دانشگاه آزاداسلامی واحدشبستر

راه سازی

استاد ارجمند:

جناب آقای مهندس رسولی

شعبه یک : مجتمع شماره یک دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر جنب سلف خواهران (کانکس)

شعبه دو : مجتمع شماره دو (ساختمان ورودی شهر) دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر (کانکس)

۲-۱- تعریف : مسیر خطی است بر روی زمین که بین دو نقطه مشخص به نام مبدأ و مقصد انتخاب می شود و در امتداد آن یک راه طراحی و احداث می گردد.

۲-۲- عوامل تعیین کننده مسیر راه :

① دسترسی : یک راه علاوه بر اتصال دو نقطه مبدأ و مقصد باید دسترسی مراکز جمعیتی بین مبدأ و مقصد را نیز تأمین نماید. این تصمیم که مسیر از کدام مراکز جمعیتی واقع بین مبدأ و مقصد بگذرد، یک تصمیم اقتصادی-سیاسی است که به عوامل زیر بستگی دارد:

- اهمیت راه و اهمیت شبکه ای که راه عضوی از آن است.
- اهمیت نقاط بین راهی از نظر جمعیت، توسعه اقتصادی و سیاسی
- وجود راههای ارتباطی دیگر برای نقاط بین راهی
- حجم ترافیک بین مبدا و مقصد
- حجم ترافیک نقاط بین راهی
- هزینه اضافی که عبور از این نقاط ایجاب می کند.

② عوارض طبیعی : شامل پستی و بلندی های زمین، کوه، دریاچه و رودخانه است. گذشتن از عوارض طبیعی مستلزم انجام خاکبرداری، خاکریزی، احداث پل و تونل می باشد که هزینه های زیادی را در بر دارد. برای کاهش هزینه توجه به نکات زیر الزامی است:

۱- مسیر باید طوری تعیین شود که با حفظ ضوابط طرح هندسی، مقدار خاکبرداری و خاکریزی به حداقل کاهش یابد.

۲- مسیر باید طوری تعیین شود که با حفظ ضوابط طرح هندسی، از پستی و بلندی های طبیعی پیروی کند و با محیط خود هماهنگی داشته باشد.

③ ضوابط طرح هندسی : هدف از طرح هندسی احداث یک راه ایمن و متناسب با حجم ترافیک، سرعت وسایل نقلیه و خصوصیات رانندگان است. ضوابط طرح هندسی عبارتند از:

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

- حداکثر شیب طولی
- حداکثر طول هر شیب
- حداقل شعاع قوسهای افقی
- حداقل طول قوس قائم
- حداقل فواصل دید
- مقاطع عرضی (عرض راه - عرض شانه - شیب عرضی و ...)

۴) مطالعات زمین شناسی: این مطالعات از چند نظر قابل اهمیت است:

- شناخت مناطقی که احتمال لغزش و ریزش در آن زیاد است (حتی الامکان سعی گردد راه از این مناطق عبور نکند)
- شناخت رانش، لغزش و نشست لایه‌هایی که راه بر روی آن قرار می‌گیرد به منظور ثبات و استحکام راه
- شناخت آبهای زیرزمینی خصوصاً در محل احداث تونلها و تعیین ارتفاع خاکریزها

۵) مقاومت زمین: این پارامتر چه از نظر قرارگیری خاکریزها بر روی زمین و چه از نظر احداث پلها و دیوارها عامل موثری در انتخاب مسیر است. مخارج احداث راه بر روی زمینهای سست و با تلاقی بسیار زیاد است و حتی الامکان باید سعی گردد مسیر از این مناطق عبور داده نشود.

۶) وجود مصالح مناسب: دوری یا نزدیکی مسیر راه از معادن مصالح در مخارج راه و در نتیجه در انتخاب مسیر آن تأثیرگذار است

۷) نگهداری راه: انتخاب مسیر راه در چگونگی و مخارج نگهداری راه تأثیر می‌گذارد. لذا رعایت تدابیر زیر الزامی است.

- در مناطق کوهستانی باید نقاط برف‌گیر و بهمن‌گیر را شناخت و سعی نمود که راه از چنین نقاطی نگذرد.
- در مناطق کویری باید جهت باد را شناسایی کرد و مسیر را طوری قرار داد که برف و ماسه‌های روان در روی آن انباشته نشود.
- در صورت اجبار عبور از نقاط برف‌گیر و ماسه‌گیر باید راه را بر روی خاکریز قرار داد و نه در خاکبرداری تا به صورت گودال جمع‌کننده برف و ماسه‌های روان در نیاید.
- در مناطق سردسیر مسیر راه در طرفی از دره قرار گیرد که آفتاب‌گیر باشد.

۸) زیبایی راه:

- هماهنگ سازی قوسهای افقی و قائم
- پیروی مسیر راه از وضعیت طبیعی زمین و بافت شهری
- با انحراف مختصر مسیر، نقاط دیدنی مثل رودخانه، فضای سبز، آبشار و ... را به مسیر نزدیک کنیم.

⑨ حفظ محیط طبیعی :

- عدم تخریب جنگلها
- حفاظت از منابع طبیعی
- رعایت رژیم طبیعی رودخانه‌ها و آبهای سطحی
- عدم آلودگی هوای پارکها و گردشگاههای عمومی
- عدم آلودگی صوتی مناطق مسکونی، بیمارستانها، پارکها و گردشگاهها

⑩ حفظ محیط انسانی :

- برهم نزدن وضع اجتماعی و زندگی مردم
- عدم عبور مسیر از وسط آبادیها و روستاها
- عدم عبور مسیر از مراکز فرهنگی، تاریخی، باستانی، مذهبی و قبرستانها
- عدم عبور مسیر از زمینهای کشاورزی، باغات و...

⑪ مخارج مسیر: در انتخاب مسیر راه باید مخارج طراحی، ساخت، نگهداری و بهره برداری آن را لحاظ نمود.

۲-۳- مراحل مختلف تعیین مسیر راه : به طور کلی می‌توان مراحل تعیین مسیر راه را در ۶ مرحله دسته‌بندی نمود:

۱- کشف مسیرهای کلی ممکن بین مبدا و مقصد
۲- شناسایی مسیرهای کلی ممکن
۳- انتخاب مسیر کلی
} مطالعات فاز مقدماتی

۴- برداشت مقدماتی مسیر
۵- تعیین محور راه روی نقشه توپوگرافی و تهیه نقشه‌های مقدماتی
} مطالعات فاز اول یا اصولی

۶- پیاده کردن محور راه روی زمین و تهیه نقشه‌های قطعی و اجرایی } مطالعات فاز دوم یا قطعی

در ادامه هریک از این مراحل با جزئیات بیشتر تشریح می‌گردد.

۶

① کشف مسیرهای کلی ممکن : در این مرحله با استفاده از عکسهای هوایی، نقشه های توپوگرافی، راه ها و بیراهه های موجود چند مسیر کلی کشف و برای مطالعات بیشتر نامزد می گردد. عوامل موثر در این مرحله عبارتند از:

- تأمین دسترسی بین نقاط مبدأ و مقصد
- عوامل اقتصادی، سیاسی، اجتماعی، نظامی و جمعیتی
- عوارض طبیعی

اقدامات انجام شده در این مرحله عبارتند از :

الف) جمع آوری آمار و اطلاعات در مورد وضعیت اقتصادی، اجتماعی، کشاورزی، صنایع و معادن، مسائل جمعیتی، وضعیت راههای موجود، طرحهای عمرانی اجرا شده و در دست اجرا، زمین شناسی و بررسی اثرات زلزله، ترافیک منطقه

ب) تهیه نقشه های توپوگرافی و عکسهای هوایی : مقیاس این نقشه ها در حدود ۱:۵۰۰۰۰ می باشد و از سازمان نقشه برداری کشور یا سازمان جغرافیایی ارتش قابل تهیه است.

ج) مطالعه و تعیین نقاط اجباری :
- نقاط اجباری اقتصادی : مراکز جمعیتی، شهرها، معادن، کارخانجات
- نقاط اجباری فنی : کمترین عرض برای عبور از رودخانه، عبور از گردنه های با ارتفاع کم، دوری از قله، زمینهای کشاورزی، زمینهای سست و با تلاقی

با تعیین نقاط اجباری امتدادهای کلی مسیر (کریدورهایی به عرض 1km) مشخص شده و هر مسیر به چند قطعه محصور بین دو نقطه اجباری تقسیم می گردد. مطالعات بعدی بر روی این قطعات انجام می شود.

② شناسایی مسیرهای کلی : هر یک از مسیرهای کلی کشف شده در مرحله قبل، باید شناسایی شوند. منظور از شناسایی مجموعه اقداماتی است که طی آن علاوه بر استخراج اطلاعات تکمیلی لازم از نقشه های توپوگرافی و عکسهای هوایی، با انجام بازدیدهای محلی نتایج استخراج شده از عکسها و نقشه ها اصلاح می گردد و نقاط مبهم عکسها، عوارض منطقه (چون خورداب ها و گسلها) و پاره ای دیگر

از خصوصیات از نزدیک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

اقدامات و اطلاعات مورد نیاز در این مرحله عبارتند از:

الف) بازدید محلی و کپه‌گذاری یا علامت‌گذاری ثابت (بالیزاژ) مسیر در فواصل حداکثر ۷۰۰ متر در دشت، ۵۰۰ متر در تپه ماهور و ۳۰۰ متر در کوهستان

ب) رسم پلان مسیرهای قابل اجرا و انعکاس نقاط ثابت (بالیزاژ) بر روی نقشه توپوگرافی با مقیاس $\frac{1}{20000}$ یا $\frac{1}{50000}$

ج) تهیه پروفیل طولی هر مسیر با مقیاس $\frac{1}{2000}$ برای طول و $\frac{1}{200}$ برای ارتفاع

د) تهیه نقشه تیپ مقطع عرضی با مقیاس $\frac{1}{50}$

هـ) برآورد تقریبی طول و تعداد ابنیه فنی مورد نیاز در طول مسیر (پلها، آبروها، دیوارهای حائل، تونلها و بهسازی‌ها)

و) مطالعات سطحی زمین‌شناسی، عمق آبهای زیرزمینی، حوضه آبگیر مسیلها و رودخانه‌ها

ز) بررسی معادن، منابع مصالح سنگی و امکان تامین آن در منطقه

ح) بررسی و مطالعه ترافیک منطقه و احتمال رشد آن در آینده

ط) بررسی امکانات محلی از نظر تامین نیروی انسانی، آذوقه، ماشین‌آلات و راه دسترسی

ی) در نظر گرفتن نحوه عبور مسیر از مراکز جمعیتی، کشاورزی و اقتصادی

ک) برآورد تقریبی مخارج ساختمان هر مسیر

③ انتخاب مسیر کلی: انتخاب مسیر یک مسئله ارزیابی است. یعنی برای انتخاب بهترین مسیر باید مزایا و معایب گزینه‌های (واریانتها یا آلترناتیوها) مختلف را بررسی نمود. برای این منظور ابتدا باید یک روش مقایسه انتخاب شود. برای مثال می‌توان ویژگیهای مسیرها را بارم‌بندی نمود و به هر مسیر نمره‌ای داد. مسیری که بیشترین بارم را بدست آورد، مسیر بهینه خواهد بود.

بارم‌گذاری بر پایه دو دیدگاه انجام می‌گیرد:
- دیدگاه اقتصادی
- دیدگاه فنی و مهندسی

الف) دیدگاه اقتصادی: این دیدگاه در برگیرنده توجیه اقتصادی پروژه می‌باشد. برای این توجیه از روشهای اقتصاد مهندسی استفاده می‌شود. میزان سرمایه اولیه برای ساخت هر واریانت و میزان هزینه سالانه برای بهره‌برداری

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

و نگهداری مسیر هر واریانت از جمله شاخصهای مطرح در دیدگاه اقتصادی هستند.

یادآوری: مخارج بهره برداری شامل هزینه سوخت، تعمیرات، لاستیک و استهلاک وسایل نقلیه، وقت صرف شده رانندگان و مسافران، تصادفات و تعداد کشته شدگان و زخمیها و صدمه به محیط زیست می باشد.

لذا اگر صرفاً از دیدگاه اقتصادی به مسئله بنگریم، ملاک گزینش به صورت زیر خواهد بود:

$$T_r = \frac{C_2 - C_1}{P_1 - P_2} \quad [\text{برحسب سال}]$$

T_r : مدت زمان بازگشت سرمایه

C_2 : سرمایه اولیه برای ساخت مسیر واریانت (۲)

C_1 : " " " " (۱)

P_1 : مخارج سالانه نگهداری و بهره برداری مسیر واریانت (۱)

P_2 : " " " " (۲)

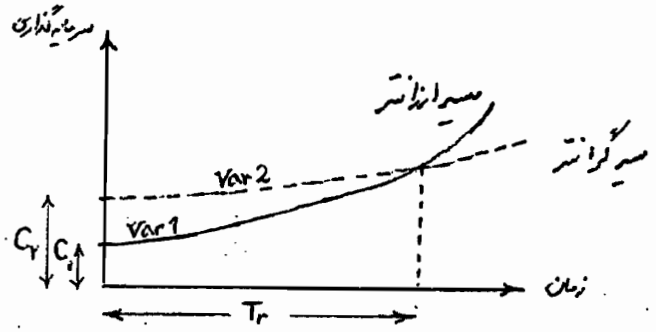
یادآوری می شود که در این روابط واریانت (۲) گرانتر و دارای سرمایه اولیه بیشتر نسبت به واریانت (۱) می باشد.

حال اگر زمان بهره برداری یا مدت عمر راه (T_n) را بدانیم، سه گزینه فرا روی ما قرار دارد:

$T_n < T_r \longrightarrow$ واریانت ارزانتر بهتر است

$T_n > T_r \longrightarrow$ واریانت گرانتر بهتر است

$T_n = T_r \longrightarrow$ هر دو واریانت یکسان می باشند



شکل زیر روند افزایش هزینه های نگهداری در مسیر گرانتر نسبت به مسیر ارزانتر را نشان می دهد.

ب) دیدگاه فنی و مهندسی : برای بارگذاری از دیدگاه فنی و مهندسی مسیر ، شاخصهای زیر مورد بررسی قرار می گیرد :

۱ـ شاخص طول کل هر مسیر : مسیری که طول کمتری دارد ، بهتر است و نمره بیشتری می گیرد.

۲ـ شاخص شیبهای طولی هر مسیر : حداکثر شیب مجاز طراح ۷ درصد می باشد. شیبهای هر مسیر از روی پروفیل طولی آن بدست می آید و با شیب مجاز مقایسه می شود. شیبهای کمتر یا بیشتر از شیب مجاز بارم بیشتر یا کمتر را کسب می کنند.

۳ـ شاخص یک دست بودن مسیر : تعداد قوسهای هر مسیر و شعاع آنها ملاک سنجش مسیرها می باشد. تعداد قوس بیشتر ، نمره کمتر دارد و شعاع کمتر از شعاع مجاز نیز بارم منفی در پی دارد.

۴ـ شاخص هموار بودن مسیر : نسبت طول امتدادهای مستقیم هر مسیر به طول کل آن ملاک سنجش است و نسبت بزرگتر ، نمره بیشتر دارد.

۵ـ شاخص دشواری عملیات خاکی : در این شاخص بلندی خاکریزها و یا ژرفای ترانشه ای که بیش از ۱۰ متر باشد ، در طول تقریبی آن ضرب شده و واریانتی که عملیات خاکی بیشتری دارد ، نمره منفی کسب می نماید.

۶ـ شاخص طولی از مسیر که سرعت طراحی در آن قابل اجرا می باشد ؛ طول بیشتر ، نمره بیشتر دارد.

نکته : فرمولهای بارم گذاری برای هریک از موارد فوق ، استاندارد خاصی ندارند و با توجه به ویژگیهای هر پروژه ، مهندس طراح فرمولهای بارم گذاری در خور آن مسیر را بدست می آورد.

④ برداشت مقدماتی مسیر : پس از انتخاب مسیر کلی ، این مسیر باید به صورت مقدماتی برداشت گردد. در این مرحله برحسب نوع راه و وضعیت آن ، در نواری به عرض ۱۰۰ تا ۵۰۰ متر اطراف مسیر کلی ، عملیات نقشه برداری انجام می گردد و نقشه های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ تهیه می شود. در این نقشه ها وضعیت زمین ، محل عوارض ، حدود تاسیسات ، باغ ها ، مزارع و نظایر آنها به صورت دقیق مشخص می گردد.

روشهای متداول برای برداشت مقدماتی مسیر عبارتند از :

الف) نقشه برداری زمینی (تاکئومتری)

ب) نقشه برداری هوایی (فتوگرامتری)

ج) استفاده از سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای (GPS)

⑤ تعیین محور راه روی نقشه توپوگرافی و تهیه نقشه مقدماتی :

در این مرحله عملیات صحرایی نداریم و طی عملیاتی معروف به مسیرگذاری در دفتر ، محور راه بر روی نقشه تعیین می گردد. برای این منظور مهندس مسیرگذار با رعایت ضوابط طرح هندسی ، مسیرهای متعددی را در محدوده برداشت شده (نوار ۱۰۰ تا ۵۰۰ متری) امتحان می کند و مسیر مناسب را بر روی نقشه ترسیم می نماید. پس از مسیرگذاری و تعیین محور راه ، نقشه های مقدماتی شامل پلان پروفیل طولی و پروفیل عرضی تهیه می شوند.

⑥ پیاده کردن مسیر بر روی زمین و تهیه نقشه های قطعی و اجرایی :

در این مرحله مسیر کاملاً بر روی زمین مشخص شده و هر آنچه برای اجرای نهایی راه لازم است ، با جزئیات کامل جمع آوری و برداشت می شود.

اقدامات انجام شده در این مرحله عبارتند از :

الف) پیاده کردن مسیر از روی نقشه بر روی زمین (به این عمل میخ کوبی یا پیکتاژ مسیر می گویند) شامل :

- پیاده کردن دسته ها بر روی زمین
- پیاده کردن قسمتهای مستقیم
- پیاده کردن قوسها

ب) برداشت رقوم ارتفاعی محور طولی و مقاطع عرضی

ج) تهیه پروفیل طولی و عرضی

د) محاسبه حجم عملیات خاکی و تعیین محلهای قرضه، محلهای دپو و فاصله متوسط حمل (منحنی بروکنر)

هـ) تعیین محل، برداشت نقشه برداری و تهیه نقشه های اجرایی ابنیه فنی

و) انجام مطالعات و آزمایشات مکانیک خاک، زمین شناسی، آب شناسی و بررسی کلی منابع مصالح سنگی

ز) تدوین برنامه زمان بندی اجرای راه

ح) برآورد ریالی هزینه ها طبق فهرست بهای راه و ابنیه

ط) تدوین دفترچه پیمان و شرایط عمومی پیمان طبق آخرین مصوبات سازمان برنامه و بودجه

ی) دفترچه مشخصات فنی عمومی (نشریه ۱۰۱) و مشخصات فنی خصوصی پیمان که در صورت نیاز توسط مشاور تهیه می شود.

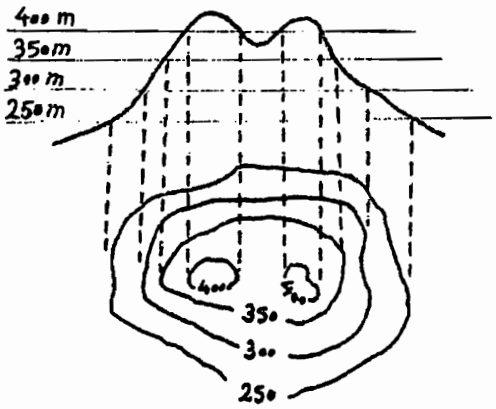
ک) مجموعه کامل نقشه های اجرایی شامل:

- نقشه موقعیت کلی راه
- پلان یا نقشه مسطح راه به مقیاس ۱:۲۰۰۰
- پروفیل طولی راه به مقیاس ۱:۲۰۰۰ در طول و ۱:۲۰۰ در ارتفاع
- پروفیلهای عرضی راه به مقیاس ۱:۲۰۰
- نقشه اجرایی مربوط به پلهای بزرگ و تونلها، نقشه های خط کشی، علایم، تجهیزات ایمنی و جانبی از قبیل نرده ها، پارکینگها، ایستگاههای عوارض و ...
- نقشه های اجرایی مربوط به تقاطعهای هم سطح و غیر همسطح شامل پلان، پروفیل طولی و نقشه جزئیات به مقیاس ۱:۵۰۰ یا ۱:۱۰۰۰

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

۲-۴- تعیین محور راه بر روی نقشه های خطوط تراز (مسیرگذاری در دفتر)

در راهسازی پستی و بلندی سطح زمین را بوسیله نقشه های خطوط تراز مشخص می نمایند. خطوط تراز عبارت است از فصل مشترک سطح زمین طبیعی با تعدادی صفحه متساوی الفاصله که به موازات افق قرار دارند. فواصل این صفحات افقی در یک نقشه یکسان است و بستگی به مقیاس نقشه، عوارض موجود و نوع منطقه (دشت، تپه ماهور یا کوهستان) دارد.



نکته: معمولاً اختلاف ارتفاع دو خط تراز مجاور در نقشه های توپوگرافی برابر است با عدد مقیاس نقشه بر حسب میلی متر. برای مثال در یک نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ ، اختلاف ارتفاع خطوط تراز مجاور برابر ۲۰۰۰ میلی متر یا ۲ متر می باشد.

برای تعیین محور راه بر روی نقشه اقدامات زیر انجام می شود:

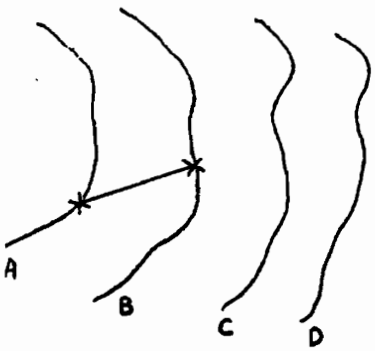
① تهیه نقشه های خطوط تراز با مقیاس ۱:۲۰۰۰ و یا بزرگتر: این نقشه ها در عرض حدود ۳۰۰ متر بین ابتدا و انتهای مسیر (به این عرض کریدور عبور مسیر گفته می شود) تهیه شده و مهندس مسیرگذار با ملاحظه عوارض طبیعی نشان داده شده در این نوار، نسبت به طراحی پلان مناسبترین مسیر اقدام می نماید.

② تعیین فاصله مبنا یا خط صفر برحسب شیب طولی مجاز مسیر: یکی از داده های اصلی در طراحی پروژه های راهسازی، حداکثر شیب مجاز نیمرخ طولی پروژه (max i) می باشد. برای یافتن مسیر بین دو نقطه از نقشه خطوط تراز به نحوی که شیب خط زمین از حداکثر شیب مجاز پروژه تجاوز ننماید، ابتدا باید طول مبنا یا خط صفر را تعیین نمود. برای این منظور

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

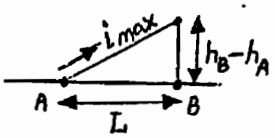
به روش زیر عمل می شود :

- مقیاس نقشه برابر α
- ارتفاع خط تراز A در شکل (۱) برابر h_A
- ارتفاع خط تراز B در شکل (۱) برابر h_B
- حداکثر شیب طولی مجاز پروژه برابر i_{max}



شکل (۱)

با معلوم بودن مقادیر فوق الذکر ، فاصله L و یا فاصله افقی بین دو نقطه از منحنی های A و B (بر روی زمین) که خط واصل بین آنها با شیب i_{max} نسبت به افق قرار دارد برابر است با :



$$L = \frac{h_B - h_A}{i_{max}}$$

لذا فاصله L' و یا طول تبدیل به مقیاس شده فاصله افقی L (بر روی نقشه) برابر است با :

$$L' = L \times \alpha$$

بنابراین اگر در روی نقشه خطوط تراز با مقیاس α دو نقطه واقع بر منحنی های A و B به گونه ای تعیین شوند که فاصله آنها برابر L' باشد ، قطعه خط AB بر روی نقشه نمایشگر خطی خواهد بود که شیب آن در روی زمین طبیعی برابر i_{max} می باشد . این خط ، طول مبنا یا خط صفر نام دارد .

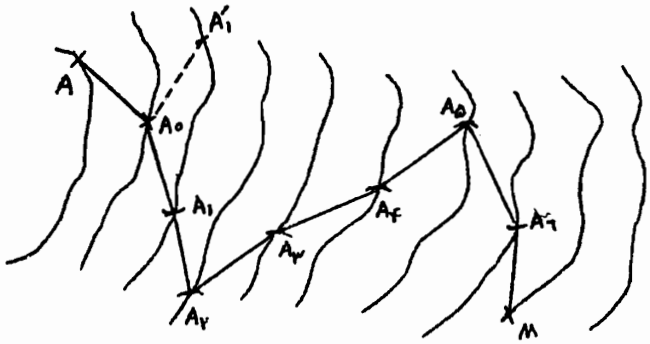
(۳) رسم مسیر شکسته با استفاده از طول مبنا : در روی شکل (۲) از نقطه ابتدای مسیر (A) شروع می کنیم و به مرکز A و شعاع L' قوسی رسم می نماییم تا خط تراز بعدی را در A_0 قطع کند . حال به مرکز A_0 و شعاع L' قوس دیگری می زنیم تا خط تراز بعدی را در A_1 قطع کند و عمل را به همین ترتیب ادامه می دهیم تا به نقطه انتهای مسیر (M) برسیم در موقع رسم قوس به شعاع L' سه حالت ممکن است پیش آید :

الف) قوس به شعاع L' خط تراز بعدی را در دو نقطه قطع کند . در این صورت باید نقطه ای را انتخاب نمود که جهت عمومی مسیر از A به طرف M مراعات گردد . در شکل پس از رسم قوس به مرکز A_0 ، دو نقطه تقاطع A_1 و A'_1 بر روی منحنی بعدی بدست آمده است که با توجه به جهت عمومی مسیر ، نقطه A_1 انتخاب شده است .

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

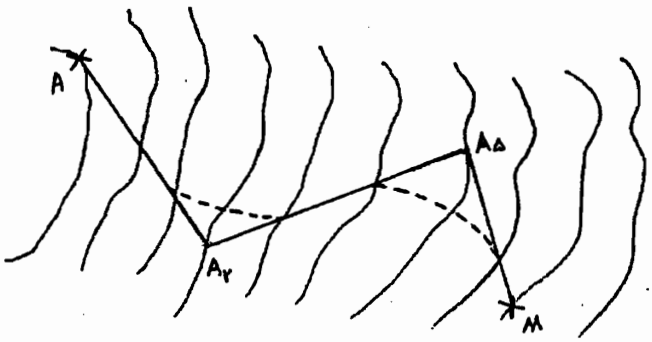
ب) قوس به شعاع L_1 بر منحنی تراز بعدی مماس شود. در این حالت امتداد مطلوب برای ادامه مسیر همان نقطه تماس خواهد بود.

ج) قوس به شعاع L_1 منحنی تراز بعدی را قطع نکند. در این صورت حداکثر شیب مجاز پروژه از حداکثر شیب زمین طبیعی واقع بین دو خط تراز بیشتر بوده و انتخاب امتداد مسیر به دلخواه و با توجه به سمت عمومی مسیر انجام می گیرد.



شکل (۲) : نحوه تعیین مسیر بر روی خطوط تراز با استفاده از طول مبنا

۴) رسم راستاهای مستقیم یا تانژانتها : پس از تعیین خطوط صفر واقع بین منحنی های تراز، تعدادی خطوط شکسته بدست می آید که عملاً به عنوان پلان مسیر قابل استفاده نمی باشد. بنابراین با تبعیت از امتداد عمومی خطوط صفر در فواصل مختلف و در نظر گرفتن عوارض مختلف مسیر، هر چند خط شکسته با یک راستای مستقیم جایگزین می شود. بنابراین مسیر شکسته AA_2A_5M به جای مسیر شکسته $AA_0A_1A_2A_3A_4A_5A_6M$ قرار می گیرد که به لحاظ هندسی مسیر مناسبتری می باشد.



شکل (۳) : اصلاح خطوط شکسته و اعمال قوسهای لازم

لازم به ذکر است که خط زمین مسیر اصلاح شده در پاره‌ای از نقاط دارای شیبی بیشتر از حداکثر شیب مجاز پروژه بوده که می بایست با گذراندن خط پروژه مناسب و انجام عملیات خاک‌برداری یا خاک‌ریزی آن را اصلاح نمود. همچنین در رسم راستاهای مستقیم چند نکته را باید در نظر داشت :

الف) تا حد امکان راستاهای جایگزین نزدیک به مسیر شکسته باشند. (دستیابی به حداقل عملیات خاکی)

ب) تا حد امکان راستاهای جایگزین قوس‌پذیر باشند. (دستیابی به حداقل شعاع قوس و حداقل طول برای تأمین دور)

۵) تکمیل پلان مسیر با اعمال قوسهای افقی : پس از تعیین راستاهای مستقیم و رسم مسیر شکسته اصلاح شده، نسبت به اعمال قوسهای دایره و منحنی های اتصال در پلان مسیر اقدام می شود. (پیاده کردن قوسهای افقی در فصلهای بعد تشریح می گردد)

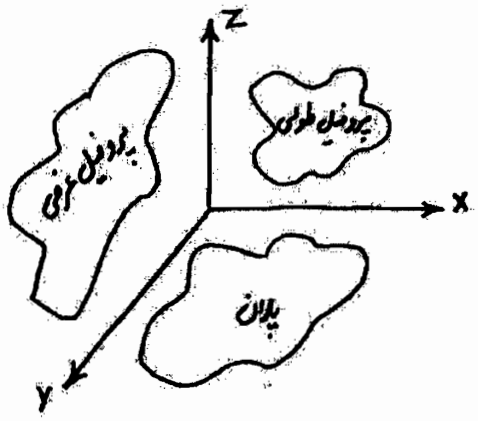
Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

Azarkish@iust.ac.ir

۳-۱- مقدمه : جزئیات یک راه با سه نقشه اصلی مشخص می گردد :

- پلان راه
- پروفیل طولی راه
- پروفیل عرضی راه

برای اینکه برداشت بهتری از پیوستگی این سه نقشه داشته باشیم ، باید راه را به صورت سه بعدی تجسم نماییم. چون رسم سه بعدی دشوار است به جای آن از سه نقشه اصلی کمک می گیریم . نقشه پلان مسیر مربوط به دید از بالا (صفحه xy) ، نقشه پروفیل طولی مربوط به دید سراسری (صفحه xz) و نقشه پروفیل عرضی مربوط به دید جانبی و برش از بدنه راه (صفحه zy) می باشد.



لازم به یادآوری است که علاوه بر سه نقشه اصلی سایر نقشه های مورد نیاز شامل نقشه های ابنیه فنی راه (پل ، تونل ، زه کشی ، آبروها ، کانال ، جداول ، نرده های راه و پل ، دیوارهای حائل و ضامن ، روسازی و ...) و دفترچه محاسبات می باشد.

۳-۲- پلان راه :

- عبارت است از تصویر امتداد مسیر بر روی سطح افق . این تصویر شامل خطوط مستقیم و قوسهای افقی می باشد.
- قوسهای افقی شامل انواع زیر می باشد :

۱- قوسهای دایره ای : ساده ، مرکب ، معکوس ، سه پا تنیس

۲- قوسهای انتقال : کلوتوئید ، سهمی درجه ۳ ، لمنی سکات ، مالوید

۳- قوسهای ترکیبی : (ترکیب قوس انتقال و قوس دایره ای)

- پیرامون جزئیات قوسهای افقی در فصلهای بعد صحبت می شود.

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

پلان راه بر روی نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ ترسیم می‌شود. برای این منظور اقدامات زیر انجام می‌گیرد:

① محاسبه و تعیین مشخصات هندسی لازم (عرض راه، قوسهای افقی، شیب عرضی در قوس، اضافه عرض در قوس، فواصل دید در قوس و ...)

② رسم محور راه بر روی نقشه توپوگرافی با رعایت ضوابط طرح هندسی

③ مشخص کردن و کیلومتر گذاری نقاط مهم واقع بر روی محور راه، شامل:

الف - ابتدا و انتهای مسیر

ب - کیلومتر و هکتومتر راه

ج - نقاط اصلی قوسهای افقی:

- نقطه شروع قوس (PC) ← Point of Curvature

- نقطه میانه یا رأس قوس (PI) ← Point of Intersection

- نقطه پایان قوس (PT) ← Point of Tangency

د - نقاط تماس در قوسهای متوالی و معکوس

هـ - محل تلاقی سایر راهها با مسیر مورد نظر

④ نمایش سایر جزئیات لازم بر روی پلان، شامل:

الف - دو لبه عرض راه (سواره رو + شانه + فصل مشترک پای شیروانی راه در خاکریزها و سر ترانشه در خاکبرداری ها) که به صورت دو خط ضخیم در طرفین محور راه رسم می‌گردند.

ب - محل، نوع و تعداد دهانه پل ها:

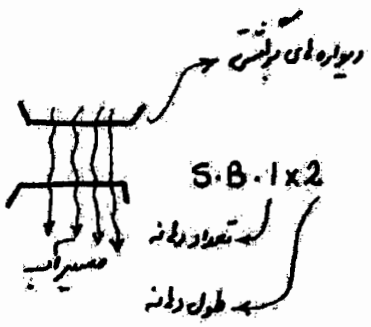
S.B = Slab Bridge = پل دالی هم سطح

S.C = Slab Culvert = پل دالی زیر خاکی

A.B = Arch Bridge = پل طاقی یا قوسی

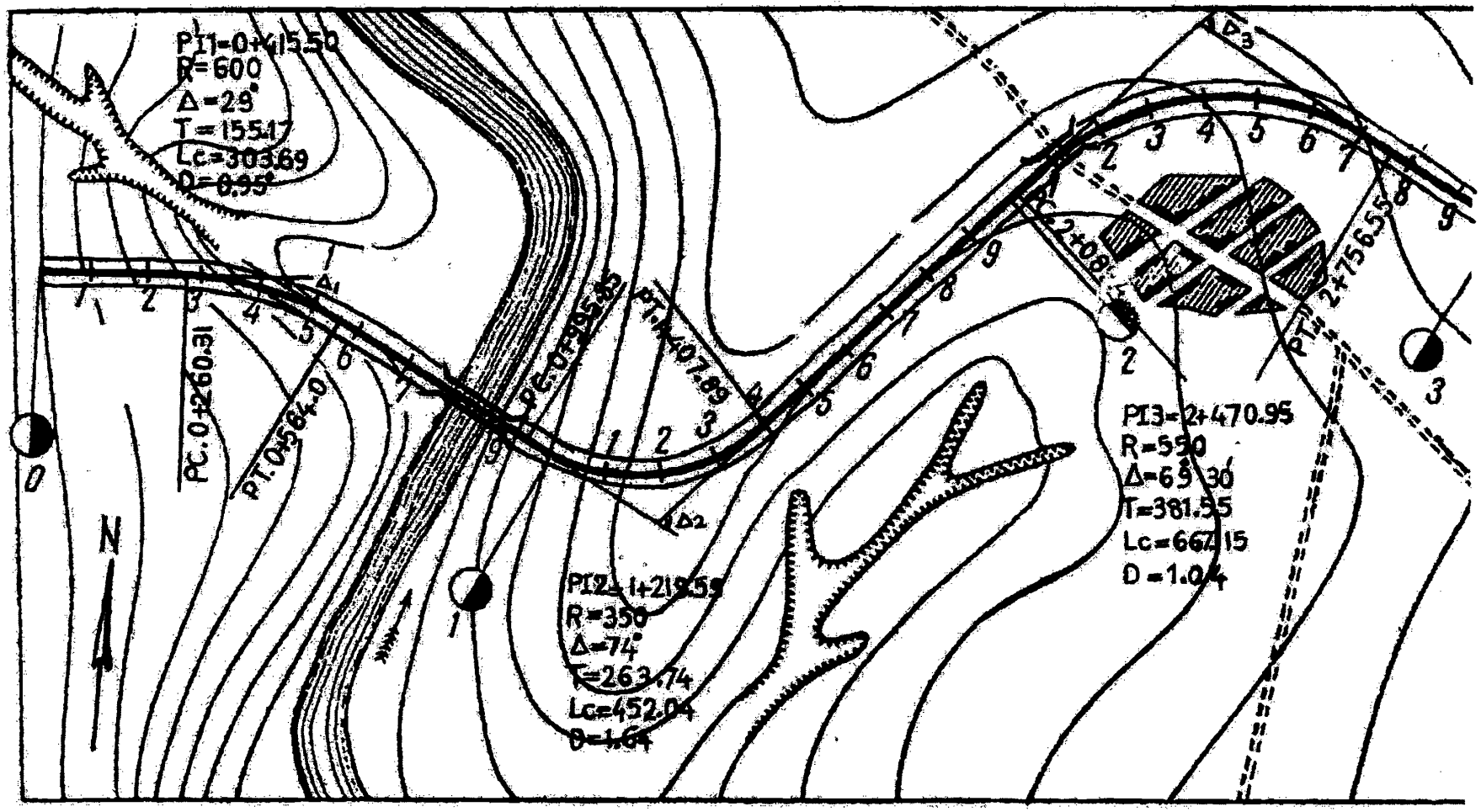
Box Culvert = پل جعبه ای

Viaduct = پل دره ای یا ویادوک



ج - مشخصات کامل قوسهای افقی (شعاع، طول قوس، زاویه تقاطع، طول داخلی، طول خارجی، طول تانژانت)

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306



شکل نحوه نشان دادن مسیر راه در پلان

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

۳-۳- پروفیل طولی راه :

عبارت است از نمایش تصویر ابتدا تا انتهای مسیر بر روی صفحه قائم. این پروفیل از دو خط و یک جدول مشخصات تشکیل شده است.

الف - خط زمین طبیعی : وضعیت ارتفاعی زمین طبیعی محور راه را نشان می دهد.

ب - خط پروژه : وضعیت ارتفاعی سطح تمام شده محور راه پس از ساخت را نشان می دهد.

