



درس طرح هندسی راه پیشرفته

فرید اسماعیلی

Farid_63@yahoo.com

www.faridesm.ir

تماس با استاد از طریق پست الکترونیکی
مشاهده اطلاعیه ها، نمرات، دریافت فایل ها در وب سایت

به طوری که می دانیم ساده ترین کمانی که دو مسیر مستقیم را به یکدیگر متصل می سازد کمانی از قوس دایره است و چنانچه وسیله نقلیه بخواهد از مسیر مستقیم وارد کمان دایره بشود، در هنگام رسیدن به ابتدای قوس و یا هنگام خروج از قوس به مسیر مستقیم (در نقطه انتهای قوس) دچار یک تغییر ناگهانی خواهد گشت. که این تغییر ناگهانی در اثر نیروی گریز از مرکز که دفعتهاً به وسیله نقلیه در شروع قوس وارد می آید و تمایل به واژگونی وسیله نقلیه به بیرون از قوس را دارد، می باشد

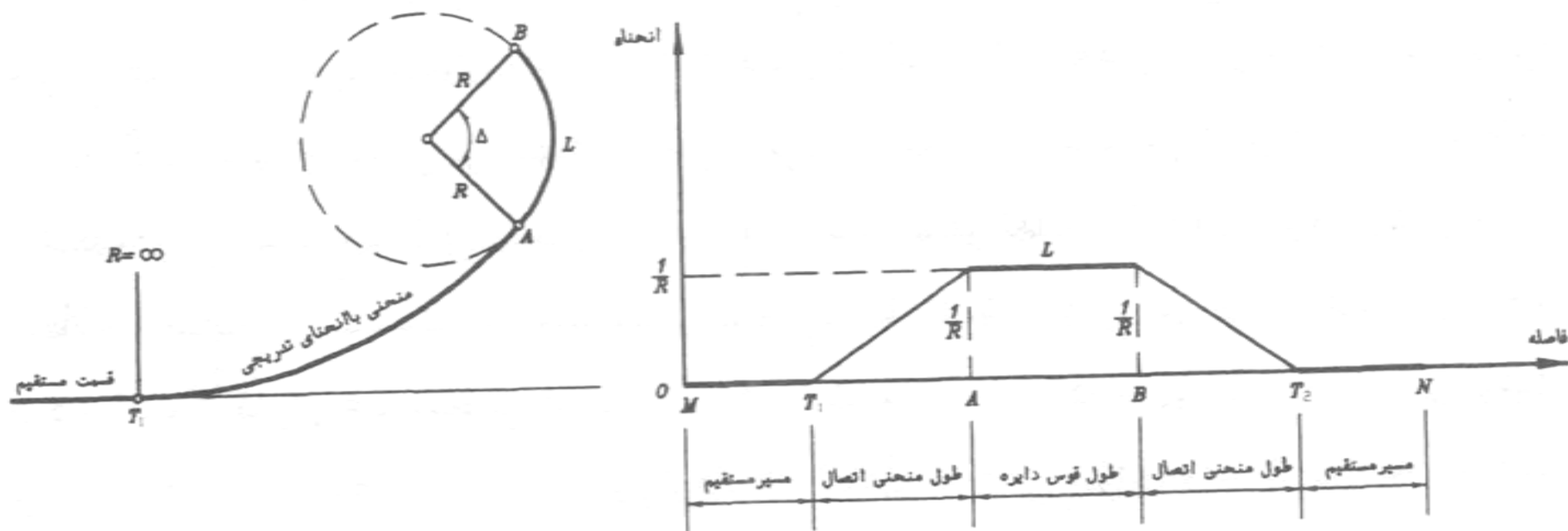
بنابراین به دلیل ایجاد این تغییر ناگهانی در شروع قوس می بایست از سرعت وسیله نقلیه کاست و در آزادراهها که سرعت طرح بالا می باشد و وسیله نقلیه با سرعت زیادی در حال حرکت است این تغییر ناگهانی باعث انحراف وسیله نقلیه و نهایتاً خارج شدن و واژگونی از مسیر می گردد. که برای مقابله با این نیرو از شیب عرضی یکسره (بر بلندی) در قوس استفاده می گردد. از طرفی مقدار بر بلندی برای قسمت مستقیم جاده که شعاع آن $R = \infty$ می باشد برابر صفر و در قوس به شعاع R برابر e می باشد. بنابراین امکان ایجاد بر بلندی e در محل تماس قسمت مستقیم با دایره با اشکال مواجه می گردد.

با توجه به تغییر ناگهانی ایجاد شده در شروع یا انتهای قوس، لازم است که مقدار بر بلندی را در یک منطقه واسطه بین قوس دایره و قسمت مستقیم اعمال نمود. بدین ترتیب که مقدار بر بلندی را در طول منطقه واسطه از صفر تا میزان e به تدریج اعمال نموده تا در شروع قوس دایره بر بلندی راه برابر e گردد و در ادامه کار مقدار e در طول قوس دایره ثابت نگهداشته و سپس از انتهای قوس دایره در منطقه واسطه دیگری که قرینه منطقه واسطه اولی است میزان بر بلندی به تدریج از e به صفر تقلیل داده می شود. چنانچه این منطقه واسطه در قسمت مستقیم مسیر بوجود آید با اشکالاتی در جاده همراه خواهد بود و اصولاً کاری غیر منطقی است. زیرا قسمت مستقیم جاده باید بدون بر بلندی باشد و شیب عرضی نامطلوب باعث می گردد که تعادل عرضی برای وسیله نقلیه به هم خورده و وسیله نقلیه را با خطراتی مواجه سازد.

جهت اعمال تدریجی

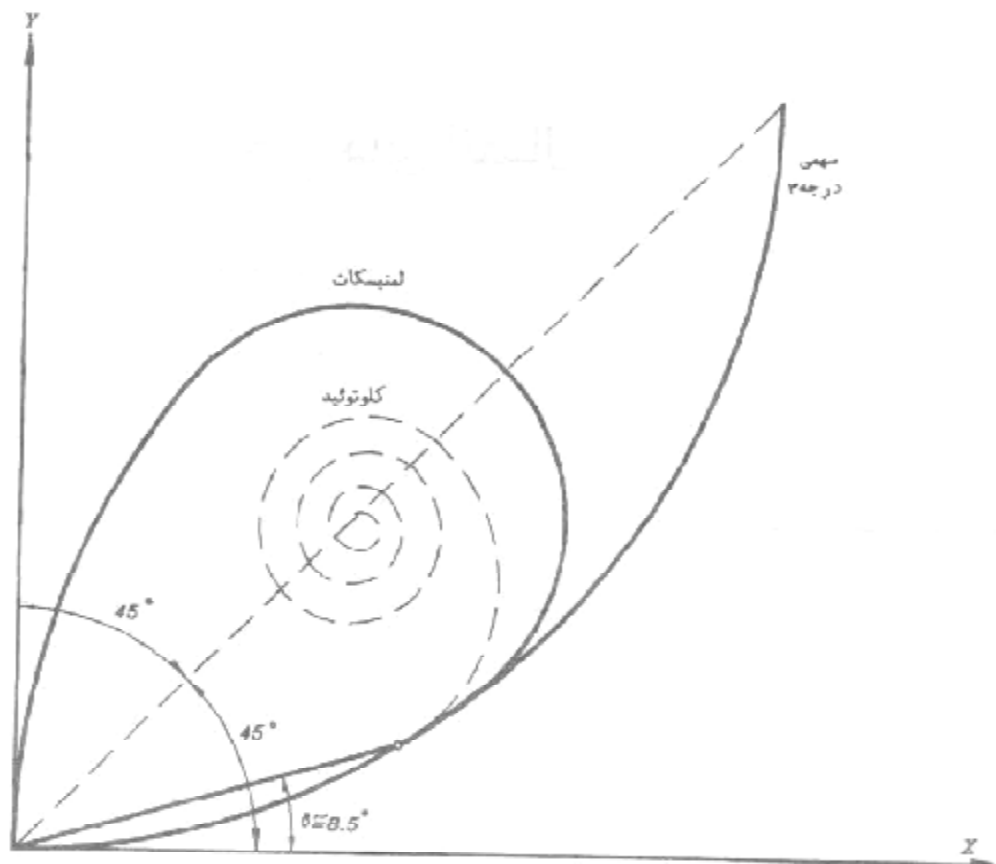
مقدار بر بلندی از صفر تا e از منحنی های با انحنا ی تدریجی به جای قسمت واسطه بین مسیر مستقیم و قوس دایره استفاده می کنند. در نتیجه می بایست منحنی ای مورد استفاده قرار داد که انحنا ی آن در نقطه تماس با خط مستقیم برابر صفر ($\frac{1}{R} = 0$) و در نقطه تماس با قوس دایره به شعاع R ، مقدار انحنا برابر $\frac{1}{R}$ باشد.

در شکل بین مسیر مستقیم و قوس دایره از یک منحنی اتصال با انحنا ی تدریجی استفاده شده است به طوریکه در قسمت مستقیم انحنا صفر و شعاع بی نهایت است و هنگام ورود به منحنی اتصال (در نقطه T_1) انحنا در طول L به تدریج افزایش یافته تا اینکه در شروع قوس دایره (نقطه A) مقدار انحنا برابر $\frac{1}{R}$ شده و در طی طول قوس دایره مقدار انحنا ثابت و مجدداً از پایان قوس مقدار انحنا از $\frac{1}{R}$ به تدریج کاهش یافته تا به نقطه پایان منحنی اتصال تدریجی برسیم



خواص گفته شده برای منحنی اتصال در قسمتی از برخی منحنی ها موجود می باشد که مهمترین آنها عبارتند از:

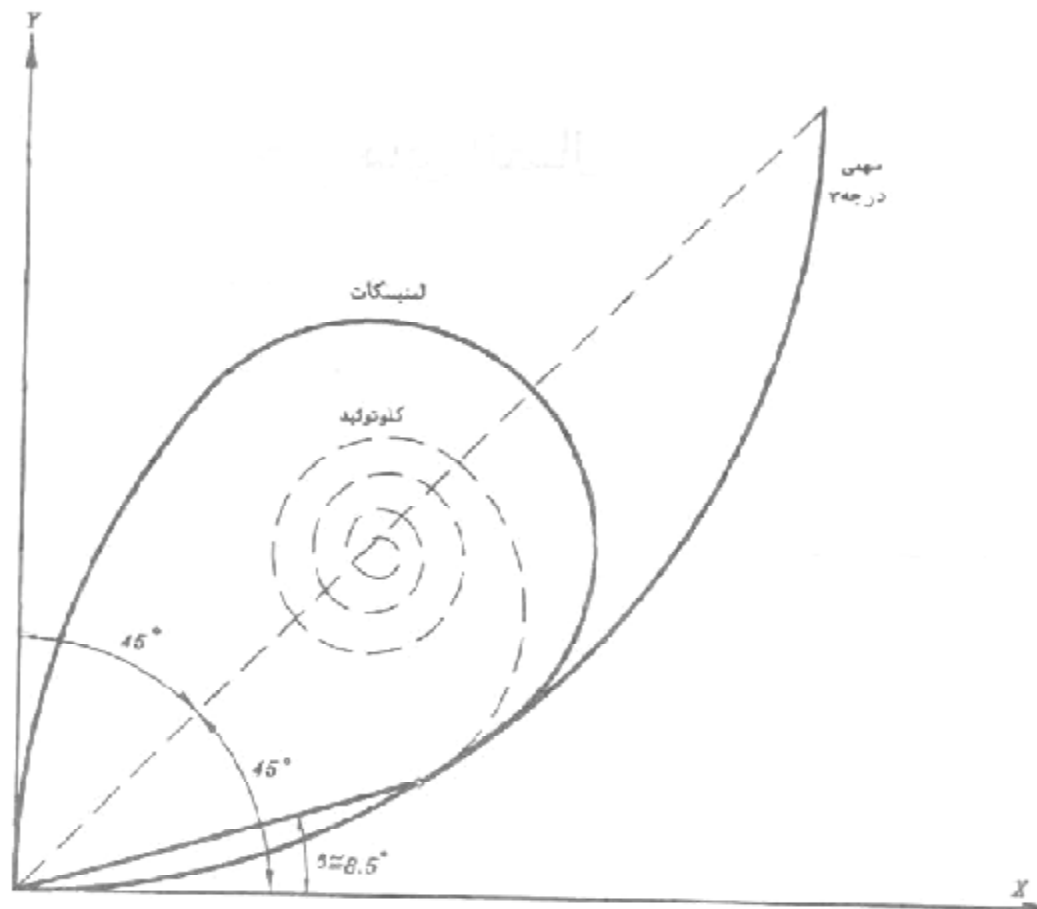
- ۱- منحنی کلوتوئید (Clothoide)
- ۲- منحنی لمنیسکات (Lemniscate)
- ۳- منحنی سهمی درجه سوم (Parabola)
- ۴- منحنی مالوئید (Maloide)



همانگونه که در شکل ملاحظه می شود، افزایش طول منحنی با شعاع آن نسبت عکس دارد به عبارتی هر چه طول بیشتری نسبت به مبدا طی شود شعاع کاهش می یابد (البته این مطلب برای منحنی درجه ۳ تا محدوده ای قابل قبول است) و از طرفی افزایش طول منحنی با انحنا نسبت مستقیم دارد زیرا هر چه مسافت بیشتری طی شود انحنا نیز افزایش می یابد. از طرفی باید به نکات زیر نیز توجه داشت.

- ۱- برای زوایای انحراف کوچک در حدود $9.5^\circ \cong 8.5^\circ$ هر سه منحنی تقریباً با اختلاف بسیار کمی که قابل صرف نظر کردن است بر یکدیگر منطبق هستند.
- ۲- در خصوص منحنی سهمی درجه سوم در صورتیکه زاویه انحراف از حدود 8.5° درجه تجاوز کند با زیاد شدن طول قوس نه تنها انحنا افزایش نیافته بلکه شروع به کاهش و یا به تعبیری منحنی سهمی درجه سوم شروع به فاصله گرفتن از دو قوس دیگر می کند و توجه به این محدودیت (یعنی $8.5^\circ \leq \delta$) در استفاده از معادله منحنی درجه سوم بسیار حائز اهمیت است.^(۱)

- ۳- معمولاً از منحنی لمنیسکات برای حالتی که از قوس دایره میانی استفاده نگردد و یا به عبارتی قوس اتصال سراسری باشد استفاده می شود.
- ۴- مطابق آئین نامه طراحی راه های ایران، استفاده از منحنی کلوئوئید، به دلیل خصوصیاتی که دارد توصیه شده است.



۵-۲-۱-۵- قوس افقی اتصال تدریجی (کلوتوئید)

به منظور تأمین ایمنی و راحتی کافی در طرح راه، بهتر است برای اتصال دو قوس افقی با اختلاف شعاع نسبتاً زیاد و یا اتصال یک مسیر مستقیم به یک قوس افقی دایره‌ای با شعاع کوچکتر از مقادیر داده شده در جدول (۵-۷)، از قوس اتصال تدریجی (کلوتوئید یا مشابه آن) استفاده شود.

جدول ۵-۷- شعاع حداکثر قوس افقی بر حسب سرعت برای استفاده از قوس اتصال تدریجی

سرعت (کیلومتر در ساعت)	شعاع حداکثر (متر)
۲۰	۲۴
۳۰	۵۴
۴۰	۹۵
۵۰	۱۴۸
۶۰	۲۱۳
۷۰	۲۹۰
۸۰	۳۷۹
۹۰	۴۸۰
۱۰۰	۵۹۲
۱۱۰	۷۱۶
۱۲۰	۸۵۲
۱۳۰	۱۰۰۰

نکته: مزایای ایمنی استفاده از قوس اتصال تدریجی برای شعاع‌های بزرگتر، ناچیز است.

استفاده از قوس اتصال تدریجی برای راههایی با قوسهای افقی با شعاع بزرگ به ندرت ضرورت پیدا می کند. قوس اتصال تدریجی دارای مزایای زیر است:

الف) اتصال قوس افقی دایره ای شکل به مسیرهای مستقیم می تواند با تغییر تدریجی شعاع انحنای انجام شود.

ب) اعمال بر بلندی از مقدار صفر تا مقدار حداکثر آن می تواند در طول قوس اتصال تدریجی (طول لازم برای تغییر شیب عرضی مسیر از شیب صفر به شیب بر بلندی) انجام شود.

پ) اعمال اضافه عرض سواره رو در قوس افقی، می تواند در طول قوس اتصال تدریجی انجام شود.

ت) به کاربردن قوس اتصال تدریجی سبب می شود که از تصور وجود شکستگی در نقطه شروع و ختم قوس افقی دایره ای شکل اجتناب شود و در نتیجه، راه، ظاهری خوش منظر داشته باشد.

معمولاً برای قوس اتصال تدریجی از منحنی کلوئید استفاده می شود.

طول مطلوب قوس اتصال تدریجی طبق جدول توصیه می شود.

