

راهنمای طراحی روسازی بنادر

نشریه شماره ۳۹۱

وزارت راه و ترابری
معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری
پژوهشکده حمل و نقل
<http://www.tri.rahiran.ir/>

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری
معاونت امور فنی
دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله
<http://tec.mporg.ir/>

۱۳۸۶

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی :

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری با همکاری وزارت راه و ترابری و با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید :

۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید .

۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید .

۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید .

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید .

کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود .

نشانی برای مکاتبه : تهران، خیابان شیخ بهائی، بالاتر از ملاصدرا، کوچه لادن، شماره ۲۴، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله صندوق پستی ۴۵۴۸۱-۱۹۹۱۷
<http://tec.mporg.ir/>

بسمه تعالی

پیشگفتار

بهره‌گیری از ضوابط، معیارها و استانداردهای ملی در تمامی مراحل طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرحهای عمرانی با رویکرد کاهش هزینه، زمان و ارتقاء کیفیت، از اهمیتی ویژه برخوردار بوده و در نظام فنی و اجرایی کشور، مورد تأکید جدی قرار گرفته است.

براساس مفاد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، موظف به تهیه و ابلاغ ضوابط، مشخصات فنی، آیین‌نامه‌ها و استانداردهای مورد نیاز طرحهای عمرانی می‌باشد. با توجه به تنوع و گستردگی طرحهای عمرانی، طی سالهای اخیر سعی شده است در تهیه و تدوین اینگونه مدارک علمی، از مراکز تحقیقاتی دستگاههای اجرایی ذیربط استفاده شود. در این راستا مقرر شده است، معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری وزارت راه و ترابری در تدوین ضوابط و معیارهای فنی بخش راه و ترابری عهده‌دار این مهم باشد.

از آنجاکه بنادر یکی از مهمترین حلقه‌های اتصال سیستم‌های حمل و نقل در یک کشور محسوب می‌گردد و حمل و نقل اکثر کالاهای صادراتی و وارداتی به دلیل ارزان‌تر بودن و سهل‌الوصول بودن سیستم حمل و نقل دریایی از طریق بنادر صورت می‌گیرد لذا طراحی بهینه سیستم حمل و نقل بنادر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. روسازی بنادر یکی از مهمترین زیرساختهای یک بندر محسوب می‌گردد. به دلیل اینکه تجهیزات متنوعی روی روسازی بنادر قرار می‌گیرد و انواع بارهای استاتیکی و دینامیکی بر آن اعمال می‌گردد، لذا طراحی این نوع روسازی با طراحی روسازی راهها و فرودگاهها متفاوت می‌باشد. از آنجا که تاکنون هیچگونه راهنما و یا دستورالعملی برای طراحی روسازی بنادر در کشور وجود نداشته است، لذا تدوین چنین راهنما و دستورالعملی برای کشور بسیار لازم و ضروری بنظر می‌رسید. مجموعه حاضر تحت عنوان «راهنمای طراحی روسازی بنادر» در چهار فصل تدوین شده است. فصل اول این راهنما به معرفی روسازی بنادر می‌پردازد که در آن تجهیزات مورد استفاده در روسازیهای بنادر، انواع روسازیهای مورد استفاده در بنادر، عوامل مؤثر در انتخاب نوع روسازی بنادر، انتخاب مصالح اساس و زیراساس و آزمایشهای کنترل کیفیت مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در فصل دوم که تحت عنوان بارگذاری روسازی بنادر ارائه گردیده است به بارهای دینامیکی وسایل نقلیه، کانتینرها و سایر بارهای استاتیکی، محاسبه تکرار و بار طراحی روسازی بنادر و سپس تعیین مشخصات و بهبود سابگرید پرداخته می‌شود.

در فصل سوم که مرتبط با طراحی روسازی با استفاده از گرافهای طراحی است در ابتدا به ارزیابی و محاسبه بارگذاری، مفهوم خرابی روسازی، محاسبه خرابی متوسط و خرابی بحرانی، محاسبه عمر طراحی، خصوصیات لاستیک‌ها با بارهای دینامیکی و کانالیزه بودن خطوط اشاره می‌نماید و در ادامه بارهای استاتیکی، اندیکس

طبقه‌بندی بار، مقادیر LCI برای وسایل نقلیه متداول، فاکتورهای نزدیکی چرخ‌ها و محاسبه بار چرخ برای دستگاه‌های حمل کانتینر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در فصل چهارم مثال‌هایی از نحوه محاسبات طراحی، نحوه استفاده از گراف‌های طراحی و توضیحات مربوطه آورده شده و در انتها روش گام به گام طراحی روسازی بنادر با استفاده از روش گراف طراحی توضیح داده شده است. در خاتمه از پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری و مهندسین مشاور ایم‌راه به عنوان تدوین‌کنندگان اصلی و کارشناسان زیر که در مراحل مختلف تدوین، با راهنمایی‌های ارزنده خود ما را در تهیه و انتشار این مجموعه یاری دادند، تشکر و قدردانی می‌نماید.

اعضای گروه تدوین کننده

مهندس علی میرزائی

مهندس رحمت الله حکیمی

دکتر منصور فخری

ناظرین طرح

دکتر محمود عامری

دکتر ابوالفضل حسنی

دکتر غلامعلی شفاعخش

کارشناسان پژوهشکده حمل و نقل

دکتر احمد منصوریان

دکتر غلامعلی شفاعخش

دکتر محمود عامری

کارشناسان دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

مهندس میرمحمود ظفری

مهندس بهناز پورسید

مهندس علی تبار

امید است در آینده شاهد توفیق روزافزون این کارشناسان، در خدمت به جامعه فنی مهندسی کشور باشیم.