ج - جدول مشخصات : این جدول شامل ردیفهای زیر می باشد :

Comparison level (DATUM)	سطح مقایسه
۱- No of Section	شماره نیمرخهای عرضی (منحنی ها یا پیکه ها)
۲- Vertical Alinement	شیبها و قوسهای قائم
۳- Design Level	ارتفاع سطح تمام شده راه یا خط پروژه
۴- Ground Level	ارتفاع سطح زمین طبیعی
۵- Distance	فواصل بین نیمرخهای عرضی
۶- Hectometer and kilometer	فواصل ۱۰۰ متری و کیلومترهای راه
۷- Horizontal Alinement $\frac{Left}{Right}$	خطوط مستقیم و قوسهای افقی
۸- Superelevation $\frac{OUT}{In}$	تراز نسبی لبه های داخلی و خارجی راه جهت اعمال دور

در ترسیم پروفیل طولی مقیاس طولها با مقیاس ارتفاعات ، به دلیل صرفه جویی در کاغذ و هم چنین کوچک بودن ارتفاعات نسبت به طولها ، متفاوت در نظر گرفته می شود. متداولترین مقیاس عبارت است از ۱:۲۰۰۰ برای طولها و ۱:۲۰۰ برای ارتفاعات ، به عبارت دیگر مقیاس ارتفاعی ۱۰ برابر مقیاس طولی در نظر گرفته می شود. مراحل رسم پروفیل طولی به شرح زیر می باشد:

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

گام اول : ترسیم خط زمین طبیعی :

① ابتدا تعدادی ایستگاه بر روی محور راه تعیین و موقعیت آن در پلان مشخص می گردد.

- فاصله ایستگاهها در دشت ۵۰ متر انتخاب می شود.
- فاصله ایستگاهها در کوهستان ۲۰ متر انتخاب می شود.
- در قوسها فاصله ایستگاهها $\frac{1}{10}$ تا $\frac{1}{20}$ شعاع قوس انتخاب می شود.
- در ابتدا و انتهای قوسها، علامتهای تغییر شیب، علامتهای تلاقی خط زمین با خط پروژه، نهرها، رودخانه ها و خط التعریف ایستگاه اضافی در نظر گرفته می شود.

② ایستگاهها از مبدا به سمت مقصد شماره گذاری می شوند و شماره ها از سمت چپ به راست در ردیف (نیمرخهای عرضی) درج می گردد.

③ برای هر ایستگاه یک فاصله و یک ارتفاع اندازه گیری می شود و بر اساس نتایج حاصله ردیفهای ۴ و ۵ و ۶ جدول کامل می شود.
برای این منظور :

- در مراحل مقدماتی از نقشه های توپوگرافی استفاده می شود.
- در مراحل قطعی از عملیات نقشه برداری کمک گرفته می شود.

④ با انتخاب یک سطح سنجش مناسب و در نظر گرفتن مقیاس ۱:۲۰۰۰ در طول و ۱:۲۰۰ در ارتفاع، به کمک نتایج مرحله قبل، ایستگاهها را روی دو محور مختصات پیاده و آنها را به هم وصل می کنند. خط شکسته حاصل که معمولاً با رنگ سیاه رسم می گردد، خط زمین طبیعی می باشد.

گام دوم : ترسیم خط پروژه :

① محاسبه پارامترهای هندسی مورد نیاز شامل :

- تعیین حداقل و حداکثر شیب طولی :
  - حداقل شیب طولی راه معمولاً ۰/۵ درصد می باشد (جدول ۵ - ۲۴ آیین نامه)
  - حداکثر شیب طولی راه بر اساس وضعیت توپوگرافی منطقه، نوع راه و سرعت طرح از جدول ۵ - ۲۲ آیین نامه بدست می آید.

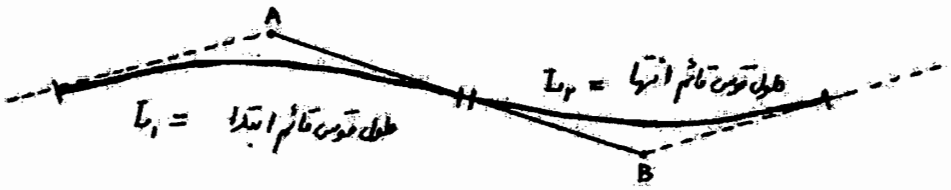
Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

- تعیین طول بحرانی شیب : طول شیب بر گنجایش ، کیفیت سرویس دهی و سرعت حرکت اثر می گذارد. انتخاب این طول به نحوی است که کاهش سرعت خودروهای سنگین طی آن از حد معینی تجاوز نکند.
مقدار کاهش سرعت مجاز درگذشته ۲۵km/h و درحال حاضر ۱۵km/h درنظر گرفته می شود و آن را نسبت به سرعت متوسط ترافیک می سنجند. (شکل ۵ - ۱۲ آیین نامه)

- تعیین طول قوس های قائم براساس مسافت دید
- تعیین ارتفاع نقاط اجباری
- تعیین حداقل ارتفاع پایه پلها

(۲) ترسیم قطعات خط پروژه بین دو نقطه انتخابی معلوم واقع بر خط زمین طبیعی ، با رعایت نکات زیر:

- عدم تجاوز شیب طولی از حد مجاز
- اجتناب از شیب های طولانی
- ایجاد تعادل بین عملیات خاکبرداری و خاک ریزی
- رعایت حداقل ارتفاع پایه پلها در تعیین ارتفاع خاک ریز
- در زمینهای مسطح حتی الامکان سعی شود که خط پروژه بالاتر از سطح زمین طبیعی قرار گیرد (حداقل ۵۰cm)
- عبور خط پروژه از نقاط ارتفاعی اجباری
- شیب طولی در پلها بهتر است صفر درنظر گرفته شود.
- پس از پل شیب طولی گذاشته نشود (بخشی از قوس قائم روی پل واقع خواهد شد که درست نیست)
- شیب طولی در تونلها بهتر است بین ۱ تا ۳ درصد باشد و قوس قائم در طول تونل به صورت محدب طراحی شود.
- قوس قائم بر روی قوس اتصال (کلوتئید) قرار نگیرد (قوس قائم می تواند بر روی قوس دایره قرار گیرد)
- حداقل طول هر تکه از خط پروژه باید از $0/5\,(L_1 + L_2)$ بیشتر باشد.



$$AB \geq 0/5\,(L_1 + L_2)$$

③ انجام محاسبات مربوط به تعیین ارتفاع خط پروژه در محل هر یک از ایستگاه‌ها ، شامل :

✓ محاسبه شیب طولی تک خط پروژه AB

$$i_{AB} = \frac{h_B - h_A}{l} \times 100$$

✓ محاسبه ارتفاع خط پروژه در محل هر ایستگاه با توجه به معلوم بودن ارتفاع نقطه ابتدای شیب

ارتفاع خط پروژه در محل ایستگاه n بین A و B = ارتفاع نقطه معلوم A ± (فاصله نقطه n از نقطه A × شیب طولی AB)/100

نقطه پایین‌تر از ایستگاه A ، نقطه بالاتر از ایستگاه A

یا به عبارت ریاضی :

$$h_n = h_A \pm (l_{An} \times i_{AB})/100$$

✓ ارتفاع خط پروژه در محل ایستگاه‌ها در ردیف ۳ جدول مشخصات درج می‌گردد .
✓ طول افقی شیب و درصد شیب در ردیف ۲ جدول مشخصات درج می‌گردد .

④ طراحی و پیاده کردن قوس قائم بین دو تک خط پروژه

✓ ارتفاع خط پروژه در محل ایستگاه‌های واقع بر روی قوس‌های قائم در ردیف ۳ جدول اصلاح می‌گردد .
✓ طول قوس‌های قائم و شعاع هر یک در ردیف ۲ جدول مشخصات وارد می‌شود .

گام سوم : تکمیل جدول مشخصات و تکمیل نیمرخ پروفیل :

① با استفاده از نقشه پلان مسیر و محاسبات قوس‌های افقی ، چپ‌گرد و راست‌گرد بودن قوس‌ها ، کیلومتر شروع و انتها ، شعاع و طول هر یک در ردیف ۷ جدول مشخصات درج می‌گردد .

② با استفاده از محاسبات مربوط به طول تأمین دید در قوس‌های افقی ، تراز نسبی لبه‌های داخلی و خارجی راه در ردیف ۸ جدول مشخصات ترسیم می‌گردد .

۳) پلها به صورت شماتیک بین خط پروژه و خط زمین طبیعی نمایش داده می شوند.

۴) اطلاعات مربوط به قوسهای قائم در کنار هر قوس بر روی شکل درج می گردد.

۵) خط پروژه نمایی با رنگ قرمز نمایش داده می شود.

چند نکته پیرامون پروفیل طولی مسیر:

- در مواردی ممکن است پس از تعیین وضعیت لایه‌های مختلف زمین بوسیله حفر گمانه‌های مطالعاتی، تابع را بر روی پروفیل طولی مسیر نمایش دهند.
- در بعضی موارد در اثر وجود شیبهای طولانی هم جهت، ممکن است ارتفاع پروفیل طولی مسیر از حدود کاغذ نقشه خارج گردد. در چنین مواردی با انتخاب سطح سنجش جدید ادامه پروفیل طولی بر مبنای آن ترسیم می گردد.
- با توجه به تفاوت موجود بین مقیاس طولی و ارتفاعی در پروفیل طولی، اندازه گیری شیبهای خط زمین یا خط پروژه از روی نقشه نادرست می باشد و میزان این شیبها باید از تقسیم اختلاف ارتفاع نقاط بر فاصله بین آنها بدست آید.

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

۵- نقشه‌های پروژهٔ راه

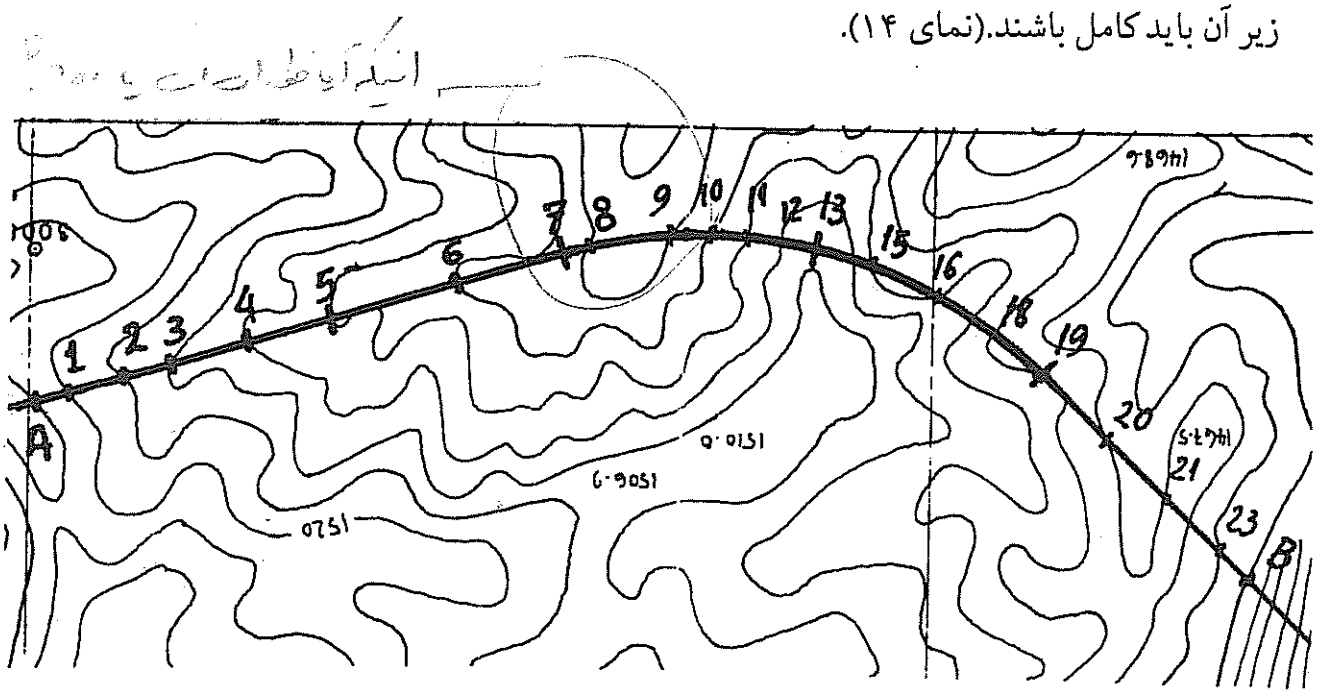
همانند هر پروژه‌ای، مسیر راه پس از طراحی بر روی نقشه‌های قراردادی رسم میگردد. این نقشه‌ها شامل: نقشه‌های پلان مسیر، پروفیل طولی راه، پروفیل های عرضی، نقشه‌های ابنیه فنی راه(پل،تونل، زهکشی،روسازی،آبروها، کانال، دیوارهای حایل، ضامن و گالری) و دفترچه محاسبات می‌باشد.

در گامهای اولیه طراحی، نقشه‌های مورد نیاز با مقیاس *1:10000* تا *1:50000* است و در گامهای پایانی که نقشه‌های اجرایی تهیه می‌گردد، مقیاس نقشه‌ها حتی به *1:1000* نیز می‌رسد.

برای اینکه برداشت خوبی از پیوستگی این نقشه‌ها داشته باشیم، باید راه را به صورت پرسپکتیو(سه بعدی) تجسم نماییم. چون رسم پرسپکتیو دشوار است بجای آن از سه نقشه اصلی کمک می‌گیریم.(نقشه پلان مسیر که دید از بالا *(x,y)* و نقشه پروفیل طولی که دید سراسری *(x,z)* و نقشه‌های پروفیل عرضی که دید جانبی و برش از بدنه راه *(z,y)* را بیان می‌نمایند، جایگزین پرسپکتیو می‌گردد. داده‌های این سه نقشه باید همواره با یکدیگر پیوستگی داشته باشند.)

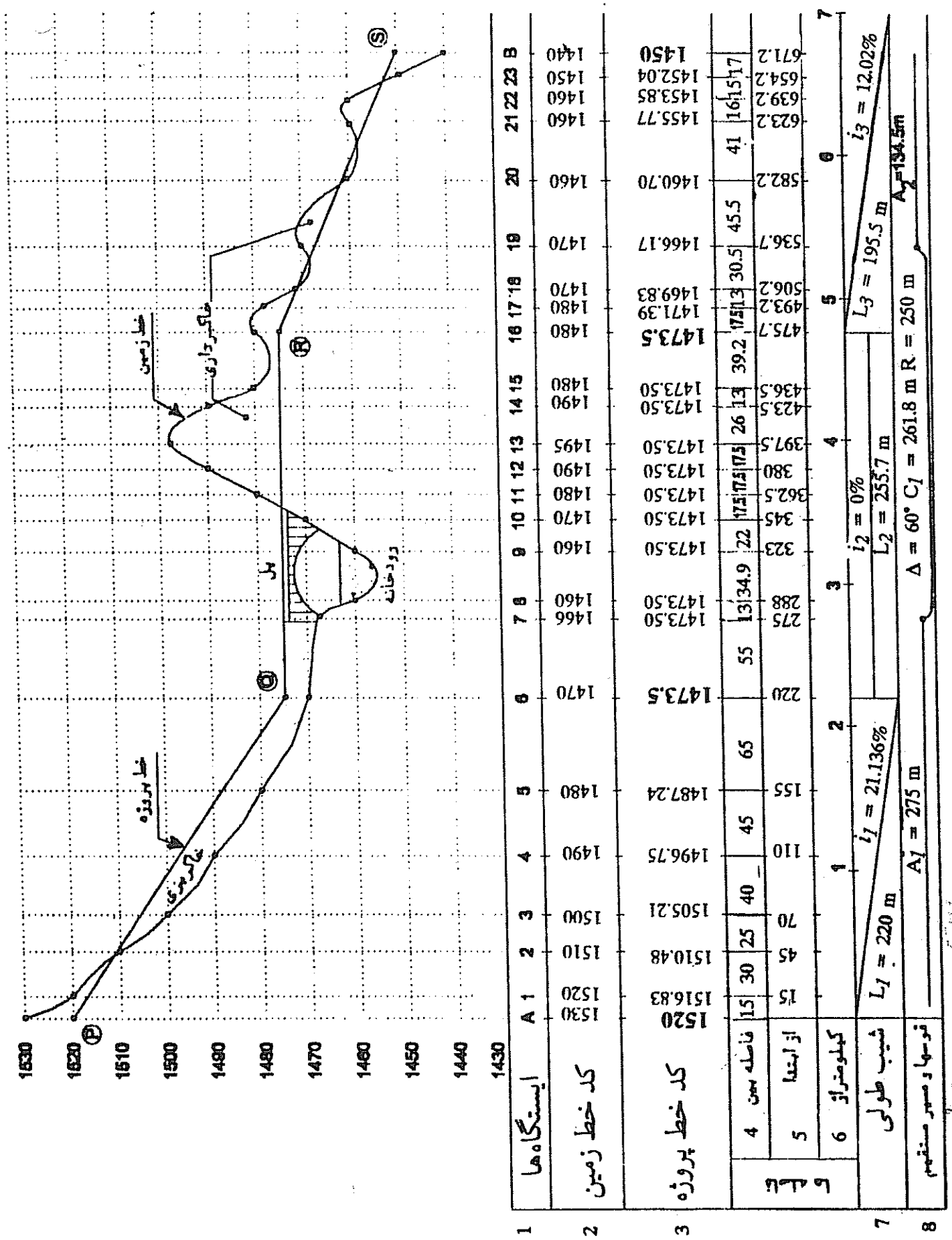
الف- پروفیل طولی(نیمرخ سراسری): نیمرخ سراسری را می‌توان برشی از ابتدا تا انتهای مسیر فرض نمود که در آن نسبت طول راه به بلندی مسیر نشان داده می‌شود. پروفیل طولی *(longitodinal section)* را می‌توان مهمترین نقشه راه پنداشت. پروفیل طولی دارای دو خط: خط زمین(خط سیاه) و خط پروژه(خط قرمز) می‌باشد. خط زمین ناهمواری طبیعی زمین را در بخشهایی که مسیر از آنجا گذشته نشان می‌دهد و خط پروژه شیب طولی مسیری که می‌خواهیم بسازیم را نشان می‌دهد. اگر خط پروژه بالاتر از خط زمین باشد، خاکریز و اگر خط پروژه پایین‌تر از خط زمین قرار گیرد خاکبرداری(ترانشه) خواهیم داشت.

در گام های نخستین مسیریابی نقشه پروفیل طولی رابه گونه‌ای ساده رسم می‌نماییم که جدول زیر آن دو یا سه ردیف خواهد داشت. ولی در گامهای پایانی طراحی پروفیل طولی و جدول زیر آن باید کامل باشند.(نمای ۱۴).



نمای ۱۳ - مسیر پلان تمرین

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306



نمای ۱۴ - پروفیل طولی تمرین

پروفیل طولی دارای دو مقیاس طولها *(L)* و بلندیها *(H)* است. اندازه مقیاس طولها همانند مقیاس نقشه پلان *(1:2000* تا *1:20000)* و اندازه مقیاس بلندیها ده برابر مقیاس طولها *1:200* تا *1:2000* میباشد. بیشتر داده‌های پروفیل طولی از نقشه پلان بدست می‌آید. برای آشنایی با رسم پروفیل طولی یک نمونه ساده ارائه می‌دهیم.

برای مسیر نشان داده شده در نمای ۱۳ با مقیاس *1:5000* می‌خواهیم پروفیل طولی رسم نماییم. هماهنگونه که در نمای ۱۳ دیده می‌شود، مسیر *AB* دارای *25* ایستگاه می‌باشد. محل برخورد محور راه با منحنی میزان را ایستگاه در نظر گرفته‌ایم. چون قوسهای مسیر مهم می‌باشند. ابتدا، میانه و انتهای قوس را نیز ایستگاه در نظر می‌گیریم (در پروژه‌های راهسازی هر *20 — 50 m* را باید یک ایستگاه در نظر گرفت). هر چه تعداد ایستگاه‌های مسیر بیشتر باشد، محاسبه حجم کارهای خاکی دقیق‌تر می‌گردد. برای هر ایستگاه در پروفیل طولی بهتر است که یک پروفیل عرضی رسم نمود.

ابتدا با کاغذ میلیمتری دو محور که یکی محور طولی (با مقیاس *1:5000*) و دیگری محور بلندی‌ها (بامقیاس *1:500*) است را در بالای جدول رسم می‌نماییم. با خط کش فاصله بین ایستگاه‌ها را از نقشه پلان اندازه‌گرفته و ردیف ۱،۴،۵ جدول را پر می‌کنیم. برای تهیه نقشه‌های اجرایی(گامهای پایانی پروژه) این فاصله‌ها با دوربین نقشه برداری و میخ کوبی بر روی زمین بدست می‌آید. فاصله *A* تا *1* برابر *3 mm* است که در واقعیت(مقیاس *1:1*) برابر *15 m* است. در ردیف ۴ جدول به اندازه *3 mm* جدا نموده و بین آن فاصله *15 m* را می‌نویسیم. در راستای آن در ردیف ۱ شماره ایستگاه را یادداشت می‌نماییم. ردیف ۵ جمع فاصله ایستگاه از ابتدا می‌باشد.(*15* در ایستگاه۱ و *15+30* در ایستگاه ۲) و به همین ترتیب ادامه می‌دهیم.

بخش قوسی شکل مسیر را نمی‌توان با خط کش اندازه گرفت و باید محاسبه نمود که روش محاسبه آن برای این تمرین در نمای ۱۵ نشان داده شده است.برای نقشه‌های اجرایی این فاصله ها را با دوربین اندازه می‌گیریم (بخش دوم کتاب ، نمای ۱۳ - ۱۵).

$C = \pi R \Delta / 180 = \sum c_i$

$C = \pi(250)60 /180 = 261.8\ m$

$c_i = \pi R \delta_i / 180$

$\Sigma \delta_i = \Delta$

$\delta_1 = 3^\circ\ ;\ \delta_2 = 8^\circ\ ;\ \delta_3 = 5^\circ$

$\delta_4 = 4^\circ\ ;\ \delta_5 = 4^\circ\ ;\ \delta_6 = 4^\circ$

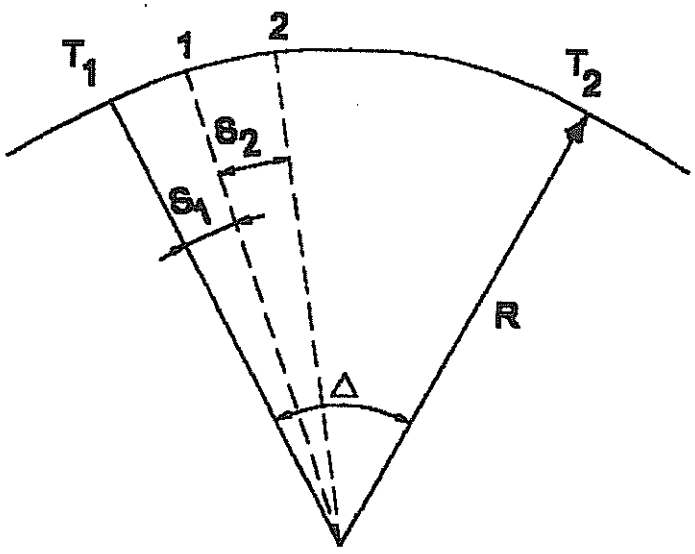
$\delta_7 = 6^\circ\ ;\ \delta_8 = 3^\circ\ ;\ \delta_9 = 9^\circ$

$\delta_9 = 9^\circ\ ;\ \delta_{10} = 4^\circ$

$\delta_{11} = 3^\circ\ ;\ \delta_{12} = 7^\circ$

$\sum c1 = \pi(250)3 / 180 = 13.09\ m$

$c_3 = 21.82\ m\ ;\ c_4 = 17.5\ m\ ;\ c_9 = 39.27\ m$



نمای ۱۵ - روش بدست آوردن اندازه تکه کمان‌های قوس

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

پس از پایان ۳ ردیف جدول، ردیف ۶ را پر می‌کنیم. هر $100\ m$ و هر $1\ km$ را با نقطه و دایره نشان می‌دهیم. یادآوری می‌گردد که مهندس طراح می‌تواند تصمیم بگیرد که پروفیل طولی را به گونه‌ای دیگر رسم نماید.

برای پر نمودن ردیف ۲ جدول، بلندی هر ایستگاه را از محل برخورد محور راه با منحنی میزان در نقشه پلان برداشت می‌نماییم. هنگامیکه ایستگاه درست بر روی منحنی میزان نباشد (همانند ایستگاه ۷ و۱۳) می‌توان از درون‌یابی (اینترپوله) بلندی را بدست آورد. پس از اینکه کد خط زمین در ردیف ۲ نوشته شده، با توجه به مقیاس بلندی‌ها این نقاط را نمایش می‌دهیم. نقاط کد خط زمین را بهم وصل نموده و خط زمین نشان داده می‌شود.

حال نوبت خط پروژه می‌باشد. رسم و طراحی خط پروژه از مهمترین بخش‌های طراحی راه است. تمامی کیفیت پروژه در گروی چگونگی رسم و طراحی خط پروژه است که در اینجا چون جنبه آموزشی دارد ، خط پروژه را بدون در نظر گرفتن پارامترهای فنی و طراحی رسم می‌نماییم و فقط تنها جنبه برابری خاکبرداری با خاکریزها تا حدودی رعایت می‌گردد.

بیشترین اندازه شیب طولی خط پروژه بستگی به سرعت طراحی، کلاس راه و ناحیه‌ای که راه از آن می‌گذرد دارد. برای نمونه برای سرعت طراحی $V_d = 110\ km/h$ شیب مجاز 5% و برای $V_d = 50\ Km/h$ شیب مجاز $7-12\ \%$ (در نواحی کوهستانی 12% و در دشت 7%) است.

اگر درازای خط پروژه بیش از نیم کیلومتر باشد، بهتر است برای سمت سر بالایی (فراز) باند کمکی در نظر گرفته شود. در صورت نبود باند کمکی، بیشترین درازای شیب بهتر است بیش از $750\ m$ برای $i>3\ \%$ و $250\ m$ برای شیب $i>8\%$ باشد. تا خودروهای سنگین هنگام پیمودن شیب دچار کاهش شدید سرعت نگردند. در نواحی که بارندگی زیاد است کمترین اندازه شیب طولی 0.5% باید در نظر گرفته شود. در نمای ۱۶ اندازه کاهش سرعت (mph) ارایه گشته که محور yها درصد شیب و محور x ها درازای شیب به فوت است $(1mile = 1.609\ km\ ;\ 1ft = 0.305\ m)$.

بین دو خط پروژه قوس‌های قائم طراحی می‌گردد. رسم خط پروژه نیازمند مهارت و تجربه می‌باشد. یادآوری می‌گردد که در پروژه‌های واقعی، بدست آوردن خط پروژه بستگی به پارامترهای زیادی دارد که در زیر به چند مورد آن اشاره می‌گردد :

۱ - شیب خط پروژه کمتر از شیب مجاز باشد،
۲ - تا جای ممکن کوشش گردد حجم خاکبرداری‌ها با خاکریزها برابر گردد،
۳ - شیب طولی در پل‌ها بهتر است $0\ \%$ در نظر گرفته شود،
۴ - پس از پل، شیب طولی نگذاریم (بخشی از قوس قائم روی پل می‌افتد)،
۵ - شیب تونل‌ها بهتر است $1 - 3\ \%$ باشد و همواره در طول تونل ، قوس قائم کوژ طراحی گردد (آب باران در میانه تونل جمع نشود)،
۶ - اگر خط پروژه (با شیب مجاز) دارای طول زیادی گردید (در کوهستان)، بهتر است که در میانه آن بخشی از مسیر را با شیب $0\ \%$ در نظر گرفته شود،
۷ - قوس قائم هیچگاه بر روی قوس پیوندی (کلوتوید) قرار نگیرد (ولی قوس قائم را بر روی قوس دایره می تواند قرار داد)،
۸ - کمترین درازای یک تکه خط پروژه باید بیشتر از نیمه طول قوس قائم ابتدا + نیمی از طول قوس قائم انتها باشد : $V_1V_2 > 0.5\ (L_{v1} + L_{v2})$ ،

برای رسم خط پروژه با توجه به ناهمواری‌های خط زمین، ابتدا دو نقطه را انتخاب نموده و خط کش را روی رسم خط زمین و بین این دو نقطه انتخابی گذاشته و با توجه به اندازه شیب طولی مجاز مسیر، اینقدر خط کش را بالا و پایین می‌بریم تا بهترین جایگاه تکه خط پروژه نسبت به فرم هندسی خط زمین (برابری خاکبرداری و خاکریز) و نسبت به دیگر نیازهای پروژه، بدست آید.

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306 29

در این تمرین، برای رسم تکه پروفیل اول PG کد خط پروژه را در ابتدا برابر 1520 در نظر می‌گیریم . و نقطه پایانی تکه اول را برابر 1473.5 انتخاب می‌نماییم(بهتر است نقطه ابتدا و پایانی تکه خط پروژه انتخاب گردد). شیب طولی این تکه بدست می‌آید. آنرا در ردیف ۷ جدول می‌نویسیم که برابر است با:

$$i_1 = \frac{Dh}{L} = \frac{1520 - 1473.5}{220} = 21.136\%$$

کد خط پروژه نقاط مابینی را باید محاسبه نماییم(خواندن با چشم و خط کش از پروفیل نادرست است). کد خط پروژه نقطه 1 (ایستگاه 1) برابر است با:

$$1520 - 15(\frac{21.136}{100}) = 1516.83$$

کد خط پروژه ایستگاه ۲ برابر است با:

$$1520 - 45(\frac{21.136}{100}) = 1510.49$$

و دیگر ایستگاه‌ها:

$$1520 - 110(\frac{21.136}{100}) = 1496.75 \text{ یا } 1473.5+(65+45)(\frac{21.136}{100}) = 1496.75$$

برای تکه خط پروژه دوم GR ، نقطه ابتدای خط پروژه دوم، همان نقطه پایانی تکه پروفیل اول است. باز خط کشی را گذاشته و بهترین جایگاه خط پروژه را بدست می‌آوریم(که نقطه پایانی انتخاب می‌گردد). اندازه شیب طولی را بدست آورده، ردیف ۷ جدول را ادامه می‌دهیم و سپس همانند تکه پروفیل اول، کد خط پروژه نقاط مابینی بدست آمده و ردیف ۳ جدول در ادامه پر می‌شود.

خط پروژه از سه تکه PG، QR و RS تشکیل یافته است. بین ایستگاه ۷ تا ۱۰ پل خواهیم داشت و بلافاصله پس از پل نمی‌توان تغییر شیب طولی داشت(درازای تانژانت قوس قائم نباید بر روی پل بیافتد). چون بهتر است پل در شیب 0% باشد، این تکه از پروفیل باینکه حجم خاک را زیاد می‌نماید. برابر 0% در نظر می‌گیریم.

ردیف ۸ جدول بیانی از نقشه پلان می‌باشد.بدین گونه که در نقشه پلان از نقطه A تا ایستگاه ۷ مسیر مستقیم به درازای $A1=275\ m$ و از ایستگاه ۷ تا ۱۹ قوس و از ۱۹ تا B با مسیر مستقیم به درازای $A2=134.5\ m$ خواهیم داشت. پس درازای کل مسیر از A تا B برابر: $A1+A2+C1$ است که از طرفی نیز برابر: $L1+L2+L3$ باید باشد. قوس راست با برآمدگی به بالا و قوس چپ (چپگرد) با برآمدگی به پایین نشان داده میشوند.

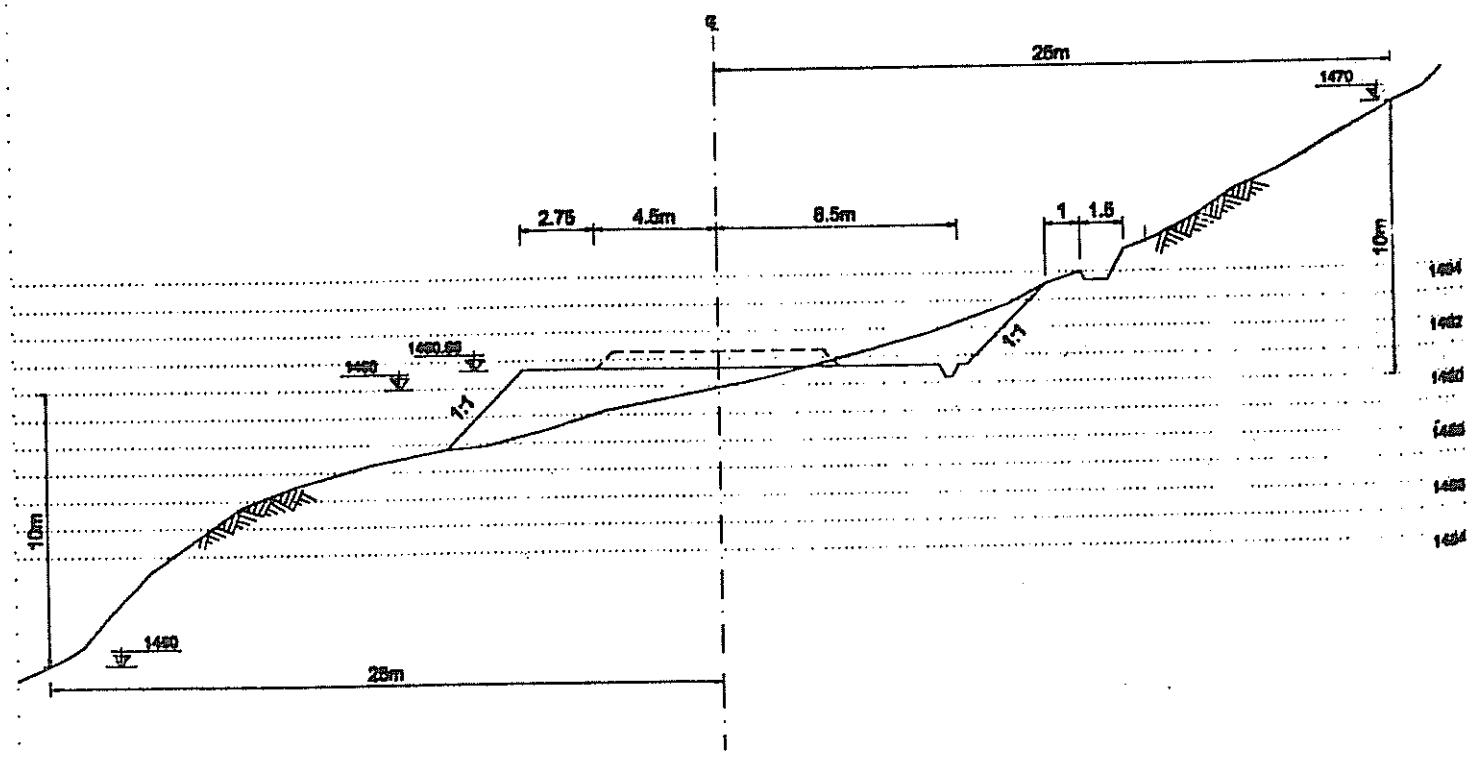
ب - پروفیل عرضی یا برش جانبی *(Cross Section)*: پروفیل عرضی را می‌توان برشی از بدنه راه دانست .پیش از اینکه به ویژگی‌های فنی آن بپردازیم، سه نمونه از نحوه رسم پروفیل‌های عرضی را ارایه می‌نامیم. برای تمرین بالا از ایستگاه ۴ ،۱۵ و ۲۰ (پروفیل طولی نمای ۱۴ و نقشه پلان نمای ۱۳) پروفیل‌های عرضی رسم می‌نماییم. فرض می‌گردد که پهنای کف راه در خاکریز برابر $14.5\ m$ (سطح سواره رو $9\ m$ که دو تا شانه راه $2.75\ m$ به آن افزوده می گردد). در خاکبرداری (ترانشه) $1.25m$ برای هر طرف آبرو (جوی) نیز به پهنای کف راه نیز افزوده می‌گردد $(17\ m)$. برابر نیاز و درخواست کار فرما فرض می‌گردد، اگر بلندی ترانشه بیش از $10\ m$ گردد، باید دیوار حایل بیش بینی نمود. در خاکریزی‌های بیش از $3\ m$ بلندی، نرده به پهنای $0.1\ m$ باکناره $0.65\ m$ ساخته شود. شیب شیروانی برابر بررسی‌های آزمایشگاه ژئوتکنیک باید $1:1$ باشد.

یادآوری می‌گردد که پروفیل‌های عرضی که با این روش رسم می‌گردد، تقریبی بوده و فقط برای ارزیابی اولیه حجم خاک می‌باشد. در گام‌های پایانی پروژه *(Location Survery)* پروفیل‌های عرضی توسط گروه نقشه بردار و با دوربین در محل برداشت و سپس رسم می‌گردد.

