

خزوه راهسازی دکتر آذکیش

استاد دانشگاه علم و صنعت تهران

جمع آوری و بازطراحی: مهندس حمید عظیمی حسینی

به همت دانشجویان دانشگاه سیستان و بلوچستان



راهسازی

منابع و مراجع درس راهسازی :

- (۱) طرح هندسی راه - دکتر حمید بهبهانی - مرکز نشر دانشگاهی
- (۲) طرح هندسی راه - مهندس گرشاسب نریمانی - انتشارات دانشگاه تهران
- (۳) طرح هندسی راه - دکتر محمد رضا زریونی - کتاب فروشی دهخدا
- (۴) راهسازی - دکتر سعید منجم - نشر انگیزه
- (۵) راهسازی - دکتر مهیار عربانی - انتشارات دانشگاه گیلان
- (۶) راهسازی - طرح هندسی و اجرای آن - مهندس منوچهر احتشامی - انتشارات دانشگاه آزاد تهران
- (۷) اصولی برای طرح هندسی راه های برون شهری - دکتر جلیل شاهی - انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران
- (۸) طرح هندسی راه - نوشته رابین تی آندروود - ترجمه دکتر جلیل شاهی و مهندس مجید اقبالی - نشر دانشگاهی
- (۹) آئین نامه طرح هندسی راه ها - نشریه شماره ۱۶۱

AASHTO

American Association Of State Highways & Transportation Officials.

A Policy on Geometric Design Of Highways & Streets.

این مجموعه به همت دانشجویان ورودی ۸۴ و ۸۵ دانشگاه سیستان و بلوچستان تایپ و توسط مهندس حمید عظیمی جمع آوری و اشکال بازطراحی و منتشر گردیده است.

فصل اول

کلیات

۱-۱- تعریف راه :

راه نخستین و طبیعی ترین وسیله ارتباط انسان هاست و همچنانکه گردش خون در بدن آدمی بدون وجود شریانها امکان پذیر نیست گردش چرخهای اجتماعی نیز بدون وجود راه غیر ممکن است.

از دیدگاه اقتصادی راه وسیله ای برای انتقال تولیدات صنعتی و کشاورزی به محل مصرف می باشد.

از دیدگاه نظامی راه وسیله ای برای جابجایی نیرو و ادوات جنگ می باشد.

در اصطلاح سیاست و کشورداری راه وسیله ای برای تأمین وحدت ملی و اقتدار دولت مرکزی می باشد.

در اصطلاح مهندسی راه وسیله ای برای جابجایی کالا و مسافر بین دو مکان مختلف از طریق هوا؛ دریا و زمین تعریف می شود. بر این اساس تمامی مسیر های هوایی، دریایی و زمینی به عنوان راه تلقی می شوند و علاوه بر آن وسایل ارتباط جمعی مانند رادیو، تلویزیون، تلگراف و تلفن می تواند به عنوان راه تلقی شود.

مهندسی عمران راه های جابجایی کالا و مسافر را به انواع زیر تقسیم بندی می کند:

راه های زمینی - راه های هوایی - راه های دریایی.

راه های زمینی: عبارتست از زمینی باریک و طولانی که طبق مشخصات فنی معین بین محل های مختلف ساخته می شود و وسایل نقلیه می توانند انواع کالا و مسافر را به صورت ایمن، سریع، راحت، همراه با صرفه اقتصادی و سازگاری زیست محیطی روی آن جابجا نمایند.

نکته: راههای زمینی به دو بخش راه شوسه (جاده) و راه آهن تفکیک می شود. درس راهسازی پیرامون طراحی و ساخت جاده های برون شهری صحبت می کند.

۱-۲- طبقه بندی راه :

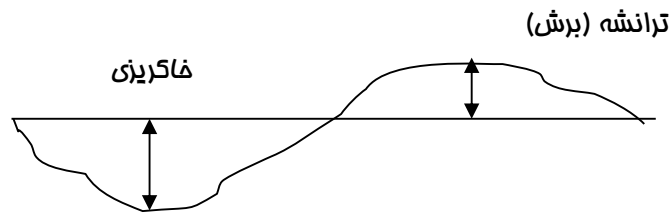
عبارتست از: راه هموار - راه تپه ماهور - راه کوهستانی - راه با مانع

تفکیک راه های برون شهری به لحاظ وضعیت جغرافیایی و توپوگرافی محل:

بر این اساس راه های کشور در آئین نامه طرح هندسی راه ها به صورت زیر طبقه بندی می شود:

الف) راه هموار:

راهی راه هموار است که محدوده عبور راه دشت است. (حداکثر شیب طولی زمین ۳٪ است یعنی اگر اختلاف ارتفاع بین دو نقطه را تقسیم بر فاصله آن بکنیم ۳٪ است.) ارتفاع خاکریز های ساختمان راه حداکثر ۲/۵ متر می باشد و برش ها کم عمق می باشد.



(ب) راه تپه ماهور:

زمین محدوده عبور راه دارای پستی و بلندی های ملایم و دائم می باشد. در واقع شیب طولی زمین بین ۳ تا ۷٪ می باشد. ارتفاع خاکریز های ساختمان راه از ۲/۵ متر بیشتر می باشد و عمق برش ها و ترانشه ها معمولاً کمتر از ۹ متر می باشد.

(ج) راه کوهستانی:

از دامنه کوه، تپه های بلند و دژهای عمیق عبور می کند. شیب طبیعی زمین بیش از ۷٪ است. به لحاظ ساختمانی دارای خاکریزهای بلند، برش های عمیق و پل های بزرگ می باشد.

(د) راه هموار، تپه ماهور یا کوهستانی با مانع:

اگر در محدوده عبور راه موانعی از قبیل مرداب، شالیزار و جنگل وجود داشته باشد بسته به مورد راه از طبقه هموار با مانع، تپه ماهوری با مانع و یا کوهستانی با مانع خواهد بود.

۳-۱- درجه بندی راه :

درجه بندی راه عبارتست از تفکیک راه ها به لحاظ درجه اهمیت راه مورد نظر در شبکه سراسری راه های کشور. بر این اساس آئین نامه طرح هندسی راه های کشور را به شرح زیر درجه بندی نموده است:

آزادراه (Freeway):

راهی است با روسازی آسفالتی یا بتنی باری عبور وسایل نقلیه موتوری که دارای مشخصات زیر می باشد:

- حداقل دو خط عبور در هر جهت رفت و برگشت داشته باشد (حداقل چهار باند داشته باشد)

- جهت ها و مسیر های رفت و برگشت از هم مجزا باشد

- فاقد تقاطع های همسطح و دسترسی به حاشیه می باشد. دارای تقاطع های غیر همسطح و شیپراهه های

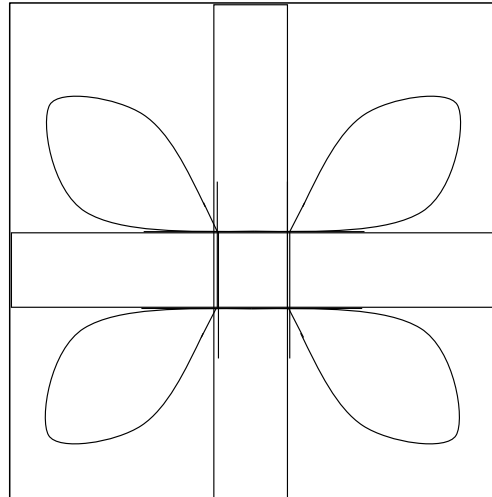
(Ramp) ورودی و خروجی می باشد

- ممنوعیت عبور عابر پیاده - دوچرخه و سایر وسایل نقلیه غیر موتوری در آن وجود دارد. (پل عابر پیاده

ندارد).

- برای سرعت های بالا طراحی می شود و اصطلاحاً سطح سرویس آنها بالاست. (سطح سرویس آزاد راه ها A یا B است)

- در مواردی هم ممنوعیت تمام یا بخشی از وسایل نقلیه تجاری در آن وجود دارد. (علت اینکه از روسازی آسفالتی نسبت به بتنی استفاده می کنیم این است که در هر متر مکعب بتن حداقل ۱۵٪ سیمان وجود دارد ولی در پر قید ترین آسفالت ۵٪ سیمان وجود دارد)



بزرگراه (Expressing):

مانند آزادراه ولی با امکانات محدود برای دسترسی به حاشیه و برخی از قسمت ها دارای تقاطعات همسطح چراغ دار می باشد.

در آزادراه و بزرگراه حداکثر شیب طولی مجاز ($i_{\max} = 4\%$) می باشد. سطح سرویس آزادراه بالاتر است. عدم دسترسی به حاشیه دارد. عدم وجود تقاطعات هم سطح (تفاوت آزادراه و بزرگراه)

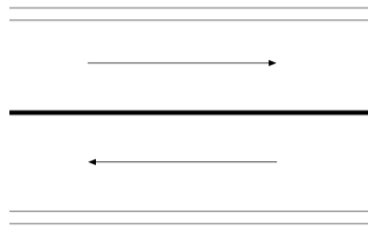
راه اصلی (Main Road):

راهی است با روسازی آسفالتی یا بتنی که برای عبور وسایل نقلیه موتوری و به ندرت وسایل نقلیه غیر موتوری و پیاده در نظر گرفته می شود. جزئی از شبکه سراسری و ملی راه هاست و مراکز استان ها را بهم متصل می کند. اکثراً بصورت دوخطه با دوباند عبور رفت و برگشت احداث می شود، اما در مواردی ممکن است بصورت ۴ خطه و حتی ۶ خطه پیوسته و یا مجزا طراحی و ساخته شود.

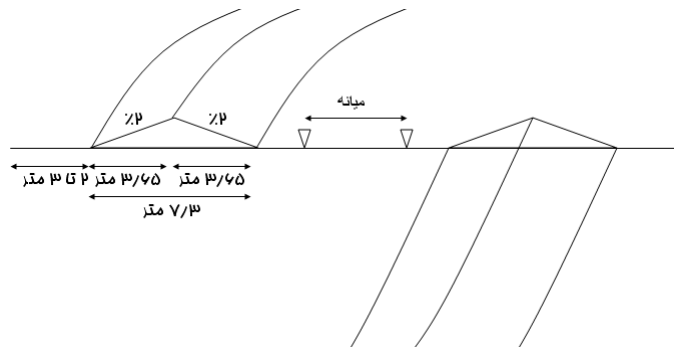
معمولاً دارای تقاطعات همسطح می باشد. ($i_{\max}=6\%$)

آیین نامه طرح هندسی راههای اصلی را به انواع زیر تفکیک می نماید:

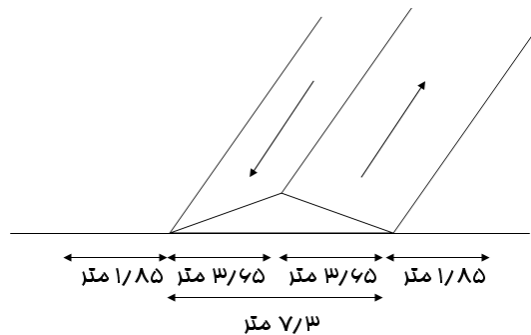
جزوه راهسازی دکتر آذرکیش



- (۱) راه اصلی جدا شده: عبارتست از راهی با مسیرهای رفت و برگشت که بوسیله میانه ای ثابت یا متغیر از هم جدا شده است و حداقل دارای دو خط عبور در هر جهت می باشد (به عبارت دیگر ۴ باند است).



- (۲) راه اصلی درجه I: را دو طرفه با حداقل سواره رو آسفالتی به عرض ۷/۳ متر (هر خط ۳/۶۵ متر) و شانه ی هر طرف به عرض ۱/۸۵ متر.



- (۳) راه اصلی درجه II: راه دو طرفه و آسفالتی با عرض کل ۷ متر و شانه ی خاکی یک متر از هر طرف می باشد. عرض شانه ی استاندارد ۱/۸۵ متر و عرض راه ۳/۶۵ متر است.
- راه فرعی: راهی است با روسازی آسفالتی یا شنی که ارتباط بین مراکز جمعیتی داخل یک منطقه یا استان را ایجاد می کند و عموماً بصورت دوخطه دو طرفه است.

آیین نامه طرح هندسی راه های فرعی را به انواع زیر تفکیک می کند:

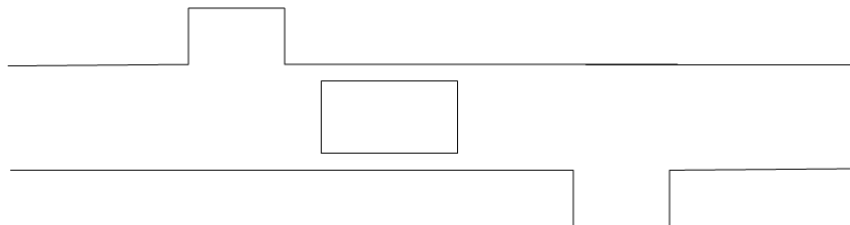
- (۱) راه فرعی درجه I: راهی است با دوخط عبوری روسازی شده آسفالتی به عرض ۶/۵ متر و شانه ی هر طرف به عرض ۰/۷۵ متر که در مجموع عرض راه با شانه خاکی می شود ۸ متر. (حد اکثر شیب مجاز طولی ۰/۰۹٪)

(۲) راه فرعی درجه II: راهی است با دو خط عبوری روسازی شده آسفالتی یا شنی به عرض ۵/۵ متر و شانه ی هر طرف به عرض ۰/۷۵ متر و کل عرض این راه ۷ متر است. (حداکثر شیب مجاز طولی ۰/۹٪)

راه روستایی: نقش این راه تأمین ارتباط کاملاً محلی و محدود بین روستاها و یا اتصال روستاها به راه های فرعی و در مواردی به راه های اصلی می باشد. مشخصات آن کم بودن ترافیک و پایین بودن هزینه های اجرا می باشد.

آیین نامه طرح هندسی راه های روستایی را به انواع زیر تفکیک می نماید:

- (۱) راه روستایی درجه I: دارای دوخط عبوری با سواره روی روسازی شده به عرض ۵/۵ متر و شانه به عرض ۰/۷۵ متر می باشد. (تفاوت راه فرعی و راه روستایی در این است که در راه روستایی سطح سرویس پایین تر است) و (حداکثر شیب مجاز ۰/۱۳٪)
- (۲) راه روستایی درجه II: دارای دو خط عبور با سواره روی روسازی شده به عرض ۵ متر و شانه در هر طرف به عرض ۰/۵ متر می باشد. روسازی می تواند آسفالتی یا شنی باشد.
- (۳) راه روستایی درجه III: دارای سواره روی شنی به عرض ۴ متر می باشد و به منظور تأمین پارکینگ، تأمین عبور متقابل یا سبقت محل های مناسبی حداکثر به فاصله ی ۱ کیلومتر از یکدیگر در هر طرف راه بصورت متناوب احداث می شود.



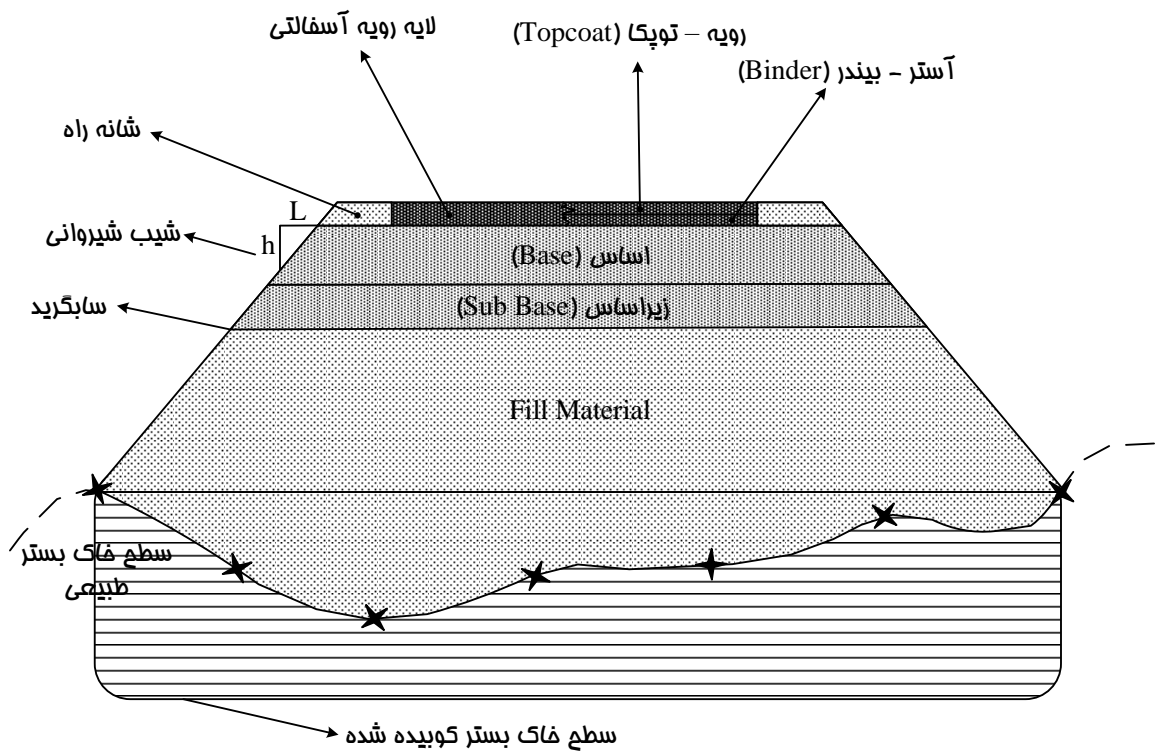
خیابان ها و راه های شهری به لحاظ طرح هندسی و نوع بهره برداری از تقسیم بندی خاص پیروی می کنند که در درس مهندسی ترافیک مورد بحث قرار می گیرند.

۴-۱- ساختمان راه:

اجزای بدنه راه از دو قسمت تشکیل می شوند:

زیرسازی را و طرح هندسی آن: مجموعه عملیاتی است که جهت رسیدن به بستر روسازی (سطح ساب گرید Subgrade) انجام می گیرد.

جزوه راهسازی دکتر آذرکیش



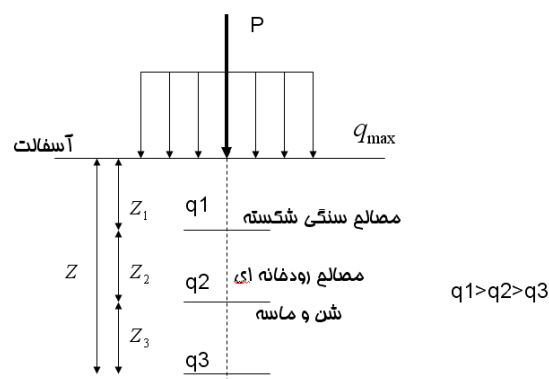
روسازی راه: مجموعه عملیاتی است که از روی سطح Subgrade تا سطح تماس چرخ ها انجام می گیرد.

(مباحث این بخش در درس روسازی ارائه می شود)

تئوری بوسینس:

تنش خاک با افزایش ارتفاع کاهش می یابد. لایه های روسازی را بالای سطح Subgrade تا q_{max} تنش کلی

ما بوسیله مصالح سنگی بهتر، کاهش یابد.



فصل دوم

مطالعات مسیر

۱-۲- تعریف :

مسیر خطی است بر روی زمین که بین دو نقطه مشخص به نام مبدا و مقصد انتخاب می شود و در امتداد آن یک راه طراحی و احداث می گردد.

۲-۲- عوامل تعیین کننده مسیر راه :

۱. دسترسی : یک راه علاوه بر اتصال دو نقطه مبدا و مقصد باید دسترسی مراکز جمعیتی بین مبدا و مقصد را نیز تامین نماید. این تصمیم که مسیر از کدام مراکز جمعیتی واقع بین مبدا 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 راه های 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

۲. 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 حد اقل 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.

۳. 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 :

۴. حد اکثر شیب طولی

✓ حد اکثر طول هر شیب

✓ حداقل شعاع قوس های افقی

- ✓ حد اقل طول قوس قائم
- ✓ حد اقل فواصل دید
- ✓ مقاطع عرضی (عرض راه - عرض شانه - شیب عرضی و ...)
- ۵. 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 از این مناطق عبور نکند)
- ✓ شناخت رانش، لغزش و نشست لایه هایی که راه بر روی آن قرار می گیرد به منظور ثبات و استحکام راه
- ✓ شناخت آبهای زیر زمینی خصوصا در محل و احداث تونل ها و تعیین ارتفاع خاکریز ها
- ۶. مقاومت زمین : این پارامتر چه از نظر قرار گیری خاکریز ها بر روی زمین و چه از نظر احداث پل ها و دیوار ها عامل موثری در انتخاب مسیر است. مخارج احداث راه بر روی زمین های سست و باتلاقی بسیار زیاد است و حتی الامکان باید سعی گردد از این مناطق عبور داده نشود.
- ۷. وجود مصالح مناسب : دوری یا نزدیکی مسیر راه از معادن مصالح در مخارج راه و در نتیجه در انتخاب مسیر آن تاثیر گذار است.
- ۸. نگهداری راه : انتخاب مسیر راه در چگونگی و مخارج نگهداری راه تاثیر می گذارد. لذا رعایت تدابیر زیر الزامی است :
- ✓ در مناطق کوهستانی باید نقاط برف گیر و بهمن گیر را شناخت و سعی نمود که راه از چنین مناطقی نگذرد.
- ✓ در مناطق کویری باید جهت باد را شناسایی کرد و مسیر را طوری قرار داد که برف و ماسه های روان در روی آن انباشته نشود.
- ✓ در صورت اجبار عبور از نقاط برفگیر و ماسه گیر باید راه را بر روی خاکریز قرار داد و نه در خاکبرداری تا به صورت گودال جمع کننده برف و ماسه های روان در نیاید.
- ✓ در مناطق سردسیر مسیر راه در طرفی از دره قرار گیرد که آفتاب گیر نباشد.
- ۹. زیبایی راه :
- ✓ هماهنگ سازی قوس های 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.

۱۰. حفظ محیط طبیعی :

- ✓ عدم تخریب جنگل ها
- ✓ حفاظت از منابع طبیعی
- ✓ رعایت رژیم طبیعی رودخانه ها و آب های سطحی
- ✓ عدم آلودگی هوای پارک ها و گردشگاه های عمومی
- ✓ عدم آلودگی صوتی مناطق مسکونی، بیمارستان ها ، پارک ها و گردشگاه ها

۱۱. حفظ محیط انسانی

- ✓ بر هم نزدن وضع اجتماعی و زندگی مردم
 - ✓ عدم عبور از وسط آبادیها و روستا ها
 - ✓ عدم عبور مسیر از مراکز فرهنگی، تاریخی، باستانی، مذهبی و قبرستان ها
 - ✓ عدم عبور مسیر از زمین های کشاورزی، باغات و...
۱۲. مخارج مسیر : در انتخاب مسیر راه باید مخارج طراحی، ساخت، نگهداری و بهره برداری آن را لحاظ نمود.

۳-۲- مراحل مختلف تعیین مسیر راه :

به طور کلی می توان مراحل تعیین مسیر راه را در ۶ مرحله دسته بندی نمود :

- (۱) کشف مسیر های کلی ممکن بین مبدا و مقصد
 - (۲) شناسایی مسیر های کلی ممکن
 - (۳) انتخاب مسیر کلی
 - (۴) برداشت مقدماتی مسیر
 - (۵) تعیین محور راه روی نقشه توپوگرافی و تهیه نقشه های مقدماتی
 - (۶) پیاده کردن محور راه روی زمین و تهیه نقشه های قطعی و اجرایی
- (مراحل ۱، ۲، ۳، مراحل فاز مقدماتی، مراحل ۴، ۵ مطالعات فاز اول یا اصولی، و مرحله ۶ مطالعات فاز دوم یا قطعی نیز نامیده می شوند)

در ادامه هر یک از این مراحل با جزئیات بیشتر تشریح می گردد.

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

✓ تامین دسترسی بین نقاط مبدا 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 راه های موجود، طرح های عمرانی اجرا شده در درست اجرا، زمین شناسی و بررسی اثرات زلزله، ترافیک منطقه.

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

ج) مطالعه و تعیین نقاط اجباری :

✓ نقاط اجباری اقتصادی : مراکز جمعیتی شهر ها، معادن، کارخانجات

✓ نقاط اجباری فنی : کمترین عرض برای عبور از رودخانه، عبور از گردنه های با ارتفاع کم، دوری از قله، زمین های کشاورزی، زمین های سست و باتلاقی.

با تعیین نقاط اجباری امتداد کلی مسیر (کریدور هایی به عرض یک کیلومتر) 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.

۲. شناسایی مسیر های کلی : هر کدام از مسیر های 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 عکس های هوایی، با انجام بازدید های محلی نتایج استخراج شده از عکس ها و نقشه ها اصلاح می گردد و نقاط مبهم عکس ها، عوارض منطقه (چین خوردگی ها و گسل ها) و پاره ای دیگر از خصوصیات از نزدیک مورد بررسی قرار می گیرد.

اقدامات و اطلاعات مورد نیاز در این مرحله عبارتند از :

الف) بازدید محلی و کپه گذاری یا علامت گذاری ثابت (بالیزاژ) مسیر در فواصل حداکثر ۷۰۰ متر در دشت

۵۰۰ متر در تپه ماهور و ۳۰۰ متر در کوهستان

ب) رسم پلان مسیر های قابل اجرا و انعکاس نقاط ثابت (بالیزاژ) بر روی نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱/۲۰۰۰۰

یا ۱/۵۰۰۰۰

ج) تهیه پروفیل طولی هر مسیر با مقیاس ۱/۲۰۰۰۰ برای طول و ۱/۲۰۰ برای ارتفاع

د) تهیه نقشه تیپ مقطع عرضی با مقیاس ۱/۵۰

ه) برآورد تقریبی طول و تعداد ابنیه فنی مورد نیاز در طول مسیر (پل ها، آبرو ها دیوار های حائل، تونل ها و

بهمن گیر ها)

و) مطالعات سطحی زمین شناسی، عمق آبهای زیر زمینی، حوضه آبرگیر مسیلهها و رودخانه ها

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

ح) بررسی و مطالعه ترافیک منطقه و احتمال رد شدن آن در آینده

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

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

ک) برآورد تقریبی مخارج ساختمان هر مسیر

۳. انتخاب مسیر کلی : انتخاب مسیر یک مساله ارزیابی است. یعنی برای انتخاب بهترین مسیر باید مزایا و معایب

گزینه های (واریانت ها یا آلترناتیو ها) مختلف را بررسی نمود. برای این منظور ابتدا یک روش مقایسه انتخاب

می شود. برای مثال می توان ویژگی های مسیر را بارم بندی نمود و به هر مسیر نمره ای داد. مسیری که

بیشترین بارم را بدست آورد، مسیر بهینه خواهد بود.

