

# جزوه راهسازی و روسازی

استاد:

فرشاد کیخانی

هدف از راهسازی :

ایجاد ارتباط بین دو نقطه با در نظر گرفتن خواص ایمنی، نامهای و روابط ایمنی برای پایداری ایجاد ایمنی برای راننده، وسیله نقلیه و عابر پیاده خواهد بود.

تقسیم بندی راه از نظر طرح هندسی :

|                      |          |              |
|----------------------|----------|--------------|
| Free way             | آزاد راه | } بیرون شهری |
| (Xpress way) Highway | بزرگراه  |              |
|                      | راه اصلی |              |
|                      | راه فرعی |              |

|                  |                 |             |
|------------------|-----------------|-------------|
|                  | آزاد راه        | } درون شهری |
|                  | بزرگراه         |             |
| } معادل راه اصلی | شرفیانی درجه ۱  |             |
|                  | شرفیانی درجه ۲  |             |
| } معادل راه فرعی | جمع کننده       |             |
|                  | خیابان های محلی |             |

آزاد راه : (Freeway)

راهی حداقل با ۴ خط عبور که مسیرهای رفت و برگشت از هم جدا شده و بدون تقاطع هم سطح

بدون دسترسی از حاشیه ها ممنوعیت عبور پیاده و دوچرخه هرگونه وسایل غیر موتوری، ورود و

خروج با زاویه کم، ممنوعیت عبور تمام یا بخشی از وسایل نقلیه ی تجاری مثل کامیون، تریلر و ...

شرایط عابران آهسته یعنی تمام وسایل عبوری سواری باشند. شیب طولی کمتر از ۲٪ - عرض هر خط

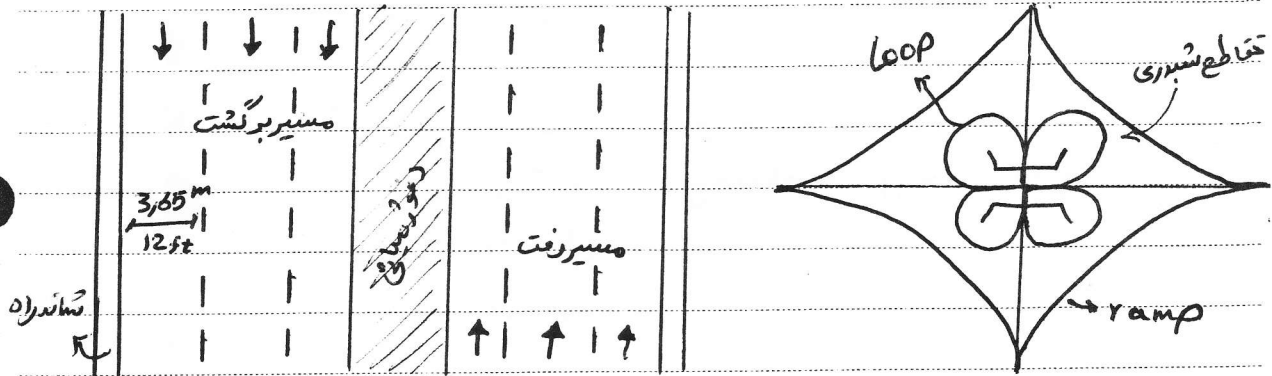
عبوری ۳/۶۵ و فاصله ی ۱/۸۵<sup>m</sup> لبه ی خارجی سواره رو هیچ مانعی وجود نداشته باشد

Subject:

Year. Month. Date. ( )

### بزرگراه (Highway)

مانند آزادراه است ولی با امکانات محدود. تقاطع همسطح و دسترسی از حاشیه‌ها - بزرگراه حداقل 3 خط است.  
به آزادراه و بزرگراه، راه‌های سریع‌السیر هم گفته می‌شود.  
حجم بزرگراه 76<sup>m</sup> است.



راه اصلی درجه 1 :

راه اصلی دو طرفه با سواره روی آسفالتی به عرض حداقل 7.5<sup>m</sup> و شانه‌ی هر طرف به عرض حداقل 1.95<sup>m</sup>

راه اصلی درجه 2 :

راه اصلی دو طرفه با سواره روی آسفالتی به عرض حداقل 7<sup>m</sup> و شانه‌ی هر طرف به عرض حداقل 1<sup>m</sup>

راه فرعی درجه 1 :

راه با 2 خط عبور سواره روی روسازی شده به عرض 6.5<sup>m</sup> و شانه‌ی هر طرف به عرض 1<sup>m</sup>

راه فرعی درجه 2 :

راهی با سواره روی شنی به عرض 5.5<sup>m</sup>

حجم راه :

قبل از پیمان هر راه حجم مورد نیاز آن بر اساس تقویم نامدی قانونی در جلسه ای به نام کمیسیون حجم آثار

بررسی قواری که بود و حریم آن تعیین می شود. حریم آزاد راه و بزرگراه برابر  $76^m$  ، حریم درجه 1  $45^m$  ، درجه 2  $36^m$  ، درجه 3  $25^m$  مورد تصویب قرار گرفته است

سرعت طرح: سرعت با شیب اریکهاط مستقیم دارد.

از نظر تئوری عبارت است از سرعت پی خطی که می توان در یک قسمت مشخص از طول راه آن را اختیار کرد. این سرعت یکونواخت عبور نمود.

مسیر یابی به وسیله نقشه ی توپوگرافی و مقیاس:

عبارت است از نسبت اندازه ی عوارض روی نقشه به اندازه واقعی آن ها در روی زمین  
 اندازه ی اسمی به اندازه ی واقعی

$$S_c = \frac{1^m}{n \times 1000}$$

تبدیل واحد

پس از ایام مطالعات مقدماتی شناسایی مسیرهای اجرایی هر کدام به صورت تئوری بین مبدأ و مقصد بر روی نقشه به صورت منکسر (شکسته) ترسیم می گردد. ابتدا سبب مجاز با توجه به نوع منطقه و نوع راه مورد نیاز و مورد نظر با توجه به جدول مربوطه به دست آورده و سپس طول لازم را از رابطه ی زیر با توجه به سبب مجاز به دست می آوریم:

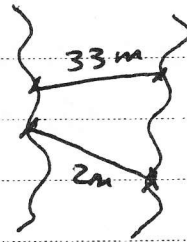
ارتفاع تراز پایینی تر  $\rightarrow$   $h_1$   
 ارتفاع تراز بالایی تر  $\rightarrow$   $h_2$   
 $L = h_2 - h_1$

| نوع منطقه | $v \leq 60$ | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 |
|-----------|-------------|----|----|----|-----|-----|
| هموار     | 5           | 4  | 4  | 4  | 4   | 3   |
| تپه مانور | 6           | 5  | 5  | 5  | 5   | 4   |
| کوهستانی  | 7, 8        | 6  | 6  | 6  | -   | -   |

سبب در صد سبب انتخابی (کوچکتر از سبب مجاز)

مثال: مقصده ای با مقیاس  $\frac{1}{2000}$  که اختلاف ارتفاع بین هر دو نقطه تراز برابر  $2^m$  و سبب مجاز آن برابر با  $6 \%$  فرض می کنیم. طول مورد نیاز برای منطقه ی تپه مانور به صورت زیر به دست می آید:

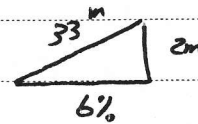
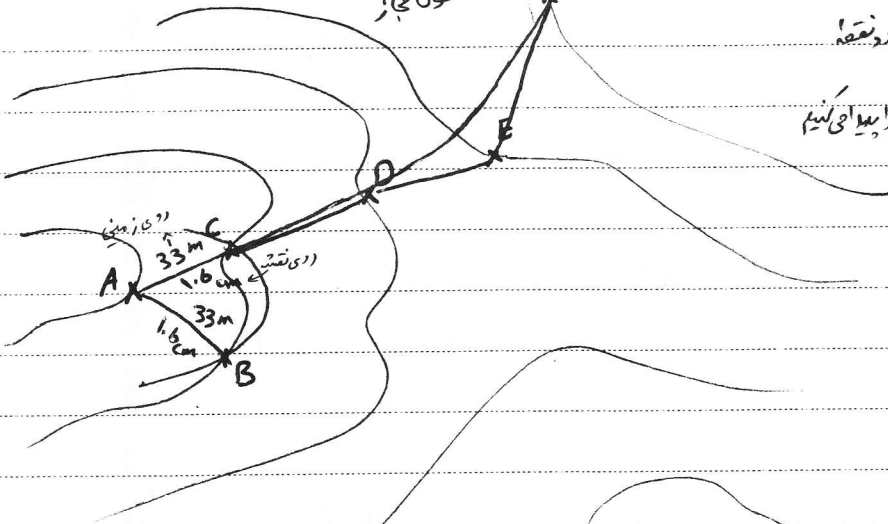
$$L = \frac{DH}{i} \rightarrow L = \frac{2m}{6\%} = \frac{2m}{\frac{6}{100}} = 33m$$



$$\frac{1mm}{91mm} = \frac{2m}{33m} \rightarrow 91 = 1.6cm$$

که با قوسی و مسیر انتهایی همراه است. طول عریز

دهنده ی پرکار را به اندازه ی ۱.۶ متر کرده  
 در پی A گذاشته و همان می زمینم کرده در نقطه  
 اقطع می کند.  
 دانی کار را ادامه می دهیم و نقاط دیگر را به ای کنیم  
 B را نمی توان انتخاب کرد چون  
 راه در پی بود.



اکنون دهانه ی پرکار را به اندازه ی طول  $L$  با مقیاس نقشه (۱:۶) باز کرده و از نقطه ی A میزد  
 واقع بر روی خط تواز قوسی می زمینم تا خط تراز بعدی را در دو نقطه ی B و C قطع کند. بنا بر این دو مسیر  
 AC و BC به دست می آید. هر کدام از این دو مسیر طولشان  $33m$  و شیب آنها  $6\%$  می باشد.  
 مسیری را که به سوی مقصود انتخاب کرده و مسیر دیگر را حذف می کنیم. به همین صورت ادامه می دهیم  
 تا خط منگسرتوری حاصل گردد. به مسیر انتخابی که (وار یا نتی) به عنوان پیشنهاد نهایی  
 مورد مطالعه قرار گیرد مسیر صفر یا مسیر نظری گویند که دارای انکسار است. سپس با  
 به کار بردن قوس های افقی و ~~قوس های~~ انتقال مسیر واقعی به دست می آید

تصویر از بالا

پلان راه

عبارت است از تصویر امتداد مسیر بر روی سطح موازی افق

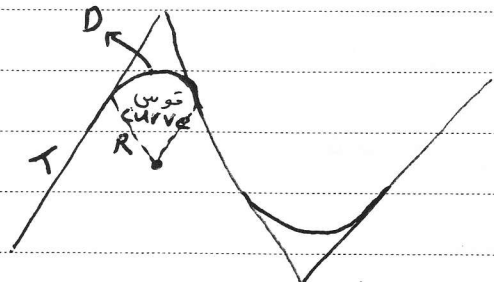
محور راه و قوس ها:

مسیر راه را می توان با یک خط مستقیم بود که آن را محور راه می نامند. (center line) به طور کلی خط پروژه از یک سری قطب مستقیم و قوس تشکیل شده است. در اصطلاح فنی خطوط مستقیم و میانه بر قوس را با tan و قوس های متصل کننده ی دو tan را به نام اشعاع آن و یا به وسیله ی درجه ی قوس مشخص می کنند.

درجه قوس:

مساوت است از میزان انحنای یا تیزی قوس که با اشعاع نسبت عکس دارد.

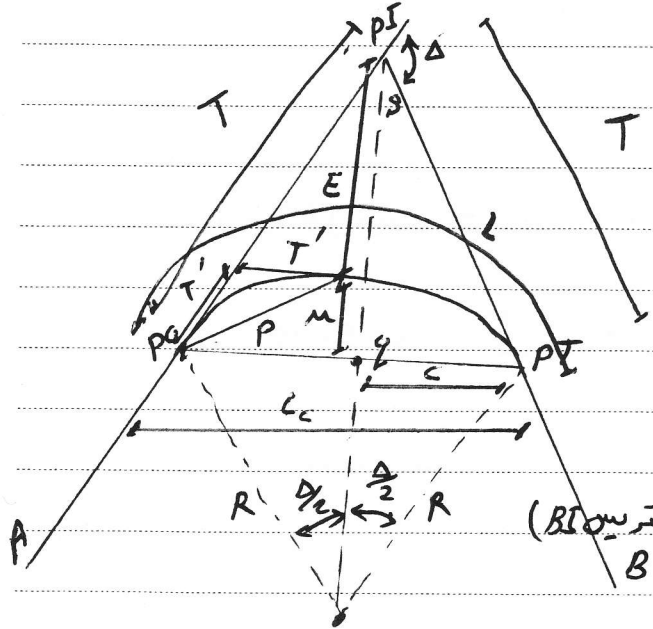
درجه قوس  
 $D \propto \frac{1}{R}$



به طور کلی قوس های دایره ای به سه گروه تقسیم می شوند:

- قوس ساده
- قوس مرکب
- قوس مرکب

اجزای قوس ساده:



- PI: نقطه تقاطع دو اشعاع BS و AS (سوم و I)
- PT: نقطه آغاز قوس
- PC: نقطه شروع قوس
- delta: زاویه خارجی بین دو اشعاع (زاویه انحراف)
- T: مسافت های BS و AS با هم برابرند
- L: طول قوس
- E: طول خارجی (فاصله تقاطع اشعاع ها از قوس) (بیست و بی)
- Lc: وتر قوس
- D: درجه قوس
- M: طول میانی (فاصله رأس قوس تا وتر)

Subject:

Year. Month. Date. ( )

$$T = R \tan \frac{\Delta}{2} \quad \rightarrow \tan \frac{\Delta}{2} = \frac{T}{R}$$

$$L = R \Delta^{\text{rad}} = \frac{R \Delta^{\circ} \pi}{180} = \frac{R \Delta^{\text{grad}} \pi}{200}$$

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

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

طول خارجی

$$M = R \left( 1 - \cos \frac{\Delta}{2} \right)$$

$$R = R_{\min} = \frac{v^2}{127.2(e+f)}$$

(از شباهت مثلثات)   
  $v$  سرعت طراحی   
  $e$  سبب دور   
  $f$  سبب بلندی   
 اصطلاح

$$R_{\text{Normal}} = \frac{(v+10)^2}{127.2(e+f)}$$

$$T' = R \tan \frac{\Delta}{4}$$

مانزات محاس

|     |                                  |   |            |     |
|-----|----------------------------------|---|------------|-----|
| $e$ | سبب دور<br>بر بلندی<br>سبب الوشش | } | گونسیر     | %12 |
|     |                                  | } | مقاومت     | %10 |
|     |                                  | } | سرد سیر    | %6  |
|     |                                  | } | مقاومت سرد | %8  |

$$p = 2R \sin \frac{\Delta}{4}$$

طول وتر کوچک

مسئله 12: طول قوس جهت شعاع  $300m$  و زاویه رأس  $56.37^\circ$  چقدر است؟

$$R = 300m$$

$$\Delta = 56.37^\circ$$

$$L = \frac{\pi R \Delta}{180} = \frac{3.14 * 300 * 56.37}{180} = 295.15$$

مسئله 13: اثبات کنید

$$E = T \cdot \tan \frac{\Delta}{4}$$

$$\begin{cases} \sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha \\ 1 - \cos 2\alpha = 2 \sin^2 \alpha \end{cases}$$

## 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 مرکز 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 راههای ارتباطی دیگر برای نقاط بین راهی

- حجم ترافیک بین مبدا و مقصد

- حجم ترافیک نقاط بین راهی

- هزینه انسانی 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 بردارد. برای کاهش هزینه توجه به نکات زیر الزامی است:

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



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

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:

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

(..

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

- شناخت مناطقی که احتمال لغزش و ریزش در آن زیاد است (حتی الامکان سعی گردد راه از این مناطق عبور نکند).

- شناخت رانش، لغزش و نشست لایه هایی که راه بر روی آن قرار می گیرد. به منظور ثبات و استحکام راه

- شناخت آبهای زیرزمینی خصوصا در محل احداث تونلها و تعیین ارتفاع خاکریزها

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

۶- وجود مصالح مناسب: دوری یا نزدیکی مسیر راه از معادن مصالح در مخارج راه و در نتیجه در انتخاب مسیر آن تاثیر گذار است.

۷-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 نقاطی 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 برف گیر 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 باشد.

۸-زیبایی راه:

-هماهنگ سازی قوسهای افقی و قائم

-پیروی مسیر راه از وضعیت طبیعی زمین و بافت شهری

-با انحراف مختصر مسیر، نقاط دیدنی مثل رودخانه، فضای سبز، آبشار و ... را به مسیر نزدیک کنیم.

۹-حفظ محیط طبیعی:

-عدم تخریب جنگلها

-حفاظت از منابع طبیعی

-رعایت رژیم طبیعی رودخانه ها و آبهای سطحی

-عدم آلودگی هوای پارکها و گردشگاههای عمومی

-عدم آلودگی صوتی مناطق مسکونی، بیمارستانها، پارکها و گردشگاهها

۱۰- حفظ محیط انسانی:

- برهم نزدن وضع اجتماعی و زندگی مردم

- عدم عبور مسیر از وسط آبادیها و روستاها

- عدم عبور مسیر از مراکز فرهنگی، تاریخی، باستانی، مذهبی و قبرستانها

- عدم عبور مسیر از زمینهای کشاورزی، باغات و ...

