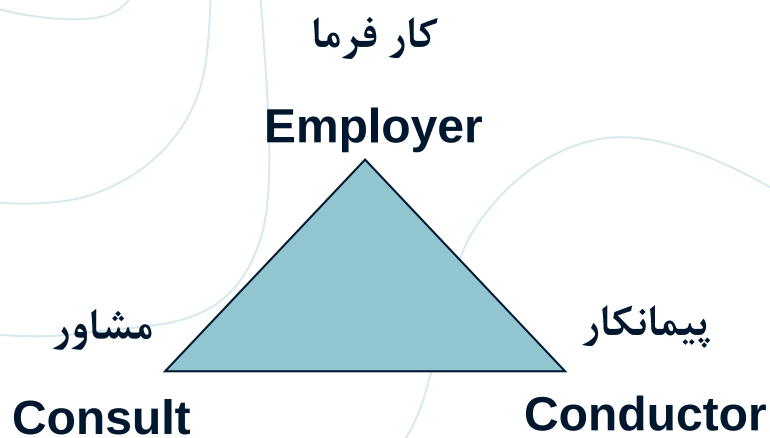
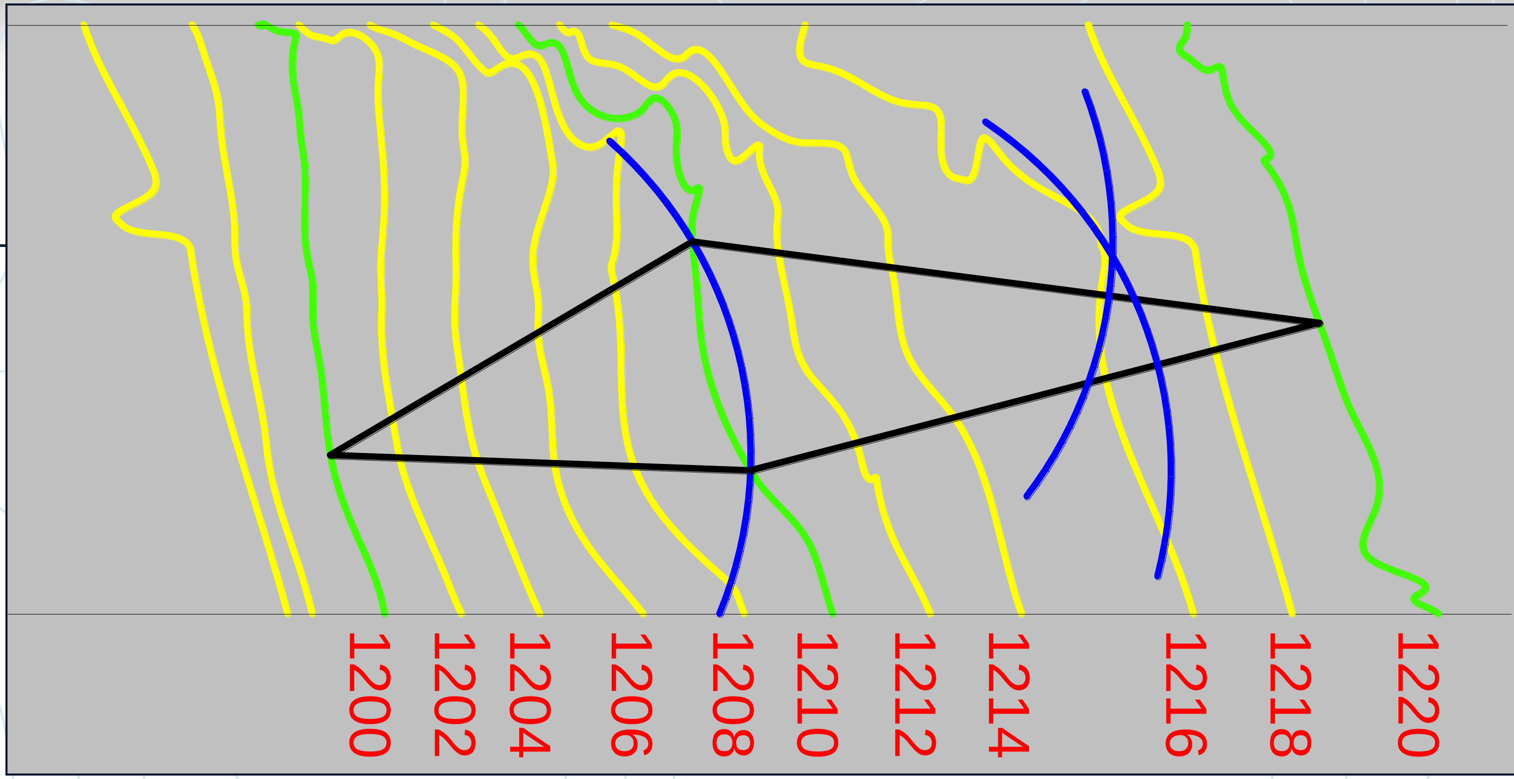
نقشه برداری مسیر

مهندس نادر افشاری

الف) **مطالعات فاز اول:** مطالعات و تحقیقات اولیه با توجه به نقشه ها و عکسهای هوایی، بازدید منطقه و جمع آوری اطلاعات، انتخاب مسیرهای پیشنهادی مختلف (Variant) و اعزام گروههای مختلف کارشناسی وسپس بررسی مسیرها

ب) **مطالعات فاز دوم :** تهیه نقشه در مقیاس ۱:۲۰۰۰ و در باند مشخص و به عرض تقریبی ۳۰۰ متر، سپس طراحی مسیر بر روی این نقشه انجام می شود که شامل قوسهای افقی پلها و آبروها و غیره می باشد.



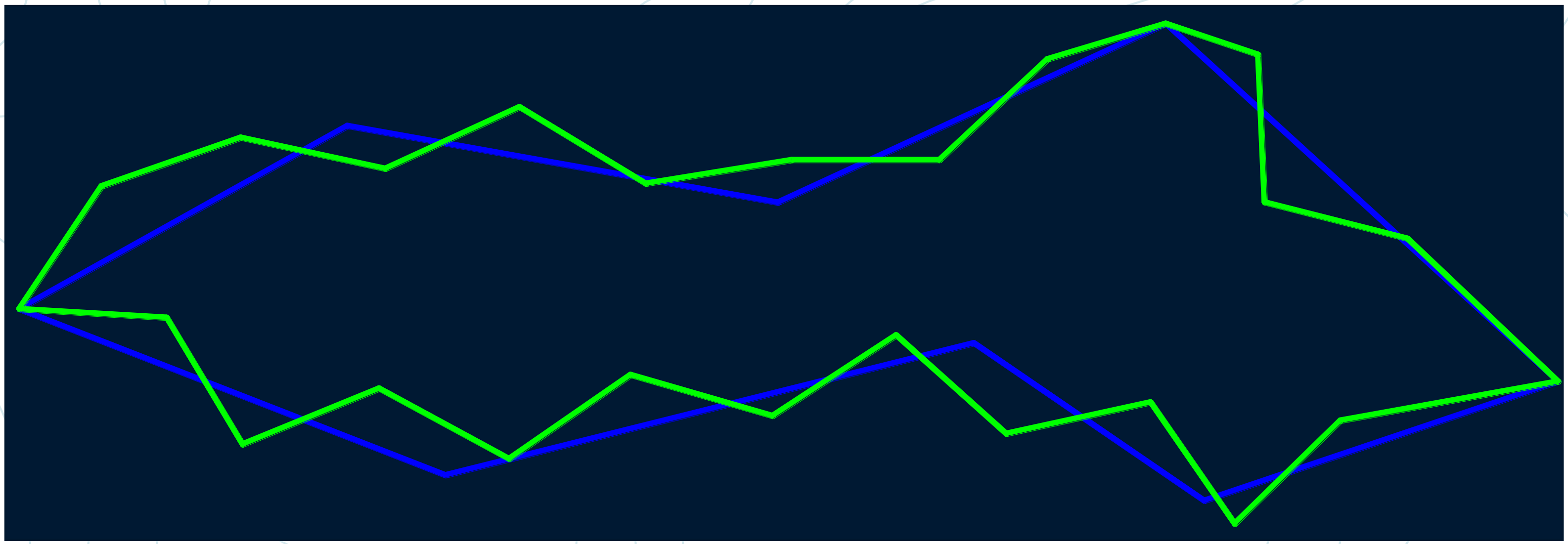


فرض: حداکثر شیب مجاز ۶٪ می باشد.

$$L_{\max} = m_{\max} = \frac{H_2 - H_1}{L} \Rightarrow L = \frac{H_2 - H_1}{I_{\max}}$$

$$L = \frac{H_2 - H_1}{i_{\max}} = \frac{10}{0/06} = 166/66m$$

سپس چند مسیر پیشنهادی با واریانت به وجود می آید.



بعد با خطوطی با طول ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر مسیر اولیه به دست آمده را نرم می کنیم تا واریانت ها به دست آیند.

ج)**مطالعات فاز سوم:** پیاده کردن مولفه افقی مسیر، تهیه و ترسیم مقاطع طولی و عرضی و انتخاب خط پروژه طولی و عرضی و محاسبه احجام عملیات خاکی شامل خاک برداری وخاک ریزی و تعیین هزینه اجرا و تجهیز کارگاه و شروع عملیات. در این مرحله مشاور هزینه اجرا را برآورد کرده و به کار فرما اعلام می کند.(در این مرحله قیمت روز برآورد می شود.)

قوسهای افقی (قوسهای مولفه افقی X و Y معمول در ایران):

1. دایره
2. کلوتوئید
3. سهمی درجه ۳
4. لیمینسکات
5. پروگرسیو

قوسهای اتصال

Super Elevation

دور Dever

به شیب جاده در راستای عمود بر مسیر جاده گفته می شود. دور را برای جلوگیری از سر خوردن اتومبیل در پیچها به کار می برند. در پیچها قسمت خارجی پیچ را بالاتر وقسمت داخلی آنرا کمی پایین تر از حد معمول احداث می کنند.

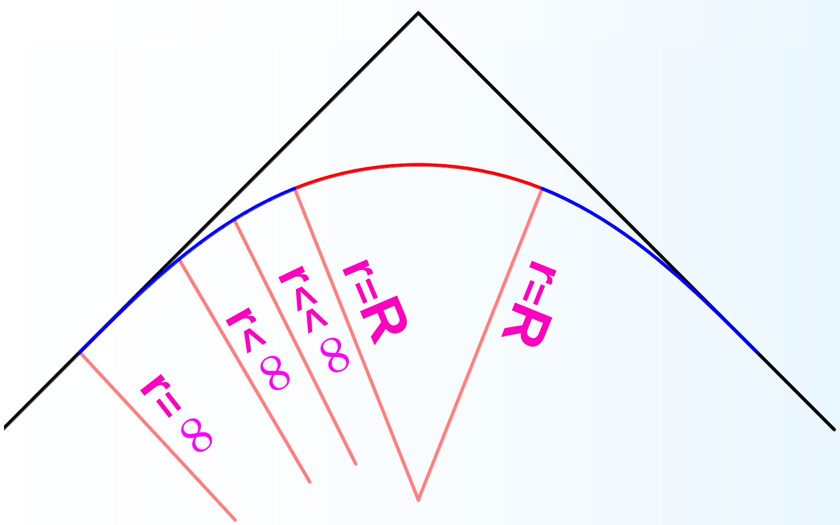
در مسیر های مستقیم نیز برای جمع آوری آبهای سطحی ۲٪ شیب به مسیر اعمال می شود. در شانه خاکی ۴٪.

در سر پیچها نیروی گریز از مرکز به اتومبیل در حال حرکت وارد می شود که مقدار آن از رابطه زیر قابل محاسبه است:

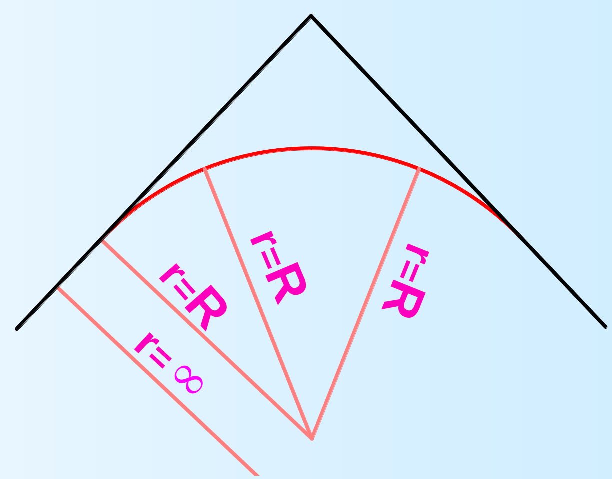
$$F = \frac{mV^2}{r}$$

انگیزه ای که قوس های اتصال مختلف اجرا می شوند:

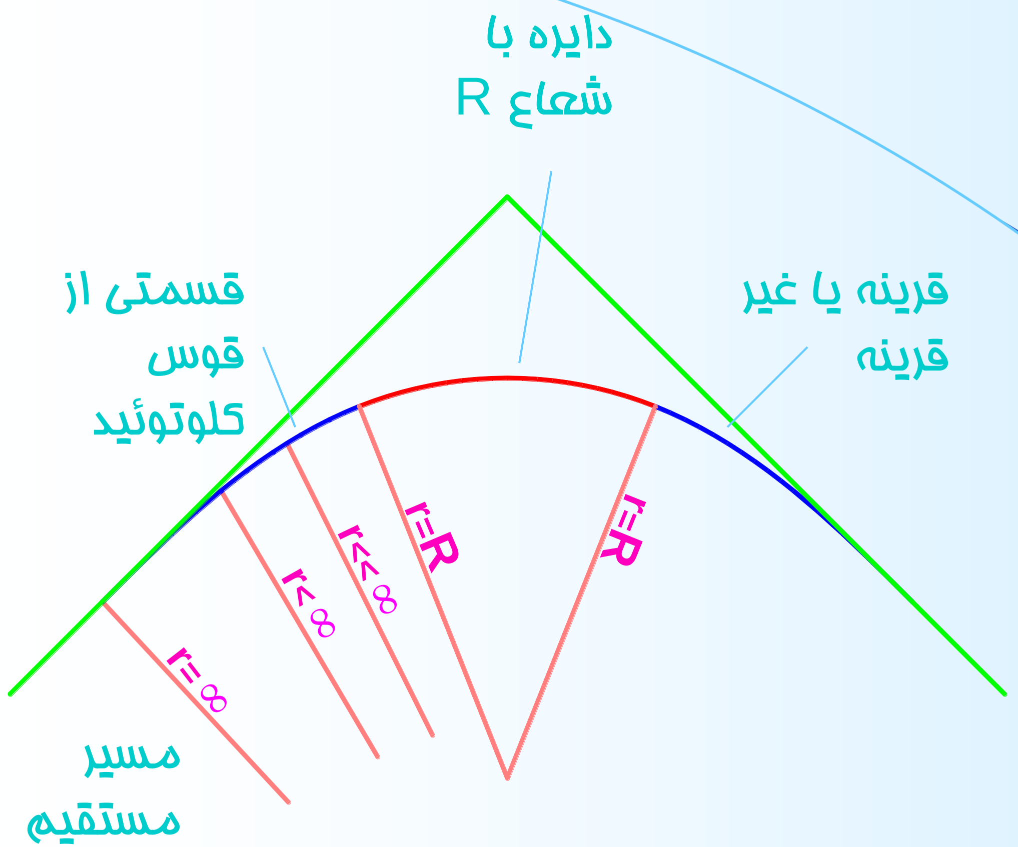
در اجرای قوس دایره ای وبدون استفاده از قوس اتصال در قسمتی از مسیر شعاع از بینهایت به مقدار خاصی تغییر می کند. یعنی از مسیرمستقیم با شعاع بینهایت وارد دایره با شعاع R می شویم و نیروی وارده به خودرو از صفر به F تغییر می کند. در این حالت میزان دور لازم برای اعمال به پیچ نیز باید ناگهان از صفر به مقدار خاصی برسد. ولی اجرای چنین چیزی در راه ممکن نمی باشد. از اینرو از قوسهاس اتصال استفاده می کنیم. با استفاده از قوسهای اتصال در نقطه شروع قوس شعاع بینهایت است و با افزایش کیلومتراژ به مرور شعاع کم شده و به مقداری خاص می رسد و دوباره زیاد می شود تا به خط راست تبدیل می شود. از اینرو دِوِر نیز از صفر شروع شده و بعد از ثابت شدن در مقداری خاص دوباره کم می شود.



قوس افقی با قوس اتصال



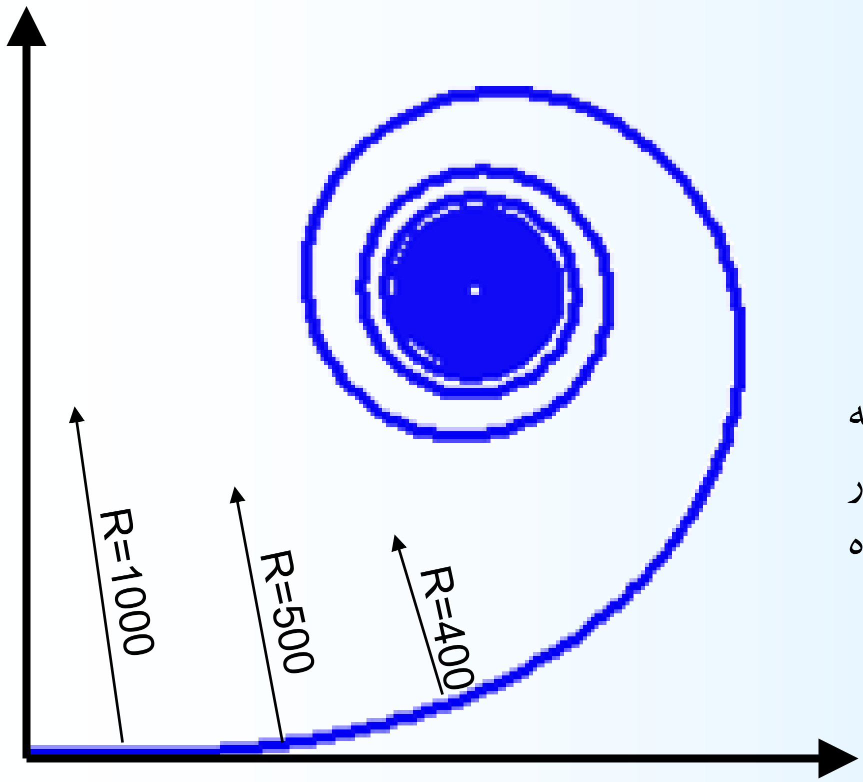
قوس افقی بدون قوس اتصال



در قوس های اتصال، شعاع همه آنها در ابتدا بینهایت است. هدف، اتصال شعاع بینهایت به دایره است. گاهی بعضی از طراحان دایره را حذف می کنند، قوس های اتصال به هم متصل می شوند.

قوس کلوتوئید:

متناسب با کیلومتراژ، شعاع قوس را کم می کنند.



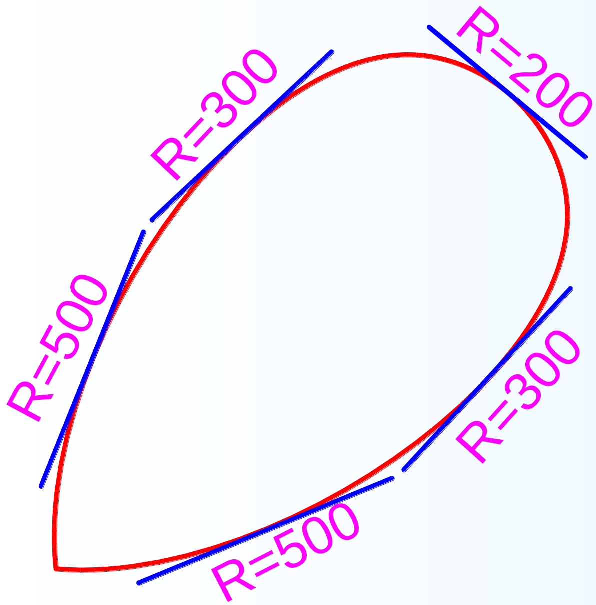
قوس کلوتوئید

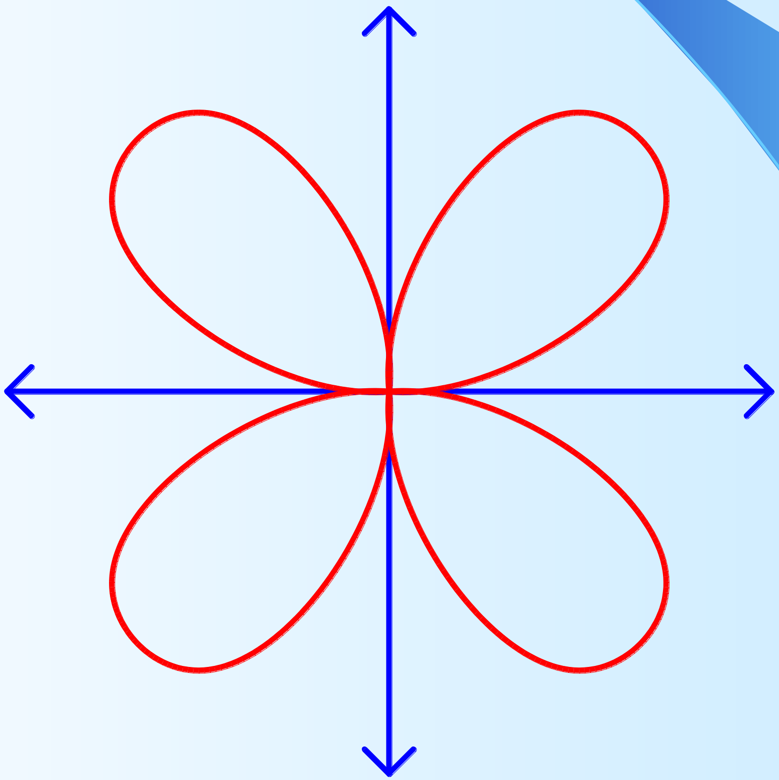
مناسب سرعت طراحی بالا

در شتاب دهنده ها از این قوس به صورت کامل استفاده می شود، در راهسازی از قسمتی از قوس استفاده می شود.

قوس لیمینسکات یا شبدری

این قوس جواب معادله دیفرانسیلی برنولی است.(گروه اجرایی باید توانایی علمی اجرای لیمینسکات را داشته باشد.)

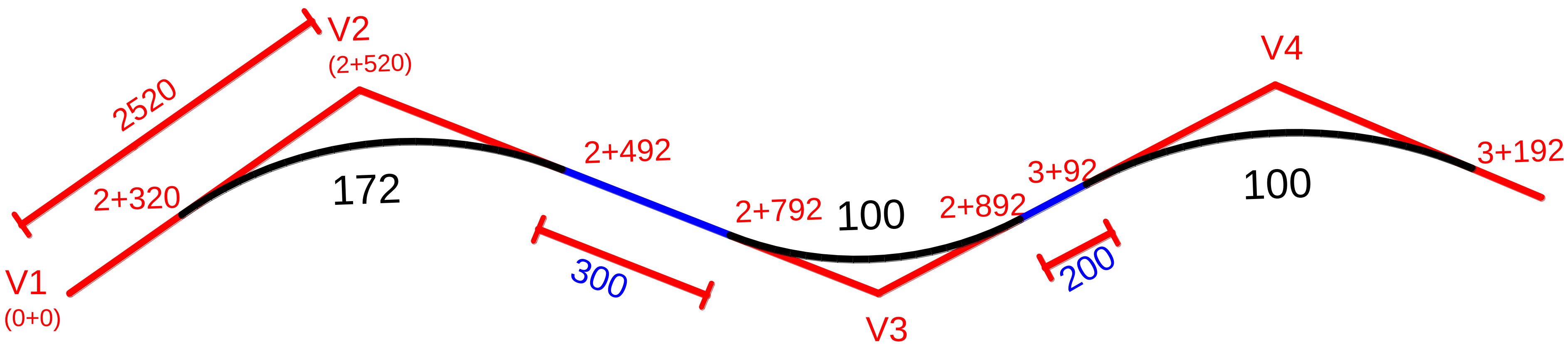




البته در لوپ ها در ایران، از ترکیب چند قوس دایره ای به صورت فوق استفاده می شود.

کیلومتراژ

طول مسیر از نقطه شروع تا محل مورد نظر را کیلومتراژ آن نقطه از مسیر گویند.

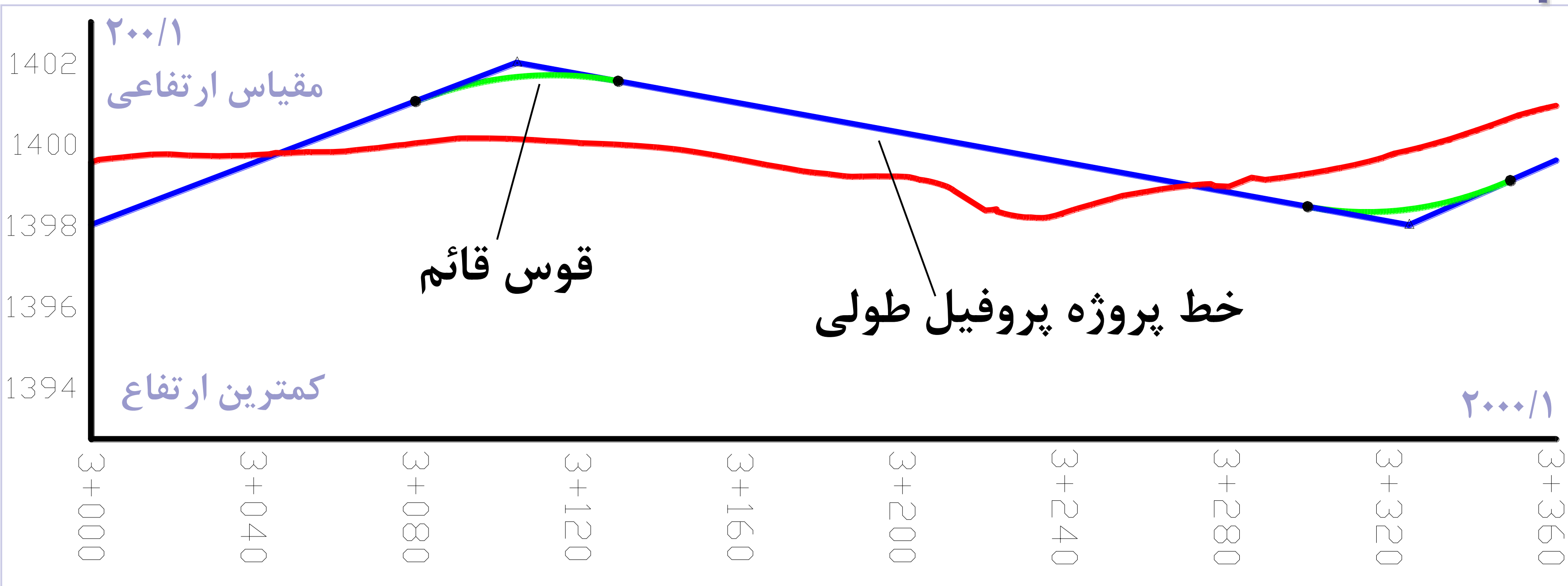


سومه

Vertex

Point of Intersection

پروفیل طولی



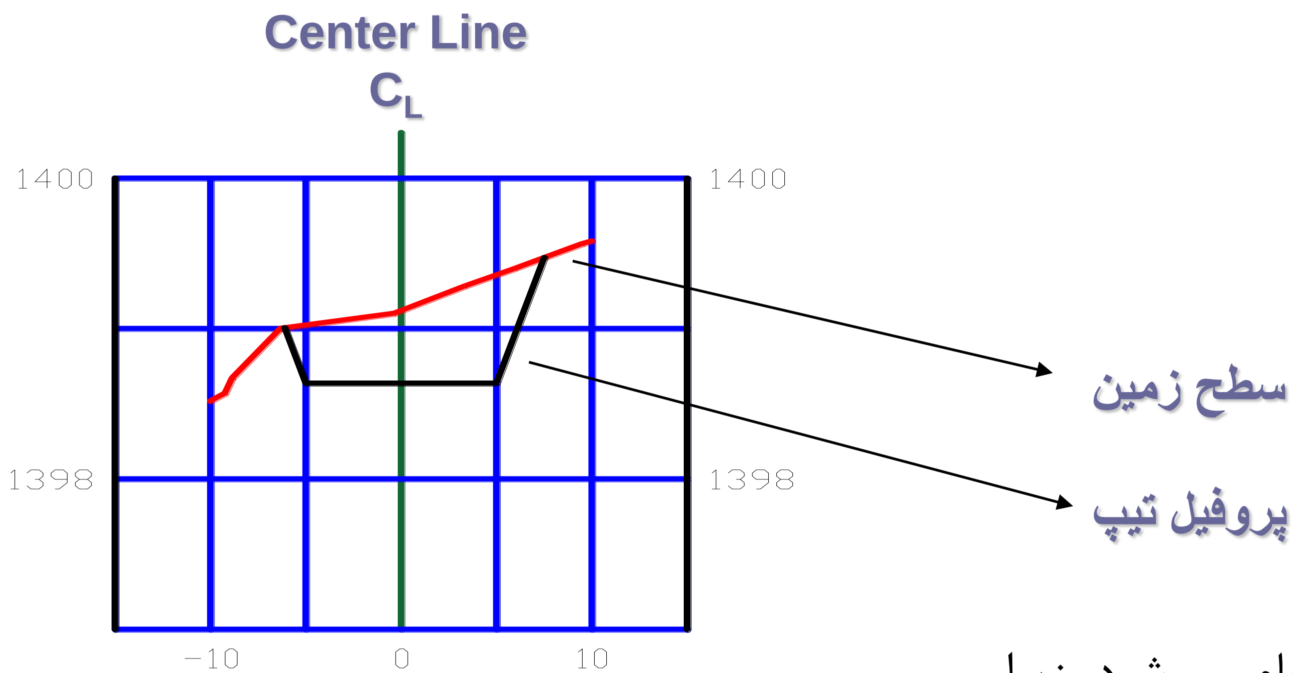
معمولا هنگام پیاده کردن (مثلا ۲۰متر به ۲۰ متر) ارتفاع نقاط نیز به وسیله توتال برداشت می شود.

