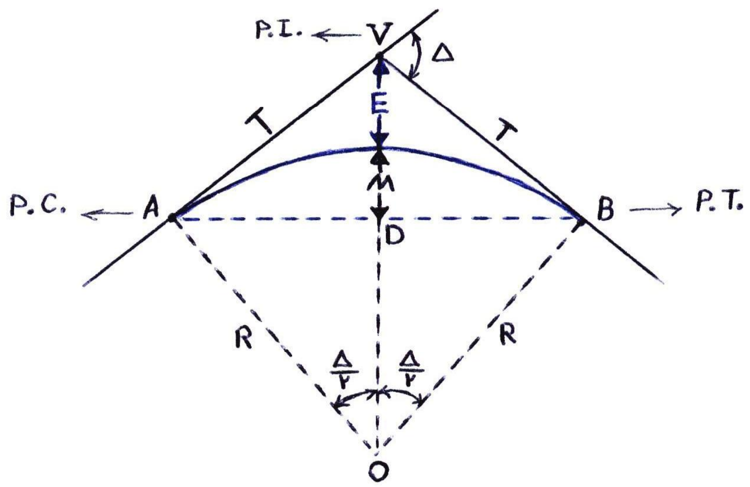
Azarkish@iust.ac.ir

فصل پنجم : قوسهای افقی

۵-۱- مقدمه: براساس مطالب ارائه شده در فصل مطالعات مسیر، ملاحظه می‌شود که واریانت انتخاب شده مسیر شامل یک سری خطوط مستقیم (تانژانت) می‌باشد که در نقاطی دارای شکستگی شده‌اند. تامین راحتی رفت و آمد وسایل نقلیه مهندس طراح را بر آن می‌دارد تا یک مسیر منحنی را جایگزین قسمتی از طرفین نقطه تقاطع تانژانتها یا محل شکستگی (سومه) نماید. این مسیر منحنی که برای اتصال راستاهای متقاطع مسیر مورد استفاده قرار می‌گیرد، قوس افقی نامیده می‌شود.

قوسهای افقی دارای انواع مختلفی هستند. از مهمترین و کاربردی ترین انواع این قوسها می‌توان به قوسهای دایره‌ای ساده، دایره‌ای مرکب، دایره‌ای معکوس، سرپانتین، شبدری و منحنی‌های اتصال (کلوتوئید) اشاره نمود.

۵-۲- قوس دایره‌ای ساده: قوسی است که توسط یک کمان دایره‌ای شکل دو قسمت مستقیم یک جاده را به یکدیگر متصل می‌کند.



با درنظرگرفتن شکل فوق، تعاریف و اصطلاحات قوس دایره‌ای ساده به صورت ذیل بیان می‌شوند:

۱) راس قوس یا سومه: (PI = Point of Intersection , S = Somet , V = Vertex)

محل تقاطع دو قسمت مستقیم مسیر یا محل تلاقی امتداد مماسها را راس قوس می‌نامند.

۲) زاویه تقاطع: (Δ = Intersection Angle)

زاویه خارجی تشکیل شده از تقاطع دو قسمت مستقیم را زاویه تقاطع یا زاویه قوس می‌نامند. این زاویه مساوی زاویه مرکزی روبروی قوس AB می‌باشد.

③ نقطه شروع قوس و نقطه پایان قوس : (P.C. = Point of Curvatur & P.T. = Point of Tangency)

از چپ به راست نقطه A یا P.C نقطه شروع قوس و نقطه B یا P.T نقطه پایان قوس نامیده می‌شود.

④ طول مماس یا طول تانژانت : (T = Tangent Distance)

فاصله راس قوس تا شروع و یا پایان قوس (VA = VB) را طول مماس یا طول تانژانت می‌نامند و این مقدار با ملاحظه مثلث قائم‌الزاویه OAV در شکل قبل به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$T_1 = T_2 = R\ tg\frac{\Delta}{2}$$

⑤ طول قوس : (L = Curve Distance)

فاصله نقطه A تا نقطه B روی مسیر منحنی را طول قوس می‌نامند و مقدار آن را به صورت زیر محاسبه می‌نمایند:

$L = R.\Delta$ (که در آن Δ برحسب رادیان است) یا $L = \frac{\pi}{180} R.\Delta$ (که در آن Δ برحسب درجه است)

⑥ طول وتر بزرگ : (L_c = Long Chord)

خط اتصال AB که ابتدا و انتهای قوس را به هم متصل می‌کند، طول وتر بزرگ نامیده می‌شود و این مقدار با در نظر گرفتن مثلث قائم‌الزاویه ODA در شکل قبل به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\sin\frac{\Delta}{2} = \frac{AD}{OA} = \frac{\frac{L_c}{2}}{R} \Longrightarrow L_c = 2R\sin\frac{\Delta}{2}$$

⑦ فاصله بیرونی یا خارجی : (B.D. = Bisectories Distance , E = External Distance)

فاصله راس قوس تا وسط قوس را فاصله بیرونی یا بیسکتریس می‌نامند و این مقدار با در نظر گرفتن مثلث OAV به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\cos\frac{\Delta}{2} = \frac{OA}{OV} = \frac{R}{R+E} \Longrightarrow E = R\left(\frac{1}{\cos\frac{\Delta}{2}} - 1\right) = R\left(\sec\frac{\Delta}{2} - 1\right)$$

و یا :

$$E = R\left(\frac{1-\cos\frac{\Delta}{2}}{\cos\frac{\Delta}{2}}\right) = R\left(\frac{2\sin^2\frac{\Delta}{4}}{\cos\frac{\Delta}{2}}\right)\left(\frac{\cos\frac{\Delta}{4}}{\cos\frac{\Delta}{4}}\right) = R\left(\frac{\sin\frac{\Delta}{2}}{\cos\frac{\Delta}{2}}\right)\left(\frac{\sin\frac{\Delta}{4}}{\cos\frac{\Delta}{4}}\right)$$

$$= R\ tg\frac{\Delta}{2}\ .\ tg\frac{\Delta}{4} = T\ tg\frac{\Delta}{4}$$

⑧ فاصله میانی یا متوسط : (M = Middle Ordinate)

فاصله میان وتر بزرگ و وسط قوس را فاصله میانی یا متوسط می‌نامند و مقدار آن با ملاحظه مثلث قائم‌الزاویه ODA به صورت زیر محاسبه می‌شود :

$$\cos\frac{\Delta}{2} = \frac{OD}{OA} = \frac{R-M}{R} \Longrightarrow M = R\left(1-\cos\frac{\Delta}{2}\right) = R\,\text{Vers}\,\frac{\Delta}{2}$$

⑨ درجه قوس : (D = Degree of Curve)

زاویه مرکزی روبروی قوس یا وتر ۱۰ متری را درجه قوس می‌نامند.