بارم گذاری بر پایه دو دیدگاه انجام می گیرد :

✓ دیدگاه اقتصادی

✓ دیدگاه فنی و مهندسی

الف) دیدگاه اقتصادی : این دیدگاه در برگیرنده توجیه اقتصادی پروژه می باشد. برای این توجیه از روش های

اقتصاد مهندسی استفاده می شود. میزان سرمایه اولیه برای ساخت هر واریانت و میزان هزینه سالانه برای بهره

برداری 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 زخمی ها و صدمه به محیط زیست می باشد. لذا اگر صرفاً از دیدگاه اقتصادی به مسئله بنگریم، ملاک گزینش به صورت زیر خواهد بود:

$$T_r = \frac{C_2 C_1}{P_1 P_2} \quad \left[\text{بر حسب سال} \right]$$

T_r : مدت زمان بازگشت سرمایه

C_2 : سرمایه اولیه برای ساخت مسیر واریانت (۲)

C_1 : سرمایه اولیه برای ساخت مسیر واریانت (۱)

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

P_2 : مخارج سالانه نگهداری و بهره برداری مسیر واریانت (۲)

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

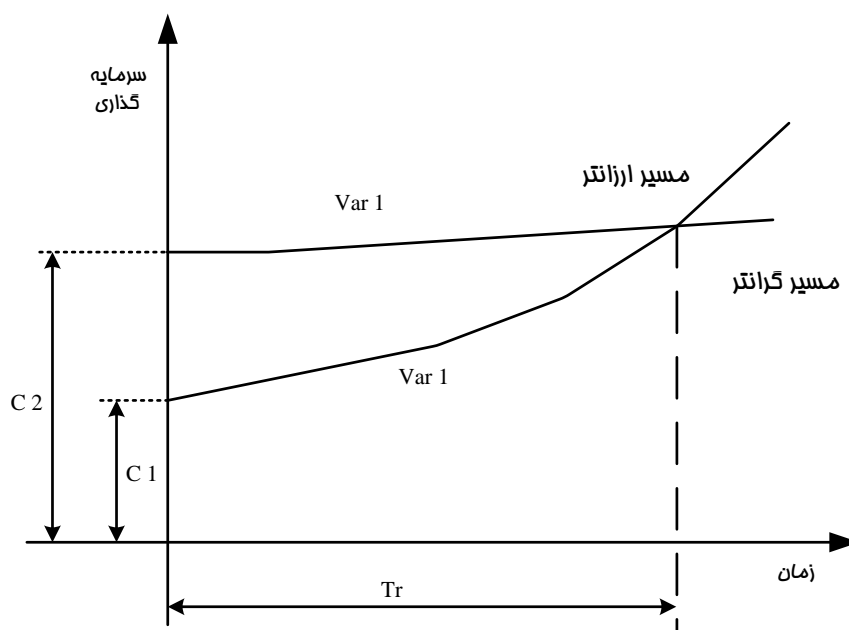
حال اگر زمان بهره برداری یا مدت عمر راه (T_n) را بدانیم سه گزینه فرا روی ما قرار دارد:

$T_n < T_r \rightarrow$ واریانت ارزانتر بهتر است

$T_n > T_r \rightarrow$ واریانت گرانتر بهتر است

$T_n < T_r \rightarrow$ 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 بارم گذاری از دیدگاه فنی و مهندسی مسیر، شاخصهای زیر مورد بررسی قرار می گیرد:

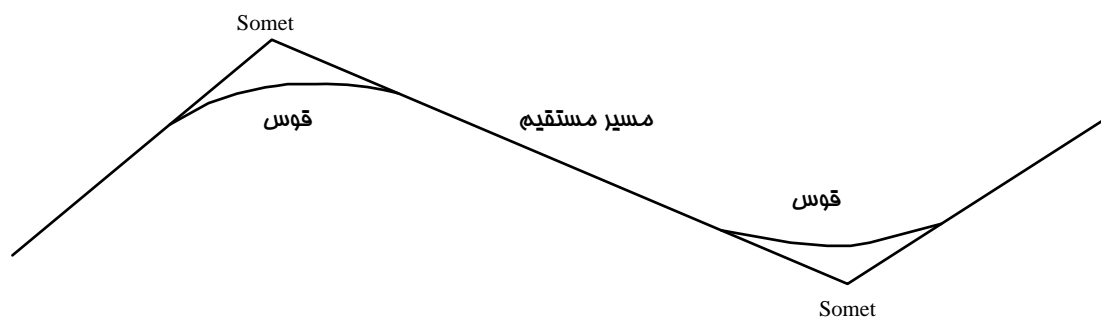
- ۱- شاخص طول کلی هر مسیر : مسیری که طول کمتری دارد، بهتر است و نمره بیشتری می گیرد.
 - ۲- شاخص شیبهای طولی هر مسیر : حداکثر شیب مجاز طرح ۷ درصد می باشد. شیبهای هر مسیر از روی پروفیل طولی آن به دست می آید و با شیب مجاز مقایسه می شود.
 - شیبهای کمتر یا بیشتر از شیب مجاز بارم بیشتر یا کمتر را کسب می کنند.
 - ۳- 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.
 - ۴- شاخص هموار بودن مسیر: نسبت طول امتدادهای مستقیم هر مسیر به طول کل آن ملاک سنجش است و نسبت بزرگتر، نمره بیشتر دارد.
 - ۵- 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 واریانتهی که عملیات خاکی بیشتری دارد، نمره منفی کسب می نماید.
 - ۶- شاخص طولی از مسیر که سرعت طراحی در آن قابل اجرا می باشد، طول بیشتر، نمره بیشتر دارد.
- نکته : فرمولهای بارم گذاری برای هر یک از موارد فوق، استاندارد خاصی ندارند و با توجه به پروژه مهندسی طراح فرمولهای بارم گذاری در خور آن مسیر را به دست می آورد.
۴. برداشت مقدماتی مسیر : پس از انتخاب مسیر کلی این مسیر باید به صورت مقدماتی برداشت گردد. در این مرحله بر حسب 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 بناها، باغ ها و مزارع و نظایر آنها به صورت دقیق مشخص می گردد.
- روشهای متداول برای برداشت مقدماتی مسیر عبارتند از :
- الف) نقشه برداری زمینی (تاکنومتری)
 - ب) نقشه برداری هوایی (فتوگرامتری)
 - ج) استفاده از سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای (GPS)
۵. تعیین محور راه روی نقشه توپوگرافی و تهیه نقشه مقدماتی :

در این مرحله عملیات صحرایی نداریم و طی عملیاتی معروف به مسیر گذاری در دفتر، محور راه بر روی نقشه تعیین می گردد برای این منظور مهندس مسیر گذار 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.

۶. پیاده کردن مسیر بر روی زمین و تهیه نقشه های قطعی و اجرایی در این مسیر کاملاً بر روی زمین مشخص شده و هر آن چه 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 سومه ها بر روی زمین



✓ پیاده کردن قسمتهای مستقیم

✓ پیاده کردن قوس ها

ب) برداشت رقوم ارتفاعی محور طولی و مقاطع عرضی

ج) تهیه پروفیل طولی و عرضی

د) محاسبه حجم عملیات خاکی و تعیین محل های قرضه، محل های دپو، و فاصله متوسط حمل (منحنی بروکتر)

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

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

ز) تدوین برنامه زمان بندی اجرایی راه

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

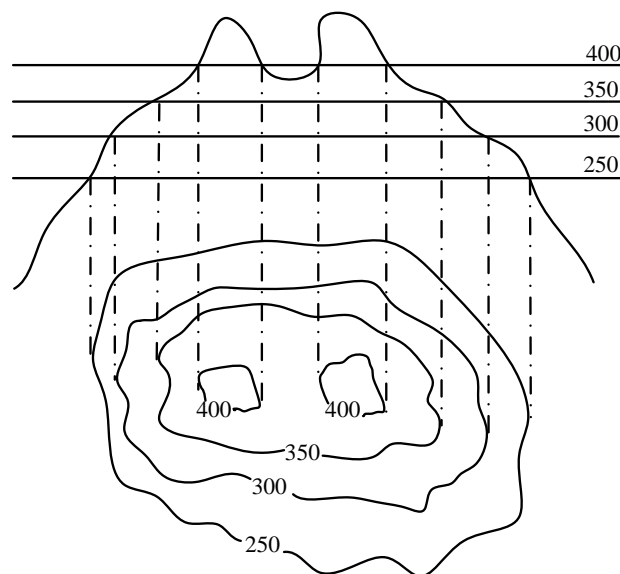
(ط) تدوین دفترچه پیمان و شرایط عمومی پیمان طبق آخرین مصوبات سازمان برنامه و بودجه
 (ی) دفترچه مشخصات فنی عمومی (نشریه ۱۰۱) و مشخصات فنی خصوصی پیمانکه در صورت نیاز توسط مشاور
 تهیه می شود.

(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
- ✓ پروفیل های عرضی راه به مقیاس ۱:۲۰۰
- ✓ نقشه اجرایی مربوط به پلهای بزرگ و تونل های، نقشه های خط کشی علائم، تجهیزات ایمنی و جانبی از قبیل
 نرده ها، پارکینگ ها، 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

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

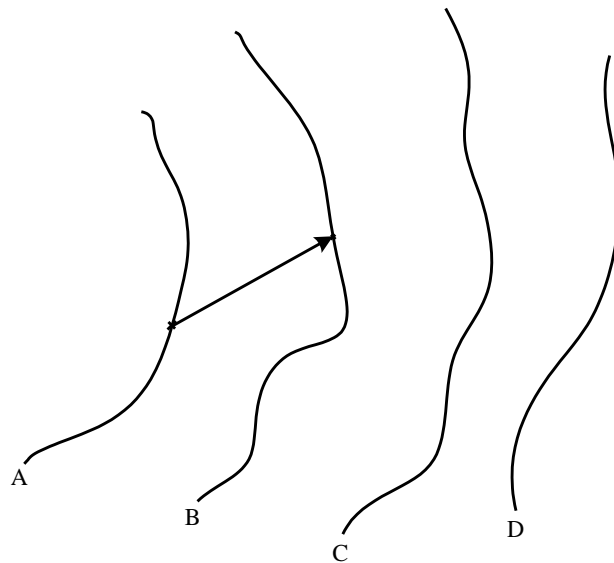
در راه سازی پستی و بلندی سطح زمین را به وسیله نقشه های خطوط تراز مشخص می نمایند. خطوط تراز عبارت است از فعل مشترک سطح زمین طبیعی با تعدادی صفحه متساوی الفاصله به موازات افق قرار دارند. فواصل این صفحات افقی در یک نقشه یکسان است و بستگی به مقیاس نقشه، عوارض موجود و نوع منطقه (دشت، تپه ماهور یا کوهستان)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



نکته : معمولاً اختلاف ارتفاع دو خط تراز مجاور در نقش 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 و یا ۲۰ متر می باشد.

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

- ۱- تهیه نقشه های خطوط تراز با مقیاس ۱:۲۰۰۰ و یا بزرگتر : این نقش 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.
- ۲- تعیین فاصله مبنا با خط صفر بر حسب شیب طولی مجاز مسیر : یکی از داده های اصلی پروژه های راهسازی، حداکثر شیب مجاز نیمرخ طولی پروژه تجاوز ننماید، ابتدا باید طول مبنا یا خط صفر را تعیین نمود برای این منظور به روش زیر عمل می شود :



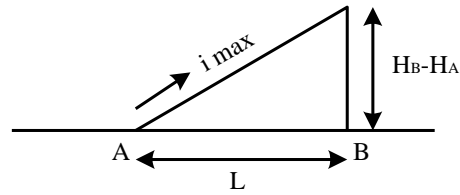
✓ مقیاس نقشه برابر α ارتفاع خط تراز A در شکل (۱) برابر h_A

✓ ارتفاع خط تراز B در شکل (۱) برابر h_B

✓ حداکثر شیب طولی مجاز پروژه برابر i_{max}

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 تبدیلی به مقیاس شده فاصله افقی L (بر روی نقشه) برابر است با :

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

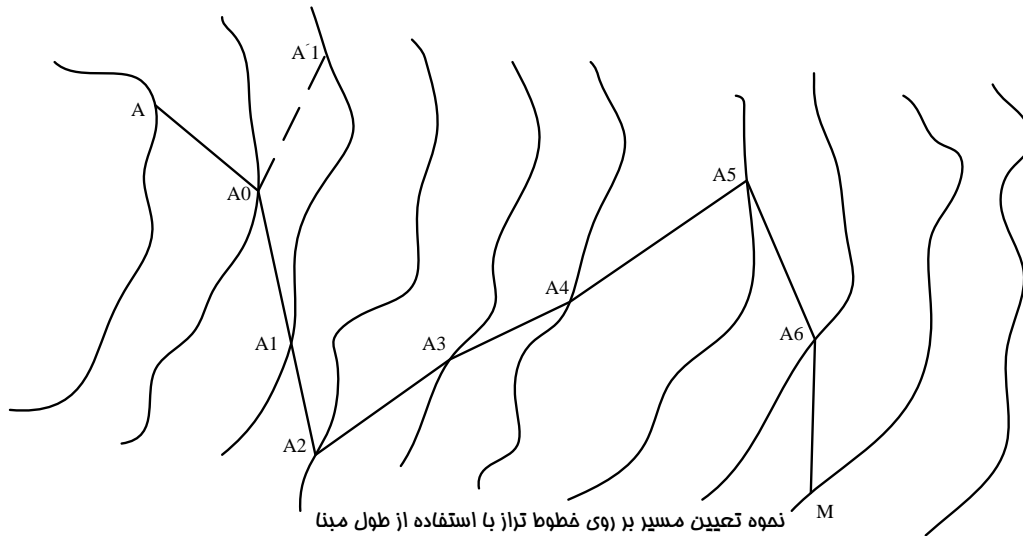
بنابراین اگر در روی نقشه خطوط تراز با مقیاس α دو نقطه واقع بر منحنی های A و B به گونه ای تعیین شوند که فاصله آنها برابر L باشد. قطعه خط AB بر روی نقشه نمایشگر خطی خواهد بود که شیب آن در روی زمین طبیعی برابر L_{\max} می باشد این خط طول مبنا یا خط صفر نام دارد.

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 قوس دیگری می زنیم 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 :

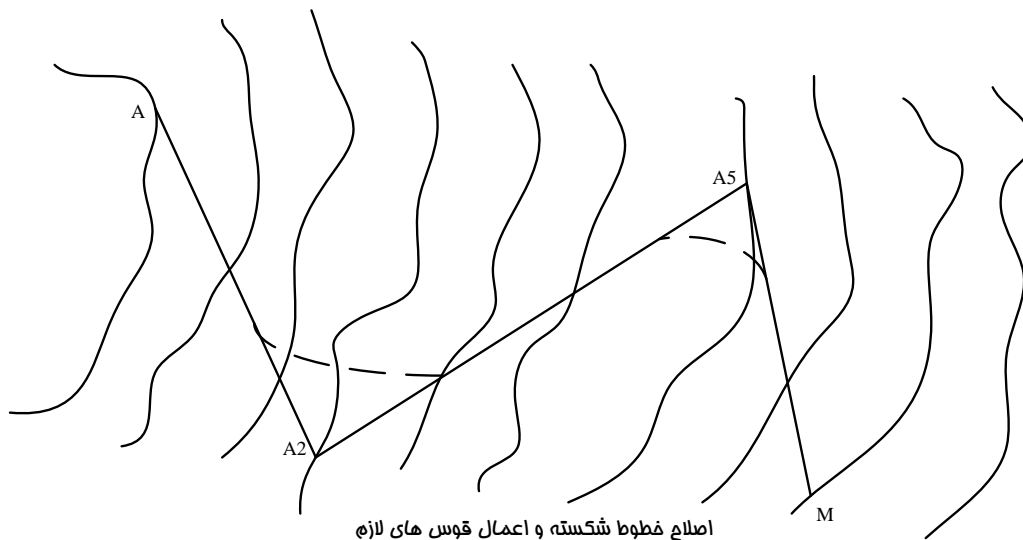
الف) قوس به شعاع L خط تراز بعدی را در دو نقطه قطع کند در این صورت باید نقطه ای را انتخاب نمود که قسمت عمومی مسیر از A به طرف M مراعات گردد. در شکل پس از رسم قوس به مرکز A_0 دو نقطه تقاطع A_1 و A'_1 بر روی منحنی بعدی به دست آمده است که با توجه به سمت عمومی مسیر نقطه A_1 انتخاب شده است.

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

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



۴) رسم راستاهای مسی یا تانژانتها : پس از تعیین خطوط صفر 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 مناسب تری می باشد.



لازم به ذکر است که خط زمین مسیر اصلاح شده در پاره ای از نقاط دارای شیبی بیشتر از حداکثر شیب مجاز پروژه بوده که می بایست با گذراندن خط پروژه مناسب و انجام عملیات خاک برداری یا خاک ریزی 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 قوس پذیر باشند. (دستیابی به حداقل شعاع قوسی 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 منحنی‌های اتصال در پلان مسیر اقدام می‌شود. (پیاده کردن قوسهای افقی در فصلهای بعد تشریح می‌گردد).

فصل سوم

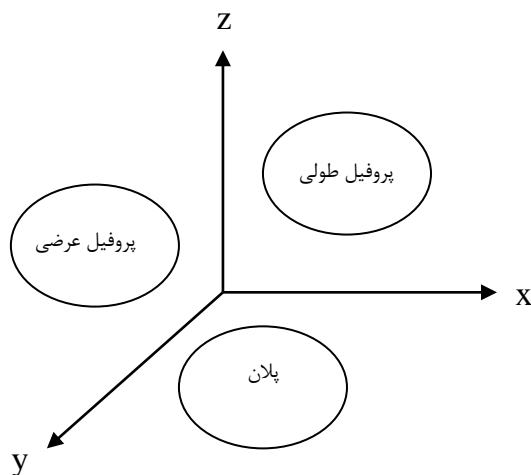
نقشه های راه

۳-۱- مقدمه :

جزئیات یک راه با سه نقشه اصلی مشخص می‌گردد:

- ✓ 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 می‌گیریم. 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) می‌باشد.



لازم به یادآوری است که علاوه بر سه نقشه اصلی سایر نقشه‌های مورد نیاز شامل نقشه‌های ابنیه فنی راه (پل، تونل، زه‌کشی، آبروها، کانال، جداول، نرده‌های راه و پل، دیوارهای حائل و ضامن، روسازی و...) و دفترچه محاسبات می‌باشد.

۳-۲- پلان راه :

عبارت است از تصویر امتداد مسیر بر روی سطح افق. این تصویر شامل خطوط مستقیم و قوسهای افقی می‌باشد.

- ✓ قوسهای افقی شامل انواع زیر می‌باشد :

۱- قوسهای دایره‌ای : ساده، مرکب، معکوس، سرپانتین

۲- قوسهای اتصال : کلوتئید، سهمی درجه ۳، لونی سکات، مالوئید

۳- قوسهای ترکیبی : (ترکیب قوس اتصال و قوس دایره‌ای)

- ✓ پیرامون جزئیات قوسهای افقی در فصلهای بعد صحبت می‌شود.

پلان راه بر روی نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰ ترسیم می‌شود. برای این منظور اقدامات زیر انجام می‌گیرد :

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

(۲) رسم محور راه بر روی نقشه توپوگرافی با رعایت ضوابط طرح هندسی

(۳) 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 سومه یا رأس قوس (PI) ← Point of Intersection

- نقطه پایان قوس (PT) ← Point of Tangency

د- نقاط تماس در قوسهای متوالی و معکوس

ه- محل تلاقی سایر راهها با مسیر مورد نظر

(۴) 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 خاکبرداریها)

که به صورت دو خط ضخیم در طرفین محور راه رسم می گردند.

ب- محل، نوع و تعداد دهانه پلها :

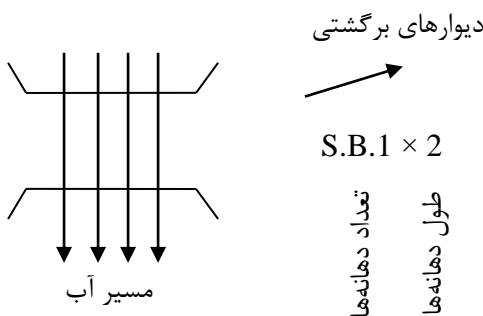
S.B = Slab Bridge = پل دالی هم سطح

S.C = Slab Culvert = پل دالی زیر خاکی

A.B. = Arch Bridge = پل طاقی یا قوسی

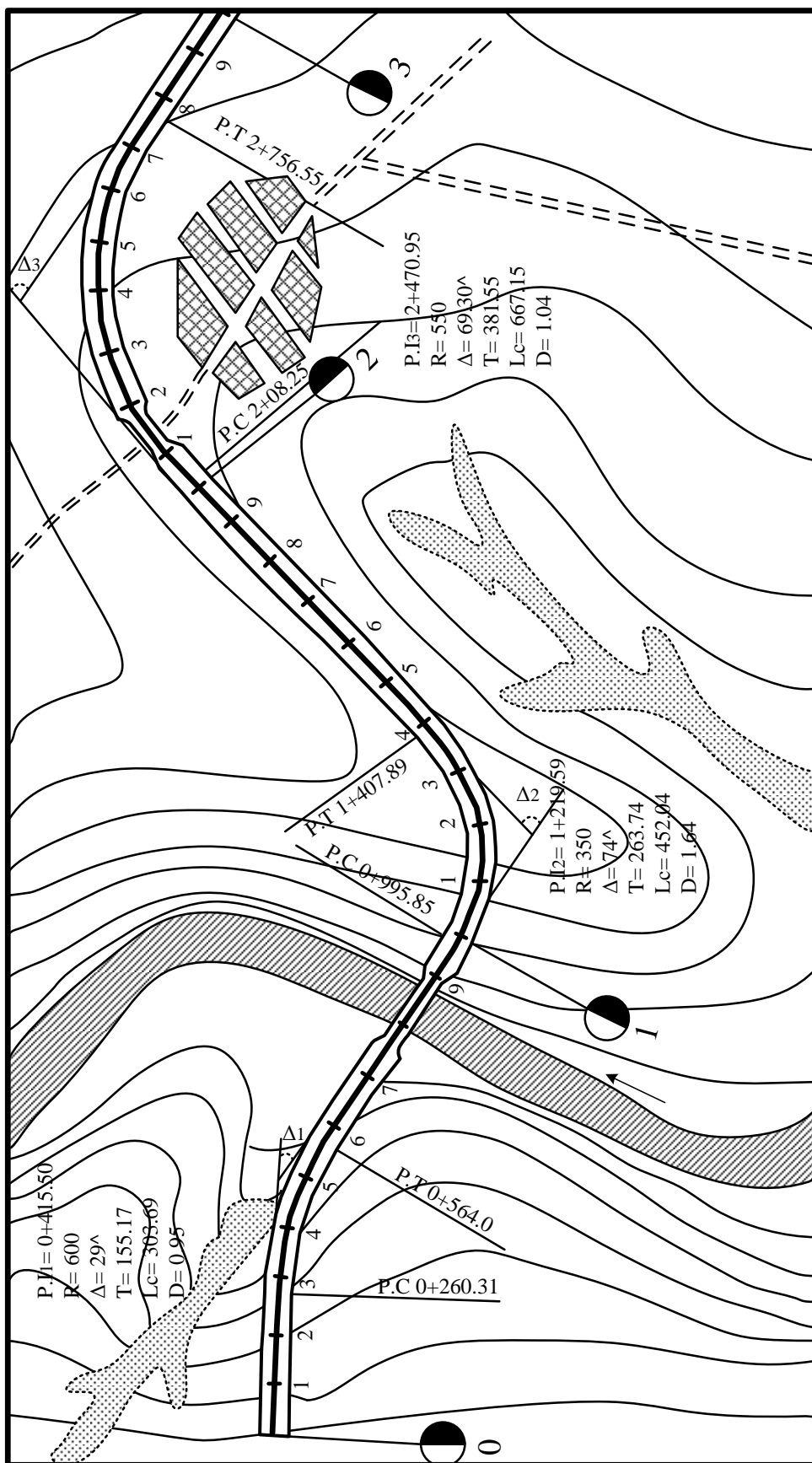
Box Culvert = پل جعبه‌ای

Viaduct = پل دره‌ای یا ویادوک



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

در شکل صفحه بعد نحوه نشان دادن مسیر راه در پلان را مشاهده می نمایید :



نمونه نشان دادن مسیر راه در پلان

۳-۳- پروفیل طولی راه :

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

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

ب- خط پروژه : وضعیت ارتفاعی سطح تمام شده محور ره پس از ساخت را نشان می‌دهد.