۱۱- مخارج مسیر: در انتخاب مسیر راه باید مخارج طراحی، ساخت، نگهداری و بهره برداری آن را

لحاظ نمود.

۲-۳- مراحل مختلف تعیین مسیر راه: به طور کلی می توان مراحل تعیین مسیر راه را در ۶ مرحله دسته

بندی نمود.

مطالعات فاز مقدماتی:

۱- کشف مسیرهای کلی ممکن بین مبدا و مقصد

۲- شناسایی مسیرهای کلی ممکن

۳- انتخاب مسیر کلی

مطالعات فاز اول یا اصولی

۴- برداشت مقدماتی مسیر

۵- تعیین محور راه روی نقشه توپوگرافی و تهیه نقشه های مقدماتی

مطالعات فاز دوم یا قطعی

۶- پیاده کردن محور راه روی زمین و تهیه نقشه های قطعی و اجرایی

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

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

-تأمین دسترسی بین نقاط 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 راههای موجود، طرحهای عمرانی اجرا شده و در دست اجرا، زمین شناسی و بررسی اثرات زلزله، ترافیک منطقه

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

ج) مطالعه و تعیین نقاط اجباری:

-نقاط اجباری اقتصادی: مراکز جمعیتی، شهرها، معادن، کارخانجات

-نقاط اجباری فنی: کمترین عرض برای عبور از رودخانه، عبور از گردنه های با ارتفاع کم، دوری از

قله، زمینهای کشاورزی، زمینهای سست و باتلاقی

با تعیین نقاط اجباری امتدادهای کلی مسیر (کریدورهایی به عرض ۱km) 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 مسیرهای کلی: هر کدام از مسیرهای کلی کشف شده در مرحله قبل، باید شناسایی شوند. منظور از شناسایی مجموعه اقداماتی است که طی آن علاوه بر استخراج اطلاعات تکمیلی لازم از نقشه های توپوگرافی و عکسهای هوایی، با انجام بازدیدهای محلی نتایج استخراج شده از عکسها و نقشه ها اصلاح می گردد و نقاط مبهم عکسها، عوارض منطقه (چین خوردگیها و گسلها) 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 مسیرهای 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 ۱/۲۰۰۰۰۰ 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 (پلها، آبروها، دیوارهای حائل، تونلها و بهمن گیرها)

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

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

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

ط) بررسی امکانات محلی از نظر تامین نیروی انسانی، آذوقه، 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 مسئله ارزیابی است. یعنی برای انتخاب بهترین مسیر باید مزایا و معایب گزینه های (وار یا انتها یا آلترناتیوها) مختلف را بررسی نمود. برای این منظور ابتدا باید یک روش مقایسه انتخاب شود. برای مثال می توان ویژگیهای مسیرها 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: ۱- دیدگاه اقتصادی ۲- دیدگاه فنی و مهندسی

الف) دیدگاه اقتصادی: این دیدگاه در برگیرنده توجه اقتصادی پروژه می باشد. برای این توجه از روشهای 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 زخمیها و صدمه به محیط زیست می باشد.

لذا اگر صرفا از دیدگاه اقتصادی به مسئله بنگریم. ملاک گزینش به صورت زیر خواهد بود:

$$Tr = \frac{C_2 - C_1}{P_1 - P_2} \quad (\text{برحسب سال})$$

$T_r$ : مدت زمان بازگشت سرمایه

$C_2$ : سرمایه اولیه برای ساخت مسیر واریانت (۲)

$C_1$ : 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 که در این روابط واریانت (۲) گرانتر و دارای سرمایه اولیه بیشتر نسبت به واریانت (۱) می باشد.

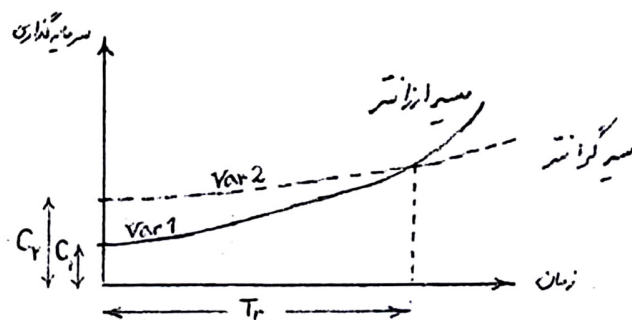
حال اگر زمان بهره برداری یا مدت عمر راه ( $T_n$ ) را بدانیم، سه گزینه فرا روی ما قرار دارد:

$T_n < T_r$  واریانت ارزانتر بهتر است

$T_n > T_r$  واریانت گرانتر بهتر است

$T_n = T_r$  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 بدست می آید و با شیب مجاز مقایسه می شود. شیبهای کمتر یا بیشتر از شیب مجاز بارم بیشتر یا کمتر را کسب می کنند.

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- شانس هموار بودن مسیر: نسبت طولی 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 واریانتی 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 ویژگیهای هر پروژه، مهندس طراحی فرمولهای بارم گذاری در خور آن مسیر را بدست می آورد.

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

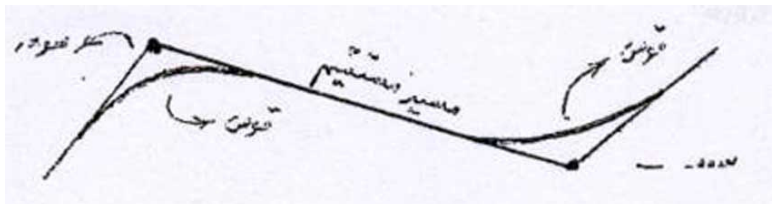
در این مرحله عملیات صحرائی نداریم و طی عملیاتی معروف به مسیر گذاری در دفتر، محور راه بر روی نقشه تعیین می گردد. برای این منظور مهندس مسیر گذار با رعایت ضوابط طرح هندسی، مسیرهای متعددی را در محدوده برداشت شده (نوار ۱۰۰ تا ۵۰۰ متری) امتحان می کند و مسیر مناسب را برای روی نقشه ترسیم می نماید. پس از مسیر گذاری 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 مرحله مسیر کاملاً بر روی زمین مشخص شده و هر آنچه برای اجرای نهایی راه لازم است، با جزئیات کامل جمع آوری و برداشت می شود. اقدامات انجام شده در این مرحله عبارتند از:

الف) پیاده کرده 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 کرده قسمت‌های مستقیم

- ساده کردن قوسها

ب) برداشت رقوم ارتفاعی محور طولی و مقاطع عرضی

ج) تهیه پروفیل طولی و عرضی

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

برو کند)

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

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

سنگی

ز) تدوین برنامه زمان بندی اجرای راه

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

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

ی) دفترچه مشخصات فنی عمومی (نشریه ۱۰۱) و مشخصات فنی خصوصی پیمان که در صورت نیاز

توسط مشاور تهیه می شود.

ک) مجموعه کامل نقشه های اجرایی شامل:

- نقشه موقعیت کلی راه

- پلان یا نقشه مسطح راه به مقیاس ۱:۲۰۰۰

- پروفیل طولی راه به مقیاس ۱:۲۰۰۰ در طول و ۱:۲۰۰ در ارتفاع

- پروفیل‌های عرضی راه به مقیاس ۱:۲۰۰

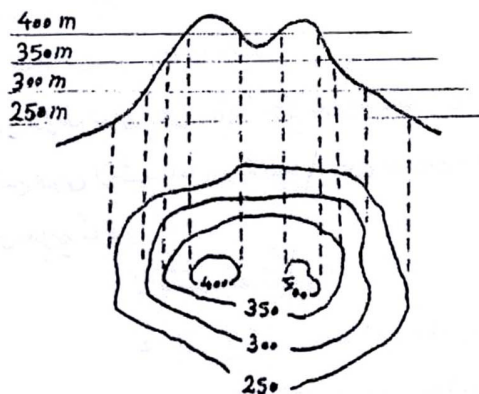
- نقشه اجرایی مربوط به پلهای بزرگ و تونلها، نقشه های خط کشی، علایم، تجهیزات ایمنی و جانبی از قبیل نرده ها، پارکینگها، ایستگاههای عوارض و ...

- نقشه های اجرایی مربوط به تقاطعهای هم سطح و غیرهمسطح 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 (مسیرگذاری در دفتر)

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



نکته: معمولا اختلاف ارتفاع دو خط تراز مجاور در نقشه های توپوگرافی برابر است با عدد مقیاس

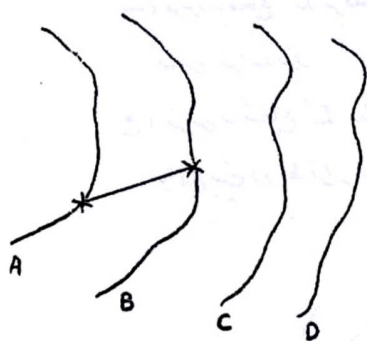
نقشه بر حسب میلی متر. برای مثال در یک نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ اختلاف ارتفاع خطوط تراز مجاور برابر ۲۰۰۰ میلی متر یا ۲ متر می باشد.

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

۱- تهیه نقشه های خطوط تراز با مقیاس ۱:۲۰۰۰ و یا بزرگتر: این نقشه ها در عرضی 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 یا خط صفر بر حسب شیب طولی مجاز مسیر: یکی از داده های اصلی در طراحی پروژه های راهسازی، حداکثر شیب مجاز نیمرخ طولی پروژه ( $i_{max}$ ) می باشد. برای یافتن مسیر بین دو نقطه از نقشه خطوط تراز به نحوی که شیب خط زمین از حداکثر شیب مجاز پروژه تجاوز ننماید، ابتدا باید طول مبنا یا خط صفر را تعیین نمود. برای این منظور به روش زیر عمل می شود:

-مقیاس نقشه برابر



-ارتفاع خط تراز A در شکل (۱) برابر  $h_A$

-ارتفاع خط تراز B در شکل (۱) برابر  $h_B$

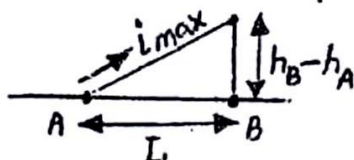
-حداکثر شیب طولی مجاز پروژه برابر  $i_{max}$

شکل ۱

با معلوم بودن مقادیر فوق الذکر، فاصله  $L$  و یا فاصله افقی بین دو نقطه از منحنی های A و B (بر روی

زمین) که خط واصل بین آنها با شیب  $i_{max}$  نسبت به افق قرار دارد برابر است با:

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



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

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

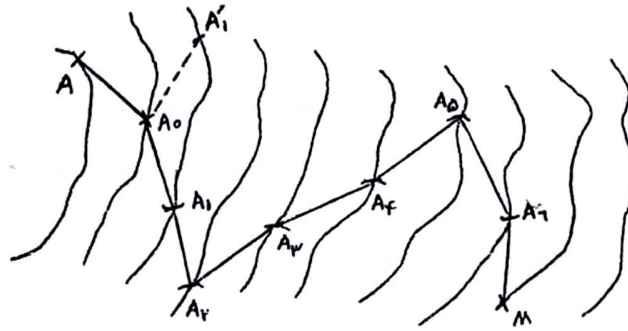
بنابراین اگر در روی نقشه خطوط تراز با مقیاس  $\alpha$  دو نقطه واقع بر منحنی های  $A$  و  $B$  به گونه ای تعیین شوند که فاصله آنها برابر  $L$  باشد، قطعه خط  $AB$  بر روی نقشه نمایشگر خطی خواهد بود که شیب آن در روی زمین طبیعی برابر  $\text{imax}$  می باشد. این خط، طول مبنا یا خط صفر نام دارد.

۳- رسم مسیر شکسته با استفاده از طول مبنا: در روی شکل (۲) از نقطه ابتدای مسیر ( $A$ ) شروع می کنیم و به مرکز  $A$  و شعاع  $L$  قوسی رسم می نماییم تا خط تراز بعدی را در  $A$  قطع کند. حال به مرکز  $A$  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 سمت عمودی مسیر از  $A$  به طرف  $M$  مراعات گردد. در شکل پس از رسم قوس به مرکز  $A$ ، دو نقطه تقاطع  $A_1$  و  $A_1$  بر روی منحنی بعدی بدست آمده است که با توجه به سمت عمومی مسیر، نقطه  $A_1$  انتخاب شده است.

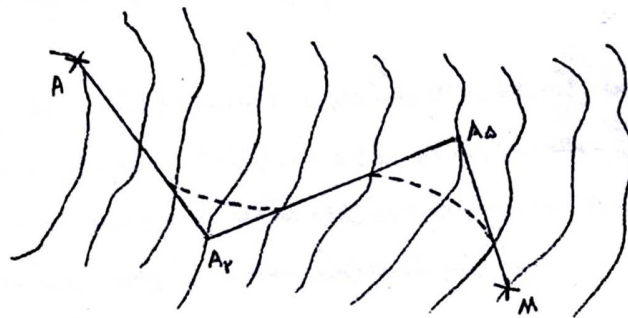
ب) قوس به شعاع  $L$  بر منحنی تراز بعدی مماس شود. در این حالت امتداد مطلوب برای ادامه مسیر همان نقطه تماس خواهد بود.

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 دو خط تراز بیشتر بوده و انتخاب امتداد مسیر به دلخواه و با توجه به سمت عمومی مسیر انجام می گیرد.



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

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



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

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 تامین دور)

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

### **فصل سوم: نقشه های راه**

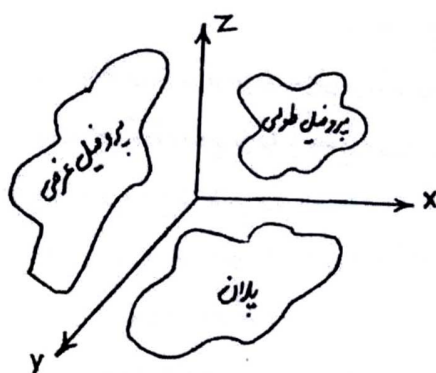
۳-۱- مقدمه: جزئیات یک راه با سه نقشه اصلی مشخص می گردد:

- پلان راه

- پروفیل طولی راه

- پروفیل عرضی راه

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



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

۳-۲- پلان راه:

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

قوسهای افقی شامل انواع زیر می باشد:

۱- قوسهای دایره ای: ساده، مرکب، معکوس، سرپانتین

۲- قوسهای اتصال: کلوتئید، سهمی درجه ۳، لمانی سکات، مالوید

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

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

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

می گیرد:



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 کیلومترگذاری 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 راس قوس (PI) point of Intersection

-نقطه پایان قوس (PT) point of Tangency

د- نقاط تمامی 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 سرتراشه در

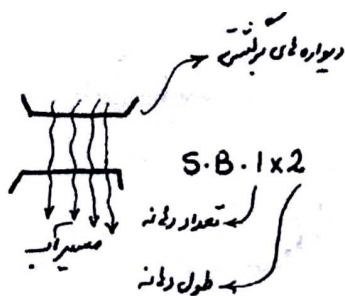
خاکبرداری ها) که به صورت دو خط ضخیم در طرفین محور راه رسم می گردند.

ب- محل، نوع و تعداد دهانه پل ها:

S.B=slab Bridge= پل دالی هم سطح:

S.C=slab culvert = پل دالی زیر خاکلی:

A.B=Arch Bridge= پل طاقی یا قوسی:



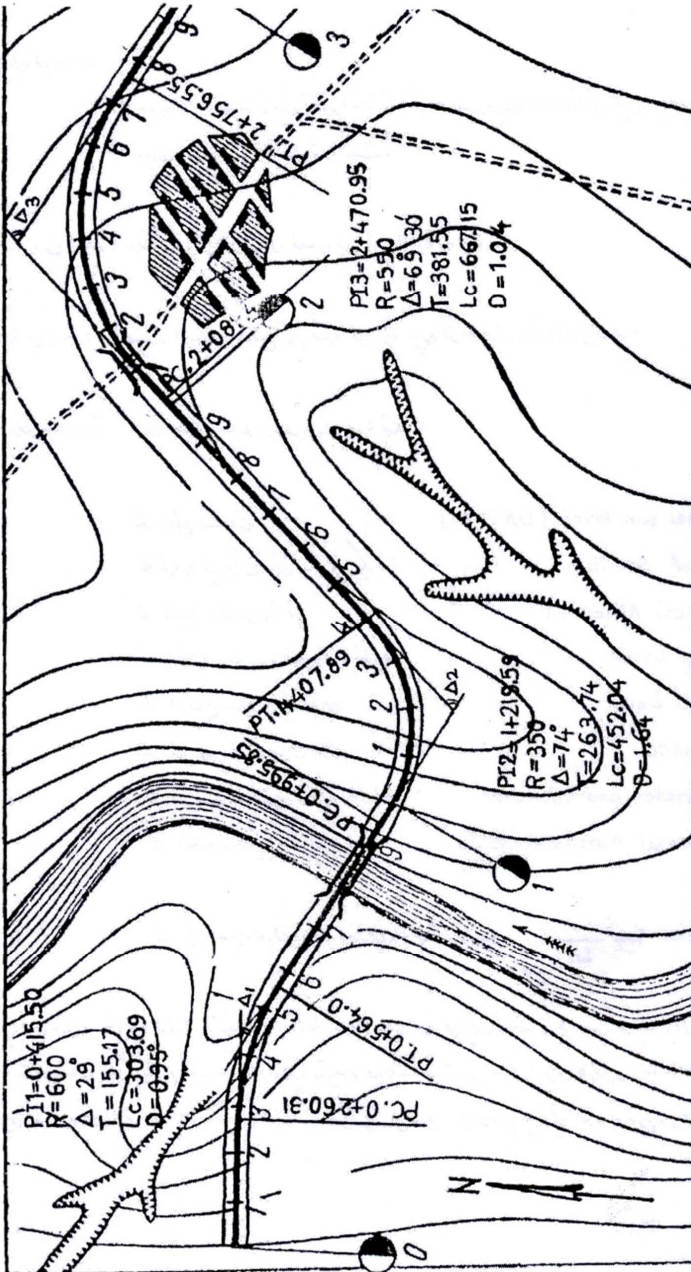
پل جعبه ای: Box culvert=

پل دره ای یا ویادوگ: viaduct=

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

تائزانت)

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 و یک جدول مشخصات تشکیل شده است.