در پروفیل طولی برای نمایش بهتر پستی بلندی ها مقیاس ارتفاع را ۱۰ برابر مقیاس طولی در نظر می گیرند.ارتفاع پروژه و قوسهای قائم روی پروفیل طولی طراحی می شوند.

قوس های متداول مولفه قائم مسیر:
- ۱- دایره
- ۲- سهمی درجه ۲

پروفیل عرضی

بعد از ترسیم پروفیل طولی، پروفیل عرضی تهیه می شود. در هر طرف در عرض مسیر وعمـود بر امتداد آن X و Y و Z را برداشت می کنیم. هر نقطه که شکستگی وجود داشته باشـد بایـد برداشت شود. در پروفیل عرضی مقیاس افقی وارتفاعی یکسان است.



تر جیحا خاکبرداری انجام می شود، زیرا خاکریزی باید cm۱۵ یکبار کوبیده شود و در زمستان دشوار است.

طبقه بندی جاده ها

این عامل را سرعت طرح تعریف می کند و مابقی مشخصات مسیر مانند شعاع قوس ها، فواصل دید راننده و ..... به کمک آن بدست می آید.

طبقه بندی و مشخصات فنی نقشه برداری توسط وزارت راه در اختیار طراحان قرار می گیرد. هدف طبقه بندی تامین نیاز های طراحی، بوجود آوردن الگوهای مشخص و هم طبقه نمودن مسیرهای مختلف جهت نگهداری راهها می باشد.

طبقه بندی راهها براساس توپوگرافی

1. هموار
2. تپه ماهور
3. کوهستانی

طبقه بندی راهها براساس اهمیت طرح

1. آزاد راه
2. بزرگراه
3. راه اصلی
4. راه فرعی
5. راه روستایی

گروه سرعت طرح برحسب کیلومتر بر ساعت KM/h:

$V_{۱}$	$V_{۲}$	$V_{۳}$	$V_{۴}$	$V_{۵}$
۵۰-۳۰	۸۰ -۶۰	۸۰ -۱۰۰	۱۱۰	۱۳۰

این المان تنها در شعاع قوس ها دخالت دارد.

سرعت طرح :

بیشترین سرعتی که کلیه وسایل نقلیه می توانند مسیر را طی کنند بدون آنکه خطری برای آنها بوجود آید را سرعت طرح گویند.

	کوهستانی	تپه ماهور	هموار
آزاد راه	$V_{۳}$	$V_{۴}$	$V_{۵}$
بزرگراه (و راه اصلی متصل به بزرگراه)	$V_{۳}$	$V_{۴}$	$V_{۴}$
راه اصلی	$V_{۲}$	$V_{۳}$	$V_{۴}$
راه فرعی	$V_{۱}$	$V_{۲}$	$V_{۳}$

نوع راه		عرض راه (متر)
	آزاد راه، راه اصلی درجه ۱	3.65
	راه اصلی درجه ۲	3.50
راه فرعی	درجه ۱	3.75
	درجه۲	3.25
عرض خط ویژه و خط کمکی گردش به چپ		3.25-3.65
خط ویژه سربالایی	آزاد راه	3.65
	راه اصلی	3.25

حداکثر شیب طولی راه برحسب نوع منطقه(سرعت طرح):

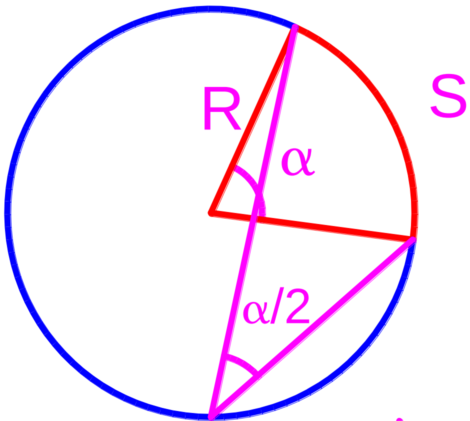
سرعت طرح	<۶۰	< ۷۰	< ۸۰	< ۹۰	< ۱۰۰	< ۱۱۰
هموار	۵٪	۴٪	۴٪	۴٪	۴٪	۴٪
تپه ماهور	۶٪	۵٪	۵٪	۵٪	۵٪	۴٪
کوهستان	۸٪ - ۷٪	۶٪	۶٪	۶٪	–	–

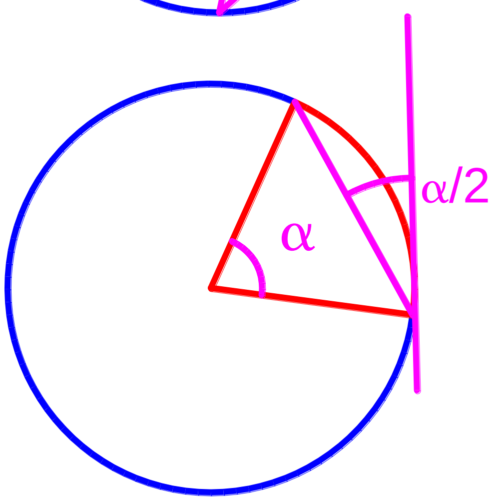
المانهای مولفه افقی مسیر

1. خط مستقیم
2. قوس دایره
3. قوسهای اتصال

1. سهمی درجه ۳
2. کلوتوئید
3. لیمینسکات
۴. پروگرسیو

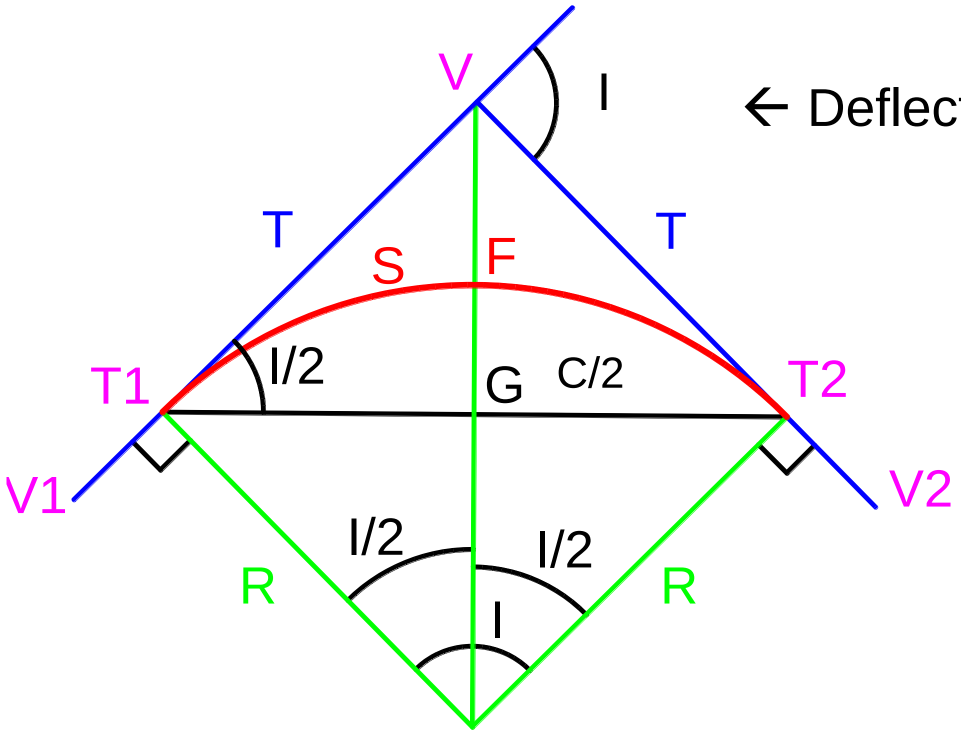
مشخصات قوس دایره





$$S = R\alpha = \frac{R\alpha^{\circ}\pi}{180} = \frac{R\alpha^{gr}\pi}{200}$$

$$K = \frac{1}{R}$$ معکوس شعاع را انحنا گویند.



← Deflection angle between tangents

T1=TC=Tangent to Curve

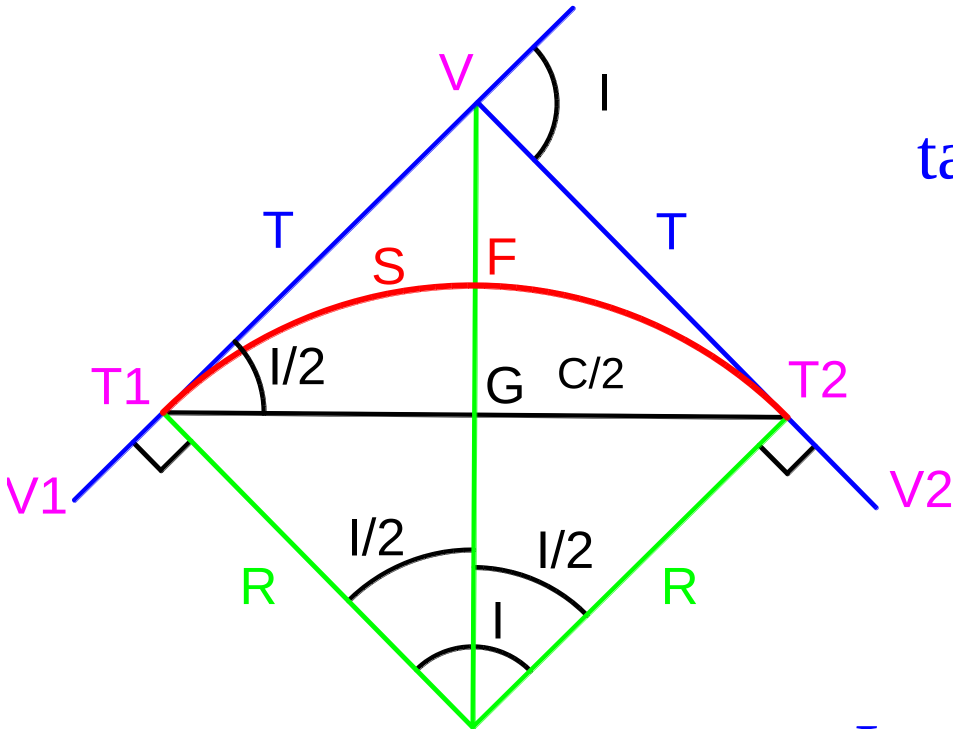
T2=CT=Curve To Tangent

$VT_1 = VT_2 = T$ = طول تانژانت = Length of tangent

$\overline{T_1T_2} = C$ = طول وتر بزرگ = Length of Chord

$FG = M$ = طول میا نی = Middle of Ordinate

$\overline{VF} = BI = E$ = طول بی سیکتریس = External Distance



$$\tan\frac{I}{2}=\frac{T}{R}\Rightarrow \boxed{T=R\tan\frac{I}{2}}\ \boxed{1}$$

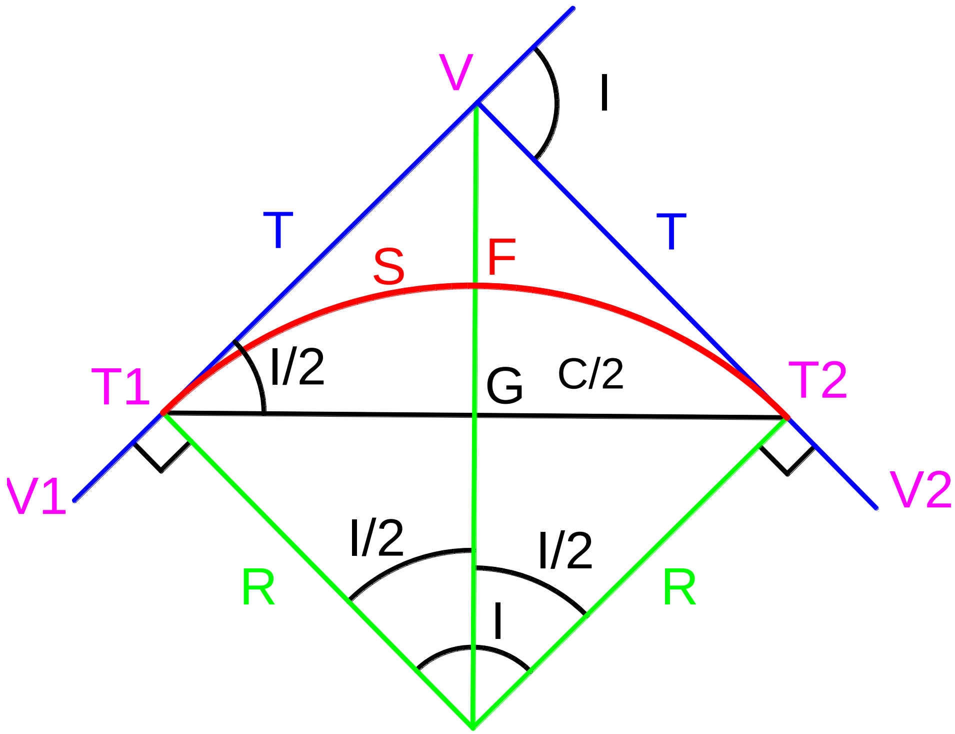
$$S=RI=\frac{RI^{\circ}\pi}{180}=\frac{RI^{gr}\pi}{200}$$

$$\sin\frac{I}{2}=\frac{\frac{C}{2}}{R}\Rightarrow \boxed{C=2R\sin\frac{I}{2}}\ \boxed{2}$$

کیلومتراژ ←

$$KmT_1=KmV-T$$

$$KmT_2=KmT_1+S$$



$$versA = 1 - \cos A$$

$$ex\ \sec = \frac{1}{\cos A} - 1$$

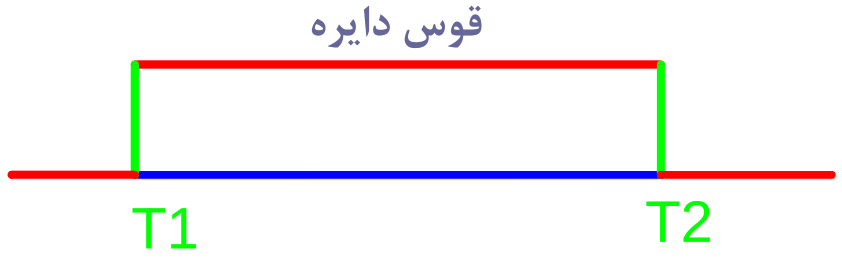
$$BI = OV - OF = \frac{R}{\cos\frac{I}{2}} - R$$

$$\boxed{BI = R\left(\frac{1}{\cos\frac{I}{2}} - 1\right)} = \mathrm{R}\ \ \mathrm{exsec}\frac{I}{2}$$ $\boxed{3}$

$$M = OF - OG = R - R\cos\frac{I}{2}$$

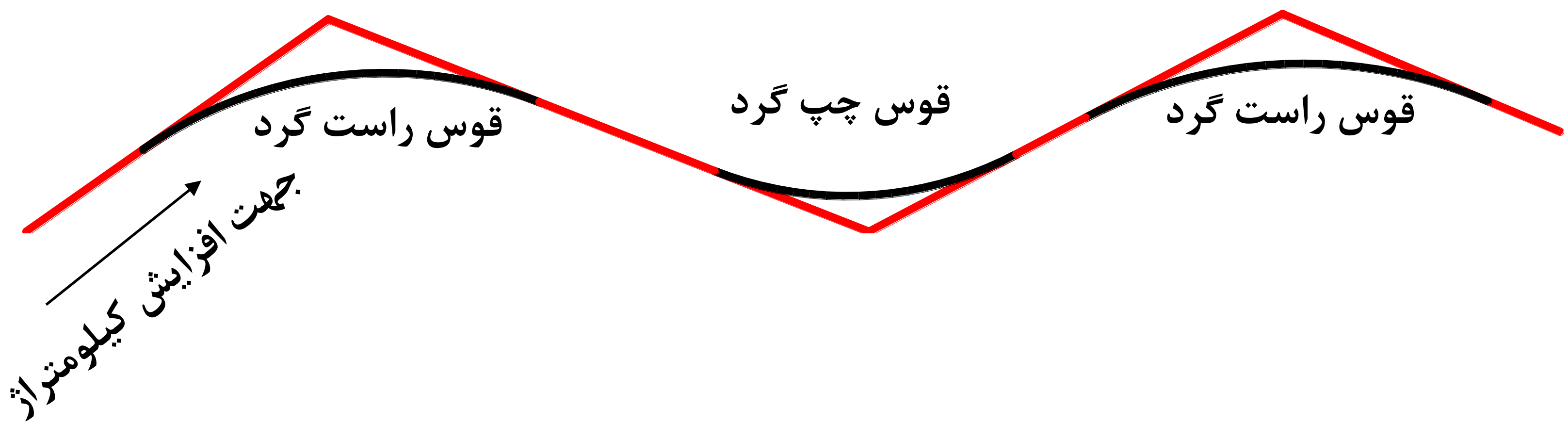
$$\boxed{M = R\left(1 - \cos\frac{I}{2}\right)} = Rvers\ \frac{I}{2}$$ $\boxed{4}$

نمایش انحنا

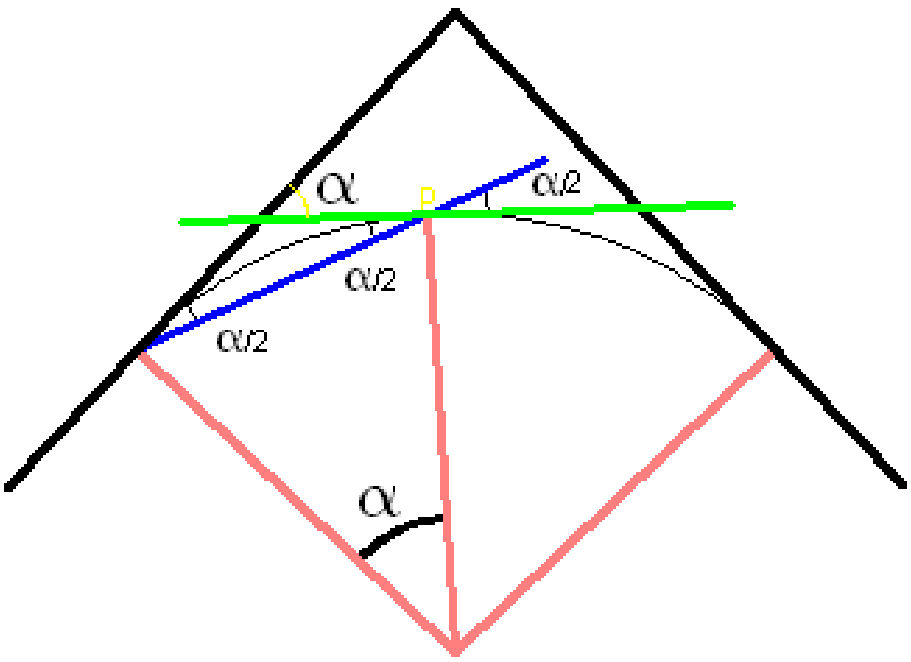


$$K = \frac{1}{R}$$

قوس راست گرد و قوس چپ گرد



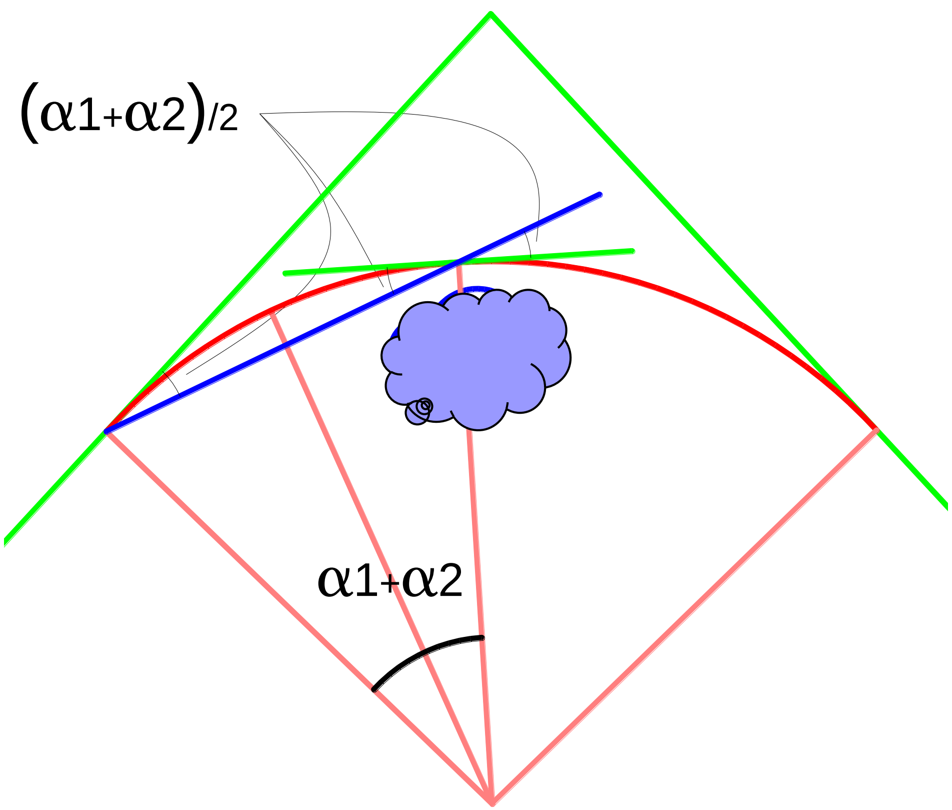
امتداد مماس



برای یافتن امتداد مماس بر قوس در یک نقطه ابتدا زاویه انحراف یا همان α را برای نقطه بدست می آوریم. با مستقر شدن بر روی آن نقطه و نشانه روی به سوی نقطه اول و چرخاندن دوربین به اندازه ۱۸۰ درجه (یا ۲۰۰ گراد) و سپس اضافه کردن زاویه ای برابر با α/2 به ژیزمان مماس می رسیم.

وجود موانع در پیاده کردن قوس به روش قطبی:

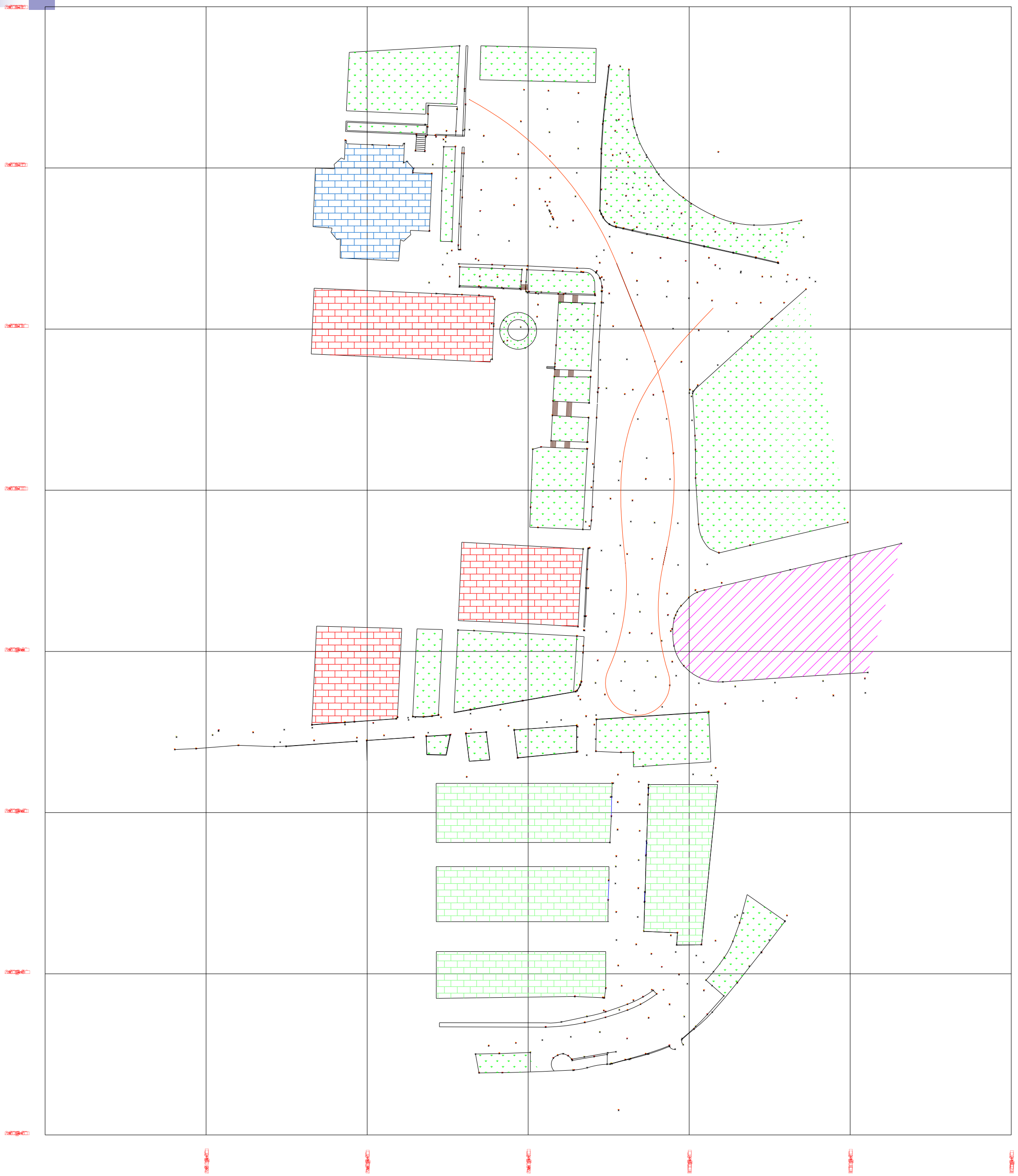
در صورتی که هنگام پیاده کردن قوس بعد از پیاده کردن چند نقطه به نقاط دیگر دید نداشته باشیم می توانیم روی آخرین نقطه ای که پیاده کرده ایم سوار شویم و با بدست آوردن ژیزمان مماس ادامه قوس را پیاده کنیم. مثلا در حالتی که دو نقطه اول قوس را پیاده کرده باشیم و به نقطه سوم دید نداشته باشیم، روی نقطه دوم سوار شده و به سمت نقطه شروع نشانه روی می کنیم.