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

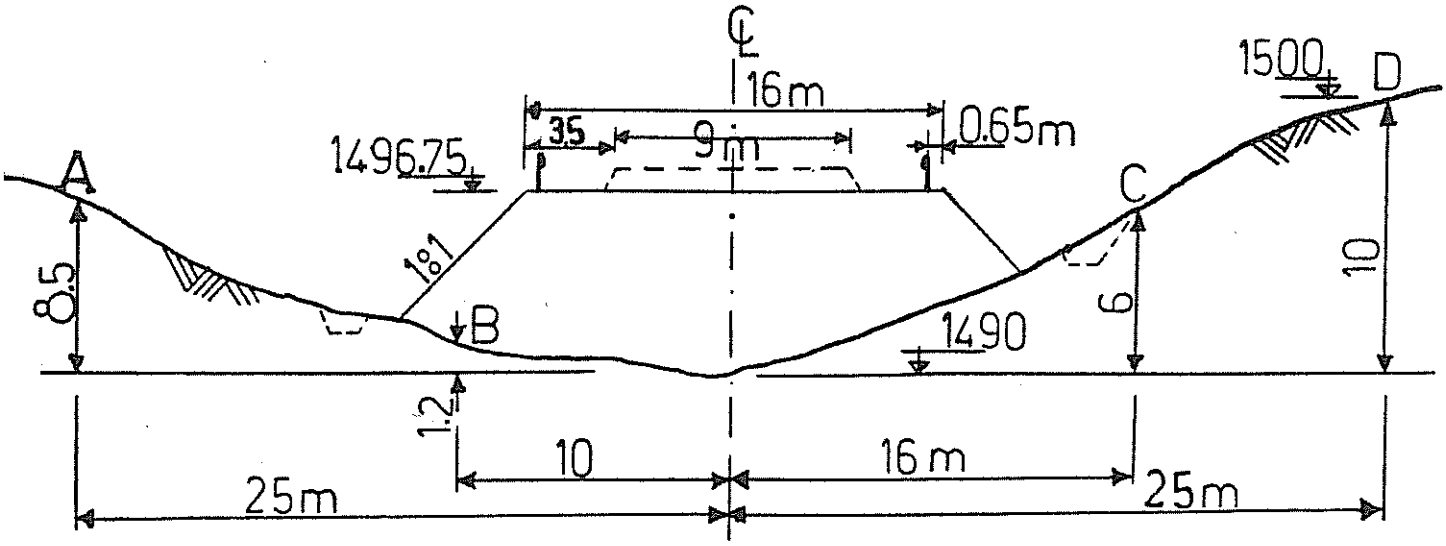
ابتدا کد خط زمین و کد خط پروژه ایستگاه ۴، ۱۵ و ۲۰ را از پروفیل طولی برداشت می‌نماییم. محور راه را بصورت خط - نقطه رسم می‌نماییم. با مقیاس، کدهای خط زمین و خط پروژه را بر روی محور راه علامت می‌گذاریم. از محل کد خط زمین بموازات افق اندازه‌های بیرون می‌آوریم (در اینجا $25\ m$ و $10\ m$). با همین اندازه‌ها به نقشه پلان رفته و از طرفین ایستگاه مورد نظر عمودی بر مسیر در ایستگاه مورد نظر بیرون می‌آوریم (با توجه به مقیاس پلان). بلندی نقاط قرار گرفته از خط عمود را در $25\ m$ و $10\ m$ می‌خوانیم. با بلندی بدست آمده به نقشه پروفیل عرضی رفته و بر خطوط موازات افق که پیش از این رسم نمودیم، اندازه بلندی را نشان می‌دهیم.

برای نمونه در ایستگاه ۱۵ از نقطه GL به اندازه $25\ m$ به طرفین خط موازات افق رسم می‌نماییم. دو نقطه A' و B' بدست می‌آید (مقیاس نقشه پروفیل عرضی $1:200$ است که $12.5\ cm$ می‌گردد). در نقشه پلان خطی عمود بر مسیر در ایستگاه ۱۵ می‌کشیم. چون مقیاس پلان $1:5000$ می‌باشد، فاصله $25\ m$ برابر $5\ mm$ می‌گردد. بلندی این نقطه را می‌خوانیم (1491 در سمت راست و 1472 در سمت چپ)، به پروفیل عرضی آمد، و به اندازه $11m$ از نقطه B' و $18\ m$ از نقطه A' به بالا و پایین عمود رسم می‌نماییم تا نقطه A و B بدست آید. دو نقطه کمکی دیگر را در فاصله‌هایی دیگر نیز بدین ترتیب بدست می‌آوریم. نقاط رابهمدیگر وصل نموده، خط زمین در پروفیل عرضی بدست می‌آید (ناهمواری جانبی زمین). از نقطه RL نیز به اندازه کف راه، شانه راه و اندازه آبرو، از محور راه عمود بیرون آورده (برای ایستگاه ۱۵ این اندازه برابر $17\ m$ است). با شیب $1:1$ خط اوریبی رسم نموده تا خط ناهمواری‌های جانبی زمین رادر نقطه D,C قطع نماید. دیگر داده‌های پروفیل را به رسم می‌افزاییم (نمای ۱۸،۱۷ و ۱۹).

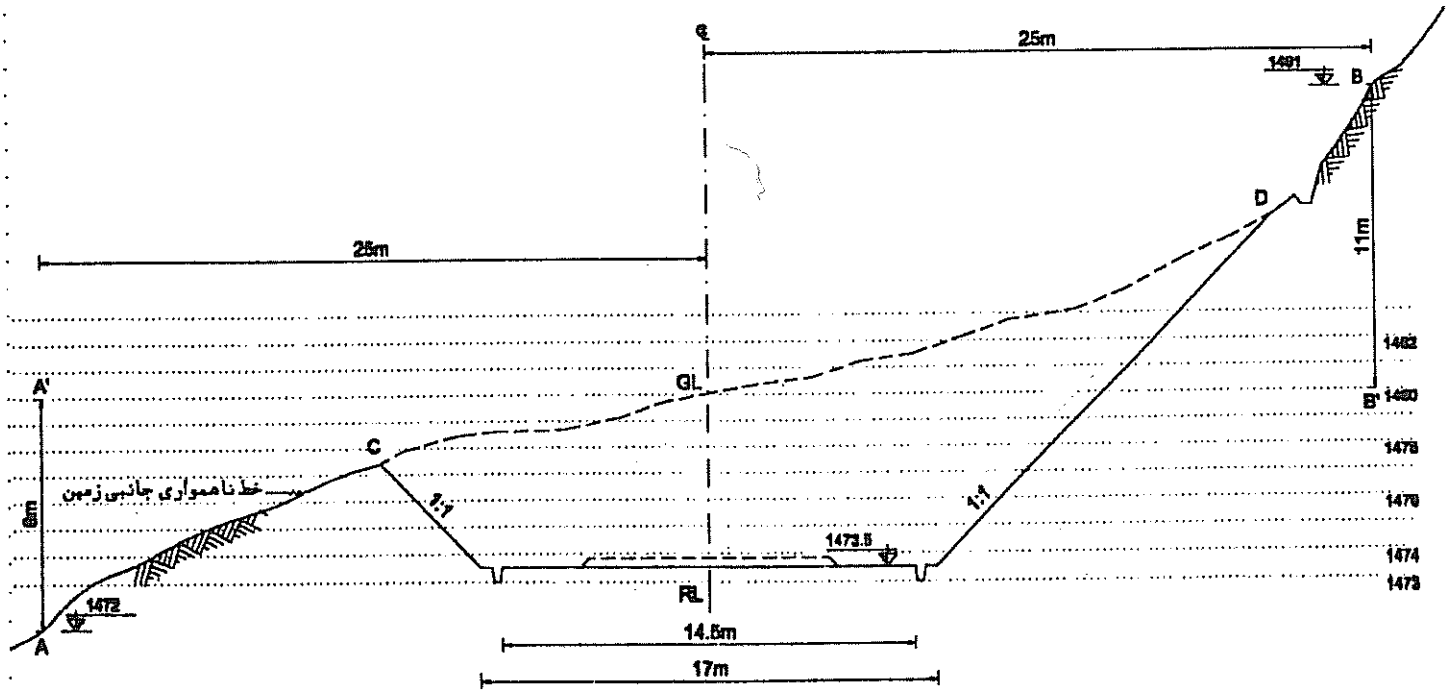


نمای ۱۹ - پروفیل عرضی ایستگاه شماره ۲۰

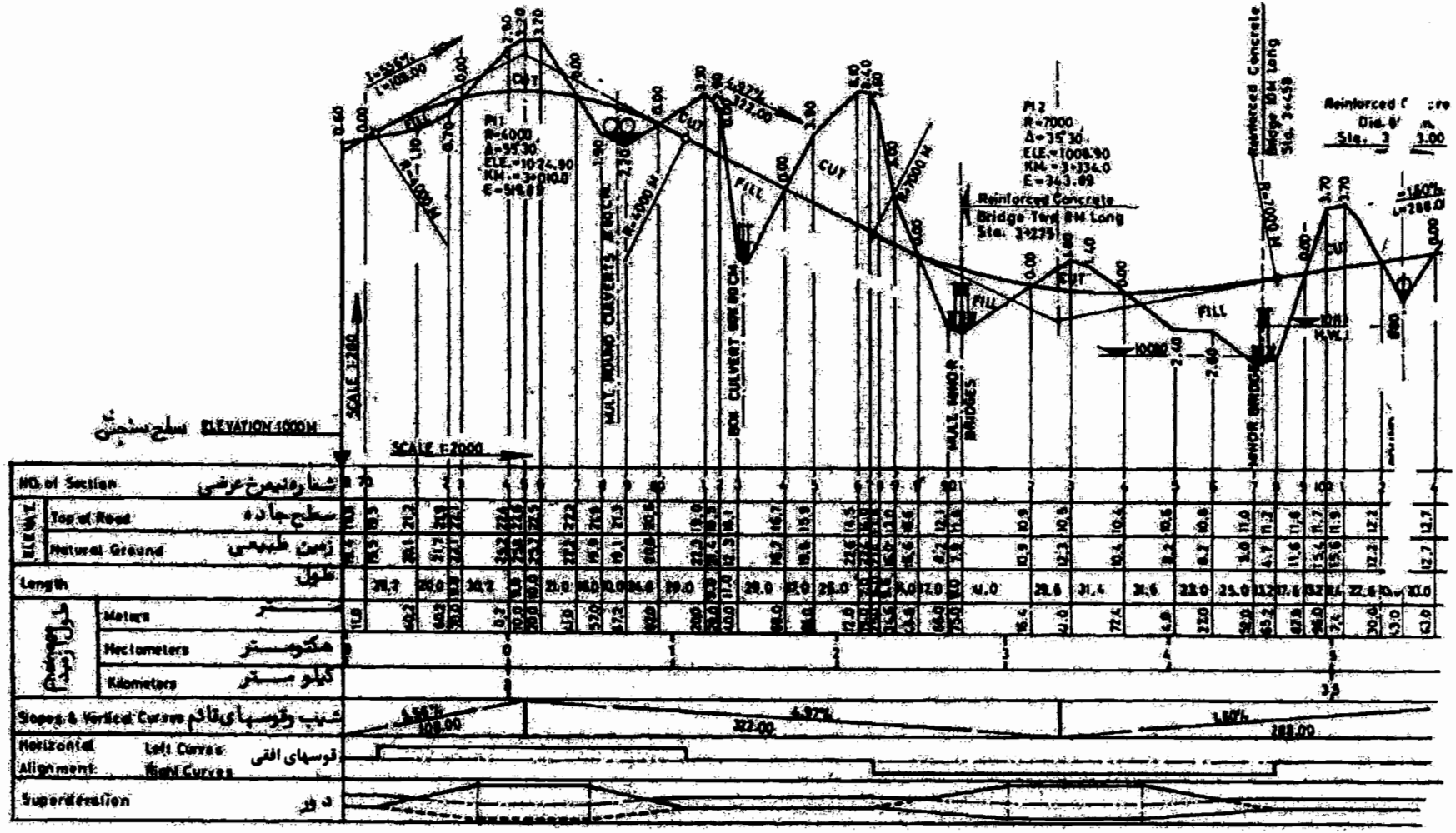
Alfa Copy - 0471-2221895-2230306



نمای ۱۷ - پروفیل عرضی ایستگاه شماره ۴



Alfa Copy - 0471-2221895-2230306



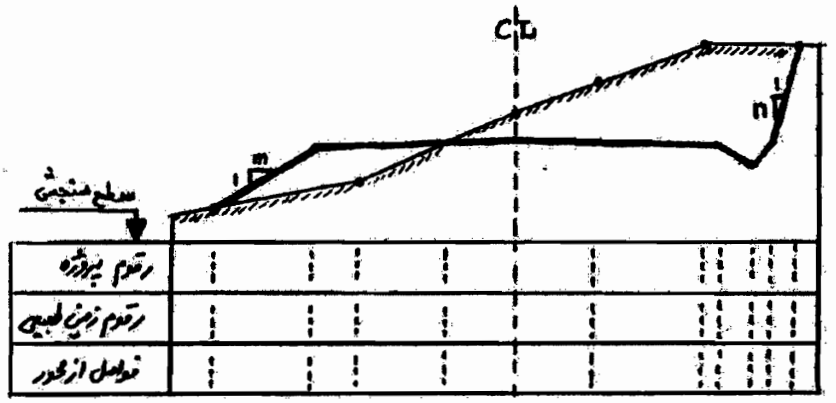
شکل نمونه‌ای از نحوه نمایش پروفیل طولی ساده

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

۳-۴- پروفیلهای عرضی راه :

۳-۴-۱- تعریف پروفیل عرضی : مقطع یا برش جانبی از بدنه راه را پروفیل عرضی می نامند. در این نقشه ها وضعیت ارتفاعی خط پروژه و خط زمین طبیعی در امتداد عمود بر محور مسیر نشان داده می شوند.

معمولاً به ازای هر ایستگاه در پروفیل طولی یک پروفیل عرضی برداشت می شود و با مقیاس ۱:۲۰۰ بر روی کاغذ ترسیم می گردد.



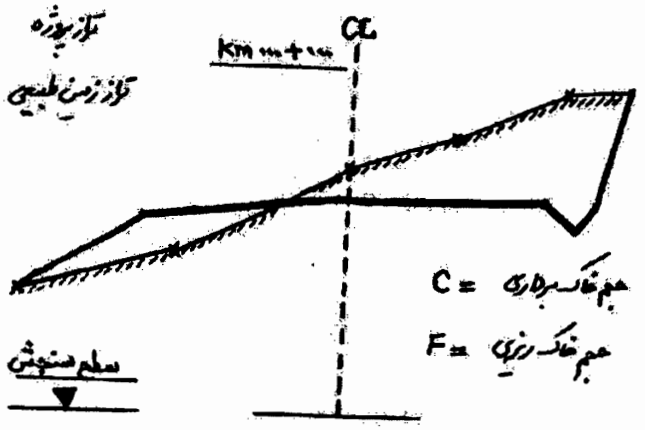
در عمل با توجه به اینکه پروفیلهای عرضی با استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری و با اشکال معین ترسیم می شوند، دیگر نیازی به نوشتن جدول فوق الذکر نبوده و پروفیلهای عرضی به صورت ساده و مطابق با شکل زیر ترسیم می گردند.

Scale : 1/200

No of Section : شماره نیمرخ

PL : تراز پروژه

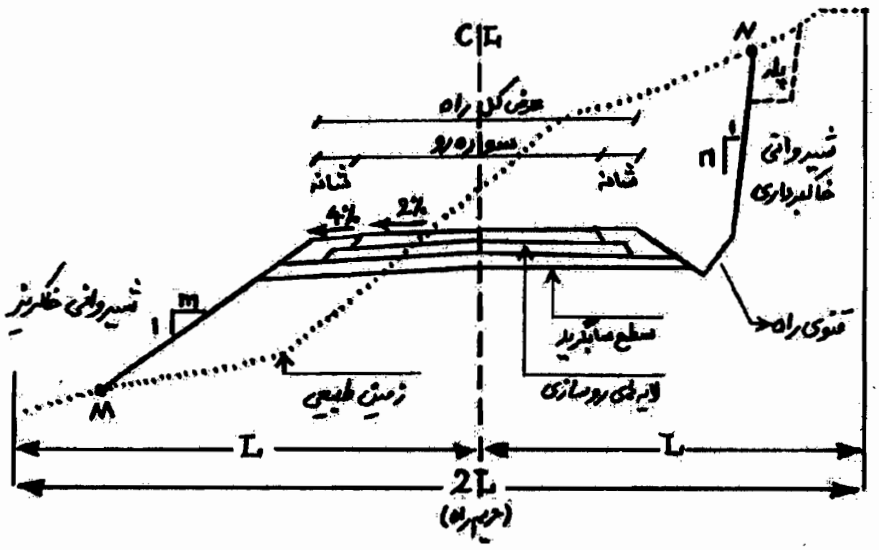
NGL : تراز زمین طبیعی



کلیه ابعاد و اندازه ها با توجه به مقیاس شکل قابل دستیابی می باشد و مشخصات نیز به صورت نشان داده شده درج می گردد.

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

۳-۴-۲- تعریف پروفیل عرضی تیپ : عبارت است از نقشه‌ای که بر روی آن عرض سواره رو، شانه‌ها و میانه، شیب عرضی سواره رو، شانه‌ها و میانه، حریم راه، شیب شیروانی‌های خاکبرداری و خاک‌ریزی، ضخامت لایه‌های روسازی و موقعیت آبروهای میانه و کنار راه مشخص می‌گردد.



۳-۴-۳- اجزای پروفیل عرضی :

① عرض سواره رو : به آن قسمت از سطح زمین راه که به منظور عبور و مرور وسایل نقلیه به صورت شنی، آسفالتی یا بتنی روسازی شده است، سواره رو اطلاق می‌گردد. سواره رو بر حسب مورد دارای یک یا چند خط عبور بوده و عرض هر خط عبور بسته به درجه بندی راه و موقعیت قرارگرفتن در مسیر (مستقیم یا پیچ) متفاوت است.

مطابق آیین‌نامه طرح هندسی راه‌ها، برای قسمتهای مستقیم مسیر باید عرضهای زیر را در نظر گرفت :

الف - عرض هر خط عبور در آزادراه، بزرگراه و راه اصلی درجه یک برابر ۳٫۶۵ متر می‌باشد.

ب - عرض هر خط عبور در راه اصلی درجه دو برابر ۳٫۵ متر می‌باشد.

ج - عرض هر خط عبور در راه فرعی درجه یک برابر ۳٫۲۵ متر می‌باشد (سواره روی دوخطه ۶٫۵ متری)

د - عرض هر خط عبور در راه فرعی درجه دو برابر ۳٫۲۵ متر می‌باشد (سواره روی دوخطه ۵٫۵ متری)

هـ - عرض خط ویژه وسایل نقلیه سنگین در سربالایی برای آزادراه و بزرگراه ۳٫۶۵ متر می‌باشد.

و - 〃 〃 〃 〃 برای راه اصلی ۳٫۲۵ متر می‌باشد.

ز - عرض خط کمکی و خط ویژه گردش به چپ ۳٫۲۵ تا ۳٫۶۵ متر و در شرایط دشوار ۳ متر می‌باشد.

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

نکات مربوط به عرض سواره رو :

- طبق توصیه آیین نامه باید سعی گردد مقادیر عرضهای ذکر شده در محل پلهای بزرگ و تونلها نیز رعایت گردد.
- عرض های مذکور پهنای نوار خط کشی را نیز در بر می گیرند ، اما اضافه عرض در پیچ ها به عرضهای فوق افزوده می شود.
- هرگونه تغییر در عرض سواره رو به صورت تدریجی و با نصب علایم مشخص اعمال می گردد.

② شیب عرضی سواره رو : میزان شیب عرضی در قسمتهای مستقیم راه (و پیچها با شعاع بزرگ که احتیاج به برطرف نمودن ندارند) بستگی به موارد زیر دارد :

- درجه بندی راه
- تعداد خطوط عبور
- سرعت طرح
- نوع رویه راه
- وضع جوی منطقه

مطابق آیین نامه طرح هندسی راهها ، در قسمتهای مستقیم مسیر شیبهای عرضی به شرح زیر می باشند :

الف - برای رویه های آسفالتی ، بتنی و روکش جدید روسازی ۱٫۵ تا ۲٫۵ درصد

ب - برای رویه های شنی ۳ تا ۵ درصد

ج - در تونلها ۱ تا ۱٫۵ درصد

شیب دو طرفه به روسازی هر جهت	شیب یک طرفه به روسازی هر جهت	شیب یک طرفه به روسازی هر جهت
• تخلیه سریع آب و زه کشی بهتر.	• خط دست راست هر جهت زهکشی بهتر دارد.	• خط سرعت باید تمام آبهای سطحی را عبور دهد.
• جداشدن اختلاف امتداد بین نقاط روسازی.	• نهر و کانال آب فقط در وسط قرار می گیرد.	• نهر و کانال آب باید در هر دو طرف قرار گیرد.
• نهر و کانال آب باید در هر ۲ طرف قرار گیرد.		

گزینه های مختلف اعمال شیب عرضی سواره رو در راه جدا شده

(مزایا و معایب)

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

③ عرض شانه راه : به آن قسمت از سطح نواری راه که در طرفین سواره رو قرار می‌گیرد و برای توقف یا عبور اضطراری خودروها بکار می‌رود ، شانه اطلاق می‌گردد. در راههای با سواره رو آسفالتی یا بتنی ، شانه راه اعم از اینکه رویه دار یا بدون رویه باشد ، به صورت نواری کاملاً متمایز در کنار سواره رو قرار دارد. اما در رویه‌های شنی ، سراسر عرض راه (شانه + سواره رو) یکپارچه است و نوار واحدی را تشکیل می‌دهد.

وظایف و مزایای شانه راه عبارتند از :

- ایجاد نوعی فرصت و راه در رو برای خودروهایی که به هر دلیل از سواره رو منحرف شده اند (کاهش شدت سوانح)
- ایجاد احساس بهتر بودن نوار راه ، آسایش و آسودگی ناشی از آزادی عمل راننده
- افزایش فاصله دید در پیچ‌های داخل برشها و ترانشه‌ها و در نتیجه افزایش ایمنی
- افزایش ظرفیت راه بدلیل عدم انحراف رانندگان به سمت وسط جاده و عدم فاصله خودروها از لبه کنار راه
- فراهم آوردن محلی برای انباشتن برف حاصل از برف روبی سواره رو در مناطق برفگیر
- فراهم آوردن فاصله آزاد جانبی علایم راه از لبه سواره رو
- فراهم کردن محل عبور پیاده و دوچرخه

عرض شانه طرفین راه برحسب درجه بندی راه در جدول ۶-۱ آیین نامه طرح هندسی راه ارائه شده است .

④ شیب عرضی شانه : شیب شانه‌های راه باید به گونه‌ای باشد که آب برای سطحی به خوبی از روی آن عبور کند.

ARSHTO شیب عرضی مناسب برای شانه‌های راه را براساس نوع روسازی به شرح زیر اعلام نموده است :

الف - برای شانه‌های روسازی شده آسفالتی یا بتنی ۳ تا ۵ درصد

ب - برای شانه‌های پوشیده با مصالح شنی یا سنگ شکسته ۴ تا ۵ درصد

ج - برای شانه‌های چمن کاری شده برابر ۸ درصد

در مواردی که شیب سواره رو و شیب شانه در جهت مخالف باشند ، تفاوت جبری شیب شانه و سواره رو نباید از ۸ درصد تجاوز نماید. این موضوع در پیچ‌ها که سواره رو دارای شیب عرضی یکسره یا بر بلندی است ، پیش می‌آید.

$$|i_1 - i_2| \leq 8\%$$

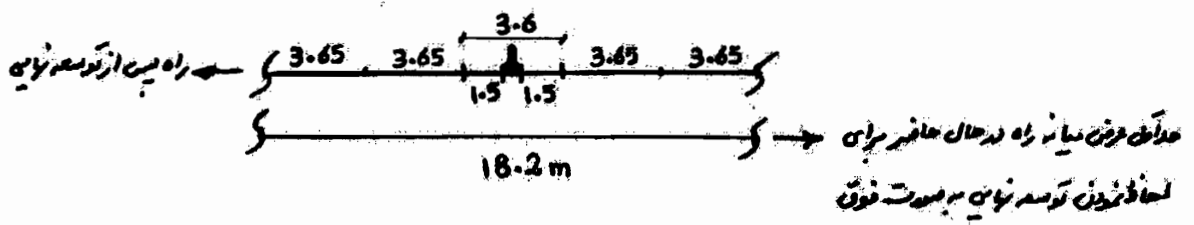
Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

⑤ عرض میانه راه : حد فاصله لبه‌های داخلی سواره روی جهت رفت و برگشت یک راه جدا شده را میانه گویند.

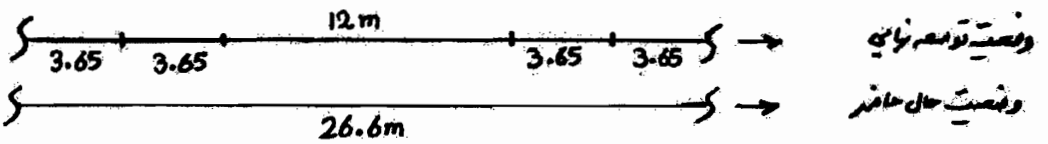
وظایف و مزایای میانه راه عبارتند از :

- جلوگیری از تداخل ترافیک دو طرف
- فراهم ساختن فضای درو برای وسایل نقلیه‌ای که کنترل خود را از دست داده‌اند.
- فراهم ساختن محل برای توقفهای اضطراری و مواقع خطر
- فراهم ساختن فضا برای خط انتظار گردش به چپ
- فراهم ساختن محل توقف برای عابر پیاده که بتواند عرض خیابان را در دو مرحله طی کند.
- کم کردن اثر نامساعد نور ترافیک طرف مقابل
- در مناطق شهری میانه چمن کاری شده و دارای درختان پاکوتاه به فضای سبز شهری افزاید.
- در صورت نصب اضطراری موانعی همچون پایه پل و پایه انتقال برق یا روشنایی در میانه راه، باید آثار منفی ناشی از آن به لحاظ امنیتی بررسی و چاره جویی‌های لازم (نصب جان پناه و غیره) به عمل آید.

حداقل عرض میانه باید به اندازه‌ای باشد که با توجه به توسعه‌های مورد نیاز راه در آینده دور، بتواند وظیفه اصلی یعنی جداکردن جریان عبور دو طرف را عملی کند. این حداقل برای زمان توسعه نهایی راه باید ۳٫۶ متر باشد. لذا به عنوان مثال برای پیش بینی توسعه ۲ خط عبور در آینده دور، حداقل عرض میانه یک راه در حال حاضر ۱۸٫۲ متر در نظر گرفته می‌شود.



از طرفی حد نهایی مورد انتظار از میانه، عملاً در عرض ۱۲ متر حاصل می‌شود، به عبارت دیگر با میانه ۱۲ متر و بالاتر راه به صورت کاملاً مجزا عمل می‌کند. لذا در مثال قبل برای اینکه راه در آینده دور پس از توسعه نهایی هم دو مسیر رفت و برگشت کاملاً مجزا داشته باشد، حداکثر عرض میانه ۲۶٫۶ متر در نظر گرفته می‌شود.



Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

نکات مربوط به میانه راه :

- سطح میانه راه می تواند پایین تر، بالاتر و یا همکف با سطح راه باشد.
- در آزادراهها میانه معمولا پیوسته است ولی میانه سایر راهها در محل تقاطعها و محل دورزدن بریدگی دارد.
- سایر نکات اجرایی مربوط به میانه راه شامل شیب عرضی، روسازی، جدول و جان پناه در مبحث ۶-۵ آیین نامه طرح هندسی راه ارائه شده است.

(۶) حریم راه : آن قسمت از زمین بستر راه است که در مالکیت اداره راه و تراز می قرار می گیرد و انجام عملیات راه سازی و راهداری و ایجاد هرگونه تاسیسات مورد نیاز راه در آن فاصله بلامانع است. لکن ساکنان اطراف راه و یا ارگانهای دولتی حق احداث هیچگونه بنا و یا تاسیساتی را در داخل حریم راه ندارند.

وظایف اصلی حریم راه را می توان به شرح زیر بیان نمود :

- فراهم ساختن فضای لازم برای تعریض آتی راه
- ایجاد کانالهای زه کشی طولی و عرضی راه در حریم آن میسر می باشد.
- استفاده جهت عملیات راهداری و تامین ایمنی عبور و مرور رانندگان و ساکنان اطراف راه

براساس مصوبات شورای عالی فنی امور زیربنایی حمل و نقل، حریم های تعریف شده برای راههای کشور به شرح زیر است :

الف - حریم آزاد راه : عبارت است از زمینهای بین حد نهایی بدنه راه تا فاصله ۳۸ متر از محور راه در هر طرف، به گونه ای که مجموع عرض بدنه راه و حریم طرفین آن ۷۶ متر می شود.

(براساس مصوبه هیئت وزیران حریم آزادراه تهران - کرج و چند آزادراه دیگر ۱۲۰ متر است)

ب - حریم درجه یک : (راههای اصلی)

مطابق تعریف قبل با این تفاوت که فاصله از محور در هر طرف ۲۲/۵ متر و در مجموع ۴۵ متر است.

ج - حریم درجه دو : (راههای فرعی)

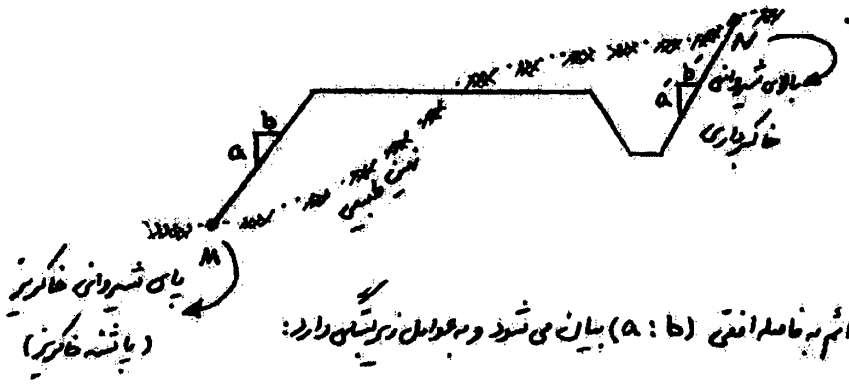
مطابق تعریف اول با این تفاوت که فاصله از محور در هر طرف ۱۷/۵ متر و در مجموع ۳۵ متر است.

د - حریم درجه سه : (راههای روستایی)

مطابق تعریف اول با این تفاوت که فاصله از محور در هر طرف ۱۲/۵ متر و در مجموع ۲۵ متر است.

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

(۷) شیب شیروانی : برحسب اینکه راه در خاکبرداری و یا خاکریزی واقع شده باشد، لبه خارجی شانه راه در پروفیل عرضی با شیب معینی به زمین طبیعی می پیوندد که بسته به مورد به آن شیروانی خاکبرداری و یا شیروانی خاکریزی گفته می شود.



شیب شیروانی به صورت نسبت فاصله قائم به فاصله افقی (a : b) بیان می شود و به عوامل زیر بستگی دارد:

- مطالعات ژئوتکنیک و خصوصیات خاک مورد استفاده در خاکریزها یا موجود در محل خاکبرداری ها
- ارتفاع خاکریزی یا خاکبرداری
- شیب زمین طبیعی در محل خاکریزی یا خاکبرداری
- هزینه عملیات خاکریزی و خاکبرداری
- زیبایی و امنیت راه

میزان شیب شیروانی برحسب طبقه بندی راه، ارتفاع خاکریزی یا خاکبرداری در جدول ۶-۲ آیین نامه طرح هندسی راهها ارائه شده است.

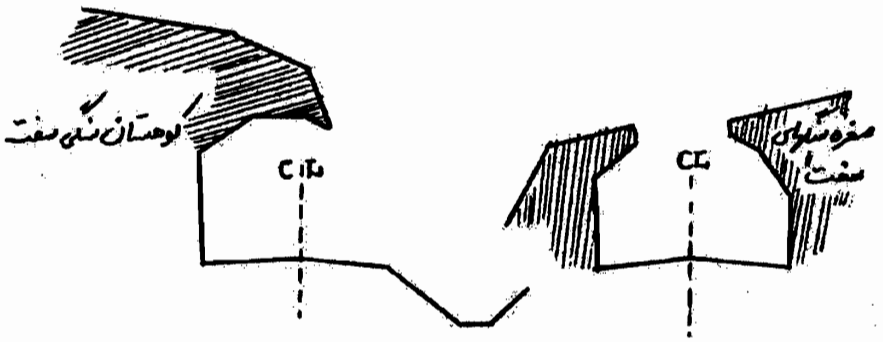
نکات اجرایی مربوط به شیب شیروانی در محلهای خاکبرداری و خاکریزی به شرح زیر می باشد:

- شیب شیروانی خاکریز در زمینهای معمولی (خاکهای شن و ماسه دار) برابر ۱:۱/۵
- " " " " با خاک نرم برابر ۱:۲
- " " " " ماسه بادی یا خاک رس خالص برابر ۱:۲ یا ۱:۳ یا کمتر
- شیب لبه های مصالح زیر اساس برابر ۱:۱/۵ تا ۱:۲
- شیب لبه های مصالح اساس شکسته و آسفالت برابر ۱:۱
- شیب شیروانی خاکریزهای سنگی (Rock Fill) به شرط اجرای خوب و جاگیری مناسب قطعات سنگی حداکثر ۱:۱ انتخاب گردد.

← خاکریزی با قطعات سنگی حاصل از انفجار در ترانشه ها

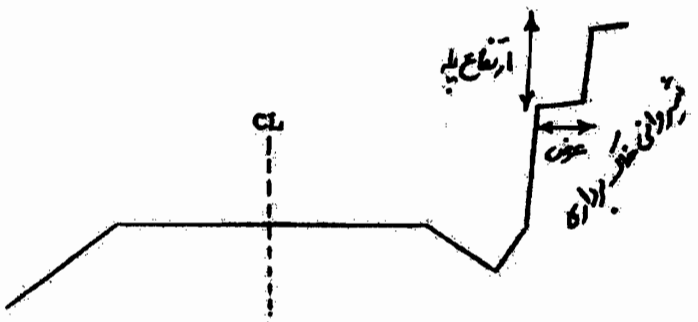
Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

- شیب شیروانی خاکبرداری در زمینهای خاکی و ریزشی (خاک رس، مارن و شیست) برابر ۱:۱
- " " " " رج و مخلوط ۲:۱ تا ۴:۱
- " " " " سنگی و یا جوش (کنگلومرا) برابر ۵:۱ یا بیشتر.
- شیب زمینهای سنگی سخت ممکن است به صورت قائم و یا حتی منفی (نیم تونل) اجرا گردد.



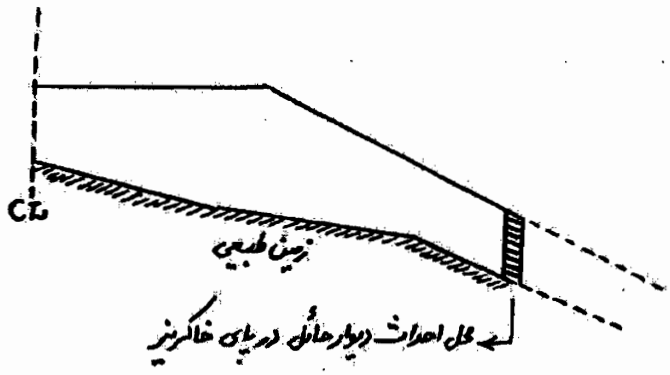
(نیم تونل)

در مواقعی که ارتفاع شیروانی های خاکبرداری بیش از ۶ متر شود، به منظور سبک کردن بار مرده ترانشه و کم کردن رانش خاک می بایست نسبت به ایجاد قسمتهای پلکانی به نام Berm در ارتفاع ترانشه اقدام نمود. ارتفاع پله ها و شیب شیروانی حد فاصل آنها بسته به جنس خاک ترانشه تا ۱۰ متر متغیر بوده و عرض آنها حداقل ۳ متر است (مقدار توصیه شده ۴ تا ۶ متر است تا ماشینهای راه سازی بتوانند در صورت ریزش آنها را تخلیه کنند)

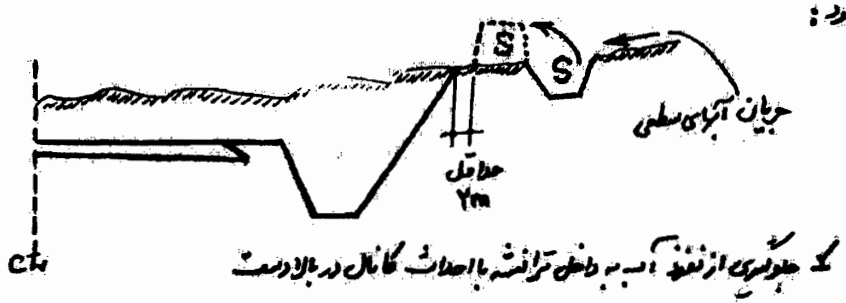


در خاکریزهای بلند به منظور صرفه جویی در حجم خاکریز، می توان احداث دیوار حائل را مورد بررسی قرار داد. در این حالت باید هزینه خاکریز صرفه جویی شده با هزینه احداث دیوار مقایسه شده و نیز هزینه نگهداری آینده راه مد نظر قرار گیرد. معمولاً در حالاتی که شیروانی خاکریز و زمین طبیعی تقریباً با هم موازی بوده و در فاصله دور یکدیگر را قطع می کنند، احداث دیوار حائل پای خاکریز ترجیح داده می شود. همچنین در مناطقی که شیب عرضی زمین طبیعی تند باشد، ناگزیر باید دیوار حائل احداث گردد.

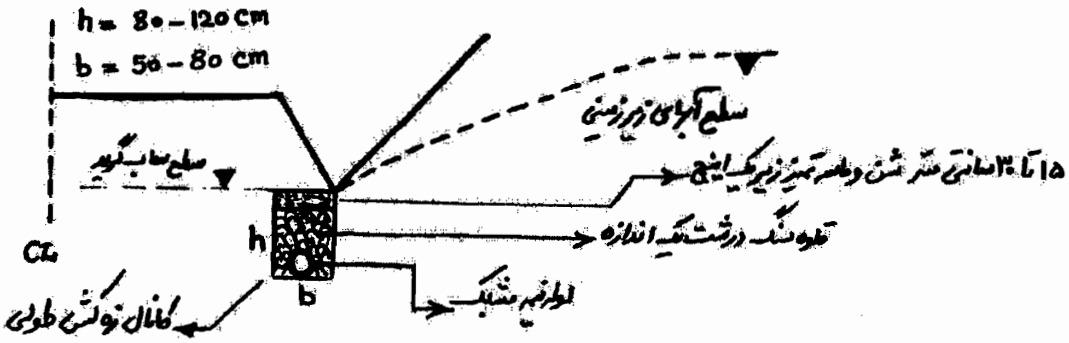
Alfa Copy - 0471-2221895-2230306



مسأله نفوذ آب در شیروانی های خاکبرداری و خاکریز بسیار مهم است و در راه سازی باید با بکاربردن روشهای مناسب از نفوذ آب به جسم راه جلوگیری شود:



جلوگیری از نفوذ آب به داخل ترانشه با احداث کانال در بالادست



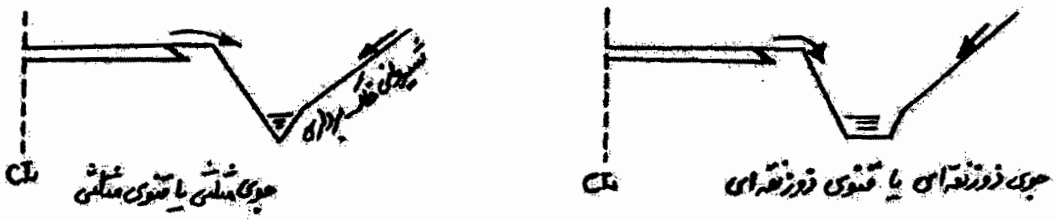
پایین آوردن سطح آبهای زیرزمینی با احداث کانال زهکش در پای ترانشه

در مناطق پربارانی و یا مناطقی که دارای سیلابهای شدید کوتاه مدت می باشد به منظور جلوگیری از شسته شدن شیروانی خاکریزهای بلند می بایست نسبت به کاشت گیاهان مناسب بر روی شیروانی مذکور اقدام نمود. کاشت گیاهان باعث تثبیت بیشتر شیروانی ها شده و از ریزش خاکها جلوگیری می کند.