ج- جدول مشخصات : این جدول شامل ردیفهای زیر می‌باشد:

✓	سطح سنجش	Comparison level (DATUM)
✓	شماره نیمرخهای عرضی (میخ‌ها یا پیکه‌ها)	1. No of Section
✓	شیبها و قوسهای قائم	2. Vertical Alignment
✓	ارتفاع سطح تمام شده راه یا خط پروژه	3. Design Level
✓	ارتفاع سطح زمین طبیعی	4. Ground Level
✓	فواصل بین نیمرخهای عرضی	5. Distance
✓	فواصل ۱۰۰ متری و کیلومترهای راه	6. Hectometer and Kilometer
✓	خطوط مستقیم و قوسهای افقی	7. Horizontal Alignment $\frac{\text{Left}}{\text{Right}}$
✓	تراز نسبی لبه‌های داخلی و خارجی راه جهت اعمال دور	

8. Super elevation $\frac{\text{Out}}{\text{In}}$

در ترسیم پروفیلی طولی مقیاس طول‌ها با مقیاس ارتفاعات، به دلیل صرفه جویی در کاغذ و همچنین کوچک بودن ارتفاعات نسبت به طول‌ها، متفاوت در نظر گرفته می‌شود. 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 می‌شود. مراحل رسم پروفیل طولی به شرح ذیل می‌باشد :

۳-۳-۱- گام اول : ترسیم خط زمین طبیعی :

۱- ابتدا تعدادی ایستگاه بر روی محور راه تعیین و موقعیت آن در پلان مشخص می‌گردد.

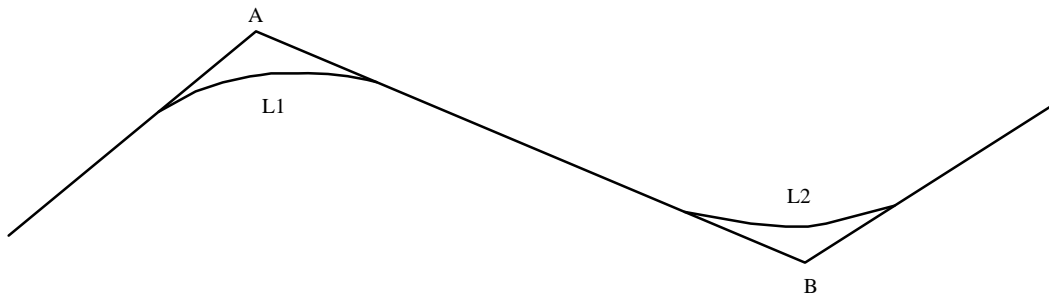
✓ فاصله ایستگاهها در دشت ۵۰ متر انتخاب می‌شود.

✓ فاصله ایستگاهها در کوهستان ۲۰ متر انتخاب می‌شود.

✓ در قوس ها فاصله ایستگاهها $\frac{1}{10}$ تا $\frac{1}{20}$ شعاع قوس انتخاب می‌شود.

- ✓ در ابتدا و انتهای قوس ها، محل های تغییر شیب، محل های تلاقی خط زمین با خط پروژه، نهرها، رودخانه ها و خط القعرها ایستگاه اضافی در نظر گرفته می شود.
- ۲- ایستگاهها از مبدا به سمت مقصد شماره گذاری می شوند و شماره ها از سمت چپ به راست در ردیف (نیمرخ های عرضی) درج می گردد.
- ۳- برای هر ایستگاه یک فاصله و یک ارتفاع اندازه گیری می شود و بر اساس نتایج حاصله ردیف های 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.
- ۴- 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 زمینی طبیعی می باشد.
- ۳-۲- گام دوم : ترسیم خط پروژه :
- ۱- 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 به دست می آید.
- تعیین طول بحرانی شیب : طول شیب برگنجایش، کیفیت سرویس دهی و سرعت حرکت اثر می گذارد. انتخاب این طول به نحوی است که کاهش سرعت خودروهای سنگین طی آن از حد معین تجاوز نکند. مقدار کاهش سرعت مجاز در گذشته ۲۵ km.h و در حال حاضر ۱۵ km.h در نظر گرفته می شود و آن را نسبت به سرعت متوسط ترافیک می سنجند. (شکل ۵-۱۲ آیین نامه)
- تعیین طول قوس های قائم بر اساس مسافت دید
- تعیین ارتفاع نقاط اجباری
- تعیین حداقل ارتفاع پایه پلها

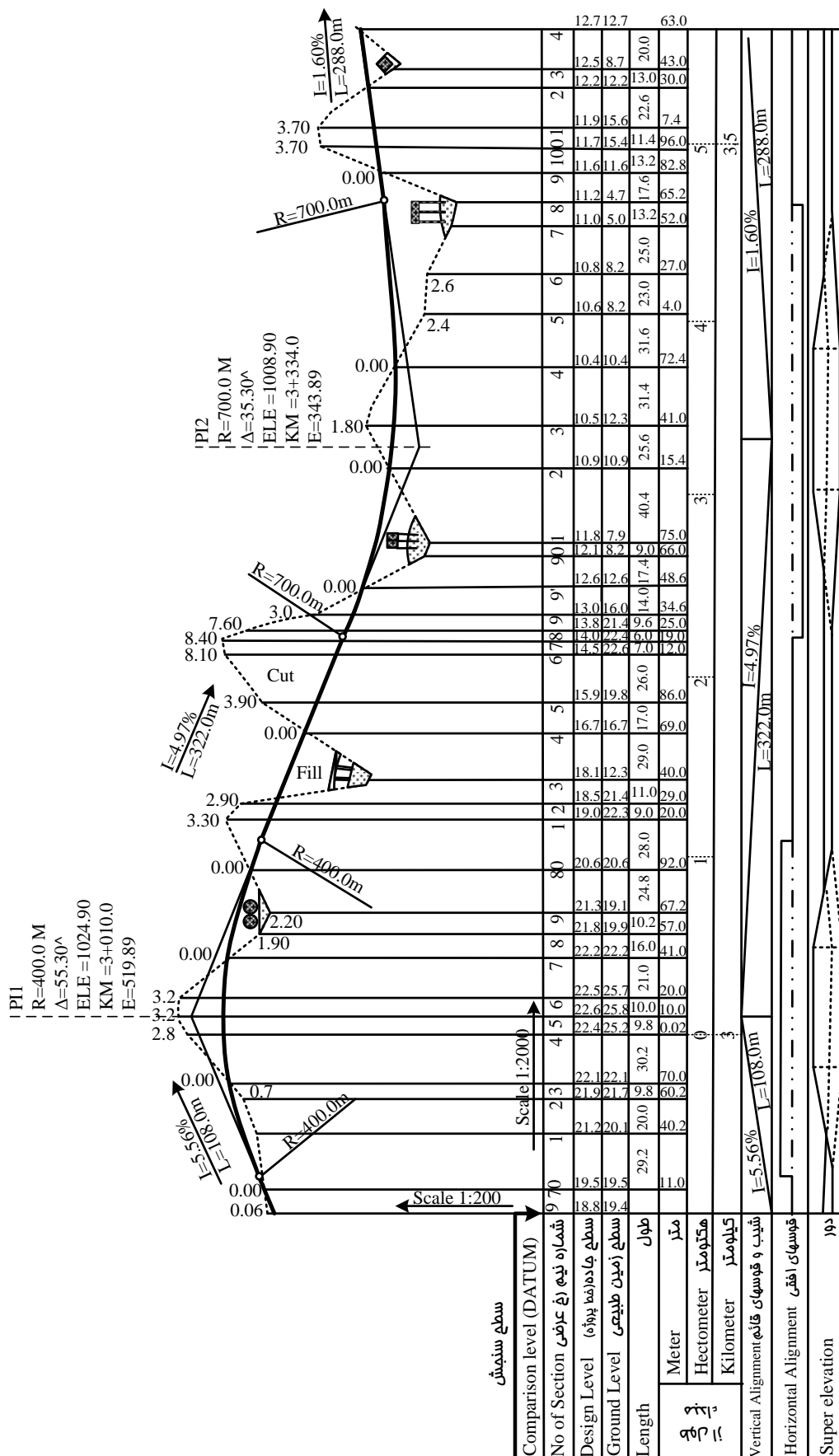
- ۲- ترسیم قطعات خط پروژه بین دو نقطه انتخابی معلوم واقع بر خط زمین طبیعی، با رعایت نکات زیر :
- ✓ عدم تجاوز شیب طولی از حد مجاز
 - ✓ اجتناب از شیب های طولانی
 - ✓ ایجاد تعادل بین عملیات خاکبرداری و خاکریزی
 - ✓ در زمینهای مسطح حتی الامکان سعی می شود که خط پروژه بالاتر از سطح زمین طبیعی قرار گیرد (حداقل ۵۰cm)
 - ✓ عبور خط پروژه از نقاط ارتفاعی اجباری
 - ✓ شیب طولی در پلها بهتر است صفر در نظر 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.



$$AB \geq 0.5(L_1 + L_2)$$

- ۳- انجام محاسبات مربوط به تعیین ارتفاع خط پروژه در محل هر یک از ایستگاهها، شامل :
- ✓ محاسبه شیب طولی تکه خط پروژه $\bar{L}_{AB} = \frac{h_B - h_A}{L} \times 100 \text{ AB}$
 - ✓ محاسبه ارتفاع خط پروژه در محل هر ایستگاه با توجه به معلوم بودن ارتفاع نقطه ابتدای شیب
 - ✓ $100 / (\text{شیب طولی AB} \times \text{فاصله نقطه n از نقطه A}) \pm \text{ارتفاع نقطه معلوم A} = \text{ارتفاع خط پروژه در محل}$
 - ایستگاه n بین A و B
 - یا به عبارت ریاضی : $h_n = h_A \pm (L_{An} \times i_{An}) / 100$

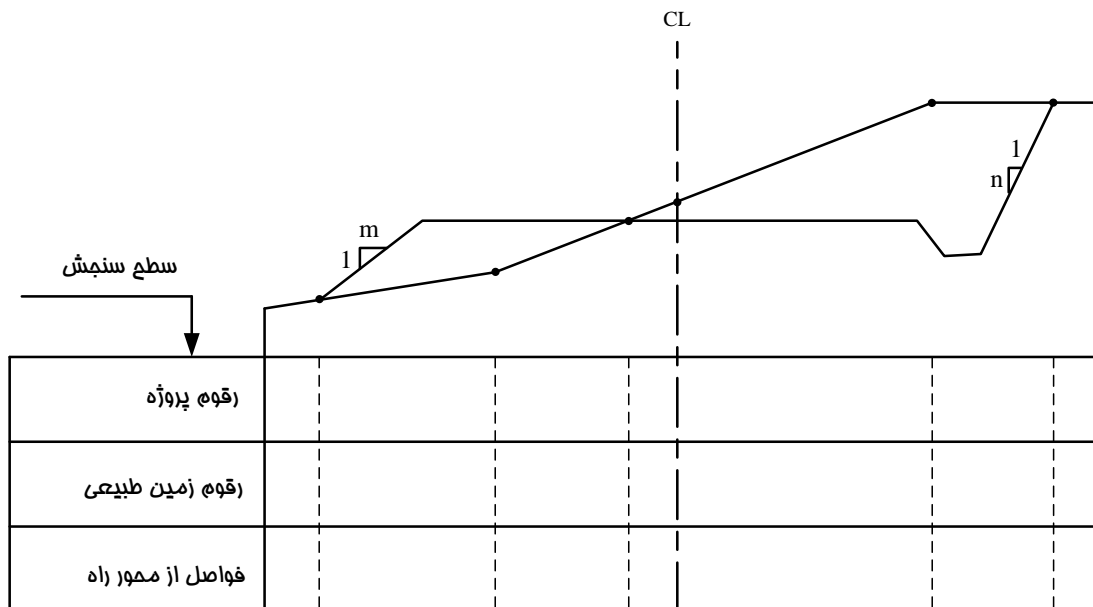
- ✓ ارتفاع خط پروژه در محل ایستگاههای واقع بر روی قوس های قائم در ردیف ۳ جدول اصلاح می گردد.
- ✓ طول قوس های قائم و شعاع هر یک در ردیف ۲ جدول مشخصات وارد می شود.
- ۳-۳-۳- گام سوم : تکمیل جدول مشخصات و شکل نهایی پروفیل :
- ۱- با استفاده از نقشه پلان و محاسبات قوس های افقی، چپ گرد و راست گرد بودن قوس ها، کیلومتر شروع و انتها، شعاع و طول هر یک در ردیف ۷ جدول مشخصات درج می گردد.
- ۲- با استفاده از محاسبات مربوط به طول تامین دور در قوس های افقی تراز نسبی لبه های داخلی و خارجی راه در ردیف ۸ جدول مشخصات ترسیم می گردد.
- ۳- پلها به صورت شماتیک بین خط پروژه و خط زمین طبیعی نمایش داده میشوند.
- ۴- اطلاعات مربوط به قوس های قائم در کنار هر قوس بر روی شکل درج می گردد.
- ۵- خط پروژه نهایی با رنگ قرمز نمایش داده می شود.
- چند نکته پیرامون پروفیل طولی مسیر :
- ✓ در مواردی ممکن است پس از تعیین وضعیت لایه های مختلف زمین به وسیله حفر گمانه های مطالعاتی، نتایج 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 پروژه از روی نقشه نادرست می باشد و میزان این شیبها باید از تقسیم اختلاف ارتفاع بر فاصله بین آنها بدست آید.
- در شکل صفحه بعد نحوه نمایش پروفیل طولی ساده را مشاهده می نمایید :



نمونه نمایش پروفیل طولی ساده

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 زمین طبیعی در امتداد عمود بر محور مسیر نشان داده می شوند.



معمولا به ازای هر ایستگاه درپروفیل 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 اشل معین ترسیم می شوند دیگر نیازی به نوشتن جدول فوق الذکر نبوده و پروفیل‌های عرضی به صورت ساده و مطابق شکل زیر ترسیم می گردند.

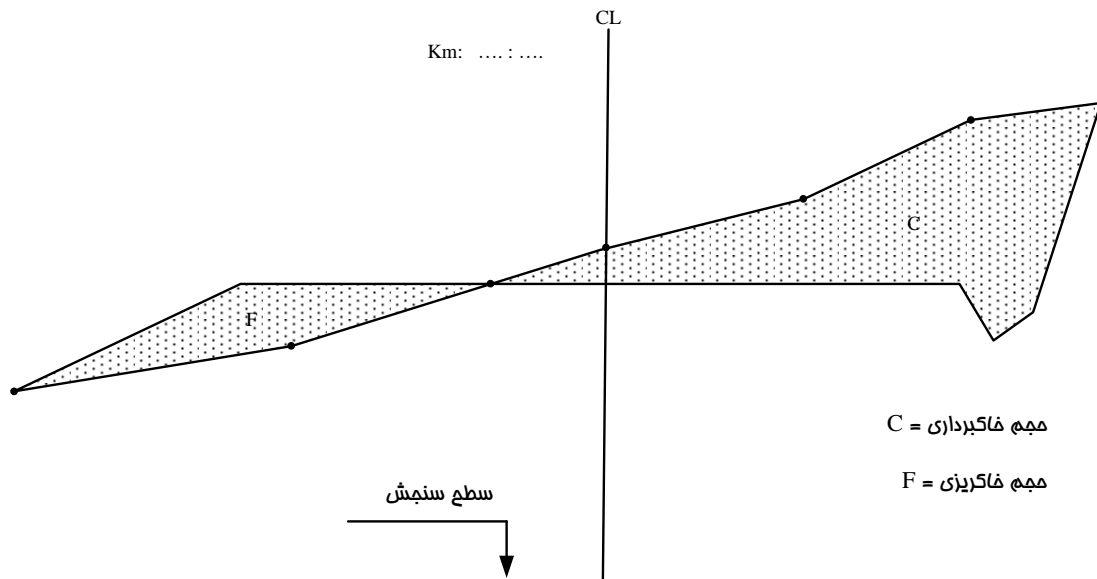
Scale: 1/200

شماره نیمرخ : No Section

تراز پروژه : PL

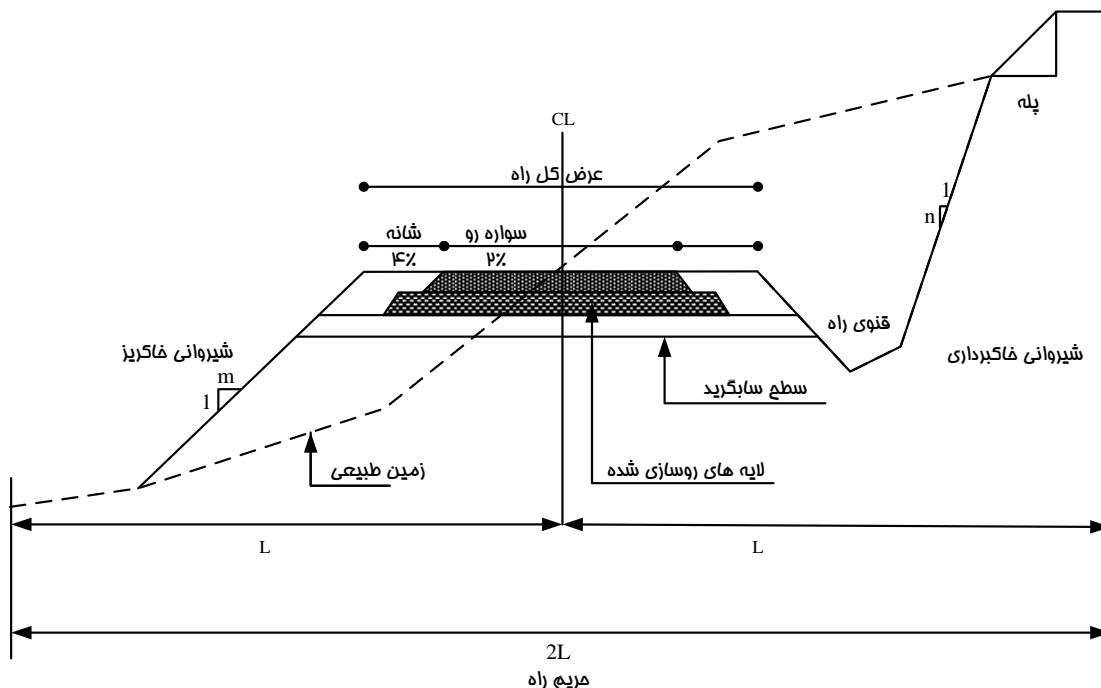
تراز زمین طبیعی : NGL

جزوه راهسازی دکتر آذرکیش



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.

۲-۴-۳- تعریف پروفیل عرضی تیپ: عبارت است از نقشه ای که بر روی آن عرض سواره رو، شانه ها و میانه، شیب عرضی سواره رو، شانه ها و میانه، حریم راه، شیب شیروانی های خاکبرداری و خاکریزی، ضخامت لایه های روسازی و موقعیت آبروهای میانه و کنار راه مشخص می گردد.



۳-۴-۳- اجزای پروفیل عرضی :

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

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

الف) عرض هر خط عبور در آزاد راه بزرگ راه و راه حلی درجه یک برابر ۳/۶۵ متر می باشد.

ب) عرض هر خط عبور در راه اصلی درجه دو برابر ۳/۵ متر می باشد.

ج) عرض هر خط عبور در راه فرعی درجه یک برابر ۳/۲۵ متر می باشد (سواره روی دو خطه ۶/۵ متری)

د) عرض هر خط عبور در راه فرعی درجه دو برابر ۲/۷۵ متر می باشد (سواره روی خطه ۵/۵ متری)

ه) عرض خط ویژه وسایل نقلیه سنگین در سر بالایی برای آزاد راه و بزرگراه ۳/۶۵ متر می باشد.

و) عرض خط ویژه وسایل نقلیه سنگین در سر بالایی برای راه اصلی ۳/۲۵ متر می باشد.

ز) عرض خط کمکی و خط ویژه گردش به چپ ۳/۲۵ تا ۳/۶۵ متر و در شرایط دشوار ۳ متر می باشد.

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 عرضی در پیچ ها به عرضهای فوق افزوده می شود

✓ هر گونه تغییر در عرض سواره رو به صورت تدریجی و با نصب علائم مشخص اعمال می گردد.

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

✓ درجه بندی راه

✓ تعداد خطهای عبور

✓ سرعت طرح

✓ نوع روبه راه

جزوه راهسازی دکتر آذرکیش

✓ وضع جوی منطقه

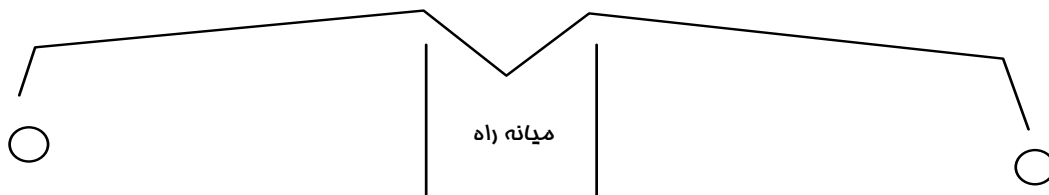
آیین نامه طرح هندسی راهها، در قسمتهای مستقیم مسیر شیبهای عرضی به شرح زیر می باشد :

الف (برای رویه های آسفالتی، بتنی و روکش جدید روسازی $1/5$ تا $2/5$ درصد

ب) برای رویه های شنی 3 تا 5 درصد

ج) در تونلها 1 تا $1/5$ درصد

گزینه های مختلف اعمال شیب عرضی سواره رو در راه جدا شده (مزایا معایب)

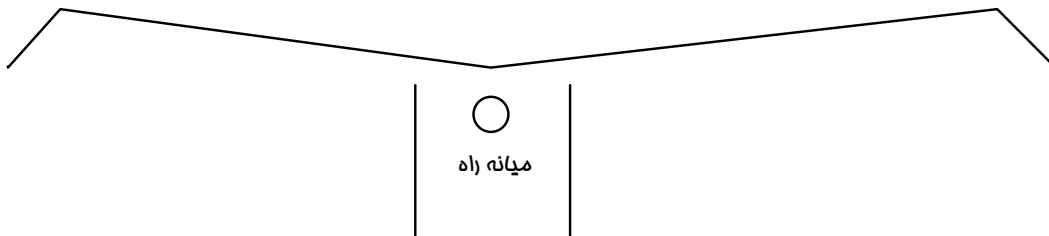


✓ شیب یک طرفه به روسازی هر جهت

- خط سرعت وضعیت زهکشی بهتری دارد.

- نهرو کانال باید در دو طرف قرار گیرد.

- خط دست راست باید تمام آبهای سطحی را عبور دهد.

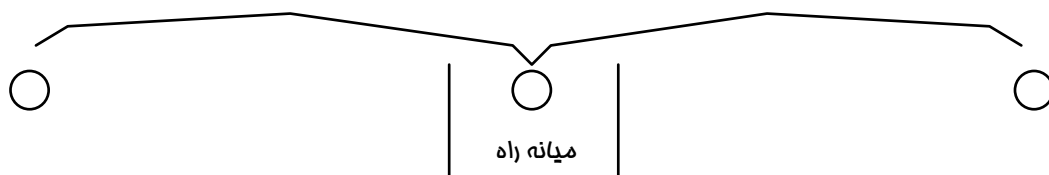


✓ شیب یک طرفه به روسازی هر جهت

- خط دست راست هر جهت زهکشی بهتر دارد.

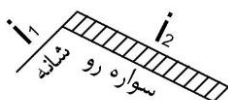
- نهرو و کانال آب فقط در وسط قرار می گیرد.

- خط سرعت باید تمام آبهای سطحی را عبور دهد.



✓ شیب دو طرفه به روسازی هر جهت

- تخلیه سریع آب و زهکشی بهتر
 - حداقل شدن اختلاف ارتفاع بین نقاط روسازی
 - نهر و کانال آب باید در هر ۳ طرف قرار گیرد.
۳. عرض شانه راه : به آن قسمت از سطح نهایی راه که در طرفین سواره رو قرار می گیرد و برای توقف یا عبور اضطراری خودروها به کار می رود، شانه اطلاق می گردد. در راه های 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 رویه های شنی، سراسر عرض راه (شانه + سواره رو) یکپارچه است و نوارهای واحدی را تشکیل می دهد.
- 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 پهن بودن نوار راه، آسایش و آسودگی ناشی از آزادی عمل راننده
 - ✓ افزایش فاصله دید در پیچ های داخل برشها و تراشه ها 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 رو و دوچرخه
- عرض شانه طرفین راه بر حسب درجه بندی راه در جدول ۶-۱۱ آیین نامه طرح هندسی راه ارائه شده است :
۴. شیب عرضی شانه : شیب شانه های راه باید به گونه ای باشد که آبهای سطحی به خوبی از روی آن عبور کند.
- AASHTO شیب عرضی مناسب برای شانه های راه را بر اساس نوع روسازی به شرح زیر اعلام نموده است:
- الف) برای شانه های روسازی شده آسفالتی یا بتنی ۳ تا ۵ درصد
 - ب) برای شانه های پوشیده با مصالح شنی یا سنگ شکسته ۴ تا ۵ درصد
 - ج) برای شانه های 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، این موضوع در پیچ ها که سواره رو دارای شیب عرضی یکسره با بر بلندی است، پیش می آید.

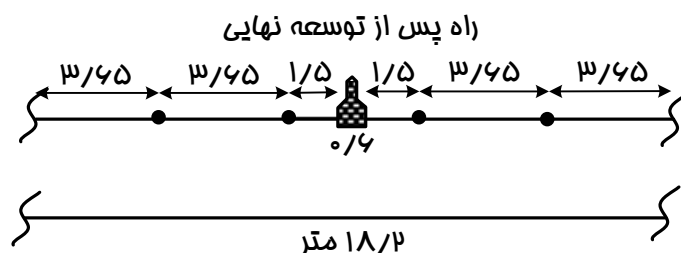


$$|i_1 - i_2| \leq 8\%$$

۵. عرض میانه راه : حد فاصله لبه های داخلی سواره روی جهت رفت و برگشت یک راه جدا شده را میانه گویند.

