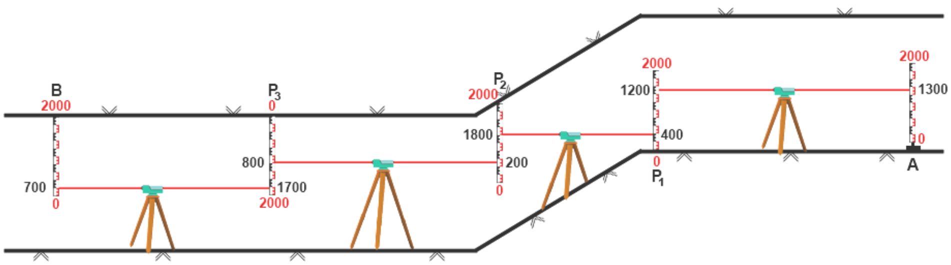
بسم الله الرحمن الرحیم

# جزوه نقشه‌برداری زیرزمینی

Underground surveying




مهندس ابراهیم راستگو

## فصل ٤

### D) تعیین وضعیت یک امتداد در زیر زمین به کمک نقاط در سطح زمین:

جهت تعیین وضعیت یک امتداد در زیر زمین که اساس اصلی هدایت سمت در زیرزمین است از روش‌های زیر می‌توان بهره برد :

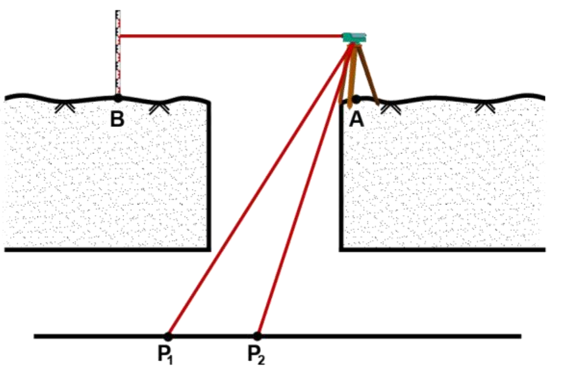
۱) استفاده از منشور گونیا ساز

۲) استفاده از دوربین زنیت نادیر یا شاقول لیزری

۳) استفاده از دو شاقول

۴) استفاده از سه شاقول

۵) استفاده از روش پیمایش

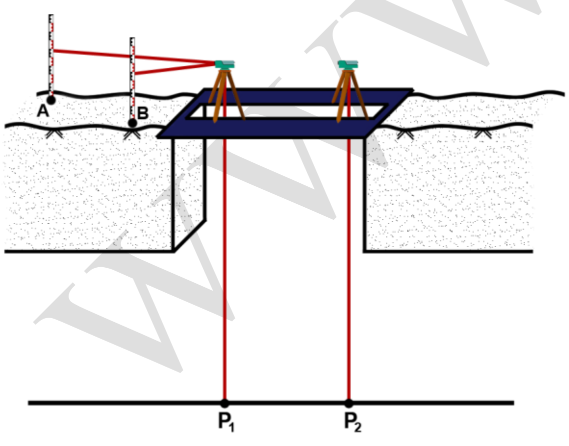



**۱) استفاده از منشور گونیا ساز:**

منشورهایی وجود دارند که در جلو تلسکوپ دوربین نصب می‌شوند و راستای محور دیدگانی را $90^\circ$ به سمت زنیت تغییر می‌دهند. در این روش مانند شکل بعد از توجیه دوربین نسبت به امتداد A به B منشور گونیاساز را نصب کرده و دو نقطه $P_1$ و $P_2$ را با زاویه مدنظر نسبت به امتداد $\overline{AB}$ پیاده سازی می‌کنیم.

نکته: در هنگام پیاده سازی نقطه $P_1$ و $P_2$ لمب افقی را قفل کرده و تنها تلسکوپ دوربین در راستای قائم حرکت داشته باشد.

**۲) استفاده از دوربین زنیت نادیر یا شاقول لیزری**




در این روش مانند شکل مدخل چاه با محافظ مخصوص که قابلیت اطمینان و استقرار دوربین و دید نقاط نادیر را داشته باشند پوشیده می‌شود و دوربین زنیت نادیر پس از توجیه نسبت به نقاط کنترل زمین B و A اقدام به پیاده سازی نقطه اول ($P_1$ ) در تونل کرده و سپس تغییر مکان داده و دوباره عمل توجیه نسبت به نقاط کنترل زمینی B و A را انجام داده و سپس نقطه $P_2$ را پیاده سازی می‌کند و با داشتن مختصات این دو ایستگاه در اصل مختصات مسطحاتی نقاط $P_1$ و $P_2$ را داریم.

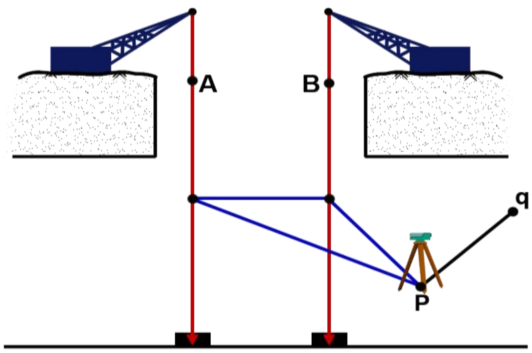
**۳) استفاده از دو شاقول**

همان طور که متوجه شدید هدف انتقال مختصات و مشخص کردن آزیموت یک امتداد در زیرزمین

می‌باشد زمانی که بخواهیم از دو شاقول استفاده کنیم (می‌توان از دو چاه و دو شاقول یا از یک چاه و دو شاقول استفاده کرد) می‌توان از یکی از روش‌های زیر استفاده کرد و آزیموت امتداد مورد نظر را مشخص نمود.

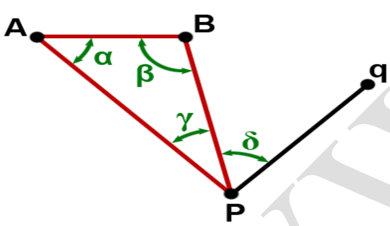
**الف) استفاده از مشاهدات یک ایستگاه (استفاده از مثلث ویزباخ) :**

در این روش همانند شکل دو وزنه با سیم (سیم‌بکسل) به جرثقیل‌های ثابتی آویزان شده (دو شاقول) و وزنه‌ها درون سطل روغنی به صورت شناور قرار داده می‌شوند تا از حرکت و تاب خوردن آن جلوگیری شود سپس مختصات مسطحاتی این دو شاقول یا همان مختصات نقاط B و A از ایستگاه‌های کنترل زمینی مشخص می‌گردد. حال در این روش می‌تواند تعیین امتداد به دو حالت زیر صورت می‌گیرد:




**حالت اول)** همانند شکل دوربین بر روی یک سر یک امتداد مشخص مستقر شده باشد (نقطه P ) و بخواهیم ژیزمان امتداد مورد نظر ( $G_{pq}$ ) را بدست آوریم. در این حالت ژیزمان $\overline{AB}$ مشخص بوده و مشاهدات زیر انجام می‌شود.

