مدرسان شریف

فصل اول

« نقشه‌های راه »

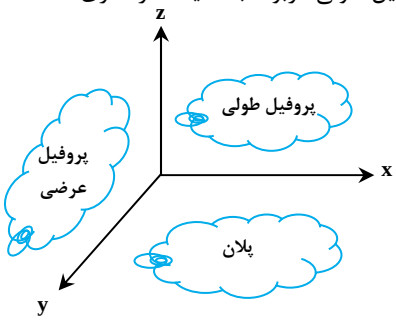
مقدمه

در بخش قبل ابزار لازم جهت طراحی مسیر معرفی شد. در ادامه طراحی کامل یک مسیر ارائه می‌گردد. طراحی کامل یک مسیر در سه صفحه افق، صفحه قائم موازی با امتداد مسیر و صفحه قائم عمود بر مسیر انجام می‌گیرد. به هر یک از این صفحات به ترتیب نقشه مسطح مسیر (پلان)، پروفیل طولی مسیر و پروفیل (مقطع) عرضی مسیر می‌گویند که در ادامه بررسی خواهد شد. با ارائه طرح مسیر در هریک از این سه بعد، طراحی هندسی مسیر به پایان خواهد رسید.

جزئیات یک راه با سه نقشه اصلی مشخص می‌گردد که عبارتند از:

۱ـ نقشه مسطح راه (پلان) ۲ـ پروفیل طولی راه ۳ـ پروفیل عرضی راه

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



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

پلان راه

پس از تعیین و انتخاب مسیرنهایی، باید محور راه را بر روی نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ و یا ۱:۱۰۰۰ ترسیم نمود.

پلان راه عبارت است از تصویر امتداد مسیر بر روی سطح افق. به زبان ساده‌تر پلان راه، دید از بالای مسیر می‌باشد که این دید از بالا شامل امتدادها و قوس‌ها (پیچ‌ها)ی مسیر هستند.

بر روی نقشه‌های مسطحه، محل کیلومترها و همچنین ابتدا و انتهای قوس‌ها تعیین می‌شوند. در این پروفیل علاوه بر محور راه، عرض راه نیز مشخص خواهد شد.

فاصله بین ایستگاه‌ها (محل کیلومترزنی) بهتر است در دشت حداکثر ۵۰ متر و در کوهستان حداکثر ۲۵ متر باشد.

رسم پلان راه شامل مراحل زیر است:

۱ـ تهیه نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ یا ۱:۱۰۰۰ از مسیر

۲ـ تعیین حداکثر شیب مجاز آیین‌نامه بسته به نوع راه در دست طراحی (I_{max})

۳ـ رسم امتدادهای مسیر به روش پرگار شامل مراحل زیر است:

الف ـ تعیین اختلاف ارتفاع دو خط تراز مجاور در نقشه توپوگرافی $(h_2 - h_1)$

ب ـ تعیین حداقل طولی که بین دو خط تراز باید طی شود، تا نیازی به عملیات خاکی نباشد (L_{min}).

$$L_{min} = \frac{h_2 - h_1}{I_{max}}$$

ارتفاع مربوط به دو خط تراز مجاور هم : $h_۲$ و $h_۱$

ج ـ رسم خطوط شکسته از نقطه ابتدا تا انتهای مسیر د ـ رسم راستاهای مسیر به کمک خطوط شکسته رسم شده

۴ـ رسم قوس‌های افقی در محل برخورد راستاها (نقاط شکستگی) ۵ـ کیلومتره نمودن مسیر

نکاتی که باید در ترسیم محور راه رعایت کرد عبارتند از:

الف ـ تا حد امکان باید موازی خطوط تراز حرکت کرد (قطع کردن خطوط تراز توسط محور راه باعث افزایش حجم عملیات خاکی می‌شود).

ب ـ حرکت بر روی یک خط تراز حجم خاکبرداری را به حداقل کاهش خواهد داد.

مثال۱: در طراحی مسیری با حداکثر شیب مجاز ۸ درصد، از نقشه توپوگرافی استاندارد با مقیاس $\frac{۱}{۵۰۰۰۰}$ استفاده شده است. فاصله مجاز افقی بین دو خط تراز کدام است؟

۱) ۵۰۰ ۲) ۵۷۵ ۳) ۶۲۵ ۴) ۷۰۰

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» **نکته:** اختلاف ارتفاع دو خط تراز در نقشه‌های توپوگرافی برابر است با عدد مقیاس نقشه بر حسب میلی‌متر.

با توجه به نکته‌ی فوق می‌توان نوشت:

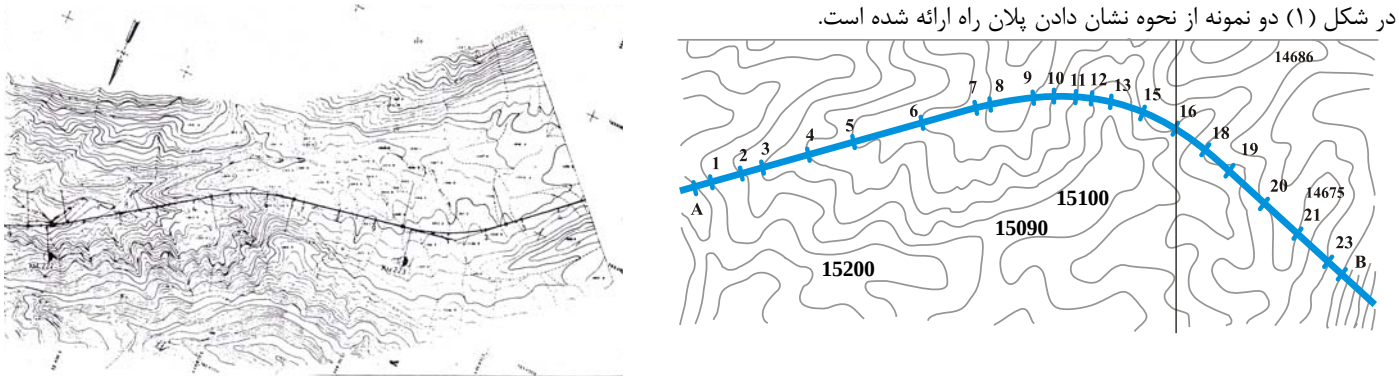
$$S=\frac{۱}{۵۰۰۰۰} \Rightarrow \Delta h=۵۰۰۰۰mm \Rightarrow \Delta h=۵۰m \qquad L_{min}=\frac{h_۲-h_۱}{I_{max}}=\frac{۵۰}{۰/۰۸}=۶۲۵ \text{ متر}$$

نکته۱: روش پرگار معرفی شده در بند ۳ مراحل رسم پلان، جهت رسم خطوط شکسته و تعیین امتدادهای مسیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین منظور ابتدا نیاز است طول حداقل (L_{min}) محاسبه شده به مقیاس نقشه تبدیل شود و سپس دهانه پرگار را به اندازه طول تبدیل شده به مقیاس نقشه باز نموده و جهت رسم خطوط شکسته، سوزن پرگار روی نقطه آغاز مسیر قرار گرفته و دایره‌ای زده شود. سوزن پرگار دوباره روی نقطه تلاقی کمان دایره رسم شده با خط تراز بعدی قرار گرفته و دایره دیگری رسم می‌شود. این کار آنقدر ادامه پیدا می‌کند تا خطوط شکسته به نقطه مقصد برسد. لازم به ذکر است که امروزه این کار داخل نرم‌افزار Auto CAD و با رسم دایره انجام می‌گیرد. در این حالت، مقیاس نقشه واقعی است لذا دایره با شعاع L_{min} رسم خواهد شد.

نکته۲: رسم امتدادهای مسیر (بند ۳ و ۴) در اصل درونیابی امتدادهای مسیر از میان خطوط شکسته رسم شده است. طول خطوط شکسته مسیر به قدری کوتاه است که امکان احداث مسیر روی آن وجود ندارد، لذا لازم است خطوط شکسته تا طول مشخصی به امتدادهای مستقیم تبدیل گردند. محل تلاقی امتدادهای رسم شده، نقاط شکستگی مسیر هستند که قوس‌های افقی روی آن طراحی می‌شوند. حین عبور دادن امتداد از میان خطوط شکسته باید به این نکته توجه نمود که تا حد ممکن سطح به وجود آمده بین امتدادها و خطوط شکسته در بالا و پایین امتدادهای رسم شده با یکدیگر برابر باشند.

نکته۳: منظور از کیلومتره نمودن مسیر (بند ۵)، نوشتن کیلومتراژ مسیر در فواصل مختلف روی نقشه است. نقاط ثبت کیلومتراژ مسیر عموماً محل برخورد مسیر رسم شده با خطوط تراز، نقاط ابتدا، وسط و انتهای قوس‌ها می‌باشند.

در شکل (۱) دو نمونه از نحوه نشان دادن پلان راه ارائه شده است.



اعداد روی محور راه نشان‌دهنده کیلومتر مسیر و اعداد روی منحنی‌ها نشان‌دهنده ارتفاع خط تراز هستند.

شکل ۱. نمونه‌هایی از پلان افقی راه

مدرسان شریف

فصل دوم

«قوس‌های افقی»

در نقشه پلان راه، پس از رسم راستاها به جای خطوط شکسته، ملاحظه می‌شود که مسیر انتخاب شده شامل یک سری خطوط مستقیم است که در نقاطی دارای شکستگی می‌باشند.

به منظور تأمین راحتی رفت و آمد وسایل نقلیه می‌بایست در محل شکستگی‌ها، یک مسیر منحنی جایگزین نماییم. این مسیر منحنی که برای اتصال راستاهای متقاطع مسیر مورد استفاده قرار می‌گیرد، قوس افقی یا پیچ نامیده می‌شود.

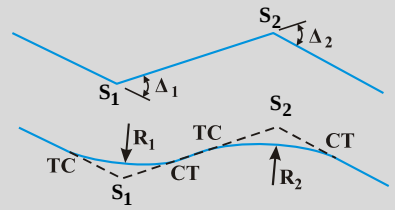
قوس‌های افقی انواع مختلفی دارند که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

الف) قوس‌های دایره‌ای ساده

ب) قوس‌های مرکب (چند مرکزی)

ج) قوس‌های معکوس

در شکل (۱) نحوه قرارگیری قوس در محل تقاطع دو راستا نشان داده شده است.



شکل ۱. نمای قرارگیری قوس در محل تقاطع راستاهای مسیر

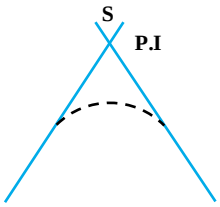
قوس دایره‌ای ساده

اجزای قوس دایره‌ای در حالت کلی شامل سه بخش نقاط، زوایا و طول‌ها هستند که در ادامه معرفی خواهند شد:

قوس ساده که در واقع قسمتی از یک دایره است از اجزای مختلف تشکیل شده است:

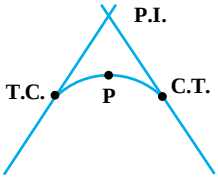
۱ـ نقطه رأس قوس یا سومه

در نقشه مسطحه مسیر محل برخورد دو امتداد محل شکستگی، رأس قوس یا سومه نام دارد. این نقطه را با علامت P.I نمایش می‌دهند. (نقطه S)



۲ـ شروع و انتهای قوس

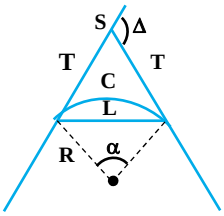
نقطه تماس خطوط شکسته با قوس دایره، نقطه شروع و پایان قوس است که به ترتیب با علامت T.C. و C.T. نمایش داده می‌شوند.



۳ـ وسط قوس

وسط کمان قوس دایره بین نقاط شروع و پایان قوس، نقطه وسط قوس می‌باشد که در شکل فوق با علامت P نمایش داده شده است.

۴ـ زاویه مرکزی قوس



زاویه رو به رو به کمان قوس که رأس آن روی مرکز دایره باشد، زاویه مرکزی قوس نـام دارد، و با علامت α نمایش داده می‌شود.

۵ـ زاویه انحراف قوس: زاویه خارجی بین دو امتداد مسیر که در نقطه S یکدیگر را قطع کرده‌اند، زاویه انحراف یا تلاقی نام دارد. که با علامت Δ نمایش داده می‌شود، لازم به ذکر است که در قوس دایره‌ای ساده، زاویه انحراف و زاویه مرکزی قوس با یکدیگر برابر هستند. $\hat{\alpha} = \hat{\Delta}$ در قوس دایره‌ای ساده.

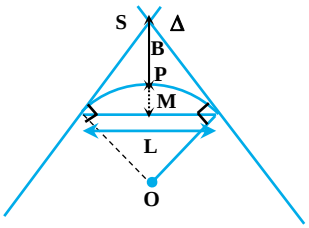
۶ـ طول قوس : مطابق شکل (۲) طول کمان بین دو نقطه شروع و پایان قوس، طول قوس نامیده می‌شود (C).

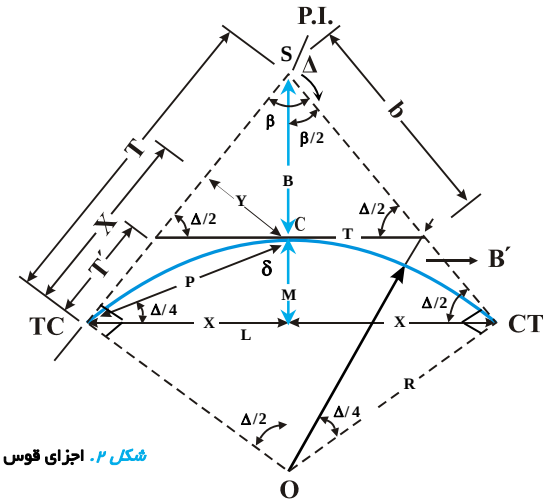
۷ـ طول مماس: فاصله رأس تا نقاط ابتدا و انتهای قوس را طول مماس یا طول تانژانت قوس می‌نامند و با پارامتر T نمایش می‌دهند. (شکل ۲)

۸ـ طول وتر بزرگ: فاصله مستقیم بین ابتدا و انتهای قوس، وتر قوس نام دارد (L). (شکل ۲)

۹ـ فاصله درونی و بیرونی قوس

فاصله بین وسط قوس تا وسط وتر، فاصله درونی (طول میانی) و فاصله بین وسط قوس تا رأس قوس را طول بیرونـی قـوس (اصـطلاحاً طـول بیسـکتریس) می‌نامند و به ترتیب با پارامترهای M و B نمایش می‌دهند. (شکل ۲)





شکل ۲. اجزای قوس دایره‌ای ساده

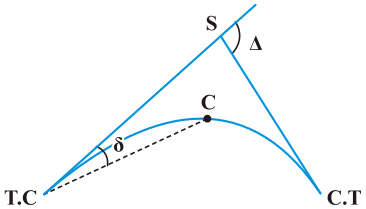
یکاها در شکل بالا به صورت زیر می‌باشند:

Δ: زاویه خارجی بین دو مماس ابتدا و انتهای قوس به نام زاویه تقاطع که با Δ نمایش داده شده و با زاویه مرکزی روبه‌روی قوس برابر است.

T.C.: نقطه شروع قوس، C.T.: نقطه پایان قوس، P.I.: نقطه تقاطع قوس که دو راستا یکدیگر را قطع مـی‌کننـد، T: ممـاس بـر دایـره در نقطـه T.C. و C.T. و R: شعاع قوس می‌باشند.

زاویه ظلی: زاویه‌ای است که رأس آن روی محیط دایره، یک ضلع آن مماس بر دایره و ضلع دیگـرش وتـر دایـره باشـد کـه انـدازه‌ی آن برابـر نصـف کمـان روبرویش است.

مثال۱: در یک قوس دایره‌ای افقی، زاویه انحراف وسط قوس نسبت به مماس ورودی δ برابر است با:



۱) $\frac{2\Delta}{3}$ ۲) $\frac{\Delta}{3}$ ۳) $\frac{\Delta}{4}$ ۴) $\frac{\Delta}{2}$

مدرسان شریف

فصل سوم

« قوس‌های قائم»

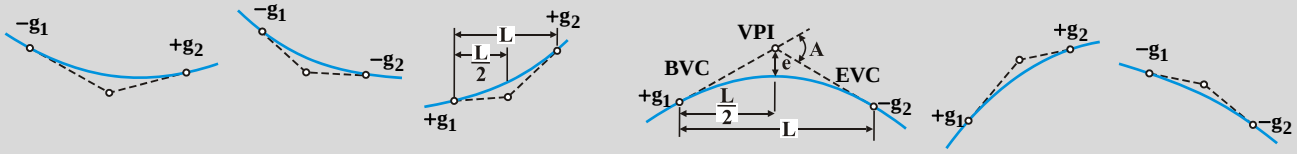
خم‌ها (قوس‌های قائم) در پروفیل طولی مسیر وظیفه اتصال خطوط شکسته پروژه را به یکدیگر ایفاء می‌کنند، به عبارت دیگر خم‌ها تقاطع دو شیب قائم در مسیر راه‌سازی را به طور یکنواخت، بدون تغییر حرکت عمودی ناگهانی به یکدیگر وصل می‌کنند.