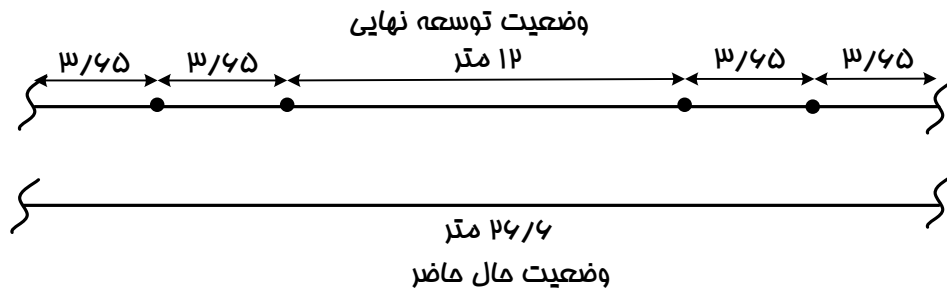
وظایف و مزایای میانه راه عبارتند از :

- ✓ جلوگیری از تداخل ترافیک دو طرف
- ✓ فراهم ساختن فضای در رو برای وسایل نقلیه ای که کنترل خود را از دست داده اند
- ✓ فراهم ساختن محلی 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 شهر می 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 ایمنی بررسی و چاره جوئی های لازم (نصب جان پناه و ضربه گیر) به عمل آید.
- حد اقل عرض میانه باید به اندازه ای باشد که با توجه به توسعه های مورد نیاز راه در آینده دور، بتواند وظیفه اصلی یعنی جداکردن جریان عبور دو طرف را عملی کند. این حداقل برای زمان توسعه نهائی راه باید $3/6$ متر باشد. لذا به عنوان مثال برای پیش بینی توسعه ۲ خط عبور در آینده دور، حداقل عرض میان یک راه در حال حاضر $18/2$ متر در نظر گرفته شده است.



حداقل عرض میانه راه در حال حاضر برای لحاظ نمودن توسعه نهایی به صورت فوق

از طرفی هدفهای مورد انتظار از میانه، عملاً در عرض ۱۲ متر حاصل می شود، به عبارت دیگر با میانه ۱۲ متر و بالاتر راه به صورت کاملاً مجزا عمل می کند. 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 $26/6$ متر در نظر گرفته می شود.



نکات مربوط به میانه راه :

- ✓ سطح میانه راه می تواند پایین تر، بالاتر و یا همکف با سطح راه باشد.
- ✓ در آزاد راه ها میانه معمولاً پیوسته است ولی میانه سایر راه ها در محل تقاطع ها و محل دور زدن بریدگی دارد.
- ✓ سایر نکات اجرائی مربوط به میانه راه شامل شیب عرضی، روسازی، جدول و جان پناه در مبحث ۵-۶ آیین نامه طرح مهندسی راه ارائه شده است.
- ۶. حریم راه : آن قسمت از زمین بسته راه است که در مالکیت اداره راه و ترابری قرار می گیرد و انجام عملیات راه سازی و راهداری و ایجاد هرگونه تاسیسات مورد نیاز راه در آن فاصله بلامانع است. لیکن ساکنان اطراف راه و یا ارگانهای دولتی حق احداث هیچ گونه 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 کش طولی و عرضی راه در حریم آن موثر می باشد.
- ✓ استفاده جهت عملیات راهداری و تامین ایمنی عبور و مرور رانندگان و ساکنان اطراف راه
- براساس مصوبات شورای عالی فنی امور زیر بنائی حمل و نقل، حریم های تعریف شده برای راههای کشور به شرح زیر است :
- الف - حریم آزاد راه : عبارت است از زمینهای بین حد نهائی 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 آزاد راه تهران-کرج و چند آزاد راه 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 ۲: (راههای فرعی)

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

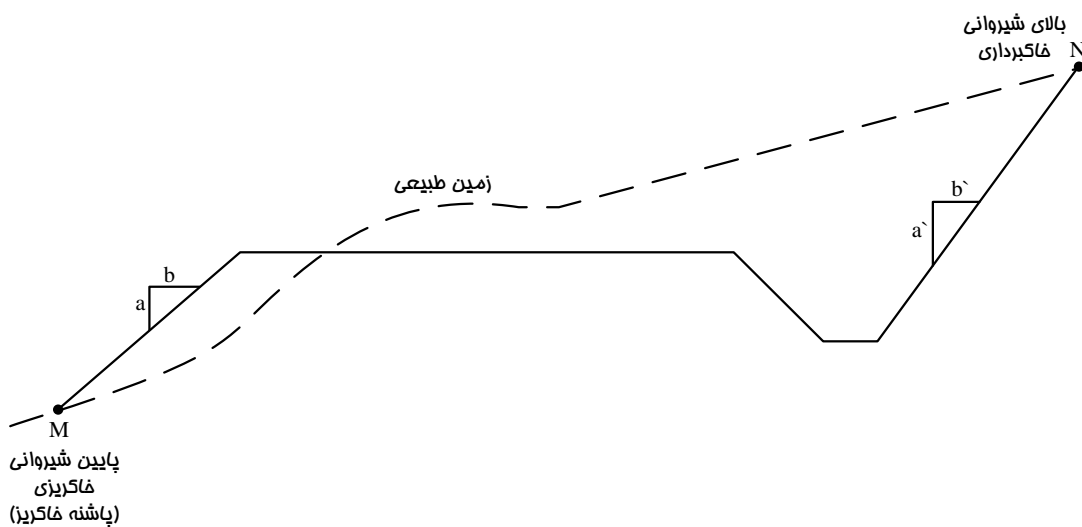
د - حریم درجه ۳: (راههای روستایی)

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

۷. شیب شیروانی : برحسب اینکه راه در خاک برداری و یا خاک ریزی 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 ژئو تکنیک و خصوصیات خاک مورد استفاده در خاکریزها یا موجود در محل خاکبرداریها

✓ ارتفاع خاکریزی یا خاکبرداری

✓ شیب زمین طبیعی در محل خاکریزی یا خاکبرداری

✓ هزینه عملیات خاکریزی یا خاکبرداری

✓ زیبایی و ایمنی راه

میزان شیب شیروانی بر حسب طبقه بندی راه، ارتفاع خاکریزی یا خاکبرداری در جدول ۶-۲ آیین نامه طرح

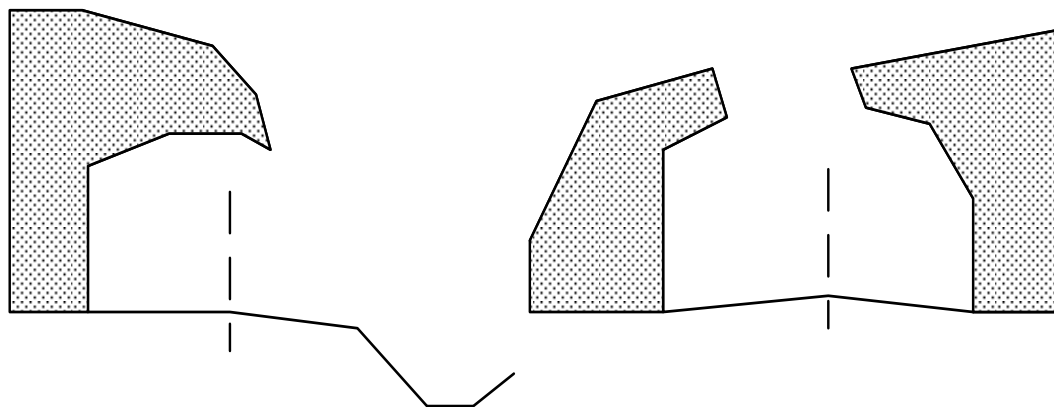
هندسی راهها ارائه شده است.

✓ شیب شیروانی خاکریز در زمینهای معمولی (خاکهای شن و ماسه دار) برابر ۱:۱/۵

- ✓ شیب شیروانی در زمینهای با خاک نرم برابر ۲:۱
- ✓ شیب شیروانی در زمینهای ماسه بادی یا خاک رس خالص برابر ۱:۲ یا ۱:۴ یا کمتر
- ✓ شیب لبه های مصالح زیر اساس برابر ۱/۵:۱ تا ۲:۱
- ✓ شیب لبه های مصالح اساس شکسته و آسفالت برابر ۱:۱
- ✓ شیب شیروانی خاکریزهای سنگی (ROCK FILL) به شرط اجرای خوب و جا گیری مناسب قطعات سنگی حداکثر ۱:۱ انتخاب گردد.

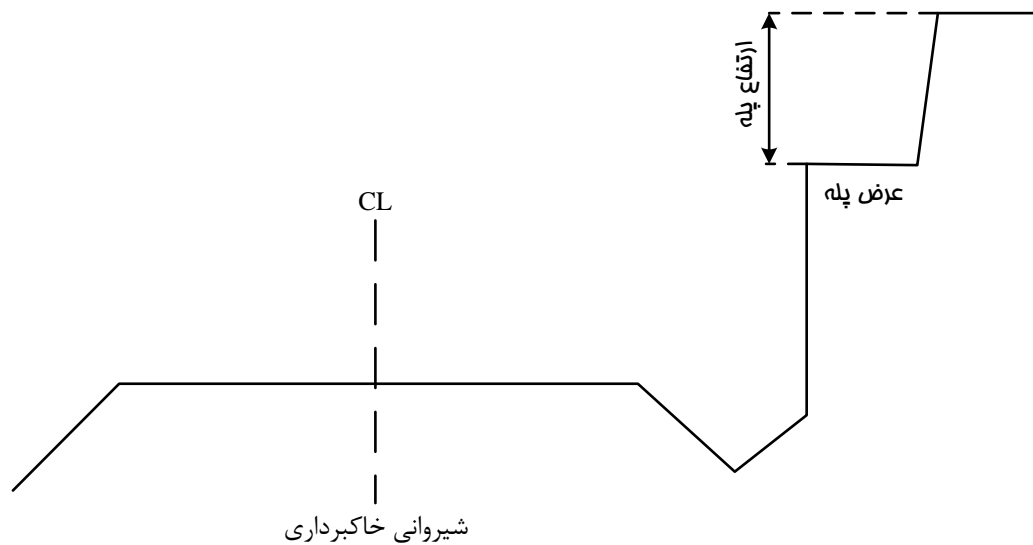
(ROCK FILL) : خاکریزی با قطعات سنگی حاصل از انفجار در ترانشه ها

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

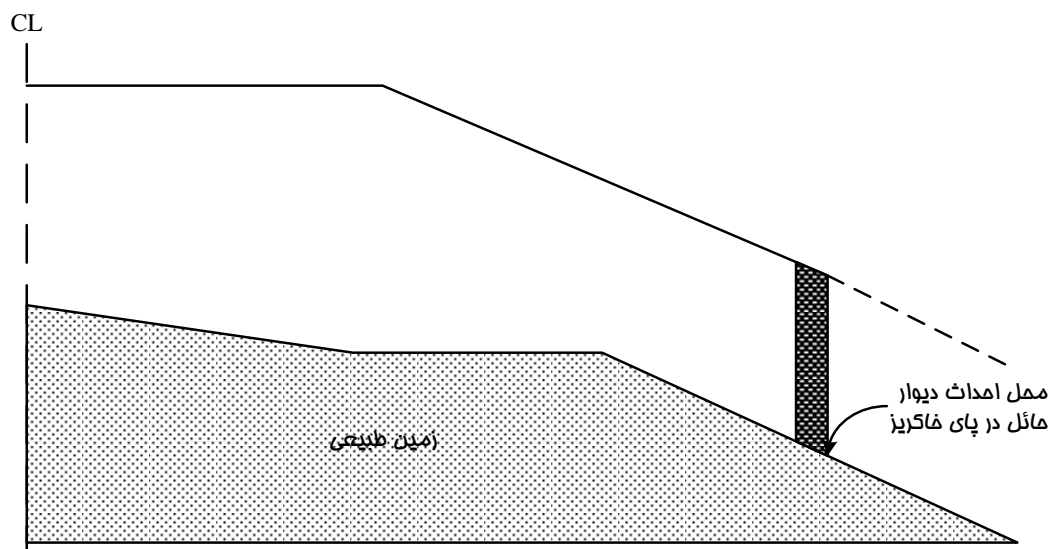


نیم تونل

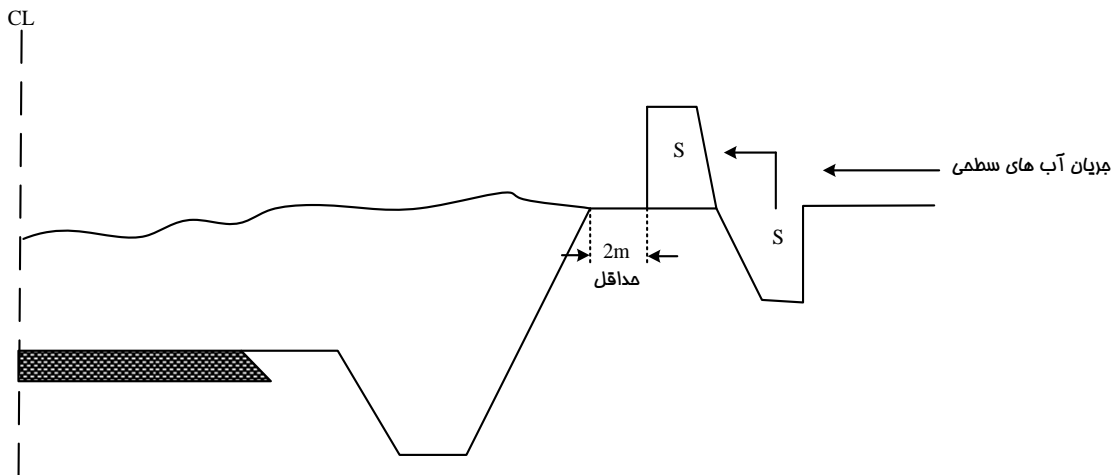
در مواقعی که ارتفاع شیروانی های خاکبرداری بیش از ۶ متر شود، به منظور سبک کردن بار مرده ترانشه و کم کردن رانش خاک می بایست نسبت به ایجاد قسمت های پلکانی به نام Berm در ارتفاع ترانشه اقدام نمود. ارتفاع پله ها و شیب شیروانی حد فاصل آنها بسته به جنس خاک ترانشه تا ۱۰ متر متغیر بوده است و عرض آنها حداقل ۳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



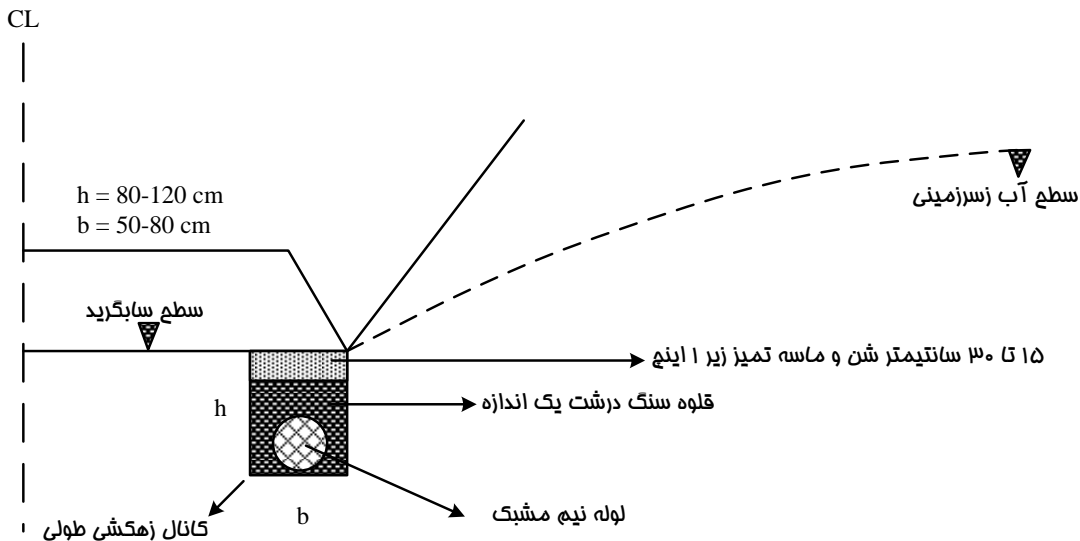
در خاکریزی بلند به منظور صرفه جوئی در حجم خاکریز، می توان احداث دیوار حائل را مورد بررسی قرار داد. در این حالت باید هزینه خاکریز صرفه جوئی شده با هزینه احداث دیوار مقایسه شده و نیز هزینه نگهداری آینده راه مد نظر قرار گیرد. معمولاً در حالتی که شیروانی خاکریز و زمین طبیعی تقریباً با هم موازی بوده و در 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.



مساله نفوذ آب در شیروانی های خاکبرداری و خاکریز بسیار مهم است و در راه سازی باید با به کار بردن روشهای مناسب از نفوذ آب به جسم راه جلوگیری نمود :



✓ جلوگیری از نفوذ آب به داخل ترانشه با احداث کانال در بالا دست



✓ پایین آوردن سطح آبهای زیرزمینی با احداث کانال زه کش در پای ترانشه

✓ در مناطق پر باران 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.

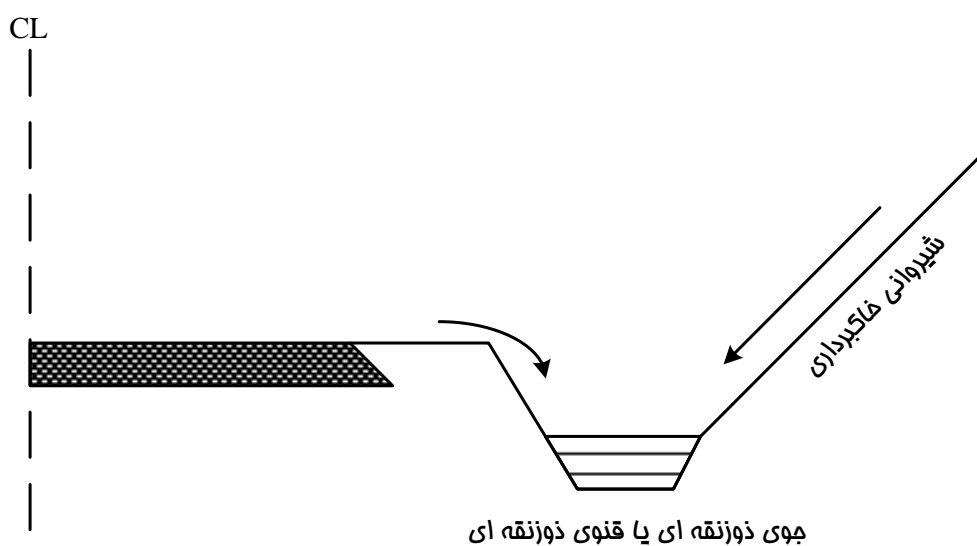
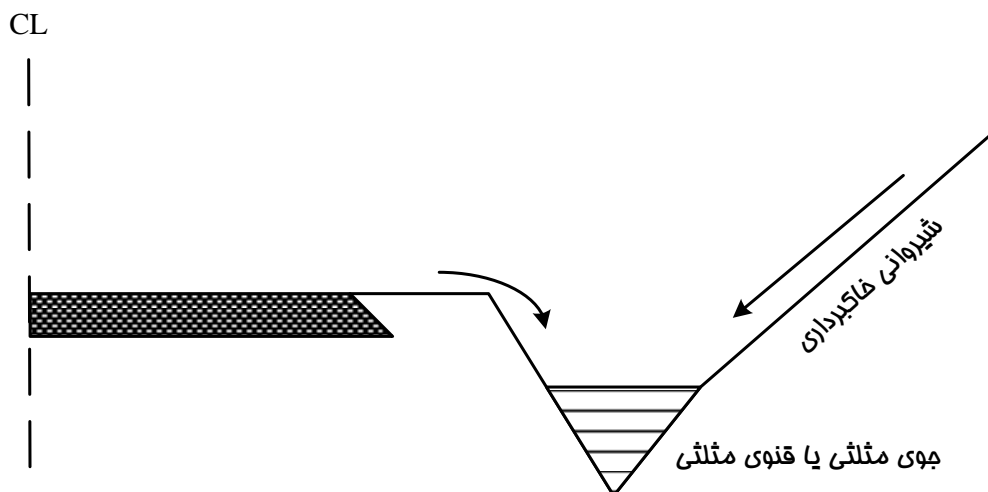
کاشت گیاهان تثبیت بیشتر شیروانی ها شده و از ریزش خاکها جلوگیری می کند.

۸. نهر جانبی یا جوی کنار راه : این نهرها از حیاتی ترین اجزای راه می باشند آب بارندگی که در سطح راه جاری

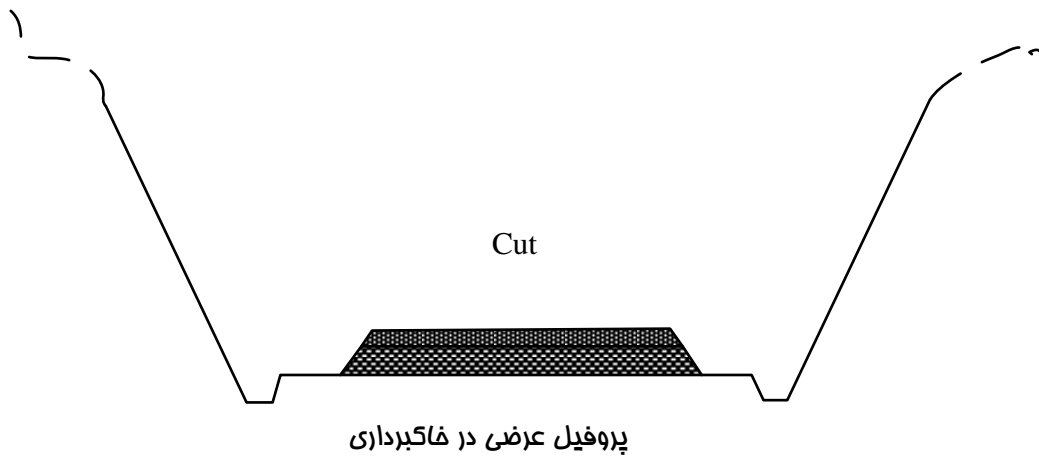
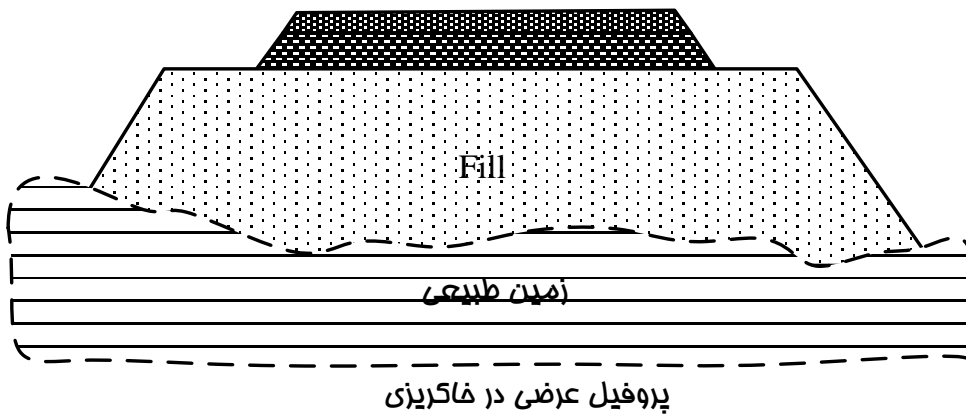
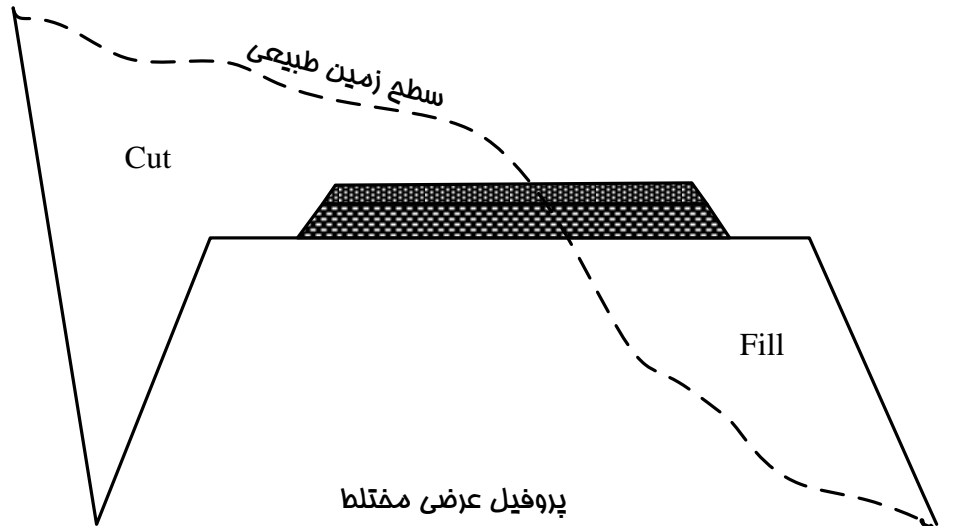
می شود و نیز آبهایی که از شیروانی خاکبرداری به سمت راه جریان می یابد به خارج حریم راه هدایت شوند تا

جسم راه از گزند نفوذ این آبها در امان بماند.

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



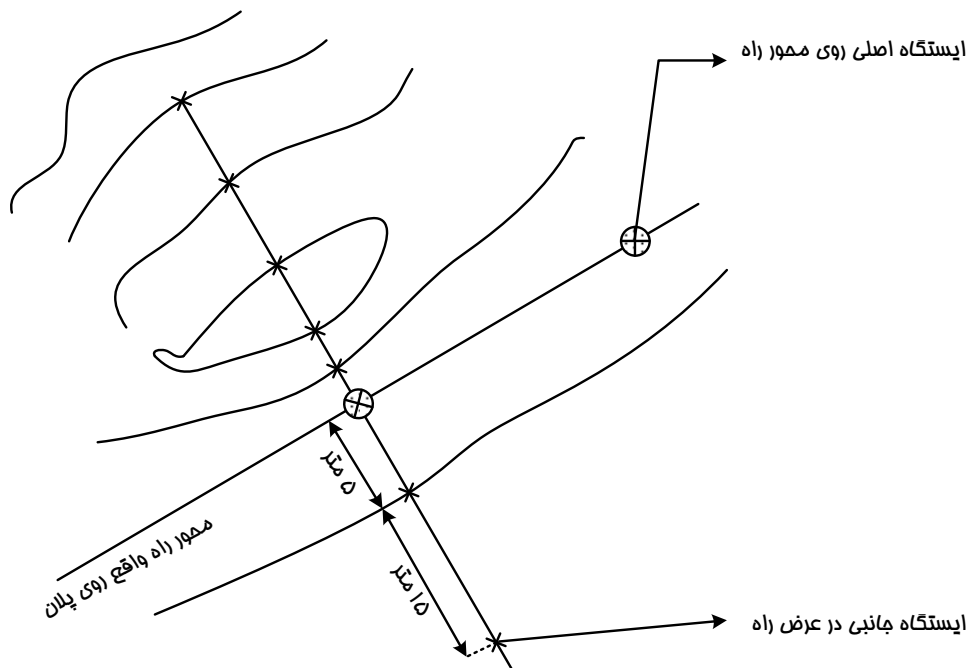
۹. لایه های مختلف رو سازی راه : روسازی راه ساختاری است که بر سطح ساب گرید اجرا می شود و تا سطح تماس چرخها ادامه می یابد این ساختار از چند لایه تشکیل شده است که پس از طراحی و تعیین ضخامت هر یک از لایه ها (زیر اساس، اساس، رویه) می توان آنها را بر روی نقشه پروفیل عرضی نشان داد.