بعد دوربین را ۱۸۰ درجه می چرخانیم و به اندازه α1/2+α2/2 به زاویه آن اضافه می کنیم. با این کار ژیزمان مماس را در نقطه دوم بدست آورده ایم. حال می توانیم با استفاده از زوایای انحراف و میزان طول قوس کار پیاده کردن را ادامه دهیم.

عملیات نقشه برداری مسیر

SCALE 1:500



هدف،پیاده کردن مسیری مانند
مقابل و برداشت پروفیل آن است
که شا مل قوس های
ساده،مرکب، سرپانتین وکلوتوئید
می باشد.
ابتدا روی نقشه برداشت شده،
محل مناسب صومه ها را انتخاب
و جدولی تنظیم می نماییم. باید
در انتها x و y نقاط مسیر ۱۰
متر به ۱۰ متر محاسبه گردد.

Y_2	X_2	Y_1	X_1	S	R	CURVE	#
50070.462	19977.412	50121.126	19931.894	69.698	100	simple	1
50014.087	19994.788	50049.193	19986.017	36.303	130	multiple	2
49982.568	19993.107	50014.087	19994.788	31.697	100		
49943.271	19993.516	49976.689	19991.842	33.145	64.639	serpantin	3
49944.295	19974.874	49943.271	19993.516	38.750	10		
49977.329	19980.170	49944.295	19974.874	33.145	64.639		
50021.040	19982.033	49977.447	19980.184	44	50.692	colotoid	4
50056.512	20007.440	50021.040	19982.033	44	50.692		

پروفیل طولی(تهیه در عملیات، به روش ترازیابی شعاعی)

اطلاعاتی که باید در پروفیل طولی آورده شود: (به اسلاید بعد نیز توجه کنید.)

نقاط

فواصل نقاط

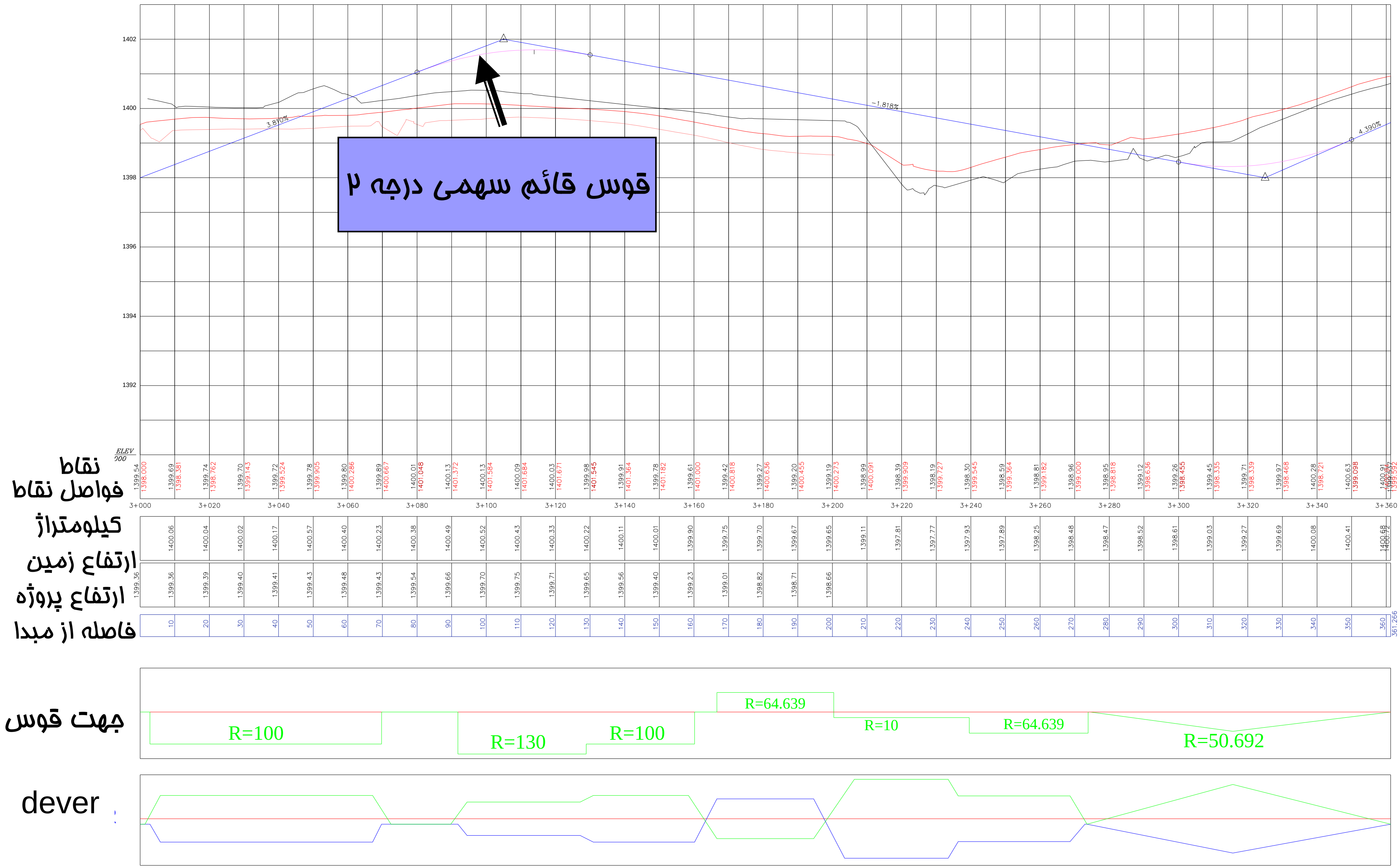
کیلومتراژ

ارتفاع زمین

ارتفاع پروژه

جهت قوس

dever



قوس قائم سهمی درجه ۲
3.810%
-1.818%
4.390%
ELEV
نقاط
فواصل نقاط
کیلومتراژ
ارتفاع زمین
ارتفاع پروژه
فاصله از مبدا
جهت قوس
R=100
R=130
R=100
R=64.639
R=10
R=64.639
R=50.692
dever

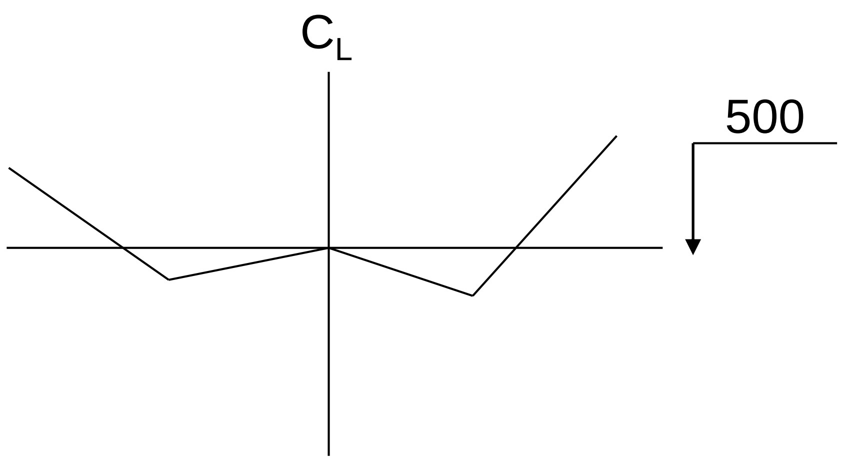
پروفیل عرضی

به صورت زیر عمل می کنیم:

کیلومتراژ	چپ		C_L	راست	
3+0	$\frac{1700}{10}$	$\frac{2200}{5}$	2000	$\frac{2300}{5}$	$\frac{1500}{10}$

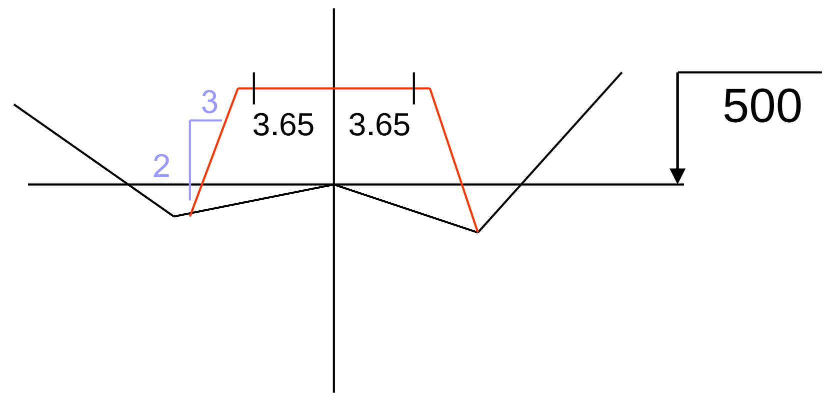
کیلومتراژ	چپ		C_L	راست	
3+0	$\frac{500.8}{10}$	$\frac{500.30}{5}$	500.5	$\frac{500.2}{5}$	$\frac{501.00}{10}$

V scale1:100
Hz scale 1:100
KM 3+0
G_L=500.5
P_L=501.2

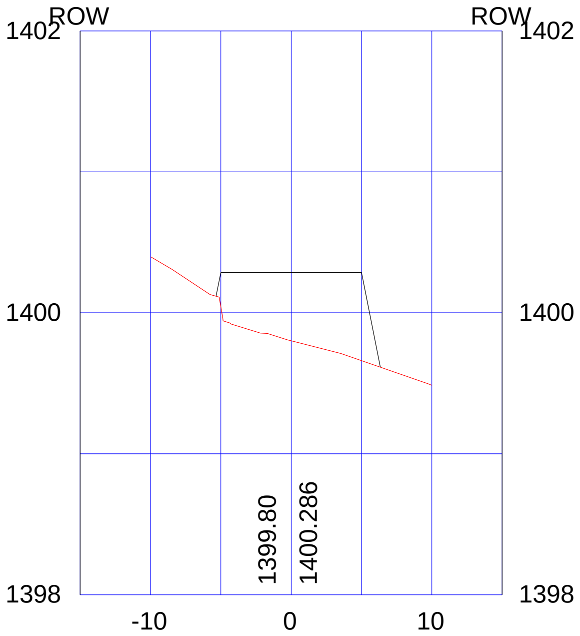


پروفیل تیپ

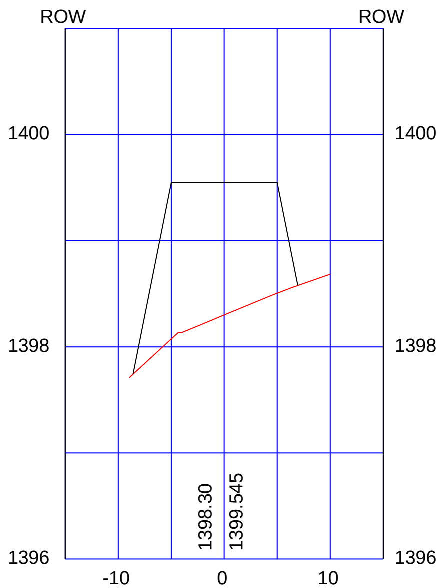
V scale 1:100
Hz scale 1:100
KM 3+0
G_L=500.5
P_L=501.2



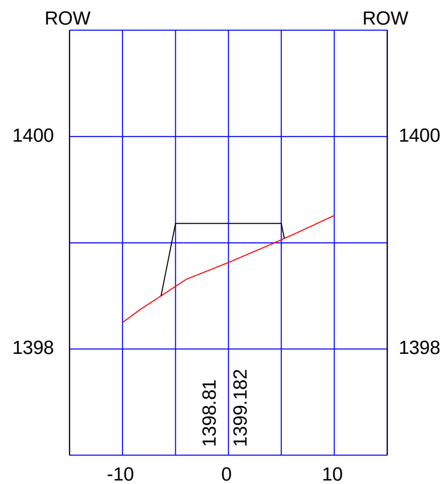
3+060



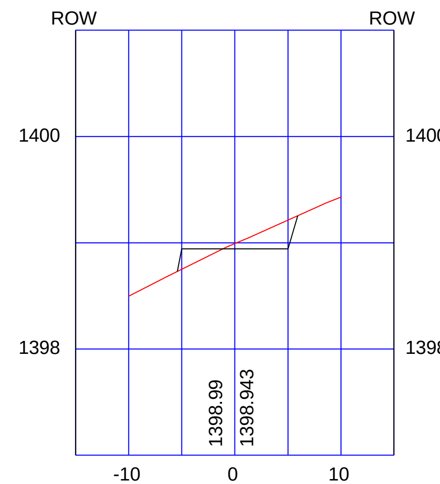
3+240



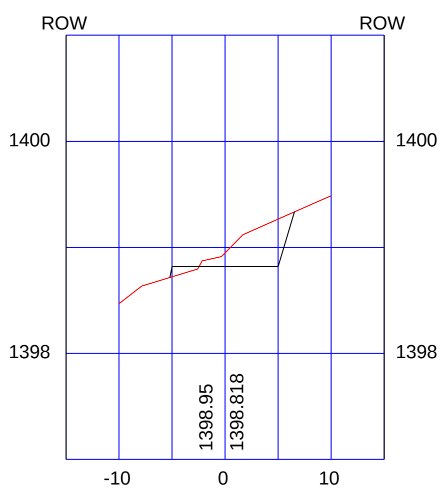
3+260



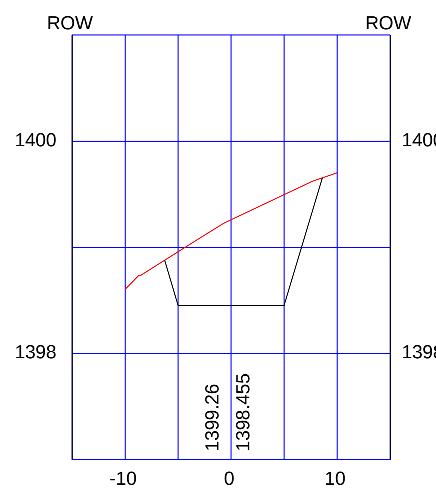
3+273.145



3+280

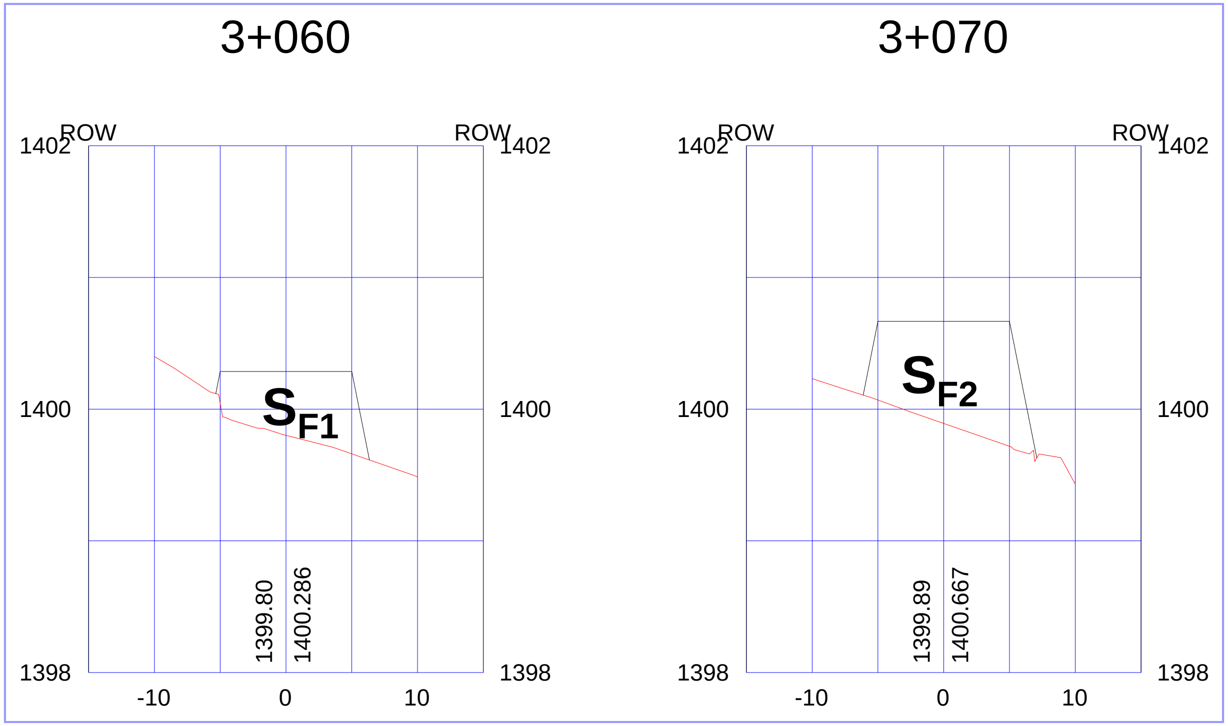


3+300



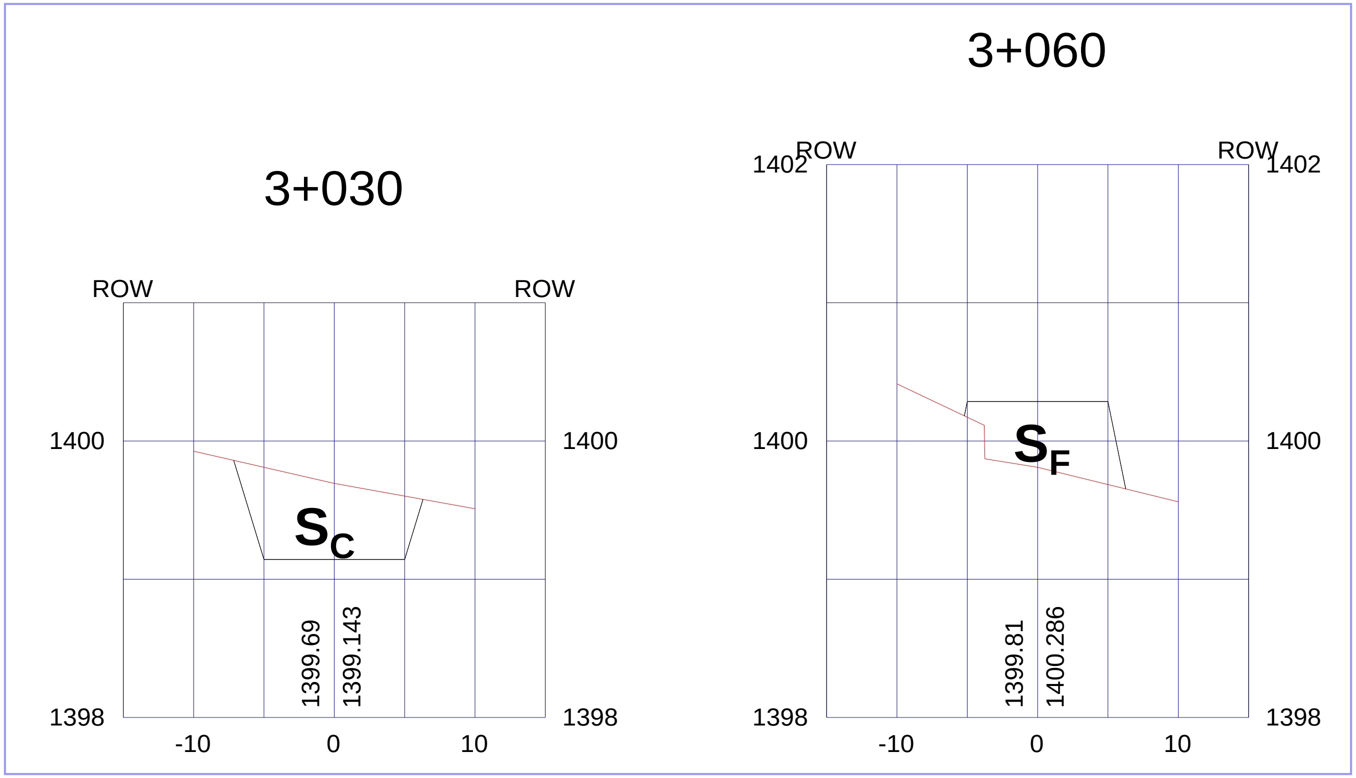
محاسبه حجم عملیات خاکی

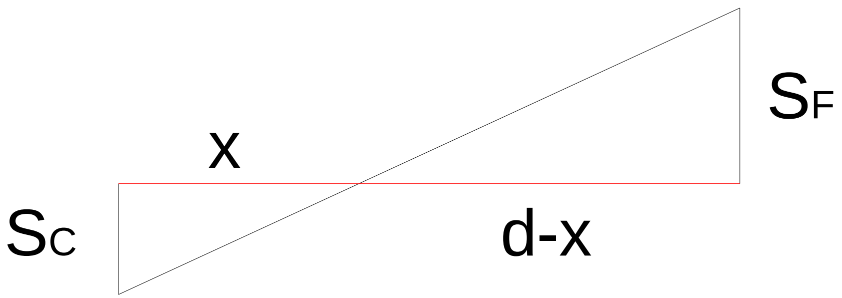
الف) دو مقطع متوالی هر دو خاکبرداری یا هر دو خاکریزی می باشند:



$$V_C = \frac{S_{C1} + S_{C2}}{2} \times d \qquad V_F = \frac{S_{F1} + S_{F2}}{2} \times d$$

ب) دو مقطع متوالی یکی خاکبرداری و دیگری خاکریزی می باشد:





$$\frac{S_C}{S_F} = \frac{x}{d-x} \qquad \Rightarrow \qquad \frac{S_C}{S_F + S_C} = \frac{x}{d}$$

$$V_C = \frac{S_C + 0}{2} \times x \qquad V_F = \frac{S_F + 0}{2} \times (d - x)$$

روشهای مختلف پیاده کردن

قوس دایره‌ای

۱)روش قائم الزاویه (X، Y): حالت اول

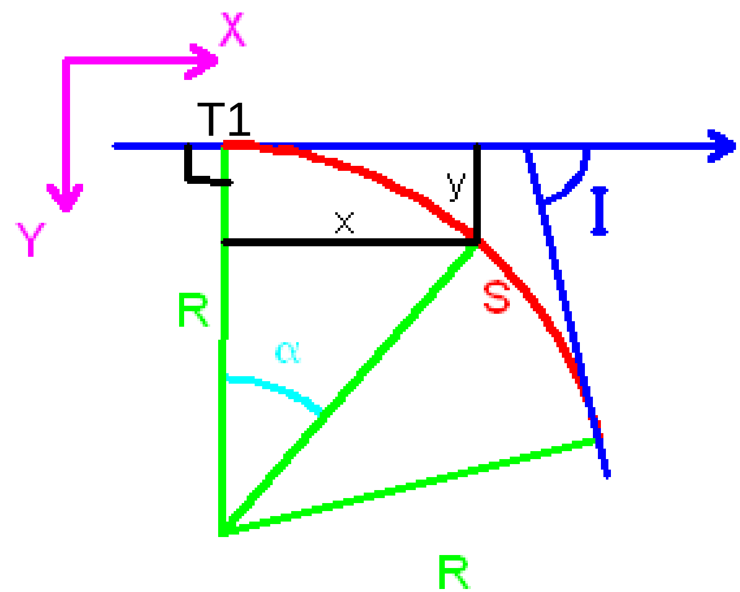
به شرطی که شروع مبدا مختصات نقطه T_1 و محور X در امتداد طول تانژانت باشد:

$$R^2 = x^2 + (R-y)^2$$

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

$$\Rightarrow y = R\left[1 \pm \sqrt{1-\left(\frac{x}{R}\right)^2}\,\right]$$

$$\xrightarrow{\text{بسط دو جمله ای}} \left[1-\left(\frac{x}{R}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \Rightarrow \boxed{y = \frac{x^2}{2R}}$$



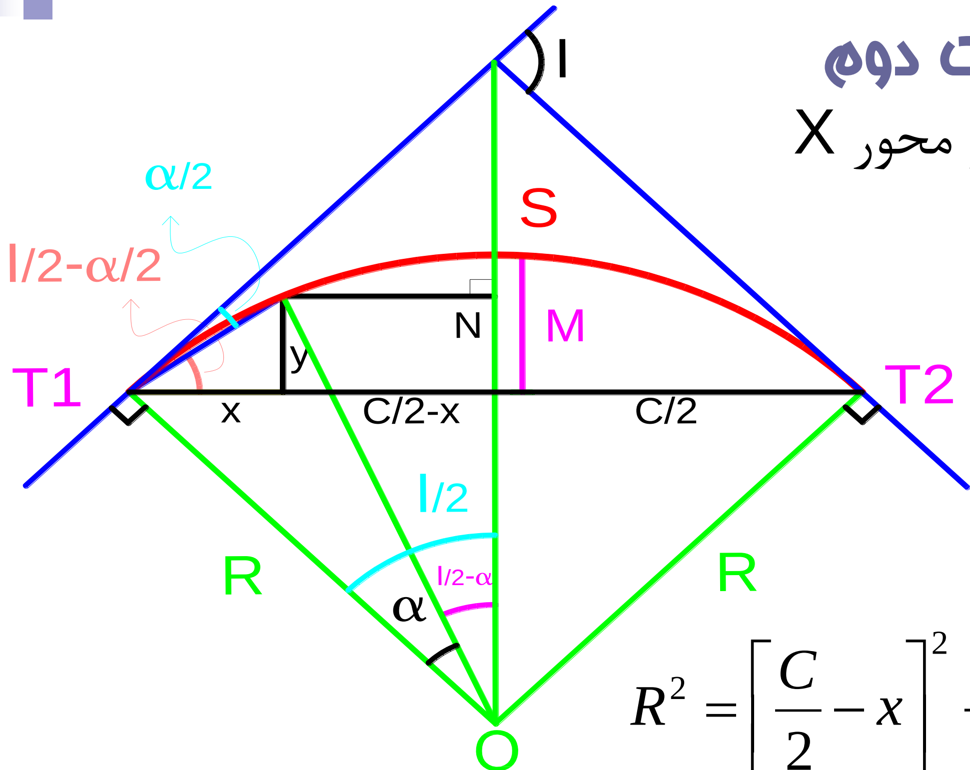
حل این مساله به کمک زاویه α

$$x = R\sin\alpha$$

$$y = R - R\cos\alpha = R(1-\cos\alpha)$$

۱)روش قائم الزاویه (X، Y):حالت دوم

وقتی که شروع مبدا مختصات نقطه T1 و محور X
در امتداد محور بزرگ باشد:



$$\left.\begin{aligned} R^2 &= \left[\frac{C}{2}-x\right]^2 + ON^2 \\ ON &= R-(M-y) \end{aligned}\right\} \quad \boxed{y = M - R \pm \sqrt{R^2 - \left[\frac{C}{2}-x\right]^2}}$$