جدول ۵-۸- طول مطلوب برای قوس اتصال تدریجی

سرعت (کیلومتر در ساعت)	طول اتصال تدریجی (متر)
۲۰	۱۱
۳۰	۱۷
۴۰	۲۲
۵۰	۲۸
۶۰	۳۳
۷۰	۳۹
۸۰	۴۴
۹۰	۵۰
۱۰۰	۵۶
۱۱۰	۶۱
۱۲۰	۶۷
۱۳۰	۷۲

طول قوس اتصال تدریجی نباید از طول بدست آمده از روابط (۷-۵) و (۸-۵) (هر کدام که بزرگتر است) کمتر باشد.

$$L_{s,min} = 2/19 \sqrt{R} \quad (7-5)$$

$$L_{s,min} = 0.018 \frac{V^3}{R} \quad (8-5)$$

که در آن:

$L_{s,min}$ = حداقل طول منحنی اتصال تدریجی (متر)

V = سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)

R = شعاع قوس دایره‌ای (متر)

طول قوس اتصال تدریجی نباید از طول بدست آمده از رابطه (۹-۵) بیشتر باشد.

$$L_{s,max} = 4/90 \sqrt{R} \quad (9-5)$$

که در آن:

$L_{s,max}$ = حداکثر طول منحنی اتصال تدریجی (متر)

R = شعاع قوس دایره‌ای (متر)

منحنی کلو توئید متداول ترین نوع منحنی اتصال است که در طرح هندسی راه و راه آهن مورد استفاده فراوان قرار می گیرد. این منحنی را بعضاً به نام اسپیرال یا ماریچ^(۲) نیز می خوانند.

با توجه به معادله عمومی قوس اتصال، برای منحنی کلو توئید نیز داریم.

$$r_i L_i = R. L = A^2 \quad (۷-۴) \text{ (تکراری)}$$

که A را پارامتر کلو توئید گویند و معرف اندازه منحنی کلو توئید می باشد و مقدار آن برابر است با:

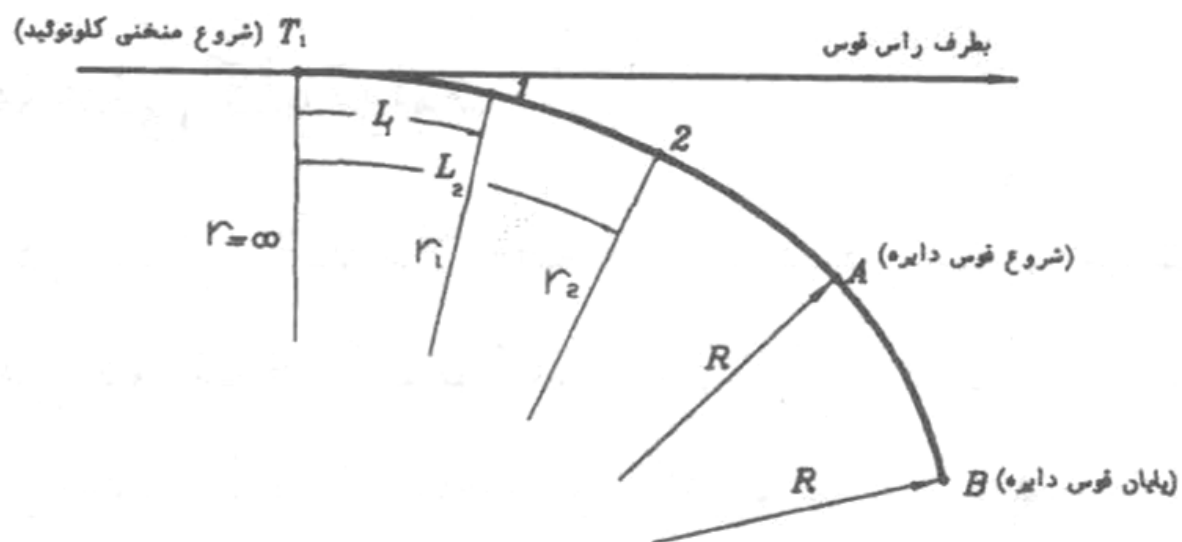
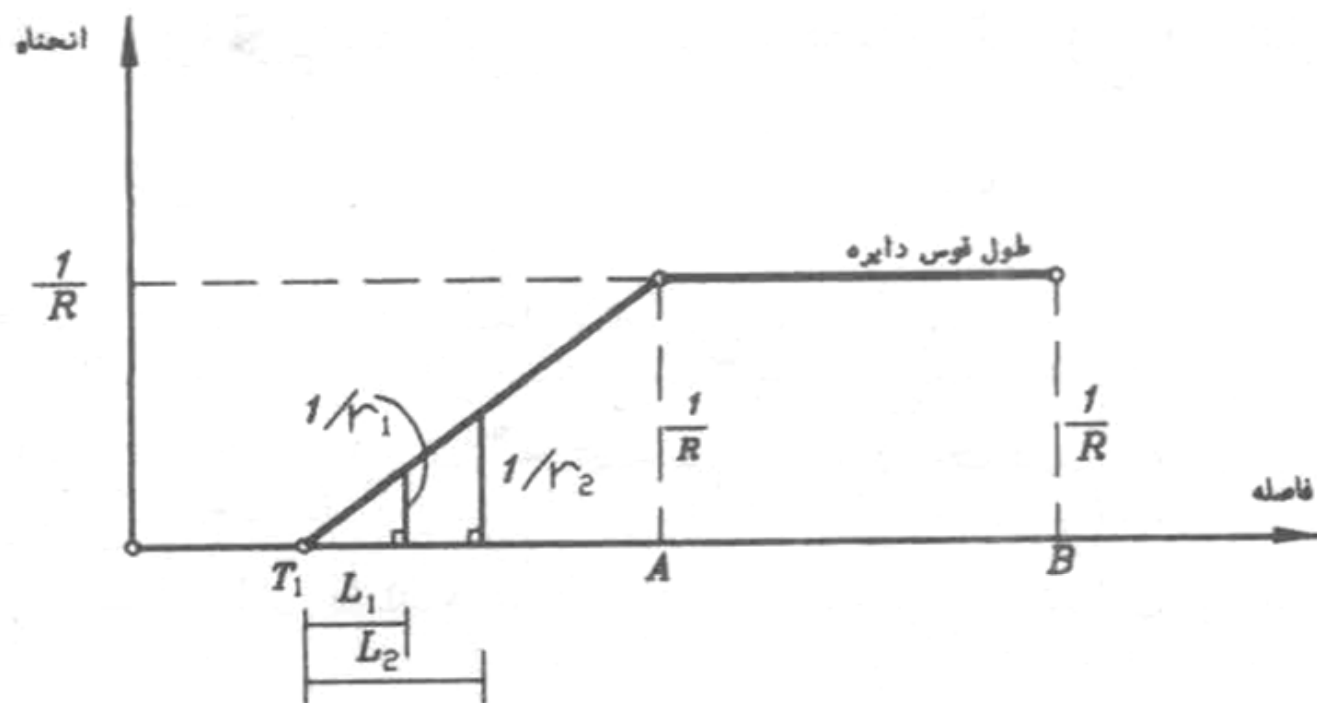
$$A = \sqrt{R. L} \quad (۷-۵)$$

تغییرات انحنا نسبت به طول قوس در منحنی کلو توئید مقداری ثابت است یعنی:

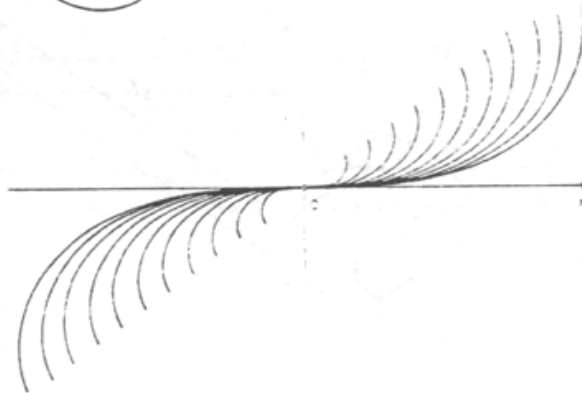
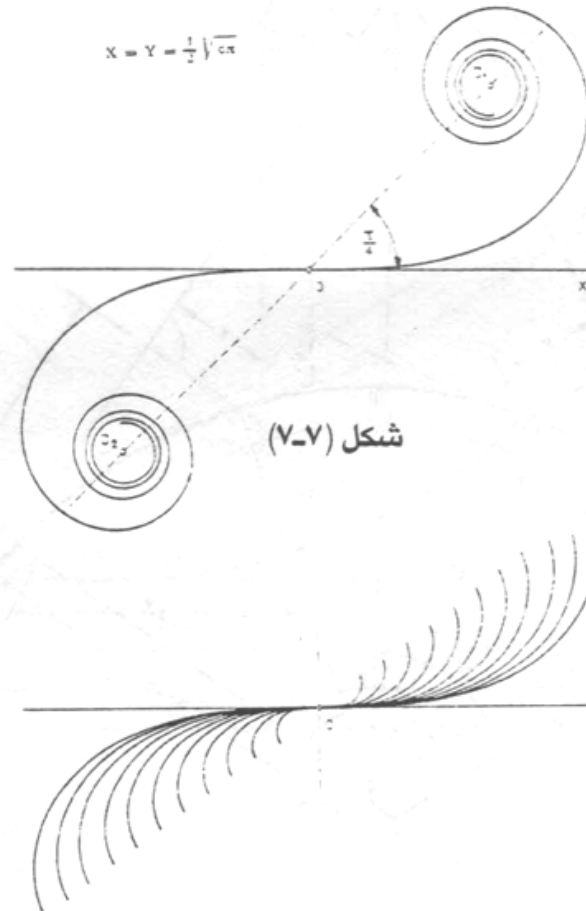
$$\frac{\frac{1}{r_1}}{L_1} = \frac{\frac{1}{r_2}}{L_2} = \dots = \frac{\frac{1}{R}}{L}$$

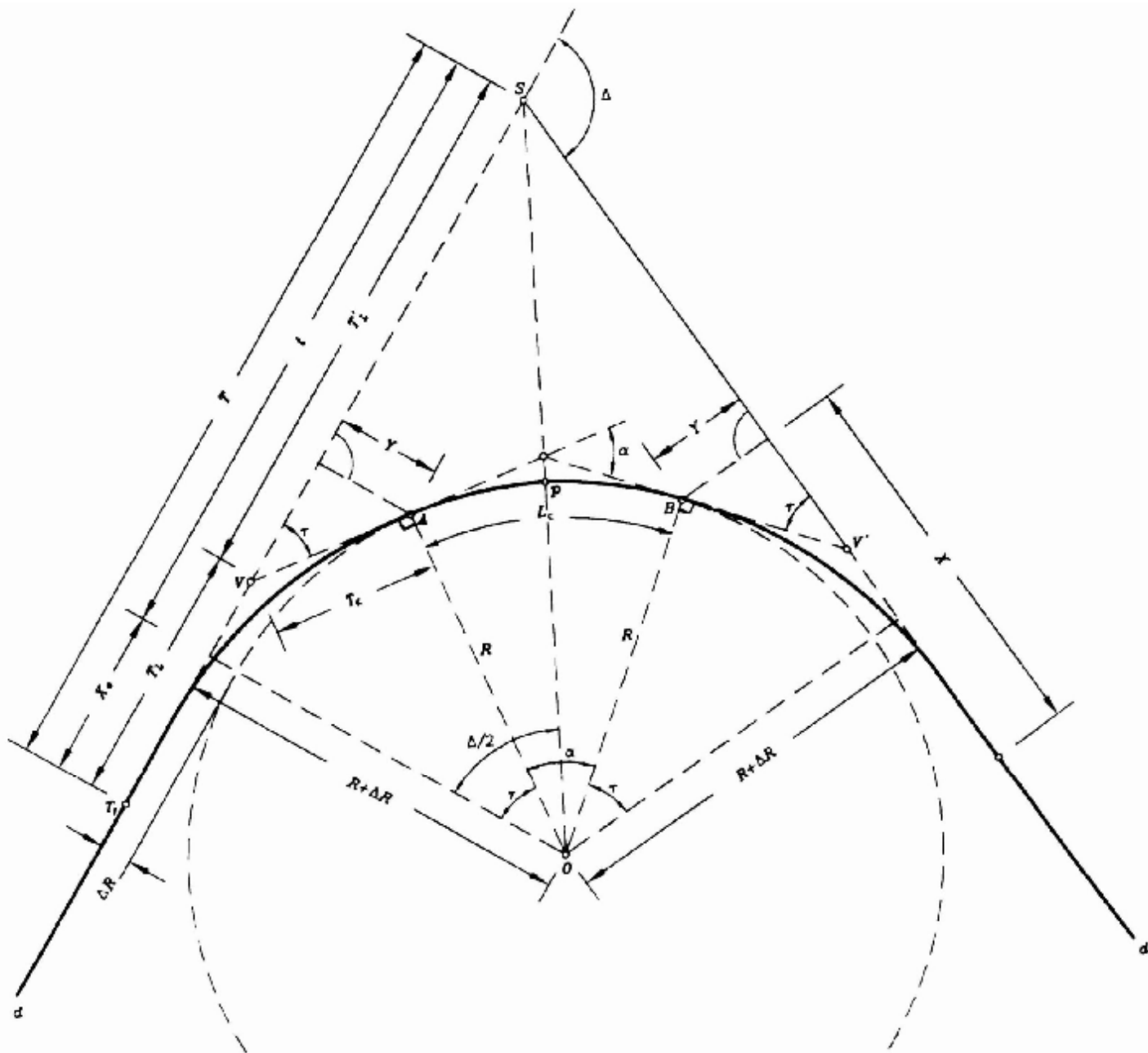
و یا:

$$r_1 L_1 = r_2 L_2 = \dots = R. L = A^2$$

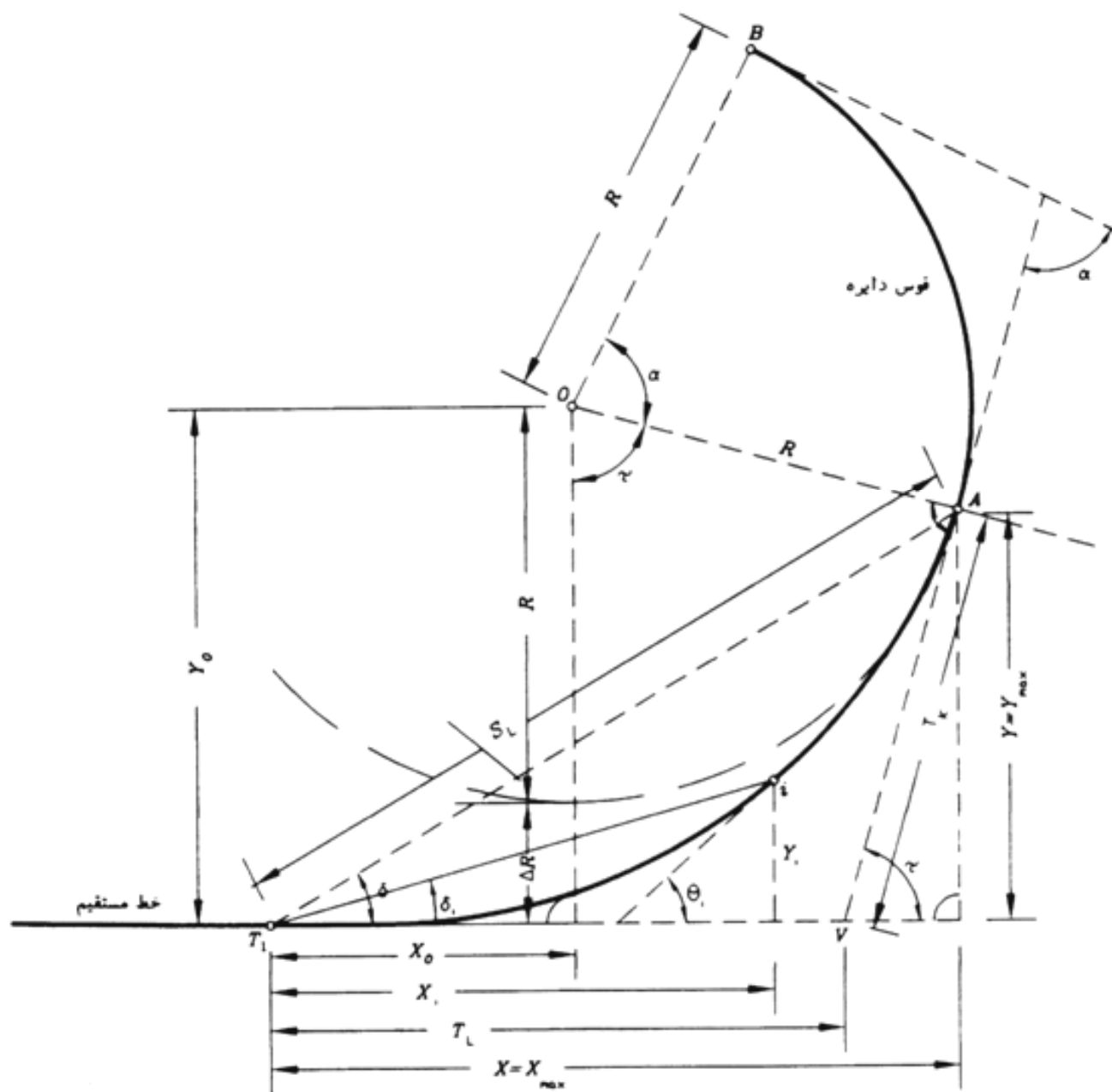


با تغییر A کلو توئیدهای مشابهی را خواهیم داشت. در شکل ۷-۷ نمودار کامل منحنی کلو توئید و در شکل ۷-۸ قسمتی از کلو توئیدهای مختلف را که در پارامتر A با هم متفاوت هستند، ملاحظه می کنیم.