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

۴-۳-۵- 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 شد معمولاً دو نقطه جانبی در سمت چپ و دو نقطه جانبی در سمت راست محور راه برداشت ارتفاعی انجام می گیرد لازم به ذکر است که تعداد و فواصل این ایستگاههای جانبی تابع عرض نهایی راه می باشند و همچنین باید محل های 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 نمود و با اتصال آنها به یکدیگر تراز زمین طبیعی به دست می آید.
 - ۴- با مراجعه به پروفیل طولی و استخراج تراز پروژه در محل محور راه، خط پروژه مطابق با پارامترهای هندسی مرحله ۱ ترسیم می گردد.
 - ۵- اطلاعات مورد نیاز مطابق شکل صفحه ۲۸ بر روی پروفیل عرضی درج می گردد :
- ✓ 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 می گردد.
 - ✓ در کنار محور راه کیلومتر محل نیمرخ عرضی درج می شود.
 - ✓ در سمت راست مقادیر سطوح خاکبرداری با علامت C و سطوح خاکریزی با علامت F نوشته می شود.

فصل چهارم

محاسبات حجم عملیات خاکی

و منحنی بروکنر

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 (Decoupage) : عبارت است از کندن و برداشت خاکهای نباتی (خاکهای دارای مواد آلی، ریشه و ساقه درختان) و مواد زائد از سطح 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 محل هایی از طول طبیعی که رقوم آنها بیش از رقوم خط پروژه است.

ج- خاکریزی (fill) : عبارت است از ریختن خاک و تراکم آن در محل هایی از طول زمین طبیعی که رقوم آنها کمتر از رقوم خط پروژه است.

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

ه- محل قرضه (borrow) : در صورتی که نتوان خاک مورد نیاز در خاکریزها را از محل خاکبرداریهای پروژه تامین کرد خاک مورد نیاز را از محل های دیگری که توسط مهندس مشاور تشخیص داده شده تامین 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 ریز دانه (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) : از مواردی که از خاک حاصل از خاکبرداری در زمین های بسیار کم (دچ و سخت) و یا سنگ حاصل از عملیات کوه بری در ترانشه های سنگی برای پر کردن خاکریزها استفاده می شود، ملاحظه می گردد که یک متر مکعب خاک یا سنگ حاصل از عملیات خاکبرداری پس از انتقال به خاکریز و تراکم دارای

حجمی بیش از یک کتر مکعب خواهد بود این افزایش حجم که به علت ایجاد فضای خالی در بین قطعات سنگ خرد شده و یا ذرات خاک ایجاد می شود تورم نامیده می شود.

✓ درصد تورم در عملیات کوه بری بسته به تعداد قطعات 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 خاک ها در زمان حمل آنها باید مدنظر 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 می باشد :

- شن و ماسه خاک دار (توونان) : بسته به میزان خاک بین ۱۵ تا ۲۵ درصد

- خاکهای نباتی : ۱۰ تا ۱۵ درصد

- خاکهای لای دار و رس دار ۲۵ تا ۳۵ درصد

- لای و رس خالص : بیش از ۳۵ درصد

- کوه بری در سنگ : بیش از ۳۵ درصد

- ماسه تمیز طبیعی : صفر درصد

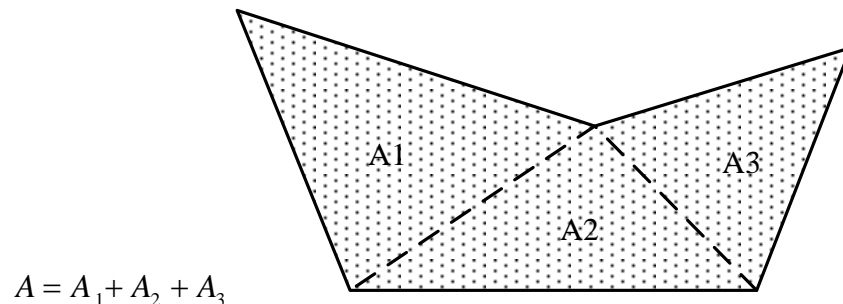
ح - فاصله حمل خاک : انتقال خاک از خاکبرداری به خاکریز، تامین خاک مصرفی از قرضه ها و یا انتقال خاک مازاد به دپوها همه نیاز به حمل دارند. از طرفی پرداخت هزینه عملیات خاکی به پیمانکار که بر مبنای متر مکعب خاک انجام می گردد در صورت تجاوز فاصله تعیین شده در قرارداد، شامل اضافه هزینه حمل خواهد شد لذا تعیین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

✓ برای پیدا کردن حداقل فاصله متوسط حمل خاک روش های مختلفی وجود دارد که در میان آنها دو روش لالان (Lalane) و بروکنر (Bruckner) کاربرد بیشتری دارند اساس هر دو روش تقریباً یکسان است با این تفاوت که روش لالان سریع تر و ساده تر از روش بروکنر بوده و در عوض روش بروکنر دقیق تر از روش لالان می باشد در گذشته که از ارابه و یا کامیون های یا ظرفیت کم برای حمل خاکها استفاده می شد دقت زیادی برای حمل خاک لازم بود و به این جهت روش بروکنر بیشتر کاربرد داشت اما امروزه با وجود کامیون ها و اسکرپره های پر قدرت روش لالان با تقریب کافی می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۲-۴- روشهای محاسبه سطح نیمرخ های عرضی :

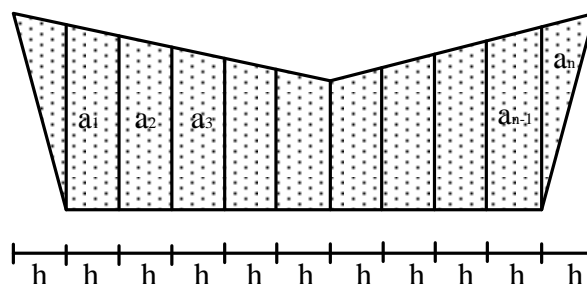
الف - محاسبه سطح نیمرخ عرضی به روش هندسی:

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



ب- محاسبه سطح نیمرخ های عرضی به روش تقسیم کوچکتر با ارتفاع یکسان:

در این روش سطح نیمرخ عرضی با خطوط موازی به فواصل موازی به فواصل مساوی h تقسیم بندی می شود و مساحت نیمرخ از رابطه زیر محاسبه می شود:



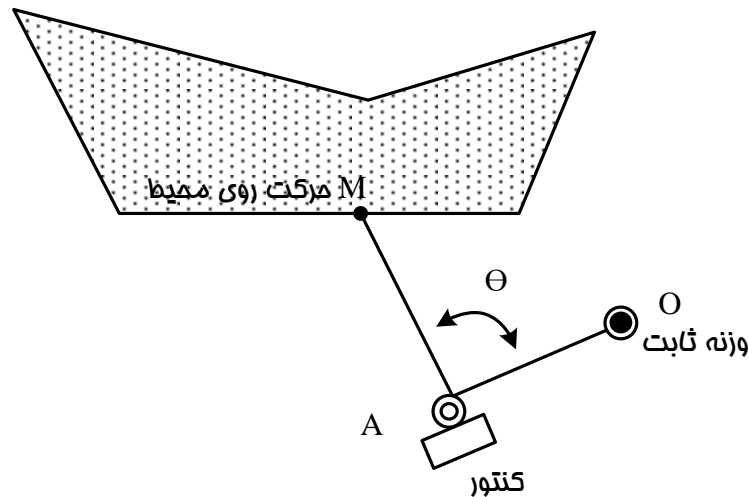
$$A = \frac{a_1 h}{2} + \frac{a_1 + a_2}{2} h + \frac{a_2 + a_3}{2} h + \dots + \frac{a_n}{2} h$$

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

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

ج- محاسبه سطح نیمرخ های 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 به دست می آورند این روش در راه سازی 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

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

پس با اندازه گیری میزان گردش مفصل A (یعنی θ) و میزان شعاع حامل $r = OM$ و جمع سطوح بی نهایت کوچک $(0.5r^2 d\theta)$ مساحت سطح مورد نظر تعیین می شود.

د- محاسبه سطح نیمرخ های عرضی به روش کامپیوتری :

این روش که بر مبنای دترمینانهای متشکل از مختصات رئوس نیمرخ عرضی می باشد بهترین روش محاسبه سطح مقاطع عرضی بوده و هنگامی که طول پروژه طولانی و تعداد مقاطع عرضی بسیار زیاد است، حتی برای محاسبه سطح نیمرخ های استاندارد (منظم) هم ترجیح داده می شود.

اساس روش مختصات در ادامه توضیح داده می شود.

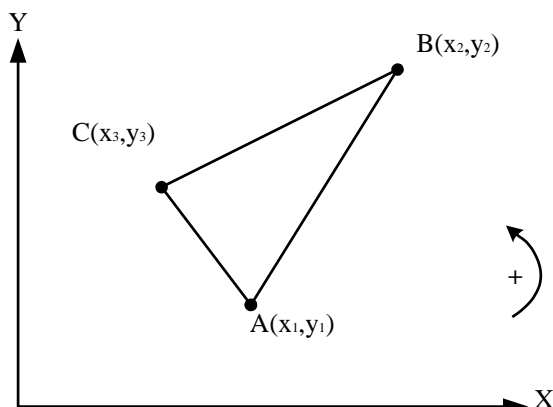
ه- محاسبه سطح نیمرخ های عرضی به روش مختصات:

در صورتی که مختصات نقاط مختلف در نیمرخ های عرضی با انتخاب یک سیستم مختصات تعیین گردد می

توان سطح نیمرخ عرضی را با توجه به روش های

هندسه تحلیلی و محاسبه زیر به راحتی تعیین

نمود.

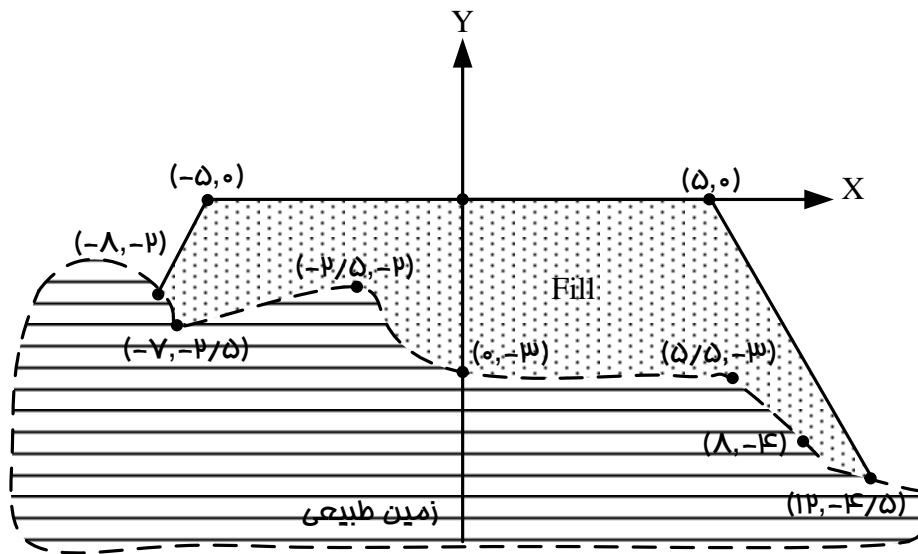


$$2s = \begin{vmatrix} x_1 & x_2 \\ y_1 & y_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x_2 & x_3 \\ y_2 & y_3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x_3 & x_1 \\ y_3 & y_1 \end{vmatrix}$$

به همین ترتیب می توان مساحت هر کثیر الاضلاع را به روش فوق بر حسب دترمینان های متشکل از مختصات رئوس آن به دست آورد.

لازم به ذکر است که در این روش با توجه به موقعیت نقاط نسبت به محور های مختصات، باید مثبت یا منفی بودن آنها در تشکیل دترمینان ها رعایت گردد برای راحتی می توان محور Y ها را منطبق بر محور راه و محور X ها را منطبق بر سطح تراز مقایسه در نظر گرفت.

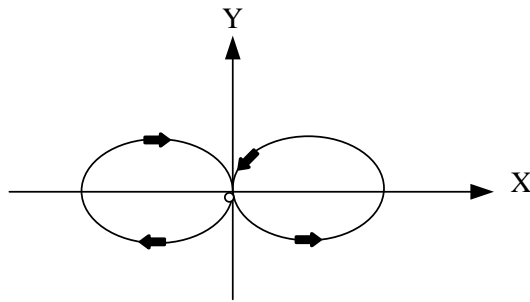
مثال:



$$2s = \begin{vmatrix} 0 & -5 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -5 & -8 \\ 0 & -2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -8 & -7 \\ -2 & -2.5 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -7 & -2.5 \\ -2.5 & -2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -2.5 & 0 \\ -2 & -3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & 5.5 \\ -3 & -3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 5.5 & 8 \\ -3 & -4 \end{vmatrix} \\ + \begin{vmatrix} 8 & 12 \\ -4 & -4.5 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 12 & 5 \\ -4.5 & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 5 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} = 84.25 \Rightarrow s = 42.125$$

روش خلاصه :

در این روش از علامت اعداد صرف نظر می شود و سپس مختصات نقاط به صورت $\frac{y}{x}$ و با رعایت جهت حرکتی مشخص شده در شکل ردیف می شوند مساحت مقطع با انجام محاسبات زیر به دست می آید:



$$\frac{0 \cdot \cdot \cdot 3 \cdot \cdot \cdot 2 \cdot \cdot \cdot 2.5 \cdot \cdot \cdot 2 \cdot \cdot \cdot 0 \cdot \cdot \cdot 0 \cdot \cdot \cdot 3 \cdot \cdot \cdot 3 \cdot \cdot \cdot 4 \cdot \cdot \cdot 4.5 \cdot \cdot \cdot 0 \cdot \cdot \cdot 0}{0 \cdot \cdot \cdot 0 \cdot \cdot \cdot 2.5 \cdot \cdot \cdot 7 \cdot \cdot \cdot 8 \cdot \cdot \cdot 5 \cdot \cdot \cdot 0 \cdot \cdot \cdot 0 \cdot \cdot \cdot 5.5 \cdot \cdot \cdot 8 \cdot \cdot \cdot 12 \cdot \cdot \cdot 5 \cdot \cdot \cdot 0}$$

$$2s = \sum \cdot \cdot - \sum \cdot \cdot = (0 + 7.5 + 14 + 20 + 10 + 16.5 + 24 + 48 + 22.5 + 0) - (0 + 0 + 6.25 + 14 + 0 + 0 + 0 + 0 + 22 + 36 + 0 + 0) = 84.25$$

$$s = 42.125$$

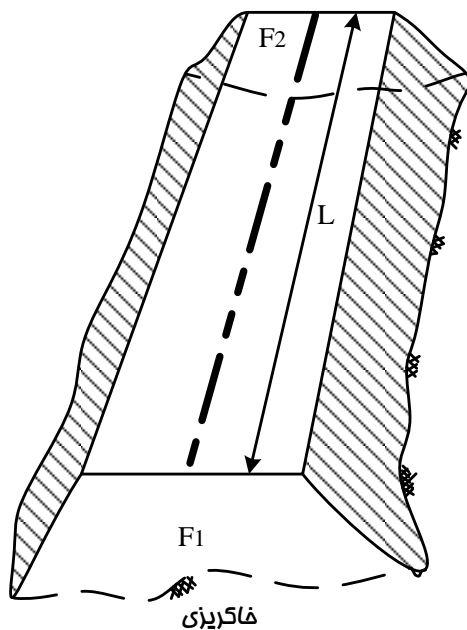
۴-۳- محاسبه حجم عملیات خاکی بین دو نیمرخ عرضی متوالی:

حجم عملیات خاکی راه با توجه به میزان سطوح خاکبرداری و خاکریزی نیمرخ های عرضی و فواصل بین آنها

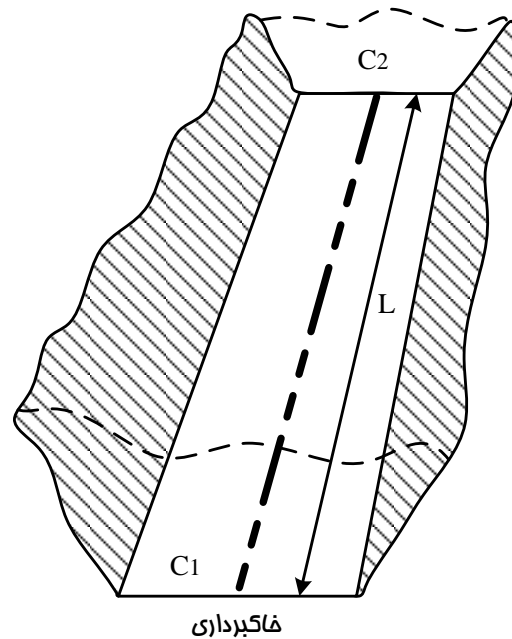
محاسبه می گردد در این محاسبه احجام عملیات خاکی با توجه به وضعیت نیمرخ های عرضی به لحاظ

خاکبرداری و خاکریزی حالت های مختلفی به وجود می آید که در ادامه مورد بحث قرار می گیرد :

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

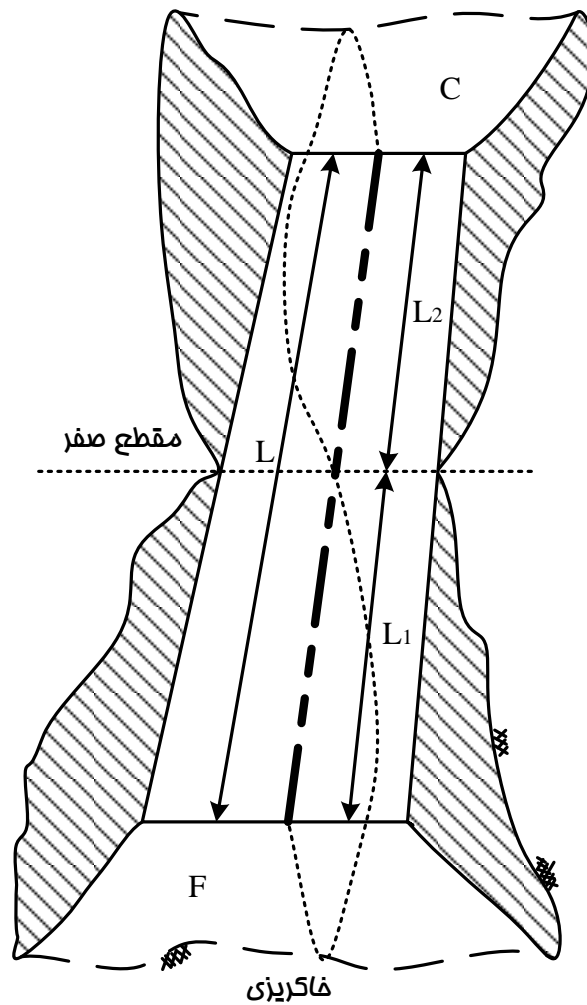


$$V_{fill} = \frac{F_1 + F_2}{2} \times L$$

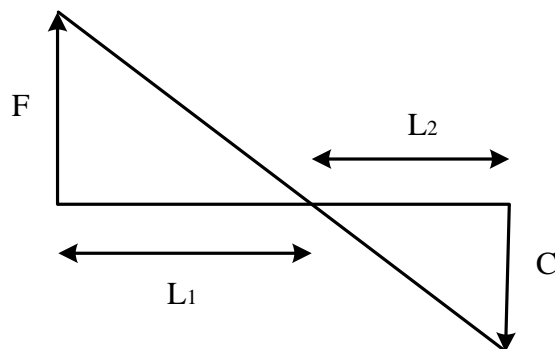


$$V_{cut} = \frac{C_1 + C_2}{2} \times L$$

ب- حالتی که دو نیمرخ عرضی متوالی یکی در خاکبرداری و دیگری در خاکریزی قرار دارد :



از تشابه :



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

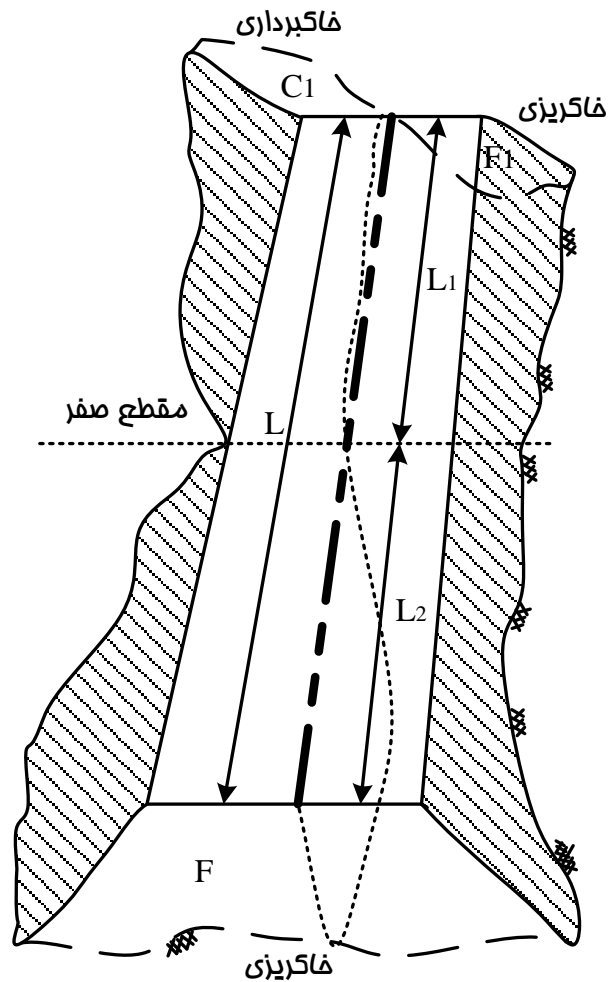
در نتیجه :

$$L_1 = \frac{F \cdot L}{F+C} \quad L_2 = \frac{C \cdot L}{F+C}$$

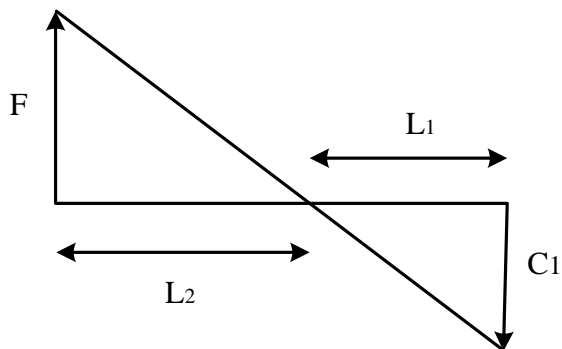
$$V_{fil} = \frac{F+0}{2} \times L_1 = \frac{F}{2} \times L_1$$

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

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



از تشابه :

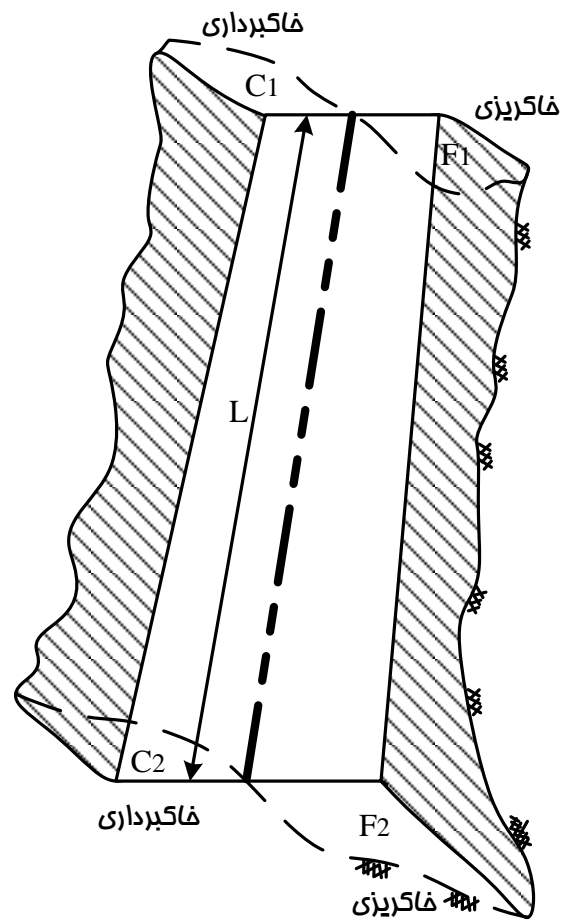


$$\frac{C_1}{F} = \frac{L_1}{L_2} \Rightarrow \frac{C_1}{C_1 + F} = \frac{L_1}{L} \Rightarrow L_1 = \frac{C_1 \cdot L}{C_1 + F}$$

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

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

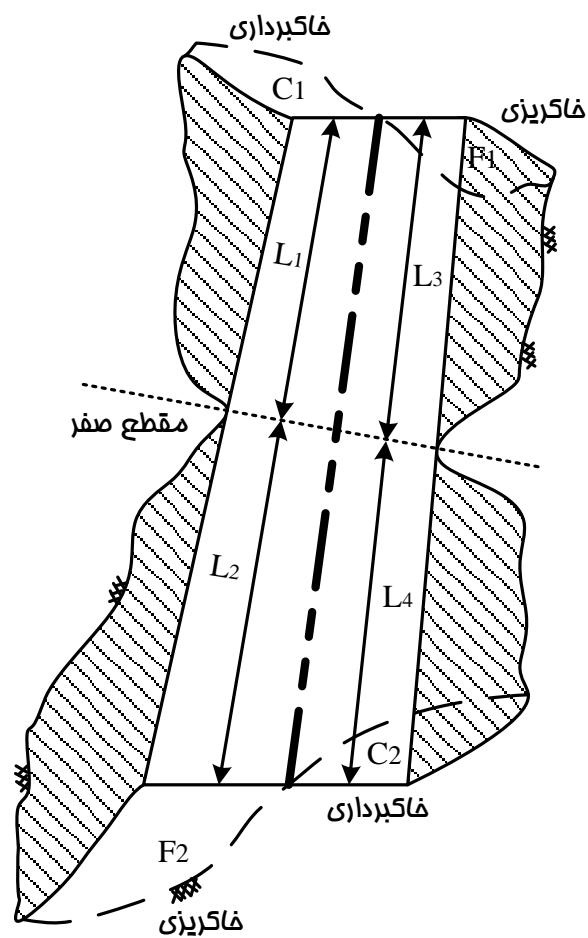
د- حالتی که دو نیمرخ عرضی متوالی هردو به صورت مختلط و متقابل هستند :



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

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

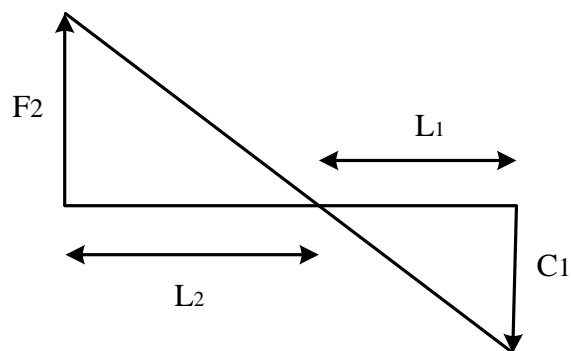
ه- حالتی که دو نیمرخ عرضی متوالی هر دو به صورت مختلط و غیر متقابل هستند :



مطابق حالت قبل:

$$L_1 = \frac{C_1 \cdot L}{C_1 + F}$$

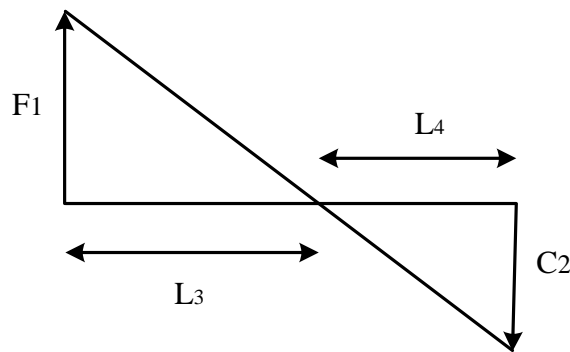
$$L_2 = \frac{F_2 \cdot L}{F_2 + C_1}$$



به همین روش:

$$L_3 = \frac{F_1 \cdot L}{F_1 + C_2}$$

$$L_4 = \frac{C_2 \cdot L}{F_1 + C_2}$$



در نتیجه خواهیم داشت:

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

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

۴-۴- محاسبه حجم کل عملیات خاکی در پروژه :

به منظور محاسبه احجام خاکبرداری و خاکریزی 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 ۴، ۵ و ۳) می توان احجام خاکبرداری و خاکریزی 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 (ستون های 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 مقدار 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.