حبیب امین‌فر

معاون امور فنی

۱۳۸۶

فصل اول - معرفی روسازی‌های بنادر

۱ - ۱ - مقدمه.....	۱
۱ - ۲ - تجهیزات مورد استفاده بر روی روسازیهای بنادر.....	۱
۱ - ۳ - انواع روسازیهای مورد استفاده در بنادر.....	۲
۱ - ۴ - عوامل مؤثر در انتخاب نوع روسازی بنادر.....	۲
۱ - ۵ - انتخاب رویه.....	۳
۱ - ۶ - انتخاب مصالح اساس یا زیراساس.....	۳
۱ - ۶ - ۱ - اساس یا زیراساس دانه‌ای غیرچسبنده.....	۳
۱ - ۶ - ۲ - اساس آسفالتی.....	۴
۱ - ۶ - ۳ - مصالح چسبنده سیمانی.....	۴
۱ - ۷ - آزمایشهای کنترل کیفیت.....	۴
۱ - ۷ - ۱ - مصالح زیرسازی.....	۴
۱ - ۷ - ۲ - مواد قیری.....	۴
۱ - ۷ - ۳ - مصالح سنگی.....	۵
۱ - ۷ - ۴ - مخلوطهای آسفالتی.....	۵

فصل دوم - بارگذاری روسازی بنادر

۲ - ۱ - مقدمه.....	۱۱
۲ - ۲ - بارهای دینامیکی وسایل نقلیه DYNAMIC VEHICLE LOADS.....	۱۱
۲ - ۲ - ۱ - وسایل نقلیه جاده‌ها.....	۱۱
۲ - ۲ - ۲ - وسایل نقلیه مورد استفاده در بنادر.....	۱۱
۲ - ۲ - ۳ - تراکتور یا تریلر.....	۱۲
۲ - ۲ - ۴ - استرادل کاریرها (STRADDLE CARRIERS).....	۱۳
۲ - ۲ - ۵ - لیفتراکهای جلو برنده (FRONT LIFT TRUCKS).....	۱۳
۲ - ۲ - ۶ - سایدلودرها (SIDE LOADERS).....	۱۴
۲ - ۲ - ۷ - ترانس تینرها (TRANSTAINERS).....	۱۴
۲ - ۳ - کانتینرها و سایر بارهای استاتیکی.....	۱۴
۲ - ۳ - ۱ - بارهای کانتینری CANTAINER LOADS.....	۱۴
۲ - ۳ - ۲ - بارهای استاتیکی.....	۱۵
۲ - ۳ - ۳ - بارهای محموله‌ای فله‌ای (BULK CARGO LOADS).....	۱۶
۲ - ۴ - محاسبه تکرار و بار طراحی روسازی بنادر.....	۱۶
۲ - ۴ - ۱ - بارهای طراحی.....	۱۶

۱۸	۲-۴-۲ - تکرار بارگذاری
۱۹	۲-۵ - تعیین مشخصات و بهبود سابگرید (خاک بستر)
۱۹	۲-۵-۱ - پارامترهای انتخاب طراحی
۲۰	۲-۵-۲ - انتخاب کردن مقدار معرف مقاومت سابگرید

فصل سوم - طراحی روسازی با استفاده از گرافهای طراحی

۳۵	۳-۱ - مقدمه - ارزیابی و محاسبه بارها (بارگذاری)
۳۵	۳-۲ - مفهوم خرابی روسازی
۳۶	۳-۳ - محاسبه خرابی متوسط و خرابی بحرانی
۳۹	۳-۴ - محاسبه عمر طراحی (L)
۴۰	۳-۵ - لاستیک‌ها
۴۳	۳-۶ - بارهای دینامیکی
۴۳	۳-۷ - کانالیزه بودن خط
۴۳	۳-۸ - بارهای استاتیکی
۴۴	۳-۸-۱ - بارهای گوشه در کانتینر (پایه‌های گوشه کانتینر)
۴۴	۳-۸-۲ - چرخهای زیرسری تریلرها (چرخهای دالی تریلرها)
۴۴	۳-۸-۳ - جکهای تثبیت کننده
۴۵	۳-۹ - اندیکس طبقه‌بندی بار
۴۵	۳-۱۰ - مقادیر LCI برای وسایل نقلیه متداول
۴۵	۳-۱۱ - فاکتورهای نزدیکی چرخها
۴۷	۳-۱۲ - محاسبه بار چرخ برای دستگاههای حمل کانتینر

فصل چهارم - مثالهای طراحی

۵۴	۴-۱ - مثالهایی از محاسبه LOAD CLASSIFICATION INDEX (LCI)
۵۴	۴-۱-۱ - استرادل کاریر S.I
۵۶	۴-۲ - مثال استفاده از گرافها
۵۶	۴-۲-۱ - محاسبه عمر طراحی
۵۶	۴-۲-۲ - محاسبه کرنش کششی (گرافهای A و B و C)
۵۶	۴-۲-۳ - توضیح در مورد استفاده از گرافهای طراحی
۵۷	۴-۳ - خلاصه‌ای از روش گام به گام برای طراحی روسازی بنادر با استفاده از روش گراف طراحی
۶۲	مراجع :
۶۷	ضمائم:

فهرست جداول

جدول شماره ۱-۱ - مقایسه سیستمهای جابجایی کانتینر	۵
جدول شماره ۲-۱ - مقایسه انواع روسازی	۷
جدول شماره ۳-۱ - تناسب انواع مختلف رویه‌ها برای عملکرد مورد نیاز روسازی	۸
جدول شماره ۴-۱ - تناسب نوع روسازی با فازها و مناطق عملیاتی	۸
جدول شماره ۵-۱ - آزمایشهای کنترل کیفیت عملیات زیرسازی	۹
جدول شماره ۶-۱ - آزمایش کنترل کیفیت مصالح سنگی	۹
جدول شماره ۷-۱ - آزمایشهای کنترل کیفیت مخلوطهای آسفالتی	۱۰
جدول شماره ۱-۲ - بارهای وسائط نقلیه جاده‌ای	۲۲
جدول شماره ۲-۲ - مشخصات استرادل کریر	۲۲
جدول شماره ۳-۲ - مشخصات لیفتراکهای جلویی	۲۳
جدول شماره ۴-۲ - مشخصات سایدلدرها	۲۳
جدول شماره ۵-۲ - وزن کانتینرها	۲۳
جدول شماره ۶-۲ - جزئیات کانتینرهای ISO	۲۴
جدول شماره ۷-۲ - ابعاد کانتینرهای غیر ISO	۲۴
جدول شماره ۸-۲ - بارهای کانتینرهای قرار گرفته بر روی هم	۲۴
جدول شماره ۹-۲ - بارهای استاتیکی (علاوه بر کانتینرها)	۲۵
جدول شماره ۱۰-۲ - ضرائب بار دینامیکی	۲۵
جدول شماره ۱۱-۲ - فاکتورهای بار چرخ هم‌ارز	۲۵
جدول شماره ۱۲-۲ - مقادیر نمونه‌ای مدول برجهندگی گزارش شده از مطالعات قبلی	۲۵
جدول شماره ۱۳-۲ - مقادیر آماری، (n و 0.05) بکار رفته برای حذف مقادیر مقاومت خارج از محدودهٔ سابگرید	۲۶
جدول شماره ۱-۳ - توزیع وزن کانتینرها با استفاده از وزن ناخالص (کل) کانتینرها	۳۷
جدول شماره ۲-۳ - مقادیر اثر خرابی	۳۸
ادامه جدول ۲-۳ - مقادیر اثر خرابی	۳۹
جدول شماره ۴-۳ - بار ناشی از تجمع کانتینرها بر روی روسازی	۴۴
جدول شماره ۵-۳ -	۴۵
جدول شماره ۶-۳ - اثرات تخریبی وسایلی که عموماً مورد استفاده قرار می‌گیرند	۴۶
جدول شماره ۷-۳ - فاکتورهای نزدیکی چرخها	۴۷

فهرست شکل‌ها

شکل شماره ۱-۱ - پروسه‌های طراحی به روش مکانیستیک	۶
گراف شماره ۱-۲ - توزیع بارهای کانتینر - وزن کانتینر (تن)	۲۷
گراف شماره ۲-۲ - تأثیرات کاربرد بارهای توزیع شده نسبت به جابجایی حداکثر کانتینر	۲۸
گراف شماره ۲-۳ - ابعاد کانتینر	۲۹
گراف شماره ۲-۴ - تأثیرات حرکات جانبی وسیله نقلیه بر روی خط	۳۰
گراف شماره ۲-۵ - تأثیر عرض خط	۳۱
گراف شماره ۲-۶ - رابطه بین ضریب عکس‌العمل ساب‌گرید و CBR	۳۲
گراف شماره ۲-۷ - اثرات زیر اساس غیرچسبنده بر روی K طراحی	۳۳
گراف شماره ۲-۸ - اثرات زیر اساس غیرچسبنده بر روی مقاومت طراحی ساب‌گرید CBR	۳۴
شکل شماره ۱-۳ - تأثیرات حرکات جانبی وسیله نقلیه بر روی خط بر روی خرابی نسبی	۴۱
شکل شماره ۲-۳ - تأثیرات عرض مؤثر خط بر روی خرابی نسبی	۴۲
گراف شماره ۳-۳ - نحوه محاسبه بار چرخ لیفت تراک جلو بر و لیفت تراک جانبی	۵۱
گراف شماره ۳-۴ - نحوه محاسبه بار چرخ استرادل کاریر و چرخ گانتیری	۵۲
گراف شماره ۳-۵ - نحوه محاسبه بار چرخ سیستم‌های تراکتور و تریلر و جرثقیل متحرک	۵۳
شکل شماره ۴-۱ -	۵۵
شکل ۲-۴ - کرنش کششی مجاز برای اساس تثبیت شده با سیمان	۵۹
شکل ۳-۴ - کرنش کششی مجاز برای دال‌های بتنی	۶۰
شکل ۴-۴ - کرنش فشاری قابل قبول برای اساسهای دانه‌ای	۶۱

فصل اول - معرفی روسازی‌های بنادر

۱ - ۱ - مقدمه

روسازی‌های بنادر در مقایسه با دیگر روسازی‌های صنعتی از نظر طراحی و ساخت نیاز به در نظر گرفتن فاکتورهای متعدد و متنوعی دارد. بنادر اغلب بر روی زمین‌های بازسازی شده واقع گردیده و بستر آنها اغلب دارای شرایط ضعیف می‌باشد. بطور کلی روسازی بنادر باید دامنه گسترده‌ای از وسایل نقلیه سنگین را در مقایسه با دیگر روسازیه‌ها تحمل نماید. بنابراین استفاده‌کنندگان از بنادر انتظار دارند که روسازی بنادر از عملکرد و کارایی بالایی برخوردار باشد. تأخیر در اجرای عملیات بندری به دلیل تعمیرات یا خرابی‌های بوجود آمده در روسازی به سادگی قابل اغماض نیست. لذا با توجه به سرمایه‌گذاری‌های وسیعی که در زمینه بندرسازی و بخصوص روسازی آنها صورت می‌گیرد، مهندسين طراح می‌باید در طراحی و محاسبات خود نهایت سعی و دقت را بکار برده تا طراحی از ضریب اطمینان بالایی برخوردار باشد.

هدف اصلی از احداث بنادر ارائه سرویس و تخلیه و بارگیری کشتی‌ها می‌باشد، لذا اندازه این کشتی‌ها و نیاز به زمان سریع بازگشت، مشخص‌کننده ظرفیت جرثقیل‌های مورد استفاده در محوطه اسکله است که می‌تواند نوع وسایل نقلیه در محوطه را که مورد استفاده قرار می‌گیرند، تعیین نماید. در حقیقت نوع این وسایل نقلیه تعیین‌کننده نوع روسازی در بنادر می‌باشد. در این قسمت به معرفی بعضی از تجهیزات مورد استفاده بر روی روسازی‌های بنادر پرداخته می‌شود.