قرائت زوایای δ و $\gamma$ و طول‌های AP و BP و از روابط زیر به ژیزمان امتداد pq دست می‌یابیم.




$$\overline{AB}=(\overline{PA}^2+\overline{PB}^2-2\times\overline{PA}\times\overline{PB}\cos\gamma)^{0.5}$$

$$\frac{Sin\alpha}{PB}=\frac{Sin\gamma}{AB}\Rightarrow\alpha=Sin^{-1}(\frac{PB\times Sin\gamma}{AB})$$

$$\frac{Sin\beta}{PA}=\frac{Sin\gamma}{AB}\Rightarrow\beta=Sin^{-1}(\frac{PA\times Sin\gamma}{AB})$$

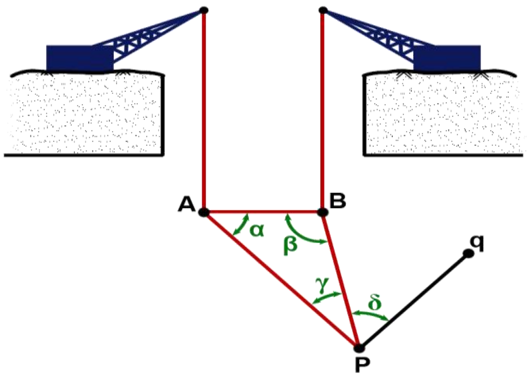
حال خطای بست مثلث PBA را بدست آورده و زوایا را تصحیح می‌کنیم (در صورت مجاز بودن)

$$e=180-\alpha-\beta-\gamma\Rightarrow\begin{cases}\alpha'=\alpha+(-\frac{e}{3})\\ \beta'=\beta+(-\frac{e}{3})\\ \gamma'=\gamma+(-\frac{e}{3})\end{cases}$$

$$G_{AP}=G_{AB}+\alpha\pm180\quad,\ G_{pq}=G_{AP}+\gamma+\delta\pm180$$

و نیز از رابطه تقاطع می‌توان نقاط p و q را مختصات دار نمود.

مثال: چنانچه جهت تعیین آزیموت امتداد pq در یک تونل زیرزمینی مشاهدات زیر انجام شده باشد مطلوب است محاسبه آزیموت این امتداد




$G_{AB} = 80^\circ 13' 15''$ $\qquad \gamma = 25^\circ 11' 5''$

$L_{PA} = 8.653^m$ $\qquad \delta = 118^\circ 36' 12''$

$L_{PB} = 6.241^m$

$$AB = (8.653^2 + 6.241^2 - 2\times 8.653\times 6.241\times Cos(25^\circ 11' 5''))^{0.5} = 4.011^m$$

$$\frac{Sin\alpha}{PB} = \frac{Sin\gamma}{AB} \Rightarrow \alpha = Sin^{-1}(\frac{6.241\times Sin 25^\circ\, 11' 5''}{4.011}) = 41^\circ\, 28' 2.44''$$

$$\frac{Sin\beta}{PA} = \frac{Sin\gamma}{AB} \Rightarrow \beta = Sin^{-1}(\frac{8.653\times Sin 25^\circ\, 11' 5''}{4.011}) = 66^\circ\, 39' 7.44''$$

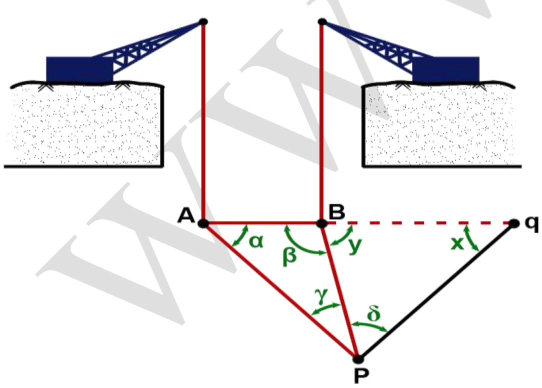
چون زاویه β مقابل وتر می‌باشد و مقدار آن از $90^\circ$ بیشتر می‌باشد در نتیجه جواب رابطه سینوسی زاویه خارجی خواهد بود و برای رسیدن به زاویه داخلی (β) باید از $180^\circ$ کم شود.

$$\Rightarrow \beta = 180 - 66^\circ 39' 7.44'' = 113^\circ 20' 52.56''$$

$e = 180 - 41^\circ 28' 2.44'' - 113^\circ 20' 52.56'' - 25^\circ 11' 5'' = 4\times 10^{-13}$ قابل صرف نظر کردن

$$\Rightarrow G_{AP} = 80^\circ 13' 15'' + 41^\circ 28' 2.44'' = 121^\circ 41' 17.44''$$

$$\Rightarrow G_{Pq} = 121^\circ 41' 17.44'' + 25^\circ 11' 5'' + 118^\circ 13' 12'' - 180 = 85^\circ 28' 34.44''$$




**حالت دوم)** همانند شکل در این حالت هدف یافتن طولی است که از نقطه P با زاویه $\delta$ باز کنیم تا به نقطه‌ای در راستای امتداد AB برسیم یا همان نقطه q (هدف یافتن طول pq)

در این حالت همانند حالت قبل زاویه β را یافته و سپس زوایای X و Yرا یافته با داشتن یک طول و سه زاویه در مثلث PBq می‌توان طول pq را از روابط مثلثاتی حساب کرد و همچنین آزیموت امتداد Bq برابر آزیموت امتداد AB می‌باشد. قابل ذکر است که در این حالت زاویه β را می‌توان از یک رابطه دیگر نیز بدست آورد که در زیر به آن می‌پردازیم.