خم‌ها باعث ایجاد ایمنی و راحتی حرکت و همچنین ظاهری مناسب برای مسیر می‌گردند. براساس آیین‌نامه فقط در مواردی که قدرمطلق تفاضل شیب‌های طرفین مساوی یا کمتر از ٪ ۰/۵ باشد وجود خم ضروری نیست. «به عبارت دیگر، چنانچه مقدار تغییر شیب طولی ۰/۵ درصد یا کمتر باشد، قراردادن قوس قائم در محل تغییر شیب ضروری نیست». در طراحی خم‌ها بیشتر از معادلات قوس‌های سهموی استفاده می‌شود.

در قوس قائم (خم) می‌بایست تغییرات شیب طولی به صورت تدریجی صورت بپذیرد. همچنین این قوس تأمین‌کننده مسافت دید کافی، تخلیه مناسب آب سطحی، ایمنی، آسایش راننده و زیبایی ظاهری راه خواهد بود.

خم‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند: ۱ـ خم گنبدی (قوس قائم کوژ یا محدب) ۲ـ خم کاسه‌ای (قوس قائم کاو یا مقعر)

در شکل (۱) نمونه‌های خم گنبدی و در شکل (۲) نمونه‌هایی از خم کاسه‌ای نشان داده شده است.

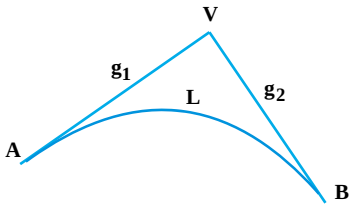


شکل ۱. نمونه‌هایی از خم گنبدی (شیب خطوط طرفین با g_2, g_1 مشخص شده)

شکل ۲. خم کاسه‌ای (شیب خطوط طرفین با g_2, g_1 مشخص شده)

g_1: شیب طولی قسمت اول خط پروژه (شیب ورودی)
g_2: شیب طولی قسمت دوم خط پروژه (شیب خروجی)
VPI: رأس خم (vertical point of intersection)
BVC: ابتدای خم (Beginning of Vertical Curve)
EVC: انتهای خم (End of Vertical Curve)
L: طول خم
e: اختلاف فاصله عمودی از نقطه VPI تا وسط خم

الف) تعیین طول خم گنبدی: اگر تفاضل شیب خروجی (g_2) نسبت به شیب ورودی (g_1) منفی باشد، خم را گنبدی (محدب) می‌نامند.



$$g_2 - g_1 < 0$$

نکته۱: شیب g_1 و g_2 در سر بالایی مثبت و در سر پایینی منفی می‌باشند.

طول این خم باید به اندازه‌ای باشد که حداقل فاصله دید جهت توقف برای راننده وسیله نقلیه فراهم شود. تأمین فاصله دید در خم گنبدی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$L \geq K.A = K|g_2 - g_1|$$

پارامترهای رابطه بالا عبارتند از:

L: طول خم گنبدی بر حسب متر K: ضریب ثابتی است تابع سرعت طرح که بر اساس آیین‌نامه طرح هندسی راه‌ها از جدول (۱) به دست می‌آید. این ضریب برحسب متر بوده و معنای فیزیکی آن طول لازم خم برای یک درصد تغییر شیب طولی است. A: قدر مطلق تفاضل جبری دو شیب

سرعت طرح (km/h)	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰
حداقل k به متر	۲	۴	۷	۱۱	۱۷	۲۶	۳۹	۵۲	۷۴	۹۵

جدول ۱. حداقل k برای خم گنبدی برای فاصله دید توقف

نکته ۲: تمام طول‌هایی که در امتداد خم گنبدی هستند به صورت افقی و تمام اختلاف طول‌های مماس تا خم را، به صورت عمودی اندازه‌گیری می‌کنیم.

مثال ۱: برای اتصال دو مسیر با شیب‌های $g_1 = +2\%$ و $g_2 = -3\%$ از یک قوس قائم گنبدی استفاده شده است. اگر سرعت طرح مسیر ۹۰ کیلومتر در ساعت باشد، حداقل طول قوس قائم چند متر باید باشد؟

۱) ۲۵۵ ۲) ۲۷۵ ۳) ۳۵۵ ۴) ۳۷۵

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» حداقل طول خم قائم گنبدی از رابطه روبرو به دست می‌آید:

$$L \geq k \cdot A$$

که در مورد این سؤال A برابر است با:

$$A = |g_2 - g_1| = |-3 - 2| = 5\%$$

و با توجه به جدول مقادیر k برای خم گنبدی، برای سرعت طرح ۹۰ کیلومتر در ساعت داریم:

$$k = 71$$

و از آن‌جا حداقل طول خم قائم گنبدی برابر است با:

$$L \geq 71 \times 5 \Rightarrow L \geq 355m$$

مثال ۲: طول قوس سهمی قائم محدب را برای سرعت طرح ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت و شیب طرفین خط پروژه برابر با ۲+ و ۳- درصد، حساب کنید. (در محاسبات $k = 1/8V$ فرض شود.)

۱) ۸۸۰ ۲) ۹۸۰ ۳) ۱۰۸۰ ۴) ۱۱۸۰

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» ابتدا ضریب k را با توجه به فرض مسئله محاسبه می‌کنیم:

$$k = 1/8V \xrightarrow{V=120} k = 216$$

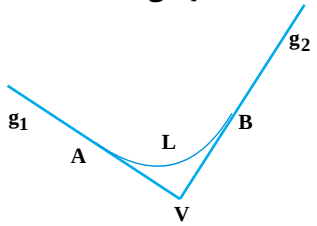
حداقل طول قوس قائم محدب برابر است با:

$$A = |-3 - 2| = 5$$

$$L \geq kA \rightarrow L \geq 216 \times 5 \rightarrow L \geq 1080 \text{ متر}$$

ب) تعیین طول خم کاسه‌ای: اگر اختلاف بین شیب خروجی (g_2) و شیب ورودی (g_1) مثبت باشد، خم را کاسه‌ای (مقعر) می‌نامند:

$$g_2 - g_1 > 0$$



خم کاسه‌ای در روز به علت وجود روشنایی کافی، دید راننده را محدود نمی‌کند، اما در تاریکی فاصله‌ای که توسط نور چراغ‌های وسایل نقلیه در این خم روشن می‌شود محدود است. از این رو، طول این خم‌ها نباید از یک حدی کمتر باشد.

حداقل طول خم کاسه‌ای از رابطه مقابل به دست می‌آید:

$$L \geq K.A \Rightarrow L_{min} = K.A$$

پارامترهای رابطه بالا عبارتند از:

L: طول خم کاسه‌ای برحسب متر K: ضریبی است تابع سرعت طرح و وضعیت روشنایی راه که بر اساس آیین‌نامه طرح هندسی راه‌ها از جدول (۲) حاصل می‌شود. A: قدر مطلق مطلق تفاضل جبری دو شیب $A = |g_2 - g_1|$

سرعت طرح (km/h)	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰
حداقل k به متر	۶	۹	۱۳	۱۸	۲۳	۳۰	۳۸	۴۵	۵۵	۶۳

جدول ۲. حداقل مقدار k برای خم کاسه‌ای

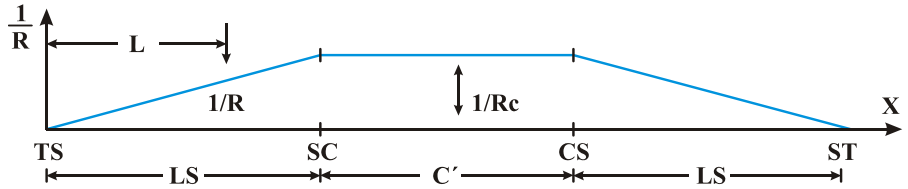
مدرسان شریف

فصل چهارم

« قوس‌های پیوندی (کلوتوئید)»

قوس کلوتوئید و یا پیوندی در راه‌سازی عبارت است از قوس‌هایی با انحنای تدریجی که برای اتصال دو قوس با اختلاف افقی شعاع نسبتاً زیاد و یا اتصال یک مسیر مستقیم و مسیر منحنی دایره‌ای برای سرعت‌های زیاد از نقطه نظر راحتی عمل رانندگی و همچنین تغییر تدریجی از شیب معمولی جاده به دور (بربلندی) کامل به کار می‌رود. معادله این قوس‌های پیوندی (قوس‌های اتصال Transition spirals) می‌توانند سهمی، درجه۳، درجه۴، لامینکات و یا کلوتوئید باشند که در این کتاب فقط به طراحی قوس‌های کلوتوئید پرداخته خواهد شد.

شعاع قوس پیوندی کلوتوئیدی همواره متغیر می‌باشد. در نقطه TS (ابتدای قوس) شعاع کلوتوئید برابر ∞ و در نقطه SC برابر شعاع قوس میانی R_C (قوس ساده دایره‌ای) می‌باشد. اگر انحنا را برابر $\frac{1}{R}$ در نظر بگیریم، اندازه انحنای کلوتوئید در نقاط مختلف مطابق شکل ۱ تغییر می‌کند. پس از طراحی قوس کلوتوئید، طول قوس میانی کاهش می‌یابد. در این حالت زاویه قوس برابر با $\Delta - 2\theta_s$ خواهد بود (θ_s زاویه کلوتوئید). این موضوع به غیر از کاهش درازا، قوس میانی را به اندازه P به سمت درون قوس جابجا می‌کند تا با دو قوس پیوندی کناری پیوستگی ایجاد نماید.

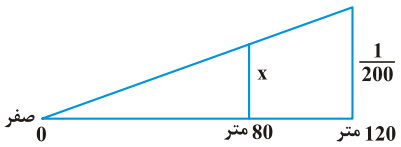


شکل ۱. تغییرات انحنا در قوس پیوندی و قوس ساده

مثال۱: یک قوس کلوتوئیدی به طول ۱۲۰ متر مسیر مستقیمی را به یک قوس دایره‌ای به شعاع ۲۰۰ متر متصل می‌کند. انحنای قوس کلوتوئیدی در فاصله ۸۰ متری از ابتدای آن چقدر می‌باشد؟

۱) $\frac{1}{200}$ ۲) $\frac{1}{300}$ ۳) $\frac{1}{400}$ ۴) $\frac{1}{500}$

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» انحنای مسیر مستقیم صفر و انحنای قوس دایره‌ای برابر $\frac{1}{200}$ می‌باشد. انحنا در طول قوس کلوتوئید به صورت خطی افزایش پیدا می‌کند تا از صفر به $\frac{1}{200}$ برسد:



$$\frac{x}{\frac{1}{200}} = \frac{80}{120} \Rightarrow x = \frac{1}{300}$$

مثال ۲: در مورد قوس‌های پیوندی کدام یک از موارد زیر صحیح نیست؟

۱) برای مقابله با نیروی گریز از مرکز باید شیب عرضی به مسیر اعمال شود.

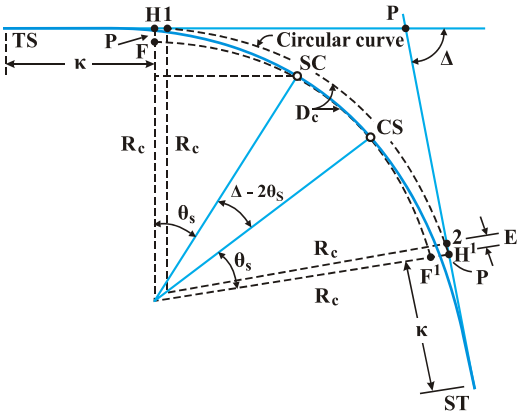
۲) برای جلوگیری از تغییر ناگهانی انحنا از مسیر مستقیم به قوس دایره‌ای، از قوس با انحنای تدریجی استفاده می‌شود.

۳) اگر نیروی گریز از مرکز بیش از نیروی اصطکاک باشد، وسیله نقلیه در جهت عرض جاده و به سمت خارج قوس منحرف می‌شود.

۴) جهت شیب عرضی در قوس‌ها به سمت خارج قوس سرازیر می‌شود.

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» عبارت‌های بیان شده در گزینه‌های اول و دوم و سوم صحیح می‌باشند. در مورد گزینه چهارم باید دقت شود که برای مقابله با نیروی گریز از مرکز که به سمت خارج قوس می‌باشد، دور را باید به سمت داخل قوس طراحی کرد.

با پیاده‌سازی قوس پیوندی، قوس ساده دایره‌ای به سه قوس پیوسته تبدیل می‌گردد. قوس کلوتوئید اول، قوس میانی و نهایتاً قوس کلوتوئید دوم. در شکل (۲) تغییرات ایجاد شده در قوس ساده برای پیوستگی با قوس پیوندی نشان داده شده است.



شکل ۲. جابجایی قوس ساده برای پیوستگی با قوس‌های پیوندی

کاربرد قوس‌های پیوندی با سه انگیزه زیر انجام می‌شود:

۱ـ افزایش تدریجی نیروی گریز از مرکز از صفر در TS تا اندازه $F_C = \frac{mv^2}{R}$ در SC به گونه‌ای که رفاه و آسایش سرنشینان خودرو فراهم گردد.

۲ـ فراهم نمودن امکان پیاده‌سازی بر بلندی در محل قوس

۳ـ ایجاد دید بهتر برای راننده (راننده در مسیر مستقیم دارای دید بهتری نسبت به حالت حرکت در قوس‌های دایره‌ای است. ایجاد قوس پیوندی اندکی از این دشواری می‌کاهد).

مثال ۳: استفاده از قوس پیوندی به چه منظور انجام می‌شود؟

۱) افزایش تدریجی نیروی گریز از مرکز
۲) دید بهتر راننده
۳) امکان ایجاد بربلندی مناسب
۴) همه موارد

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» در قوس‌های به هم پیوسته به منظور ایجاد راحتی و نیز دید بهتر برای راننده و تأمین دور مناسب، از قوس پیوندی استفاده می‌شود.

درازای کلوتوئید

کمترین درازای قوس کلوتوئید بر پایه دو پارامتر زیر به دست می‌آید:

۱) افزایش تدریجی نیروی گریز از مرکز $(L_s)_{min} = ۰/۰۱۸\frac{V^3}{R}$

۲) ایجاد دید بهینه برای راننده $(L_s)_{min} = ۲/۱۹\sqrt{R}$

بیشترین طول به دست آمده از روابط فوق مبنای محاسبات قرار می‌گیرد. در روابط فوق V سرعت وسیله برحسب کیلومتر برساعت، R شعاع قوس برحسب متر و $(L_s)_{min}$ حداقل طول قوس کلوتوئید است. چنانچه از قوس اتصال تدریجی برای تأمین شیب بر بلندی استفاده می‌شود، روش عملی‌تر برای تعیین

مدرسان شریف

فصل پنجم

«مسافت دید»

مسافت دید

دید کافی در موقع رانندگی یکی از اصول مهم ایمنی در راه‌سازی است. مسافت دید عبارت است از طولی از راه که در جلو راننده قابل دید است.

در این فصل به شرح و بررسی موارد زیر می‌پردازیم:

۱ـ مسافت دید توقف (stopping sight Distance) ۲ـ مسافت دید سبقت (passing sight Distance) ۳ـ مسافت دید در پیچها (قوس‌های افقی) (sight Distance Along horizontal curve) ۴ـ مسافت دید در خم‌ها (قوس‌های قائم) (sight distance on vertical curve)

مسافت دید توقف

مسافت دید توقف مجموع مسافت طی شده مربوط به سه زمان زیر است:

۱ـ زمانی که راننده متوجه خطر می‌گردد. ۲ـ زمانی که راننده عکس‌العمل از خود نشان می‌دهد. ۳ـ زمانی که وسیله نقلیه بعد از ترمز کردن می‌ایستد.

در زمان مرحله ۱ و ۲ وسیله نقلیه با سرعتی که داشته حرکت می‌کند ولی در زمان مرحله ۳ سرعت وسیله نقلیه به صفر کاهش پیدا می‌کند و باید قبل از برخورد به مانع توقف کند.

مسافت ترمز: مسافتی است که اتومبیل پس از گرفتن ترمز تا ایست کامل طی می‌کند و با d نشان داده می‌شود. مقدار مسافت ترمز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$d = \frac{V^2}{254f} = \frac{0/0039V^2}{f} \quad (1)$$

در رابطه بالا، d: مسافت ترمز برحسب متر، v: سرعت وسیله نقلیه برحسب کیلومتر بر ساعت و f: ضریب اصطکاک بین روسازی و لاستیک وسیله نقلیه است.

مطابق رابطه فوق مسافت ترمز به سرعت، نوع روسازی راه و نوع لاستیک وسیله نقلیه بستگی دارد. جهت تعیین پارامترهای رابطه (۱) می‌توان از جدول یا شکل شماره (۱) استفاده کرد.