۱ - ۲ - تجهیزات مورد استفاده بر روی روسازیه‌های بنادر

در ارتباط با طراحی روسازی بنادر بایستی به تجهیزات زیر که در واقع بارها را به روسازی منتقل می‌نمایند توجه خاصی مبذول گردد :

الف :تجهیزات مربوط به تجمع کانتینرها.

الف - ۱ - جرثقیل‌های گانتی محوطه یا ترانس تینرها.

ب : تجهیزات جابجایی کانتینرها

ب - ۱ - تریلرها TRAILERS

ب - ۲ - سایدلوردها SIDE LOADERS

ب - ۳ - استرادل کریرها STRADDLE CARRIERS

ب - ۴ - جرثقیل‌ها CRANES

ب - ۵ - PORT OR PIGGY - PACKERS

مزایای مربوط به این وسایل نقلیه در جدول شماره ۱ خلاصه شده است.

ممکن است بنظر رسد که تنها تجهیزات برای قرار دادن کانتینرها در محوطه فقط ترانس تینر باشد. هرچند که استرادل کریرها، بالابرنده‌های چنگکی (FORK LIFTS) و جرثقیل‌ها نیز ممکن است بتوانند در صورت لزوم این نقش را ایفا کنند. وجه تمایز اصلی ترانس تینرها و سایر انواع وسایل نقلیه محوطه این است که آنها هنگامی که در حال قرار دادن یک کانتینر در محوطه می‌باشند در طول روسازی حرکت نمی‌کنند.

ج: بارهای استاتیکی مربوط به خود کانتینرها

۱ - ۳ - انواع روسازیهای مورد استفاده در بنادر

انواع اصلی روسازی استفاده شده در بنادر شامل موارد زیر می‌باشد:

الف: روسازی انعطاف‌پذیر: شامل روسازی‌هایی است که قسمت رویه و یا قسمت اساس آن از بتن آسفالتی است. اما بعضی مواقع ممکن است شامل روسازیهای شنی یا سنگ شکسته بدون رویه آسفالتی نیز باشد.

ب: روسازیهای سخت (بتنی): شامل روسازی بتنی غیرمسلح ولی دارای درز انبساط یا روسازیهای بتن غلتکی (RCC)^۱ می‌باشد. در بعضی مواقع روسازیهای بتن مسلح و یا بتن پیش‌تنیده برای باندهای ترانس تینر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ج: روسازیهای بتنی بلوکی: در حدود ۳۰٪ از روسازیهای بلوک‌های بتنی دنیا در روسازیهای بنادر و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

د: قطعات بتنی پیش‌ساخته: این شکل از روسازی در مقایسه با گزینه‌هایی که در قسمت بالا اشاره شدند، غیر اقتصادی بوده ولی از نظر سرعت و سادگی پروسه‌های ساخت دارای مزایایی می‌باشند.

برای روسازیهای مهم نظیر مناطق صنعتی، بنادر بطور فزاینده‌ای از روش‌های مکانیستیک برای طراحی استفاده می‌شود. چنین پروسه‌ای در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.

۱ - ۴ - عوامل مؤثر در انتخاب نوع روسازی بنادر

انتخاب انواع روسازیهای نامبرده به عوامل زیر بستگی دارد:

الف: مناسب بودن رویه برای شرایط اجرایی مورد نظر و بارهای استاتیک و در نتیجه نیازمندی‌های عملکردی (وظیفه‌ای).

ب: مقادیر بارهای وسیله نقلیه، فشار چرخ و غیره. این فاکتورها با افزایش بارچرخها یا بار محورها بطور فزاینده‌ای بر روی انتخاب رویه‌ها اثر می‌گذارند.

ج: تحمل روسازی در برابر نشست در سابگریدها یا خاکریزها.

د: فاکتورهای اقتصادی.

^۱ Rolled Cement Concrete

۱ - ۵ - انتخاب رویه

برای سهولت رویه‌ها می‌توانند به سه گروه تقسیم شوند که عبارتند از :

- ۱ - رویه‌های آسفالتی شامل بتن آسفالتی، دوغاب‌های آب‌بندی، مخلوط‌های ماکادام و قطران.
 - ۲ - رویه‌های بتنی شامل دال‌های ساخته شده در جا و قطعات پیش‌ساخته.
 - ۳ - رویه‌های بتن بلوکی که ترکیبی از دوام بتن و انعطاف‌پذیری آسفالت را داراست و در حدود ۳۰٪ از موارد مصرف این نوع روسازی در بنادر می‌باشد.
- مقایسه‌ای از مزایا و کاستی‌های این سه گروه در جدول شماره ۲ و مناسب بودن این رویه‌ها از نظر نیازمندی‌های عملیات اجرایی و عملکرد روسازی‌های صنعتی در جدول شماره ۳ و ۴ داده شده است.

۱ - ۶ - انتخاب مصالح اساس یا زیراساس

برای انتخاب مناسب‌ترین مصالح جهت استفاده در لایه‌های اساس یا زیراساس با توجه به اثرات سازه‌ای و اقتصادی آنها در روسازی باید بیشترین دقت بعمل آید. سه نوع مصالحی که بعنوان لایه‌های اساس یا زیراساس مورد استفاده قرار می‌گیرند، بشرح زیر می‌باشند:

الف : مصالح غیرچسبنده دانه‌ای.

ب : مصالح چسبنده آسفالتی.

ج : مصالح چسبنده سیمانی

هریک از این مصالح در ذیل مورد بررسی بیشتر قرار می‌گیرند.

۱ - ۶ - ۱ - اساس یا زیراساس دانه‌ای غیرچسبنده

مصالح غیرچسبنده اساساً شامل سنگ‌های خرد شده اسلگ (SLAG) و شن می‌باشد. اگرچه این مصالح برای مدتها بعنوان مصالح اساس یا زیراساس در بعضی از کشورها متداول بوده‌اند، با این حال دارای معایبی می‌باشند. اولاً آنها اغلب باید در ضخامت‌های زیاد مورد استفاده قرار گیرند. ثانیاً ممکن است تحت تاثیر ترافیک سنگین دچار نشست شوند. ثالثاً در مقابل آب حساس بوده، برای حصول اطمینان از داشتن عملکرد قابل قبول باید خوب زهکشی شوند. به هر حال مهمترین مزایای آنها ارزان بودن و نیز قابلیت دسترسی فراوان آنها می‌باشد.

