (R'_B).

4. If $R''_B \neq R'_B$, then obtain the correct reading (R''_B) by setting firstly the micrometer and secondly the staff reading using the tilting screw. This will displace the bubble which can be re-centred using the level vial clamping screws.

The reader should note that no account is taken of curvature and refraction in the adjustment, and that there is therefore a residual error in the line of sight. The effect of curvature and refraction on a staff reading is to make it too high by an amount e given by

$$e = \frac{S^2(1 - 2k)}{2R}$$

where S is the distance sighted,

k is the coefficient of refraction

and R is the radius of the earth.

See for example, Cooper, 1974.

Taking $k = 0.07$ and $R = 6370$ km, $e = 6.8S^2 \times 10^{-5}$ mm where S is in metres.

Thus the reading which should be set on the staff at B is

$$R''_B + 6.8 \times 10^{-5} (S^2_B - S^2_A)$$

where S_A and S_B are the distances in metres from the level (in its second position) to A and B respectively. If $AB = 60$ m, then R''_B is to

of sight can be levelled with a standard error of less than $1.46''$, $3.5''$ or $6.11''$ respectively.

9.5 Geodetic levels

These levels are designed to give a very high accuracy and are used for example to provide the fundamental levelling network on a national basis, to give a framework for large scale civil engineering works, to measure deflections in structures and for the positioning of machinery within very small tolerances. Invariably, they should be used with parallel-plate micrometers and invar staffs if their full accuracy is to be obtained.

Most geodetic levels are not reversible; the introduction of a longitudinal axis of rotation means an additional source of instrumental error, increased weight, instability and cost. With suitable field precautions, the mean error of a double levelling over 1 km is less than 1 mm.

Two adjustments are necessary for a non-automatic geodetic level; the line of sight must be horizontal when the spirit bubble is central, and secondly, the vertical planes containing the line of sight and the principal tangent of the level vial must be parallel. The latter requirement theoretically is one which all tilting levels must meet, but in practice, the existence of such an error in lower-order levels is negligible. Such an error is often called a *cross error*, or *intersection error*.

9.5.1 Adjustment of the spirit level

The procedure is basically that described in section 9.1, but rather more care is needed. In all cases, the manufacturer's instructions should be referred to, but the following procedure illustrates the basic principles of the adjustment.

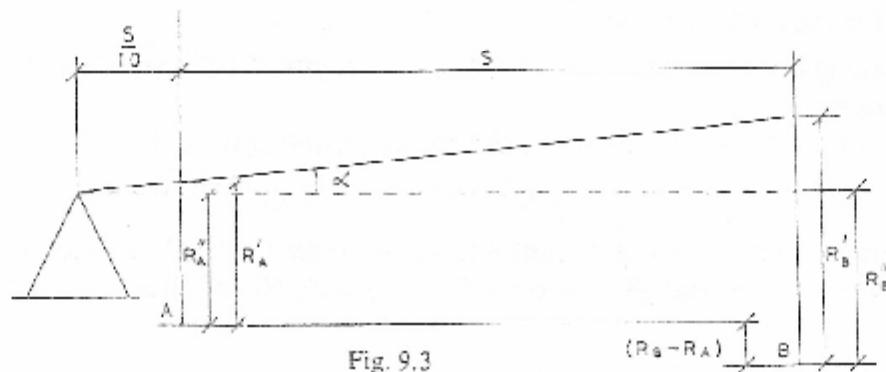


Fig. 9.3

1. Select two points A and B, about 60 m apart. These points should be stable and well defined.
2. Set up the level midway between A and B. The mid-point should be found to an accuracy of about 0.1 m, so taping is preferable to pacing. From this mid-point, take full staff and micrometer readings to A (R_A) and B (R_B). Then $(R_B - R_A)$ is the correct difference in level between B and A.
3. Set up the level on the line BA produced at a distance from A equal to 1/10th of the distance AB (Fig 9.3). Take staff readings to A' (R'_A) and to B (R'_B). Calculate the reading (R''_B) which would be obtained on B if the line of sight were horizontal;

$$(R_B - R_A) = (R''_B - R''_A)$$

Therefore, $R''_B = R_B - R_A + R''_A$

But $R''_A = R'_A - \frac{1}{10} [(R'_B - R'_A) - (R_B - R_A)]$

Therefore, $R''_A = (R_B - R_A) + R'_A - \frac{[(R'_B - R'_A) - (R_B - R_A)]}{10}$

This should be equal to the reading actually obtained (R'_B).

4. If $R''_B \neq R'_B$, then obtain the correct reading (R''_B) by setting firstly the micrometer and secondly the staff reading using the tilting screw. This will displace the bubble which can be re-centred using the level vial clamping screws.

The reader should note that no account is taken of curvature and refraction in the adjustment, and that there is therefore a residual error in the line of sight. The effect of curvature and refraction on a staff reading is to make it too high by an amount e given by

$$e = \frac{S^2(1 - 2k)}{2R}$$

where S is the distance sighted.

k is the coefficient of refraction:

and R is the radius of the earth.

See for example, Cooper, 1974.

Taking $k = 0.07$ and $R = 6370$ km, $e = 6.8S^2 \times 10^{-5}$ mm where S is in metres.

Thus the reading which should be set on the staff at B is

$$R''_B + 6.8 \times 10^{-5} (S'^2_B - S^2_A)$$

where S_A and S_B are the distances in metres from the level (in its second position) to A and B respectively. If $AB = 60$ m, then R''_B is to

be corrected by approximately +0.33 mm. This is negligible, bearing in mind the fact that in first-order levelling is necessary to balance backsight and foresight distances to ± 1 m.

In the foregoing modification of the two-peg test, it is necessary to assume a value for the coefficient of atmospheric refraction. The standard value is $k = +0.07$ and this has been used in the numerical example above. However, Angus Leppan, 1968 has shown that the coefficient of refraction a metre or so above ground level often differs significantly from the standard value and is sometimes negative. To reduce the effect of atmospheric refraction on the adjustment of geodetic levels, the *three-peg test* described by Angus-Leppan, 1971 can be used. This test not only enables the collimation error of the level to be found, but also the coefficient of atmospheric refraction at the time of the test, so that its effects can be removed from the adjustment of the level.

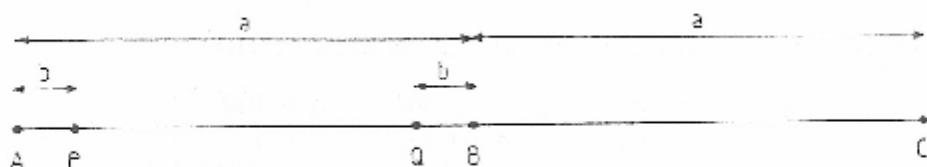


Fig. 9.4

In Fig 9.4, A, B and C are the plan positions of the three pegs and P and Q are successive positions of the level. These five positions are set out beforehand on uniform level ground, with $a \approx 100$ m and $b \approx 5$ m. The observing procedure is as follows.

1. Set up at P and take readings p_A and p_B to A and B respectively, carefully centring the bubble each time in the case of a tilting level.
2. Set up at Q and take the readings q_A and q_B to A and B respectively, again with care.
3. Compute the correct staff reading from Q to A and adjust the level to give this reading. Compute the correct staff reading from Q to C and check that this is obtained to the required accuracy. If not, repeat the test and adjustment.

To compute the correct staff readings, suppose the collimation error of the level is e radians, the coefficient of atmospheric refraction is k and the radius of the earth is R . Then any staff reading made over a distance S is corrected for curvature, refraction and collimation by subtracting $[Se + S^2(1 - 2k)/2R]$. If H_A , H_B and H_C are the reduced levels of the pegs A, B and C respectively, then, for the observations from P:

$$H_B - H_A = [p_A - be - b^2K] - [p_B - (a - b)e - (a - b)^2K] \quad \text{and}$$

$$H_C - H_A = [p_A - be - b^2K] - [p_C - (2a - b)e - (2a - b)^2K]$$

where $K = (1 - 2k)/2R$.

