سوال ۱۱:

$$\begin{cases}\Delta = 45.7240grad \\ C = 130m\end{cases} \overset{C=2R\sin\frac{\Delta}{2}}{\Longrightarrow} R = 184.95m$$

$$L = R \times \Delta^{rad} = 132.84m$$

$$M = R(1-\cos\frac{\Delta}{2}) = 11.8m$$

سوال ۱۲:

$$\text{دقت نسبی} = \frac{L^2}{24R^2} \Rightarrow \frac{1}{10000} = \frac{25}{24R^2} \Rightarrow R = 102.06m$$

$$\alpha = \frac{L}{R} \Rightarrow \alpha = 2.8069^\circ$$

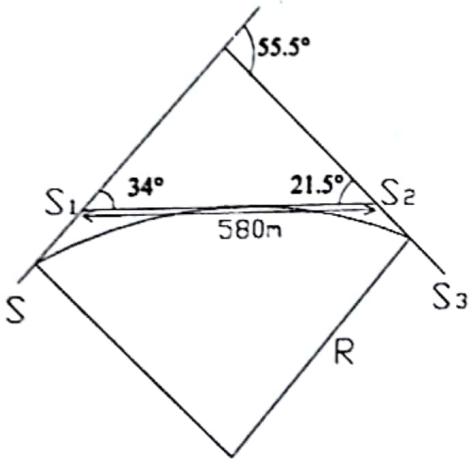
سوال ۱۳:

$$\begin{cases}G_{S_1S_2} = 80^\circ 41' 24'' \\ G_{S_2S_3} = 95^\circ 42' 38''\end{cases} \Rightarrow \Delta = G_{S_2S_3} - G_{S_1S_2} = 15^\circ 1' 14''$$

$$M = R(1-\cos\frac{\Delta}{2}) \Rightarrow R = \frac{10}{(1-\cos\frac{15^\circ 1' 14''}{2})} = 1165.69m$$

$$E = R(\frac{1}{\cos\frac{\Delta}{2}} - 1) = 10.086m$$

سوال ۱۴:

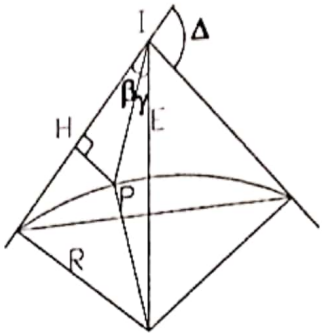



$$\begin{cases}\Delta_1 = G_{S_1S_2} - G_{SS_1} = 34^\circ - 0^\circ = 34^\circ \\ \Delta_2 = G_{S_2S_3} - G_{S_1S_2} = 55^\circ 30' - 34^\circ = 21^\circ 30'\end{cases} \Rightarrow \Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = 55^\circ 30'$$

$$T_1 + T_2 = 580m \Rightarrow R\tan\frac{\Delta_1}{2} + R\tan\frac{\Delta_2}{2} = 580 \Rightarrow R = 1170.33m$$

Scanned with CamScanner

سوال ۹:




$$\text{tg}\beta = \frac{5}{55} \Rightarrow \beta = 5.194^\circ$$

$$\gamma = \frac{180 - \Delta}{2} - \beta \Rightarrow \gamma = 72.556^\circ$$

$$IP = \sqrt{5^2 + 55^2} \Rightarrow IP = 55.227m$$

$$\text{E} = \text{R}\left(\frac{1}{\cos(\frac{\Delta}{2})} - 1\right) \Rightarrow \text{E} = 0.0233\text{R} \qquad (1)$$

$$R^2 = IP^2 + IO^2 - 2 \times IP \times IO \times \cos\gamma$$

$$\Rightarrow R^2 = 55.227^2 + (R+E)^2 - 2 \times 55.227 \times (R+E)\cos(72.556^\circ) \qquad (2)$$

$$\overset{(1),(2)}{\Rightarrow} R_1 = 613.253m, \quad \text{R}_2 = 105.504m$$

سوال ۱۰:

ابتدا زاویه راس قوس را مطابق با ژیزمانهای داده شده خطوط مستیقم پیدا می‌کنیم:

$$v = G_{S_1S} - G_{S_1S_2} = 75.1630 - 315.6630$$

$$= -240.5grad = -240.5 + 400 \Rightarrow v = 159.5 \text{ grad}$$

$$\Delta = 200\text{-}v = 40.5 \text{ grad}$$

در نتیجه:

$$E = R\left(\frac{1}{\cos\frac{\Delta}{2}} - 1\right) \Rightarrow 50 = R\left(\frac{1}{\cos(\frac{40.5}{2})} - 1\right) \Rightarrow R = 946.72\text{m}$$

$$\text{T} = \text{R}\,\text{tg}\frac{\Delta}{2} \Rightarrow T = 311.72\text{m}$$

زاویه انحراف امتداد شروع قوس به وسط وتر برابر است با:

$$\phi_M = \frac{\Delta}{4} = 10.125 \text{ grad}$$

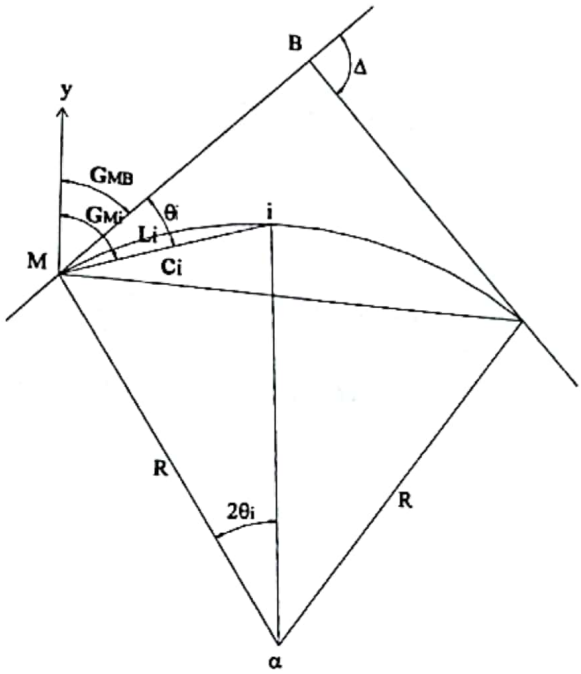
Scanned with CamScanner

طول قوس کوتاه:

$$b = R \times \alpha \Rightarrow \alpha = \frac{b}{R}$$

$$\begin{cases} \sin\alpha = \dfrac{HP}{OP} = \dfrac{x}{R} \Rightarrow x = R\sin\alpha \\ \cos\alpha = \dfrac{OH}{OP} = \dfrac{R - M + y}{R} \Rightarrow y = R\cos\alpha - R + M \end{cases}$$

سوال ۷:




$$\theta_i = \frac{L_i}{2R} \times \frac{180^\circ}{\pi}$$

$$C = 2R\sin\frac{\Delta}{2} \Rightarrow C_i = 2R\sin\theta_i$$

$$G_{Mi} = G_{MB} + \theta_i$$

$$\begin{cases} x_i = x_M + \Delta x_{Mi} = x_M + C_i \sin G_{Mi} \\ y_i = y_M + \Delta y_{Mi} = y_M + C_i \cos G_{Mi} \end{cases}$$

توسط سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS) می توان مختصات نقاط روی قوس دایره ساده را پیاده نمود.

سوال ۸:

$$e_r = \frac{L^2}{24R^2} \Rightarrow \frac{1}{4000} = \frac{L^2}{24 \times 500^2} \Rightarrow L = 38.7m$$

Scanned with CamScanner

(۳۶۷) ۵۵

$$\begin{cases} \Delta POH : OP^2 = PH^2 + OH^2 \\ PH = \frac{C}{2} - x \\ OH = R - M + y \end{cases} \Rightarrow R^2 = (\frac{C}{2} - x)^2 + (R - M + y)^2 \Rightarrow (R - M + y)^2 = R^2 - (\frac{C}{2} - x)^2$$

$$\Rightarrow y = M - R \pm \sqrt{R^2 - (\frac{C}{2} - x)^2} \Rightarrow y = M - R + \sqrt{R^2 - (\frac{C}{2} - x)^2}$$

علامت مثبت در نظر گرفته می شود. چون شعاع R همیشه بزرگتر از M است.

طول قوس کوتاه:

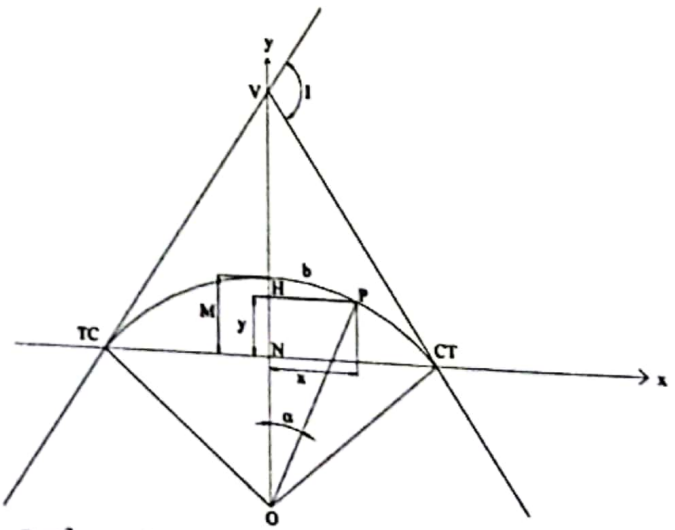
فرض کنیم به ازاء طول قوس کوتاه b که انتخاب کرده ایم:

$$b = R \times \alpha \Rightarrow \alpha = \frac{b}{R}$$

$$\begin{cases} \sin(\frac{I}{2} - \alpha) = \frac{PH}{OP} = \frac{\frac{C}{2} - x}{R} \Rightarrow \frac{C}{2} - x = R\sin(\frac{I}{2} - \alpha) \Rightarrow x = \frac{C}{2} - R\sin(\frac{I}{2} - \alpha) \\ \cos(\frac{I}{2} - \alpha) = \frac{OH}{OP} = \frac{R - M + y}{R} \Rightarrow R - M + y = R\cos(\frac{I}{2} - \alpha) \Rightarrow y = R\cos(\frac{I}{2} - \alpha) + M - R \end{cases}$$

**قسمت ب-**

رابطه مستقل:




$$\begin{cases} \Delta POH : OP^2 = HP^2 + OH^2 \Rightarrow x^2 + (R - M + y)^2 = R^2 \\ R - M + y = OH \\ x = HP \end{cases}$$

$$\Rightarrow y = M - R \pm \sqrt{R^2 - x^2}$$

علامت مثبت در نظر گرفته می شود. چون شعاع R همیشه بزرگتر از M است.