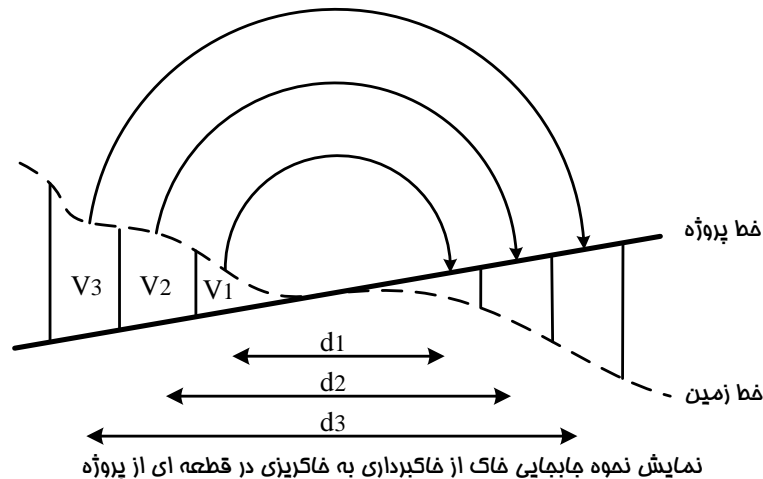
۵-۴- حمل خاک :

همانطور که قبلاً اشاره شد در پروژه های راهسازی نیمرخ های عرضی مختلفی اعم از خاکبرداری و یا خاکریزی وجود دارد و همواره لازم است تا خاک از نقاط مختلفی از پروژه برداشته شده و 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.

۵-۴-۱- عزم حمل و فاصله حمل متوسط :

قطعه ای از پروفیل طولی مسیر را به صورت زیر در نظر بگیرید. ملاحظه می شود 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 به طور کلی حجم V_i به فاصله d_i جابجا شود. حاصل ضرب حجم خاک در فاصله جابجایی آن را از دیدگاه فیزیکی می توان به صورت یک کار مکانیکی در نظر گرفت که اصطلاحاً عزم حمل یا لنگر حمل نامیده می شود. لذا در صورتی که مجموع عزم حمل های جزء را که به آن عزم حمل کل گفته می شود، بر مجموع حجمهای جابجا شده تقسیم کنیم، فاصله حمل متوسط خاک از رابطه زیر به دست می آید :

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

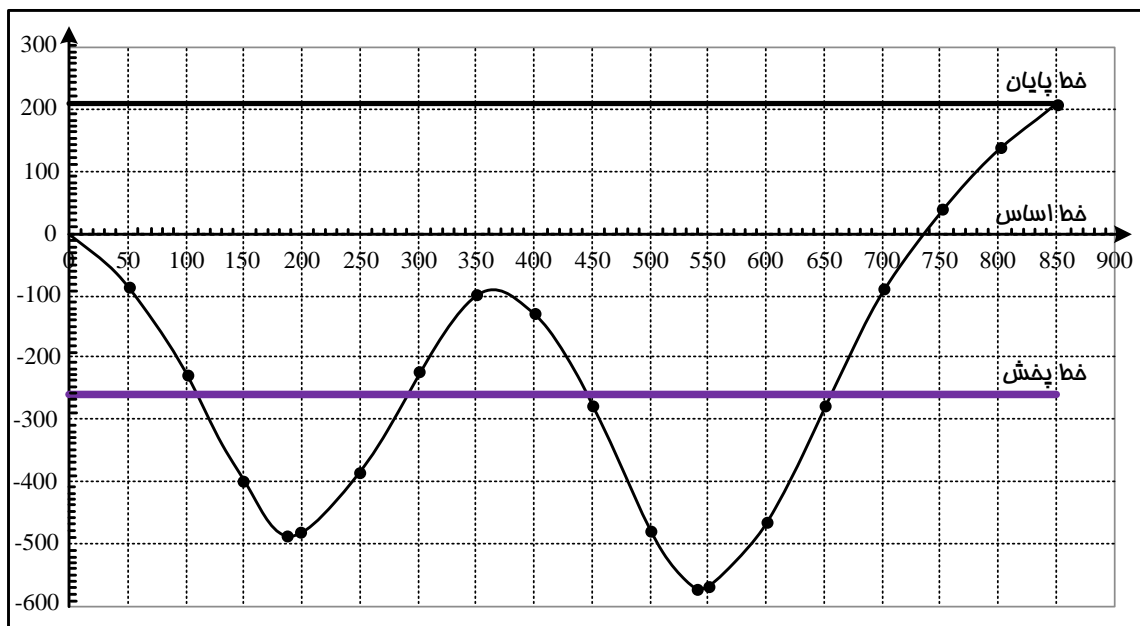


هر چه فاصله حمل متوسط خاک کمتر باشد، هزینه عملیات خاکی پروژه نیز کمتر می شود. بر اساس رابطه فوق تنها یک راه حل برای حداقل نمودن فاصله حمل متوسط وجود دارد و آن کاهش صورت کسر و یا عزم حمل کل می باشد. لازم به یادآوری است که مخرج کسر و یا حجم عملیات خاکی در یک پروژه مقداری ثابت است و تنها با تغییر مسیر راه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

**جدول محاسبات عملیات خاکی در فایل ضمیمه
موجود است...**

۲-۵-۴- منحنی بروکنر :

برای دستیابی به اقتصادی ترین نحوه ی 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 ۱:۲۰۰۰ 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.



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

- ✓ (۱) به محور افقی خط پایه یا خط اساس گفته می شود.
- ✓ (۲) 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.

- ✓ ۳) نقاط ماکزیمم یا مینییم منحنی بروکنر ، نقاطی هستند که 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.
- ✓ ۴) 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.
- ✓ ۵) اگر خط پایان در بالای خط اساس قرار گیرد، اضافه حجم عملیات خاکی پروژه از نوع خاکریزی است و پروژه نیازمند قرضه می باشد.
- ✓ ۶) اگر خط پایان در پایین خط اساس قرار گیرد، اضافه حجم عملیات خاکی پروژه از نوع خاکبرداری است و پروژه نیازمند دپو می باشد.
- ✓ ۷) اگر خط پایان منطبق بر خط اساس قرار گیرد، حجم عملیات خاکبرداری و خاکریزی کل پروژه با هم در تعادل می باشد.
- ✓ ۸) 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.
- ✓ ۹) 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 تواند به عنوان یک خط پخش محسوب شود.
- ✓ ۱۰) 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. همانطور 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 هل 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.

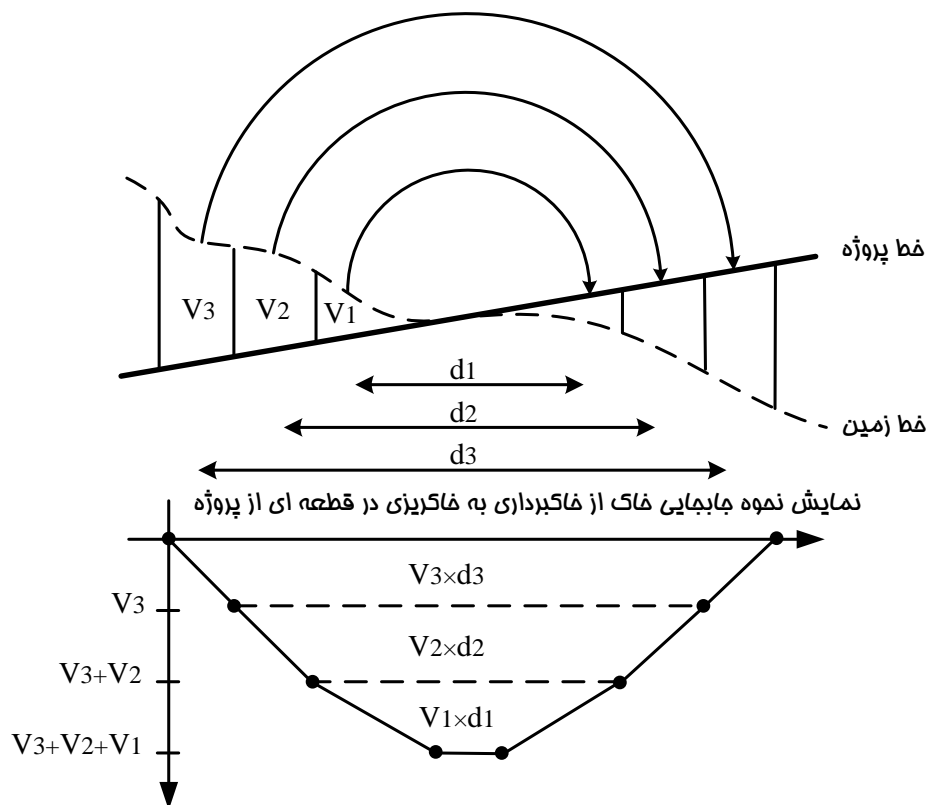
✓ (۱۱) مسلم است که با تغییر خط پخش، مرزهای جابجایی خاک و فاصله حمل متوسط خاک دستخوش تغییر می شوند. از اینرو می توان انتظار داشت که به ازای یک خط پخش بهینه، متوسط فاصله حمل خاک حداقل گردد. در ادامه خواهیم دید که اگر مجموع قاعده سطوح فوقانی خط پخش با مجموع قاعده سطوح تحتانی آن برابر شود، خط پخش مفروض،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

۳-۵-۴- 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:

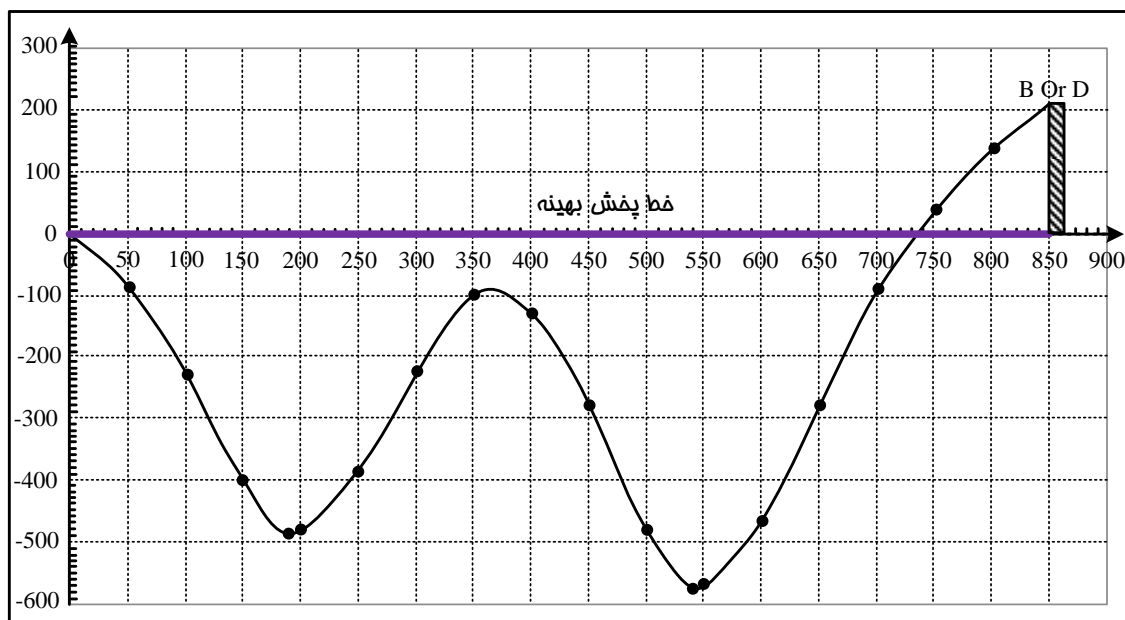
الف) سطح واقع بین منحنی بروکنر و خط پخش مفروض (که در اینجا منطبق بر خط اساس می باشد). برابر با عزم حمل خاک در قطعه مورد نظر می باشد.

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



استفاده از نکات مذکور در فرمول رائه 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 مساحت ها در صورتی حاصل می شود که مجموع قاعده سطوح فوقانی خط پخش با مجموع قاعده سطوح تحتانی خط پخش 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 محل های 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 حالت های زیر مواجه شویم :

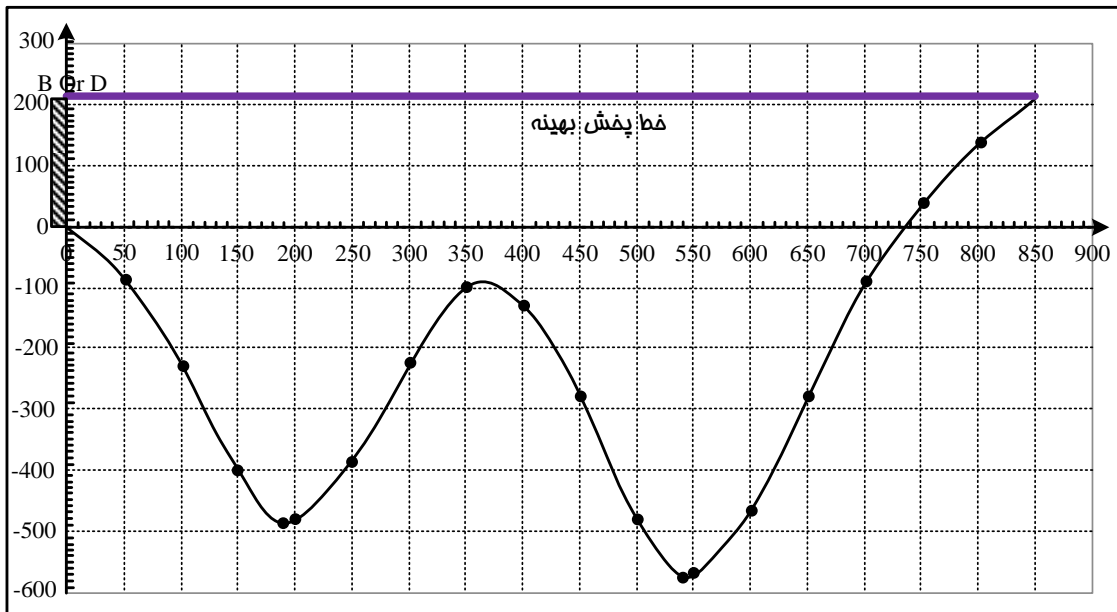
الف (محل قرضه یا دپو در انتهای پروژه واقع شده است؛ این شرایط به معنی آن است که در حدفاصل ابتدا تا انتهای پروژه، تنها یک محل برای تامین کمبود خاک (B) یا ذخیره مازاد آن (D) وجود دارد و آن هم در انتهای مسیر واقع شده است. لذا خط پخشی بهینه خواهد بود که به ازای آن قرضه یا دپوی ابتدای مسیر برابر صفر گردد.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



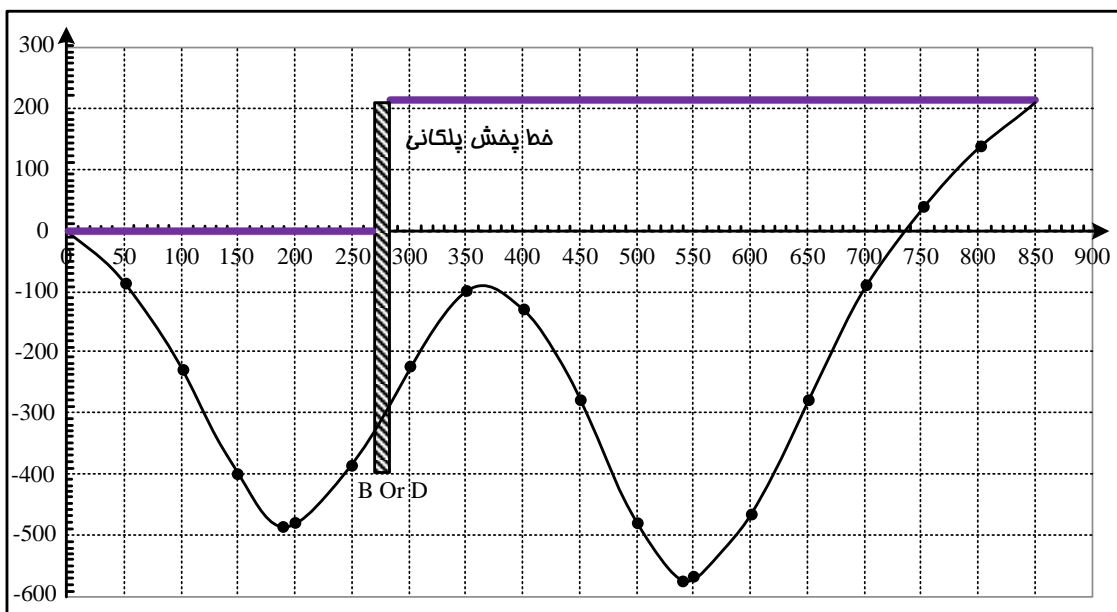
ب (محل قرضه یا دپو در ابتدای پروژه واقع شده است؛ این شرایط به معنی آن است که در حدفاصل ابتدا تا انتهای پروژه، تنها یک محل برای تامین کمبود خاک (B) یا ذخیره مازاد آن (D) وجود دارد و آن هم در

جزوه راهسازی دکتر آذرکیش

ابتدای مسیر واقع شده است. لذا خط پخشی بهینه خواهد بود که به ازای آن قرضه یا دیوی انتهای مسیر برابر صفر گردد. مطابق شکل این خط پخش منطبق بر خط پایان خواهد بود.

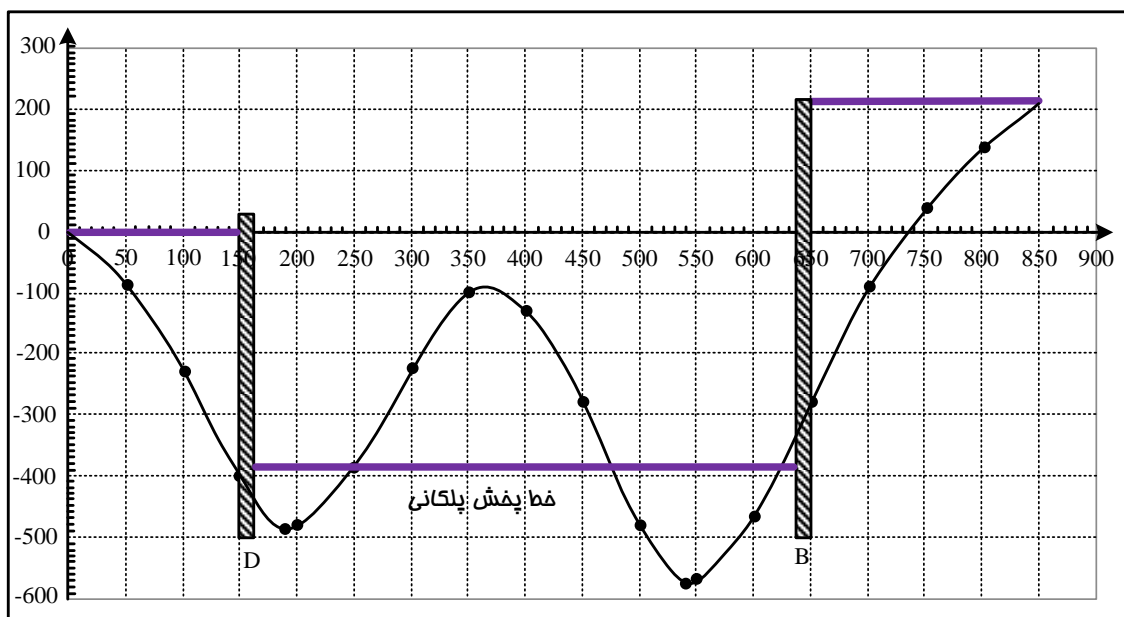
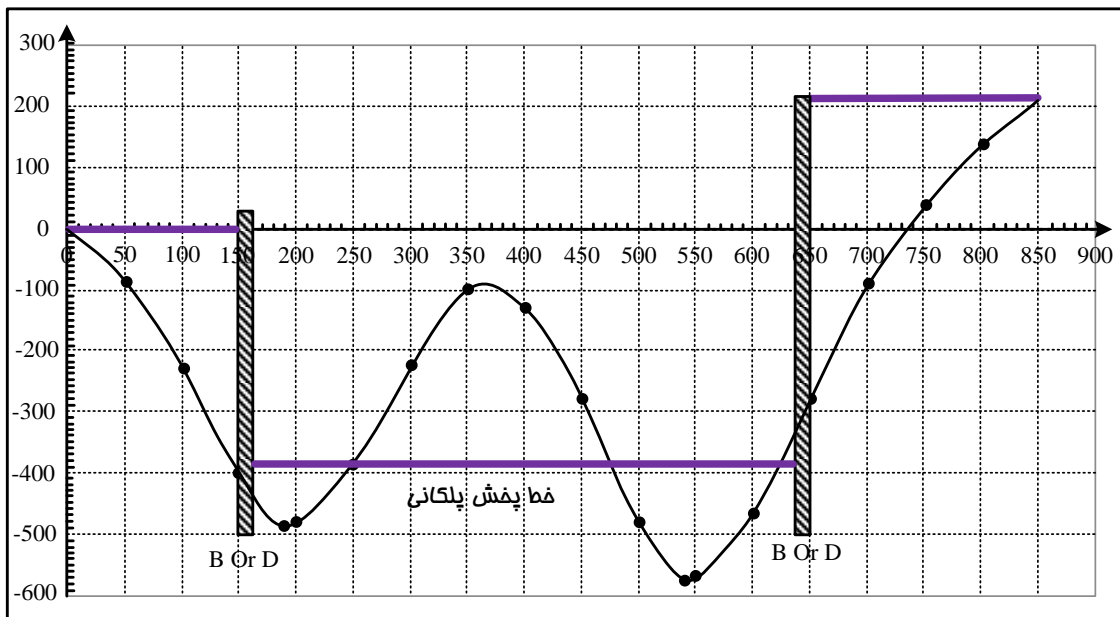