$AB=\sqrt{(X_B-X_A)^2+(Y_B-Y_A)^2}$ یا $AB^2=PA^2+PB^2-2\times PA\times PB\times Cos\gamma$

$$\frac{Sin\beta}{AP}=\frac{Sin\gamma}{AB}\Rightarrow\beta=Sin^{-1}(\frac{AP\times Sin\gamma}{AB})$$

روش دوم بدست آوردن زاویه β

$$\frac{Sin\beta}{PA}=\frac{Sin\alpha}{PB}=\frac{Sin(180-(\beta+\gamma))}{PB}=\frac{Sin(\beta+\gamma)}{PB}=\frac{Sin\beta.Cos\gamma+Cos\beta.Sin\gamma}{PB}$$

$\Rightarrow PBSin\beta=PA.Sin\beta.Cos\gamma+PA.Cos\beta.Sin\gamma$ طرفین تقسیم بر $Sin\beta$

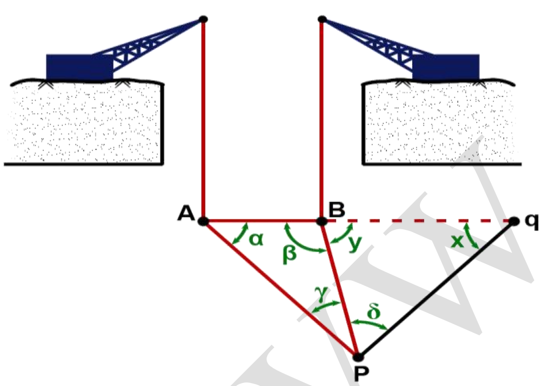
$$\Rightarrow PB=PA.Cos\gamma+PACot\beta.Sin\gamma=PB-PA.Cos\gamma=Cot\beta.Sin\gamma$$

$$\Rightarrow Cot\beta=\frac{PB-PA.Cos\gamma}{Sin\gamma}\Rightarrow\beta=tan^{-1}(\frac{Sin\gamma}{PB-PA.Cos\gamma})$$

پس از یافتن زاویه β در مثلث BPq داریم:

$Y=180-\beta$ , $X=180-Y-\delta$

$$\frac{SinX}{PB}=\frac{Sin(180-\beta+\delta)}{PB}=\frac{SinY}{pq}=\frac{Sin\beta}{pq}\Rightarrow pq=\frac{PB\times Sin\beta}{Sin(180-\beta+\delta)}=\frac{PB\times Sin(\alpha+\gamma)}{Sin(\alpha+\gamma+\delta)}$$




مثال: چنانچه مطابق شکل بخواهیم نقطه‌ای (q) در امتداد دو شاقول B و A با استقرار بر روی نقطه p ایجاد کنیم مطلوب است با توجه به مشاهدات زیر طول pq جهت پیاده سازی نقطه q.

$A\begin{vmatrix}100\\100\end{vmatrix}$ $B\begin{vmatrix}105.73\\100.00\end{vmatrix}$

$\delta=79^\circ27'14''$ $\overline{PB}=8.541^m$

$\gamma=35^\circ42'50''$ $\overline{PA}=9.750^m$

$$AB=\sqrt{105.73-100)^2+(100-100)^2}=5.73^m$$

$$\frac{Sin35^\circ42'50''}{5.73}=\frac{Sin\alpha}{8.541}\Rightarrow\alpha=Sin^{-1}(\frac{Sin(35^\circ42'50'')\times8.541}{5.73})=60^\circ28'15.4''$$

$$\beta=180-\alpha-\gamma=180-60^\circ28'15.4''-35^\circ42'50''=83^\circ48'54.6''$$

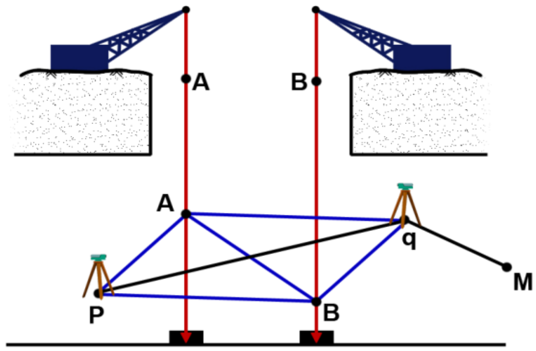
$$Y=180-\beta=180-83^\circ48'54.6''=96^\circ11'5.4''$$

$$pq=\frac{8.541\times Sin83^\circ48'54.6''}{Sin(96^\circ11'5.4''+79^\circ27'14'')}=111.66^m$$

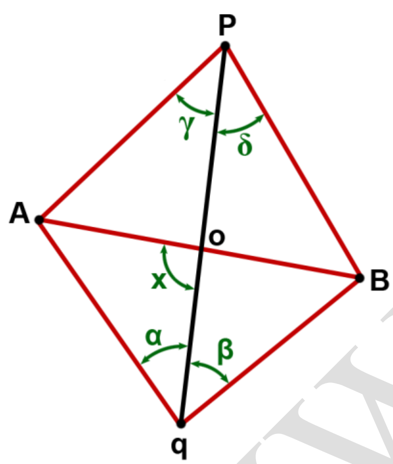
یا

$$pq=\frac{8.541\times Sin(60^\circ 28'15.4''+35^\circ 42'50'')}{Sin(60^\circ 28'15.4''+35^\circ 42'50''+79^\circ 27'14'')}=111.66^m$$

**ب) استفاده از مشاهدات دو ایستگاه (استفاده از چهار ضلعی هاوس) :**




در این روش نیز همانند شکل از دو شاقول آویزان در سطل روغن جهت جلوگیری از نوسانات شاقول استفاده می‌شود و مختصات نقاط A و B توسط ایستگاه‌های کنترل زمینی مشخص می‌شود. حال با انجام مشاهداتی از دو نقطه امتدادی که از میان دو نقطه A و B می‌گذارد اقدام به محاسبه وضعیت امتداد مستقر شده (امتداد pq) می‌نماییم. در این روش که روش دقیقی است مشاهدات ما را زوایای $\alpha$ و $\beta$ و $\gamma$ و $\delta$ تشکیل می‌دهد و مجهول زاویه تقاطع یا همان x می‌باشد که با یافتن آن می‌توان به آزیموت pq دست یافت و وضعیت امتداد pq را مشخص نمود.




