مجتمع فنی مهندسی نقشه برداری

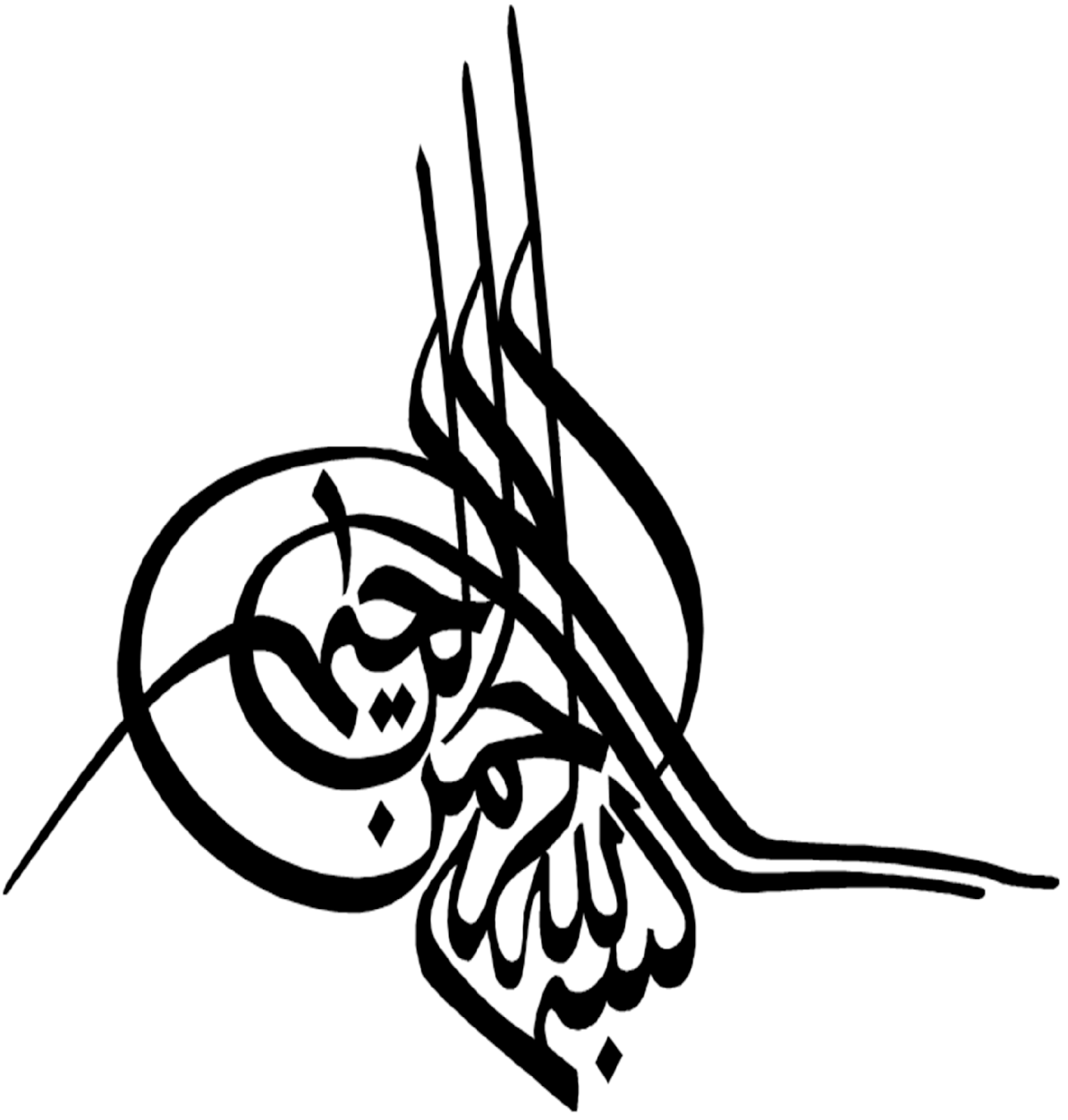
نقشه برداری مسیر

Route Surveying

مهندس ابراهیم راستگو

پائیز ۸۹

www.jozve-naghshebardari.ir


بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به بهترینهای زندگانی‌ام

پدر

و

مادر

مهربانم

مهندس راستگو

فهرست

عنوان ..... صفحه
فصل ۱
مراحل احداث یک مسیر راه ۷
۱) مطالعات اولیه و طرح مقدماتی مسیر ۷
۲) تهیه نقشه و توپوگرافی بزرگ مقیاس ۷
۳) طرح نهایی مسیر ۷
۴) ایجاد شبکه مسطحاتی و ارتفاعی در اطراف مسیر و پیاده سازی مسیر ۷
۵) تهیه نیم رخ طولی از مسیر و انتخاب خط پروژه ۷
۶) تهیه نیم رخ‌های عرض و انتخاب خط پروژه عرض (پروفیل تیپ) ۷
۷) محاسبه حجم عملیات خاکبرداری و خاکریزی ۷
۸) برآورد هزینه احداث راه ۷
۹) تجهیز کارگاه و اجرای عملیات راه سازی ۷
مطالعه مسیر: ۷
الف) مطالعات فاز اول (مرحله اول) ۷
ب) مطالعات فاز دوم (مرحله دوم) ۸
ج) مطالعات فاز سوم (مرحله سوم) ۸
مشخصات هندسی یک مسیر ۹
۱) مبدأ و مقصد مسیر ۹
۲) مؤلفه افقی مسیر ۹
۳) مؤلفه قائم مسیر ۹
۴) مؤلفه نیمرخ مسیر ۹
مطالعات اولیه طرح مقدماتی مسیر ۹
تهیه نقشه توپوگرافی بزرگ مقیاس ۹
طرح نهایی مسیر ۱۰
طبقه بندی و درجه بندی راه‌ها ۱۰
A) طبقه بندی راه‌ها بر اساس موقعیت توپوگرافی منطقه ۱۰
B) درجه بندی راه‌ها متناسب با اهمیت آن‌ها ۱۱
مشخصات فنی در طراحی ۱۱
درجه بندی راه برای سرعت طرح ۱۱
برخی توصیه‌ها در طراحی پلان مسیر ۱۰
فصل۲ ..... ۱۶

قوس‌های دایره‌ای ساده ۱۶
خواص دایره: ۱۷
پارامترها و اصطلاحات قوس دایره‌ای ساده ۱۷
درجه قوس $(\hat{D})$ ۱۹
حالتهای مختلف معرفی قوس دایره‌ای ساده ۲۱
روشهای مختلف پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده ۲۲
الف) روش قطبی (φ,l) ۲۲
ب) روش دو قطبی $\varphi_1\varphi_2$ ۲۲
ح) روش افست (x,y) ۲۲
د) پیاده کردن قوس به روش انتقال وتر ۲۲
ه) پیاده کردن قوس به روش عمود منصف‌های متوالی وترها ۲۲
تشخیص راستگرد یا چپگرد بودن قوس ۲۲
پیاده کردن قوس ساده به روش قطبی با استقرار در نقطه شروع قوس و صفر صفر کردن به رأس قوس ۲۳
پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده به روش قطبی با استقرار در نقطه پایانی قوس و صفر صفر کردن به رأس قوس ۲۴
محاسبه دقت یا خطای ناشی از مساوی فرض کردن طول وترهای کوچک با طول کمان‌های آنها ۲۵
خطای مطلق اندازه گیری ۲۵
مقدار کل کمیت اندازه گیری شده ۲۵
رفع خطای برابر فرض کردن طول کمان کوتاه با طول وترهای کوتاه ۲۶
پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده به روش قطبی با استقرار در نقطه شروع قوس و صفر صفر کردن به انتهای قوس ۲۶
پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده به روش قطبی با استقرار در نقطه انتهای قوس و صفر صفر کردن به نقطه شروع قوس ۲۷
پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده به روش قطبی با استقرار در رأس قوس صفر صفر به شروع قوس ۲۷
پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده به روش قطبی با مستقر شدن در بالاترین نقطه قوس و صفر صفر کردن به رأس قوس ۲۹
پیاده کردن قوس‌های دایره‌ای ساده چپگردد به روش‌های قطبی ۳۰
پیاده کردن قوس با وجود مانع ۳۱
الف) پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده با وجود مانع دید برای پیاده کردن نقاط ۳۱
ب)پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده با وجود مانع دید در رأس قوس ۳۲
ب) پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده به روش دو قطبی ۳۳
ج) پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده به روش افست: ۳۴
۱) پیاده کردن قوس دایره ساده به روش افست با استفاده از وتر بزرگ قوس ۳۴
۲) پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده به روش افست با استفاده از طول تانژانت ۳۵
د) پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده با وترهای متوالی ۳۶
ه) پیاده کردن قوس به کمک عمود منصف‌های وترهای کوچک ۳۷

فصل ۳ ..... ۳۸
قوس مرکب ۳۸
الف) قوس مرکب مستقیم ۳۸
ب) قوس مرکب معکوس ۴۰
حالت خاص اول قوس مرکب معکوس ($\theta_1 = \theta_2$, $\Delta_1 = \Delta_2$) ۴۱
حالت خاص دوم قوس مرکب معکوس $R_1 = R_2 , \theta_1 = \theta_2$ ۴۲
فصل ۴ ..... ۳۸
د) قوس سر پایین ۴۴
۱) قوس سرپانتین نوع اول ۴۴
۲) قوس سرپانتین نوع دوم ۴۵
۳) قوس سرپانتین نوع سوم ۴۶
بالاآمدگی کنار قوس با Dever یا بر بلندی یا super elevation ۴۶
فصل۵ ..... ۴۹
ه) قوس‌های اتصال ۴۹
انواع قوس‌های اتصال عبارتند از ۵۰
قوس کلوتوئید: ۵۰
ز) قوس‌های ترکیبی (پیوندی) ۵۱
حداقل طول شاخه کلوتوئید ۵۴
روشهای پیاده سازی قوس ترکیبی (کلوتوئید- دایره- کلوتوئید) ۵۶
الف) پیاده سازی قوس کلوتوئید به روش افست (X,Y) ۵۶
ب) پیاده سازی قوس کلوتوئید به روش قطبی (طول وتر کلوتوئید و زاویه انحراف) ۵۶
قوس یکپارچه لمنیسکات ۵۸
فصل۶ ..... ۶۰
قوس قائم ۶۰
انواع قوس‌های قائم ۶۱
۱) قسمتی از قوس دایره‌ای ۶۱
۲) قسمتی از یک بیضی (بیضی ناقص) ۶۱
۳) سهمی درجه دو ۶۱
۴) سهمی درجه سه ۶۱
انواع قوس‌های قائم سهمی درجه دو ۶۱
الف)سهمی با مماس‌های مساوی ۶۱
محاسبه ارتفاع و فاصله بالاترین یا پایین‌ترین نقطه روی قوس قائم ۶۴
ب) سهمی با مماس‌های نابرابر ۶۵
Example Problem ۶۷

منابع

- کتاب نقشه برداری مسیر و قوس‌ها در راه‌سازی – تألیف: مهندس سلیمانی – ناشر: آذرخش
- کتاب نقشه برداری – تألیف: مهندس دیانت خواه – ناشر: دانشگاه اصفهان
- کتاب نقشه برداری – تألیف: مهندس نوبخت – ناشر: دانشگاه علم و صنعت
- جزوه درسی مهندس عظیم زاده – دانشگاه خواجه نصیر
- آیین نامه طرح هندسی راه‌های ایران – نشریه شماره ۱۶۱ سازمان برنامه و بودجه
- کتاب – طرح هندسی راه – تألیف: دکتر بهبهانی
- کتاب construction surveying (ارتش آمریکا)

مهندس راستگو

فصل ۱

مراحل احداث یک مسیر راه:

جهت اجرای پروژه‌های مختلف مسیر یک راه، راه آهن، خطوط انتقال لوله، نفت، گاز، خطوط انتقال برق، تلفن، شبکه‌های آب‌رسانی، مسیرهای زیر زمینی و فاضلاب و غیره ... یکی از مراحل مهم کار، طراحی و سپس پیاده سازی پروژه بر روی زمین می‌باشد.

برای احداث هر راه می‌بایست به عوامل مختلف از جمله نیازهای اجتماعی، اقتصادی، زیست محیطی و فرهنگی و همچنین تأمین سه هدف مهم یعنی ایمنی، راحتی و سرعت در حمل و نقل توجه نمود. تا نهایتاً بتوان شرایط مناسب ترافیکی و حمل و نقل را برای استفاده کنندگان از راه‌های کشور بوجود آورد.

مراحل اساسی احداث یک مسیر به ترتیب از قرار زیر می‌باشد.

۱) مطالعات اولیه و طرح مقدماتی مسیر
۲) تهیه نقشه توپوگرافی بزرگ مقیاس
۳) طرح نهایی مسیر
۴) ایجاد شبکه مسطحاتی و ارتفاعی در اطراف مسیر و پیاده سازی مسیر
۵) تهیه نیم رخ طولی از مسیر و انتخاب خط پروژه
۶) تهیه نیم رخ‌های عرض و انتخاب خط پروژه عرض (پروفیل تیپ)
۷) محاسبه حجم عملیات خاکبرداری و خاکریزی
۸) برآورد هزینه احداث راه
۹) تجهیز کارگاه و اجرای عملیات راه سازی

چنانچه بخواهیم به صورت مشروح‌تری به فرآیند احداث یک راه بپردازیم:

مطالعه مسیر:

مطالعه مسیر عبارت است از بررسی همه جانبه زمین از بابت توپوگرافی، زمین شناسی، اقلیمی، محیطی، به منظور انتخاب یک راه حل خوب و قابل قبولی و منطقی برای انتخاب مسیری از مبدأ به مقصدی.

الف) مطالعات فاز اول (مرحله اول)

* جمع آوری هر گونه اطلاعات و مدارک مورد نیاز از سازمان‌ها و دستگاه‌های ذی‌ربط
* جمع آوری هر گونه نقشه یا عکس‌های هوایی موجود از منطقه
* بازدید از منطقه طرح و جمع آوری اطلاعات و آمار مورد نیاز
* انتخاب مسیرهای مختلف بین مبدأ و مقصد (واریانت‌های مختلف) بر روی نقشه‌ها یا عکس‌های هوایی موجود در این مورد می‌توان از نقشه $\frac{1}{25000}$ که سازمان نقشه برداری کل کشور در چند سال اخیر از کل ایران تهیه کرده استفاده نمود.

* اعزام گروه‌های مختلف کارشناسی مانند کارشناسان زمین شناسی، نقشه برداری، محیط زیست، منابع آب و... بررسی کارشناسی مسیرهای انتخابی اولیه
* جمع آوری گزارش‌های تهیه شده برای مسیرهای انتخابی اولیه

انتخاب یکی از مسیرهای پیشنهادی با توجه به گزارشات کارشناسی تهیه شده و همچنین پیشنهادات و نظرات کارفرما.