تراکم از مهمترین ویژگیها در بدست آوردن کارآیی خوب در مصالح غیرچسبنده می‌باشد. تجربیات بیانگر این است که بیشترین دلیل خرابی روسازی‌ها، تراکم غیر کافی بوده است. بطور کلی تراکم بالاتر از ۹۸٪ وزن مخصوص خشک حداکثر اصلاح شده، برای مصالح اساس دانه‌ای ضروری است.

۱-۶-۲- اساس آسفالتی

بتن آسفالتی علاوه بر کاربرد در رویه‌ها، به نحو گسترده‌ای بعنوان اساس یا زیراساس مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نظیر رویه‌های آسفالتی به حداقل رساندن نشست‌های دائمی از عمده‌ترین نیازمندیهای لایه اساس آسفالتی می‌باشد. نتیجتاً بایستی بر استفاده از قیرهای دارای درجه نفوذ کم و درصد بالایی از درشت‌دانه در طرح مخلوط تاکید شود.

۱-۶-۳- مصالح چسبنده سیمانی

در روسازی‌های بنادر مصالح چسبنده سیمانی بیشترین کاربرد را در قسمت زیرین روسازی‌های سخت (بتنی) بعنوان زیراساس داشته‌اند. برای روسازی‌های انعطاف‌پذیر، انتخاب مصالح چسبنده بطور وسیع بستگی به نوع رویه دارد. برای روسازی‌های با رویه آسفالتی، مصالح چسبنده سیمانی، محدود به زیراساس بوده که در بالای آن یک لایه اساس با مصالح دانه‌ای غیرچسبنده قرار گرفته، بنابراین ترک‌های انعکاسی از این مصالح به قسمت رویه‌ها منعکس نخواهند شد.

در جایی که ترک‌های انعکاسی مورد نظر نیست، مثل روسازی‌های بلوکی، مصالح تثبیت شده سیمانی در لایه اساس نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مصالح چسبنده سیمانی شامل سنگهای شکسته تثبیت شده با سیمان و دانه‌های شنی می‌باشند که در کارخانه مخلوط شده‌اند تا برای ساختن اساس و زیراساس بکار روند. به هر حال این نکته اثبات شده است که در بسیاری از روسازی‌های جاده و روسازی‌های بنادر، عملاً از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است که از طریق تثبیت کردن ساب‌گرید یا مصالح خاکریز مورد استفاده در لایه‌های زیرین روسازی، مصالح زیراساس و در برخی موارد مصالح اساس، در محل ساخته شوند.

مزایای استفاده از مصالح چسبنده سیمانی این است که ضخامت لازم لایه اغلب کمتر از سایر مصالح است. تثبیت مصالح معمولاً بسیار مقرون به صرفه هستند و به دلیل عدم حساس بودن این مواد نسبت به آب، نیاز به زهکشی زیراساس به حداقل می‌رسد.

۱-۷-۱- آزمایشهای کنترل کیفیت

برای کنترل کیفیت مصالح و کارهای انجام شده از مصالح و مواد قبل از مصرف و همچنین حین انجام کار و متناسب با پیشرفت آن آزمایشهای لازم باید بعمل آید. این آزمایشها طبق استاندارد آشتو یا ASTM و یا استاندارد ملی ایران می‌باشد. روش آزمایشهای کنترل کیفیت برای، مصالح سنگی، مخلوطهای آسفالتی و نیز جهت مصالح بستر راه بشرح زیر تفکیک شده‌اند.

۱-۷-۱-۱- مصالح زیرسازی

آزمایشهای کنترل کیفیت مصالح مصرفی در زیرسازیه‌ها و آماده کردن بستر راه در جدول شماره ۵ ارائه شده است.

۱-۷-۲- مواد قیری

آزمایشهای مورد نیاز برای انواع مواد قیری مصرفی و نمونه‌گیری از این مواد باید بر اساس آیین‌نامه روسازی راه و مشخصات فنی عمومی راه (نشریه ۱۰۱) انجام شود.

۱-۷-۳- مصالح سنگی

آزمایشهای مورد نیاز مصالح سنگی مصرفی، در عملیات آسفالتی از مرحله نمونه گیری تا کنترل کیفیت بشرح جدول ۶ نشان داده شده است. نوع و تعداد آزمایشها به تشخیص دستگاه نظارت در هر پروژه تعیین شود.

۱-۷-۴- مخلوطهای آسفالتی

آزمایشهای کنترل کیفیت مخلوطهای آسفالتی و نمونه گیری از این مخلوطها در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول شماره ۱-۱ - مقایسه سیستمهای جابجایی کانتینر

معایب

مزایا

سیستم شاسی

- هزینه پایین نگهداری	- نیازمند به یک محل بزرگ می باشد که می تواند گران باشد
- تجهیزات ساده	- در شاسی سرمایه گذاری بزرگی می خواهد.
- هزینه ها	- برای اتوماتیک کردن مناسب نمی باشد
- بسیار انعطاف پذیر برای راه اندازی	

سیستم استرادل کریر

- هزینه متوسط سرمایه گذاری	- تجهیزات پیچیده
- انبوه ترافیک را می تواند بخوبی جذب کند	- هزینه های بالاتر نگهداری و هزینه های بالای مصرف انرژی
- بکارگیری دامنه گسترده ای از تجهیزات (برای راه اندازی و نگهداری).	- نیازمند به پرسنل با تخصص بالا می باشد (برای راه اندازی و نگهداری).
	- نیازمند به پیشگیریهای ایمنی دارد
	- نیازمند به حمل و نقل داخلی اضافی دارد
	- هزینه زیاد نگهداری محل
	- مناسب نبودن برای اتوماتیک کردن