Similarly, for the observations from Q:

$$H_B - H_A = [q_A - (a - b)e - (a - b)^2K] - [q_B - be - b^2K] \quad \text{and}$$

$$H_C - H_A = [q_A - (a - b)e - (a - b)^2K] - [q_C - (a - b)e - (a + b)^2K]$$

Thus there are four equations in four unknowns: $(H_B - H_A)$, $(H_C - H_A)$, e and K . After some algebraic manipulation and elimination of $(H_B - H_A)$ and $(H_C - H_A)$, e and K can be found as functions of the staff readings and distances a and b :

$$e = \frac{(p_A - 2p_B + p_C) - (q_A - 2q_B + q_C)}{2(2b - a)}$$

$$K = \frac{(p_B - p_C) - (q_B - q_C)}{2a(2b - a)}$$

An example is quoted where all values are in metres:

$$\begin{array}{lll} p_A = 1.6208 & q_A = 1.7081 & a = 100 \\ p_B = 1.5106 & q_B = 1.6037 & b = 5 \\ p_C = 1.4930 & q_C = 1.5901 & R = 6.38 \times 10^6 \end{array}$$

Thus, e is found to be -1.0×10^{-5} radians, indicating that the line of collimation was inclined by $2.1''$ below the horizontal. Also, K is $-2.2 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}$, corresponding to the value of $+1.9$ for the coefficient of refraction, k . If each staff reading is now corrected both for the collimation error and for the effects of curvature and refraction by subtracting $(Se + S^2K)$, the values in the following table are obtained.

Observed staff reading	Dist. S	Collimation error Se	C. & r. effect S^2K	Corrected staff reading
$p_A = 1.6208$	5	0.0001	negligible	$p'_A = 1.6209$
$p_B = 1.5106$	95	-0.0010	-0.0020	$p'_B = 1.5136$
$p_C = 1.4930$	195	0.0020	0.0084	$p'_C = 1.5034$
$q_A = 1.7081$	95	-0.0010	-0.0020	$q'_A = 1.7111$
$q_B = 1.6037$	5	0.0001	Negligible	$q'_B = 1.6038$
$q_C = 1.5901$	105	-0.0011	-0.0074	$q'_C = 1.5936$

As a check, $H_B - H_A = p'_A - p'_B = +0.1073 = q'_A - q'_B$
and $H_C - H_A = p'_A - p'_C = +0.1175 = q'_A - q'_C$

The method relies on the assumption that the coefficient of atmospheric refraction is constant along the line ABC and remains so during the test and adjustment, hence the need to select a level site on uniform ground and to work carefully but quickly.

9.5.2 Adjustment of the cross-error

The previous adjustment ensures that the line of collimation and the principal tangent of the spirit level lie in the same horizontal plane. There may be, however, an inclination between the vertical plane through the line of collimation and the vertical plane through the principal tangent of the spirit level (i.e. a cross-error). On the assumption that the standing axis is perpendicular to the principal tangent of the level vial, this inclination will not produce an error in the horizontality of the line of collimation; when the bubble is central, the standing axis is vertical and the line of collimation is horizontal. This is so for a dumpy level in perfect adjustment. For a tilting level, however, there is no necessity for the principal tangent of the spirit level to be perpendicular to the standing axis. Thus, at each set-up the standing axis is likely to take up a different attitude with respect to the vertical. When the adjustment described in the previous section is carried out, the standing axis has a certain inclination to the vertical. If subsequently the level is set up and the standing axis takes up the same attitude, the line of collimation will be horizontal, even if a cross-error is present. If, however, the standing axis is at an angle α to its direction at the time of adjustment (measured in a direction normal to the line of sight) and the cross-error is δ , then the line of collimation will be inclined at an angle e given by

$$\tan e = \tan \delta \sin \alpha$$

All quantities are small (of the order of a few minutes) so

$$e'' \approx \alpha'' \delta'' / \rho''$$

Thus e is of the order of $0.5''$ at the worst. It is therefore of significance only in precise levels. The test and adjustment are as follows.

1. Set up about 50 m from a staff with the level orientated so that any two footscrews (A and B) lie on a line roughly perpendicular to the line of sight. Centre the circular bubble using the footscrews.
2. Centre the main bubble using the tilting screw in the usual way and take a staff-reading (R).
3. Turn each of the footscrews A and B by about one revolution but in opposite directions. This inclines the standing axis normal to the line of sight.
4. Using the tilting screw, re-set the reading R.
5. If the main bubble is only slightly displaced, the adjustment can be considered satisfactory. If the displacement is more than the equivalent of about $20''$, the bubble should be centred using the horizontally opposed locking screws.

6. Repeat the test and adjustment until the bubble displacement is satisfactory.
7. Repeat the three-peg test described in section 9.5.1 and make any necessary adjustments.

This adjustment is generally unnecessary and it is unlikely that it can be made in the field without difficulty. Nonetheless, if the highest accuracies are aimed at, it is necessary to test for this error and correct it if it is significant.

9.6 Reduction of errors by field techniques

The field techniques employed to reduce instrumental errors will depend upon the accuracy aimed at; the higher the accuracy, the more precautions there are. The following description assumes that a high accuracy is required, and some of these techniques can be ignored for lower-order work.

9.6.1 The effects of temperature on the instrument

The main effect of temperature is to cause a change in the surface tension of the liquid in the vial. If there is a uniform change throughout the length of the bubble, no displacement of the bubble will result. However, if one end of the vial is at a higher temperature than the other, the surface tension decreases at the hotter end with the result that the bubble is displaced towards that end. Thus it is necessary to shade the level from direct sunlight to avoid differential heating. The magnitude of the error is of the order of $1''$ for a 0.2°C temperature difference between the ends of a 100 mm bubble vial according to Drodofsky (1956).

9.6.2 The effects of collimation error

It can be seen from section 9.1 that if there is a collimation error of α (i.e. the line of sight is inclined at an angle α to the horizontal when the bubble is central) then the difference between two staff readings is the correct difference in height only if the level is equidistant from the staffs. For this reason it is necessary in high-order levelling for the staff distances to be equalised to within $\pm 1\text{ m}$. Such a procedure also eliminates the effects of curvature, and reduces considerably those of refraction. A check on the cumulative totals of back sight and foresight distances should be made to ensure that the difference does not exceed 3m.

In lower-order levelling (to determine spot heights for contouring,

or levels for a road scheme for example) it is not economically worth while to balance all the staff distances, especially as several intermediate sights are usually made at each set-up. As precautions against collimation error for this type of work, the level should be tested regularly and adjusted when necessary, staff distances should be balanced for backsights and foresights, and staff distances for intermediate sights should be kept as short as possible and never more than 100 m.

9.6.3 The effects of a change in the instrument height

Suppose the level sinks a distance e_1 after taking a backsight to A and before taking a foresight to B. Then the reading on B will be too low by an amount e_1 . At the next set-up, suppose the foresight to C is taken first and then the backsight to B. If the level sinks a distance e_2 between these two readings the reading to B will be too low by e_2 . The difference in height between A and C will then be in error by $-(e_1 - e_2)$, that is by an amount equal to the difference between the errors. If however, the backsight is observed first at each set-up, the difference in height between A and C will be in error by $-(e_1 + e_2)$, that is by the sum of the errors. The former procedure is therefore desirable; observations are made to the backsight first at the n th set-up and to the foresight first at the $(n + 1)$ th set-up. With two staffs, this means that the same staff is read first at each set-up, the staffs 'lap-frogging' each other along the line. Also, there should be an even number of set-ups between bench marks.

Tests made on different soils with a Wild N3 level by Belshaw (1959) indicate that the level rises as a result of the slow release of stresses which are set up in the soil by digging in the tripod feet. Figure 9.5 shows the rise plotted against elapsed time for a dry gravel on clay. Dry soils showed slightly more rebound properties than wet.

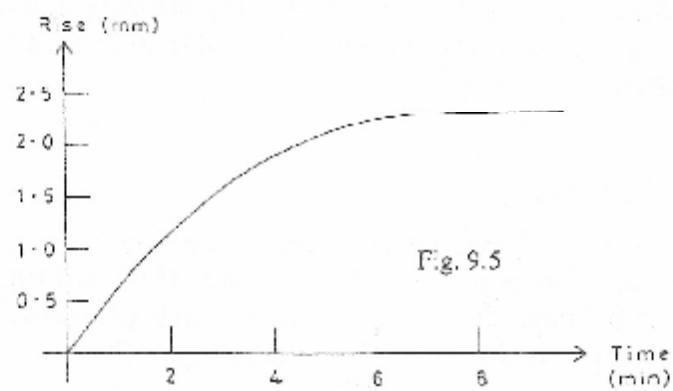


Fig. 9.5

9.6.4 The effects of staff errors

Staffs are often neglected when sources of error are being considered, but several errors can occur.

9.6.4.1 Graduation error

For precise levelling, staff graduation errors can be determined in a laboratory by comparison with a standard tape using a travelling microscope. Corrections can then be applied to observed staff readings. These corrections are generally of the order of 0.1 mm.