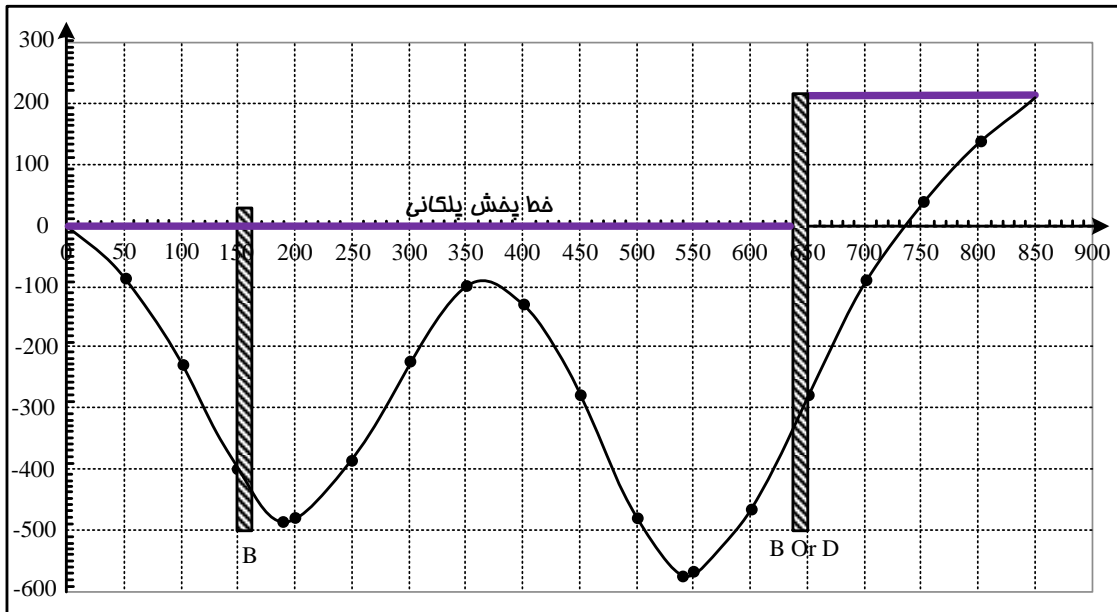
ج (محل قرضه یا دیو در حد فاصل ابتدا و انتهای پروژه واقع شده است؛ این شرایط به معنی آن است که تنها یک محل برای تامین کمبود خاک (B) یا ذخیره مازاد آن (D) در حد فاصل ابتدا و انتهای پروژه وجود دارد. لذا برای قطعه اول، خط پخش بهینه منطبق بر خط اساس و برای قطعه دوم، خط پخش بهینه منطبق بر خط پایان خواهد بود.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



جزوه راهسازی دکتر آذرکیش

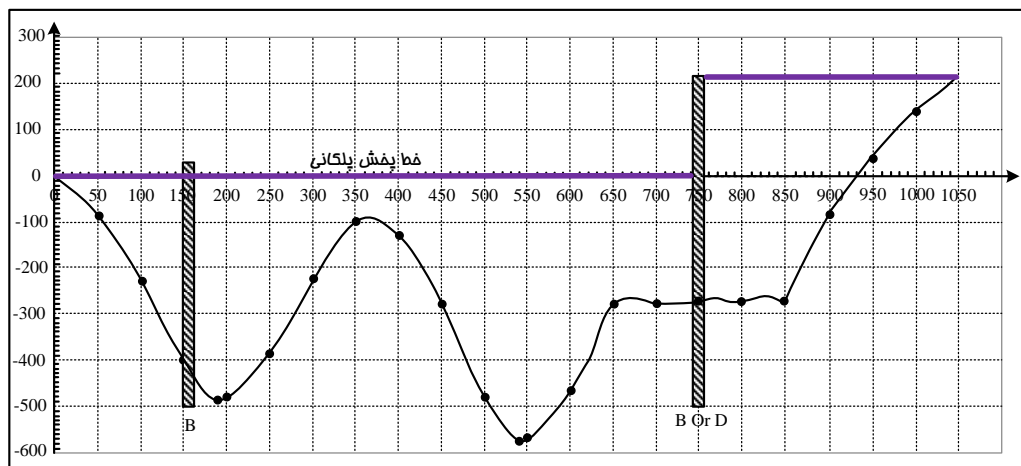
(د) در حد فاصل ابتدا تا انتهای پروژه چند محل قرضه یا دیو واقع شده است؛ این شرایط به معنی آن است که در حدفاصل ابتدا تا انتهای پروژه بیش از یک محل برای تامین کمبود خاک (B) یا ذخیره مازاد آن (D) وجود دارد. در چنین شرایطی خط پخش بهینه قطعه اول منطبق بر خط اساس و خط پخش بهینه قطعه آخر منطبق بر خط پایان و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





۴-۶- اصلاح منحنی بروکنر بر اساس فاصله جانبی محل های قرضه و دیو :

موقعیت واقعی محل های قرضه و دیو 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 دیو یا آمدن از قرضه را به فاصله حمل خاک اضافه می کند. از این رو 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 دیو را به صورت مجازی به کیلومتر از 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 دیوی مورد استفاده در فاصله ۱۰۰ متری از کیلومتر ۶۵۰+۰۰ واقع باشد، منحنی به صورت زیر اصلاح می شود.



فصل پنجم

قوسهای افقی

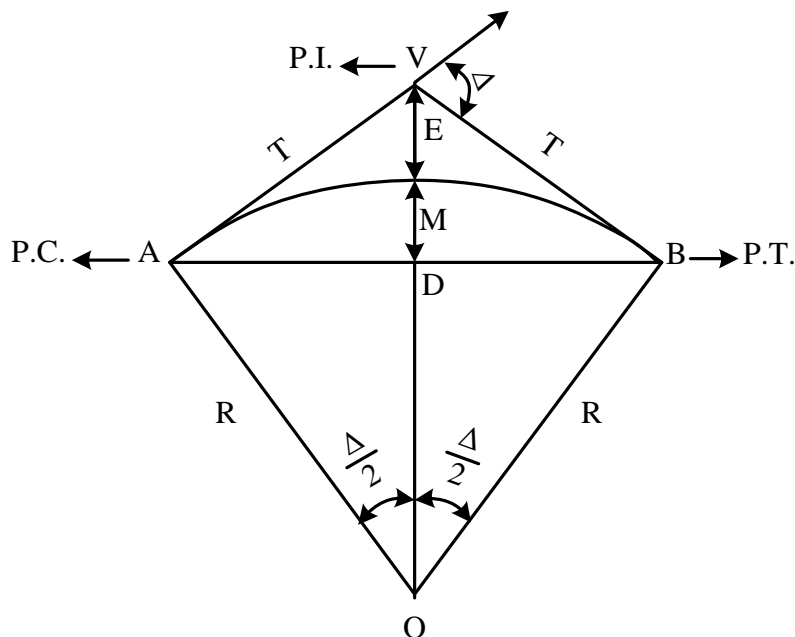
۱-۵- مقدمه :

بر اساس مطالب ارائه شده در فصل مطالعات مسیر ، ملاحظه می شود که واریانت انتخاب شده مسیر شامل یک سری خطوط مستقیم (تانژانت) می باشد که در نقاطی دارای شکستگی شده اند . تامین راحتی رفت و آمد وسایل نقلیه مهندسی طراح را بر آن می دارد تا یک مسیر منحنی را جایگزین قسمتی از طرفین نقطه تقاطع تانژانت ها یا محل شکستگی (سومه) نماید . این مسیر منحنی که برای اتصال راستاهای متقاطع مسیر مورد استفاده قرار می گیرد ، قوس افقی نامیده می شود .

قوسهای افقی دارای انواع مختلفی هستند . از مهمترین و کاربردی ترین انواع این قوسها می توان به قوسهای دایره ای ساده ، دایره ای مرکب ، دایره ای معکوس ، سربانتین ، شبدری و منحنی های اتصال (کلوتئید) اشاره نمود .

۲-۵- قوس دایره ای ساده :

قوسی است که توسط یک کمان دایره ای شکل دو قسمت مستقیم یک جاده را به یکدیگر متصل می کند .



با در نظر گرفتن شکل فوق ، تعاریف و اصطلاحات قوس دایره ای ساده به صورت ذیل بیان می شوند :

(P.I=Point of Intersection , S=somet , V=Vertex)

۱- راس قوس یا سومه :

محل تقاطع دو قسمت مستقیم مسیر یا محل تقلاقی امتداد مماسها را راس قوس می نامند .

(Δ= Intersection Angle)

۲- زاویه تقاطع :

زاویه خارجی تشکیل شده از تقاطع دو قسمت مستقیم را زاویه تقاطع یا زاویه قوس می نامند . این زاویه مساوی زاویه مرکزی روبروی قوس AB می باشد.

۳- نقطه شروع قوس و نقطه پایان قوس : (P.C=Point of Curvature , P.T=Point of Tangency)
از چپ به راست نقطه A یا P.C نقطه شروع و نقطه B یا P.T نقطه پایان قوس نامیده می شود.

۴- طول مماس یا طول تانژانت : (T=Tangent Distance)

فاصله راس تا قوس 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:

$$T_1 = T_2 = Rtg \frac{\Delta}{2}$$

۵- 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 :

$$L = R.\Delta \quad (\text{که در آن } \Delta \text{ بر حسب رادیان است})$$

$$L = \frac{\pi}{180} R.\Delta \quad (\text{که در آن } \Delta \text{ بر حسب درجه است})$$

۶- 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 :

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

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

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

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

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

۸- فاصله میانی یا متوسط : (M=Middle Ordinate)

فاصله میان وتر بزرگ و وسط قوس را فاصله میانی یا متوسط می نامند و مقدار آن با ملاحظه مثلث قائم الزاویه به صورت زیر محاسبه می شود :

$$\cos \frac{\Delta}{2} = \frac{OD}{OA} = \frac{R-M}{R} \Rightarrow M = R(1 - \cos \frac{\Delta}{2}) = R \text{vers} \frac{\Delta}{2}$$

۹- درجه قوس : (D=Degree Of Curve)

زاویه مرکزی روبروی قوس یا وتر ۱۰ متری را درجه قوس می نامند .

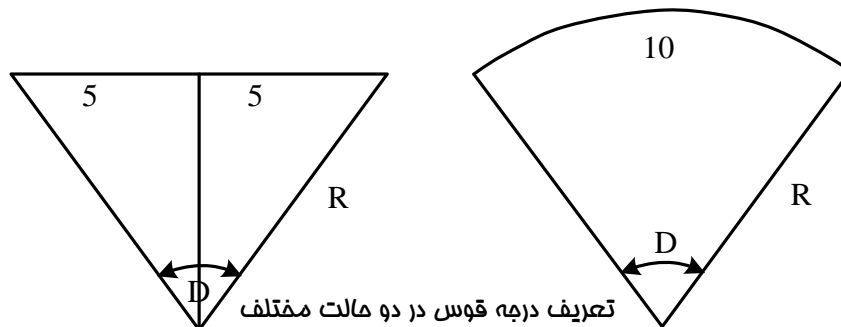
نکته : برای مشخص نمودن زاویه مرکزی می توان طول قوس یا دور را برابر ۱۰ ، ۲۰ ، ۳۰ یا ۱۰۰ واحد انتخاب نمود . محاسبات این جزوه بر مبنای طول قوس یا وتر معادل ۱۰ متر انجام می گردد . لیکن در برخی از منابع این طول برابر ۳۰ یا ۱۰۰ متر و در برخی دیگر ۳۰ یا ۱۰۰ فوت در نظر گرفته شده است . واحد این طول با توجه به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

$$R * D = 10m \Rightarrow D = \frac{10}{R} \quad (D \text{ بر حسب رادیان ، } R \text{ بر حسب متر})$$

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

در روابط بالا درجه قوس را بر حسب قوس روبرو تعیین می کنند و ملاحظه می گردد که شعاع قوس نسبت عکس دارد . اما اگر درجه قوس بر حسب وتر روبرو تعریف شود ، خواهیم داشت :

$$\sin \frac{d}{2} = \frac{5}{R} \Rightarrow R = \frac{5}{\sin \frac{D}{2}} \Rightarrow D = 2 \arcsin \frac{5}{R}$$



نکته درجه قوس میزان انحنا یا تیزی قوس را مشخص می کند و هر چه D کمتر باشد ، شعاع قوس بزرگتر بوده و قوس ملایم تر می باشد .

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

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

(۱) اگر درجه قوس بر حسب طول قوس روبرو تعریف شده باشد خواهیم داشت :

$$I - D = \frac{10}{R} \rightarrow R = \frac{10}{D}$$

$$II - L = R \cdot \Delta \xrightarrow{I} L = \frac{10}{D} \cdot \Delta \rightarrow \Delta = \frac{L \cdot D}{10}$$

$$L_c = 2R \sin \frac{\Delta}{2} \xrightarrow{II} L_c = 2R \sin \left(\frac{L \cdot D}{20} \right) \rightarrow \frac{L_c}{2R} = \sin \left(\frac{L \cdot D}{20} \right)$$

$$\rightarrow \frac{L \cdot D}{20} = \text{ArcSin} \left(\frac{L_c}{2R} \right) \rightarrow L = \frac{20}{D} \text{ArcSin} \left(\frac{L_c}{2R} \right)$$

$$\xrightarrow{I} L = \frac{20}{D} \text{Arc sin} \left(\frac{L_c \cdot D}{20} \right)$$

D بر حسب رادیان و L_c بر حسب متر

$$L = \frac{20}{D} \text{Arc sin} \left(\frac{L_c \cdot D}{2 * 572 / 96} \right)$$

D بر حسب درجه و L_c بر حسب متر

(۲) اگر درجه قوس بر حسب وتر روبرو تعریف شده باشد خواهیم داشت :

$$III - 2R \sin \frac{D}{2} = 10$$

$$IV - 2R \sin \frac{\Delta}{2} = L_c$$

از تقسیم روابط III و IV داریم:

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

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

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

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

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

$$L = 10 \left(\frac{\Delta}{D} \right) \quad \begin{cases} \Delta = 20^\circ 24' \\ D = 1^\circ 40' \end{cases} \Rightarrow L = 10 \times \frac{20.4}{1.666} = 122.4m$$

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

$$R = \frac{572.96}{D(\text{deg})}, \quad R = \frac{10}{D(\text{rad})}, \quad \{ D = 4^\circ 30' \} \Rightarrow R = \frac{572.96}{4.5} = 127.32m$$

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

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

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

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

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

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

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

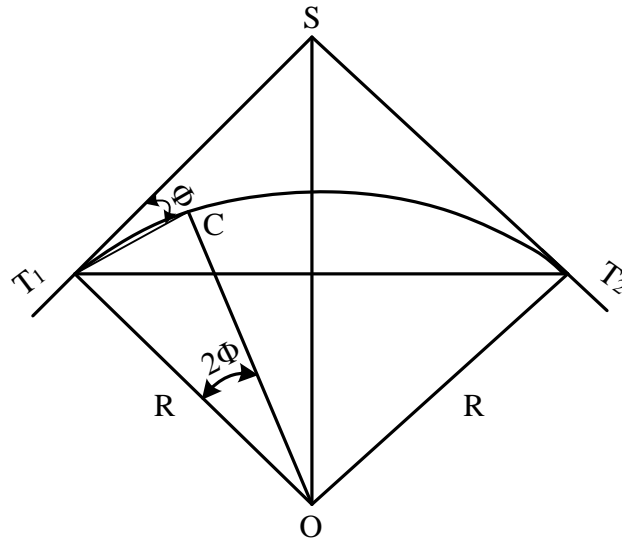
نتیجه گیری: هنگامی که دو جزء از یک قوس دایره ای معلوم باشد، سایر جزء قوس با استفاده از روابط هندسی قابل محاسبه است.

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

زاویه انحراف یا زاویه ظلی، زاویه ای است که بین مماس ST_1 با وتر T_1C (نقطه ای از قوس می باشد) قرار دارد که معمولاً با ϕ نمایش داده می شود. مطابق شکل اندازه این زاویه نصف زاویه مرکزی روبری کمان

T_1C می باشد، لذا خواهیم داشت:

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



$$\ell_1 = T_1C = 2R \sin \varphi \quad \rightarrow \quad \varphi = \frac{\ell_1}{2R} \quad \ell_2 = \overline{T_1C} = 2R \sin \varphi$$

در عمل نقطه توسط زاویه و طول وتر روی زمین مشخص می گردد اما مشاهده می شود که تفاوت بین قوس و وتر دقت پیاده کردن قوس را تحت شعاع قرار می دهد. برای محاسبه این دقت به روش زیر عمل می شود:

$$e = \frac{\ell_1 - \ell_2}{\ell_1} \quad \text{به علت کوچک بودن } \varphi \text{ از جمله } \frac{\varphi^5}{5!} \text{ به بعد قابل اغماض است.}$$

$$\ell_2 = 2R \sin \varphi = 2R \left(\varphi - \frac{\varphi^3}{3!} + \frac{\varphi^5}{5!} - \dots \right)$$

$$e = \frac{2R\varphi - 2R \left(\varphi - \frac{\varphi^3}{3!} \right)}{2R\varphi} = \frac{R\varphi^3}{2R\varphi \times 3} \xrightarrow{\varphi = \frac{\ell_1}{2R}} e = \frac{\ell_1^2}{24R^2}$$

در نتیجه معلوم می شود که این دقت بستگی به R و L دارد و چنانچه $\ell_1 = \frac{R}{10}$ انتخاب شود. دقت برابر

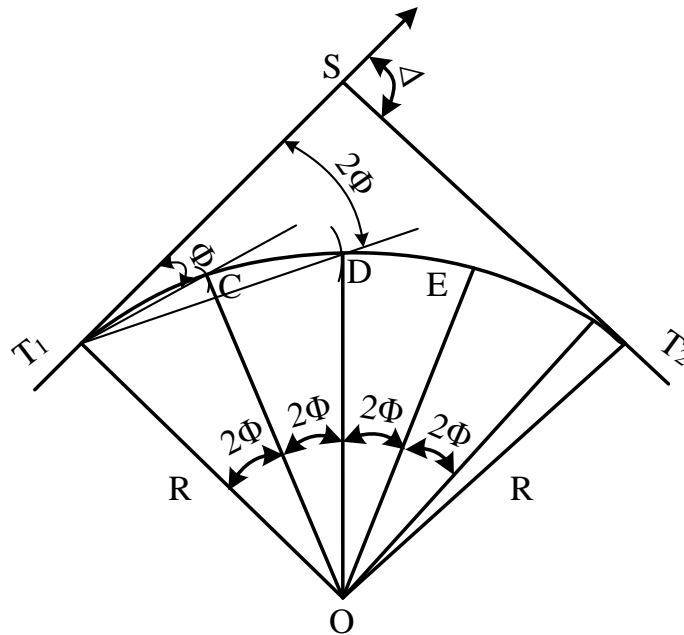
$$\frac{1}{2400} \text{ و اگر } \ell_1 = \frac{R}{20} \text{ در نظر گرفته شود، دقت برابر } \frac{1}{9600} \text{ خواهد بود.}$$

بنابراین با انتخاب طول کمان مناسب می توان دقت مورد نظر را رعایت نمود، لیکن در عمل بهتر است که

طول کمان $\frac{1}{10}$ تا $\frac{1}{20}$ شعاع انتخاب شود و در عین حال برای پیاده کردن قوس های با شعاع های بزرگ در

مناطق کم عارضه، طول کمان بیشتر از ۵۰ متر انتخاب نشود.

حال به معلوم بودن طول کمان $(\ell_1 = T_1C)$ مقدار زاویه ظلّی 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 را پیاده نمود. در این روش دوربین مستقر در T_1 به سمت نقطه سومه نشانه روی و صفر صفر می گردد. سپس در جهت عقربه های ساعت به اندازه زاویه ظلّی ϕ یا نصف زاویه مرکزی روبری کمان T_1C چرخانده می شود تا امتداد وتر T_1C حاصل گردد. برای تعیین موقعیت نقطه C بر روی این امتداد، یک انتهای نوار به طول معین $l_1 = \widehat{T_1C}$ در نقطه T_1 ثابت می شود و در انتهای دیگر آن طوری جا به جا می شود تا امتداد T_1C را قطع کند. به عبارت دیگر نقطه C از تلاقی امتداد وتر T_1C با دایره ای به مرکز T_1 و شعاع L_1 حاصل می شود.



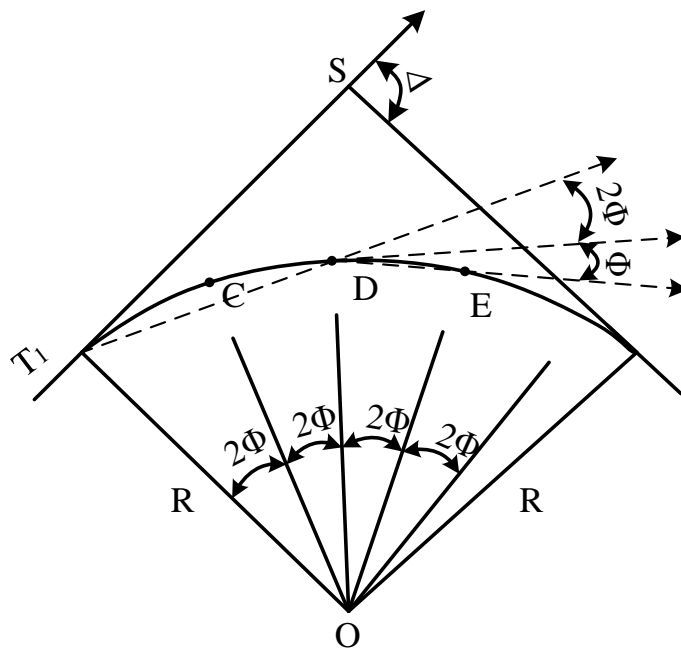
به این ترتیب در صورتی که از نقطه T_1 به تمام نقاط واقع بر روی قوس دید داشته باشیم، با تقسیم طول قوس کمان های یک اندازه (طول L_1)، زوایای مرکزی روبری این کمانها محاسبه می شود و برای ردیابی هر نقطه دیگر (به عنوان مثال D) می توان به زاویه قبلی دوربین نصف زاویه مرکزی روبری کمان مربوطه (کمان CD) را افزود. سپس موقعیت هر نقطه از تلاقی امتداد بدست آمده با دایره ای به مرکز نقطه قبل (به عنوان مثال C و شعاع L_1 بدست می آید.

لازم به یادآوری است که در برخی موارد تقسیم طول قوس به کمانهای یک اندازه میسر نبوده و مطابق شکل روبری آخرین کمان قوس کوچکتر از سایر کمانها می باشد. لذا پیاده کردن آخرین نقطه قوس، به زاویه قبلی

دوربین ، نصف زاویه مرکزی روبروی آخرین کمان افزوده می شود و دایره آخر به مرکز نقطه ماقبل آخر و شعاع برابر کمان ET_2 زده می شود.

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

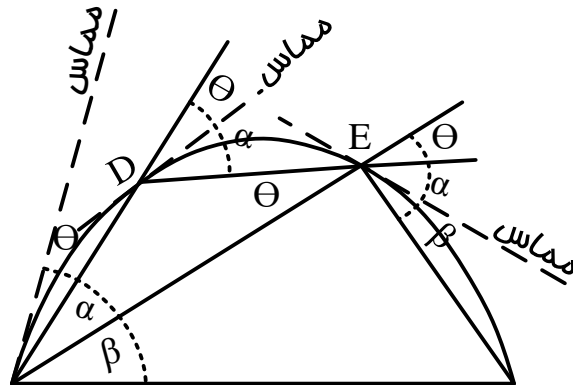
در برخی موارد ممکن است تمام نقاط قوس از نقطه T_1 قابل رویت نباشد. بنابراین لازم است تا برای پیاده کردن قوس پس از تمام نقاط قابل رویت از T_1 ، بقیه نقاط را از T_2 و یا آخرین نقطه پیاده شده از T_1 (مثلاً D) پیاده نمود. برای این منظور پس از استقرار دوربین در نقطه معلوم D و صفر صفر کردن آن به سمت T_1 ، تلسکوپ دوربین ۱۸۰ درجه دوران داده می شود و به این ترتیب در راستای امتداد T_1D قرار می گیرد. حال اگر در این وضعیت زاویه انحراف مربوط به امتداد نقطه D یا 2φ را به دوربین معرفی کنیم، امتداد نشانه روی دوربین مماس بر قوس خواهد بود و بقیه نقاط با اضافه کردن زاویه انحراف آنها به زاویه دوربین پیاده می شوند.



- ۱- امتداد دوربین پس از دوران 180° درجه ای تلسکوپ صفر صفر شده به سمت T_1
- ۲- امتداد دوربین پس از معرفی زاویه 2φ به امتداد قبل این امتداد بر قوس مماس می باشد.
- ۳- امتداد دوربین پس از افزودن زاویه انحراف مربوط به نقطه E بر زاویه قبلی دوربین

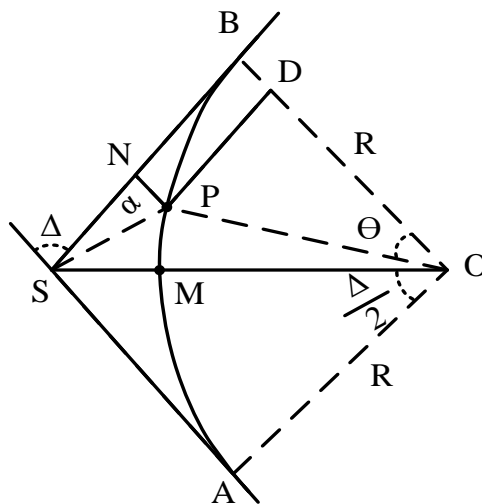
در حالت کلی تر می توان شکل فوق را به صورت زیر نشان داد:

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



۵-۵- طراحی قوس برای عبور از نقطه ای ثابت و مشخص :

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



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

برای تعیین شعاع قوس ابتدا زاویه کمکی θ را مطابق شکل در نظر می گیریم در مثلث SPO خواهیم داشت :

$$POS = S_1 = 180 - \Delta - \alpha - \left(90 - \frac{\Delta}{2}\right) = 90 - \left(\alpha + \frac{\Delta}{2}\right)$$

$$PSO = O_1 = \frac{\Delta}{2} - \theta$$

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

طبق قانون سینوسها خواهیم داشت :

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

$$\frac{\cos(\alpha + \theta)}{\cos\left(\alpha + \frac{\Delta}{2}\right)} = \frac{\frac{R}{\cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)}}{R} \Rightarrow \cos(\alpha + \theta) = \frac{\cos\left(\alpha + \frac{\Delta}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)} \quad \text{و یا :}$$

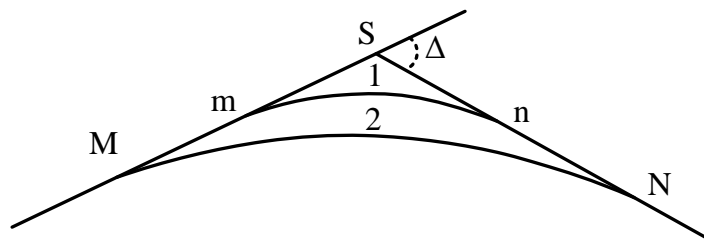
مقدار زاویه کمکی θ با حل معادله فوق بدست می آید. حال مطابق شکل برای محاسبه شعاع R خواهیم داشت :

$$PN = Y = OB - OD = R - R\cos\theta \Rightarrow Y = R(1 - \cos\theta) \Rightarrow R = \frac{Y}{1 - \cos\theta}$$

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

جهت بالا بردن 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.