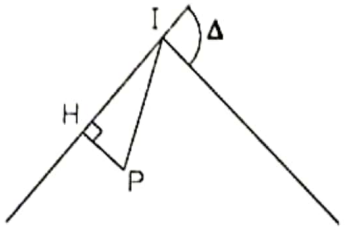
Scanned with CamScanner

سوال ۶: روشهای پیاده کردن قوس دایره به روشهای قائم الزاویه زیر را بررسی کنید؟
الف- استقرار در یکی از نقاط شروع یا انتهای قوس (امتداد وتر به عنوان محور x ها)
ب- استقرار در وسط وتر و وتر قوس به عنوان محور x ها

سوال ۷: پیاده کردن قوس دایره ساده به روش مختصات دکارتی را بیان کنید؟

سوال ۸: در پیکه تاژ قوسی به شعاع 500 جهت رسیدن به دقت نسبی $\frac{1}{4000}$ تا چه طول قوس کوتاهی مجاز به استفاده از طول وتر به جای طول قوس هستیم؟

سوال ۹: دو امتداد مستقیم مطابق شکل زیر یکدیگر را با زاویه $\Delta = 24°30'$ قطع نموده‌اند. شعاع قوس دایره‌ای که بر دو امتداد مستقیم فوق مماس شده و از نقطه P بگذرد (متر PH = 5 و متر IH = 55) چند متر است؟




سوال ۱۰: در طرح هندسی مسیری ژیزمان دو مسیر مستقیم $SS_1$ و $S_2S_1$ به ترتیب 275.1630 گراد و 115.6630 گراد می‌باشد اگر قوس ساده ای با طول خارجی 50 متر ارتباط دهنده این دو مسیر مستقیم باشد طول تانژانت برحسب متر و زاویه انحراف امتداد شروع قوس به وسط قوس برحسب گراد با مسیر مستقیم چقدر می باشد؟

سوال ۱۱: در یک طرح هندسی مسیر (در مولفه افقی) زاویه مرکزی قوس با انحناء ثابت (دایره) که بر دو مسیر مستقیم مماس است برابر 45.7240 گراد می باشد. اگر طول وتر این قوس 130 متر باشد طول قوس و طول میانی (فاصله وسط قوس تا وسط وتر) آن برحسب متر چقدر می باشد؟

سوال ۱۲: دقت نسبی یک پروژه مسیر شامل خط مستقیم و قوسهای مختلف $\frac{1}{10000}$ است. اگر طول قوس کوتاهی در این طرح 5 متر باشد. در این صورت زاویه مرکزی این طول قوس با فرض L= C برحسب درجه چقدر می باشد؟

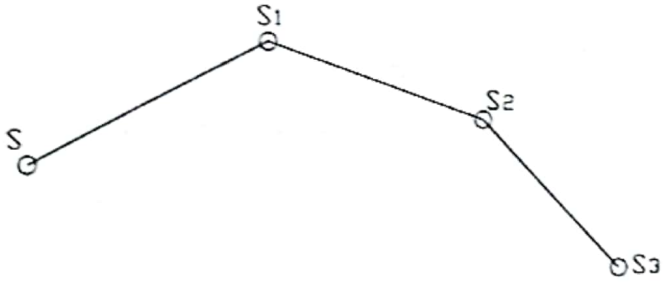
Scanned with CamScanner

سوال ۱۳: مختصات سه سومه متوالی از مسیر راهی عبارتند از:

$S_1(90,\ 100)\ ,\ ,S_2(700,\ 200)\ \ S_3(1800,\ 90)$

اگر برای ارتباط این دو مسیر مستقیم از یک قوس با انحناء ثابت (دایره) به نحوی استفاده کرده باشیم که مختصات نقطه وسط قوس(P) و وسط وتر(Q) به ترتیب(180 , 700)P و Q(700 , 170) باشد، طول خارجی قوس برحسب متر چقدر می باشد؟

سوال ۱۴: مطابق شکل زیر، بین سه مسیر مستقیم متوالی فقط از یک قوس با انحناء ثابت (دایره) استفاده شده است. اگر $G_{S_1S} = 180°$ و ژیزمانهای $S_1S_2$ و $S_2S_3$ به ترتیب $34°$ و $55°30'$ و نیز طول $S_1S_2$ برابر 580 متر باشند، شعاع قوس برحسب متر چقدر می باشد؟




Scanned with CamScanner

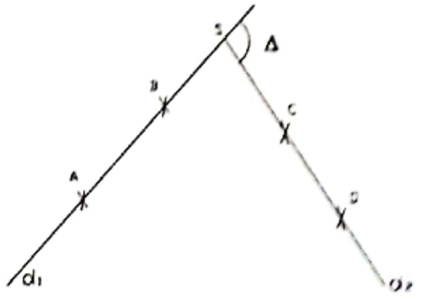
## ۱۰-۱۴- جواب سوالات بخش اول مسیر (قوس دایره ساده)

سوال ۱:

$$tgV_{AB}=\left|\frac{\Delta x_{AB}}{\Delta y_{AB}}\right| \Rightarrow V_{AB}=64^{\circ}5'37'' \underset{\Delta y>0}{\overset{\Delta x>0}{\Rightarrow}} G_{AB}=V_{AB}=64^{\circ}5'37''$$

$$tgV_{CD}=\left|\frac{\Delta x_{CD}}{\Delta y_{CD}}\right| \Rightarrow V_{CD}=79^{\circ}41'43'' \underset{\Delta y<0}{\overset{\Delta x>0}{\Rightarrow}} G_{CD}=180^{\circ}-V_{CD}=100^{\circ}18'17''$$

مطابق شکل زیر می توان نوشت:




$$\Delta=G_{CD}-G_{AB}=36^{\circ}12'41''$$

سوال ۲:

برای سرعت طرح 80 کیلومتر در ساعت طبق آئین نامه راههای ایران $\mu=0.14$ (ضریب اصطکاک) و برای مناطق با زمستان ملایم، $e=0.08$ (شیب عرضی، دور)می باشد. در نتیجه طبق رابطه زیر می توان مینیمم شعاع قوس دایره ساده را محاسبه نمود:

$$R_{\min}=\frac{V^2}{127.14(e+\mu)}=\frac{80^2}{127.14(0.08+0.14)}=228.81m$$

سوال ۳:

$$C=\sqrt{(x_{T_1}-x_{T_2})^2+(y_{T_1}-y_{T_2})^2}=806.23m$$

$$R=700m$$

$$C=2R\sin\frac{\Delta}{2} \Rightarrow \Delta=70^{\circ}19'21''$$

$$T=Rtg\frac{\Delta}{2}=493.09m$$

$$E=R(\frac{1}{\cos\frac{\Delta}{2}}-1)=156.23m$$

$$M=R(1-\cos\frac{\Delta}{2})=127.73m$$

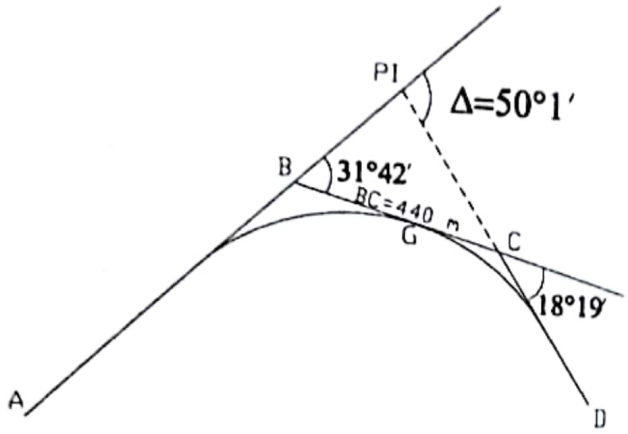
$$L=R\times\Delta^{\circ}\times\frac{\pi}{180}=859.15m$$

Scanned with CamScanner

سوال ۴:

$$e_r = \frac{l_1^2}{24R^2} = \frac{1}{10000} \Rightarrow \frac{l_1^2}{R^2} = \frac{1}{416.67} \Rightarrow \frac{l_1}{R} = \frac{1}{20.4} \Rightarrow \boxed{l_1 \cong \frac{1}{20} R}$$

سوال ۵:

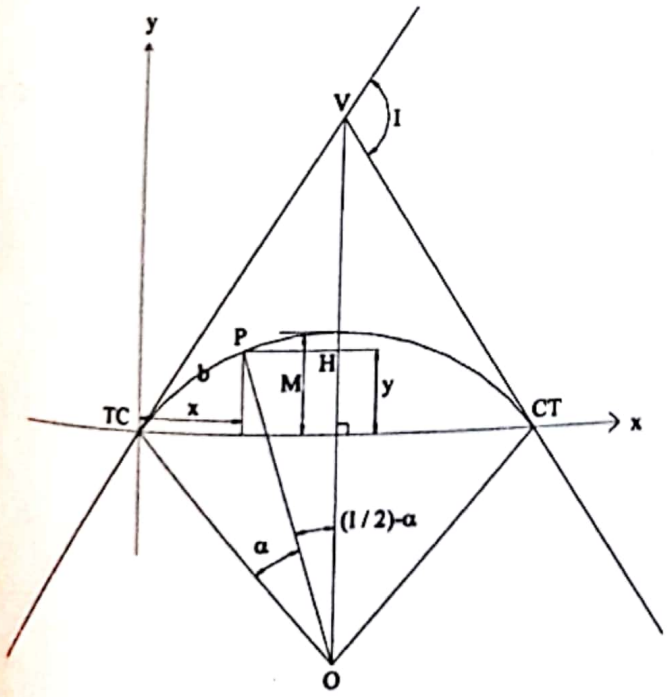



$$\begin{cases} BC = BG + GC = 440m \\ BG = Rtg(\frac{31^\circ 42'}{2}) \\ GC = Rtg(\frac{18^\circ 19'}{2}) \end{cases} \Rightarrow Rtg(\frac{31^\circ 42'}{2}) + Rtg(\frac{18^\circ 19'}{2}) = 440 \Rightarrow R = 988.47m$$

سوال ۶:

**قسمت الف-**

رابطه مستقل:




Scanned with CamScanner

## روش خط کمکی

- انتخاب دو نقطه M و N روی خطوط مستقیم بطوریکه به هم دید داشته باشند.
- مشاهده طول $a$ و زوایای $\alpha$ و $\beta$
- محاسبه زاویه $\Delta$ به صوت زیر:

$$\Delta PI.MN: \quad 180^\circ - \Delta + 180^\circ - \alpha + 180^\circ - \beta = 180^\circ \Rightarrow \Delta = 360^\circ - \alpha - \beta$$

- محاسبه $\overline{MPI.}$ و $\overline{NPI.}$ به صورت زیر:

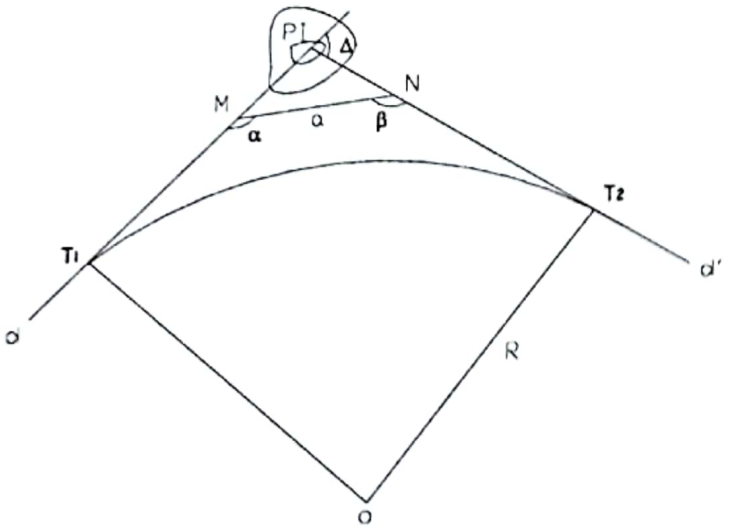
$$\Delta PI.MN: \frac{\sin(180^\circ - \beta)}{MPI.} = \frac{\sin(180^\circ - \Delta)}{a} \Rightarrow MPI. = a \times \frac{\sin\beta}{\sin\Delta}$$

$$\Delta PI.MN: \frac{\sin(180^\circ - \alpha)}{NPI.} = \frac{\sin(180^\circ - \Delta)}{a} \Rightarrow NPI. = a \times \frac{\sin\alpha}{\sin\Delta}$$

- استقرار تئودولیت در نقطه M و تعیین امتداد $\overline{MT_1}$
- مترکشی به اندازه $\overline{MPI.}$ - T تا نقطه $T_1$ روی زمین پیاده شود.

به همین ترتیب نقطه $T_2$ نیز روی زمین پیاده می شود.

- حال می توان قوس دایره ساده را به روش قطبی و یا توسط روشهای دیگر پیاده نمود.