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

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

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

- سطح سنجش (comparison level (DATUM

- ماره نیمرخهای عرضی (میخ ها یا پیکه ها) 1-No of section

- شیبها و قوسهای قائم 2-vertical Alinement

- 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 Alinement left/Right

- تراز نسبی لبه های داخلی و خارجی راه جهت اعمال دور 8-superelevation out/In

در ترسیم پروفیل طولی مقیاس طول ها با مقیاس ارتفاعات، به دلیل صرفه جویی در کاغذ و هم چنین

کوچک بودن ارتفاعات نسبت به طول ها، متفاوت در نظر گرفته می شود. متداولترین مقیاس عبارت است

از ۱:۲۰۰۰ برای طولها و ۱:۲۰۰ برای ارتفاعات، به عبارت دیگر مقیاس ارتفاعی ۱۰ برابر مقیاس طولی در

نظر گرفته می شود. مراحل رسم پروفیل طولی به شرح زیر می باشد:

گام اول: ترسیم خط زمین طبیعی:

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

-فاصله ایستگاهها در دشت ۵۰ متر انتخاب می شود.

-فاصله ایستگاهها در کوهستان ۲۰ متر انتخاب می شود.

-در قوسها فاصله ایستگاهها ۱/۱۰ تا ۱/۲۰ شعاع قوس انتخاب می شود.

-در ابتدا و انتهای قوسها، محل‌های تغییر شیب، محل‌های 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 ۱ (نیمرخهای عرضی) درج می گردد.

۳- برای هر ایستگاه یک فاصله و یک ارتفاع اندازه گیری می شود و بر اساس نتایج حاصله ردیفهای

۶ و ۵ و ۴ 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 معمولا با رنگ سیاه رسم می گردد، خط زمین طبیعی می باشد.

گام دوم: ترسیم خط پروژه:

۱- محاسبه پارامترهای هندسی مورد نیاز شامل:

-تعیین حداقل و حداکثر شیب طولی: ۱-حداقل شیب طولی راه معمولاً ۰/۵ درصد می باشد (جدول ۵-۲۴ آیین نامه) ۲-حداکثر شیب طولی راه بر اساس وضعیت توپوگرافی منطقه، نوع راه و سرعت طرح از جدول ۵-۲۲ آیین نامه بدست می آید.

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

-تعیین طول قوسهای قائم بر اساس مسافت دید

-تعیین ارتفاع نقاط اجباری

-تعیین حداقل ارتفاع پایه پلها

۲-ترسیم قطعات خط پروژه بین دو نقطه انتخاب معلوم واقع بر خط زمینی طبیعی، با رعایت نکات زیر:

-عدم تجاوز شیب طولی از حد مجاز

-اجتناب از شیب های طولانی

-ایجاد تعادل بین عملیات خاکبرداری و خاک ریزی

-رعایت حداقل ارتفاع پایه پلها در تعیین ارتفاع خاکریز

-در زمینهای مسطح حتی الامکان سعی شود که خط پروژه بالاتر از سطح زمین طبیعی قرار گیرد

(حداقل ۵۰cm)

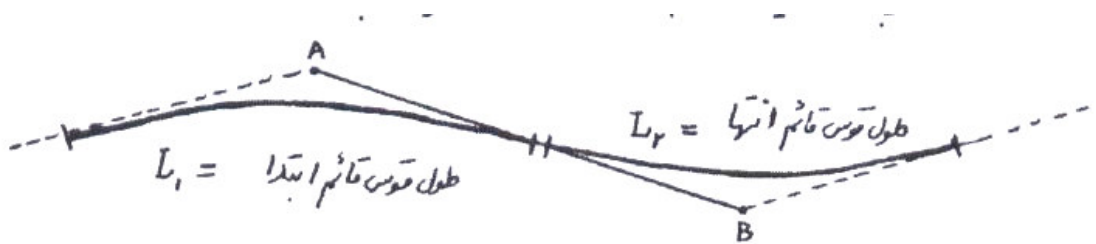
-عبور خط پروژه از نقاط ارتفاعی اجباری

-شیب طولی در پلها بهتر است صفر 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  $(L_1+L_2) \times 0.5$  بیشتر باشد.



$$L_1 \geq 0.5(L_1 + L_2) = \text{طول قوس قائم ابتدا}$$

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

$$i_{AB} = \frac{h_B - h_A}{L} \times 100 \quad \text{محاسبه شیب طولی تکه خط پروژه AB}$$

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

۱۰۰ / (شیب طولی AB \* فاصله نقطه n از نقطه A) + ارتفاع نقطه معلوم A = ارتفاع خط پروژه در محل

ایستگاه n بین A و B

نقطه پایین تر از ایستگاه A      نقطه بالاتر از ایستگاه A

یا به عبارت ریاضی:  $h_n = h_A \pm (l_{An} \times i_{AB}) / 100$

۱- ارتفاع خط پروژه در محل ایستگاهها در ردیف ۳ جدول مشخصات درج می گردد.

۲- طول افقی شیب و درصد شیب در ردیف ۲ جدول مشخصات درج می گردد.

۳- طراحی و پیاده کردن قوس قائم بین دو تکه خط پروژه

۴- ارتفاع خط پروژه در محل ایستگاههای واقع بر روی قوسهای قائم در ردیف ۳ جدول اصلاح می

گردد.

۵- طول قوسهای قائم و شعاع هر یک در ردیف ۲ جدول مشخصات وارد می شود.

گام سوم: تکمیل جدول مشخصات و شکل نهایی پروفیل:

۱- با استفاده از نقشه پلان مسیر و محاسبات قوسهای افقی، چپ گرد و راست گرد بودن قوسها،

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 قوسهای 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 می شوند.

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

۵- خط پروژه نهایی با رنگ قرمز نمایش داده می شود.

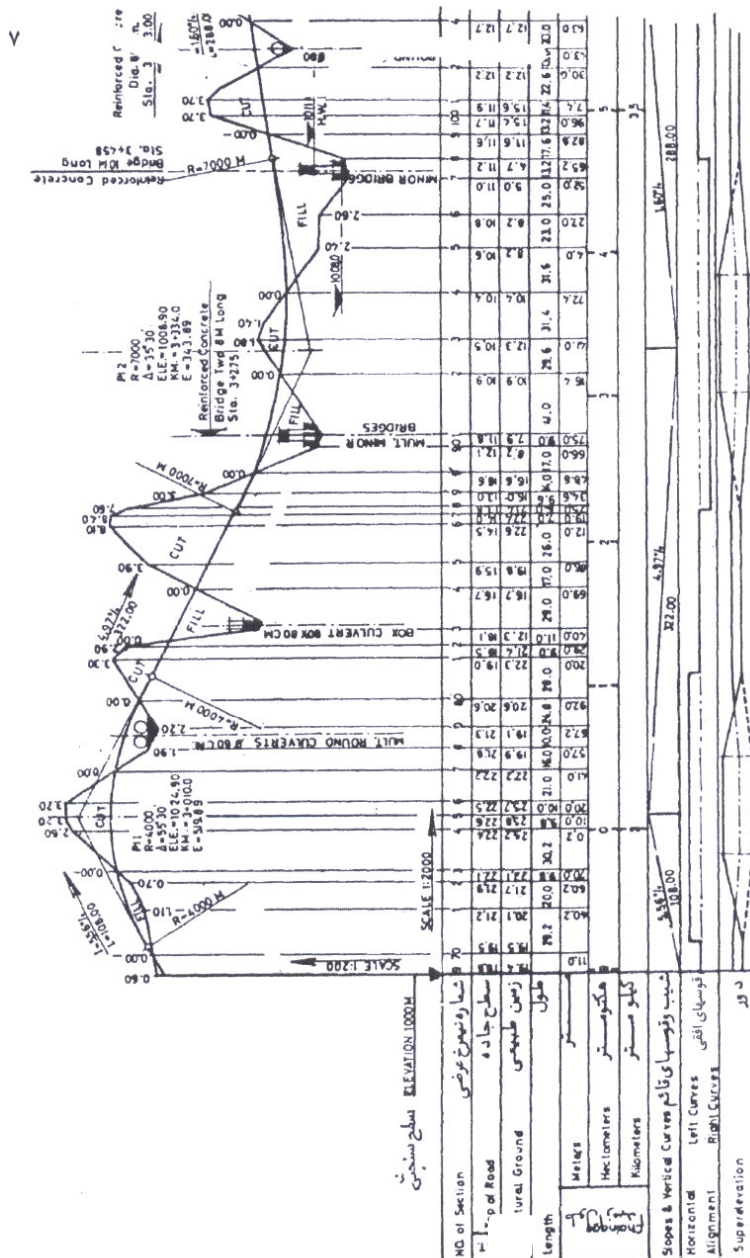
چند نکته پیرامون پروفیل طولی مسیر:

۱- در مواردی ممکن است پس از تعیین وضعیت لایه های مختلف زمین بوسیله 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 یا خط پروژه از روی نقشه نادرست می باشد و میزان این شیبها باید از تقسیم اختلاف ارتفاع نقاط بر فاصله بین آنها بدست آید.

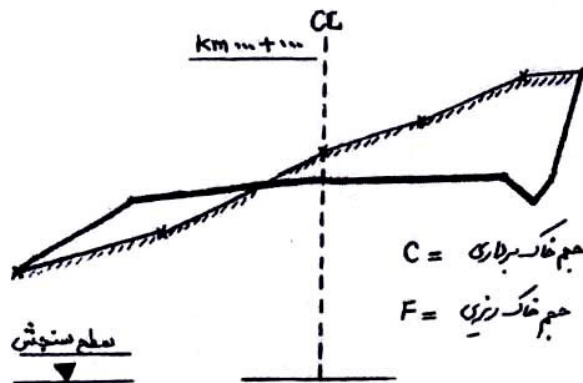


شکل

نمونه‌ای از نحوه نمایش پروفیل طولی ساده

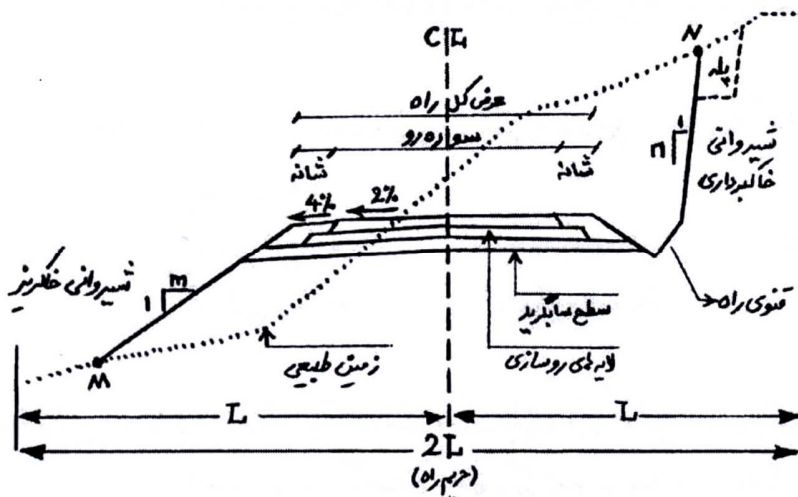






کلیه ابعاد و اندازه ها با توجه به مقیاس شکل قابل دستیابی می باشد و مشخصات نیز به صورت نشان داده شده درج می گردد.

۳-۴-۲- 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 آزادراه، بزرگ راه و راه اصلی درجه یک برابر  $3/65$  متر می باشد.

ب- عرض هر خط عبور در راه اصلی درجه دو برابر  $3/5$  متر می باشد.

ج- عرض هر خط عبور در راه فرعی درجه یک برابر  $3/25$  متر می باشد (سواره روی دو خطه  $6/5$

متری)

د- عرض هر خط عبور در راه فرعی درجه دو برابر  $2/75$  متر می باشد (سواره روی دو خطه  $5/5$  متری)

ه- عرض خط ویژه وسایل نقلیه سنگین در سربالایی برای آزادراه و بزرگراه  $3/65$  متر می باشد.

و- عرض خط ویژه وسایل نقلیه سنگین در سربالایی برای راه اصلی  $3/25$  متر می باشد.

ز- عرض خط کمکی و خط ویژه گردش به چپ  $3/25$  تا  $3/65$  متر و در شرایط دشوار  $3$  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 برمی گیرند، اما اضافه عرض در پیچ ها به

عرضهای فوق افزوده می شود.

-هرگونه تغییر در عرض سواره رو به صورت تدریجی و با نصب 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

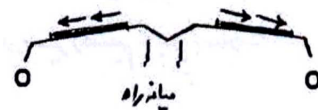
-نوع رویه راه -وضع جوی منطقه

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

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

ب- برای رویه های سنی ۳ تا ۵ درصد

ج- در تونلها ۱ تا ۱/۵ درصد



-شیب یک طرفه به روسازی هر جهت -شیب یک طرفه به روسازی هر جهت -شیب دو طرفه به روسازی هر جهت

-خط سرعت وضعیت زهکشی بهتری دارد -خط دست راست هر جهت زهکشی بهتری دارد -تخلیه سریع آب و زه کشی بهتر

-نهر و کانال باید در هر دو طرف قرار گیرد -نهر و کانال آب فقط در وسط قرار می گیرد -حداقل شده اختلاف ارتفاع بین نقاط روسازی

-خط دست راست باید تمام آبهای سطحی را -خط سرعت باید تمام آبهای سطحی را عبور دهد. -نهر و کانال آب باید در هر ۳ طرف قرار گیرد

عبور دهد.

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

(مزایا و معایب)

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 بکار می رود، شانه اطلاق می گردد. در راههای با سواره رو آسفالتی یا بتنی،

شانه راه اعم از اینکه رویه دار یا بدون رویه باشد به صورت نواری کاملاً متمایز در کنار سواره رو قرار دارد. اما در رویه های شنی، سراسر عرض راه (شانه+سواره رو) یکپارچه است و نوار واحدی را تشکیل می دهد.

وظایف و مزایای شانه راه عبارتند از:

- ایجاد نوعی فرصت و راه دررو برای خودروهایی که به هر دلیل از سواره رو منحرف شده اند (کاهش شدت سوانح)

- ایجاد احساس پهن بودن نوله راه، آسایش و آسودگی ناشی از آزادی عمل راننده

- افزایش فاصله دید در پیچ های داخل برشها و ترانشه 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 برف گیر

- فراهم آوردن فاصله آزاد جانبی علائم راه از لبه سواره رو

- فراهم کردن محل عبور پیاده و دوچرخه

عرض شانه طرفین راه بر حسب درجه بندی راه در جدول ۶-۱ آیین نامه طرح مهندس 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.

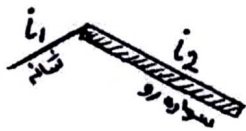
شیب عرضی مناسب برای شانه های راه را بر اساس نوع روسازی به شرح زیر اعلام نموده است:

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 ۷ درصد تجاوز نماید. این موضوع در پیچ ها که سواره رو دارای شیب عرضی یکسره یا 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 دررو 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

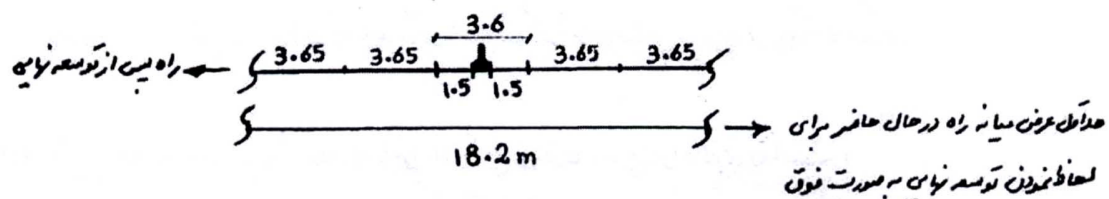
- فراهم ساختن محل توقف برای عابر پیاده که بتواند عرض خیابان را در دو مرحله طی کند.