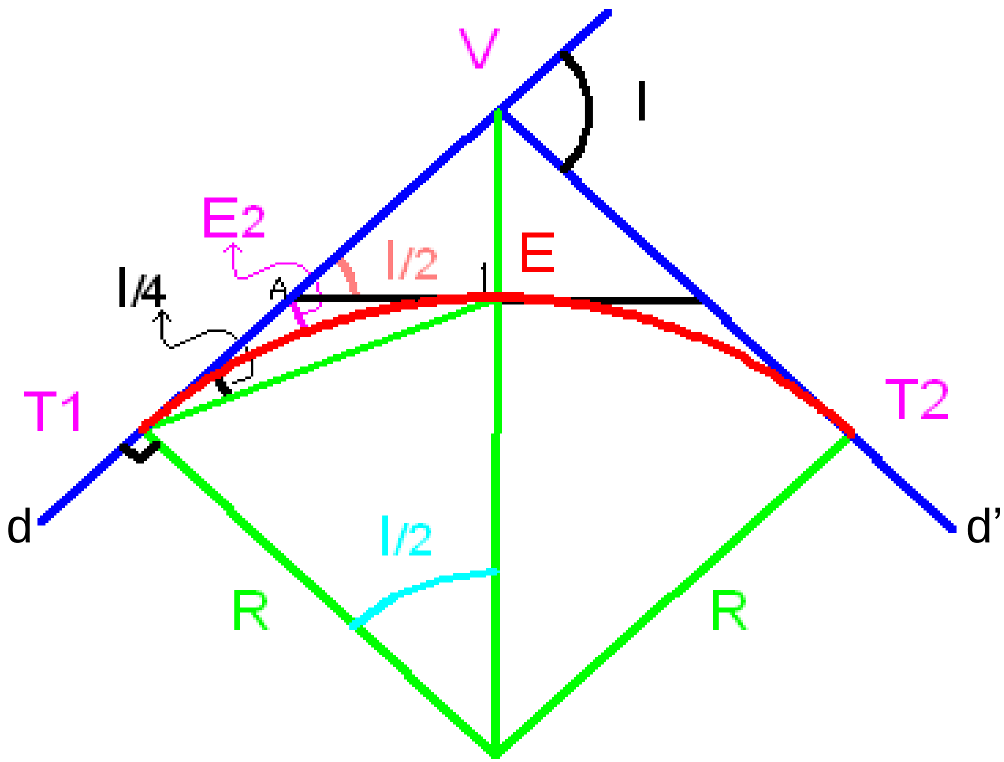
حل این مساله به کمک زاویه α

$$x = \frac{C}{2} - R\sin\left(\frac{I}{2}-\alpha\right)$$

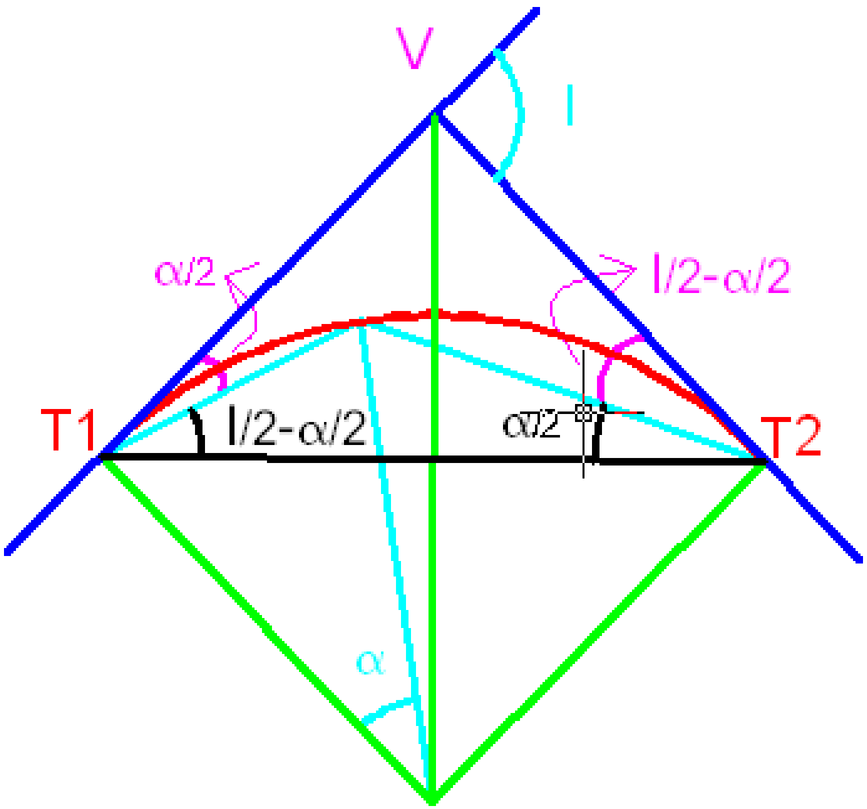
$$y = x\tan\left(\frac{I}{2}-\frac{\alpha}{2}\right)$$

۲) روش استقرار در رئوس مختلف:

روی V مستقر می شویم ، از V به اندازه E و با زاویه 2/(180-I)جلو می رویم و نقطه ۱ را پیاده می کنیم. دوربین را به نقطه ۱ منتقل می کنیم، ۹۰ درجه دوربین را می چرخانیم و به اندازه T=Rtan(I/4) حرکت می کنیم تا خط مماس درنقطه A خط d را قطع کند .دوربین را به A منتقل می کنیم وهمین عملیات را برای E2 تکرار میکنیم.

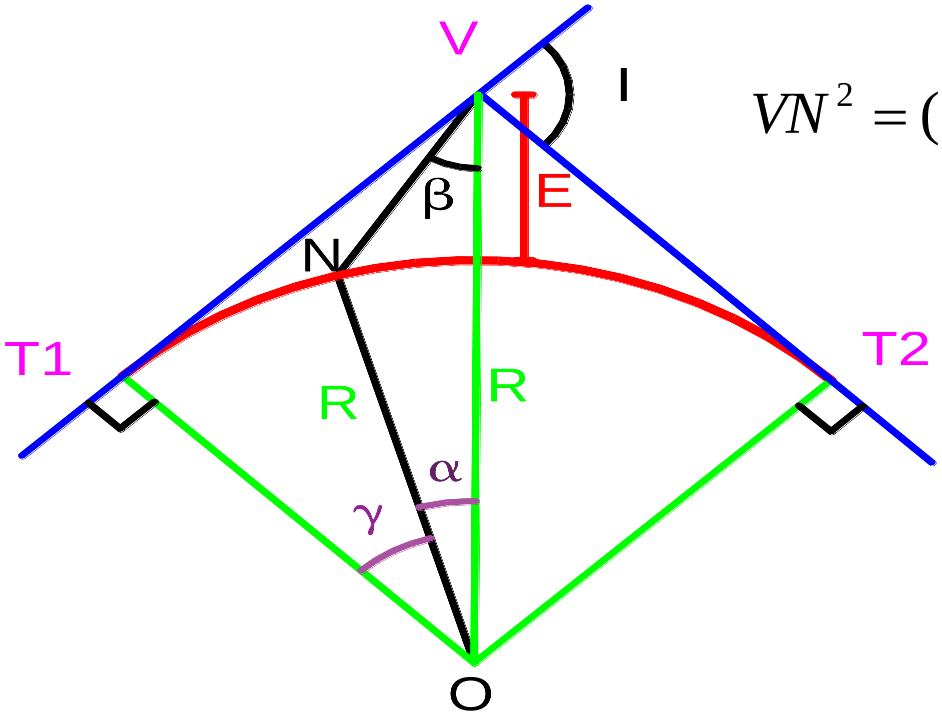


۳) روش تقاطع دو زاویه:



در این روش یک دوربین در نقطه T_1 و یک دوربین درنقطه T_2 سوار می شوند. بعد از صفر کردن دوربین به راس قوس، همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است زوایای مناسب را به دوربینها می بندند و شخصی با یک ژالون، در نزدیکی نقطه مورد نظر قرار می گیرد. افرادی که در پشت دوربینها قرار دارند با راهنمایی شخص او را به جایی هدایت می کنند که در راستای زوایای بسته شده به هر دو دوربین باشد. این نقطه روی قوس قرار دارد.

۴) روش استقرار روی راس قوس:



$$VN^2 = (R+E)^2 + R^2 - 2(R+E)R\cos\alpha$$

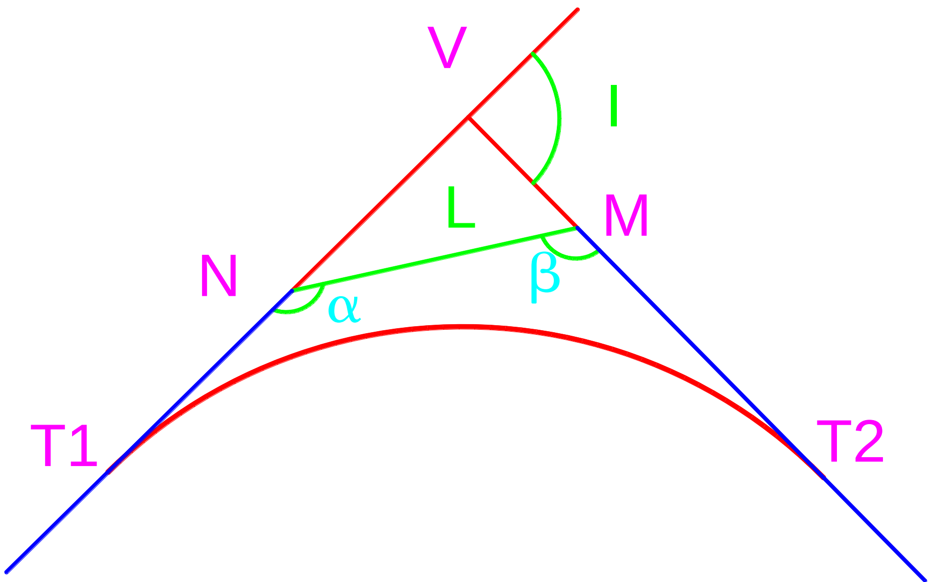
با داشتن α، VN بدست می آید:

$$\frac{VN}{\sin\alpha} = \frac{R}{\sin\beta}$$

β بدست می آید

دوربین روی V قرار می گیرد. به O صفر می کند (یا به T1 صفر می کنیم و I/2 را به آن می بندیم.) و با VN و B نقطه را پیاده می کنیم. برای بقیه نقاط هم دوربین همانجا می ماند.

خارج از دسترس بودن راس قوس



الف) راس V در دسترس نیست:

$$I=(180^\circ-\alpha)+(180^\circ-\beta)$$

$$\frac{VN}{\sin\beta}=\frac{L}{\sin I}=\frac{VM}{\sin\alpha}$$

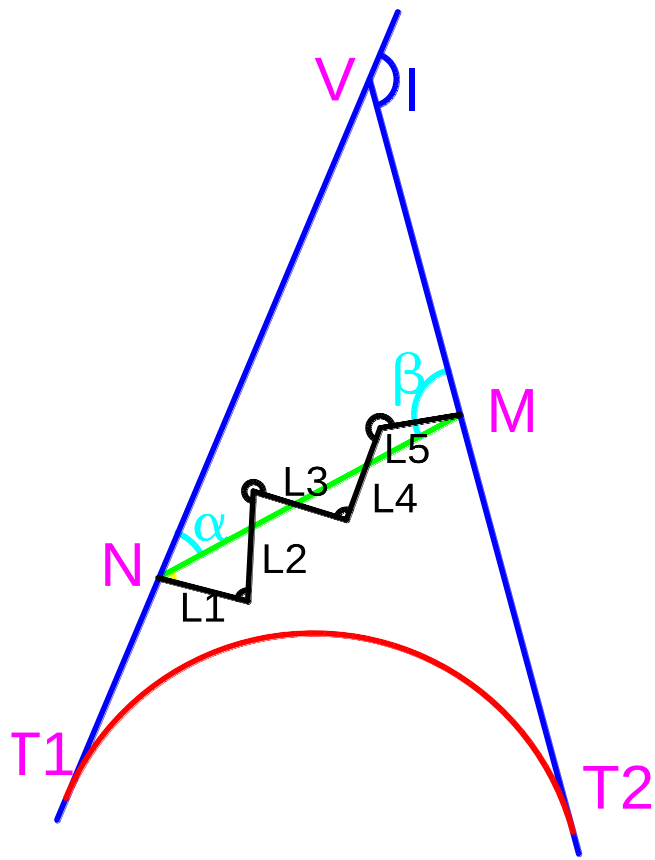
از روابط بالا VM و VN را بدست می آوریم

T را هم که طبق فرمول به دست آورده ایم، حال طبق رابطه مقابل به اندازه NT_1 و MT_2 جلو می رویم، نقطه T1 را یافته ایم، کار را ادامه می دهیم.

$$NT_1=T-VN$$

$$MT_2=T-VM$$

ب) مانند حالت قبل راس V در دســترس نیســت ولی فاصله دو نقطــه N و M قابــل انــدازه گیــری مستقیم نیست.



فرض می کنیم $\begin{cases} x_N = 0 \\ y_N = 0 \\ G_{T_1N} = 0 \end{cases}$

$$NM = \sqrt{(x_M - x_N)^2 + (y_M - y_N)^2}$$

$$I = G_{MT_2} - G_{T_1N} = \underline{G_{MT_2}|}$$

$$\alpha = G_{NM} - G_{NV} \qquad \beta = G_{T_2M} - G_{MN}$$

تا چه طولی می توان به جای قوس، وتر درنظر گرفت؟

$$\left.\begin{aligned} C &= 2R\sin\frac{\alpha}{2} \\ S &= R\alpha \\ \sin\frac{\alpha}{2} &= \frac{\alpha}{2} - \frac{\alpha^3}{48} + \ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\} \Delta S = S - C = R\alpha - 2R\left[\frac{\alpha}{2} - \frac{\alpha^3}{48} + \ldots\ldots\right]$$

$$\Delta S = \frac{2R\alpha^3}{48} \xrightarrow{\alpha = \frac{S}{R}} \Delta S = \frac{2R\frac{S^3}{R^3}}{48} \Rightarrow \boxed{\Delta S = \frac{S^3}{24R^2}}$$

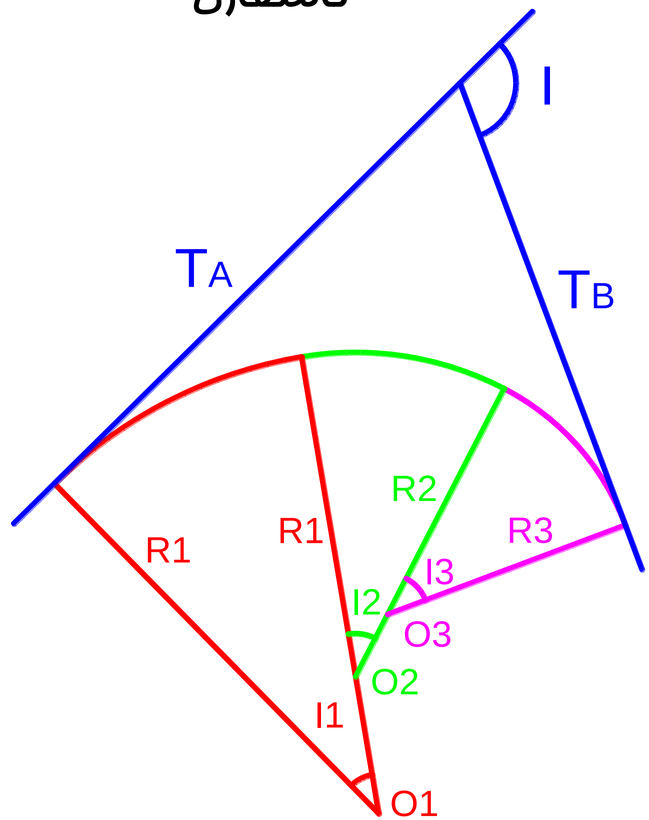
$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{S^2}{24R^2} \xrightarrow{S = \frac{1}{10}R} \frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{2400}$$

قوسهای مرکب

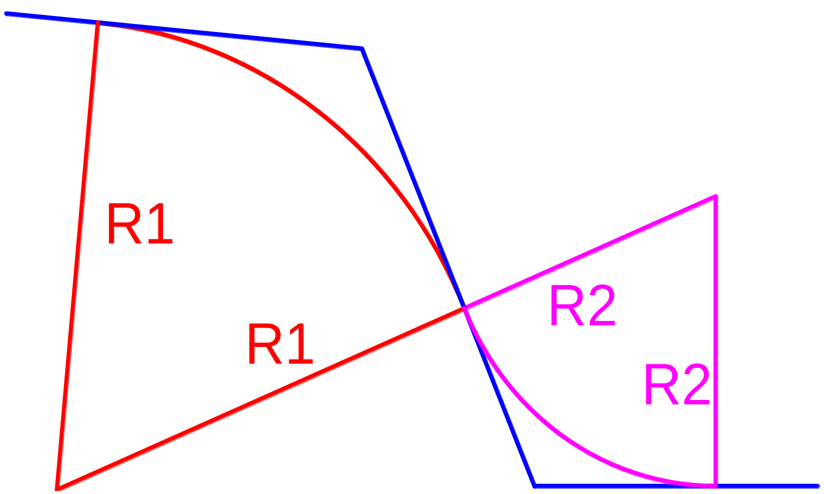
قوس مرکب مستقیم:

متقارن

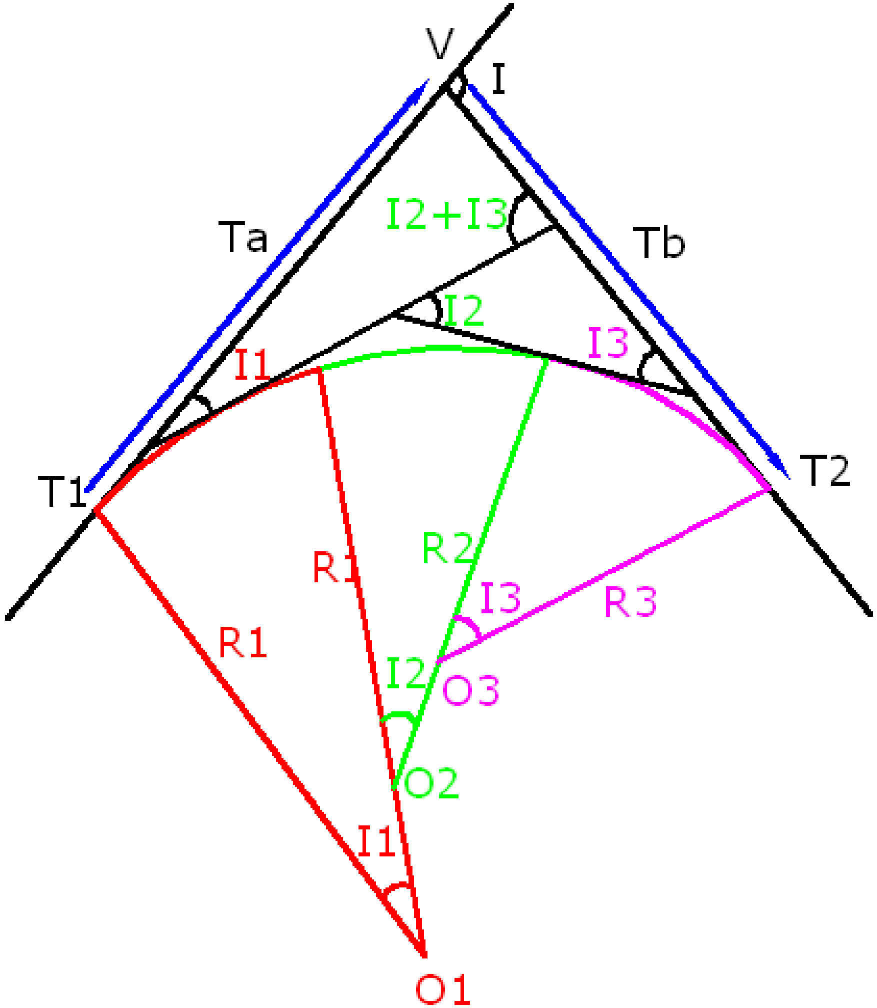
نامتقارن



قوس مرکب معکوس:



قوس مرکب مستقیم



$$T_A \neq T_B$$

در نتیجه باید برای هر قوس شعاع های مختلف در نظر بگیریم

نکته: جمع زوایای انحراف با **I** برابر است.

$$I = \sum_{i=1}^{n} I_i$$

فرض می کنیم:

$$T_a \leftarrow G_{VT_1} = 0$$

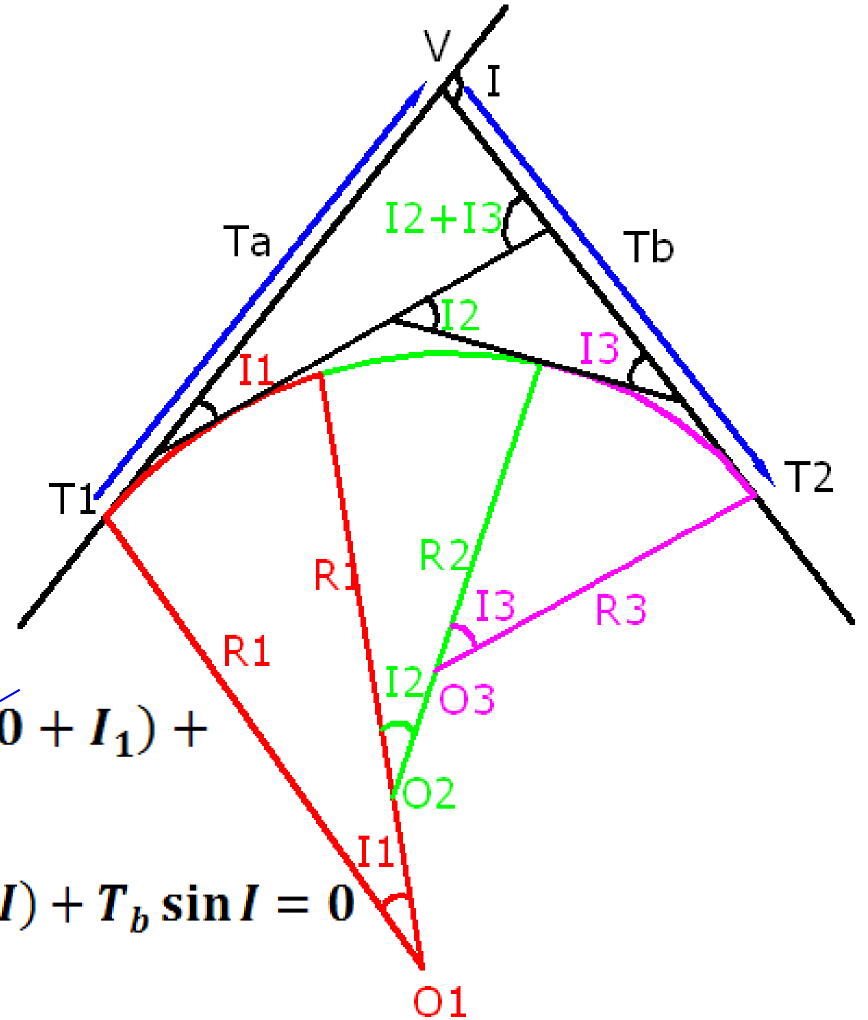
$$R_1 \leftarrow G_{T_1O_1} = 270°$$

$$(R_1 - R_2) \leftarrow G_{O_1O_2} = 90 + I_1$$

$$(R_2 - R_3) \leftarrow G_{O_2O_3} = 90 + I_1 + I_2$$

$$R_3 \leftarrow G_{O_3T_2} = 90 + I$$

$$T_b \leftarrow G_{T_2V} = I$$



$$\boldsymbol{T_a}\ \overset{0}{\cancel{\sin 0}} + \boldsymbol{R_1}\ \overset{-1}{\cancel{\sin 270}} + (\boldsymbol{R_1} - \boldsymbol{R_2})\ \overset{\cos I_1}{\cancel{\sin(90 + \boldsymbol{I_1})}} +$$

$$(\boldsymbol{R_2} - \boldsymbol{R_3})\ \overset{\cos(I_1 + I_2)}{\cancel{\sin(90 + \boldsymbol{I_1} + \boldsymbol{I_2})}} + \boldsymbol{R_3}\ \overset{\cos I}{\cancel{\sin(90 + \boldsymbol{I})}} + \boldsymbol{T_b} \sin \boldsymbol{I} = 0$$

$$\boxed{T_b = \frac{R_1 - (R_1 - R_2)\cos I_1 - (R_2 - R_3)\cos(I_1 + I_2) - R_3 \cos I}{\sin I}}$$