شکل ۱۰-۱۰

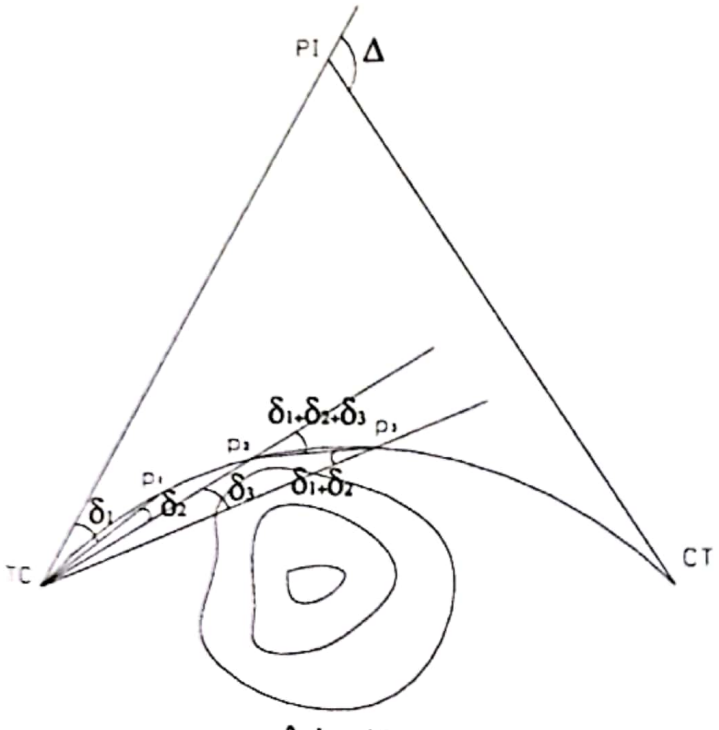
Scanned with CamScanner

## ۱۰-۱۲- مشکلات در پیاده نمودن قوسهای دایره ساده

### ۱۰-۱۲-۱- بین نقطه شروع و قسمتی از قوس مانع دید وجود داشته باشد

به عنوان مثال در شکل زیر نقاط $p_1$ و $p_2$ از نقطه شروع قوس دایره ساده قابل پیاده نمودن می باشند. اما به دلیل وجود مانع نقطه $p_3$ از نقطه شروع قابل پیاده نمودن نیست. حال برای پیاده کردن نقطه $p_3$ به صورت زیر عمل می کنیم:

- استقرار تئودولیت در نقطه TC (شروع قوس دایره ساده) و پیاده نمودن تمامی نقاطی که از نقطه TC قابل پیاده شدن هستند.
- تعویض ایستگاه استقرار از TC به آخرین نقطه پیاده شده از TC (نقطه $p_2$)
- قراولروی از نقطه $p_2$ به TC و بستن زاویه 180 درجه به زاویه یاب جهت مشخص نمودن امتداد $p_2$ TC.
- بستن زاویه $\delta_1 + \delta_2 + \delta_3$ به زاویه یاب و مترکشی به اندازه $b_3$ تا نقطه $p_3$ روی زمین پیاده شود.




شکل ۱۰-۹

### ۱۰-۱۲-۲- غیر قابل دسترس بودن نقطه راس قوس

به جهت پیاده کردن نقاط شروع و انتهای قوس و همچنین جهت قرائت $\Delta$ مشاهداتی به راس قوس نیاز خواهیم داشت. از روشهای که می توان مشکل غیرقابل دسترس بودن نقطه راس قوس را در پیاده کردن حل نمود عبارتند از: روش خط کمکی و روش پیمایش کمکی که هر دو روش در ذیل توضیح داده می شوند.[25]

Scanned with CamScanner

## روش پیمایش کمکی

روش پیمایش کمکی به صورت زیر خواهد بود:

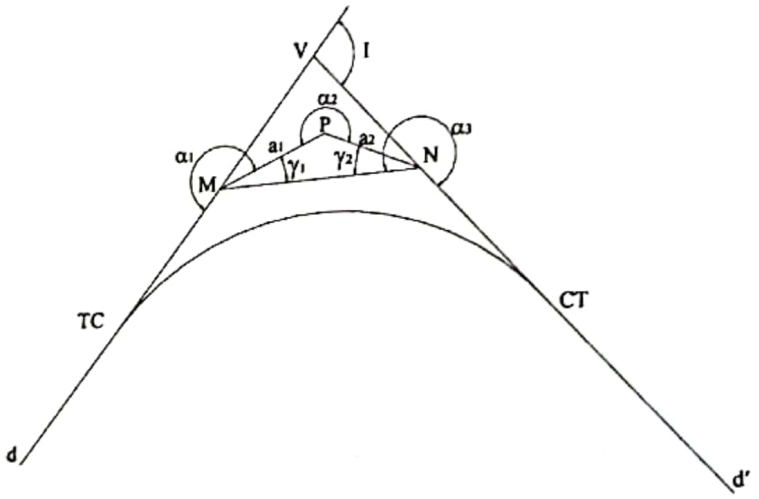
الف) انتخاب نقاط N,M روی خطوط $d', d$

ب) انتخاب یکسری نقاط (در اینجا یک نقطه به نام P در نظر گرفته شده است) به نحوی که دید به نقاط N,M را برقرار کنند.

پ) قرائت طولهای $a_2, a_1$

ت) قرائت زوایای $\alpha_3, \alpha_2, \alpha_1$

ث) محاسبه زوایای $\gamma_2, \gamma_1$




شکل ۱۰-۱۱

$$\gamma_1+\gamma_2+2\pi-\alpha_2=\pi \Rightarrow \gamma_1+\gamma_2=\alpha_2-\pi \Rightarrow \frac{\gamma_1+\gamma_2}{2}=\frac{\alpha_2-\pi}{2} \quad (1)$$

$$\frac{a_2}{a_1}=\frac{\sin\gamma_1}{\sin\gamma_2} \Rightarrow \frac{a_2-a_1}{a_2+a_1}=\frac{\sin\gamma_1-\sin\gamma_2}{\sin\gamma_1+\sin\gamma_2} \Rightarrow \frac{a_2-a_1}{a_2+a_1}=\frac{2\cos\frac{\gamma_1+\gamma_2}{2}\sin\frac{\gamma_1-\gamma_2}{2}}{2\cos\frac{\gamma_1-\gamma_2}{2}\sin\frac{\gamma_1+\gamma_2}{2}}$$

$$\frac{a_2-a_1}{a_2+a_1}=\cot g(\frac{\gamma_1+\gamma_2}{2})tg(\frac{\gamma_1-\gamma_2}{2}) \quad (2)$$

$$\overset{(1),(2)}{\Rightarrow} \frac{a_2-a_1}{a_2+a_1}=\cot g(\frac{\alpha_2-\pi}{2})tg(\frac{\gamma_1-\gamma_2}{2}) \Rightarrow tg(\frac{\gamma_1-\gamma_2}{2})=tg(\frac{\alpha_2-\pi}{2})(\frac{a_2-a_1}{a_2+a_1}) \quad (3)$$

حال می توان زوایای $\gamma_2, \gamma_1$ را مطابق روابط (1) و (3) محاسبه کرد.

چ) محاسبه MN

$$\frac{\sin\gamma_1}{a_2}=\frac{\sin(2\pi-\alpha_4)}{MN} \Rightarrow MN=\frac{\sin(2\pi-\alpha_4)}{\sin\gamma_1}\times a_2$$ قابل محاسبه

ح) حال مثلث $\Delta MNV$ قابل حل بوده و براساس آن NV,MV قابل محاسبه هستند.

$$\Delta VMN: \alpha_1-\pi+\gamma_1+\alpha_3-\pi+\gamma_2+\pi-I=\pi \Rightarrow I=$$ قابل محاسبه

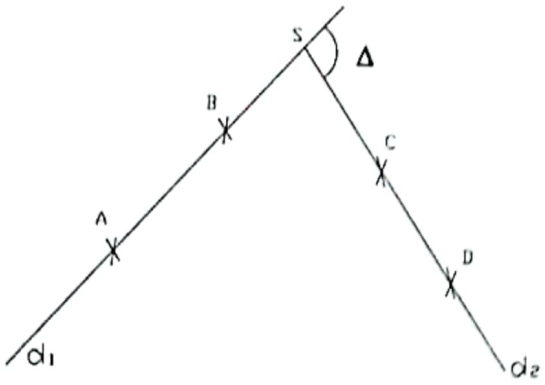
با محاسبه MN و I مساله به روش خط کمکی تبدیل می شود.

Scanned with CamScanner

## ۱۰-۱۳- سوالات بخش اول مسیر (قوس دایره ساده)

سوال۱: دو مسیر مستقیم $d_1$ و $d_2$ در نقطه s مطابق شکل زیر همدیگر را قطع کرده اند که مختصات چهار نقطه مطابق شکل زیر معلوم می باشند. مطلوبست محاسبه زاویه انحراف؟

A (450, 380)
B (800, 550)
C (1400, 400)
D (1950, 300)

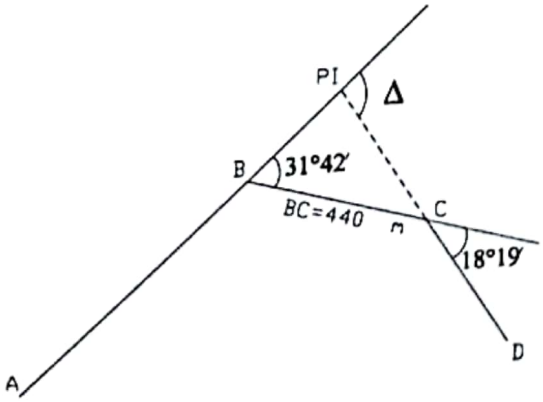



سوال۲: برای سرعت طرح 80 کیلومتر در ساعت، مینیمم شعاع قوس دایره ساده را برای مناطقی با زمستان ملایم طبق آئین نامه طرح هندسی راههای ایران محاسبه کنید؟

سوال۳: در یک قوس دایره، مختصات نقطه شروع (2000m, 2000m) و انتهای قوس (2800m, 2100m) باشد. مطلوبست محاسبه مشخصات اصلی قوس دایره ساده در صورتیکه شعاع قوس دایره ساده 700 m باشد؟

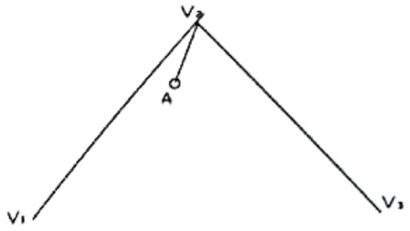
سوال۴: می خواهیم قسمتی از یک دایره را با دقت $\frac{1}{10000}$ پیاده کنیم. در صورتیکه بخواهیم از اختلاف طول وتر و طول قوس صرف نظر کنیم، طول وتر کوتاه را با چه نسبتی از شعاع باید اختیار نمود؟

سوال۵: یک کمان دایره در شکل زیر بر سه امتداد AB, BC, CD مماس کنید؟



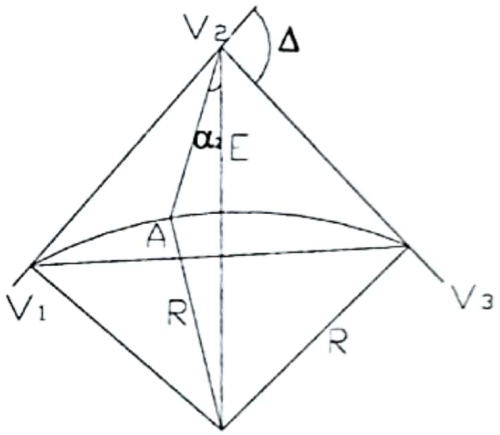

Scanned with CamScanner

مثال۷: هدف طراحی قوس ساده‌ای است که دو مسیر مستقیم $V_2V_3, V_1V_2$ را بهم متصل نماید بطوری که از یک نقطه اجباری به نام A با مشخصات $V_2A = 50m$ و $V_1\hat{V}_2A = 7°53'23''$ عبور کند. مطلوب است محاسبه شعاع قوس ساده (R) برحسب متر؟




$$V_1\begin{vmatrix}500.00\\1700.00\end{vmatrix},\quad V_2\begin{vmatrix}2000.00\\2000.00\end{vmatrix},\quad V_3\begin{vmatrix}3500.00\\1800.00\end{vmatrix}$$