نکته : برای مشخص نمودن زاویه مرکزی می‌توان طول قوس یا وتر را برابر ۱۰ ، ۲۰ ، ۳۰ یا ۱۰۰ واحد انتخاب نمود. محاسبات این جزوه بر مبنای طول قوس یا وتر معادل ۱۰ متر انجام می‌گردد. لکن در برخی از منابع این طول برابر ۳۰ یا ۱۰۰ متر و در برخی دیگر ۳۰ یا ۱۰۰ فوت در نظر گرفته شده است. واحد این طول با توجه به واحد مورد استفاده برای R تعیین می‌شود.

$$R \times D = 10\ \text{m} \Longrightarrow D = \frac{10}{R}$$

D برحسب رادیان ، R برحسب متر

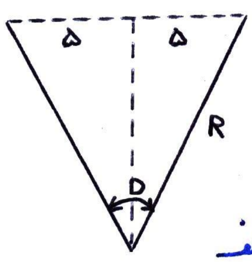
$$\Longrightarrow D = \frac{572.96}{R}$$

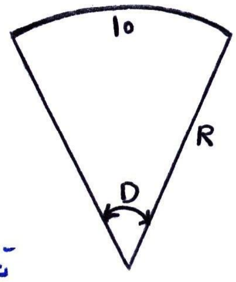
D برحسب درجه ، R برحسب متر

روابط بالا درجه قوس را برحسب قوس روبرو تعیین می‌کنند و ملاحظه می‌گردد که شعاع قوس با درجه قوس نسبت عکس دارد. اما اگر درجه قوس برحسب وتر روبرو تعریف شود ، خواهیم داشت :

$$\sin\frac{D}{2} = \frac{5}{R} \Longrightarrow R = \frac{5}{\sin\frac{D}{2}}$$

$$\Longrightarrow D = 2\arcsin\frac{5}{R}$$





تعریف درجه قوس در دو حالت مختلف

نکته: درجه قوس میزان انحنا یا تیزی قوس را مشخص می‌کند و هر چه D کمتر باشد، شعاع قوس بزرگتر بوده و قوس ملایم‌تر می‌باشد.

۵-۳- تعیین اجزای نامعلوم قوس با توجه به قسمتهای معلوم

الف) تعیین طول قوس (L) با فرض معلوم بودن درجه قوس (D) و طول وتر بزرگ (L_c)

۱) اگر درجه قوس برحسب طول قوس روبرو تعریف شده باشد خواهیم داشت: $D = \frac{10}{R} \rightarrow R = \frac{10}{D}$ (I)

$$L = R \cdot \Delta \xrightarrow{\text{I}} L = \frac{10}{D} \cdot \Delta \longrightarrow \Delta = \frac{L \cdot D}{10} \quad \text{(II)}$$

$$L_c = 2R \sin\frac{\Delta}{2} \xrightarrow{\text{II}} L_c = 2R \sin\left(\frac{LD}{20}\right) \longrightarrow \frac{L_c}{2R} = \sin\left(\frac{LD}{20}\right)$$

$$\longrightarrow \frac{LD}{20} = \text{Arc}\sin\left(\frac{L_c}{2R}\right) \longrightarrow L = \frac{20}{D}\text{Arc}\sin\left(\frac{L_c}{2R}\right)$$

$$\xrightarrow{\text{I}} L = \frac{20}{D}\text{Arc}\sin\left(\frac{L_c \times D}{20}\right)$$ D برحسب رادیان و L_c برحسب متر

یا $$L = \frac{20}{D}\text{Arc}\sin\left(\frac{L_c \times D}{2 \times 572{,}96}\right)$$ D برحسب درجه و L_c برحسب متر

۲) اگر درجه قوس برحسب وتر روبرو تعریف شده باشد خواهیم داشت: $2R \sin\frac{D}{2} = 10$ (III)

$$2R \sin\frac{\Delta}{2} = L_c \quad \text{(IV)}$$

از تقسیم روابط III و IV داریم:

$$L_c = 10\,\frac{\sin\frac{\Delta}{2}}{\sin\frac{D}{2}} \longrightarrow \sin\frac{\Delta}{2} = \frac{L_c}{10}\sin\frac{D}{2} \longrightarrow \Delta = 2\,\text{Arc}\sin\left(\frac{L_c}{10}\sin\frac{D}{2}\right)$$

$$L = R \cdot \Delta \longrightarrow L = 2R\,\text{Arc}\sin\left(\frac{L_c}{10}\sin\frac{D}{2}\right) \xrightarrow{R = \frac{5}{\sin D/2}} L = \frac{10}{\sin\frac{D}{2}}\text{Arc}\sin\left(\frac{L_c}{10}\sin\frac{D}{2}\right)$$

که در آن D برحسب رادیان و L_c برحسب متر می باشد. لذا درصورتی که D برحسب درجه معلوم باشد رابطه به صورت زیر اصلاح می گردد:

$$L_1 = \frac{\pi}{180} \times \frac{10}{\sin\frac{D}{2}} \operatorname{Arc}\sin\left(\frac{L_c}{10}\sin\frac{D}{2}\right)$$

ب) تعیین طول قوس (L_1) با فرض معلوم بودن درجه قوس (D) و زاویه تقاطع (Δ)

$$L_1 = 10\,\frac{\Delta}{D} \qquad \begin{cases} \Delta = 20^\circ\ 24' \\ D = 1^\circ\ 40' \end{cases} \Longrightarrow L_1 = 10 \times \frac{20.4}{1.666} = 122.4\ m$$

