قوسهای اتصال (قوسهای پیوندی یا ترانزیت) Transition Curves

۱- کلیاتی در مورد قوسهای اتصال :

همانطورکه قبلاً اشاره شد، پلان مسیر راه تشکیل شده است از یک سری راستاهای مستقیم که در نقاطی تحت عنوان رئوس دارای شکستگی هستند. تأمین ایمنی و راحتی حرکت وسایل نقلیه ایجاب می نماید تا قسمتهایی از طرفین نقطه شکستگی با یک قوس دایره‌ای مماس بر راستاهای مستقیم جایگزین شود. لذا براساس شرط تعادل حرکت وسیله نقلیه (رابطه $(e+f) \geqslant \frac{V^2}{R \cdot g}$)، در قسمتهای مستقیم راه ($R = \infty$) میزان دور برابر صفر بوده و در داخل قوس با شعاع R، دور دارای مقدار معین e می باشد. بنابراین درعمل تنظیم سطح جاده درمحل تماس قسمت مستقیم با ابتدا و انتهای قوس، به علت پلکانی شدن آن، با مشکل مواجه می شود.

اولین راهکار پیشنهاد شده برای حل این مشکل، افزایش تدریجی شیب عرضی راه در طول مشخصی از مسیر مستقیم بود، به نحوی که در ابتدای قوس دایره‌ای، شیب عرضی به مقدار معین e می رسید و بعد در طول قوس میزان آن ثابت می ماند و مجدداً در انتهای قوس، شیب عرضی در همان طول مشخص اولیه به تدریج از e به صفر کاهش داده می شد. این نام‌های آن زمان بیان می نمود که طول مشخص تأمین دور (یا شیب عرضی در قوس) باید تماماً بر روی قسمتهای مستقیم قبل و بعد از قوس واقع گردد. این مسئله تعادل عرضی وسایل نقلیه را دچار اختلال می کرد، زیرا در قسمتهای مستقیم که جاده نیاز به

شیب عرضی نداشت، به آن شیب داده می‌شد.

اما براساس رابطه $\frac{V^2}{R.g}$ و $e+f$ می‌توان نتیجه گرفت که میزان دور با کاهش شعاع قوس افزایش می‌یابد و به عبارت دیگر هرچه میزان انحنای قوس ($\frac{1}{R}$) بیشتر شود، میزان دور نیز بیشتر خواهد شد. با توجه به این خصوصیت، ایده استفاده از منحنی‌های با انحنای تدریجی (جهت اعمال تدریجی دور از صفر به e) به جای قسمتهای مستقیم قوت گرفت. به این ترتیب منحنی‌هایی مورد استفاده قرار گرفت که انحنای آنها در نقطه تماس با راستای مستقیم برابر صفر ($r=\infty$ ، $\frac{1}{r}=0$) بود و میزان انحنا در طول منحنی افزایش می‌یافت تا در شروع قوس با شعاع R به مقدار $\frac{1}{R}$ برسد. این منحنی‌ها، منحنی با انحنای تدریجی و یا قوس اتصال نامیده می‌شوند.

۲- مزایای استفاده از قوسهای اتصال

الف - اعمال تدریجی دور بین قسمتهای مستقیم مسیر و ابتدا و انتهای قوس دایره‌ای و اجتناب از ایجاد پله

ب - وارد آمدن تدریجی شتاب عرضی از صفر تا $\frac{V^2}{R}$ در یک فاصله مناسب و اجتناب از اعمال ناگهانی شتاب عرضی ناشی از نیروی گریز از مرکز به وسیله نقلیه که ناراحتی سرنشینان و خطر واژگونی وسیله نقلیه را به همراه دارد.