در مرحله شناسایی و مطالعات مقدماتی وظیفه مهندسین عبارت است از انتخاب مسیرهای قابل اجرا و تعیین مسیر بر مبنای نقاط اجباری، در بعضی مواقع وجود یک محل مناسب برای پل و یا فقط یک گردنه جهت عبور از کوهستان یکی از عوامل مهم کنترل مسیر می‌باشد. نقاط دیدنی در طول مسیر مانند آبشار، دریاچه و سایر زیبایی‌های طبیعت و جذب کننده، مراکز آثار باستانی و مراکز صنعتی تمام نقاطی هستند که در وهله اول به نام نقاط اجباری درجه یک بر روی انتخاب مسیر موثرند.

عواملی که در وهله دوم و به نام نقاط اجباری درجه دو بر روی انتخاب مسیر تأثیر دارند عبارتند از مسیل‌ها، گذرگاه‌های کوهستانی، مناطق باتلاقی، عوامل موثر در قیمت از قبیل نوع خاک، تعداد و بزرگی ابنیه‌های فنی موجود در طول مسیر، حجم عملیات خاکی برای تهیه یک مسیر مطلوب و با شیب‌های استاندارد، هزینه نگهداری راه، عبور مسیر از منطقه آفتابی، هزینه‌ی سازه‌های بهمن گیر و جلوگیری از ریزش سنگ‌های کوه و تونل‌ها و...

نکته: در محل‌های کوهستانی بهترین مسیر قابل اجرای اغلب در امتداد رودخانه‌ها در دو دامنه کوهستانی می‌باشد. کم خرجترین مسیرها عبارت است از مسیری که درست بالاتر از جریان آب در صورتی که شیب رودخانه از حد مجاز تجاوز نکند قرار گیرد.

ب) مطالعات فاز دوم (مرحله دوم)

* تهیه نقشه توپوگرافی بزرگ مقیاس، معمولاً با مقیاس $\frac{1}{1000}$ الی $\frac{1}{2000}$ و در باند مشخصی به عرض 200 یا 300 یا 400 متری.
* مشخص کردن دقیق شروع و پایان و نقاط اجباری درجه یک و دوم بر روی نقشه مذکور
* طراحی مسیر با توجه به مشخصات فنی مورد نظر، شامل خطوط مستقیم، قوس‌ها، پل‌ها، آبروها و غیره و همچنین تعیین محل تأسیسات جانبی راه شامل مکان‌های پمپ سوخت، مکان ساختمان‌های راهداری ، اورژانس ، مجتمع‌های خدماتی رفاهی بین راهی ، پاسگاه‌ها و غیره...

ج) مطالعات فاز سوم (مرحله سوم)

* پیاده کردن مؤلفه افقی مسیر (پلان مسیر) که در فاز دوم بر روی نقشه‌های توپوگرافی طراحی شده است.
* تهیه و ترسیم نیم رخ‌های طولی و عرضی و انتخاب خط پروژه‌های طولی و عرضی
* محاسبه حجم عملیات خاکی شامل خاکبرداری و خاکریزی
* تعیین هزینه اجرا یا برآورد هزینه احداث راه.
* تجهیز کارگاه و اجرای عملیات ساختمانی راه توسط پیمانکار با نظارت مشاور.

مشخصات هندسی یک مسیر

۱) مبدأ و مقصد مسیر

۲) مؤلفه افقی مسیر

پلان مسیر: که شامل خطوط مستقیم افقی و قوس‌های افقی می‌باشد. انواع مهم قوس‌های افقی عبارتند از:

الف) قوس دایره‌ای ساده [۱]

ب) قوس دایره‌ای مرکب مستقیم [۲]

ج) قوس دایره‌ای مرکب معکوس [۳]

د) قوس سرپانتین [۴](سنجاق قفلی یا لماسه)

ه) قوس‌های اتصال یا تدریجی (کلوتوئید- لمینیسکات – سهمی درجه سه- سینوسی و کسینوسی)

ز) قوس‌های ترکیبی یا پیوندی (شامل قوس اتصال و دایره)

۳) مؤلفه قائم مسیر:

نیمرخ طولی: که شامل خطوط مستقیم شیب دار و قوس‌های قائم است امتدادهای مستقیم قائم با کلمه شیب شناخته می‌شوند. و هر دو امتداد مستقیم شیب‌دار به وسیله یک قوس قائم به یکدیگر مرتبط می‌گردد. انواع مهم قوس‌های قائم عبارتند از:

الف) سهمی درجه دو (در برخی از نرم افزارها برای آنها سهمی در سه نیز تعریف شده)

ب) قوس دایره‌ای ساده

ج) بیضی ناقص (قسمتی از یک بیضی)

د) قوس دایره مرکب

۴) مؤلفه نیمرخ مسیر:

نیمرخ عرض: که شامل خطوط سطح تمام شده مسیر و سطح طبیعی زمین عمود بر محور مسیر می‌باشد.

مطالعات اولیه طرح مقدماتی مسیر:

در این مرحله توسط مهندسین مشاور مجری طرح، اطلاعات، مدارک، نقشه و عکس‌های هوایی مرتبط با طرح در صورت موجود بودن ، از سازمان‌ها و ارگان‌های ذی‌ربط اخذ و سپس مطالعات اولیه روی نقشه‌های متوسط مقیاس از منطقه (مثلاً نقشه‌ها $\frac{1}{10000}$، $\frac{1}{20000}$ ، $\frac{1}{50000}$) در صورت موجود بودن و همچنین عکس‌های هوایی، صورت گرفته و نهایتاً یک یا چند مسیر بر روی نقشه‌ها و عکس‌های هوایی، بین مبدأ و مقصد انتخاب می‌گردد.

تهیه نقشه توپوگرافی بزرگ مقیاس

---

[۱] Circular Curves
[۲] Directed Compound Curves
[۳] Reverse Compound Curves
[۴] Serpentine Curve

www.jozve-naghshebardari.ir

در این مرحله مسیر تقریبی انتخاب شده و اقدام به تهیه نقشه توپوگرافی بزرگ مقیاس معمولاً به مقیاس $\frac{1}{2000}$ با منحنی میزان 2 متر و در باندی که مسیر تقریبی در وسط آن قرار دارد می‌کنیم. عرض باند برداشت بستگی به نوع راه داشته و ممکن است 100، 200 یا 400 متر باشد.

طرح نهایی مسیر

در طرح هندسی راه‌ها علاوه بر در نظر گرفتن موارد کلی از جمله تحلیل هزینه می‌بایست به معیارهای طرح هندسی مانند معیارهای اجباری توجه نمود.

حداقل معیارهایی که در طراحی و به جهت تأمین ایمنی راه مورد نظر قرار می‌گیرد.

عبارتند از:

۱) سرعت طرح
۲) عرض شانه
۳) قوس‌های افقی
۴) قوس‌های قائم
۵) شیب طولی
۶) شیب عرض
۷) عرض راه (3.65+1.2)
۸) عرض خط عبور (3.65^{m})
۹) عرض پل
۱۰) حداقل فاصله دید توقف و سبقت
۱۱) شیب عرض در قوس‌ها (بر بلندی)

برخی توصیه‌ها در طراحی پلان مسیر:

۱. تا حد امکان سعی شود از قوس‌هایی با شعاع زیاد استفاده کنیم.
۲. بعد از یک قوس با شعاع بزرگ از یک قوس با شعاع کوچک استفاده نشود.
۳. در خاکریزی‌های بلند و طولانی مطلوب است از قوس با شعاع زیاد استفاده شود.
۴. تا حد امکان امتداد افقی مسیر با پستی و بلندی‌های طبیعی زمین هماهنگی داشته باشد.
۵. در قوس‌های مرکب از تغییر ناگهانی یک شعاع بسیار بزرگ به یک شعاع کوچک اجتناب کرد.
۶. هماهنگی لازم بین پلان و نیمرخ طولی راه برقرار باشد. به عنوان مثال از تلاقی قوس افقی و قائم در یک نقطه اجتناب شود و یا از تلاقی پل با قوس افقی و غیره ...
۷. از قوس دایره معکوس به صورت پیوسته اجتناب شود و بین دو قوس از فاصله مستقیم و یا قوس اتصال تدریجی استفاده شود.

طبقه بندی و درجه بندی راه‌ها:

A) طبقه بندی راه‌ها بر اساس موقعیت توپوگرافی منطقه

۱) راه‌های هموار
۲) راه‌های تپه ماهوری
۳) راه‌های کوهستانی
۴) راه‌های هموار با مانع
۵) راه‌های تپه ماهور با مانع
۶) راه‌های کوهستانی با مانع

B) **درجه بندی راه‌ها متناسب با اهمیت آن‌ها**

۱) آزاد راه‌ها ۲) بزرگراه‌ها ۳) راه اصلی ۴) راه فرعی ۵) راه روستایی

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

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

بزرگراه: مانند آزاد راه ولی با امکانات محدود تقاطع هم سطح و دسترسی از حاشیه.

راه اصلی: راهی برای عبور وسایل نقلیه موتوری و به ندرت وسایل نقلیه غیر موتوری و پیاده در نظر گرفته می‌شود و جزیی از شبکه سراسری و ملی راه‌ها است. و رابطی بین راه‌های فرعی و یا بزرگراه‌ها و آزاد راه‌ها به اهمای فرعی می‌باشد.

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

راه روستایی: جهت تأمین ارتباط کاملاً محلی بین روستاها و یا اتصال روستاها به راه‌های فرعی و احتمالاً اصلی بکار می‌روند.

مشخصات فنی در طراحی:

کلیه ضوابط و دستورالعمل‌هایی است که در طراحی مسیر می‌بایست آنها را رعایت کرد که یکی از موارد مهم آن سرعت طرح می‌باشد. سرعت طرح، سرعتی است که به جهت تعیین حداقل مشخصات مربوط به طرح هندسی ازجمله شعاع قوس‌ها و خم‌ها، فواصل دید، بر بلندی، انتخاب می‌شود. و بر اساس عوامل مختلفی از جمله، طبقه بندی و درجه بندی راه، ملاحظات اقتصادی، حجم و نوع ترافیک و عوامل محیطی مطابق جدول زیر انتخاب می‌شود.

درجه بندی راه برای سرعت طرح

درجه بندی راه	طبقه بندی راه		
	کوهستانی	تپه ماهور	هموار
آزاد راه‌ها	V3	V4	V5
بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی جدا شده	V3	V4	V4
راه‌های اصلی	V2	V3	V4
راه‌های فرعی	V1	V2	V3

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

عرض سواره رود در مسیر مستقیم

نوع راه	عـرض سـواره رو بـر حسب متر
آزاد راه ، بزرگراه و راه اصلی درجه یک	3.65
راه اصلی درجه دو	3.50
راه فرعی درجه یک	3.25
آزاد راه و بزرگراه در سربالایی (خط پروژه وسایل نقلیه سنگین)	2.75
راه اصلی در سربالایی (خط پروژه وسایل نقلیه سنگین)	3.25
عرض خط کمکی و خط پروژه گردش به چپ	3.25 تا 3.65

سومین عامل در طرح هندسی راه، توجه به تغییرات شیب در نقاط طولی مسیر است که اصطلاحاً بـه آن شـیب طولی یا شیب خط پروژه گفته می‌شود. در واقع شیب طولی شیب سطح تمـام شـده را در امتـداد مسـیر نشـان می‌دهد و همواره باید از اعمال شیب طولی شدید و طولانی خودداری نمود.

سرعت طرح	نوع منطقه		
	هموار	تپه ماهور	کوهستانی
60	5	6	8,7
70	4	5	6
80	4	5	6
90	4	5	6
100	4	5	-
110	3	4	-

شیب طولی یا خط پروژه

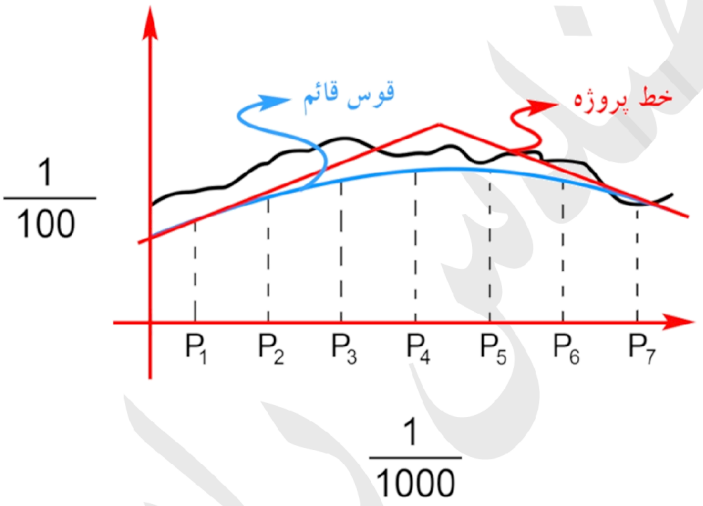
در واقع شیب طولی، شیب سطح تمام شده راه در امتداد مسیر است و همواره باید از اعمال شیب طـولی تنـد و طویل خودداری نمود. حداکثر مقادیر شیب طولی مجاز برای راه اصلی بر اساس نوع منطقه در جدول زیر آمده.