ضریب اصطکاک (بی خطر) f	سرعت در وضعیت موجود $\frac{km}{h}$	سرعت طراحی $\frac{km}{h}$
۰/۳۵۶	۴۶/۵	۵۰
۰/۳۳۸	۵۵	۶۰
۰/۳۲۳	۶۲/۵	۷۰
۰/۳۱۰	۷۰	۸۰
۰/۳۰۴	۷۸	۹۰
۰/۲۹۸	۸۵/۵	۱۰۰
۰/۲۸۹	۹۱	۱۱۰
۰/۲۸۰	۹۸	۱۲۰
۰/۲۶۸	۱۰۳	۱۳۰

جدول ۱. ضریب اصطکاک بدون خطر

مثال ۱: راننده یک وسیله نقلیه در حال حرکت، با دیدن مانع ترمز می‌کند، وسیله نقلیه بعد از طی مسافتی بر روی آسفالت، با ضریب اصطکاک $f = ۰/۵$ به حالت توقف در می‌آید. در صورتی که سرعت وسیله نقلیه برابر ۸۰ کیلومتر بر ساعت باشد، طول مسافت ترمز چقدر است؟

۱) ۴۰ متر ۲) ۵۰ متر ۳) ۶۰ متر ۴) ۷۰ متر

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» با استفاده از فرمول مسافت ترمز داریم:

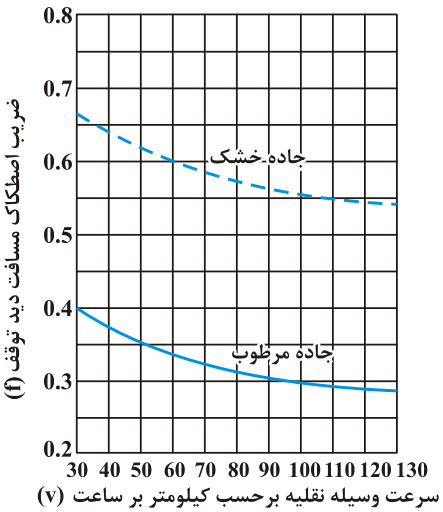
$$d = \frac{۰/۰۰۳۹V^۲}{f} = \frac{(۰/۰۰۳۹)(۸۰)^۲}{۰/۵} \simeq ۵۰ \text{ متر}$$

مثال ۲: راننده یک وسیله نقلیه در حال حرکت با دیدن مانع ترمز می‌کند. وسیله نقلیه بعد از طی مسافتی بر روی آسفالت می‌ایستد. طول خط ترمز $52m$ است. راننده با چه سرعتی با مانع مواجه شده است؟ $(f = ۰/۵)$

۱) $۸۸\frac{km}{hr}$ ۲) $۷۵\frac{km}{hr}$ ۳) $۸۲\frac{km}{hr}$ ۴) $۵۰\frac{km}{hr}$

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» با توجه به رابطه مسافت ترمز و ضریب اصطکاک $f = ۰/۵$ داریم:

$$d = \frac{۰/۰۰۳۹V^۲}{f} \Rightarrow V = \sqrt{\frac{d.f}{۰/۰۰۳۹}} = \sqrt{\frac{۵۲ \times ۰/۵}{۰/۰۰۳۹}} \simeq ۸۲\frac{km}{hr}$$



شکل ۱. تعیین مقادیر ضریب اصطکاک در سرعت‌ها و شرایط مختلف جاده

توجه: اگر وسیله نقلیه در طول مسافت ترمز بر روی روسازی‌های متفاوتی حرکت کند چون ضریب اصطکاک تغییر می‌کند، مسافت ترمز را می‌بایست برای هر قسمت جداگانه محاسبه نمود. بنابراین رابطه مسافت ترمز را به شکل زیر گسترش می‌دهیم:

$$d = \frac{۰/۰۰۳۹(v^۲ - u^۲)}{f} \qquad (۲)$$

که در آن v و u به ترتیب سرعت وسیله نقلیه در ابتدا و انتهای هر روسازی است.

مثال ۳: راننده یک وسیله نقلیه در حال حرکت با دیدن مانع ترمز می‌کند. وسیله نقلیه بعد از طی مسافتی بر روی آسفالت وارد شانه شنی راه شده و توقف می‌کند. طول خط ترمز بر روی آسفالت برابر $۴۰m$ و بر روی شانه شنی راه برابر $۱۳m$ است. سرعت وسیله نقلیه را در هنگامی که راننده مانع را دیده است حساب کنید. $(f_{\text{شانه شنی}} = ۰/۶۰ \quad \text{و} \quad f_{\text{آسفالت}} = ۰/۵۰)$

مدرسان شریف

فصل ششم

« عملیات خاکی و منحنی بروکنر»

عملیات خاکی

مقدمه

منظور از عملیات خاکی مجموعه اقداماتی است که با هدف ساخت سازه مهندسی بر روی زمین طبیعی انجام می‌شود. خاکبرداری، خاکریزی، دکوپاژ و... برخی از اصطلاحات مرسوم در عملیات خاکی، در زیر توضیح داده شده است.

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 لایه‌های خاکریز و یا لایه‌های روسازی بر روی سطح زمین طبیعی، در عمقی بین ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر انجام می‌گیرد.

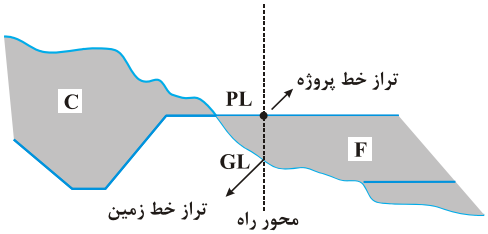
ب) خاکبرداری (Cut) : عبارت است از کندن و برداشت خاک در محل‌هایی از طول مسیر در زمین طبیعی که رقوم آن‌ها بیش از رقوم خط پروژه است.

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

د) تراز خط زمین (GL) : از طریق نقشه‌برداری از زمین طبیعی موجود به دست می‌آید و ارتفاع (کت Cotation یا تراز) زمین طبیعی محور راه در پروفیل‌ها را نشان می‌دهد. (Ground level) (شکل ۱)

هـ) تراز خط پروژه (PL) : طبق طراحی به دست می‌آید و ارتفاع (کت یا تراز) محور پروژه را نشان می‌دهد. (Project Level) (شکل ۱)

هدف از عملیات خاکی رساندن زمین طبیعی به خط پروژه است. هرگاه خط زمین طبیعی در زیر خط پروژه واقع شود، نوع عملیات خاکی خاکریزی (F) بوده و هرگاه خط زمین طبیعی بالای خط پروژه باشد، خاکبرداری (C) خواهیم داشت.



شکل ۱ . نمایش تراز خط پروژه و تراز خط زمین روی نیمرخ

محاسبه حجم عملیات خاکی

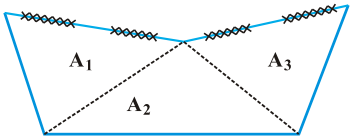
برای محاسبه حجم عملیات خاکی به منظور درج در صورت وضعیت‌ها از پروفیل‌های عرضی استفاده می‌شود. بدین منظور نیاز به سطح پروفیل و فاصله بین دو نیمرخ داریم که ضرب این دو عدد درهم حجم خاک را نشان می‌دهد.

از آنجایی که در طول مسیر عوارض طبیعی زمین یکنواخت نیست، مقاطع مختلفی به وجود می‌آید که گاهی خاکبرداری و گاهی خاکریزی و گاهی ترکیبی از خاکبرداری و خاکریزی است.

نیمرخ‌های عرضی به دست آمده از نقشه‌برداری و نیمرخ طولی مسیر دارای شکل هندسی خاصی نمی‌باشد، بنابراین برای محاسبه سطح پروفیل روش‌های مختلفی موجود می‌باشد که در زیر به شرح آن‌ها می‌پردازیم.

روش‌های محاسبه سطح نیمرخ‌های عرضی

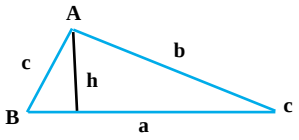
الف) محاسبه سطح نیمرخ‌های عرضی به روش هندسی: در این روش نیمرخ عرضی به قطعات کوچکتر هندسی (ذوزنقه، مثلث، مستطیل) تقسیم شده و با محاسبه و جمع سطوح کوچکتر، سطح نیمرخ محاسبه می‌شود. (شکل ۲)



شکل ۲. محاسبه سطح پروفیل به روش هندسی

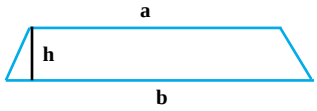
$$A = A_1 + A_2 + A_3$$

یادآوری: مساحت مثلث و ذوزنقه به روش زیر محاسبه می‌شوند:



مساحت مثلث:

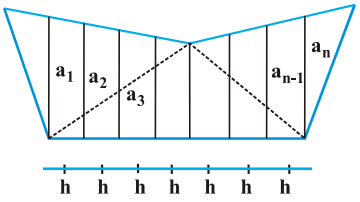
$$S = \frac{1}{2} h \times a = \frac{1}{2} a\, b \sin C$$



مساحت ذوزنقه:

$$S = \frac{1}{2}(a+b)h$$

ب) محاسبه سطح نیمرخ‌های عرضی به روش تقسیم به سطوح کوچکتر با ارتفاع یکسان: در این روش سطح نیمرخ عرضی با خطوط موازی به فواصل مساوی h تقسیم‌بندی می‌شود و مساحت پروفیل از رابطه زیر محاسبه می‌شود. (شکل ۳)



شکل ۳. روش تقسیم به سطوح کوچکتر با ارتفاع یکسان

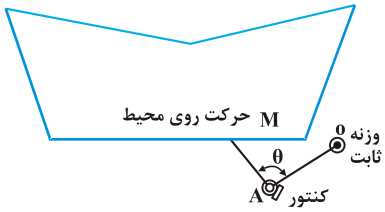
$$A = \frac{a_1 h}{2} + \frac{a_1 + a_2}{2} h + \frac{a_2 + a_3}{2} h + \cdots + \frac{a_n}{2} h$$

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

$$A = (\sum_{i=1}^{n} a_i) \times h$$

پس با اندازه‌گیری مجموع طول‌های a_1 تا a_n و ضرب این مجموع در ارتفاع مشترک h، مساحت کل A به دست می‌آید. اگر h را مساوی یک در نظر بگیریم فقط کافی است طول‌های به دست آمده را با هم جمع کنیم.

ج) محاسبه سطح پروفیل‌های عرضی به روش ترسیمی و استفاده از پلانی متر: 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 پلانی متر بر روی پیرامون شکل مساحت آن را به دست می‌آورند. این روش در راه‌سازی بسیار معمول و متداول بوده است و به منظور دقت و هماهنگ کردن آن با کارهای صحرایی معمولاً مقاطع عرضی را با مقیاس ۱:۲۰۰ یا ۱:۱۰۰ ترسیم می‌کنند. (شکل ۴)



شکل ۴. روش پلانی متری در تعیین مساحت پروفیل‌ها

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

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

پس با اندازه‌گیری میزان گردش‌های مفصل A (یعنی θ) و میزان شعاع حاصل $(r = om)$ و جمع سطوح بی‌نهایت کوچک $(\frac{1}{2} r^2 . d\theta)$، مساحت سطح موردنظر تعیین می‌شود. (شکل ۴)

مدرسان شریف

فصل هفتم

« مبانی ترافیک »

ترافیک در لغت به معنای آمد و شد وسایل نقلیه و افراد در مسیری با مشخصات معین می‌باشد. مهندسی ترافیک، کاربرد اصول علمی، وسایل و فناوری‌ها، روش‌ها، تکنیک‌ها و دانستنی‌ها برای فراهم کردن امکان جابه‌جایی افراد و کالا با ایمنی، سرعت مناسب، راحتی و به روش اقتصادی بهینه می‌باشد.

ترافیک یکی از عوامل مهم در طراحی هندسی و نیز روسازی راه می‌باشد و به‌طور کلی طراحی هر مسیری می‌بایست با توجه به تقاضای آن محور در حال حاضر و پیش از آن با توجه به تقاضای آینده، انجام گیرد.

حجم ترافیک

حجم ترافیک عبارت است از تعداد وسایل نقلیه‌ای که در مدت زمان معین در جهت یا جهاتی مشخص از یک یا چند خط از مقطع جاده عبور می‌کنند.

تردد ترافیک

تردد ترافیک عبارت است از تعداد وسایل نقلیه‌ای که در واحد زمان (معمولاً یک ساعت) در جهت یا جهاتی مشخص از یک یا چند خط از مقطع جاده می‌گذرند.

لذا اگر حجم ترافیک در مدت زمان واحد اندازه‌گیری شود، برابر با تردد ترافیک خواهد بود. $(\frac{veh}{h})$

تردد و حجم ترافیک به دو صورت بیان می‌گردد:

۱ـ به تفکیک وسایل نقلیه (اتومبیل سواری، اتوبوس، کامیون، دوچرخه و ...)

۲ـ به‌طور کلی برای تمامی وسایل نقلیه

در حالت دوم، حجم ترافیک به صورت همسنگ سواری (واحد اتومبیل سواری) (Passenger car unit) بیان می‌گردد.

همسنگ سواری

با توجه به اینکه به‌طور معمول ترافیک شامل وسایل نقلیه بوده و در عین حال، اثر ترافیکی وسایل نقلیه مختلف با اندازه، قدرت و خصوصیات دیگر متفاوت است، معمولاً اتومبیل سواری را به عنوان واحد سنجش در نظر می‌گیرند و سایر وسایل نقلیه را بر حسب مورد بسته به اثری که در ترافیک می‌گذارند، نسبت به آن می‌سنجند. این واحد را معادل اتومبیل سواری یا واحد اتومبیل سواری می‌نامند.

مهمترین حجم‌های ترافیک برحسب مدت زمان اندازه‌گیری عبارتند از:

۱ـ متوسط حجم ترافیک روزانه در سال Average Annual Daily Traffic (AADT)

عبارت است از متوسط حجم ترافیک وسایل نقلیه‌ای که در تمامی روزهای سال از مقطع مشخصی از جاده عبور می‌کنند. این پارامتر از تقسیم مجموع تعداد وسایل نقلیه عبوری در مدت یک سال بر تعداد روزهای سال (۳۶۵ روز) به‌دست می‌آید.

۲ـ متوسط حجم ترافیک هفتگی در سال Average Annual weekly Traffic (AAWT)

عبارت است از متوسط حجم ترافیک وسایل نقلیه‌ای که در روزهای کاری هفته در طی یک سال از مقطع مشخصی از جاده عبور می‌کنند. این پارامتر از تقسیم مجموع تعداد وسایل نقلیه عبوری در روزهای کاری هفته در طی یک سال بر تعداد روزهای کاری آن سال به دست می‌آید.

۳ـ متوسط حجم ترافیک روزانه Average Daily Traffic (ADT)

عبارت است از متوسط حجم ترافیک وسایل نقلیه‌ای که در طی یک شبانه روز (۲۴ ساعت) از مقطع مشخصی از جاده در مدتی کمتر از یک سال عبور می‌کنند. این پارامتر از تقسیم مجموع تعداد وسایل نقلیه عبوری در مدت زمان بین ۲ تا ۳۶۴ روز بر تعداد روزهای مربوط به دست می‌آید.

۴ـ متوسط حجم ترافیک هفتگی Average weekly Traffic (AWT)

عبارت است از متوسط حجم ترافیکی که در روزهای کاری هفته در طی مدت کمتر از یک سال از مقطع مشخصی از جاده عبور می‌نمایند. این پارامتر از تقسیم مجموع تعداد وسایل نقلیه عبوری در روزهای کاری هفته در مدت زمان کمتر از یک سال بر تعداد روزهای کاری به دست می‌آید.