9.6.4.2 Zero error

This is present if the zero graduation does not coincide with the base of the staff. If only one staff is used, the error is eliminated at each set-up. If two staffs are used, then the error is eliminated over a pair of set-ups if one staff is used for a backsight for one set-up and a foresight for the other. There should be an even number of set-ups between bench marks.

9.6.4.3 Non verticality

If a staff is not held vertically, then the reading obtained is always too high by an amount $c = 1/2 S \theta^2$ where S is the staff reading obtained and θ is the angle in radians between the face of the staff and the vertical. This is an appreciable error even in low-order levelling (for a staff reading of 2 m and a 3° inclination the error is about 2.5 mm). In lower-order levelling, the staff can be swung backwards and forwards through the vertical and the lowest observed reading taken. Alternatively, a circular spirit level can be used but this must be checked regularly against a plumb-line. A geodetic staff has handles and sometimes struts so that it can be held steadily and vertically, according to a circular level. Again, this circular level must be checked regularly against a plumb-bob.

9.6.4.4 Staff warping

If the face of the staff is not a plane, then the reading is always too high. If the deviation from a plane is about 20 mm at the reading, then the error is about 0.1 mm. This is significant only in higher-order levelling, when checks for warping should be made regularly.

9.6.4.5 Temperature effects

Lower-order levelling with wooden or light alloy staffs is not affected significantly by the thermal expansion of the staff. In higher-order levelling, invar is used which has a coefficient of thermal expansion of the order of $1.3 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$. Thus differential expansion errors are insignificant in comparison with other errors such as reading and atmospheric errors. If necessary, they can be allowed for by calculating corrections.

9.6.4.6 Staff sinking

Whether one staff or a pair of staffs is being used, there will be a possibility of one sinking during the time interval between the foresight to it and the backsight to it from the new set-up. Suppose a backsight to A and a foresight to B are made from one level position and then the staff at A is 'leap-frogged' to C beyond B, whilst the level is set-up between B and C. If the staff at B sinks by an amount 'e' between the foresight to it and the backsight to it, the difference in level between A and C will be in error by $-e$. This error can be reduced by observing the backsight to B as soon as possible after the foresight to it. This however is the opposite of the requirement for reduction of the effects of a change in instrument height (section 9.6.3). Accordingly, the staff positions in higher-order levelling are selected carefully to avoid settling and if all the ground is soft, a base-plate can be used to reduce the pressure of the staff on the ground.

9.6.5 The effects of curvature and refraction

In section 9.5.1 it is shown that the combined effect of curvature and normal refraction is to make a staff reading too high by an amount $e = 6.7 S^2 \times 10^{-5}$ mm where S is the sighting distance in metres. Thus, if at one set-up, the backsight and foresight distances are equal, the difference in the staff readings is correct, provided the coefficient of refraction is the same over both lines of sight. This is likely if the thermal properties of the ground over both distances are the same and if the ground is fairly flat. A danger arises in higher-order levelling where a level line is run up or down a steady slope, when a systematic refraction error arises. In such a case (going up, for example) the foresight will be nearer the ground than the backsight and will pass through warmer air, being refracted less than the backsight ray. Thus the forestaff reading will always be higher than it would be with equal refraction with the result that the reduced level of a point at the top of the slope is lower than it should be. Therefore it is not advisable to level

directly up a long slope, but to zig-zag across the line of greatest slope in an attempt to reduce the systematic error.

The foregoing systematic error is present if the temperature is assumed constant with time. If the refraction varies uniformly with time (as it is likely to if the temperature gradually rises or falls) the effects of a systematic error can be reduced if the same staff is always read first.

The effects of curvature are eliminated if sighting distances are equal.

9.6.6 Reading and booking errors

As with other precautions, the steps taken to minimise these errors increase in number with an increase in desired accuracy. For low-order levelling, the booking procedure and arithmetical checks are well known and they are not discussed here. For higher-order levelling, the method of booking and checking varies with the type of staff used, the accuracy aimed at and preferences of individuals. A suggested method for a staff having one set of graduations is as follows. Fig. 9.6 shows the order in which the readings are taken at two successive set-ups and

Backsight		Foresight		Distance		Diff. level		Remarks
Stadia	Level	Level	Stadia	Back	Fore	Rise	Fall	
1	3	4	5			3.4		BM - CP 1
2	8	7	6			8.7		
1-2	3.8	4.7	5.6	1-2 = a	5.6 = b	MEAN		
13	12	11	9	13-14 = c	9-10 = d		12-11	CP 1 - CP 2
14	15	16	10				15-16	
13-14	12-15	11-16	9-10	a + c	b - d		MEAN	

Fig. 9.6

Backsight		Foresight		Distance		Diff. level		Remarks
Stadia	Level	Level	Stadia	Back	Fore	Rise	Fall	
1.910 ⁺	1.78490	1.49850	1.625	0.250	0.255	0.28640		BM-CP1
1.860	1.78483	1.49826	1.370			0.28636		
0.250	0.00008	0.00024	0.255			0.28648		
1.540	1.43092	1.92804	2.045 ⁺	0.220	0.230		0.49712	CPI-CP2
1.320	1.43042	1.92786	1.815				0.49742	
0.220	0.00050	0.00018	0.230	0.470	0.485		0.49728	

Fig. 9.7

10 Errors and accuracies of automatic levels

Nearly all the instrumental errors characteristic of automatic levels are insignificant for low-order work. By using suitable observing techniques compatible with those outlined in section 9.6, the effects of these errors can be considerably reduced and very high precision can be achieved with instruments having suitable objective aperture, magnification etc. to match the compensator. As in the case of non-automatic levels, an automatic level is designed to give a certain accuracy, and first-order automatic levels have given accuracies of less than 1 mm (mean error) per km of double-levelling. For example Wolter, 1963 quotes a mean square error of $\pm 0.34 \sqrt{L}$ mm where L is the distance levelled in kilometres, for levelling carried out from 1959–1962 over a distance of 1326 km, levelled both ways, using a Zeiss (Oberkochen) Ni2. A more recent example of the accuracies that can be obtained from automatic levels with, at the same time, greatly increased speed of levelling is described by Becker, 1977. In Sweden, Zeiss (Jena) Ni 002 levels were used mounted on tripods, but carried on motor vehicles and lowered to the ground for sighting to staffs which were also carried on motor vehicles and lowered to the ground when readings were required. Between 1974 and 1976, 2900 km of secondary and 200 km of primary levelling were completed. Secondary levelling (where the allowable maximum discrepancy between forward and reverse levelling was $4\sqrt{L_{km}}$ mm) was carried out over an average of about 12 km per day single levelling, an increase of 100% over the non-motorised method. Primary levelling (where the allowable maximum discrepancy between forward and reverse levelling was $2\sqrt{L_{km}}$ mm) was carried out over an average of about 8 km per day single levelling.

Data were obtained at the level, entered into a minicomputer and automatically checked for discrepancies between level hair and stadia readings before transformation and storage as height differences. Motorised levelling was found to give 'a significant increase in production together with decreased costs and an accuracy equal to and in many cases better than that achieved using conventional methods'. The tolerances quoted above were relatively easy to achieve. It was

how they are subtracted or added whilst Fig 9.7 shows a numerical example.

Such a system provides the following checks:

1. A check on the level hair readings; $(3-8) - (4-7) \pm 0.001$ m
2. A check on the difference in level; $(3-4) - (8-7) \pm 0.001$ m
3. A check on the staff distances; $(1-2) = (5-6) \pm 0.01$
4. A check on the running totals of backsight and foresight distances; $(a + c) - (b + d) \pm 0.02$
5. A check against gross errors; $(3-4) \neq (1-5)$.

If the staff has double graduations, readings 7 and 8 are made to the second set of graduations, thus also checking against gross errors.

The bubble should be checked before and after each level hair reading and should be thrown off centre and readjusted between readings 6 and 7, to ensure that readings 4 and 7 are independent.

The marks '+' against readings 1 and 9 are reminders that the same staff is read first at each set-up.

found that 91% of the secondary work resulted in discrepancies between forward and reverse levelling meeting the requirement for primary levelling and 99% of the primary levelling gave discrepancies less than $1/\sqrt{L_m}$ mm.

A number of selected references related to motorised levelling are given by Strosene, 1977. Some theoretical discussions and practical results of motorised levelling are given by Peschel, 1977, Seltmann, 1977, Degenhardt and Graupner, 1977 and Busby, 1977. The development of motorised levelling techniques is likely to continue and faster and more accurate results can be expected.

The behaviour of automatic levels was not well understood in the first few years of their use, but the following sections describe some of the work carried out in the investigation of instrumental errors since that time. Most of the systematic errors present in the early work are now reduced to very small random errors by observing techniques and the economic advantages offered have resulted in an increasing use of this equipment for all types of levelling.