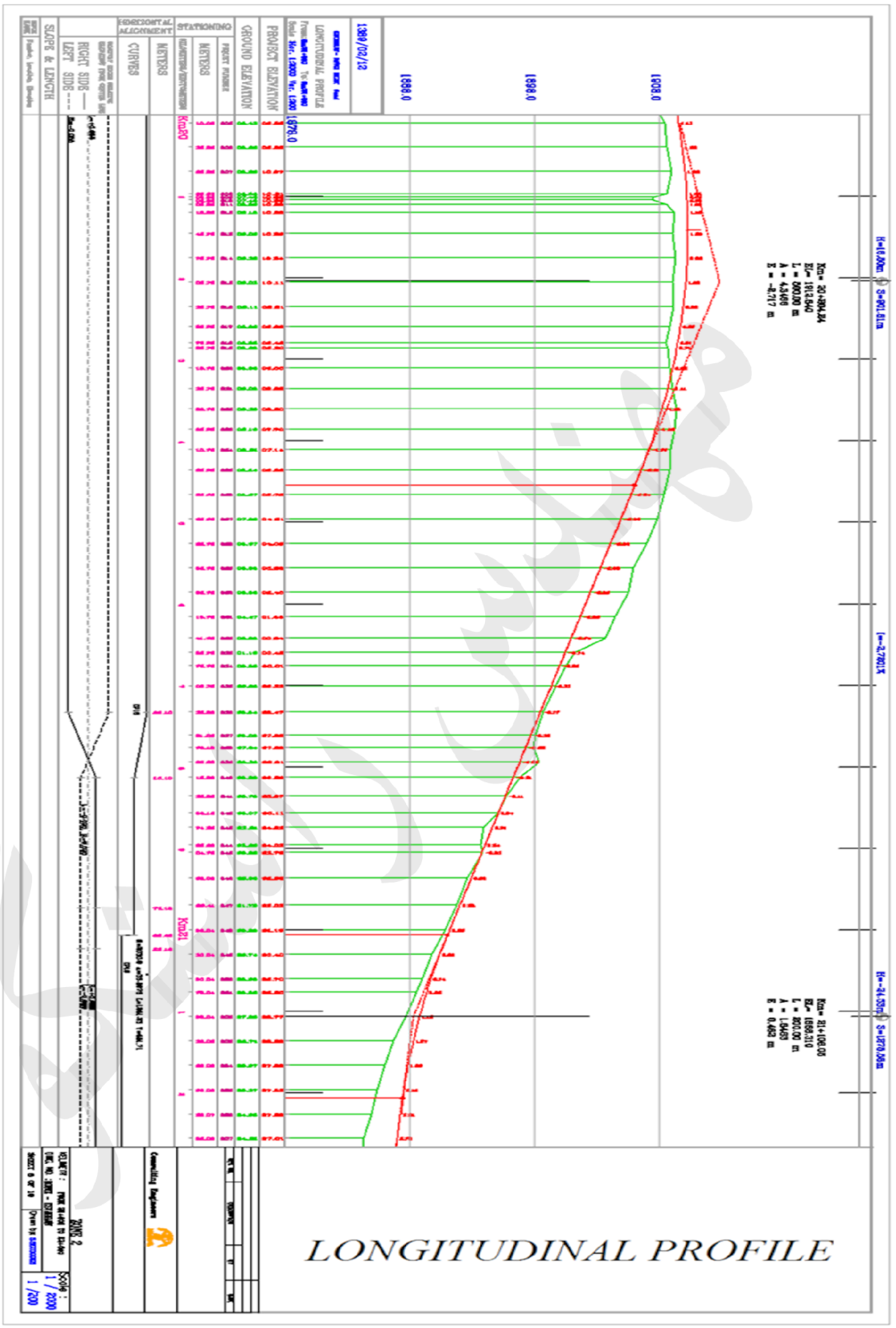
نوع منطقه	سرعت طرح (کیلومتر در ساعت)					
	60 ,60<	70	80	90	100	110
	حداکثر شیب طولی (در صد)					
هموار	5	4	4	4	4	3
تپه ماهور	6	5	5	5	5	4
کوهستانی	8,7	6	6	6	-	-

* چنانچه نیمرخ دو طرف راه مستقل از هم باشد، می‌توان در سرازیری 1% به حداکثرهای داده شده اضافه کرد مشروط بر اینکه در نقاط سردسیر، مقدار شیب از 6% تجاوز نکند.
* در صورتی که راه در منطقه‌های گرمسیر و بدون احتمال یخبندان قرار گیرد می‌توان برای سرعت ۸۰ کیلومتر، از شیب 7% و برای سرعت 70 کیلومتر تا 8% حداکثر شیب طولی را افزایش داد.

تعریف نیمرخ طولی:

فصل مشترک صفحه قائم گذرنده از محور مسیر را پروفیل طولی گویند.




LONGITUDINAL PROFILE
PROJECT ELEVATION
GROUND ELEVATION
STATIONING
HORIZONTAL ALIGNMENT
CURVES
RIGHT SIDE
LEFT SIDE
SLOPE & LENGTH
1380/02/12
1978.0
1988.0
1998.0
2008.0

در طراحی مسیر چرا فقط از خط مستقیم استفاده نمی‌شود:

- ✓ برای رانندگان مسیرهای مستقیم طولانی، خسته کننده است.
- ✓ در صورت استفاده صرف از خطوط مستقیم، حجم خاکبرداری و خاکریزی متعادل نخواهد بود.
- ✓ از مناظر طبیعی نمی‌توانیم استفاده بکنیم.
- ✓ برخورد با موانع صعب‌العبور
- ✓ مواجه با شیب‌های طولی غیر مجاز
- ✓ مسائل اقتصادی و غیره

مهندس راستکار

فصل ۲

قوس‌های دایره‌ای ساده[1]:

ساده‌ترین کمانی که دو قسمت مستقیم مسیر راهی می‌تواند به هم متصل کند یک قوس با یک کمان از یک دایره ساده است لذا ضرورت دارد دایره را بهتر بشناسیم.

تعریف دایره:

دایره عبارت است از مکان هندسی کلیه نقاط واقع بر یک صفحه که تمام فواصل آنها (شعاع) از یک نقطه ثابت (مرکز دایره) به یک اندازه باشد.

وتر در دایره:

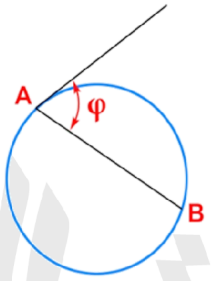
پاره خطی است که دو نقطه متمایز بر روی دایره را به هم وصل می‌کند.

قوس یا کمان:

هر وتر در دایره، دایره را به دو کمان یا قوس تبدیل می‌کند.

زاویه ضلعی φ:

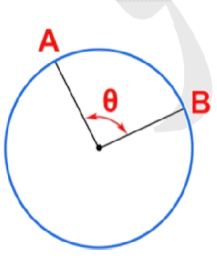
زاویه‌ای که رأس آن بر روی دایره و یکی از امتدادهای آن مماس بر دایره و امتداد دیگر آن وتری از دایره می‌باشد.

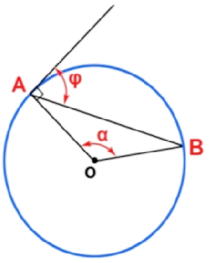


زاویه مرکزی θ:

زاویه‌ای است که رأس آن مرکز دایره و دو امتداد دیگر آن دو شعاع از دایره می‌باشند.

رابطه بین زاویه ضلعی و زاویه مرکزی:





$$\Rightarrow \quad \alpha = 2\times\varphi \qquad \varphi = \frac{\alpha}{2}$$

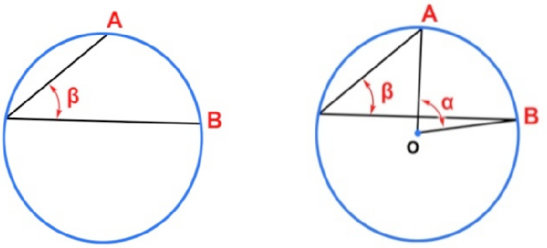
---

[1] Circular Curves

زاویه محاطی β:

زاویه‌ای که رأس آن بر روی محیط دایره باشد و دو امتداد آن دو وتر از دایره باشند.

رابطه بین زاویه محاطی و زاویه مرکزی:



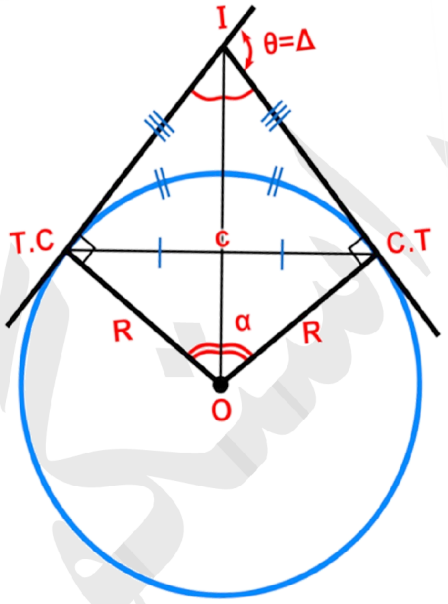
$$\Rightarrow \begin{matrix} \alpha = 2\times\beta \\ \beta = \frac{\alpha}{2} \end{matrix}$$

خواص دایره:

از هر نقطه خارج از دایره فقط می‌توان دو مماس بر دایره ترسیم کرد.

طول این دو مماس رسم شده با هم برابر خواهد بود.

خطی که از نقطه خارج از دایره به مرکز دایره رسم شود:



الف) زاویه داخلی رأس قوس را به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کند.

ب) این خط وتر مربوطه را به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کند.

ج) کمان مقابل خود را به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کند.

د) زاویه مرکزی کمان مربوطه را به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کند.

مجموع زاویه داخلی و زاویه مرکزی برابر 180 درجه خواهد بود.

زاویه مرکزی با زاویه انحراف مسیر برابر خواهد بود.

زاویه بین مماس بر دایره و شعاع برابر 90 درجه خواهد بود.

پارامترها و اصطلاحات قوس دایره‌ای ساده[1]:

R^{2}: شعاع قوس

T^{3} : طول مماس یا طول تانژانت

Parameter Of Curves [1]
Radius [2]
Tangents Length [3]

C[1]: طول وتر بزرگ

L[2]: طول کمان قوس

θ[3]: زاویه مرکزی قوس

Δ: زاویه انحراف قوس

P: نقطه وسط قوس

T.C[4]: نقطه شروع قوس

C.T[5]: نقطه پایان قوس

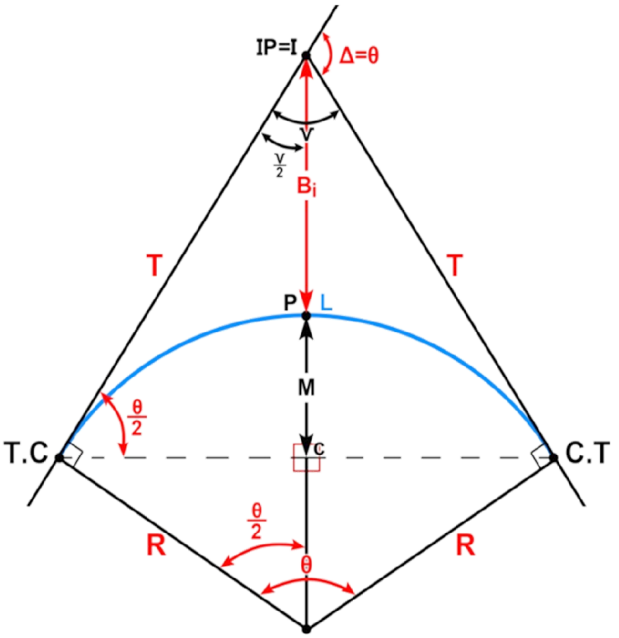
I=IP[6]: تقاطع دو مسیر مستقیم با همان رأس قوس (سومه)

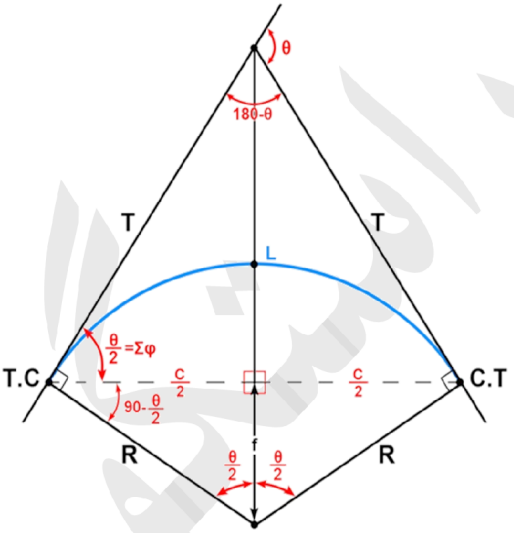
V: زاویه انحراف داخلی

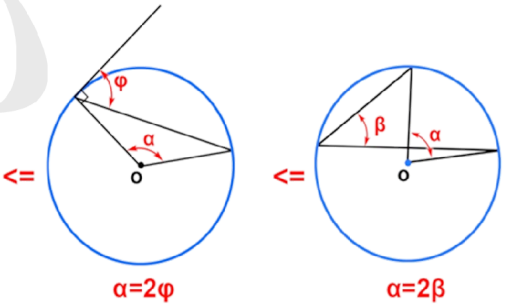
BI=E[7]: طول مستقیم از رأس قوس تا وسط کمان

M[8]: فاصله درونی قوس یا فاصله میانی

D: درجه قوس







$$Sin(\frac{\theta}{2}) = \frac{\frac{C}{2}}{R} \Rightarrow \frac{C}{2} = R \times Sin(\frac{\theta}{2}) \Rightarrow \boxed{C = 2 \times R \times Sin(\frac{\theta}{2})}$$

---

[1] Chord
[2] Length Of Curve (Arc)
[3] Central Angle
[4] Tangents To Curve
[5] Curve To Tangents
[6] Intersection Of Tangents Point
[7] Bisectors Or External Distance
[8] Middle Ordinate Distance

$$Cos(\frac{\theta}{2})=\frac{\frac{C}{2}}{T}\Rightarrow T=\frac{\frac{C}{2}}{Cos(\frac{\theta}{2})}\Rightarrow T=\frac{R\times Sin(\frac{\theta}{2})}{Cos(\frac{\theta}{2})}\Rightarrow \boxed{T=R\times Tan(\frac{\theta}{2})}$$

θ بر حسب رادیان $\boxed{L=R\times\theta}$

$$M=R-F\Rightarrow M=R-R\times Cos(\frac{\theta}{2})\Rightarrow \boxed{M=R(1-Cos(\frac{\theta}{2}))}$$

$$BI+M=T\times Sin(\frac{\theta}{2})\Rightarrow BI=T\times Sin(\frac{\theta}{2})-M\Rightarrow BI=R\times\frac{Sin(\frac{\theta}{2})}{Cos(\frac{\theta}{2})}\times Sin(\frac{\theta}{2})-R+R\times Cos(\frac{\theta}{2})$$

$$\Rightarrow BI=\frac{R\times Sin^2(\frac{\theta}{2})+R\times Cos^2(\frac{\theta}{2})}{Cos(\frac{\theta}{2})}-R\Rightarrow BI=\frac{R\times(Sin^2(\frac{\theta}{2})+Cos^2(\frac{\theta}{2}))}{Cos(\frac{\theta}{2})}-R\Rightarrow$$

$$\Rightarrow BI=\frac{R}{Cos(\frac{\theta}{2})}-R\Rightarrow BI=R\times(\frac{1}{Cos(\frac{\theta}{2})}-1)\Rightarrow \boxed{BI=R\times(Sec(\frac{\theta}{2})-1)}$$

$$\boxed{BI=T\times Tan(\frac{\theta}{4})}$$

درجه قوس $(\hat{D})$[1]:

درجه قوس عبارت است از زاویه مرکزی مقابل به یک وتر یا قوس به طول 100 feet یا 30.48^{m} معمولاً درجه قوس در راه آهن بین 1° تا 9° در بدترین شرایط انتخاب می‌شود. محاسبه درجه قوس دو حالت یا دو تعریف دارد.