ج - ایجاد دید بهتر برای راننده وسیله نقلیه جهت ورود از مسیر مستقیم به درون قوس دایره‌ای

۳ـ حداقل طول لازم برای قوس اتصال

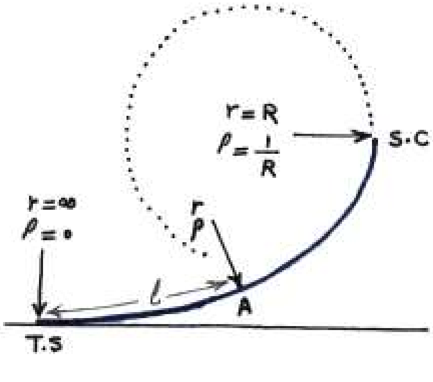
حداقل طول لازم برای قوس اتصال از سه رابطه زیر قابل محاسبه است. هریک از سه اندازه بدست آمده که بزرگتر باشد، برای اجرای قوس اتصال انتخاب می شود. یادآوری می شود که طول قوس اتصال بزرگتر، راحتی و ایمنی راننده و وسیله نقلیه را افزایش می دهد:

الف ـ اعمال تدریجی دور و در نتیجه اعمال تدریجی شتاب گریز از مرکز $\qquad l_s = \frac{V^۳}{۲۷٫۸۷\,R} \simeq \frac{V^۳}{۲۸\,R}$

ب ـ اعمال تدریجی دور و در نتیجه اعمال تدریجی چرخش وسیله نقلیه در صفحه قائم $\qquad l_s = ۱۳٫۶۵\,V.e \simeq ۱۴\,V.e$

ج ـ فراهم شدن امکان دید بهتر برای راننده وسیله نقلیه $\qquad l_s = \sqrt{۱۲R}$

۴ـ معادله عمومی قوسهای اتصال



همانطور که اشاره شد، برای تأمین دور تدریجی بین مسیر مستقیم و قوس دایره باید از منحنی استفاده کرد که انحنای آن در محل تماس با خط مستقیم برابر صفر است و میزان انحنا در طول منحنی به تدریج افزایش می یابد تا در نقطه برخورد با قوس دایره، انحنا به مقدار معلوم $\rho = \frac{1}{R}$ برسد.

براساس تعریف فوق میزان انحنا در هر نقطه از قوس اتصال از رابطه روبرو قابل محاسبه است: $\qquad \rho = \frac{1}{r} = k.l$

مقدار ثابت تناسب (k)، با نوشتن رابطه فوق برای نقطه معلوم S.C، قابل محاسبه است: $\qquad \frac{1}{R} = k.l_s \rightarrow k = \frac{1}{R.l_s}$

با جایگزین کردن ثابت تناسب در رابطه اول خواهیم داشت: $\qquad \frac{1}{r} = \frac{1}{R.l_s}\,l \rightarrow l.r = l_s.R = Cte$

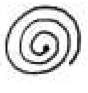
حاصل‌ضرب $l_s \times R$ مقداری ثابت از جنس سطح می‌باشد و بنابراین معادله عمومی قوس اتصال بصورت زیر خواهد بود :

∴ شعاع انحنا با طول قوس رابطه عکس دارد $\qquad l \cdot r = cte$

براساس معادله عمومی فوق ، فرمهای ریاضی مختلفی (سهمی درجه ۳ ، سهمی درجه ۴ ، لمنیسکات ، مالوئید و کلوتئید) برای قوسهای اتصال ارائه شده است . در ادامه پیرامون قوسهای کلوتئید به عنوان یکی از پرکاربردترین انواع قوسهای اتصال ، جزئیات بیشتری ارائه می‌شود.

۵ - معادلات کلی قوسهای کلوتئید

کلوتئید عبارت است از منحنی که هر نقطه آن دارای شعاع مختص به آن نقطه است . معادل این واژه آلمانی در زبان فرانسه مارپیچ کرنو ، در امریکا مارپیچ اولر و در انگلیس اسپیرال می‌باشد.