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

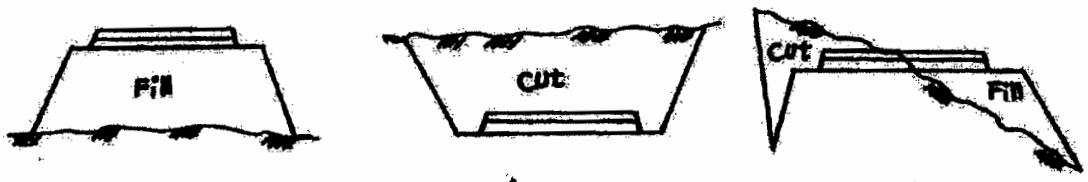
⑧ نهرهای جانبی یا جوی کنار راه: این نهرها از حیاتی ترین اجزای راه می باشند. آب بارندگی که در سطح راه جاری می شود و نیز آبهایی که از شیروانی خاکبرداری به سمت راه جریان می یابد باید به خارج حریم راه هدایت شوند تا جسم راه از گزند نفوذ این آبها در امان بماند.

مقطع نهر باید با توجه به میزان آب جاری در آن مشخص و اجرا گردد (مطالعات هیدرولوژی)



⑨ لایه های مختلف روسازی راه: روسازی راه ساختاری است که بر روی سطح مناسب گرید اجرا می شود و تا سطح تماس چرخها ادامه می یابد. این ساختار از چند لایه تشکیل شده است که پس از طراحی و تعیین ضخامت هر یک از لایه ها (زیراساس، اساس، رویه) می توان آنها را بر روی نقشه پروفیل عرضی نشان داد.

۳-۴-۴- انواع پروفیلهای عرضی:



پروفیل عرضی در خاکریزی — پروفیل عرضی در خاکبرداری — پروفیل عرضی مختلط

نکته: سطح پروفیلهای عرضی در فصل مربوط به محاسبات حجم عملیات خاکی کاربرد دارد.

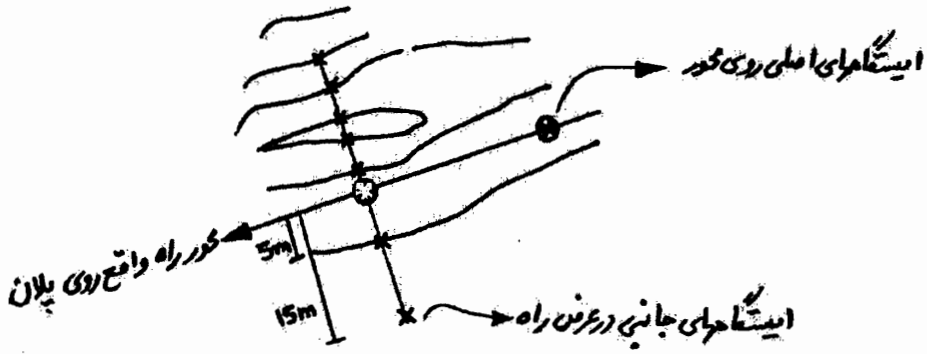
۳-۴-۵- نحوه رسم پروفیل عرضی:

۱- تعیین پارامترهای هندسی یا اجزای پروفیل عرضی

۲- در هر یک از ایستگاههای انتخاب شده بر روی پلان که در تهیه پروفیل طولی به آن اشاره

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

شد معمولاً دو نقطه جانبی در سمت چپ و دو نقطه جانبی در سمت راست محور راه برداشت ارتفاعی انجام می‌گردد. لازم به ذکر است که تعداد و فواصل این ایستگاه‌های جانبی تابع عرض نوار راه می‌باشند و همچنین باید محل‌های تغییر شیب زمین طبیعی در عرض راه را در انتخاب آنها مد نظر قرار داد.



۳- پس از انتخاب سطح سنجش مناسب، نقاط برداشت شده را با مقیاس ۱:۲۰۰ بر روی کاغذ شطرنجی پیاده نموده و با اتصال آنها به یکدیگر تراز زمین طبیعی بدست می‌آید.

۴- با مراجعه به پروفیل طولی و استخراج تراز پروژه در محل محور راه، خط پروژه مطابق با پارامترهای هندسی مرحله ۱ ترسیم می‌گردد.

۵- اطلاعات مورد نیاز مطابق شکل صفحه ۲۸ بر روی پروفیل عرضی درج می‌گردد:

- در سمت چپ به ترتیب مقیاس (scale)، شماره نیمرخ (NO OF section)، تراز پروژه (Project Level)، تراز زمین طبیعی (Natural Ground Level) و تراز سطح سنجش (DATUM) درج می‌گردد.
- در کنار محور راه کیلومتر محل نیمرخ عرضی درج می‌شود.
- در سمت راست مقادیر سطوح خاکبرداری با علامت C و سطوح خاکریزی با علامت F نوشته می‌شود.

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

Azarkish@iust.ac.ir

۴-۱- مقدمه : منظور از عملیات خاکی و محاسبات مربوط به آن مجموعه اقداماتی است که با هدف تعیین احجام و آیتمهای زیر انجام می گیرد:

الف- دکوپاژ (Decapage) : عبارت است از کندن و برداشت خاکهای نباتی (خاکهای دارای مواد آلی، ریشه و ساقه درختان) و مواد زائد از سطح زمین طبیعی بستر راه یا محوطه.

* این عملیات معمولاً قبل از اجرای لایه های خاکریز و یا لایه های روسازی بر روی سطح زمین طبیعی، در عمقی بین ۱۰ تا ۳۰ سانتی متر انجام می گیرد.

ب- خاکبرداری (CUT) : عبارت است از کندن و برداشت خاک در قطعاتی از طول زمین طبیعی که رقوم آنها بیشتر از رقوم طرح پروژه است.

ج- خاکریزی (Fill) : عبارت است از ریختن خاک و تراکم آن در قطعاتی از طول زمین طبیعی که رقوم آنها کمتر از رقوم طرح پروژه است.

د- محل دپو (Deposit) : عبارت است از محلی که خاکهای اضافی حاصل از عملیات خاکبرداری به آنجا حمل و در آنجا انبار می شود.

هـ- محل قرضه (Barrow) : در صورتی که نتوان تمام خاک مورد نیاز در خاکریزها را از محل خاکبرداریهای پروژه تأمین کرد، خاک مورد نیاز را از قطعاتی دیگر که توسط مهندس مشاور مناسب تشخیص داده شده، تأمین می کنند که قرضه نام دارد.

و- انقباض خاک (Shrinkage) : در مواردی خاک برداشت شده از محل خاکبرداریها پس از انتقال به محل خاکریزی و تراکم، دارای حجم کمتری خواهد شد. این کمبود حجم یا انقباض در مصالح درشت دانه (شن و ماسه) بسیار کم و در مصالح ریزدانه (رس و لای) بسیار زیاد می باشد و گاهی به ۳۰ درصد می رسد.

* درصد انقباض خاک به نوع آن، درصد رطوبت هنگام تراکم و نوع ماشین آلات تراکم بستگی دارد و در محاسبات حجم عملیات خاکی آن را بین ۱۰ تا ۱۵ درصد در نظر می گیرند.

ز- تورم خاک (Swell) : در مواردی که از خاک حاصل از خاکبرداری در زمینهای بسیار متراکم (دج و سخت) و یا سنگ حاصل از عملیات کوبری در ترانشه های سنگی، برای پر کردن خاکریزها استفاده می شود، ملاحظه

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

می‌گردد که یک متر مکعب خاک یا سنگ حاصل از عملیات خاکبرداری پس از انتقال به خاکریز و تراکم، دارای حجمی بیش از یک متر مکعب خواهد بود. این افزایش حجم که به علت ایجاد فضای خالی در بین قطعات سنگ خرد شده و یا ذرات خاک ایجاد می‌شود، تورم نامیده می‌شود.

- درصد تورم در عملیات کوه‌بری بسته به تعداد قطعات سنگی در واحد حجم و نیز بزرگی یا کوچکی آنها به هنگام مصرف در خاکریز، ممکن است به بیش از ۵ درصد بالغ گردد.
- لازم به ذکر است که میزان تورم خاک‌ها در زمان حمل آنها باید مد نظر قرار گیرد. زیرا انواع خاک پس از کنده شدن از حالت طبیعی و دپو شدن به حالت آزاد، دارای حجمی بیش از وضعیت طبیعی خود خواهد بود. میزان تورم در چنین حالتی برای انواع خاکها به شرح زیر می‌باشد:

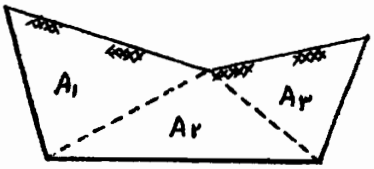
- شن و ماسه خاک‌دار (تودنان): بسته به میزان خاک بین ۱۵ تا ۲۵ درصد
- خاکهای نباتی: ۱۰ تا ۱۵ درصد
- خاکهای لای‌دار و رس‌دار: ۲۵ تا ۳۵ درصد
- لای و رس خالص: بیش از ۳۵ درصد
- کوه‌بری در سنگ: بیش از ۳۵ درصد
- ماسه تمیز طبیعی: صفر درصد

ح - فاصله حمل خاک: انتقال خاک از خاکبرداری به خاکریز، تامین خاک مصرفی از قرضه‌ها و یا انتقال خاک مازاد به دپوها همه نیاز به حمل دارند. از طرفی پرداخت هزینه عملیات خاکی به پیمانکار که بر مبنای متر مکعب خاک انجام می‌گردد، در صورت تجاوز فاصله حمل از فاصله تعیین شده در قرارداد، شامل اضافه هزینه حمل خواهد شد. لذا تعیین فاصله حمل خاک پارامتر مهمی در محاسبات عملیات خاکی می‌باشد.

- برای پیدا کردن حداقل فاصله متوسط حمل خاک روشهای مختلفی وجود دارد که در میان آنها دو روش لالان (Lalane) و بروکنر (Bruckner) کاربرد بیشتری دارند. اساس هر دو روش تقریبا یکسان است با این تفاوت که روش لالان سریع‌تر و ساده‌تر از روش بروکنر بوده و در عوض روش بروکنر دقیق‌تر از روش لالان می‌باشد. در گذشته که از ارابه و یا کامیونهای با ظرفیت کم برای حمل خاکها استفاده می‌شد، دقت زیادی برای حمل خاک لازم بود و به این جهت روش بروکنر بیشتر کاربرد داشت. اما امروزه با وجود کامیونها و اسکریپرهای پرقدرت روش لالان با تقریب کافی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

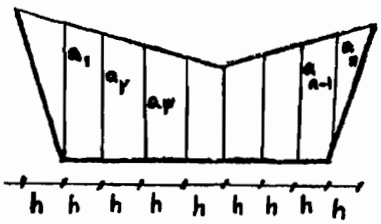
۴-۲- روشهای محاسبه سطح نیمرخهای عرضی :

الف - محاسبه سطح نیمرخهای عرضی به روش هندسی : در این روش نیمرخ عرضی به قطعات کوچکتر هندسی (ذوزنقه - مثلث - مستطیل) تقسیم شده و با محاسبه و جمع سطوح کوچکتر، سطح نیمرخ محاسبه می شود.



$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

ب - محاسبه سطح نیمرخهای عرضی به روش تقسیم به سطوح کوچکتر با ارتفاع یکسان : در این روش سطح نیمرخ عرضی با خطوط موازی به فواصل مساوی h تقسیم بندی می شود و مساحت نیمرخ از رابطه زیر محاسبه می شود.

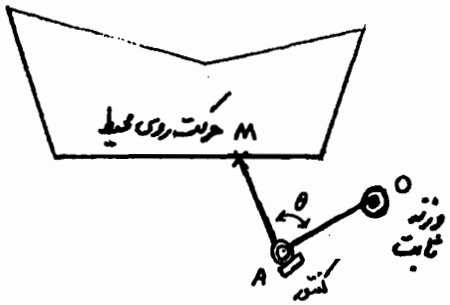


$$A = \frac{a_1 h}{2} + \frac{a_1 + a_2}{2} h + \frac{a_2 + a_3}{2} h + \cdots + \frac{a_n}{2} h$$

$$A = (a_1 + a_2 + a_3 + \cdots + a_{n-1} + a_n)\, h = \sum_{i=1}^{n} a \times h$$

پس با اندازه گیری مجموع طولهای a_1 تا a_n و ضرب این مجموع در ارتفاع مشترک h ، مساحت کل A بدست می آید.

ج - محاسبه سطح نیمرخهای عرضی به روش ترسیمی و استفاده از پلانی متر : در این روش سطح مقطع عرضی را به هر صورت (منظم یا غیر منظم) که باشد، با مقیاس معین بر روی کاغذ رسم نموده و سپس با گذراندن دستگاه پلانی متر بر روی پیرامون شکل، مساحت آن را بدست می آورند. این روش در راهسازی بسیار معمول و متداول بوده است و به منظور دقت و هماهنگ کردن آن با کارهای صحرایی معمولاً مقاطع عرضی را با مقیاس ۱:۲۰۰ یا ۱:۱۰۰ ترسیم می کردند.



$$A = \frac{1}{2} \int r^2 . d\theta$$ فرمول سطح در مختصات قطبی

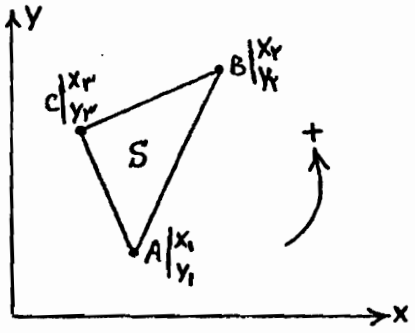
$$r = f(\theta)$$ از طرفی مطابق شکل دستگاه پلانی متر

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

پس با اندازه‌گیری میزان گردش‌های مفصل A (یعنی θ) و میزان شعاع حامل ($r = OM$) و جمع سطوح بی‌نهایت کوچک ($\frac{1}{2} r^2 . d\theta$) مساحت سطح مورد نظر تعیین می‌شود.

د- محاسبه سطح نیمرخهای عرضی به روش کامپیوتری : این روش که بر مبنای دترمینانهای متشکل از مختصات رئوس نیمرخ عرضی می‌باشد، بهترین روش محاسبه سطح مقاطع عرضی بوده و هنگامی که طول پروژه طولانی و تعداد مقاطع عرضی بسیار زیاد است، حتی برای محاسبه سطح نیمرخهای استاندارد (منظم) هم ترجیح داده می‌شود. اساس روش مختصات در ادامه توضیح داده می‌شود.

هـ - محاسبه سطح نیمرخهای عرضی به روش مختصات : درصورتی که مختصات نقاط مختلف در نیمرخهای عرضی با انتخاب یک سیستم مختصات تعیین گردد می‌توان سطح نیمرخ عرضی را با توجه به روشهای هندسه تحلیلی و محاسبات زیر به راحتی تعیین نمود.

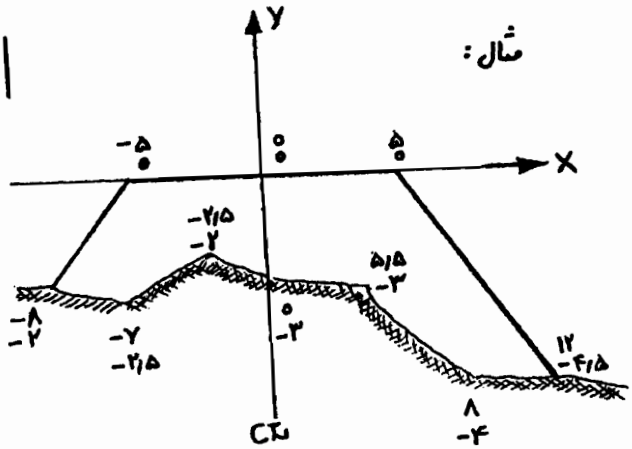


$$2S = \begin{vmatrix} x_1 & x_2 \\ y_1 & y_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x_2 & x_3 \\ y_2 & y_3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x_3 & x_1 \\ y_3 & y_1 \end{vmatrix}$$

به همین ترتیب می‌توان مساحت هر کثیرالاضلاع را به روش فوق برحسب دترمینانهای متشکل از مختصات رئوس آن بدست آورد.

لازم به ذکر است که در این روش با توجه به موقعیت نقاط نسبت به محورهای مختصات، باید مثبت یا منفی بودن مختصات آنها در تشکیل دترمینانها رعایت گردد. برای راحتی می‌توان محور y ها را منطبق بر محور راه و محور x ها را منطبق بر سطح تراز مقایسه در نظر گرفت.

مثال :



$$2S = \begin{vmatrix} 0 & -5 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -5 & -8 \\ 0 & -2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -8 & -7 \\ -2 & -2.5 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -7 & -2.5 \\ -2.5 & -2 \end{vmatrix}$$

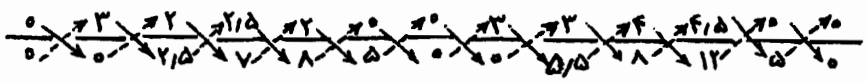
$$+ \begin{vmatrix} -2.5 & 0 \\ -2 & -3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & 5.5 \\ -3 & -3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 5.5 & 8 \\ -3 & -4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 8 & 12 \\ -4 & -4.5 \end{vmatrix}$$

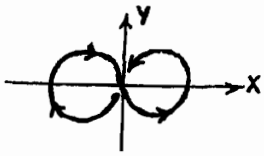
$$+ \begin{vmatrix} 12 & 5 \\ -4.5 & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 5 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} = 84.25$$

$$S = 42.125$$

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

روش خلاصه : در این روش از علامت اعداد صرف نظر می‌شود و سپس مختصات نقاط به صورت $\frac{Y}{X}$ و با رعایت جهت حرکتی مشخص شده در شکل ردیف می‌شوند. مساحت مقطع با انجام محاسبات زیر بدست می‌آید :



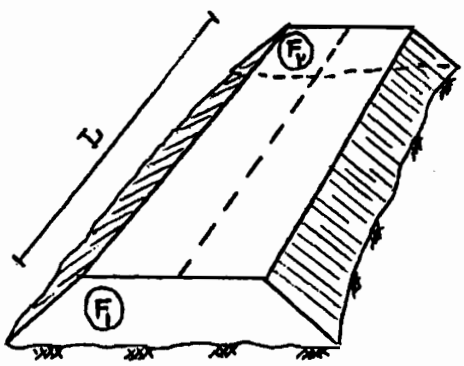


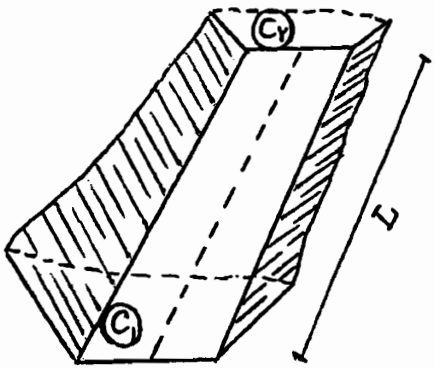
$$2S = \sum \searrow - \sum \nearrow = (0 + 7/5 + 14 + 20 + 10 + 16/5 + 24 + 48 + 22/5 + 0)$$
$$- (0 + 0 + 6/25 + 14 + 0 + 0 + 0 + 0 + 22 + 36 + 0 + 0) = 84/25$$
$$S = 42/125$$

۴-۳- محاسبه حجم عملیات خاکی بین دو نیمرخ عرضی متوالی :

حجم عملیات خاکی راه با توجه به میزان سطوح خاکبرداری و خاکریزی نیمرخهای عرضی و فواصل بین آنها محاسبه می‌گردد. در محاسبه احجام عملیات خاکی با توجه به وضعیت نیمرخهای عرضی به لحاظ خاکبرداری و خاکریزی ، حالتهای مختلفی به وجود می‌آید که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد.

الف - حالتی که دو نیمرخ عرضی متوالی هر دو در خاکبرداری و یا هر دو در خاکریزی قرار دارند.

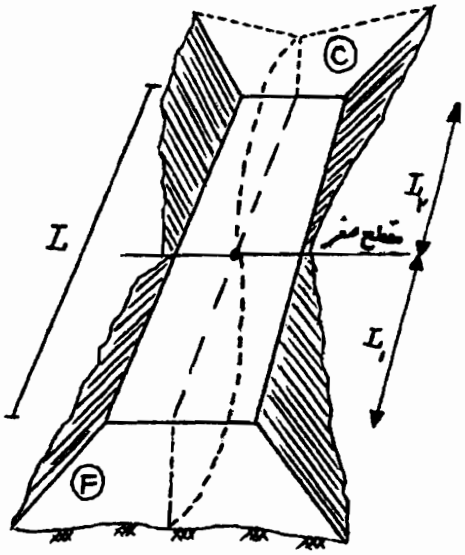


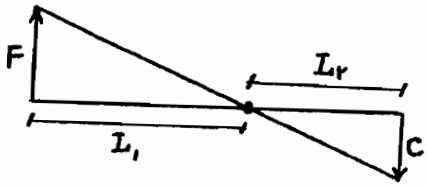


$$V_{Fill} = \frac{F_1 + F_2}{2} \times L \qquad V_{cut} = \frac{C_1 + C_2}{2} \times L$$

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

ب ـ حالتی که دو نیمرخ عرضی متوالی یکی در خاکبرداری و دیگری در خاکریزی قرار دارد.





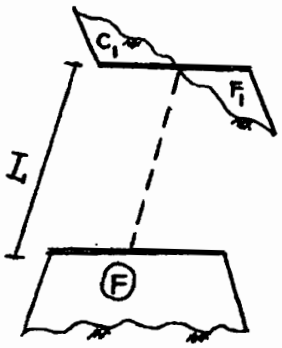
از تشابه: $\frac{F}{C} = \frac{L_1}{L_2} \Rightarrow \frac{F}{F+C} = \frac{L_1}{L_1+L_2}$

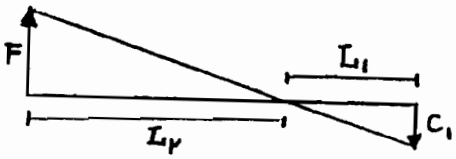
در نتیجه: $L_1 = \frac{F \cdot L}{F+C}$, $L_2 = \frac{C \cdot L}{F+C}$

$$V_{Fill} = \frac{F+0}{2} \times L_1 = \frac{F}{2} \times L_1$$

$$V_{cut} = \frac{C+0}{2} \times L_2 = \frac{C}{2} \times L_2$$

ج ـ حالتی که از دو نیمرخ عرضی متوالی یکی به صورت کامل (خاکبرداری یا خاکریزی) و دیگری به صورت مختلط باشد.





از تشابه: $\frac{C_1}{F} = \frac{L_1}{L_2} \Rightarrow \frac{C_1}{C_1+F} = \frac{L_1}{L}$

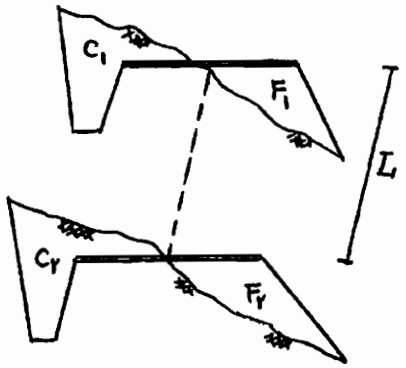
در نتیجه: $L_1 = \frac{C_1 L}{C_1+F}$

$$V_{Fill} = \frac{F+F_1}{2} \times L$$

$$V_{cut} = \frac{C_1+0}{2} \times L_1 = \frac{C_1}{2} \times L_1$$

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

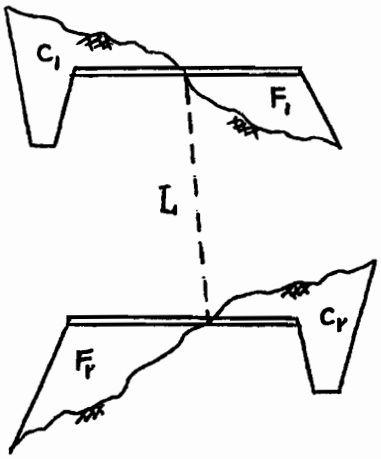
د- حالتی که دو نیمرخ عرضی متوالی هر دو به صورت مختلط و متقابل هستند.

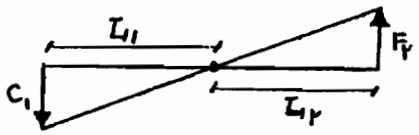


$$V_{Fill} = \frac{F_1 + F_2}{2} \times L$$

$$V_{cut} = \frac{C_1 + C_2}{2} \times L$$

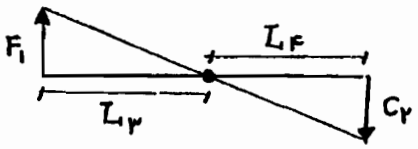
هـ- حالتی که دو نیمرخ عرضی متوالی هر دو به صورت مختلط و غیر متقابل هستند.





مطابق حالات قبل:

$$L_1 = \frac{C_1 L}{C_1 + F_2} \quad , \quad L_2 = \frac{F_2 L}{C_1 + F_2}$$



به همین روش:

$$L_3 = \frac{F_1 L}{F_1 + C_2} \quad , \quad L_4 = \frac{C_2 L}{F_1 + C_2}$$

در نتیجه خواهیم داشت:

$$V_{Fill} = \frac{F_2}{2} \times L_2 + \frac{F_1}{2} \times L_3$$

$$V_{cut} = \frac{C_1}{2} \times L_1 + \frac{C_2}{2} \times L_4$$

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

۴-۴-محاسبه حجم کل عملیات خاکی در پروژه

Azarkish@iust.ac.ir

به منظور محاسبه احجام خاکریزی و خاکبرداری واقع بین کلیه مقاطع عرضی مسیر و دستیابی به حجم کل عملیات خاکی پروژه، جدولی مطابق فرم کلی صفحه بعد تنظیم می شود. در این جدول با معلوم بودن سطح مقاطع عرضی و فاصله بین آنها (ستونهای ۳، ۴ و ۵) می توان احجام خاکریزی و خاکبرداری بین دو مقطع متوالی را محاسبه نمود (ستونهای ۶ و ۷). علاوه بر این با اعمال ضرایب مناسب می توان اثرات کاهش حجم خاک ناشی از انقباض (مربوط به عملیات خاکریزی) و یا اثرات افزایش حجم خاک ناشی از تورم (مربوط به عملیات خاکبرداری) را در محاسبات لحاظ نمود (ستونهای ۸ و ۹). در مرحله بعد با در نظر گرفتن این موضوع که حجم خاکریز مورد نیاز بین دو نیمرخ متوالی در صورت امکان از حجم خاکبرداری مربوط به همان دو نیمرخ تامین می گردد، می توان اضافه حجم عملیات موجود بین دو مقطع را با در نظر گرفتن علامت جبری (+ برای خاکریزی و - برای خاکبرداری) در ستونهای ۱۰ و ۱۱ وارد نمود. به این ترتیب جمع جداگانه اعداد ستونهای ۱۰ و ۱۱ مشخص خواهد نمود که کل عملیات خاکی پروژه شامل چه میزان خاکبرداری و چه میزان خاکریزی می باشد و با مقایسه این مقادیر نیاز پروژه به محل قرضه یا محل دپو معلوم می گردد.

نکته ۱: مقاطع عرضی صفر یا مقاطع مجازی وجود خارجی ندارند و فقط برای اعمال دقت بیشتر در محاسبات از آنها استفاده می شود.

نکته ۲: حجم کل عملیات خاکی در یک پروژه بستگی به ارتفاع خط زمین و تراز خط پروژه دارد. لذا در صورت عدم تغییر مسیر راه و به ازای یک خط پروژه معین این حجم همواره ثابت خواهد بود.

۴-۵- حمل خاک

همانطور که قبلاً اشاره شد در پروژه های راهسازی نیمرخهای عرضی مختلفی اعم از خاکبرداری و یا خاکریزی وجود دارد و همواره لازم است تا خاک از نقاط مختلفی از پروژه برداشته شده، به نقاط دیگری از آن ریخته شود. این جابجایی که اصطلاحاً حمل خاک نامیده می شود، از نظر اقتصادی بسیار حائز اهمیت می باشد. نحوه جابجایی خاک بین نقاط مختلف مسیر باید به گونه ای سازماندهی شود که متوسط فاصله حمل خاک در کل پروژه حداقل گردد.

No of Section	Km	Area of Cross -Section		Distance	Embank	Excavate	Emb+Shr	Exc+Swe	Excess Material		Mass Diagram
									اضافه حجم در		
شماره مقطع عرضی	کیلومتر مقطع عرضی	سطح خاکریزی (m^2)	سطح خاکبرداری (m^2)	فواصل مقاطع عرضی (m)	حجم خاکریزی (m^3)	حجم خاکبرداری (m^3)	حجم خاکریزی + ۱۵٪ انقباض (m^3)	حجم خاکبرداری + ۵٪ تورم (m^3)	خاکریزی +	خاکبرداری −	جمع جبری خاکبرداری و خاکریزی از ابتدای مسیر تا محل مقطع مورد نظر
۱	۰+۰۰۰	۰/۶	۱								۰
۲	۰+۰۵۰	۰	۲/۴	۵۰	۳	۸۵	۳/۴۵	۸۹/۲۵		-۸۵/۸	-۸۵/۸
۳	۰+۱۰۰	۰	۳	۵۰	۰	۱۳۵	۰	۱۴۱/۷۵		-۱۴۱/۷۵	-۲۲۷/۵۵
۴	۰+۱۵۰	۰	۳/۵	۵۰	۰	۱۶۲/۵	۰	۱۷۰/۶۲۵		-۱۷۰/۶۲۵	-۳۹۸/۱۷۵
مقطع صفر	۰+۱۹۳/۷۵	۰	۰	۴۳/۷۵	۰	۷۶/۵۶۳	۰	۸۰/۳۹		-۸۰/۳۹	-۴۷۸/۵۶۵
۵	۰+۲۰۰	۰/۵	۰	۶/۲۵	۱/۵۶۳	۰	۱/۸	۰	+۱/۸		-۴۷۶/۷۶۵
۶	۰+۲۵۰	۲/۶	۰	۵۰	۷۷/۵	۰	۸۹/۱۲۵	۰	+۸۹/۱۲۵		-۳۸۷/۶۴
۷	۰+۳۰۰	۳/۲	۰	۵۰	۱۴۵	۰	۱۶۶/۷۵	۰	+۱۶۶/۷۵		-۲۲۰/۸۹
۸	۰+۳۵۰	۱/۲	۰/۸	۵۰	۱۱۰	۴	۱۲۶/۵	۴/۲	+۱۲۲/۳		-۹۸/۵۹
۹	۰+۴۰۰	۰/۳	۲	۵۰	۳۷/۵	۷۰	۴۳/۱۲۵	۷۳/۵		-۳۰/۳۷۵	-۱۲۸/۹۶۵
۱۰	۰+۴۵۰	۰	۳/۷	۵۰	۰/۵۶	۱۴۲/۵	۰/۶۴۴	۱۴۹/۶۲۵		-۱۴۸/۹۸۱	-۲۷۷/۹۴۶
۱۱	۰+۵۰۰	۰	۴	۵۰	۰	۱۹۲/۵	۰	۲۰۲/۱۲۵		-۲۰۲/۱۲۵	-۴۸۰/۰۷۱
مقطع صفر	۰+۵۴۰	۰	۰	۴۰	۰	۸۰	۰	۸۴		-۸۴	-۵۶۴/۰۷۱
۱۲	۰+۵۵۰	۱	۰	۱۰	۵	۰	۵/۷۵	۰	+۵/۷۵		-۵۵۸/۳۲۱
۱۳	۰+۶۰۰	۲/۳	۰	۵۰	۸۲/۵	۰	۹۴/۸۷۵	۰	+۹۴/۸۷۵		-۴۶۳/۴۴۶
۱۴	۰+۶۵۰	۴/۱	۰	۵۰	۱۶۰	۰	۱۸۴	۰	+۱۸۴		-۲۷۹/۴۴۶
۱۵	۰+۷۰۰	۲/۵	۰	۵۰	۱۶۵	۰	۱۸۹/۷۵	۰	+۱۸۹/۷۵		-۸۹/۶۹۶
۱۶	۰+۷۵۰	۱/۹	۰	۵۰	۱۱۰	۰	۱۲۶/۵	۰	+۱۲۶/۵		+۳۶/۸۰۴
۱۷	۰+۸۰۰	۱/۵	۰	۵۰	۸۵	۰	۹۷/۷۵	۰	+۹۷/۷۵		+۱۳۴/۵۵۴
۱۸	۰+۸۵۰	۱	۰	۵۰	۶۲/۵	۰	۷۱/۸۷۵		+۷۱/۸۷۵		+۲۰۶/۴۲۹
				اضافه حجم عملیات خاکی به تفکیک خاکبرداری و خاکریزی					۱۱۵۰/۴۷۵	۹۴۴/۰۴۶	

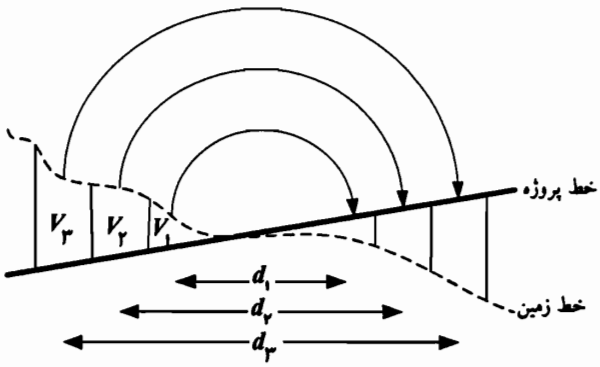
Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

۴-۵-۱-عزم حمل و فاصله حمل متوسط

قطعه‌ای از پروفیل طولی مسیر را به صورت شکل زیر در نظر بگیرید. ملاحظه می‌شود که برای جابجایی خاک از خاکبرداری به خاکریز، لازم است تا حجم V_1 به فاصله d_1، حجم V_2 به فاصله d_2 و بطور کلی حجم V_i به فاصله d_i جابجا شود. حاصل ضرب حجم خاک در فاصله جابجایی آن را از دیدگاه فیزیکی می‌توان به صورت یک کار مکانیکی در نظر گرفت که اصطلاحاً عزم حمل یا لنگر حمل نامیده می‌شود. لذا در صورتی که مجموع عزم حمل های جزء را که به آن عزم حمل کل گفته می‌شود، بر مجموع حجمهای جابجا شده تقسیم کنیم، فاصله حمل متوسط خاک از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\bar{d} = \frac{\sum V_i \times d_i}{\sum V_i}$$

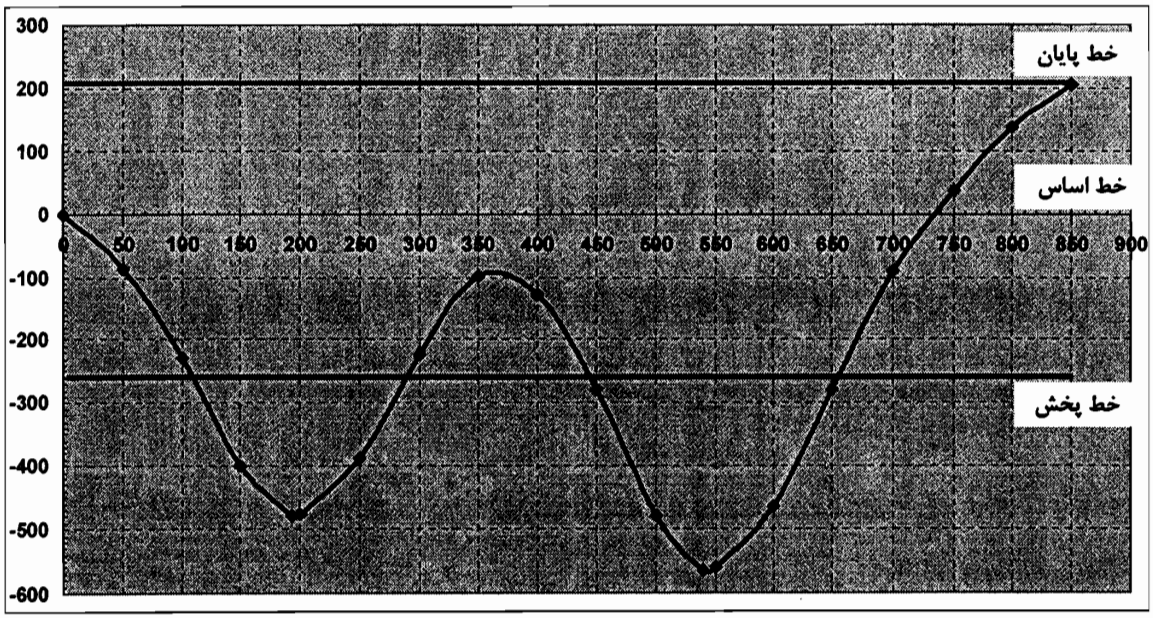


نمایش نحوه جابجایی خاک از خاکبرداری به خاکریزی در قطعه‌ای از پروژه

هرچه فاصله حمل متوسط خاک کمتر باشد، هزینه عملیات خاکی پروژه نیز کمتر می‌شود. بر اساس رابطه فوق تنها یک راه حل برای حداقل نمودن فاصله حمل متوسط وجود دارد و آن کاهش صورت کسر و یا عزم حمل کل می‌باشد. لازم به یادآوری است که مخرج کسر و یا حجم عملیات خاکی در یک پروژه مقداری ثابت است و تنها با تغییر مسیر راه یا تغییر خط پروژه می‌توان این حجم را تغییر داد.