الف) زاویه مرکزی مقابل یک کمان به طول 30.48^{m} یا $100'$ (کمان ثابت)

ب) زاویه مرکزی مقابل یک وتر به طول 30.48^{m} یا $100'$ (وتر ثابت)

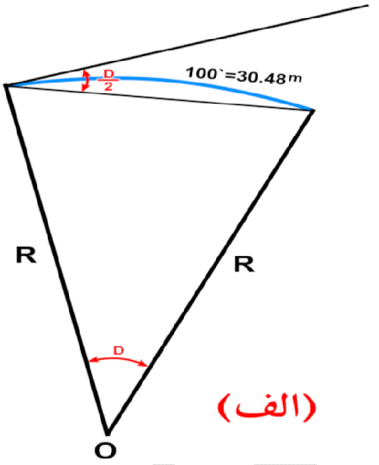
معمولاً در راه آهن از حالت الف و در راه‌های معمولی از تعریف ب استفاده می‌شود برای بدست آوردن درجه قوس.

رابطه درجه قوس و شعاع در دو حالت وتر ثابت و کمان ثابت:

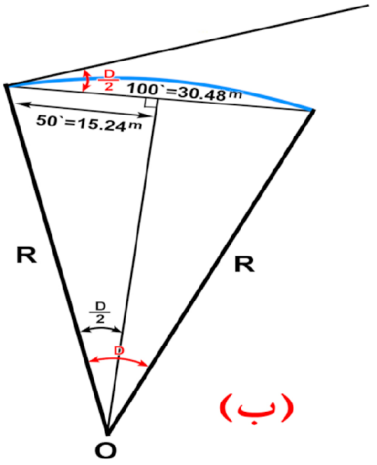
---

[1] Degree Of Curers

www.jozve-naghshebardari.ir



(الف)



(ب)

در حالت الف:

$$\frac{D}{360}=\frac{30.48}{2\pi R}\Rightarrow D=\frac{360\times 30.48}{2\pi R}\Rightarrow D=\frac{1746.38}{R}$$

d : بر حسب درجه

$$R=\frac{30.48}{D}$$

D : بر حسب رادیان

در حالت ب:

$$\mathrm{Sin}(\frac{\mathrm{D}}{2})=\frac{15.24}{\mathrm{R}}\Rightarrow \mathrm{D}=2\,\mathrm{Arc}\,\mathrm{Sin}(\frac{15.24}{\mathrm{R}})\Rightarrow \mathrm{R}=\frac{15.24}{\mathrm{Sin}(\frac{\mathrm{D}}{2})}$$

رابطه بین درجه قوس و طول قوس:

$$\frac{L}{30.48}=\frac{\Delta}{D}\Rightarrow L=\frac{30.48\times\Delta}{D}$$

D : درجه قوس

Δ: زاویه انحراف

L: طول کمان بر حسب متر

مثال: چنانچه زاویه انحراف $\Delta=60^{0}13'11''$ و درجه قوس $D=2^{0}11'$ باشد مطلوب است طول قوس.

$$L=30.48\times\frac{60^{0}13'11''}{2^{0}11'0''}=840.685^{m}$$

مثال: چنانچه درجه قوس 3° باشد شعاع قوس را بدست آورید.

$$R=\frac{1746.38}{D}\Rightarrow R=\frac{1746.38}{3}=582.127 \quad , \quad R=\frac{15.24}{\sin(\frac{D}{2})}\Rightarrow R=\frac{15.24}{\sin(\frac{3}{2})}=582.192$$

مثال: چنانچه زاویه انحراف $\Delta=48^{0}30'$ باشد و طول قوس $L=200^{m}$ مد نظر باشد درجه قوس و شعاع قـوس را محاسبه کنید.

$$D = \frac{30.48 \times 48^{0}30'}{200} \Rightarrow D = 7^{0}23'29.04''$$

$$R = \frac{1746.38}{D} = 236.272 \quad , \quad R = \frac{15.24}{\sin(\frac{7^{0}23'29.04''}{2})} = 236.435$$

نکته: با توجه به مثال‌های آورده شده درمی یابیم که اختلاف بین ثابت فرض کردن کمان یا وتر در حد سانتیمتر است و در برخی موارد قابل چشم پوشی می‌باشد.

مثال: پارامترهای قوس دایره‌ای ساده به شعاع 300 و زاویه انحراف 45° را بدست آورید.

$$T = R \times Tan(\frac{\theta}{2}) \Rightarrow T = 300 \times Tan(\frac{45}{2}) = 124.26$$

$$L = R \times \theta \times \frac{\pi}{180} \Rightarrow L = 300 \times 45 \times \frac{\pi}{180} = 235.62$$

$$C = 2 \times R \times Sin(\frac{\theta}{2}) \Rightarrow C = 2 \times 300 \times Sin(\frac{45}{2}) = 229.61$$

$$M = R(1 - Cos(\frac{\theta}{2})) \Rightarrow M = 300(1 - Cos(\frac{45}{2})) = 22.836$$

$$BI = T \times Tan(\frac{\theta}{4}) \Rightarrow BI = 124.26 \times Tan(\frac{45}{4}) = 24.72$$

تمرین: چنانچه زاویه انحراف $\Delta = 30^{0}15'$ و درجه قوس $D = 2^{0}12'$ باشد و مختصات نقطه شروع قوس $\begin{vmatrix} 200 \\ 200 \end{vmatrix} T.C$ باشد و آزیموت نقطه شروع به رأس قوس برابر $27^{0}11'$ باشد مطلوب است کلیه پارامترهای قوس و مختصات رأس، مرکز و انتهای قوس و مختصات نقطه P.

حالتهای مختلف معرفی قوس دایره‌ای ساده

معرفی شعاع و زاویه انحراف (زاویه مرکزی)

معرفی طول تانژانت و زاویه انحراف

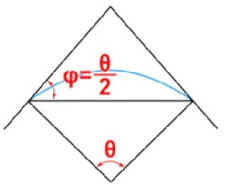
معرفی زاویه انحراف و وتر بزرگ

معرفی زاویه مرکزی قوس و طول کمان قوس

معرفی درجه قوس و زاویه انحراف

زاویه انحراف در قوس (φ):

از نوع زاویه ضلعی می‌باشد و در حالت ماکسیمم برابر $\frac{\theta}{2}$ خواهد بود.



$$L = R \times \theta \quad , \varphi_{\max} = \frac{\theta}{2} \Rightarrow \theta = 2 \times \varphi_{\max} \Rightarrow L = R \times 2 \times \varphi_{\max} \Rightarrow \varphi_i = \frac{l_i}{2 \times R} \times \frac{180}{\pi}$$

روشهای مختلف پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده:

به سه روش کلی زیر می‌توان قوس دایره‌ای ساده را بر روی زمین پیاده کرد.

الف) روش قطبی (φ, l):

با استفاده از زاویه‌یاب و متر یا به عبارتی با استفاده از زوایای انحراف (φ) و طول وترها l انجام می‌شود.

ب) روش دو قطبی $\varphi_1 \varphi_2$:

با استفاده از دو زاویه‌یاب و بدون استفاده از متر

ح) روش افست (x,y):

تنها با استفاده از متر

نکته: دو روش دیگر نیز برای پیاده کردن قوس دایره‌ای وجود دارد:

د) پیاده کردن قوس به روش انتقال وتر

ه) پیاده کردن قوس به روش عمود منصف‌های متوالی وترها

الف) از روش قطبی به چند روش می‌توان اقدام به پیاده سازی قوس نمود.

الف -۱) زاویه‌یاب را در ابتدا یا انتهای قوس مستقر کرد و به رأس قوس صفر صفر نمود.

الف- ۲) در نقطه شروع قوس مستقر شد و به انتهای قوس صفر صفر نمود یا برعکس.

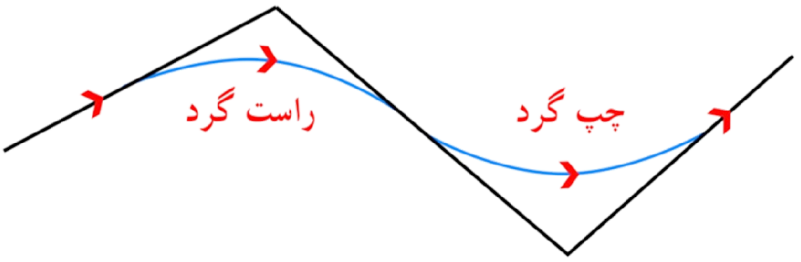
الف- ۳) در نقطه رأس قوس مستقر شد و به شروع یا انتهای قوس صفر صفر کرد.

الف- ۴) در بالاترین نقطه قوس p مستقر شد و قوس را پیاده کنیم.

متداول‌ترین روش از روشهای پیاده کردن قوس به روش قطبی روش الف- ۱) می‌باشد کلیه روشهای دیگر نیز مثل این روش می‌باشد با مختصری تغییر در زاویه‌های انحراف φ

تشخیص راستگرد یا چپگرد بودن قوس

هنگام حرکت اگر از ابتدای مسیر تا انتهای مسیر قوس سمت راست ناظر قرار گرفته باشد این قوس را قوس راستگرد گویند و در صورتی که در سمت چپ ناظر قرار گیرد به آن قوس چپ گرد گویند.



پیاده کردن قوس ساده به روش قطبی با استقرار در نقطه شروع قوس (T.C) و صفر صفر کردن به رأس قوس (I)

این روش را با حل یک مثال بیان خواهیم کرد.

مثال) قوس دایره‌ای داریم با $\theta = 80^0$ و $R = 300^m$ کیلومتراژ رأس آن $km_I = 1+731$ و می‌خواهیم قوس را 50^m به 50^m محاسبه کنیم و 50^m به 50^m پیاده کنیم.

$$T = R \times Tan(\frac{\theta}{2}) = 300 \times Tan(40) = 251.73$$

$$C = 2 \times R \times Sin(\frac{\theta}{2}) = 2 \times 300 \times \sin(40) = 385.72$$

$$BI = T \times Tan(\frac{\theta}{4}) = 251.73 \times Tan(20) = 91.622$$

$$M = R \times (1 - Cos(\frac{\theta}{2}) = 300 \times (1 - Cos(40)) = 70.187$$

$$L = R \times \theta = 300 \times 80 \times \frac{\pi}{180} = 418.879$$

$$km_{T.C} = km_I - T = 1+479.27 \qquad l_1 = 20.73$$

$$km_P = km_{T.C} + \frac{L}{2} = 1+688.709 \qquad l = 50 \leftrightarrow 7$$

$$km_{C.T} = km_{T.C} + L = 1+89.149 \qquad l_2 = 48.149$$

$$\varphi_i = \frac{l_i}{2R} \times \frac{180}{\pi}$$

$$\sum_{i=1}^{n} \varphi_i = \frac{\theta}{2}$$

$$\varphi' = \frac{20.73}{2 \times 300} \times \frac{180}{\pi} = 1^\circ 58' 46.45''$$

$$\varphi = \frac{50}{2 \times 300} \times \frac{180}{\pi} = 4^\circ 46' 28.73''$$

$$\varphi'' = \frac{48.149}{2 \times 300} \times \frac{180}{\pi} = 4^\circ 35' 52.41''$$

$$\sum_{i=1}^{n} \varphi_i = \varphi_{\max} \Rightarrow 39^\circ 59' 59.97'' \cong 40$$

مراحل پیاده سازی قوس: ابتدا دو طول تانژانت را پیاده کرده سپس نقاط T.C و C.T را روی این طول‌ها مشخص نموده بعد از آن نقطه میانی کمان (P) را با استفاده از مقدار بیسیکتریس (BI) پیاده می‌کنیم سپس زاویه‌یاب را بر روی نقطه T.C سانتراژ کرده و به نقطه I (رأس قوس) صفر صفر می‌کنیم سپس برای پیاده کردن نقطه P_1 زاویه φ' را به دوربین بسته و به اندازه l_1 از پای دوربین در راستای امتداد تلسکوپ دوربین متر

کشی می‌کنیم و نقطه P_1 را میخ کوبی می‌کنیم و برای پیاده کردن نقطه P_2 ، زاویه $\varphi' + \varphi$ را به دوربین بسته و از نقطه P_1 به اندازه l در راستای امتداد تلسکوپ دوربین متر کشی می‌کنیم نقطه P_2 را میخ کوبی می‌کنیم برای نقطه سوم نیز به همین شکل ولی مقدار زاویه $\varphi' + 2\varphi$ را می‌بندیم. این کار را برای تمامی نقاط انجام می‌دهیم در نهایت زمانی که زاویه $\varphi' + n\varphi + \varphi''$ را باز می‌کنیم باید به نقطه C.T برسیم.