$$T_b \leftarrow G_{VT_2} = 0$$ فرض می کنیم

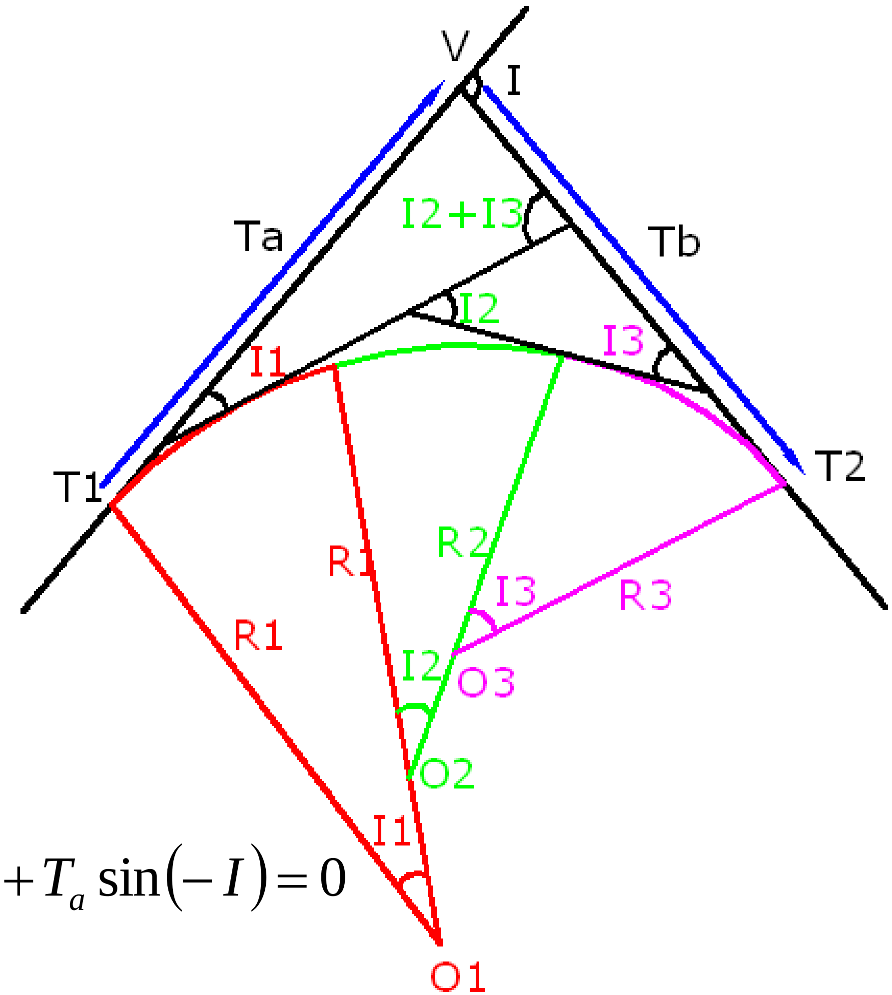
$$R_3 \leftarrow G_{T_2O_3} = 90°$$

$$(R_2 - R_3) \leftarrow G_{O_3O_2} = 90 - I_3$$

$$(R_1 - R_2) \leftarrow G_{O_2O_1} = 90 - (I_3 + I_2)$$

$$R_1 \leftarrow G_{O_1T_1} = 270 - I$$

$$T_a \leftarrow G_{T_1V} = -I$$

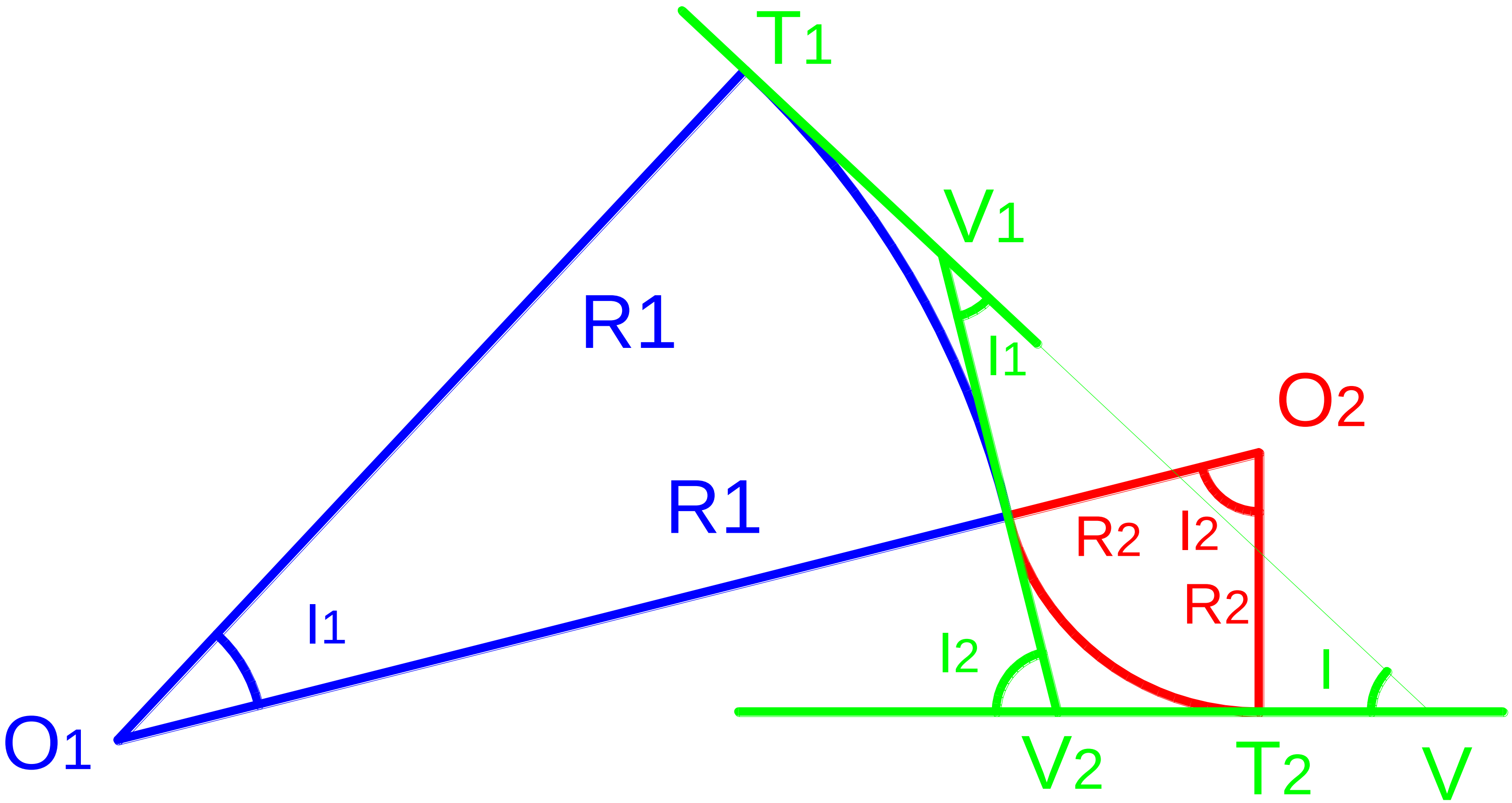


$$T_b \sin 0 + R_3 \sin 90 + (R_2 - R_3)\sin(90 - I_3) +$$
$$(R_1 - R_2)\sin(90 - (I_3 + I_2)) + R_1 \sin(270 - I) + T_a \sin(-I) = 0$$

$$\boxed{T_a = \frac{R_3 - (R_2 - R_3)\cos I_3 - (R_1 - R_2)\cos(I_2 + I_3) - R_1 \cos I}{\sin I}}$$

قوس مرکب معکوس:

ممکن است به علت وجود موانع در زدن قوس ساده به این شکل عمل کنیم و مسیر را با دو خط می شکنیم:



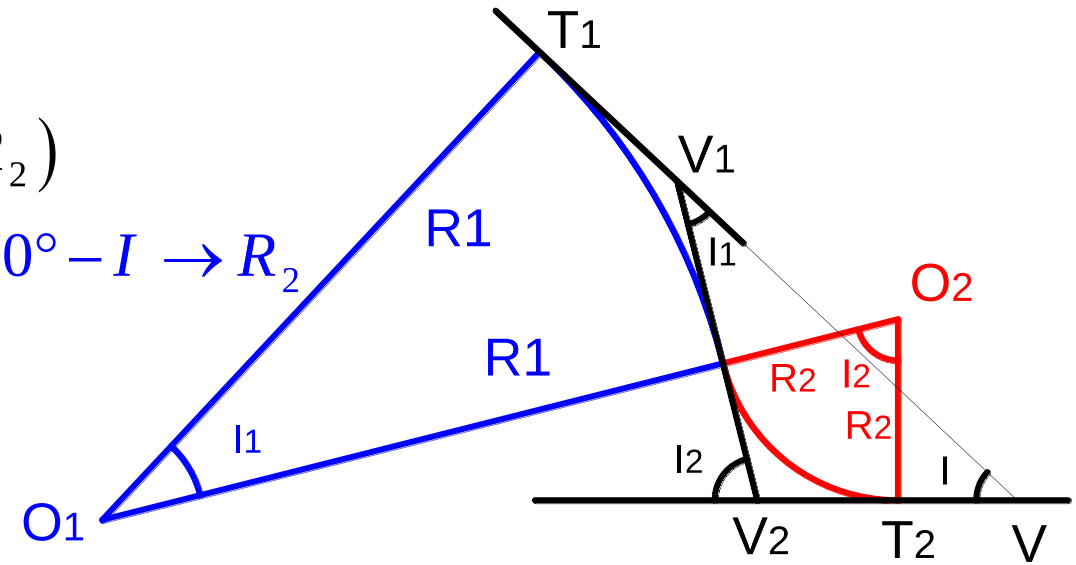
$$G_{VT_1} = 0 \rightarrow VT_1$$ فرض می کنیم

$$G_{T_1O_1} = 270° \rightarrow R_1$$

$$G_{O_1O_2} = 90° + I_1 \rightarrow (R_1 + R_2)$$

$$G_{O_2T_2} = 270° + I_1 - I_2 = 270° - I \rightarrow R_2$$

$$G_{T_2V} = 180° - I \rightarrow T_2V$$



$$VT_1 \sin(G_{VT_1}) + R_1 \sin 270° + (R_1 + R_2)\sin(90 + I_1) +$$
$$R_2 \sin(270 - I) + T_2V \sin(180 - I) = 0$$

$$\boxed{T_2V = \frac{R_1 + (R_1 + R_2)\cos I_1 - R_2 \cos I}{\sin I}}$$

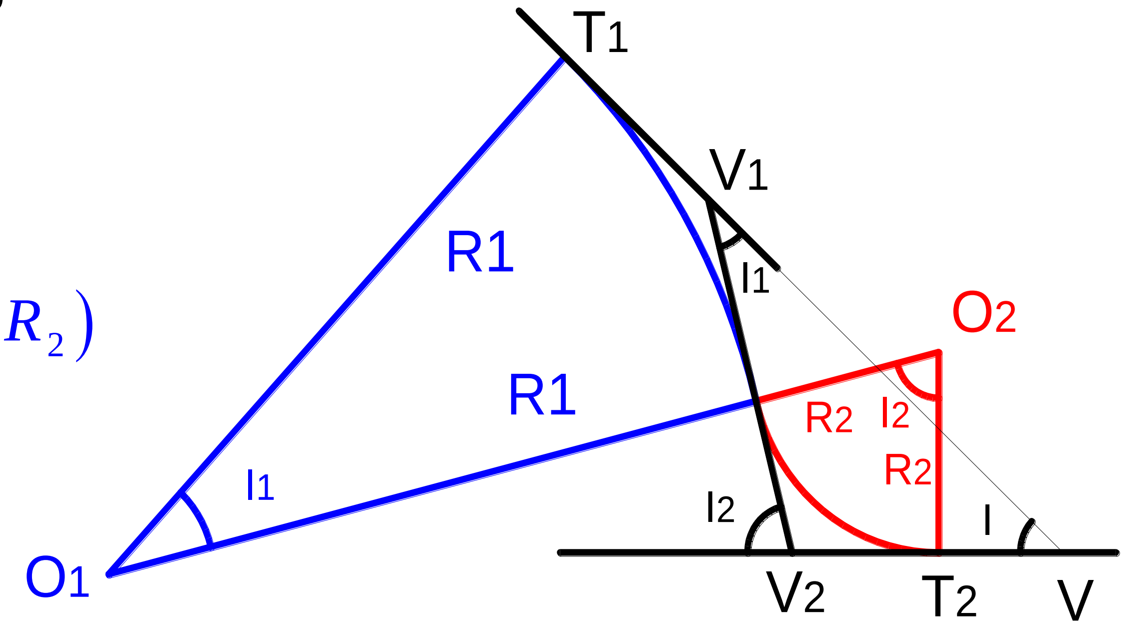
$$G_{T_2V} = 0 \rightarrow T_2V$$ فرض می کنیم

$$G_{VT_1} = 180° + I \rightarrow VT_1$$

$$G_{T_1O_1} = 90° + I \rightarrow R_1$$

$$G_{O_1O_2} = I_2 - 90° \rightarrow (R_1 + R_2)$$

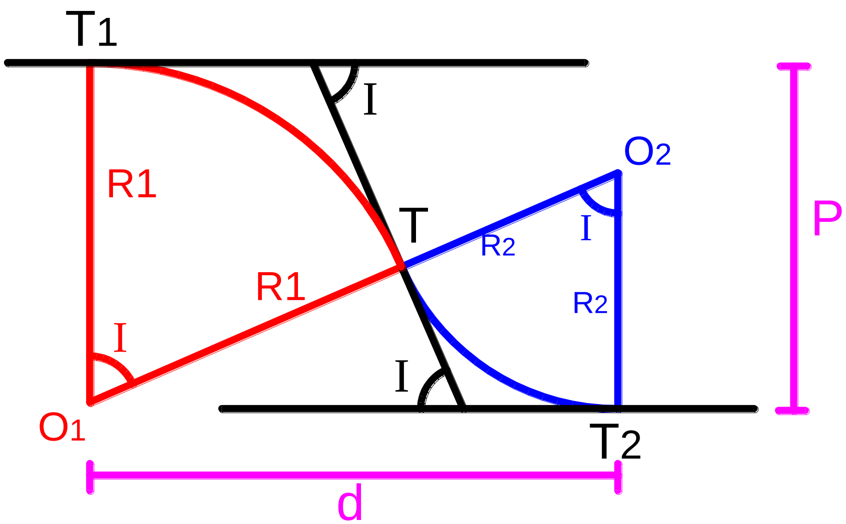
$$G_{O_2T_2} = 90° \rightarrow R_2$$



$$T_2V\sin(G_{T_2V}) + VT_1\sin(180 + I) + R_1\sin(90 + I) +$$
$$(R_1 + R_2)\sin(I_2 - 90) + R_2\sin 90 = 0$$

$$\boxed{VT_1 = \frac{R_2 - (R_1 + R_2)\cos I + R_1\cos I}{\sin I}}$$

اگر دو خط موازی باشند (کاربرد زیاد در راه آهن)



$$P = (R_1 - R_1 \cos I) + (R_2 - R_2 \cos I) = (R_1 + R_2)(1 - \cos I)$$

$$d = R_1 \sin I + R_2 \sin I = (R_1 + R_2) \sin I$$

$$T_1T_2 = 2R_1 \sin\frac{I}{2} + 2R_2 \sin\frac{I}{2} = 2(R_1 + R_2) \sin\frac{I}{2}$$

$$p = T_1T_2 \sin\frac{I}{2}$$

اگر $R_1=R_2=R$ باشد آنگاه خواهیم داشت:

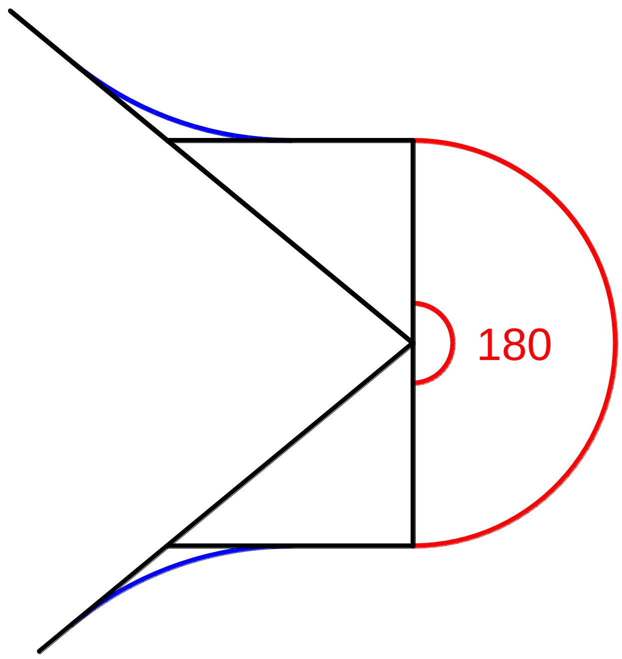
$$d = 2\sqrt{p\left(R - \frac{p}{4}\right)}$$

نکته: معایب قوس مرکب معکوس

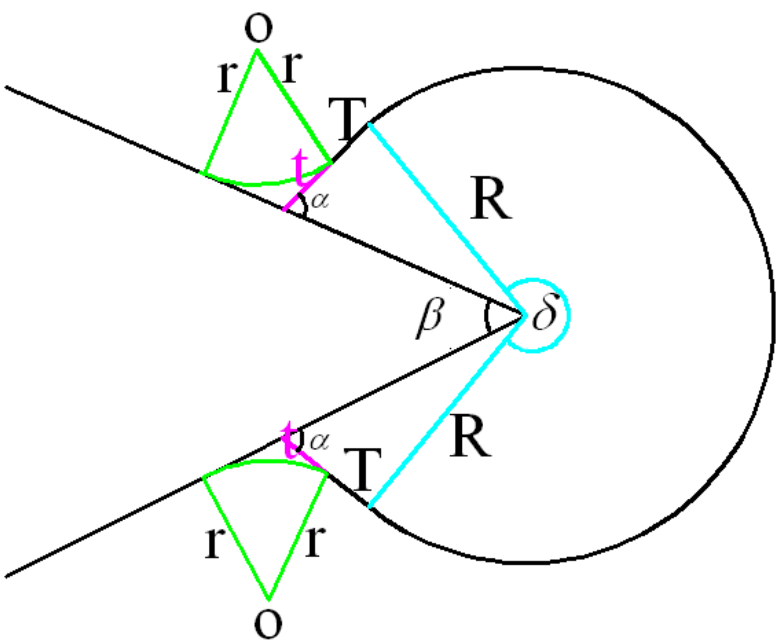
در ورود از یک قوس به قوس دیگر، ناگهان دور تغییر میکنـد کـه تغییـر دور بین دو قوس امکان اجرایی ندارد. معمولا چند متر جلـوتر در انتهـای قـوس دور را از بین می برند که از لحاظ هندسی کار صـحیحی نیسـت. بـه همـین دلیل توصیه بر این است که از این قوس اسـتقاده نشـود ولـی اگـر اجتنـاب ناپذیر بود، بهتر است از یک مسیر مســـتقیـــم بین دو قوس استفاده شود.

قوس سرپانتین

هرگاه شیب منطقه زیاد باشد برای افــزایش طــول مســـیر و کــاهش شیب از این قوس استفاده می شود.



قوس سرپانتین نیم دایره ای



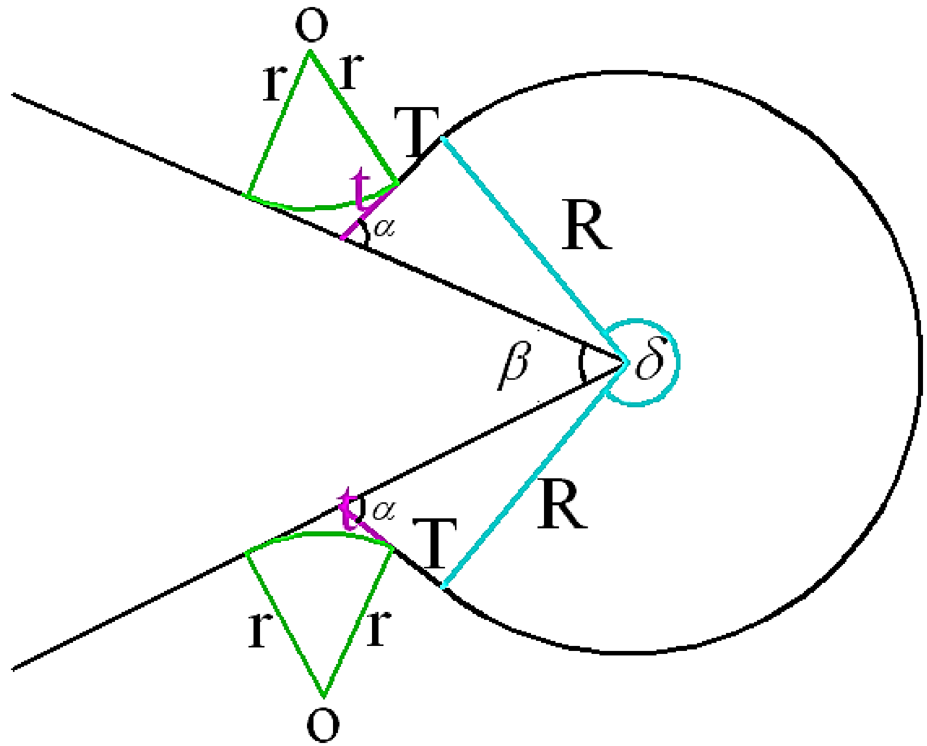
قوس سرپانتین نعل اسبی

$$\delta + \beta + (90° - \alpha) + (90° - \alpha) = 360°$$

$$\tan\alpha = \frac{R}{t + T} = \frac{R}{r\tan\frac{\alpha}{2} + T}$$

$$\tan\alpha = \frac{2\tan\frac{\alpha}{2}}{1 - \tan^2\frac{\alpha}{2}} = \frac{R}{r\tan\frac{\alpha}{2} + T}$$

$$(2r + R)\tan^2\frac{\alpha}{2} + 2T\tan\frac{\alpha}{2} - R = 0$$



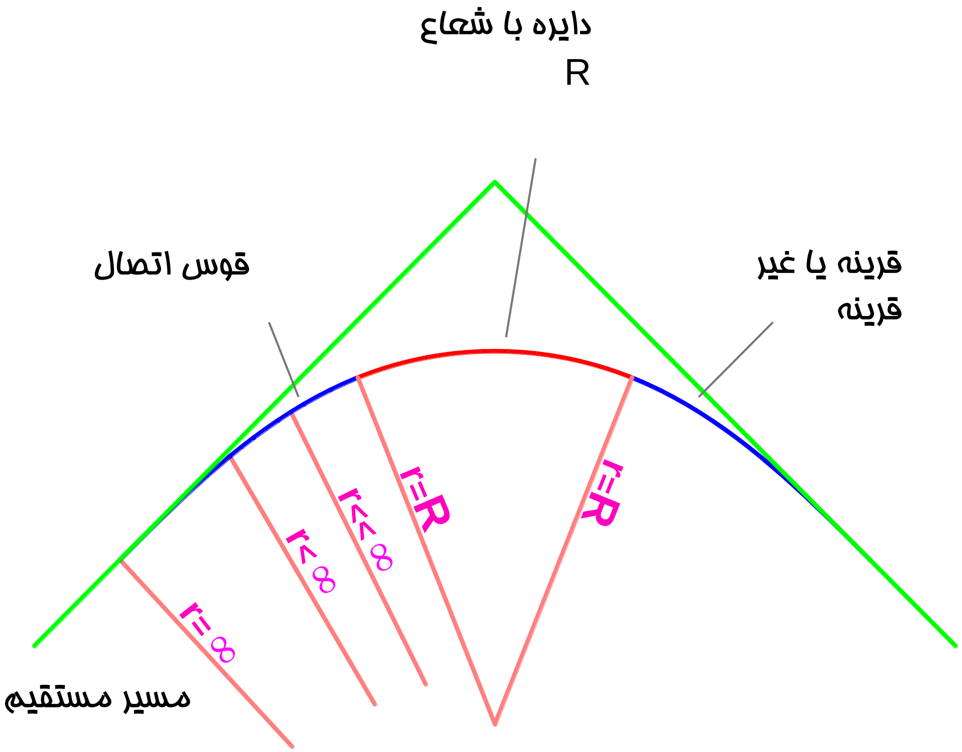
$$\boxed{\tan\frac{\alpha}{2} = \frac{-T \pm \sqrt{T^2 + R(2r + R)}}{2r + R}}$$

قوس های اتصال

قوسهای اتصال (Spiral)

1. کلوتوئید
2. سهمی درجه ۳
3. لیمینسکات

+ پروگرسیو

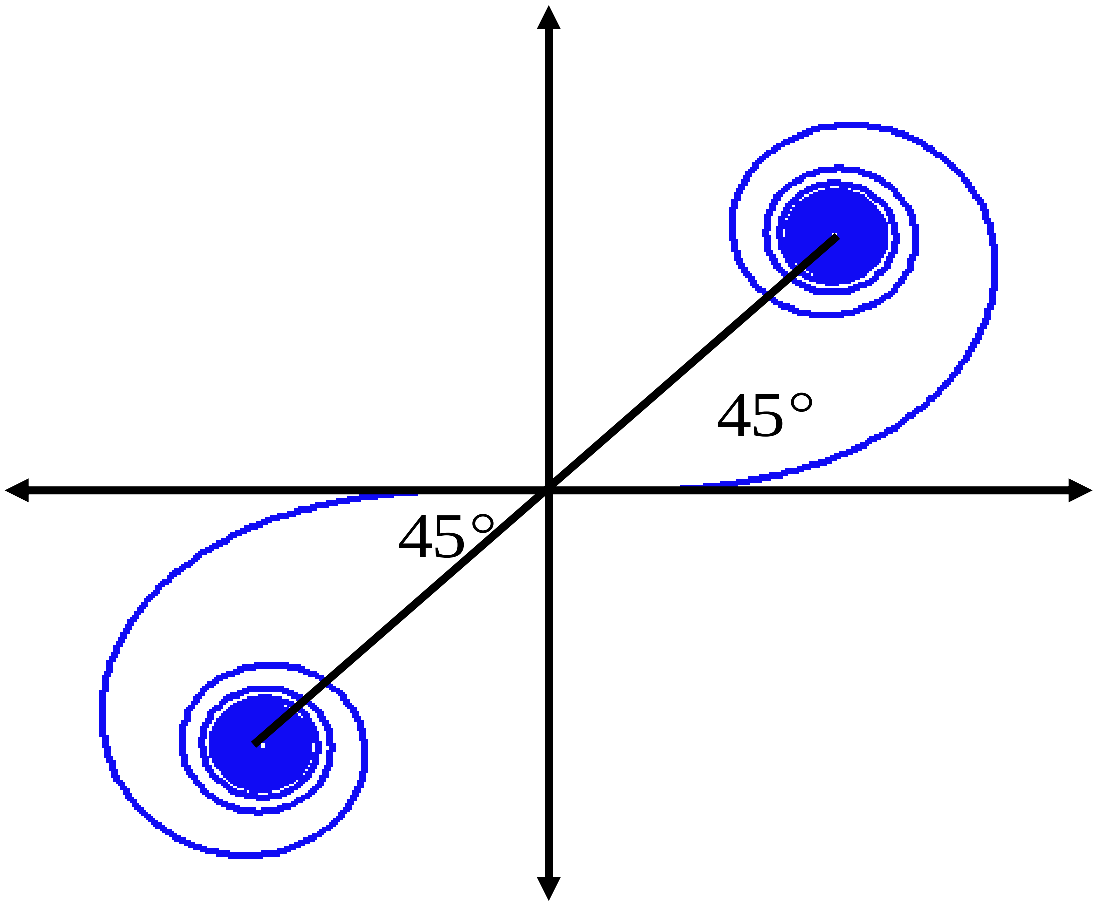


قوس اتصال، خط مستقیم را به قوس ساده متصل می کند.

در همگی، با زیاد شدن طول قوس، شعاع قوس کم می شود.

قوس کلوتوئید

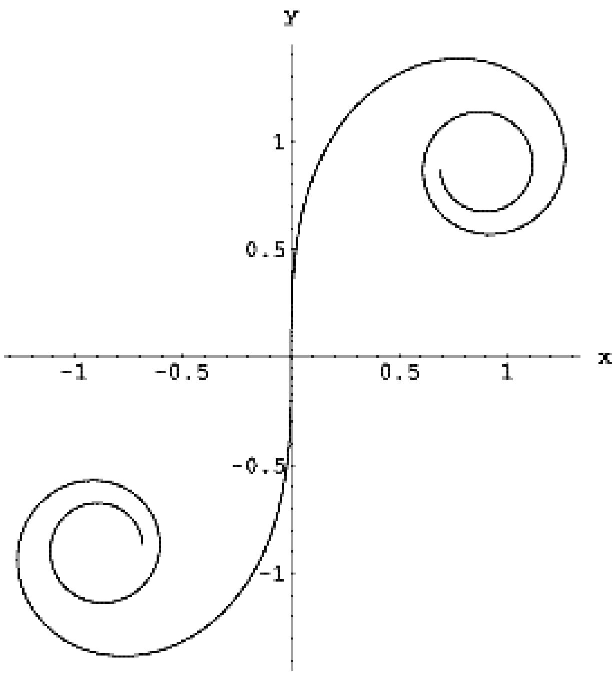
انحنای این قوس به صورت خطی از صفر تا بینهایت تغییر می کند.