مثال۱: در جدول زیر نمونه‌ای از حجم ترافیک در روزهای مختلف سال برداشت گردیده است. مطلوب است محاسبه متوسط حجم ترافیک هفتگی در سال (AAWT)، متوسط حجم ترافیک هفتگی (AWT)، متوسط حجم ترافیک روزانه در سال (AADT) و متوسط حجم ترافیک روزانه (ADT)

ماه	تعداد روزهای کاری در ماه	تعداد روزهای هر ماه	کل حجم ترافیک در ماه (p.c.u.)	کل حجم ترافیک روزهای کاری هفته در مدت یک ماه
فروردین	۲۱	۳۱	۲۱۲۵۰۰	۱۰۴۰۰۰
اردیبهشت	۲۷	۳۱	۲۰۵۰۰۰	۱۱۰۰۰۰
خرداد	۲۶	۳۱	۲۵۰۰۰۰	۱۱۵۰۰۰
تیر	۲۶	۳۱	۲۴۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰
مرداد	۲۷	۳۱	۲۳۵۰۰۰	۱۳۰۰۰۰
شهریور	۲۶	۳۱	۲۴۵۰۰۰	۱۰۲۵۰۰
مهر	۲۶	۳۰	۲۱۰۰۰۰	۹۵۰۰۰
آبان	۲۷	۳۰	۲۰۷۰۰۰	۱۰۰۰۰۰
آذر	۲۵	۳۰	۲۰۰۰۰۰	۱۰۵۰۰۰
دی	۲۶	۳۰	۱۹۲۵۰۰	۹۲۵۵۰۰
بهمن	۲۵	۳۰	۲۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰
اسفند	۲۴	۲۹	۲۲۵۰۰۰	۲۰۷۵۰۰
			۲۶۲۱۵۰۰	۱۳۸۹۵۰۰

☑ **پاسخ:** محاسبه ADT و AWT:

ماه	تعداد روزهای کاری در ماه	تعداد روزهای هر ماه	کل حجم ترافیک در ماه (p.c.u.)	کل حجم ترافیک روزهای کاری هفته در مدت یک ماه	(vpd) AWT	(vpd) ADT
فروردین	۲۱	۳۱	۲۱۲۵۰۰	۱۰۴۰۰۰	۴۹۵۲	۶۸۵۵
اردیبهشت	۲۷	۳۱	۲۰۵۰۰۰	۱۱۰۰۰۰	۴۰۷۴	۶۶۱۳
خرداد	۲۶	۳۱	۲۵۰۰۰۰	۱۱۵۰۰۰	۴۴۲۳	۸۰۶۵
تیر	۲۶	۳۱	۲۴۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰	۵۰۰۰	۷۷۴۲
مرداد	۲۷	۳۱	۲۳۵۰۰۰	۱۳۰۰۰۰	۴۸۱۵	۷۵۸۰
شهریور	۲۶	۳۱	۲۴۵۰۰۰	۱۰۲۵۰۰	۳۹۴۲	۷۹۰۳
مهر	۲۶	۳۰	۲۱۰۰۰۰	۹۵۰۰۰	۳۶۵۴	۷۰۰۰
آبان	۲۷	۳۰	۲۰۷۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۳۷۰۴	۷۰۰۷
آذر	۲۵	۳۰	۲۰۰۰۰۰	۱۰۵۰۰۰	۴۲۰۰	۶۶۶۷
دی	۲۶	۳۰	۱۹۲۵۰۰	۹۲۵۵۰۰	۳۵۵۸	۶۴۱۷
بهمن	۲۵	۳۰	۲۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۴۰۰۰	۶۶۶۷
اسفند	۲۴	۲۹	۲۲۵۰۰۰	۲۰۷۵۰۰	۸۶۴۶	۷۷۵۹
	۳۰۶	۳۶۵	۲۶۲۱۵۰۰	۱۳۸۹۵۰۰		

مدرسان شریف

فصل اول

« کلیات »

هدف از روسازی

هدف از روسازی راه و یا فرودگاه، احداث یک سطح صاف و هموار و درعین‌حال با ایمنی کافی برای استفاده‌کنندگان از راه یا فرودگاه است.

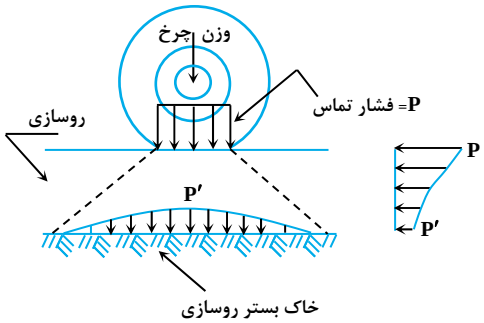
زمین در حالت طبیعی معمولاً مقاومت کافی برای تحمل بارهای وارده از چرخ‌های وسایل نقلیه سنگین و هواپیماها را ندارد. برای جلوگیری از شکست برشی خاک و به وجود آمدن تغییر شکل‌های دائم بیش از اندازه در آن، باید از شدت تنش‌های فشاری قائم بر روی خاک کاسته شود که این عمل با قرار دادن لایه‌ای از مصالح مرغوب و با مقاومت زیاد بر روی خاک انجام می‌شود.

جنس و ضخامت این لایه که به روسازی موسوم است، باید طوری باشد که ضمن آنکه شدت تنش‌های فشاری قائم را تا میزان قابل‌تحمل برای خاک بستر روسازی کاهش می‌دهد، خود نیز قادر به تحمل بارهای وارد به آن باشد و در هر شرایط جوی قابل استفاده باشد.

نحوه توزیع تنش در روسازی

شدت تنش‌های فشاری قائمی که در اثر بارگذاری در یک توده خاک به وجود می‌آیند در نقاط مختلف آن متفاوت است. شدت این تنش در نقاط واقع در زیر سطح بارگذاری شده، حداکثر است و با ازدیاد فاصله این نقاط از سطح بارگذاری شده از شدت تنش‌های فشاری قائم نیز کاسته می‌شود.

در شکل ۱ منحنی تغییرات تنش فشاری قائم در یک توده خاک در اثر یک بار یکنواخت با سطح تماس دایره‌ای شکل نشان داده شده است.

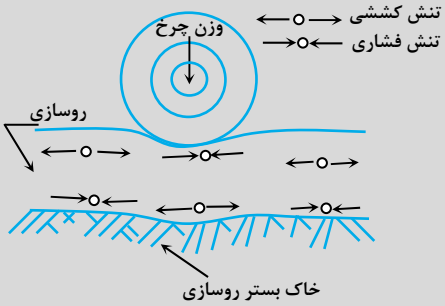


شکل ۱. توزیع تنش فشاری قائم در توده خاک

با توجه به تغییر میزان تنش وارد بر قسمت‌های مختلف روسازی، به منظور اقتصادی شدن پروژه، روسازی را بسته به میزان فشار وارده به لایه‌های مختلف از مصالح با سطح مرغوبیت مختلف اجرا می‌کنند.

نحوه قرارگیری لایه‌های روسازی باید به ترتیبی باشد که لایه‌های با مصالح مقاوم‌تر و مرغوب‌تر در لایه‌های بالاتر روسازی قرار گیرند و از مصالح با مرغوبیت و مقاومت کم‌تر در لایه‌های زیرین که میزان تنش‌ها کم‌تر است استفاده شود.

در اثر بارگذاری، روسازی تغییر شکل داده و در قسمت‌های مختلف آن تنش‌های کششی و فشاری افقی به وجود می‌آید. هرگاه شدت تنش‌های افقی در یک لایه از میزان استقامت کششی مصالح آن لایه بیشتر شود، موجب شکست و ترک خوردن آن لایه می‌شود.



شکل ۲. به وجود آمدن تنش‌های فشاری و کششی در روسازی

مثال ۱: معیار طراحی روسازی‌های آسفالتی کدام است؟

۱) کرنش فشاری قائم روی لایه بستر و کرنش کششی افقی زیر لایه رویه

۲) کرنش فشاری قائم زیر لایه رویه و کرنش کششی افقی روی لایه بستر

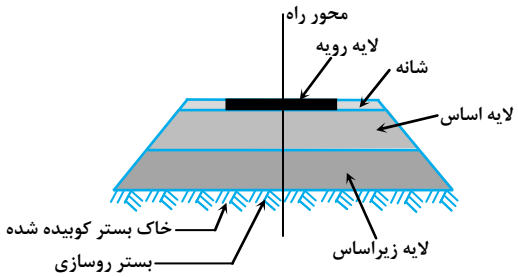
۳) کرنش فشاری قائم و کرنش کششی افقی روی لایه بستر

۴) کرنش فشاری قائم و کرنش کششی افقی زیر لایه رویه

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» معیار طراحی روسازی‌های آسفالتی کرنش فشاری قائم روی لایه بستر و کرنش کششی افقی زیر لایه رویه می‌باشد.

لایه‌های روسازی

روسازی راه‌های با آمد و شد زیاد معمولاً از سه لایه متمایز رویه، اساس و زیراساس که بر روی لایه متراکم شده خاک بستر روسازی قرار می‌گیرند، تشکیل می‌شود. در شکل ۳ لایه‌های مختلف روسازی نشان داده شده است. نحوه قرارگیری این لایه‌ها در حالت کلی بدین صورت است که لایه‌های با مصالح مرغوب‌تر بالاتر قرار گیرند چرا که در این لایه‌ها تنش‌های فشاری وارده بیشتر است. در نتیجه لایه‌های با مصالح نامرغوب‌تر در قسمت‌های زیرین قرار خواهند گرفت.



شکل ۳. **لایه‌های مختلف روسازی**

لایه متراکم شده خاک بستر

لایه متراکم شده خاک بستر روسازی، لایه‌ای است از خاک زمین طبیعی که از مواد آلی و مضر پاک شده و کوبیده شده تا به تراکم مناسب رسیده باشد.

لایه زیراساس

لایه زیر اساس لایه‌ای است از مصالح نسبتاً مرغوب که بین لایه اساس و خاک بستر روسازی قرار می‌گیرد. لایه زیراساس معمولاً از مصالح سنگ شکسته یا شن و ماسه ساخته می‌شود.

عملکرد زیراساس

۱ـ تعدیل فشارهای وارده از طرف لایه‌های بالا بر خاک بستر

۲ـ آبی که از طرفین وارد روسازی می‌شود را باید با انجام زهکشی دفع نماید.

۳ـ بعد از رویه، اساس گران‌ترین لایه است که می‌توان با کاهش ضخامت آن و افزایش ضخامت زیراساس، هزینه کل روسازی را کاهش داد.

۴ـ در زمستان، آب لایه‌های پایین در اثر مویینگی به بالا می‌آید و یخ می‌زند، با افزایش ضخامت روسازی مقاومت روسازی در برابر یخبندان افزایش می‌یابد.

لایه اساس

لایه اساس، لایه‌ای است از مصالح مرغوب که بین لایه‌های رویه و زیراساس یا بین رویه و خاک بستر قرار می‌گیرد. این لایه از مصالح مرغوب نظیر سنگ شکسته، شن و ماسه شکسته، مصالح تثبیت شده با قیر، آهک و سیمان ساخته می‌شود.

لایه رویه

این لایه چون دقیقاً زیر چرخ وسیله نقلیه است و مستقیماً زیر بار قرار دارد، باید مرغوب‌ترین مصالح را داشته باشد. رویه‌های آسفالتی با ضخامت بیش از حدود ۵ سانتی‌متر معمولاً در دو لایه ساخته می‌شوند. لایه زیرین که لایه آستر نام دارد، درصد قیر کم‌تری از لایه رویی که توپکا (رویه) نامیده می‌شود، دارد. بین لایه آستر و رویه بتن آسفالتی از یک لایه اندود قیری که اندود سطحی نام دارد، استفاده می‌شود که هدف از آن ایجاد چسبندگی و پیوستگی بین دو لایه آسفالتی است. بین لایه‌های رویه آسفالتی و اساس غیر آسفالتی از یک لایه اندود قیری که اندود نفوذی نام دارد، استفاده می‌شود. استفاده از اندود نفوذی دو هدف را دنبال می‌کند که یکی از آن‌ها ایجاد چسبندگی و پیوستگی بین یک لایه آسفالتی با یک لایه غیر آسفالتی است و دیگری غیر قابل نفوذ کردن اساس غیر آسفالتی در برابر آب است.

مدرسان شریف

فصل دوم

« خاک بستر »

بررسی‌های ژئوتکنیکی و نمونه‌برداری خاک

یکی از مهم‌ترین عواملی که در طرح روسازی‌ها به خصوص روسازی‌های انعطاف‌پذیر تأثیر دارد، خصوصیات و مشخصات خاک بستر روسازی است چرا که نهایتاً باید تحمل کلیه بارهای وارده را بنماید. خاک بستر روسازی باید از لحاظ مقاومت و قابلیت تراکم مورد بررسی قرار گیرد.

مقاومت و قابلیت تراکم خاک بستگی به سایر مشخصات اصلی خاک از قبیل: جنس، میزان رطوبت، دانه‌بندی، خاصیت خمیری، وزن مخصوص و ... دارد.

بررسی‌های ژئوتکنیکی برای اهداف زیر صورت می‌گیرد:

الف ـ تعیین جنس و مشخصات خاک‌های موجود در مسیر راه و یا در مجاورت آن ب ـ تعیین محل و جنس مصالح مناسب برای به کار بردن در خاکریزها

ج ـ تعیین محل و جنس مصالح مناسب برای به کار بردن در لایه‌های روسازی دـ تعیین نوع مواد تثبیت‌کننده مناسب برای خاک‌های سست هـ ـ تعیین محل و عمق آب‌های زیرزمینی موجود در مسیر راه و یا در مناطق مجاور آن

اجزای خاک

اجزای تشکیل دهنده خاک دارای اندازه یکسانی نیستند و بر حسب اندازه دانه‌ها، این اجزاء به نام‌های قلوه‌سنگ، شن، ماسه، لای و رس نام‌گذاری می‌شوند.

اجزای درشت‌تر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر که با چشم غیرمسلح قابل تشخیص هستند، به درشت دانه و ریزتر از آن به ریزدانه موسوم هستند.

ریزدانه‌ها شامل لای و رس هستند و تفاوت مابین این دو ناشی از خواص خمیری آن‌هاست، اصولاً لای از هوازدگی مکانیکی به وجود آمده و خواص خود را حفظ می‌کند و لیکن رس از هوازدگی مکانیکی و شیمیایی به وجود می‌آید.

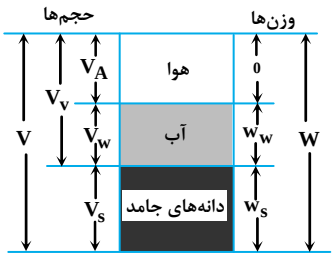
خاک‌هایی که مقادیر قابل توجهی رس یا لای دارند برای عملیات راهسازی مناسب نمی‌باشند، چرا که این خاک‌ها در اثر تماس با رطوبت مقدار قابل توجهی از مقاومت خود را از دست می‌دهند و نیز خاک‌های لای‌دار قابلیت تراکم خوبی ندارند.

نمونه‌برداری خاک از اعماق مختلف زمین

نمونه‌برداری خاک از اعماق مختلف زمین به کمک چاه‌های گمانه انجام می‌شود. عمق و فاصله بین چاه‌های گمانه بستگی به یکنواختی جنس خاک و چگونگی وضعیت لایه‌های آن دارد. چاه‌های گمانه که در طول محور راه حفر می‌شوند عمقی در حدود ۱ـ۱/۵ m دارند و فاصله‌ی میان آن‌ها در حدود ۱۵ـ۱۵۰ m از یکدیگر است.

روابط وزنی، حجمی خاک

اگر فرض شود که یک نمونه خاک شامل سه قسمت مجزای دانه‌های جامد، آب و هوا، مطابق شکل ۱، باشد، روابط و اصطلاحات زیر تعریف می‌گردند:



شکل ۱. تقسیم‌بندی حجمی، وزنی توده خاک

نسبت تخلخل $= e = \frac{V_v}{V_s}$	درصد رطوبت $= w = \frac{W_w}{W_s} \times ۱۰۰$
درجه اشباع $= S = \frac{V_w}{V_v} \times ۱۰۰$	درصد پوکی $= n = \frac{V_v}{V}$
وزن مخصوص دانه‌ها $= \gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$	تراکم نسبی $= D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$
وزن مخصوص تر $= \gamma_{wet} = \frac{W}{V}$	وزن مخصوص خشک $= \gamma_{dry} = \frac{W_s}{V}$

با در نظر گرفتن روابط فوق و نیز مفاهیمی نظیر وزن مخصوص طبیعی خاک (γ)، وزن مخصوص خشک (γ_d)، وزن مخصوص اشباع (γ_{sat})، وزن مخصوص غوطه‌ور (γ') و چگالی دانه‌ها (G_s) روابط زیر نتیجه می‌گردد:

$$n = \frac{e}{۱+e} \qquad \gamma_{sat} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{۱+e} \qquad \gamma = \frac{(۱+w) G_s \gamma_w}{۱+e}$$

$$\gamma' = \gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w = \frac{\gamma_w (G_s - ۱)}{۱+e} \qquad \gamma_d = \frac{\gamma}{۱+w}$$

$$w.G_s = s.e$$

در روابط بالا:

V و W: به ترتیب حجم و وزن کل نمونه خاک، V_s و W_s: به ترتیب حجم و وزن دانه‌های جامد خاک، V_w و W_w: به ترتیب حجم و وزن آب موجود در نمونه‌های خاک

V_a و W_a: به ترتیب حجم و وزن هوای موجود در نمونه خاک، V_v: حجم کل آب و هوای موجود در نمونه خاک می‌باشند.