مطابق شکل زیر می توان نوشت:




$$\begin{cases} G_{V_1V_2} = 78°\ 41'\ 24'' \\ G_{V_2V_3} = 97°\ 35'\ 41'' \end{cases} \Rightarrow \Delta = G_{V_2V_3} - G_{V_1V_2} = 18°54'17''$$

$$\alpha_2 = \frac{180° - \Delta}{2} - V_1\hat{V}_2A \Rightarrow \alpha_2 = 72°39'29''$$

$$R^2 = 50^2 + (R+E)^2 - 2\times 50\times(R+E)\cos 72°39'29'' \quad (1)$$

$$E = R\left(\frac{1}{\cos\frac{\Delta}{2}} - 1\right) \Rightarrow E = 0.01376R \quad (2)$$

(1),(2)

$$\Rightarrow R = 1000m$$

Scanned with CamScanner

(۲۵۷)

$$T = R\lg\frac{\Delta}{2} = 138.47m$$

$$L = R \times \Delta^\circ \times \frac{\pi}{180} = 259.46m$$

$$km_{T_2} = km_{T_1} + L = 00 + 291.37$$

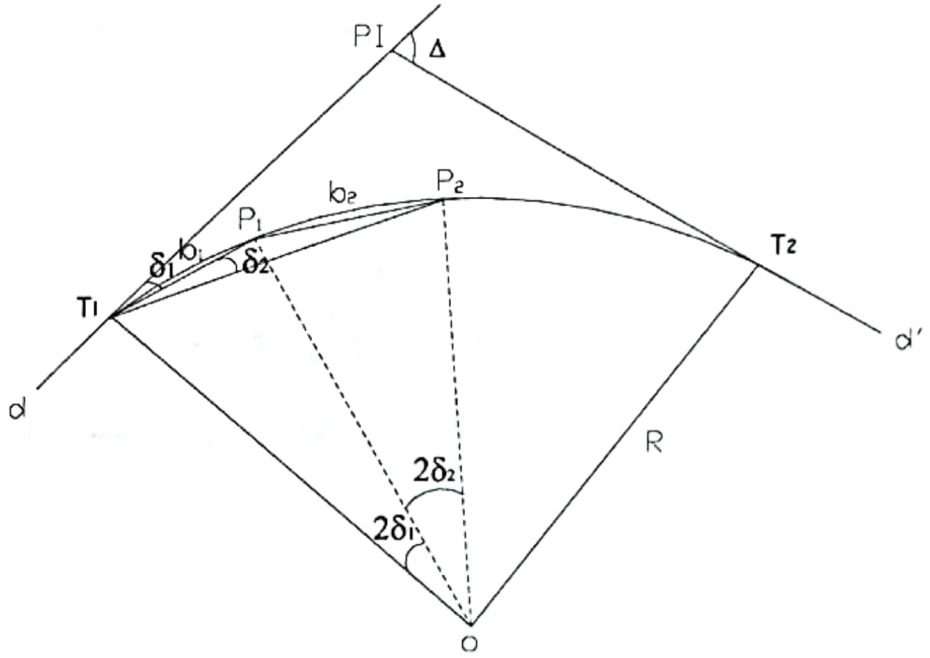
جدول پیاده کردن قوس دایره ای ساده

| شماره نقطه | کیلومتراژ مسیر | زاویه انحراف (درجه) | فاصله(متر) | زاویه دوربین(درجه) |
|---|---|---|---|---|
| ( TC ) 1 | 00+31.91 | 0 46 21 | 8.09 | 0 0 0 |
| 2 | 00+40 | 1 54 35.5 | 20 | 0 46 21 |
| 3 | 00+60 | 1 54 35.5 | 20 | 2 40 56.5 |
| 4 | 00+80 | 1 54 35.5 | 20 | 4 35 32 |
| 5 | 00+100 | 1 54 35.5 | 20 | 6 30 7.5 |
| 6 | 00+120 | 1 54 35.5 | 20 | 8 24 43 |
| 7 | 00+140 | 1 54 35.5 | 20 | 10 19 18.5 |
| 8 | 00+160 | 1 54 35.5 | 20 | 12 13 54 |
| 9 | 00+180 | 1 54 35.5 | 20 | 14 8 29.5 |
| 10 | 00+200 | 1 54 35.5 | 20 | 16 3 5 |
| 11 | 00+220 | 1 54 35.5 | 20 | 17 57 40.5 |
| 12 | 00+240 | 1 54 35.5 | 20 | 19 52 16 |
| 13 | 00+260 | 1 54 35.5 | 20 | 21 46 51.5 |
| 14 | 00+280 | 1 54 35.5 | 20 | 23 41 27 |
| ( CT) 15 | 00+291.37 | 1 5 10 | 11.37 | 24 46 37 |

Scanned with CamScanner

حال جدولی براساس $a$ و $\beta$ تنظیم کرده و تئودولیت را در نقطه PI مستقر و به نقطه $T_2$ قراولروی می کنیم و سپس زاویه $\frac{\pi-\Delta}{2}$ را به تئودولیت بسته تا امتداد PI.O. مشخص شود. حال زوایه $\beta$ را به تئودولیت بسته و به اندازه $a$ مترکشی می کنیم تا به نقطه p برسیم. بقیه نیز نقاط به همین ترتیب پیاده می شوند.

### ۱۰-۱۱-۳-۲- استقرار در نقطه شروع یا انتهای قوس




شکل ۱۰-۸

نحوه پیاده کردن قوس دایره ساده به روش قطبی و استقرار در نقطه شروع عبارتست از:

- استقرار تئودولیت در نقطه $T_1$ و قراولروی به PI
- انتخاب طول قوس کوتاه $b_1$ و محاسبه زاویه انحراف $\delta_1$ نسبت به امتداد $T_1PI$.

$$\delta_1 = \frac{b_1}{2R}$$

- بستن زاویه $\delta_1$ به تئودولیت و مترکشی به اندازه $b_1$
- انتخاب طول قوس کوتاه $b_2$ و محاسبه زاویه انحراف $\delta_2$ نسبت به امتداد $T_1PI$.

$$\delta_2 = \frac{b_2}{2R}$$

- بستن زاویه $\delta_1 + \delta_2$ به تئودولیت و مترکشی به اندازه $b_2$
- و به همین ترتیب تمامی نقاط قوس دایره ساده پیاده می شوند.

مثال۶: اگر شعاع قوس دایره ای 300m و زاویه انحراف مسیر $49°33'14''$ باشد مطلوبست تنظیم جدول پیاده کردن قوس دایره ساده به ازاء طول قوسهای 20 متری در صورتیکه کیلومتراژ شروع قوس دایره ساده 31.91+00 باشد؟

Scanned with CamScanner

- قراولروی دوربین مستقر در $T_1$ به $T_2$ و $T_2$ به $T_1$
- بستن زوایای $\alpha$ و $\beta$ به تئودولیت ها
- پیدا کردن نقاط توسط شخص ژالون به دست، به وسیله هدایت دو تئودولیت مستقر در نقاط $P_1$ و $P_2$.

مثال۵: اتصال دو خیابان به یکدیگر به وسیله قوسی به زاویه مرکزی $31^\circ 18'$ با روش دو قطبی مورد نظر است، اگر زاویه چرخش نقطه P روی قوس از ایستگاه BC (نقطه شروع) $10^\circ 45' 55''$ محاسبه شده باشد زاویه چرخش همین نقطه از ایستگاه EC (انتهای قوس) چقدر می باشد؟

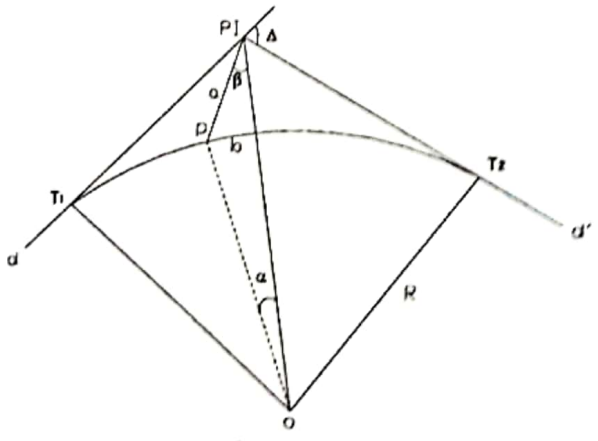
$$\Delta = 31^\circ 18', \quad \alpha = 10^\circ 45' 55''$$

$$2\alpha + 2\beta = \Delta \Rightarrow \beta = \frac{\Delta}{2} - \alpha = 4^\circ 53' 5''$$

$$\beta = 360^\circ - 4^\circ\ 53'\ 5'' = 355^\circ\ 6'\ 55''$$ قوس راست گراد

## ۱۰-۱۱-۳- روش مختصات قطبی (وتر و زاویه انحراف)

### ۱۰-۱۱-۳-۱- استقرار در راس قوس




شکل ۱۰-۷

نحوه پیاده کردن قوس دایره ساده به روش قطبی و استقرار در راس قوس عبارتست از:

- ابتدا طول قوس کوتاه b را انتخاب و براساس b ، زاویه $\alpha$ به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\alpha = \frac{b}{R}$$

- طول $a$ از رابطه زیر قابل محاسبه می باشد:

$$\Delta PI.PO : a^2 = R^2 + (E+R)^2 - 2R(E+R)\cos\alpha$$

- زاویه $\beta$ نیز از رابطه زیر قابل محاسبه می باشد:

$$\Delta PI.PO : \frac{\sin\beta}{R} = \frac{\sin\alpha}{a}$$

Scanned with CamScanner

## ۱۰-۱۰- مشخصات قوس دایره ای ساده

مشخصات قوس دایره ای ساده عبارتند از:

طول مماس[۶] (T): فاصله سومه تا شروع یا انتهای قوس را گویند.

$$tg\frac{\Delta}{2}=\frac{T}{R}\Rightarrow T=Rtg\frac{\Delta}{2}$$

طول قوس[۷](L): فاصله کمانی شروع قوس تا پایان قوس را گویند.

$$L=R\times\Delta^{rad}=R\times\Delta^{\circ}\times\frac{\pi}{180}=R\times\Delta^{grad}\times\frac{\pi}{200}$$

فاصله بیرونی[۸](E)(طول بیسکتریس): فاصله راس قوس تا وسط قوس را گویند.

$$\cos\frac{\Delta}{2}=\frac{R}{E+R}\Rightarrow E=R(\frac{1}{\cos\frac{\Delta}{2}}-1),\qquad E=Ttg\frac{\Delta}{4}$$

طول وتر[۹](C): فاصله مستقیم شروع قوس تا انتهای قوس را گویند.

$$\sin\frac{\Delta}{2}=\frac{\frac{C}{2}}{R}\Rightarrow C=2R\sin\frac{\Delta}{2}$$

فاصله میانی[۱۰](M): فاصله مستقیم نقطه وسط قوس تا وسط وتر را گویند.

$$\cos\frac{\Delta}{2}=\frac{R-M}{R}\Rightarrow M=R(1-\cos\frac{\Delta}{2})$$

کیلومتراژهای شروع، وسط و انتهای قوس:

$$km_{T_1}=km_{PI}-T$$

$$km_{P}=km_{T_1}+\frac{L}{2}$$

$$km_{T_2}=km_{T_1}+L$$

درجه قوس: بعضی مواقع از درجه قوس نیز به عنوان مشخصه اصلی قوس نام برده می‌شود و آن زاویه مرکزی است که طول قوس مقابل آن 30 متر باشد.