شماره نقاط	فاصله بین نقاط بر حسب متر	کیلومتراژ نقاط	زاویه انحراف بین نقاط	زاویه انحراف نسبت به خط مماس $\overline{TC-I}$	زاویه انحراف تصحیح شده نسبت به خط مماس $\overline{TC-I}$	زاویه انحراف نسبت به خط مماس $\overline{CT-I}$	زاویه انحراف تصحیح شده نسبت به خط مماس $\overline{CT-I}$
T.C		1+479.27					
	20.73		$1^\circ\ 58'\ 46.45''$	$1^\circ\ 58'\ 46.45''$			
P1		1+500					
	50		$4^\circ\ 46'\ 28.73''$				
P2		1+550					
	50		$4^\circ\ 46'\ 28.73''$				
P3		1+600					
	50		$4^\circ\ 46'\ 28.73''$				
P4		1+650					
	50		$4^\circ\ 46'\ 28.73''$				
P5		1+700					
	50		$4^\circ\ 46'\ 28.73''$				
P6		1+750					
	50		$4^\circ\ 46'\ 28.73''$				
P7		1+800					
	50		$4^\circ\ 46'\ 28.73''$				
P8		1+850					
	48.149		$4^\circ\ 35'\ 52.41''$				
C.T		1+898.149					

پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده به روش قطبی با استقرار در نقطه پایانی قوس (C.T) و صفر صفر کردن به رأس قوس(I):

در این حالت دوربین زاویه‌یاب بر روی نقطه C.T مستقر شده و به نقطه I صفر صفر می‌کنیم و تک تک نقاط را $(P_1, P_2, \ldots, P_n)$ از سمت نقطه T.C پیاده می‌کنیم. تنها تفاوت این روش با روش قبل در محل استقرار دوربین و محاسبه زوایای انحراف می‌باشد. زوایای انحراف به شکل زیر محاسبه می‌شوند.

$$\lambda_1 = 360 - \frac{\theta}{2} + \varphi'$$

$$\lambda_2 = 360 - \frac{\theta}{2} + \varphi' + \varphi$$

$$\lambda_3 = 360 - \frac{\theta}{2} + \varphi' + 2\times\varphi$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$\lambda_n = 360 - \frac{\theta}{2} + \varphi' + n\times\varphi + \varphi'' = 360$$

مسئله عملی:

می‌خواهیم قوس دایره‌ای با مشخصات زیر از نقطه C.T با صفر صفر کردن به نقطه I ، 5^m به 5^m پیاده کنیم. مطلوب است جدول پیاده سازی این قوس.

$$R = 40^m \qquad \theta = 95^\circ 30' \qquad km_1 = 2 + 143.25$$

محاسبه دقت یا خطای ناشی از مساوی فرض کردن طول وترهای کوچک با طول کمان‌های آنها:

مقدار این خطا از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\Delta l_i = l_i - c_i \Rightarrow \Delta L = \frac{L^3}{24R^2}$$

و چنانچه دقت نسبی این عملیات مد نظر باشد خواهیم داشت:

$$\text{دقت نسبی} = \frac{\text{خطای مطلق اندازه گیری}}{\text{مقدار کل کمیت اند ازه گیری شده}} = \frac{\frac{L^3}{24R^2}}{L} \Rightarrow e_r = \frac{L^2}{24R^2}$$

مثال: اگر مقدار طول کمان‌های کوچک (l) را $\frac{1}{20}$ شعاع در نظر بگیریم به چه دقت نسبی خواهیم رسید.

$$e_r = \frac{(\frac{R}{20})^2}{24\times R} = \frac{R^2}{24\times 20^2\times R^2} = \frac{1}{9600} \approx \frac{1}{10000}$$

حال اگر مقدار طول کمان‌های کوچک (l) را $\frac{1}{10}$ شعاع در نظر بگیریم دقت نسبی برابر خواهد بود با :

$$e_r = \frac{(\frac{R}{10})^2}{24 \times R} = \frac{R^2}{24 \times 100 \times R^2} = \frac{1}{2400} \cong \frac{1}{2500}$$

اگر این دو حالت فوق را با هم مقایسه کنیم خواهیم دید که دقت نسبی به $\frac{1}{2500}$ افت خواهد کرد و دقت چهار برابر کاهش می‌یابد و به همین دلیل است که در پروژه‌های مهم سعی بر آن است که مقدار طول کمان‌های کوچک قوس (l) را $\frac{1}{20}$ شعاع در نظر بگیریم.

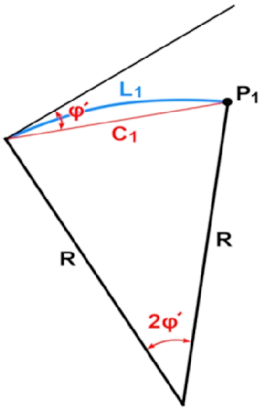
نکته: به طور معمول در کارهای مهندسی در اراضی دشت و هموار مقدار l را تا 50^m نیز می‌توان در نظر گرفت در اراضی تپه ماهور 30^m و در کوهستان بین 10^m تا 20^m و در کوهستان سخت زیر 10^m اختیار می‌شود. البته فراموش نشود در شعاع‌های بزرگ این گونه است.

بدست آوردن طول وترهای کوتاه بجای طول کمان و رفع خطای برابر فرض کردن طول کمان کوتاه با طول وترهای کوتاه:

همان طور که مشاهده کردید ما برای بدست آوردن زوایای انحراف (φ_i) از طول کمان (l_i) استفاده می‌کردیم اما در عمل بعد از باز کردن زاویه انحراف (φ_i) مقداری را که متر کشی می‌کردیم طول وتر کوچک بود بجای طول کمان. حال برای رفع این مشکل یک مرحله به محاسبات باید اضافه کرد. یعنی پس از محاسبه $\varphi'', \varphi, \varphi', l_2, l, l_1$ به محاسبه c_2, c, c_1 بپردازیم و بجای l_2, l, l_1 مقادیر c_2, c, c_1 را متر کشی کنیم.

$$L = R \times \theta \quad , \quad \theta = 2\varphi \Rightarrow L = R \times 2 \times \varphi \Rightarrow \varphi_i = \frac{l_i}{2R}$$

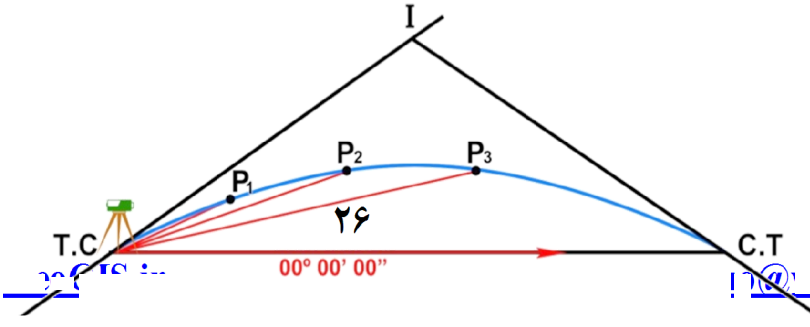
$$C = 2 \times R \times Sin(\frac{\theta}{2}) \quad , \quad \theta = 2\varphi \Rightarrow c_i = 2 \times R \times Sin(\varphi_i)$$



در نتیجه پس از محاسبه تمامی پارامترهای قوس مقادیر طول وترهای کوتاه را نیز محاسبه می‌کنیم. و از آنها جهت پیاده کردن قوس کمک می‌گیریم.

پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده به روش قطبی با استقرار در نقطه شروع قوس (T.C) و صفر صفر کردن به انتهای قوس (C.T):

تنها در محاسبه زاویه انحراف متفاوت می‌باشد در این حالت محاسبه زاویه انحراف مانند روش قبل $C.T \longrightarrow \cdots$ می‌باشد.



$$\lambda_1 = 360 - \frac{\theta}{2} + \varphi'$$

$$\lambda_2 = 360 - \frac{\theta}{2} + \varphi' + \varphi$$

$$\lambda_3 = 360 - \frac{\theta}{2} + \varphi' + 2\times\varphi$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$\lambda_n = 360 - \frac{\theta}{2} + \varphi' + n\times\varphi + \varphi'' = 360$$

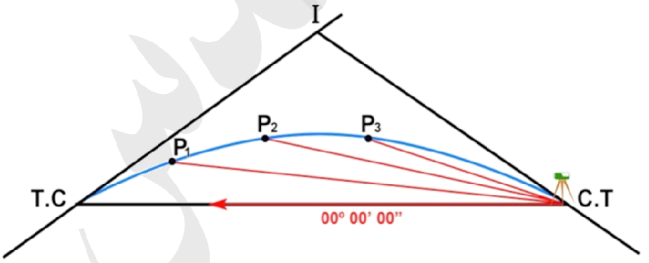
پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده به روش قطبی با استقرار در نقطه انتهای قوس (C.T) و صفر صفر کـردن بـه نقطه شروع قوس (T.C):

همانند روشی است که زاویه‌یاب در نقطه شروع قرار می‌گرفت و به رأس قوس صفر صفر می‌کردیم.

$$\varphi' = \frac{l_1}{2R}\times\frac{180}{\pi}$$

$$\varphi = \frac{l}{2R}\times\frac{180}{\pi}$$

$$\varphi'' = \frac{l_2}{2R}\times\frac{180}{\pi}$$



پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده به روش قطبی با استقرار در رأس قوس (I) صفر صفر به شروع قوس (T.C) :

ابتدا مانند تمامی روشهای دیگر پارامترهای زیر را محاسبه می‌کنیم.

$T, BI, M, L, C, km_{T.C}, km_P, km_{C.T}, \varphi', \varphi, \varphi'', l_1, l, l_2$

1) $\alpha_i = Tan^{-1}(\frac{\Delta y_i}{\Delta x_i})$

2) $D_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}$

$\Delta y_1 = R - R\times Cos(2\varphi') \Rightarrow$

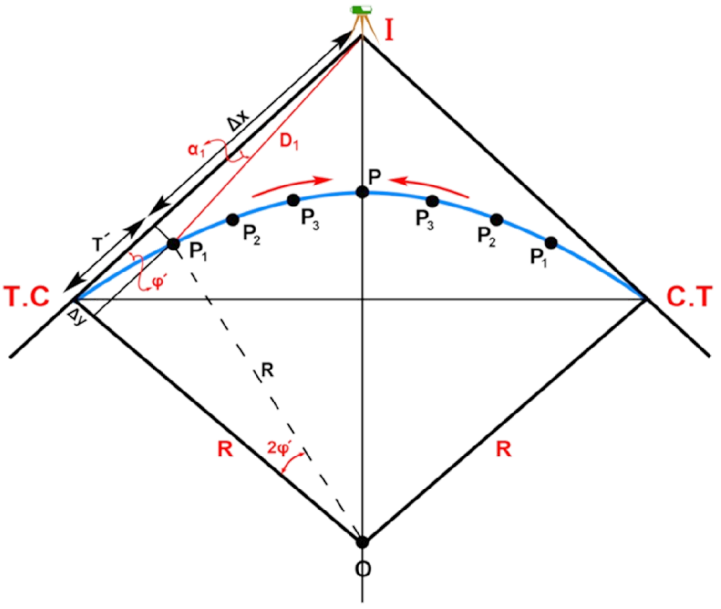
3) $\Delta y_1 = R\times(1 - Cos(2\varphi'))$

$\Delta x_1 = T - T' \quad , \quad T' = R\times Sin(2\varphi') \Rightarrow$

4) $\Delta x_1 = R\times(Tan(\frac{\theta}{2}) - Sin(2\varphi'))$

$\Delta x_2 = R\times(Tan(\frac{\theta}{2}) - Sin(2\varphi' + \varphi))$

$\Delta y_2 = R\times(1 - Cos(2\varphi' + \varphi))$



بعد از محاسبه مقادیر $\Delta y_1, \Delta x_1$ از فرمول‌های 3 و 4 آنها را در فرمول‌های 1 و 2 قرار داده تا مقدار α_1, D_1 بدست آید.

برای پیاده کردن نقطه اول زاویه‌یاب را بر روی رأس قوس مستقر کرده و به نقطه شروع قوس صفر صفر می‌کنیم سپس برای پیاده کردن نقطه P_1 زاویه $360-\alpha_1$ را به زاویه‌یاب می‌بندیم و در امتداد این زاویه از پای دوربین به طول D_1 متر کشی می‌کنیم و نقطه P_1 را میخ کوبی می‌کنیم. برای پیاده کردن نقطه بعدی در فرمول بجای مقدار φ' مقدار $\varphi'+\varphi$ قرار می‌دهیم و D_2, α_2 را به همان روش که گفته شد پیاده می‌کنیم برای نقاط بعدی نیز به همین ترتیب عمل می‌کنیم تا نیمه اول قوس (نیمه شرقی قوس) به پایان برسد حال برای پیاده کردن نیمه غربی قوس زاویه‌یاب را به نقطه C.T صفر صفر می‌کنیم.

حال برای پیاده کردن نقطه P_1' کافی است در فرمول بجای مقدار φ' از مقدار φ'' استفاده کنیم و مقادیر α_1', D_1' را بدست آورد و مانند روش قبل آن را پیاده کرد اما با این تفاوت که دیگر نمی‌خواهد بجای α' از $360-\alpha'$ استفاده کرد و خود α' را باز می‌کنیم. برای نقاط بعدی نیز بجای φ'' از $\varphi''+\varphi$ در فرمول‌ها استفاده می‌کنیم.

در نهایت دو جدول خواهیم داشت که شامل طول و زوایای هستند برای پیاده سازی دو نیم قوس شرقی و غربی.

نیمه شرقی	
α_i	D_i

نیمه غربی	
α_i'	D_i'

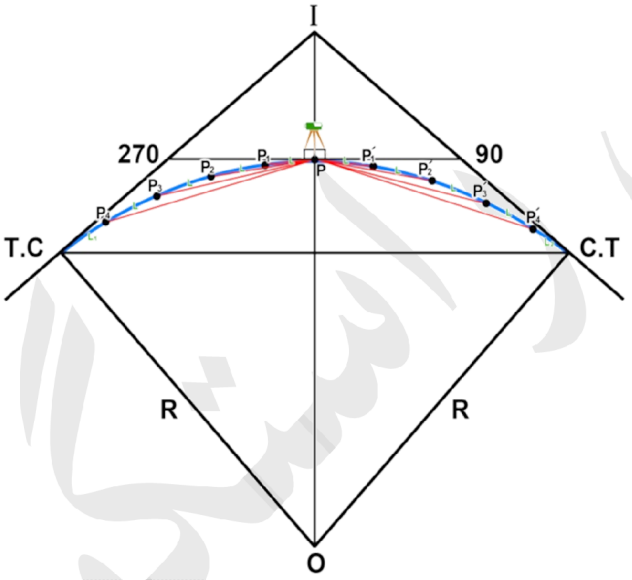
مسئله عملی:

می‌خواهیم قوس دایره‌ای ساده‌ای را به روش قطبی از رأس قوس 7^m به 7^m پیاده کنیم و مشخصات این قوس به شرح زیر می‌باشد.

$km_I = 1+156.58^m \qquad R = 40^m \qquad \theta = 90^0 30'$

پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده به روش قطبی با مستقر شدن در بالاترین نقطه قوس و صفر کردن به رأس قوس:

در این روش همانند روش‌های قبل کلیه پارامترهای قوس را محاسبه کرده سپس به پیاده کردن نقاط اصلی قوس (I,C.T, T.C, P) می‌پردازیم.



حال برای پیاده کردن قوس بر روی نقطه P مستقر شده و نقطه I صفر صفر می‌کنیم حال برای پیاده کردن نقاط قوس در نیمه شرقی (p')مقدار φها را با 90 درجه جمع می‌کنیم مثلاً نقطه p_1' بستن زاویه $\varphi+90$ و متر کشی از پای دوربین به اندازه L_1 و نقطه p_2' بستن زاویه $2\times\varphi+90$ و متر کشی از نقطه p_1' به اندازه L و ...

برای پیاده کردن نقاط قوس در نیمه غربی (p) مقدار 270 درجه از مقادیر φ کم می‌کنیم مثلاً نقطه p_1، بستن زاویه $270-\varphi$ و متر کشی به اندازه L_1 از پای دوربین و برای نقطه p_2 بستن زاویه $270-2\varphi$ و متر کشی از نقطه قبلی (p_1) به اندازه L و ...

جهت کنترل باید مجموع زوایای انحراف هر نیم قوس $\frac{\theta}{4}$ گردد. $(\sum_{i=1}^{n}\varphi_i=\frac{\theta}{4})$

مثال: جدولی جهت پیاده سازی قوس دایره‌ای ساده از روی بالاترین نقطه قوس و با صفر کردن به رأس قوس ایجاد کنید. مشخصات قوس به شرح زیر می‌باشد.