$$G_{qp}=G_{AB}-X$$

$$POB\begin{cases}\dfrac{Sin\delta}{OB}=\dfrac{Sin(X+\delta)}{OP}\Rightarrow OP=\dfrac{OB\times Sin(X+\delta)}{Sin\delta}\end{cases}$$

$$POA\begin{cases}\dfrac{Sin\gamma}{OA}=\dfrac{Sin(X-\gamma)}{OP}\Rightarrow OP=\dfrac{OA\times Sin(X-\gamma)}{Sin\gamma}\end{cases}$$

$$qOB\begin{cases}\dfrac{Sin\beta}{oB}=\dfrac{Sin(X-\beta)}{oq}\Rightarrow Oq=\dfrac{OB\times Sin(X-\beta)}{Sin\beta}\end{cases}$$

$$qOA\begin{cases}\dfrac{Sin\alpha}{OA}=\dfrac{Sin(X+\alpha)}{Oq}\Rightarrow Oq=\dfrac{OA\times Sin(X+\alpha)}{Sin\alpha}\end{cases}$$

$$\frac{oP}{oq}=\frac{\dfrac{oB\times Sin(X+\delta)}{Sin\delta}}{\dfrac{oB\times Sin(X-\beta)}{Sin\beta}}=\frac{oB\times Sin\beta\times SinX\times Cos\delta+Sin\beta\times Sin\delta\times CosX}{oB\times Sin\delta\times SinX\times Cos\beta-Sin\beta\times CosX}$$

$$\frac{oP}{oq}=\frac{\dfrac{Sin\beta\times SinX\times Cos\delta+Sin\beta\times Sin\delta\times CosX}{SinX\times Sin\delta\times Sin\beta}}{\dfrac{Sin\delta\times SinX\times Cos\beta-Sin\delta\times Sin\beta\times CosX}{SinX\times Sin\delta\times Sin\beta}}=\frac{\dfrac{Cos\delta}{Sin\delta}+\dfrac{CosX}{SinX}}{\dfrac{Cos\beta}{Sin\beta}-\dfrac{CosX}{SinX}}=\frac{Cot\delta+CotX}{Cot\beta-CotX}\qquad\langle 1\rangle$$

$$\frac{oP}{oq}=\frac{\dfrac{oA\times Sin(X-\gamma)}{Sin\gamma}}{\dfrac{oA\times Sin(X+\alpha)}{Sin\alpha}}=\frac{oA\times Sin\alpha\times SinX\times Cos\gamma-Sin\alpha\times Sin\gamma\times CosX}{oA\times Sin\gamma\times SinX\times Cos\alpha+Sin\gamma\times Sin\alpha\times CosX}$$

$$\frac{oP}{oq}=\frac{\dfrac{Sin\alpha\times SinX\times Sin\gamma-Sin\alpha\times Sin\gamma\times CosX}{SinX\times Sin\alpha\times Sin\gamma}}{\dfrac{Sin\gamma\times SinX\times Cos\alpha+Sin\gamma\times Sin\alpha\times CosX}{SinX\times Sin\alpha\times Sin\gamma}}=\frac{\dfrac{Cos\gamma}{Sin\gamma}-\dfrac{CosX}{SinX}}{\dfrac{Cos\alpha}{Sin\alpha}+\dfrac{CosX}{SinX}}=\frac{Cot\gamma-CotX}{Cot\alpha+CotX}\qquad\langle 2\rangle$$

$$\xrightarrow{\langle 1\rangle=\langle 2\rangle}\frac{Cot\delta+CotX}{Cot\beta-CotX}=\frac{Cot\gamma-CotX}{Cot\alpha+CotX}=Cot\delta.Cot\alpha+Cot\delta.CotX+CotX.Cot\alpha+Cot^2X=$$

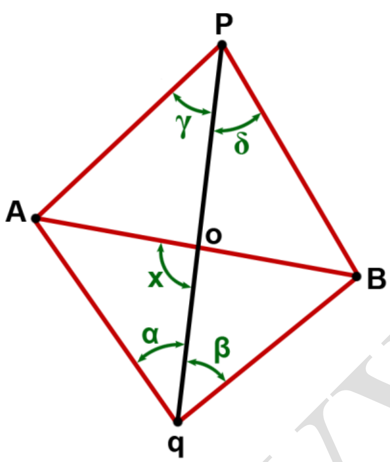
$$Cot\beta.Cot\gamma-Cot\beta.CotX-CotX.Cot\gamma+Cot^2X$$

$$\Rightarrow Cot\delta.Cot\alpha+Cot\delta.CotX+CotX.Cot\alpha+Cot^2X-Cot\beta.Cot\gamma+Cot\beta.CotX+CotX.Cot\gamma-Cot^2X=0$$

$$\Rightarrow Cot\delta.CotX+CotX.Cot\alpha+Cot\beta.CotX+CotX.Cot\gamma=Cot\beta.Cot\gamma-Cot\delta.Cot\alpha$$

$$\Rightarrow CotX=\frac{Cot\beta.Cot\gamma-Cot\delta.Cot\alpha}{Cot\delta+Cot\alpha+Cot\beta+Cot\gamma}$$

حال با داشتن زاویه x به راحتی می‌توان به ژیزمان امتداد pq دست یافت.




مثال: جهت تعیین ژیزمان امتداد زیرزمینی pq از دو شاقول آویزان در نقاط B و A با مختصات‌های زیر استفاده شده و سپس در زیر زمین از روی دو نقطه p و q مشاهدات زیر انجام شده است مطلوب است ژیزمان امتدادpq .

$$A\left|\begin{matrix}100\\100\end{matrix}\right.\qquad\qquad B\left|\begin{matrix}110\\100\end{matrix}\right.$$

$$AB=10^m$$

$$V_{AB}=\tan^{-1}\left|\frac{10}{0}\right|\Rightarrow\Delta y=0\Rightarrow\Delta x>0\quad\Rightarrow G_{AB}=90^\circ$$

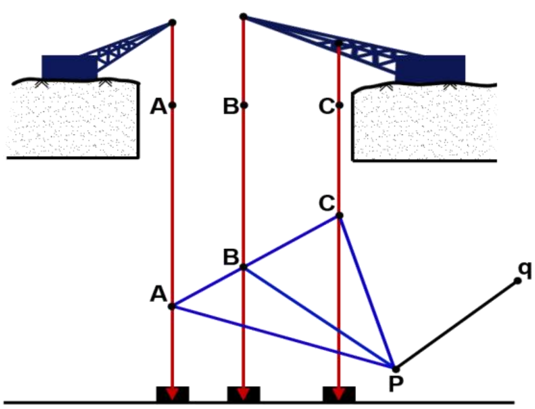
| ایستگاه | نشانه | قرائت امتداد | زاویه |
|---|---|---|---|
| p | A | $16^\circ15'11''$ | |
| | O | $330^\circ46'05''$ | $45^\circ29'6''$ |
| | B | $286^\circ18'56''$ | $44^\circ27'09''$ |
| q | A | $36^\circ51'32''$ | |
| | O | $80^\circ32'30''$ | $43^\circ40'58''$ |
| | B | $130^\circ01'03''$ | $49^\circ28'33''$ |

$$\tan x = \frac{Cot\,\delta + Cot\,\alpha + Cot\,\beta + Cot\,\gamma}{Cot\,\beta . Cot\,\gamma - Cot\,\delta . Cot\,\alpha}$$