10.1 Over- and under-compensation

In section 7.10 it is stated that for effective compensation at infinity focus, the enlargement factor, n is given by $n = f/s$ where f is the focal length of the objective lens system at infinity and s is the distance of the compensator from the reticule. The compensation is therefore dependent upon the accuracy with which the compensator can be positioned in the telescope. The difficulties in positioning the compensator are described by Drodofsky, 1951. The resultant positional error of the compensator will give rise to an error in compensation. Figure 10.1 shows the equivalent optical system (developed in section 7.10.2) where the compensation is in error by an amount $k\alpha$ where α is the residual inclination of sight.

Let $OR = f$,

$$CR = s - CR' \text{ and}$$

$$\phi = \alpha + k\alpha$$

$$\text{Then } R'r = s \sin \beta = [f - (rR)] \tan \phi$$

$$\text{therefore, } s \sin \beta = [f - s(1 - \cos \beta)] \tan \phi$$

$$\text{But } \beta = n\alpha$$

$$\text{and } \phi = \alpha(1 + k)$$

$$\text{therefore } s \sin n\alpha = [f - s(1 - \cos n\alpha)] \tan [\alpha(1 + k)]$$

because α is small: $\sin \alpha \approx [f - s + s] \alpha / (1 + k)$

therefore

$$1 + k \approx \frac{\sin \alpha}{f}$$

therefore

$$k \approx \frac{\sin \alpha - f}{f}$$

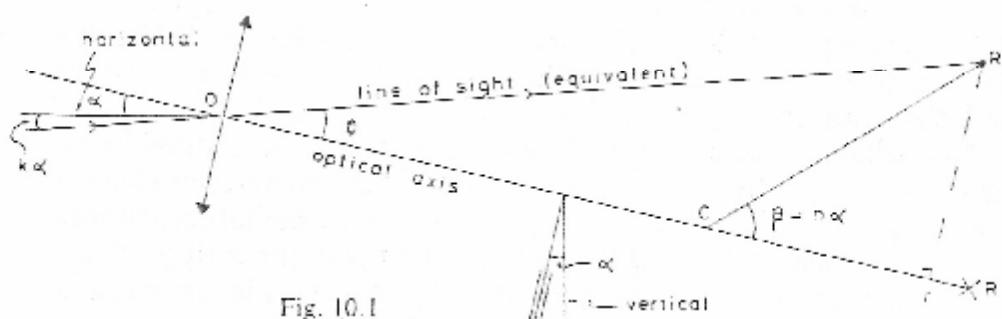


Fig. 10.1

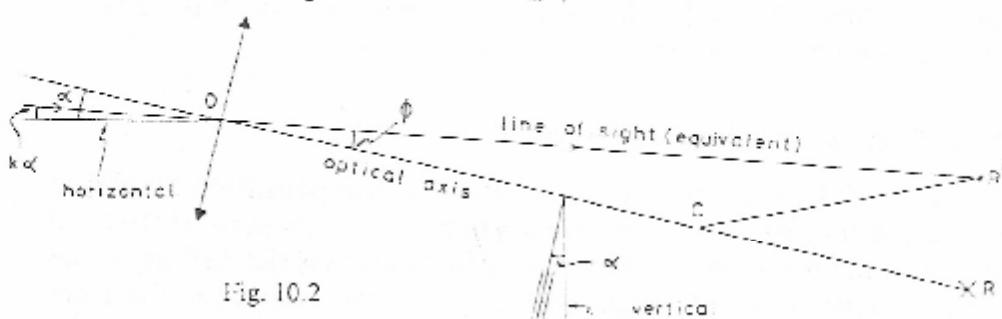


Fig. 10.2

Compensation is correct if $k = 0$, i.e. if $n = f/s$, as before. If however, the error in positioning the compensator results in k being positive, the level is over-compensated. This is illustrated in Fig. 10.1. If the compensator is incorrectly positioned with the result that k is negative, the level is under-compensated. This is illustrated in Fig. 10.2. If the objective were tilted downwards, over-compensation would result in the line of sight being inclined above the horizontal whereas under-compensation would result in the line of sight being inclined below the horizontal.

10.1.1 Compensation characteristics

Figure 10.3 illustrates the relation between residual inclination (α) of the standing axis and compensation error ($\epsilon = ka$) for a hypothetical level. The range of the compensator is from $-\alpha_0$ to $+\alpha_0$ and it can be seen that the level is under-compensated throughout its range except when $\alpha = 0$. Also, k is independent of α , because the graph is a straight line. Figure 10.4 illustrates the characteristic of an over-compensated level.

Fig. 10.3

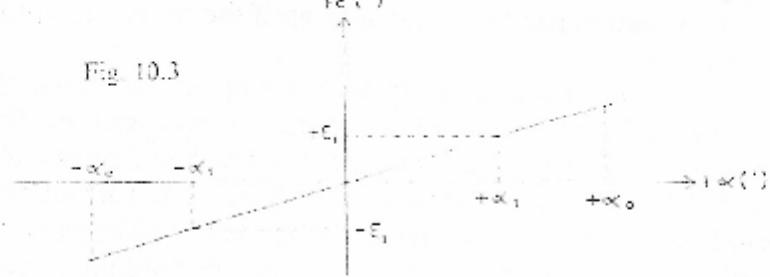
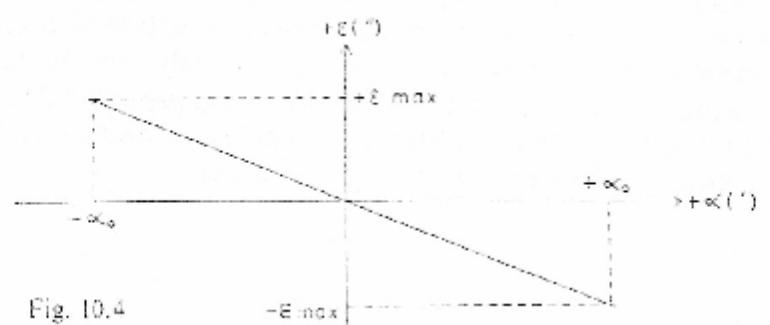


Fig. 10.4



Suppose a level with a characteristic similar to that in Fig 10.3 is set up with a residual inclination α_1 of the standing axis and pointed towards the backstaff (α ; assumed positive). The line of sight will be inclined upwards at an angle ϵ_1 to the horizontal (Fig 10.5a). If the backstaff is at a distance D from the level, the staff reading will be in error by approximately $+D\epsilon_1$. If now the telescope is rotated 180° about the standing axis so that it is directed towards the foresight, the line of sight will be inclined at an angle ϵ_1 downwards (Fig. 10.5b) so that the staff reading will be in error by $-D\epsilon_1$ assuming equal backsight and foresight distances. Thus the difference in height from

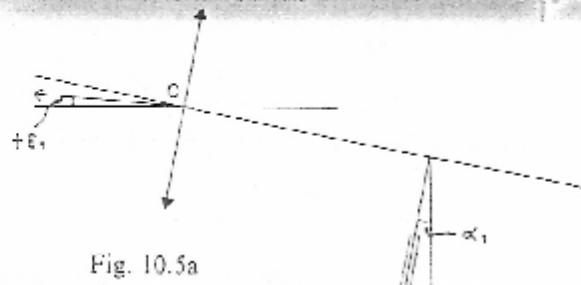


Fig. 10.5a

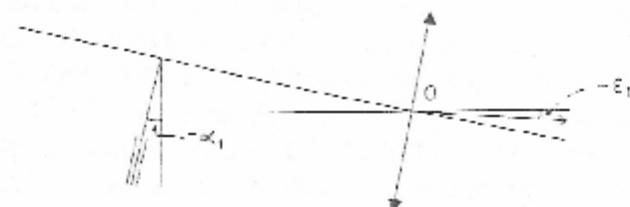


Fig. 10.5b

the two readings will be in error by 2ϵ . It is shown in section 10.2 that this error becomes systematic for a line of levels if the spherical bubble is out of adjustment.

If this error is to be eliminated at each set-up of the level, the characteristic should be symmetrical about the α -axis (Fig 10.6). This figure shows a variation in the slope of the curve which indicates that k varies with α . With such a level, errors on backstaff and forestaff are equal in magnitude and sign and hence cancel when differences are taken. If a collimation error (c) is present (arising from an inclination of the line of collimation to the optical axis) the curve will be displaced and will lie as shown by the upper curve in Fig 10.6. Adjustment of the reticule following the two-peg test enables the actual (upper) curve to be brought through the origin, although if backsight and foresight distances are equal, collimation errors will also cancel.