ج) تعیین شعاع قوس (R) با فرض معلوم بودن درجه قوس (D)

$$R = \frac{572.96}{D\ (\text{درجه})} \quad \text{یا} \quad R = \frac{10}{D\ (\text{رادیان})} \qquad \left\{ D = 4^\circ\ 30' \right. \Longrightarrow R = \frac{572.96}{4.5} = 127.32\ m$$

د) تعیین فاصله خارجی (E) و طول تانژانت (T) با فرض معلوم بودن شعاع (R) و زاویه تقاطع (Δ)

$$\begin{cases} \Delta = 40^\circ\ 12' \\ R = 1000\ m \end{cases} \Longrightarrow T = R\,tg\frac{\Delta}{2} = 1000\ tg\frac{40.2}{2} = 365.95\ m$$

$$E = R\left(\sec\frac{\Delta}{2} - 1\right) = 1000\left(\sec\frac{40.2}{2} - 1\right) = 64.85\ m$$

ه) تعیین طول قوس (L)، طول تانژانت (T) و فاصله خارجی (E) با فرض معلوم بودن درجه قوس (D) و زاویه تقاطع (Δ)

$$\begin{cases} \Delta = 24^\circ\ 32' \\ D = 0^\circ\ 15' \end{cases} \Longrightarrow T = R\,tg\frac{\Delta}{2} = \frac{572.96}{0.25}\,tg\frac{24.53}{2} = 498.304\ m$$

$$E = R\left(\sec\frac{\Delta}{2} - 1\right) = \frac{572.96}{0.25}\left(\frac{1}{\cos\frac{24.53}{2}} - 1\right) = 53.546\ m$$

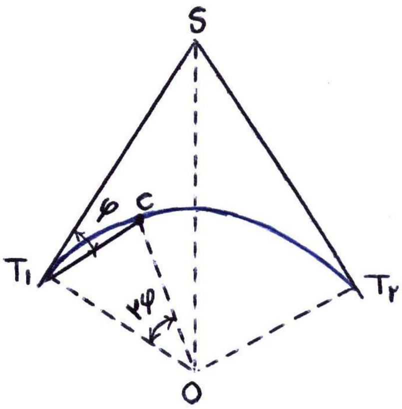
$$L = 10\left(\frac{24.53}{0.25}\right) = 981.33\ m$$

نتیجه گیری: هنگامی که دو جزء از یک قوس دایره ای معلوم باشد، سایر اجزاء قوس با استفاده از روابط هندسی قابل محاسبه است.

۵-۴- پیاده کردن قوس به روش زاویه انحراف :

زاویه انحراف یا زاویه ظلی، زاویه‌ای است که بین مماس ST_1 با وتر T_1C (C نقطه‌ای از قوس می‌باشد) قرار دارد و معمولاً با φ نمایش داده می‌شود. مطابق شکل اندازه این زاویه نصف زاویه مرکزی روبروی کمان $\widehat{T_1C}$ می‌باشد، لذا خواهیم داشت :

$$l_1 = \widehat{T_1C} = 2R \times \varphi \longrightarrow \varphi = \frac{l_1}{2R} \quad \text{رادیان}$$



$$l_2 = \overline{T_1C} = 2R\sin\varphi$$

درعمل نقطه C توسط زاویه φ و طول وتر $\overline{T_1C}$ روی زمین مشخص می‌گردد اما مشاهده می‌شود که تفاوت بین قوس l_1 و وتر l_2 دقت پیاده کردن قوس را تحت الشعاع قرار می‌دهد. برای محاسبه این دقت به روش زیر عمل می‌شود :

$$e = \frac{l_1 - l_2}{l_1}$$

$$l_2 = 2R\sin\varphi = 2R\left(\varphi - \frac{\varphi^3}{3!} + \frac{\varphi^5}{5!} - \dots\right)$$ به علت کوچک بودن φ از جمله $\frac{\varphi^5}{5!}$ به بعد قابل اغماض است

$$e = \frac{2R\varphi - 2R\left(\varphi - \frac{\varphi^3}{3!}\right)}{2R\varphi} = \frac{R\varphi^3}{2R\varphi \times 3} \xrightarrow{\varphi = \frac{l_1}{2R}} e = \frac{l_1^2}{24R^2}$$

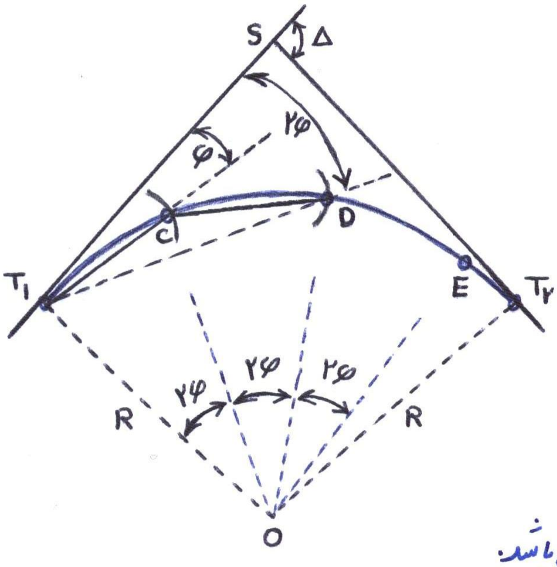
درنتیجه معلوم می‌شود که این دقت بستگی به R و l_1 دارد و چنانچه $l_1 = \frac{R}{10}$ انتخاب شود دقت برابر $\frac{1}{2400}$ و اگر $l_1 = \frac{R}{20}$ درنظر گرفته شود، دقت برابر $\frac{1}{9600}$ خواهد بود.

بنابراین با انتخاب طول کمان مناسب می‌توان دقت مورد نظر را رعایت نمود، لیکن درعمل بهتر است که طول کمان $\frac{1}{20}$ تا $\frac{1}{10}$ شعاع انتخاب شود و در عین حال برای پیاده کردن قوس‌ها با شعاع بزرگ در مناطق کم عارضه، طول کمان بیشتر از ۵۰ متر انتخاب نشود.