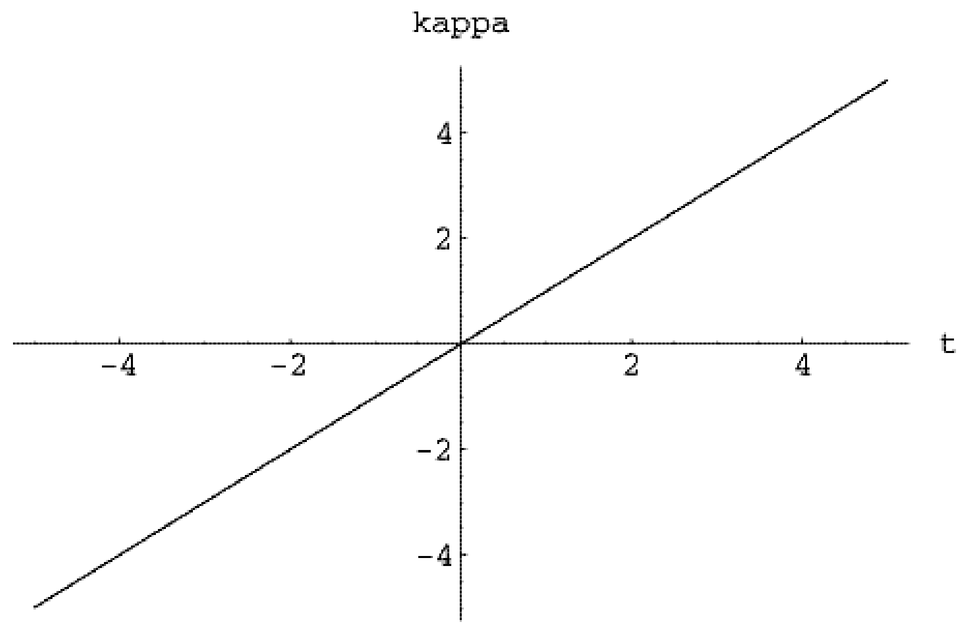
$$r = \frac{1}{k} = \frac{1}{CS}$$

عدد ثابت

طول قوس



$$\kappa[t] = \frac{t}{a}$$

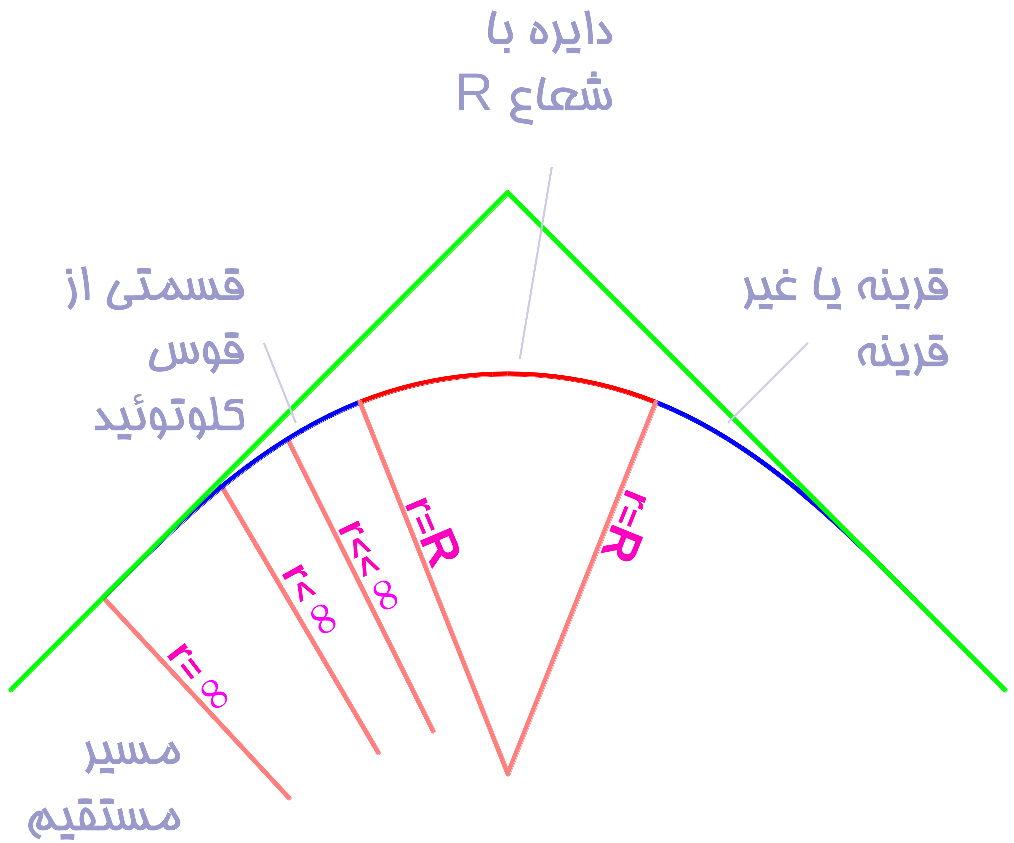


$$\begin{pmatrix} x[t] \\ y[t] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a\sqrt{\pi}\ \mathrm{FresnelS}\left[\frac{t}{\sqrt{\pi}}\right] \\ a\sqrt{\pi}\ \mathrm{FresnelC}\left[\frac{t}{\sqrt{\pi}}\right] \end{pmatrix}$$

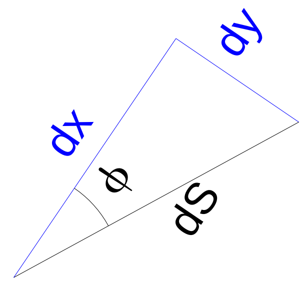
$$\mathrm{FresnelS}[z] = \int_0^z \mathrm{Sin}\left[\frac{\pi t^2}{2}\right] dt$$

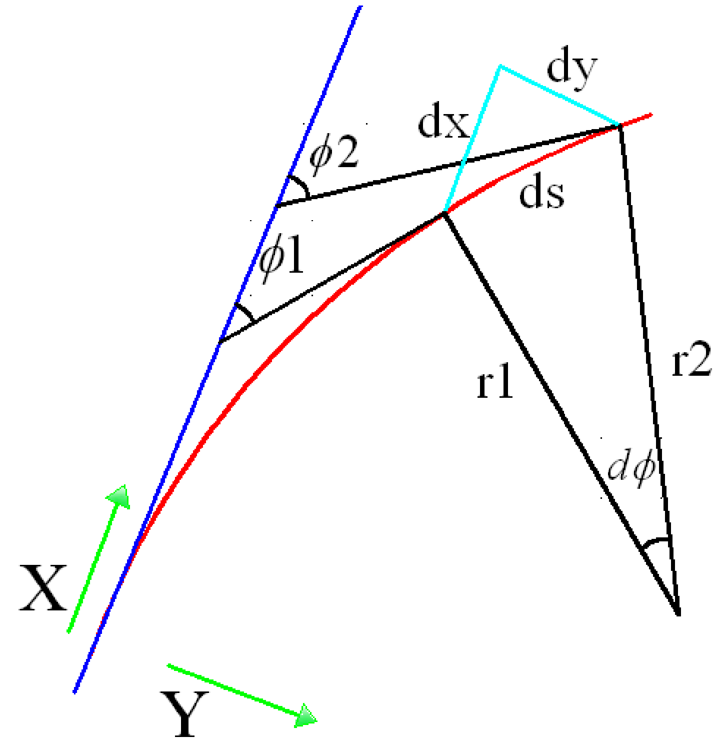
$$s[t] = \sqrt{a^2}\ t$$

$$\frac{ds}{dt} = \sqrt{a^2}$$



در قوس های اتصال، شعاع همه آنها در ابتدا بینهایت است. هدف، اتصال شعاع بینهایت به دایره است. گاهی بعضی از طراحان دایره را حذف می کنند، قوس های اتصال به هم متصل می شوند.





$$r = \frac{1}{k} = \frac{1}{Cs} \qquad A^2 = rs \Rightarrow r = \frac{A^2}{s}$$

$$ds = r\,d\varphi \xrightarrow{r=\frac{A^2}{s}} ds = \frac{A^2}{s}\,d\varphi \Rightarrow d\varphi = \frac{s}{A^2}\,ds$$

$$\Rightarrow \varphi = \underline{\frac{s^2}{2A^2}}\Bigg| = \frac{s^2}{2sr} = \underline{\frac{s}{2r}}\Bigg|$$

$$\varphi_{S.C} = \underline{\frac{S^2}{2A^2}}\Bigg| = \frac{S^2}{2SR} \Rightarrow \boxed{\varphi_{S.C} = \tau = \frac{S}{2R}}$$

$$dx = \cos\varphi ds$$

$$\cos\varphi = 1 - \frac{\varphi^2}{2!} + \frac{\varphi^4}{4!} - \frac{\varphi^6}{6!} + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + \frac{(-1)^n \varphi^{2n}}{2n!}$$

$$\cos\varphi = 1 - \frac{s^4}{2!\times 2^2 A^4} + \frac{s^8}{4!\times 2^4 A^8} - \frac{s^{12}}{6!\times 2^6 A^{12}} + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$x = s - \frac{s^5}{2!\times 5\times 2^2 A^4} + \frac{s^9}{4!\times 9\times 2^4 A^8} - \frac{s^{13}}{6!\times 13\times 2^6 A^{12}} + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$x = s\left[1 - \frac{s^4}{2!\times 5\times 2^2 A^4} + \frac{s^8}{4!\times 9\times 2^4 A^8} - \frac{s^{12}}{6!\times 13\times 2^6 A^{12}} + \ldots\ldots\ldots\ldots\right]$$

$$dy = \sin\varphi ds$$

$$\sin\varphi = \varphi - \frac{\varphi^3}{3!} + \frac{\varphi^5}{5!} - \frac{\varphi^7}{7!} + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + \frac{(-1)^{n-1}\varphi^{2n-1}}{(2n-1)!}$$

$$y = \frac{s^3}{6A^2}\left[1 - \frac{6s^4}{7\times 3!\times 2^3 A^4} + \frac{6s^8}{11\times 5!\times 2^5 A^8} - \frac{6s^{12}}{15\times 7!\times 2^7 A^{12}} + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\right]$$

$$x = s - \frac{s^5}{40A^4} + \frac{s^9}{3456A^8} - \frac{s^{13}}{599040A^{12}} + \dots\dots\dots\dots$$

$$y = \frac{s^3}{6A^2}\left[1 - \frac{s^4}{56A^4} + \frac{s^8}{7040A^8} - \frac{s^{12}}{1612800A^{12}} + \dots\dots\dots\dots\dots\dots\right]$$

$$\varphi = \frac{s^2}{2A^2} = \frac{s^2}{2Sr} = \frac{s}{2r}$$

$$x_{s.c} = X \quad , \quad y_{s.c} = Y \quad , \quad s_{S.C} = S \quad , \quad r_{s.c} = R \quad , \quad l_{s.c} = L$$

$$A^2 = SR = sr$$

$$\phi = \frac{s^2}{2A^2} = \frac{s}{2r} \qquad \phi_{S.C} = \tau = \frac{S^2}{2A^2} = \frac{S}{2R}$$

$$\tan\delta_{s.c} = \frac{Y}{X} \qquad \tan\delta = \frac{y}{x}$$

$$l = \sqrt{x^2 + y^2} \qquad L = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$\sin\tau = \frac{Y}{T_S} \Rightarrow T_S = \frac{Y}{\sin\tau}$$

$$T_L = X - Y\cot\tau$$

$$X_0 = X - R\sin\tau$$

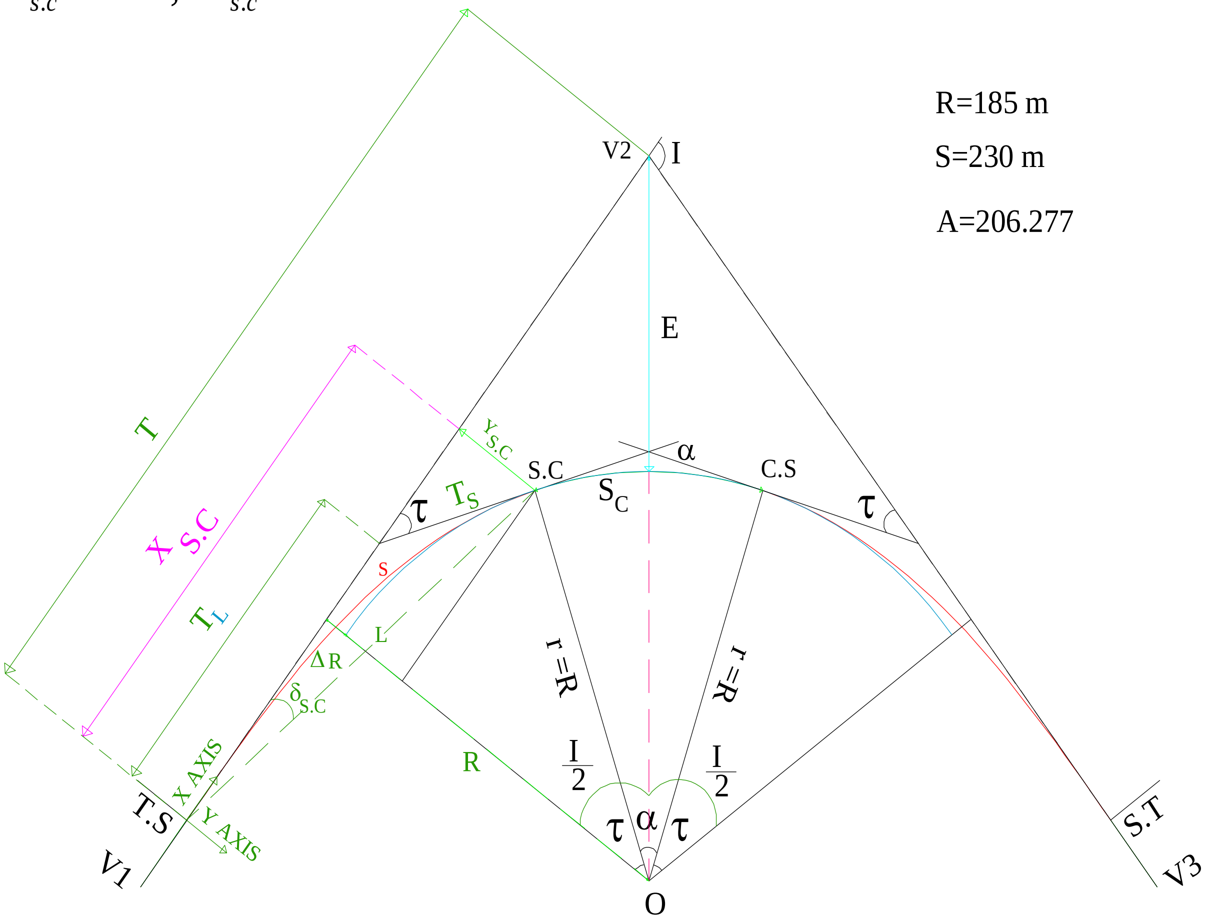
$$Y_0 = R + \Delta R$$

$$\Delta R = Y - (R - R\cos\tau)$$

$$I = 2\tau + \alpha$$

$$T = (R + \Delta R)\tan\frac{I}{2} + X_0$$

$$E = \frac{(R + \Delta R)}{\cos\frac{I}{2}} - R$$



سه فرمول مقابل فقط در مورد کلوتوئید متقارن صادقند:

تمرین: ثابت کنید مینیمم شعاع در قوس کلوتوئید برابر صفر می باشد.

قوس اتصال سهمی درجه سه

در گذشته به علت نبودن ماشین حساب و کامپیوتر برای راحتی کار x و y در قوس کلوتوئید را تقریب می زدند و از روابط زیر استفاده می کردند:

$$x = s\left[1 - \cancel{\frac{s^4}{2!\times 5\times 2^2 A^4}} + \cancel{\frac{s^8}{4!\times 9\times 2^4 A^8}} - \cancel{\frac{s^{12}}{6!\times 13\times 2^6 A^{12}}} + \text{..........}\right] \Rightarrow x = s$$

$$y = \frac{s^3}{6A^2}\left[1 - \cancel{\frac{6s^4}{7\times 3!\times 2^3 A^4}} + \cancel{\frac{6s^8}{11\times 5!\times 2^5 A^8}} - \cancel{\frac{6s^{12}}{15\times 7!\times 2^7 A^{12}}} + \text{................}\right] \Rightarrow y = \frac{s^3}{6A^2}$$

$$\longrightarrow \quad y = \frac{x^3}{6A^2}$$

$$\boxed{y_{S.C}=Y=\frac{S^3}{6A^2}=\frac{S^3}{6SR}=\frac{S^2}{6R}}$$

$$\Delta R=y_{S.C}-(R-R\cos\tau)=$$

$$=\frac{S^2}{6R}-\left[R-R\left(1-\frac{\tau^2}{2!}+\frac{\tau^4}{4!}-............\right)\right]=\frac{S^2}{6R}-\frac{S^2}{8R}\Rightarrow \boxed{\Delta R=\frac{S^2}{24R}}$$

$$\tan\delta=\frac{y}{x}=\frac{S^2}{6A^2}\xrightarrow{\text{δ کوچک باشد}}\boxed{\delta=\frac{S^2}{6A^2}\Rightarrow\delta=\frac{1}{3}\tau}$$

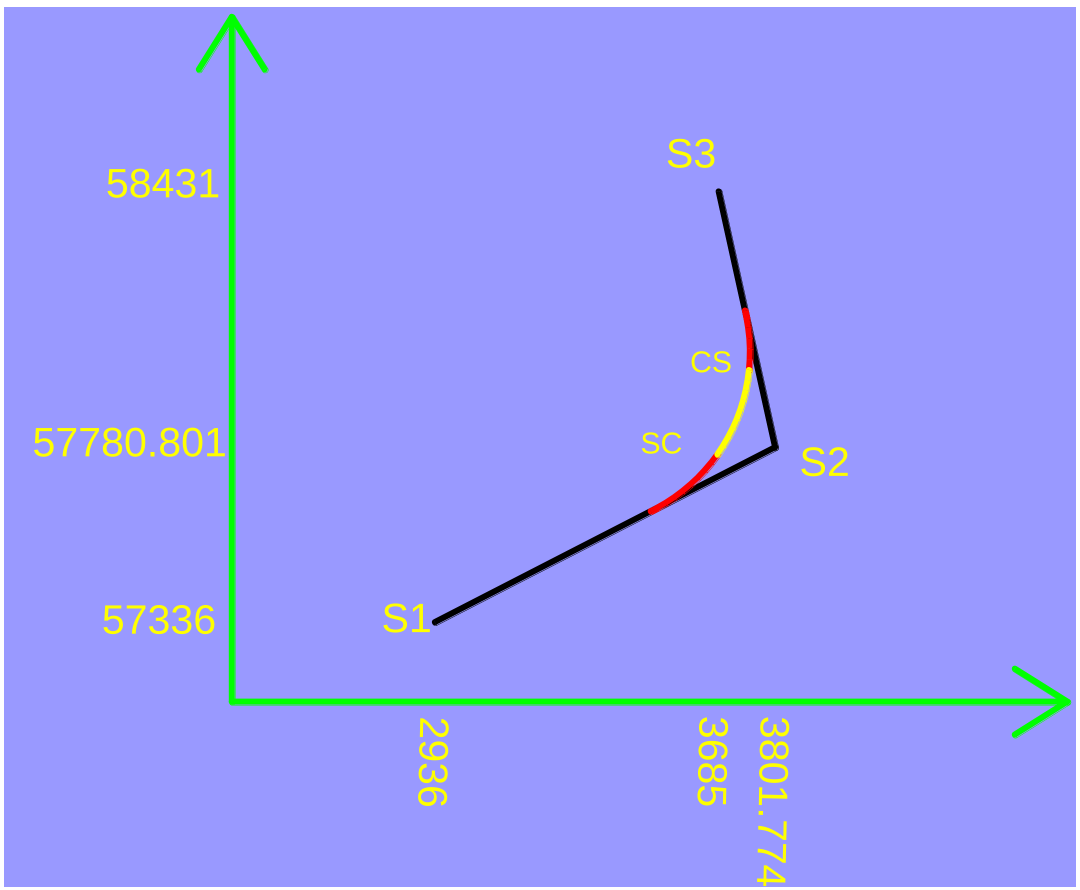
به طور تقریبی:

$$\begin{cases} R\tau\approx R\dfrac{S}{2R}=\dfrac{S}{2} \\ Q.SC\approx SC.N \\ X_0=\dfrac{S}{2} \end{cases}$$

$$T=(R+\Delta R)\tan\frac{I}{2}+X_0$$

$$=(R+\Delta R)\tan\frac{I}{2}+\frac{S}{2}$$

مثال: با توجه به اطلاعات موجود مشخصات قوس کلوتوئید زیر را محاسبه کرده و مختصات قوس را ۱۰ متر به ۱۰ متر بدست آورید. با فرض اینکه کیلومتراژ شروع کلوتوئید (TS) برابر (۵+۶۳۳/۲۸۵) باشد.



$$S1\begin{bmatrix} x' = 2936.000 \\ y' = 57336.000 \end{bmatrix}$$

$$S2\begin{bmatrix} x' = 3801.774 \\ y' = 57780.801 \end{bmatrix}$$

$$S3\begin{bmatrix} x' = 3685.000 \\ y' = 58431.000 \end{bmatrix}$$

$$A = 200$$

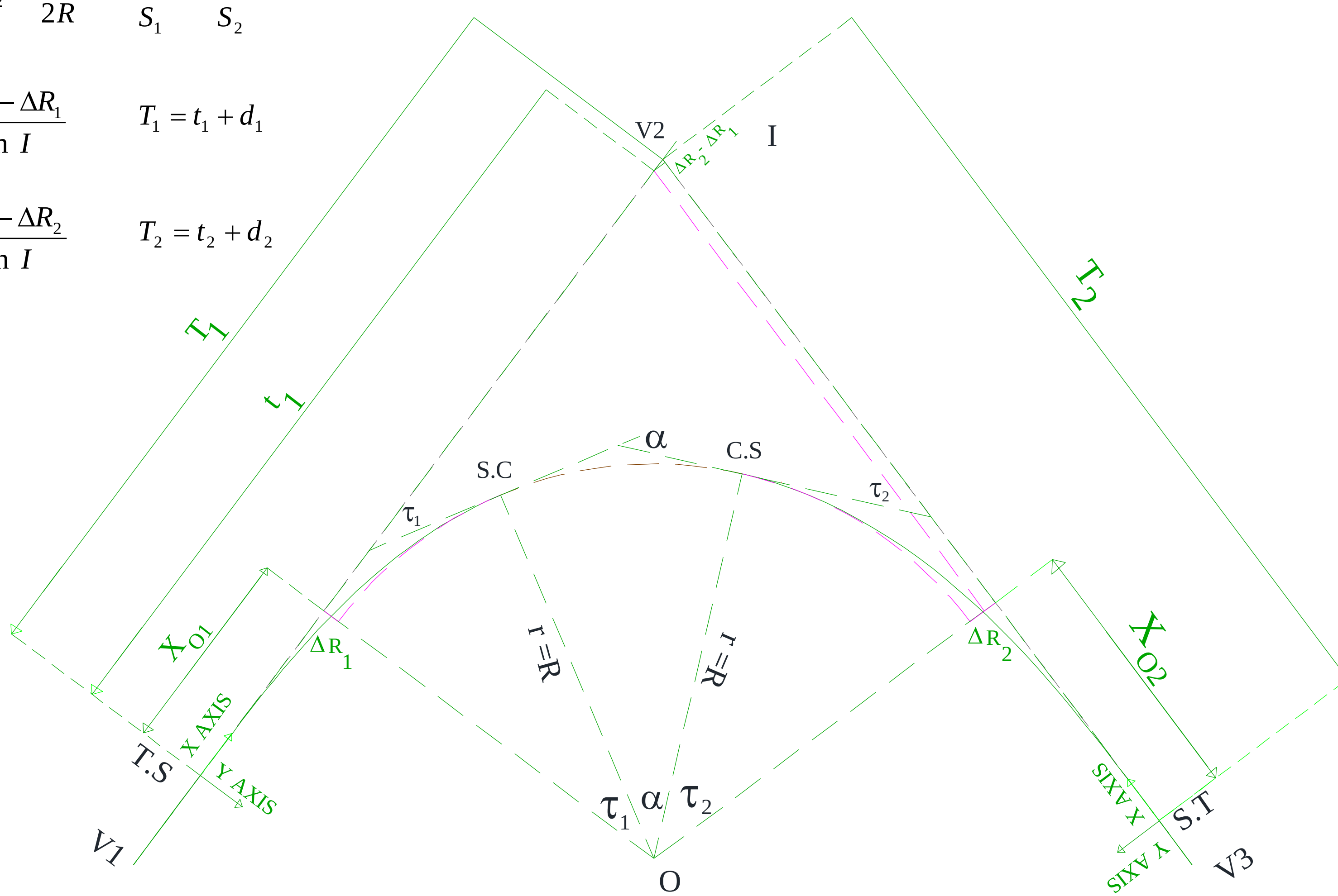
$$R = 450m$$

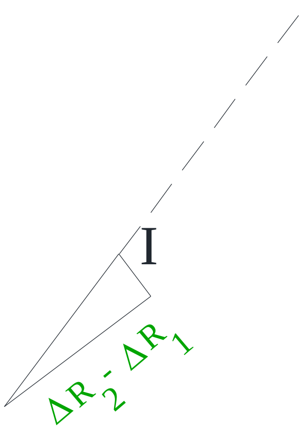
قوس کلوتوئید غیرمتقارن (کلوتوئید، دایره، کلوتوئید غیر متقارن)

$$I=\tau_1+\tau_2+\alpha \qquad \tau_1=\frac{S_1}{2R} \qquad \tau_2=\frac{S_2}{2R} \qquad \frac{A_1^{\,2}}{S_1}=\frac{A_2^{\,2}}{S_2}$$