زاویه انحراف هر نقطه از قوس دایره نسبت به شروع قوس دایره ساده: زاویه انحراف به صورت مقابل محاسبه می شود:

$$\phi=\frac{l}{2R}$$

---

6 Tangent Distance
7 Curve Distance
8 External Distance
9 Long Chord
10 Middle Ordinate

Scanned with CamScanner

مثال۳: مشخصات اصلی قوس دایره را با معلوم بودن اطلاعات زیر محاسبه کنید؟

$(km_{PI} = 1+000.00, \Delta = 105°, R = 600m)$

$$T = R tg\frac{\Delta}{2} = 781.94m$$

$$M = R(1-\cos\frac{\Delta}{2}) = 234.74m$$

$$C = 2R\sin\frac{\Delta}{2} = 952.02m$$

$$L = R\times\Delta^{\circ}\times\frac{\pi}{180} = 1099.56m$$

$$E = R(\frac{1}{\cos\frac{\Delta}{2}}-1) = 385.61m$$

$$km_{T_1} = km_{PI} - T = 00+218.06$$

$$km_P = km_{T_1} + \frac{L}{2} = 00+767.84$$

$$km_{T_2} = km_{T_1} + L = 1+317.62$$

مثال۴: قوسی به شعاع 500 متر را می خواهیم در محل برخورد دو امتداد مستقیم جاده ای با کیلومتراژ 1+150.50 پیاده نمائیم. اگر زاویه مرکزی قوس 60 درجه باشد، کیلومتراژ نقطه پایان قوس چقدر می باشد؟

$$T = R\times tg\frac{\Delta}{2} = 500\times tg(\frac{60^{\circ}}{2}) = 288.67\ m$$

$$L = R\times\Delta^{rad} = 523.60\ m$$

$$KM_{T_1} = KM_{PI} - T = 1+150.50-288.67 = 0+861.82$$

$$KM_{T_2} = KM_{T_1} + L = 1+385.42$$

## ۱۰-۱۱- نحوه پیاده کردن قوس دایره ساده

به منظور دقیقتر نشان دادن یک کمان دایره روی زمین، علاوه بر نقاط اصلی (یعنی شروع، وسط و انتهای قوس) که هنگام پیاده کردن اسکلت قوس روی زمین مشخص می شوند، لازم است نقاط دیگری از قوس بر روی زمین مشخص و میخ کوبی شوند. جهت پیاده کردن نقاط اضافی روی قوس روشهای مختلفی متداول است که عبارتند از:[25]

۱- روش مختصات قائم الزاویه یا کارتزین (x, y)

الف- استقرار در یکی از نقاط شروع یا انتهای قوس (خط مماس در نقطه شروع قوس به عنوان محور x ها)

ب- استقرار در یکی از نقاط شروع یا انتهای قوس (امتداد وتر به عنوان محور x ها)

ج- استقرار در وسط وتر و وتر قوس به عنوان محور x ها

Scanned with CamScanner

۲- روش تقاطع

۳- روش مختصات قطبی (وتر و زاویه انحراف)

الف- استقرار در راس قوس

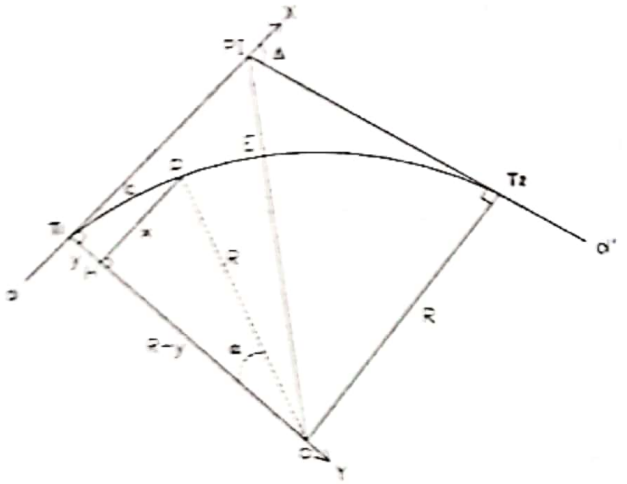
ب- استقرار در نقطه شروع یا انتهای قوس

در ذیل هر کدام از روشهای فوق به تفصیل بررسی خواهند شد

## ۱۰-۱۱-۱- روش مختصات قائم الزاویه یا کارتزین (x, y)

### الف- استقرار در یکی از نقاط شروع یا انتهای قوس (خط مماس در نقطه شروع قوس به عنوان محور x ها)[25]

روش اول: مطابق شکل زیر می توان نوشت:



شکل ۱۰-۵

$$\Delta HOp: Op^2 = PH^2 + OH^2 \Rightarrow x^2 + (R-y)^2 = R^2 \Rightarrow y = R \pm \sqrt{R^2 - x^2}$$

$$\overset{y<R}{\Rightarrow} y = R\left(1 - \sqrt{1-(\frac{x}{R})^2}\right) \overset{\text{طبق بسط دو جمله ای نیوتن}}{\Rightarrow} y = R\left(1-(1-\frac{x^2}{2R^2}\right) = \frac{x^2}{2R}$$

طرز تشکیل جدول پیاده کردن قوس دایره به صورت زیر می باشد

جدول ۱۰-۸

| شماره میخ | x | y |
|---|---|---|
| 1 | – | – |
| 2 | – | – |
| 3 | – | – |
| – | – | – |

نحوه پیاده کردن قوس دایره ساده به طور خلاصه عبارتست از:

- تهیه جدولی براساس x و y
- استقرار تئودولیت در نقطه TC و مترکشی به اندازه y و اخراج عمود به اندازه x

Scanned with CamScanner

روش دوم: روش طول قوس کوتاه b

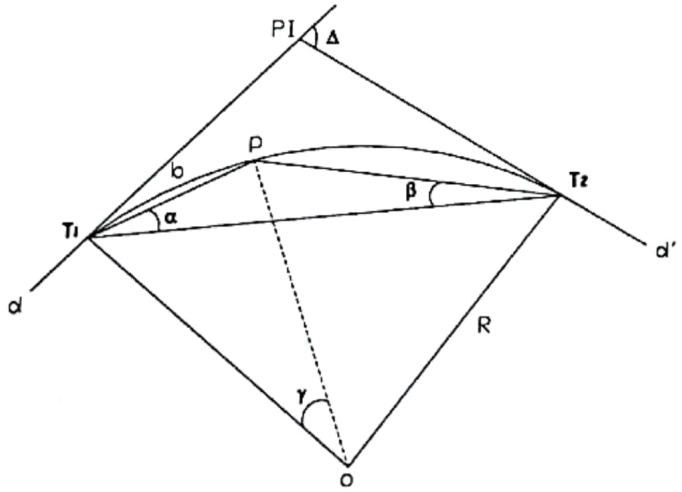
- انتخاب طول قوس b و محاسبه زاویه $\alpha = \frac{b}{R}$ (مطابق شکل ۱۰-۸)
- محاسبه x, y نقاط طبق روابط زیر

$$\sin\alpha = \frac{x}{R} \Rightarrow x = R\sin\alpha$$

$$\cos\alpha = \frac{R-y}{R} \Rightarrow y = R(1-\cos\alpha)$$

## ۱۰-۱۱-۲- روش تقاطع

جهت پیاده کردن نقطه p به روش تقاطع باید ابتدا زوایای $\alpha, \beta$ را جهت پیاده کردن طول قوس b روی زمین محاسبه کرده و سپس در نقاط $T_1$ و $T_2$ تئودولیتها را مستقر کرده و نقطه p را به روش تقاطع دو زاویه روی زمین پیاده می کنیم. (طبق شکل زیر) لازم به ذکر می باشد در این روش باید از $T_1$ و $T_2$ به تمام نقاطی که پیاده خواهیم کرد، باید دید داشته باشیم. ضمنا به سه اپراتور و دو دوربین جهت پیاده کردن نقاط نیاز داریم.




شکل ۱۰-۶

نحوه پیاده کردن قوس دایره ساده به روش تقاطع عبارتست از:

- به ازاء طول قوسهای b، $\beta$ به صورت زیر محاسبه می شود:

$$R\times\gamma = b \Rightarrow \gamma = \frac{b}{R}$$

$$\beta = \frac{\gamma}{2}$$

- $\alpha$ از روی زاویه $\beta$ به صورت زیر محاسبه می شود:

$$(2\alpha + 2\beta = \Delta \Rightarrow \alpha + \beta = \frac{\Delta}{2})$$

- جدولی براساس مقادیر زوایای $\alpha$ و $\beta$ تنظیم می شود.
- استقرار دو دستگاه تئودولیت در نقاط $T_1$ و $T_2$

Scanned with CamScanner

مثال۲: در قوس دایره ای ساده مورد استفاده در مسیر به شعاع 500 متر و زاویه انحراف $40^{\circ}$ اختلاف بین وتر و قوس برای فواصل 50 متر چند سانتی متر است؟

$$dl = \frac{l^3}{24R^2} = \frac{50^3}{24\times 500^2} = 0.02m = 2cm$$

## ۱۰-۹- قوس دایره ساده

همانطوریکه می دانیم دلیل انتخاب قوس دایره ساده آن است که منحنی اتصال دو مسیر مستقیم به گونه ای تعیین می شود که تغییر انحراف آن نسبت به طول قوس ثابت باشد. به عبارتی دیگر منحنی ای که شعاع انحنای آن در تمام طولش مقدار ثابتی است، دایره است. با معلوم بودن R و $\Delta$ می توان مشخصات قوس دایره ای ساده را بدست آورد. در ادامه تعاریف سومه، شروع قوس، انتهای قوس و زاویه انحراف مسیر بیان می شود.

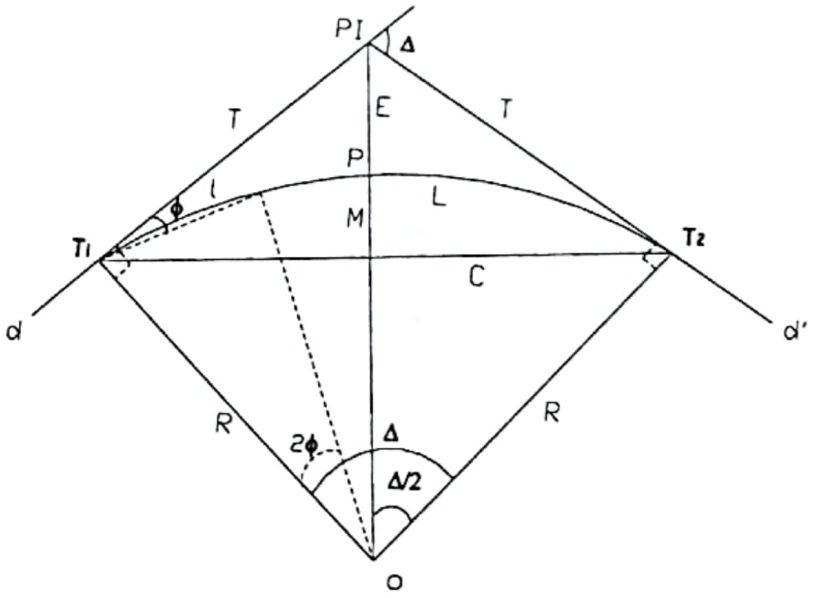
راس قوس[۲](سومه): به محل تقاطع دو مسیر مستقیم، راس قوس(سومه) گویند. ( V یا PI )

شروع قوس[۳]: محل تماس مسیر مستقیم ورودی با قوس دایره را گویند. ( $T_1$ یا TC )

انتهای قوس[۴]: محل تماس مسیر مستقیم خروجی با قوس دایره را گویند. ( $T_2$ یا CT )

نقطه وسط قوس: وسط کمان $T_1T_2$ را گویند. (نقطه P )

زاویه انحراف مسیر[۵]: مکمل زاویه بین دو خط مماس را گویند. ( I یا $\Delta$ )