حال با معلوم بودن طول کمان ($l_1 = \widehat{T_1C}$) مقدار زاویه ظلی φ قابل محاسبه می‌باشد و مطابق بحث قبل می‌توان با دقت مناسب طول وتر $\overline{T_1C}$ را مساوی طول کمان درنظر گرفت و به روش زاویه انحراف نقطه C را پیاده نمود. دراین روش دوربین مستقر در T_1 به

به سمت نقطه سوم (S) نشانه‌روی و صفرصفر می‌گردد. سپس در جهت عقربه‌های ساعت به اندازه زاویه ظلی φ یا نصف زاویه مرکزی روبروی کمان $\widehat{T_1C}$ چرخانده می‌شود تا امتداد وتر $\overline{T_1C}$ حاصل گردد. برای تعیین موقعیت نقطه C بر روی این امتداد، یک انتهای نوار به طول معین $\ell_1 = \widehat{T_1C}$ در نقطه T_1 ثابت می‌شود و انتهای دیگر آن طوری جابجا می‌شود تا امتداد $\overline{T_1C}$ را قطع کند. به عبارت دیگر نقطه C از تلاقی امتداد وتر $\overline{T_1C}$ با دایره‌ای به مرکز T_1 و شعاع ℓ_1 حاصل می‌شود.

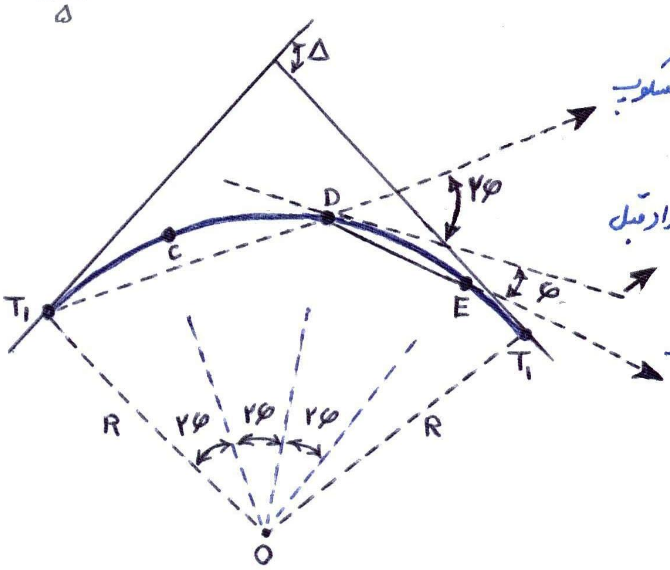
به این ترتیب درصورتی که از نقطه T_1 به تمام نقاط واقع بر روی قوس دید داشته باشیم، با تقسیم طول قوس به کمان‌های یک اندازه (طول ℓ_1)، زوایای مرکزی روبروی این کمانها محاسبه می‌شود و برای ردیابی امتداد هر نقطه دیگر (به عنوان مثال D) می‌توان به زاویه قبلی دوربین نصف زاویه مرکزی روبروی کمان مربوطه (کمان $\widehat{CD}$) را افزود. سپس موقعیت هر نقطه از تلاقی امتداد بدست آمده با دایره‌ای به مرکز نقطه قبل (به عنوان مثال C) و شعاع ℓ_1 بدست می‌آید.



لازم به یادآوری است که در برخی موارد تقسیم طول قوس به کمانهای یک اندازه میسر نبوده و مطابق شکل روبرو آخرین کمان قوس کوچکتر از سایر کمانها می‌باشد. لذا برای پیاده کردن آخرین نقطه قوس، به زاویه قبلی دوربین، نصف زاویه مرکزی روبروی آخرین کمان افزوده می‌شود و دایره آخر به مرکز نقطه ماقبل آخر و شعاع برابر $\widehat{ET_2}$ زده می‌شود.

نکته: زاویه انحراف نقطه انتهای قوس برابر نصف زاویه مرکزی قوس یا $\frac{\Delta}{2}$ می‌باشد.

در برخی موارد ممکن است تمام نقاط قوس از نقطه T_1 قابل رویت نباشند. بنابراین لازم است تا برای پیاده کردن قوس پس از اتمام نقاط قابل رویت از T_1، بقیه نقاط را از T_2 و یا آخرین نقطه پیاده شده از T_1 (مثلاً D) پیاده نمود. برای این منظور پس از استقرار دوربین در نقطه معلوم D و صفرصفر کردن آن به سمت T_1، تلسکوپ دوربین ۱۸۰ درجه دوران داده می‌شود و به این ترتیب در راستای امتداد T_1D قرار می‌گیرد. حال اگر در این وضعیت زاویه انحراف مربوط به امتداد نقطه D یا ۲φ را به دوربین معرفی کنیم، امتداد نشانه‌روی دوربین مماس بر قوس خواهد بود و بقیه نقاط با اضافه کردن زاویه انحراف آنها به زاویه دوربین پیاده می‌شوند. (شکل صفحه بعد)

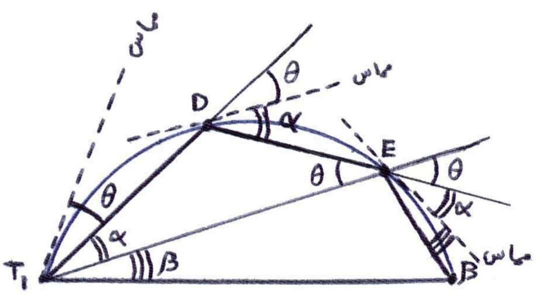


امتداد دوربین پس از دوران ۱۸۰ درجه‌ای تلسکوپ
صفرصفر شده به سمت T_1

امتداد دوربین پس از معرفی زاویه ۲φ به امتداد قبل
این امتداد بر قوس مماس می باشد.