۴-۵-۲- منحنی بروکنر

برای دستیابی به اقتصادی ترین نحوه جابجایی خاک و تعیین حداقل فاصله حمل متوسط خاک در یک پروژه راهسازی از روش منحنی بروکنر استفاده می شود. برای رسم منحنی بروکنر می توان کیلومتر مقاطع عرضی (اعداد ستون ۲ جدول محاسبات عملیات خاکی) را روی محور افقی و جمع جبری ارائه شده در ستون ۱۲ این جدول را بر روی محور عمودی پیاده نمود. مقیاس محور افقی منحنی بروکنر مشابه پروفیل طولی مسیر برابر ۲۰۰۰: ۱ انتخاب می شود و مقیاس محور عمودی آن متناسب با تغییرات اعداد ستون ۱۲ جدول محاسبات ممکن است متغیر باشد. در شکل زیر منحنی بروکنر مربوط به اعداد مندرج در جدول محاسبات نمونه رسم شده است.



نکات مهم: با توجه به ثابت بودن حجم عملیات خاکی در یک پروژه، شکل هندسی منحنی بروکنر نیز قابل تغییر نیست. در این منحنی:

الف) به محور افقی، خط پایه یا خط اساس گفته می شود.

ب) جهت مثبت محور عمودی بیانگر عملیات خاکریزی و جهت منفی آن بیانگر عملیات خاکبرداری است. لذا طول شاخه های صعودی منحنی بروکنر، محدوده عملیات خاکریزی و طول شاخه های نزولی آن محدوده عملیات خاکبرداری را مشخص می کند. همچنین مجموع ارتفاع شاخه های صعودی منحنی بروکنر، حجم کل عملیات خاکریزی و مجموع ارتفاع شاخه های نزولی آن، حجم کل عملیات خاکبرداری را نشان می دهد.

ج) نقاط ماکزیمم یا مینیمم منحنی بروکنر، نقاطی هستند که عملیات خاکبرداری به خاکریزی (یا بالعکس) تبدیل می شود. این نقاط معمولاً در محل برخورد خط پروژه با خط زمین (مقطع عرضی صفر یا در مواردی مقطع عرضی مختلط) واقع می شوند.

د) به خطی که از انتهای منحنی بروکنر به موازات خط اساس رسم گردد، خط پایان گفته می شود. موقعیت این خط بر حسب مورد می تواند در بالا، پایین و یا منطبق بر خط اساس باشد.

ه) اگر خط پایان در بالای خط اساس قرار گیرد، اضافه حجم عملیات خاکی پروژه از نوع خاکریزی است و پروژه نیازمند قرضه می باشد.

و) اگر خط پایان در پایین خط اساس قرار گیرد، اضافه حجم عملیات خاکی پروژه از نوع خاکبرداری است و پروژه نیازمند دپو می باشد.

ز) اگر خط پایان منطبق بر خط اساس قرار گیرد، حجم عملیات خاکبرداری و خاکریزی کل پروژه باهم در تعادل می باشد.

ح) نقاطی که منحنی بروکنر خط اساس را قطع می کند، نقاط تعادل نامیده می شود؛ زیرا جمع جبری احجام خاکبرداری و خاکریزی در این نقاط برابر صفر می باشد. به عبارت دیگر در هر سطح مسدود بین منحنی بروکنر و خط اساس، مقدار خاکبرداری با خاکریزی مساوی است.

ط) هر خطی که به موازات خط اساس رسم شود و منحنی بروکنر را حداقل در یک نقطه قطع کند، خط توزیع یا خط پخش نامیده می شود. با این تعریف خط اساس و خط پایان هم می توانند به عنوان یک خط پخش محسوب شوند.

ی) هر خط پخش مفروض، منحنی بروکنر را به مجموعه ای از سطوح هندسی که در بالا و پایین این خط واقع شده اند، تقسیم می کند. همان طور که ملاحظه می شود هر یک از سطوح بسته واقع بین منحنی بروکنر و خط پخش مفروض، دارای یک شاخه صعودی و یک شاخه نزولی هم ارتفاع هستند. به این ترتیب می توان طول پروژه را به صورت قطعاتی در نظر گرفت که به لحاظ حجم خاکبرداری و خاکریزی در تعادل قرار دارند و باید خاک را از سمت شاخه نزولی (خاکبرداری) هر قطعه به سمت شاخه صعودی (خاکریزی) آن حمل داد. با رعایت این اصل هر خط پخش مفروض شیوه ای را برای جابجایی خاک پیشنهاد می کند و جهت جابجایی خاک در سطوح فوقانی خط پخش از راست به چپ و در سطوح تحتانی آن از چپ به راست خواهد بود.

ک) مسلم است که با تغییر خط پخش، مرزهای جابجایی خاک و فاصله حمل متوسط خاک دستخوش تغییر می شود. از اینرو می توان انتظار داشت که به ازای یک خط پخش بهینه، متوسط فاصله حمل خاک حداقل گردد. در ادامه خواهیم دید که اگر مجموع قاعده سطوح فوقانی خط پخش با مجموع قاعده سطوح تحتانی آن برابر شود، خط پخش مفروض، بهینه خواهد بود و در صورت جابجایی خاک مطابق با الگوی ارائه شده توسط خط پخش بهینه، متوسط فاصله حمل خاک حداقل می گردد.

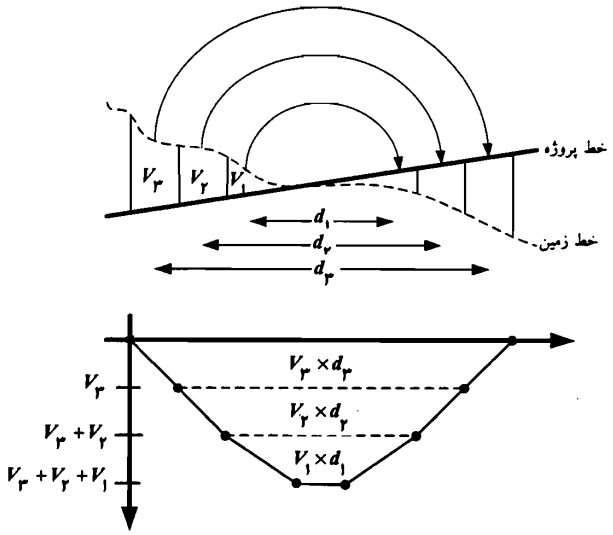
Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

۴-۵-۳-روشهای ترسیم خط پخش بهینه

مطابق شکل، منحنی بروکنر قطعه ای از پروژه را که به لحاظ احجام خاکبرداری و خاکریزی در تعادل می باشد، در زیر پروفیل طولی آن رسم می کنیم. همانطور که ملاحظه می شود:

الف) سطح واقع بین منحنی بروکنر و خط پخش مفروض (که در اینجا منطبق بر خط اساس می باشد) برابر با عزم حمل خاک در قطعه مورد نظر می باشد.

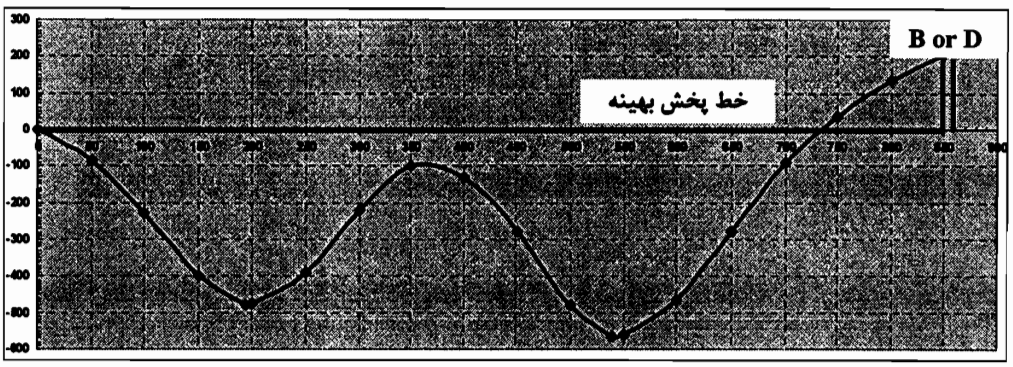
ب) ارتفاع سطح واقع بین منحنی بروکنر و خط پخش مفروض برابر با حجم عملیات خاکی در قطعه مورد نظر می باشد.



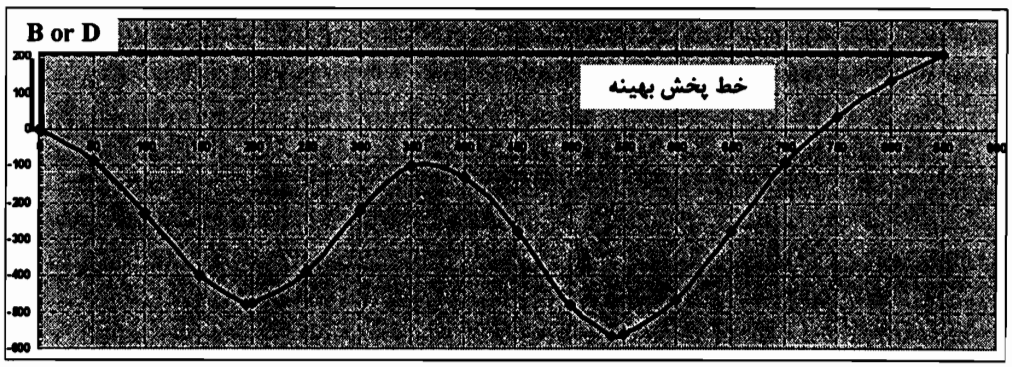
استفاده از این نکات در فرمول ارائه شده برای متوسط فاصله حمل خاک، این نتیجه را به همراه خواهد داشت که برای حداقل شدن فاصله حمل متوسط خاک باید عزم حمل کل یا مجموع مساحت سطوح واقع بین منحنی بروکنر و خط پخش مفروض حداقل شود. زیرا حجم کل عملیات خاکی پروژه مقداری ثابت است و لذا مجموع ارتفاع سطوح واقع بین منحنی بروکنر و خطوط پخش مختلف همواره ثابت می ماند. در چنین شرایطی طبق یک قضیه هندسی، حداقل مجموع مساحتها در صورتی حاصل می شود که مجموع قاعده سطوح فوقانی خط پخش با مجموع قاعده سطوح تحتانی آن برابر باشد. با رعایت این اصل می توان خط پخش بهینه را ترسیم نمود، اما باید توجه داشت که این روش برای زمانی مناسب است که در طول پروژه محدودیتی برای محلهای قرضه و دپو نداشته باشیم. زیرا در غیر این صورت موقعیت خط پخش بهینه به محل قرضه یا دپوهای موجود در طول پروژه نیز بستگی دارد و بر حسب مورد ممکن است با یکی از حالتهای ذیل مواجه شویم:

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

الف) محل قرضه یا دپو در انتهای پروژه واقع شده است؛ این شرایط به معنی آن است که در حد فاصل ابتدا تا انتهای پروژه، تنها یک محل برای تامین کمبود خاک (B) یا ذخیره مازاد آن (D) وجود دارد و آن هم در انتهای مسیر واقع شده است. لذا خط پخش بهینه خواهد بود که به ازای آن قرضه یا دپوی ابتدای مسیر برابر صفر گردد. مطابق شکل این خط پخش منطبق بر خط اساس خواهد بود.

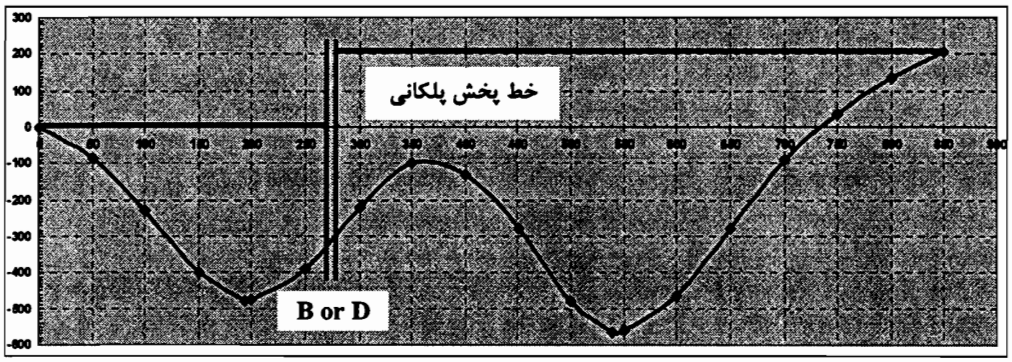


ب) محل قرضه یا دپو در ابتدای پروژه واقع شده است؛ این شرایط به معنی آن است که در حد فاصل ابتدا تا انتهای پروژه، تنها یک محل برای تامین کمبود خاک (B) یا ذخیره مازاد آن (D) وجود دارد و آن هم در ابتدای مسیر واقع شده است. لذا خط پخش بهینه خواهد بود که به ازای آن قرضه یا دپوی انتهای مسیر برابر صفر گردد. مطابق شکل این خط پخش منطبق بر خط پایان خواهد بود.

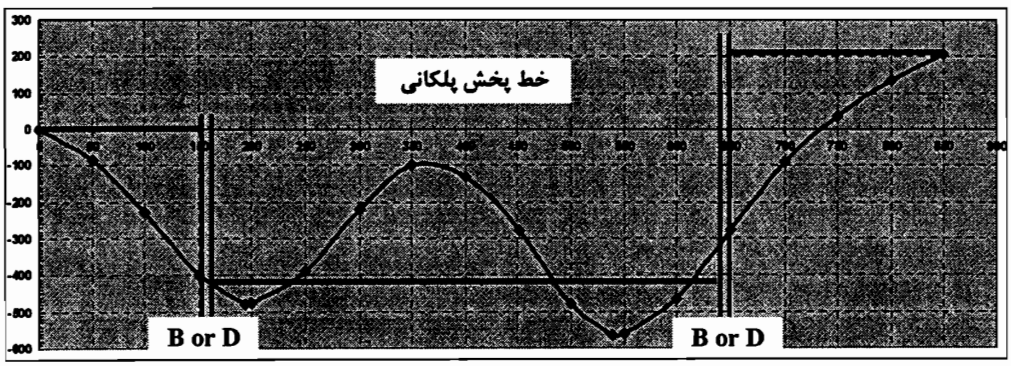


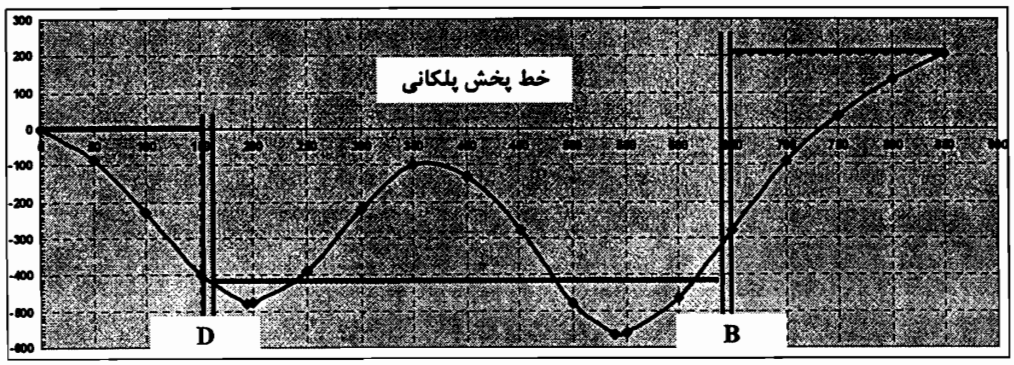
Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

ج) محل قرضه یا دپو در حد فاصل ابتدا و انتهای پروژه واقع شده است؛ این شرایط به معنی آن است که تنها یک محل برای تامین کمبود خاک (B) یا ذخیره مازاد آن (D) در حد فاصل ابتدا تا انتهای پروژه وجود دارد. لذا برای قطعه اول، خط پخش بهینه منطبق بر خط اساس و برای قطعه دوم، خط پخش بهینه منطبق بر خط پایان خواهد بود. به چنین خط پخشی اصطلاحاً خط پخش پلکانی گفته می شود.

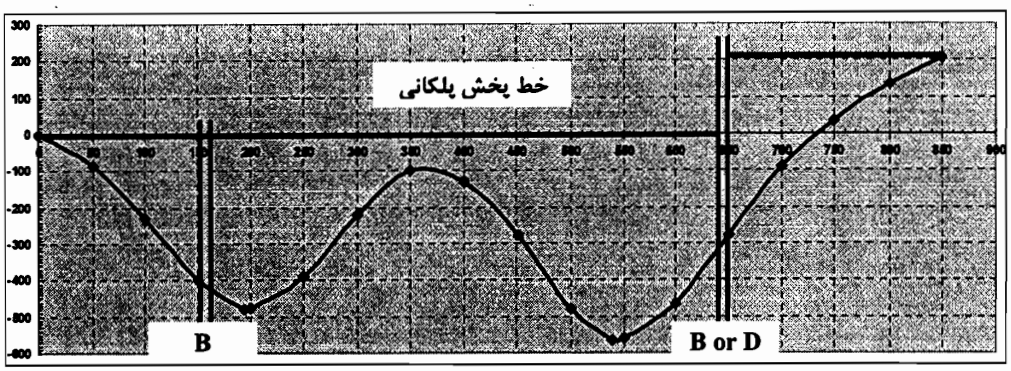


د) در حد فاصل ابتدا و انتهای پروژه چند محل قرضه یا دپو واقع شده است؛ این شرایط به معنی آن است که در حد فاصل ابتدا تا انتهای پروژه بیش از یک محل برای تامین کمبود خاک (B) یا ذخیره مازاد آن (D) وجود دارد. در چنین شرایطی خط پخش بهینه قطعه اول منطبق بر خط اساس، خط پخش بهینه قطعه آخر منطبق بر خط پایان و خط پخش بهینه قطعات میانی از روش برابری مجموع قاعده سطوح فوقانی و تحتانی بدست خواهد آمد. به چنین خط پخشی نیز خط پخش پلکانی گفته می شود.



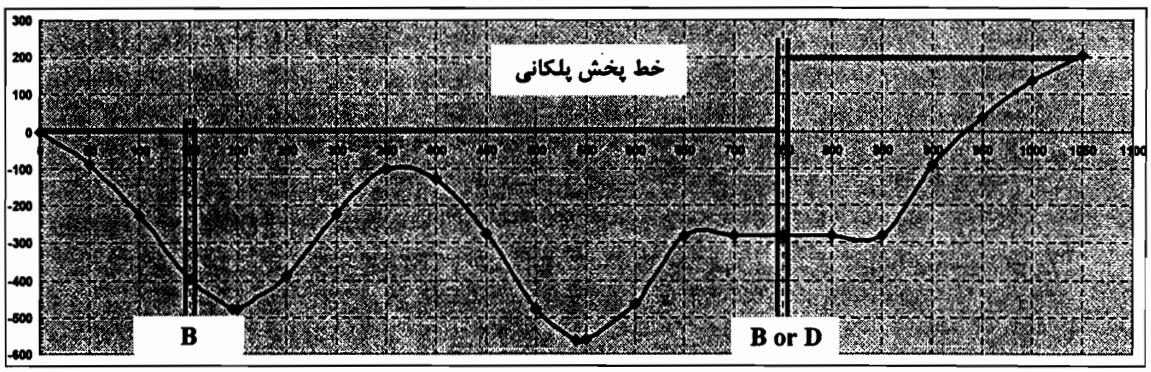


Alfa Copy - 0471-2221895-2230306



۴-۶-اصلاح منحنی بروکنر بر اساس فاصله جانبی محلهای قرضه و دپو

موقعیت واقعی محلهای قرضه و دپو معمولاً در فاصله مشخصی از طرفین محور راه قرار دارد و دسترسی به آنها از طریق احداث یک راه ارتباطی انجام می شود. این مساله فاصله اضافی رفتن به دپو یا آمدن از قرضه را به فاصله حمل خاک اضافه می کند. از اینرو با اصلاح منحنی بروکنر می توان این فاصله اضافی را نیز در تعیین متوسط فاصله حمل خاک لحاظ نمود. برای اصلاح منحنی بروکنر می توان فاصله راه دسترسی به محل قرضه و یا دپو را به صورت مجازی به کیلومتراژ مسیر اضافه نمود و در طول این فواصل منحنی بروکنر را به موازات خط اساس امتداد داد. ترسیم خط پخش بهینه بر روی منحنی بروکنر اصلاح شده نیز به روشهای قبل قابل انجام می باشد. برای مثال اگر در منحنی بروکنر فوق محل قرضه و دپوی مورد استفاده در فاصله ۱۰۰ متری از کیلومتر ۶۵۰+۰۰ واقع باشد منحنی به صورت زیر اصلاح می شود.



Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

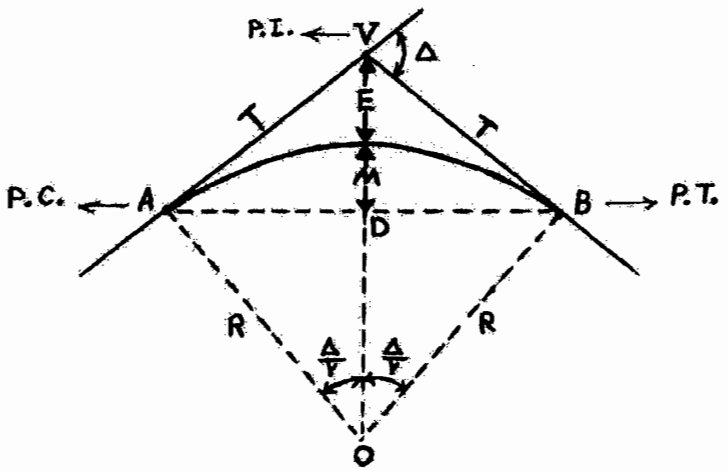
Azarkish@iust.ac.ir

فصل پنجم : قوسهای افقی

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

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

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



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

① راس قوس یا سومه : (PI = Point of Intersection , S = Somet , V= Vertex)

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

② زاویه تقاطع : (Δ = Intersection Angle)

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

$\frac{۲}{۵}$

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

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

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

فاصله راس قوس تا شروع و یا پایان قوس (VA = VB) را طول مماس یا طول تانژانت می نامند و این مقدار با ملاحظه مثلث قائم الزاویه OAV در شکل قبل به صورت زیر محاسبه می گردد :

$$T_1 = T_2 = R \, tg \frac{\Delta}{۲}$$

⑤ طول قوس : (L = Curve Distance)

فاصله نقطه A تا نقطه B روی مسیر منحنی را طول قوس می نامند و مقدار آن را به صورت زیر محاسبه می نمایند :

$L = \frac{\pi}{۱۸۰} R \cdot \Delta$ (که در آن Δ برحسب درجه است) یا $L = R \cdot \Delta$ (که در آن Δ برحسب رادیان است)

⑥ طول وتر بزرگ : (L_c = Long Chord)

خط اتصال AB که ابتدا و انتهای قوس را به هم متصل می کند ، طول وتر بزرگ نامیده می شود و این مقدار با در نظر گرفتن مثلث قائم الزاویه ODA در شکل قبل به صورت زیر محاسبه می گردد :

$$\sin \frac{\Delta}{۲} = \frac{AD}{OA} = \frac{\frac{L_c}{۲}}{R} \Longrightarrow L_c = ۲R \sin \frac{\Delta}{۲}$$

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

فاصله راس قوس تا وسط قوس را فاصله بیرونی یا بیشترین می نامند و این مقدار با در نظر گرفتن مثلث OAV به صورت زیر محاسبه می گردد :

$$\cos \frac{\Delta}{۲} = \frac{OA}{OV} = \frac{R}{R+E} \Longrightarrow E = R\left(\frac{۱}{\cos \frac{\Delta}{۲}} - ۱\right) = R\left(\sec \frac{\Delta}{۲} - ۱\right)$$

و یا :

$$E = R\left(\frac{۱ - \cos \frac{\Delta}{۲}}{\cos \frac{\Delta}{۲}}\right) = R\left(\frac{۲\sin^۲ \frac{\Delta}{۴}}{\cos \frac{\Delta}{۲}}\right)\left(\frac{\cos \frac{\Delta}{۴}}{\cos \frac{\Delta}{۴}}\right) = R\left(\frac{\sin \frac{\Delta}{۲}}{\cos \frac{\Delta}{۲}}\right)\left(\frac{\sin \frac{\Delta}{۴}}{\cos \frac{\Delta}{۴}}\right)$$

$$= R \, tg \frac{\Delta}{۲} \cdot tg \frac{\Delta}{۴} = T \, tg \frac{\Delta}{۴}$$

$\frac{۳}{۵}$

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

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

$$\cos\frac{\Delta}{۲} = \frac{OD}{OA} = \frac{R-M}{R} \Rightarrow M = R\left(1-\cos\frac{\Delta}{۲}\right) = R\ \mathrm{Vers}\frac{\Delta}{۲}$$

⑨ درجه قوس : (D = Degree of Curve)

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

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

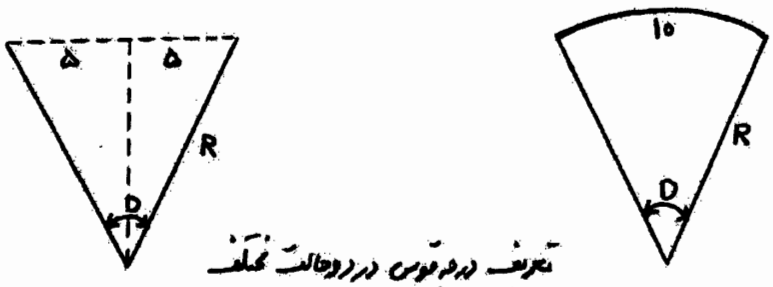
$$R \times D = 10\ m \Rightarrow D = \frac{10}{R}$$ D برحسب رادیان ، R برحسب متر

$$\Rightarrow D = \frac{۵۷۲٫۹۶}{R}$$ D برحسب درجه ، R برحسب متر

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

$$\sin\frac{D}{۲} = \frac{۵}{R} \Rightarrow R = \frac{۵}{\sin\frac{D}{۲}}$$

$$\Rightarrow D = ۲\arcsin\frac{۵}{R}$$



تعریف درجه قوس در دو حالت مختلف

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

$\frac{۴}{۵}$

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

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

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

۱) اگر درجه قوس برحسب طول قوس روبرو تعریف شده باشد خواهیم داشت: $D = \frac{۱۰}{R} \rightarrow R = \frac{۱۰}{D}$ (I)

$$L = R \cdot \Delta \xrightarrow{(I)} L = \frac{۱۰}{D} \cdot \Delta \longrightarrow \Delta = \frac{L \cdot D}{۱۰} \quad (II)$$

$$L_c = ۲R \sin\frac{\Delta}{۲} \xrightarrow{(II)} L_c = ۲R \sin\left(\frac{L D}{۲۰}\right) \longrightarrow \frac{L_c}{۲R} = \sin\left(\frac{L D}{۲۰}\right)$$

$$\longrightarrow \frac{L D}{۲۰} = \text{Arc}\sin\left(\frac{L_c}{۲R}\right) \longrightarrow L = \frac{۲۰}{D}\,\text{Arc}\sin\left(\frac{L_c}{۲R}\right)$$

$$\xrightarrow{(I)} L = \frac{۲۰}{D}\,\text{Arc}\sin\left(\frac{L_c \times D}{۲۰}\right)$$ D برحسب رادیان و L_c برحسب متر

یا $$L = \frac{۲۰}{D}\,\text{Arc}\sin\left(\frac{L_c \times D}{۲ \times ۵۷۲٫۹۶}\right)$$ D برحسب درجه و L_c برحسب متر

۲) اگر درجه قوس برحسب وتر روبرو تعریف شده باشد خواهیم داشت: $۲R \sin\frac{D}{۲} = ۱۰$ (III)

$$۲R \sin\frac{\Delta}{۲} = L_c \quad (IV)$$

از تقسیم روابط III و IV داریم:

$$L_c = ۱۰\,\frac{\sin\frac{\Delta}{۲}}{\sin\frac{D}{۲}} \longrightarrow \sin\frac{\Delta}{۲} = \frac{L_c}{۱۰}\sin\frac{D}{۲} \longrightarrow \Delta = ۲\,\text{Arc}\sin\left(\frac{L_c}{۱۰}\sin\frac{D}{۲}\right)$$

$$L = R \cdot \Delta \longrightarrow L = ۲R\,\text{Arc}\sin\left(\frac{L_c}{۱۰}\sin\frac{D}{۲}\right) \xrightarrow{R = \frac{۵}{\sin D/۲}} L = \frac{۱۰}{\sin\frac{D}{۲}}\,\text{Arc}\sin\left(\frac{L_c}{۱۰}\sin\frac{D}{۲}\right)$$

$\frac{۵}{۵}$

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

$$L = \frac{\pi}{۱۸۰} \times \frac{۱۰}{\sin\frac{D}{۲}} \operatorname{Arc}\sin\left(\frac{L_c}{۱۰}\sin\frac{D}{۲}\right)$$

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

$$L = ۱۰\,\frac{\Delta}{D} \qquad \begin{cases}\Delta = ۲۰^\circ\ ۲۴' \\ D = ۱^\circ\ ۴۰'\end{cases} \Longrightarrow L = ۱۰ \times \frac{۲۰/۴}{۱/۶۶۶} = ۱۲۲/۴\ m$$

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

$$R = \frac{۵۷۲/۹۶}{D\,(\text{درجه})} \quad \text{یا} \quad R = \frac{۱۰}{D\,(\text{رادیان})} \qquad \begin{cases}D = ۴^\circ\ ۳۰'\end{cases} \Longrightarrow R = \frac{۵۷۲/۹۶}{۴/۵} = ۱۲۷/۳۲\ m$$

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

$$\begin{cases}\Delta = ۴۰^\circ\ ۱۲' \\ R = ۱۰۰۰\ m\end{cases} \Longrightarrow T = R\,tg\frac{\Delta}{۲} = ۱۰۰۰\ tg\frac{۴۰/۲}{۲} = ۳۶۵/۹۵\ m$$

$$E = R\left(\sec\frac{\Delta}{۲} - ۱\right) = ۱۰۰۰\left(\sec\frac{۴۰/۲}{۲} - ۱\right) = ۶۴/۸۵\ m$$

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

$$\begin{cases}\Delta = ۲۴^\circ\ ۳۲' \\ D = ۰^\circ\ ۱۵'\end{cases} \Longrightarrow T = R\,tg\frac{\Delta}{۲} = \frac{۵۷۲/۹۶}{۰/۲۵}\ tg\frac{۲۴/۵۳}{۲} = ۴۹۸/۳۰۴\ m$$

$$E = R\left(\sec\frac{\Delta}{۲} - ۱\right) = \frac{۵۷۲/۹۶}{۰/۲۵}\left(\frac{۱}{\cos\frac{۲۴/۵۳}{۲}} - ۱\right) = ۵۳/۵۴۶\ m$$

$$L = ۱۰\left(\frac{۲۴/۵۳}{۰/۲۵}\right) = ۹۸۱/۳۳\ m$$

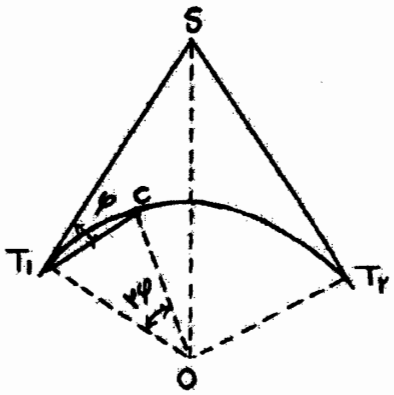
نتیجه گیری: هنگامی که دو جزء از یک قوس دایره‌ای معلوم باشد، سایر اجزاء قوس با استفاده از روابط هندسی قابل محاسبه است.

$\frac{۶}{۵}$

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

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

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



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

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

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

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

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

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

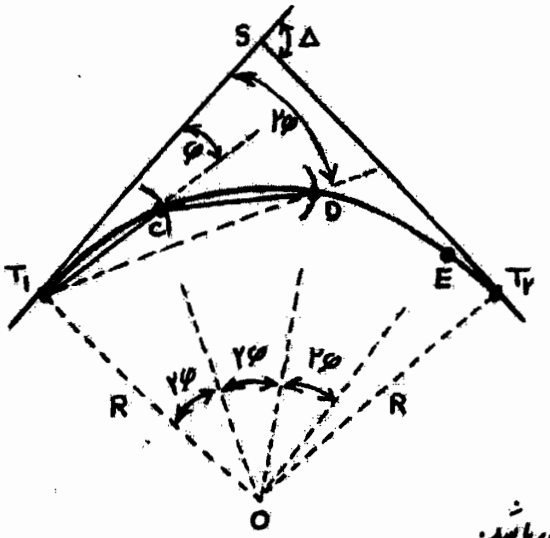
بنابراین با انتخاب طول کمان مناسب می توان دقت مورد نظر را رعایت نمود ، لکن در عمل بهتر است که طول کمان $\frac{1}{20}$ تا $\frac{1}{10}$ شعاع انتخاب شود و در عین حال برای پیاده کردن قوس‌های با شعاع بزرگ در مناطق کم عارضه ، طول کمان بیشتر از ۵۰ متر انتخاب نشود .

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

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

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

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



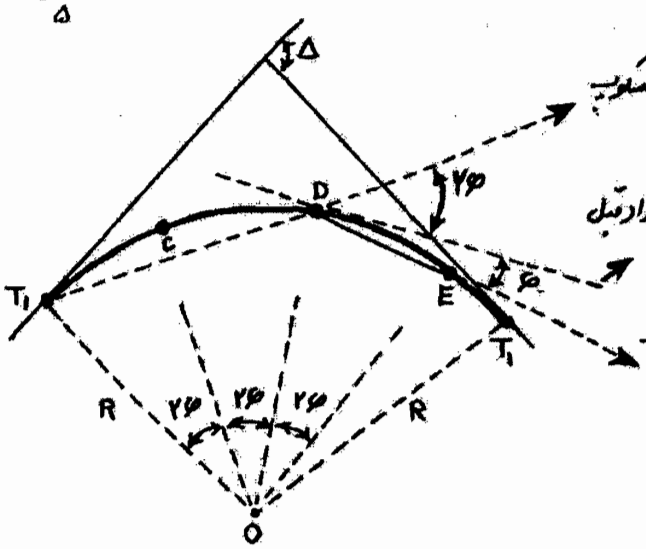
لازم به یادآوری است که در برخی موارد تقسیم طول قوس به کمانهای یک اندازه میسر نبوده و مطابق شکل روبرو آخرین کمان قوس کوچکتر از سایر کمانها می‌باشد. لذا برای پیاده کردن آخرین نقطه قوس، به زاویه قبلی دوربین، نصف زاویه مرکزی روبروی آخرین کمان افزوده می‌شود و دایره آخر به مرکز نقطه ماقبل آخر و شعاع برابر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

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

در برخی موارد ممکن است تمام نقاط قوس از نقطه T_1 قابل رویت نباشند. بنابراین لازم است تا برای پیاده کردن قوس پس از اتمام نقاط قابل رویت از T_1، بقیه نقاط را از T_2 و یا آخرین نقطه پیاده شده از T_1 (مثلاً D) پیاده نمود. برای این منظور پس از استقرار دوربین در نقطه معلوم D و صفرصفر کردن آن به سمت T_1، تلسکوپ دوربین ۱۸۰ درجه دوران داده می‌شود و به این ترتیب در راستای امتداد T_1D قرار می‌گیرد. حال اگر در این وضعیت زاویه انحراف مربوط به امتداد نقطه D یا 2φ را به دوربین معرفی کنیم، امتداد نشانه‌روی دوربین مماس بر قوس خواهد بود و بقیه نقاط با اضافه کردن زاویه انحراف آنها به زاویه دوربین پیاده می‌شوند. (شکل صفحه بعد)

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

$\frac{\Delta}{\Delta}$

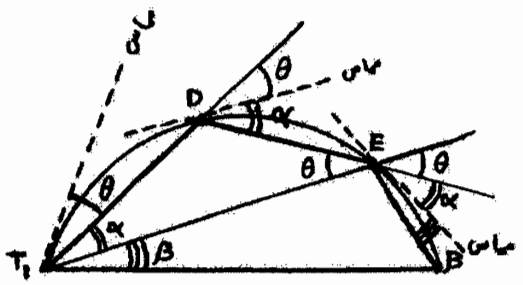


امتداد دوربین پس از دوران ۱۸۰ درجه‌ای تلسکوپ صفر صفر شده به سمت T_1

امتداد دوربین پس از طرح زاویه ۲φ بر امتداد قبل این امتداد بر قوس مماس می‌باشد.

