روسازی راه

تألیف:

دکترنادعلی رمضان‌پور
مهندس نورالدین قاسم زاده

فن‌آوری نوین

سرشناسه	رمضان‌پور، نادعلی، ۱۳۵۰ -
عنوان و نام پدیدآور	روسازی راه/ نادعلی رمضان‌پور، نورالدین قاسم‌زاده.
مشخصات نشر	بابل:فن‌آوری نوین، ۱۳۹۳
مشخصات ظاهری	۲۱۶ص:مصور،جدول
شابک	۱۶۵۰۰۰ریال:۹۷۸-۶۰۰-۷۲۷۲-۰۰-۸
یاداشت	کتابنامه:ص.۲۱۶.
موضوع	روسازی - روکش‌ها
موضوع	روسازی با آسفالت
شناسه افزوده	قاسم‌زاده، نورالدین، ۱۳۶۲-
رده بندی کنگره	TE ۱۳۹۲۳/۲۲۰ ۹ر۸ر/
رده بندی دیویی	۸/۶۲۵
شماره کتابشناسی ملی	۳۳۴۴۳۴۲

www.fanavarienovin.net

فن‌آوری نوین **بابل، کدپستی ۴۷۱۶۷-۷۳۴۴۸** **تلفن: ۰۱۱۱-۲۲۵۶۶۸۷**

روسازی راه

تألیف: دکتر نادعلی رمضان‌پور –مهندس نورالدین قاسم‌زاده

نوبت چاپ: چاپ اول

سال چاپ: زمستان ۱۳۹۳

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

قیمت: ۱۶۵۰۰تومان

نام چاپخانه و صحافی: فرنگاررنگ

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۲۷۲-۰۰-۸

نشانی ناشر: بابل، چهارراه نواب، کاظم‌بیگی، جنب حسینیه منصور کاظم‌بیگی، طبقه همکف

طراح جلد: کانون آگهی و تبلیغات آبان (احمد فرجی)

تهران، خ اردیبهشت، نبش وحید نظری، پلاک ۱۴۲ تلفکس: ۶۶۴۰۰۱۴۴-۶۶۴۰۰۲۲۰

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات روسازی

۱-۱. مقدمه ۷
۱-۲. هدف از اجرای روسازی راه..... ۷
۱-۳. نحوه‌ی قرار گیری لایه‌های روسازی..... ۱۰
۱-۴. لایه‌ها در روسازی ۱۱
۱-۴-۱. لایه‌ی متراکم شده خاک بستر ۱۱
۱-۴-۱. لایه زیر اساس ۱۱
۱-۴-۱. لایه‌ی اساس ۱۱
۱-۴-۱. لایه رویه ۱۱
۱-۵. عوامل موثر در طرح روسازی ۱۳
۱-۵-۱. بار وارد شده ۱۳
۱-۵-۱. شرایط جوی ۱۳
۱-۵-۱. شرایط جغرافیایی ۱۴
۱-۵-۱. عوامل موثر اقتصادی ۱۴
۱-۵-۱. نوع روسازی و جنس آن ۱۴
۱-۵-۱. ویژگی‌های خاک بستر روسازی ۱۴
۱-۵-۱. عمر طرح ۱۴
۱-۶. انواع روسازی‌ها ۱۴

فصل دوم: خاک بستر راه

۲-۱. مقدمه ۱۶
۲-۲. خاک بستر ۱۶
۲-۲-۱. بررسی‌های ژئوتکنیکی و نمونه برداری خاک ... ۱۷
۲-۲-۲. اجزاء خاک در روسازی ۱۷
۲-۲-۳. روابط وزنی و حجمی مواد تشکیل دهنده‌ی خاک... ۱۹
۲-۲-۴. دانه بندی و خواص خمیری خاک بستر . ۲۰
۲-۲-۵. انواع رده بندی خاک ۲۵
۲-۲-۶. تراکم خاک ۲۸
۲-۲-۷. مقاومت خاک بستر ۳۴
۲-۲-۸. انواع غلتک‌ها ۳۹
۲-۲-۹. مشخصات عمومی غلتک‌ها ۴۳

فصل سوم: زیر اساس، اساس، رویه شنی

۳ – ۱. مقدمه..... ۴۴
۳ – ۲. لایه‌های اساس، زیر اساس و رویه ۴۴
۳-۲-۱. درصد رطوبت ۴۵
۳ – ۲ -۳. دانه بندی..... ۴۵
۳-۲-۳. شکستگی ۴۷
۳-۲-۴. خصوصیات خمیری..... ۴۷
۳-۲-۵. سختی..... ۴۸
۳-۲-۶. تمیزی ۴۸
۳-۲-۷. نفوذ پذیری..... ۴۹
۳-۳. اجرای لایه‌های زیراساس، اساس و رویه شنی..... ۵۰

فصل چهارم: تثبیت خاک و مصالح شنی

۴ – ۱. مقدمه ۵۱
۴ – ۲. تثبیت خاک و مصالح شنی با آهک ۵۲
۴ – ۲ -۱. واکنش‌های خاک با آهک ۵۲
۴-۲-۲. ویژگی‌های خاک‌های تثبیت شده با آهک..... ۵۳
۴ – ۲ -۳. طرح خاک تثبیت شده با آهک ۵۷
۴-۲-۴. روش‌های زیادی برای طرح مخلوط‌های‌خـــاک و آهک وجود دارد که به چند مورد آن‌ها اشاره می‌کنیم. ۵۷.
۴ -۲-۵. روش‌های تثبیت خاک آهک ۵۹
۴ -۲-۶. روش‌های پخش آهک ۶۰
۴ -۳. تثبیت خاک با سیمان ۶۳
۴-۴. تثبیت خاک با قیر..... ۶۵

فصل پنجم: قیر

۵ – ۱. مقدمه ۶۸
۵-۲. انواع قیر..... ۶۸
۵ – ۳. انواع قیر نفتی ۶۸
۵ – ۳-۱. قیر خالص ۶۹
۵-۳-۲. آزمایشات قیرهای خالص..... ۷۱
۵ – ۳ – ۳. قیرهای دمیده ۷۸
۵ – ۳ -۴. قیرهای محلول..... ۷۹
۵ – ۳ -۵. امولسیون‌های قیر ۸۱
۵ – ۴. انتخاب نوع قیر..... ۸۶