موضوع شکل زیر را در نظر بگیرید:



مشخصات قوس با درجه بزرگتر: mn, d, r, t, l

مشخصات قوس با درجه کوچکتر: MN, D, R, T, L

ر این وضعیت زاویه Δ میان دو قسمت مستقیم مسیر مشخص است و می خواهیم محاسبه کنیم که جایگزینی قوس با درجه D به جای درجه d ، چقدر طول مسیر را کاهش می دهد. برای این منظور مطابق شکل خواهیم داشت:

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

$$\begin{aligned} \text{اختلاف طول دو مسیر} &= \left[2(T - t) + 10 \frac{\Delta}{d} \right] - 10 \frac{\Delta}{D} \\ &= \left[2 \left(R \tan \frac{\Delta}{2} - r \tan \frac{\Delta}{2} \right) + 10 \frac{\Delta}{d} \right] - 10 \frac{\Delta}{D} \\ &= \left[2 \tan \frac{\Delta}{2} \left(\frac{572.96}{D} - \frac{572.96}{d} \right) \right] + \left[10 \left(\frac{\Delta}{d} \right) - 10 \left(\frac{\Delta}{D} \right) \right] \\ &= \left[2 \times 572.96 \tan \frac{\Delta}{2} \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{d} \right) \right] - 10 \Delta \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{d} \right) \\ &= \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{d} \right) \times \left[2 \times 572.96 \tan \frac{\Delta}{2} - 10 \Delta \right] \end{aligned}$$

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

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

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

۷-۵- تعیین حداقل شعاع قوسهای دایره ای ساده :

حداقل شعاع یک قوس دایره ای ساده را می توان از رابطه روبرو محاسبه کرد :

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

که در آن :

R_{\min} : حداقل شعاع قوس بر حسب متر

V : سرعت طرح بر حسب کیلومتر بر ساعت

e : مقدار دور یا بر بلندی در قوس

f : ضریب اصطکاک لاستیک و سطح جاده

الف - تعیین سرعت طرح (V) :

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

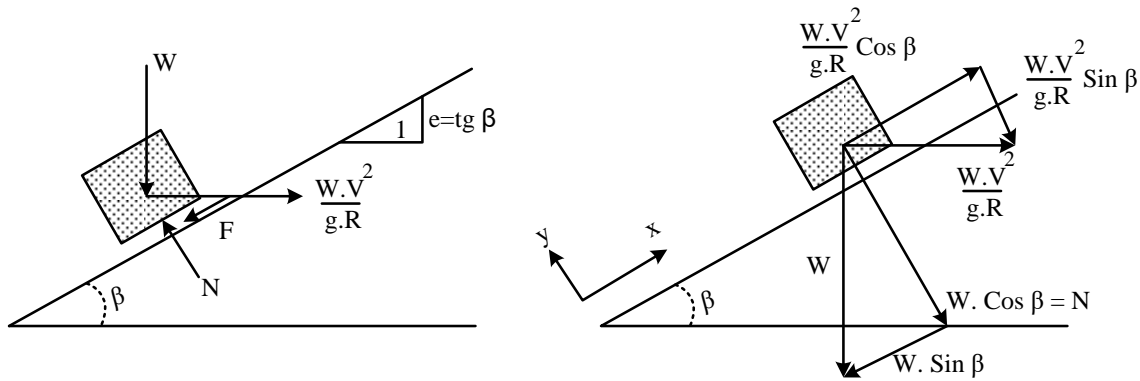
- طبقه بندی راه
- درجه بندی راه
- ملاحظات اقتصادی
- عوامل محیطی
- نوع و حجم ترافیک
- منظر آرای و ...

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

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

ب - تعیین دور یا بر بلندی در قوس :

وسیله نقلیه به هنگام ورود به قوس تحت تاثیر یک نیروی گریز از مرکز قرار می گیرد. برای خنثی نمودن این نیرو که سبب رانده شده وسیله نقلیه به خارج قوس می گردد، 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 می توان در قوس بین نیروهای اصطکاک جانبی چرخ و روسازی، مولفه وزن خودرو در امتداد بر بلندی و نیروی گریز از مرکز تعادل ایجاد نمود.



براساس شکل داریم :

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

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

$$F = f \times n = f W \cos \beta$$

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

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

$$\Rightarrow \tan \beta + f = \frac{V^2}{g \cdot R} \cos \beta \quad \text{تقسیم بر}$$

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

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

خواهد شد. ایجاد شیب عرضی یا بر بلندی در قوسهای جاده، اگرچه ایمنی بیشتری را برای عبور وسیله نقلیه

ای که با سرعت طرح از قوس عبور می کند، ایجاد می نماید، اما باید توجه داشت که همیشه وسایل نقلیه در

هنگام عبور از قوس سرعت بالایی را ندارند. در هنگام شلوغی 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 بر بلندی ممکن است باعث سرخوردن وسیله نقلیه به طرف داخل قوس گردد. از این رو حداکثر بر

بلندی در قوس باید محدود شود.

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

۱- راه های دو خطه و رابطهایی که در معرض بارش برف و یخبندان نیستند. $e_{max}=12\%$

۲- آزاد راه ها و بزرگ راه ها $e_{max}=10\%$

۳- مناطق با ارتفاع بیش از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا و شرایط برف و یخبندان $e_{max}=8\%$

۴- در مناطق حومه شهری $e_{max}=6\%$

آیین نامه AASHTO نیز مقادیر حداکثر بر بلندی را برای مناطق گرمسیر ۱۲ درصد، مناطق معتدل رو به گرمی ۱۰ درصد، مناطق معتدل رو به سردی ۸ درصد و در مناطق سردسیر ۶ 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 براساس آئین نامه طرح هندسی راه ها، مقادیر مجاز آن براساس سرعت طرح به صورت زیر می باشد.

سرعت طرح (km/h) ۱۳۰ ۱۲۰ ۱۱۰ ۱۰۰ ۹۰ ۷۰-۸۰ ۶۰ ۵۰ ۳۰-۴۰

ضریب اصطکاک جانبی (f) ۰/۱۷ ۰/۱۶ ۰/۱۵ ۰/۱۴ ۰/۱۳ ۰/۱۲ ۰/۱۱ ۰/۰۹ ۰/۰۸

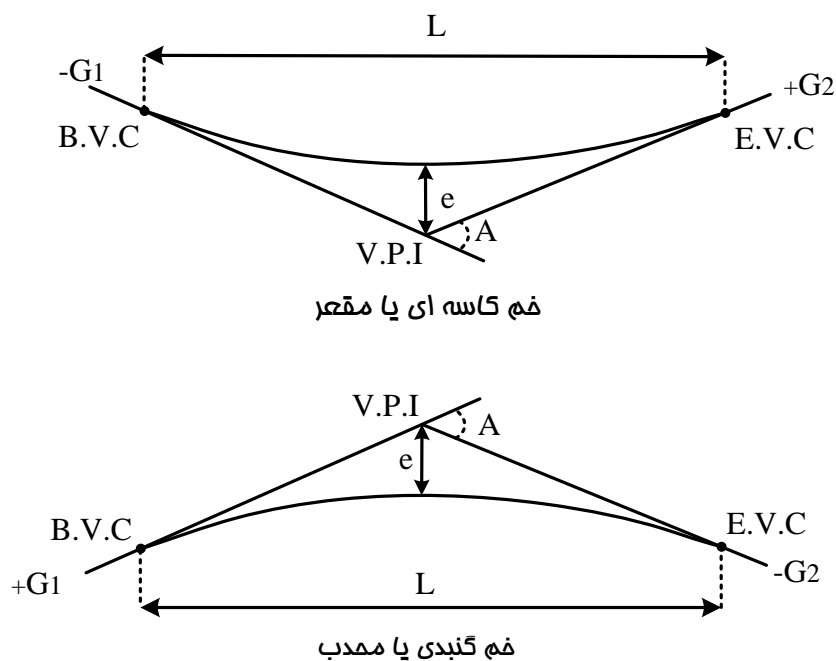
فصل ششم

قوس های قائم

۱-۶- مقدمه :

قوس های قائم در پروفیل طولی مسیر وظیفه اتصال خطوط شکسته پروژه را به یکدیگر ایفا می کنند و به عبارتی قوس هایی 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 قوس ها سبب ایمنی و راحتی حرکت و همچنین ایجاد ظاهری اساسی برای مسیر می گردند . بر اساس آیین نامه فقط در مراحل که جمع جبری شیب های طرفین کمتر از ۵/۰ درصد باشد وجود قوس قائم ضروری نیست و برای قوس های قائم بیشتر از قوس های سهموی استفاده می شود .

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



A : قدر مطلق تفاضل جبری دو شیب

L : طول خم

G_2 : شیب دوم (درصد)

G_1 : شیب اول (درصد)

۶-۲- تعیین طول خم گنبدی :

طول این خم باید به اندازه ای باشد که حداقل فاصله دید توقف برای راننده وسیله نقلیه فراهم شود . تامین فاصله دید در خم گنبدی با توجه به رابطه $L \geq K.A$ صورت می پذیرد که در آن :

L : طول خم گنبدی بر حسب متر

K : ضریبی است تابع سرعت طرح که بر اساس آیین نامه طرح هندسی راه ها از جدول (۶-۱) به دست می آید. این ضریب بر حسب 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 مقادیر K برای خم گنبدی

۶-۳- تعیین طول خم کاسه ای :

خم کاسه ای در روز به علت وجود روشنایی کافی دید راننده را محدود نمی کند ، اما در تاریکی فاصله ای که توسط نور چراغ های وسایل نقلیه در این خم روشن می شود محدود است، حداقل طول خم کاسه ای از رابطه $L \geq K.A$ حاصل می شود .

L : طول خم کاسه ای بر حسب متر

K : ضریبی است تابع سرعت طرح و وضعیت روشنایی راه که بر اساس آیین 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/h)	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 کاسه ای

۶-۴- اجزا ، روابط و نحوه ی پیاده کردن قوس های قائم بر روی پروفیل طولی

پارامتر A $A = |G_2 - G_1|$

طول قوس $L \geq k.A$

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

کیلومتر شروع قوس قائم $Km (B.V.C) = Km (V.P.I) - L/2$

کیلومتر پایان قوس قائم $Km (E.V.C) = Km (V.P.I) + L/2$

ارتفاع نقطه تلاقی دو شیب $H (V.P.I)$

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

ارتفاع نقطه پایان قوس قائم $H (E.V.C) = H (V.P.I) + (G_1 \times L/2)$

نکته: شیب G در سربالایی مثبت و در سر پایینی منفی می باشد.

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

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

S : فاصله مورد نظر بین دو ایستگاه متوالی

کیلومتر ایستگاه n $km (n.V.C) = km (B.V.C) + \underbrace{(n.S)}_X$

ارتفاع ایستگاه n روی مماس $H(n.V.C) = H(B.V.C) + G_1 \cdot \underbrace{(n.S)}_X$

اختلاف ارتفاع ایستگاه روی مماس و سهمی $Y = \left(\frac{X}{L}\right)^2 \times 4e$

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

$y = H(n.V.C) \pm Y$ = 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:

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

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

$$A = |G_2 - G_1| = |6.27 - 2.47| = 3.8 > 0.5$$

$$L \geq K \cdot A \xrightarrow[\text{قوس کاسه ای}]{\text{سرعت } 110 \text{ Km/h}} K = 54$$

$$L_{\min} = K \cdot A = 54 \times 3.8 = 205.2 \xrightarrow{\text{انتخاب}} L = 270\text{m}$$

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

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

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

$$H (\text{V.P.I}) = 1587.8$$

$$H (\text{B.V.C}) = 1587.8 - (0.0247 \times \frac{270}{2}) = 1584.46$$

$$H (\text{E.V.C}) = 1587.8 + (0.0627 \times \frac{270}{2}) = 1596.26$$

$$e = \frac{A \cdot L}{800} = \frac{|6.27 - 2.47| \times 270}{800} = 1.28$$

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

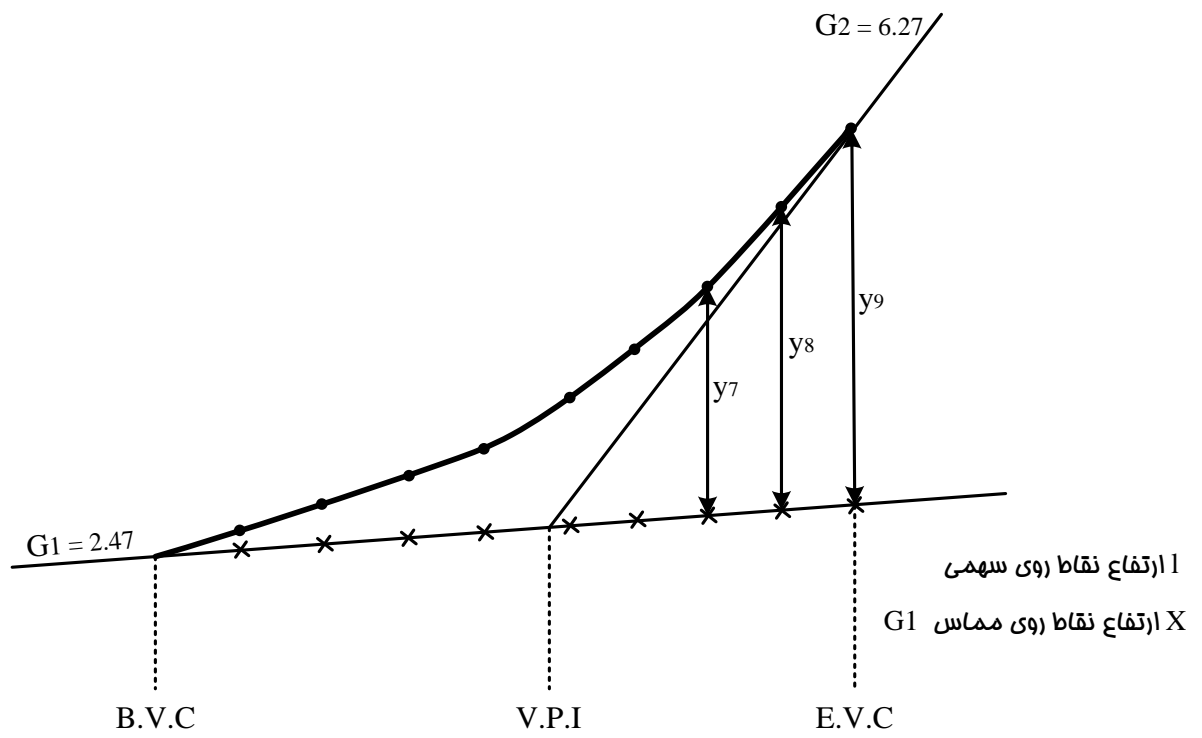
$$Y = \left(\frac{X}{L}\right)^2 \times 4e = \frac{X^2 \times 4 \times 1.28}{270^2} = 7.02 \times 10^{-5} X^2$$

جزوه راهسازی دکتر آذرکیش

کیلومتر و ارتفاع هر ایستگاه مطابق جدول پیوست خواهد بود .

کیلومتر ایستگاه	فاصله ایستگاه از نقطه شروع قوس (X)	ارتفاع ایستگاه روی مماس X $G_1 + 1584/46$	اختلاف ارتفاع مماس و سهمی $X^2 / 0.000702$	ارتفاع ایستگاه روی سهمی $H + Y$
447+00	0	1584/46	0	1584/46
507+00	30	1585/2	0/06318	1585/26
527+00	60	1585/94	0/2527	1586/19
567+00	90	1586/68	0/5686	1587/24
597+00	120	1587/42	1/011	1588/43
627+00	150	1588/16	1/5795	1589/73
657+00	180	1588/9	2/2745	1591/17
687+00	210	1589/64	3/0958	1592/73
717+00	240	1590/39	4/043	1594/43
747+00	270	1591/13	5/117	1596/25

جدول نتایج قوس قائم شماره (۲)



فصل هفتم

قوس های اتصال

(قوس های پیوندی یا ترانزیت)

Transition curves

۷-۱- کلیاتی در مورد قوس های اتصال :

همانطور که قبلا اشاره شد ، پلان مسیر راه تشکیل شده است از یک سری راستاهای مستقیم که در نقاطی تخت عنوان سومه دارای شکستگی هستند. تامین ایمنی و راحتی حرکت وسایل نقلیه ایجاب می نماید تا قسمت هایی 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 قسمت های مسیر راه ($R=0$) میزان دور برابر

صفر بوده و در داخل قوس به شعاع R ، دور دارای مقدار معین e می باشد . بنابراین در تنظیم سطح جاده در محل تماس قسمت مستقیم با ابتدا و انتهای قوس ، به علت پلکانی شدن آن ، با مشکل مواجه می شود .

اولین راهکار پیشنهاد شده برای حل این مشکل ، افزایش تدریجی شیب عرضی راه در طول مشخصی از مسیر مستقیم بود ، به نحوی که در ابتدای قوس دایره ای ، شیب عرضی به مقدار معین e می رسد و بعد در طول قوس میزان آن ثابت می ماند و مجددا در انتهای قوس ، شیب عرضی در همان طول معین اولیه به تدریج از e به صفر کاهش داده می شود . آیین نامه های آن زمان بیان می نمود که طول مشخص تامین دور (یا شیب عرضی در قوس) باید تماما بر روی قسمت های مستقیم قبل و بعد از قوس واقع گردد . این مسئله تعادل عرضی وسایل نقلیه را دچار اختلال می کرد ، زیرا در قسمت های مستقیم که جاده نیاز به 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 به عبارت دیگر هرچه میزان انحنای قوس ($\frac{1}{R}$) بیشتر شود ، میزان دور نیز بیشتر خواهد شد . با توجه به این

خصوصیت ، ایده ی استفاده از منحنی های با انحنای تدریجی (جهت اعمال تدریجی دور از صفر به e) به جای قسمت های مستقیم ، قوت گرفت . به این ترتیب منحنی هایی مورد استفاده قرار گرفت که انحنای آن ها در

نقطه ی تماس با راستای مستقیم برابر صفر ($r = \infty, \frac{1}{r} = 0$) بود و میزان انحنای 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

اتصال نامیده می شوند.

۷-۲- مزایای استفاده از قوس های اتصال :

- الف- اعمال تدریجی دور بین قسمت های مستقیم مسیر و ابتدا و انتهای قوس دایره ای و اجتناب از ایجاد پله
- ب- وارد آمدن تدریجی شتاب عرضی از صفر تا $\frac{V^2}{R}$ در یک فاصله مناسب و اجتناب از اعمال ناگهانی شتاب عرضی ناشی از نیروی گریز از مرکز به وسیله نقلیه که ناراحتی سرنشینان و خطر واژگونی وسیله نقلیه را به همراه دارد.
- ج- ایجاد دید بهتر برای راننده وسیله نقلیه جهت ورود از مسیر مستقیم به درون قوس دایره ای

۷-۳- حداقل طول لازم برای قوس اتصال :

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

الف - اعمال تدریجی دور و در نتیجه اعمال تدریجی شتاب گریز از مرکز $l_s = \frac{V^3}{27.87R} \approx \frac{V^3}{28R}$

ب- اعمال تدریجی دور و در نتیجه اعمال تدریجی چرخش وسیله نقلیه در صفحه قائم

$$l_s = 13.65V \text{ } e \approx 14V \text{ } e$$

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

ج- فراهم شدن امکان دید بهتر برای راننده وسیله نقلیه

۷-۴- معادله عمومی قوس های اتصال :

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

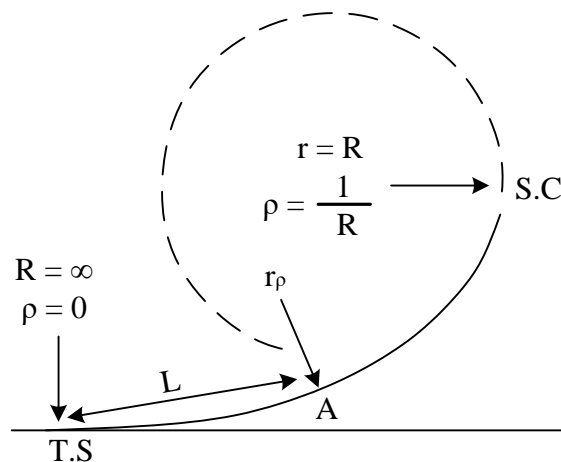
براساس تعریف فوق میزان انحنا در هر نقطه از قوس اتصال از رابطه روبرو قابل محاسبه است: $\rho = \frac{1}{r} = k \cdot l$

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

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

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

با جایگزین کردن ثابت تناسب در رابطه اول خواهیم داشت :

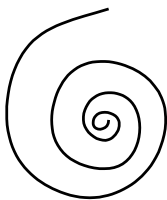


حاصل ضرب $L_s \times R$ مقداری ثابت از جنس سطح می باشد و بنابراین معادله عمومی قوس اتصال به صورت زیر خواهد بود:

$$L \times r = cte$$

☆ شعاع انحنا با طول قوس رابطه عکس دارد.

براساس معادله فوق، فرمهای ریاضی مختلفی (سهمی درجه ۳، سهمی درجه ۴، لمینسکات، مالوید و کلوتئید) برای قوس های اتصال ارائه شده است. در ادامه پیرامون قوس های کلوتئید به عنوان یکی از پرکاربردترین قوس های اتصال، جزئیات بیشتری ارائه می شود.



۵-۷- معادلات کلی قوس های کلوتئید:

کلوتئید عبارت است از منحنی که هر نقطه آن دارای شعاع مختص به آن نقطه است. معادله

این واژه آلمانی در زبان فرانسه مارپیچ کرنو، در آمریکا مارپیچ اولر و در انگلیس اسپیرال می باشد.

در کلوتئید مقدار ثابت را با A^2 نشان می دهند، از این رو طبق معادله عمومی قوس های اتصال برای کلوتئیدها خواهیم داشت :

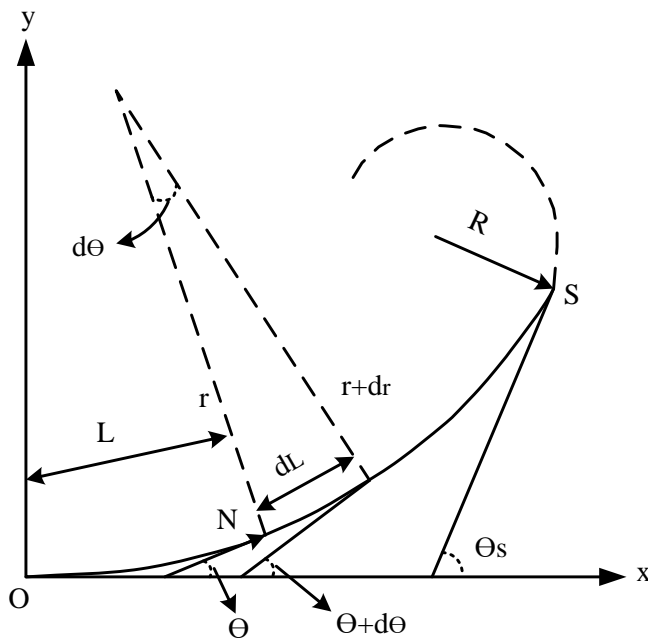
$$l \cdot r = A^2$$

معادله عمومی کلوئیدها

$$A^2 = L_s R \rightarrow A = \sqrt{l_s} R$$

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

اگر مطابق شکل زاویه مماس بر منحنی در نقطه غیر مشخص N را با محور x ها برابر در نظر بگیریم و طول کوچک dl را بر روی منحنی انتخاب نمائیم خواهیم داشت:



$$dl = r \cdot d\theta \rightarrow \frac{d\theta}{dl} = \frac{1}{r} \quad (1)$$

$$A^2 = l \cdot r \rightarrow r = \frac{A^2}{l} \quad (2)$$

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

$$L = A\sqrt{2\theta}$$

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

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

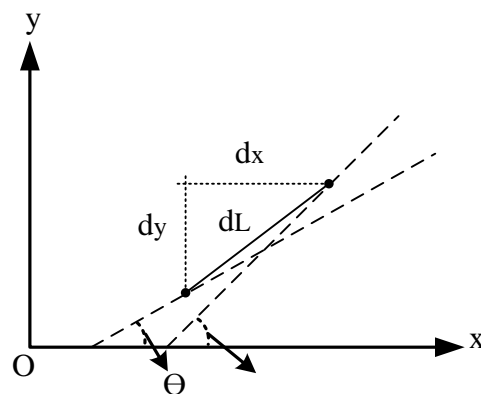
اگر زاویه مماس بر نقطه پایان را با θ_s نمایش دهیم خواهیم داشت:

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

PI: نقطه تقاطع تانژانت ها:

L_s : طول کل کلوتئید: فاصله نقطه A تا C

L : طول کلوتئید تا نقطه معین N بر روی آن

θ_s : زاویه کلوتئید

θ : زاویه خط مماس در نقطه N متناظر با طول L ← $\theta = \left(\frac{L}{L_s}\right) \theta_s$

Δ : زاویه تقاطع دو امتداد مسیر (به وسیله طراح تعیین می شود)

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

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

E_s : فاصله خارجی یا خیز قوس

$$E_s = (R_s + p) \sec \frac{\Delta}{2} - R_c = (R_c + p) \left(\sec \frac{\Delta}{2} - 1 \right) + p$$

$L.T$: 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_s : 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) $p = y_s - R_c(1 - \cos \theta_s)$

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