- کم کردن اثر نامساعد نور ترافیک طرف مقابل

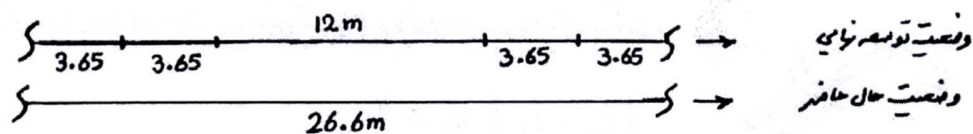
- در مناطق شهری میانه چمن کاری شده و دارای درختان پاکوتاه به فضای سبز شهر می افزاید.

-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 جویی های لازم (نصب جان پناه و ضربه گیر) به عمل آید.

حداقل عرض میانه باید به اندازه ای باشد که با توجه به توسعه های مورد نیاز راه در آینده دور، بتواند وظیفه اصلی یعنی جدا کردن جریان عبور دو طرف را عملی کند. این حداقل برای زمان توسعه نهایی راه باید ۳/۶ متر باشد. لذا به عنوان مثال برای پیش بینی توسعه ۲ خط عبور در آینده دور، حداقل عرض میانه یک راه در حال حاضر ۱۸/۲ متر در نظر گرفته می شود.



از طرفی هدفهای مورد انتظار از میانه، عملاً در عرض ۱۲ متر حاصل می شود، به عبارت دیگر با میانه ۲ متر و بالاتر راه به صورت کاملاً مجزا عمل می کند. لذا در مقال قبل برای اینکه راه در آینده دور پس از توسعه نهایی هم دو مسیر رفت و برگشت کاملاً مجزا داشته باشد، حداکثر عرض میانه ۲۶/۶ متر در نظر گرفته می شود.



نکات مربوط به میانه راه:

- سطح میانه راه می تواند پایین تر، بالاتر و یا همکف با سطح راه باشد.

- در آزادراهها میانه معمولاً پیوسته است ولی میانه سایر راهها در محل تقاطعها و محل دور زدن بریدگی

دارد.

- سایر نکات اجرایی مربوط به میانه راه شامل شیب عرضی، روسازی، جدول و جان پناه در مبحث ۶-

۵ آیین نامه طرح مهندسی راه ارائه شده است.

۶- حریم راه: آن قسمت از زمین بستر 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 کشی طولی و عرضی راه در حریم آن مسیر می باشد.

- استفاده جهت عملیات راهداری و تامین ایمنی عبور و مرور رانندگان و ساکنان اطراف راه

بر اساس مصوبات شورای عالی فنی امور زیربنایی حمل و نقل، حریم های تعریف شده برای راههای

کشور به شرح زیر است:

الف- حریم آزادراه: عبارت است از زمینهای بین حد نهایی بدنه راه تا فاصله ۳۸ متر از محور راه در هر

طرف، به گونه ای که مجموع عرض بدنه راه و حریم طرفین آن ۷۶ متر می شود.



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

ب-حریم درجه یک: (راههای اصلی)

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

ج-حریم درجه دو: (راههای فرعی)

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

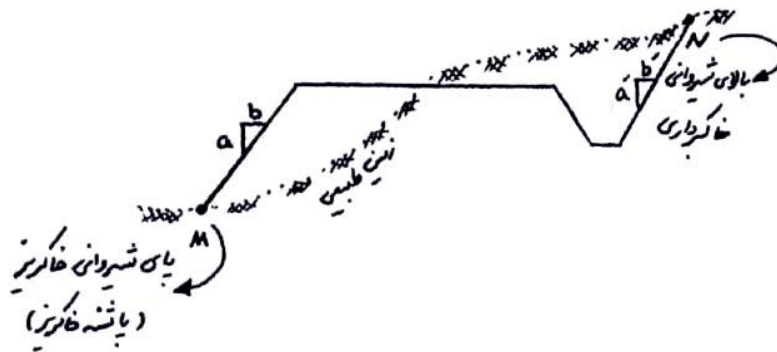
د-حریم درجه سه: (راههای روستایی)

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

۷-شیب شیروانی: بر حسب اینکه راه در خاکبرداری و یا خاکریزی واقع شده باشد، لبه خارجی شانه

راه در پروفیل عرضی با شیب معینی به زمین طبیعی می پیوندد که بسته به مورد به آن شیروانی خاکبرداری

و یا شیروانی خاکریزی گفته می شود.



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

دارد:

-مطالعات ژئوتکنیک و خصوصیات خاک مورد استفاده در خاکریزها یا موجود در محل خاکبرداری

ها

-ارتفاع خاک ریزی یا خاک برداری

-شیب زمین طبیعی در محل خاکریزی یا خاک برداری

-هزینه عملیات خاکریزی و خاک برداری

-زیبایی و ایمنی راه

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

طرح مهندسی راهها ارائه شده است.

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

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

-شیب شیروانی خاکریز در زمینهای با خاک نرم برابر ۱:۲

-شیب شیروانی خاکریز در زمینهای ماسه بادی یا خاک رس خالص برابر ۱:۲ یا ۱:۴ یا کمتر

-شیب لبه های مصالح زیر اساس برابر ۱:۱/۵ تا ۱:۲

-شیب لبه های مصالح اساس شکسته و آسفالت برابر ۱:۱

-شیب شیروانی خاکریزهای سنگی (Rock Fill) به شرط اجرای خوب و جاگیری مناسب قطعات

سنگی حداکثر ۱:۱ انتخاب گردد.

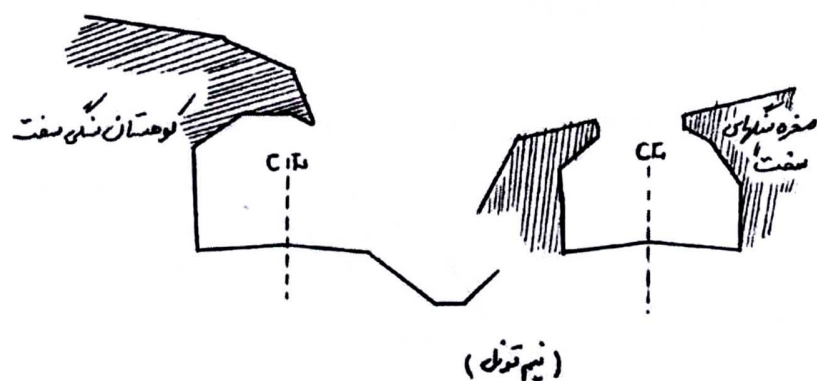
(Rock Fill) خاکریزی با قطعات سنگی حاصل از انفجار در ترانشه ها

-شیب شیروانی خاکبرداری در زمینهای خاکی و ریزشی (خاک رس، مارن و شیست) برابر ۱:۱

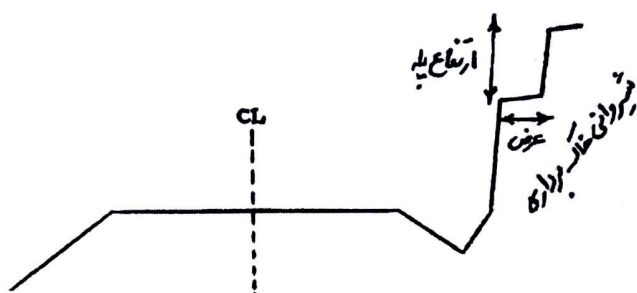
-شیب شیروانی خاکبرداری در زمینهای دج و محکم ۲:۱ تا ۴:۱

-شیب شیروانی خاکبرداری در زمینهای سنگی و یا جوش (کنگومرا) برابر ۵:۱ یا بیشتر.

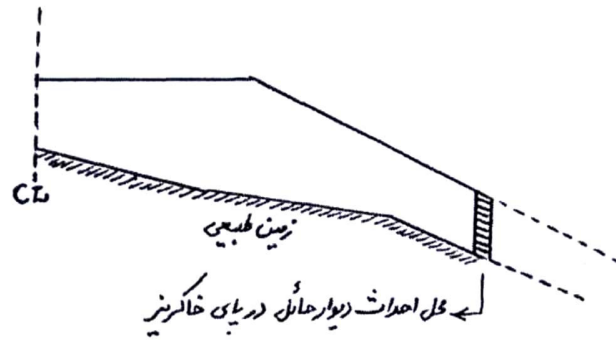
-شیب زمینهای سنگی سخت ممکن است به صورت قائم و یا حتی منفی (نیم تونل) اجرا گردد.



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

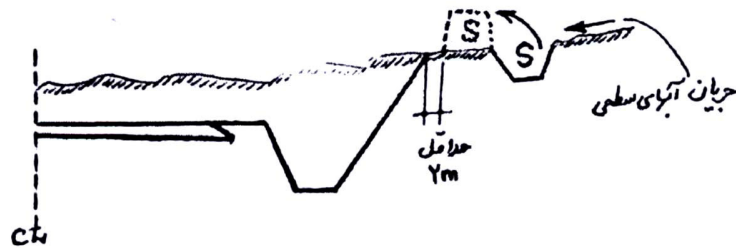


در خاکریزهای بلند به منظور صرفه جویی در حجم خاکریز، می توان احداث دیوار حائل را مورد بررسی قرار داد. در این حالت باید هزینه خاکریز صرفه جویی شده با هزینه احداث دیوار مقایسه شده و نیز هزینه نگهداری آینده را مد نظر قرار گیرد. معمولاً در خالاتی که شیروانی خاکریز و زمین طبیعی تقریباً با هم موازی بوده نو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

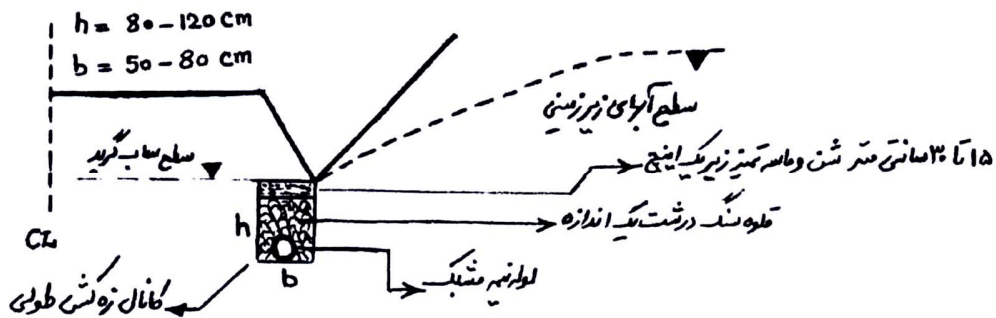


مساله نفوذ آب در شیروانی های خاکبرداری و خاکریز بسیار مهم است و در راه سازی باید با بکار

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 کشی در پای ترانشه

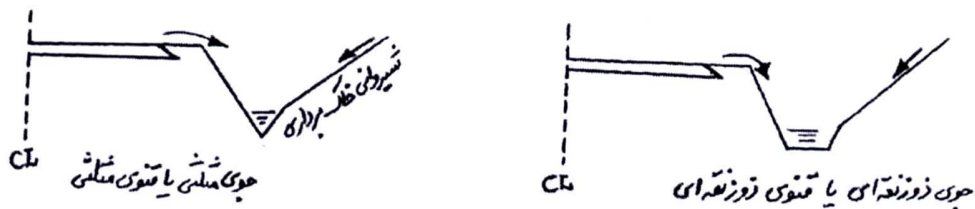
در مناطق پر باران و یا مناطقی که دارای سیلابهای شدید کوتاه مدت می باشد به منظور جلوگیری از

شسته شدن شیروانی خاکریزهای بلند می بایست نسبت به کاشت گیاهان مناسب بر روی شیروانی مذکور

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

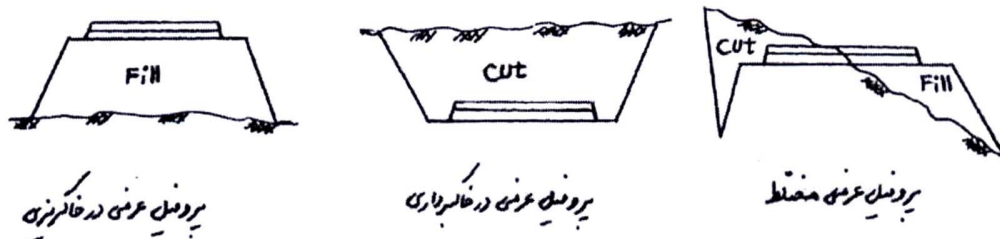
۸- نهر جانبی یا جوی کنار راه: این نهرها از حیاتی ترین اجزای راه می باشند. آب بارندگی که در سطح راه جاری می شود و نیز آبهایی که از شیروانی خاکبرداری به سمت راه جریان می یابد، باید به خارج حریم راه هدایت شوند تا جسم راه از گزند نفوذ این آبها در امان بماند.

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



۹- لایه های مختلف روسازی راه: روسازی راه ساختاری است که بر روی 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 (زیراساس، اساس، رویه) می توان آنها را بر روی نقشه پروفیل عرضی نشان داد.

۳-۴-۴- انواع پروفیل‌های عرضی:

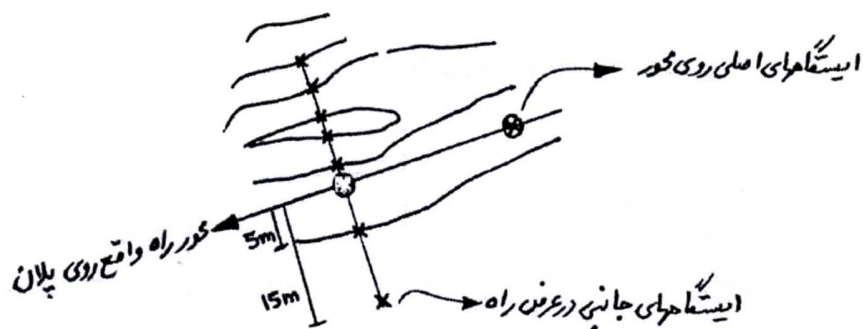


نکته: سطح پروفیل‌های عرضی در فصل مربوط به محاسبات حجم عملیات خاکی کاربرد دارد.

۳-۴-۵- نحوه رسم پروفیل عرضی:

۱- تعیین پارامترهای مهندسی 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 راه محور راه برداشت ارتفاعی انجام می‌گیرد. لازم به ذکر است که تعداد و فواصل این ایستگاههای جانبی تابع عرض نهایی راه می‌باشند و همچنین باید محل‌های تغییر شیب زمین طبیعی در عرض راه را در انتخاب آنها مد نظر قرار داد.



۳- پس از انتخاب سطح سنجش مناسب، نقاط برداشت شده را با مقیاس ۱:۲۰۰ بر روی کاغذ شطرنجی

پیاده نموده و با اتصال آنها به یکدیگر تراز زمین طبیعی بدست می‌آید.

۴- با مراجعه به پروفیل طولی و استخراج تراز پروژه در محل محور راه، خط پروژه مطابق با پارامترهای

مهندسی مرحله ۱ ترسیم می‌گردد.

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

-در سمت چپ به ترتیب مقیاس (scale)، شماره نیمرخ (no of section) تراز پروژه ( project level)، تراز زمین طبیعی (natural Ground Level) و تراز سطح سنجش (DATUM) درج می گردد.

-در کنار محور راه کیلومتر محل نیمرخ عرضی درج می شود.  
-در سمت راست مقادیر سطوح خاکبرداری با علامت C و سطوح خاکبریزی 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 آیت‌های زیر انجام می گیرد:

الف- دکوپاژ (Decapage): عبارت است از کندن و برداشت خاکهای نباتی (خاکهای دارای مواد آلی، ریشه و ساقه درختان) و مواد زائد از سطح زمین طبیعی بستر راه یا محوطه. این عملیات معمولاً قبل از اجرای لایه های خاکریز و یا لایه های روسازی بر روی سطح زمین طبیعی، در عمقی بین ۱۰ تا ۳۰ سانتی متر انجام می گیرد.

ب- خاکبرداری (cut): عبارت است از کندن و برداشت خاک در محلهایی از طول زمین طبیعی که رقوم آنها بیش از رقوم خط پروژه است.

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

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

ه-محل قرضه (Borrow): در صورتی که نتوان تمام خاک مورد نیاز در خاکریزها را از محل خاکبرداریهای پروژه تامین کرد، خاک مورد نیاز را از محلهای دیگری که توسط مهندس مشاور مناسب 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 ریزدانه (رس و لای) بسیار زیاد می باشد و گاهی به ۳۰ درصد می رسد.

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

ز-تورم خاک (Swell): در مواردی که از خاک حاصل از خاکبرداری در زمینهای بسیار متراکم (دج و سخت) و یا سنگ حاصل از عملیات 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 متر 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 سنگی در واحد حجم و نیز بزرگی یا کوچکی آنها به هنگام مصرف در خاکریز، ممکن است به بیش از ۵ درصد بالغ گردد.