فصل ششم: آسفالت

۶ – ۱. مقدمه ۸۷

۲ -۶. مصالح سنگی ۸۷
۳-۶. بتن آسفالتی گرم ۹۰
۱-۳-۶. مصالح سنگی در بتن آسفالتی گرم ۹۱
۲-۳-۶. قیر در بتن آسفالتی گرم ۹۲
۳-۳-۶. آزمایش استقامت مارشال ۹۳
۴-۳-۶. آزمایش‌های بتن آسفالتی گرم ۹۷
۴-۶. آسفالت مخلوط در محل(آسفالت سرد) .. ۹۸
۱-۴-۶. مصالح سنگی آسفالت مخلوط در محل ۹۸
۲-۴-۶. قیر آسفالت مخلوط در محل ۹۸
۵ – ۶. آسفالت سطحی ۹۹
۱ – ۵- ۶. مصالح سنگی آسفالت سطحی ۹۹
۲ – ۵ – ۶. قیر آسفالتی سطحی ۹۹
۳ – ۵ -۶. طرح آسفالت سطحی ۹۹
۴-۵-۶. اجرای آسفالت سطحی ۱۰۱
۵-۵-۶. اندودهای آب بندی ۱۰۲
۶-۶. ضریب سختی مخلوط‌های آسفالتی ۱۰۲
۷-۶. خستگی در مخلوط‌های آسفالتی ۱۰۴
فصل هفتم: تاثیرات عوامل جوی
۱-۷. مقدمه ۱۰۵
۲-۷. تورم در اثر یخ‌بندان ۱۰۵
۱ – ۲ – ۷. روند تورم روسازی در اثر یخ‌بندان ۱۰۶
۲ – ۲-۷. محافظت روسازی در برابر یخ‌بندان ...۱۰۷
۳-۲-۷. تعیین عمق یخ‌بندان ۱۰۸
۳ -۷. تأثیر رطوبت در طرح روسازی..... ۱۱۲
۱ -۳ -۷. تورم خاک بستر در اثر رطوبت..... ۱۱۴
۲ -۳ -۷. زه‌کشی خاک بستر روسازی‌ها..... ۱۱۶
فصل هشتم: بارگذاری
۱-۸. مقدمه ۱۲۲
۲-۸. توزیع تنش در روسازی‌های انعطاف پذیر (روسازی‌های آسفالتی و روسازی‌های شنی) ...۱۲۳
۱-۲-۸. سیستم یک لایه‌ای..... ۱۲۴
۲-۲-۸. سیستم دو لایه‌ای..... ۱۳۷
۳ – ۲- ۸. سیستم سه لایه‌ای..... ۱۴۱
۳-۸. روش نظری برای تعیین بار هم‌ارز ۱۴۷
۱ – ۳ -۸. روش تجربی برای تعیین بار هم‌ارز ۱۷۴
فصل نهم: روش طرح
۱-۹. مقدمه ۱۷۸
۲-۹. روش CBR برای طراحی روسازی ۱۷۸
۳-۹. روش آشتو برای طراحی روسازی ۱۷۹
۴-۹. روش انستیتو آسفالت برای طرح روسازی راه.... ۱۸۹
۱ – ۴-۹. روش تجربی (قدیم) انستیتو آسفالت برای طرح روسازی راه ۱۸۹
۲-۴-۹. روش نظری – تجربی انستیتو آسفالت برای طرح روسازی راه (روش جدید) ۱۹۲
۵ -۹. روش $NCSA$ برای طرح روسازی راه ۱۹۵
فصل دهم: خرابی
۱ – ۱۰. مقدمه ۲۰۱
۲ – ۱۰. ترک‌ها..... ۲۰۱
۱ – ۲ -۱۰. ترک‌های موزائیکی (پوست سوسماری یا پوست ماری)..... ۲۰۱
۲ – ۲ -۱۰. ترک‌های برشی (کناری)..... ۲۰۱
۳-۲-۱۰.ترک‌های انقباضی ۲۰۲
۴ – ۲ – ۱۰. ترک‌های انعکاسی..... ۲۰۳
۵ – ۲ – ۱۰. ترک‌های بین دو خط..... ۲۰۴
۶ – ۲- ۱۰. ترک‌های هلالی (لغزشی)..... ۲۰۴
۳ – ۱۰. تغییر شکل‌های سطح رویه ۲۰۵
۱ – ۳ -۱۰. نشست محل کنده‌کاری شده..... ۲۰۵
۲ – ۳- ۱۰. موج..... ۲۰۵
۳ – ۳- ۱۰. تورم ۲۰۶
۴ – ۳ -۱۰. گودی مسیر چرخ‌ها (شیار شدن).... ۲۰۶

۵ – ۳ -۱۰. نشست موضعی ۲۰۷
۴ – ۱۰. لغزنده شدن سطح روسازی ۲۰۷
۱ – ۴ – ۱۰. صیقلی شدن دانه‌ها..... ۲۰۷
۲ – ۴ – ۱۰. روزدن قیر ۲۰۷
۵ – ۱۰. خرد و کنده شدن..... ۲۰۸
۱-۵-۱۰. چاله‌ها..... ۲۰۸
۲ – ۵ – ۱۰. جدا شدن دانه‌ها ۲۰۸
۶ – ۱۰. خرابی شانه‌ها..... ۲۰۹
۷ – ۱۰. خرابی رویه‌های آسفالت سطحی ۲۰۹
۸ – ۱۰. خرابی رویه‌های شنی..... ۲۱۰
فصل یازده: مرمت و بهسازی
۱ – ۱۱. مقدمه..... ۲۱۱
۲ -۱۱. روش‌های مرمت خرابی‌های روسازی ۲۱۱
۱ – ۲ – ۱۱. پر کردن چاله‌ها..... ۲۱۱
۲ – ۲- ۱۱. وصله سطحی ۲۱۱
۳ – ۲-۱۱. وصله عمقی..... ۲۱۱
۴ – ۲-۱۱. روکش آسفالتی ۲۱۲
۳ -۱۱. روش‌های طراحی روکش آسفالتی ۲۱۴
منابع:..... ۲۱۵

به نام خداوند عارف

مقدمه

شبکه راه‌ها سهم قابل توجهی از سرمایه‌های ملی و تولید ناخالص ملی یک کشور را تشکیل می‌دهد. جایگاه و نقش شبکه راه‌ها در ابعاد مختلف اقتصادی، سیاسی و اجتماعی جوامع امروزی بر کسی پوشیده نیست. راه یکی از پایه‌های اصلی توسعه پایدار و متوازن در جوامع بشری محسوب شده و در واقع با مؤلفه‌های مهمی همچون اقتصاد، امنیت و عدالت اجتماعی ارتباط تنگاتنگ دارند. اگر چه طراحی روسازی به تدریج از یک فن و تجربه به یک علم تبدیل شده است، اما تجربه هنوز نقش مهمی را تا به امروز ایفا نموده است. پیش از سال ۱۹۲۰، صرفاً ضخامت آسفالت اساس و مبنای کار بود. با اینکه راه با خاک‌های متفاوتی روبه رو بود اما برای هر مقطع راه دقیقاً ضخامت یکسانی مورد استفاده قرار می گرفت. سرانجام با پیشرفت تجربه و آزمایش در طی سال‌ها، روش‌های گوناگونی توسط سازمان‌های مختلف برای تعیین ضخامت مورد نیاز روسازی ایجاد شد. عدم وجود منابع و مراجع به زبان فارسی و همچنین پراکندگی برخی مطالب ما را بر آن داشت تا در گام اول نسبت به تدوین این کتاب در جهت تشریح بهتر مطالب روسازی راه به همراه مثال و تمرین اقدام نماییم. بی‌شک حجم زیاد مطالب باعث شده است که در بسیاری از موارد، موضوع به اختصار بیان شود و ممکن است نارسایی‌هایی در انتقال مطالب وجود داشته باشد. امید است در آینده نزدیک کتابی دیگر در قالب تست‌های طبقه بندی شده جهت تکمیل‌تر شدن مطالب برای داوطلبان کنکور کارشناسی ارشد ارائه شود. در پایان از جناب آقای مهندس آرمین مختارپور و رهنمون خوانندگان محترم در جهت بهبود کمی و کیفی کتاب، موجب امتنان و تشکر خواهد بود.