امتداد دوربین پس از افزودن زاویه انحراف
مربوط به نقطه E به زاویه قبلی دوربین

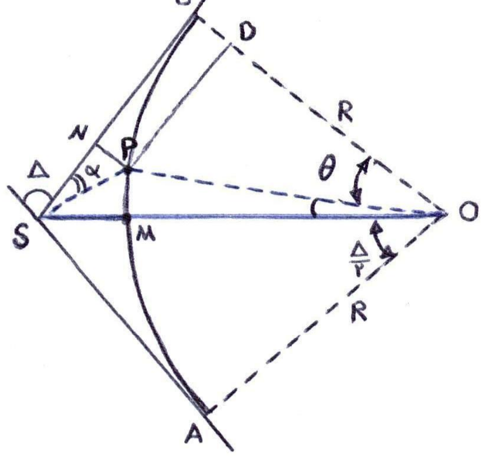
در حالت کلی‌تر می‌توان شکل فوق را به صورت زیر نشان داد:



ملاحظه می‌شود که از هر ایستگاه واقع بر روی قوس می‌توان طبق زوایای انحراف محاسبه شده براساس طول کمانهای انتخابی، سایر نقاط را پیاده نمود.

۵ـ۵ ـ طراحی قوس برای عبور از نقطه‌ای ثابت و مشخص

در این وضعیت زاویه Δ میان دو قسمت مستقیم مسیر مشخص است و می خواهیم قوس به گونه‌ای طراحی شود که از نقطه‌ای مشخص مانند P عبور کند. این نقطه در زاویه α نسبت به مماس SB قرار گرفته است و فاصله آن از نقطه سوم (S) نیز معلوم است.



$$\begin{cases} SN = X & \text{معلوم} \\ PN = Y & \text{معلوم} \end{cases} \xrightarrow[\text{است}]{\Delta\ \text{مشخص}} R = ?$$

برای تعیین شعاع قوس ابتدا زاویه کمکی θ را مطابق شکل درنظر می‌گیریم.

در مثلث SPO خواهیم داشت: $\hat{PSO} = S_1 = 180 - \Delta - \alpha - (90 - \frac{\Delta}{2}) = 90 - (\alpha + \frac{\Delta}{2})$

$$\hat{POS} = O_1 = \frac{\Delta}{2} - \theta$$

$$\hat{SPO} = 180 - S_1 - O_1 = 180 - 90 + \alpha + \frac{\Delta}{2} - \frac{\Delta}{2} + \theta = 90 + (\alpha+\theta)$$

طبق قانون سینوسها خواهیم داشت:

$$\frac{\sin(90+(\alpha+\theta))}{\sin(90-(\alpha+\frac{\Delta}{2}))} = \frac{OS}{OP}$$

و یا:

$$\frac{\cos(\alpha+\theta)}{\cos(\alpha+\frac{\Delta}{2})} = \frac{\frac{R}{\cos(\Delta/2)}}{R} \Rightarrow \cos(\alpha+\theta) = \frac{\cos(\alpha+\frac{\Delta}{2})}{\cos\frac{\Delta}{2}}$$

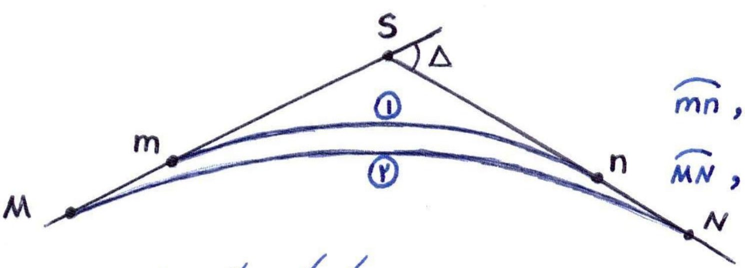
مقدار زاویه کمکی θ با حل معادله فوق بدست می‌آید. حال مطابق شکل برای محاسبه شعاع R خواهیم داشت:

$$PN = y = OB - OD = R - R\cos\theta \Rightarrow y = R(1-\cos\theta)$$

$$\Rightarrow R = \frac{y}{1-\cos\theta}$$

۵-۶- تاثیر کاهش درجه قوس در کاهش طول مسیر:

جهت بالابردن سرعت طرح در راه‌ها، انحنای قوس با توجه به شرایط توپوگرافی تا حد امکان کاهش داده می‌شود. این کاهش که توام با افزایش شعاع قوس می‌باشد، علاوه بر افزایش ایمنی، سبب کاهش طول مسیر نیز می‌گردد. برای بررسی این موضوع شکل زیر را در نظر بگیرید.



مشخصات قوس با درجه بزرگتر: $\overset{\frown}{mn}, d, r, t, l$

مشخصات قوس با درجه کوچکتر: $\overset{\frown}{MN}, D, R, T, L$

در این وضعیت زاویه Δ میان دو قسمت مستقیم مسیر مشخص است و می‌خواهیم محاسبه کنیم که جایگزینی قوسی با درجه.

D به جای قوس با درجه d ، چقدر طول مسیر را کاهش می دهد. برای این منظور مطابق شکل خواهیم داشت :

اختلاف طول دو مسیر = طول مسیر ① − طول مسیر ② $= (Mm + \overset{\frown}{mn} + nN) - (\overset{\frown}{MN})$

از طرفی : $Mm = nN = (T - t)$; $\overset{\frown}{mn} = l = 10\frac{\Delta}{d}$; $\overset{\frown}{MN} = L = 10\frac{\Delta}{D}$

در نتیجه : اختلاف طول دو مسیر $= \left[2(T-t) + 10\frac{\Delta}{d}\right] - 10\frac{\Delta}{D}$

$$= \left[2\left(R\,tg\frac{\Delta}{2} - r\,tg\frac{\Delta}{2}\right) + 10\frac{\Delta}{d}\right] - 10\frac{\Delta}{D}$$

$$= \left[2\,tg\frac{\Delta}{2}\left(\frac{572.96}{D} - \frac{572.96}{d}\right)\right] + \left[10\left(\frac{\Delta}{d}\right) - 10\frac{\Delta}{D}\right]$$

$$= \left[2 \times 572.96\;tg\frac{\Delta}{2}\left(\frac{1}{D} - \frac{1}{d}\right)\right] - 10\Delta\left(\frac{1}{D} - \frac{1}{d}\right)$$

$$= \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{d}\right) \times \left[2 \times 572.96\;tg\frac{\Delta}{2} - 10\Delta\right]$$

در این رابطه D ، d و Δ برحسب درجه و اختلاف طول برحسب متر است .