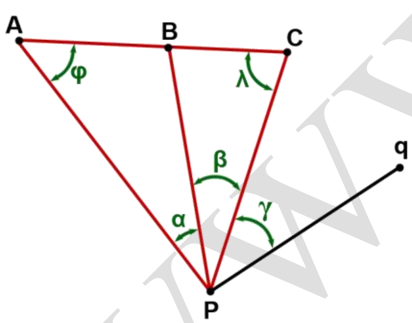
$$\Rightarrow X = \tan^{-1}\left(\frac{\dfrac{1}{\tan 44^\circ 27' 09''} + \dfrac{1}{\tan 45^\circ 29' 06''} + \dfrac{1}{\tan 43^\circ 40' 58''} + \dfrac{1}{\tan 49^\circ 28' 33''}}{\dfrac{1}{\tan 49^\circ 28' 33'' \times \tan 45^\circ 29' 06''} - \dfrac{1}{\tan 43^\circ 40' 58'' \times \tan 44^\circ 27' 09''}}\right) = 86^\circ 40' 31.06''$$

$$\Rightarrow G_{pq} = 90 - 86^\circ 40' 31.06'' + 180 = 183^\circ 19' 28.94''$$

**٤) استفاده از سه شاقول:**




در این روش همانند شکل سه شاقول به کمک جرثقیل های ثابتی آویزان شده و وزنه این شاقول ها در سطل روغنی قرار می گیرد تا از نوسانات شاقول ها جلوگیری شود و موقعیت این سه شاقول (نقطه A,B,C) توسط نقاط کنترل زمینی مشخص می گردد. نکته قابل ذکر این است که باید این سه شاقول در یک راستا قرار گرفته باشند در این روش تنها از مشاهدات زاویه استفاده می شود و تنها فواصل بین شاقول ها مشخص می باشد. با توجه به شکل می توان دریافت که اگر یکی از دو زاویه مجهول $\lambda$ یا $\varphi$ بدست آید دیگر مجهولات قابل دستیابی بوده و می توان ژیزمان امتداد pq را بدست آورد. مشاهدات در این روش سه زاویه می باشد و همچنین فاصله بین شاقول ها. $(\overline{BC}, \overline{AB})$




$$\varphi + \alpha + \beta + \lambda = 180 \Rightarrow \lambda + \varphi = 180 - (\alpha + \beta) = \kappa_1$$

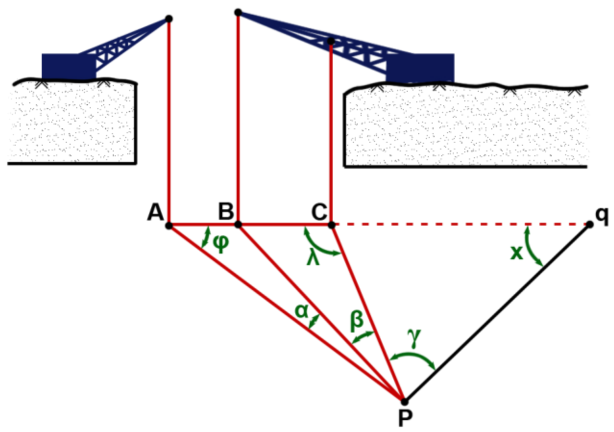
$$\begin{cases} \dfrac{Sin\varphi}{PB} = \dfrac{Sin\alpha}{AB} & (1) \\ \dfrac{Sin\lambda}{PB} = \dfrac{Sin\beta}{BC} & (2) \end{cases} \xrightarrow[(2)]{(1)} \frac{Sin\varphi}{Sin\lambda} = \frac{\dfrac{Sin\alpha}{AB}}{\dfrac{Sin\beta}{BC}} = \frac{BC\,Sin\alpha}{AB\,Sin\beta} = \kappa_2$$

$$\lambda + \varphi = \kappa_1 \Rightarrow \varphi = \kappa_1 - \lambda \quad , \quad \frac{Sin\varphi}{Sin\lambda} = \kappa_2 \Rightarrow \kappa_2 = \frac{Sin(\kappa_1 - \lambda)}{Sin\lambda}$$

$$\kappa_2 = \frac{Sin\kappa_1 . Cos\lambda - Sin\lambda . Cos\kappa_1}{Sin\lambda} \Rightarrow \kappa_2 = Sin\kappa_1 . Cot\lambda - Cos\kappa_1$$

$$\Rightarrow Cot\lambda = \frac{\kappa_2 + Cos\kappa_1}{Sin\kappa_1} \Rightarrow \lambda = \tan^{-1}\left(\frac{Sin\kappa_1}{\kappa_2 + Cos\kappa_1}\right) \Rightarrow \lambda = \tan^{-1}\left(\frac{Sin(180 - \alpha - \beta)}{\dfrac{BC\,Sin\alpha}{AB\,Sin\beta} + Cos(180 - \alpha - \beta)}\right)$$

مثال: جهت تعیین یک نقطه (q) در امتداد سه نقطه شاقولی A,B,C که در یک راستا هستند مشاهدات زیر با توجه به شکل انجام شده مطلوب است ژیزمان امتداد pq .




$$A\begin{vmatrix}100\\100\end{vmatrix} \quad , \quad B\begin{vmatrix}105.32\\104.55\end{vmatrix} \quad , \quad C\begin{vmatrix}110.87\\109.29\end{vmatrix}$$

$$\alpha = 31^\circ 30' 12'' \quad , \quad \beta = 42^\circ 51' 13'' \quad , \quad \gamma = 50^\circ 18' 08''$$

$$V_{AC} = \tan^{-1}\left|\frac{10.87}{9.29}\right| = 49^\circ 27' 39.05''$$

$$\Rightarrow G_{AC} = 49^\circ 27' 39.05''$$

$$L_{AB} = \sqrt{5.32^2 + 4.55^2} = 7^m$$

$$L_{BC} = \sqrt{(110.87 - 105.32)^2 + (109.29 - 104.55)^2} = 7.30^m$$

$$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{Sin(31^\circ 30' 12'' - 42^\circ 51' 13'')}{\dfrac{7.30 \times Sin(31^\circ 30' 12'')}{7 \times Sin(42^\circ 51' 13'')} + Cos(180 - 31^\circ 30' 12'' - 42^\circ 51' 13'')}\right) = 61^\circ 06' 29.46''$$

$$\varphi = 180 - 31^\circ 30' 12'' - 42^\circ 51' 13'' - 61^\circ 06' 29.46'' = 44^\circ 32' 5.58''$$

$$\frac{Sin(\alpha + \beta)}{L_{AB} + L_{BC}} = \frac{Sin\varphi}{pc} \Rightarrow pc = \frac{(7 + 7.30).Sin(44^\circ 32' 5.58'')}{Sin(31^\circ 30' 12'' + 42^\circ 51' 13'')} = 10.414^m$$