منحنی های اتصال - منحنی کلو توئید - اجزاء منحنی کلو توئید



منحنی های اتصال - منحنی کلوتوئید - اجزاء منحنی کلوتوئید

L = طول شاخه کلوتوئید

R = شعاع قوس دایره

Δ = زاویه انحراف کل قوس

S = نقطه راس قوس اتصال

V = نقطه راس قوس شاخه اول کلوتوئید

V' = نقطه راس قوس شاخه دوم کلوتوئید

T_1 = نقطه شروع قوس ترکیبی یا نقطه شروع شاخه اول کلوتوئید (که با $T.S$ نیز نشان می دهند)

Point of change from tangent to spiral

A = نقطه شروع قوس دایره یا پایان شاخه اول کلوتوئید (که با $S.C$ نیز نشان می دهند)

Point of change from spiral to circle

B = نقطه پایان قوس دایره (که با $C.S$ نیز نشان می دهند)

Point of change from circle to spiral

T_2 = نقطه پایان قوس ترکیبی (که با $S.T$ نیز نشان می دهند)

Point of change from spiral to tangent

منحنی های اتصال - منحنی کلوتوئید - اجزاء منحنی کلوتوئید

O = نقطه مرکز کمان دایره

P = نقطه وسط قوس دایره (یا نقطه وسط کل قوس ترکیبی)

δ = زاویه انحراف کل شاخه کلوتوئید نسبت به خط مماس (زاویه انحراف وتر کلوتوئید)

δ_i = زاویه انحراف هر نقطه روی شاخه کلوتوئید نسبت به خط مماس کل

θ_i = زاویه انحراف خط مماس بر هر نقطه روی شاخه کلوتوئید نسبت به خط مماس کل (یا به عبارتی زاویه راس هر نقطه روی کلوتوئید)

τ = زاویه راس کل شاخه کلوتوئید (حداکثر مقدار θ_i)

α = زاویه مرکزی قوس دایره (یا به عبارتی زاویه انحراف راس کمان دایره)

T = طول مماس کل قوس (Total tangent distance)

T_k = طول مماس کوتاه شاخه کلوتوئید

T_L = طول مماس بلند شاخه کلوتوئید

- $T_L' =$ فاصله راس کل قوس تا راس کلوتوئید (فاصله نقطه S تا V)
- $1 =$ طول مماس قوس دایره اولیه به شعاع $R + \Delta R$
- $L_c =$ طول قوس دایره (فاصله کمانی A تا B)
- $\Delta R =$ انتقال یا شیفت (مقدار جابجایی قوس دایره اولیه به شعاع $R + \Delta R$)
- $S_L =$ وتر شاخه کلوتوئید (فاصله مستقیم T_1 تا A یا T_2 تا B)
- $BI =$ بیسیکتریس کل قوس (فاصله مستقیم نقطه S تا P)
- $X_o, Y_o =$ مختصات قائم الزاویه نقطه مرکز دایره
- $X, Y =$ مختصات نقطه شروع قوس دایره (حداکثر مقدار X_i و Y_i)
- $X_i, Y_i =$ مختصات قائم الزاویه هر نقطه دلخواه چون i روی شاخه کلوتوئید
- $L_i =$ طول هر نقطه روی منحنی کلوتوئید نسبت به شروع کلوتوئید

- $T'_L =$ فاصله راس کل قوس تا راس کلوتوئید (فاصله نقطه S تا V)
- $1 =$ طول مماس قوس دایره اولیه به شعاع $R + \Delta R$
- $L_c =$ طول قوس دایره (فاصله کمانی A تا B)
- $\Delta R =$ انتقال یا شیفت (مقدار جابجایی قوس دایره اولیه به شعاع $R + \Delta R$)
- $S_L =$ وتر شاخه کلوتوئید (فاصله مستقیم T_1 تا A یا T_2 تا B)
- $BI =$ بیسیکتریس کل قوس (فاصله مستقیم نقطه S تا P)
- $X_o, Y_o =$ مختصات قائم الزاویه نقطه مرکز دایره
- $X, Y =$ مختصات نقطه شروع قوس دایره (حداکثر مقدار X_i و Y_i)
- $X_i, Y_i =$ مختصات قائم الزاویه هر نقطه دلخواه چون i روی شاخه کلوتوئید
- $L_i =$ طول هر نقطه روی منحنی کلوتوئید نسبت به شروع کلوتوئید

منحنی های اتصال – روابط مورد استفاده در قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید – دایره – کلوتوئید)

1. $A^2 = R \cdot L$
2. $A = \sqrt{R \cdot L}$
3. $\Delta = \alpha + 2 \tau$
4. $\tau = \frac{L}{2 R} = \frac{L^2}{2 A^2}$
5. $X_i = L_i - \frac{L_i^5}{40 A^4} + \frac{L_i^9}{3456 A^8} - \frac{L_i^{13}}{599040 A^{12}} + \dots \cong L_i$
6. $Y_i = \frac{L_i^3}{6 A^2} - \frac{L_i^7}{336 A^6} + \frac{L_i^{11}}{42240 A^{10}} - \frac{L_i^{15}}{9676800 A^{14}} + \dots \cong \frac{L_i^3}{6 A^2}$
7. $X = X_{\max} = L - \frac{L^3}{40 R^2} + \frac{L^5}{3456 R^4} - \dots \cong L$
8. $Y = Y_{\max} = \frac{L^2}{6 R} - \frac{L^4}{336 R^3} + \frac{L^6}{42240 R^5} - \dots \cong \frac{L^2}{6 R} = \frac{L^3}{6 A^2}$
9. $tg \delta_i = \frac{Y_i}{X_i} \cong \frac{L_i^2}{6 A^2} = \frac{L_i^2}{6 L R} = \frac{\theta_i}{3}$
10. $tg \delta \cong \frac{Y_{\max}}{X_{\max}} \cong \frac{L}{6 R} = \frac{\tau}{3}$
11. $\theta_i = \frac{L_i^2}{2 L R} \cong 3 \delta_i$
12. $S_{L_i} = \frac{Y_{\max}}{\sin \delta} = \frac{X_{\max}}{\cos \delta} = \sqrt{X_{\max}^2 + Y_{\max}^2}$

$$13. \quad \Delta R = \frac{L^2}{24 R} - \frac{L^4}{2688 R^3} + \frac{L^6}{506880 R^5} - \dots \cong \frac{L^2}{24 R}$$

$$14. \quad t = (R + \Delta R) \cdot tg \frac{\Delta}{2}$$

$$\begin{aligned} 15. \quad T &= (R + \Delta R) tg \frac{\Delta}{2} + X_{\max} - R \cdot Sin \tau \\ &= (R + \Delta R) tg \frac{\Delta}{2} + \left(\frac{L}{2} - \frac{L^3}{240 R^2} + \frac{L^5}{34560 R^4} - \dots \right) \\ &\cong (R + \Delta R) tg \frac{\Delta}{2} + \frac{L}{2} = t + \frac{L}{2} \end{aligned}$$

$$16. \quad T_k = \frac{Y_{\max}}{Sin \tau} \cong \frac{L^2}{6 R Sin \tau}$$

$$17. \quad T_L = X_{\max} - T_k Cos \tau = X_{\max} - Y_{\max} Cotg \tau$$

$$18. \quad T'_L = T - T_L$$

منحنی های اتصال - روابط مورد استفاده در قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید)

$$19. \quad L_c = R. \alpha = R. \Delta - L = \text{طول قوس دایره}$$

$$20. \quad \alpha = \Delta - 2 \tau$$

$$21. \quad 2 L + L_c = R. \Delta + L = \text{طول کل قوس}$$

$$22. \quad X_o = X_{\max} - R. \sin \tau$$

$$23. \quad Y_o = Y_{\max} + R. \cos \tau = R + \Delta R$$

$$24. \quad BI = R \left(\frac{1}{\cos \frac{\Delta}{2}} - 1 \right) + \frac{\Delta R}{\cos \frac{\Delta}{2}} = \frac{R + \Delta R}{\cos \frac{\Delta}{2}} - R$$

$$25. \quad KM_{T1} = KM_S - T$$

$$26. \quad KM_A = KM_{T1} + L$$

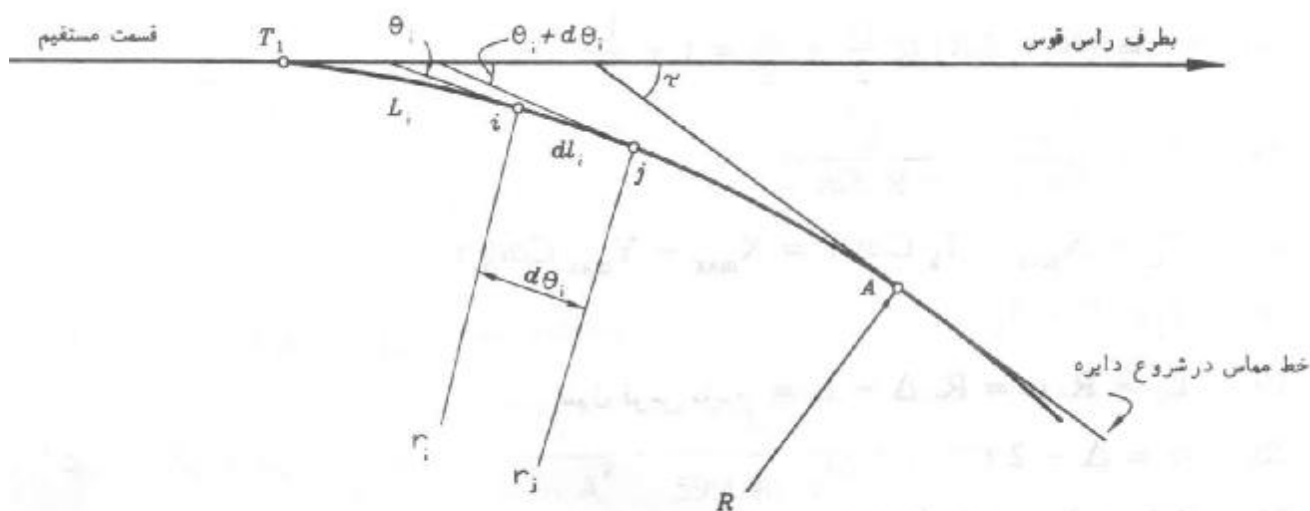
$$27. \quad KM_B = KM_A + L_c = KM_{T1} + L + L_c$$

$$28. \quad KM_{T2} = KM_B + L = KM_{T1} + 2 L + L_c = KM_{T1} + (R. \Delta + L)$$

منحنی های اتصال – اثبات روابط مورد استفاده در قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید – دایره – کلوتوئید)

تعیین زاویه انحراف شاخه کلوتوئید (τ)

در شکل ۷-۱۱ دو نقطه i و j را به فاصله dL_i و بی نهایت نزدیک به هم در نظر می گیریم و خط مماس در نقطه i و زراکه زوایای رأس آنها به ترتیب θ_i و $\theta_i + d\theta_i$ خواهد بود رسم می کنیم.



شکل (۷-۱۱)

چون dL_i بی نهایت کوچک است در نتیجه $r_i = r_j$ را در نظر گرفته و خواهیم داشت:

$$dL_i = r_i d\theta_i$$

از طرفی می دانیم که:

$$r_i L_i = R \cdot L = A^2$$

در نتیجه:

$$r_i = \frac{A^2}{L_i}$$

منحنی های اتصال – اثبات روابط مورد استفاده در قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید – دایره – کلوتوئید)

با قرار دادن حاصل r_i در معادله dL_i و انتگرال گیری از دو طرف معادله خواهیم داشت:

$$dL_i = \frac{A^2}{L_i} d\theta_i \quad \text{یا} \quad d\theta_i = \frac{1}{A^2} L_i dL_i$$

$$\int d\theta_i = \frac{1}{A^2} \int L_i dL_i$$

$$\theta_i = \frac{1}{A^2} \cdot \frac{L_i^2}{2} + C = \frac{L_i^2}{2 A^2} + C$$

جهت تعیین ثابت انتگرال گیری C می دانیم که در شروع قوس مقدار $L_i = 0$ و $\theta = 0$ است که با قرار دادن در معادله θ_i خواهیم داشت:

$$0 = \frac{0}{2 A^2} + C \quad \longrightarrow \quad C = 0$$

چون $A^2 = R \cdot L$ است بنابراین معادله قطبی قوس کلوتوئید برحسب رادیان برابر است با:

$$\theta_i = \frac{L_i^2}{2 A^2} = \frac{L_i^2}{2RL} \quad (7-6)$$

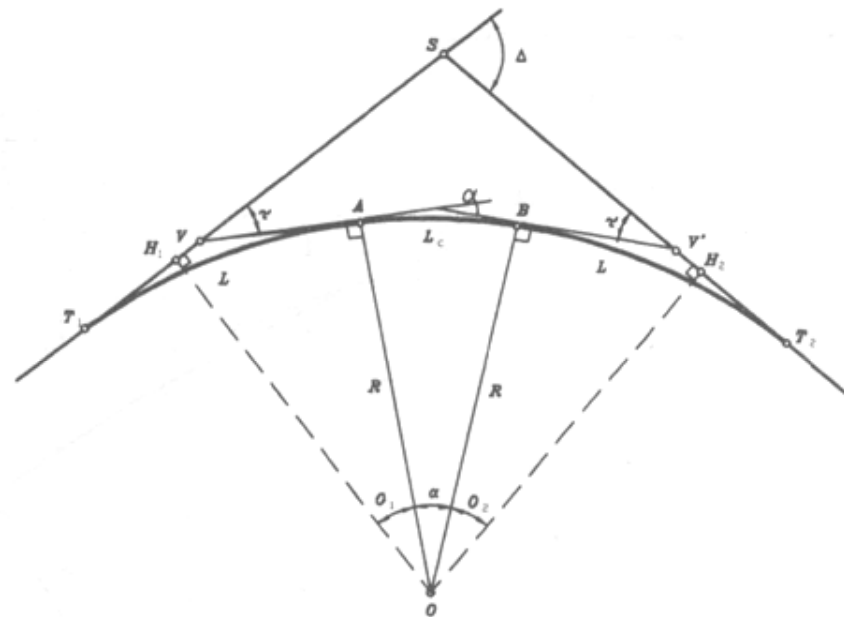
در واقع θ_i زاویه رأس هر نقطه دلخواه روی منحنی کلوتوئید است که حداکثر مقدار آن زاویه τ می باشد که به ازای $L_i = L$ به دست می آید.

$$\tau = \frac{L^2}{2 A^2} = \frac{L}{2 R} \quad (7-7)$$

منحنی های اتصال - اثبات روابط مورد استفاده در قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید)

$$\Delta = \alpha + 2\tau$$

شکل ۷-۱۲ را در نظر می گیریم.



شکل (۷-۱۲)

در چهار ضلعی بسته OH_1SH_2O مجموع زوایای داخلی برابر 360° است یعنی:

$$(o_1 + \alpha + o_2) + (180 - \Delta) + 90^\circ + 90^\circ = 360^\circ$$

منحنی های اتصال – اثبات روابط مورد استفاده در قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید – دایره - کلوتوئید)

با توجه به متقارن بودن شکل زاویه α_1 برابر α_2 و نهایتاً خواهیم داشت.

$$\Delta = \alpha + 2\alpha_1$$

از طرفی در چهار ضلعی بسته $\alpha H_1 V A \alpha$ نیز مجموع زوایای داخلی برابر 360° می باشد.

$$\alpha_1 + (180 - \tau) + 90^\circ + 90^\circ = 360^\circ \quad \longrightarrow \quad \alpha_1 = \tau = \alpha_2$$

بنابراین مقدار Δ برابر است با:

$$\Delta = \alpha + 2\tau \quad (V-8)$$

اثبات سایر روابط به عنوان تمرین به دانشجویان محول می گردد

منحنی های اتصال - قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

دو مسیر مستقیم در کیلومتر 13489.20 متر و به زاویه انحراف $\Delta = 35^\circ$ یکدیگر را قطع کرده اند. در صورتیکه از یک قوس ترکیبی شامل کلوتوئید و دایره جهت ارتباط این دو مسیر مستقیم استفاده کنیم چنانچه شعاع قوس دایره $R = 400_m$ و پارامتر کلوتوئید $A = 200$ باشد مطلوب است:

- (الف) محاسبه طول شاخه کلوتوئید (L)
- (ب) محاسبه زاویه انحراف رأس کلوتوئید (τ)
- (پ) محاسبه زاویه انحراف کل کلوتوئید (δ)
- (ت) محاسبه انتقال قوس دایره اولیه (ΔR)
- (ث) محاسبه طول مماس کل (T)
- (ج) محاسبه طول مماسهای شاخه کلوتوئید (T_K و T_L)
- (چ) محاسبه طول وتر شاخه کلوتوئید (S_L)
- (ه) محاسبه مختصات مرکز قوس دایره (X_o و Y_o)
- (خ) محاسبه کیلومتر ۱۳۴۸۹ نقاط شروع و انتهای کل قوس و شروع و انتهای قوس دایره (KM_{T1} و KM_A و KM_B و KM_{T2})
- (د) محاسبه فاصله رأس قوس (S) تا رأس شاخه کلوتوئید (V) یعنی ($\overline{SV}$)
- (ذ) مقادیر بدست آمده در قسمتهای قبل را به روی شکل نشان دهید.