لازم به ذکر است که میزان تورم خاک ها در زمان حمل آنها باید مد نظر قرار گیرد. زیرا انواع خاک پس از کنده شدن از حالت طبیعی و دپو شدن به حالت آزاد، دارای حجمی بیش از وضعیت طبیعی خود خواهد بود. میزان تورم در چنین حالتی برای انواع خاکها به شرح زیر 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

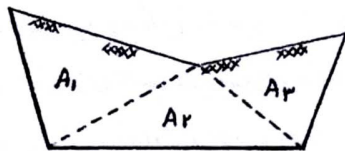
ح-فاصله حمل خاک: انتقال خاک از خاکبرداری به خاکریز، تامین خاک مصرفی از قرضه ها و یا انتقال خاک مازاد به دپوها همه نیاز به حمل دارند. از طرفی پرداخت هزینه عملیات خاکی به پیمانکار که بر مبنای مترمکعب خاک انجام می گردد، در صورت تجاوز فاصله حمل از فاصله تعیین شده در قرارداد، شامل اضافه هزینه حمل خواهد شد.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

برای پیدا کردن حداقل فاصله متوسط حمل خاک روشهای مختلفی وجود دارد که در میان آنها دو روش لالان (Lalane) و بروکنر (Bruckner) کاربرد بیشتری دارند. اساس هر دو روش 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 کامیونهای با 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 کامیونها و اسکرپرهاى پر قدرت روش لالان با تقريب كافى مى تواند مورد استفاده قرار گيرد.

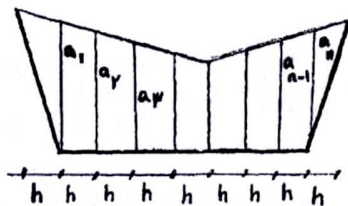
#### ۲-۴- روشهاى محاسبه سطح نيمرخهاى عرضى:

الف- محاسبه سطح نيمرخهاى عرضى به روش هندسى: در اين روش نيمرخ عرضى به قطعات كوچكتر هندسى (دو زنگه- مثلث- مستطيل) تقسيم شده و با محاسبه و جمع سطوح كوچكتر، سطح نيمرخ محاسبه مى شود.



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

ب- محاسبه سطح نيمرخهاى عرضى به روش تقسيم به سطوح كوچكتر با ارتفاع يكسان: در اين روش سطح نيمرخ عرضى با خطوط موازى به فواصل مساوى  $h$  تقسيم بندى مى شود و مساحت نيمرخ از رابطه زير محاسبه مى شود.



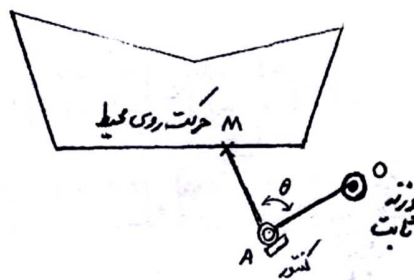
$$A = \frac{a_1 h}{2} + \frac{a_1 + a_2}{2} h + \frac{a_2 + a_3}{2} h + \dots + \frac{a_n h}{2}$$

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

پس با اندازه گيرى مجموع طولهاى  $a_1$  تا  $a_n$  و ضرب اين مجموع در ارتفاع مشترك  $k$ ، مساحت

كل  $A$  بدست مى آيد.

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



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

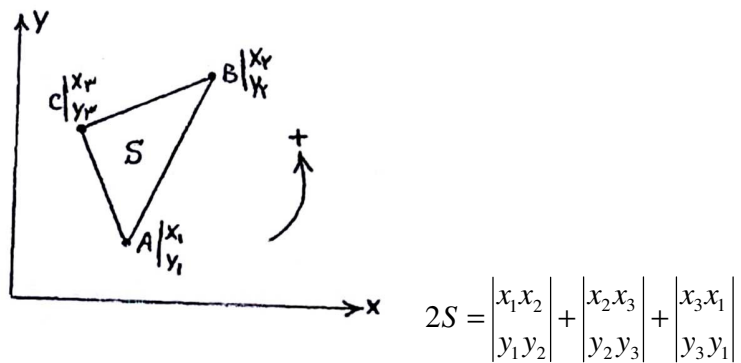
$$r = f(\theta) \quad \text{از طرفی مطابق شکل دستگاه پلانیمتر}$$

پس از اندازه گیری میزان گردشهای مفصل A (یعنی  $\theta$ ) و میزان شعاع حامل ( $r = OM$ ) و جمع

سطوح بی نهایت کوچک ( $\frac{1}{2} r^2 \cdot d\theta$ ) مساحت سطح مورد نظر تعیین می شود.

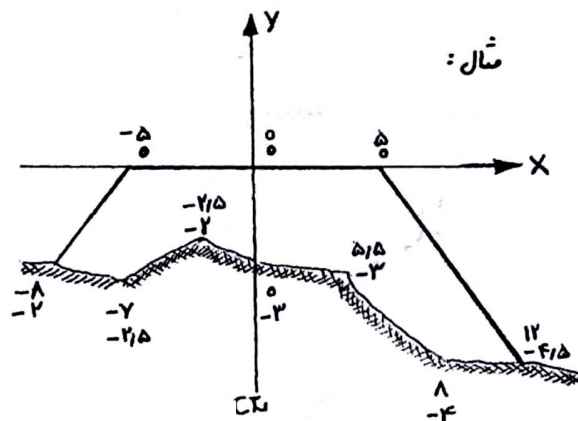
د- محاسبه سطح نیمرخهای عرضی به روش کامپیوتری: این روش که بر مبنای دترمینانهای تشکیل از مختصات رئوس نیمرخ عرضی می باشد، بهترین روش محاسبه به سطح مقطع عرضی بوده و هنگامی که طول پروژه طولانی و تعداد مقاطع عرضی بسیار زیاد است. حتی برای محاسبه سطح نیمرخهای استاندارد (منظم) هم ترجیح داده می شود. اساس روش مختصات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

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



به همین ترتیب می توان مساحت هر کثیرالاضلاع را به روش فوق بر حسب دترمینانهای متشکل از مختصات رئوس آن بدست آورد.

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

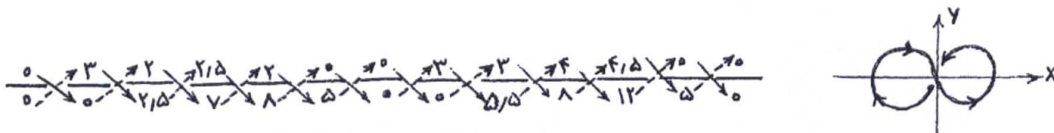


$$\begin{aligned}
2S &= \begin{vmatrix} 0-5 \\ 00 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -5-8 \\ 0-2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -8-7 \\ -2-2/5 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -7-2/5 \\ -2/5-2 \end{vmatrix} \\
&+ \begin{vmatrix} -2/50 \\ -2-3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 05/5 \\ -3-3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 5/58 \\ -3-4 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 812 \\ -4-4/5 \end{vmatrix} \\
&+ \begin{vmatrix} 125 \\ -4/50 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 50 \\ 00 \end{vmatrix} = 84/25 \\
s &= 42/125
\end{aligned}$$

روش خلاصه: در این روش از علامت اعداد صرف نظر می شود و سپس مختصات نقاط به صورت

$\frac{x}{y}$  و با رعایت جهت حرکتی مشخص شده در شکل ردیف می شوند. مساحت مقطع با انجام محاسبات

زیر بدست می آید:



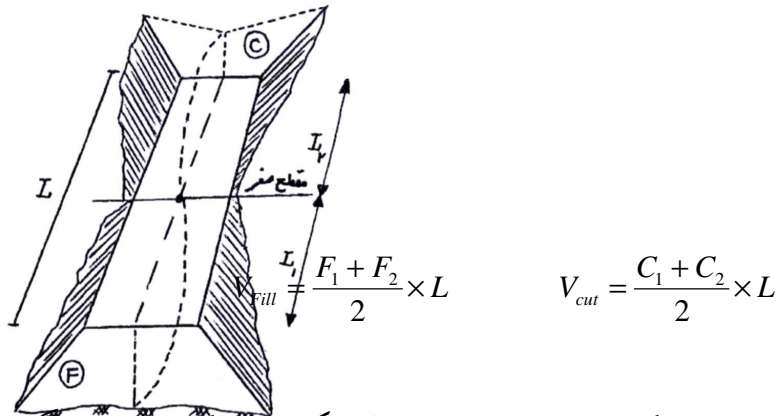
$$\begin{aligned}
2S &= \sum \downarrow - \sum \uparrow = (0 + 7/5 + 14 + 20 + 10 + 16/5 + 24 + 48 + 22/5 + 0) \\
&- (0 + 0 + 6/25 + 14 + 0 + 0 + 0 + 0 + 22 + 36 + 0 + 0) = 84/25 \\
S &= 42/125
\end{aligned}$$

۳-۴- محاسبه خاکی بین دو نیمرخ عرضی متوالی: حجم عملیات خاکی راه با توجه به میزان سطوح

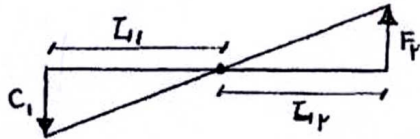
خاکبرداری و خاکریزی نیمرخهای عرضی و فواصل بین آنها محاسبه می گردد. در محاسبه احجام

عملیات خاکی با توجه به وضعیت نیمرخهای عرضی به لحاظ خاکبرداری و خاکریزی، حالت‌های مختلفی به وجود می‌آید که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد.

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



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



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

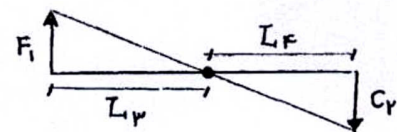
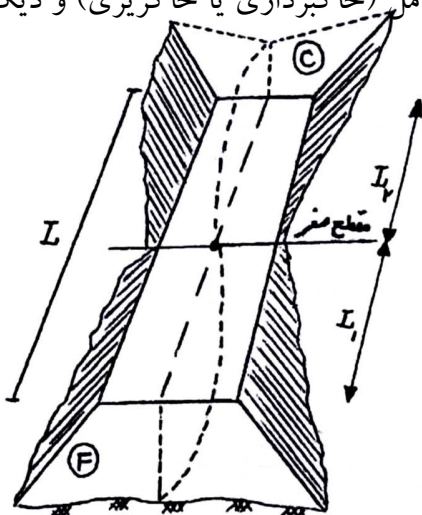
در نتیجه:  $L_1 = \frac{F.L}{F+C}, L_2 = \frac{C.L}{F+C}$

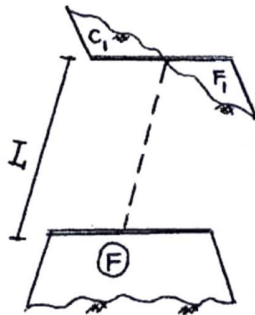
$V_{Fill} = \frac{F+0}{2} \times L_1 = \frac{F}{2} \times L_1$

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

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

به صورت مختلط باشد.





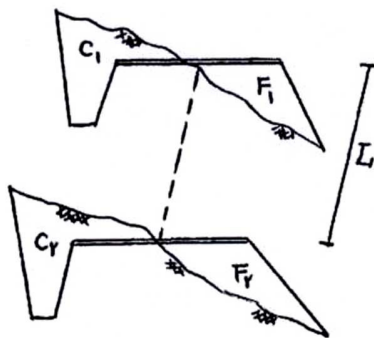
از تشابه  $\frac{C_1}{F} = \frac{L_1}{L_2} \Rightarrow \frac{C_1}{C_1+F} = \frac{L_1}{L}$

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

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

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

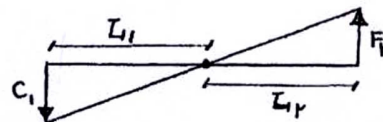
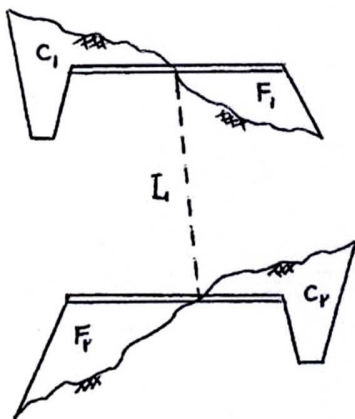
د-حالتی که دو نیمرخ عرضی متوالی هر دو به صورت مختلط و متقابل هستند.



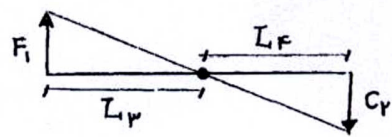
$$V_{Fill} = \frac{F_1 + F_2}{2} \times L$$

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

ه-حالتی که دو نیمرخ عرضی متوالی هر دو به صورت مختلط و غیرمتقابل هستند.



مطابق حالات قبل:  $L_1 = \frac{C_1 L}{C_1 + F_2}, L_2 = \frac{F_2 L}{C_1 + F_2}$



به همین روش:  $L_3 = \frac{F_1 L}{F_1 + C_2}$ ,  $L_4 = \frac{C_2 L}{F_1 + C_2}$

در نتیجه خواهیم داشت:

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

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

#### ۴-۴- محاسبه حجم گل عملیات خاکی در پروژه

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



پروژه شامل چه میزان خاکبرداری و چه میزان خاکریزی می باشد و با مقایسه این مقادیر نیاز پروژه به محل قرضه یا محل دپو معلوم می گردد.

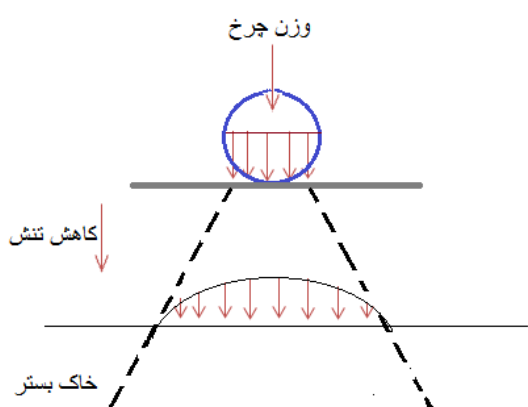
نکته ۱: مقاطع عرضی صفر یا مقاطع مجازی وجود خارجی ندارند و فقط برای اعمال وقت بیشتر در محاسبات از آنها استفاده می شود.

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

#### ۴-۵- حمل خاک

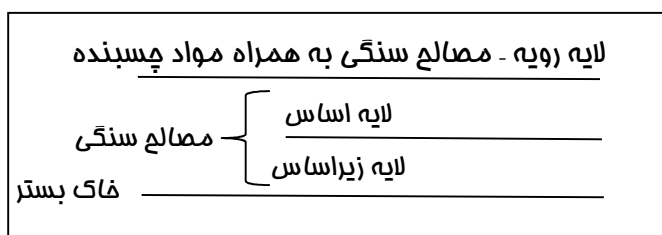
همانطور که قبلا اشاره شد در پروژه های راهسازی نیمرخهای عرضی مختلفی اعم از خاکبرداری و یا خاکریزی وجود دارد و همواره لازم است تا خاک از نقاط مختلفی از پروژه برداشته شده، به نقاط دیگری از آن ریخته شود. این جابجایی که اصطلاحا حمل خاک نامیده می شود، از نظر اقتصادی بسیار حائز اهمیت می باشد. نحوه جابجایی خاک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

- ❖ اولین گام در روسازی، مقاوم سازی خاک جهت عبور ماشین آلات می باشد.
- ❖ یکی از دلایل اجرا شدن روسازی در چند لایه، کاهش تنش های موجود می باشد.
- ❖ هرگاه فشار تماسی بیشتر از مقاومت زمین طبیعی باشد نیاز به روسازی است.



چرا لازم نیست همه لایه های روسازی از یک جنس ساخته شود؟

- ۱- چون تنش ها از بالا به سمت پایین کمتر می شود، نیاز نیست که همه لایه ها از جنس آسفالت باشد.
- ۲- صرفه اقتصادی ندارد.



دلایل اجرای روسازی در حالت کلی را نام ببرید؟

- ۱- کاهش تغییر شکل های طبیعی زمین
- ۲- احساس بهتر راننده به هنگام رانندگی
- ۳- صرفه اقتصادی

هدف از راه سازی راه و فرودگاه چیست؟

- ۱- قابل استفاده در تمام شرایط جوی
- ۲- تحمل وزن وسایل نقلیه
- ۳- ایمنی کافی
- ۴- ایجاد سطح صاف و هموار

- ❖ نکته: در صورتی که آسفالت بیش از ۵ سانتی متر باشد این لایه در ۲ سطح اجرا می شود که سطح زیرین آستر (بیندر) و سطح رویی، رویه (توپکا) نامیده می شود.