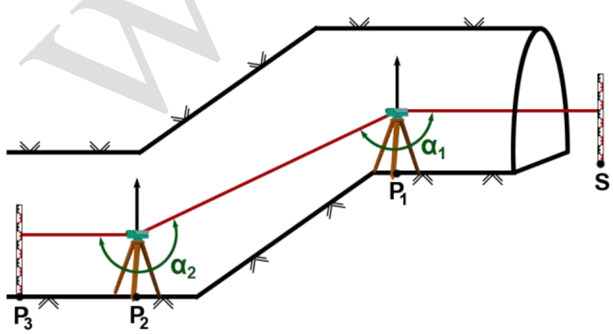
$$\frac{Sin(\lambda - \gamma)}{pc} = \frac{Sin\lambda}{pq} \Rightarrow pq = \frac{10.414 \times Sin(61^\circ 06' 29.46'')}{Sin(61^\circ 06' 29.46'' - 50^\circ 18' 08'')} = 48.634^m$$

$$G_{AP} = 49^\circ 27' 39.05'' + 44^\circ 32' 5.58'' = 93^\circ 59' 44.53''$$

$$G_{pq} = 93^\circ 59' 44.53'' + 31^\circ 30' 12'' + 42^\circ 51' 13'' + 50^\circ 18' 08'' - 180 = 38^\circ 39' 17.63''$$

**۵) استفاده از روش پیمایش:**

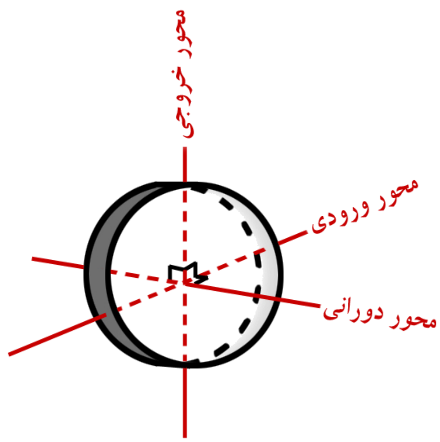
در این روش همان طور که در شکل نیز مشخص شده است در عملیات‌های زیرزمینی کاربرد دارد که دارای چاه‌های مایل باشند و از دو نقطه کنترل بیرون تونل عملیات پیمایش آنتنی را انجام می‌دهیم تا به امتداد مورد نظر (AB) برسیم و سمت آن را مشخص کنیم.




از توضیح این روش صرف نظر می‌کنیم چون در نقشه‌برداری 2 به صورت مفصل به آن پرداخته شده است.

**E) تعیین وضعیت یک امتداد در زیر زمین به کمک دستگاه‌های امتداد سنج:**

یکی از روش‌هایی که به کمک آن می‌توان وضعیت یک امتداد را در زیر زمین مشخص کرد استفاده از دستگاه ژیروسکوپ است.




ژیروسکوپ: وسیله‌ای است که نسبت به سیستم مختصات اینرشیا تمایل به حفظ توجیه خود را دارد. اساس کار این وسیله از یک جسم دوران کننده (یک دیسک یا گوی با تعداد دوران ۲۰ الی ۲۵ هزار دور در دقیقه) حول یک محور می‌باشد که تحت تأثیر نیروی خارجی حاصل از دوران زمین (نیروی گریز از مرکز) قرار دارد و باعث می‌شود که محور دورانی در راستای شمال قرار گیرد.

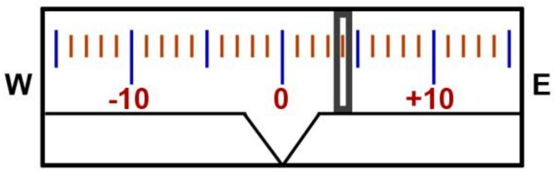
ژیروسکوپ برخلاف قطب نما که شمال مغناطیس را نشان می‌دهد، شمال حقیقی را نشان می‌دهد و به علت سیستم دقیق آن، از قیمت بالایی برخوردار می‌باشد. ژیروسکوپ دارای سه محور می‌باشد که دو به دو بر هم عمود هستند ۱) محور دورانی ۲) محور ورودی ۳) محور خروجی، که در زمانی که از ژیروسکوپ استفاده می‌کنیم دو محور دورانی و ورودی مماس بر سطح افق در آن نقطه و محور خروجی در راستای نرمال بر ژئوئید قرار می‌گیرد و زمانی ژیروسکوپ در امتداد شمال واقع می‌شود که محور دورانی زاویه‌اش با خط نصف‌النهار محل صفر شود. ولی ژیروسکوپ هیچ گاه نوساناتش از بین نمی‌رود ولی دامنه آن کم می‌شود و حول نصف‌النهار محل به چپ و راست بر روی یک منحنی سینوسی حرکت می‌کند. در نزدیکی خط استوا ژیروسکوپ بیشترین کارایی خود را دارد و تا عرض ۷۰ درجه نیز برای کارهای نقشه‌برداری دقت دارد ولی از عرض‌های بالاتر از ۷۰ جهت کارهای نقشه‌برداری از دقت خوبی برخوردار نیست.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| انواع ژیروسکوپ | ۱) مکانیکی | ویلد | GAK1 | با دقت | $20''$ |
| | | سوکیا | GP1 | با دقت | $20''$ |
| | ۲)اتوماتیک | | Gyromat2000 | با دقت | $30''$ |

## روش‌های بدست آوردن شمال حقیقی با ژیروسکوپ:

**الف) روش نقطه بازگشت[1]**

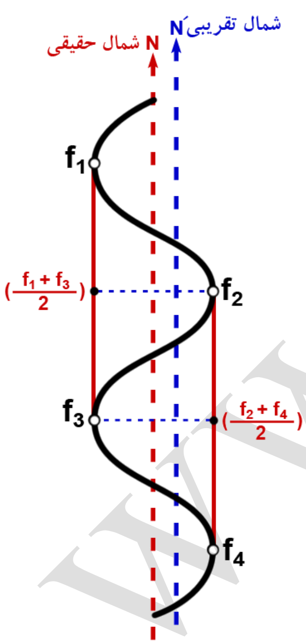
در این روش ابتدا لازم است که تلسکوپ دستگاه با دقتی در حدود ۱ تا ۲ درجه در راستای نصف‌النهار محل قرار گیرد که جهت این کار از یک قطب نما استفاده می‌کنیم. چنانچه به چشمی قرائت نوسان نگاه کنید شکلی مشابه شکل روبرو را خواهید دید. حال برای شروع کار پیچ آلیداد را باز کرده و ژیروسکوپ را روشن کنید