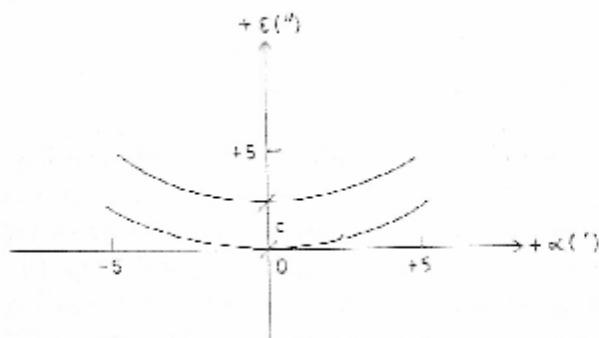


Fig. 10.6

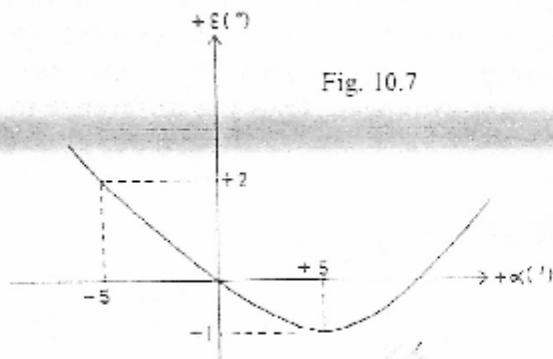


Fig. 10.7

In practice, it is not possible to construct a level with a permanently ideal compensation characteristic, so an actual characteristic could be as shown in Fig 10.7 (assuming no collimation error). In this case, if the standing axis is set at an inclination of $5'$ to the vertical, ($\alpha = \pm 5'$ towards the backstaff) then the backsight error will be $-D \times 1/\rho''$ and the foresight error will be $+D \times 2/\rho''$ with a resultant error of $-3D/\rho''$ in the height difference. Generally, the standing axis is set vertical to much better than $\pm 5'$ so the error will be correspondingly smaller.

Obviously, the setting accuracy and adjustment of the circular level is important (section 10.2).

10.1.2 Compensation and sighting distance

The treatment so far has ignored the fact that in levelling, one is concerned with relative heights of points and not with the horizontality of the line of sight alone. Figure 7.6 illustrates the fact that the staff reading required of the compensation is that which lies on a horizontal line through the anallactic point of the telescope, where the anallactic point ideally lies on the optical axis at its intersection with the standing axis. In section 2.1.9 it is shown that it is impossible (given the physical nature of the telescope) to refer distance measurements to this fixed point and that the anallactic point changes with sighting distance, but, by suitable design, can be made almost constant for normal sighting distances. Berthon Jones, 1964 derives an expression for the error (e) in a staff reading as a function of sighting distance (D) and shows that this is closely related to the expression for the error in the multiplying constant of the telescope as a function of D . Thus, just as design of the optical components can be made to give perfect anallactic properties for a given sighting distance and optimum anallactic properties for normal sighting distances, so suitable design can give perfect compensation for one sighting distance, and optimum compensation for normal sighting distances.

The relation between the error in the staff reading (e) and the sighting distance (D) can be written as

$$\frac{e}{\sin \alpha} = kD - \lambda_1 - \frac{\lambda_2}{D}$$

where α is the inclination of the standing axis to the vertical, k is the compensation error defined in section 10.1 and λ_1 and λ_2 are constants depending on the position of the standing axis and the geometrical optics of the lenses in the telescope respectively.

An additional requirement is for the line of collimation and the optical axis to coincide when the standing axis is vertical and for both then to be horizontal. An error (c) in the collimation (i.e. an inclination c of the line of collimation to the optical axis) can be included in the above equation so that an additional error of magnitude $e_1 = D \tan c$ occurs in the staff reading.

Thus the total error (E) in staff reading is given by

$$E = e_1 + e \approx Dc - \alpha \left[kD - \lambda_1 - \frac{\lambda_2}{D} \right]$$

Berthon Jones, 1964 followed this theoretical treatment by tests on several instruments to determine values of e for varying inclinations at

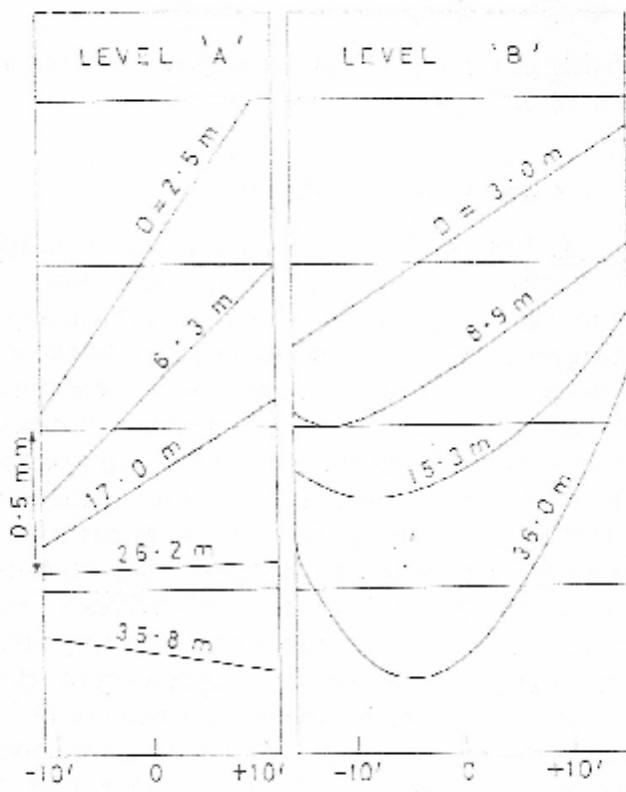


Fig. 10.8

Fig. 10.9

different sighting distances D . α is considered positive when the objective is tilted upwards and negative when tilted downwards. Figure 10.8 and 10.9 illustrate results of tests on two levels, both of which make use of a suspended prism. The ordinates represent the change in staff reading arising from a tilt, α , of the standing axis.

The following conclusions can be drawn from these results:

1. Level 'A' is under-compensated at short focus, but for sighting distances of about 30 m it is almost completely compensated. At longer focus it is over-compensated.
2. The amount of under- or over-compensation is independent of α for level 'A' for a given sighting distance, but k depends on α for level 'B'.

Other levels of the same types will not necessarily display the same characteristics because the graphs in Figs 10.8 and 10.9 depend upon the adjustment of each particular compensator. On the other hand, the equation

$$e = \alpha \left(kD - \lambda_1 - \frac{\lambda_2}{D} \right)$$

can be rearranged as: $\frac{e}{\alpha D} = k - \frac{\lambda_1}{D} - \frac{\lambda_2}{D^2}$

and if $e \propto D$ is plotted against $1/D$ then the instruments of the same type exhibit similar curves; different adjustments (and hence different values of k) simply displace the particular curve along the ordinate axis.

Berthon Jones, 1964 gives results of tests on a number of levels and shows compensation characteristics for different types of levels.

10.2 The effect of an error in the spherical level

Ideally, the standing axis should be vertical when the spherical bubble is central. If the principal tangent plane of the vial is perpendicular to the standing axis, then centring the bubble will ensure the standing axis is vertical. However, if there is an inclination between the axis and the principal tangent plane, the standing axis will have a residual inclination α when the bubble is central.

If during series levelling, the level is set up and the unadjusted spherical bubble centred with the telescope pointing always towards the backstaff (or always towards the forestaff) then the residual inclination, α , of the standing axis in the direction of the line of sight will always bear the same relation to the vertical and the direction of levelling. If such a level also exhibits an asymmetrical compensation characteristic (such as that illustrated in Fig 10.3) then a systematic error will develop along the line.

Suppose the spherical level error is such that the objective is always elevated when the bubble is central, and that the residual inclination is $+\alpha_1$. Suppose further that the compensation characteristic is as illustrated in Fig 10.3. If the level is set up with the objective pointing towards the backstaff (at a distance D) the reading will be in error by $+D\epsilon_1$. On rotating the telescope 180° to sight the forestaff (also at distance D) the residual inclination will be $-\alpha_1$ and the reading will be in error by $-D\epsilon_1$ giving a total error of $2D\epsilon_1$. If the process is repeated at the next set-up, the error will be similar and therefore systematic. This systematic error is often referred to as an 'obliquity of the horizon' because readings are in fact referred to a datum plane inclined at an angle ϵ to the horizontal. This situation is illustrated in Fig 10.10.