نادعلی رمضان پور (Nramzanpour@yahoo.com)،
نورالدین قاسم‌زاده کاسمانی (Noredinghasemzadeh@yahoo.com)

بابل، زمستان۱۳۹۳

مؤلفین

فصل ۱ کلیات روسازی

۱–۱. مقدمه

روسازی راه سازه‌ای است که بر روی آخرین لایه متراکم شده خاک زمین طبیعی موجود یا اصلاح شده خاکریزی‌ها یا کف برش‌های خاکی و یا سنگی که به طور کلی بستر روسازی نامیده می‌شود قرار می‌گیرد. روسازی معمولاً متشکل از قشرهای مختلف است که هر یک تابع مشخصات فنی و دارای ضخامت معینی است.

زمین در حالت طبیعی جهت تحمل بارهای حاصل از وزن وسایل نقلیه تحمل کافی ندارد، از این رو سازه‌ای به نام روسازی بر روی آخرین لایه متراکم شده خاک زمین طبیعی قرار می‌دهیم، که این مجموعه مقاومت بیشتری در برابر بارهای وارده از طرف وسایل نقلیه دارد.

در صورت عدم اجرای روسازی، با بارگذاری بر روی این خاک‌ها زمین از یک طرف دچار نشست و تغییر شکل‌های بیش از اندازه و از طرف دیگر دچار ترک‌های برشی می‌شود.

ما با قرار دادن لایه‌ای از مصالح مرغوب با مقاومت زیاد روی خاک زمین طبیعی، از شدت تنش‌های فشاری قائم بر روی خاک کاسته و از ترک‌های برشی و تغییر شکل‌های دائم تا حد امکان جلوگیری می‌کنیم.

۱–۲. هدف از اجرای روسازی راه

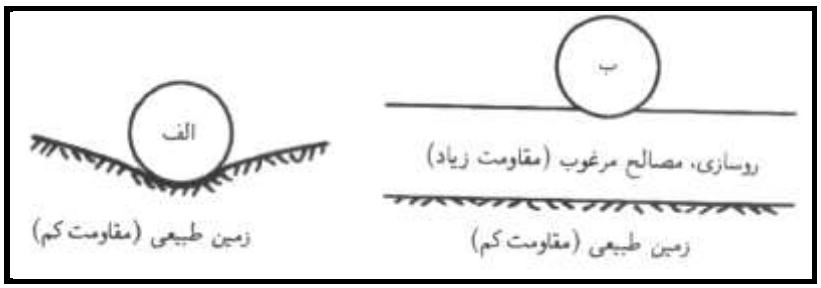
زمین طبیعی، بستر خاکریزی‌های آماده شده راه، کف برش‌های خاکی و یا سنگی، حتی در شرایط کاملاً متراکم و خوب دانه بندی شده، مقاومت کافی برای تحمل بارهای وارده از چرخ خودرو را در شرایط متغیر جوی ندارد. بارگذاری این گونه خاک‌ها موجب شکست برشی و ایجاد تغییر شکل‌های دائم بیش از اندازه برای آن‌ها می‌شود. روسازی از بروز این آسیب دیدگی‌ها جلوگیری می‌کند و هدف از آن احداث یک سطح صاف و هموار و در عین حال با ایمنی کافی برای استفاده کنندگان از راه و فرودگاه است.

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.

لایه‌ی روسازی را به دلیل داشتن دو عملکرد زمین طراحی و اجرا می‌کنند:

الف) عملکرد سازه‌ای

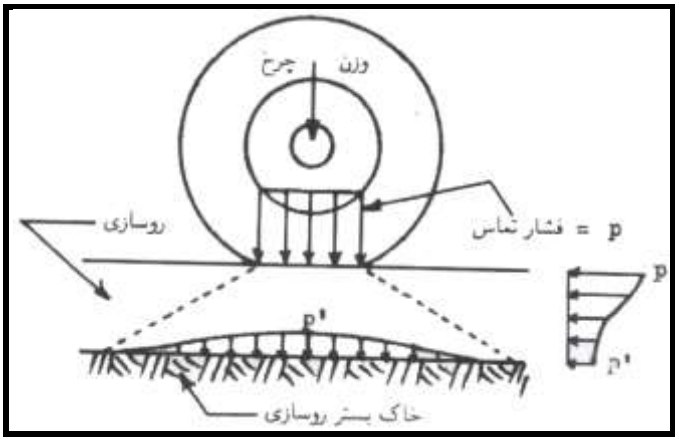
۱. تحمل وزن وسائل نقلیه در هر شرایط جوی



شکل ۱-۱. مقایسه تغییر شکل زمین طبیعی در دو حالت اجرای لایه روسازی و عدم اجرای لایه روسازی.

۲. جلوگیری از تغییر شکل راه و توزیع تنش فشاری قائم در توده‌ی خاک

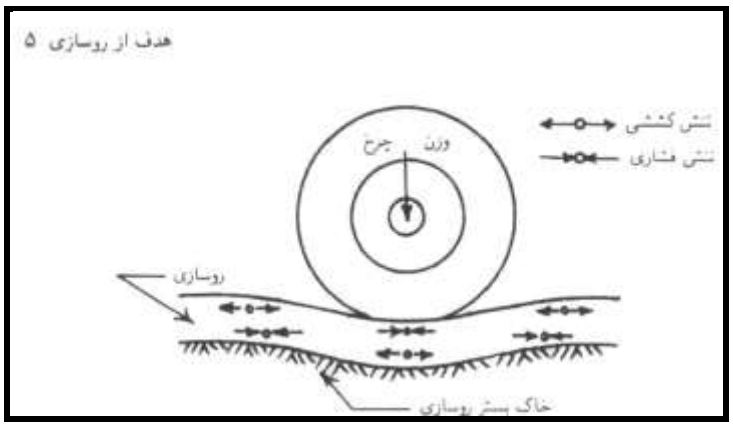
شدت تنش‌های فشاری قایمی که در اثر بارگذاری در این توده خاک به وجود می‌آید، در نقاط مختلف متفاوت است. شدت این تنش‌ها در نقاط واقع در زیر سطح بارگذاری، حداکثر است و با افزایش فاصله این نقاط از سطح بارگذاری (هم در عمق و هم در جهت شعاعی) از شدت تنش‌های فشاری قائم کاسته می‌شود. در شکل زیر توزیع تنش فشاری قائم در توده خاک نشان داده شده است.



شکل ۲-۱. توزیع تنش فشاری قائم در توده خاک.