مثال ۱: در نمونه خاکی $e = ۰/۷۵$, $w = ۲۲\%$ و $G_s = ۲/۶۶$ می باشد. وزن مخصوص خشک خاک چند $\frac{KN}{m^۳}$ است؟

۱) ۲۲/۲۶ ۲) ۱۸/۲۴ ۳) ۱۴/۹۱ ۴) ۱۸/۱۹

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» ابتدا وزن مخصوص طبیعی خاک را محاسبه کرده سپس از روی آن وزن مخصوص خشک را تعیین می‌کنیم:

$$\left.\begin{array}{l} \gamma = \frac{(۱+w) G_s \gamma_w}{۱+e} \\ \gamma_w = ۹/۸۱ \frac{kN}{m^۳} \end{array}\right\} \Rightarrow \gamma = \frac{(۱+۰/۲۲) \times ۲/۶۶ \times ۹/۸۱}{۱+۰/۷۵} = ۱۸/۱۹ \frac{kN}{m^۳} \quad , \quad \gamma_d = \frac{\gamma}{۱+w} = \frac{۱۸/۱۹}{۱+۰/۲۲} = ۱۴/۹۱ \frac{kN}{m^۳}$$

مثال ۲: در یک تست نفوذپذیری، حجم نمونه اشباع $۳۲۰ cc$ و وزن خشک نمونه، ۵۴۰ گرم و چگالی دانه‌ها $G_s = ۲/۷$ است. تخلخل این نمونه چند است؟

۱) ۳۷/۵٪ ۲) ۴۵/۵٪ ۳) ۳۵٪ ۴) ۵۵٪

☑ **پاسخ:** گزینه «۱»

$(\gamma_w = ۱۰^۴ \frac{N}{m^۳})$

ابتدا به کمک روابط زیر حجم دانه‌های جامد خاک و حجم آب و هوای موجود در خاک را محاسبه می‌کنیم

$$w_s = M_s.g = V_s \gamma_w G_s \Rightarrow V_s = \frac{۰/۵۴ \times ۱۰}{۱۰^۴ \times ۲/۷} = ۲ \times ۱۰^{-۴} m^۳ = ۲۰۰ cm^۲$$

حال برای تعیین تخلخل خاک داریم:

$$\Rightarrow V_v = ۳۲۰ - ۲۰۰ = ۱۲۰ cm^۳ \quad , \quad n = \frac{۱۲۰}{۳۲۰} = ۰/۳۷۵$$

مدرسان شریف

فصل سوم

«زیراساس، اساس و رویه شنی»

مقدمه

روسازی از لایه‌های مختلفی تشکیل می‌شود که تعداد، جنس و ضخامت این لایه‌ها به عوامل مختلفی بستگی دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

الف: مقاومت خاک بستر روسازی ب: نوع، وزن و تعداد وسایل نقلیه

ج: شرایط جوی منطقه د: نوع مصالح موجود در منطقه

روسازی راه‌ها معمولاً از سه لایه متمایز زیر اساس، اساس و رویه تشکیل می‌شود. لایه‌های روسازی از نظر جنس لایه نیز به چهار دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از: مصالح شنی، مصالح تثبیت شده، مصالح آسفالتی و مصالح بتنی سیمانی. در این بخش به بررسی لایه‌های زیر اساس، اساس و رویه شنی پرداخته می‌شود که این لایه‌ها از مصالح سنگی بدون مواد چسبنده تشکیل می‌شوند.

این مصالح معمولاً یا به صورت شن و ماسه طبیعی از بستر رودخانه و یا از معادن شن و ماسه به دست می‌آیند. مصالح شکسته شده دارای مقاومت و قدرت باربری بیشتری نسبت به مصالح شکسته نشده هستند.

مصالح سنگی که برای ساختن لایه‌های زیر اساس، اساس و رویه شنی به کار می‌روند، باید مشخصات ویژه‌ای داشته باشند که عبارتند از: دانه‌بندی، سختی، دوام، خواص خمیری، تمیزی، شکل دانه‌ها و نفوذپذیری .

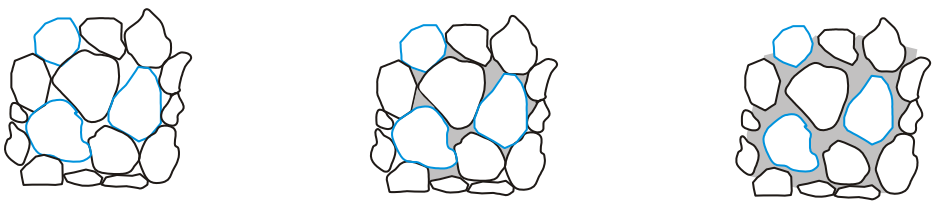
دانه‌بندی

دانه‌بندی مصالح شنی تأثیر بسزایی در مقاومت و قدرت باربری آن دارد. دانه‌بندی مصالح شنی با استفاده از الک‌هایی با سوراخ‌های مربع شکل با شماره‌های ۴، ۱۰، ۴۰ و ۲۰۰ انجام می‌شود، (شماره الک مشخص‌کننده تعداد سوراخ‌های آن در هر ۲/۵ سانتی‌متر است).

بخشی از مصالح که از الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلی‌متر) رد می‌شوند، بخش ریزدانه و مابقی درشت‌دانه هستند.

مقدار ریزدانه

در شکل ۱ سه حالت متمایز مصالح شنی از نظر میزان ریزدانه موجود نشان داده شده است. در حالت (الف) مصالح عاری از ریزدانه می‌باشند، در حالت (ب) ریزدانه به اندازه کافی برای پر کردن فضای خالی دانه‌های درشت وجود دارد و در حالت (ج) مقدار ریزدانه بیش از فضای خالی دانه‌های درشت است.



(الف) (ب) (ج)

شکل ۱. حالات مختلف مخلوطهای شنی از نظر میزان ریزدانه موجود

مثال۱: مخلوط شنی جهت استفاده در لایه اساس باید دارای چه ویژگی باشد؟

۱) دارای مقدار ریزدانه زیاد به دلیل سهولت عمل تراکم
۲) دارای مقدار ریزدانه زیاد به دلیل نفوذناپذیری لایه اساس
۳) دارای ریزدانه متوسط به دلیل تأمین مقاومت بالا
۴) دارای ریزدانه کم با دلیل کاهش خطر تورم در اثر یخبندان

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» مهم‌ترین ویژگی مخلوط شنی در استفاده از لایه اساس، تأمین مقاومت بالا می‌باشد و این ویژگی در دارا بودن ریزدانه در حد متوسط (نه زیاد و نه کم) به دست می‌آید.

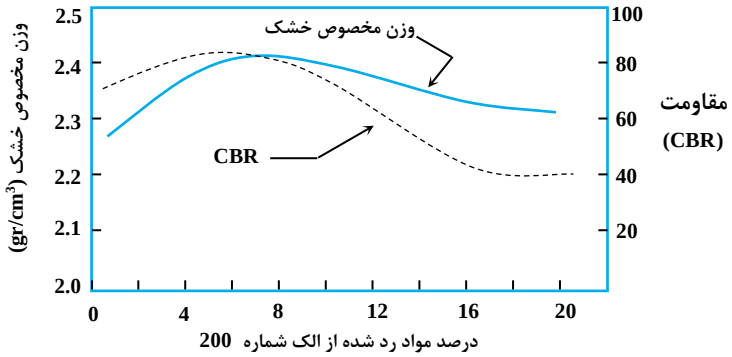
در جدول ۱ مقایسه مشخصات فنی سه حالت ذکر شده آورده شده است.

مصالح شنی با مقدار ریزدانه زیاد	مصالح شنی با مقدار ریزدانه کافی	مصالح شنی بدون ریزدانه
مقاومت بر اساس مقاومت ریزدانه‌ها	مقاومت بر اساس تماس بین دانه‌ها + مقاومت قسمت ریزدانه	مقاومت بر اساس تماس بین دانه‌ها
وزن مخصوص کم	وزن مخصوص حداکثر	وزن مخصوص کم
عملاً غیر قابل نفوذ	عملاً غیر قابل نفوذ	نفوذپذیری زیاد
خطر تورم در اثر یخبندان	خطر تورم در اثر یخبندان	عاری از خطر تورم در اثر یخبندان
مقاومت کم	مقاومت زیاد	مقاومت نمونه محدود شده زیاد و محدود نشده کم است
مقاومت شدیداً در اثر تغییر رطوبت تغییر می‌کند	عملاً مقاومت در اثر تغییر رطوبت زیاد تغییر نمی‌کند	عملاً مقاومت در اثر تغییر رطوبت تغییر نمی‌کند
عمل تراکم به سهولت انجام می‌گیرد	عمل تراکم نسبتاً مشکل انجام می‌گیرد	عمل تراکم خیلی مشکل انجام می‌گیرد

جدول ۱. **مقایسه مشخصات فنی مخلوطهای شنی از نظر میزان ریزدانه موجود**

همچنین در شکل ۲ تأثیر میزان مواد ریزدانه بر وزن مخصوص و CBR یک مصالح شنی آورده شده است.

با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که وزن مخصوص و CBR مصالح شنی با افزایش درصد وزنی ریزدانه اضافه می‌شود تا به حداکثر رسیده و سپس کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود که حداکثر مقاومت مصالح در درصد ریزدانه‌ای که قدری کمتر از درصد ریزدانه مربوط به حداکثر وزن مخصوص است، به دست می‌آید.



شکل ۲. **تأثیر میزان ریزدانه بر وزن مخصوص و CBR یک نمونه مصالح شنی**

مثال۲: در کدام‌یک از مصالح زیر، عمل تراکم سخت‌تر انجام می‌شود؟

۱) مصالح شنی با ریزدانه زیاد
۲) مصالح شنی با ریزدانه کافی
۳) مصالح شنی بدون ریزدانه
۴) گزینه ۱ و ۳

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» عمل تراکم در مصالح شنی بدون ریزدانه سخت‌تر انجام می‌شود.

مدرسان شریف

فصل چهارم

«تثبیت خاک و مصالح شنی»

تثبیت خاک و مصالح شنی روشی است که در راه‌سازی به منظور بهبود کیفیت مصالح به کار می‌رود تا مصالحی با مشخصات مناسب برای به کـار بـردن در لایه‌های روسازی به دست آید که این عمل برای اهداف زیر انجام می‌شود:

الف) اصلاح خاک‌های نرم و کم مقاومت ب) بهبود مشخصات فنی خاک‌ها و مصالح شنی ج) ایجاد لایه‌های اساس و زیراساس با قابلیت باربری نسبتاً زیاد د) بازسازی روسازی‌های فرسوده با استفاده از مصالح موجود هـ) کاهش گرد و خاک یا کاهش رطوبت

برای تثبیت خاک از مواد تثبیت‌کننده نظیر سیمان، آهک، قیر، کلرور کلسیم و کلرور سدیم استفاده می‌شود.

تثبیت خاک و مصالح شنی با آهک

سال‌ها است که از انواع مواد آهکی، با درجات خلوص مختلف برای تثبیت خاک و مصالح شنی استفاده شده است. متداول‌ترین این مواد، آهک شکفته، آهک شکفته دولومیتی، آهک زنده و آهک زنده دولومیتی است.

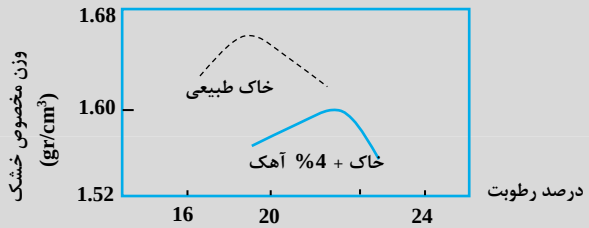
میزان آهک مصرفی به عوامل متعددی از قبیل جنس خاک، جنس آهک، نحوه استفاده از مصالح، شرایط جوی منطقه و ... بستگی دارد و معمولاً مقـدار آن بین ۰/۵ تا ۸ درصد وزن خشک خاک است.

خاک‌ها از نظر واکنش با آهک به دو گروه تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

خاک‌های با واکنش، خاک‌هایی هستند که پس از تثبیت با آهک و عمل آمدن به مدت ۲۸ روز در گرمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بیش از ۳/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متـر مربع افزایش مقاومت از خود نشان می‌دهند و در صورتی که پس از این مدت افزایش مقاومتشان به این حد نرسد خاک‌های بدون واکنش گفته می‌شوند.

خصوصیات فنی و ویژگی‌های خاک‌های تثبیت شده با آهک

الف) تراکم: خاک تثبیـت شـده بـا آهـک دارای حـداکثر وزن مخصـوص خشک کمتر و درصد رطوبت بهینه بیشتری از خاک تثبیت نشده است. در شکل ۱ تأثیر آهک بر منحنی تراکم نمونه خاک نشان داده شده است.



شکل ۱. تأثیر آهک بر منحنی تراکم یک نمونه خاک

ب) خصوصیات خمیری: اضافه کردن آهک به خاک سبب کاهش خصوصیات خمیری (کاهش دامنه خمیری و حد روانی) آن می‌شود.

ج) تغییر حجم: اصلاح خاک‌های رس با آهک سبب می‌شود که قابلیت تورم این نوع خاک‌ها تا حد زیادی کاهش یابد.

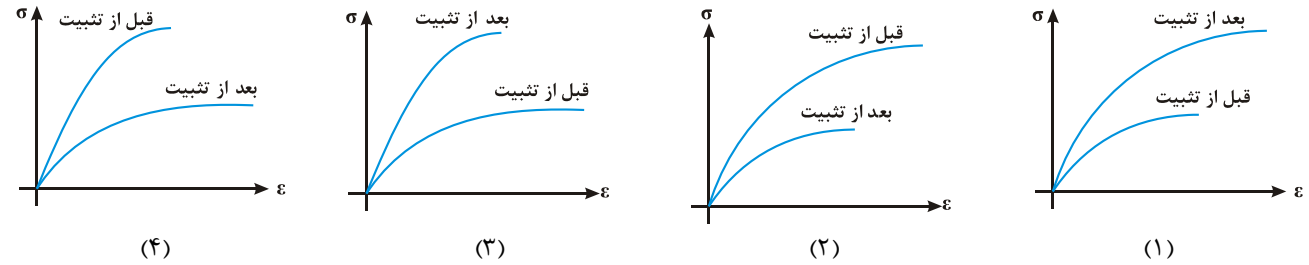
د) مقاومت: معمولاً بلافاصله پس از اضافه کردن آهک به خاک، مقاومت و استقامت خاک به میزان محسوسی افزایش می‌یابد. همچنـین افـزایش مقاومـت خاک‌های تثبیت شده با آهک با گذشت زمان ادامه می‌یابد و در برخی موارد تا ۱۰ سال نیز طول می‌کشد.

هـ) تنش، تغییر شکل نسبی: خاک‌های تثبیت شده با آهک استقامت نهایی بیشتر و تغییر شکل نسبی نهایی کمتری نسبت به خاک اصلی دارند.

و) خستگی: منحنی خستگی این مصالح مشابه منحنی‌های خستگی سایر مصالح نظیر بتن سیمانی است.

ز) دوام: منظور از دوام خاک‌های تثبیت شده با آهک، مقاومت آن‌ها در برابر تکرار یخبندان ـ ذوب یخ است. خاک‌های تثبیت شده با آهک در اثر یخبندان ـ ذوب یخ قسمتی از مقاومت خود را از دست می‌دهند و تعداد دفعات تکرار بر روی کاهش مقاومت مصالح تأثیر زیادی دارد.

مثال۱: نمودار تنش ـ کرنش خاک قبل و بعد از تثبیت با آهک چگونه است؟



(۱) (۲) (۳) (۴)

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» خاک‌های تثبیت شده با آهک، استقامت نهایی بیشتر و تغییر شکل نسبی نهایی کمتری نسبت به خاک اصلی دارند.

طرح خاک تثبیت شده با آهک

منظور از طرح خاک تثبیت شده با آهک، تعیین درصد آهک مناسب برای خاک با مشخصات معین که در شرایط مشخصی باید به کار رود، می‌باشد. میزان آهک خاک‌های تثبیت شده معمولاً بر حسب درصد وزنی خاک خشک تعیین می‌شود.

الف: روش PH : این روش براساس اندازه‌گیری PH مخلوط خاک و آهک استوار است. اساس این روش بر این اصل استوار است که آن‌قدر به خاک مورد نظر آهک اضافه شود تا میزان PH مخلوط به ۱۲/۴ که مقدار لازم برای شروع واکنش‌های پوزولانی است، برسد.

ب: روش دامنه خمیری (PI): این روش براساس اندازه‌گیری دامنه خمیری خاک اصلاح شده با آهک استوار است. برای درصدهای مختلف آهک، منحنی تغییرات دامنه خمیری را رسم کرده و درصدی مناسب است که: اولاً به کار بردن درصد آهک بیشتر سبب کاهش قابل ملاحظه دامنه خمیری نگردد و ثانیاً مقدار دامنه خمیری مخلوط را به حد مورد نظر کاهش دهد.

ج: ارزش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR): این روش براساس اندازه‌گیری CBR خاک تثبیت شده با آهک استوار است. درصد آهک مناسب مقدار آهکی است که در میزان رطوبت مورد نظر، CBR خاک را به مقدار معینی افزایش دهد.

د: روش اشتو: در این روش با مشخص کردن درصد مواد رد شده از الک شماره ۴۰ و با داشتن دامنه خمیری از منحنی مربوطه، درصد مناسب آهک به دست می‌آید.

هـ: روش مقاومت فشاری: این روش بر اساس بررسی نتایج حاصل از انجام آزمایش فشاری تک محوری بر روی نمونه‌های خاک تثبیت شده با آهک قرار دارد. درصد آهک مناسب، درصد آهکی است که مقدار مقاومت فشاری مصالح تثبیت شده را به حد مورد نظر افزایش دهد.

مثال۲: در طرح خاک تثبیت شده با آهک به روش دامنه خمیری (PI)، درصد مناسب آهک چه درصدی است؟

۱) درصدی که به کار بردن درصد بیشتر آهک سبب کاهش قابل ملاحظه دامنه خمیری نگردد.

۲) مقدار دامنه خمیری مخلوط را به حد مورد نظر کاهش دهد.

۳) نسبت باربری کالیفرنیا در آن درصد افزایش یابد.

۴) گزینه ۱ و ۲

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» این روش بر اساس اندازه‌گیری دامنه خمیری خاک اصلاح شده با آهک استوار است. برای درصدهای مختلف آهک، منحنی تغییرات دامنه خمیری را رسم کرده و درصدی مناسب است که اولاً: به کار بردن درصد بیشتر آهک سبب کاهش قابل ملاحظه دامنه خمیری نگردد و ثانیاً: مقدار دامنه خمیری مخلوط را به حد مورد نظر کاهش دهد.