نکته : هنگامی که زاویه مرکزی Δ یکسان باشد ، نسبت شعاع ها ، تانژانتها ، بیسکتریسها و طول قوسها با یکدیگر برابرند و خواهیم داشت :

$$\frac{l}{L} = \frac{r}{R} = \frac{t}{T} = \frac{l_c}{L_c} = \frac{e}{E} = \frac{D}{d}$$

۵-۷- تعیین حداقل شعاع قوسهای دایره‌ای ساده :

حداقل شعاع یک قوس دایره‌ای ساده را می‌توان از رابطه روبرو محاسبه کرد :

$$R_{min} = \frac{V^{2}}{127(e_{max} + f_{max})}$$

که در آن :

R_{min} : حداقل شعاع قوس برحسب متر

V : سرعت طرح برحسب کیلومتر بر ساعت

e : مقدار دور یا بربلندی در قوس

f : ضریب اصطکاک لاستیک و سطح جاده

الف - تعیین سرعت طرح (V) :

سرعت طرح، سرعتی است که جهت تعیین حداقل مشخصات لازم جهت طرح هندسی یک قطعه از راه انتخاب می شود.
عوامل مؤثر در انتخاب سرعت طرح عبارتند از :

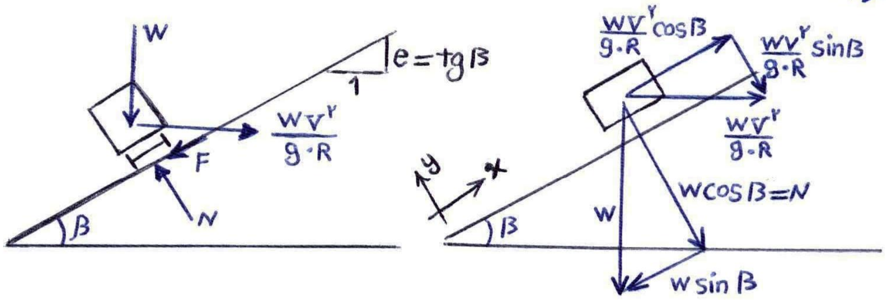
- طبقه‌بندی راه
- درجه بندی راه
- ملاحظات اقتصادی
- عوامل محیطی
- نوع و حجم ترافیک
- منظر آرایی و ...

آیین نامه طرح هندسی راه‌ها مقدار سرعت طرح را براساس درجه بندی راه و نیز وضعیت توپوگرافی منطقه به صورت زیر توصیه نموده است :

	کوهستانی	تپه ماهوری	هموار یا دشت
آزاد راه ها	۹۰	۱۱۰	۱۳۰
بزرگراه ها و راههای اصلی جدا شده	۹۰	۱۱۰	۱۱۰
راه های اصلی	۷۰	۹۰	۱۱۰
راه های فرعی	۴۰	۷۰	۹۰

ب - تعیین دور یا بربلندی در قوس:

وسیله نقلیه به هنگام ورود به قوس تحت تاثیر یک نیروی گریز از مرکز قرار می‌گیرد. برای خنثی نمودن این نیرو که سبب رانده شدن وسیله نقلیه به خارج قوس می‌گردد، باید به عرض راه شیب عرضی یا اصطلاحاً Dever داده شود. برای تأمین ایمنی و راحتی حرکت خودرو بهتر است شیب عرضی راه با توجه به سرعت طرح تغییر یابد. در نتیجه با استفاده از یک شیب عرضی مناسب می‌توان در قوس بین نیروهای اصطکاک جانبی چرخ و روسازی، مؤلفه وزن خودرو در امتداد بربلندی و نیروی گریز از مرکز تعادل ایجاد نمود.



براساس شکل داریم:

$$N = W\cos\beta + \frac{WV^2}{g\cdot R}\sin\beta \xrightarrow[\text{کوچکی است}]{\sin\beta\ \text{عدد بسیار}} N \simeq W\cos\beta$$

با تعریف f به عنوان ضریب اصطکاک جانبی لاستیک و سطح جاده:

$$F = f \times N = f\,W\cos\beta$$

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow W\sin\beta + F = \frac{W\cdot V^2}{g\cdot R}\cos\beta$$

$$\Rightarrow W\sin\beta + f\,W\cos\beta = \frac{W\cdot V^2}{g\cdot R}\cos\beta$$

$$\xRightarrow{\text{تقسیم بر } W\cos\beta} tg\beta + f = \frac{V^2}{g\cdot R}$$

$$\Rightarrow e + f = \frac{V^2}{g\cdot R} \quad \text{یا} \quad R = \frac{V^2}{g\,(e+f)}$$

اگر مقدار سرعت برحسب km/h و مقدار $g = 9.81\ \frac{m}{s^2}$ جایگزین گردد، رابطه به صورت ارائه شده در مقابل خواهد شد.

ایجاد شیب عرضی یا بربلندی در قوسهای جاده، اگرچه ایمنی بیشتری را برای عبور وسیله نقلیه‌ای که با سرعت طرح از قوس

عبور می کند، ایجاد می نماید، اما باید توجه داشت که همیشه وسایل نقلیه در هنگام عبور از قوس سرعت بالایی را ندارند. در هنگام لغزندگی راه به ویژه در فصول سرد سال که ممکن است به دلیل بارش برف و یخبندان، کاهش سرعت و کاهش ضریب اصطکاک بین سطح جاده و لاستیک وجود داشته باشد، وجود بربلندی ممکن است باعث سرخوردن وسیله نقلیه به طرف داخل قوس گردد. از این رو حداکثر بربلندی در قوس باید محدود شود.