The reader should note that this error becomes systematic only if both a spherical bubble error and a non-symmetrical compensation characteristic are present. Another point to note is that if α is of the order of a few minutes, ϵ is of the order of one or two seconds.

In precise levelling, it is necessary to take account of this systematic error. It is possible to reduce it to a random error over a pair of set-ups by always centring the spherical bubble with the telescope pointing towards the same staff. This fits in very well with the field technique described in section 9.6.3 to reduce the effects of a change in

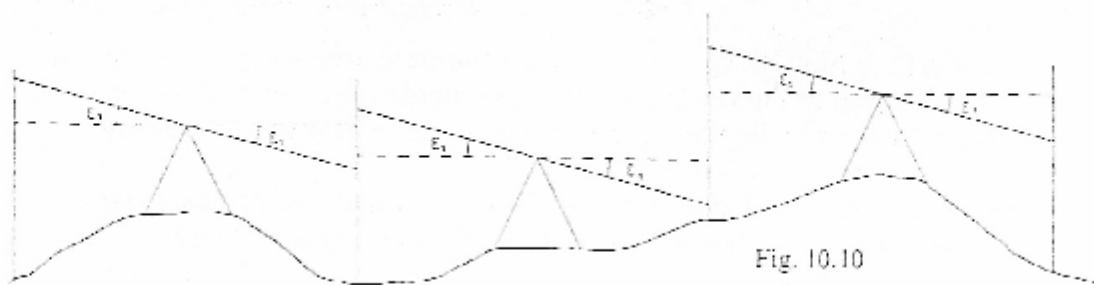


Fig. 10.10

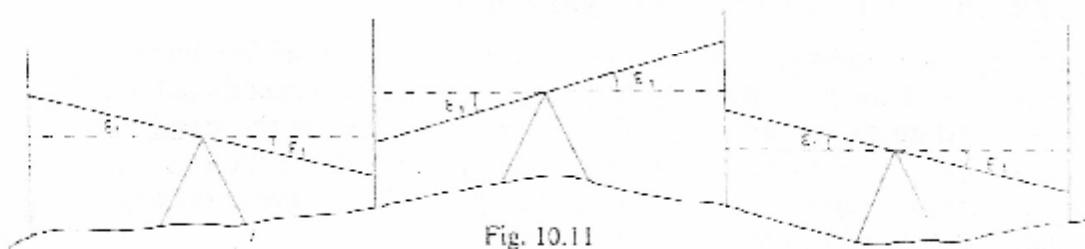


Fig. 10.11

instrument height. If one staff of the pair is always read first, the direction of the horizon obliquity is reversed at alternate set-ups (Fig. 10.11).

Drodofsky, 1957 first pointed out the existence of this error and Förstner, 1959 proposed the above observing technique. The sequence of readings in precise levelling should be therefore BFFB, FBBF, BFBF etc. where B = backstaff readings and F = forestaff readings.

Berthon Jones, 1964 describes an alternative method for the reduction of this horizon obliquity, attributed to Drodofsky, 1957. This method consists of setting up the level at each set-up so that two footscrews are normal to the direction of the second sight. After taking the readings to the first staff, the telescope is directed towards the second staff and the bubble re-centred using the third footscrew. Thus the effect of horizon obliquity is made a random error at each set-up, but an additional error is introduced arising from a change in the height of the anallactic point after re-levelling. If the observing procedure is BFFB, FBBF, etc. then this new error is random. Which of the two methods is theoretically the better depends upon the likely magnitude of each error. Berthon Jones, 1964 shows that the errors arising from a change in the height of the anallactic point are likely to be less than those arising from random horizon obliquity (except for 'periscope' levels such as the Zeiss (Jena) Ni 007).

Thus the 'relevelling' technique is generally preferable on theoretical grounds, but the simpler technique is preferable on practical grounds; the advantages offered by automatic compensation are reduced if the bubble has to be re centred half-way through the observations at each set-up.

10.3 The effect of lateral tilts

As a result of the inevitable residual errors of construction, there will be an obliquity between the line of collimation of a telescope and the plane of symmetry of the compensator. Berthon Jones, 1964 tested various levels for this obliquity and found it to be of the order of a few minutes in a well-adjusted level. The effect of such an obliquity on the line of collimation when the standing axis is tilted in various directions relative to the line of sight is to tilt it through about $0.1''$ (for a lateral tilt of the standing axis of $1'$).

The test for obliquity of the plane of symmetry of the compensator is a laboratory test and if it is found to be greater than about $5'$ it should be adjusted before using the level for very precise work. The adjustment should be carried out by the manufacturer.

10.4 The effect of mechanical hysteresis (compensator drag)

If a compensator with a characteristic similar to that shown in Fig 10.6 is taken from one end of the operating range (say $-10'$) through zero to the other end (say $+10'$) and then back through zero to $-10'$, the characteristic for the $-10'$ to $-10'$ movement is unlikely to be identical to the $+10'$ to $-10'$ movement owing to hysteresis effects in the suspension. Thus the characteristic could be as illustrated in Fig 10.12. The possibility of this error was first mentioned by Drodofsky, 1957. Thus the error in compensation (ϵ) depends upon the direction from which the compensator has come.

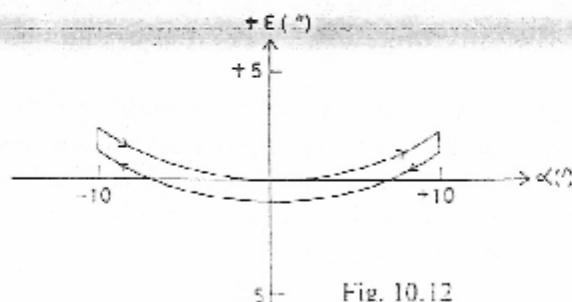


Fig. 10.12

If the compensator is between the standing axis and the reticule, rotation of the telescope about the standing axis will result in centrifugal force deflecting the compensator towards the eyepiece. Thus for the second reading at each set-up, the compensator will have come from the eyepiece. If the effect of hysteresis is to be eliminated the compensator for the first reading must also reach equilibrium by moving from the eyepiece end of the telescope. Drodofsky, 1957

pointed out that this can be achieved if, after the initial levelling-up with the telescope pointing towards the correct staff, it is rotated 360° about the standing axis before the reading is taken.

Berthon Jones, 1964 points out the possible unsatisfactory nature of the method: there is no certainty that the point from which the compensator returns to equilibrium is always the same, nor is it certain that the same compensation characteristic curve is always followed. In order to decide on these problems and on the magnitude of the hysteresis error, tests on several levels were carried out.

These showed that rapid levelling-up is preferable to slow levelling-up and that the magnitude of the errors is about $0.3''$, but the reader should note that it cancels with equal staff distances if the recommended procedure is followed. The random errors were found to be about $\pm 0.5''$.

The method for eliminating horizon obliquity by re-levelling between readings (section 10.2) also reduces the hysteresis error to a random error.

Another result of the investigation was that 'tapping' the compensator sometimes makes no difference and sometimes increases the effect of hysteresis. Tapping is not recommended; if a compensator does stick against a stop, it should be repaired by the manufacturer.

10.5 The effects of temperature

Evidence of a direct correlation between temperature and compensator error is not conclusive. Ochsenhirt, 1956 found a correlation but Neubert and Wermann, 1963 found only a partial regular relationship. In the former case, heating was artificial, by means of lamps and in the second case, the investigation was made under normal field conditions.

In the absence of any other evidence, it seems probable that errors from temperature variations in automatic levels are less than those in instruments with spirit levels. Shielding the level from direct sunlight by an umbrella is however still desirable in high-order work; the tripod will be affected by direct sunlight.

10.6 Accuracy of the spherical spirit level

It should already be clear from the preceding sections in this chapter that it is desirable to have a well-adjusted spherical spirit level. These generally have a sensitivity of $10''$ per 2 mm. If the bubble is centred carefully the standing axis can be set within about $\pm 20''$ of the vertical.

The adjustment of the spherical level is described in section 9.1.1.

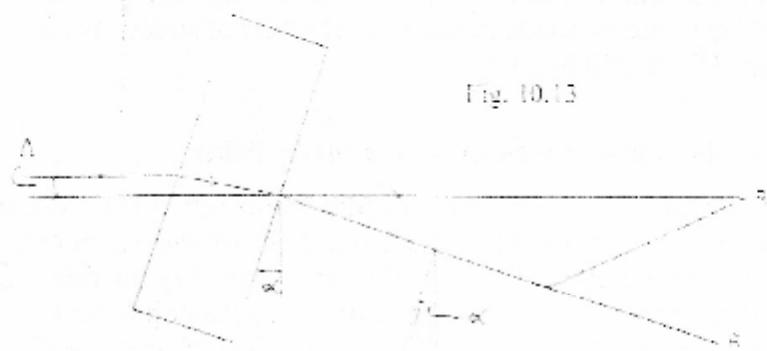


Fig. 10.13

10.7 Effect of inclined parallel plate micrometer

If the standing axis is inclined as shown in Fig. 10.13 so that the objective is raised, the parallel plate will be inclined at an angle α to the vertical. Thus the error in staff reading, Δ (assuming perfect compensation) is given by

$$\Delta \approx t \alpha \left(1 - \frac{1}{\mu}\right)$$

where t is the thickness of the plate and μ its refractive index.