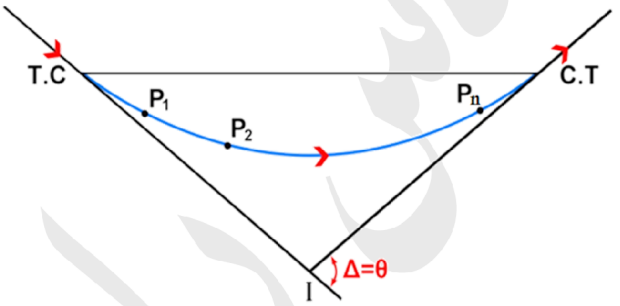
قوس 30^m به 30^m پیاده شود.

$R=150^m \qquad \Delta=\theta=80^g \qquad km_I=13+420.34$

www.jozve-naghshebardari.ir

پیاده کردن قوس‌های دایره‌ای ساده چپگرد به روش‌های قطبی

تا کنون تمام توضیحاتی که دادیم در مورد قوس‌های راستگرد بود قوس چپگرد قوسی است که رأس آن در سمت راست و مرکز آن در سمت چپ واقع گردد دقیقاً برخلاف قوس راستگرد.



حالت اول: در نقطه T.C مستقر و به I صفر صفر کنیم.

متر کشی از نقطه T.C به اندازه L_1 $\lambda_1 = 360 - \varphi'$

متر کشی از نقطه P_1 به اندازه L $\lambda_2 = 360 - \varphi' + \varphi$

اما اگر در همین شرایط بخواهیم نقاط قوس را از نقطه C.T پیاده کنیم.

متر کشی از نقطه C.T به اندازه L_2 $\lambda_1 = 360 - \frac{\theta}{2} + \varphi''$

متر کشی از نقطه P_n به اندازه L $\lambda_2 = 360 - \frac{\theta}{2} + \varphi'' + \varphi$

حالت دوم: در نقطه C.T مستقر و به نقطه I صفر صفر کنیم.

متر کشی از نقطه T.C به اندازه L_1 $\lambda_1 = \frac{\theta}{2} - \varphi'$

متر کشی از نقطه P_1 به اندازه L $\lambda_2 = \frac{\theta}{2} - \varphi' + \varphi$

اما اگر در همین شرایط بخواهیم نقاط قوس را از نقطه C.T پیاده کنیم.

متر کشی از نقطه C.T به اندازه L_2 $\lambda_1 = \varphi''$

متر کشی از نقطه P_n به اندازه L $\lambda_2 = \varphi'' + \varphi$

حالت سوم: در نقطه T.C مستقر و به نقطه C.T صفر صفر کرده باشیم.

متر کشی از نقطه C.T به اندازه L $\lambda_1 = \frac{\theta}{2} - \varphi'$

متر کشی از نقطه P_1 به اندازه L $\lambda_2 = \frac{\theta}{2} - \varphi' + \varphi$

اما اگر در همین شرایط بخواهیم نقاط قوس را از نقطه C.T پیاده کنیم.

متر کشی از نقطه C.T به اندازه L_2 $\lambda_1 = \varphi''$

متر کشی از نقطه P_n به اندازه L $\lambda_2 = \varphi'' + \varphi$

حالت چهارم: چنانچه در نقطه C.T مستقر و به نقطه T.C صفر صفر کنیم.

متر کشی از نقطه T.C به اندازه L_1 $\lambda_1 = 360 - \varphi'$

متر کشی از نقطه P_1 به اندازه L $\lambda_2 = 360 - \varphi' + \varphi$

اما اگر در همین شرایط بخواهیم نقاط قوس را از نقطه C.T پیاده کنیم.

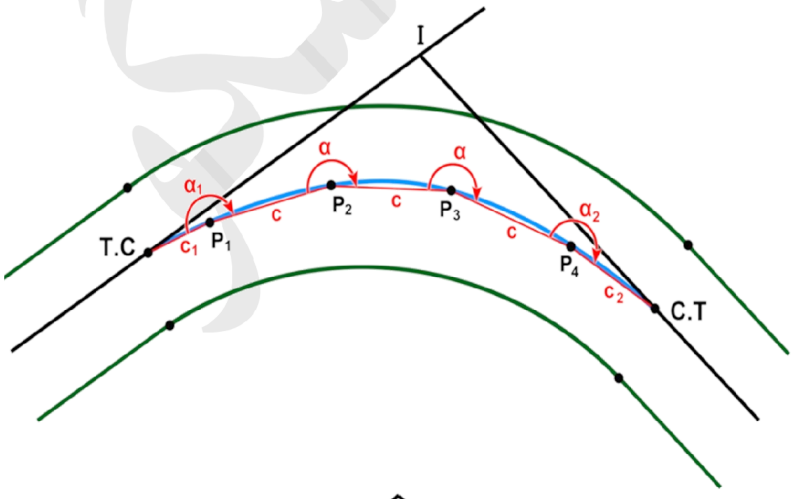
متر کشی از نقطه C.T به اندازه L_2 $\lambda_1 = 360 - \frac{\theta}{2} + \varphi''$

متر کشی از نقطه P_n به اندازه L $\lambda_2 = 360 - \frac{\theta}{2} + \varphi'' + \varphi$

پیاده کردن قوس با وجود مانع

الف) پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده با وجود مانع دید برای پیاده کردن نقاط (پیاده کردن قوس با قرار گیری بر روی نقاط خود قوس) :

در برخی مواقع به علت وجود مانع دید ما نمی‌توانیم از یک ایستگاه اقدام به پیاده کردن کل قوس کنیم و به اجبار باید بر روی نقاط خود قوس مستقر شویم که دید لازم را برای ما فراهم کند. مثلاً در تونل‌ها و یا وجود ساختمان‌های مانع دید.



روش A

$C_1 = 2 \times R \times Sin(\varphi')$

$C = 2 \times R \times Sin(\varphi)$

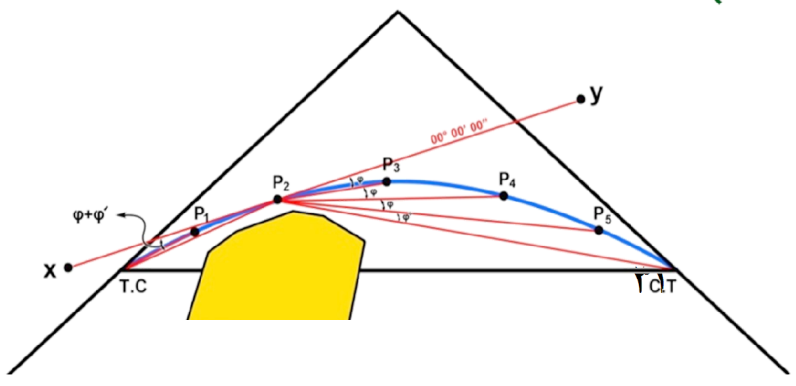
$C_2 = 2 \times R \times Sin(\varphi'')$

$\alpha_1 = \varphi' + \varphi + 180$

$\alpha = \varphi + \varphi + 180 = 2\varphi + 180$

$\alpha_2 = \varphi + \varphi'' + 180$

C : طول وترهای کوچک



روش B

در این روش تا حدی که می‌توان نقاط را پیاده کرد آنها را پیاده می‌کنیم بعد بر روی آخرین نقطه پیاده شده می‌رویم و به T.C صفر صفر کرده و به اندازه مجموع زاویه‌های انحرافی که پیاده کردیم زاویه‌یاب را می‌بندیم و نقطه x را ایجاد می‌کنیم سپس آن را 180 درجه چرخانده و نقطه y را ایجاد می‌کنیم حال نقطه y مانند نقطه I عمل می‌کند پس به y صفر صفر کرده و زوایای انحراف بعدی را باز می‌کنیم و نقاط بعدی را پیاده می‌کنیم.

مسئله عملی:

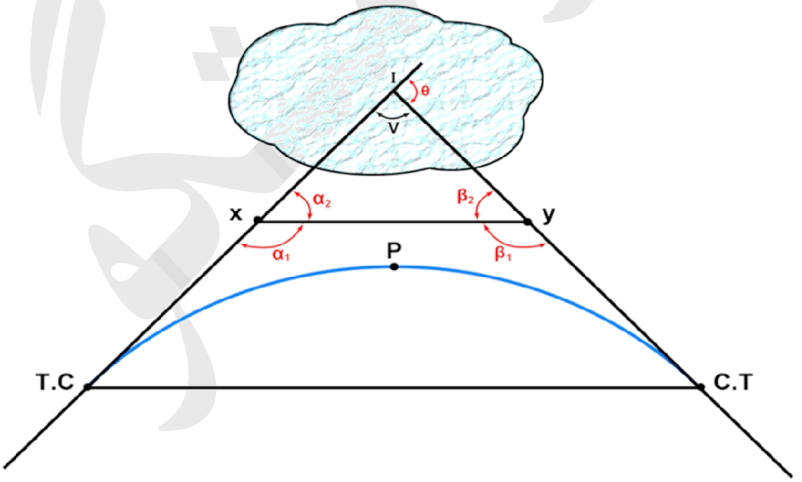
قوس دایره‌ای ساده‌ای داریم با مشخصات زیر، به علت وجود مانع می‌خواهیم آن را با استقرار بر روی نقاط قوس (روش B) 7^m به 7^m پیاده کنیم. مطلوب است جدولی جهت پیاده سازی این قوس.

$R = 200^m \quad \Delta = 31^0\ 50' \qquad km_{T.C} = 1+194.3^m$

ب) پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده با وجود مانع دید در رأس قوس:

اگر مانع در رأس قوس قرار داشته باشد نمی‌دانیم از کجا به اندازه طول تانژانت‌ها اندازه گیری کنیم تا بتوانیم نقاط T.C , C.T را بیابیم.

در چنین شرایطی دو نقطه روی دو امتداد مماس ورودی و خروجی اختیار می‌کنیم مثلاً با نامهای x و y و آنها را میخ کوبی می‌کنیم و فاصله بین x و y را به دقت و به صورت افقی اندازه گیری می‌کنیم و سپس زاویه‌یاب را به ترتیب بر روی این دو نقطه قرار داد. و زوایای α_1, β_1 را قرائت می‌کنیم.



حال می‌توان با استفاده از روابط مثلثات طول‌های $\overline{x-T.C}$ و $\overline{y-C.T}$ را بدست آورد و حال می‌توانیم نقاط شروع و پایان قوس را پیاده کنیم.

$\alpha_2 = 180 - \alpha_1 \quad , \quad \beta_2 = 180 - \beta_1 \quad , \quad \frac{Sin(v)}{\overline{xy}} = \frac{Sin(\beta_2)}{\overline{xI}} \Rightarrow$

$\overline{xI} = \frac{\overline{xy} \times Sin(\beta_2)}{Sin(v)} \quad , \quad \frac{Sin(v)}{\overline{xy}} = \frac{Sin(\alpha_2)}{\overline{yI}} \Rightarrow \overline{yI} = \frac{\overline{xy} \times Sin(\alpha_2)}{Sin(v)}$

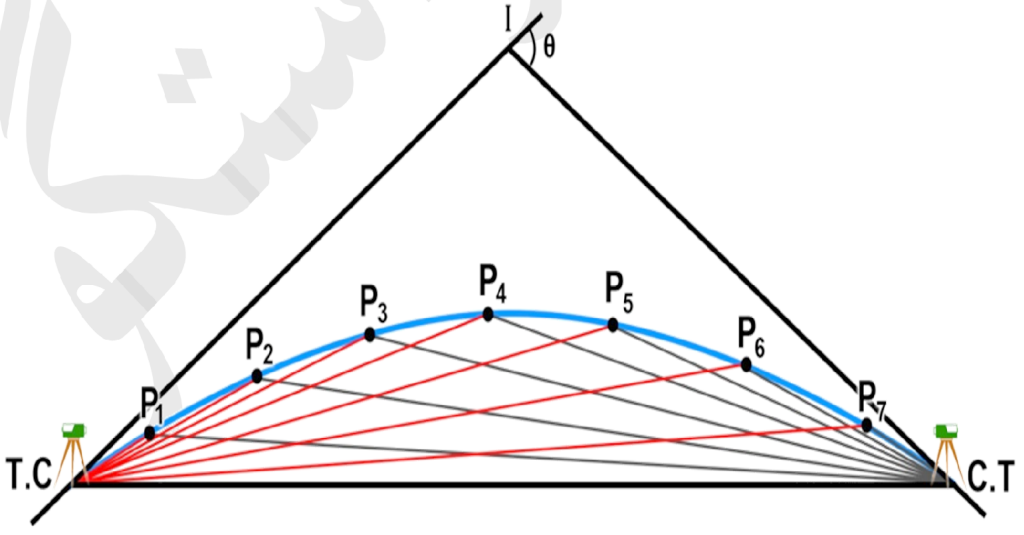
$\Rightarrow T = R \times Tan(\frac{\theta}{2}) \quad , \quad \overline{x-T.C} = T - \overline{xI} \quad , \quad \overline{y-C.T} = T - \overline{yI}$

مثال: اگر رأس قوس دایره‌ای ساده‌ای از بین رفته باشد و تنها دو نقطه بر روی طول‌های مماس باقی مانده باشد (Tp_1 , Tp_2) و فاصله بین 50^m باشد محاسبه کنید که از هر نقطه چقدر باید در راستای خط مستقیم اندازه گیری شود تا به نقاط شروع و پایان قوس رسید. (فاصله نقاط Tp_1 , Tp_2 از رأس به یک اندازه می‌باشد)

$R = 200^m \quad \Delta = 90^0$

ب) پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده به روش دو قطبی:

در این روش از دو زاویه‌یاب استفاده می‌شود بدون استفاده از متر این روش دارای دقت بالایی است و بیشتر در مناطق کوهستانی که عملیات متر کشی مشکل و نسبتاً بی دقت است استفاده می‌شود برای انجام این روش دو زاویه‌یاب می‌تواند یکی در T.C و دیگری در C.T مستقر شود و یا حالت دیگر که می‌تواند یکی از زاویه‌یاب در راس قوس I قرار گیرد در این حالت روش اجرای یکسان بوده و تنها در محاسبات متفاوت است. که قبلاً روشهای مختلف محاسباتی را از نقاط مختلف قوس فرا گرفتیم. لذا می‌پردازیم به یکی از حالات که دو زاویه‌یاب در نقاط T.C , C.T مستقر هستند و هر دو به نقطه I صفر صفر می‌شوند.