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

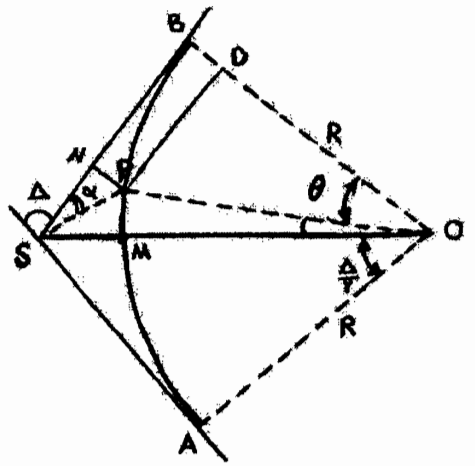
در حالت کلی‌تر می‌توان شکل فوق را به صورت زیر نشان داد:



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

۵-۵ - طراحی قوس برای عبور از نقطه‌ای ثابت و مشخص

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



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

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

در مثلث SPO خواهیم داشت:

$$P\hat{S}O = S_1 = 180 - \Delta - \alpha - \left(90 - \frac{\Delta}{2}\right) = 90 - \left(\alpha + \frac{\Delta}{2}\right)$$

$$P\hat{O}S = O_1 = \frac{\Delta}{2} - \theta$$

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

طبق قانون سینوسها خواهیم داشت:

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

و یا:

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

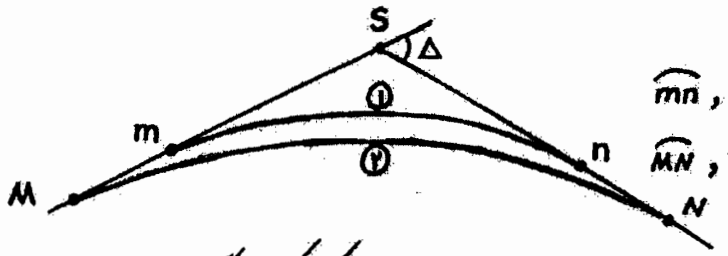
مقدار زاویه گمانی θ با حل معادله فوق بدست می آید. حال مطابق شکل برای محاسبه شعاع R خواهیم داشت:

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

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

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

جهت بالابردن سرعت طرح در راه ها، انحنای قوس با توجه به شرایط توپوگرافی تا حد امکان کاهش داده می شود. این کاهش که توام با افزایش شعاع قوس می باشد، علاوه بر افزایش ایمنی، سبب کاهش طول مسیر نیز می گردد. برای بررسی این موضوع شکل زیر را در نظر بگیرید.



مشخصات قوس با درجه بزرگتر: $\widehat{mn}, d, r, t, \ell$

مشخصات قوس با درجه کوچکتر: $\widehat{MN}, D, R, T, L_c$

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

$\frac{10}{5}$

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

$$\text{اختلاف طول دو مسیر} = \text{طول مسیر ①} - \text{طول مسیر ②} = (Mm + \widehat{mn} + nN) - (\widehat{MN})$$

از طرفی :

$$Mm = nN = (T - t) \; ; \; \widehat{mn} = l = 10\frac{\Delta}{d} \; ; \; \widehat{MN} = L = 10\frac{\Delta}{D}$$

در نتیجه :

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

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

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

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

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

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

نکته : هنگامی که زاویه مرکزی Δ یکسان باشد ، نسبت شعاع ها ، تانژانت ها ، بیسکتریس ها و طول قوس ها با یکدیگر برابرند و خواهیم داشت :

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

مثال

کیلومتراژ نقطه S : $Km\,S = 2^{+18.5}$ ، $R = 185^{m}$ ، $\Delta = 52^{\circ}$. مطلوبست کلیه مشخصات کمان مربوطه و کیلومتراژ نقطه T_1 و T_2.

$$T = R\,tg\frac{\Delta}{2} = 185\,tg\frac{52}{2} = 90.23$$

$$SE = R\left(\frac{1}{\cos\frac{\Delta}{2}} - 1\right) = 185\left(\frac{1}{\cos 26} - 1\right) = 20.83^{m}$$

$$EF = 185(1 - \cos 26) = 18.72\ m$$

$$\overline{T_1T_2} = 2 \times 185 \sin 26 = 162.19\ m$$

$$\widehat{T_1ET_2} = 185 \times \frac{52 \times \pi}{180} = 167.9\ m$$

$$Km\,T_1 = Km\,S - T = 2^{+18.5} - 90.23 = 1^{+928.27}$$

$$Km\,T_2 = Km\,T_1 + \widehat{T_1T_2} = 1^{+928.27} + 167.9 = 2^{+96.17}$$

نقطه S کیلومتر مشخص دارد. از این نقطه T را کم کنیم KmT_1 می‌آید کیلومتراژ T_2 هم هست KmT_1 به علاوه $\overline{T_1T_2}$:

در طول قوس بقیه کمان دایره در نقشه برداری II بررسی می‌شود.

در میدان راه وقتی کمان دایره اتفاق می‌افتد نشد از نقطه‌ای که ماشین در امتداد مستقیم حرکت دارد مشکلی نداریم اما در ورود به کمان دایره تحت اثر نیروی گریز از مرکز قرار می‌گیرد و تعادلش بهم می‌خورد. و مهمتر اینکه در این قوس‌ها این نیرو در نقطه T_1 یکباره به آنها شروع می‌شود و تا T_2 ادامه دارد و یک راننده اگر توجه نکند به طور ناگهانی تحت اثر نیروی زیاد دیود و تعادلش بهم می‌خورد و باید سرعت ماشین را در سربیچ‌ها به سرعت کم کند.

در برخی راه‌ها اینکه رعایت نیست و فکر اساسی از ایمنی است تا راننده در زمان و فاصله معین این نیروی گریز از مرکز و عدم تعادل را حس کند. پس در راه‌سازی آمده بین امتداد مستقیم خط و کمان دایره قوس قرار می‌دهند که از طرفی خاصیت خط و از طرفی خاصیت کمان دارد. و به عبارت دیگر طول منحنی متناسب با انحنای آن باید باشد.

$$\frac{L_1}{\frac{1}{R_1}} = \frac{L_2}{\frac{1}{R_2}} = \cdots = \frac{L_n}{\frac{1}{R_n}} \Rightarrow L_1R_1 = L_2R_2 = \cdots = L_nR_n = cte$$

وقتی می‌گوییم انحنای خط به دایره‌ای به شعاع R عمل شود از یک طرف خاصیت دایره از یک طرف خاصیت خط دارد.

R_1L_1

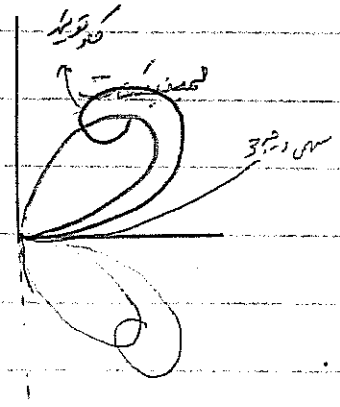
طول چون خاصیت خط دارد احساس نیروی گریز از مرکز را کمی راننده دارد و کم کم سرعت را کم کرده و احتیاط شروع می‌کند و در نقطه ورود دایره و آخر انحنا به مرکز سیم می‌رسد.

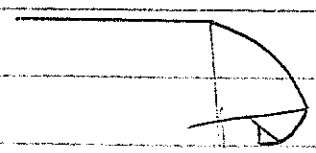
این منحنی را منحنی‌های آسان‌ساز گویند یعنی حقیقت‌های انتقال تدریجی، یعنی تدریجاً خط مستقیم را به کمان دایره وصل می‌کند.

در برخی موارد که بر آن کار از آنها خواهیم و آنها را می‌گویند آن شعاع بین دو حد RH و RH' قرار گرفت انتخاب R حتی نکو تر داریم و در غیر اینصورت نداریم. یعنی آن شعاع زیاد باشد به سمت خط میل می‌کند و نیروی ناگهانی کم است.

(R)

پس از نقاط بالایی منحنی را بررسی می‌کنیم. از نقاط بالایی این به سه صورت است.





منحنی‌های مرکب دایره‌ای

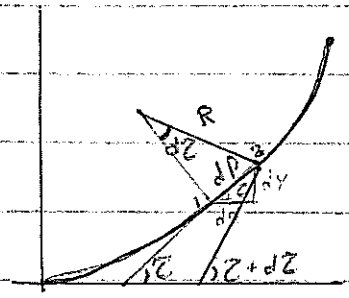
سه منحنی تا حدود ۱۳° درجه تقریباً منطبق است.

در راه‌سازی منحنی کلوتوئید بیشتر استفاده می‌گردد چون طرح و اجرایش راحت است.

در منحنی کلوتوئید که به عنوان منحنی آسان‌ساز قائم داریم داریم:

$R_1 \cdot L_1 = R_2 \cdot L_2 = \dots = R_n \cdot L_n = A^2$ ثابت کلوتوئید

پس در منحنی کلوتوئید ثابت $RL = A^2$ می‌باشد و A را ثابت کلوتوئید نامند. در منحنی کلوتوئید τ توسط مماس و زاویه‌ای که در دو نقطه قطبی و دیگری محاسبات قائم:



* در منحنی کلوتوئید دو دو المان می‌گیریم که در τ نقطه زاویه τ و $\tau+d\tau$ دارد و $d\rho$ نیز داریم که از نقطه ۱ به ۲ می‌رسد و آن R را دارا است. پس تغییر زاویه $d\tau$ را دارا خواهیم بود.

$d\rho = R \cdot d\tau$ می‌دانیم

$$d\tau = \frac{1}{R} \cdot d\rho$$

$$\tau = \int_{L_1}^{L_2} \frac{d\rho}{R}$$

$A^2 = R \cdot L \Rightarrow R = \frac{A^2}{L}$ گذاشته شد

$$\boxed{\tau = \int \frac{L}{A^2}\, d\rho}$$ معادله قطبی

ثابت

محلی که کلوتوئید به قوس دایره وصل می‌شود نقطه ارتباط سه منحنی است که آن را با L_s و τ_s نشان می‌دهیم و برای این نقطه اتصال داریم $\tau_s = \frac{L_s^2}{2A^2}$

* اگر $d\rho$ را با تقریب خط مستقیم فرض کنیم می‌بینیم که یک مولفه x دارد که با dx نشان می‌دهیم و یک مولفه y دارد که با dy نشان می‌دهیم.

و در مثلث روابط با زاویه τ نوشته شد.

$$\begin{cases} dx = dL \cos\tau \\ dy = dL \sin\tau \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = \int dL \cos\tau = \int \cos\frac{L^2}{2A^2}\, d\rho = \int \cos\frac{L}{2R} \cdot dL \\ y = \int dL \sin\tau = \int \sin\frac{L^2}{2A^2}\, dL = \int \sin\frac{L}{2R}\, dL \end{cases}$$

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

براساس بعد x و y می‌توان انحراف را در نقطه‌ی مورد نظر پیدا کرد.

$$\begin{cases} x = L\left(1 - \frac{L^2}{40R^2} + \frac{L^4}{3456R^4} \cdots\right) \\ y = \frac{L^2}{6R}\left(1 - \frac{L^2}{56R^2} + \frac{L^4}{7040R^4} \cdots\right) \end{cases}$$

معادله کلوتوئید برای منحنی مختلط

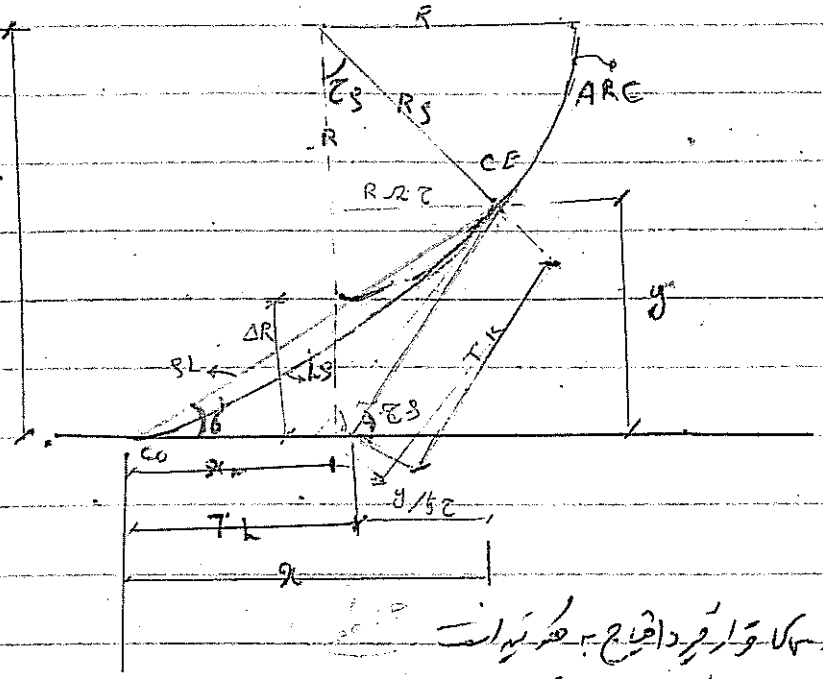
$R = \frac{V^2}{127(e+f)}$

$R = L$ برحسب

$L = \max \begin{cases} \frac{0.036V^3}{R_c} \\ 13.65\,V.e \end{cases}$

در برخی کتب $x = L$ و $y = \frac{L^2}{6R}$ نوشته‌اند که برای کوتاه است تقریباً تا جزء دوم را حساب می‌کنیم و بعد از آن چون جزء بی‌تأثیر می‌باشد.

البته این نقطه‌ای است که به کلوتوئید و دایره وصل می‌شود و باعث خواهد شد. پس 2 منحنی کلوتوئید در آخر به منحنی قوس دایره وصل می‌شود و البته معدل آن می‌شود.



وقتی که قوس دایره بیرون دو سر قوس قرار گیرد احتیاج به کلوتوئید است

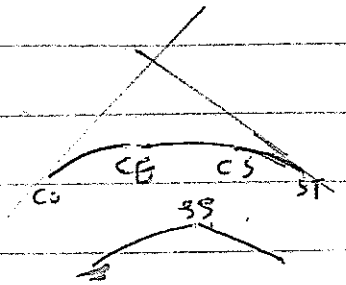
و اگر شعاع بیرون دو سر قوس قرار نگیرد دیگر احتیاج نیست.

کلوتوئید در راستای جاده است و به شعاع بسته است

برجستگی کلوتوئید از خط مستقیم بنام CO و ورود کلوتوئید به قوس دایره CE

کلوتوئید اگر در ابتدا CS و اتصال کلوتوئید به خط راست را ST می‌گویند

مشابه دو کلوتوئید قرینه هم باشند را به دلایلی و معمولاً تشابه هست.



در برخی مواقع دو کلوتوئید به هم می‌رسند و کمان دایره‌ای نیست و از نقطه‌ی SS نشان می‌دهند که درجات استثنایی است.

در شکل بزرگ y_m:

x و y: مختصات نقطه CE: اتصال قوس کلوتوئید به کمان دایره است.

y_m و x_m: مختصات مرکز کمان دایره

SL و LS: SL: عبارت از طول دو کلوتوئید و LS طول کلوتوئید منحنی

δ : زاویه رأس کلوتید ، در زاویه‌ای که وتر آن با محور x ها زاویه می‌سازد.

ΔR : جابجایی کمان دایره نسبت به خط x به منظور جای دادن کلوتید بین کمان دایره و امتداد مستقیم. یعنی کمان دایره را به اندازه ΔR (در امتداد) شعاع می‌برید تا بین کمان و خط راست کلوتید را قرار دهیم تا پیوستگی را حفظ کند.

TK : طول مماس کوتاه

TL : طول مماس بلند

τ : زاویه انحراف کلوتید که با اندیس δ می‌دهیم

R : شعاع دایره

در حالت کلی برای تحلیل کلوتید قاعدتاً R و L مطرح است. L و R در آئین‌نامه تعیین شده است. پس برای R و L مقادیر آن معلوم است. پس مقادیر L و R معلوم است و بیشتر از آن. اما می‌توانیم بدانیم که بهتر است بیشتر یک روز «در برخی جاها».

(کلوتید برای کمک به ایمنی وسایل نقلیه در قوس با انحراف بیشتر خط، کمک می‌کند که مثلاً کامیون نیازیم)

مقادیر بازشده با در کلوتید تابع L و R هستند. حال از شکل داریم:

زاویه انحراف از مبدأ تا مرکز دایره

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{y}{x}$$

یعنی مقدار زاویه رأس محدود به $\frac{1}{3}\tau$ است.

$$\delta = \frac{1}{3}\tau - \varepsilon\delta$$

(برحسب زاویه)

مقدار جزئی که مورد بحث $\varepsilon\delta$

در کتب و اصطلاحات راهسازی می‌گویند $\frac{1}{3}\tau$ ولی در عمل $\varepsilon\delta$ هست.

زاویه کلوتید $\tau = \frac{L}{2R}$

پس تحت اعظم همان $\frac{1}{3}\tau$ است اما یک جمله کوچک $\varepsilon\delta$ کم می‌شود که در عمل بررسی می‌شود.

$$\delta_h = \sqrt{x^2 + y^2}$$ از صفحه معلوم هستند

مختصات مرکز قوس دایره

$$\begin{cases} x_m = x - R\sin\tau \\ y_m = y + R\cos\tau \end{cases} \quad \left(\tau = \frac{L}{2R} \text{ برحسب رادیان}\right)$$

$$\Delta R = y_m - R = y + R\cos\tau - R$$

$$TL = x - \frac{y}{\operatorname{tg}\tau} = x - y\operatorname{cotg}\tau \qquad \operatorname{tg}\tau = y/x$$

$$TK = y/\sin\tau \qquad \sin\tau = y/TK$$

تفاضل بین طول بلند و کوتاه

می‌توان برحسب مقادیر به عنوان برنامه ارایه پیشنهاد داد.

پس با R و L تعریف شده و مقادیر بدست آمد.

مثال

مطلوبست تعیین مختصات کلوتوئید.

$R = 180\ m$

$L = 80\ m$

$$\begin{cases} x = L\left(1 - \frac{L^2}{40R^2} + \frac{L^4}{3456R^4}\right) = 79.60 \\ y = \frac{L^2}{6R}\left(1 - \frac{L^2}{56R^2} + \frac{L^4}{7040R^2}\right) = 5.91 \end{cases}$$

بدون افت جمله L^4

بدون افت جمله L^4

$\operatorname{tg}\alpha = \frac{y}{x} = \frac{5.91}{79.60} \Rightarrow \alpha = 4^\circ\ 14'\ 33''$

$\tau = \frac{L}{2R} = \frac{80}{360} \Rightarrow 12^\circ\ 43'\ 57''$

$\delta = \frac{1}{3}\tau = 4^\circ\ 14'\ 39''$

$x_m = x - R\sin\tau = 79.6 - 180\sin(12^\circ 43' 57'') = 39.93$

$y_m = y + R\cos\tau = 181.48$

$\Delta R = 1.48$

$TL = x - y\cot\tau = 79.6 - 5.91\cot(12^\circ 43' 57'') = 53.47$

$TK = \frac{y}{\sin\tau} = \frac{5.91}{\sin(12^\circ 43' 57'')} = 26.79$

$\rho_L = \sqrt{x^2 + y^2} = 79.82$ $\qquad A = \sqrt{RL} = 120$

پیاده کردن کلوتوئید

جدول شماره ۱ کلوتوئید: عبارت است از تعیین مختصات کلوتوئید به ازای مقادیر $\frac{L}{R}$ و $\frac{A}{R}$ و $\frac{x}{R}$ و $\frac{y}{R}$ و τ و $\frac{x_m}{R}$ و $\frac{TK}{R}$ و $\frac{TL}{R}$ و ...

به دست داشتن یکی از مقادیر ۱ تای دیگر سایر مختصات کلوتوئید را تعیین کنیم. عموماً در موقع کرکردن مقادیر L یا A را ثابت داشته و دوال تشکیل $\frac{L}{R}$ است تا سایر مشخصات تعیین شود. در برخی موارد که محدودیت داریم یک پارامتر تعیین کننده است. پس ما اگر $L = 80$ بود برای $\frac{L}{R}$ داریم $\frac{80}{180} = 0.4444$ پس در ردیف عددی زیر مشخص $\frac{L}{R}$ دنبال رقم 0.444 به دست می‌آید. این $\frac{L}{R}$ را می‌نامیم. و اگر در برخی موارد $\frac{L}{R}$ نتوانیم پیدا کنیم در اینصورت سایر مقادیر را از طریق میانگین یا انترپولاسیون به دست می‌آوریم. یعنی اختلاف دو عدد را با مقدار کمتر را در سایر مقادیر متناسب تغییر متناسب کنیم.

جدول شماره ۱ کلوتوئید: عبارت است از پیدا نمودن مختصات کلوتوئید به ازای $\frac{L}{R}$ و مقادیر کلوتوئید برحسب یکی از متغیرها (مثلاً) مشخص خواهد شد.

	No	$\frac{L}{R}$	$\frac{A}{R}$ ($\sqrt{RL}$)	$\frac{\Delta R}{R}$	$\frac{x_m}{R}$	τ rad	τ deg	$\frac{TL}{R}$	$\frac{TK}{R}$	$\frac{y}{R}$	$\frac{x}{R}$
$L = 69\ m$	470	0.3938250		0.006349						0.025362	0.3991138
$R = 175\ m$		0.0044770		0.000017						0.000083	0.0004425
$\frac{L}{R} = 0.3942857$	471	0.3951020		0.006446						0.025945	0.3935565

حاصل $\frac{L}{R}$ های فوق را تا پنجم در جدول ثبت نمودیم. اگر τ سایر پارامترها دارای تا آن وقت ... اگر τ نیز در حدود است و در عمل برابر ارزش با یکی از حدود را که نزدیکتر است انتخاب کنید و اگر وقت داشتن نبود همان مقادیر را قرار دهید اما در واقع باید تر بود اگر. حال $\frac{L}{R}$ حال را (با دقت ...)

0.3906250

مقایسه کرده می‌توانیم که: 471 و 470 تناظر 0.0044770 / 0.0036607 = 0.000147

470 و 471 تناظر 0.0036607 و 471 و 470 = ? → x = 0.000120

$\frac{\Delta R}{R}$ برای $(\frac{L}{R})$ که بدست آورده‌ایم است: $\frac{\Delta R}{R} = 0.006349 + 0.000120 = 0.006469$ ، 39.42857

$\Delta R = x \times R$ بدست می‌دهد

در مورد $\frac{X}{R}$ هم: $\frac{0.0044770}{0.0036607} = \frac{0.004425}{x = 0.003618}$ ، $\frac{x}{R} = 0.392756 \rightarrow x = 68.73$

در مورد $\frac{Y}{R}$ هم: $\frac{Y}{R} = 0.025890 \rightarrow Y = 4.51$

در مورد تقیم هم همینطور است.

جدول دوم که با I_a (به دست ما است (درجه بیم) تغییر طول در تکمیل نیست و زاویه‌ای که این دو با امتداد مستقیم اسیری می‌سازد

$SL = \sqrt{x^2 + y^2}$ ، SL = 68.87 ، x و y را داریم

No	$\frac{SL}{R}$	δ°	δ'
470	0.389963	4.1433	
	0.004454	0.0475	
471	0.394417	4.1908	

$\frac{SL}{R} = \frac{68.87}{175} = 0.393587$ بدست آمده

$\frac{0.0475}{} = \frac{0.004454}{0.003624}$ تناظر $\frac{SL}{R}$

$\delta = 4.1433 + 0.0386 = 4.1819 \leftarrow 0.0386 = x \leftarrow x = ?$

جدول دوم که در مقابل جدول شماره II مشاهده می‌شود زاویه قوس کلوتوئید است در دستگاه مختصات قائم با ازای A=1

خودکار: برای پیدا کردن قواره‌های انتقال خواهیم کرد. اینجا ما می‌خواهیم داده جدول فرمول بهره‌برداری ما باشد

$A = \sqrt{RL} = 109.87$

برای پیدا کردن قوس کلوتوئید مثل دایره با کوقواره‌های چند تر به چند تر پیدا می‌کردیم این برای مثل قواره‌ها را ما مجبور ما تر انتقال می‌کنیم و چون کمتر به بزرگتر

داده‌ایم به بدل ابتدا شوری قواره را برای A تقسیم می‌کنیم: $\frac{10}{109.89} = 0.091$

مثال عدد 0.091 در جدول نیست و بین حدی مثل 0.090 و 0.095 هست و یکی از قواره‌ها را مثلاً 0.095 انتخاب می‌کنیم و از جدول

0.095 قواره به دست می‌آید که هست $R = 10.44$ و این بیان می‌کند که اگر قواره را به جای 10 متر 10.44 انتخاب می‌کنیم می‌توانید از جدول

بدست بیاورید که قواره‌ها را به جای 10 متر 10.44 انتخاب می‌کنیم و اگر 10.44 متر قواره کمتر است که به بزرگتر نبود و آن مدارک بود

	برای A=1	برای A=1	A=109.89	
t	x	y	X	Y
0.095	0.095000	0.000143	10.44	0.015
0.190	0.189994	0.001143	20.88	0.125
0.285	0.284953	0.003858	31.33	0.424
0.380	0.377802	0.009142	41.74	1
0.475	0.474396	0.017846	52.13	1.96
0.570	0.568498	0.030807	62.47	3.38
			68.73	4.51

جدول پیدا کردن

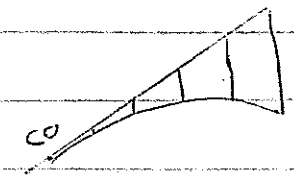
مختصات قائم قوس

مقدار آخر در مقدار قائم از جدول I_a → 0

I_a مقطع در جدول

15

در عمل از C0 = x 14.1 دای روی عمود اخراج می‌کنیم، مرکز را در 20.66 متر و عمودی 12.5 اخراج کنیم، مرکز سوم 31.31 اخراج کنیم
و عمود 42.4 اخراج کنیم و الخ... از وصل آن‌ها کلوتوئید مورد نظر برحسب x و y می‌آید



جدول بعد، جزء ملاک است. پیاده کردن کلوتوئید در دستگاه مختصات قائم است به ازای مقادیر شعاع و طول قوس.
و جدول X و Y را برای داده و قوس‌ها را ۱۰ متر به ۱۰ متر داده است و صفحه‌ها را انجام انتخاب می‌کنیم.

	L	X	Y
f=80 m, R=180 m	10	10.000	0.012
	20	20.000	0.093
	30	29.997	0.313
	40	39.988	0.741
	50	49.962	1.447
	60	59.906	2.497
	70	69.771.6	3.962
	80	79.606	5.905

کلوتوئید را انتخاب کنید که در موقع ها راحت‌تر باشد.

در بعضی از مواقع می‌بینید که در منطقه کوهستانی پیدا کردن مرکز کلوتوئید و قوس دایره مشکل است
بهتر به شکل پیاده کردن کلوتوئید دستگاه مختصات شکل برحسب طول و زاویه است که نقطه را با طول و زاویه می‌توانیم پیدا کنیم. بهتر به شکل پیاده کردن قوس
در منطقه دارای عوارض جدول بعدی را می‌طلبد.

جدول ملاک است. پیاده کردن قوس کلوتوئید در دستگاه مرکز و زاویه‌ها به ازای A=L.

f=69, R=175

A=109.87

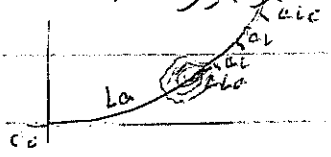
										A=109.87
										SL
f=10 → L/4 = 0.091 → 0.09										10.91
										21.98
										32.98
										43.94
										54.98
										65.84
										68.87

	f	δ	SL	
	0.1	0° 3' 44"	0.100000	
	0.2	0 22 55	0.199996	
	0.3	0 51 34	0.299973	
	0.4	1 31 40	0.399886	
	0.5	2 23 13	0.499653	
	0.6	3 26 13	0.599137	
		4 35 16		

جدول شماره ۵ پیاده کردن قوس کلوتوئید در دستگاه مختصات قطبی به ازای مقادیر شعاع و طول

L	X	Y	δ°
10	10	.012	0 3 59
20	20	.093	0 15 55
30	29.997	.313	0 35 49
40	39.988	0.741	1 3 40
50	49.962	1.447	1 39 28
60	59.906	2.497	2 23 13
70	69.718	3.962	3 14 55
80	79.606	5.905	4 14 32

جدول شماره ششم: پیاده کردن کلوتوئید با درنظر گرفتن استگاه در طول کلوتوئید به دلیل در برخی مواقع پیاده کردن نقاط کلوتوئید از نقطه CC به دلیل عوارض و طول زیاد و ... امکان ندارد و لازم است بر روی کلوتوئید ایستگاه‌هایی انتخاب شود



L_a طول کلوتوئید از ابتدا تا مبدا

ΔL_a طول قوس اول

ΔL طول قوس‌های کوچک

ΔL_e آخرین طول

$K = \frac{R}{L_a}$ 636620 206265

$$\begin{cases} D = K*(3L_a + 2\Delta L_a + \Delta L)\Delta L \\ Z = K \cdot 2\Delta L^2 \\ \tau = K*3L_a^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \delta_I = \tau + K(3L_a + \Delta L_a)\Delta L_a \\ \delta_{II} = \delta_I + D \\ \delta_{III} = \delta_{II} + D + Z \\ \delta_{IV} = \delta_{III} + D + 2Z \\ \delta_V = \delta_{IV} + D + 3Z \\ \vdots \\ \delta_{e-1} = \delta_{e-2} + D + (n-3)Z \end{cases}$$

آخرین قوس

$$\delta_e = \delta_{e-1} + K[3L_a + 2\Delta L_a + 2(n-2)\Delta L + \Delta L_e]*\Delta L_e$$

نمونه محاسبه از جدول:

$R = 350$

$L_a = 220$ m

$\Delta L_a = 12.5$ m

$\Delta L = 20$ m

$\Delta L_e = 7.5$ m

$L = 340$

برای تعیین ترتیب K از جدول نمودار δ که به ازای مقدار A و K است بهره برده و با توجه به قوس‌ها عمل کنید.

$A = 350$ $K = 0.866249$ $\delta_I = 133046$

$D = 122213$ $\delta_{II} = 145257$

$Z = 693$ $\delta_{III} = !$

$\tau = 125765$ $\delta_e = 206839$

$n = 7$ برای یک پله در طول و قوس‌ها

17

مشخصات آئین‌نامه‌ای برای تغییر شعاع قوس‌های بدون کلوتوئید

یعنی اگر شعاع قوس کم خواهد شد و نیاز داریم که برای آن آئین‌نامه تدوین کنیم

سرعت طرح : سرعت اساسی که برای آن طرح هندسی راه را انجام می‌دهیم KM/hr و حداقل شعاع قوس دایره بر حسب m

سرعت طرح KM/hr	120	100	80	60	40
حداقل شعاع قوس دایره m	2800	1700	1000	500	200

یعنی چنانچه قوس ساده با سرعت 40 کیلومتر در ساعت آئین‌نامه شعاع 200 متر حداقل را اعلام کرده و دیگر موارد

مزایای قوس‌های کلوتوئید عبارتند از :

سرعت طرح کرده‌ای است

1) انتقال قوس دایره به خط مستقیم از طریق منحنی‌های انتقال تدریجی باعث ثابت ماندن سرعت و افزایش ایمنی راه خواهد بود.

2) اعمال شیب بلندی «دیپر» از مقدار حداقل تا مقدار حداکثر آن می‌تواند در طول منحنی قوس انتقال انجام گیرد. (در حذف رلی)

3) در قوس‌ها در راه‌سازی مجبوریم اضافه عرض بدهیم پس اعمال اضافه عرض در طول قوس کلوتوئید امکان‌پذیر است.

4) کاربرد قوس‌های انتقال از بوجود آمدن شکستگی‌ها در شروع و انتهای قوس جلوگیری می‌کند و بنابراین راه ظاهر مناسب‌تری دارا خواهد بود. معمولاً برای قوس‌های انتقال که از مکعب تبعیت می‌کنند حداقل آن از رابطه روبرو بدست می‌آید $L_{min} = 0.0214 \frac{V^3}{R}$

V سرعت اساسی بر حسب KM/hr و L طول منحنی R شعاع قوس بر حسب متر C شدت افزایش شتاب شعاع بر حسب متر بر مجذور ثانیه RC

5) ضریب عبور راحتی بیان می‌شود و ضریب ایمنی که کوچک و مقداری بین 0.3 تا 0.6 دارد و هر چقدر کوچکتر باشد بهتر است.

بطور کلی طول و حداقل معمولاً بر اساس طول بر بلندی تعیین می‌شود.

کنترل‌های کلی امتداد افقی مسیر:

1) امتداد افقی مسیر (پلان راه) باید تا حد امکان با پستی و بلندی و عوارض طبیعی زمین مطابقت داشته باشد. یعنی راه با طبیعت زمین توافق کند.

2) تا حد امکان سعی شود که در پلان از قوس‌های با شعاع‌های بزرگتر استفاده شود و از کاربرد شعاع‌های کوچکتر اجتناب کنند بجز در موارد استثنایی

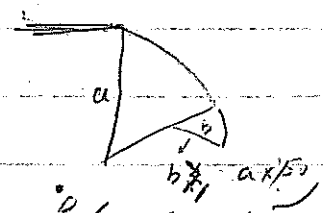
3) هماهنگی امتداد افقی مسیر در طول راه رعایت شود مثلاً از کاربرد یک قوس تند در انتهای یک امتداد مستقیم یا عبور دادن از یک قوس با شعاع بزرگتر به یک قوس با شعاع کوچکتر خودداری شود.

4) طول قوس‌های پلان از یک مقدار معین در طول مسیر بیشتر شود یعنی اگر شعاع حداقل را داریم کوچک (با تأیی شرط است).

بعنوان مثال در راه‌های اصلی طول قوس با شعاع 350 متر بیشتر از 100 متر باشد و برای کاهش هر 50 متر از شعاع 30 متر بطول آن اضافه شود یعنی اگر طول شعاع کمتر شود طول آن بیشتر شود.

5) در مکان‌های بلند از به کار بردن قوس‌های با شعاع کمتر خودداری شود و سعی کنیم که از ابتدا از منحنی‌های مستقیم و یا قوس‌هایی با شعاع‌هایی بزرگتر استفاده کنیم.

6) قوس‌های مرکب با شعاع‌های مختلف همان شکلی را خواهد داشت که در اتصال ابتدا و مستقیم به شعاع کوچکتر پیش خواهد آمد و عملاً شعاع قوس بزرگتر بیش از 50 درصد شعاع کوچکتر نباید باشد یعنی نسبت شعاع‌ها از 50٪ نباید تجاوز کند.



7) از تغییر ناگهانی در امتداد اتصال مسیر خودداری شود و اگر از قوس‌های متوالی بهره می‌برند خط مستقیم نباید بین آنها موجود باشد و باید اتصال به آرامی و تدریجی موجود باشد.

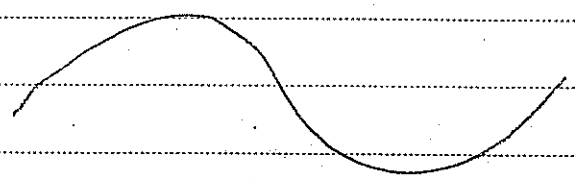
8) باید سعی شود که پایان راه با تغییر خط راه‌ها دقیقاً از آرام آرام باشد یعنی سرکه اول و دوم هدف باشند که منحنی بحث خواهد شد.

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

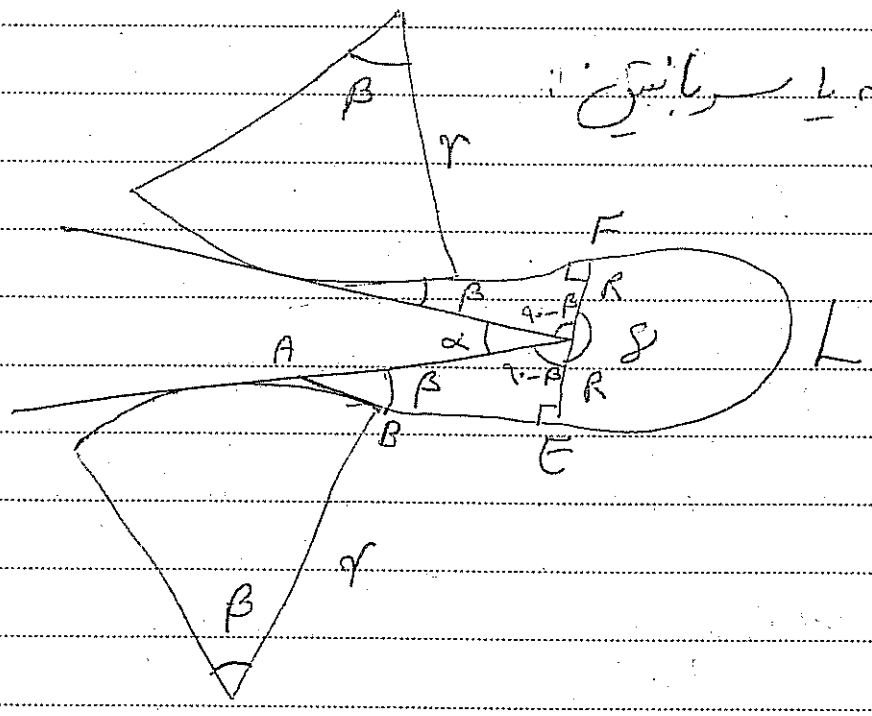
Subject:
Year. Month. Date. ( )

قوس‌های معکوس :

قوس‌های معکوس از اتصال قوس‌های ساده به یکدیگر تشکیل می‌شوند و طراحی این قوس‌ها سعی می‌گردد در صورت لزوم فاصلهٔ افقی بین دو قوس رعایت گردد که برای شعاع‌های بالاتر نیز به رعایت این فاصله نیاز خواهد بود.