۳. کاهش تنش‌های فشاری قائم به میزان مناسب و لازم

در راه‌های با آمد و شد بالا، لایه‌های بالایی به ویژه لایه رویه از مصالح قیری و سیمانی ساخته می‌شوند که در اثر بارگذاری این نوع رویه تغییر شکل داده و در آن تنش کششی و فشاری افقی به وجود می‌آید. شکل زیر نحوه قرار گیری تنش‌های فشاری و کششی افقی را در لایه روسازی نشان می‌دهد.



شکل ۳ – ۱. ایجاد تنش‌های فشاری و کششی در روسازی.

ب) عملکرد بهره برداری

۱– ۱. احداث یک سطح صاف و هموار و در حین حال ایمن

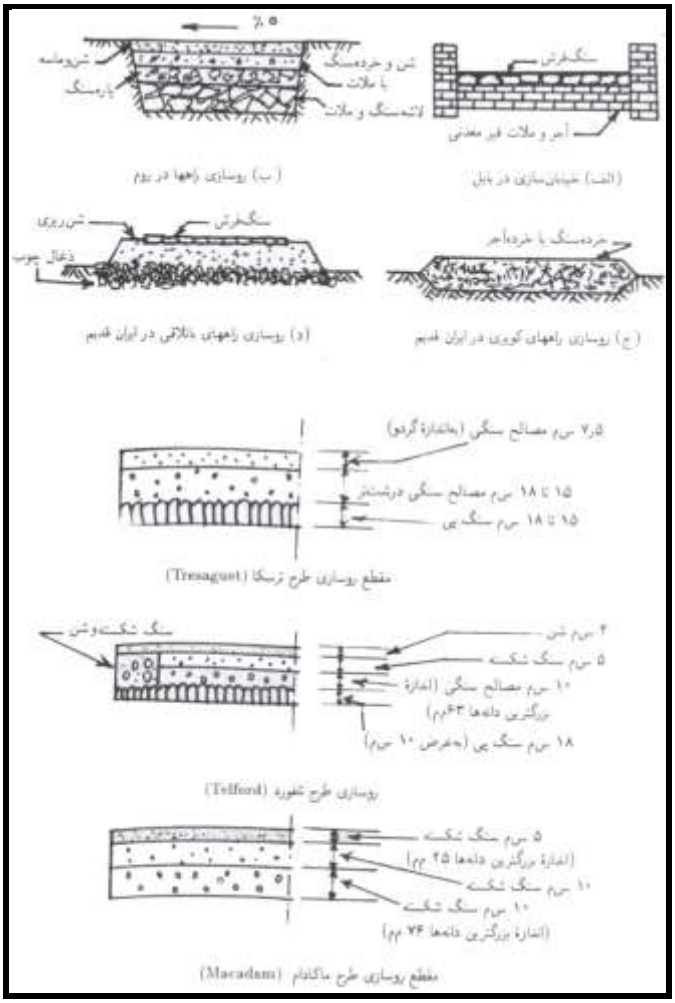
هدف دیگر از اجرای لایه روسازی احداث یک سطح صاف و هموار و در عین حال با ایمنی کافی برای استفاده کنندگان است.

نکته ۱	نقش روسازی در یک راه مانند پی در یک ساختمان است.
نکته ۲	در لایه‌های روسازی، مقاومت در برابر کشش کمتر از مقاومت در برابر فشار است.
نکته ۳	هر گاه شدت تنش‌های کششی افقی در یک لایه‌ی روسازی از میزان مقاومت کششی مصالح آن لایه بیشتر باشد، شکست و ترک خوردن لایه رخ می‌دهد.
نکته ۴	عکس‌العمل یک لایه روسازی تحت بار، مانند یک تیر ساده یکسره است.

تمرین ۱–۱. علت طراحی و اجرای لایه روسازی در چند لایه چیست ؟

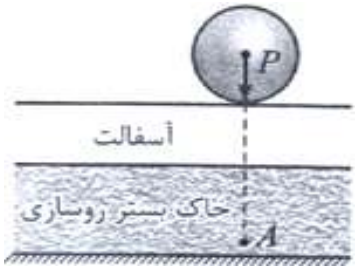
حل : به دلیل آنکه در یک لایه روسازی تنش یکسان نداریم، اگر بیشترین تنش را مبنای طراحی قرار دهیم، یک طرح غیر اقتصادی خواهیم داشت و اگر بر مبنای کم‌ترین تنش طراحی کنیم، لایه روسازی از لحاظ فنی جوابگوی بار وارده نخواهد بود، از این رو برای فنی و اقتصادی بودن طرح، در روسازی از چند لایه استفاده می‌کنیم و نحوه قرار گیری لایه‌ها به این صورت است که لایه‌های با مصالح مقاوم‌تر و مرغوب‌تر در لایه‌های بالاتر روسازی قرار می‌گیرند زیرا در این نقاط شدت تنش‌های فشاری وارد بر روسازی بیشتر است و از مصالح با مرغوبیت و مقاومت کمتر در لایه‌های زیرین، که میزان تنش‌ها در آنجا کمتر است، استفاده می‌شود.

تذکر : جنس و ضخامت هر یک از لایه‌های روسازی باید به نحوی انتخاب شود که ضمن آنکه هر یک از این لایه‌ها بتواند در برابر تنش‌های وارد به آن مقاومت کند، باید این توانایی را داشته باشد که شدت این تنش‌ها را تا میزان تنش قابل تحمل برای لایه زیرین کاهش دهد.



شکل ۴ – ۱. روسازی راه‌ها در دوران باستان.

تمرین ۲–۱.در یک روسازی تمام آسفالتی مطابق شکل مقابل، وضعیت کرنش‌های قائم و افقی در نقطه A روی محور بارگذاری و نزدیک به لایه خاک بستر چگونه است ؟



حل : با توجه به شکل، در نقاط A به دلیل وجود تنش افقی فشاری،کرنش افقی فشاری داریم و همچنین از بار قائم p در نقطه A، تنش فشاری قائم ایجاد شده که تغییر شکل فشاری قائم تولید می کند.

۳–۱. نحوه‌ی قرار گیری لایه‌های روسازی

تعداد، ضخامت و جنس لایه‌های روسازی به شرایط زیر بستگی دارد :

۱. مقاومت خاک بستر روسازی

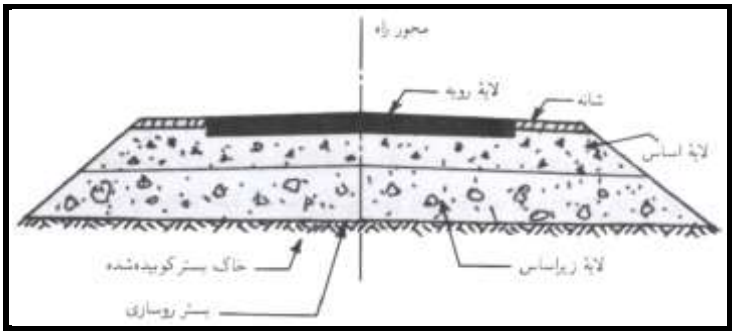
۲. خصوصیات آمد و شد وسائل نقلیه

۳. شرایط جوی منطقه

۴. مصالح موجود در محل

۵. شرایط اقتصادی می‌باشند.