یک علامت روی درجه‌بندی نشان داده شده و شروع به نوسان از شرق به غرب می‌کند چند لحظه صبر می‌کنیم تا سرعت نوسان پایین بیاید (در حدود ۵ دقیقه) سپس علامت نوسان‌گر را دنبال می‌کنیم تا در نقطه‌ای در غرب یا شرق برای چند لحظه متوقف شود و عکس نوسان را بخواهد دنبال کند این نقطه را نقطه بازگشت گویند. در آن لحظه عدد آن را ثبت می‌کنیم سپس همین کار را برای نیمه بعدی انجام می‌دهیم و مقدار آن را ثبت می‌کنیم و دوباره این کار را تکرار می‌کنیم مانند شکل. کمترین تعداد مشاهده ۴ مشاهده (دو قرائت شرقی و دو قرائت غربی) می‌باشد، هر چه تعداد این قرائت‌ها بیشتر شود دقت شمال حاصل بهتر خواهد بود.

حال برای بدست آوردن ژیزمان یک امتداد از رابطه زیر استفاده می‌کنیم.

$$AZ = AZ' \pm N + E$$




E، میزان اختلاف آزیموت نجومی و آزیموت به روش ژیروسکوپ که در کاتالوگ دستگاه درج شده، چنانچه مقدار این خطا در مسائل داده نشود از آن در فرمول صرف نظر می‌کنیم.

N زاویه شمال حقیقی که از میانگین‌گیری از قرائت‌ها بدست می‌آید.

جهت میانگین گیری روش‌های زیادی بیان شده ولی یکی از بهترین این روش‌ها روش زیر می‌باشد.

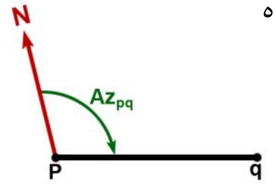
$$\left.\begin{array}{l} N_1 = \frac{1}{2}\left(\frac{f_1+f_3}{2}+f_2\right) \\ N_2 = \frac{1}{2}\left(\frac{f_2+f_4}{2}+f_3\right) \\ \vdots \quad \vdots \qquad \vdots \end{array}\right\} \Rightarrow N = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n} N_i$$

$AZ'$ : آزیموت امتداد مورد نظر نسبت به شمال تقریبی

نکته: چنانچه امتداد مدنظر ما در راستای صفر صفر دستگاه ژیروسکوپ قرار ندارد بهتر است آزیموت را به صورت کوپل انجام دهیم.

[1] Turning Point

مثال: در یک تونل زیرزمینی جهت تعیین آزیموت امتدادpq  مشاهدات زیر توسط دستگاه ژئوتئودلیت انجام شده مطلوب است ژیزمان واقعی امتداد pq (خطای دستگاه $E=+1.5'$ می باشد).




| شماره | قرائت شرقی | قرائت غربی |
|---|---|---|
| f1 | $1^\circ 10' 00''$ | |
| f2 | | $358^\circ 10' 00''$ |
| f3 | $1^\circ 09' 15''$ | |
| f4 | | $358^\circ 11' 10''$ |

| نشانه | قرائت دایره به چپ | قرائت دایره به راست |
|---|---|---|
| $AZ'_{pq}$ | $120^\circ 20' 15''$ | $300^\circ 20' 20''$ |

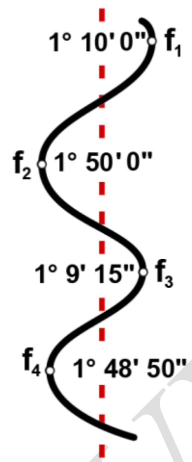
$$AZ'_{pq}=\frac{120^\circ 20' 15''+(300^\circ 20' 20''-180)}{2}=120^\circ 20' 17.5''$$

$$N_1=\frac{1}{2}\left(\frac{1^\circ 10' 00''+1^\circ 09' 15''}{2}+360-358^\circ 10' 00''\right)=1^\circ 29' 48.75''$$

$$N_2=\frac{1}{2}\left(\frac{360*2-358^\circ 10' 00''+358^\circ 11' 10''}{2}+1^\circ 09' 15''\right)=1^\circ 29' 20''$$

$$\Rightarrow N=\frac{1}{2}\left(1^\circ 29' 48.75''+1^\circ 29' 20''\right)=$$

$$\Rightarrow N=1^\circ 29' 34.38''$$



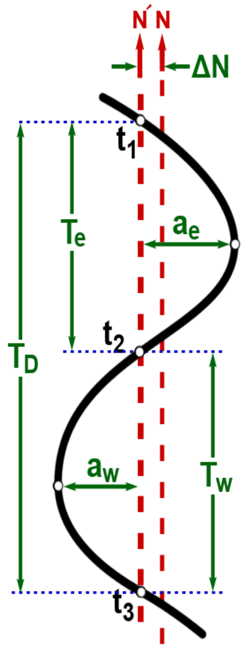

چون تمایل نوسانت بیشتر به سمت غرب بوده با توجه به شکل پس از علامت + در معادله محاسبه ژیزمان استفاده می کنیم.

$$AZ=120^\circ 20' 17.5''+1^\circ 29' 34.38''+1.5'=121^\circ 51' 21.87''$$

### ب) روش عبور[1]

در این روش نیز مانند روش قبل باید دستگاه در امتداد تقریبی شمال (N) قرار گیرد که می‌توان از قطب نما استفاده کرد ولی بهتر است از روش قبل برای یافتن شمال اولیه برای این روش استفاده کرد چون این روش، روش دقیق تری نسبت به روش قبل است. در این روش در تمام زمان مشاهدات آلیداد دستگاه به صورت قفل خواهد بود و تعقیب علامت نوسانگر ژیروسکوپ نیز مانند روش قبل انجام

1 Transit




می‌شود ولی همراه با ثبت زمان، به این صورت که از یک کرنومتر استفاده می‌کنیم و زمان آن را صفر می‌کنیم و زمانی که علامت نوسانگر ژیروسکوپ به صفر (وسط Vشکل) رسید کرونومتر را به راه می‌اندازیم و علامت نوسانگر را نیز دنبال می‌کنیم و زمانی که به حداکثر انحراف‌های شرقی و غربی (نقاط برگشت) می‌رسند دامنه را ثبت می‌کنیم و همچنین زمان‌هایی که علامت نوسانگر از صفر یا همان V شکل نیز عبور می‌کند زمان را ثبت می‌کنیم. اگر تلسکوپ در امتداد نصف‌النهار باشد زمان عبورهای شرقی و غربی با هم برابر خواهد بود و همچنین میزان انحراف‌های شرقی و غربی نیز برابر خواهد بود. مقدار اختلاف دو زمان عبور شرقی و غربی متناسب با مقدار انحراف تلسکوپ از شمال واقعی می‌باشد.