منحنی های اتصال - قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

حل (الف)

با توجه به $R = 400_m$ و $A = 200$ می توان نوشت:

$$A^2 = R \cdot L \quad \longrightarrow \quad L = \frac{A^2}{R} = \frac{200^2}{400} = 100_m$$

حل (ب)

زاویه انحراف رأس شاخه کلوتوئید برابر است با:

$$\tau = \frac{L}{2R} \times \frac{200^\circ}{\pi} = \frac{100}{2 \times 400} \times \frac{200}{\pi} = 7.9577^\circ$$

در ضمن می دانیم که مقدار τ از رابطه $\tau \cong 3 \delta$ نیز قابل تعیین است.

حل (پ)

محاسبه زاویه انحراف کل کلوتوئید نسبت به خط مماس ورودی:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\frac{L}{6R} - \frac{L^3}{336R^3} + \frac{L^5}{42240R^5}}{1 - \frac{L^2}{40R^2} + \frac{L^4}{3456R^4}}$$

با قرار دادن $L = 100$ و $R = 400$ خواهیم داشت.

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{0.04162}{0.99844} \longrightarrow \delta = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{0.04162}{0.99844} \right) = 2.6522^\circ$$

همانطور که در متن درس بیان شد می توان از جملات دوم به بعد در صورت و مخرج صرف نظر نمود یعنی:

$$\delta \cong \frac{L}{6R} \times \frac{200^\circ}{\pi} = \frac{100}{6 \times 400} \times \frac{200^\circ}{\pi} = 2.6526^\circ$$

حل (ت)

محاسبه انتقال قوس دایره اولیه:

$$\Delta R = \frac{L^2}{24R} - \frac{L^4}{2688R^3} + \dots$$

$$\Delta R = \frac{100^2}{24 (400)} - \frac{100^4}{2688 (400)^3} = 1.041_m$$

بنابراین شعاع دایره اولیه برابر است با:

$$R + \Delta R = 400 + 1.041 = 401.041_m$$

منحنی های اتصال - قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

حل (ث)

محاسبه طول مماس کل:

$$T = (R + \Delta R) \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} + \left(\frac{L}{2} - \frac{L^3}{240R^2} + \dots \right)$$

$$T = (400 + 1.041) \operatorname{tg} \frac{35}{2} + \left(\frac{100}{2} - \frac{100^3}{240(400)^2} + \dots \right)$$

$$T = 113.105 + (50 - 0.026 + \dots) = 163.079_m \cong 163.08$$

یاد آوری :

$$\begin{aligned} 15. \quad T &= (R + \Delta R) \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} + X_{\max} - R \cdot \sin \tau \\ &= (R + \Delta R) \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} + \left(\frac{L}{2} - \frac{L^3}{240 R^2} + \frac{L^5}{34560 R^4} - \dots \right) \\ &\cong (R + \Delta R) \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} + \frac{L}{2} = t + \frac{L}{2} \end{aligned}$$

حل (ج)

طول مماس کوتاه شاخه کلوتوئید (T_K) برابر است با:

$$T_K = \frac{Y_{\max}}{\sin \tau}$$

$$Y_{\max} = \frac{L^2}{6R} - \frac{L^4}{336R^3} + \dots = \frac{100^2}{6 \times 400} - \frac{100^4}{336 (400)^3} = 4.162_m$$

$$T_K = \frac{4.162}{\sin (7.9577)} = 33.383_m$$

و برای طول مماس بلند شاخه کلوتوئید (T_L) داریم:

$$T_L = X_{\max} - Y_{\max} \cdot \cotg \tau$$

$$X_{\max} = L - \frac{L^3}{40R^2} + \dots = 100 - \frac{100^3}{40 (400)^2} = 99.844_m$$

$$T_L = 99.844 - 4.162 \times \cotg (7.9577) = 99.844 - 33.123 = 66.721_m$$

مقدار T_L را از رابطه زیر نیز می توان تعیین نمود.

$$T_L = X_{\max} - T_K \cdot \cos \tau$$

$$= 99.844 - 33.383 \times \cos (7.9577) = 66.721_m$$

حل (ج)

طول وتر کلوتوئید از روابط زیر قابل محاسبه می باشد که مقادیر X و Y ماگزیمم در قسمت (ج) و زاویه δ در قسمت (پ) بدست آمده است.

$$S_L = \sqrt{X_{\max}^2 + Y_{\max}^2} = \sqrt{99.844^2 + 4.162^2} = 99.93_m$$

$$= \frac{Y_{\max}}{\sin \delta} = \frac{4.162}{\sin (2.6522)} = 99.93_m$$

$$= \frac{X_{\max}}{\cos \delta} = \frac{99.844}{\cos (2.6522)} = 99.93_m$$

ح (د)

حل (ح)

مختصات مرکز قوس دایره برابر است با:

$$\begin{aligned} X_o &= X_{\max} - R \cdot \sin \tau \\ &= 99.844 - 400 \cdot \sin (7.9577) = 49.974_m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_o &= Y_{\max} + R \cdot \cos \tau \\ &= 4.162 + 400 \cdot \cos (7.9577) = 401.041_m \end{aligned}$$

مقدار Y_o را از رابطه زیر نیز می توان بدست آورد.

$$Y_o = R + \Delta R = 400 + 1.041 = 401.041_m$$

حل (خ)

به جهت محاسبه کیلومتر از نقاط، لازم است طول قوس دایره را تعیین نمود.

$$L_c = R. \alpha_{\text{rad}} = R. (\Delta - 2 \tau) = R. \Delta_{\text{rad}} - L$$

$$L_c = 400 \left(35^\circ \times \frac{\pi}{200} \right) - 100 = 119.91_m$$

در نتیجه کیلومتر از نقاط شروع قوس اتصال (T_1)، شروع قوس دایره (A)، پایان قوس دایره (B) و پایان قوس اتصال (T_2) به ترتیب برابر است با:

$$KM_{T1} = KM_S - T = 13489.20 - 163.079 = 13326.12_m$$

$$KM_A = KM_{T1} + L = 13326.12 + 100 = 13426.12_m$$

$$KM_B = KM_A + L_c = 13426.12 + 119.91 = 13546.03_m$$

$$KM_{T2} = KM_B + L = 13546.03 + 100 = 13646.03_m$$

منحنی های اتصال - قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

حل (د)

فاصله رأس قوس تا رأس شاخه کلوتوئید برابر است با:

$$T'_L = \overline{SV} = T - T_L = 163.08 - 66.72 = 96.36$$

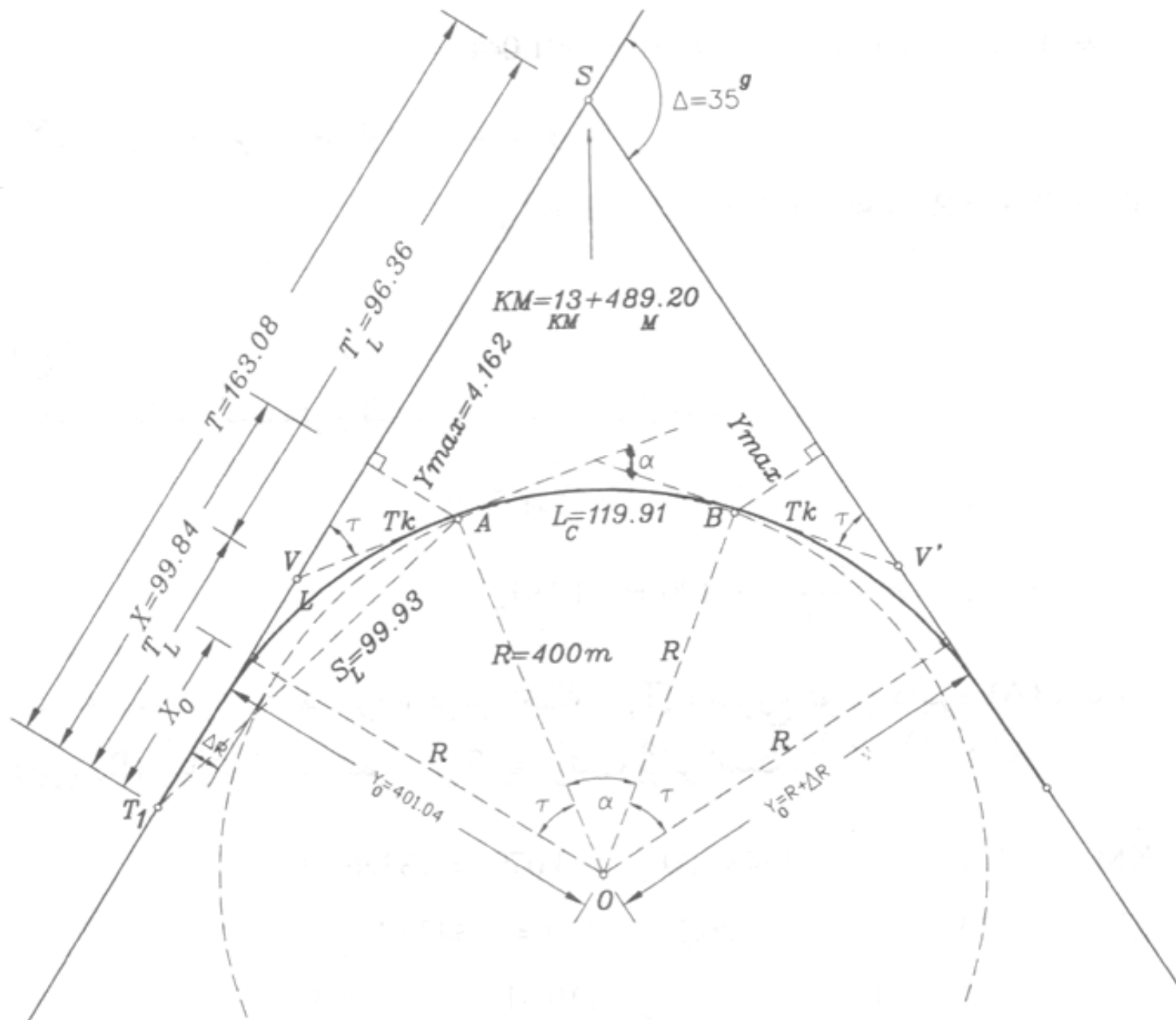
حل (ذ)

کلیه نتایج بدست آمده، با فرض معلومات زیر در شکل بعدی قابل ملاحظه می باشد.

$$R = 400_m \quad \Delta = 35^g \quad L = 100_m \quad KM_s = 13_{km} + 489.20_m$$

$\tau = 7.9577^g$	$T_K = 33.383_m$	$X_o = 49.974_m$	$KM_{T_1} = 13 + 326.12$
$\delta = 2.6522^g$	$T_L = 66.721_m$	$Y_o = 401.041_m$	$KM_A = 13 + 426.12$
$\Delta R = 1.041_m$	$T'_L = 96.36_m$	$X_{max} = 99.844_m$	$KM_B = 13 + 546.03$
$T = 163.08_m$	$S_L = 99.93_m$	$Y_{max} = 4.162_m$	$KM_{T_2} = 13 + 646.03$
	$L_c = 119.91_m$		

منحنی های اتصال - قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال



مراحل پیاده کردن اسکلت قوس ترکیبی (کلوتوئید و دایره)

قبل از اینکه بخواهیم نقاط روی شاخه های اتصال (کلوتوئید) و قوس دایره را روی زمین پیاده کنیم، اسکلت قوس روی زمین پیاده می شود. منظور از پیاده کردن اسکلت قوس، مشخص شدن نقاط V, T_1, A, B, T_2 و V' روی زمین است. با در نظر گرفتن شکل قبل که با فرض $\Delta = 35^\circ$ ، $R = 400_m$ و $L = 100_m$ کلیه مشخصات قوس محاسبه گردید، مراحل پیاده کردن اسکلت قوس روی زمین به شرح زیر می باشد.

۱- تثودولیت را در رأس قوس (S) ایستگاه گذاری کرده و به سومه ماقبل (در امتداد مستقیم) قراول روی می کنیم.

۲- در امتداد قراول روی تثودولیت فواصل T'_L و T_L را به ترتیب مترکشی افقی نموده تا نقاط V و T_1 روی زمین مشخص و میخ کوبی شود.

$$T'_L = 96.36 \quad T_L = 66.72 \quad T = T'_L + T_L = 163.08$$

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید)

۳- مشابه مرحله ۱ و ۲ در امتداد مسیر مستقیم خروجی نقاط V' و T_2 پیاده می شوند.

۴- تثودولیت را در نقطه شروع قوس (T_1) مستقر و به رأس قوس (S) صفر صفر و با بستن زاویه انحراف کل کلوتوئید (δ) به دورین امتداد قراول روی T_1A مشخص می گردد، سپس در امتداد قراول روی دورین به اندازه طول وتر کلوتوئید (S_L) مترکشی نموده تا به نقطه شروع قوس دایره (A) برسیم و محل آن را میخ کوبی می نمائیم.

$$\delta = 2.6522^\circ \quad S_L = 99.93_m$$

۵- مشابه مرحله ۴ با استقرار تثودولیت در نقطه T_2 و صفر صفر به رأس قوس، نقطه B روی زمین پیاده می شود.

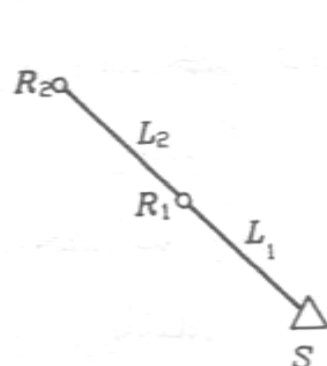
توجه: نقاط شروع و انتهای قوس دایره (A و B) را می توان با استقرار دورین در نقاط V و V' و بستن زاویه τ و مترکشی طول مماس کوتاه (T_K) پیاده نمود.

۶- پس از پیاده شدن نقاط A و B می توان فاصله بدست آمده روی زمین را با مقدار محاسباتی آن کنترل نمود.

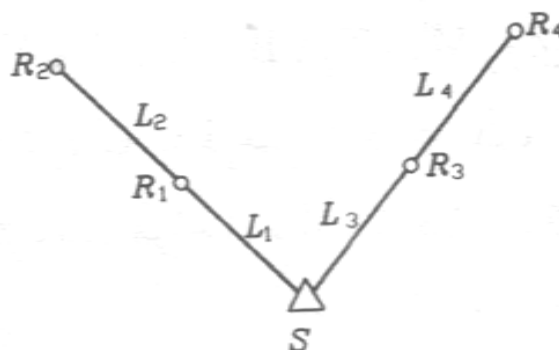
$$C = 2R \sin \frac{\alpha}{2}$$

(۷-۵۴)

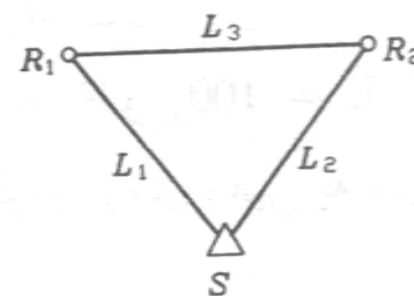
۷- معمولاً برای نقاط اصلی، نقاط مرجعی در نظر می گیرند تا چنانچه هنگام عملیات اجرایی این نقاط از بین رفتند به سهولت بتوان مجدداً آنها را احیا نمود و برای این منظور یکی از اشکال زیر و یا مشابه را می توان اختیار کرد.



(الف)



(ب)



(ج)

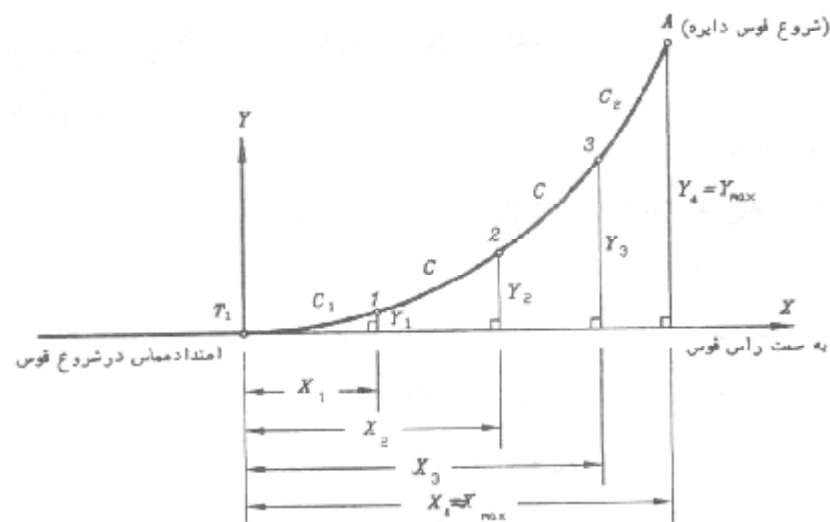
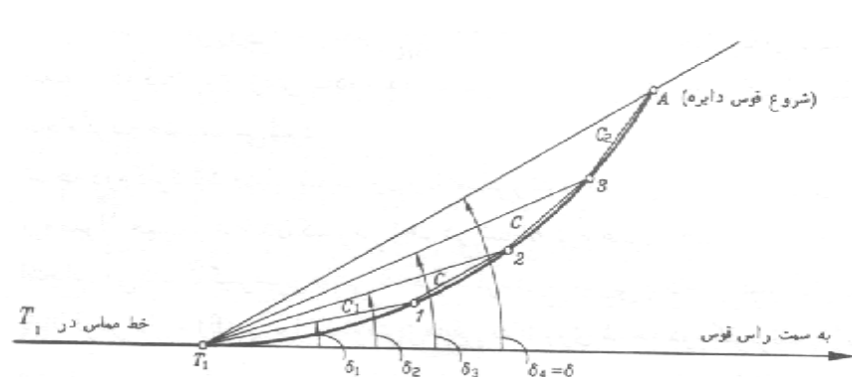
روشهای پیاده کردن شاخه کلوتوئید

جهت پیاده کردن کلوتوئید سه روش کلی زیر را در نظر می گیریم:

الف) روش مختصات قطبی (L_i و δ_i)

ب) روش مختصات قائم الزاویه (X_i و Y_i)

ج) روش مختصات دو قطبی یا تقاطع (δ_i و δ'_i)



پیاده کردن کلوتوئید با روش مختصات قطبی از شروع کلوتوئید

در این روش محاسبات لازم جهت پیاده کردن شاخه کلوتوئید، نسبت به شروع قوس و خط مماس ورودی انجام می گیرد برای این منظور شاخه کلوتوئید T_1A در شکل بعدی را در نظر می گیریم.