مدرسان شریف

فصل پنجم

« قیر »

تعریف قیر

قیر یک جسم هیدروکربنی به رنگ سیاه تا قهوه‌ای تیره است که در سولفورکربن کاملاً حل شده و حالت آن با افزایش درجه حرارت از جامد به خمیری و از خمیری به مایع تغییر می‌کند. دو خاصیت مهم قیر غیر قابل نفوذ بودن در برابر آب و چسبندگی آن می‌باشد.

انواع قیر

قیر به دو صورت تهیه می‌شود:

الف: قیر طبیعی: این قیرها به صورت طبیعی از معادن قیر استخراج می‌شوند که یا در سنگ‌های قیری یافت می‌شوند یا از دریاچه‌های قیری به دست می‌آید.

ب: قیر نفتی: این قیرها از پسماند تقطیر نفت خام به دست می‌آیند.

قیرهای خالص

قیرهای خالص از پسماند پالایش نفت خام در برج‌های تقطیر به دست می‌آیند.

در حین تقطیر نفت خام، روغن‌های سبک‌تر در درجه حرارت‌های پایین‌تر تبخیر شده و با بالا رفتن درجه حرارت روغن‌های سنگین‌تر جدا می‌شوند. آنچه در ته این برج‌ها باقی می‌ماند قیر خالص است.

ساختمان شیمیایی قیر خالص به سه دسته تقسیم می‌شود:

الف) آسفالتین‌ها: هیدروکربن‌های سنگینی هستند که نسبت کربن به هیدروژن آن‌ها بیش از ۰/۸ است و ساختمان اصلی قیر را تشکیل می‌دهند.

ب) رزین‌ها: چسبندگی قیر را تأمین می‌کنند و نسبت کربن به هیدروژن آن‌ها بین ۰/۶ تا ۰/۸ است.

ج) روغن‌ها: نقش کندروانی قیر را بر عهده دارند و نسبت کربن به هیدروژن آن‌ها کمتر از ۰/۴ است.

هر قدر مواد پارافینی قیری کمتر باشد، آن قیر برای راهسازی مرغوب‌تر است. به طور کلی نفت خام‌های حاصل از معادن مختلف سه حالت دارد: آسفالتیک، پارافینیک و آسفالتیک پارافینیک. قیری که از نفت خام آسفالتیک به دست می‌آید، بهترین کیفیت را برای راهسازی دارد.

مثال۱: کدام‌یک از عبارت‌های زیر صحیح نمی‌باشد؟

۱) آسفالتین‌ها اسکلت ساختمانی قیر را تشکیل می‌دهند.

۲) نسبت کربن به هیدروژن رزین‌ها بین ۰/۶ تا ۰/۸ است.

۳) پس‌مانده پالایش نفت خام در برج تقطیر را قیر خالص می‌نامند.

۴) نسبت کربن به هیدروژن در روغن‌ها بیشتر از ۰/۴ است.

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» روغن‌ها نقش کند روانی قیر را به عهده دارند و نسبت کربن به هیدروژن آن‌ها کمتر از ۰/۴ است.

مثال ۲: کدام گزینه از مواد تشکیل‌دهنده ساختمان شیمیایی قیر خالص نمی‌باشد؟

۱) آسفالتین ۲) رزین ۳) آمونیوم ۴) روغن

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» ساختمان شیمیایی قیر خالص به سه دسته تقسیم می‌شود: الف) آسفالتین‌ها، ب) رزین‌ها، ج) روغن‌ها

مثال ۳: هر مقدار مواد پارافین قیری ..... باشد، آن قیر برای راهسازی مناسب‌تر است.

۱) کمتر ۲) بیشتر ۳) تأثیری ندارد ۴) به نوع قیر بستگی دارد.

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» هر مقدار مواد پارافینی قیری کمتر باشد، آن قیر برای راهسازی مناسب‌تر است.

قیرهای دمیده: قیر دمیده از دمیدن هوای داغ به قیر خالص در مرحله آخر عمل تصفیه به دست می‌آید. در این عمل اتم‌های هیدروژن موجود در مولکول‌های هیدروکربن‌های قیر در اثر دمیدن هوا با اکسیژن هوا ترکیب شده و تبدیل به آب و هیدروکربن‌های سنگین‌تر می‌شود. قیر دمیده حاصل دارای درجه نفوذ کمتر و درجه نرمی بیشتری از قیر خالص اولیه است. قیر دمیده حساسیت کمتری نسبت به تغییرات درجه حرارت داشته و لذا حالت سخت خود را خیلی بهتر از قیر اولیه در حرارت‌های بالاتر حفظ می‌کند. این قیرها در راهسازی کاربرد ندارد و در کارهای ساختمانی برای پوشش بام، اندود کاری و پر کردن ترک‌های روسازی بتنی به کار می‌رود.

در ایران دو نوع قیر دمیده R۸۰/۲۵ و R۹۰/۱۵ ساخته می‌شود. مقادیر ۲۵ و ۱۵ درجه نفوذ این قیرها و اعداد ۸۰ و ۹۰ درجه نرمی آن‌ها است.

مثال ۴: کدام‌یک از عبارت‌های زیر صحیح نمی‌باشد؟

۱) قیرهای دمیده در راه‌سازی کاربرد ندارند.

۲) قیرهای دمیده حساسیت کمتری نسبت به درجه حرارت دارند.

۳) خاصیت ارتجاعی قیرهای دمیده با مصرف افزونه‌های شیمیایی مخصوص افزایش می‌یابد.

۴) قیر دمیده دارای درجه نفوذ بیشتر و درجه نرمی کمتری از قیر خالص اولیه است.

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» قیر دمیده به دلیل اکسید شدن اتم‌های هیدروژن موجود در مولکول‌های هیدروکربن قیر، درجه نفوذ کمتر و درجه نرمی بیشتری نسبت به قیر خالص اولیه دارد.

مثال ۵: در قیر دمیده با نام R۸۰/۲۵، عدد ۸۰ بیانگر چیست؟

۱) درجه نفوذ ۲) درجه نرمی ۳) درجه ذوب قیر ۴) نام قیر

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» در ایران دو نوع قیر دمیده R۸۰/۲۵ و R۹۰/۱۵ ساخته می‌شود که اعداد ۲۵ و ۱۵ بیانگر درجه نفوذ و اعداد ۹۰ و ۸۰ بیانگر درجه نرمی است.

قیرهای محلول: قیرهای محلول که به آن‌ها قیرهای پس برگشته یا قیرهای مخلوط نیز گفته می‌شود از حل کردن قیرهای خالص در روغن‌های نفتی نظیر بنزین، نفت، نفت گاز یا نفت کوره به دست می‌آیند.

نوع روغن بکار رفته برای تهیه قیرهای محلول در سرعت گرفتن آن تأثیر می‌گذارد که به سه دسته تقسیم می‌شود:

۱) اگر از بنزین برای حل کردن استفاده شود ← قیر تندگیر (RC)

۲) اگر از نفت سفید برای حل کردن استفاده شود ← قیر کندگیر (MC)

۳) اگر از نفت گاز یا نفت کوره برای حل کردن استفاده شود ← قیر دیرگیر(SC)

مدرسان شریف

فصل ششم

« آسفالت »

تعریف آسفالت

ترکیب قیر با مصالح سنگی تولید آسفالت می‌نماید که از آن برای لایه رویه، اساس و زیراساس در راه‌ها و فرودگاه‌ها استفاده می‌شود. آسفالت به سه دسته‌ی آسفالت گرم، آسفالت سرد (مخلوط در محل) و آسفالت سطحی تقسیم می‌شود.

مصالح سنگی

مصالح سنگی یا به طور طبیعی یافت می‌شوند و یا به طور مصنوعی و به صورت غیرمستقیم، به صورت تفاله در برخی از کارخانه‌های ذوب فلزات تولید می‌شوند.

مصالح سنگی که برای ساخت انواع آسفالت به کار می‌روند باید دارای مشخصات ویژه‌ای باشند که عبارتند از:

دانه‌بندی، سختی، دوام، تمیزی، شکل دانه‌ها و کیفیت سطح دانه‌ها

دانه‌بندی: دانه‌بندی مصالح سنگی یکی از مهم‌ترین عواملی است که بر روی استقامت و ظرفیت باربری آسفالت تأثیر می‌گذارد.

دانه‌بندی مصالح سنگی از نظر نوع دانه‌بندی به سه نوع تقسیم می‌شود:

الف) توپر: مصالحی که اندازه دانه‌های آن به طور یکنواخت از ریز تا درشت تغییر کرده و به اندازه کافی دانه‌های با اندازه‌های مختلف داشته باشند. این مصالح بسیار مناسب ساخت بتن آسفالتی گرم هستند.

ب) توخالی: این مصالح دارای منحنی دانه‌بندی یکنواخت نبوده و در مقایسه با مصالح توپر، دارای ریزدانه کمتر و تخلخل بیشتر می‌باشند.

ج) یک اندازه: دانه‌های آن کم و بیش یک اندازه است و از آن برای ساخت رویه آسفالت سطحی، اساس و اندودهای آب‌بندی استفاده می‌شود.

سختی: مصالح سنگی که در ساخت آسفالت به کار می‌روند باید در برابر وزن وسایل نقلیه مقاومت کافی داشته باشند که این مقاومت از آزمایش لوس‌آنجلس به دست می‌آید.

دوام: مصالح سنگی که در ساخت آسفالت به کار می‌روند باید مقاومت کافی در برابر عوامل جوی داشته باشند و در اثر یخبندان و یا تغییرات رطوبت شکسته و خرد نشوند.

تمیزی: مصالح سنگی آسفالت‌ها باید تمیز بوده و از مواد خارجی مضر و آلی، عاری باشند. برای تعیین مقدار نسبی خاک رس و مواد ریزدانه در مصالح سنگی از آزمایش هم ارز ماسه استفاده می‌شود. حداقل مقدار قابل قبول هم ارز ماسه مصالح سنگی بتن آسفالتی ۵۰ درصد است.

خصوصیات سطح و شکل دانه‌ها

استقامت و قابلیت باربری لایه‌های آسفالتی متناسب با استقامت و قابلیت باربری مصالح سنگی آن است. از این جهت مصالح سنگی باید دارای زاویه اصطکاک داخلی زیادی باشند تا دانه‌های آن به خوبی در یکدیگر قفل و بست شوند. لذا مصالح سنگی شکسته مناسب‌تر از مصالح سنگی گرد گوشه هستند.

میزان شکستگی مصالح سنگی با انجام آزمایش تعیین درصد شکستگی تعیین می‌شود.

همچنین دانه‌های مصالح سنگی باید قادر باشند قیر مصرفی را به خوبی جذب کنند. سنگ‌هایی نظیر بازالت، دولومیت و سنگ‌های آهکی به خوبی قیر را جذب می‌کنند. این سنگ‌ها به سنگ‌های هایدروفوبیک موسوم هستند.

سنگ‌های سیلیسی نظیر کوارتزها، اندود قیری را به خوبی جذب نمی‌کنند که این نوع سنگ‌ها به هایدروفیلیک موسوم هستند.

بتن آسفالتی گرم

این نوع مصالح، مرغوب‌ترین نوع آسفالت محسوب می‌شوند که در کارخانه آسفالت‌پزی تولید می‌شوند.

مصالح سنگی

مصالح سنگی به کار رفته در آسفالت گرم شامل سه بخش است:

الف) درشت‌دانه: مصالحی که روی الک شماره ۴ باقی می‌ماند.

ب) ریزدانه: مصالح عبوری از الک شماره ۴

ج) فیلر: مصالح عبوری از الک شماره ۲۰۰ که باید عاری از مواد رسی و آلی باشند.

مهم‌ترین نقش فیلر، افزایش عمر روسازی و ازدیاد مقاومت آن در برابر آب است. علاوه بر این استفاده از فیلر در بتن آسفالتی سبب ازدیاد قدرت باربری، کاهش تغییر شکل نسبی، افزایش مقاومت در برابر ضربه، افزایش مقاومت فشاری و برشی، افزایش کندروانی و کاهش شکنندگی آن می‌شود.

قیر: قیری که برای ساختن بتن آسفالتی گرم به کار می‌رود از نوع قیر خالص با درجه نفوذ ۵۰–۴۰، ۷۰–۶۰، ۱۰۰–۸۵ و ۱۵۰–۱۲۰است که بر اساس شرایط جوی و میزان آمد و شد انتخاب می‌شود.

افزایش استقامت بتن آسفالتی با افزایش نسبت درصد قیر مصرفی، تا رسیدن استقامت به یک مقدار حداکثر ادامه یافته و پس از آن با افزایش مقدار قیر، از استقامت بتن آسفالتی به شدت کاسته می‌شود.

باید توجه داشت که تمام فضای خالی مصالح سنگی بتن آسفالتی نباید با قیر پر شود زیرا در غیر این صورت این احتمال وجود دارد که پس از آن‌که لایه بتن آسفالتی تحت اثر آمد و شد وسایل نقلیه سنگین قرار گرفت، متراکم‌تر شده و حجم فضای خالی آن کم شده و یا کاملاً از بین برود. کاهش بیش از حد فضای خالی بتن آسفالتی احتمال رو زدن قیر را در هوای گرم افزایش می‌دهد. از طرف دیگر باید توجه داشت که وجود مقدار بیش از حد فضای خالی در بتن آسفالتی باعث کاهش استقامت و کاهش قابلیت شکل‌پذیری آن و در نتیجه سبب کم شدن دوام آن می‌شود. به دلیل عوامل ذکر شده حجم فضای خالی بتن آسفالتی می‌بایست حداقل ۳% و حداکثر ۶% باشد.

مثال۱: برای ساختن بتن آسفالتی گرم از چه قیری استفاده می‌شود؟

۱) محلول ۲) امولسیون ۳) خالص ۴) دمیده

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» معمولاً برای تهیه بتن آسفالتی گرم از قیر خالص استفاده می‌شود.

طرح اختلاط بتن آسفالتی گرم

طرح اختلاط بتن آسفالتی معمولاً شامل مراحل زیر است:

الف) انتخاب مصالح سنگی درشت، ریز و فیلر ب) انتخاب حدود دانه‌بندی مطلوب ج) تعیین نسبت درصدهایی که مصالح سنگی درشت، ریز و فیلر باید باهم مخلوط شوند. د) تعیین چگالی مصالح سنگی درشت، ریز و فیلر و چگالی قیر هـ) تهیه نمونه‌های بتن آسفالتی با استفاده از مصالح سنگی و درصدهای مختلف قیر و) تعیین چگالی نمونه‌های بتن آسفالتی تهیه شده ز) انجام آزمایش استقامت ح) محاسبه درصد فضای خالی مصالح سنگی و درصد فضای خالی نمونه‌های بتن آسفالتی ط) رسم منحنی‌های تغییرات وزن مخصوص بتن آسفالتی، استقامت، درصد فضای خالی بتن آسفالتی، درصد فضای خالی مصالح سنگی پر شده با قیر، فضای خالی مصالح سنگی و روانی بتن آسفالتی، به ازای درصدهای مختلف قیر مصرفی ی) تعیین درصد قیر بهینه (مناسب) ص) کنترل و تصحیح درصد قیر بهینه

مراحل الف، ب و ج در بندهای قبلی ذکر گردید و بقیه بندها در این بخش توضیح داده می‌شوند.

چگالی مصالح سنگی

مصالح سنگی بتن آسفالتی معمولاً از اختلاط چند نوع مصالح سنگی با چگالی‌های مختلف به دست می‌آید. چگالی مصالح به دست آمده متوسط وزنی چگالی مصالح تشکیل دهنده آن است که از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$G_s = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3}}$$

مدرسان شریف

فصل هفتم

« تأثیر عوامل جوی »

در این بخش تأثیر یخبندان و رطوبت در طرح روسازی، شرح داده می‌شود و علل و روش‌های جلوگیری از صدمات آن مورد بحث قرار می‌گیرد.

یخبندان دو اثر منفی بر روسازی دارد که عبارتند از:

الف: تورم روسازی در اثر یخبندان، که ممکن است منجر به شکستگی و خرابی روسازی شود. ب: کاهش قدرت باربری روسازی در موقع ذوب یخ‌ها افزایش رطوبت مصالح روسازی و به خصوص خاک بستر آن نیز ممکن است منجر به خرابی روسازی شود.

تورم در اثر یخبندان

تورم در اثر یخبندان، به بالا آمدن سطح روسازی در اثر یخ زدن ذرات آب و تشکیل عدسی‌های یخ در خاک بستر و یا در لایه‌های اساس و زیراساس اطلاق می‌شود. برای متورم شدن روسازی در اثر یخبندان باید سه عامل زیر حتماً موجود باشند در غیر این صورت تورم واقعی به وقوع نخواهد پیوست:

الف: هوای سرد (دمای زیر صفر) ، ب: خاک نسبتاً ریزدانه ، ج: منبع آب زیرزمینی در عمق نسبتاً کم (کمتر از حدود ۳ m)

تورم روسازی در اثر یخ زدن به این علت است که آب موجود در منابع زیرزمینی به علت خاصیت مویینگی خاک نسبتاً ریزدانه، بالا آمده و پس از رسیدن به قسمت‌های سرد، یخ زده و با یخ زدن دچار افزایش حجم و در نتیجه تورم می‌شود.