## تعداد، ضخامت و جنس لایه‌ها تابع چه مواردی می‌باشد؟

- ۱- مقاومت خاک بستر روسازی (جنس، مقاومت، قابلیت جذب رطوبت، قابلیت تراکم و . . .)
- ۲- خصوصیات آمد و شد (وزن، تعداد و . . .)
- ۳- شرایط جوی منطقه (رطوبت، یخبندان، درجه حرارت)
- ۴- مصالح موجود در محل
- ۵- شرایط اقتصادی

## لایه‌های مختلف روسازی را در حالت کلی توضیح دهید؟

- ۱- لایه متراکم خاک بستر: لایه‌ای است از خاک زمین طبیعی که از مواد آلی و مواد مضر پاک شده و متراکم گردیده است.
- ۲- لایه زیراساس: لایه‌ای از مصالح نسبتاً مرغوب که این لایه بین لایه اساس و خاک بستر اجرا می‌گردد. موارد کاربرد: در راه‌هایی که آمد و شد زیاد بوده و یا مقاومت خاک بستر کم باشد. مصالح آن: سنگ شکسته و یا شن و ماسه
- ۳- لایه اساس: لایه‌ای از مصالح مرغوب که بین لایه رویه و زیراساس و یا لایه رویه و خاک بستر اجرا می‌گردد. مصالح آن: سنگ شکسته، شن و ماسه شکسته، مصالح تثبیت شده با قیر.
- ۴- لایه رویه: جنس لایه رویه خیلی مرغوب بوده و مقاومت آن نسبتاً زیاد می‌باشد. این لایه در بالاترین سطح اجرا می‌شود، لایه رویه در انواع بتن آسفالتی و بتن سیمانی اجرا می‌شود.

## اشکالات مهم و علت آن در طرح روسازی راه چیست؟

- ۱- زیاد بودن طول راه
  - ۲- شرایط جوی
  - ۳- خصوصیات خاک زمین طبیعی
  - ۴- نوع و تعداد وسایل نقلیه
  - ۵- حمل مصالح
- علت:** متغییر بودن عوامل دخیل

## انواع روسازی راه

- ۱- روسازی انعطاف پذیر *Flexible pavement*
- ۲- روسازی صلب *Rigid pavement*
- ۳- روسازی مرکب *Composit pavement*

## انواع ویژگی‌های روسازی راه:

۱- روسازی انعطاف پذیر (آسفالتی):

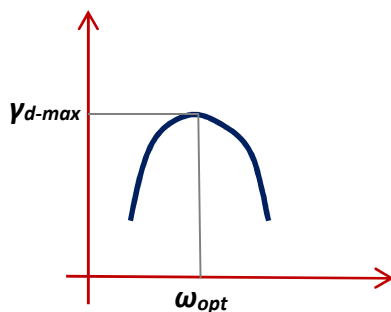
۱. مقاومت برشی مناسب
۲. مقاومت کششی کم
۳. ضریب ارتجاعی (مدول یانگ) پایین

۲- روسازی صلب (بتنی):

۱. مقاومت فشاری و کششی زیاد
۲. ضریب ارتجاعی بالا

۳- روسازی مرکب: ترکیبی از سیستم انعطاف پذیر و صلب

۱. کاهش نفوذ آب به داخل روسازی
۲. مناسب برای روسازی فرودگاه
۳. افزایش ظرفیت باربری و مقاومت در برابر تغییر شکل



$$\text{درصد تراکم} = \frac{\gamma_d}{\gamma_{d-max}} \times 100$$

نمودار تراکم - رطوبت فاکها

مقادیر حداقل درصد تراکم، تابع چه عواملی می باشد؟

- ۱- نوع راه
- ۲- جنس خاک
- ۳- میزان آمد و شد وسایل نقلیه
- ۴- فاصله هر لایه از سطح روسازی

| نوع راه | مداکثر ضخامت لایه |
|---------|-------------------|
| اصلی    | ۱۵ Cm             |
| فرعی    | ۲۵ Cm             |
| روستایی | ۳۰ Cm             |

## غلتک‌های مورد استفاده در راهسازی

غلتک چرخ فولادی: به سه نوع چرخ فولادی ۳ چرخ، چرخ فولادی ۲ چرخ تاندون و چرخ فولادی ۳ چرخ تاندون تقسیم می‌شود. این نوع غلتک‌ها برای خاک‌های دارای شن و ماسه، کوبیدن آسفالت و اتو کردن خاک‌هایی که با غلتک پاچه بزی کوبیده شده‌اند، مناسب هستند.

غلتک چرخ لاستیکی: به دو دسته سبک‌وزن با چرخ کوچک و سنگین‌وزن با چرخ بزرگ تقسیم می‌شود. این غلتک برای خاک‌های ماسه‌ای رسی، لای و مخلوط مناسب می‌باشد.

غلتک پاچه بزی: این غلتک مناسب‌ترین نوع غلتک برای خاک چسبنده رس دار، رس و لای و رس ماسه دار می‌باشد.

غلتک مشبک: این غلتک نوعی غلتک پاچه بزی بوده و برای شکستن و خرد کردن دانه‌های سنگ کاربرد دارد.

غلتک لرزنده: در تراکم خاک‌های دانه‌ای کاربرد دارد که در آن نیروی استاتیکی همراه با ارتعاش برای انجام تراکم به کار می‌رود.

❖ نکته: پس از ۶ تا ۱۰ بار عبور تقریباً تراکم نهایی بدست آمده و با تعداد عبور بیشتر بر تراکم خاک افزوده نمی‌شود.

## روش‌های تعیین مقاومت خاک بستر روسازی:

۱- آزمایش فشاری ۳ محوری

۲- آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)

۳- آزمایش صفحه

۴- آزمایش صفحه به روش VSS

آزمایش CBR: در این آزمایش نسبتی از مقاومت خاک مورد نظر در مقایسه با یک مصالح استاندارد به دست می‌آید، طبق تعریف، CBR یک خاک، نسبت نیروی لازم برای فرو بردن پیستونی به شکل معین و با سرعتی معین و به عمق معین در خاک مورد آزمایش، به نیروی لازم برای فرو بردن همان پیستون با همان سرعت و عمق در مصالح استاندارد می‌باشد.

$$CBR: \begin{cases} P_{2.5 \text{ mm}} \rightarrow P/A = q_{2.5 \text{ mm}} \\ P_{5 \text{ mm}} \rightarrow P/A = q_{5 \text{ mm}} \end{cases} \Rightarrow CBR = \max \left\{ \frac{q_{2.5}}{q_{(2.5)s}}, \frac{q_5}{q_{(5)s}} \right\} \& q_{(2.5)s} = 70, q_{(5)s} = 105$$

❖ نکته: انجام آزمایش بر روی نمونه اشباع شده خاک از این جهت انجام می‌شود که:

۱- معلوم شود در اثر اشباع شدن تا چه حد از مقاومت خاک کاسته می‌شود.

۲- معلوم شود که آیا نمونه خاک قابلیت تورم دارد یا خیر و اگر این قابلیت را دارد مقدارش چقدر می‌باشد.

❖ نکته: هر اندازه CBR خاک بیشتر، کیفیت آن خاک بالاتر و براساس آیین‌نامه معمولاً CBR لایه اساس ۵۰ معین می‌گردد.

❖ نکته: این آزمایش در حال حاضر به عنوان یک روش استاندارد برای تعیین مقاومت خاک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و

با وجود داشتن نقاط ضعف فراوان یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای ارزیابی قدرت باربری خاک بستر روسازی می‌باشد.

## عوامل مؤثر بر CBR خاک

میزان تراکم: هر چه تراکم خاک ما بالاتر باشد خاک مقاومتر شده و CBR بالاتری نشان می‌دهد.

نوع خاک: معمولاً CBR خاک‌های درشت دانه بیشتر از خاک‌های ریزدانه می‌باشد و یا به عنوان مثال شن خوب دانه‌بندی شده دارای CBR بالاتری نسبت به شن بد دانه‌بندی شده می‌باشد.

**مثال:** با توجه به داده‌های زیر CBR خاک مربوطه را بدست آورید.

| نفوذ سوزن | فشار مصالح استاندارد   | فشار نمونه اشباع در سر بار |
|-----------|------------------------|----------------------------|
| 2.5 mm    | 70 Kg/cm <sup>2</sup>  | 3.5                        |
| 5 mm      | 105 Kg/cm <sup>2</sup> | 10.5                       |

$$CBR = \begin{cases} \frac{3.5}{70} \times 100 = 5\% \\ \frac{10.5}{105} \times 100 = 10\% \end{cases} \Rightarrow CBR = \max\{5\%, 10\%\} \Rightarrow CBR = 10\%$$

آزمایش صفحه: برای تعیین قدرت باربری خاک بستر، لایه‌های اساس و زیراساس و در برخی موارد برای طرح روسازی‌های انعطاف پذیر و روسازی‌های صلب مورد استفاده می‌باشد.

آزمایش صفحه به روش VSS: برای تعیین نشانه‌ای از قدرت باربری خاک بستر، لایه‌های اساس و زیراساس به کار می‌رود.

## زیراساس و اساس:

معیارهای مهم در تقسیم بندی لایه‌های اساس و زیراساس:

دانه‌بندی یکی از مهمترین عواملی است که بر مقاومت و قدرت باربری اثرگذار می‌باشد. دانه‌بندی مصالح با انجام آزمایش دانه‌بندی و رسم منحنی دانه‌بندی مشخص می‌گردد. آنچه از الک شماره ۲۰۰ عبور کند ریزدانه و آنچه بر روی الک باقی می‌ماند درشت‌دانه نامیده می‌شود.

مصالح سنگی شکسته شده استقامت و باربری بیشتری نسبت به مصالح رودخانه‌ای دارند. علت این امر آن است که دانه‌های مصالح سنگی شکسته شده دارای گوشه‌های تیز و سطح ناصاف بوده و از این نظر دانه‌های این نوع مصالح بهتر در یکدیگر قفل و بست شده و دارای زاویه اصطکاک داخلی بیشتر نسبت به مصالح گردگوشه می‌باشد، میزان شکستگی مصالح سنگی با انجام آزمایش تعیین درصد شکستگی بدست می‌آید.

آزمایش تعیین درصد شکستگی: نحوه انجام آزمایش به این ترتیب است که پس از الک کردن قسمت درشت‌دانه مصالح سنگی، بخشی که از الک شماره ۴ رد نمی‌شود از کل نمونه آزمایش جدا شده تا تک‌تک دانه‌ها مورد بررسی قرار گرفته و تعداد وجوه شکسته آنها تعیین گردد. درصد شکستگی دانه‌ها از تقسیم وزن دانه‌هایی که حداقل یک وجه شکسته دارند به وزن کل دانه‌ها بدست می‌آید.

$$\text{درصد شکستگی} = \frac{\text{وزن دانه‌های با حداقل یک وجه شکسته}}{\text{وزن کل دانه‌ها}}$$

آزمایش سختی: مصالحی که در لایه‌های زیراساس، اساس و رویه به کار می‌رود باید در برابر وزن وسایل نقلیه سنگین و همچنین وزن غلطک‌ها مقاومت کافی داشته باشند و نباید بر اثر بارهای وارده شکسته و خرد شوند. سختی مصالح سنگی با آزمایش لوس آنجلس مشخص می‌شود.

❖ نکته: طبق آیین‌نامه‌ها حداکثر میزان سایدگی مصالح برای لایه‌های اساس و زیراساس به ۵۰ محدود می‌شود.

تمیزی مصالح: مصالح سنگی که برای لایه‌های اساس و زیراساس به کار می‌رود باید تمیز و عاری از هرگونه مواد خارجی و مضر از قبیل مواد آلی، خاک رس و سنگ‌های نرم و کم دوام باشد.

برای تعیین تمیزی مصالح سنگی از آزمایش هم ارز ماسه‌ای استفاده می‌شود.  $SE = H_s/H_c \times 100$

$SE$ : ارزش ماسه‌ای،  $H_s$ : ارتفاع ماسه ته نشین شده،  $H_c$ : ارتفاع مواد رسی و ریزدانه

| نوع راه      | اساس | زیراساس |
|--------------|------|---------|
| راه های اصلی | ۵۰   | ۲۵      |

تثبیت خاک: مواردی را که مهندسين راه‌ساز با آن پیوسته درگیر هستند، خاک نامرغوب و سست در خاک بستر می‌باشد، بنابراین بوسیله تثبیت خاک با مصالح و روش‌های مختلف، نقاط ضعف خاک را حتی الامکان برطرف می‌نمایند.

روش‌های تثبیت خاک:

- ۱- مکانیکی: غلتک
- ۲- شیمیایی: آهک - سیمان
- ۳- فیزیکی: قیر

## ویژگی های خاک بعد از تثبیت:

- ۱- برطرف شدن ضعف مشخصات کیفی مصالح خاک بستر.
- ۲- ایجاد لایه‌هایی با قابلیت باربری بیشتر.
- ۳- کنترل گرد و غبار و جلوگیری از حرکت ذرات خاک.
- ۴- افزایش مقاومت و دوام مصالح.

## انتخاب نوع ماده تثبیت کننده به چه عواملی بستگی دارد؟

- ۱- جنس خاک (شن، ماسه و ...)
- ۲- شرایط جوی منطقه (سرد سیر، گرم سیر و ...)
- ۳- میزان آمد و شد (ترافیک سنگین، متوسط و ...)
- ۴- هدف از انجام تثبیت خاک.

## روش های تثبیت خاک:

مکانیکی: این روش ساده‌ترین و کم هزینه‌ترین روش در میان روش‌های تثبیت خاک می‌باشد که در واقع به سه دسته استاتیکی، ضربه‌ای و ارتعاشی تقسیم می‌شود.

## ویژگی های خاک بعد از تثبیت به روش مکانیکی:

- ۱- افزایش مقاومت و سختی خاک. ۲- کاهش نفوذ پذیری.

تثبیت خاک با آهک: این روش شیمیایی باعث کاهش خواص خمیری خاک می‌گردد.

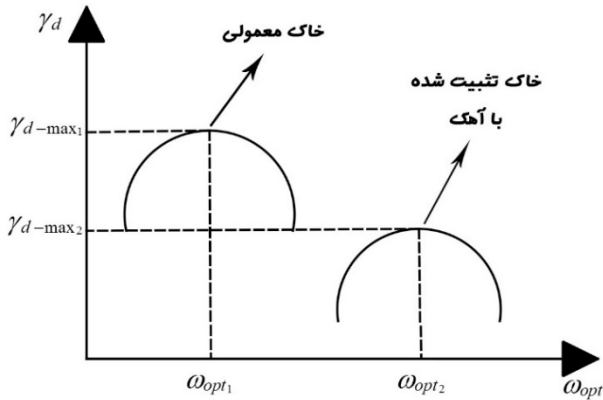
مقدار آهک مصرفی در روش تثبیت خاک با آهک به  $۰/۵\%$  تا  $۸\%$  محدود می‌گردد.

## سوال: چه خاک‌هایی برای تثبیت با آهک مناسب هستند؟

- ۱- خاک‌های با واکنش: خاک‌هایی هستند که پس از تثبیت خاک با آهک و عمل‌آوری آن به مدت ۲۸ روز در گرمای ۲۰ درجه، افزایش مقاومتی بیشتر از  $۳/۵ \text{ kg/cm}^2$  از خود نشان می‌دهند.
  - ۲- خاک‌های بدون واکنش: خاک‌هایی هستند که پس از تثبیت خاک با آهک و عمل‌آوری آن به مدت ۲۸ روز در گرمای ۲۰ درجه، افزایش مقاومتی کمتر از  $۳/۵ \text{ kg/cm}^2$  از خود نشان می‌دهند.
- ❖ نکته: براساس آیین‌نامه روسازی راه‌های ایران، آهک در ساخت زیراساس آهکی به کار می‌رود.



## خصوصیات خاک‌های تثبیت شده با آهک



تراکم خاک:  $\omega_{opt}$ ,  $\gamma_d-max$  مهمترین پارامترهای عامل تراکم می‌باشند. خاک تثبیت شده با آهک دارای حداکثر وزن مخصوص خشک کمتر و درصد رطوبت بهینه بیشتر نسبت به خاک معمولی می‌باشد.

خصوصیت خمیری خاک: اضافه کردن آهک به خاک خصوصیات خمیری خاک را کاهش می‌دهد.

این خصوصیات عبارتند از: دامنه خمیری ( $PI$ ) و حد روانی ( $LL$ )

## تغییر حجم خاک پس از تثبیت:

- ۱- تورم (انبساط): میزان تورم خاک هنگامی که تثبیت می‌شود از ۷٪ یا ۸٪ به ۱٪ / ۰ کاهش می‌یابد.
- ۲- جمع شدگی (انقباض): خاک تثبیت شده با آهک دارای درصد انقباض کمتری از خاک تثبیت نشده می‌باشد.

مقاومت: مقاومت خاک تثبیت شده با آهک را می‌توان با بررسی مقاومت آبی و مقاومت دراز مدت بررسی کرد. آزمایش‌هایی که برای اندازه‌گیری مقاومت خاک‌های با تثبیت آهکی انجام می‌شود عبارتند از:

- ۱- آزمایش  $CBR$  (نسبت باربری کالیفرنیا). ۲- آزمایش تک محوری. ۳- آزمایش سه محوری.

## مقاومت فشاری < مقاومت خمشی < مقاومت کششی

❖ نکته: افزایش مقاومت خاک تثبیت شده با آهک تا ۱۰ سال ادامه دارد و بعد از آن تقریباً متوقف می‌شود.

تغییر شکل نسبی: هرچه مقاومت خاک تثبیت شده بیشتر می‌گردد، تغییر شکل نسبی آن کمتر می‌شود.