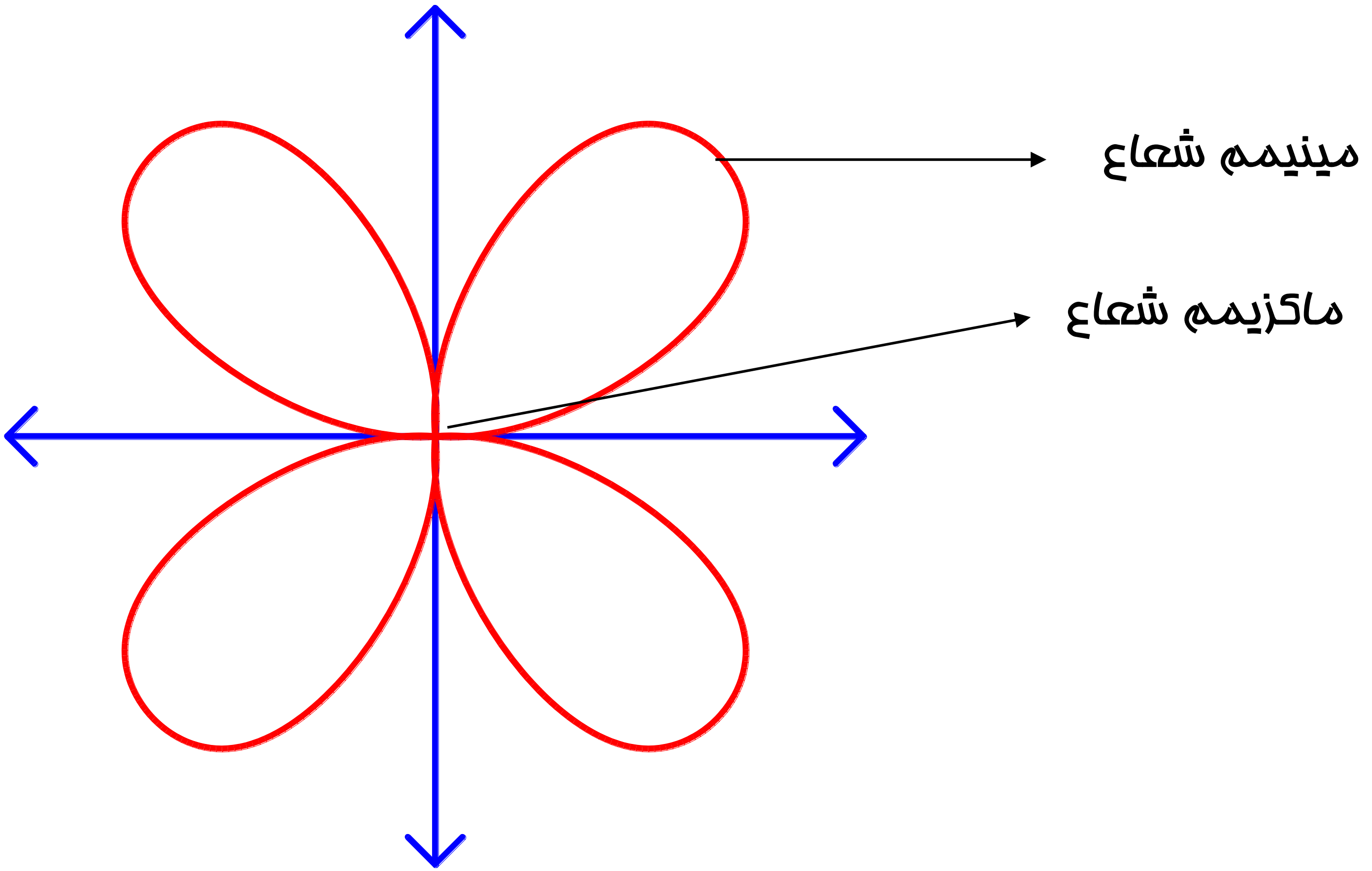
$$t_1=(R+\Delta R_1)\tan\frac{I}{2} \qquad d_1=\frac{\Delta R_2-\Delta R_1}{\sin I} \qquad T_1=t_1+d_1$$

$$t_2=(R+\Delta R_2)\tan\frac{I}{2} \qquad d_2=\frac{\Delta R_1-\Delta R_2}{\sin I} \qquad T_2=t_2+d_2$$

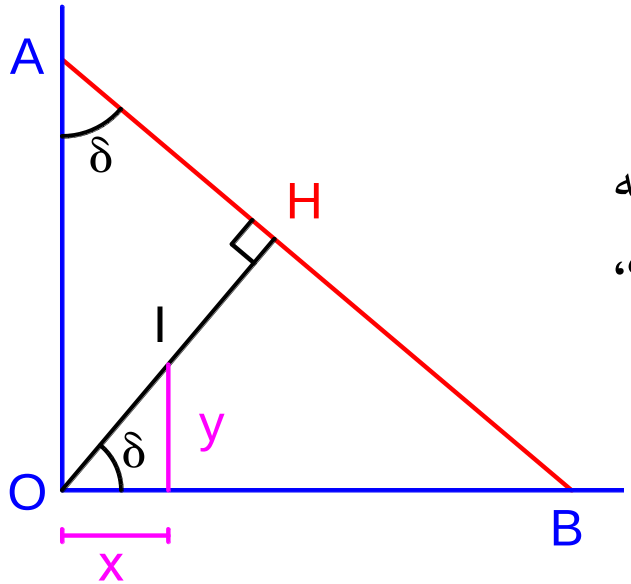




قوس ایمپزسکات



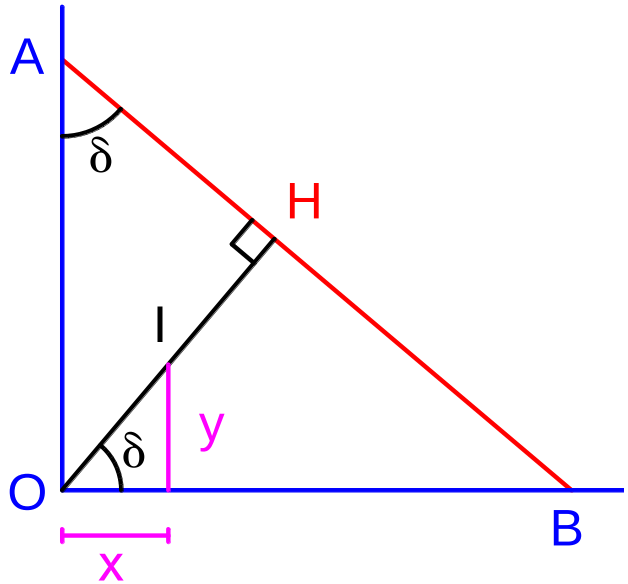
معادلات کارتزین قوس لیمینسکات



I وسط خط OH که ارتفاع وارد بر وتر مثلثی است که در آن حاصل ضرب OB در OA مقدار ثابتی است، روی قوس لیمینسکات قرار دارد.

$$OA \times OB = a^2 \quad \left\{ \begin{aligned} \sin\delta &= \frac{y}{OI} = \frac{y}{\sqrt{x^2+y^2}} \\ \sin\delta &= \frac{OH}{OA} = \frac{2OI}{OA} = \frac{2\sqrt{x^2+y^2}}{OA} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{y}{\sqrt{x^2+y^2}} = \frac{2\sqrt{x^2+y^2}}{OA} \Rightarrow \boxed{OA = \frac{2(x^2+y^2)}{y}}$$

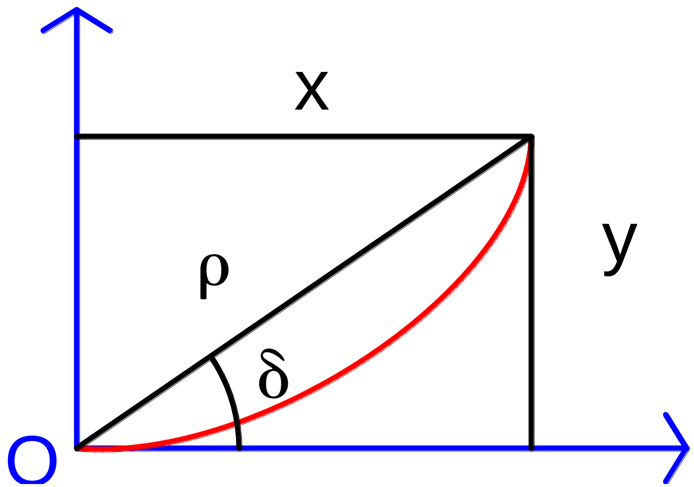


$$\left.\begin{array}{l} \cos\delta = \dfrac{x}{OI} = \dfrac{x}{\sqrt{x^2+y^2}} \\[2ex] \cos\delta = \dfrac{OH}{OB} = \dfrac{2OI}{OB} = \dfrac{2\sqrt{x^2+y^2}}{OB} \end{array}\right\} \quad \frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}} = \frac{2\sqrt{x^2+y^2}}{OB} \Rightarrow$$

$$\boxed{OB = \frac{2\left(x^2+y^2\right)}{x}}$$

$$OA \times OB = a^2 \Rightarrow \boxed{4\left(x^2+y^2\right)^2 = a^2xy}$$

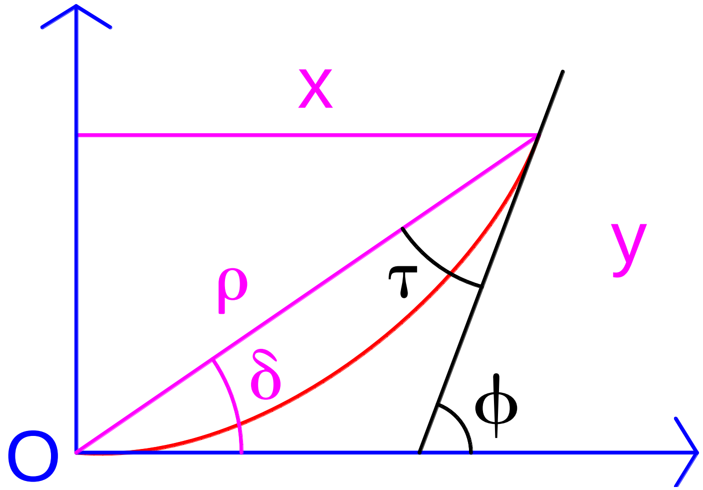
معادلات قوس لیمینسکات در حالت قطبی



$$\begin{cases} x = \rho \cos \delta \\ y = \rho \sin \delta \end{cases} \Rightarrow 4\left(\rho^2 \cos^2 \delta + \rho^2 \sin^2 \delta\right)^2 = a^2 \rho^2 \sin \delta \cos \delta$$

$$\rho^2 = \frac{1}{4} a^2 \sin \delta \cos \delta \Rightarrow \rho^2 = \frac{a^2}{8} \sin 2\delta \xrightarrow{\frac{a^2}{8} = k^2} \rho^2 = k^2 \sin 2\delta \Rightarrow$$

$$\boxed{\rho = k\left(\sin 2\delta\right)^{\frac{1}{2}}}$$



$$\rho^2 = k^2 \sin 2\delta \Rightarrow 2\rho\rho' = 2k^2 \cos 2\delta$$

$$\Rightarrow \rho' = \frac{2k^2 \cos 2\delta}{2\rho}$$

$$\tan\tau = \frac{\rho}{\rho'}$$ می دانیم

$$\boxed{\Rightarrow \tan\tau = \frac{k\left(\sin 2\delta\right)^{\frac{1}{2}} k\left(\sin 2\delta\right)^{\frac{1}{2}}}{k^2 \tan\delta} = \frac{k^2 \sin 2\delta}{k^2 \cos 2\delta} = \tan 2\delta}$$

$$\tau = 2\delta \Rightarrow \phi = \tau + \delta \Rightarrow \boxed{\phi = 3\delta}$$

شعاع انحنای قوس لیمینسکات

$$r=\frac{\left(\rho^{2}+\left(\frac{d\rho}{d\delta}\right)^{2}\right)^{\frac{3}{2}}}{\rho^{2}+2\left(\frac{dp}{d\delta}\right)^{2}-\rho\frac{d^{2}\rho}{d\delta^{2}}}$$

$$\frac{d\rho}{d\delta}=\frac{k^{2}\cos 2\delta}{k\left(\sin 2\delta\right)^{\frac{1}{2}}}=k\cos 2\delta\left(\sin 2\delta\right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\frac{d^{2}\rho}{d\delta^{2}}=\frac{-k\left(1+\sin^{2}2\delta\right)}{\left(\sin 2\delta\right)^{\frac{3}{2}}}\Rightarrow\begin{cases}\boxed{r=\frac{k}{3}\left(\sin 2\delta\right)^{-\frac{1}{2}}}\\ \boxed{k=3r\left(\sin 2\delta\right)^{\frac{1}{2}}}\end{cases}$$

$$\left.\begin{aligned}&\rho r=k\left(\sin 2\delta\right)^{\frac{1}{2}}=\frac{k}{3}\left(\sin 2\delta\right)^{-\frac{1}{2}}=\frac{k^{3}}{3}\Rightarrow pr=\frac{k^{3}}{3}\\ &\frac{k^{3}}{3}=A^{2}\end{aligned}\right\}\quad\begin{aligned}&\boxed{\rho r=A^{2}}\\ &\boxed{\rho=3r\sin 2\delta}\end{aligned}$$

نکته: در کلوتوئید طول قوس ضربدر شعاع عدد ثابتی بود ولی در لیمینسکات طول وتر در شعاع عدد ثابتی است.

محاسبه مینیمم شعاع :

$$r=\frac{k}{3}\left(\sin 2\delta\right)^{-\frac{1}{2}}$$

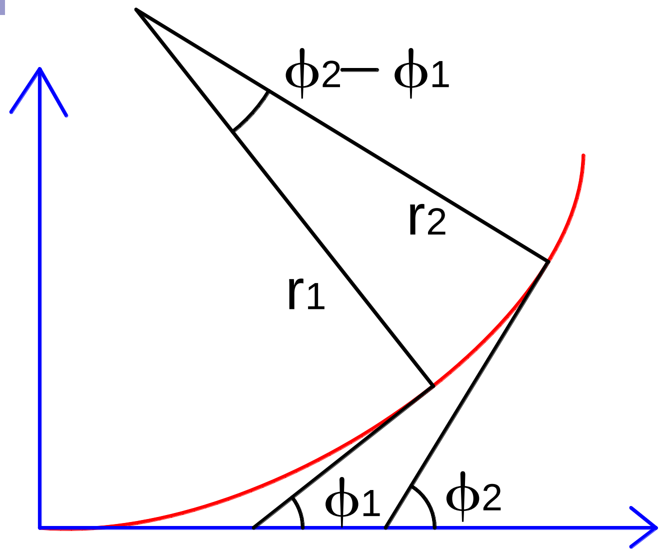
$$\frac{dr}{d\delta}=0\Rightarrow\frac{dr}{d\delta}=\frac{k}{3}\left(-\frac{1}{2}\right)\left(2\cos 2\delta\right)\left(\sin 2\delta\right)^{-\frac{3}{2}}=0$$

$$\Rightarrow\cos 2\delta=0\Rightarrow 2\delta=90^\circ\Rightarrow\ \boxed{\delta=45^\circ}$$

$$r=\frac{k}{3}\left(\sin 90^\circ\right)^{-\frac{1}{2}}=\frac{k}{3}\Rightarrow\boxed{r=\frac{k}{3}}$$

$$\rho=k\left(\sin 2\delta\right)^{\frac{1}{2}}\xrightarrow{\delta=45^\circ}\ \boxed{\rho=k}$$

محاسبه طول قوس لیمینسکات در هر نقطه (S) :



$$dS = r\,d\Phi \xrightarrow{\Phi=3\delta \Rightarrow d\Phi = 3d\delta} dS = 3r\,d\delta$$

داشتیم :

$$r = \frac{k}{3\sqrt{\sin 2\delta}}$$

$$\frac{dS}{d\delta} = \frac{k}{\sqrt{\sin 2\delta}} = \frac{k}{\sqrt{2\sin\delta\cos\delta}} = \frac{k}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{\cos\delta}{\sin\delta\cos^2\delta}}$$

$$= \frac{k}{\sqrt{2}}(\tan\delta)^{-\frac{1}{2}}\frac{1}{\cos\delta} = \frac{k}{\sqrt{2}}(\tan\delta)^{-\frac{1}{2}}\frac{\cos\delta}{\cos^2\delta} \xrightarrow{\cos\delta=(1+\tan^2\delta)^{-\frac{1}{2}}}$$

$$\frac{dS}{d\delta} = \frac{k}{\sqrt{2}}(\tan\delta)^{-\frac{1}{2}}\sec^2\delta\left(1+\tan^2\delta\right)^{-\frac{1}{2}} \Rightarrow \frac{dS}{d\delta} = \frac{k}{\sqrt{2}}\sec^2\delta\left(\tan\delta+\tan^3\delta\right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\frac{dS}{d\delta}=\frac{k}{\sqrt{2}}\sec^2\delta\left(\tan\delta+\tan^3\delta\right)^{-\frac{1}{2}}$$

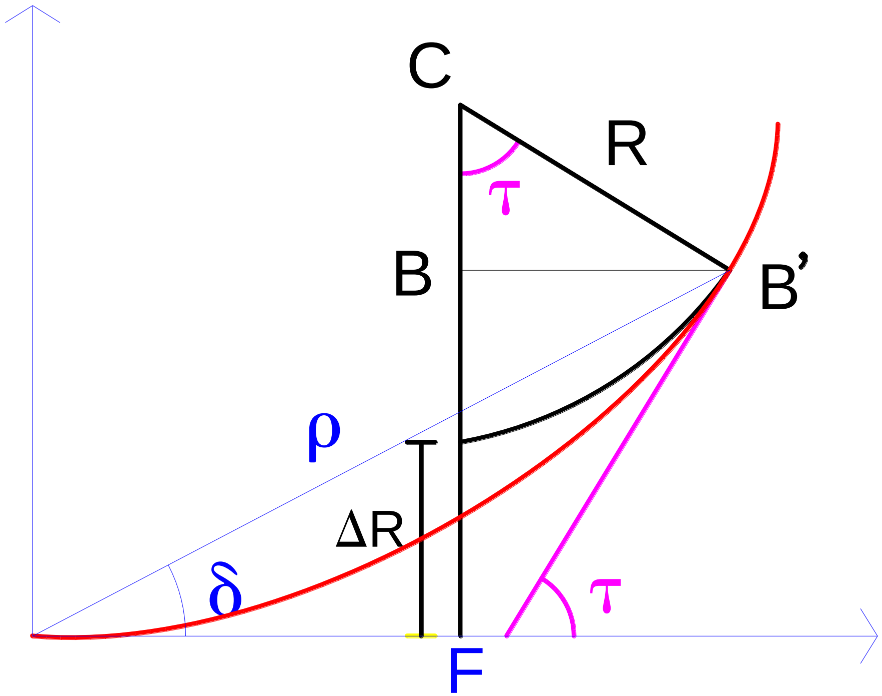
$$(x+a)^m=x^m+\frac{mx^{m-1}a^1}{1!}+\frac{m(m-1)x^{m-2}a^2}{2!}+\frac{m(m-1)(m-2)x^{m-3}a^3}{3!}+\ldots\ldots.$$

$$\frac{dS}{d\delta}=\frac{k}{\sqrt{2}}\sec^2\delta\left[\tan^{-\frac{1}{2}}\delta+\frac{\left(-\frac{1}{2}\right)\tan^{-\frac{3}{2}}\delta\tan^{\frac{6}{2}}\delta}{1!}+\frac{\left(-\frac{1}{2}\right)\left(-\frac{2}{3}\right)\tan^{-\frac{5}{2}}\delta\tan^{\frac{6}{2}}\delta}{2!}+\ldots\ldots\right]$$

$$\frac{dS}{d\delta}=\frac{k}{\sqrt{2}}\sec^2\delta\left[\tan^{-\frac{1}{2}}\delta-\frac{1}{2}\tan^{\frac{3}{2}}\delta+\ldots\right]\to\int\left(\tan^n\alpha\sec^2\alpha\right)d\alpha=\frac{1}{n+1}\tan^{n+1}\alpha$$

$$\boxed{S=k\sqrt{2\tan\delta}\left[1-\frac{1}{5\times 2}\tan^2\delta+\frac{1\times 3}{9\times 2^2\times 2!}\tan^4\delta-\frac{1\times 3\times 5}{13\times 2^3\times 3!}\tan^6\delta+\frac{1\times 3\times 5\times 7}{17\times 2^4\times 4!}\tan^8\delta+\ldots.\right]}$$

شیفت یا ΔR :



$$\Delta R = CF - R = CB + BF - R$$

$$\begin{cases} CB = R\cos\tau \\ BF = \rho\sin\delta \end{cases}$$

$$\Rightarrow \Delta R = R\cos\tau - \rho\sin\delta - R$$

$$\tau = 3\delta$$

$$\Delta R = R\cos 3\delta + \rho\sin\delta - R \xrightarrow{\rho = 3R\sin 2\delta}$$

$$\Delta R = R\cos(2\delta + \delta) + 3R\sin 2\delta\sin\delta - R \Rightarrow$$

$$\Delta R = R[\cos 2\delta\cos\delta - \sin\delta\sin 2\delta] + 3R\sin 2\delta\sin\delta - R \Rightarrow$$

$$\boxed{\Delta R = R\left[\sin 2\delta\sin\delta + \cos\delta\right] - R}$$

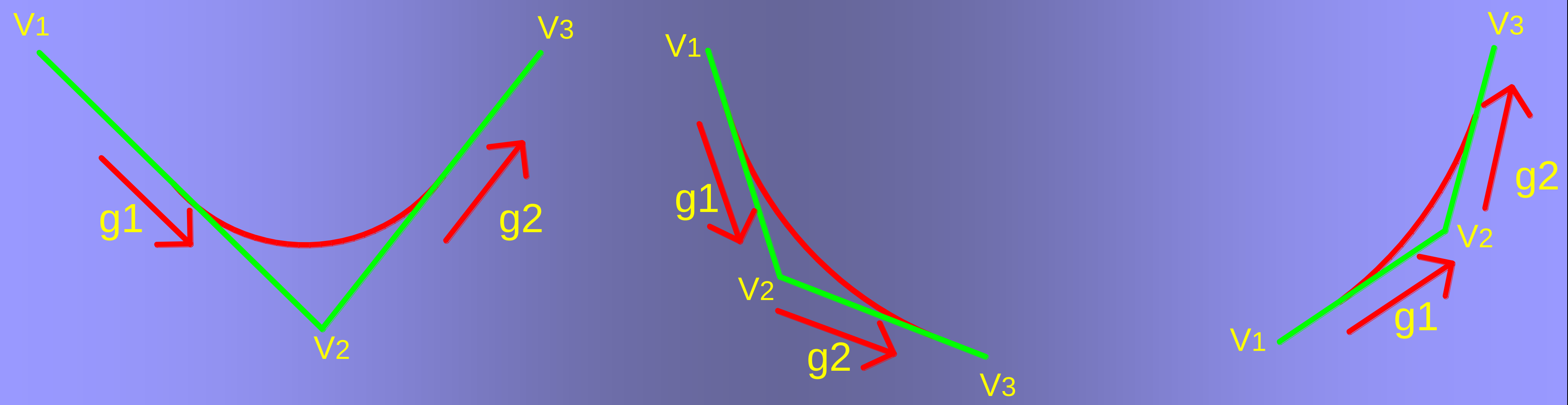
مولفه قائم مسیر

(خط مستقیم و قسمتی از سهمی درجه دو)

قوس های قائم

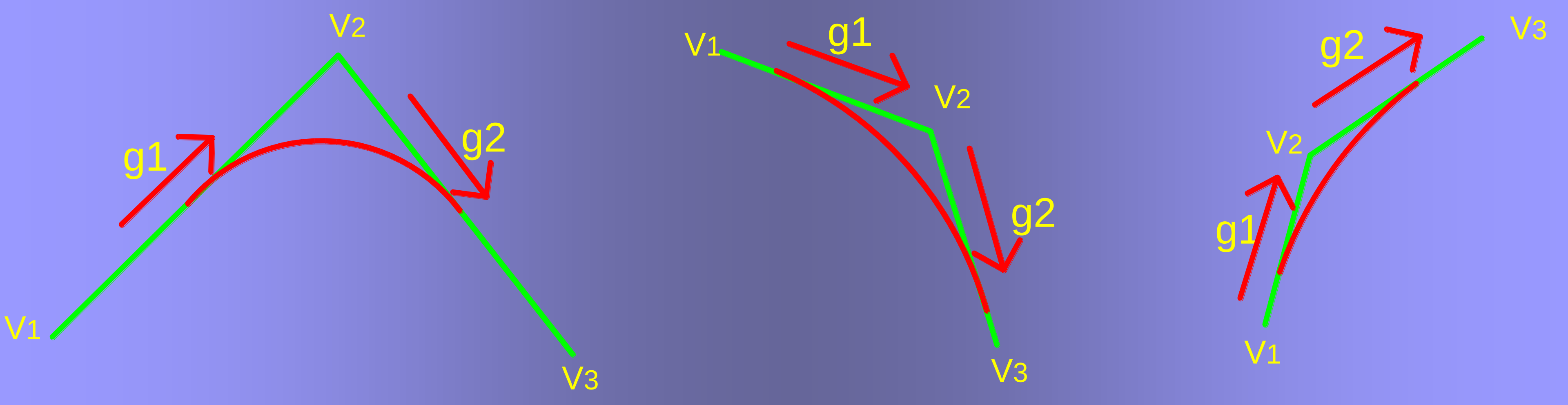
قوسهای مقعر

$$g_2 - g_1 > 0$$



قوسهای محدب

$$g_2 - g_1 < 0$$

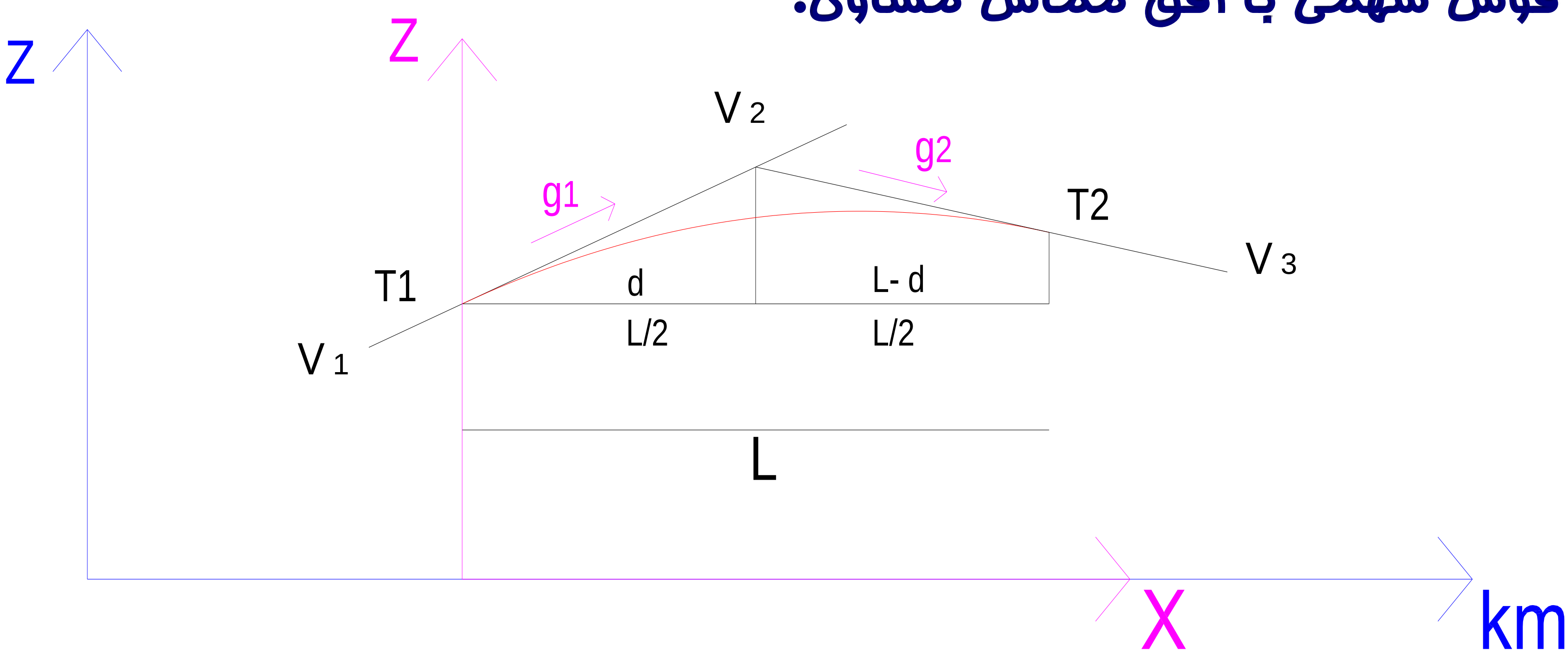


$$\text{شیب} = \frac{\Delta h}{D_h}$$

$$g_1 = \frac{H_{V_2} - H_{V_1}}{D_h(V_1, V_2)} = \frac{H_{V2} - H_{V1}}{KM_2 - KM_1}$$