زاویه انحراف تصحیح شده نسبت به خط مماس $\overline{CT-I}$	زاویه انحراف نسبت به خط مماس $\overline{CT-I}$	زاویه انحراف تصحیح شده نسبت به خط مماس $\overline{TC-I}$	زاویه انحراف نسبت به خط مماس $\overline{TC-I}$	زاویه انحراف بین نقاط	کیلومتراژ نقاط	فاصله بین نقاط بر حسب متر	شماره نقاط
					$KM_{T.C}$		T.C

	L_1						
P_1		KM_{P1}	φ'	φ'	$\varphi' \pm \varepsilon$	$360 - \frac{\theta}{2} + \varphi'$	$360 - \frac{\theta}{2} + \varphi' \pm \varepsilon$
P_2	L	KM_{P2}	φ	$\varphi' + \varphi$	$\varphi' + \varphi \pm \varepsilon$	$360 - \frac{\theta}{2} + \varphi' + \varphi$	$360 - \frac{\theta}{2} + \varphi' + \varphi \pm \varepsilon$
P_3	L	KM_{P3}	φ	$\varphi' + 2\varphi$	$\varphi' + 2\varphi \pm \varepsilon$	$360 - \frac{\theta}{2} + \varphi' + 2\varphi$	$360 - \frac{\theta}{2} + \varphi' + 2\varphi \pm \varepsilon$
P_4	L	KM_{P4}	φ	$\varphi' + 3\varphi$	$\varphi' + 3\varphi \pm \varepsilon$	$360 - \frac{\theta}{2} + \varphi' + 3\varphi$	$360 - \frac{\theta}{2} + \varphi' + 3\varphi \pm \varepsilon$
P_5	L	KM_{p5}	φ	$\varphi' + 4\varphi$	$\varphi' + 4\varphi \pm \varepsilon$	$360 - \frac{\theta}{2} + \varphi' + 4\varphi$	$360 - \frac{\theta}{2} + \varphi' + 4\varphi \pm \varepsilon$
P_6	L	KM_{P6}	φ	$\varphi' + 5\varphi$	$\varphi' + 5\varphi \pm \varepsilon$	$360 - \frac{\theta}{2} + \varphi' + 5\varphi$	$360 - \frac{\theta}{2} + \varphi' + 5\varphi + \varphi \pm \varepsilon$
C.T	L_2	$KM_{c.T}$	φ''	$\varphi' + 6\varphi + \varphi''$	$\frac{\theta}{2}$	$360 - \frac{\theta}{2} + \varphi' + 5\varphi + \varphi''$	360

مسئله عملی:

قوس دایره‌ای ساده‌ای داریم می‌خواهیم آن را به روش دو قطبی از نقاط شروع قوس (T.C) و رأس قوس I پیاده کنیم. 7^m به 7^m

$R = 100 \quad \theta = 48^0 30'$

$KMI = 1 + 250.13$

ج) پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده به روش افست[1]:

در این روش از متر و با استفاده از طول و عرض یا y و x ، نقاط قوس پیاده می‌شود. اجرای این روش در قوس‌هایی با شعاع کوچک و در مناطق روستایی و یا پارک‌ها و یا امثال این‌ها اجرا می‌شود. و به چند روش می‌توان آنها را اجرا کرد که دو روش متداول آن به شرح زیر می‌باشد.

۱) با استفاده از وتر بزرگ قوس

۲) با استفاده از طول تانژانت یا خط مماس قوس

۱. پیاده کردن قوس دایره ساده به روش افست با استفاده از وتر بزرگ قوس:

مطابق شکل در این روش نیمی از قوس از نقطه D (وسط وتر بزرگ) به سمت چپ و نیم دیگر از نقطه D به سمت راست پیاده می‌شود در واقع مبدأ مختصات نقطه D می‌باشد. جهت بدست آوردن مقادیر x و y برای هر

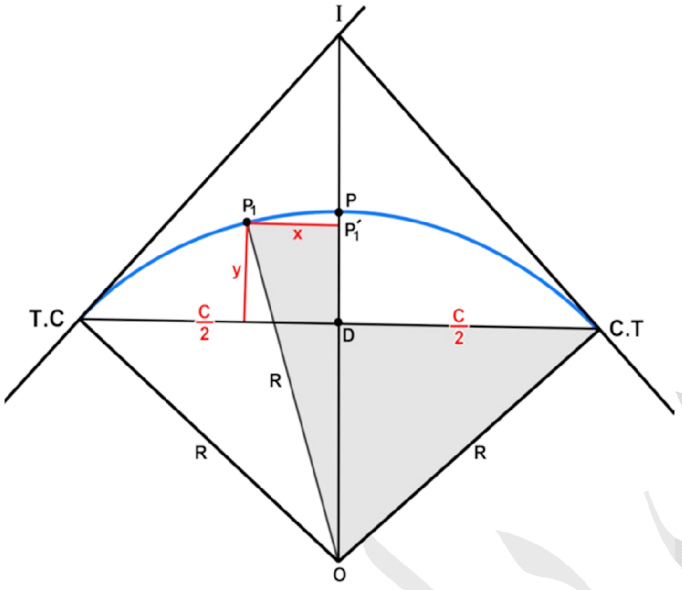
[1] Offset

نقطه می‌توان از روابط زیر بهره برد. در این حالت مقدار x که به صورت دلخواه است مثلاً 7^m به 7^m ، ولی مقـدار y را باید نسبت به مقدار x محاسبه کرد.

$$y = \overline{P_1'O} - \overline{DO}$$

$$\Delta OP_1P_1' \Rightarrow \overline{P_1'O} = \sqrt{R^2 - x^2}$$

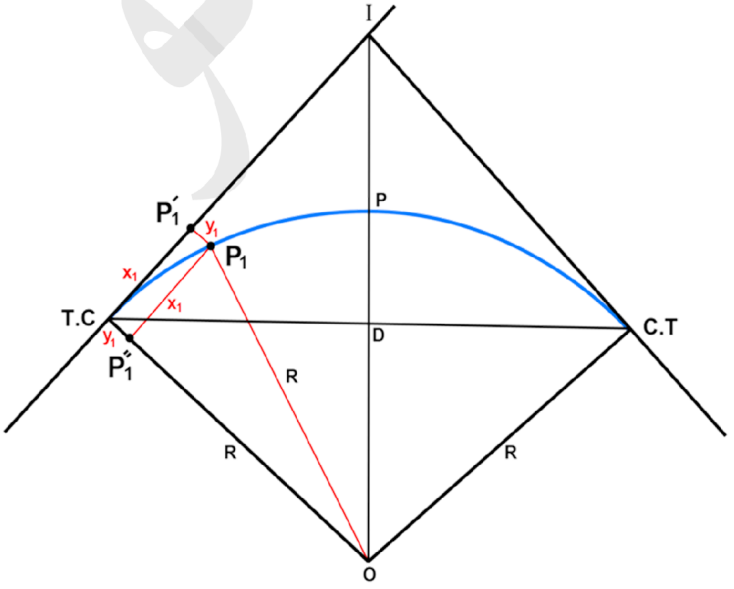
$$\Delta ODCT \Rightarrow \overline{DO} = \sqrt{R^2 - (\frac{C}{2})^2} \Rightarrow y = \sqrt{R^2 - x^2} - \sqrt{R^2 - (\frac{C}{2})^2}$$



شماره نقاط	X	Y

۲. پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده به روش افست با استفاده از طول تانژانت:

در این روش نیمی از قوس با طول تانژانت ورودی نیمه دیگر قوس به کمک طول تانژانت خروجی پیاده می‌شود. همچنین در این روش مبدأ به ترتیب در نقاط C.T و T.C واقع شده و محور xها در نیمـه اولـی قـوس جهـت T.C به I و در نیمه دوم جهت C.T به I خواهد بود و محور yها عمود بر این امتداد در نقاط مختلف خواهد بود.



$$y = R - \overline{O.P_1''}$$

$$\Delta OP_1P_1'' \Rightarrow OP_1'' = \sqrt{R^2 - x^2}$$

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

مثال: می‌خواهیم یک قوس دایره‌ای ساده را ۵۰ متر به ۵۰ متر به هر دو روش offset پیاده کنیم مطلوب است محاسبات آن و تهیه جداول آنها جهت پیاده کردن به هر دو روش

$R=300 \qquad \Delta=85^{0}15' \qquad km_{I}=10+137.12$

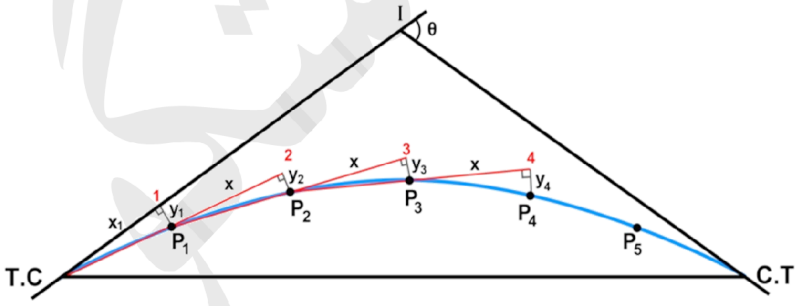
همان طور که در اوایل درس گفته شد بجز سه روش قطبی ، دو قطبی ، آفست دو روش دیگر نیز برای پیاده کردن قوس وجود دارد که به شرح آنها می‌پردازیم.

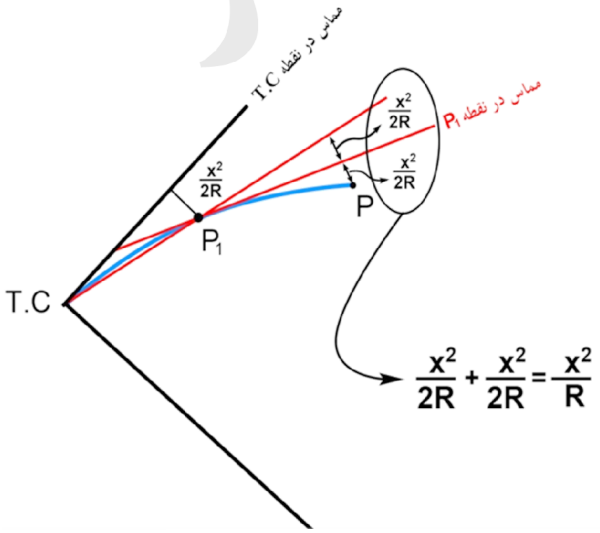
د) پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده با وترهای متوالی:

در این روش نیز کلیه پارامترهای قوس را محاسبه کرده دوربین را در نقطه T.c مستقر کرده و به I صفر صفر می‌کنیم در این راستا به اندازه x متر کشی می‌کنیم تا نقطه 1 ایجاد شود سپس از نقطه یک عمودی بر راستای T.C-I به طول $\frac{x^2}{2R}$ اخراج می‌کنیم.

تا به اولین نقطه قوس P1 برسیم حال در راستای P_1-T.C از نقطه P_1 به اندازه X جلو می‌رویم و به نقطه 2 می‌رسیم حال دوربین را به نقطه 1 برده و به نقطه قبلی (P1) صفر صفر می‌کنیم و عمودی از نقطه 2 بر امتداد P_1-T.C به طول $\frac{x^2}{R}$ اخراج می‌کنیم.

تا دومین نقطه قوس P_2 حال مراحل قبل را تکرار می‌کنیم تا تمامی نقاط قوس پیاده شوند.

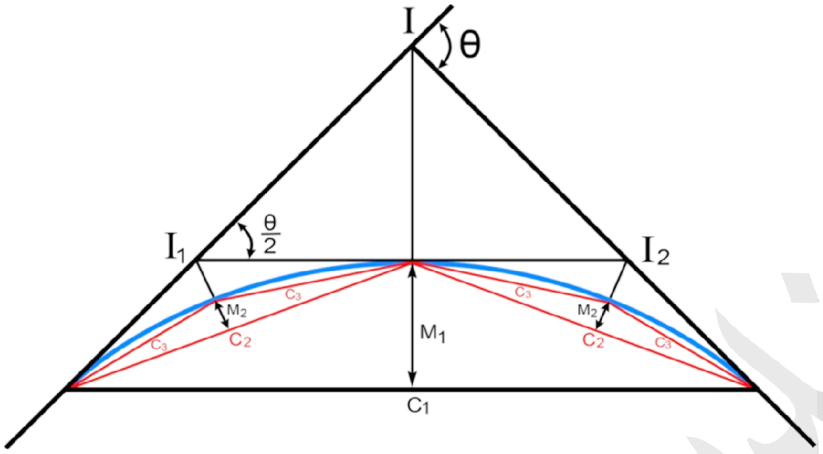




نکته: چون تنها امتداد اول (تانژانت) هست که بر نقطه مماس است پس به اندازه $\frac{x^2}{2R}$ زاویه داریم.

ه) پیاده کردن قوس به کمک عمود منصف‌های وترهای کوچک:

در این روش نیز مانند روشهای قبل ابتدا کلیه پارامترهای قوس را بجز φ و l محاسبه می‌کنیم در این روش برای هر نقطه دو پارامتر باید محاسبه شود. (M,C)



نقاط درجه یک

$$C_1 = 2 \times R \times Sin(\frac{\theta}{2})$$

$$M_1 = R \times (1 - Cos(\frac{\theta}{2}))$$

نقاط درجه دوم

$$C_2 = 2 \times R \times Sin(\frac{\theta}{4})$$

$$M_2 = R \times (1 - Cos(\frac{\theta}{4}))$$

نقاط درجه سوم

$$C_3 = 2 \times R \times Sin(\frac{\theta}{8})$$

$$M_3 = R \times (1 - Cos(\frac{\theta}{8}))$$

نقاط درجه چهارم

$$C_4 = 2 \times R \times Sin(\frac{\theta}{16})$$

$$M_4 = R \times (1 - Cos(\frac{\theta}{16}))$$

مسئله عملی:

می‌خواهیم قوس دایره‌ای ساده‌ای را به روش عمود منصف‌های وترها تا درجه چهارم محاسبه و تا درجه سوم پیاده کنیم.