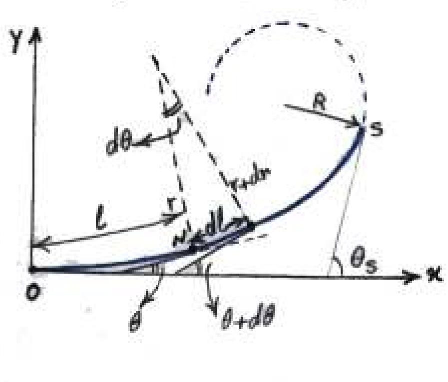


در کلوتئید مقدار ثابت را با A^2 نشان می‌دهند ، ازاینرو طبق معادله عمومی قوسهای اتصال برای کلوتئیدها خواهیم داشت :

معادله عمومی کلوتئیدها $\qquad l \cdot r = A^2$

$A^2 = l_s \cdot R \longrightarrow A = \sqrt{l_s \cdot R}$

مقدار A که ازجنس طول می‌باشد ، پارامتر کلوتئید نام دارد.



اگر مطابق شکل زاویه مماس بر منحنی در نقطه غیرمشخص N را با محور xها برابر θ در نظر بگیریم و طول کوچک dl را بر روی منحنی انتخاب

نمایم، خواهیم داشت :

$$dl = r.d\theta \longrightarrow \frac{d\theta}{dl} = \frac{1}{r} \qquad (1)$$

$$A^2 = l.r \longrightarrow r = \frac{A^2}{l} \qquad (2)$$

$$(1),(2) \longrightarrow \frac{d\theta}{dl} = \frac{l}{A^2} \longrightarrow l.dl = A^2.d\theta \xrightarrow{\text{انتگرال}} \frac{1}{2}l^2 = A^2.\theta$$

$$l = A\sqrt{2\theta} \qquad (3)$$

$$\theta = \frac{l^2}{2A^2} \xrightarrow{A^2 = r.l} \theta = \frac{l}{2r}$$

اگر زاویه مماس بر نقطه پایان کلوتئید را با θ_s نمایش دهیم، خواهیم داشت :

$$l_s = A\sqrt{2\theta_s}$$

$$\theta_s = \frac{l_s^2}{2A^2} = \frac{l_s}{2R}$$

از ترکیب روابط ارائه شده برای θ و θ_s رابطه کاربردی زیر حاصل می‌شود :

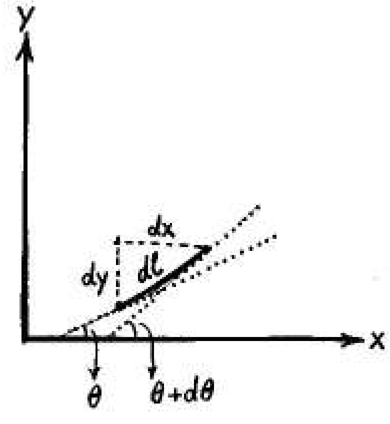
$$\theta = \left(\frac{l}{l_s}\right)^2 . \theta_s$$

برای ارائه معادلات قوس کلوتئید در دستگاه مختصات کارتزین (X , Y) نیز به صورت زیر عمل می‌شود :

$$dx = dl.\cos\theta = dl\left(1 - \frac{\theta^2}{2!} + \frac{\theta^4}{4!} - \frac{\theta^6}{6!} + \dots\right)$$

$$dy = dl.\sin\theta = dl\left(\theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \frac{\theta^7}{7!} + \dots\right)$$

$$(1),(2) \longrightarrow dl = \frac{A^2}{l}.d\theta \xrightarrow{(4)} dl = \frac{A^2}{A\sqrt{2\theta}}d\theta$$



با جایگزینی مقدار dl در روابط ارائه شده برای dx و dy خواهیم داشت :

(۶)

$$dx = \frac{A}{\sqrt{2\theta}}\left(1 - \frac{\theta^2}{2!} + \frac{\theta^4}{4!} - \frac{\theta^6}{6!} + \cdots\right) d\theta$$

$$dy = \frac{A}{\sqrt{2\theta}}\left(\theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \frac{\theta^7}{7!} + \cdots\right) d\theta$$

با انتگرال گیری از روابط فوق ، معادلات زیر برای مختصات x و y حاصل می شود :

$$x = A\sqrt{2\theta}\left(1 - \frac{\theta^2}{10} + \frac{\theta^4}{216} - \frac{\theta^6}{9360} + \cdots\right)$$

در این روابط θ برحسب رادیان می باشد.