ترتیب قرار گرفتن لایه‌ها از پایین به بالا عبارت است از :



شکل ۵-۱. لایه‌های مختلف روسازی.

۴-۱. لایه‌ها در روسازی

۱-۴-۱. لایه‌ی متراکم شده خاک بستر

۱. عاری از مواد آلی و آلوده باشد.

۲. این لایه، لایه کوبیده شده و آماده شده خاک زمین طبیعی است.

۲-۴-۱. لایه زیر اساس

۱. اولین قشر از لایه روسازی که بر روی خاک بستر قرار می‌گیرد (بین لایه‌ی اساس و خاک کوبیده شده بستر)

۲. بکار بردن این لایه در راه‌هایی با آمد و شد بالا و همچنین مقاومت خاک بستر کم الزامی است.

۳. این لایه از مصالح نسبتاً مرغوب شامل : سنگ شکسته، شن و ماسه مخلوط استفاده شده است.

۳-۴-۱. لایه‌ی اساس

۱. این لایه، لایه‌ی زیر رویه است. (بین لایه‌ی رویه و لایه‌ی زیر اساس یا بین لایه‌ی رویه و خاک بستر)

۲. این لایه از مصالح مرغوب نظیر سنگ شکسته، شن و ماسه شکسته، مصالح تثبیت شده با قیر، آهک و سیمان ساخته می‌شود.

۳. توجه شود که در راه‌های با آمد و شد بالا و همچنین مقاومت خاک بستر کم، از بتن آسفالتی کم قیر که اساس قیری نام دارد، ساخته می‌شود.

۴-۴-۱. لایه رویه

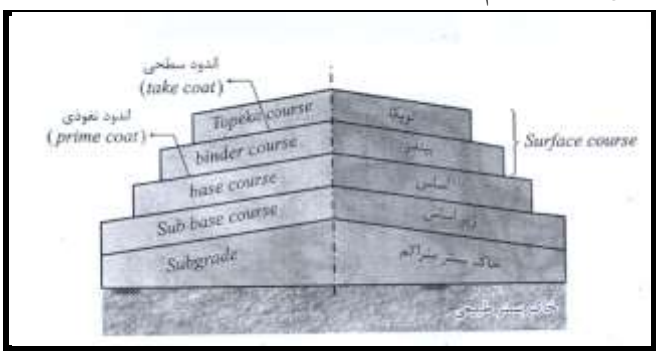
این لایه از جنس خیلی مرغوب و با مقاومت نسبتاً زیاد است. این لایه بالاترین لایه روسازی و در تماس مستقیم با چرخ وسایل نقلیه قرار دارد و در راه‌هایی با ترافیک زیاد از مصالح مرغوب نظیر بتن آسفالتی یا بتن

سیمانی ساخته می‌شود و در راه‌های با ترافیکی کم مانند راه‌های فرعی و راه‌های روستایی از رویه شنی ساخته می‌شوند.

رویه‌های آسفالتی با ضخامت بیش از ۵ سانتی متر معمولاً در دو لایه آستر (بیندر ۷ cm) که لایه زیرین است و رویه (توپکا ۵ cm) که لایه بالایی است، ساخته می‌شوند.

لایه بیندر، لایه آستر زیرین می‌باشد که قیر کمتری دارد و کمی درشت‌تر است.

لایه توپکا، لایه بالایی می‌باشد، کمی نرم‌تر و پر قیرتر است. بین لایه توپکا و بیندر لایه نازکی از قیر(تک کت) ریخته می‌شود تا این دو لایه به هم بچسبند.



شکل ۶-۱. مقطع عرضی تیپ یک لایه روسازی.

پریم کت (اندود نفوذی)

یک لایه قیر مخلوط که بین لایه شنی و یک لایه آسفالتی پخش می‌شود را پریم کت (اندود نفوذی) گویند که هدف از بکار بردن اندود نفوذی ایجاد چسبندگی و پیوستگی بین یک لایه آسفالتی با یک لایه غیر آسفالتی است که باعث غیر قابل نفوذ کردن اساس غیر آسفالتی در برابر آب می‌شود. چون نفوذ قیر در سطح شنی راه بستگی به کند روانی آن بعد از پخش و در نتیجه به دمای هوا دارد به همین منظور برای انتخاب نوع و درجه قیر مناسب برای پریم کت باید شرایط زیر در نظر گرفته شود.

- دمای محیط
- رطوبت نسبی و باد
- درجه حرارت سطحی که قیر پاشی می‌شود.
- بافت سطحی بستر راه
- طول زمان عمل آمدن قیر

با توجه به رعایت این شرایط برای انتخاب قیر مناسب خواهیم داشت :

- در شرایط هوای سرد، قیرهای با کند روانی کم مانند MC -۷۰ و یا RC -۷۰ مناسب است.
- در شرایط هوای معتدل و یا گرم هر یک از قیرهای MC -۷۰ و MC -۲۵۰ مناسب می‌باشد.
- در صورتی که بافت سطح شنی راه متراکم، پیوسته و ریزدانه باشد بهتر است از قیرهای با کند روانی کم MC-۷۰ و یا RC -۷۰ و چنانچه بافت سطحی درشت دانه و باز باشد علاوه بر این قیرها می‌توان از قیرهای با کند روانی بیشتر مانند MC-۲۵۰ نیز استفاده کرد.

تک کت (اندود سطحی)

بین لایه آستر و رویه بتن آسفالتی از یک لایه اندود قیری که به آن اندود سطحی گفته می‌شود استفاده می‌شود. هدف از بکار بردن اندود سطحی ایجاد چسبندگی و پیوستگی بین دو لایه آسفالتی است. مقدار قیر محلول در اندود سطحی حدود ۲۰۰-۴۰۰ گرم در متر مربع می‌باشد.

تمرین۳ – ۱. نحوه‌ی اتصال دو لایه‌ی آسفالتی بیندر و توپکا چگونه است ؟

حل : جهت ایجاد چسبندگی و پیوستگی بین دو لایه‌ی آسفالتی (بیندر و توپکا) از یک لایه‌ی اندود قیری به نام اندود سطحی استفاده می‌شود که فقط برای بهتر چسباندن دو لایه بکار می‌رود. همچنین بین دو لایه‌ی آسفالتی و اساس غیر آسفالتی (سنگ شکسته، شن و ماسه‌ی شکسته) از یک لایه اندود قیری به نام اندود نفوذی استفاده می‌شود.

نکته ۱	هدف از به کار بردن اندود نفوذی عبارت است از : الف: ایجاد چسبندگی و پیوستگی بین لایه آسفالتی و اساس غیر آسفالتی. ب: غیر قابل نفوذ کردن اساس غیر آسفالتی در برابر آب. ج: بهتر چسباندن دانه‌های سنگی اساس به یکدیگر.
نکته ۲	برای عایق بندی نیز از یک لایه اندود و یا مخلوطی از قیر و ماسه استفاده می‌شود.

تمرین۴ – ۱. درستی یا نادرستی عبارت‌های زیر را تعیین کنید.

الف) شدت تنش‌های فشاری قائم که در اثر بارگذاری در یک توده خاک به وجود می‌آید، در نقاط مختلف یکسان است.