خاک‌های حساس در برابر یخبندان

خاک‌های حساس در برابر یخبندان عبارتند از: ماسه خیلی ریزدانه، لای و خاک رس با دامنه خمیری کمتر از ۱۲. حفرات این خاک‌ها به اندازه‌ای کوچک هستند که خاصیت مویینه در آن‌ها برقرار شود و از طرف دیگر آن قدر ریزدانه نیستند که نفوذناپذیر باشند.

شن و ماسه تمیز در برابر یخبندان غیر حساس می‌باشند و لای‌ها خطرناک‌ترین مصالح از نظر تورم یخبندان هستند. بر اساس مطالعات کاساگرانده، تمام خاک‌های غیر آلی که دارای بیش از ۳% دانه‌های به قطر کوچک‌تر از ۰/۰۲ میلی‌متر هستند کم و بیش در برابر یخبندان حساس می‌باشند.

مثال۱: کدام‌یک از انواع خاک‌های زیر در برابر پدیده یخبندان حساسیت کمتری دارد؟

۱) لای ۲) رس ۳) ماسه ریز ۴) شن و ماسه تمیز

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» شن و ماسه تمیز به دلیل وجود حفرات در برابر پدیده یخبندان حساسیت کمتری دارد. لای‌ها حساس‌ترین خاک‌ها در برابر یخبندان هستند.

محافظت روسازی در برابر یخبندان

همان‌طور که ذکر شد، تورم یخبندان به علت هوای سرد زیر صفر، خاک نسبتاً ریزدانه و آب زیرزمینی در عمق رخ می‌دهد. لذا برای محافظت باید یکی از سه عامل مؤثر را حذف کنیم:

۱ـ برای حذف تأثیر برودت هوا کافی است ضخامت کل روسازی را افزایش دهیم تا از عمق یخبندان بیشتر شود. ۲ـ برای حذف تأثیر خاک ریزدانه، باید قسمتی از خاک بستر که در برابر یخبندان حساس است با مصالح غیر حساس تعویض شود. ۳ـ برای حذف آب زیرزمینی، می‌توانیم از زهکشی استفاده کنیم یا راه را در خاکریز اجرا کنیم.

تعیین عمق یخبندان

در حالت کلی هرچه از زمین به مرکز آن نزدیک‌تر شویم دما افزایش می‌یابد. منظور از عمق یخبندان به طور خلاصه عمقی از سطح روسازی است که وقتی دمای محیط کوچک‌تر مساوی صفر است (دمای یخبندان) دمای کوچک‌تر مساوی از آن تا آن عمق ادامه پیدا می‌کند (پس از این عمق دما بالاتر می‌رود).

برای تعیین عمق یخبندان دو روش وجود دارد: ۱ـ روش تجربی ۲ـ روش تئوری

روش تجربی: در این روش از لوله حاوی مایع فلورسین یا از لوله حباب‌دار استفاده می‌کنند. در حالت اول در محل یخبندان از تغییر رنگ مایع فلورسین متوجه عمق یخبندان می‌شوند و در حالت دوم لوله حباب‌دار، حباب‌ها بر اثر یخبندان شکسته می‌شوند و از روی آن عمق یخبندان به دست می‌آید.

روش تئوری: هرگاه به عللی عمق یخبندان یک منطقه معلوم نبوده ولی اطلاعات کافی در مورد تغییرات درجه حرارت آن منطقه و خصوصیات خاک و مصالح روسازی موجود باشد، می‌توان عمق یخبندان را تعیین کرد. عمق یخبندان برای مصالح با جنس یکنواخت متناسب با شدت و دوام برودت هوا و خصوصیات حرارتی هوا از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

پارامترهای رابطه بالا عبارتند از:

Z: عمق یخبندان (سانتی‌متر)، FI: شاخص برودت که تابع شدت و دوام برودت هواست، A: عدد ثابت که بستگی به خصوصیات حرارتی مصالح داشته و برای شن با نفوذپذیری خوب، ۴/۷ می‌باشد.

مثال ۲: اگر شاخص برودت در منطقه‌ای سردسیر ۶۲۵ روز درجه و جنس لایه شن با نفوذپذیری خوب فرض شود، چنانچه ضخامت کل روسازی ۹۰ سانتی‌متر باشد، چند سانتی‌متر از خاک بستر در معرض خطر یخبندان قرار دارد؟

۱) ۲۷/۵ ۲) ۱۷/۵ ۳) ۲۴/۵ ۴) ۱۴/۵

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» عمق یخبندان از رابطه زیر به دست می‌آید: $Z = A\sqrt{FI}$

ضریب A با توجه به این‌که جنس خاک شن با نفوذپذیری خوب می‌باشد ۴/۷ در نظر گرفته می‌شود. $Z = ۴/۷\sqrt{۶۲۵} = ۱۱۷/۵$

عمقی از خاک بستر که در معرض خطر یخبندان قرار می‌گیرد برابر است با: $۱۱۷/۵ - ۹۰ = ۲۷/۵\,cm$ = ضخامت روسازی $- ۱۱۷/۵$

شاخص برودت (FI)

طبق تعریف شاخص برودت، تفاوت بین رقوم نقاط حداکثر و حداقل منحنی برودت است. منحنی شاخص برودت، منحنی نمایش تغییرات جمع جبری (تجمعی) درجه حرارت متوسط روزانه بر حسب زمان است که واحد آن "روزدرجه" بوده و نشانگر شدت و دوام برودت هوا در یک منطقه می‌باشد.

شیب منفی منحنی شاخص برودت، نشان‌دهنده روزهایی است که درجه حرارت متوسط هوا زیر صفر درجه است و فاصله زمانی بین نقاط حداکثر و حداقل منحنی نشان‌دهنده طول فصل سرما است.

مثال ۳: در جدول زیر متوسط دمای ماهیانه منطقه‌ای از مهر تا اردیبهشت داده شده است. شاخص برودت منطقه چند روز، درجه عمق یخبندان چند سانتی‌متر است؟ ($\sqrt{۶} \simeq ۲/۵$)

۱) $۱۱۸/۱۳ - ۶۰۰$ ۲) $۱۱۵/۱۳ - ۶۰۰$ ۳) $۱۱۸/۵ - ۴۰۰$ ۴) $۱۱۷/۵ - ۴۰۰$

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت
درجه حرارت	۲۱	۸	۱۲	−۴	−۱۰	−۶	۱۳	۲۰

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» شاخص برودت به صورت مقابل به دست می‌آید: $FI = ۳۰(۶+۱۰+۴) = ۶۰۰$ (درجه حرارت فصل سرما)

عمق یخبندان از رابطه روبرو محاسبه می‌شود: $Z = A\sqrt{FI} = ۴/۷\sqrt{۶۰۰} = ۱۱۵/۱۳\,cm$

نحوه رسم منحنی شاخص برودت: برای رسم منحنی شاخص برودت متوسط دمای هر ماه را در تعداد روزهای آن ماه ضرب کرده و مقدار به دست آمده را روی محور عمودی در انتهای آن ماه نشان می‌دهیم و برای ماه‌های بعد به صورت تجمعی این کار را انجام می‌دهیم. شایان ذکر است که دمای هوا با علامت (بالای صفر مثبت و پایین صفر منفی) اعمال می‌شود.

مدرسان شریف

فصل هشتم

« بارگذاری »

مقدمه

در بارگذاری روسازی‌ها علاوه بر در نظر گرفتن وزن و تعداد محورهای سنگین‌ترین وسیله نقلیه مسئله خستگی نیز مهم می‌باشد زیرا خرابی روسازی‌ها نه تنها ممکن است در اثر عبور یک وسیله نقلیه سنگین باشد بلکه، وسایل نقلیه سبک نیز اگر به تعداد کافی عبور کنند می‌توانند به روسازی صدمه وارد کنند.

از نظر بارگذاری، روش‌های مختلف طرح روسازی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

الف) روش‌هایی که در آن‌ها اثر هر یک از وسایل نقلیه (نوع و وزن محورها) جداگانه در نظر گرفته می‌شود.

ب) روش‌هایی که در آن‌ها کل وسایل نقلیه با تعداد معینی از یک محور با مشخصات و وزن معینی (محور مبنای طرح) جایگزین شده و اثر این محور مبنا در طرح روسازی در نظر گرفته می‌شود.

در حالت دوم تبدیل یا جایگزینی محورهای مختلف با محور مبنای طرح با استفاده از ضرایب بار هم ارز انجام می‌شود.

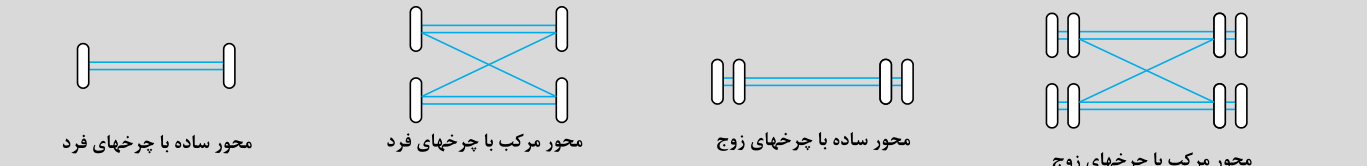
تعیین بار هم‌ارز با استفاده از روش نظری و تجربی انجام می‌شود:

الف) روش نظری: در این روش تعیین ضرایب بار هم‌ارز طوری است که این بار و بار مورد نظر تنش‌ها و تغییر شکلهای کاملاً یکسانی را در سیستم روسازی به وجود آورد. چون امکان تعیین بار هم ارزی که موجب تنش و تغییر شکل‌های کاملاً یکسانی با تنش و تغییر شکل‌های ناشی از بار مورد نظر مشکل بوده یا اساساً امکان‌پذیر نمی‌باشد، لذا فقط تنش یا تغییر شکل بحرانی در نظر گرفته می‌شود.

برای روسازی‌های انعطاف‌پذیر، تنش بحرانی عبارت است از حداکثر تنش فشاری قائم وارد بر خاک بستر و حداکثر تنش کششی افقی در سطح زیرین لایه آسفالتی و تغییر شکل بحرانی عبارت است از حداکثر افت و خیز روسازی.

ب) روش تجربی: در این روش‌ها، ضرایب هم‌ارز بر این اساس تعیین می‌شوند که میزان خرابی و صدمه‌ای که محور مورد نظر و n بار عبور محور مبنای طرح در سیستم روسازی به وجود می‌آورد، یکسان باشد. بنابراین ضرایب بار هم‌ارز نسبت صدمه ناشی از یک‌بار عبور محور مورد نظر به صدمه‌ای است که یک‌بار عبور محور مبنای طرح در روسازی به وجود می‌آورد.

از نظر طرح روسازی‌ها، محورهای وسایل نقلیه به دو نوع محور ساده (تکی یا منفرد) و محور مرکب «دوبل یا تاندم» که در شکل ۱ نشان داده شده است تقسیم می‌شوند.



شکل ۱. **تقسیم‌بندی محورهای وسایل نقلیه بر حسب نوع محور و تعداد چرخ‌ها**

مثال۱: ضریب بار هم‌ارز به روش تجربی کدام عبارت است؟

۱) نسبت صدمه ناشی از یک بار عبور محور مورد نظر به صدمه‌ای که یک‌بار عبور محور مبنای طرح در روسازی ایجاد می‌کند.

۲) نسبت صدمه ناشی از یک بار عبور محور مبنای طرح به صدمه‌ای که یک‌بار عبور محور ۱۸ کیپسی ایجاد می‌کند.

۳) نسبت تعداد عبور محور مورد نظر برای ایجاد خرابی خاص به تعداد عبور محور مبنای طرح برای ایجاد همان خرابی خاص در روسازی

۴) برای هر روسازی به صورت خاص تعریف می‌شود.

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» ضریب بار هم ارز به روش تجربی عبارتست از: نسبت صدمه ناشی از یک‌بار عبور محور مورد نظر به صدمه‌ای که یک‌بار عبور محور مبنای طرح در روسازی ایجاد می‌کند.

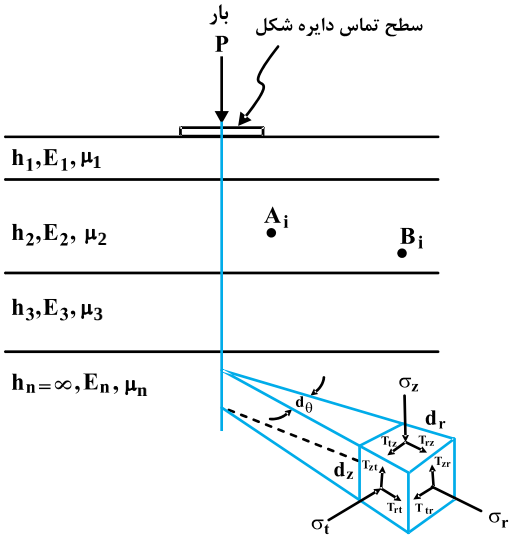
انواع مختلف وسایل نقلیه طبق آیین‌نامه وزارت راه و ترابری عبارت است از:

۱ـ سواری ۲ـ مینی‌بوس ۳ـ پیکاپ (وانت) ۴ـ کامیون‌های ۲ محوره (۶ چرخ)
۵ـ کامیون‌های سه محوره (۱۰ چرخ) ۶ـ تریلرهای ۴ محوره (۱۴ چرخ) ۷ـ تریلرهای ۵ محوره (۱۸ چرخ و بیش از ۵ محور)
۸ـ نفت‌کش‌های ۲ محوره ۹ـ نفت‌کش‌های ۳ محوره ۱۰ـ اتوبوس‌های با ظرفیت بیش از ۲۵ نفر

متداول‌ترین و مناسب‌ترین مدل برای راه‌سازی انعطاف‌پذیر استفاده از سیستم چند لایه‌ای است.

توزیع تنش در روسازی‌های انعطاف‌پذیر

با افزایش وزن و تعداد وسایل نقلیه، شناخت بهتر علل انواع خرابی روسازی‌های انعطاف‌پذیر و استفاده از مصالح نیمه سخت (نظیر مصالح تثبیت شده) و به خصوص به کار بردن لایه‌های آسفالتی با ضخامت قابل توجه، سبب شده است که تمایل زیادی برای استفاده از روش‌های تحلیل نظری برای طرح روسازی‌های انعطاف‌پذیر به وجود آید. متداول‌ترین و مناسب‌ترین مدل برای تحلیل روسازی‌های انعطاف‌پذیر استفاده از نظریه سیستم چند لایه‌ای مطابق شکل ۲ می‌باشد.



شکل ۲. استفاده از مدل سیستم ارتجاعی چند لایه‌ای برای تحلیل روسازی‌های انعطاف‌پذیر

نظریه سیستم ارتجاعی چند لایه‌ای بر اساس فرضیات زیر استوار است:

الف: مصالح هر یک از لایه‌ها هم جنس هستند. یعنی خواص مصالح در نقاط A_i و B_i یکسان می‌باشد.

ب: هر یک از لایه‌ها دارای ضخامت معینی است. به غیر از لایه زیرین که ضخامت آن نامحدود فرض می‌شود.

ج: مصالح هر یک از لایه‌ها همسان هستند. یعنی خواص مصالح در هر نقطه نظیر A_i در تمام جهات یکسان می‌باشد.

د: در هر یک از فصول مشترک بین لایه‌ها اصطکاک کامل وجود دارد.

هـ: بار خارجی وارد به صورت نیروی فشاری قائم (عمود بر امتداد لایه‌ها) می‌باشد.

و: مصالح هر یک از لایه‌ها با دو پارامتر به نام‌های ضریب ارتجاعی (E) و ضریب پواسون (μ) مشخص می‌شود.

به طور کلی مصالح از نظر رفتارشان تحت اثر بارگذاری و باربرداری به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

الف: مصالح خطی: در این‌گونه مصالح افزایش تغییر شکل نسبی (ε) متناسب با افزایش تنش (σ) است.

ب: مصالح غیرخطی: در این‌گونه مصالح افزایش تغییر شکل نسبی به طور خطی متناسب با افزایش تنش نیست.

ج: مصالح غیرویسکوز: در این‌گونه مصالح میزان تغییر شکل نسبی تحت یک تنش ثابت تابع زمان نیست.

د: مصالح ویسکوز: در این‌گونه مصالح میزان تغییر شکل نسبی تحت یک تنش ثابت تابع زمان است.

هـ: مصالح الاستیک (ارتجاعی): در این‌گونه مصالح پس از باربرداری تغییر شکل نسبی به صفر می‌رسد.

و: مصالح پلاستیک (خمیری): در این‌گونه مصالح پس از باربرداری قسمتی از تغییر شکل نسبی به جا می‌ماند. (ε_p)

مدرسان شریف

فصل نهم

«روش‌های طراحی»

مقدمه

در سال‌های قبل از جنگ جهانی دوم، روسازی راه‌ها اکثراً به طور تجربی و بر اساس قضاوت مهندسین طرح می‌شدند ولی با افزایش تعداد، وزن و سرعت خودروها و همچنین افزایش خرابی روسازی‌ها، لزوم به کار بردن روش‌های اصولی‌تر برای طرح روسازی راه‌ها احساس گردید.