The inclination α is not likely to be greater than $20''$, so

$$\Delta \approx t \alpha \left(1 - \frac{1}{\mu}\right)$$

Taking $t = 15$ mm and $\mu = 1.5$,

$$\Delta \approx \frac{15 \times 20/\mu''}{3} \text{ mm}$$

$$\text{i.e. } \Delta \approx 0.0005 \text{ mm}$$

On rotating the telescope 180° about the standing axis to the foresight (Fig 10.14), the error in staff reading will be $-\Delta$. Thus for one set-up, the error in height difference will be about 0.001 mm. If there is

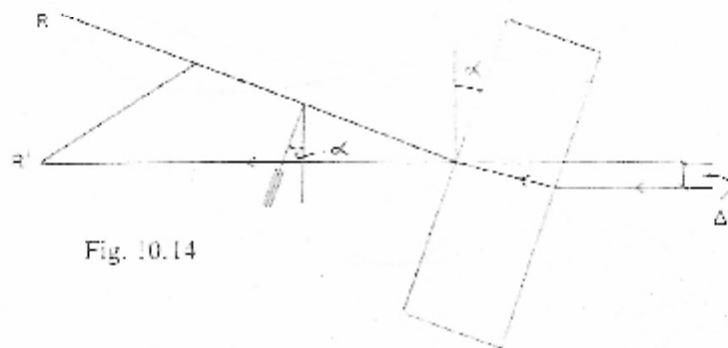


Fig. 10.14

an error in the spherical level, this will become a systematic error. The error can be made random over one set-up by the re-levelling technique or it can be made random over a pair of successive set-ups by observing BFFB, FBBF, etc.

10.8 Errors caused by external magnetic fields

Recent laboratory work by Rumpf and Meurisch, 1981 has indicated that even the relatively weak magnetic field of the earth can have a significant systematic effect on geodetic levelling carried out with levels having mechanical compensators. The effect has been shown to be of the order of 20 mm over 20 km in the case of one line of geodetic levelling in West Germany:

Similarly, precise levelling with automatic levels in workshops where large external magnetic fields are present (from electromagnets for example) is also likely to be affected.

It seems as if laboratory calibration could allow the systematic effects to be removed from the measurements, but suitable methods for doing this have not yet been fully developed.

10.9 Errors in the rotating laser level

There are two main errors to consider. Firstly, the axis of rotation may not be vertical and secondly, the laser beam may not be normal to the

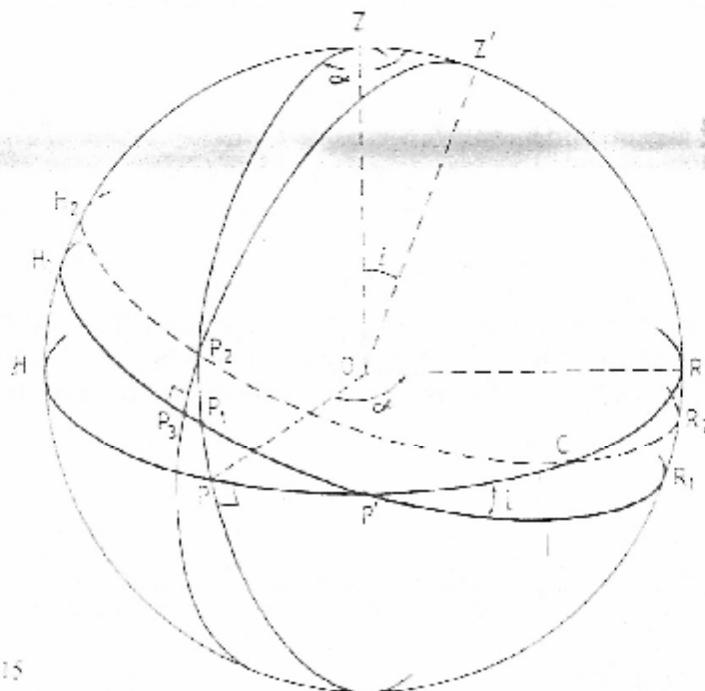


Fig. 10.15

axis of rotation. To consider the effects of these errors, it is convenient to use spherical trigonometry according to the principles outlined in section 4.7.

In Fig. 10.15, the level is assumed to be at O, the centre of a sphere. OZ is the vertical at O and HPP'R is a horizontal circle formed by the intersection of the horizontal plane through O with the sphere. If the level is in perfect adjustment, the axis of rotation is along OZ and the laser sweeps out the horizontal plane HPP'R. Now assume that the axis of rotation is inclined by an angle i to the vertical and is along OZ'. The laser sweeps out the plane H₁P₁P'R₁, inclined at i to the horizontal. If a staff is held vertically at P, the laser beam will intersect the staff at P₁ instead of at P, and the reading will be in error by an amount $e_1 = PP_1$, remembering that e_1 is expressed in angular measure.

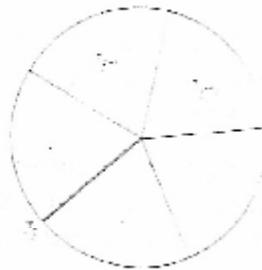


Fig. 10.16a

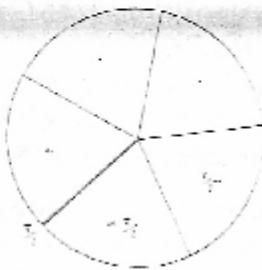


Fig. 10.16b

Obviously, the magnitude and sign of the angular error e_1 will depend upon the direction of the staff in relation to the direction of tilt of the axis of rotation of the laser. In Fig 10.15, the staff is shown at an azimuth α from this direction of tilt. If the staff were held at P' at an azimuth of $\pi/2$ from the direction of tilt, the error would be zero.

For the right-angled spherical triangle P₁PP' represented by Fig 10.16a,

$$\sin(\alpha - \pi/2) = \tan e_1 \tan(1/2\pi - i)$$

therefore, $-\cos \alpha = \tan e_1 \cot i$

Because i and e_1 are small, this can be rearranged to give

$$e_1'' = -i'' \cos \alpha$$

to first order.

If the laser beam is not normal to the axis of rotation OZ, it will sweep out the surface of a cone which will intersect the sphere in the small circle $H_2P_2R_2$. The plane of this circle is parallel to the plane of the great circle $H_1P_1R_1$. This error is analogous to a collimation error of a theodolite telescope. Suppose that the inclination of the laser beam to the normal to the axis of rotation is denoted by $c = P_2P_3$ in Fig 10.15, c being positive when the beam is inclined upwards. The additional angular error at the staff at P arising from the collimation error c is $e_2 = P_1P_2$. From the right-angled spherical triangle $P_2P_3P_1$ represented by Fig 10.16b,

$$\sin(1/2\pi - i) = \tan c \tan(1/2\pi - c)$$

$$\text{therefore, } \cos i = \tan c \cot c$$

$$\text{and } \tan e_2 = \tan c \sec i$$

But, because i , c and e_2 are all small, this equation can be rearranged to give $e_2'' = c''$, to first order. Thus, the nett angular error at an azimuth α from the direction of tilt of the axis of rotation is

$$e'' = c'' + e_1'' \approx c'' = i'' \cos \alpha$$

This error is zero when both c and i are zero and when $\alpha = \cos^{-1}(c/i)$. If $i > c$, there will be two positions around the horizon where the staff reading is correct (one of these positions is at C in Fig 10.15). If $i < c$, there will be no correct staff reading.

A test which will show whether significant errors c and i exist in a particular instrument can be carried out as follows. Generally, if such an error is indicated, the instrument cannot be adjusted by the user.