مقدار حداکثر بربلندی تابع شرایط جوی منطقه، نوع راه، درصد خودروهای سنگین، محدودیتهای طراحی به لحاظ تأمین فضای کافی جهت اعمال بربلندی و شرایط تخلیه آبهای سطح راه و ... می باشد. با توجه به موارد ذکر شده آیین نامه طرح هندسی راه‌ها مقادیر حداکثر زیر را برای بربلندی توصیه نموده است:

۱- راه‌های دوخطه و راه‌هایی که در معرض بارش برف و یخبندان نیستند e_{max} = ۱۲٪

۲- آزادراه‌ها و بزرگ راه‌ها e_{max} = ۱۰٪

۳- مناطق با ارتفاع بیش از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا و شرایط برف و یخبندان e_{max} = ۸٪

۴- در مناطق حومه شهری e = ۶٪

آیین نامه AASHTO نیز مقادیر حداکثر بربلندی را برای مناطق گرمسیر ۶ درصد، مناطق معتدل رو به گرمی ۸ درصد، مناطق معتدل رو به سردی ۱۰ درصد و در مناطق سردسیر ۱۲ درصد توصیه نموده است.

ج - تعیین ضریب اصطکاک بین لاستیک و سطح جاده (f)

ضریب اصطکاک جانبی به وضعیت لاستیک، نوع روسازی، خشک، تر یا یخ زده بودن سطح راه، سرعت خودرو و ... بستگی دارد و بر اساس آیین نامه طرح هندسی راه‌ها، مقادیر مجاز آن براساس سرعت طرح به صورت زیر می باشد

سرعت طرح (km/h)	۳۰-۴۰	۵۰	۶۰	۷۰-۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰
ضریب اصطکاک جانبی (f)	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۸

Azarkish@iust.ac.ir

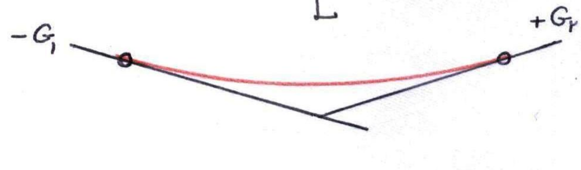
فصل ششم

قوس‌های قائم :

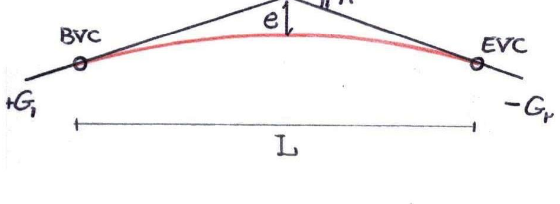
قوس‌های قائم در پروفیل طولی مسیر وظیفه اتصال خطوط شکسته پروژه را به یکدیگر ایفا می‌کنند و به عبارتی قوس‌هایی هستند که تقاطع دو شیب قائم در مسیر راهسازی را به طور یکنواخت و صاف، بدون تغییر حرکت عمودی به هم وصل می‌کنند.

این قوس‌ها سبب ایمنی و راحتی حرکت و همچنین ایجاد ظاهری اساسی برای مسیر می‌گردند. براساس آئین‌نامه فقط در مراحلی که جمع جبری شیب‌های طرفین کمتر از ۰٫۵٪ باشد وجود قوس قائم ضروری نیست و برای قوس‌های قائم بیشتر از قوس‌های سهموی استفاده می‌شود.

در قوس قائم (خم) می‌بایست تغییر طولی به صورت تدریجی صورت پذیرد و همچنین این قوس تأمین کننده مسافت دید کافی، تخلیه مناسب آب سطحی، ایمنی، آسایش راننده و زیبائی ظاهری راه خواهد بود. انواع خم‌های سهموی در شکل زیر ارائه شده‌اند :



خم کاسه‌ای یا مقعر



خم گنبدی یا محدب

L : طول خم ؛ A : قدرمطلق تفاضل جبری دو شیب ؛ G_1 : شیب اول (درصد) ؛ G_2 : شیب دوم (درصد)

الف) تعیین طول خم گنبدی :

طول این خم باید به اندازه‌ای باشد که حداقل فاصله دید توقف برای راننده وسیله نقلیه فراهم شود . تأمین فاصله دید در خم گنبدی با توجه به رابطه $L \geq K \cdot A$ صورت می‌پذیرد که در آن :

L : طول خم گنبدی برحسب متر

K : ضریبی است تابع سرعت طرح که براساس آیین نامه طرح هندسی راه‌ها از جدول (۶-۱) بدست می‌آید این ضریب برحسب متر بوده و معنای فیزیکی آن طول لازم خم برای یک درصد تغییر شیب طولی است .

A : قدر مطلق تفاضل جبری دو شیب $A = |G_2 - G_1|$

سرعت طرح (km/hr)	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰
حداقل K به متر	۳	۷	۱۱	۱۸	۲۷	۴۲	۶۳	۸۹	۱۲۰	۱۶۱	۲۰۸

جدول (۶ـ۱) حداقل K برای خم گنبدی

ب) تعیین طول خم کاسه‌ای :

خم کاسه‌ای در روز به علت وجود روشنائی کافی دید راننده را محدود نمی‌کند ، اما در تاریکی فاصله‌ای که توسط نور چراغ‌های وسایل نقلیه در این خم روشن می‌شود محدود است ، حداقل طول خم کاسه‌ای از رابطه $L \geq K \cdot A$ حاصل می‌شود .

L : طول خم کاسه‌ای برحسب متر

K : ضریبی است تابع سرعت طرح و وضعیت روشنائی راه که براساس آئین نامه طرح هندسی راه‌ها از جدول (۶ ـ ۲) حاصل می شود .