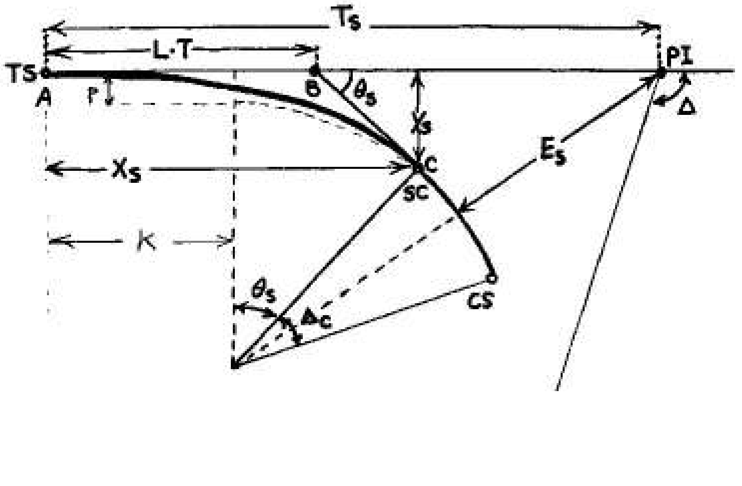
$$y = A\sqrt{2\theta}\left(\frac{\theta}{3} - \frac{\theta^3}{42} + \frac{\theta^5}{1320} - \cdots\right)$$

با استفاده از روابط $l = A\sqrt{2\theta}$ و $\theta = \frac{l^2}{2A^2}$ که قبلاً ارائه شد، می توان معادلات x و y را بصورت زیر نیز نوشت:

$$x = l - \frac{l^5}{40A^4} + \frac{l^9}{3456A^8} - \cdots$$

$$y = \frac{l^3}{6A^2} - \frac{l^7}{336A^6} + \frac{l^{11}}{42240A^{10}} - \cdots$$

۶- اجزای قوس کلوتوئید



TS : نقطه شروع کلوتئید : نقطه تغییر از تانژانت به کلوتئید : tangent to spiral

SC : نقطه پایان کلوتئید : نقطه تغییر از کلوتئید به دایره : spiral to circle

CS : نقطه پایان دایره : نقطه تغییر از دایره به کلوتئید : circle to spiral

PI : نقطه تقاطع تانژانتها :

l_s : طول کل کلوتئید : فاصله نقطه A تا C (از روابط مثلثاتی محاسبه می‌شود)

l : طول کلوتئید تا نقطه معین N بر روی آن

θ_s : زاویه کلوتئید

θ : زاویه خط مماس در نقطه N متناظر با طول l ⟵ $\theta = (\frac{l}{l_s})\theta_s$

Δ : زاویه تقاطع دو امتداد مسیر (بوسیله طراح تعیین می‌شود)

Δ_c : زاویه مرکزی متعلق به قسمت دایره ⟵ $\Delta_c = \Delta - 2\theta_s$

T_s : طول کل خط مماس ⟵ $T_s = K + (R_c + P)\tan\frac{\Delta}{2}$

E_s : فاصله خارجی یا خیز قوس ⟵ $E_s = (R_c+P)\sec\frac{\Delta}{2} - R_c = (R_c+P)(\sec\frac{\Delta}{2}-1) + P$

L.T = طول مماس بزرگ کلوتئید ; $L.T = AB = X_s - \frac{Y_s}{\tan\theta_s}$

S.T = طول مماس کوچک کلوتئید ; $S.T = BC = \frac{Y_s}{\sin\theta_s}$

R_c : شعاع قوس دایره

X : طول هر نقطه بر روی کلوتئید

X_s : طول نقطه پایان کلوتئید (SC)

Y : عرض هر نقطه بر روی کلوتئید

Y_s : عرض نقطه پایان کلوتئید (SC)

P : فاصله مماس دایره موازی با مماس کلوتئید ; $P = Y_s - R_c(1-\cos\theta_s)$

K : فاصله مرکز دایره تا نقطه شروع کلوتئید ; $K = X_s - R_c\sin\theta_s$