1. Set out two staff positions (A and B shown in plan in Fig 10.17a to c) on uniform level ground about 75 m apart.
2. Set up the laser level close to one of the staffs (A in Fig 10.17a) so that its carrying handle is approximately perpendicular to the line AB. Take the staff readings A_1 and B_1 to A and B respectively and deduce the height difference $\Delta_1 = A_1 - B_1$.
3. Turn the level anticlockwise through 90° on its base until the handle is parallel to the line AB (Fig 10.17b). Take staff readings A_2 and B_2 and deduce the height difference $\Delta_2 = A_2 - B_2$.
4. Turn the level through a further 90° (Fig 10.17c), take staff readings A_3 and B_3 and deduce $\Delta_3 = A_3 - B_3$.

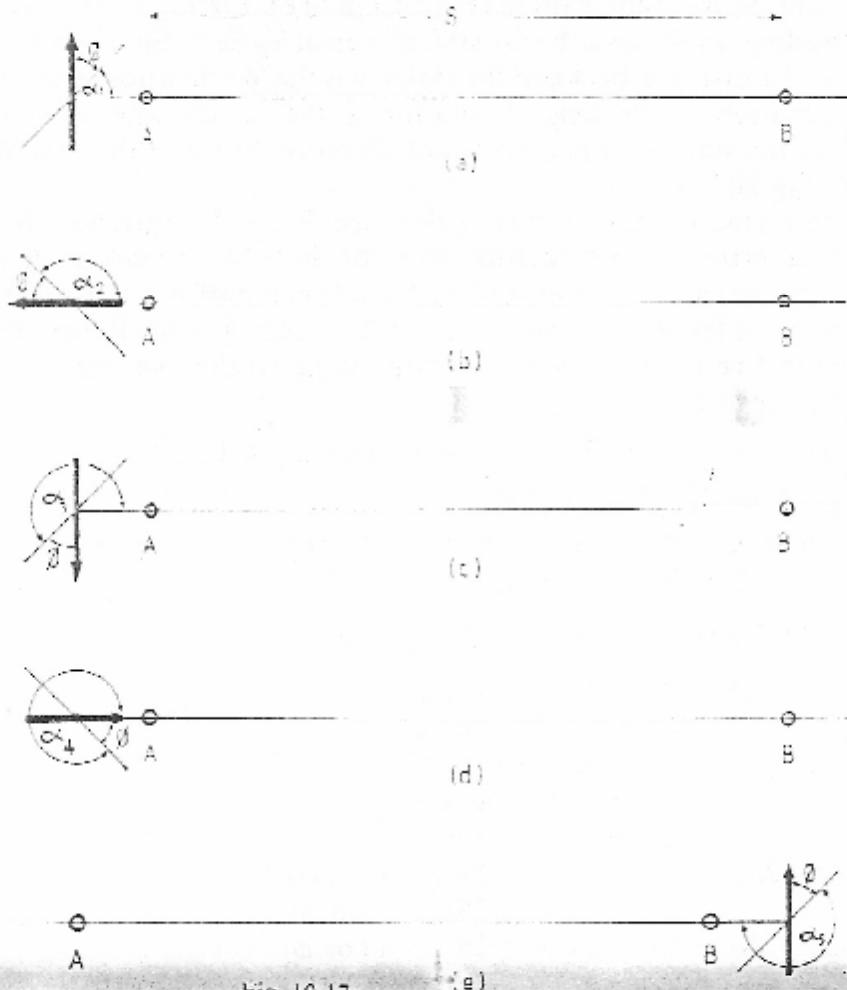


Fig. 10.17

5. Turn the level through a further 90° (Fig. 10.17d), take staff readings A_1 and B_2 and deduce $\Delta_4 = A_4 - B_4$.
6. Set up the level close to the staff at B and with the carrying handle in the same direction as in step 1 (Fig. 10.17e). Take staff readings A_3 and B_3 to A and B respectively and deduce $\Delta_5 = A_3 - B_3$.
7. Calculate: $2\Delta_1 - \Delta_2 - \Delta_5$,
 $\Delta_1 - \Delta_5$,
 $\Delta_1 + \Delta_2 - \Delta_4 - \Delta_5$ and
 $\Delta_1 - \Delta_2 + \Delta_4 - \Delta_5$.
8. Each of these sums should be less than 10 mm for an inter-staff distance of 75 m. If one or more of the sums is greater than 10 mm, the level is in need of adjustment, although the test should be repeated with a different pair of staff positions to ensure that no gross error has been made in reading at the staffs.

The theory underlying the test is as follows. Suppose that the

inclination of the axis of rotation is in a direction making an angle ϕ with the centre-line of the handle (Fig 10.17a to e). For each of the five pairs of readings in the test, the far staff is in error by $Se = S(c - i \cos \alpha)$ where S is the distance between the staffs, c is the 'collimation' error, i is the inclination of the axis of rotation to the vertical and α is the azimuth of the staff with respect to the direction of tilt of the axis of rotation (Fig 10.15).

Any staff reading taken over a distance S can be corrected for instrumental errors by subtracting the error $Se = S(c - i \cos \alpha)$. It is assumed that in each case the reading to the near staff is not in error. The correct difference in height (Δh) between A and B can be expressed in five different ways corresponding to the five measured differences Δ_1 to Δ_5 :

$$\begin{aligned}\Delta h &= A_j - (B_j - Sc + Si \cos \alpha_j) \text{ where } j = 1 \text{ to } 4 \\ &= \Delta_j + S(c - i \cos \alpha_j)\end{aligned}$$

$$\text{and } \Delta h = A_j - Sc + Si \cos \alpha_j - B_j \text{ where } j = 5 \\ = \Delta_j - S(c - i \cos \alpha_j)$$

But, $\alpha_1 = (1/2\pi - \phi)$, $\alpha_2 = (\pi - \phi)$ etc., so

$$\begin{aligned}\Delta h &= \Delta_1 + S(c - i \sin \phi) \\ &= \Delta_2 + S(c + i \cos \phi) \\ &= \Delta_3 + S(c - i \sin \phi) \\ &= \Delta_4 + S(c - i \cos \phi) \\ &= \Delta_5 - S(c + i \sin \phi)\end{aligned}$$

$$\text{Therefore, } 2\Delta_1 - \Delta_3 - \Delta_4 = -2S(c - i \sin \phi)$$

$$\Delta_3 - \Delta_5 = -2S(c + i \sin \phi)$$

$$\Delta_1 + \Delta_2 - \Delta_4 - \Delta_5 = -2S(c + i \cos \phi)$$

$$\Delta_1 - \Delta_2 + \Delta_4 - \Delta_5 = -2S(c - i \cos \phi)$$

If each of these sums is less than 10 mm for $S = 75$ m, the terms $(c \pm i \sin \phi)$ and $(c \pm i \cos \phi)$ are all less than about $13''$ and the combination of collimation and dislevelment errors at all azimuths will not exceed this value. The manufacturers of the Spectra-Physics 944 Laser Level SI, claim an accuracy of '0.005 ft per 100 ft' which is about $10''$.

Refraction errors will affect the readings but these are not as important as in the tests and adjustment of geodetic levels. If refraction effects are to be allowed for, equations similar to those given in section 9.5.1 can be used to correct the readings.

The five equations in Δh given above can be used to solve for the errors c , i and ϕ and the correct height difference Δh if required.

10.8 Summary

Source of error	Section	Effect	Action taken
1. Compensator error	10.1	Line of sight inclined by $e = km$	(a) Reduce α by accurate setting of the spherical level (b) Suitable design of characteristic k .
2. Variation of compensation with distance sighted	10.1.2	Error, e , in staff reading given by $\frac{e}{\sin \alpha} = kD - \lambda; \quad \frac{\lambda}{D}$	(a) Suitable design of telescope components (b) Equal backsight and foresight distances.
3. Error in spherical level + compensator error	10.2	Horizon obliquity $e_1 = k\alpha$ (systematic)	(a) Reduce error in spherical level, and either (b) Always read same staff first (BFFB, FBBF etc.) or (c) Relevel between backsight and foresight
4. Lateral tilts	10.3	Line of sight inclined by $e \approx 0.1''$ for $\pm 1'$ lateral tilt & 5' obliquity	(a) Insignificant error if $\alpha < 1'$ (accurate centring of spherical bubble) (b) Adjustment if obliquity if $> 5'$
5. Hysteresis	10.4	Line of sight inclined by $e \approx 0''.3$	(a) Rotate 360° after levelling up and equalise backsight and foresight distances
6. Temperature changes	10.5	Small effects on instrument, larger effects on tripod	Shield from direct solar radiation
7. Inclined parallel plate - spherical level error	10.7	Error of about 0.001 mm in Δh over one set-up	(a) Reduce error in spherical level and either (b) Relevel between B & F or (c) Observe BFFB, FBBF etc.
8. External magnetic fields	10.8	Of the order of 1 mm per km, or higher for fields of greater intensity than that of the earth	Laboratory calibration?