$R = 70^{m} \quad \theta = 28^{0}10' \quad km_1 = 1+124.94$

فصل ۳

قوس مرکب

الف) قوس مرکب مستقیم

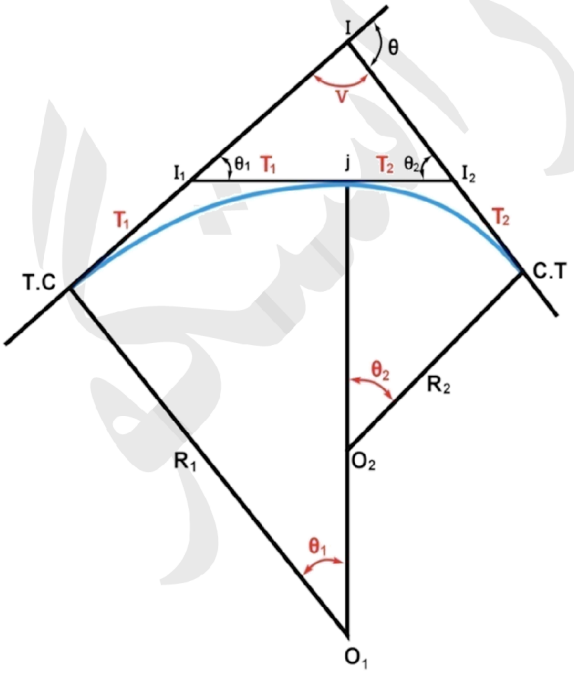
این نوع قوس‌ها تشکیل شده از دو یا سه و یا چهار قوس دایره‌ای ساده که تمام مراکز آنها در یک سمت قرار دارد از این نوع قوس‌ها بیشتر در راه آهن و بزرگراه‌ها استفاده می‌شود.

اِشکالی که در این نوع قوس‌ها (قوس‌های مرکب) دیده می‌شود این است که در نقاط تماس مشترک دایره‌ها تغییرات آنی شیب عرضی (dever) و تغییر انحنا منحنی‌ها را خواهید داشت از این رو است که در طراحی قوس‌های مرکب که بیشتر دو دایره‌ای آن متداول است شعاع قوس کوچکتر باید از $\frac{2}{3}$ شعاع قوس بزرگتر کمتر نباشد.

یعنی اگر شعاع قوس دایره‌ای بزرگتر 300^{m} باشد حداقل شعاع قوس دایره کوچکتر باید 200^{m} انتخاب شود.

و همچنین در طراحی این نوع قوس‌ها، طول قوس کلی نباید از 150^{m} کمتر شود.

همواره سعی بر این است که با هزینه کمتر بجای قوس مرکب از یک قوس دایره‌ای ساده با شعاع بزرگتر استفاده شود. شکل زیر یک قوس دایره‌ای مرکب دو مرکزی را با دو شعاع متفاوت نشان می‌دهد و همچنین محاسبات مربوطه را.



$$\theta = \theta_1 + \theta_2$$

همان طور که در شکل نیز واضح است این قوس دارای دو طول تانژانت نامساوی می‌باشد پس داریم:

$$T_1 = R_1 \times Tan(\frac{\theta_1}{2})$$
$$T_2 = R_2 \times Tan(\frac{\theta_2}{2})$$
$$\Rightarrow \overline{I_1 I_2} = T_1 + T_2$$

حال برای بدست آوردن کیلومتراژ نقطه شروع و پایان قوس به طول‌های $\overline{I_2 I}, \overline{I_1 I}$ نیاز داریم که با استفاده از روابط ساده سینوسی قابل محاسبه می‌باشد پس از محاسبه کیلومتراژهای نقاط شروع و پایان قوس کلیه پارامترهای دو قوس را محاسبه کرده و در دو جدول می‌آوریم. برای کنترل زوایای انحراف محاسبه شده باید در معادله زیر صدق کند.

در قوس دوم $\sum_{i=1}^{n} \varphi_i = \frac{\theta_2}{2}$ در قوس اول $\sum_{i=1}^{n} \varphi_i = \frac{\theta_1}{2}$

روش پیاده کردن قوس مرکب مشابه روشهای پیاده کردن قوس دایره‌ای ساده می‌باشد چون قوس مرکب همان قوس دایره‌ای است اما با تعداد بیشتر.

مسئله عملی:

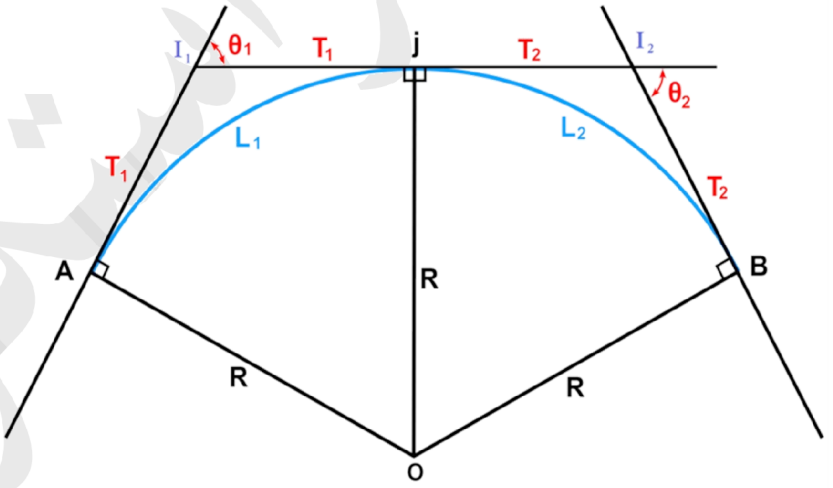
می‌خواهیم در مسیری از قوس مرکبی که دارای دو قوس دایره‌ای ساده با مشخصات $R_1 = 49.5^{m}$, $\theta_1 = 55^{\circ}$ و $R_2 = 35^{m}$, $\theta_2 = 70^{\circ}$ می‌باشد استفاده کنیم. مطلوب است جدولی جهت پیاده سازی این قوس به صورتی که قوس اول آن را 5^{m} به 5^{m} و قوس دوم آن را 4^{m} به 4^{m} از نقطه J پیاده شود.

$km_I = 1+125.51$

حالت خاص قوس دایره‌ای مرکب مستقیم:

می‌توان قوس دایره‌ای مرکب مستقیم را از دو قوس دایره‌ای ساده با شعاع یکسان طراحی نمود. که دارای نقطه مشترکی در محل اتصال دو تانژانت (j) می‌باشد. استفاده از این نوع قوس بیشتر در مناطقی که فاصله بین دو نقطه شکست کم باشد (فاصله I_2 تا I_1 کم باشد) و یا جهت دور زدن در دامنه کوه استفاده می‌شود.

معلومات این قوس مقادیر θ_1, θ_2 و فاصله I_2 تا I_1 می‌باشد حال برای محاسبه کلیه پارامترهای دو قوس و پیاده کردن آنها به مقدار R نیاز داریم.



$$1)\ T_1 = R \times Tan(\frac{\theta_1}{2})$$
$$2)\ T_2 = R \times Tan(\frac{\theta_2}{2})$$
$$\Rightarrow T_1 + T_2 = \overline{I_1 I_2} = R \times Tan(\frac{\theta_1}{2}) + R \times Tan(\frac{\theta_2}{2}) \Rightarrow R = \frac{\overline{I_1 I_2}}{Tan(\frac{\theta_1}{2}) + Tan(\frac{\theta_2}{2})}$$

با محاسبه تمام پارامترهای دو قوس حال می‌توان به هر یک از روشهای توضیح داده شده قبل، این نوع قوس را پیاده نمود.

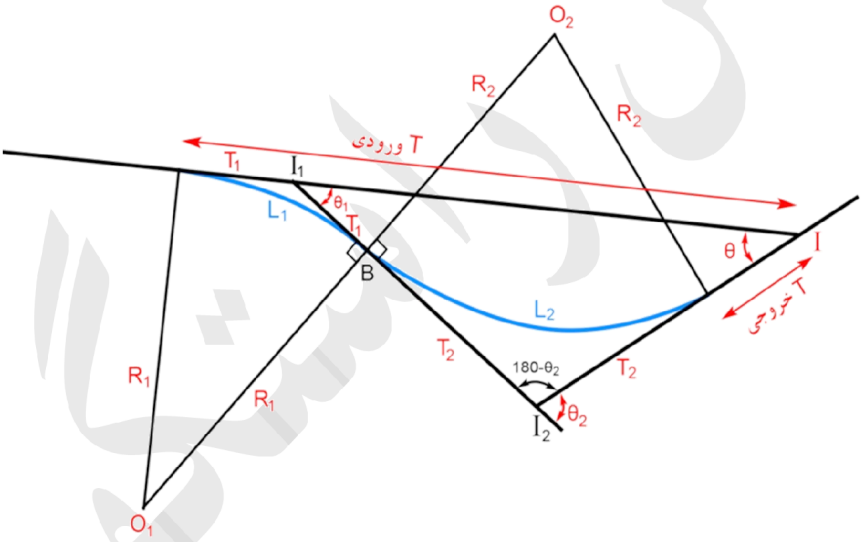
www.jozve-naghshebardari.ir

مسئله: اگر مجموع دو طول تانژانت در یک قوس مرکب مستقیم با شعاع برابر 100^{m} باشد و زوایای انحراف اول و دوم به ترتیب $\theta_1 = 50^0$, $\theta_2 = 60^0$ باشد مطلوب است کلیه پارامترهای دو قوس.

ب) قوس مرکب معکوس

این نوع قوس‌ها تشکیل شده از دو قوس دایره‌ای ساده که مراکز آنها در یک سمت قرار ندارد (یکی چپگرد و دیگری راستگرد) در طراحی این نوع قوس‌های سعی می‌شود که شعاع این دو قوس با هم برابر انتخاب گردد. از این نوع قوس‌ها بیشتر در مناطق کوهستانی استفاده می‌شود.

در شکل زیر یک قوس مرکب معکوس با شعاع متفاوت نشان داده شده.



$$\theta_2 = \theta + \theta_1 \Rightarrow \theta = \theta_2 - \theta_1$$

ورودی $T = T_1 + \overline{II_1}$ خروجی $T = \overline{II_2} - T_2$

برای بدست آوردن $\overline{I_1I}, \overline{I_2I}$ در مثلث II_1I_2 داریم:

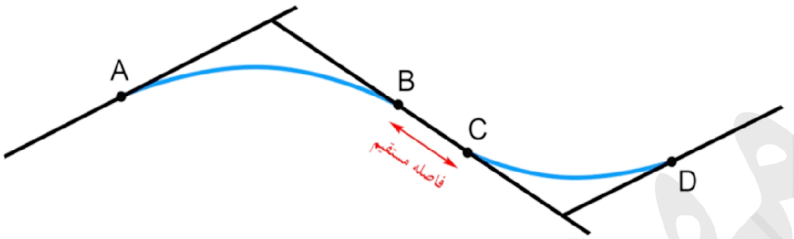
$$\frac{Sin(\theta_1)}{\overline{II_2}} = \frac{Sin(\theta)}{T_1 + T_2} = \frac{Sin(\theta_2)}{\overline{II_1}} \Rightarrow \overline{II_1} = \frac{(T_{+1} T_2)Sin(\theta_2)}{Sin(\theta)} \ , \ \overline{II_2} = \frac{(T_1 + T_2)Sin(\theta_1)}{Sin(\theta)}$$

همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌کنید نقطه B محل مماس‌های مشترک می‌باشد و شعاع‌های دو قوس در این نقطه بر طول تانژانت‌ها عمود می‌شوند.

روش پیاده کردن این نوع قوس‌ها نیز مشابه به قوس‌های دایره‌ای ساده می‌باشد.

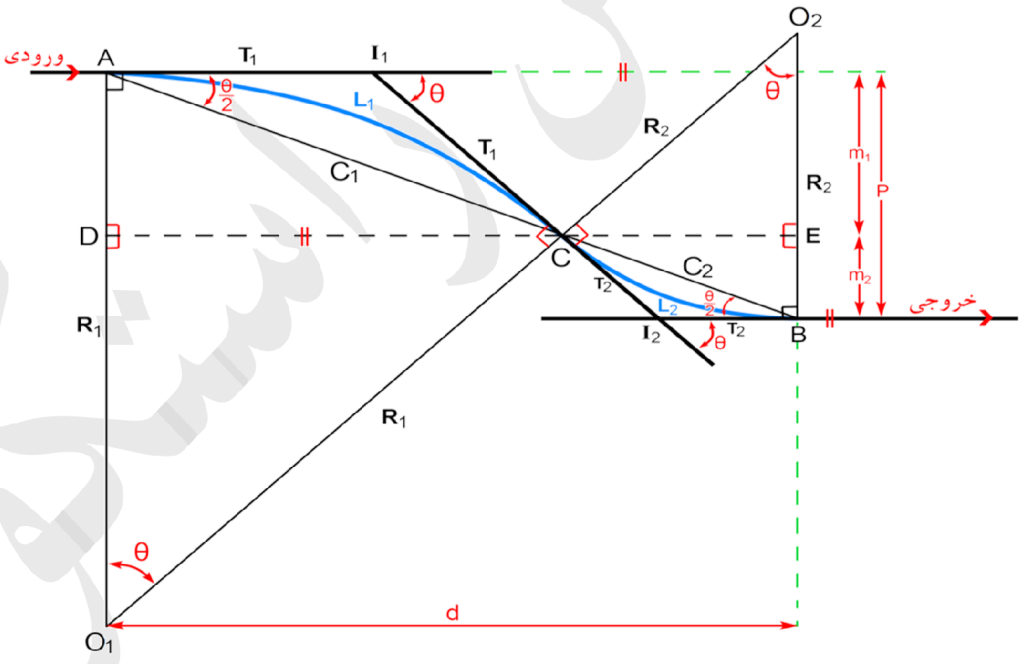
مشکل این نوع قوس‌ها در این است که در نقطه مماس مشترک ما دارای تغییر انحناء و تغییر شیب عرض شدیدی خواهیم بود.

نکته: به دلیل مشکل تغییر ناگهانی انحناء و شیب عرض در نقطه مماس مشترک، در طراحی‌های این نوع قوس‌ها سعی بر این است که بین دو قوس از یک فاصله مستقیم استفاده شود مانند شکل:



حالت خاص اول قوس مرکب معکوس: $(\theta_1 = \theta_2 \ , \ \Delta_1 = \Delta_2)$

زمانی که دو زاویه انحراف با هم برابر باشد در نتیجه دو مماس ورودی و خروجی با هم موازی خواهد بود. مانند شکل.



$R_1 \neq R_2 \quad , \quad P = m_1 + m_2 \quad , \quad d = \overline{DC} + \overline{CE}$

$$\Delta DCO_1 : Sin(\theta) = \frac{DC}{R_1} \Rightarrow DC = R_1 \times Sin(\theta)$$

$$\Delta CEO_2 : Sin(\theta) = \frac{CE}{R_2} \Rightarrow CE = R_2 \times Sin(\theta)$$

$$\Rightarrow d = R_1 \times Sin(\theta) + R_2 \times Sin(\theta) \Rightarrow d = (R_1 + R_2)Sin(\theta)$$

$$m_1 = R_1 - \overline{DO_1} \quad , \quad \Delta DCO_1 : Cos(\theta) = \frac{\overline{DO_1}}{R_1} \Rightarrow \overline{DO_1} = R_1 \times Cos(\theta)$$

$$\Rightarrow m_1 = R_1 - R_1 \times Cos(\theta) \Rightarrow m_1 = R_1(1 - Cos(\theta)) \qquad ((1))$$