حال برای بدست آوردن ژیزمان یک امتداد با این روش، از رابطه زیر استفاده می‌کنیم.

$$AZ = AZ' \pm \Delta N + E$$

E: مقدار اختلاف آزیموت نجومی و آزیموتی که از ژیروسکوپ بدست می‌آید که مقدار آن در کاتالوگ دستگاه ذکر شده و چنانچه در مسئله داده نشود نیاز به اعمال آن نیست

$AZ'$: آزیموت تقریبی امتداد مورد نظر است که نسبت به شمال تقریبی اندازه‌گیری شده

ΔN: میزان اختلاف شمال تقریبی و شمال حقیقی است که علامت آن زمانی که بازه زمانی دامنه شرقی $T_E$ بیشتر از بازه زمانی دامنه غربی $T_W$باشد. منفی (-) خواهد بود و در غیر این صورت مثبت (+) خواهد بود؛ و مقدار آن از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\Delta N = C.A.\Delta t$$

C: ضریب تناسب ژیروسکوپ که مقدار آن به عرض جغرافیایی($\varphi$) وابسته است که مقدار آن در کاتالوگ دستگاه برای $\varphi$های مختلف درج شده و نیز دارای معادله می‌باشد؛ و واحد آن دقیقه کمانی بر ثانیه زمانی می‌باشد $\frac{\min of\ Arc}{S}$

A: میانگین دامنه نوسانات شرقی و غربی ژیروسکوپ است که از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$A = \left(\frac{A_e - A_w}{2}\right)$$

ΔT: اختلاف دامنه زمانی غربی و شرقی می‌باشد که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\Delta t = (T_w - T_E) \quad , \quad T_E = t_2 - t_2 \quad , \quad T_w = t_3 - t_2$$

$A_E$: حداکثر انحراف شرقی　$A_w$: حداکثر انحراف غربی　$T_E$: دامنه زمانی عبور شرقی

$T_W$ : دامنه زمانی عبور غربی رابطه $T_E$ و $T_W$ برای زمانی صادق است که شروع دامنه از شرق باشد در غیر این صورت در رابطه‌های فوق جای $T_E$ و $T_W$ عوض می‌شود.

مثال: در یک عملیات زیرزمینی جهت تعیین آزیموت دقیق امتداد pq از دستگاه ژیروسکوپ و از روش عبور استفاده شده است و مشاهدات زیر انجام شده ژیزمان دقیق pq را بدست آورید در صورتی که ضریب مناسب ژیروسکوپ برابر $0.00478\dfrac{\min ofArc}{S}$ باشد.

| شماره | زمان ترانزیت | دامنه زمانی شرقی | دامنه زمانی غربی | دامنه نوسان شرقی | دامنه نوسان غربی | میانگین دامنه | اختلاف دامنه زمانی شرقی و غربی | $\Delta N_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pi | $T_t$ | $T_E$ | $T_W$ | $A_E$ | $A_W$ | a | $\Delta t$ | $\Delta N_i$ |
| $t_1$ | $00'00''$ | | | | | | | |
| | | $3'16.1''$ | | 11.8 | | | | |
| $t_2$ | $3'16.1''$ | | | | | 12.35 | $7.2''$ | $4.25'$ |
| | | | $3'23.3''$ | | 12.9 | | | |
| $t_3$ | $6'39.4''$ | | | | | 12.30 | $7.7''$ | $4.53'$ |
| | | $3'15.6''$ | | 11.7 | | | | |
| $t_4$ | $9'55''$ | | | | | 12.30 | $7.6''$ | $4.47'$ |
| | | | $3'23.2''$ | | 12.9 | | | |
| $t_5$ | $13'18.2''$ | | | | | | | $+4.42'$ |

| نشانه | قرائت دایره به چپ | قرائت دایره به راست |
|---|---|---|
| $AZ_{Pq}$ | $120^\circ 20'15''$ | $300^\circ 20'20''$ |

$$T_{E1} = 3'16.3'' - 00'00'' = 3'16.1'' \qquad T_{W1} = 6'39.4'' - 3'16.1'' = 3'23.3''$$

$$T_{E2} = 9'55'' - 6'39.4'' = 3'15.6'' \qquad T_{W2} = 13'18.2'' - 9'53'' = 3'23.2''$$

$$A_1 = \frac{11.8+12.9}{2} = 12.35 \qquad A_2 = \frac{12.9+11.7}{2} = 12.30 \qquad A_3 = \frac{11.7+12.9}{2} = 12.30$$

$$\Delta t_1 = 3'23.3'' - 3'16.1'' = 7.2'' \qquad \Delta t_2 = 3'23.3'' - 3'15.6'' = 7.7'' \qquad \Delta t_3 = 3'23.2'' - 3'15.6'' = 7.6''$$

$$\Delta N_1 = 0.0478 \times 12.35 \times 7.2'' = 4.25' \qquad \Delta N_2 = 0.0478 \times 12.30 \times 7.7'' = 4.53'$$

$$\Delta N_3 = 0.0478 \times 12.30 \times 7.6'' = 4.49'$$

$$\Delta N = C\frac{\text{دقیقه درجه ای}}{\text{ثانیه زمانی}} \times A_{\text{بدون واحد}} \times \Delta t_{\text{ثانیه زمانی}} \Rightarrow \Delta N_{\text{دقیقه}}$$

$$\Rightarrow \Delta N = \frac{\Delta N_1 + \Delta N_2 + \Delta N_3}{3} = +4.42'$$

$$AZ'_{pq} = \frac{120^\circ 20'15'' + (300^\circ 20'20'' - 180)}{2} = 120^\circ 20'17.5''$$

$$\Rightarrow AZ_{pq} = 120^\circ 20'17.5'' \underset{TW>TE}{+} 00^\circ 4.42' = 120^\circ 24'42.7''$$