سیستم بالابرنده چنگکی و استکرهای تلسکوپی

- برای انباشته کردن کانتینرهای خالی بسیار مناسب می باشد	- به هنگام استفاده از آن به منظور انبار کردن کانتینرهای پر نیازمند به هزینه های سنگین می باشد.
- سازماندهی آنها ساده می باشد	- بدلیل ترکیب غیرقابل اجتناب آن با وسایل حمل و نقل داخلی ایمنی آن نیاز به توجه بسیار بیشتری دارد.
	- دارای ظرفیت مناسب می باشد
	- مناسب نبودن برای اتوماتیک کردن

سیستم جرثقیل گانتری کوچک با تایرهای بادی (سیستم RTG)

- استفاده مناسب از محل	- نیاز به سرمایه گذاری بالایی را دارد
- بکارگیری دامنه وسیعی از تجهیزات	- هزینه های انرژی و نگهداری بالا
- سازمان دهی آن ساده می باشد	- نیازمندی به تمهیدات ایمنی خاص
- اتوماتیک کردن ممکن، اما مشکل است	- نیازمندی به پرسنل با تخصص بالا

سیستم جرثقیل گانتری بزرگ بر ریلها (سیستم RMG)

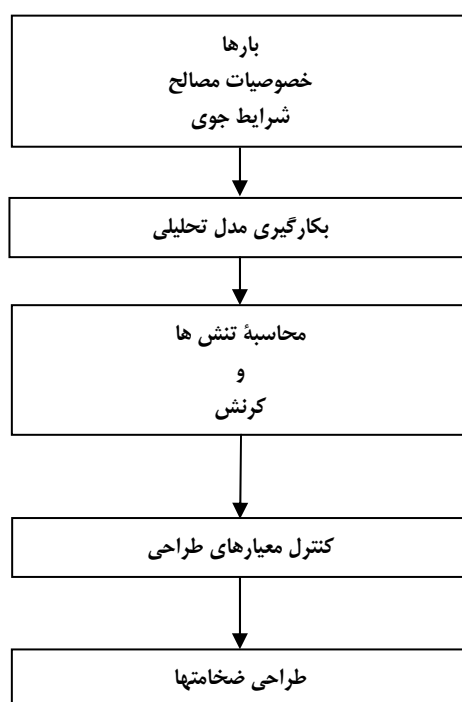
- حداکثر استفاده از محل	- سرمایه گذاری بالا در مهندسی مکانیک و عمران
- داشتن درصد پایینی از خراب شدن	- نیازمندی به حمل و نقل اضافی داخلی
- هزینه های کم برای نگهداری	- تغییر در نقشه کلی آن دشوار می باشد
- اتوماتیک کردن سیستم ممکن است	- نیازمند به رعایت نکات ایمنی می باشد

برای انتخاب سیستم جابجایی شرایط محلی مهم می باشند نظیر :

- شرایط خاک

- دسترسی به محل (نیازمندیهای متداول)

- امکانات مالی
- در اختیار داشتن پرسنل کارآمد
- نرخ رشد مورد انتظار
- نیاز پیش‌بینی شده برای اتوماتیک کردن کامل یا نیمه کامل
- جابجایی کانتینرها



شکل شماره ۱-۱- پروسه‌های طراحی به روش مکانیستیک

جدول شماره ۱-۲ - مقایسه انواع روسازی

انواع روسازی			
روسازی بتن (سخت)	روسازی آسفالتی	روسازی بتن بلوکی	
کم کم بالا کم	بالا کم کم متوسط	کم متوسط کم بالا - بسادگی بازیافت می شود	هزینه ها مصرف انرژی هزینه اولیه ساخت هزینه نگهداری ارزش اسقاطی
متوسط - کنترل ضعیفی از رنگ و بافت	ضعیف	خیلی خوب - رنگ بافت و شکل آن می تواند متنوع باشد	زیبایی ظاهری
نیاز به آموزش های تخصصی برای روسازی دارد آهسته عملیات حفاری و دوباره پر کردن مشکل و پرهزینه می باشد گران است مصالح نیاز به پروسه شدن دوباره دارد	نیاز به تجهیزات مکانیکی پیچیده می باشد سریع نیاز به استفاده از جک های چکشی می باشد مصالح نیاز به پروسه شدن دوباره دارد	فقط نیاز به حداقل دستگاه های ساده می باشد متوسط به آسانی از طریق روش های دستی عملیات کندن و حفاری انجام می گیرد مصالح نیاز به پروسه شدن دوباره ندارد	ساخت و نگهداری اشکالات ساخت سرعت ساخت کندن و دوباره پوشانیدن بازیابی
خوب خیلی خوب خیلی خوب خیلی خوب خوب خوب	متوسط خوب ضعیف ضعیف ضعیف رضایت بخش	خوب خیلی خوب خیلی خوب خوب خوب تا سرعت ۶۰ کیلومتر در ساعت رضایت بخش است	اجرا دوام مقاومت در برابر بارهای محوری سنگین مقاومت در برابر متمرکز شده چرخ مقاومت در برابر بارهای چرخشی مقاومت در برابر سوخت و روغن مقاومت در برابر لغزندگی

جدول شماره ۳-۱ - تناسب انواع مختلف رویه‌ها برای عملکرد مورد نیاز روسازی

نیازمندیهای کارکرد								رویه روسازی	
دوام	کیفیت	تأثیر نشست غیرمقارن (غیر یکواخت)	مقاومت در برابر لغزندگی و خراشیدگی	بارهای ضربه‌ای و بزرگ نقطه‌ای	ریزش روغن	بار دینامیکی چرخ	بار استاتیکی چرخ	نوع	رویه
B A B B	A A A A	B B B B	A B A A	B B C C	C A C A	A B A A	B A A A	مخلوط آسفالتی ماکادام نفوذی مخلوط قطران (TAR) اصلاح شده سطح اصلاح شده با قیر تثبیت رویه با قطران اصلاح شده	قیری
B A A A	B B A A	A A A A	A A A A	B A A A	A A A A	A A A A	A A A A	صفحه‌های بتنی (با گوشه‌های فولادی) صفحه‌های بتنی (chomfered) بلوکهای بتنی بتن ساخته شده در محل	بتن