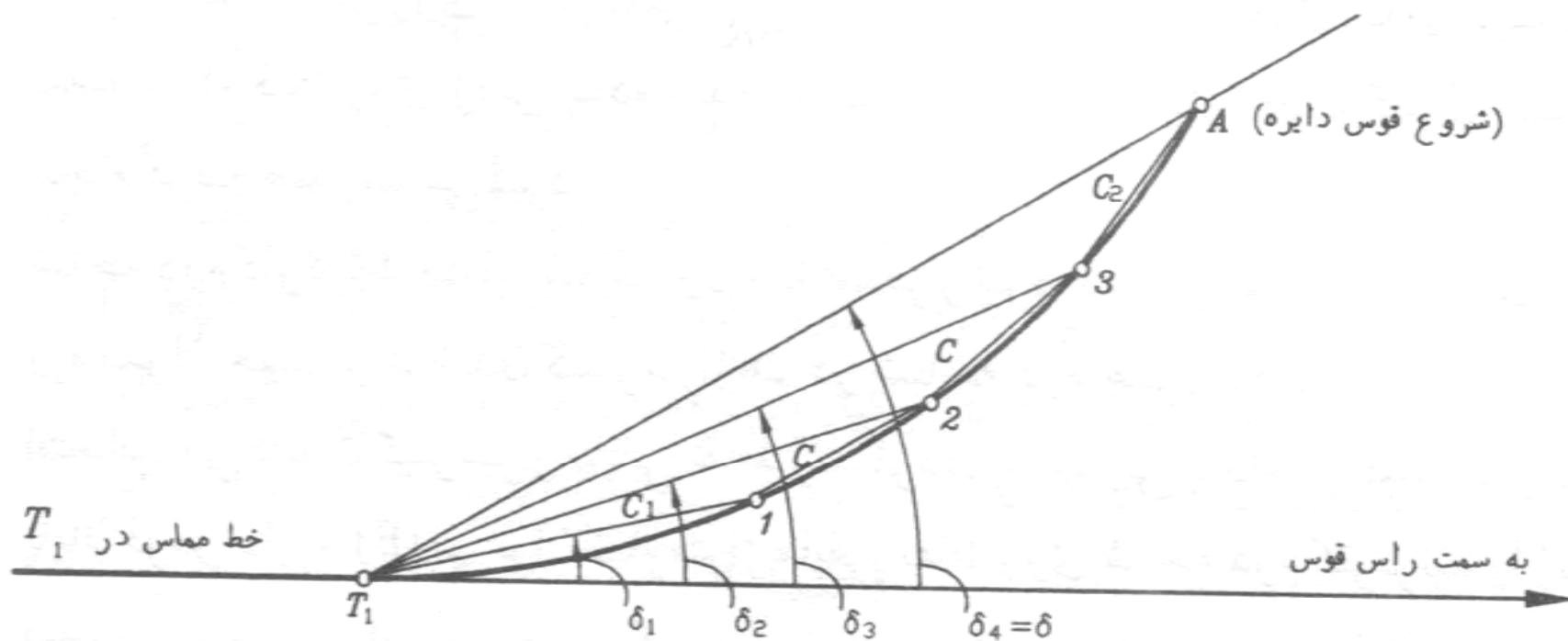
در روش مختصات قطبی که به روش وتر و زاویه انحراف نیز معروف است با داشتن زوایای انحراف امتداد قراول روی هر نقطه نسبت به خط مماس (δ_i) و همچنین فاصله بین هر دو نقطه (C_i) روی قوس به راحتی می توان موقعیت نقاط قوس را روی زمین مشخص نمود. برای انجام این منظور مطابق مراحل زیر عمل می کنیم.

۱- ابتدا زاویه انحراف هر نقطه نسبت به خط مماس را به کمک رابطه زیر تعیین می کنیم.

مقدار بدست آمده از رابطه زیر به واحد رادیان است و چنانچه در ضریب $\frac{180}{\pi}$ یا $\frac{200}{\pi}$ ضرب شود به ترتیب به واحد درجه یا گراد تبدیل می شود.

$$\tan \delta_i = \frac{\frac{L_i^3}{6A^2} - \frac{L_i^7}{336A^6} + \frac{L_i^{11}}{42240A^{10}} - \dots}{L_i - \frac{L_i^5}{40A^4} + \frac{L_i^9}{3456A^8} - \dots} \cong \frac{L_i^2}{6A^2} = \frac{L_i^2}{6LR} \quad (7-16 \text{ تکراری})$$

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید)



منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید)

به عنوان مثال با توجه به شکل قبلی مقدار L_i جهت محاسبه زاویه انحراف هر نقطه برابر است با:

$$L_1 = C_1$$

$$L_2 = C_1 + C$$

$$L_3 = C_1 + C + C = C_1 + 2C$$

$$L_4 = C_1 + C + C + C_2 = C_1 + 2C + C_2 = L$$

معمولاً اولین دهنه روی شاخه کلوتوئید یعنی C_1 طوری انتخاب می گردد تا کیلومتراژ نقطه اول روی قوس عددی رُند و مضرب صحیحی از طول قوس کوتاه گردد.

۲- پس از محاسبه زوایای انحراف δ_i و همچنین محاسبه کیلومتراژ نقاط روی قوس تئودولیت را در شروع قوس (T_1) ایستگاه گذاری کرده و به رأس قوس (S یا V) صفر صفر می نماییم.

۳- به تئودولیت زاویه انحراف δ_1 را بسته و سپس در امتداد قراول روی تئودولیت به اندازه طول C مترکشی نموده تا موقعیت نقطه 1 روی زمین مشخص گردد.

۴- آلیداد تئودولیت را حرکت داده تا جایی که زاویه انحراف δ_2 مشاهده گردد سپس با مترکشی طول C از نقطه 1، محل تقاطع امتداد قراول روی تئودولیت و امتداد متر را که نقطه 2 می باشد روی زمین مشخص می کنیم.

۵- جهت پیاده کردن مابقی نقاط مشابه مرحله ۴ عمل می کنیم و نهایتاً با بستن زاویه انحراف نقطه آخر روی قوس یعنی $\delta_A = \delta = \frac{L}{6R}$ و مترکشی طول C_2 می بایست به نقطه A که قبلاً روی زمین پیاده شده است برسیم که این کار جهت کنترل عملیات انجام گرفته صورت می گیرد.

۶- شاخه دوم کلوتوئید مشابه شاخه اول و با استقرار تئودولیت در نقطه T_2 پیاده می شود و معمولاً جهت رُند شدن کیلومتراژها در شاخه دوم طول دهنه آخر را طوری انتخاب می کنند تا کیلومتراژ مابقی نقاط رُند گردد. به عبارتی با داشتن کیلومتراژ نقطه پایان قوس دایره (B) می توان کیلومتراژ مابقی نقاط روی شاخه دوم کلوتوئید را رُند و مضرب صحیحی از طول قوس کوتاه انتخاب نمود.

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

مثال از پیاده کردن کلوتوئید به روش مختصات قطبی از شروع کلوتوئید:

در یک قوس اتصال چپ گرد از نوع سهمی درجه ۳ مشخصات زیر مفروض است:

$$\Delta = 20^g = \text{زاویه انحراف کل}$$

$$L = 120^m = \text{طول شاخه کلوتوئید}$$

$$R = 500^m = \text{شعاع قوس دایره}$$

$$KM_{T1} = 8_{km} + 426.10_m = \text{کیلومتر از شروع قوس اتصال}$$

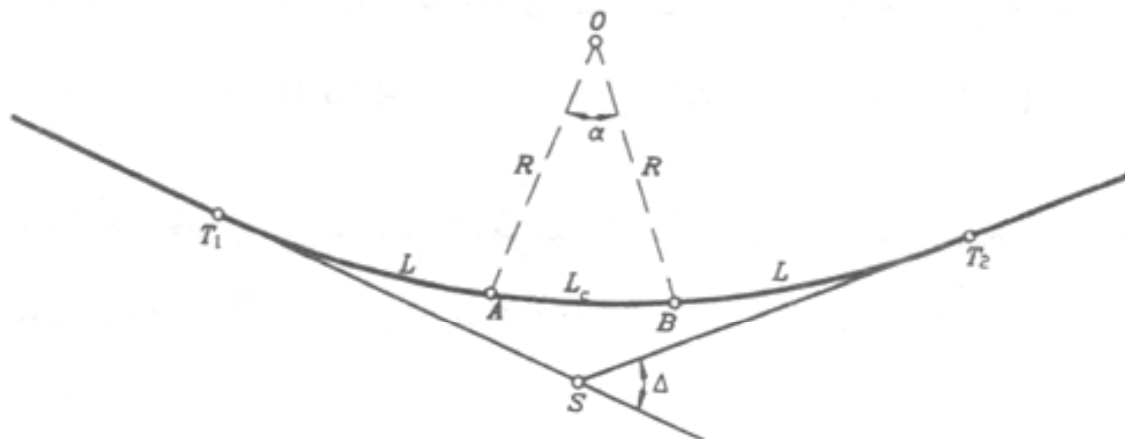
جدولی جهت پیاده کردن شاخه اول و دوم منحنی اتصال به روش مختصات قطبی

تنظیم نمائید به طوری که استقرار تئودولیت در شروع و انتهای کل قوس (نقاط T_1 و T_2) و حداکثر طول قوسهای کوتاه 40 متر و کیلومتر ازها مضرب صحیحی از عدد 10 باشد.

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

(حل)

جهت تنظیم جدول ابتدا کیلومتر از نقاط A ، B و T₂ را محاسبه می کنیم:



شکل (۷-۲۴)

$$KM_A = KM_{T1} + L = 8426.10 + 120 = 8546.10_m$$

$$KM_B = KM_A + L_c$$

$$L_c = R \times \Delta_{rad} - L = 500 \times \left(20 \times \frac{\pi}{200} \right) - 120 = 37.08_m$$

$$KM_B = 8546.10 + 37.08 = 8583.18_m$$

$$KM_{T2} = KM_B + L = 8583.18 + 120 = 8703.18_m$$

الف) تنظیم جدول جهت پیاده کردن شاخه اول کلوتوئید شاخه (T_1A) :

با فرض تساوی گرفتن طول قوسهای کوتاه با طول وترهایشان اولین طول قوس کوتاه

روی شاخه اول را $C_1 = 23.90_m$ انتخاب می کنیم تا کیلومتر از نقطه اول روی قوس عددی رُند گردد و همچنین دهانه های بعد $C = 40_m$ و نهایتاً دهانه آخر $C_2 = 16.10_m$ بدست می آید یعنی:

$$L = C_1 + C + C + C_2$$

$$L = 23.90 + 40 + 40 + 16.1 = 120_m$$

در نتیجه:

$$L_1 = C_1 = 23.90$$

$$L_2 = C_1 + C = 23.90 + 40 = 63.90$$

$$L_3 = C_1 + 2C = 23.90 + 2(40) = 103.90$$

$$L_4 = C_1 + 2C + C_2 = L_3 + C_2 = 23.90 + 2(40) + 16.10 = 120_m$$

کیلومتر از نقاط روی شاخه اول:

$$KM_{T1} = 8426.10_m$$

$$KM_1 = KM_{T1} + L_1 = 8426.10 + 23.90 = 8450.00$$

$$KM_2 = KM_{T1} + L_2 = KM_1 + C = 8426.10 + 63.90 = 8490.00$$

$$KM_3 = KM_{T1} + L_3 = KM_2 + C = 8426.10 + 103.90 = 8530.00$$

$$KM_4 = KM_A = KM_{T1} + L_4 = KM_3 + C_2 = 8426.10 + 120 = 8546.10$$

توجه: در صورتیکه می خواستیم کیلومتر ازها مضرب صحیحی از 40 نیز باشند می بایست به جای $L_1 = 23.90$ عدد 13.90 را اختیار می کردیم.

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

از فرمول $\tan \delta_i = \frac{L_i^2}{6LR}$ زوایای انحراف نقاط روی قوس را محاسبه می نمائیم.

$$\tan \delta_1 = \frac{(23.90)^2}{6 \times 120 \times 500}$$

$$\delta_1 = 0.1010 \text{ گراد}$$

$$\tan \delta_2 = \frac{(63.90)^2}{6 \times 120 \times 500}$$

$$\delta_2 = 0.7221$$

$$\tan \delta_3 = \frac{(103.90)^2}{6 \times 120 \times 500}$$

$$\delta_3 = 1.9090$$

$$\tan \delta_4 = \frac{(120)^2}{6 \times 120 \times 500}$$

$$\delta_4 = 2.5465 = \delta_{\max} = \frac{\tau}{3}$$

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

چون قوس چپ گرد است بنابراین زوایای انحراف فوق را از 400 گراد کسر کرده و نهایتاً نتایج بدست آمده را در جدول ذیل خلاصه می کنیم.

جدول ۷-۱ جدول پیاده کردن شاخه اول

P	C_i	L_i	δ_i	$400 - \delta_i$	KM_i
T_1	23.90	00	00.0000^g	00.0000^g	$8_{km} + 426.10_m$
1	40	23.90	0.1010	399.8990	8 + 450.00
2	40	63.90	0.7221	399.2779	8 + 490.00
3	16.10	103.90	1.9090	398.0910	8 + 530.00
A = 4		120	2.5465	397.4535	8 + 546.10

ب) تنظیم جدول جهت پیاده کردن شاخه دوم کلوتوئید (T_2B):

معمولاً جهت رُند شدن کیلومتراژها در شاخه دوم کار را از دهانه آخر شروع می کنیم و برای این منظور $C_2 = 16.82_m$ را در نظر گرفته تا کیلومتراژ اولین نقطه بعد از نقطه B عددی رُند گردد.

$$\begin{aligned} L &= C_1 + C + C + C_2 \\ &= 23.18 + 40 + 40 + 16.82 = 120_m \end{aligned}$$

در نتیجه:

$L_1 = 23.18$	$\longrightarrow$	$\delta_1 = 0.0950$ گراد
$L_2 = 63.18$	$\longrightarrow$	$\delta_2 = 0.7059$
$L_3 = 103.18$	$\longrightarrow$	$\delta_3 = 1.8826$
$L_4 = 120_m = L$	$\longrightarrow$	$\delta_4 = 2.5465 = \delta_{\max} = \frac{\tau}{3}$

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

مشابه شاخه اول کیلومتراژها را محاسبه و جدول زیر را تنظیم می کنیم (قابل توجه است که برای پیاده کردن شاخه دوم چون در نقطه T_2 مستقر و به رأس قوس صفر صفر می کنیم و از طرفی قوس چپ گرد می باشد. بنابراین کافی است خود زوایای انحراف فوق را به ترتیب به تئودولیت ببندیم و نیازی به کسر از 400 گراد نیست).

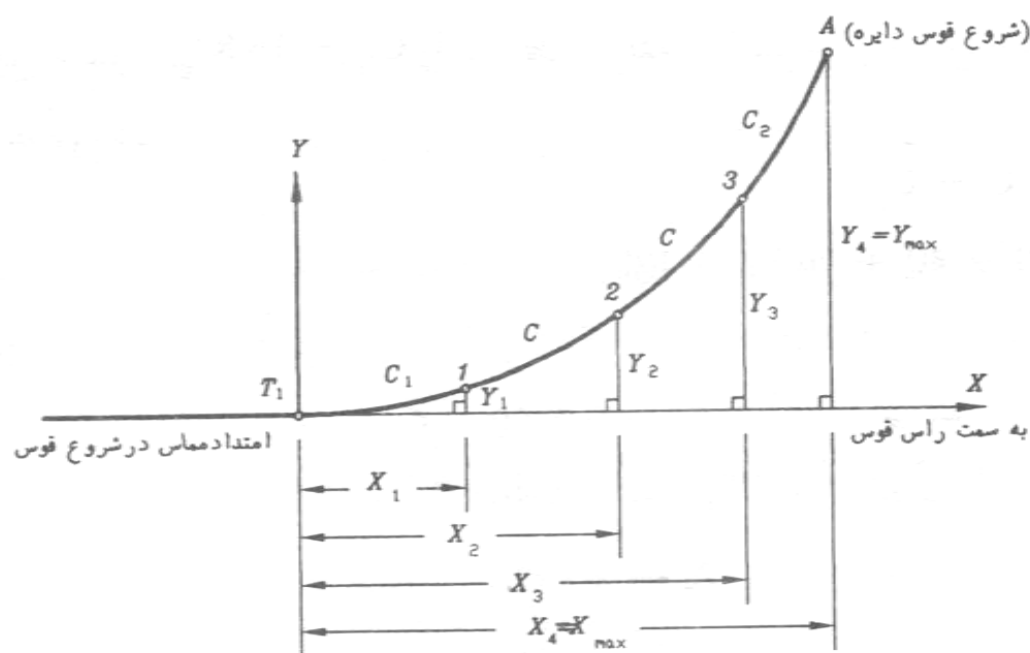
نکته: در صورتیکه قوس راست گرد باشد در شاخه اول خود زوایای انحراف δ_i و در شاخه دوم $\delta_i - 400$ را می بایست به تئودولیت بست.