A : قدرمطلق تفاضل جبری دو شیب $\qquad A = |G_2 - G_1|$

سرعت طرح (Km/hr)	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰
حداقل K به متر	۴	۸	۱۲	۱۷	۲۲	۲۹	۳۸	۴۶	۵۴	۶۴	۷۴

جدول (۶ ـ ۲) حداقل مقادیر K برای خم کاسه‌ای

ج) اجزاء، روابط و نحوهٔ پیاده کردن قوس‌های قائم بر روی پروفیل طولی :

پارامتر A $\qquad A = |G_2 - G_1|$

طول قوس $\qquad L \geq k \cdot A$

کیلومتر محل برخورد دو شیب $\qquad km\ (V.P.I)$

کیلومتر شروع قوس قائم $\qquad km\ (B.V.C) = km\ (V.P.I) - \frac{L}{2}$

کیلومتر پایان قوس قائم $\qquad km\ (E.V.C) = km\ (V.P.I) + \frac{L}{2}$

ارتفاع نقطه تلاقی دو شیب $\qquad H\ (V.P.I)$

ارتفاع نقطه شروع قوس قائم $\qquad H\ (B.V.C) = H\ (V.P.I) - (G_1 \times \frac{L}{2})$

ارتفاع نقطه پایان قوس قائم $\quad H(E.V.C) = H(V.P.I) + (G_2 \times \frac{L}{2})$

نکته : شیب G در سربالائی مثبت و در سرپائینی منفی می باشد.

فاصله محل تلاقی دو شیب تا روی قوس قائم $\quad e = \frac{A \cdot L}{800}$

n : تعداد ایستگاهای مطلوب برای پیاده کردن قوس $\quad n = \frac{L}{S}$

S : فاصله مورد نظر بین دو ایستگاه متوالی

کیلومتر ایستگاه n $\quad km(n.V.C) = km(B.V.C) + (\overbrace{n.S}^{x})$

ارتفاع ایستگاه n روی مماس $\quad H(n.V.C) = H(B.V.C) + G_1 \cdot (\overbrace{n.S}^{x})$

اختلاف ارتفاع ایستگاه روی مماس و منحنی $\quad y = (\frac{x}{L})^2 \times 4e$

حال برای پیاده کردن قوس به روش نقطه یابی بر روی پروفیل طولی از مشخصات های زیر استفاده می کنیم :

$x =$ فاصله نقطه (ایستگاه) از نقطه شروع قوس

$y = H(n.V.C) \pm y =$ ارتفاع ایستگاه روی منحنی

نکته : y برای قوسهای محدب با علامت منفی و برای قوسهای مقعر با علامت مثبت جایگزین می شود.

با توجه به روابط و توضیحات قبل، برای قوس قائم موجود در یک پروژه خواهیم داشت :

$G_1 = 2.47 \quad , \quad G_2 = 6.27$

لذا محاسبات قوس قائم مقعر به صورت زیر خواهد بود : (شکل صفحه بعد)

$$A = |G_2 - G_1| = |۶,۲۷ - ۲,۴۷| = ۳,۸ > ۰,۵$$

$$L \geq k \cdot A \xrightarrow[\text{قوس کاسه‌ای}]{۱۱۰\ km/hr\ \text{سرعت طرح}} k = ۵۴$$

$$L_{min} = k \cdot A = ۵۴ \times ۳,۸ = ۲۰۵,۲ \xrightarrow{\text{انتخاب}} L = ۲۷۰\ m$$

$$km\ (V.P.I) = ۰۰ + ۶۱۲$$

$$km\ (B.V.C) = ۶۱۲ - \frac{۲۷۰}{۲} = ۰۰ + ۴۷۷$$

$$km\ (E.V.C) = ۶۱۲ + \frac{۲۷۰}{۲} = ۰۰ + ۷۴۷$$

$$H\ (V.P.I) = ۱۵۸۷,۸$$

$$H\ (B.V.C) = ۱۵۸۷,۸ - \left(۰,۰۲۴۷ \times \frac{۲۷۰}{۲}\right) = ۱۵۸۴,۴۶$$

$$H\ (E.V.C) = ۱۵۸۷,۸ + \left(۰,۰۶۲۷ \times \frac{۲۷۰}{۲}\right) = ۱۵۹۶,۲۶$$

$$e = \frac{A \cdot L}{۸۰۰} = \frac{|۶,۲۷ - ۲,۴۷| \times ۲۷۰}{۸۰۰} = ۱,۲۸$$

$$n = \frac{L}{S} = \frac{۲۷۰}{۳۰} = ۹$$

$$Y = \left(\frac{x}{L}\right)^۲ \times ۴e = \frac{x^۲ \times ۴ \times ۱,۲۸}{۲۷۰^۲} = ۷,۰۲ \times ۱۰^{-۵}\ x^۲$$

کیلومتر و ارتفاع هر ایستگاه مطابق جدول پیوست خواهد بود .

ارتفاع ایستگاه روی سهمی $H + y$	اختلاف ارتفاع مماس و سهمی $0/0000702\,x^2$	ارتفاع ایستگاه روی مماس G_1 ، $1584/46 + G_1 x$	فاصله ایستگاه از نقطه شروع قوس (x)	کیلومتر ایستگاه
۱۵۸۴/۴۶	۰	۱۵۸۴/۴۶	۰	۰۰ + ۴۷۷
۱۵۸۵/۲۶	۰/۰۶۳۱۸	۱۵۸۵/۲	۳۰	۰۰ + ۵۰۷
۱۵۸۶/۱۹	۰/۲۵۲۷	۱۵۸۵/۹۴	۶۰	۰۰ + ۵۳۷
۱۵۸۷/۲۴	۰/۵۶۸۶	۱۵۸۶/۶۸	۹۰	۰۰ + ۵۶۷
۱۵۸۸/۴۳	۱/۰۱۱	۱۵۸۷/۴۲	۱۲۰	۰۰ + ۵۹۷
۱۵۸۹/۷۳	۱/۵۷۹۵	۱۵۸۸/۱۶	۱۵۰	۰۰ + ۶۲۷
۱۵۹۱/۱۷	۲/۲۷۴۵	۱۵۸۸/۹	۱۸۰	۰۰ + ۶۵۷
۱۵۹۲/۷۳	۳/۰۹۵۸	۱۵۸۹/۶۴	۲۱۰	۰۰ + ۶۸۷
۱۵۹۴/۴۳	۴/۰۴۳	۱۵۹۰/۳۹	۲۴۰	۰۰ + ۷۱۷
۱۵۹۶/۲۵	۵/۱۱۷	۱۵۹۱/۱۳	۲۷۰	۰۰ + ۷۴۷

جدول نتایج قوس قائم شماره (۲)