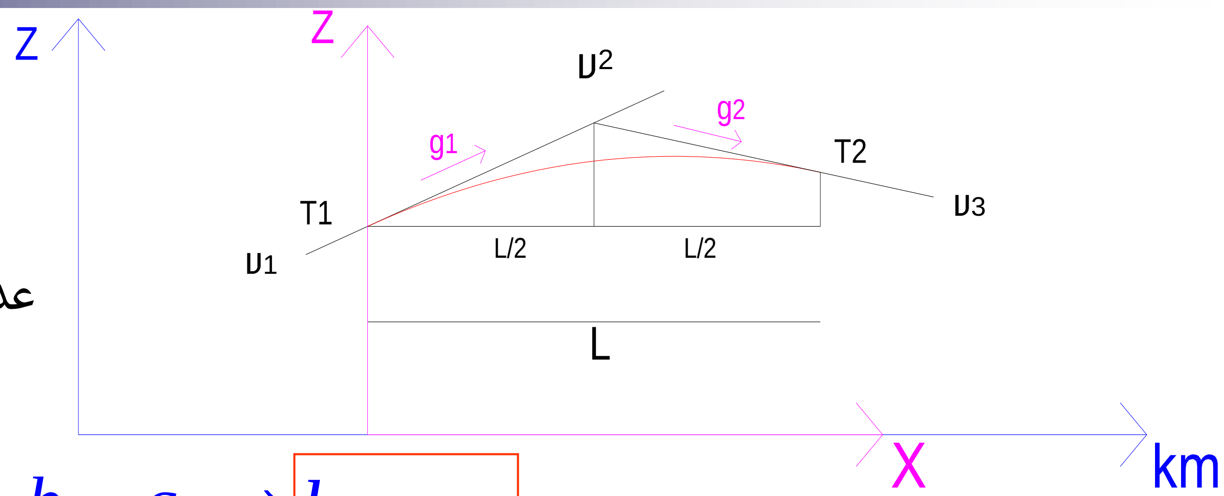
$$g_2 = \frac{H_{V_3} - H_{V_2}}{D_h(V_2, V_3)} = \frac{H_{V3} - H_{V2}}{KM_3 - KM_2}$$

قوس سهمی با افق مماس مساوی:



$$Z = ax^2 + bx + c$$

$$\frac{d^2Z}{dx^2} = f$$ =f=2a عددی ثابت



$$\frac{dz}{dx}\Big|_{x=0} = 2ax + b\Big|_{x=0} = b = g_1 \Rightarrow \boxed{b = g_1}$$

$$\frac{dz}{dx}\Big|_{x=L} = 2ax + b\Big|_{x=L} = 2aL + b = g_2 \Rightarrow \boxed{a = \frac{g_2 - g_1}{2L}}$$

$$Z\Big|_{x=0} = ax^2 + bx + c\Big|_{x=0} \Rightarrow \boxed{c = Z_{T_1}}$$

$$\boxed{Z = \frac{g_2 - g_1}{2L}x^2 + g_1 x + Z_{T_1}}$$

طول قوس قائم

١

$$x = K_{m_p} - K_{mT_1}$$

$$Z_{T_1} = Z_V - \frac{L}{2} \times g_1$$

بالاترین و پایین ترین نقطه قوس قائم:

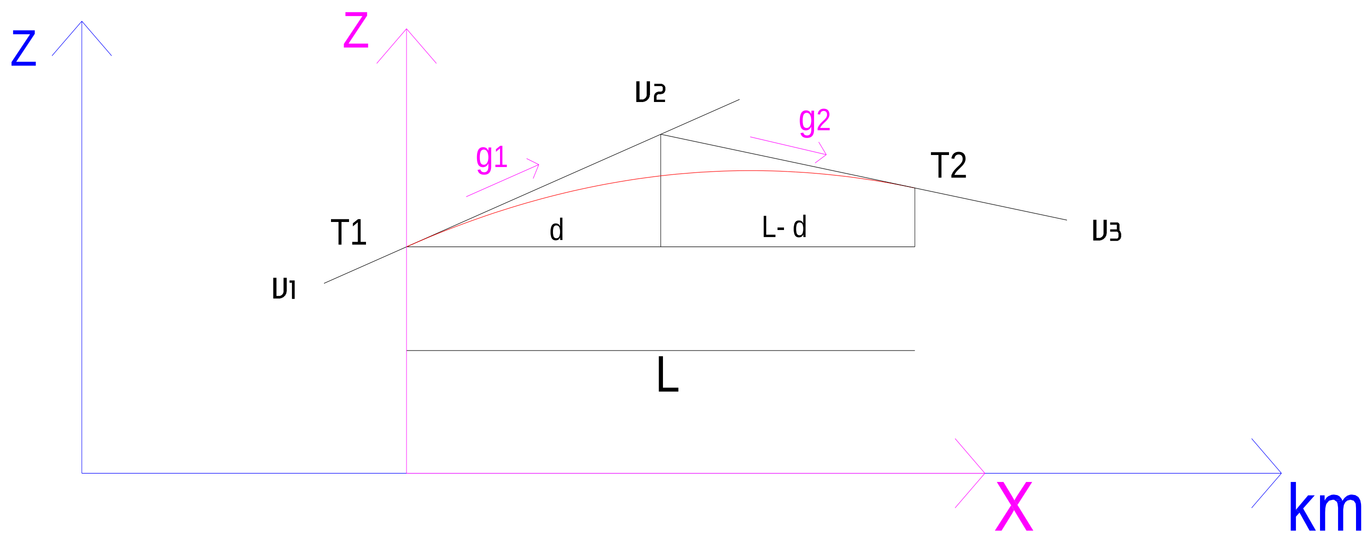
$$\frac{dZ}{dx}=0 \Rightarrow \frac{g_2-g_1}{2L}(2x)+g_1=0 \Rightarrow \boxed{x=\frac{-g_1L}{g_2-g_1}}$$

مینیمم یا ماکسیمم، ممکن است بیرون قوس بیفتد.

با قرار دادن در فرمول ۱:

$$\boxed{Z_{\substack{\min\\ \max}}=\frac{g_1^2}{2(g_1-g_2)}L+Z_{T_1}}$$

اثبات اینکه قوس قائم ، قوسی با افق مماس مساوی است



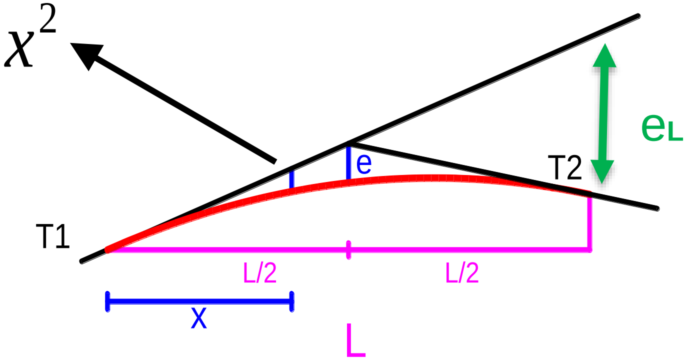
$$Z_{T_2} = \frac{g_2 - g_1}{2L} L^2 + g_1 L + Z_{T_1} = \frac{g_2 - g_1}{2} L + g_1 L + Z_{T_1} \Rightarrow$$

$$Z_{T_2} = \frac{g_1 + g_2}{2} L + Z_{T_1} \qquad \boxed{۲}$$

$$Z_{T_2} = Z_{T_1} + d \times g_1 + (L - d) \times g_2 \qquad \boxed{۳}$$

$$\boxed{۲} \text{ و } \boxed{۳} \Rightarrow dg_1 + (L - d) g_2 = \frac{g_1 + g_2}{2} L \Rightarrow \boxed{d = \frac{1}{2} L}$$

$$\frac{g_2 - g_1}{2L} x^2$$



$$h = \frac{g_2 - g_1}{2L} x^2$$ ۴

$$e = \frac{g_2 - g_1}{2L} \left(\frac{L}{2}\right)^2 = \frac{g_2 - g_1}{8} L$$ ۵

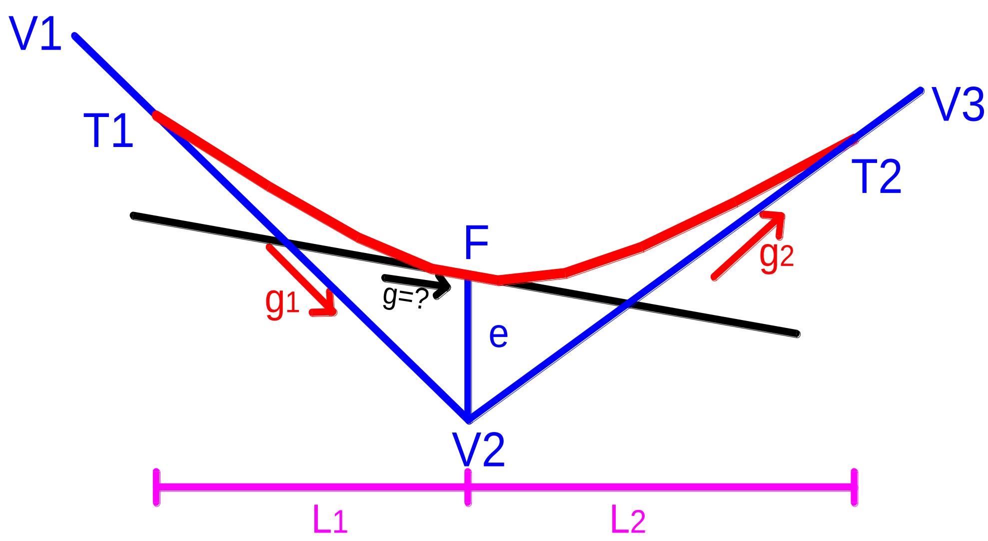
$$e_L = \frac{g_2 - g_1}{2L} L^2 = \frac{g_2 - g_1}{2} L$$ ۶

$$e_L = 4e$$

$$\frac{h}{e} = \frac{\frac{x^2}{2L}}{\frac{L}{8}} \Longrightarrow \boxed{h = 4e\left(\frac{x}{L}\right)^2}$$

$$\frac{h}{e_L} = \frac{\frac{x^2}{2L}}{\frac{L}{2}} \Longrightarrow \boxed{h = e_L \left(\frac{x}{L}\right)^2}$$

قوس قائم با افق های نامساوی :

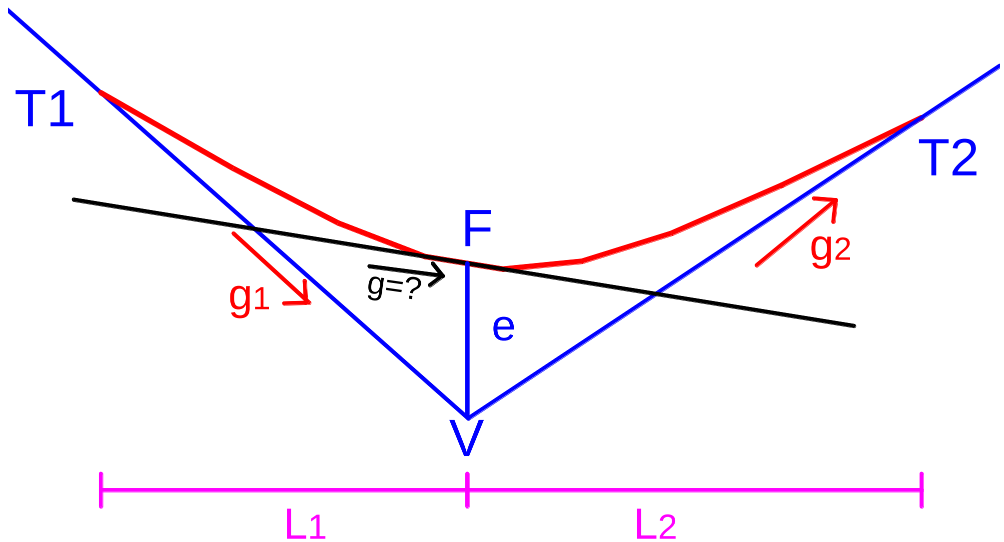


$$g = ?$$

$$z = \frac{g_2 - g_1}{2L} x^2 + g_1 x + z_{T1}$$

$$\frac{g - g_1}{2L_1}(L_1)^2 = \frac{-g - (-g_2)}{2L_2}(L_2)^2$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{g = \frac{g_1 L_1 + g_2 L_2}{L_1 + L_2}}$$



$$g=\frac{g_1L_1+g_2L_2}{L_1+L_2}$$

قوس قائم اول :

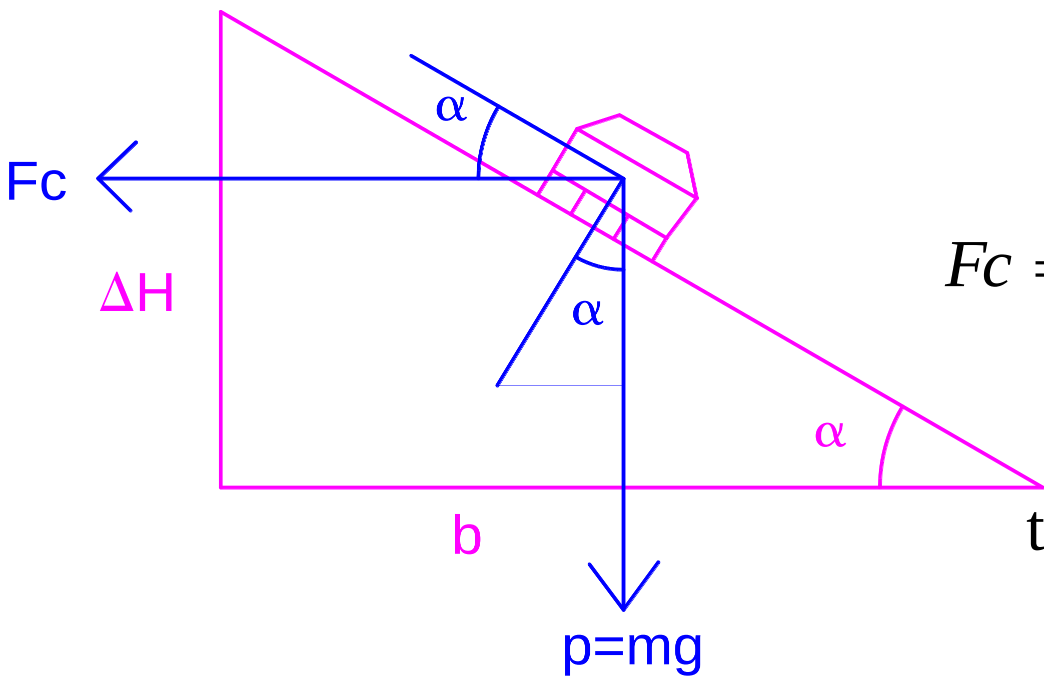
$$z=\frac{g_2-g_1}{2L}\left(\frac{L_2}{L_1}\right)^2x^2+g_1x+Z_{T1}$$

قوس قائم دوم :

$$z=\frac{g_2-g_1}{2L_2}x^2+gx+Z_f \Longrightarrow z=\frac{g_2-g_1}{2L}\left(\frac{L_1}{L_2}\right)+g(x-L_2)+Z_v+e$$

Dever – Super Elevation دور (بربلندی)

الف)فرض می کنیم اصطکاک وجود ندارد.   لازم است برآیند دو نیروی FC و P عمود بر سطح باشند. تا خودرو منحرف نشود .



$$p = mg$$

$$Fc = \frac{mv^2}{R} = \frac{pv^2}{Rg}$$

$$\tan\alpha = \frac{\Delta H}{b} = \frac{\frac{mv^2}{R}}{mg} = \frac{V^2}{Rg}$$

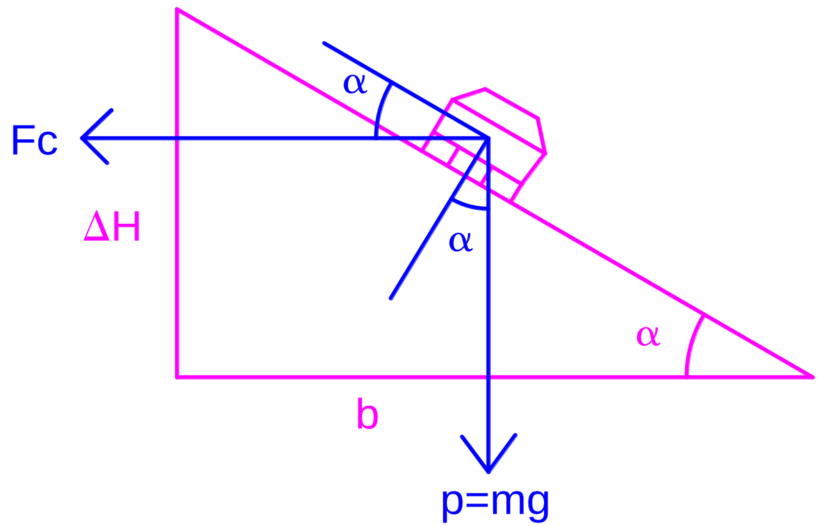
$$\boxed{\Delta H = \frac{bv^2}{Rg}}$$

ب) با در نظر گرفتن اصطکاک

$$p\sin\alpha + \mu N - Fc\cos\alpha = 0$$

$$N = mg\cos\alpha$$

$$p\sin\alpha + \mu mg\cos\alpha - Fc\cos\alpha = 0 \quad \xrightarrow{\times\frac{1}{p\cos\alpha}}$$



$$\tan\alpha + \mu = \frac{v^2}{Rg} \qquad if \quad \tan\alpha = e$$

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

$$e = \frac{\left(v \times \frac{1000}{3600}\right)^2}{Rg} - \mu$$

$$\boxed{\Rightarrow \quad R = \frac{V^2}{127.2(e+\mu)}}$$

با این رابطه، حداقل شعاع به دست می آید.

i شیب طولی جاده

$$i_{Max} = \sqrt{(\tan\alpha)^2 + i^2}$$

در همه موارد فرمول صفحه قبل رعایت نمی شود، مثلا در مناطق سردسیر، ماشین با سرعت کم یا در حال سکون در نظر گرفته می شود که ماشین نباید سر بخورد.

$$p\sin\alpha = \mu N$$

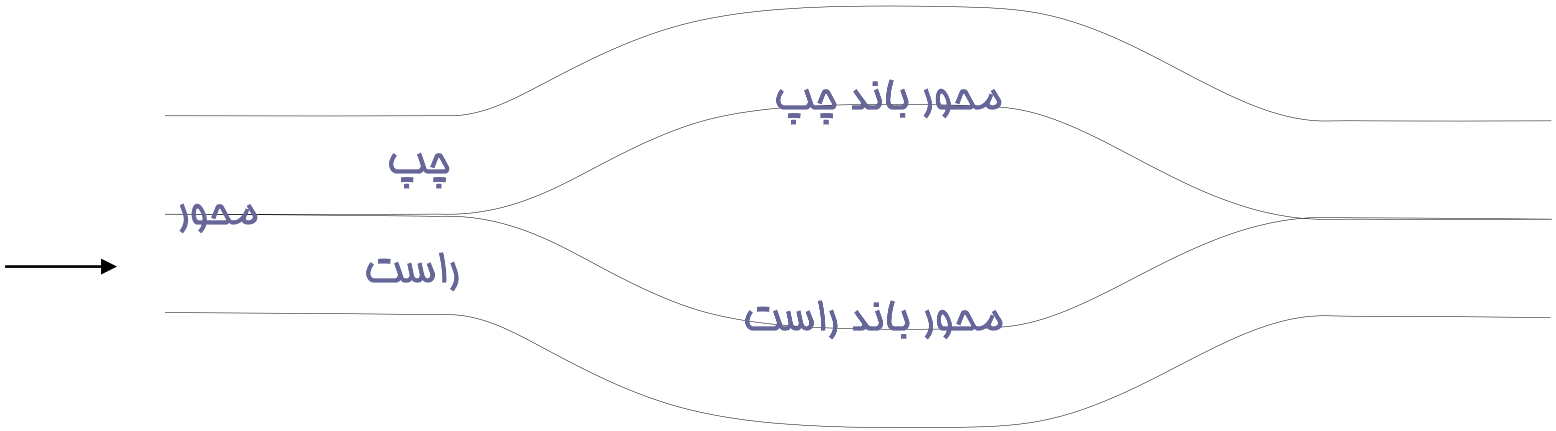
$$N = mg\cos\alpha$$

$$\tan\alpha = \mu \qquad 0.08 < \mu < 0.17$$

لذا در این موارد شیب عرضی حداکثر ۸ درصد پیشنهاد می گردد .

نحوه اعمال دور

دور همیشه به محور هندسی راه اعمال می شود. اما این محور گاها راست، چپ و یا وسط راه است.مثلا در جایی به علتی (مثلا احداث پل یا تونل) می خواهیم دو باند را از هم جدا کنیم.



توجه: محورها دقیقا در وسط در نظر گرفته نمی شود بلکه جایی که وسیله نقلیه مجاز به حرکت است درنظرگرفته می شود.

برای کیلومتراژ: یکی از محورها به عنوان محور اصلی در نظر گرفته می شود.

تغییرات شتاب وسیله نقلیه و ارتباط با طول شاخه کلوتوئید

$c = \frac{\gamma}{t}$ تغییرات شتاب در واحد زمان

تغییرات شتاب وسیله نقلیه باید به گونه ای باشد تا آرامش سرنشینان به هم نخورد.

$$c = \frac{\gamma}{t} = \frac{\frac{v^2}{R}}{\frac{L}{v}} = \frac{v^3}{LR} \Rightarrow L = \frac{v^3}{cR}$$

(فرض می کنیم سرعت ثابت است.)

$$L = \frac{v^3\left(\frac{1000}{3600}\right)^3}{cR}$$

حداقل طول کلوتوئید $L = \frac{v^3}{46.66\ cR}$

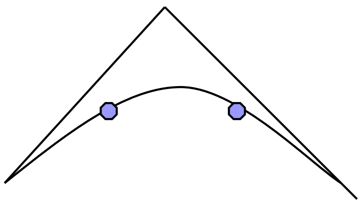
$0.6 < c < 0.75\ \frac{m}{s^3}$

حداقل طول قوس های قائم

حداقل طول قوس های قائم

۱. بر اساس فاصله دید توقف ← (فاصله ای که راننده را می بیند و تصمیم به ترمزگرفتن می گیرد.)

۲.بر اساس فاصله دید سبقت ← (فاصله دید هنگام سبقت)



(به آئین نامه طراحی هندسی راههای ایران صفحه ۹۷ (صفحه ۱۲۸ فایل pdf مراجعه شود.):

$$L > kA$$

$$A = g_2 - g_1$$

سرعت طرح	۷۰	۸۰	۹۰
K قوس محدب	۱۷	۲۶	۳۹
K قوس مقعر	۲۳	۳۰	۳۸

مثال) قوس مقعر v=90km/hr

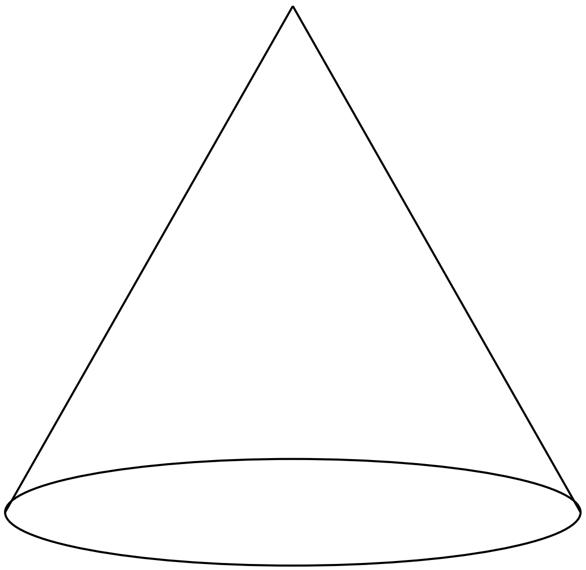
$$\begin{cases} g_1 = -4\% \\ g_2 = 3\% \end{cases}$$

$$\leftarrow L > 38 \times 7 = 266$$

محاسبه احجام

محاسبه احجام

روش متوسط گیری (average) مانند مقابل دارای خطای زیادی است.



$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} \times h$$

$$V_A = \frac{0 + \pi r^2}{2} h$$

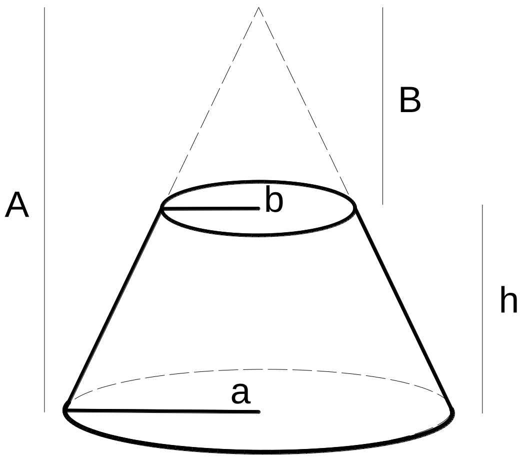
$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$$

$$\boxed{V - V_A = \frac{1}{6} \pi r^2 h}$$

در روش منشوری

(Prismodal)

خطای روش متوسط گیری در حالت مخروط ناقص



$$\frac{A}{B}=\frac{a}{b}\quad \begin{cases} \dfrac{A-B}{B}=\dfrac{a-b}{b} \Rightarrow \mathrm{B}=\dfrac{\mathrm{bh}}{\mathrm{a\text{-}b}} \\ \dfrac{A}{-(B-A)}=\dfrac{a}{-(b-a)} \Rightarrow \mathrm{A}=\dfrac{\mathrm{ah}}{\mathrm{a\text{-}b}} \end{cases}$$

$$V_P=\frac{1}{3}\pi(a^2A-b^2B)=\frac{1}{3}\pi h\left(\frac{a^3-b^3}{a-b}\right)=\frac{1}{3}\pi h(a^2+b^2+ab)$$

$$V_A=\frac{1}{2}\pi h\left(a^2+b^2\right)$$

$$\Delta V=V_A-V_P=\frac{1}{6}\pi h\left(a^2+b^2-2ab\right)=$$

$$=\frac{1}{6}h\left(\pi a^2+\pi b^2-2\sqrt{\pi}a\sqrt{\pi}b\right)=\frac{1}{6}h\left(S_1+S_2-2\sqrt{S_1S_2}\right)$$

$$\boxed{\Delta V=\frac{1}{6}h\left(S_1+S_2-2\sqrt{S_1S_2}\right)}$$

منحنی بروکنر

این منحنی بر اساس مقدار نهایی خاکبرداری وخاکریزی در یک نقطه بدست می آید که محور افقی آن کیلومتراژها را نشان می دهد ومحور قائم آن حجم خاکبرداری وخاکریزی را در کیلومتراژهای مختلف نشان می دهد.