قوس‌های سرگرد نه یا سربانتین :



$$2(90-\beta)+\alpha+\delta=360$$

$$180-2\beta+\alpha+\delta=360 \Rightarrow \boxed{\delta-2\beta=180-\alpha}$$

PAPCO

Subject: 24

Year. Month. Date. ( )

$AB = T = r\, tg\frac{\beta}{2}$

$AE = T + m \qquad BE = m$

$\Delta AOE: tg\beta = \frac{R}{T+m} = \frac{R}{r\, tg\beta/2 + m}$ (I) $tg\beta = \frac{2\, tg\, \beta/2}{1 - tg^2\frac{\beta}{2}}$ (II)

$\frac{R}{r\, tg\frac{\beta}{2} + m} = \frac{2\, tg\, \beta/2}{1 - tg^2\frac{\beta}{2}} \Rightarrow R - R\, tg^2\frac{\beta}{2} = 2r\, tg^2\frac{\beta}{2} +$

$+ 2m\, tg\frac{\beta}{2} \Rightarrow R - R\, tg^2\left(\frac{\beta}{2}\right) = 2r\, tg^2\left(\frac{\beta}{2}\right) + 2m\, tg\left(\frac{\beta}{2}\right)$

$\Rightarrow R - R\, tg^2\left(\frac{\beta}{2}\right) - 2r\, tg^2\left(\frac{\beta}{2}\right) - 2m\, tg\left(\frac{\beta}{2}\right) = 0$

$\Rightarrow R - tg^2\left(\frac{\beta}{2}\right)(R + 2r) - 2m\, tg\, \beta/2 = 0$

$\Rightarrow \frac{-2m \pm \sqrt{4m^2 + 4R(R+2r)}}{2(R+2r)} = tg\left(\frac{\beta}{2}\right)$

$$\Rightarrow \boxed{tg(\beta/2) = \frac{-m + \sqrt{m^2 + R(R+2r)}}{R+2r}}$$

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

Subject:
Year. Month. Date. ( )

$$L = \frac{\gamma R \pi}{۱۸۰}$$

$$\text{طول کل سرپانتین} = ۲m + ۲AB + L$$

V	۳۰	۲۵	۲۰
R شعاع منحنی مرکب	۳۰	۲۰	۱۵
m	۳۰	۲۵	۲۰

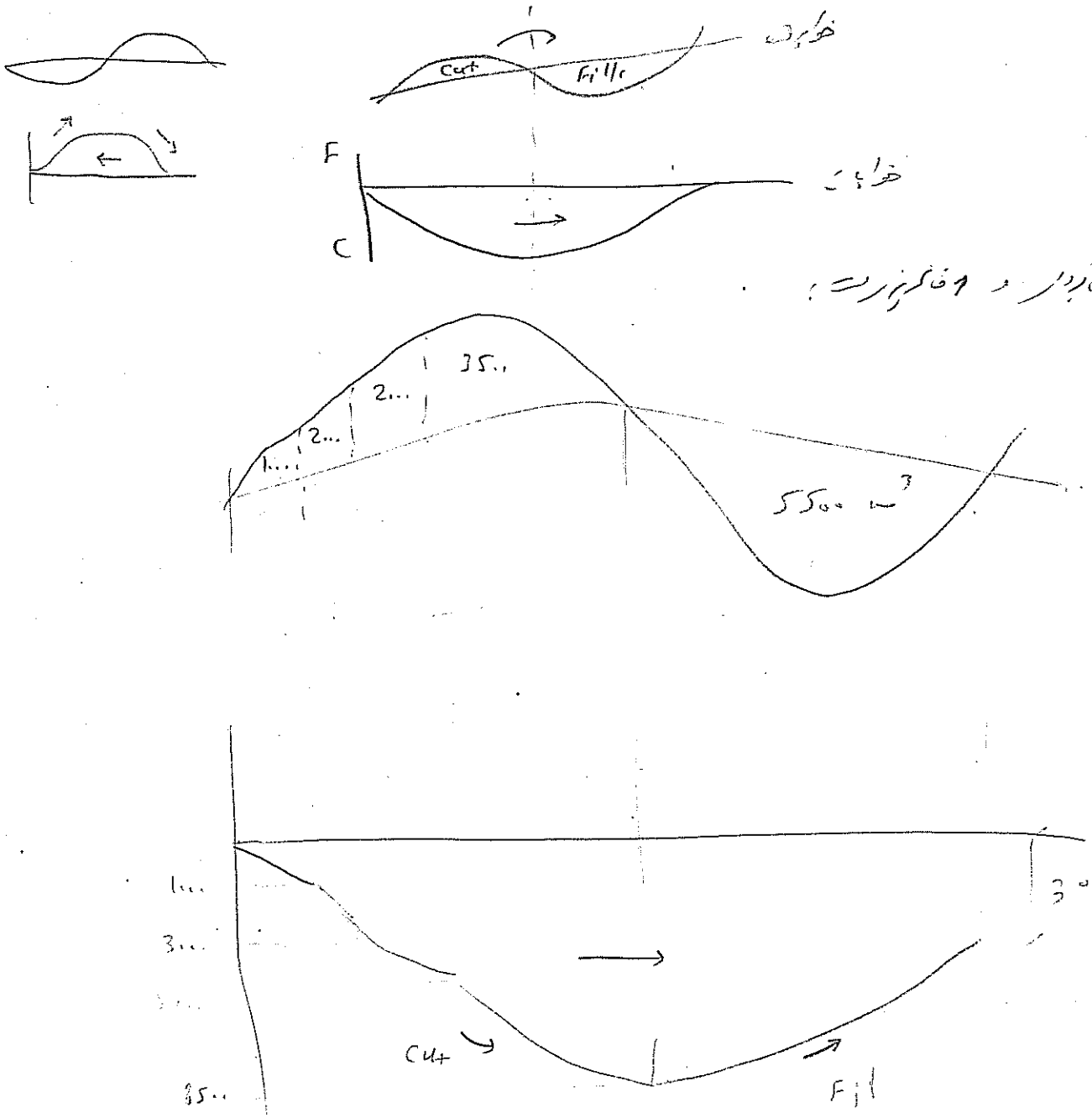
در طراحی قوسهای سرپانتین که در کردن بطور چشم ها استفاده می شود مقادیر R و m با توجه به سرعت طرح از جدول بالا، طبق آیین نامه بدست می آید.

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

در خط افق شماره پروفیل طولی عرضی با مقیاس کوچک نوشته می‌شود (خط پایه) و دو دور کوچک از دو طرف سمت چپ نشانه خاکبرداری F و سمت راست نشانه خاکریزی C است و اعداد آن حجم خاک را نشان می‌دهد.

در این جدول حاصل حجم خاک را نسبت به فاصله پروفیل عرضی مورد نظر از ابتدا رسم به صورت نقاط و خط شکسته مشخص کرده و انتهای هر دو نقطه را به هم وصل می‌کنیم تا منحنی بدست آید (+ در بالا و - در پایین)

- جهت جابجایی خاک از سمت چپ به راست در قسمت بالای خط پایه و از راست به چپ در قسمت پایین خط پایه مشخص است.

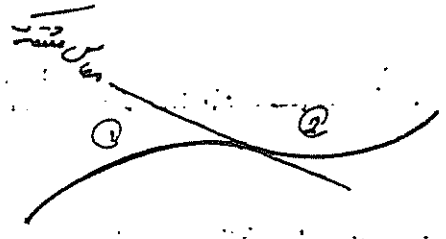


توسعه قطاع توزیع - حجم خاک

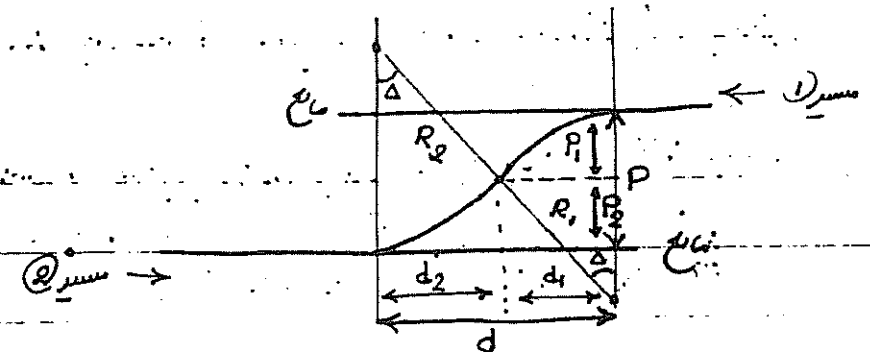
Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

قوسهای معکوس :

قوس هایی هستند که از مماس شدن دو قوس بدست می آیند به طوریکه در طرفین مماس مشترک خود قرار دارند.



قوس معکوس بین دو محور موازی



$P = P_1 + P_2$

$P_1 = R_1(1-\cos\Delta)$

$P_2 = R_2(1-\cos\Delta)$

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

ما بایستی در طراحی قوس سعی کنیم که $R_1 = R_2$ باشد پس

$P = 2R(1-\cos\Delta)$

$d = d_1 + d_2$

$d_1 = R_1 \sin\Delta$

$d_2 = R_2 \sin\Delta$

$\rightarrow d = (R_1+R_2)\sin\Delta$

$R = R_1 = R_2 \rightarrow d = 2R(\sin\Delta)$

$d^2 = 4R^2\sin^2\Delta = 4R^2(1-\cos^2\Delta) \Rightarrow$

$\Rightarrow d^2 = 4R^2 - 4R^2\cos^2\Delta \Rightarrow 4R^2\cos^2\Delta = 4R^2 - d^2$ (1)

$P = 2R - 2R\cos\Delta \rightarrow 2R\cos\Delta = 2R - P \rightarrow 4R^2\cos^2\Delta = 4R^2 + P^2 - 4RP$ (2)

$$4R^2 - d^2 = 4R^2 + P^2 - 4RP$$

$$\Rightarrow d^2 = 4RP - P^2$$

$$d = 2\sqrt{P(R - P/4)}$$

مثال) اگر در یک قوس مکعبی بین دو محور موازی برای سرعت $60\ km/h$ طراحی شده باشد

و زاویه $\Delta = 45^\circ$ باشد ~~مطلوبست~~ کدام یک از مقادیر زیر فاصله دو محور موازی را توجیه میکند.

در صورتیکه منطقه گرمسیر و دور برابر 0.12 باشد. ضریب اصطکاک 0.16 باشد.

$$R_{min} = \frac{V^2}{127.2(e+f)} = \frac{60^2}{127.2(0.12+0.16)} = 101\ m$$

$$P = 2 \times 101 \times (1 - 0.45) = 59\ m$$

در مثال ۱ فاصله شروع و خاتمه قوس مکعبی چقدر است؟

$$d = 2R \sin\Delta = 2 \times 101 \times \sin 45 = 142.6\ m$$

مثال) فاصله بین دو قوس مکعبی برابر با $60\ m$ و سرعت طراحی برابر $V = 70\ km/h$ باشد مطلوبست محاسبه

فاصله شروع و خاتمه قوس مکعبی؟

$$d = 2\sqrt{60\left(R - \frac{60}{4}\right)}$$

$$R = \frac{70^2}{127.2 \times (0.12 + 0.14)} = 137.6\ m$$

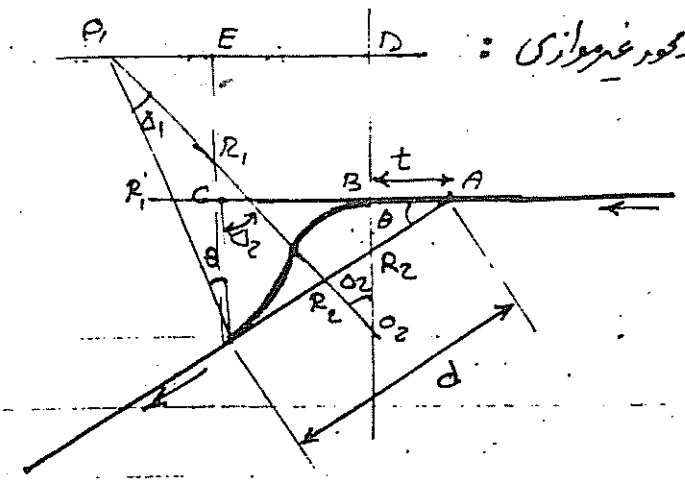
$$\Rightarrow d = 122.4\ m$$

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

در مثال قبل. زاویه Δ. کلامیک از اعداد زیر است.

$$d = 2R\sin\Delta \rightarrow \sin\Delta = \frac{122.4}{137.6\times 2} \Rightarrow \Delta = 26.49^\circ$$

قوس معکوس بین دو محور غیرموازی :



$$\cos\Delta_2 = \frac{O_2D}{OO_2} = \frac{R_2+BD}{R_2+R_1}$$

$$BD = CE = R_1\cos\theta - d\sin\theta$$

$$\cos\Delta_2 = \frac{R_2+R_1\cos\theta - d\sin\theta}{R_2+R_1} \rightarrow \Delta_2 = ?$$

با معلوم بودن θ مقدار Δ_1 محاسبه میشود

$$\Delta_2 = \Delta_1 + \theta \rightarrow \Delta_1 = \Delta_2 - \theta$$

$$t = AC - BC \quad AC = d\cos\theta$$

$$BC = DE = (R_1+R_2)\sin\Delta_2 - R_1\sin\theta$$

$$\Rightarrow t = d\cos\theta - (R_1+R_2)\sin\Delta_2 + R_1\sin\theta$$

اگر قوس معکوس بین دو محور غیرموازی در منطقه کوهستانی طراحی شده باشد. قوس R_1 برای سرعت $55\ \frac{km}{h}$ و قوس R_2 با 1.5 برابر سرعت قوس R_1 طرح شده باشد زاویه θ برابر 30° و مقدار $d = 150^m$ زاویه Δ_1 و Δ_2 کدامیک از مجموعه‌های زیر است.

v	f
50	0.20
60	0.16
55	0.18
80	0.13
90	0.12
82.5	0.1275

$G\Delta_2 = ?$

$$R_1 = \frac{55^2}{127.2(0.12+0.20)} = 74.3^m$$

$$R_2 = \frac{(1.5\times 55)^2}{127.2(0.12+0.1275)} = 216.2^m$$

$$G\Delta_2 = \frac{216.2+74.3\times G30 - 150\sin 30}{74.3+216.2} \Rightarrow \Delta_2 = 52.6^\circ$$

$$\Delta_1 = \Delta_2 - \theta = 22.6^\circ$$

$$t = 150G30 - (74.3+216.2)\sin 52.6 + 74.3\sin 30$$

$$\Rightarrow t = 63.4\ m$$

مطلوبست محاسبه طول نقطه شروع تا خاتمه قوس:

$$BC = (R_1+R_2)\sin\Delta_2 - R_1\sin\theta$$

$$= (74.3+216.2)\sin(52.6) - 74.3\sin 30$$

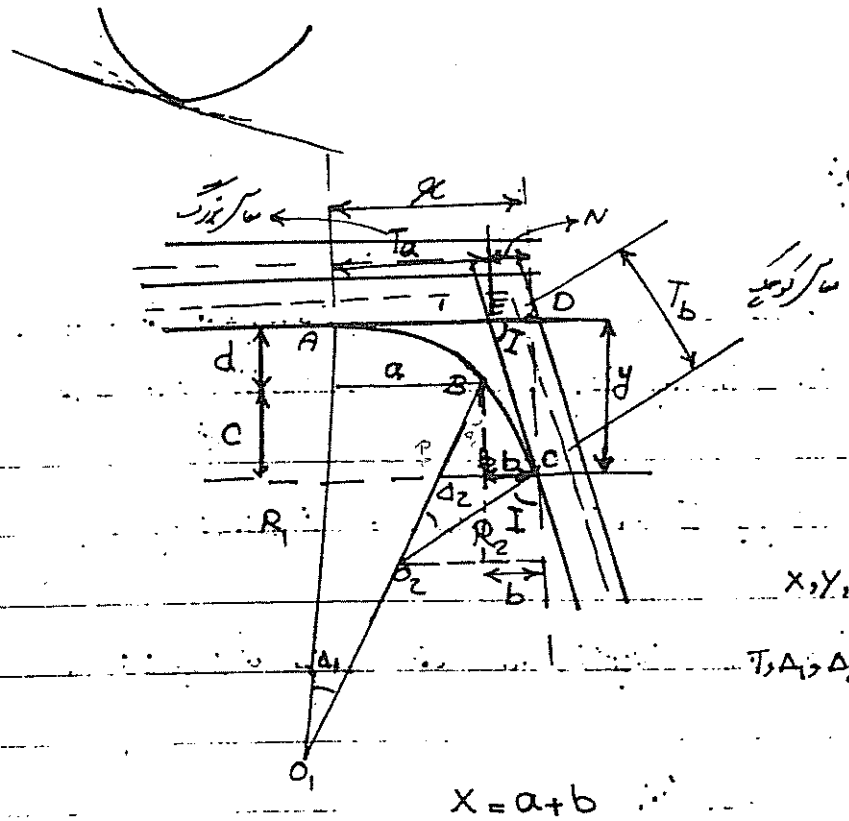
$$BC = 66.9^m$$

۴

قوس های مرکب :

قوس های مرکب : به از مماس کردن چند قوس که قوس ها همه در یک طرف مماس مشترک هستند.

قوس های مرکب دو مرکزی :



مجهولات X, Y, T_a, T_b

معلومات $T, \Delta_1, \Delta_2, R_1, R_2$

$$X = a + b$$

$$a = R_1 \sin \Delta_1$$

$$b = R_2 \sin I - R_2 \sin \Delta_1$$

$$X = R_1 \sin \Delta_1 + R_2 \sin I - R_2 \sin \Delta_1$$

$$X = (R_1 - R_2) \sin \Delta_1 + R_2 \sin I$$

$$Y = c + d$$

$$c = R_1 (1 - \cos \Delta_1)$$

$$d = R_2 \cos \Delta_1 - R_2 \cos I$$

$$Y = R_1 - (R_1 - R_2) \cos \Delta_1 - R_2 \cos I$$

$$\sin I = \frac{y}{T_b} \rightarrow T_b = \frac{y}{\sin I}$$

$$T_a = X - N$$

$$T_a = X - \frac{y}{\tan I}$$

مثال) اگر یک قوس مرکب دو مرکزی را در گوشه خیابانی طراحی کرده باشند و سرعت قوس $80 \frac{km}{h}$ و سرعت کوچکتر $40 \frac{km}{h}$ باشد و منطقه سردسیر باشد و ضریب اصطکاک بزرگتر به ترتیب $f_1 = 0.13$ و $f_2 = 0.25$ زاویه I برابر 80° که به دو زاویه کوچکتر $\Delta_1 = 25^\circ$ و $\Delta_2 = 55^\circ$ تقسیم شود. هندسه کدامیک از مجموعه زیر R_1 و R_2 را توضیح می‌دهد.

$$R_1 = \frac{80^2}{127.2(0.06+0.13)} = 264.8$$

$$R_2 = \frac{40^2}{127.2(0.06+0.25)} = 40.6$$

ب- مقدار هر کدامیک از اعداد زیر است؟

$$X = (R_1 - R_2)\sin\Delta_1 + R_2 \sin I$$

$$= (264.8 - 40.6)\sin 25 + 40.6 \sin 80 = 134.73^{m}$$

94.75

$$y = R_1 - (R_1 - R_2)\cos\Delta_1 + R_2 \cos I$$

$$= 264.8 - (264.8 - 40.6)\cos 25 - 40.6 \cos 80 = 54.6^{m}$$

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

۴-۳ سرعت طرح

۴-۳-۱ کلیات

سرعت طرح، سرعتی است که برای تعیین حداقل مشخصات مربوط به طرح هندسی (پیچ‌ها، خم‌هاو فواصل دید) قطعه مورد نظر راه انتخاب می‌شود.

۴-۳-۲ انتخاب سرعت طرح

عوامل موثر در انتخاب سرعت طرح عبارت‌است از:

* طبقه بندی مسیر
* درجه بندی مسیر
* ملاحظات اقتصادی
* عوامل محیطی
* نوع و حجم ترافیک
* منظرآرایی مسیر

با در نظرگرفتن عوامل بالا، بیشترین سرعت ممکن به عنوان سرعت طرح انتخاب می‌شود، مگر آنکه موقعیت خاص راه مقادیر کمتری را ایجاب کند.

۴-۳-۳ گروه‌بندی سرعت طرح

انواع سرعت‌های طرح انتخاب شده مطابق جدول ۴-۲ گروه‌بندی می‌شود.

۴-۳-۴ معیارهای سرعت طرح

سرعت طرح براساس درجه‌بندی راه و نیز پستی و بلندی منطقه مطابق جدول ۴-۳ انتخاب می‌شود.

جدول ۴-۲ گروه‌بندی سرعت طرح

نام گروه	سرعت طرح (کیلومتردرساعت)		
	حداقل	متوسط	حداکثر
V_1	۳۰	۴۰	۵۰
V_2	۶۰	۷۰	۸۰
V_3	۸۰	۹۰	۱۰۰
V_4	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰
V_5	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰

جدول ۴-۳ گروه سرعت طرح برای درجه‌بندی راه

درجه بندی راه	طبقه بندی راه		
	کوهستانی	تپه ماهور	هموار (دشت)
آزاد راه‌ها	V_3	V_4	V_5
بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی جدا شده	V_3	V_4	V_4
راه‌های اصلی	V_2	V_3	V_4
راه‌های فرعی	V_1	V_2	V_3

$\frac{11}{5}$

۵-۷- تعیین حداقل شعاع قوسهای دایره‌ای ساده :

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

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

که در آن :

R_{min} : حداقل شعاع قوس برحسب متر

V : سرعت طرح برحسب کیلومتر بر ساعت

e : مقدار دور یا برجستگی در قوس

f : ضریب اصطکاک لاستیک و سطح جاده

الف - تعیین سرعت طرح (V) :

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

- طبقه‌بندی راه
- درجه‌بندی راه
- ملاحظات اقتصادی
- عوامل محیطی
- نوع و حجم ترافیک
- منظرآرایی و ...

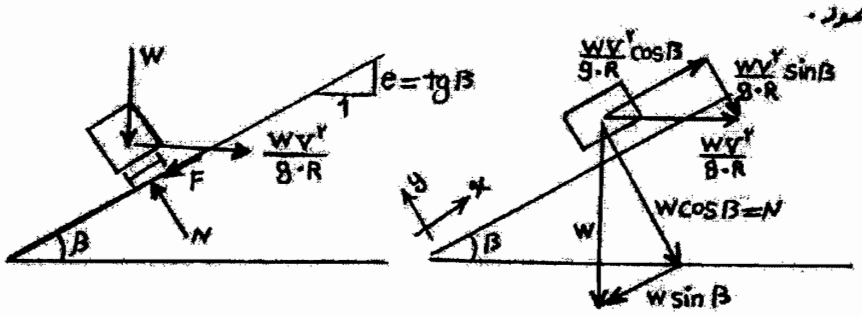
آیین‌نامه طرح هندسی راه‌ها مقدار سرعت طرح را براساس درجه‌بندی راه و نیز وضعیت توپوگرافی منطقه به صورت زیر توصیه نموده است :

	کوهستانی	تپه‌ماهوری	هموار یا دشت
آزاد راه‌ها	۹۰	۱۱۰	۱۳۰
بزرگراه‌ها و راههای اصلی جداشده	۹۰	۱۱۰	۱۱۰
راه‌های اصلی	۷۰	۹۰	۱۱۰
راه‌های فرعی	۴۰	۷۰	۹۰

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

ب - تعیین دور یا برجستگی در قوس :

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



براساس شکل داریم :

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

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

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

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

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

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

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

اگر مقدار سرعت برحسب km/h و مقدار $g = 9{,}81\ \frac{m}{s^2}$ جایگزین گردد ، رابطه به صورت ارائه شده در ذیل خواهد شد .

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

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

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

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

۱- راه‌های دو خطه و رابطهایی که در معرض بارش برف و یخبندان نیستند	$e_{max} = 12\%$
۲- آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها	$e_{max} = 10\%$
۳- مناطق با ارتفاع بیش از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا و شرایط برف و یخبندان	$e_{max} = 8\%$
۴- در مناطق حومه شهری	$e = 6\%$

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

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

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

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

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

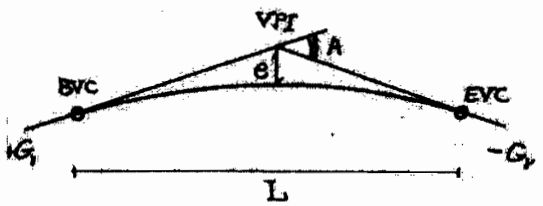
Azarkish@iust.ac.ir

فصل ششم
قوسهای قائم :

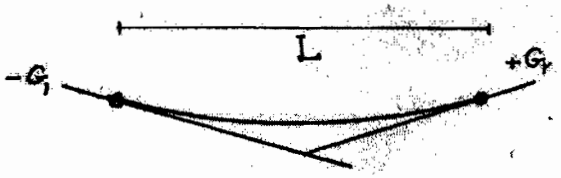
قوسهای قائم در پروفیل طولی مسیر وظیفه اتصال خطوط شکسته پروژه را به یکدیگر ایفاء می کنند و به عبارتی قوسهائی هستند که تقاطع دو شیب قائم در مسیر راهسازی را به طور یکنواخت و صاف، بدون تغییر حرکت عمودی به هم وصل می کنند.

این قوسها سبب ایمنی و راحتی حرکت و همچنین ایجاد ظاهری اساسی برای مسیر می گردند. بر اساس آئین نامه فقط در مراحلی که جمع جبری شیبهای طرفین کمتر از ۰/۵٪ باشد وجود قوس قائم ضروری نیست و برای قوسهای قائم بیشتر از قوسهای سهموی استفاده می شود.

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



خم گنبدی یا محدب



خم کاسه ای یا مقعر

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

۲/۶

الف) تعیین طول خم گنبدی :

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

L : طول خم گنبدی برحسب متر

K : ضریبی است تابع سرعت طرح که براساس آئین نامه طرح هندسی راه‌ها از جدول (۶ - ۱) بدست می‌آید

این ضریب برحسب متر بوده و معنای فیزیکی آن طول لازم خم برای یک درصد تغییر شیب طولی است.

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

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

جدول (۶ - ۱) حداقل K برای خم گنبدی

ب) تعیین طول خم کاسه‌ای :

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

L : طول خم کاسه‌ای برحسب متر

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

۳/۶

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

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

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

جدول (۶-۲) حداقل مقادیر K برای خم کامه ای

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

پارامتر A $A = |G_2 - G_1|$

طول قوس $L \geqslant k.A$

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

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

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

ارتفاع نقطه تلاقی دو شیب $H\ (V.P.I)$

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

$\frac{F}{6}$

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

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

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

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

S : فاصله مورد نظر بین دو ایستگاه متوالی

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

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

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

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

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

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

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

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

$G_1 = 2.47$, $G_2 = 6.27$

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

۵/۶

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

$$A = |G_2 - G_1| = |6{,}27 - 2{,}47| = 3{,}8 > 0{,}5$$

$$L \geq k \cdot A \xrightarrow[\text{قوس کاهشی}]{\text{سرعت طرح } 110\ km/hr} k = 54$$

$$L_{min} = k \cdot A = 54 \times 3{,}8 = 205{,}2 \xrightarrow{\text{انتخاب}} L = 270\ m$$

$$km\ (V.P.I) = 00 + 612$$

$$km\ (B.V.C) = 612 - \frac{270}{2} = 00 + 477$$

$$km\ (E.V.C) = 612 + \frac{270}{2} = 00 + 747$$

$$H\ (V.P.I) = 1587{,}8$$

$$H\ (B.V.C) = 1587{,}8 - (0{,}0247 \times \frac{270}{2}) = 1584{,}46$$

$$H\ (E.V.C) = 1587{,}8 + (0{,}0627 \times \frac{270}{2}) = 1596{,}26$$

$$e = \frac{A \cdot L}{800} = \frac{|6{,}27 - 2{,}47| \times 270}{800} = 1{,}28$$

$$n = \frac{L}{S} = \frac{270}{30} = 9$$

$$y = (\frac{x}{L})^2 \times fe = \frac{x^2 \times 4 \times 1{,}28}{270^2} = 7{,}02 \times 10^{-5}\ x^2$$

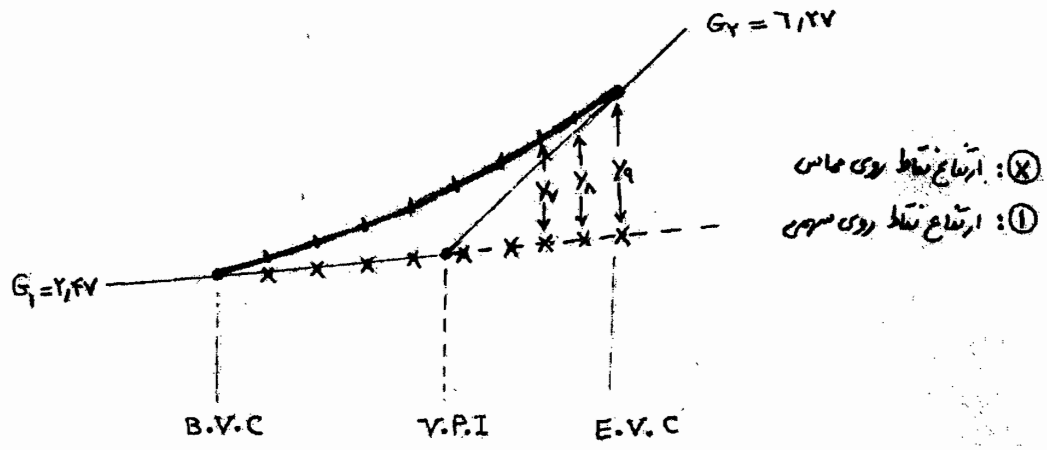
کیلومتر و ارتفاع هر ایستگاه مطابق جدول پیوست خواهد بود.

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

۶/۶

کیلومتر ایستگاه	فاصله ایستگاه از نقطه شروع قوس (x)	ارتفاع ایستگاه روی مماس G_1 $۱۵۸۴,۴۶ + G_1 x$	اختلاف ارتفاع مماس و منحنی $۰,۰۰۰۰۷۰۲\ x^2$	ارتفاع ایستگاه روی منحنی $H + y$
۰۰ + ۴۷۷	۰	۱۵۸۴,۴۶	۰	۱۵۸۴,۴۶
۰۰ + ۵۰۷	۳۰	۱۵۸۵,۲	۰,۰۶۳۱۸	۱۵۸۵,۲۶
۰۰ + ۵۳۷	۶۰	۱۵۸۵,۹۴	۰,۲۵۲۷	۱۵۸۶,۱۹
۰۰ + ۵۶۷	۹۰	۱۵۸۶,۶۸	۰,۵۶۸۶	۱۵۸۷,۲۴
۰۰ + ۵۹۷	۱۲۰	۱۵۸۷,۴۲	۱,۰۱۱	۱۵۸۸,۴۳
۰۰ + ۶۲۷	۱۵۰	۱۵۸۸,۱۶	۱,۵۷۹۵	۱۵۸۹,۷۳
۰۰ + ۶۵۷	۱۸۰	۱۵۸۸,۹	۲,۲۷۴۵	۱۵۹۱,۱۷
۰۰ + ۶۸۷	۲۱۰	۱۵۸۹,۶۴	۳,۰۹۵۸	۱۵۹۲,۷۳
۰۰ + ۷۱۷	۲۴۰	۱۵۹۰,۳۹	۴,۰۴۳	۱۵۹۴,۴۳
۰۰ + ۷۴۷	۲۷۰	۱۵۹۱,۱۳	۵,۱۱۷	۱۵۹۶,۲۵

جدول نتایج قوس قائم شماره (۲)



(1)

قوسهای اتصال (قوسهای پیوندی یا ترانزیت) Transition Curves

۱- کلیاتی در مورد قوسهای اتصال :

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

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

Alfa Copy -.0471-2221895-2230306

شیب عرضی نداشت، به آن شیب داده می شد.

اما براساس رابطه $e+f \geq \frac{V^2}{R.g}$ می توان نتیجه گرفت که میزان دور با کاهش شعاع قوس افزایش می یابد و در عبارت دیگر هرچه میزان انحنای قوس ($\frac{1}{R}$) بیشتر شود، میزان دور نیز بیشتر خواهد شد. با توجه به این خصوصیت، ایده استفاده از منحنی های با انحنای تدریجی (جهت اتصال تدریجی دور از صفر به e) به جای قسمتهای مستقیم بوجود گرفت. به این ترتیب منحنی هایی مورد استفاده قرار گرفت که انحنای آنها در نقطه تماس با راستای مستقیم برابر صفر (∞ ، $\frac{1}{\infty}$) بود و میزان انحنا در طول منحنی افزایش می یافت تا در شروع قوس با شعاع R به مقدار $\frac{1}{R}$ برسد. این منحنی ها منحنی با انحنای تدریجی و یا قوس انتقال نامیده می شوند.

۲- مزایای استفاده از قوسهای انتقال

الف- اتصال تدریجی دور بین قسمتهای مستقیم مسیر و ابتدا و انتهای قوس دایره ای و اجتناب از ایجاد یک

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

ج- ایجاد امکان بهتر برای راننده وسیله نقلیه جهت ورود از مسیر مستقیم به درون قوس دایره ای

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

(۳)

۳ـ حداقل طول لازم برای قوس اتصال

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

الف ـ اعمال تدریجی دور و در نتیجه اعمال تدریجی شتاب گریز از مرکز

$$l_s = \frac{V^3}{27.87\,R} \simeq \frac{V^3}{28\,R}$$

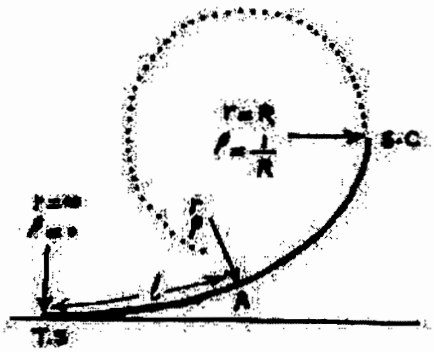
ب ـ اعمال تدریجی دور و در نتیجه اعمال تدریجی چرخش وسیله نقلیه و بدنه دقیق

$$l_s = 1.27\,a\,V.e \simeq 1.4\,V.e$$

ج ـ فراهم شدن امکان دید بهتر برای راننده وسیله نقلیه

$$l_s = \sqrt{12R}$$

۴ـ معادله عمومی قوس های اتصال



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

براساس توضیح فوق میزان انحنا در هر نقطه از قوس اتصال از رابطه بهرو قابل محاسبه است:

$$\rho = \frac{1}{r} = k.l$$

مقدار ثابت تناسب (K)، با نوشتن رابطه فوق برای نقطه معلوم S.C، قابل محاسبه است:

$$\frac{1}{R} = k.l_s \rightarrow k = \frac{1}{R.l_s}$$

با جایگزین کردن ثابت تناسب در رابطه اول خواهیم داشت:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{R.l_s}\,l \rightarrow l.r = l_s.R = Cte$$

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

(۴)

حاصلضرب $l_s \times R$ مقداری ثابت از جنس طول می باشد و بنابراین معادله عمومی قوس انتقال به صورت زیر خواهد بود:

$l \cdot r = CTE$ ∵ شعاع انحنا با طول قوس رابطه عکس دارد

بر اساس معادله عمومی فوق، قوسهای زمینی مختلف (مهم درجه ۳، مهم درجه ۲، لیمنیسکات، مالوید و کلوتئید) برای قوسهای انتقال ارائه شده است. در ادامه پیرامون قوسهای کلوتئید به عنوان یکی از پرکاربردترین انواع قوسهای انتقال، جزئیات بیشتری ارائه می شود.

۵- مشخصات کلی قوسهای کلوتئید

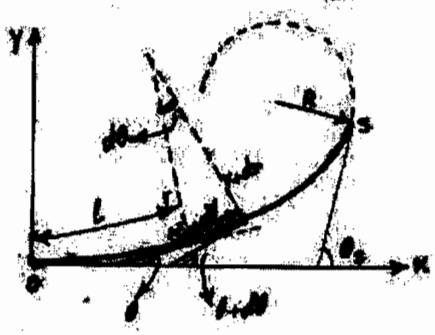
کلوتئید عبارت است از منحنی که هر نقطه آن دارای شعاع انحنای برابر آن نقطه است. معادل این واژه آلمانی در زبان فرانسه مارپیچ کرنو، در امریکا مارپیچ اولر و در انگلیس اسپیرال می باشد.

در کلوتئید مقدار ثابت را با A^2 نشان می دهند، از اینرو طبق معادله عمومی قوسهای انتقال برای کلوتئیدها خواهیم داشت:

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

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

مقدار A که از جنس طول می باشد، پارامتر کلوتئید نام دارد.



اگر مطابق شکل زاویه مماس بر منحنی در نقطه غیر مشخصی M را با محور x ها با بردار θ در نظر بگیریم و طول کمانی OM را بر روی منحنی انتخاب

(ث)

نمایم، خواهیم داشت:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

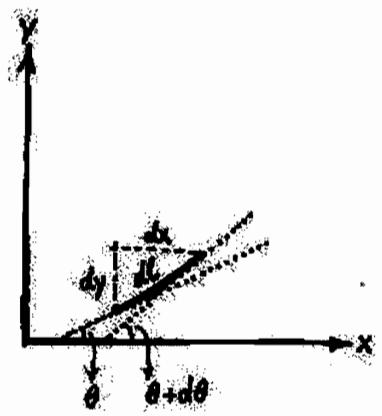
$$\theta = \left(\frac{l}{l_s}\right)^2 . \theta_s$$

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

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

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

$$(1),(2) \longrightarrow dl = \frac{A^2}{l}.d\theta \xrightarrow{(3)} dl = \frac{A^2}{A\sqrt{2\theta}} d\theta$$



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

(۹)

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

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

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

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

در این روابط θ بر حسب رادیان می باشد.