خستگی: هرچه قدر میزان بارگذاری افزایش یابد (تعداد دفعات بارگذاری تا گسیختگی) میزان تحمل بار وارده از جانب خاک تثبیت شده کمتر می‌شود.

دوام: منظور از دوام، مقاومت مصالح خاکی تثبیت شده با آهک، در برابر تکرار پدیده یخبندان-ذوب می‌باشد.

پدیده یخبندان-ذوب: پدیده‌ای که خاک در فصل سرما دچار یخ زدگی شده و در اوایل فصل بهار یخ ایجاد شده ذوب می‌گردد.

## تثبیت خاک با سیمان:

مشخصات خاک تثبیت شده با سیمان به عوامل زیر بستگی دارد:

- ۱ - جنس خاک
  - ۲ - مقدار سیمان مصرفی
  - ۳ - شرایط عمل آوری (همانند بتن)
- ❖ نکته: مقدار سیمان مصرفی معمولاً بین ۷٪ تا ۲۰٪ خاک می باشد.

## خاک های قابل تثبیت با سیمان:

خاک های ریزدانه: مقدار سیمان مصرفی برای تثبیت خاک های ریزدانه به صورت کلی بین ۷٪ تا ۲۰٪ می باشد.

خاک های ماسه ای: میزان سیمان مصرفی برای تثبیت خاک های ماسه ای از جمله ماسه بادی بین ۵٪ تا ۱۲٪ می باشد.

خاک های شنی: میزان سیمان مصرفی برای تثبیت خاک های شنی بین ۲٪ تا ۶٪ می باشد.

تثبیت خاک با قیر: مخصوص خاک های درشت دانه و شنی می باشد، زیرا اندود کردن خاک های درشت دانه با قیر بسیار راحت تر صورت می گیرد.

## بررسی چند نکته در تثبیت خاک ها با قیر:

- ۱ - قیر زودگیر و امولسیون های قیر دیرشکن برای تثبیت ماسه مناسب می باشد.
- ۲ - در مناطق گرم و خشک، ماسه تثبیت شده با قیر برای کاربرد در لایه های روسازی بسیار مناسب می باشد.
- ۳ - مقدار قیر لازم برای تثبیت خاک های ماسه ای با استفاده از آزمایش استقامت هوبارد فیلد تعیین می شود. این مقدار قیر باید به گونه ای باشد که استقامت خاک تثبیت شده بزرگتر از 550kg باشد.

## نحوه انجام آزمایش استقامت هوبارد فیلد:

نمونه خاک تثبیت شده با قیر را پس از متراکم شدن، در گرم خانه ای با دمایی حدود 60°C قرار می دهیم، پس از آن نمونه را در دستگاه هوبارد فیلد قرار می دهیم و از بالا نیرو وارد کرده تا اینکه نمونه از سوراخی که قطرش کمی کمتر از قطر نمونه است با سرعت معین عبور کند، طبق تعریف، به حداکثر نیروی لازم برای عبور نمونه از سوراخ استقامت هوبارد فیلد گفته می شود که واحد آن بر حسب کیلوگرم است.

## انواع قیرهای موجود:

قیر طبیعی: به صورت سنگ‌های بزرگ و یا به صورت دریاچه بزرگ در سطح زمین مشاهده می‌شود.

**قیر قطران:** نوعی چسباننده است که رنگ سیاه مایل به قهوه‌ای دارد، این ماده از تقطیر گازهای حاصل از حرارت دادن ذغال سنگ و چوب بدست می‌آید که آن را قطران خام می‌نامند و از تصفیه قطران خام قطران راه‌سازی حاصل می‌شود.

**قیر نفتی:** همانطور که از اسم آن پیداست از تقطیر نفت خام بدست می‌آید. عناصر تشکیل دهنده آن کربن، هیدروژن، اکسیژن و گوگرد می‌باشد.

## منابع نفت خام:

|              |               |                          |
|--------------|---------------|--------------------------|
| ۱ - آسفالتیک | ۲ - پارافینیک | ۳ - آسفالتیک - پارافینیک |
|--------------|---------------|--------------------------|

❖ **نکته:** بهترین قیری که در راه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد از منابع آسفالتیک می‌باشد و بدترین برای راه‌سازی قیر پارافینیک می‌باشد.

## انواع قیرهای مصرفی:

**قیر خالص:** از تقطیر نفت خام بدست می‌آید که به آن قیر تقطیری نیز می‌گویند.

**قیر دمیده:** اگر در قیر خالص هوای داغی در حدود  $200^{\circ}\text{C}$  الی  $300^{\circ}\text{C}$  دمیده شود آنگاه قیر دمیده حاصل می‌شود.

**قیر محلول:** از ترکیب حلال‌های نفتی مانند بنزین، نفت سفید و گازوئیل با قیر خالص حاصل می‌شود.

**قیر امولسیون (قیرآبه):** از ترکیب قیر خالص با آب و ماده امولسیون‌ساز کاتیونی یا آنیونی حاصل می‌گردد.

## آزمایشات مهم قیر:

|               |               |                           |
|---------------|---------------|---------------------------|
| ۱ - درجه نفوذ | ۲ - درجه نرمی | ۳ - کندروانی یا ویسکوزیته |
|---------------|---------------|---------------------------|

**آزمایش درجه نفوذ:** مقدار طولی که سوزن استاندارد برحسب دهم میلی‌متر با وزن معلوم و با زمان معین و یک دمای مشخص در قیر فرو می‌رود.

❖ **نکته:** هر چه میزان نفوذ سوزن در قیر بیشتر باشد درجه نفوذ قیر بیشتر است و در نتیجه قیر مورد استفاده نرم‌تر می‌باشد.

❖ **نکته:** هر اندازه آب و هوای منطقه گرم‌تر و یا میزان حجم ترافیک در آن منطقه بیشتر باشد از قیر با درجه نفوذ کمتر برای راه‌سازی در آن منطقه استفاده می‌شود.

آزمایش درجه نرمی: درجه نرمی قیر درجه حرارتی است که قیر از حالت جامد به حالت روان در می آید.

❖ نکته: قیری که درجه نرمی آن بیشتر باشد در مقابل تغییرات درجه حرارت حساسیت کمتری دارد و درجه نفوذ آن کمتر تغییر می کند.

آزمایش کندروانی یا ویسکوزیته: برای تعیین خاصیت روانی قیرها در درجه حرارت‌های بالا به کار می رود، در واقع خاصیتی از قیر را که دیرتر به حالت روان شدگی یا جاری شدگی دچار شود کندروانی گویند.

❖ نکته: در قیر خالص سرد، کندروانی زیاد است و در قیر خالص داغ کندروانی کم است.

نام گذاری قیرها:

۱ - نام گذاری قیرهای خالص:

|            |                    |                     |
|------------|--------------------|---------------------|
| $AC_{x-y}$ | درجه نفوذ حداقل: x | درجه نفوذ حداکثر: y |
|------------|--------------------|---------------------|

الف) انواع قیر خالص بر اساس طبقه بندی نفوذ:

|              |               |                |                |
|--------------|---------------|----------------|----------------|
| $AC_{60-70}$ | $AC_{85-100}$ | $AC_{120-150}$ | $AC_{200-300}$ |
|--------------|---------------|----------------|----------------|

❖ مثال)  $AC_{40-50}$ :  $40 \times 0.1 \text{ mm} = 4 \text{ mm}$ ,  $50 \times 0.1 \text{ mm} = 5 \text{ mm}$

ب) نام گذاری قیر خالص بر مبنای عملکرد:

|            |                           |                          |
|------------|---------------------------|--------------------------|
| $PG_{x-y}$ | حداکثر درجه حرارت ممیص: x | حداقل درجه حرارت ممیص: y |
|------------|---------------------------|--------------------------|

|           |           |           |           |           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $PG_{46}$ | $PG_{52}$ | $PG_{58}$ | $PG_{64}$ | $PG_{70}$ | $PG_{76}$ | $PG_{82}$ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|

❖ هرکدام از قیرهای فوق نیز دارای زیر مجموعه ای است، به عنوان مثال  $PG_{46-32}$  زیر مجموعه  $PG_{46}$  است.

۲ - نام گذاری قیرهای دمیده:

|           |              |              |
|-----------|--------------|--------------|
| $R_{x/y}$ | درجه نرمی: x | درجه نفوذ: y |
|-----------|--------------|--------------|

قیرهای دمیده تولید ایران

|             |             |              |
|-------------|-------------|--------------|
| $R_{80/25}$ | $R_{90/15}$ | $R_{110/10}$ |
|-------------|-------------|--------------|

### ۳- نامگذاری قیرهای محلول:

قیر خالص + حلال نفتی { بنزین ، گازوئیل ، نفت سفید } ← قیر محلول

#### الف) نامگذاری قیرهای محلول بر مبنای گیرش

۱. قیر تند گیر (RC) ← قیری که حلال نفتی آن سریع تبخیر می شود.
۲. قیر کند گیر (MC) ← قیری که حلال نفتی آن نسبتاً سریع تبخیر می شود.
۳. قیر دیر گیر (SC) ← قیری که حلال نفتی آن تبخیر نمی شود، بلکه تغییر شکل ملکولی می دهد.

#### ب) نامگذاری قیرهای محلول بر اساس کندروانی

۱. بنزین + قیر خالص ← RC
۲. نفت سفید + قیر خالص ← MC
۳. گازوئیل + قیر خالص ← SC

#### ج) درجه بندی قیرهای محلول بر اساس کندروانی

۱. RC-1, RC-2, ...
۲. MC-1, MC-2, ...
۳. SC-1, SC-2, ...

❖ در این روش کندروانی قیرهای محلول با استفاده از اعداد صفر تا پنج مشخص می شود. و قیر RC-2 نسبت به قیر RC-1 سفت تر است.

### ۴- نامگذاری قیرآبه ها (قیرهای امولسیون)

قیر خالص + آب + ماده امولسیون ساز ← قیر آبه

(قیر خالص = ۵۵ تا ۶۵ درصد) + (آب = ۳۵ تا ۴۵ درصد) + (ماده امولسیون ساز = ۰٫۷ درصد)

|                     |                            |
|---------------------|----------------------------|
| ❖ مواد امولسیون ساز | ۱ - نمک قلیایی اسیدهای آلی |
|                     | ۲ - نمک آمونیوم            |

قیر خالص + آب + نمک های قلیایی اسیدهای آلی ← قیر امولسیونی آنیونی

قیر خالص + آب + نمک آمونیوم ← قیر امولسیونی کاتیونی

|             |  |
|-------------|--|
| ❖ قیرآبه ها | ۱ - قیر آنیونیک: سطح ذرات قیر دارای بار منفی است.  |
|             | ۲ - قیر کاتیونیک: سطح ذرات قیر دارای بار مثبت است. |

## تعدادی از موارد کاربرد قیرهای مختلف:

- ۱- در مناطق با آب و هوای سرد و خشک بهتر است از قیرهای محلول استفاده شود.
- ۲- در مناطق با آب و هوای مرطوب و یا مصالح سنگی مرطوب، بهتر است از امولسیون قیر استفاده شود.
- ۳- برای ساختن بتن آسفالتی گرم از قیر خالص و برای ساختن بتن آسفالتی سرد از قیرهای محلول و یا امولسیون‌های قیر استفاده شود.

## تعدادی از آزمایشات مهم قیر

- ۱- تعیین خاصیت انگمی قیر (چسبندگی قیر): میزان افزایش طولی که نمونه قیری با شکل و ابعاد معین در یک دمای معین میتواند کش بیاید تا پاره شود.
- ۲- آزمایش لعاب نازک قیر: برای تعیین نشانه‌ای از سفتی و یا پیرشدگی قیرها از طریق حرارت دادن به قیر است.
- ۳- آزمایش درجه اشتعال قیر: تعیین درجه حرارتی که وقتی گرمای قیر به آن درجه حرارت می‌رسد با نزدیک کردن شعله به سطح قیر، سطح قیر شعله‌ور می‌شود.

آشنایی با آسفالت ← قیر + مصالح سنگی (ریزدانه و درشت‌دانه) ← آسفالت

## تقسیم بندی انواع آسفالت

- ۱- آسفالت گرم: برای جاده‌های با ترافیک سنگین و خیلی سنگین
- ۲- آسفالت سرد: برای جاده‌های با ترافیک متوسط و سبک
- ۳- آسفالت حفاظتی: جاده‌های با ترافیک خیلی کم و خیلی سبک

## بتن آسفالتی گرم

مقاوم‌ترین و با دوام‌ترین نوع مخلوط‌های آسفالتی است. این مخلوط ترکیبی از سنگ دانه‌های شکسته و دانه بندی شده و درصدی از ریزدانه می‌باشد که در کارخانه آسفالت حرارت داده شده و با قیر گرم در درجه حرارت‌های بالا مخلوط می‌شود و در ادامه به صورت گرم برای مصرف در راه حمل، پخش و کوبیده می‌شود.

## موارد کاربرد آسفالت گرم:

- ۱- لایه رویه { توپکا ، بیندر } : توپکا نسبت به بیندر دارای قیر بیشتر و دانه‌بندی ریزتری می‌باشد.
- ۲- لایه اساس قیری: اگر از بتن آسفالتی گرم برای ساختن لایه اساس استفاده شود ، اساس قیری نام دارد.
- ۳- ماسه آسفالت: ماسه طبیعی یا شکسته + قیر ← ماسه آسفالت
- ۴- آسفالت متخلخل: قیر خالص + مصالح سنگی ۱۰۰٪ شکسته شده ← آسفالت متخلخل

## درشت دانه + ریزدانه + فیلر ← مصالح سنگی آسفالت

(مصالح باقیمانده روی الک # ۴ = درشت دانه)، (مصالح بین الک # ۴ و # ۲۰۰ = ریزدانه)، (مصالح رد شده از الک # ۲۰۰ = ریزدانه)

### مهمترین اثرات فیلر در آسفالت:

- ۱ - افزایش عمر روسازی
- ۲ - افزایش مقاومت در برابر تأثیر آب
- ۳ - افزایش قدرت باربری
- ۴ - افزایش مقاومت برشی و فشاری
- ۵ - کاهش تغییر شکل نسبی

### طرح اختلاط بتن آسفالتی گرم:

هدف: انتخاب مناسب‌ترین و با صرفه‌ترین مخلوط مصالح سنگی و قیر

### طرح اختلاط بتن آسفالتی به روش مارشال:

یکی از متداولترین روش‌های طرح بتن آسفالتی است که نمونه ساخته شده بتن آسفالتی (1200gr) را به مدت معین در آب گرم قرار می‌دهند و پس از خارج کردن از آب، نمونه‌ها را تحت فشار قرار می‌دهند تا گسیخته شود. حداکثر نیروی لازم جهت گسیخته شدن بتن آسفالتی بر حسب کیلوگرم اندازه‌گیری می‌شود که آن را استقامت مارشال می‌نامند.

محاسبه پارامترهای مورد نیاز آزمایش استقامت مارشال

$$P_b = \frac{\text{درصد قیر مخلوط آسفالتی}}{\text{درصد وزنی کل مخلوط آسفالتی}} = \text{درصد وزنی قیر در بتن آسفالتی}$$

$$G_b = \text{پگالی قیر}$$

$$P_s = \frac{\text{درصد مصالح سنگی}}{\text{درصد وزنی کل مخلوط آسفالتی}} = \text{درصد وزنی مصالح سنگی در بتن آسفالتی}$$

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3}} = \text{پگالی واقعی مصالح سنگی}$$

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| $P_1 =$ درصد وزنی درشت دانه | $G_1 =$ مگالی واقعی مصالح سنگی درشت دانه |
| $P_2 =$ درصد وزنی ریز دانه  | $G_1 =$ مگالی واقعی مصالح سنگی ریز دانه  |
| $P_3 =$ درصد وزنی فیلر      | $G_3 =$ مگالی واقعی مصالح سنگی فیلر      |

$$G_{se} = \frac{100 - P_b}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} = \text{مگالی مؤثر مصالح سنگی}$$

$G_{mm} =$  مگالی تئوری حداکثر مخلوط آسفالتی

$$P_{ba} = \left[ \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \times G_{sb}} \times G_b \right] \times 100 = \text{درصد قیر جذب شده}$$

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \times P_s = \text{درصد قیر مؤثر}$$

سه عامل مهم در عملکرد لایه آسفالتی:

$$1) VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times P_s = \text{درصد فضای فالی مصالح سنگی}$$

$G_{mb} =$  مگالی واقعی بتن آسفالتی

$$2) V_a = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100 = \text{درصد فضای فالی بتن آسفالتی}$$

$$3) VFA = \frac{VMA - V_a}{VMA} \times 100 = \text{درصد فضای فالی مصالح سنگی پر شده با قیر}$$

رسم منحنی‌های آزمایش مارشال

پس از آنکه نمونه‌های بتن آسفالتی ساخته شده با درصد قیرهای مختلف تحت آزمایش مارشال قرار گرفتند، منحنی‌های آزمایش مارشال بر حسب درصد وزنی قیر و درصد فضای خالی، درصد وزنی قیر و وزن مخصوص آسفالت، درصد وزنی قیر و درصد فضای خالی مصالح سنگی و درصد وزنی قیر و استقامت مارشال در ۴ نمودار مختلف رسم می‌گردد.