جدول ۷-۲ جدول پیاده کردن شاخه دوم

P	C_i	L_i	δ_i	KM_i
T_2	23.18	00	00.0000^g	$8_{km} + 703.18_m$
1		23.18	0.0950	8 + 680.00
2	40	63.18	0.7059	8 + 640.00
3	40	103.18	1.8826	8 + 600.00
B=4	16.82	120.00	2.5465	8 + 583.18

پیاده کردن کلوتوئید به روش مختصات قائم الزاویه از شروع کلوتوئید

در این روش مطابق شکل زیر امتداد مماس در شروع قوس به عنوان محور X ها و مبدأ مختصات نقطه شروع قوس (نقطه T_1) انتخاب می گردد.



منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید)

مراحل کار از قرار زیر می باشد:

۱- با توجه به شکل قبلی کمان C_1 طوری انتخاب می گردد که کیلومتر اولین نقطه روی قوس عددی رُند گردد در نتیجه خواهیم داشت:

$$L_1 = C_1$$

$$L_2 = C_1 + C$$

$$L_3 = C_1 + C + C = C_1 + 2C$$

$$L_4 = C_1 + C + C + C_2 = C_1 + 2C + C_2 = L$$

۲- سپس X_i و Y_i هر نقطه روی قوس به ازای هر L_i مطابق شکل قبلی از فرمولهای زیر محاسبه می گردد.

$$X_i = L_i - \frac{L_i^5}{40A^4} + \frac{L_i^9}{3456A^8} - \dots \cong L_i \quad (7-9 \text{ تکراری})$$

$$Y_i = \frac{L_i^3}{6A^2} - \frac{L_i^7}{336A^6} + \frac{L_i^{11}}{42240A^{10}} - \dots \cong \frac{L_i^3}{6A^2} = \frac{L_i^3}{6LR} \quad (7-10 \text{ تکراری})$$

- ۳- پس از محاسبه X و Y هر نقطه کافی است تئودولیت را در نقطه شروع قوس (T_1) مستقر نموده و به رأس قوس (S) نشانه روی و قفل حرکت تند آلیداد را ببندیم در این حالت امتداد قراول روی تئودولیت نشان دهنده محور X می باشد.
- ۴- در امتداد قراول روی دوربین (محور X) به اندازه طول X_i نقطه موردنظر مترکشی می نمائیم.
- ۵- از انتهای X_i بدست آمده عمودی به اندازه Y_i آن نقطه اخراج نموده تا موقعیت نقطه روی زمین مشخص گردد.
- ۶- مراحل ۴ و ۵ را تا زمانی که $X_i = X_{max}$ گردد ادامه می دهیم بدیهی است به ازای $L_i = L$ مقدار X_{max} و Y_{max} که مربوط به آخرین نقطه روی قوس که همان شروع قوس دایره (A) است بدست می آید. (به روابط ۷-۱۳ و ۷-۱۴)
- ۷- شاخه دوم کلوتوئید مشابه شاخه اول و با استقرار تئودولیت در نقطه T_2 پیاده می شود.

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

مثال از پیاده کردن کلوتوئید به روش مختصات قائم الزاویه از شروع کلوتوئید:

با توجه به معلومات مثال قبل در صورتی که منحنی اتصال از نوع کلوتوئید فرض شود مطلوب است تنظیم جدولی به روش مختصات قائم الزاویه (کارتزین) جهت پیاده کردن شاخه اول کلوتوئید در صورتیکه حداکثر طول قوسهای کوتاه 40 متر و کیلومترها نیز رُند و مضرب صحیحی از عدد 10 در نظر گرفته شوند.

(حل)

با توجه به مفروضات مثال ۷-۲ داریم:

$$\Delta = 20 \text{ گراد}$$

$$L = 120_m$$

$$R = 500_m$$

$$KM_{T1} = 8426.10_m$$

با در نظر گرفتن حداکثر طول قوسهای کوتاه 40 متری اولین دهانه روی قوس را 23.90 متر اختیار می کنیم. تا کیلومتر اژ اولین نقطه روی قوس عددی رُند گردد.

$$L = 23.90 + 40 + 40 + 16.10 = 120_m$$

بنابراین:

$$L_1 = 23.90$$

$$L_2 = 23.90 + 40 = 63.90$$

$$L_3 = 63.90 + 40 = 103.90$$

$$r = 103.90 + 16.10 = 120 = L$$

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

مقادیر L_i ها در فوق را به ترتیب در معادلات زیر قرار داده تا X_i و Y_i هر نقطه روی قوس بدست آید.

$$X_i = L_i - \frac{L_i^5}{40A^4} + \dots \cong L_i$$

$$Y_i = \frac{L_i^3}{6A^2} - \frac{L_i^7}{336A^6} + \dots \cong \frac{L_i^3}{6A^2} = \frac{L_i^3}{6LR}$$

به عنوان مثال X و Y اولین نقطه روی قوس برابر است با:

$$A^2 = L \times R = 120 \times 500 = 60000$$

$$X_1 = 23.90 - \frac{(23.90)^5}{40 (60000)^2} = 23.90_m$$

$$Y_1 = \frac{(23.90)^3}{6 (60000)} - \frac{(23.90)^7}{336 (60000)^3} = 0.04_m$$

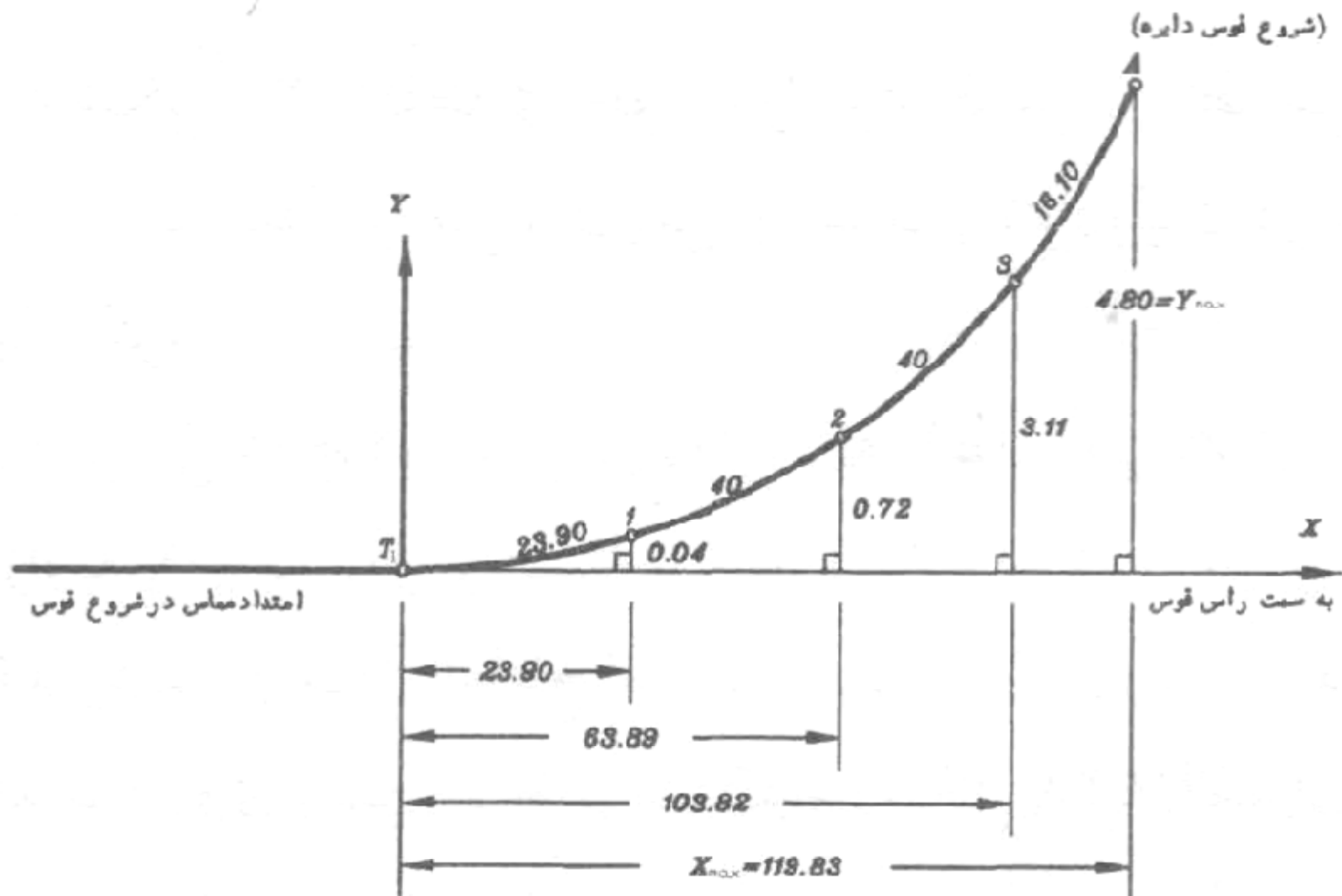
منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

برای مابقی نقاط مشابه فوق عمل کرده و نتایج را در قالب جدولی به شکل زیر تنظیم می کنیم.

جدول ۷-۳ جدول پیاده کردن شاخه اول

P	L_i	X_i	Y_i	KM_i
T_1	00_m	00	00	$8_{km} + 426.10_m$
1	23.90_m	23.90	0.04	$8 + 450.00$
2	63.90_m	63.89	0.72	$8 + 490.00$
3	103.90_m	103.82	3.11	$8 + 530.00$
$A = 4$	120_m	119.83	4.80	$8 + 546.10$

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

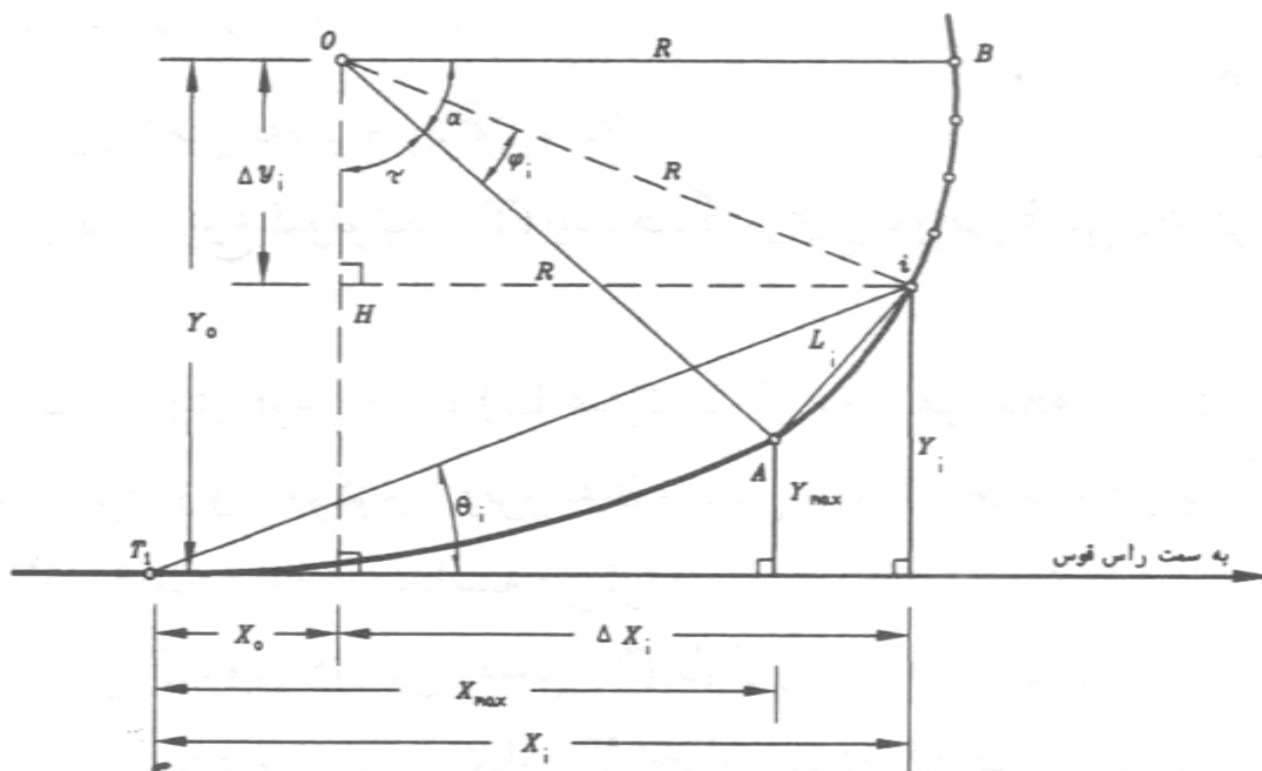


۲-۱-۷. پیاده کردن قوس دایره از نقطه شروع شاخه کلوتوئید (T_1 یا T_2)

قوس دایره را می توان مستقیماً از نقطه شروع کلوتوئید (T_1) به روش مختصات قائم الزاویه یا قطبی روی زمین پیاده نمود. به عبارتی جهت پیاده کردن شاخه کلوتوئید هنگامیکه دوربین در نقطه T_1 (یا T_2) مستقر است پس از پیاده شدن شاخه کلوتوئید روی زمین می توان کمان دایره را نیز در ادامه شاخه کلوتوئید پیاده کرد و نیازی به جابجایی دوربین نیست که در اینجا به توضیح دو روش قائم الزاویه و قطبی می پردازیم.

الف) روش مختصات قائم الزاویه:

با توجه به شکل زیر موقعیت هر نقطه چون i روی قوس دایره را به کمک دو پارامتر X_i و Y_i روی زمین مشخص می کنیم.



با توجه به شکل مقادیر X_i و Y_i نقطه i برابر است با:

$$X_i = X_o + \Delta X_i \quad (7-85)$$

$$Y_i = Y_o - \Delta Y_i \quad (7-86)$$

در مثلث قائم الزاویه OHi داریم:

$$\Delta X_i = R \cdot \sin(\varphi_i + \tau) \quad (7-87)$$

$$\Delta Y_i = R \cdot \cos(\varphi_i + \tau) \quad (7-88)$$

با قرار دادن نتایج ΔX_i و ΔY_i در روابط 7-85 و 7-86 خواهیم داشت:

$$X_i = X_o + R \cdot \sin(\varphi_i + \tau) \quad (7-89)$$

$$Y_i = Y_o - R \cdot \cos(\varphi_i + \tau) \quad (7-90)$$

که در آن:

$$\varphi_i = \frac{L_i}{R}$$

$$\tau = \frac{L}{2R}$$

$$X_o = X_{\max} - R \cdot \sin \tau \quad (7-42 \text{ تکراری})$$

$$Y_o = Y_{\max} + R \cdot \cos \tau = R + \Delta R \quad (7-43 \text{ تکراری})$$

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید)

مقادیر $X_{\max}$ و $Y_{\max}$ از روابط زیر قابل محاسبه است و در صورتیکه از جملات دوم به بعد معادلات مذکور صرف نظر شود داریم.

$$X_{\max} = L$$

$$Y_{\max} = \frac{L^2}{6R}$$

مراحل کار روی زمین به شرح زیر می باشد.

۱- دوربین را در شروع کلوتوئید (T_1) ایستگاه گذاری و به رأس قوس (S) قراول روی می نمائیم.

۲- با انتخاب L_i روی قوس دایره (L_i عبارتست از طول هر نقطه روی دایره نسبت به شروع قوس دایره) زاویه مرکزی روبرو به آن (یعنی φ_i) را محاسبه و نهایتاً X_i و Y_i به کمک معادلات ۷-۸۹ و ۷-۹۰ محاسبه می گردد.

۳- در امتداد قراول روی دوربین (محور X) طول X_i نقطه مورد نظر را مترکشی و از انتهای طول بدست آمده عمودی به اندازه Y_i اخراج نموده تا نقطه مورد نظر روی زمین پیاده شود.

۴- پیاده کردن مابقی نقاط مشابه مراحل قبل است.

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید)

ب) روش مختصات قطبی:

در شکل ۷-۴۴ نقطه‌ای چون i روی قوس دایره را به کمک زاویه θ_i و طول وترهای کوتاه روی قوس می‌توان پیاده نمود که θ_i برابر است با:

در رابطه فوق مقادیر X_i و Y_i از معادلات ۷-۸۹ و ۷-۹۰ قابل محاسبه است:

$$\theta_i = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y_i}{X_i}$$

مراحل کار هنگام عملیات زمینی به شرح زیر می‌باشد.