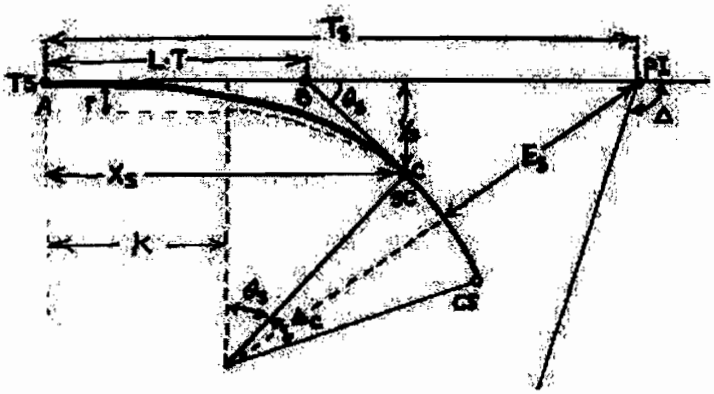
$$y = A\sqrt{2\theta}\left(\frac{\theta}{3} - \frac{\theta^3}{42} + \frac{\theta^5}{1320} - \cdots\right)$$

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

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

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

۶- اجزای قوس کلوتوئید



(۷)

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

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

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

PI : نقطه تقاطع تانژانتها :

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

l : طول کلوتئید تا نقطه معین N بر روی آن

θ_s : زاویه کلوتئید

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

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

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

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

E_s : فاصله مماس تا منحنی قوس ⟵ $E_s = (R_c+P)\sec\frac{\Delta}{2} - R_c = (R_c+P)(\sec\frac{\Delta}{2}-1) + P$

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

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

R_c : شعاع قوس دایره

X : طول هر نقطه بر روی کلوتئید

X_s : طول نقطه پایان کلوتئید (SC)

Y : عرض هر نقطه بر روی کلوتئید

Y_s : عرض نقطه پایان کلوتئید (SC)

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

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

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

فصل پنجم- معیارهای طرح هندسی راه‌ها و ابنیه

۵-۱ فاصله دید

۵-۱-۱ کلیات

تأمین فاصله دید کافی برای کنترل سرعت خودرو اجتناب از برخورد با موانع غیرمنتظره و تصادف هنگام سبقت‌گیری، از اهمیت بسیاری برخوردار است.

در طرح هندسی راه، از این بخش به منظورتأمین فاصله دید کافی در موقعیت‌های مختلف استفاده می‌شود. **درتمام طول مسیر، با سرعت طرح باید دید کافی، برای رانندگان تأمین و مناطق بدون فاصله دید کافی، با خط کشی و علایم، مشخص شود.**

۵-۱-۲ انواع فواصل دید

فواصل دید در راه به سه دسته زیر تقسیم می‌شود (برای فاصله دید در تقاطع‌ها به فصل هفتم مراجعه گردد).

الف -فاصله دید توقف

ب - فاصله دید سبقت

پ - فاصله دید انتخاب

۵-۱-۲-۱ فاصله دید توقف

فاصله دید توقف مسافتی است که خودرو در حال حرکت، پس از مشاهده مانع توسط راننده و عمل ترمز، در مسیر خود، طی می‌کند تا قبل از برخورد با مانع متوقف شود. این فاصله مجموع دو فاصله است: یکی مسافت طی‌شده در مدت مشاهده، تصمیم‌گیری و واکنش، ودیگری مسافت طی‌شده پس از ترمز.

الف - فاصله مشاهده، تصمیم‌گیری و واکنش، مسافتی است که خودرو در مدت مشاهده، تصمیم‌گیری و واکنش راننده برای ترمزکردن، طی می‌کند.

این مدت به عوامل متعددی مانند مهارت، هشیاری راننده، سرعت خودرو، نوع و رنگ و شرایط مانع، فاصله از مانع، نوع و شرایط راه و شرایط دید از لحاظ جوی بستگی دارد.

مقدار این زمان در طراحی، ۲/۵ ثانیه در نظر گرفته می‌شود.

ب - فاصله ترمز، مسافتی است که خودرو در سرعت مورد نظر پس از ترمز تا توقف طی می‌کند.

این فاصله از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$d = \frac{V^2}{254(F \pm G)}$$

که در این رابطه

d = فاصله ترمز بر حسب متر

V = سرعت خودرو بر حسب کیلومتر درساعت

F = ضریب اصطکاک در امتداد حرکت در روسازی خیس که در جدول ۵-۱ داده شده است.

G = قدرمطلق شیب راه بر حسب درصد که مقدار آن در سربالایی مثبت و در سرپایینی منفی خواهدبود.

برای محاسبه فاصله دید توقف با در نظرگرفتن مجموع دو فاصله ذکرشده از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$S = 0/695\,V + \frac{V^2}{254(F \pm G)}$$

Stopping Sight Distance

به طوری که

S، فاصله دید توقف در امتداد مورد نظر بر حسب متر و V و F و G مطابق بند ب می‌باشد. (قدرمطلق شیب برحسب ٪)

ضرایب اصطکاک، فواصل ترمز و حدود فاصله دید توقف برای سرعت‌های مختلف و در امتداد افقی (G = ۰) در جدول ۵-۱ منعکس شده است.

فاصله دید توقف باید مساوی از فاصله دید راننده (با ارتفاع ۱۰۷ سانتی‌متر از سطح راه) از مانع احتمالی واقع بر سطح راه (با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر) یا بیشتر از آن باشد.

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

جدول ۵-۱ ضریب اصطکاک و فاصله دید توقف

سرعت طرح (کیلومتردرساعت)	سرعت حرکت (کیلومتردرساعت)	ضریب اصطکاک	فاصله ترمز(متر)		فاصله دید توقف گردشده برای طراحی (متر)	
			حد بالا	حد پایین	حد بالا	حد پایین
۳۰	۳۰	۰/۴۰	۹	۹	۳۰	۳۰
۴۰	۴۰	۰/۳۸	۱۷	۱۷	۴۵	۴۵
۵۰	۴۷	۰/۳۵	۲۸	۲۵	۶۵	۶۰
۶۰	۵۵	۰/۳۳	۴۳	۳۶	۸۵	۷۵
۷۰	۶۳	۰/۳۱	۶۲	۵۰	۱۱۰	۹۵
۸۰	۷۰	۰/۳۰	۸۴	۶۴	۱۳۵	۱۱۰
۹۰	۷۷	۰/۳۰	۱۰۶	۷۸	۱۶۵	۱۳۰
۱۰۰	۸۵	۰/۲۹	۱۳۵	۹۸	۲۰۰	۱۶۰
۱۱۰	۹۱	۰/۲۸	۱۷۰	۱۱۶	۲۴۵	۱۸۰
۱۳۰	۱۱۰	۰/۲۶۸	۲۴۸	۱۷۸	۳۳۵	۲۵۰

۵-۱-۲-۲ فاصله دید توقف در خم‌های گنبدی

در خم‌های گنبدی، تعیین طول خم، به فاصله دید نیز بستگی دارد. طول خم در دو حالت زیر تعیین می‌شود.

الف - هنگامی که فاصله دید (S) از طول خم (L) کمتر است.

$$S < L$$

دراین حالت طول خم از رابطه کلی زیر به دست می‌آید.

$$L = \frac{A S^2}{404}$$

در معادله فوق

L = طول خم (متر)

S = فاصله دید (متر)

A = تفاضل جبری دو شیب خم (درصد)

ب - هنگامی که فاصله دید از طول خم بزرگتر است.

$$S > L$$

در آن صورت

$$L = 2S - \frac{404}{A}$$

مقادیر مختلف S، L و A در جدول‌های ۵-۲ و ۵-۳ مشخص است.

۵-۱-۲-۳ فاصله دید توقف در خم‌های کاسه‌ای

طول خم در خم‌های کاسه‌ای براساس فاصله دید توقف در شب به کمک نور چراغ‌های جلو تعیین می‌شود. در این حالت ارتفاع چراغ‌های جلو خودرو از سطح راه برابر ۶۰ سانتیمتر و پرتو نور چراغ با زاویه یک درجه بالای محور طولی خودرو در نظر گرفته می‌شود.

در این مورد دو حالت زیر وجود دارد.

الف- اگر $S < L$ باشد

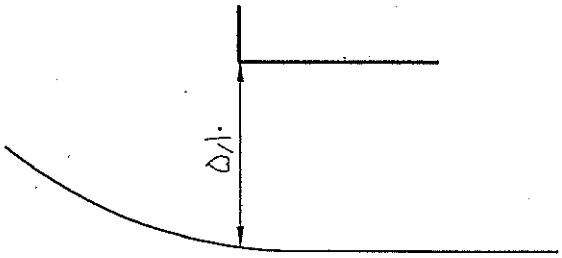
$$L = \frac{A S^2}{122+3/5S}$$

ب- اگر $S > L$ باشد

$$L = 2S - \frac{122+3/5S}{A}$$

که در روابط فوق، L، S و A به ترتیب طول خم، فاصله دید توقف و اختلاف جبری دو شیب است. مقادیر مختلف A، S و L در جدول‌های ۵-۴ و ۵-۵ مشخص شده‌است.

پ- اگر راه زیرگذر باشد (شکل ۵-۱).



شکل ۵-۱ زیرگذر در خم کاسه‌ای

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

$$y = -\frac{q-P}{2L}\left(\frac{L}{2}\right)^2 \qquad : e$$

$$e = y = \frac{P-q}{8}\cdot L$$

افت از مماس

$$e' = y_{x=\frac{L}{2}} - \frac{1}{2}\, y_{x=L} \Rightarrow e' = \frac{q-P}{2L}\left(\frac{L}{2}\right)^2 + P\left(\frac{L}{2}\right) - \frac{1}{2}\left[\frac{q-P}{2L}(L^2) + PL\right] \Rightarrow$$

$$e' = \frac{q-P}{8}\cdot L - \frac{q-P}{4}L = -\frac{q-P}{8}\cdot L = \frac{P-q}{8}\cdot L \Rightarrow$$

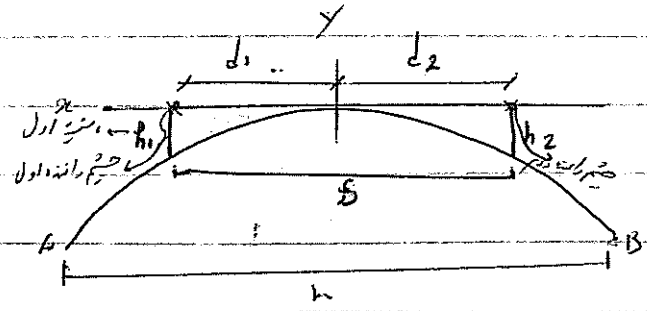
$$e = e'$$

برای تغییر موقعیت قرار است ابتدا قوس محدب را بررسی و تقسیم کرده.

بار چرخ متحرک روی پل باید از نقطه طراحی قوس آنچنان قوس ایجاد کند که دارای طول می‌نیمم باشد و اثر طول را نیز بررسی نمود. دو حالت اتفاق می‌افتد: (1) فاصله دید از طول قوس کمتر است $S < L$

(2) " " " " بیشتر " $S > L$

حالت (1) $S < L$



فاصله دید یعنی فاصله‌ای که بین h_1 و h_2 می‌تواند هدف را ببیند و مهم برخورد نکند. یعنی کمترین فاصله‌ای که در آن فاصله باید هدف را رویت کند.

$I_1 = m d_1^2$ معادله سهمی $\qquad d_1 = \sqrt{\frac{I_1}{m}}$

$I_2 = m d_2^2$ معادله سهمی $\qquad d_2 = \sqrt{\frac{I_2}{m}}$

(چون اینجا معادله به صورت $y = ax^2$ است معادله سهمی به شکل روبرو است)

$$S = d_1 + d_2 = \sqrt{\frac{I_1}{m}} + \sqrt{\frac{I_2}{m}} = \sqrt{\frac{I_1}{\frac{4e}{L^2}}} + \sqrt{\frac{I_2}{\frac{4e}{L^2}}} = \sqrt{\frac{I_1}{\frac{4}{L^2}*\frac{4}{8}\cdot L}} + \sqrt{\frac{I_2}{\frac{4}{L^2}*\frac{4}{8}\cdot L}} = \rightarrow$$

صفحه بعد

$$e = m\left(\frac{L}{2}\right)^2 = m\frac{L^2}{4} \Rightarrow m = \frac{4e}{L^2}$$

مجموع برآیند P_1 و P_2 در A

$$d = \frac{P-q}{8}\cdot L = \frac{A}{8}\cdot L$$

$$S = \sqrt{\frac{2Lh_1}{A}} + \sqrt{\frac{2Lh_2}{A}} = \sqrt{\frac{2L}{A}}\left(\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2}\right)$$

$$S^2 = \frac{2L}{A}\left(\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2}\right)^2 \Rightarrow \boxed{L_{min} = \frac{S^2 \cdot A}{2\left(\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2}\right)^2}}$$

طول قوس حداقل وقتی ظاهر میشه که در حداقل فاصله از نقاط حداکثر را بسنجیم
برای قوس کمتر از S $S < L$
که خطا و خطوی اتفاق نیفتد

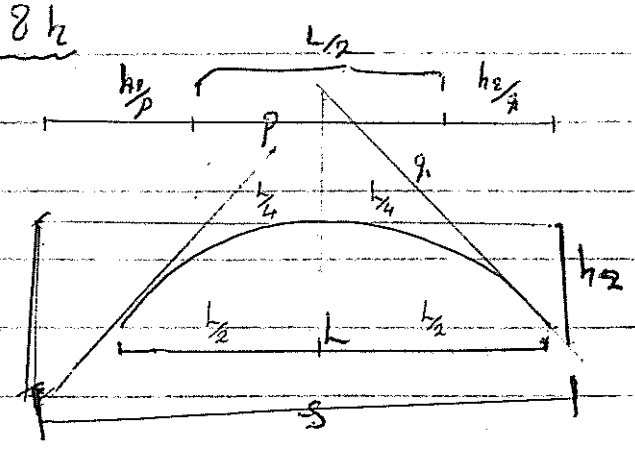
h_1 و h_2 از نقطه نظر اجرای فاصله چشم را نشان میدهد تا سطح زمین. اگر سواری باشد 0.5 تا متر و
کامیون باشد 1.83 متر

حال در فرمول بالا هر چه مخرج کوچک باشد یعنی اگر h_1 و h_2 هر دو سواری باشند L_{min} بیشتر خواهد بود. پس برای تعیین
حالت آن است که h_1 و h_2 عابر و کامیون باشند. پس:

$$L_{min} = \frac{S^2 \cdot A}{8h}$$

برای سواری و قوس کمتر از L

حالت 2) $S > L$



$$S = \frac{h_1}{p} + \frac{L}{2} + \frac{h_2}{q}$$

اگر فرض شود خط دید شیب برابر g داراباشد

$$S = \frac{h_1}{g} + \frac{L}{2} + \frac{h_2}{A-g}$$

S تابع g است
حداقل می‌شود
اگر مشتق برابر صفر باشد
با جدا کردن g و S
به دست می‌آید

$$S' = \frac{-h_1}{g^2} + 0 + \frac{h_2}{(A-g)^2} = 0 \Rightarrow \frac{h_1}{g^2} = \frac{h_2}{(A-g)^2} \Rightarrow \frac{\sqrt{h_1}}{g} = \frac{\sqrt{h_2}}{A-g} \Rightarrow \frac{\sqrt{h_1}}{\sqrt{h_2}} = \frac{g}{A-g}$$

$$\Rightarrow \frac{\sqrt{h_1}}{\sqrt{h_2}+\sqrt{h_1}} = \frac{g}{A-g+g} \Rightarrow \boxed{g = \frac{A\sqrt{h_1}}{\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2}}}$$

$$S = \frac{h_1}{\frac{A\sqrt{h_1}}{\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2}}} + \frac{L}{2} + \frac{h_2}{A - \frac{A\sqrt{h_1}}{\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2}}}$$

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

25

$$S = \frac{\sqrt{h_1}(\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2})}{A} + \frac{L}{2} + \frac{\sqrt{h_2}(\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2})}{A}$$

$$S = \frac{(\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2})}{A}(\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2}) + \frac{L}{2} \Rightarrow \frac{L}{2} = S - \frac{(\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2})^2}{A} \Rightarrow \boxed{L_{min} = 2S - \frac{2(\sqrt{h_1}+\sqrt{h_2})^2}{A}}$$

$$L_{min} = 2S - \frac{8h}{A}$$

بار سوار

ج

* حال از کجا بفهمیم از کدام فرمول باید برویم؟

قاعده کلی نیست. ما از یکی از این فرمولها بدون برای S و h مقدار است. در فرمول اول می‌گذاریم و یک L بدست می‌آید و از L بدست آمده اگر با شرط خودش سازگار است فرمول اول درست است و گرنه حال دوم است

و S و h سوار و ... مقدار است و L_{min} بدست می‌آید. حال آن نیز S و L را با SL و یا SDL

شرط بدست آمده درست بود مانند بار هم درست بود. و الا باید عوض شود.

مثال

شیب طاقی را $\beta = 16$ و $h = 1.05$ در نظر بگیرید و $S = 150$ و $h = 1.05$.

از قطع پرتوه

برای عبارت بالا پیدا کنید

$$L_{min} = \frac{S^2 \cdot A}{8 \cdot h} = \frac{150^2 \times (0.1)}{1.05 \times 8} = 268\ m$$

$S = 150$ و $L = 268$ است و SL است و فرمولش با چوابش تطابق دارد. پس از فرمول طول مماس نیم را بدست

حال آن در اول قرار دهید داریم:

$$L_{min} = 2S - \frac{8h}{A} = 2 \times 150 - \frac{8 \times 1.05}{0.1} = 300 - 84 = 216$$

برای L_{min} شرط از SL بوده است و 216 چون برقرار نیست فرمول را دوباره به کار می‌بریم.

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

مثال: مطلوب است تعیین جدول پیاده کردن قوس قائم محدب به طول 240 m که دو شیب +4% و -3.2% به هم متصل می‌کنند. فواصل برابر با 20 متر به x متر انتخاب شود.

$HS = 100.12$ ارتفاع روی

$h = 240\,m$

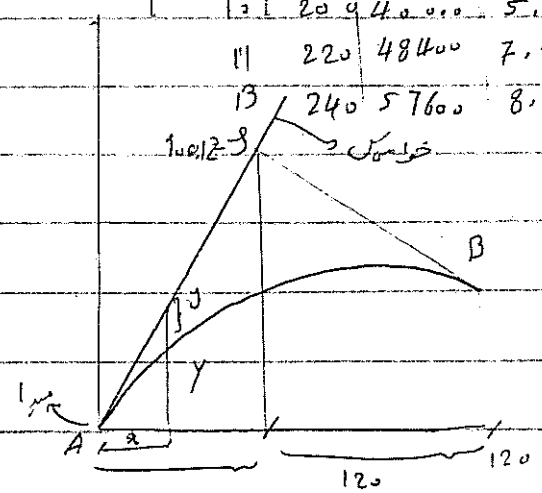
$P = 4\%$

$q = -3.2\%$

$20m/20m$

$y = \frac{1}{6666.67}x^2$

نقاط	X (فاصله افقی)	X^2	y (افت از مماس)	ارتفاع نقاط در خط مماس	ارتفاع نقاط در منحنی	a_1	a_2
A	0	0	0	95.32	95.32		12
1	20	400	0.059	96.12	96.061	0.741	0.12
2	40	1600	0.239	96.92	96.681	0.62	0.12
3	60	3600	0.539	97.72	97.181	0.5	0.12
4	80	6400	0.959	98.52	97.561	0.38	0.12
5	100	10000	1.499	99.32	97.821	0.26	0.12
6	120	14400	2.159	100.12	97.961	0.14	0.12
7	140	19600	2.939	100.92	97.981	0.02	0.12
8	160	25600	3.839	101.72	97.781	-0.1	0.12
9	180	32400	4.859	102.52	97.661	-0.22	0.12
10	200	40000	5.999	103.32	97.321	-0.34	0.12
11	220	48400	7.259	104.12	96.861	-0.46	0.12
13	240	57600	8.639	104.92	96.281	-0.58	0.12



$$y = \frac{q-P}{2P}x^2 + Px$$

$$y = \frac{-3.2-4}{480\,00}x^2 + 0.04x \Rightarrow$$

$$y = \frac{-1}{6666.67}x^2 + 0.04x$$

$$y = \frac{1}{6666.67}x^2$$ افت از مماس (سمت راست)

$h_3 = 100.12\,m \Rightarrow h_A = h_3 - (120 \times 4\%) \rightarrow H_A = 100.12 - 4.8 = 95.32$

چون فواصله‌ها برابر با 20 متر است $x = 20 \times 4\% = 0.8$ حداقل است که باید به اولین نقطه در خط مماس مرتب آن نمود

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

الف - در حالتی که $S > L$ باشد،

$$L = 2S - \frac{8C + 409}{A}$$

به طوری که

L = طول خم (متر)

S = فاصله دید توقف (متر)

A = اختلاف جبری دو شیب (درصد)

C = بلندی (ارتفاع آزاد) سازه فوقانی تا خم (متر)

ب = در حالتی که $S < L$ باشد،

$$L = \frac{S^2 A}{8(C - 0/6)}$$

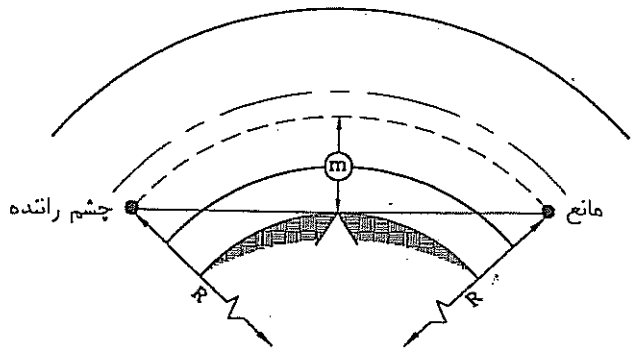
L، S، A و C مطابق تعاریف بند قبل است

۵-۱-۲-۴ فاصله دید توقف در پیچ‌ها

فاصله دید در پیچ‌ها ممکن است به وسیله موانع مختلف، مانند ابنیه فنی، ساختمان‌ها، درختان و عوارض طبیعی محدود شده باشد. **هنگام طراحی مسیر، برای فاصله دید کافی باید ضوابط این بند مورد استفاده قرارگیرد.** در این ارتباط، دو حالت، به شرح زیر، هنگام طراحی در نظر گرفته می‌شود:

الف - حالتی که $S < L$ باشد،

در این حالت فاصله دید کوچکتر از طول پیچ است و خط دید در ارتفاع ۰/۶۰ متری در امتداد محور میانی خط عبور کناری در نظر گرفته می‌شود (شکل ۵-۲).



شکل ۵-۲ فاصله دید در پیچ برای حالت $S < L$

مطابق شکل، فاصله مانع از محور طولی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$m = R\left(1 - \cos\frac{28/65}{R}S\right)$$

که در این رابطه

m = فاصله مانع تا محور طولی خط عبور داخلی (متر)

R = شعاع پیچ (متر)

S = فاصله دید توقف (متر)

مقدار زاویه بر حسب درجه است.

در این ارتباط می‌توان از جدول‌های ۵-۶ و ۵-۷ استفاده کرد.

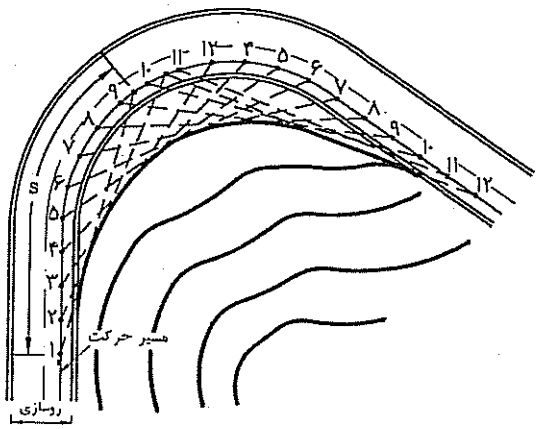
ب - حالتی که $S > L$ باشد.

در این حالت فاصله دید بزرگتر از طول پیچ است و خط دید در ارتفاع ۰/۶۰ متری در امتداد محور میانی خط عبور کناری در نظر گرفته شده است و برای محاسبه m از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$m = \frac{L(2S - L)}{8R}$$

که پارامترهای L، S، m و R مطابق تعاریف بند پیشین است.

برای پاکسازی محوطه شامل درختان یا زمین طبیعی می‌توان با درنظرگرفتن فاصله دید مطابق شکل ۵-۳ عمل کرد.



شکل ۵-۳ نحوه تعیین میزان پاکسازی محوطه درپیچ

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

درپیچ مرکب، هنگامی که شعاع قوس بزرگتر، ۴۵۰ متر یا کمترباشد، شعاع قوس کوچکتر باید حداقل دوسوم شعاع قوس بزرگتر در نظر گرفته شود. طول کل قوس در پیچ مرکب نباید کمتر از ۱۵۰ متر باشد.

۵-۳-۵ پیچ معکوس

در پیچ معکوس به دلیل تغییر جهت پیچ، به منظور تأمین بربلندی قطعه مستقیمی بین دو پیچ تعبیه می‌شود تا تعدیلی بین خارج شدن از یک بربلندی و داخل شدن به بربلندی دیگر صورت گیرد.

حداقل مطلق و مطلوب طول مستقیمی که باید در فاصله بین دو پیچ معکوس قرار داده شود به شرح زیر توصیه می‌شود.

$$L_1 = ۰/۰۹ (l_1 + l_2) V$$

$$L_2 = ۰/۱۵ (l_1 + l_2) V$$

در این رابطه

L_1 = حداقل مطلق طول بخش مستقیم، متر

L_2 = حداقل مطلوب طول بخش مستقیم، متر

l_1 = بربلندی پیچ اول، درصد

l_2 = بربلندی پیچ دوم، درصد

V = سرعت طرح، کیلومتر درساعت

اگر از قوس‌های اتصال تدریجی (کلوتوئید) استفاده شود، ایجاد بخش مستقیم ضرورتی ندارد.

۵-۳-۶ پیچ تخت پشت

پیچ تخت پشت، از دو منحنی هم جهت متشکل است که به وسیله قطعه مستقیمی که بین آنها تعبیه شده به هم متصل شده‌اند. طول قطعه مستقیم، حداقل برابر اعداد داده شده در جدول ۵-۲۰، شعاع پیچ حداقل از اعداد داده شده در جدول ۵-۲۱ درنظر گرفته می‌شود.

۵-۳-۷ قوس اتصال تدریجی (کلوتوئید)

به منظور تأمین ایمنی کافی در طرح راه بهتراست برای اتصال دو پیچ با اختلاف شعاع نسبتاً زیاد و یا اتصال یک مسیر مستقیم به یک پیچ دایره‌ای با شعاع کوچکتر از مقادیر داده شده در جدول ۵-۲۱، از قوس اتصال تدریجی (کلوتوئید یا مشابه آن) استفاده شود.

جدول ۵-۲۰ حداقل طول بخش مستقیم واقع بین دوپیچ هم جهت (تخت پشت) راه اصلی

سرعت طرح (کیلومتر درساعت)	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰
حداقل طول مستقیم بین دوپیچ هم جهت (متر)	۳۰۰	۴۵۰	۵۰۰	۶۰۰

جدول ۵-۲۱ حداقل شعاع پیچ بدون کلوتوئید

سرعت طرح (کیلومتردرساعت)	۴۰	۶۰	۸۰	۱۰۰
حداقل شعاع پیچ (متر)	۲۰۰	۵۵۰	۱۰۰۰	۱۷۰۰

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

استفاده از قوس اتصال تدریجی برای راه‌ها به ندرت ضرورت پیدا می‌کند ولی قوس اتصال تدریجی دارای مزایای زیر است.

الف) اتصال پیچ دایره‌ای شکل به مسیرهای مستقیم می‌تواند با تغییر تدریجی شعاع انحنا انجام گیرد.

ب) اعمال بربلندی از مقدار حداقل تا مقدار حداکثر آن می‌تواند در طول قوس اتصال تدریجی انجام گیرد.

پ) اعمال اضافه عرض روسازی در پیچ، می‌تواند در طول قوس اتصال تدریجی انجام گیرد.

ت) به کاربردن قوس اتصال تدریجی سبب می‌شود که از وجود شکستگی در نقطه شروع و ختم پیچ دایره‌ای شکل اجتناب شود و در نتیجه، راه، ظاهری خوش منظر داشته باشد.

معمولاً برای قوس اتصال تدریجی از منحنی کلوتوئید استفاده می‌شود که حداقل طول آن از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$L = \frac{۰/۰۳۶\ V^۳}{R}$$

در این رابطه

L = حداقل طول منحنی کلوتوئید (متر)

V = سرعت طرح (کیلومتر درساعت)

R = شعاع پیچ (متر)

گاهی رابطه بالا با در نظر گرفتن بربلندی که مقدار طول کمتری به دست می‌دهد، اصلاح می‌شود. روش عملی‌تر برای تعیین طول قوس اتصال تدریجی، به کاربردن طولی است که برای اعمال بربلندی لازم است.

۵-۳-۸ پل در پیچ

اجرای بربلندی و همچنین اجرای پیچ در روی پل همیشه مشکل‌آفرین است. آب جمع شده در سطح پل زودتر از نقاط دیگر راه یخ می‌زند و رانندگان که انتظار یخ‌زدگی سطح راه را ندارند، ممکن است هنگام عبور از سطح پل دچار اشتباه شوند و وسیله‌نقلیه آنها بلغزد و موجب تصادف شود. بنابراین بهتراست تا آن جا که ممکن است از قراردادن پل‌بزرگ در پیچ و بویژه در محل تغییر بربلندی اجتناب کرد.

۵-۳-۹ تعریض در پیچ

گاهی لازم است عرض روسازی در پیچ افزایش داده شود. دلیل‌های این افزایش عرض عبارت‌است از:

- خودرو در پیچ، عرض بیشتری اشغال می‌کند.
- معمولاً راننده در پیچ به سختی می‌تواند از محور خطی که در آن حرکت می‌کند، پیروی کند.

مقدار اضافه عرض روسازی در پیچ از رابطه‌های زیر به دست می‌آید (شکل ۵-۸).

$$W = W_c - W_n \qquad (۱)$$

$$W_c = ۲\ (U + C) + F_A + Z \qquad (۲)$$

در این رابطه‌ها

W = اضافه عرض روسازی در پیچ برای راه‌های دوخطه (متر)

W_c = عرض روسازی راه دوخطه در پیچ (متر)

W_n = عرض روسازی راه دوخطه در مسیر مستقیم (متر)

U = عرضی که توسط وسیله‌نقلیه (خارج به خارج چرخ‌ها) در قوس اشغال می‌شود (متر)

C = فاصله آزاد جانبی وسیله‌نقلیه، برای سواره‌روها با عرض ۶، ۶/۵ و ۷/۳ متر این مقدار به ترتیب برابر با ۰/۶، ۰/۷ و ۰/۹ متر فرض می‌شود.

F_A = عرض پیش‌آمدگی جلو وسیله‌نقلیه (متر)

Z = عرض اضافی مجاز به دلیل دشواری رانندگی در پیچ (متر)

مقادیر U و F_A و Z از رابطه‌های زیر به دست می‌آید.

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

$$U = U_0 + R - \sqrt{R^2 - L^2} \qquad (1)$$

$$F_A = \sqrt{R^2 + A(2L + A)} - R \qquad (2)$$

$$Z = \frac{V}{10\sqrt{R}} \qquad (3)$$

در این رابطه‌ها

U_0 = عرضی که توسط وسیله‌نقلیه (عرض خارجی چرخ‌ها) در مسیر مستقیم اشغال می‌شود (متر).

R = شعاع محور راه دوخطه در پیچ (متر)

L = فاصله بین محورهای جلو و عقب

A = فاصله بین پیش‌آمدگی جلو وسیله‌نقلیه و محور جلو

V = سرعت طرح (کیلومتر درساعت)

برای تعیین مقدار اضافه عرض روسازی در پیچ، لازم است که وسیله نقلیه مناسبی که نماینده نوع وسایل‌نقلیه در راه مورد نظر است انتخاب شود و مبنای طرح قرارگیرد.

برای پیچ‌های با شعاع کمتر از ۱۷۰ متر، میزان اضافه عرض، حداقل ۰/۶ متر منظور می‌شود و برای روسازی راه‌های دوخطه به عرض ۷/۳متر، در پیچ‌هایی با شعاع انحنای ۱۷۰ متر یا بیشتر، اضافه عرض درنظر گرفته نمی‌شود.

اضافه عرض روسازی راه‌های دوخطه یک‌طرفه، مانند راه‌های دوخطه دوطرفه درنظرگرفته می‌شود و این مقدار برای راه‌های چهارخطه جدانشده دو برابر مقدار نظیر برای راه‌های دوخطه دوطرفه خواهد بود.

در تقاطع، که شعاع انحنای پیچ معمولاً خیلی کمتر است، مقدار اضافه عرض با معیار متفاوتی تعیین می‌شود.

نحوه اعمال اضافه عرض روسازی در پیچ براصول زیر استوار است.

الف) در پیچ ساده (بدون قوس اتصال تدریجی)، تعریض فقط در امتداد لبه داخلی سواره‌رو انجام می‌شود. در پیچ با قوس اتصال تدریجی، تعریض در امتداد لبه داخلی سواره‌رو انجام می‌شود، یا نیمی از تعریض در امتداد لبه داخلی و نیمی دیگر در امتداد لبه خارجی انجام می‌گیرد.

ب) تعریض پیچ عموماً به طور تدریجی انجام می‌گیرد بهتر است تعریض در طول تأمین بربلندی انجام شود. معمولاً تعریض در طولی برابر با ۳۰ تا ۶۰ متر صورت می‌گیرد.

پ) بهتر است تعریض به جای خط مستقیم به صورت یک قوس ملایم و هماهنگ انجام شود.

ت) در پیچ ساده ممکن است $\frac{1}{2}$ تا $\frac{2}{3}$ طول تأمین اضافه عرض، در امتداد مستقیم و مابقی در طول پیچ انجام شود؛ این روش مشابه روشی است که برای تأمین بربلندی به کار می‌رود. در پیچ با اتصال تدریجی، تأمین اضافه عرض در طول قوس اتصال تدریجی انجام می‌شود.

ث) محدوده مربوط به تعریض پیچ با جزییات کامل در نقشه‌های اجرایی مشخص می‌شود.

۵-۳-۱۰ ضوابط کلی امتداد افقی مسیر (پلان)

علاوه بر عوامل کنترل کننده‌ای که در بندهای قبل در مورد امتداد افقی مسیر راه ذکرشد، عوامل کلی دیگری نیز درنظرگرفته می‌شود. در زیر رهنمودهای کلی امتداد افقی مسیر راه آمده‌است.

الف) امتداد افقی مسیر، بهتراست تا حد امکان با پستی و بلندی و عوارض طبیعی زمین هماهنگ باشد. مسیری که به طور یکنواخت و هماهنگ با خط‌های تراز طرح می‌شود از مسیری که دارای بخش‌های مستقیم طولانی است و لیکن یکباره به سربالایی و سرپایینی می‌رسد، برتر است. در مورد راه دوخطه دوطرفه، بهتراست در تأمین فاصله دید سبقت، در بیشترین بخش‌های آن، اقدام لازم صورت پذیرد.

Alfa Copy - 0471-2221895-2230306

ب) تا حد امکان سعی در به کاربردن پیچ با شعاع زیاد (درجه انحنای کم) شود و از به کاربردن پیچ با شعاع حداقل، جز در شرایط استثنایی، اجتناب شود.

پ) هماهنگی امتداد افقی مسیر در بخش‌های مختلف راه حفظ شود و از به کاربردن پیچ تند در انتهای یک امتداد مستقیم طولانی یا تغییر ناگهانی از یک پیچ با شعاع بزرگ به یک پیچ با شعاع کوچک اجتناب شود.

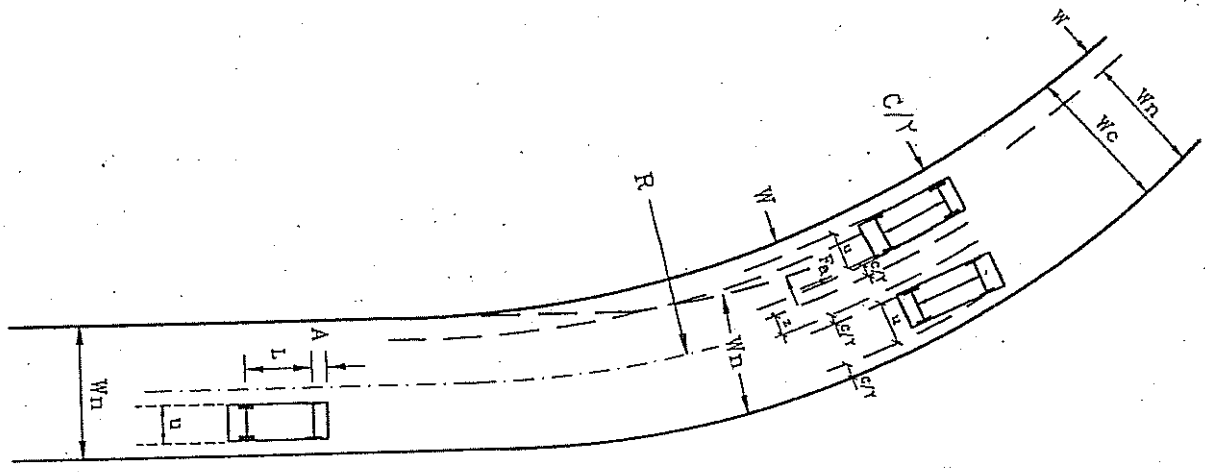
ت) بهتراست طول پیچ، به اندازه کافی زیاد باشد تا از به وجودآمدن پیچ ظاهراً تند پرهیز شود.

ث) در خاکریزهای بلند و طولانی بهتراست پیچ با شعاع زیاد انتخاب شود.

ج) پیچ مرکب با شعاع‌های بسیار متفاوت همان اشکالی را به وجود می‌آورد که درمورد اتصال یک مسیر مستقیم به یک پیچ با شعاع کم پدید می‌آید. **در پیچ مرکب، نباید شعاع پیچ بزرگتر از یک و نیم برابر شعاع پیچ کوچکتر بیشترباشد.** در مواردی که تأمین شرایط بالا امکان‌پذیر نباشد، مشکل به کمک یک قوس اتصال تدریجی یا یک پیچ واسطه دیگر رفع می‌شود.

چ) از تغییر جهت ناگهانی در امتداد افقی مسیر باید احتراز شود. به این منظور، باید بین دو پیچ، خط مستقیم کافی یا قوس اتصال تدریجی (کلوتوئید) به کار رود.

ح) پلان راه باید با نیمرخ طولی آن هماهنگ باشد.



شکل ۵-۸ تعریض روسازی در پیچ