شکل ۱۰-۴

2 Point of Intersection or Vertex
3 Tangent to Curve
4 Curve to Tangent
5 Intersection Angle

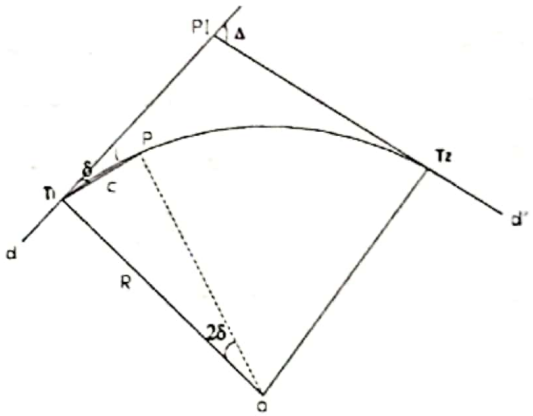
Scanned with CamScanner

- در طرف راست هر میخ معمولا یک کپه سنگ ریخته یا روی میخ ها را رنگ زده تا به راحتی پیدا شوند.[12]

شکل ۱۰-۷: حداکثر فاصله نقاط متوالی روی محور مسیرها به متر

| | حداکثر فاصله نقاط متوالی به متر | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | داخل قوسها | | | | مسیر مستقیم |
| | شعاع <۵۰ | ۱۰۰> شعاع > ۵۰ | ۳۰۰> شعاع > ۱۰۰ | شعاع >۳۰۰ | دشت و تپه ماهور | کوهستان |
| راه آهن | - | - | - | ۲۵ | ۵۰ | ۲۵ |
| بزرگراه | - | - | - | ۲۵ | ۵۰ | ۲۵ |
| جاده اصلی | - | ۱۵ | ۲۰ | ۲۵ | ۵۰ | ۲۵ |
| جاده فرعی | ۱۰ | ۱۵ | ۲۰ | ۲۵ | ۵۰ | ۲۵ |

## ۱۰-۸- دقت عملیات ناشی از تساوی گرفتن طول قوس و وتر نظیر آن




شکل ۱۰-۳

اختلاف طول قوس $\overset{\frown}{T_1P}$ $(l)$ با وتر $\overline{T_1P}$ $(c)$ برابر است با:

$$dl = l - C = l - 2R\sin\delta = l - 2R(\delta - \frac{\delta^3}{3!} + \frac{\delta^5}{5!} ...)$$

مقدار جملات $\frac{\delta^5}{5!} + ...$ ناچیز بوده، در نتیجه می توان نوشت:

$$dl \cong l - 2R(\delta - \frac{\delta^3}{6}) \quad (1)$$

$$l = 2R\delta \Rightarrow \delta = \frac{l}{2R} \quad (2)$$

می دانیم:

$$\overset{(1),(2)}{\Rightarrow} dl = l - 2R(\frac{l}{2R} - \frac{(\frac{l}{2R})^3}{6}) = \frac{l^3}{24R^2} \Rightarrow dl = \frac{l^3}{24R^2}$$

لذا دقت عملیات ناشی از تساوی گرفتن طول قوس و وتر نظیر آن به صورت زیر می باشد:

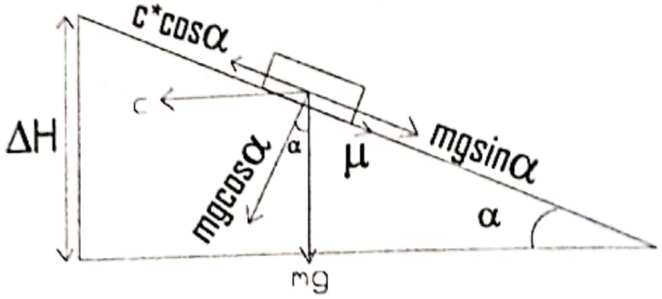
دقت نسبی $e_r = \frac{l^2}{24R^2}$

Scanned with CamScanner

## ۱۰-۴-۴- شیب عرضی در قوسها (دور)

دور، شیبی است که به منظور بهبود ایمنی (منظور مقابله با نیروی گریز از مرکز در قوسها و جلوگیری از واژگونی یا لغزش وسیله نقلیه) به قسمتهای قوسی راه می دهند و جهت این شیب به طرف مرکز قوس سرازیر است.

لازم به ذکر است جمع جبری نیروهای وارد به وسایل نقلیه جهت تعادل وسایل نقلیه در امتداد سطح شیب دار باید مساوی صفر بوده و همچنین نیروی اصطکاک برابر است با نیروی قائم بر سطح ضربدر ضریب اصطکاک. حال با توجه به مطالب ذکر شده و طبق شکل ۱۰-۱ می توان نوشت:




شکل ۱۰-۱

نیروی گریز از مرکز: $c = \frac{mv^2}{R}$ (1)

برآیند نیروها: $(2)\; c \times \cos\alpha - mg \times \sin\alpha - \mu mg \times \cos\alpha = 0$

$$\overset{(1),(2)}{\Rightarrow} \frac{mv^2}{R}\cos\alpha = mg \times \sin\alpha + \mu mg \times \cos\alpha$$

$$\overset{\div \cos\alpha}{\Rightarrow} \frac{mv^2}{R} = mg \times tg\alpha + \mu mg$$

$$\overset{\div mg}{\Rightarrow} \frac{v^2}{Rg} = tg\alpha + \mu$$

لازم به ذکر می باشد که $e = tg\alpha$، لذا می توان نوشت:

$$\frac{v^2}{Rg} = e + \mu$$

اگر v را برحسب کیلومتر بر ساعت در فرمول بالا قرار دهیم به رابطه زیر خواهیم رسید:

$$e = \frac{V^2}{127.14R} - \mu$$

و یا می توان نوشت:

$$R_{min} = \frac{V^2}{127.14(e+\mu)}$$

Scanned with CamScanner

ز- از قوس های قائم در محل عبور از رودخانه پرهیز شود.

ه- از میزان شیب طولی در قوس های افقی کوچک کاسته شود.

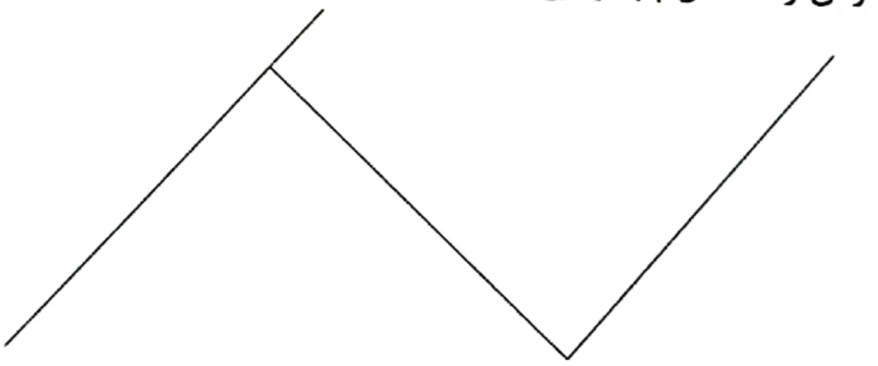
و- در نقاطی که احتمال یخبندان است باید حتی امکان مسیر از منطقه آفتابی عبور داده شود.

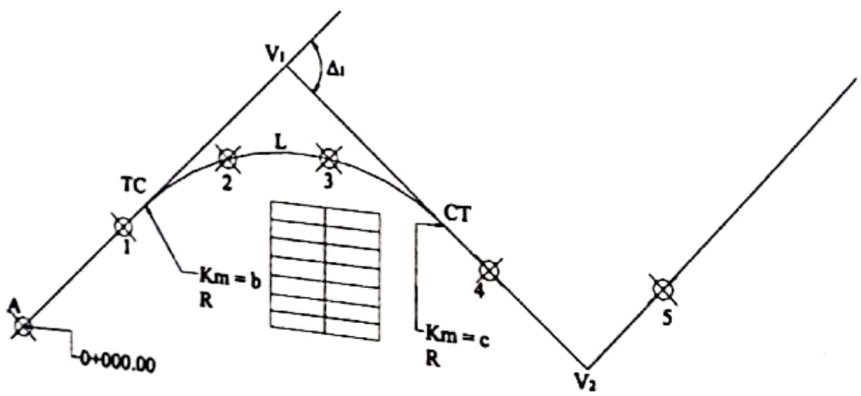
ن- قیمت زمینی که مسیر از آن عبور می نماید باید محاسبه شود.

ی- در کل بهتر است سه واریانت از مسیر انتخاب شود. بهترین واریانت، واریانتی خواهد بود که هزینه عملیات خاکی، تعداد ابنیه های فنی، طول مسیر، تعداد گردنه ها، گذرگاههای کوهستانی، شیبهای تند، بهمن گیر و دیوارهای حایل کمی داشته باشد. همچنین از زیبائی مسیر (نقاط دیدنی نظیر آبشار، دریاچه) خوبی برخوردار بوده و از مراکز آثار باستانی و مراکز صنعتی نیز عبور نماید.

طرح اولیه مسیر متشکل از یک سری خطوط مستقیم و شکسته می باشد. در صورتیکه طرح نهایی مسیر (اصطلاحا به آن پلان راه گویند) باید دارای خصوصیات زیر باشد:

- نقاط شروع و انتهای مسیر دارای کیلومتراژ باشد.
- نقاط شروع و انتهای قوسها مشخص و دارای کیلومتراژ باشد.
- مشخصات قوسها در یک جدول داخل قوس نوشته شود.
- محل کیلومترها و هکتومترها (۱۰۰ مترها) روی مسیر مشخص باشند.
- عرض راه، محل پلها و نوع پلها باید مشخص باشد.






طرح اولیه مسیر و طرح نهایی مسیر

Scanned with CamScanner

در طراحی پلان مسیر باید به نکات زیر توجه بیشتری مبذول شود:

- به غیر از مواقع ضروری از به کار بردن قوس با شعاع حداقل اجتناب گردد.
- حدامکان سعی شود شعاع قوسها زیاد باشد.
- تا حدامکان امتداد افقی مسیر با عوارض طبیعی زمین هماهنگی داشته باشد.
- در قوسهای مرکب از تغییر ناگهانی یک شعاع بسیار بزرگ به یک شعاع بسیار کوچک اجتناب گردد.
- هماهنگی لازم بین پلان و نیمرخ طولی راه برقرار باشد. به عنوان مثال از تلاقی قوس افقی و قائم باید اجتناب نمود.
- حدامکان بین دو قوس دایره از خط مستقیم یا قوس اتصال استفاده گردد.

## ۱۰-۶- تعاریف اولیه

☒ پیاده کردن مسیر: منظور از پیاده کردن مسیر میخ کوبی کل محور مسیر در امتداد افقی روی زمین می باشد.

☒ پیکه تاژ: به عمل میخ کوبی کردن مسیر، پیکه تاژ گویند.

☒ سومه: محل تقاطع دو مسیر مستقیم را سومه گویند.

## ۱۰-۷- نکاتی در مورد پیاده کردن مسیر

پس از پیاده کردن سومه ها و شروع و انتهای قوسها، عمل میخ کوبی کل مسیر شامل قسمتهای مستقیم و داخل قوسها طبق ضوابط زیر انجام می گیرد:

- دهنه مترکشی ها در قسمتهای مستقیم و قوسها طبق جدول۱۰-۷ در نظر گرفته می شوند.
- در امتداد محور مسیر، در محلهای که تغییر شیب وجود دارد، میخ اضافی کوبیده می شود.
- محل کلیه جوی ها، نهرها، برجستگی ها و بریدگی ها که در امتداد محور مسیر قرار دارند با میخ اضافی مشخص می گردند.
- در سر کیلومترها میخ اضافی به زمین کوبیده شود.
- طول میخ ها به حد کافی بزرگ باشد تا در زمین فرو رفته و از کنده شدن احتمالی توسط عابرین محفوظ بماند.
- میخ از جنس چوب محکم باشد و بیش از 2 سانتی متر آن نباید بیرون از سطح زمین باشد.
- شماره میخ ها و کیلومتراژ نقاط در کنار هر میخ نوشته شوند.