متداول‌ترین این روش‌ها، روشCBR بود که در سال ۱۹۴۲ ارائه شد. اگرچه روش CBR نواقص زیادی دارد و امروزه به عنوان یک روش دقیق طرح روسازی استفاده نمی‌شود، ولی به علت سودمند بودنش در فهم نحوه رفتار و طرح روسازی شرح داده می‌شود.

در این روش، ابتدا با انجام آزمایش CBR مقاومت خاک بستر و سایر مصالح شنی لایه‌های روسازی (اساس و زیر اساس) به دست می‌آید و سپس با در دست داشتن وزن چرخ مبنای طرح و استفاده از نمودار مربوطه اقدام به تعیین ضخامت کل روسازی و ضخامت هر یک از لایه‌های آن می‌شود.

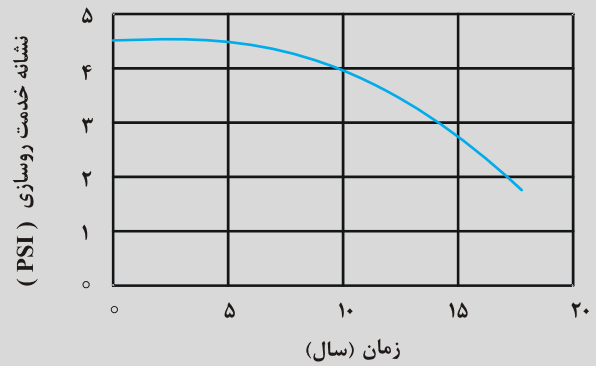
روش اشتو برای طرح روسازی راه

این روش امروزه یکی از متداول‌ترین روش‌های طرح روسازی راه است. در آزمایش اشتو وضعیت روسازی‌های مختلف توسط گروهی از متخصصین و استفاده‌کنندگان از راه به طور مداوم بازدید و بررسی شده و نمره‌ای به هر یک از قطعات راه داده می‌شود. این سیستم ارزیابی با استفاده از مقیاس، از صفر برای یک راه غیر قابل استفاده تا ۵ برای یک راه با وضعیت عالی انجام گرفت و متوسط این نمرات تعیین و به نام «نشانه خدمت» روسازی گزارش شد.

نشانه خدمت روسازی

نشانه خدمت روسازی مشخص‌کننده وضعیت روسازی در زمان ارزیابی روسازی است و نشانه‌ای از توانایی و قابلیت روسازی برای خدمت به استفاده‌کنندگان است. نشانه خدمت روسازی در شروع بهره‌برداری از راه بیشترین مقدار را دارد و سپس با گذشت زمان و با عبور خودروها از مقدار آن کاسته می‌شود. زمانی که این شاخص به حداقل مقدار قابل قبول خود برسد عمر مفید روسازی پایان یافته تلقی شده و روسازی باید مجدداً روکش شود.

با رسم منحنی تغییرات نشانه خدمت بر حسب زمان «منحنی عملکرد» روسازی به دست می‌آید که مطابق شکل ۱ رسم می‌شود.



شکل ۱. منحنی عملکرد روسازی

نشانه خدمت در ابتدای عمر روسازی «نشانه خدمت اولیه» (p_i) و نشانه خدمت در آخر عمر روسازی «نشانه خدمت نهایی» (p_t) نامیده می‌شود.

عواملی که در تعیین نشانه خدمت یک روسازی مؤثرند عبارتند از:

ناهمواری روسازی، شیار مسیر چرخ‌های وسایل نقلیه، ترک‌های سطح رویه و مقدار وصله‌ها (لکه‌گیری‌ها) بر اساس نتایج حاصل از مطالعات اشتو، نشانه خدمت نهایی روسازی راه‌های اصلی برابر $p_t = ۲/۵$ و برای راه‌های فرعی برابر $p_t = ۲$ پیشنهاد گردیده است.

تعداد محور ساده ۸/۲ تنی هم‌ارز که در طول عمر مفید یک روسازی با مشخصات معین می‌تواند از آن عبور کند از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\log w = ۹/۳۶ \log(SN+۱) - ۰/۲ + \frac{\log[\frac{p_i - p_t}{۴/۲ - ۱/۵}]}{۰/۴ + [\frac{۱۰۹۴}{(SN+۱)^{۵/۱۹}}]}$$

w : تعداد کل محور ساده ۸/۲ تنی هم ارز SN : عدد ضخامت روسازی که تابع جنس و ضخامت لایه‌ها است. p_i : نشانه خدمت اولیه (در آزمایش اشتو $p_i = ۴/۲$ به دست آمد). p_t : نشانه خدمت نهایی (در آزمایش اشتو، آزمایشات تا $p_t = ۱/۵$ ادامه یافت).

معایب روش اشتو

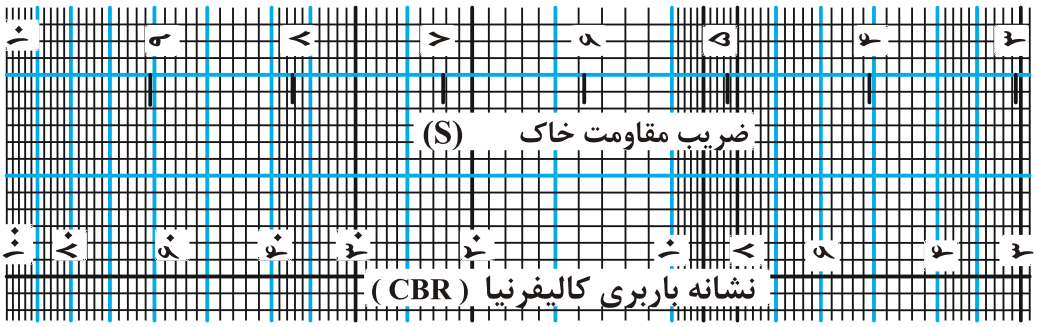
در روش اشتو تمام عوامل مؤثر در طرح روسازی از قبیل نوع و تعداد لایه‌های روسازی، نوع و وزن محور خودروها و... در نظر گرفته شده بود ولی دو ضعف داشت:

الف ـ یک روش همگانی نبود و مربوط به منطقه خاصی بود. ب ـ برای یک نوع خاص خاک به کار می‌رفت.

لذا با ادامه مطالعات، دو متغیر به نام‌های ضریب باربری خاک (S) و ضریب منطقه‌ای (R) به رابطه بالا اضافه شد.

$$\log w = ۹/۳۶ \log(SN+۱) - ۰/۲ + \frac{\log[\frac{p_i - p_t}{۴/۲ - ۱/۵}]}{۰/۴ + [\frac{۱۰۹۴}{(SN+۱)^{۵/۱۹}}]} + \log\frac{۱}{R} + ۰/۳۷۲(S-۳)$$

مقدار S از شکل ۲ و مقدار R از جدول ۱ به دست می‌آید:



شکل ۲. رابطه بین ضریب باربری خاک (S) و مقاومت (CBR)

شرایط	ضریب منطقه‌ای (R)
خاک یخزده به عمق بیش از $۱۲/۵۰^{cm}$ (زمستان)	۰/۲ − ۱
خاک خشک (تابستان و پاییز)	۰/۳ − ۱/۵
خاک اشباع شده (ذوب یخ‌ها در بهار)	۴ − ۵

مراحل طراحی به روش اشتو

استفاده از روابط

۱ـ با داشتن میزان آمد و شد پیش‌بینی شده در طول عمر مفید روسازی، مقدار کل محور ساده ۸/۲ تنی هم‌ارز (w) محاسبه می‌شود.

۲ـ با داشتن CBR خاک بستر و استفاده از شکل ۲، ضریب باربری خاک بستر (S) تعیین می‌شود.

۳ـ ضریب منطقه‌ای R با استفاده از جدول ۱ تعیین می‌شود.

۴ـ با داشتن p_t, p_i, R, S, W عدد ضخامت روسازی (SN) تعیین می‌شود.

استفاده از نمودار

در حالت خاصی که $p_i = ۴/۲$ (۴/۲ مقدار متوسط نشانه خدمت اولیه برای قطعات روسازی در آزمایش بزرگ اشتو است) و p_t برابر ۲ (برای راه‌های فرعی) و ۲/۵ (برای راه‌های اصلی) باشند، می‌توان برای تعیین SN از نمودارهای شکل ۳ استفاده نمود.

مدرسان شریف

فصل دهم

« خرابی‌ها»

مقدمه

به طور کلی خرابی‌ها را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد:

الف ـ خرابی‌های بنیادی (سازه‌ای) ب ـ خرابی‌های سطحی (وظیفه‌ای)

در خرابی بنیادی روسازی قدرت باربری خود را از دست می‌دهد و دیگر نمی‌تواند بدون افزایش بیشتر خرابی‌ها بارگذاری بیشتری را تحمل نماید. ولی در خرابی سطحی به علت ناهموار شدن سطح، بهره‌برداری از آن با مشکل مواجه است. در خرابی‌های بنیادی سیستم روسازی باید از نقطه نظر سازه‌ای تقویت گردد. در حالی که برای مرمت خرابی‌های سطحی باید با انجام اقدامات لازم سطح رویه صاف و هموار شود.

ترک‌ها

ترک‌های موزاییکی (پوست ماری ــ سوسماری)

این ترک‌ها به علت شباهت به پوست سوسمار، پوست سوسماری یا ماری گفته می‌شوند. این نوع خرابی با ترک خوردن تمام و یا قسمتی از سطح رویه آسفالتی به شکل تکه‌های نسبتاً کوچک چند ضلعی ظاهر شده و معمولاً با تکرار بارگذاری به وسعت خرابی افزوده می‌شود.

علت به وجود آمدن ترک‌های موزاییکی عبارتند از:

۱ـ تغییر شکل بیش از حد لایه‌های روسازی در اثر بارگذاری ۲ـ خستگی بیش از حد لایه رویه در اثر بارهای وارد به آن ۳ـ ایجاد روسازی بر روی خاک‌های با مقاومت کم و با قابلیت تغییر شکل زیاد ۴ـ لایه‌های اساس و زیراساس به علت عدم تراکم کافی مقاومت لازم را نداشته باشد.

برای مرمت آن، اگر خرابی موضعی باشد، می‌بایست وصله عمیق زده شود و اگر در سطح وسیع باشد باید روکش جدید انجام شود.

مثال۱: علت ترک خوردن سطح رویه آسفالتی به شکل تکه‌های نسبتاً کوچک چند ضلعی چه می‌باشد؟

۱) خستگی بیش از حد لایه رویه در اثر عبور ترافیک سنگین
۲) بستر ضعیف راه
۳) تراکم ناکافی لایه‌های روسازی
۴) همه موارد

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» خستگی، بستر ضعیف و تراکم ناکافی از عوامل ایجاد ترک‌های موزاییکی می‌باشد.

ترک‌های برشی (کناری)

ترک‌های برشی یا کناری به ترک‌هایی اطلاق می‌شوند که به موازات محور طولی راه و به فاصله کمی از لبه روسازی قرار گرفته باشند. ترک‌های برشی ممکن است علاوه بر ترک‌های طولی دارای ترک‌های عرضی نیز باشند.

علت به وجود آمدن این ترک‌ها عبارتند از:

۱ـ فقدان پایداری و استقامت برشی خاک یا مصالح کناره‌های روسازی ۲ـ ایجاد راه بر روی خاکریزهای با شیب شیروانی زیاد و ناپایدار ۳ـ زمانی که شانه‌های راه به طرز صحیح طرح و ساخته نشده‌اند و یا روسازی فاقد شانه باشد.

برای مرمت آن می‌بایست قبل از تعمیر رویه ترک خورده، علت خرابی یعنی تحکیم خاک و مصالح ناپایدار کنار روسازی رفع شود. پس از رفع علت، باید با برداشتن قسمت‌های ناپایدار و پرکردن آن با بتن آسفالتی گرم، ترمیم نمود.

مثال۲: کدام گزینه از علل به وجود آمدن ترک‌های برشی می‌باشد؟

۱) فقدان پایداری و استقامت برشی خاک یا مصالح کناره‌های روسازی
۲) ایجاد راه بر روی خاکریزهای با شیب شیروانی زیاد و ناپایدار
۳) خستگی بیش از حد لایه رویه در اثر بارهای وارده
۴) گزینه ۱ و ۲

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» ترک‌های برشی یا کناری به ترک‌هایی اطلاق می‌شوند که به موازات محور طولی راه و به فاصله کمی از لبه روسازی قرار گرفته باشد و علل به وجود آمدن آن‌ها عبارتند از:

الف) فقدان پایداری و استقامت برشی خاک کناره‌های روسازی ب) ایجاد راه بر روی خاکریزهای با شیب شیروانی زیاد و ناپایدار ج) زمانی که شانه‌های راه به طرز صحیح طرح و ساخته نشده‌اند.

ترک‌های انقباضی

ترک‌هایی که در اثر تغییر حجم و جمع شدن رویه آسفالتی در اثر افت دمای محیط به وجود می‌آیند، ترک‌های انقباضی نامیده می‌شوند. این ترک‌ها معمولاً عرضی و گاهی هم به صورت مجموعه به هم پیوسته می‌باشند. تفاوت ظاهری این ترک‌ها در حالت پیوسته با ترک‌های موزاییکی این است که ترک‌های انقباضی سطح رویه را به قطعات بزرگ‌تری تقسیم کرده و به علاوه گوشه‌های این قطعات نیز تیزتر است.

علت به وجود آمدن این ترک‌ها عبارت است از:

به کار بردن قیری که برای آب و هوای منطقه مورد مصرف سفت باشد.

برای مرمت آن باید ترک‌ها با قیر یا قیر حاوی ماسه ریزدانه و گرد سنگ پر شوند و در صورت لزوم، یک لایه نازک روکش شوند.

مثال۳: علت ایجاد ترک‌های انقباضی چه می‌باشد؟

۱) خستگی لایه آسفالتی
۲) نیروی‌های شدید ایجاد شده در هنگام ترمز گرفتن
۳) کمبود استقامت برشی خاک
۴) عدم استفاده از قیر متناسب با شرایط جوی

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» به کار بردن قیری که برای آب و هوای منطقه مورد مصرف سفت باشد علت ایجاد ترک‌های انقباضی می‌باشد.

ترک‌های بین دو خط

این نوع ترک‌ها در حقیقت همان درزهای طولی بین خطوط راه هستند که به علت اجرای نادرست رویه آسفالتی، درزهای آن باز شده‌اند. ورود آب در این ترک‌ها باعث تشدید خرابی و بازتر شدن آن‌ها می‌شود.

علت به وجود آمدن این ترک‌ها عبارتند از:

۱ـ اجرای غیر همزمان رویه آسفالتی خطوط مجاور یکدیگر ۲ـ ایجاد ترک بین خط کناری و شانه آسفالتی راه به علت اجرای غیر همزمان آسفالت خط کناری و شانه راه

برای اجتناب از این خرابی باید سعی شود با به کار بردن تعداد کافی ماشین پخش آسفالت، مصالح تمام عرض راه هم زمان پخش شود.

برای مرمت ترک‌های بین دو خط باید این ترک‌ها با استفاده از قیر یا قیر حاوی ماسه ریزدانه و گرد سنگ پر شوند تا جلوی ورود آب به داخل ترک گرفته شود.

ترک‌های انعکاسی

ترک‌های انعکاسی به ترک‌هایی اطلاق می‌شوند که در سطح روکش آسفالتی و در محل ترک‌هایی که در سطح روسازی قدیمی وجود داشته، پدید آمده باشند. این ترک‌ها اغلب در سطح روکش آسفالتی که روی روسازی‌های بتنی یا مصالح تحکیم شده با سیمان ساخته شده‌اند به وجود می‌آیند. این ترک‌ها همچنین در سطح روکش آسفالتی که بر روی روسازی آسفالتی با ترک‌های عریض و مرمت نشده ساخته می‌شوند نیز پدید می‌آیند.

علت به وجود آمدن این ترک‌ها عبارت است از:

حرکات افقی و قائم لایه واقع در زیر روکش آسفالتی

این حرکات در اثر تغییرات رطوبت و درجه حرارت در مصالح روسازی و همچنین در اثر عبور وسایل نقلیه سنگین به وقوع می‌پیوندند.

برای مرمت ترک‌های انعکاسی، این ترک‌ها می‌بایست با استفاده از قیر یا قیر حاوی ماسه ریزدانه و گرد سنگ پر شوند.

ترک‌های هلالی (لغزش)

ترک‌های هلالی معمولاً در مسیر حرکت چرخ‌های وسایل نقلیه به علت وارد شدن نیروهای شدید افقی (ترمز کردن) در سطح رویه آسفالتی به وجود می‌آیند.

علل تشکیل این ترک‌ها عبارتند از:

۱ـ فقدان چسبندگی کافی بین لایه رویه آسفالتی و لایه زیر آن ۲ـ وجود موادی از قبیل گرد و خاک، روغن‌های نفتی یا آب ۳ـ عدم به کار بردن اندود سطحی بین لایه آستر و لایه رویه آسفالتی.

برای مرمت این نوع خرابی، می‌بایست قسمت خراب شده، کنده و با استفاده از بتن آسفالتی گرم وصله سطحی شود.