لذا مقدار قیری که برای ساختن بتن آسفالتی بکار می‌رود میانگین مقادیری است که بیشترین استقامت، بیشترین وزن مخصوص و مناسبترین فضای خالی را در بتن آسفالتی سبب می‌شود.



**مثال:** اگر در یک بتن آسفالتی، درصد فضای خالی مصالح پر شده با قیر برابر ۷۰ درصد، فضای خالی مصالح سنگی برابر ۱۰ درصد و حداکثر چگالی نظری ۲/۵ باشد، چگالی واقعی بتن آسفالتی کدام است؟

$$VFA = \frac{VMA - V_a}{VMA} \times 100$$

$$VFA = 70\%$$

$$VMA = 10\%$$

$$\rightarrow 70 = \frac{10 - V_a}{10} \times 100 \rightarrow V_a = 3\%$$

$$V_a = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100$$

$$V_a = 3\%$$

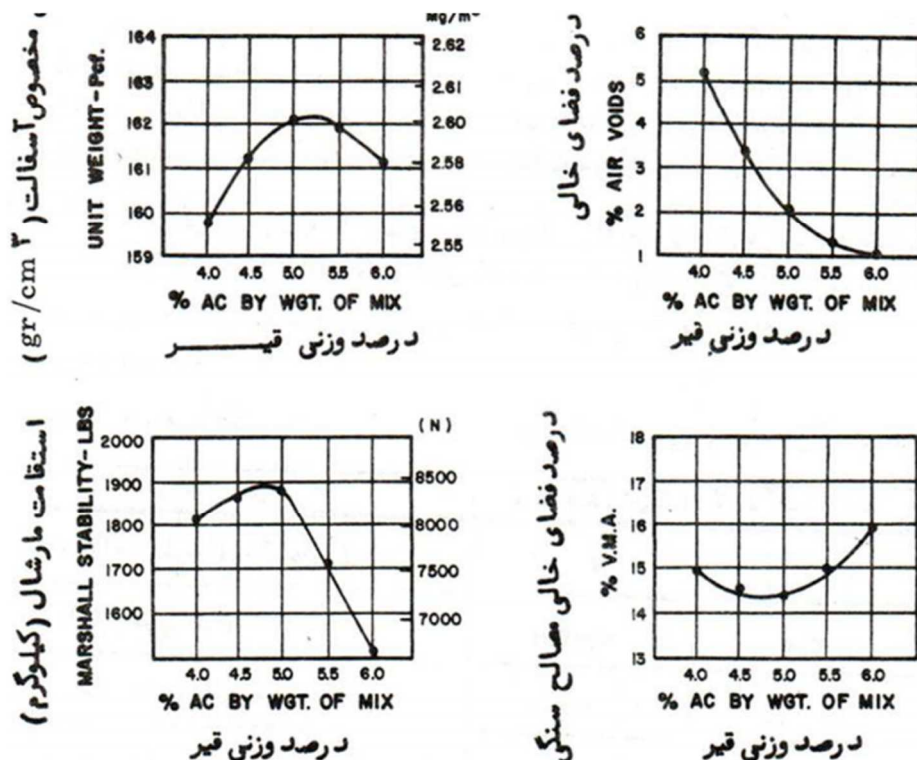
$$G_{mm} = 2.5$$

$$\rightarrow 3 = \frac{2.5 - G_{mb}}{2.5} \times 100 \rightarrow G_{mb} = 2.425$$

### رسم منحنی‌های آزمایش مارشال

پس از آنکه نمونه‌های بتن آسفالتی ساخته شده با درصد‌های مختلف قیر تحت آزمایش مارشال قرار گرفته و درصد فضاهای خالی آن تعیین شد، منحنی‌های آزمایش مارشال به طوریکه در شکل‌های زیر نشان داده شده‌اند ترسیم می‌شود.

این منحنی‌ها نمایشگر تاثیر میزان قیر بر مشخصات فنی بتن آسفالتی ساخته شده می‌باشد.



## سرما و یخبندان در روسازی

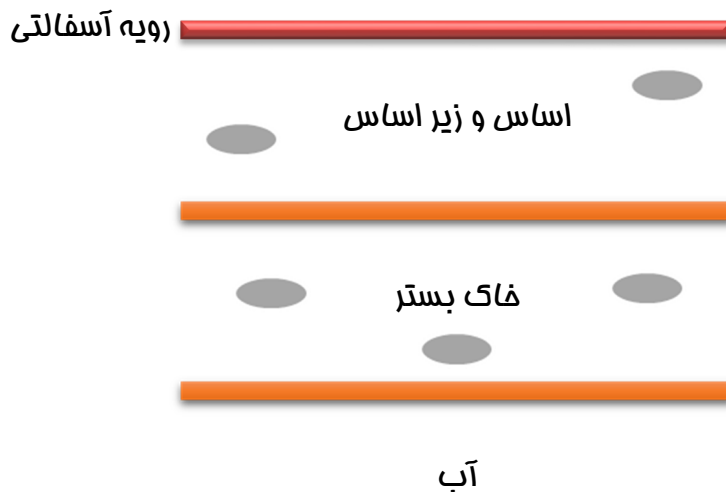
ویژگی مصالح مناسب برای مبارزه با پدیده تورم:

۱. عدم حساسیت به یخبندان
۲. نفوذ پذیری متوسط تا زیاد به جهت آنکه نتواند آب را داخل خاک نگه دارد.

### تورم

وقتی آب موجود در سطوح زیر زمینی در اثر خاصیت موینگی بالا می آید، در اثر رجوع به هوای سرد زیر صفر درجه عدس های یخ تشکیل می شود و حجم داخل عدس ها به علت یخ زدن افزایش یافته و در نتیجه حجم خاک و مصالح روسازی نیز افزایش میابد و به علت پدیده ذوب در فصل بهار انواع خرابی های روسازی به وجود می آید.

### دمای هوای زیر صفر



### سه عامل اصلی تورم در روسازی

- ۱ - هوای سرد زیر صفر درجه
- ۲ - خاک ریزدانه (بدترین خاک، خاک های لای دار می باشد).
- ۳ - منبع آب زیر زمینی در عمق کمتر از ۳ متر

### خاک های حساس در برابر یخبندان

- ۱ - خاک ماسه ای که با مقادیر زیادی ریزدانه همراه باشد.
- ۲ - خاک لای دار
- ۳ - رس لای دار (دامنه ی خمیری کمتر از ۱۲)

## راهکارهای مبارزه یا راهکارهای حفظ روسازی در برابر پدیده یخبندان

- ۱ - حفاظت کامل و نیمه کامل لایه‌های روسازی
- ۲ - ایجاد زهکشی عمیق
- ۳ - سطح روسازی را به وسیله ایجاد خاک‌ریز بالاتر بیاوریم.
- ۴ - به خاک قابل تورم آهک اضافه کنیم.
- ۵ - خاک قابل تورم را با رطوبتی بیشتر از رطوبت بهینه مرطوب کرده و متراکم کنیم.

### طبقه‌بندی مساسیت خاک‌ها به پدیده یخ زدگی

|          |                 |        |     |
|----------|-----------------|--------|-----|
| مساسترین | فای لای دار     | بهترین | FG1 |
|          |                 | ...    | FG2 |
| مساسترین | رس با $PI < 12$ | ...    | FG3 |
|          |                 | بدترین | FG4 |

### طبقه بندی مساسیت خاک ها از نظر طبقه بندی متمد و آشتو (AASHTO)

| طبقه بندی آشتو (AASHTO) | طبقه بندی متمد |                    |
|-------------------------|----------------|--------------------|
| A-1                     | SW-GW          | غیر مساس           |
| A-2                     | SP-GP          |                    |
| .                       | .              |                    |
| A-7                     | CH             | متوسط              |
| A-6                     | CL             | متوسط تا زیاد      |
| A-4                     | MH             | متوسط تا خیلی زیاد |
| A-5                     | ML             |                    |

### تعیین عمق یخبندان

طراحی روسازی: مهمترین طراحی‌های روسازی، تعیین عمق یخبندان روسازی می باشد.

$$Z = A\sqrt{FI}$$

$Z$  = عمق یخبندان       $A$  = عدد ثابت       $FI$  = شافص برودت هوا

## روش‌های تعیین عمق یخبندان

۱- روش تجربی

۲- روش دقیق

فرمول صفحه‌ی قبل مربوط به روش تجربی می‌باشد که در آن عمق یخبندان بر حسب  $cm$  و  $A$  عدد ثابت (تابع خصوصیات حرارتی مصالح) و  $FI$  شاخص برودتی هوا بر حسب روز-درجه می‌باشد.

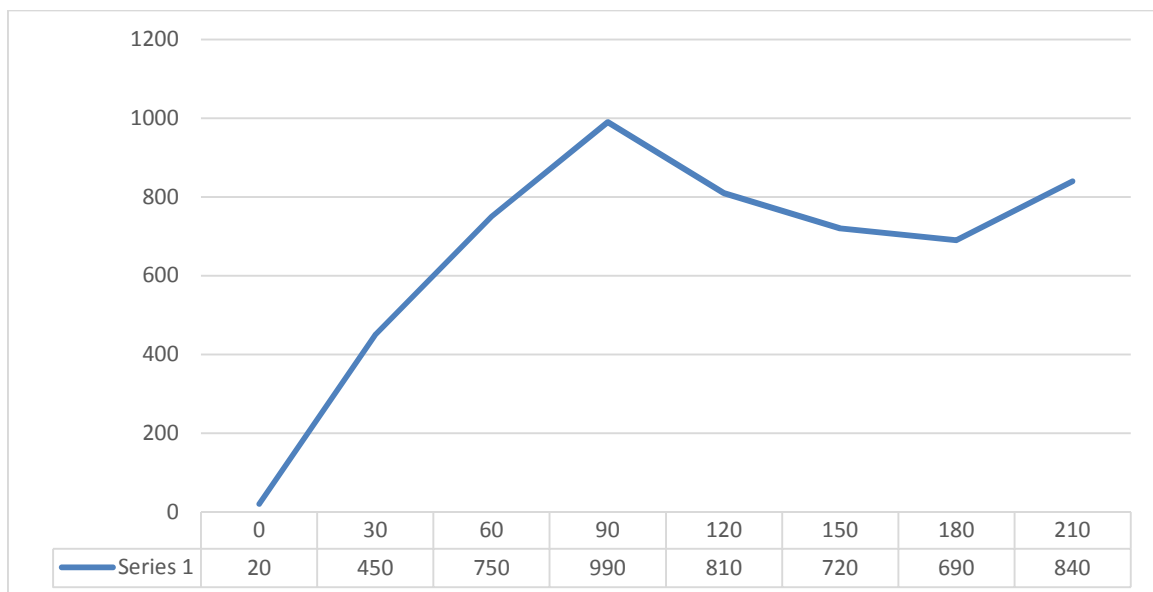
❖ نکته: پارامتر  $A$  برای مصالح شنی با نفوذ پذیری خوب برابر 4.7 می‌باشد.

(مثال) در تمرین زیر شاخص برودت هوا را محاسبه کنید.

تذکر: تمام ماه‌ها ۳۰ روزه فرض می‌شود و نیز دمای روز اول مهر ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

| ماه                 | مهر | آبان | آذر | دی   | بهمن | اسفند | فروردین |
|---------------------|-----|------|-----|------|------|-------|---------|
| درجه حرارت °C       | 15  | 10   | 8   | -6   | -3   | -1    | 5       |
| ۳۰ برابر درجه حرارت | 450 | 300  | 240 | -180 | -90  | -30   | 150     |
| درجه حرارت تجمعی    | 450 | 750  | 990 | 810  | 720  | 690   | 840     |

$$FI = 990 - 690 = (300) \text{ روز-درجه}$$



❖ در این سوال فصل سرما به علت وجود داده‌های منفی سه ماه است (دی، بهمن، اسفند) لذا  $min$  را در این دماهای

منفی باید مشخص کنیم. پس توجه شود که فصل سرما باید در زمستان و دمای زیر صفر در نظر گرفته شود.

مثال) مشخصات یک روسازی به صورت جدول زیر می باشد.

|            |             |           |               |
|------------|-------------|-----------|---------------|
| نوع لایه   | رویه آسفالت | لایه اساس | لایه زیر اساس |
| ضفامت لایه | 5 cm        | 18 cm     | 25 cm         |

فرض می شود مصالح شنی با نفوذپذیری خوب باشد و شاخص یخبندان ۹۰۰ روز- درجه باشد.

مطلوب است تعیین عمق یخبندان خاک بستر؟

$$Z = \text{عمق یخبندان} \quad A = 4.7 \quad FI = 900$$

$$Z = A\sqrt{FI} \Rightarrow Z = 4.7\sqrt{900} \Rightarrow Z = 141 \text{ cm}$$

$$\text{عمق یخبنده} = 141 - 48 = 93 \text{ cm} \Rightarrow \text{عمق لایه ها} = 5 + 18 + 25 = 48$$

|                                  |          |       |
|----------------------------------|----------|-------|
| عمق یخبندان در خاک بستر<br>93 cm | آسفالت   | 5 cm  |
|                                  | اساس     | 18 cm |
|                                  | زیر اساس | 25 cm |
|                                  | فک بستر  | ∞     |

روش دقیق محاسبه عمق یخبندان

$$Z = \lambda \cdot \sqrt{\frac{48 \cdot FI}{\frac{L}{K}}}$$

$\lambda$  = ضریب تصمیع آلدریج

$Z$  = عمق یخبندان

$L$  = حرارت نهایی تجمعی  $\left(\frac{\text{cal}}{\text{cm}^3}\right)$

$FI$  = شفاف برودت هوا

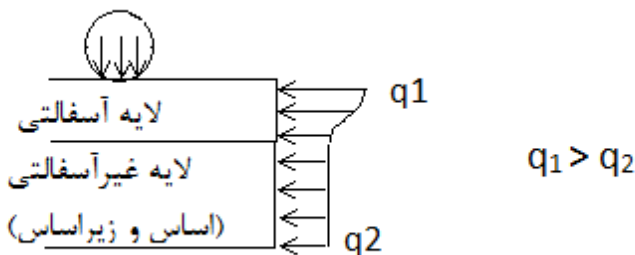
$K$  = ضریب هدایت حرارتی  $\left(\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{hr}}\right)$

## بارهای وارد بر روسازی و اثرات آن

تحلیل سیستم‌های روسازی تحت اثر بارگذاری:

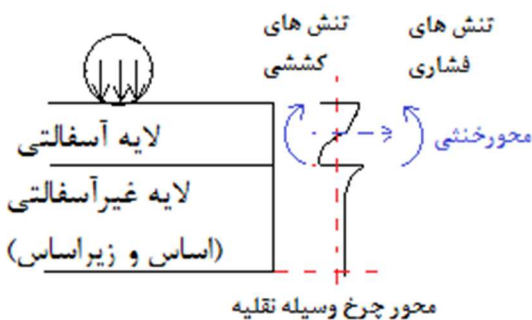
- ۱ - سیستم یک لایه‌ای
- ۲ - سیستم دو لایه‌ای
- ۳ - سیستم سه لایه‌ای
- ۴ - روش المان محدود

### توزیع تنش‌های قائم در روسازی



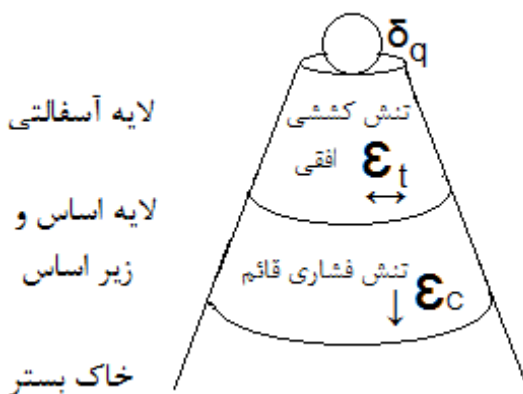
❖ نکته: هرچه از سطح رویه پایین‌تر می‌رویم تنش قائم کاهش یافته و بیشترین تنش قائم در زیر بارگذاری چرخ اتفاق می‌افتد، به همین دلیل مقاوم‌ترین مصالح بر روی لایه آسفالتی قرار می‌گیرد.

### ❖ نکته:



- ۱ - زیر چرخ تنش فشاری می‌باشد.
- ۲ - بیشترین تنش کششی افقی در سطح زیرین لایه آسفالتی می‌باشد.
- ۳ - در یک ضخامت معین از رویه آسفالتی: تنش‌های افقی فشاری در بالای محور خنثی و تنش‌های افقی کششی در پایین‌تر خنثی وجود می‌آید.

### تنش‌ها و تغییر شکل‌های بحرانی در سیستم روسازی:



- ❖ نکته: مقادیر زیر در یک سیستم روسازی بحرانی بوده و حائز اهمیت می‌باشد.
- ۱ - حداکثر افت و خیز قائم روسازی ( $\Delta$ )
  - ۲ - حداکثر تنش کششی افقی در سطح زیرین لایه آسفالتی ( $\epsilon_t$ )
  - ۳ - حداکثر تنش فشاری قائم وارد بر خاک بستر ( $\epsilon_c$ )