- ۱- تثبیت را در شروع کلوتوئید (T_1) مستقر و به راس قوس صفر صفر می‌کنیم.
- ۲- زاویه انحراف هر نقطه روی قوس دایره یعنی θ_i ها را نسبت به خط مماس اصلی در نقطه T_1 محاسبه می‌کنیم.
- ۳- زاویه انحراف اولین نقطه روی قوس یعنی θ_1 را به دوربین بسته و سپس متر فلزی را از نقطه شروع قوس دایره به اندازه طول وتر کوتاه انتخاب شده روی قوس باز نموده و نهایتاً محل تقاطع امتداد قراول روی و متر را روی زمین مشخص می‌کنیم.
- ۴- نقطه دوم روی قوس با بستن زاویه θ_2 به دوربین و مترکشی طول وتر کوتاه دهانه دوم نسبت به اولین نقطه روی قوس پیاده می‌گردد.
- ۵- مابقی نقاط مشابه مرحله قبل قابل پیاده کردن است.

نکته: در صورتیکه قوس راست گرد باشد زوایای θ_i و در حالت چپ گرد بودن قوس زاویه $\theta_i - 2\pi$ را می‌بایست به دوربین بست.

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

مثال از پیاده کردن قوس ترکیبی کلوتوئید - دایره - کلوتوئید :

با توجه به مشخصات ذیل برای یک قوس اتصال، ترکیبی از کلوتوئید و دایره، جدولی به روش مختصات قائم الزاویه جهت پیاده کردن شاخه اول کلوتوئید و قوس دایره به طوریکه شروع شاخه کلوتوئید (نقطه T_1) به عنوان مبداء مختصات و امتداد مماس در T_1 به عنوان محور X انتخاب شود، تنظیم کنید (حداکثر طول قوس کوتاه روی کلوتوئید و دایره به ترتیب 20 و 40 متر بطوریکه کیلومتراژها رُند و مضرب صحیحی از عدد 10 در نظر گرفته شوند).

کیلومتراژ راس قوس $KM_S = 1563.18_m$

زاویه انحراف مسیر $\Delta = 45^\circ$

طول شاخه کلوتوئید $L = 70_m$

شعاع قوس دایره $R = 250_m$

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

(حل)

$$\Delta R = \frac{L^2}{24R} = \frac{70^2}{24 \times 250} = 0.82_m$$

$$\begin{aligned} T &= (R + \Delta R) \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} + \frac{L}{2} \\ &= (250 + 0.82) \operatorname{tg} \frac{45^\circ}{2} + \frac{70}{2} = 138.89_m \end{aligned}$$

$$L_c = R \times \alpha_{\text{rad}} = R \times \Delta_{\text{rad}} - L$$

$$\alpha_{\text{rad}} = \Delta - 2\tau$$

$$\tau = \frac{L}{2R} \times \frac{180}{\pi} = \frac{70}{2 \times 250} \times \frac{180}{\pi} = 8^\circ, 01', 17''$$

$$\alpha = 45^\circ - 2(8^\circ, 01', 17'') = 28^\circ, 57', 26''$$

$$L_c = 250 \times (28^\circ, 57', 26'') \times \frac{\pi}{180} = 126.35_m$$

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

$$KM_{T_1} = KM_S - T = 1563.18 - 138.89 = 1424.29_m$$

$$KM_A = KM_{T_1} + L = 1424.29 + 70 = 1494.29_m$$

$$KM_B = KM_A + L_C = 1494.29 + 126.35 = 1620.64_m$$

$$\begin{aligned} KM_{T_2} &= KM_B + L = KM_{T_1} + 2L + L_C \\ &= 1620.64 + 70 = 1690.64_m \end{aligned}$$

در این مرحله جدول پیاده کردن شاخه کلوتوئید را تنظیم و برای این منظور اولین طول قوس کوتاه را جهت رُند شدن کیلومترها 15.71 متر انتخاب می کنیم.

$$L = 15.71 + 20 + 20 + 14.29 = 70_m$$

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

جدول ۷-۵ (جدول قوس کلوتوئید)

نقاط	طول قوس کوتاه	$X_i = L_i$	$Y_i = \frac{X_i^3}{6LR}$	KM_i
T_1	15.71 _m	00 _m	00 _m	1 _{km} + 424.29 _m
1		15.71	0.04	1 + 440.00
2	20	35.71	0.43	1 + 460.00
3	20	55.71	1.65	1 + 480.00
A	14.29	70	3.27	1 + 494.29

جهت تنظیم جدول پیاده کردن قوس دایره از روابط ذیل استفاده می کنیم.

$$X_i = X_o + R \cdot \sin(\varphi_i + \tau) \quad (7-89 \text{ تکراری})$$

$$Y_i = Y_o - R \cdot \cos(\varphi_i + \tau) \quad (7-90 \text{ تکراری})$$

که در آن $\varphi_i = \frac{L_i}{R}$ و مختصات مرکز قوس دایره از قرار زیر می باشد.

$$X_o = X_{\max} - R \cdot \sin \tau \quad (7-42 \text{ تکراری})$$

$$Y_o = Y_{\max} + R \cdot \cos \tau = R + \Delta R \quad (7-43 \text{ تکراری})$$

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

بنابراین خواهیم داشت:

$$X_{\max} \cong L = 70_m$$

$$Y_{\max} \cong \frac{L^2}{6R} = \frac{70^2}{6 \times 250} = 3.27_m$$

$$X_o = 70 - 250 \sin (8^\circ, 01', 17'') = 35.11_m$$

$$Y_o = 3.27 + 250 \cos (8^\circ, 01', 17'') = 250.82_m$$

در نتیجه معادلات X_i و Y_i برای قوس دایره از قرار زیر می باشد.

$$X_i = 35.11 + 250 \sin (\varphi_i + 8^\circ, 01', 17'')$$

$$Y_i = 250.82 - 250 \cos (\varphi_i + 8^\circ, 01', 17'')$$

به جهت رُند شدن کیلومترها روی قوس دایره، اولین طول قوس کوتاه را 35.71_m انتخاب می کنیم. و دهانه های میانی را 40 متر و در نتیجه دهانه آخر 10.64 متر بدست می آید.

$$L_c = 35.71 + 40 + 40 + 10.64 = 126.35_m$$

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

جدول ۷-۶ (جدول قوس دایره)

نقاط	طول قوس کوتاه	L_i	φ_i	X_i	Y_i	KM_i
A	35.71 40 40 10.64	00 _m	00° 00' 00"	70	3.27	1 _{km} + 494.29 _m
4		35.71	8° 11' 03"	104.88	10.75	1 + 530.00
5		75.71	17° 21' 05"	142.24	24.94	1 + 570.00
6		115.71	26° 31' 08"	176.86	44.89	1 + 610.00
B		126.35	28° 57' 26" = α (O.K.)	185.49	51.11	1 + 620.64

نمونه محاسبات در جدول فوق:

به عنوان مثال محاسبات نقطه 5 در جدول فوق را انجام می دهیم.

فاصله نقطه 5 روی قوس دایره نسبت به شروع قوس دایره برابر است با:

$$L_5 = 35.71 + 40 = 75.71_m$$

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

زاویه مرکزی روبرو کمان $L_5 = 75.71_m$ به شروع زیر محاسبه می گردد.

$$\varphi_5 = \frac{L_5}{R} \times \frac{180^\circ}{\pi} = \frac{75.71}{250} \times \frac{180^\circ}{\pi} = 17^\circ, 21', 05''$$

مختصات X و Y دومین نقطه روی قوس دایره (میخ شماره 5) نسبت به شروع

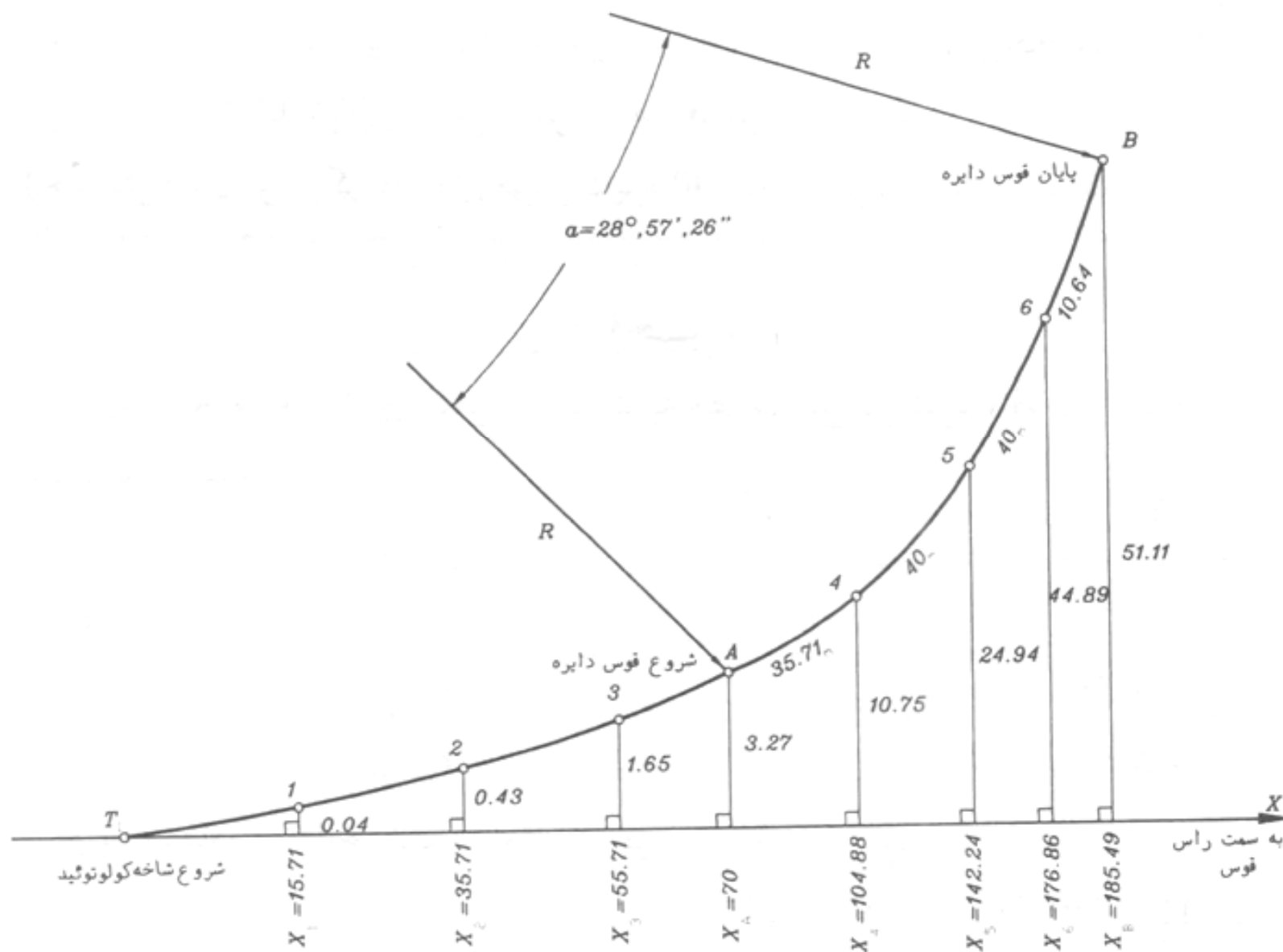
کلوتوئید برابر است با:

$$X_5 = 35.11 + 250 \sin (17^\circ, 21', 05'' + 8^\circ, 01', 17'') = 142.24_m$$

$$Y_5 = 250.82 - 250 \cos (17^\circ, 21', 05'' + 8^\circ, 01', 17'') = 24.94_m$$

$$KM_5 = KM_A + L_5 = 1494.29 + 75.71 = 1570.00_m = 1_{KM} + 570.00_m$$

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال



یک مثال دیگر :

با در نظر گرفتن معلومات مثال قبل با فرض راست گرد بودن قوس جدولی به روش مختصات قطبی جهت پیاده کردن قوس دایره تنظیم نمائید به طوریکه استقرار تئودولیت در شروع کلوتوئید (T_1) و صفر صفر به راس قوس صورت گیرد (حداکثر طول قوس کوتاه روی قوس دایره 40 متر و کیلومتراژها رُند گردد).

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

(حل)

جهت محاسبه زوایای انحراف نسبت به خط مماس در شروع قوس از معادله زیر استفاده می کنیم.

$$\theta_i = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y_i}{X_i} \quad (7-91 \text{ تکراری})$$

که در آن:

$$X_i = X_0 + R \sin (\varphi_i + \tau) \quad (7-89 \text{ تکراری})$$

$$Y_i = Y_0 - R \cos (\varphi_i + \tau) \quad (7-90 \text{ تکراری})$$

و با استفاده از نتایج بدست آمده از حل مثال ۷-۶ داریم:

$$X_i = 35.11 + 250 \sin (\varphi_i + 8^\circ, 01', 17'')$$

$$Y_i = 250.82 - 250 \cos (\varphi_i + 8^\circ, 01', 17'')$$

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال

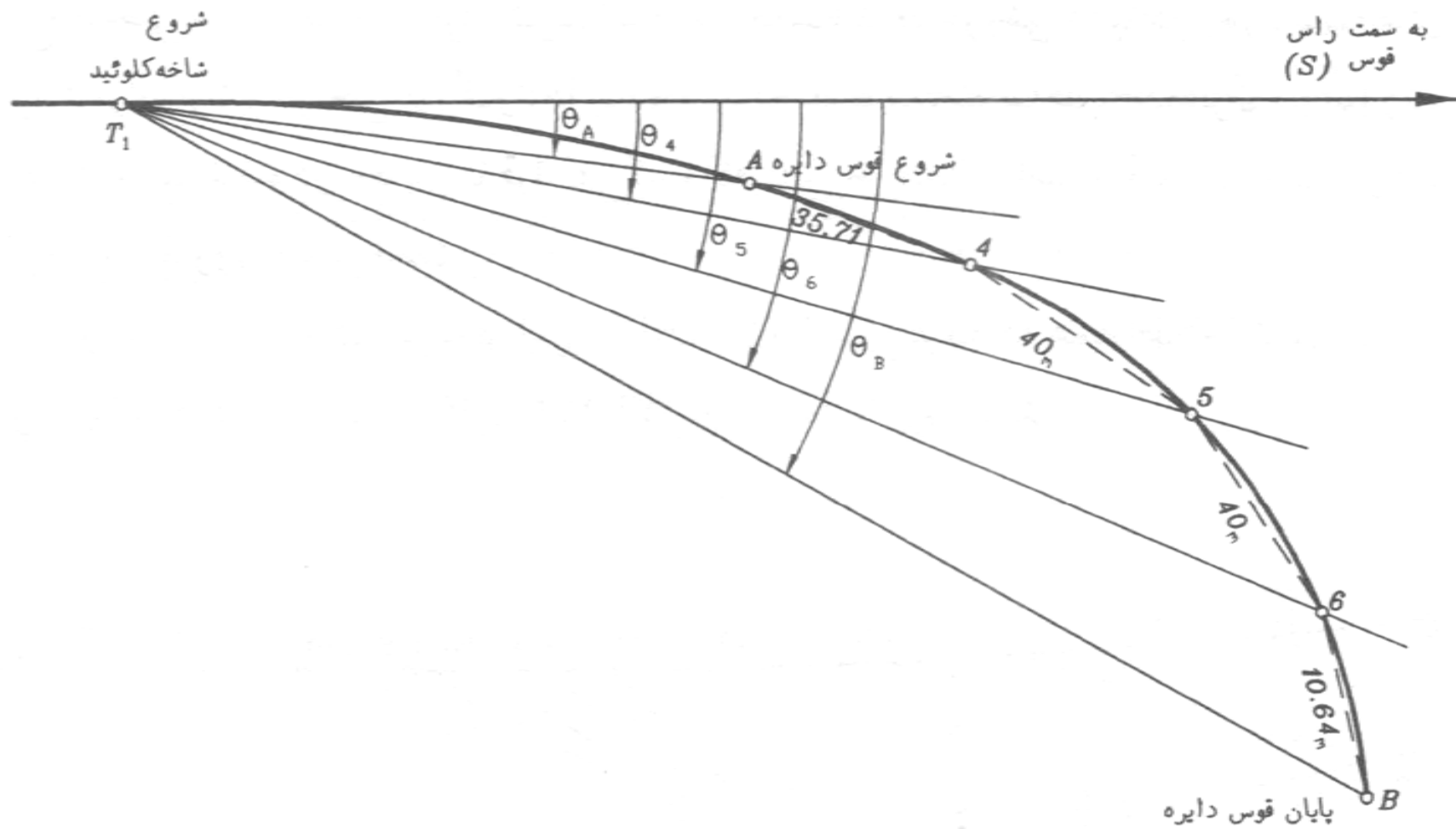
در صورتیکه طول قوسهای کوتاه روی کمان دایره را مشابه مثال قبل اختیار کنیم بنابراین X_i و Y_i نقاط روی قوس دایره مشابه مثال قبل بدست می آید در نتیجه زوایای انحراف θ_i با معلوم بودن X_i و Y_i نقاط قابل محاسبه است به عنوان مثال زاویه انحراف اولین نقطه روی قوس (نقطه 4 در مثال قبل) نسبت به خط مماس ورودی (مماس در T_1) برابر است با:

$$\theta_4 = \tan^{-1} \frac{Y_4}{X_4} = \tan^{-1} \frac{10.75}{104.88} = 5^\circ, 51', 08''$$

برای مابقی نقاط مشابه فوق عمل کرده و نتایج را در قالب جدول زیر تنظیم می کنیم.