ب) تنش ایجاد شده در زیر سطح بارگذاری حداقل است.

ج) در لایه‌های روسازی مقاومت در برابر فشار از مقاومت در برابر کشش بیشتر است.

د) اولین قشر از لایه روسازی که بر روی خاک بستر قرار دارد، لایه اساس می‌باشد.

هـ) جهت ایجاد چسبندگی بین دو لایه بیندر و توپکا از اندود نفوذی استفاده می‌کنند.

حل : الف) نادرست. شدت تنش‌های فشاری قائم در نقاط مختلف در توده خاک متفاوت است.

ب) نادرست. بیشترین تنش در زیر سطح بارگذاری رخ می‌دهد.

ج) درست. مقاومت در برابر کشش کمتر از مقاومت در برابر فشار است.

د) نادرست. اولین قشر روی خاک بستر لایه زیر اساس است.

هـ) نادرست. جهت ایجاد چسبندگی بین دو لایه بیندر و توپکا از اندود سطحی استفاده می‌شود.

۵– ۱. عوامل موثر در طرح روسازی

۱–۵–۱. بار وارد شده

الف) شامل اندازه بار وارد شده　　ب) شکل بار وارد شده

ج) تعداد تکرار بار وارد شده　　د) عوامل موثر ترکیبی فوق

۲–۵–۱. شرایط جوی

الف) نوع آب و هوا　　ب) درجه حرارت محیط　　ج) مقدار رطوبت خاک و محیط

۳–۵–۱. شرایط جغرافیایی

شیب‌های تند طولی مسیر که معمولاً موجب تغییر شکل قشر رویه می‌گردد.

۴–۵–۱. عوامل موثر اقتصادی

الف) طرح هندسی راه ب) روسازی راه

ج) مصالح، ماشین آلات، نیروی انسانی، تعمیر و نگهداری

۵–۵–۱. نوع روسازی و جنس آن

الف) آسفالتی (روسازی قابل انعطاف) ب) بتنی (روسازی صلب(صلب))

ج) جنس و مقاومت و دوام مصالح

۶–۵–۱. ویژگی‌های خاک بستر روسازی

الف) جنس خاک ب) مقاومت خاک

ج) قابلیت جذب رطوبت د) قابلیت جذب تراکم

از بین چندین طرح ارائه شده، طرحی که از نقطه نظر فنی و اقتصادی امتیاز قابل قبولی کسب کند، به عنوان طرح نهایی انتخاب می‌شود.

۷–۵–۱. عمر طرح

معمولاً برای جاده‌های آسفالتی ۲۰ سال در نظر گرفته می‌شود.

۶–۱. انواع روسازی‌ها

روسازی‌ها از نظر نوع مصالح در قشر رویه شامل بتن سیمانی، بتن آسفالتی و یا مختلط (بتن و آسفالت) می‌باشد. انواع روسازی‌ها به سه دسته زیر تقسیم بندی می‌شود.

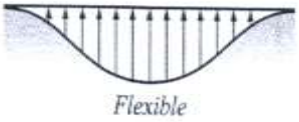
الف) روسازی انعطاف پذیر ب) صلب یا سخت ج) مختلط

الف) روسازی انعطاف پذیر (Flexible pavement)

در این نوع روسازی از لایه‌هایی با سختی و یا ضریب ارتجاعی کم استفاده می‌شود و بارهای خارجی وارده را بدون گسترش زیاد در یک سطح نسبتاً کوچک به خاک بستر روسازی منتقل می‌کند.

این نوع روسازی در مقابل بار وارده، تغییر شکل از خود نشان می‌دهد و به دلیل همین تغییر شکل انتقال بار به خاک بستر به صورت موضعی صورت می‌گیرد.

اشکالات کوچک در اجرای روسازی‌های انعطاف پذیر هنگام وارد شدن بار ترمیم شده، اما اثر آن‌ها در سطح روسازی دیده می‌شود.



شکل ۱–۱. توزیع تنش روسازی‌ها انعطاف پذیر.

در شکل مقابل نحوه توزیع تنش در خاک بستر روسازی‌های انعطاف پذیر را می‌توان مشاهده کرد. روسازی‌های انعطاف پذیر بار را در سطح کمتری نسبت به روسازی‌های سخت به خاک بستر منتقل می‌کنند. (روسازی انعطاف‌پذیر شامل انواع روسازی‌های شنی و آسفالتی می‌باشد).

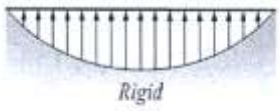
نکته :	برای تحلیل و طراحی روسازی‌های انعطاف پذیر از تئوری چند لایه‌ای نیمه بی نهایت استفاده می کنیم.

ب) روسازی‌های صلب (Rigid pavement)

این نوع روسازی‌ها تحت بار تغییر شکل کمتری از خود نشان می‌دهند و بار را به صورت گسترده‌تری به خاک بستر منتقل می کنند.

در روسازی‌های صلب نقش مقاومتی خاک بستر و اهمیت آن کمتر از روسازی‌های انعطاف پذیر است. در این نوع روسازی‌ها معمولاً دال بتنی بر روی خاک بستر تثبیت شده قرار می گیرد، از این رو دیگر لایه اساس و زیر اساس وجود نخواهد داشت، مگر در مواردی که رطوبت خاک بستر بالا باشد و یا احتمال یخ‌بندان وجود داشته باشد که در این صورت از یک خاک درشت دانه (اساس یا زیر اساس) استفاده می‌شود و از لحاظ افزایش قدرت باربری و یا ازدیاد مقاومت، تأثیر چندانی ندارد.

نحوه توزیع تنش را در روسازی‌های صلب در شکل مقابل می‌توان دید :



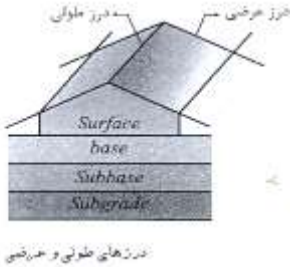
شکل ۸-۱. توزیع تنش در روسازی‌های صلب

همان طور که در شکل می‌بینیم، روسازی‌های صلب تنش را در سطح بیشتری نسبت به روسازی‌های انعطاف‌پذیر به خاک بستر منتقل می کنند. (روسازی صلب شامل انواع روسازی‌های بتنی می‌باشد).

نکته :	برای تحلیل و طراحی روسازی‌های صلب از تئوری خمش صفحات بر روی پی ارتجاعی استفاده می‌شود. از مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که ضخامت مورد نیاز برای روسازی‌های صلب به مراتب کمتر از روسازی‌های انعطاف پذیر است.

تمرین۵ – ۱. رانندگی بر روی روسازی‌های انعطاف پذیر راحت‌تر است یا روسازی‌های صلب ؟

حل : روسازی‌های انعطاف پذیر. همان‌طور که گفتیم در روسازی‌های سخت تغییر شکل بسیار کم است ولی در روسازی‌های انعطاف پذیر تغییر شکل الاستیک (برگشت پذیر) وجود دارد، به این معنی که بعد از عبور وسیله نقلیه جابه‌جایی سطح روسازی که در حد میلی‌متر است به وضعیت اولیه خود بر می‌گردد و به دلیل همین تغییر شکل الاستیک رانندگی بر روی روسازی‌های انعطاف پذیر راحت‌تر از روسازی‌های صلب است.