Scanned with CamScanner

در حقیقت مینیمم شعاع قوس دایره از رابطه بالا بدست می آید. که در آن $V$، سرعت طرح برحسب کیلومتر بر ساعت، $e$ شیب عرضی(دور) برحسب متر بر متر، R شعاع قوس دایره برحسب متر و $\mu$ ضریب اصطکاک جانبی لاستیک چرخ با سطح جاده می باشد.

جدول ۱۰-۵: ضرایب شیب عرضی (دور)

| شرایط جوی | e |
|---|---|
| مناطق با زمستان شدید | 0.06 |
| مناطق با زمستان ملایم | 0.08 |
| مناطق معتدل | 0.1 |
| مناطق گرمسیر | 0.12 |

مثال۱: شیب عرضی (دور) از مسیر راهی از دو درصد مثبت در کیلومتر 0+459.70 به پنج درصد مثبت در کیلومتر 0+491.09 می خواهد تغییر کند، شیب عرضی در کیلومتر 0+472.90 چند درصد است؟

$$\Delta L = 491.09 - 459.70 = 31.39m, \quad \Delta e = 3\%$$
$$\Delta L' = 472.90 - 459.70 = 13.2m, \quad \Delta e' = ?$$
$$\frac{\Delta L}{\Delta L'} = \frac{\Delta e}{\Delta e'} \Rightarrow \frac{31.35}{13.2} = \frac{0.03}{\Delta e'} \Rightarrow \Delta e' = 1.3\%$$

شیب عرضی (دور) در کیلومتراژ 0+472.90 برابر است با:

$$2 + 1.3 = 3.3\%$$

### ۱۰-۴-۵- مینیمم شعاع قوس دایره

مینیمم شعاع قوس دایره از رابطه $R_{min} = \frac{V^2}{127.14(e+\mu)}$ بدست می آید که در آن $V$ سرعت طرح برحسب کیلومتر بر ساعت، $e$ شیب عرضی(دور) ، R مینیمم شعاع قوس دایره برحسب متر و $\mu$ ضریب اصطکاک جانبی لاستیک چرخ با سطح جاده می باشد.[12]

جدول ۱۰-۶: ضریب اصطکاک جانبی

| سرعت طرح (کیلومتر بر ساعت) | μ ( مطابق آیین نامه طرح هندسی راههای ایران نشریه شماره ۱۶۱) |
|---|---|
| 30 | 0.17 |
| 40 | 0.17 |
| 50 | 0.16 |
| 60 | 0.16 |
| 70 | 0.14 |
| 80 | 0.14 |
| 90 | 0.13 |
| 100 | 0.12 |
| 110 | 0.11 |
| 120 | 0.09 |
| 130 | 0.08 |

Scanned with CamScanner

## ۱۰-۵- مشخصات هندسی یک مسیر راه

**الف- مبداء مسیر:**

به نقطه ای گفته می شود که کلیه اندازه گیریهای افقی نسبت به آن نقطه سنجیده می شوند.

**تعریف کیلومتراژ:**

فاصله افقی هر نقطه تا مبداء مسیر را گویند و آنرا به صورت $AB+CDE.FH$ نشان می دهند که در آن AB معرف کیلومتر، CDE معرف متر و FH معرف سانتی متر مسیر از نقطه شروع مسیر می باشند.

**ب- مولفه افقی مسیر:**

عبارتست از تصویر مسیر بر صفحه افقی xoy که به آن پلان مسیر نیز گویند. هدف از طراحی قوسهای افقی منحرف کردن وسایل متحرک از امتداد یک مسیر مستقیم به امتداد مسیر مستقیم دیگر تحت زاویه $\Delta$ (زاویه انحراف) است به گونه ای که حرکت وسیله نقلیه با سهولت و ایمنی همراه گردد.

اجزاء هندسی مولفه افقی مسیر عبارتند از:

- خط مستقیم
- قوس دایره ساده
- قوس دایره مرکب (مستقیم - معکوس)
- قوس سرپانتین
- قوس اتصال (کلوتوئید - سهمی درجه 3)

قوسهای افقی عموما به قوسهای با شعاع ثابت (مثل قوس دایره ساده) و قوسهای با شعاع متغیر (مثل قوس کلوتوئید) طبقه بندی می شوند.

نمونه های از ترکیب اجزاء هندسی در مولفه افقی مسیر عبارتند از:

- خط مستقیم – قوس دایره – خط مستقیم
- خط مستقیم – قوس دایره – قوس دایره – خط مستقیم
- خط مستقیم – قوس اتصال – قوس اتصال – خط مستقیم
- خط مستقیم – قوس اتصال – قوس دایره – قوس اتصال – خط مستقیم

**پ- مولفه قائم مسیر:**

عبارتست از تصویر مسیر بر صفحه قائم xoz که به آن نیمرخ طولی مسیر نیز گویند. اجزاء هندسی مولفه قائم مسیر عبارتند از:

- خط مستقیم

Scanned with CamScanner

- قوس سهمی درجه 2

هر دو امتداد مستقیم شیب دار توسط یک قوس سهمی درجه 2 به یکدیگر مرتبط می شوند.

**ت- مولفه نیمرخ عرضی مسیر:**

عبارتست از تصویر فواصل مشخصی از مسیر بر صفحه قائم (صفحه yoz). که در واقع عمود بر محور راه در فواصل مشخصی از مسیر می باشد.

به دلایل زیر در طراحی مسیر از خط مستقیم استفاده نمی شود:

- برای رانندگان مسیرهای مستقیم طولانی، خسته کننده است.
- در صورت استفاده صرف از خطوط مستقیم، حجم خاکبرداری و خاکریزی متعادل نخواهد بود.
- از مناظر طبیعی نمی توانیم استفاده بکنیم.
- برخورد با موانع صعب العبور
- مواجه با شیب های طولی غیر مجاز
- مسائل اقتصادی و غیره.

لذا ترکیب مناسب اجزاء و مشخصات هندسی یک مسیر، مسیری اقتصادی، راحت، ایمن، سریع و خوش منظر به همراه دارد.

نکاتی که در ترسیم خط پروژه باید مورد ملاحظه قرار گیرد، عبارتند از:

الف- باید از شیب های طولانی اجتناب نمود.

ب- از مسیر مستقیم طولانی نباید استفاده نمود. (به علت اینکه راه مستقیم خسته کننده، چراغ های ماشین های که از روبرو می آیند باعث اذیت چشم راننده، عبور نکردن از نقاط اجباری و مناطق دیدنی)

پ- خط پروژه از نقاط اجباری تعیین شده باید عبور کند.

ت- شیب پروفیل طولی نباید از حد مجاز تجاوز نماید. $(\frac{\Delta H}{D} \le i_{max})$

ث- حجم عملیات خاکی باید متعادل باشد.

چ- سطوح زیر خط پروژه نمودار خاکریز و سطوح بالای خط پروژه نمودار خاکبرداری می باشد.

ح- در زمین های مسطح خط پروژه باید از سطح زمین بالاتر گرفته شود.

خ- در زمین های مسطح حداقل شیب طولی رعایت شود.

د- قوس های افقی و قائم با همدیگر تداخل نداشته باشند.

ر- قوس های قائم بر مبنای مسافت دید طراحی شوند.

Scanned with CamScanner

جدول ۱۰-۲: گروه بندی سرعت طرح

| نام گروه | سرعت طرح (کیلومتر بر ساعت) | | |
|---|---|---|---|
| | حداقل | متوسط | حداکثر |
| V1 | 30 | 40 | 50 |
| V2 | 60 | 70 | 80 |
| V3 | 80 | 90 | 100 |
| V4 | 110 | 110 | 110 |
| V5 | 130 | 130 | 130 |

## ۱۰-۴-۲- عرض سواره رو راه

عرض سواره رو راه، سطح نهایی روسازی است که به منظور حرکت وسایل نقلیه بکار می رود. مقادیر ارائه شده در جدول زیر عرض سواره رو در قسمت مستقیم مسیر مورد نظر بوده و در قوسها باید اضافه عرض محاسبه و به مقادیر جدول اضافه شود.[12]

جدول ۱۰-۳: عرض سواره رو با توجه به نوع راه

| ردیف | نوع راه | عرض سواره رو به متر |
|---|---|---|
| 1 | آزاد راه، بزرگراه و راه اصلی درجه یک | 3.65 |
| 2 | راه اصلی درجه دو | 3.5 |
| 3 | راه فرعی درجه یک | 3.25 |
| 4 | راه فرعی درجه دو | 2.75 |
| 5 | آزاد راه، بزرگراه در سربالائی(خط ویژه وسائل نقلیه سنگین) | 3.65 |
| 6 | راه اصلی در سربالائی (خط ویژه وسائل نقلیه سنگین) | 3.25 |
| 7 | عرض خط کمکی و خط ویژه گردش به چپ | 3.25 تا 3.65 |

## ۱۰-۴-۳- شیب طولی مسیر یا خط پروژه

شیب طولی مسیر، در واقع شیب سطح تمام شده راه در امتداد مسیر می باشد. حداکثر مقادیر شیب طولی مجاز از جدول زیر بدست می آید:[12]

جدول ۱۰-۴: حدکثر شیب طولی راه اصلی

| نوع منطقه | سرعت طرح (کیلومتر بر ساعت) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 60و کمتر | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 |
| | حداکثر شیب طولی (درصد) | | | | | |
| هموار | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| تپه ماهور | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 |
| کوهستانی | 8 و 7 | 6 | 6 | 6 | - | - |

## ۱۰-۳- درجه بندی راهها

آزاد راه: راهی است که مسیرهای رفت و برگشت در آن از هم جدا شده باشند و دارای شرایط زیر باشد:

- بدون تقاطع هم سطح،
- بدون دسترسی از حاشیه و
- ممنوعیت عبور نقلیه غیر موتوری.

بزرگراه: مانند آزاد راه، با این تفاوت که تقاطع هم سطح و دسترسی از حاشیه دارد.

راه اصلی: راهی برای عبور وسایل نقلیه موتوری و به ندرت وسایل نقلیه غیر موتوری و پیاده در نظر گرفته می شود و جزیی از شبکه سراسری و ملی راهها است.

راه فرعی: ارتباط مراکز جمعیت و تولید داخلی یک منطقه را برقرار می کند.

راه روستایی: جهت تامین ارتباط کاملا محلی بین روستاها و یا اتصال روستاها به راههای فرعی و احتمالا اصلی بکار می روند.[12]

## ۱۰-۴- مشخصات فنی راهها

منظور از مشخصات فنی راه کلیه ضوابط و دستور العمل هائی است که باید در طرح هندسی مسیر مد نظر قرار گیرند.