P	C_i	L_i	φ_i	X_i	Y_i	θ_i	KM_i
A	35.71 _m 40 40 10.64	00 _m	00°, 00', 00"	70 _m	3.27 _m	2°, 40', 29"	1 _{km} +494.29 _m
4		35.71	8°, 11', 03"	104.88	10.75	5°, 51', 08"	1+530.00
5		75.71	17°, 21', 05"	142.24	24.94	9°, 56', 42"	1+570.00
6		115.71	26°, 31', 08"	176.86	44.89	14°, 14', 31"	1+610.00
B		126.35	28°, 57', 26" = α (o.K.)	185.49	51.11	15°, 24', 18"	1+620.64

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید) - مثال



پیاده کردن کل منحنی اتصال به روش مختصات

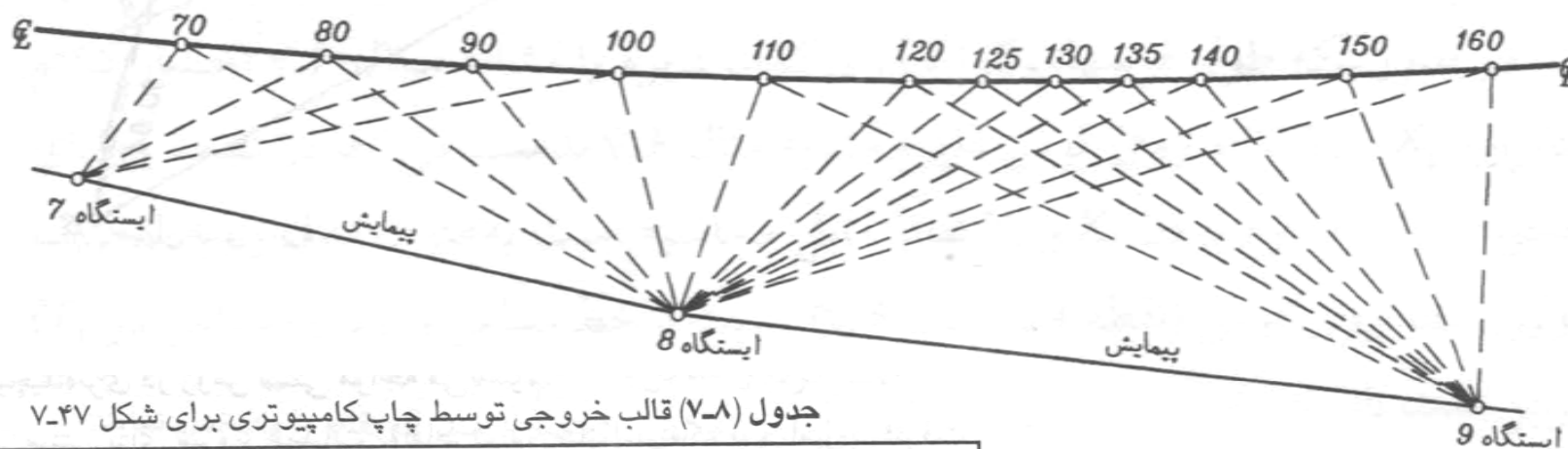
در قسمت های قبل با روش های سنتی پیاده کردن منحنی کلوتوئید آشنا شدیم. هر چند که روش های مذکور هنوز متداول بوده و کاربرد خود را حفظ کرده اند ولی در منحنی های بزرگ روش هایی که بر پایه نقاط مختصات دار در بیرون منحنی استوار است جای روش سنتی را گرفته است.

مطابق شکل بعدی موقعیت هر نقطه روی منحنی به وسیله یک دستگاه تئودولیت و EDM و یا یک دستگاه Total Station مشخص می گردد.

این روش ها عموماً به روش کلی مختصات نسبت داده می شوند و می توانند برای هر نوع منحنی مورد استفاده قرار گیرد. امروزه محاسبات این روش غالباً در زمره بسته های نرم افزاری برای طراحی بزرگ راه ها بوده و نتایج محاسبات به طور معمول به صورت اعداد چاپ شده در اختیار ما قرار می گیرد که قابل خواندن و استفاده سریع جهت پیاده کردن نقاط روی زمین است.

منحنی های اتصال - ترسیم و پیاده کردن قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید)

در جدول ۷-۸ یک نمونه از این جداول ملاحظه می گردد که همه اطلاعات مورد نیاز برای پیاده کردن منحنی شکل زیر را در اختیار ما قرار می دهد.



جدول (۷-۸) قالب خروجی توسط چاپ کامپیوتری برای شکل ۷-۴۷

JOB REFERENCE JO1777

PORTSMOUTH RAIL BRIDGE MAIN ALIGNMENT CH 70 TO CH 160

CENTRELINE CHAINAGE TO BE SET OUT	STATION REFERENCE NUMBER	WHOLE CIRCLE BEARING DEG. MIN. SEC.	HORIZONTAL DISTANCE FROM STATION TO CENTRELINE (M)	STATION REFERENCE NUMBER	WHOLE CIRCLE BEARING DEG. MIN. SEC.	HORIZONTAL DISTANCE FROM STATION TO CENTRELINE (M)
70	7	24 10 57	13.695	8	276 02 32	38.734
80	7	41 38 08	22.183	8	285 31 19	30.504
90	7	49 00 38	31.585	8	301 13 45	23.726
100	7	52 53 24	41.281	8	325 47 54	19.939
WHOLE CIRCLE BEARING FROM STATION 7 TO STATION 8 = 79 DEG. 12 MIN. 09 SEC.						
WHOLE CIRCLE BEARING FROM STATION 8 TO STATION 7 = 259 DEG. 12 MIN. 09 SEC.						
110	8	354 04 27	20.844	9	270 04 27	54.792
120	8	15 22 10	25.954	9	275 26 51	45.969
125	8	22 43 13	29.480	9	278 59 41	41.768
130	8	28 24 28	33.392	9	283 19 50	37.772
135	8	32 51 00	37.571	9	288 40 14	34.052
140	8	36 22 09	41.937	9	295 15 48	30.709
150	8	41 30 43	51.034	9	313 00 40	25.732
160	8	45 01 39	60.436	9	335 51 19	24.166

WHOLE CIRCLE BEARING FROM STATION 8 TO STATION 9 = 68 DEG. 34 MIN. 09 SEC.
WHOLE CIRCLE BEARING FROM STATION 9 TO STATION 8 = 248 DEG. 34 MIN. 09 SEC.

در جدول ۷-۸ فاصله هر نقطه از منحنی نسبت به دو ایستگاه و همچنین ژیرمان (Bearing) هر نقطه روی منحنی نسبت به هر ایستگاه ارائه شده است بنابراین منحنی آماده است تا به وسیله مختصات قطبی (یا تقاطع) نسبت به رؤوس ایستگاههای پیمایش پیاده شود. محاسباتی که جدول ۷-۸ را نتیجه می دهد به ترتیب زیر خلاصه می گردد.

۱- مختصات ایستگاههای پیمایش مشخص می گردد.

۲- امتداد منحنی نسبت به ایستگاههای پیمایش و همچنین محل نقاط روی منحنی مشخص می گردد.

۳- مختصات نقاطی که قرار است روی منحنی میخ کوبی شوند با استفاده از طول وترها، زوایای انحراف و مختصات نقاط رأس قوس و شروع قوس (یا انتها قوس) محاسبه می شوند.

۴- دو ایستگاه پیمایش که نزدیکترین فاصله را داشته و به یکدیگر دید دارند و همچنین نقاط تقاطع خوبی با محور مسیر پیشنهادی داشته باشند را پیدا کرده و مختصات قطبی نقاط نسبت به ایستگاههای پیمایش محاسبه می گردند.

۵- کامپیوتر این عمل را برای همه نقاط روی خط مرکزی (منحنی) تکرار و دستگاه چاپگر یک خروجی مشابه جدول ۷-۸ ارائه می نماید.

مقایسه پیاده کردن منحنی به روش مختصات با روش های سنتی

روش مختصات نسبت به روش های سنتی دارای مزایای مهمی است. هر چند این روش همیشه قابل اتخاذ نمی باشد. برخی از مزایای نسبی این دو روش در زیر آمده است.

۱- روش مختصات به وسیله هر شخص که توانایی استفاده از تئودولیت و EDM و یا دستگاه Total Station را داشته باشد قابل انجام است چون اطلاعات به شکل فواصل و زاویه چرخش ها مربوط بوده و به هیچ گونه دانش طراحی نیاز نمی باشد و این مورد در روش سنتی وجود ندارد.

۲- افزایش استفاده از بسته های نرم افزاری در طراحی بزرگ راه ها به وسیله پیاده کردن اطلاعاتی که به صورت آماده در اختیار ما قرار داده می شوند متقابلاً باعث افزایش روز افزون انتخاب روش مختصات شده است.

۳- گستره وسیع استفاده از ماشین حساب ها و کامپیوترها نیز به صورت عمده ای فرآیند محاسبه به روش مختصات را تسریع می بخشد و در غیر این صورت با محاسبات دستی پیچیده تری در روش سنتی مواجه می باشیم.

۴- در روش سنتی برای شروع عملیات به نقاط تماس نیاز است که این امر پیشرفت ساختمان راه را به تأخیر می اندازد. اما روش مختصات این امکان را می دهد که کار بدون تأخیر به پیش برود و این نکته ای بسیار مهم است زیرا میخ ها در طول عملیات ساخت و ساز جاده دچار جابجایی و مفقود شدن شده و لازم است در پایان هر مرحله از کار سریعاً دوباره آنها را روی زمین میخ کوبی نمود.

۵- در روش مختصات هر گونه مشکلی برای میخ های روی قوس ایجاد شود می توانیم به سرعت با نقاط کنترل اشکال را رفع کنیم چون نقاط کنترل به خوبی محافظت می شوند و از محل رفت و آمد دور نگه داشته می شوند.

۶- در روش مختصات هر میخ روی قوس بدون توجه به میخ های دیگر ثابت شده است. که این مسئله به ما اطمینان می بخشد که خطاها گسترش نمی یابد و از طرفی قابل کنترل بیشتر است در صورتیکه در روش سنتی امکان بروز انتقال خطا به نقاط روی قوس بیشتر است.

۷- روش مختصات این امکان را می دهد که قسمت های کلیدی محور مسیر را به طور جداگانه پیاده کنیم برای مثال محور مرکزی یک پل را می توان در نظر گرفت به طوریکه امکان پیشرفت پل در بیشتر از یک قسمت آن به طور همزمان میسر می گردد.

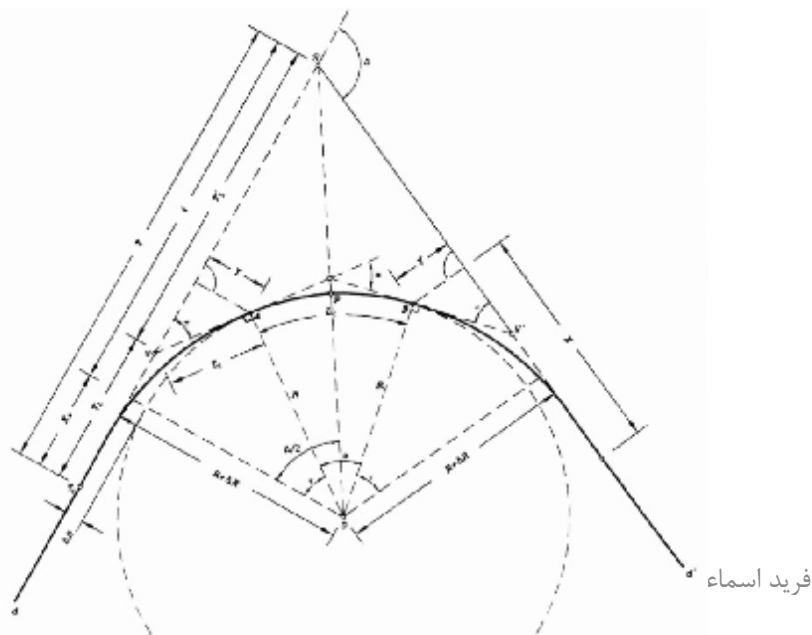
برخی نکات راجع به منحنی کلوتوئید

شرط برقراری منحنی اتصال

همانگونه که در شکل زیر ملاحظه می شود شرط برقراری منحنی اتصال این است که:

$$\frac{\Delta}{2} \geq \tau \quad \text{و یا} \quad \Delta \geq 2\tau$$

در صورتیکه $\Delta = 2\tau$ باشد طول قوس دایره برابر صفر خواهد بود. (توضیحات



منحنی های اتصال - نکاتی راجع به قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید)

الف) همانگونه که در اسلاید قبلی بیان شد، شرط برقراری یک منحنی اتصال این است که زاویه مرکزی قوس دایره، بزرگتر یا مساوی صفر باشد. (یعنی $\alpha \geq 0$) در غیر اینصورت دو شاخه کلوتوئید همدیگر را قطع خواهند نمود.
از طرفی چون $\Delta = \alpha + 2\tau$ می باشد در نتیجه خواهیم داشت:

$$\alpha = \Delta - 2\tau \geq 0$$

$$\Delta - 2\tau \geq 0$$

$$\Delta \geq 2\tau$$

$$\Delta \geq 2\left(\frac{L}{2R}\right) \quad \text{و یا} \quad \Delta \geq \frac{L}{R}$$

بنابراین چنانچه یکی از شرایط زیر برقرار باشد منحنی اتصال برقرار خواهد بود.

$\begin{aligned}\alpha &\geq 0 \\ \Delta &\geq 2\tau \\ \Delta &\geq \frac{L}{R}\end{aligned}$
--

منحنی های اتصال - نکاتی راجع به قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید)

ب) در صورتیکه در مسیر هیچگونه محدودیتی جهت طراحی وجود نداشته باشد، معمولاً قوس دایره را معادل طول منحنی اتصال در نظر می گیرند، یعنی $L_c = L$ و در این حالت خواهیم داشت:

$$\Delta = \alpha + 2\tau$$

$$\alpha = \frac{L_c}{R} \quad \tau = \frac{L}{2R}$$

$$\text{فرض: } L_c = L \rightarrow \Delta = \frac{L}{R} + 2\frac{L}{2R} = \frac{2L}{R}$$

و یا:

$$\frac{\Delta}{2} = \alpha = \frac{L}{R} \quad (V-99)$$

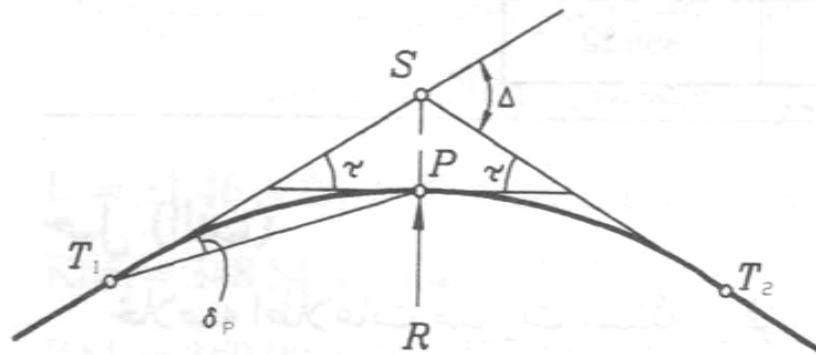
بنابراین چنانچه طول قوس دایره میانی معادل طول منحنی اتصال انتخاب شود، زاویه طی شده توسط قوس دایره تقریباً معادل $\frac{\Delta}{2}$ و زاویه طی شده توسط هر کدام از منحنی های اتصال معادل $\frac{\Delta}{4}$ خواهد بود، یعنی:

$$\Delta = \tau + \alpha + \tau$$

$$\Delta = \frac{L}{2R} + \frac{L}{R} + \frac{L}{2R} = \frac{\Delta}{4} + \frac{\Delta}{2} + \frac{\Delta}{4} \quad (V-100)$$

منحنی های اتصال - نکاتی راجع به قوس ترکیبی متقارن (کلوتوئید - دایره - کلوتوئید)

پ) در مواقعی که به دلیل محدودیتهای موجود در منطقه، فاصله رأس قوس تا وسط قوس (بی سیکتریس) بسیار کم باشد، ممکن است از قوس اتصال سراسری استفاده شود یعنی قوس دایره وسط به کلی حذف و دو شاخه اتصال در نقطه P به یکدیگر متصل می شوند. و نکته ای که باید به آن توجه داشت این است که شعاع انحنای دو قوس در محل اتصال P نباید از شعاع حداقلی که براساس سرعت طرح تعیین می شود کمتر باشد (شکل زیر).



$$\Delta = 2\tau$$

$$\Delta = 2\frac{L}{2R} = \frac{L}{R}$$

$$\delta_p \cong \frac{\tau}{3} = \frac{\Delta}{6}$$

پایان جلسه