درزهای طولی و عرضی

ج) روسازی‌های مختلط (Composite)

این نوع روسازی ترکیبی از روسازی‌های آسفالتی و بتنی است. مزیت اصلی استفاده از آسفالت بر روی بتن، کاهش سر و صدای حاصل از حرکت روی بتن می‌باشد.

در ایران، به دلیل فراوانی قیر نسبت به سیمان از روسازی انعطاف پذیر استفاده می‌شود.

فصل ۲ خاک بستر راه

اجزای روسازی

۲-۱. مقدمه

همان طور که در فصل اول اشاره شد، روسازی راه از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده است که می‌توان آن را به دو بخش کلی تقسیم نمود، یکی خاک بستر راه که در محل طراحی شده راه موجود است و باید از مواد آلی پاک و متراکم شود و دیگری لایه‌های روسازی شامل زیراساس، اساس و لایه رویه که باید از معدن قرضه تأمین شوند. هر یک از این قسمت‌ها باید ویژگی‌های خاصی متناسب با نوع راه داشته باشند، که در ادامه به طور مجزا و به تفصیل در مورد آن‌ها بحث می‌کنیم.

۲-۲. خاک بستر

اولین لایه روسازی، روی آن واقع شده و نقش پی را برای روسازی بازی می‌کند. یکی از مهم‌ترین عواملی که در طرح روسازی و به ویژه روسازی‌های انعطاف پذیر اهمیت داشته و باید مورد بررسی قرار بگیرد مشخصات و خصوصیات خاک بستر روسازی است. خاک بستر روسازی باید از لحاظ مقاومت و قابلیت تراکم مورد بررسی قرار بگیرد که این دو نیز خود به سایر مشخصات اصلی خاک مانند جنس، میزان رطوبت، دانه بندی و خاصیت خمیری، وزن مخصوص و... بستگی دارند. همواره قبل از طراحی روسازی باید خاک بستر مورد نمونه برداری قرار گرفته و نمونه‌های خاک بدست آمده تحت بررسی‌های ژئوتکنیکی قرار گیرند که این بررسی‌ها معمولاً برای بدست آوردن مقاصد زیر انجام می‌شوند:

- تعیین جنس و مشخصات خاک‌های موجود در مسیر راه و یا در مجاورت آن
- تعیین محل و جنس مصالح مناسب برای بکار بردن در خاکریزها
- تعیین محل و جنس مصالح مناسب برای بکار بردن در لایه‌های روسازی
- تعیین نوع مواد تثبیت کننده مناسب برای خاک‌های سست
- تعیین محل و عمق آب‌های زیرزمینی موجود در مسیر راه و یا در مناطق مجاور آن

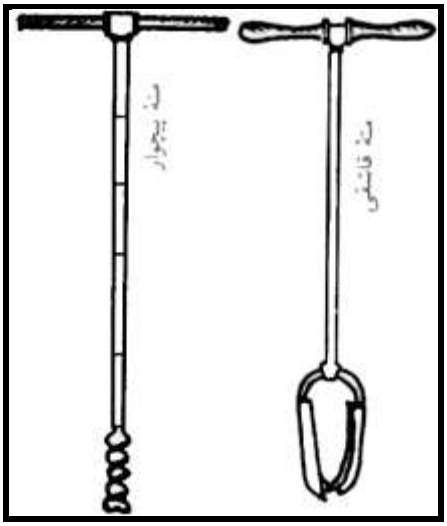
عمق و فاصله بین چاه‌های گمانه بستگی به یکنواختی جنس خاک و چگونگی وضعیت لایه‌های آن دارد. چاه‌های گمانه که در طول محور راه حفر می‌شوند در حدود ۱ تا ۱/۵ متر عمق دارد و فاصله بین آن‌ها در حدود ۱۵ تا ۱۰۰ متر است هر گاه جنس خاک در امتداد عمود بر محور راه غیر یکنواخت باشد و یا ضخامت

لایه‌های آن شدیداً تغییر کند، باید تعدادی چاه گمانه در امتداد عمود بر محور راه نیز حفر شده و از خاک آن‌ها نمونه برداری شود. بر روی نمونه‌های خاک به دست آمده از چاه‌های گمانه آزمایشات رده بندی خاک، تراکم، رطوبت و مقاومت انجام شده و نتایج حاصل از این آزمایشات به صورت نیم‌رخ طولی خاک در امتداد محور راه رسم می‌شود.

۱-۲-۲. بررسی‌های ژئوتکنیکی و نمونه برداری خاک

بررسی‌ها و مطالعات ژئوتکنیکی دارای اهمیت زیادی در طرح روسازی‌ها است. هرگاه این بررسی‌ها به صورت اصولی و صحیح انجام نشود، حتی با انجام آزمایشات متعدد و دقیق آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های خاک به دست آمده هم ممکن است که نتوان اطلاعات مورد نظر را در مورد خاک بستر روسازی به دست آورد. این امر معمولاً منجر به طرح یک روسازی بیش طراحی شده و یا یک روسازی کم طراحی شده می‌شود.

خاک بستر از طریق حفر چاه گمانه در عمق و فواصل مختلف نمونه برداری شده و روی آن آزمایشات ژئوتکنیک انجام می‌شود.

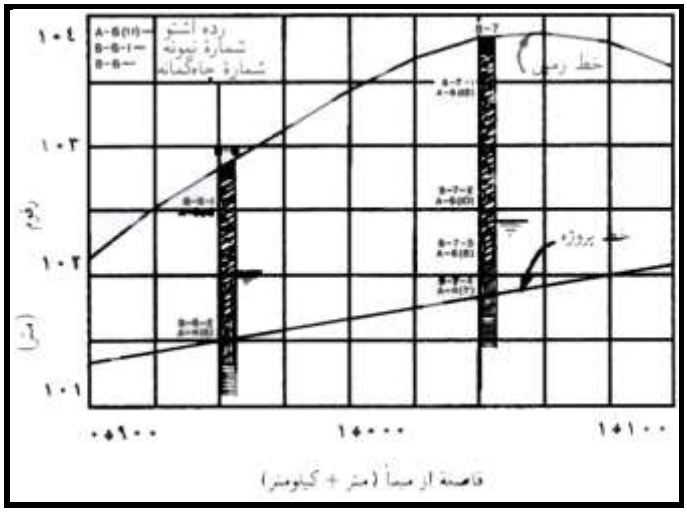


شکل ۱-۲. دو نمونه متداول مته دستی.

۲-۲-۲. اجزاء خاک در روسازی

تمام اجزاء تشکیل دهنده خاک دارای اندازه یکسانی نیستند و بر حسب اندازه دانه‌ها این اجزاء به نام‌های قلوه سنگ، شن، ماسه، لای و رس نام‌گذاری می‌شوند. در جدول شماره ۱-۲ نام‌گذاری‌های متداول اجزاء خاک نشان داده شده است.