A = مناسب

B = با در نظر گرفتن شرایطی مناسب

C = نامناسب

جدول شماره ۴-۱ - تناسب نوع روسازی با فازها و مناطق عملیاتی

نوع روسازی									اجرا (عملیات)	
بتن ساخته شده در محل	بلوکهای بتنی (CHAMFERED)	صفحه‌های بتنی	صفحه‌های بتنی (با گوشه‌های فولادی)	رویه تثبیت شده با قطران	رویه اصلاح شده با قیر (تثبیت شده با قیر)	مخلوط قطران اصلاح شده	ماکادام نفوذی	آسفالت	منطقه عملیاتی	فاز عملیاتی
A A A	A A A	A A A	A B A	B B B	C C C	A A B	B B A	C C C	کامیون/کریپر 1/F کریپر / گانتتری 1/F گانتتری / تریلر 1/F	انتقال (فصل مشترک)
A A A	B B A	B B A	B B A	B A B	B A C	A A B	C B A	B A C	مسیرهای محوطه انبارها جاده‌های دسترسی	جابجایی
A A A	A A A	A A A	B A A	B B C	B C C	B A B	B A A	B C C	تجمع کانتینرها تجمع کانتینرها، محوطه تعمیر و پارک وسایل نقلیه پارک تریلر	انبار

A = مناسب

B = بصورت مشروط مناسب

C = نامناسب

جدول شماره ۵-۱ - آزمایشهای کنترل کیفیت عملیات زیرسازی

شرح آزمایش	روش AASHTO	روش ASTM
نمونه گیری از مصالح	T86	D240
هایدرومتری	T88	D422
تعیین حد روانی خاک	T89	D4318
تعیین حد خمیری خاک	T90	D4318
تعیین انقباض خاک	T92	D427
حداکثر وزن مخصوص خشک خاک (آشتو استاندارد)	T99	D698
وزن مخصوص خاک	T100	D854
حداکثر وزن مخصوص خشک خاک (آشتو اصلاح شده)	T180	D1557
تعیین وزن مخصوص خاک در محل روش مخروط ماسه	T191	D1356
تعیین وزن مخصوص خاک در محل روش بالون پلاستیکی	T205	D2167
آزمایش CBR با تراکم T99 (آشتو استاندارد)	T193	-
آزمایش CBR با تراکم T180 آشتو	-	D1883
تعیین رطوبت مصالح	T265	D2216
تعیین ذرات کوچکتر از الک ۲۰۰ (۷۵ میکرون)		D1140

جدول شماره ۶-۱ - آزمایش کنترل کیفیت مصالح سنگی

شرح آزمایش	روش AASHTO	روش ASTM
نمونه گیری از مصالح	T-20	D75
وزن واحد حجم	T-19	C231
دانه بندی مصالح (ریزدانه و درشت دانه)	T-27	C136
دانه بندی فیلر	T-37	D546
وزن مخصوص مصالح ریزدانه	T-84	C127
وزن مخصوص مصالح درشت دانه	T-85	C128
مقاومت در برابر سایش با آزمایش لوس آنجلس	T-96	C151, C535
مقاومت در برابر یخبندان - ذوب	T103	-
سلامت سنگدانه ها با سولفات های سدیم با منیزیم	T104	C88
ارزش ماسه ای	T-176	D2419
سختی سنگدانه ها	T-189	-
وزن مخصوص فیلر	T-100	-
ضریب دوام مصالح سنگدانه	T210	D3744
تعیین درصد رطوبت مصالح با روش خشک کردن	T255	C566

جدول شماره ۱-۷ - آزمایشهای کنترل کیفیت مخلوطهای آسفالتی

شرح آزمایش	روش AASHTO	روش ASTM
نمونه‌گیری مخلوطهای آسفالتی	T168	D979
جداکردن قیر محوطه‌های آسفالتی	T164	D2172
وزن مخصوص آسفالت کوبیده شده	T166MT275	D1188,D2726
حداکثر وزن مخصوص مخلوط آسفالتی (آزمایش رایس)	T209	D2041
آزمایش مارشال	T245	D1559
آزمایش چسبندگی قیر سنگدانه‌ها	182	-
تراکم نسبی آسفالت کوبیده شده در محل	T230	-
تعیین درصد پوشش قیری سنگدانه	T195	D2489
تعیین اثر آب روی مقاومت فشاری مخلوط	T165,T167	
مدول دینامیکی	-	D3497
میزان نفوذپذیری	-	D3637
تعیین مقاومت کششی غیرمستقیم با ضریب برجهندگی مخلوط	-	D4123
تعیین اثر آب روی مقاومت کششی مخلوط	T283	D4867
دانه‌بندی مصالح سنگی بعد از جداکردن غیر از مخلوط آسفالتی	T30	D5444
تعیین درصد فضای خالی آسفالت کوبیده با دانه‌بندی باز و متراکم - پیوسته	T269	D3203

فصل دوم - بارگذاری روسازی بنادر

۲ - ۱ - مقدمه

در این قسمت بارهای اعمال شده به روسازی بنادر مورد بررسی قرار می‌گیرند. این بارها ناشی از جابجایی وسایل نقلیه بندری، تجمع کانتینرها و محموله‌های فله انباشته شده بر روی روسازی می‌باشند. روشهای مشخص نمودن این بارها که مورد بررسی قرار می‌گیرند، شامل تعیین شکل بارگذاری و در جایی که مقتضی باشد، بکارگیری بار هم‌ارز می‌باشد. سپس مزایای نسبی انجام این گزینه‌ها ارزیابی می‌شود و در پایان نقش درجه حرارت در طراحی روسازی مورد بحث قرار می‌گیرد.