### ۱۰-۴-۱- سرعت طرح

سرعت طرح، حداکثر سرعتی است که یک وسیله نقلیه سالم بدون در نظر گرفتن شرایط جوی نامساعد بتواند بدون اینکه مشکلی برای آن ایجاد شود، اتخاذ نماید. به عبارت دیگر سرعت طرح سرعتی است که به جهت تعیین حداقل مشخصات مربوط به طرح هندسی از جمله قوس ها و فواصل دید انتخاب می شوند و همچنین براساس عوامل مختلفی از جمله طبقه بندی راه، ملاحظات اقتصادی، حجم ترافیک و غیره انتخاب می شوند.[12]

جدول ۱۰-۱: گروه سرعت طرح برای درجه بندی راه

| درجه بندی راه | طبقه بندی راه | | |
|---|---|---|---|
| | کوهستانی | تپه ماهور | هموار |
| آزاد راه | V3 | V4 | V5 |
| بزرگراه | V3 | V4 | V4 |
| راه های اصلی | V2 | V3 | V4 |
| راه های فرعی | V1 | V2 | V3 |

Scanned with CamScanner

- انتخاب مسیرهای مختلف بین مبداء و مقصد طرح روی نقشه ها و عکسهایی هوایی جمع آوری شده و اعزام گروههای مختلف کارشناسی به منطقه جهت بررسی مسیرهای انتخاب شده و تهیه گزارش
- انتخاب یکی از مسیرهای پیشنهادی با توجه به گزارشات کارشناسی تهیه شده و همچنین پیشنهادات و نظرات کارفرما

ب) مطالعات فاز دوم شامل:

- تهیه نقشه توپوگرافی (با مقیاس عموما $\frac{1}{1000}$ یا $\frac{1}{2000}$) در باند مشخصی با توجه به نوع راه
- مشخص نمودن دقیق شروع و انتهای مسیر بر روی نقشه مذکور
- طراحی مسیر راه با توجه به مشخصات فنی راهها

ج) مطالعات فاز سوم شامل:

- پیاده کردن مولفه افقی مسیر (پلان)
- ترسیم نیمرخ های طولی مسیر و انتخاب خط پروژه طولی
- ترسیم نیمرخ های عرضی مسیر و تعیین مشخصات پروفیل تیپ عرضی
- محاسبه حجم عملیات خاکی شامل خاکبرداری و خاکریزی
- برآورد هزینه احداث راه
- اجرای عملیات راهسازی

## ۱۰-۲- هدف از طبقه بندی راهها

هدف از طبقه بندی راهها عبارت است از:[12]

- مشخص نمودن راههائیکه از یک مشخصات فنی خاصی تبعیت می کنند.
- به وجود آوردن الگوهای مشخص برای کلیه دستگاههای اجرایی.
- هم طبقه نمودن مسیرهای مختلف جهت نگهداری و مراقبت.
- تخصیص منابع مالی برای مدیران و مسولین.

در طراحی مسیر راه باید توجه داشت که راهها براساس موقعیت توپوگرافی منطقه به راههای هموار، تپه ماهور، کوهستانی تقسیم می گردند. همچنین راهها براساس درجه به راههای آزادراه، بزرگراه، راه اصلی، راه فرعی و راه روستائی تقسیم بندی می شوند.

Scanned with CamScanner

## ۱۰-۱- مقدمه ای بر نقشه برداری مسیر[۱]

برای طراحی و پیاده سازی یک مسیر لازم است که نقشه توپوگرافی محور مسیر را بسته به نوع راه در باند 100 الی 600 متر در مقیاس $\frac{1}{1000}$ یا $\frac{1}{2000}$ تهیه شود. تهیه این نقشه بسته به وسعت منطقه یا از طریق عملیات نقشه برداری زمینی و یا ترکیبی از عملیات نقشه برداری و فتوگرامتری انجام می پذیرد. فاصله منحنی های اصلی در مقیاس $\frac{1}{1000}$ یک متر به یک متر و در مقیاس $\frac{1}{2000}$ دو متر به دو متر می باشد. هدف از تهیه نقشه توپوگرافی عبارتست از: مشخص شدن شکل توپوگرافی اطراف محور مسیر، طراحی مسیر با توجه به مشخصات فنی راه روی نقشه توپوگرافی، ترسیم پروفیل های طولی و عرضی مسیر از منحنی های میزان، پیاده کردن نقاط سومه و ابتدا و انتهای قوس ها، تعیین حجم عملیات خاکریزی و خاکبرداری.[26]

مراحل اساسی احداث مسیر عبارتند از:

- مطالعات اولیه و طرح مقدماتی مسیر
- تهیه نقشه توپوگرافی منطقه (با مقیاس عموما $\frac{1}{1000}$ یا $\frac{1}{2000}$)
- طراحی مسیر روی نقشه توپوگرافی با توجه به مشخصات فنی راهها (این مشخصات در آئین نامه طرح هندسی راههای ایران موجود هستند)
- پیاده کردن مسیر
- ترسیم نیمرخ طولی مسیر و انتخاب خط پروژه طولی
- ترسیم نیمرخ های عرضی مسیر و تعیین مشخصات پروفیل تیپ عرضی
- محاسبه حجم عملیات خاکبرداری و خاکریزی
- برآورد هزینه احداث راه
- اجرای عملیات راهسازی

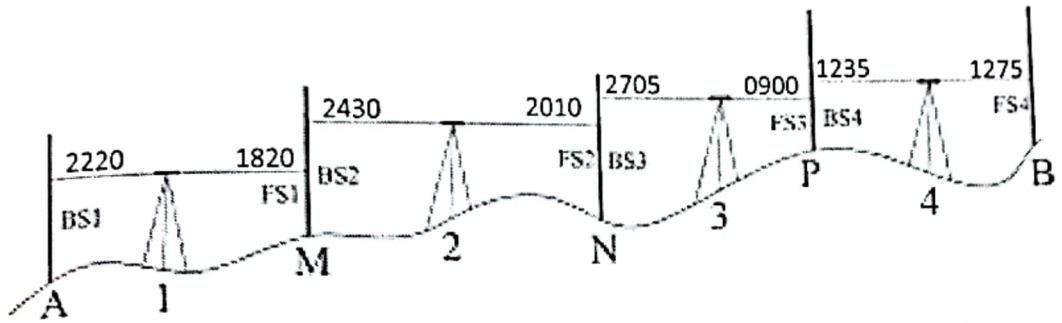
و به بیان دیگر اگر بخواهیم مراحل احداث مسیر را به صورت کلی تر بیان نماییم. مراحل نه گانه فوق در سه فاز زیر دسته بندی می شوند:

الف) مطالعات فاز اول شامل:

- جمع آوری هر گونه اطلاعات، نقشه، عکس هوایی و غیره موجود از منطقه
- بازدید از منطقه طرح و جمع آوری اطلاعات مورد نیاز

Scanned with CamScanner

**مثال:** بین دو نقطه A و B طبق شکل زیر ترازیابی خطی انجام شده است .ارتفاع نقطه A برابر ۱۰۰می باشد . مطلوبست تکمیل جدول ترازیابی و محاسبه ارتفاع نقطه B.




| نام نقطه | دید عقب | دید جلو | اختلاف ارتفاع به میلی متر | ارتفاع به متر |
|---|---|---|---|---|
| A | BS1 | | | 100 |
| M | BS2 | FS1 | | |
| N | BS3 | FS2 | | |
| P | BS4 | FS3 | | |
| B | | FS4 | | |

حال با توجه به قرائت های زیر ، جدول را تکمیل و ارتفاع نقطه B را محاسبه میکنیم.

| نام نقطه | دید عقب | دید جلو | اختلاف ارتفاع به میلی متر | ارتفاع به متر |
|---|---|---|---|---|
| A | 2220 | | | **100** |
| M | 2430 | 1820 | 400÷ 1000 = 0.40 | 100+0.40= **100.40** |
| N | 2705 | 2010 | 420÷ 1000 = 0.42 | 100.40+0.42= **100.82** |
| P | 1235 | 0900 | 1805÷ 1000 = 1.805 | 100.82+1.805= **102.625** |
| B | | 1275 | -40÷ 1000 = −0.040 | 102.625-0.04= **102.585** |



Scanned with CamScanner

با توجه به تکمیل جدول و محاسبه ارتفاع نقطه B میتوانیم درستی محاسبات خود را بروش زیر کنترل نماییم. برای اطمینان از محاسبات جدول ترازیابی ، رابطه زیر باید برقرار باشد.

اختلاف ارتفاع نقطه ابتدا و انتها = مجموع دید جلو – مجموع دید عقب

(2220+2430+2705+1235)-(1820+2010+0900+1275)=2585mm

8590-6005=2585

با توجه به برقراری تساوی بالا ، مشخص میگردد که تکمیل جدول به درستی صورت گرفته است.

## ترازیابی شعاعی

ترازیابی شعاعی در اجرا خیلی کاربرد دارد. برای مثال برای دادن کد ارتفاعی به فونداسیون یک ساختمان در حال احداث از این نوع ترازیابی استفاده میشود و نیازی به جابجایی دوربین نمیباشد. در حالت ترازیابی اگر در یک ایستگاه بیشتر از ۲ نقطه قرائت شود، نوعی ترازیابی شعاعی میباشد و غیر از دو قرائت عقب و جلو ، مابقی قرائت ها در ستون دید میانی نوشته میشود.

## ۴-۵ شیب و شیب درصد

### مفهوم شیب

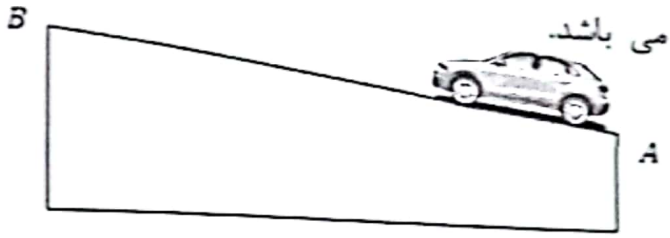
اگر نقطه A نسبت به نقطه B دارای اختلاف ارتفاع باشد ، در این صورت میگوئیم بین دو نقطه AB شیب موجود است.اگر دو نقطه دارای ارتفاع یکسان باشددراین صورت شیب موجود نبوده وبرابر صفر است. شیب میتواند منفی یا مثبت باشد.



Scanned with CamScanner

**شیب مثبت**

شیب ۲ نقطه زمانی مثبت است که ارتفاع نقطه ی مبداء کمتر از نقطه مقصد باشد. مانند AB که ارتفاع A پائین تراز B می باشد.




شکل (۱۵-۵)

**شیب منفی**

شیب ۲ نقطه موقعی منفی است که ارتفاع نقطه ی مبداء بیشتر از نقطه مقصد باشد مانند AB که ارتفاع A بیشتر از B می باشد.

شکل (۱۶-۵)

طریقه محاسبه شیب بین دو نقطه: برای محاسبه شیب بین دو نقطه از رابطه زیر استفاده می کنیم.

$$\propto ab = \frac{\Delta Hab}{L} \qquad \Delta Hab = Hb - Ha$$

*در این رابطه اختلاف ارتفاع دو نقطه $\Delta H$ می باشد . وفاصله بین دو نقطه را* L *می گوئیم. درصورت مثبت بودن علامت $\Delta H$ . شیب* AB *مثبت ودرصورت منفی بودن علامت $\Delta H$ شیب بین دو نقطه* A *و* B *منفی می باشد.*



Scanned with CamScanner

نکته : اگر شیب دو نقطه $AB$ مثبت باشد، در اینصورت شیب نقطه $BA$ منفی و برعکس اگر شیب نقطه $AB$ منفی باشد شیب نقطه $BA$ مثبت خواهد بود .

**شیب درصد**

برای پیدا کردن شیب درصد از رابطه زیراستفاده می کنیم.

(شیب) محاسبه شده را ضربدر ۱۰۰ می کنیم.

$$\text{شیب درصد} = \frac{\Delta H}{L} \times ۱۰۰$$

**مثال)** اگر ارتفاع نقطه A برابر ۱۰۰ متر و ارتفاع نقطه B برابر ۱۰۲ متر باشد، با فرض طول افقی AB=100m شیب AB چند درصد است؟

$$\text{شیب درصد} = \frac{102-100}{50} \times ۱۰۰ = \frac{2}{50} = 0.04 \times 100 = \%4$$

معنی ۴٪ درصد این است که به ازای ۱۰۰ متر طول افقی ارتفاع نقطه B نسبت به نقطه A ۴+ مترافزایش می یابد.

**مثال)** اگر ارتفاع نقطه A برابر ۱۵۸ متر و ارتفاع نقطه B برابر ۱۷۰ متر باشد وطول افقی بین دو نقطه برابر ۸۵ متر باشد. شیب درصد بین دو نقطه چند است؟

$$\text{شیب درصد} = \frac{170-158}{85} \times ۱۰۰ = \frac{12}{80} = 0.025 \times 100 = \%2.5$$

**مثال)**اگر ارتفاع نقطه A برابر ۱۰۵ متر وارتفاع نقطه B برابر۱۳۵ متر باشد وطول افقی بین دو نقطه برابر با ۱۱۹ متر باشد شیب درصدبین دو نقطه را به دست آورید؟



Scanned with CamScanner