اجزاء درشت‌تر از ۰/۰۷۵ میلی متر که با چشم غیر مسلح قابل تشخیص است به درشت دانه‌ها و اجزاء ریز تر از ۰/۰۷۵ میلی متر به ریز دانه‌ها معروف هستند.



شکل۲-۲. نمونه‌ای از یک نقشه نیم‌رخ طولی خاک.

ریز دانه‌ها شامل رس ولای هستند. لای در اثر هوازدگی مکانیکی به وجود می‌آید در حال که رس از هوازدگی مکانیکی و شیمیایی به وجود می‌آید، دانه‌های ذرات رس بسیار کوچک و به شکل سوزنی و یا صفحه‌ای می‌باشند که قابلیت جذب و نگهداری مقدار نسبتاً زیادی آب را دارند. به خاک‌هایی که مقدار قابل توجه ای رس و لای در خود داشته باشند به آن خاک‌های رس و یا لای دار می‌گویند که این خاک‌ها مناسب برای عملیات راه سازی نمی‌باشند و در صورت تماس با آب مقدار زیادی از مقاومت خود را از دست می‌دهند.

جدول ۱-۲. نام گذاری متداول اجزاء خاک

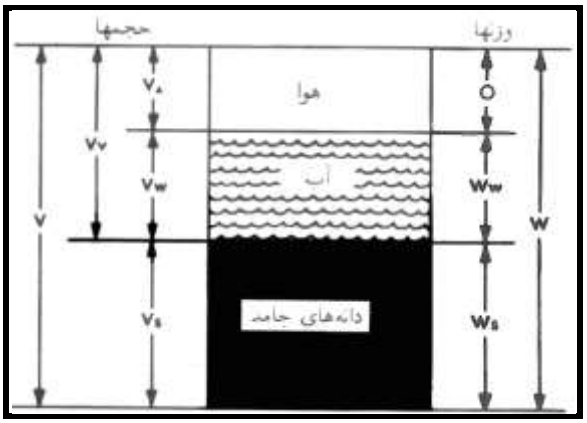
اندازه الک (میلی متر) رده بندی	75	4/76	2	0/42	0/075	0/05	0/005	0/002	0/001
	-	#4	#10	#40	#200	#270	-		
AASHTO	قلوه سنگ	شن	ماسه	لای	رس	مواد کلوئیدی			
Unified	قلوه سنگ	شن	ماسه	لای و رس					
ASTM	شن	ماسه	لای	رس	مواد کلوئیدی				
FAA	شن	ماسه	لای	رس					

مشخصات فنی اجزاء درشت دانه خاک‌ها به دانه بندی و تراکم خاک بستگی دارد، در صورتی که مشخصات فنی اجزاء ریزدانه خاک به نیروهای سطحی و الکتریکی بین دانه‌ها بستگی دارد. مشخصات فنی خاک‌ها عبارت است از: قابلیت ارتجاعی، خواص خمیری، چسبندگی، مقاومت برشی، تراکم پذیری، تغییر حجم در اثر تغییر رطوبت نفوذپذیری و تورم در اثر یخ‌بندان.

مشخصات فنی به نوع کانی‌های تشکیل دهنده خاک، وجود مواد آلی در خاک، نحوه حمل، محل و جنس لایه‌های رسوبی تشکیل دهنده خاک، فشارهای وارد به خاک دانه بندی، تراکم و شکل ساختمانی دانه‌های خاک بستگی دارد.

۳-۲-۲. روابط وزنی و حجمی مواد تشکیل دهنده‌ی خاک

اگر فرض شود که بتوان نمونه خاکی را نظیر آنچه که در شکل زیر نشان داده شده است به سه قسمت مجزای دانه‌های جامد، آب و هوا تقسیم کرد، برخی از نشانه‌های خاک را می‌توان به صورت آنچه که در روابط ۱-۲ تا ۷-۱ نشان داده شده است تعریف کرد.



شکل ۳-۲. تقسیم فرضی خاک به مواد اصلی تشکیل دهنده آن.

(۲-۱) $w = \frac{w_w}{w_s} \times 100$ = درصد رطوبت (۲-۲) $e = \frac{v_v}{v_s}$ = نسبت تخلخل (خلاء)

(۲-۳) $s = \frac{v_w}{v_v} \times 100\%$ = درصد اشباع (۲-۴) $\gamma_s = \frac{w_s}{v_s}$ = وزن مخصوص دانه‌ها

(۲-۵) $\gamma_{dry} = \frac{w_s}{v}$ = وزن مخصوص خشک (۲-۶) $\gamma_{wet} = \frac{w}{v}$ = وزن مخصوص تر

(۲-۷) $G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$ = چگالی

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 نمونه 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 است.

۴-۲-۲. دانه بندی و خواص خمیری خاک بستر

الف) دانه بندی خاک بستر

تعیین دانه بندی خاک‌ها در آزمایشگاه با استفاده از آزمایش الک برای دانه‌های درشت‌تر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر و آزمایش هیدرو متری (بر مبنای سرعت ته نشینی و قانون استوکس) برای دانه‌های ریز تر از ۰/۰۷۵ میلی متر انجام می‌شود.

درشت دانه ←(تابع) دانه بندی و قابلیت تراکم

ریز دانه ←(تابع) نیروهای سطحی و الکتریکی بین دانه ها است.

نکته ۱	مشخصات فنی (تراکم، سختی، تورم و...) خاک‌ها
نکته ۲	خاک‌های ریزدانه در تماس با آب مقاومت خود را از دست داده و کوبیدن آن‌ها با مشکلات زیادی همراه است، از این رو برای استفاده در راه‌سازی مناسب نیستند.

تذکر: خاک‌های ریزدانه شامل رس و لای هستند که با هم اختلاف عمده‌ای دارند و این اختلاف عمده از خواص خمیری آن‌ها نشأت می‌گیرد. لای در اثر هوازدگی مکانیکی به وجود آمده و به همین دلیل خواص اولیه خود را تا حدی حفظ کرده است، در صورتی که رس از هوازدگی مکانیکی و شیمیایی به وجود آمده و دارای اندازه‌های کلوئیدی است، دانه‌های رس سوزنی یا صفحه‌ای است و دارای قابلیت جذب و نگهداری مقداری نسبتاً زیادی آب است.

نکته ۱	منحنی خاک‌های خوب دانه بندی شده به شکل S خوابیده بود و بیانگر این است که دارای اجزای مختلفی می‌باشد و منحنی خاک‌های بد دانه بندی شده به صورت خط قائم است
نکته ۲	هر چه شیب منحنی دانه بندی کمتر باشد، حدود تغییرات اندازه دانه‌ها بیشتر است و هر چه شیب منحنی دانه بندی بیشتر باشد، حدود تغییرات اندازه دانه‌ها کمتر است و دانه‌های خاک حالت یکنواخت‌تری دارند.
نکته ۳	منحنی دانه بندی خاکی که بر روی هر الک به مقدار تقریباً مساوی با الک‌های دیگر باقی ماند، همانند منحنی خاک خوب دانه بندی شده است.