روسازی بنادر باید بارهای دینامیکی ایجاد شده توسط انواع مختلفی از وسایل نقلیه که نحوه ترکیب آنها دارای دامنه وسیعی می‌باشد را تحمل نماید. علاوه بر روسازی‌های بنادر باید بارهای استاتیکی اعمال شده بوسیله محموله‌های فله و محموله‌های متحدالشکل یا کانتینری را نیز تحمل نماید. روشهای مشخص نمودن هریک از انواع این بارها، در جزئیات مورد بررسی قرار می‌گیرد. این بخش با بررسی انواع متداول وسایط نقلیه بندری آغاز شده و تاکید ویژه بر روی محوطه‌های جابجایی کانتینرها به دلیل ایجاد دامنه وسیعی از شرایط بارگذاری در چنین روسازی‌هایی شده است. برای راحتی، بارهای چرخه‌ها، فشار تایرها و بار استاتیکی به طور جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲ - ۲ - بارهای دینامیکی وسایل نقلیه DYNAMIC VEHICLE LOADS

بدلیل اینکه روسازی بنادر باید وسایط نقلیه معمولی روی جاده علاوه ترافیک ویژه سنگین تر از آن را تحمل نماید، این بخش با جزئیاتی از وسایل نقلیه متداول جاده‌ای آغاز می‌گردد و بدنبال آن بارگذاری‌های اعمال شده به روسازیهای بنادر شرح داده می‌شود.

۲ - ۲ - ۱ - وسایط نقلیه جاده‌ها

برای وسایل نقلیه جاده‌ها، نظیر کامیون‌های متداول، حداکثر بار محوری مجاز در جدول شماره ۱ داده شده است. با استفاده از این جدول می‌توان مشاهده کرد که سنگین‌ترین مقدار محور مجاز برابر با بار محوری منفرد ۸۹ KN با چرخهای دوبل می‌باشد.

۲ - ۲ - ۲ - وسایل نقلیه مورد استفاده در بنادر

علاوه بر کامیون‌های متداول، روسازی‌های بنادر باید انواع مختلفی از وسایل نقلیه که محدودیتی برای آنها از نظر بار وجود ندارد را نیز تحمل نماید. برای محموله‌های کانتینری یا محموله‌های هم شکل، این وسایل مورد استفاده می‌باشند:

a) تراکتور / تریلر TRACTOR / TRAILER UNITS

b) استرادل کاریرها STRADDLER CARRIERS

c) لیفتراکهای جلوبرنده یا بالابرنده‌های چنگکی FRONT LIFT RUCKS (FLT) OR FORKLIFTS

(d) سایدلودرها « SIDE LOADERS »

(e) جرثقیل‌ها « CRANES »

(f) ترانس‌تینرها با چرخهای بادی (جرثقیل‌های گانتی)

(PNEUMATIC TYRED TRANSTAINERS (GANTRY CRANES

همچنین برای محموله‌های فله‌ای، وسایل نقلیه نظیر بولدوزرها و لودرها « FRONT END LOADERS » نیز ممکن است بکار گرفته شوند.

در بیشتر موارد وسایل نقلیه با انتقال بارها بصورت یکسری از عملیات متوالی انجام وظیفه می‌نمایند. برای مثال یک کانتینر در حال انجام عملیات نقل و انتقال ممکن است در ارتباط با جابجایی‌های زیر باشد :

(۱) از کشتی به ساحل

(۲) حمل بارها از اسکله به انبار و مرتب کردن آن در انبار

(۳) از انبار تا کامیون‌ها

این بدان معناست که بسیاری از نواحی روسازی باید پذیرای انواع متعددی از وسایل نقلیه مخصوص بلند کردن و حمل کردن باشد. بارهای بکار رفته شده بوسیله این ماشینها به همراه جزئیات آن در ذیل می‌آید :

۲-۲-۳- تراکتور یا تریلر

ساده‌ترین راه برای حرکت دادن کانتینرها، داشتن یک سیستم شاسی است. حرکت کانتینرها روی شاسی در مناطق ترمینال با استفاده از تجهیزات شناخته شده بعنوان اسب‌های یدک کش «YARD HORSES»، داک مسترها DUCK MASTERS ، یا تراکتورهای ترمینال انجام می‌شود. بطور کلی ۴ نوع از انواع تراکتورها/تریلرها، بایستی مورد بررسی قرار گیرد. اینها شامل:

۱ - تریلرهای معمولی کششی روی جاده. در اینجا بارهای محوری باید با محدودیت‌های بار جاده‌ای عمومی مطابقت کند. بنابراین طراحی روسازی برای اجرای چنین وسایل نقلیه‌ای به تنهایی می‌تواند استفاده از پروسه طراحی روسازی جاده معمولی را دربر داشته باشد.

۲ - تریلرهای ۵ چرخه. این تریلرها فقط برای بارگیری محموله در محل بکار گرفته می‌شوند و به طریقی طراحی شده‌اند که این امکان را به تراکتورهای ۵ چرخه می‌دهند که به سرعت به تریلر وصل و بکسل شده و جدا نشوند، بدون اینکه نیازی به چرخهای فلزی (DOLLEYWHEELS) باشد. چنین تریلرهایی معمولاً مجهز به تایرهای لاستیکی توپر هستند و ظرفیت بین ۴۰ تا بیش از ۱۰۰ تن را دارا می‌باشند.

۳ - تریلرهای کششی (DRAW BAR). در این تریلرها هر دو محور جلو و عقب قابل کنترل می‌باشند. بنابراین تریلرها می‌توانند در پشت یک تراکتور به شکل یک قطار سرهم‌بندی شوند. چنین وسایل نقلیه‌ای مجهز به تایرهای توپر لاستیکی بوده و ظرفیت بار تا حدود ۱۲۰ تن را دارا می‌باشند.

۴ - سیستم‌های رو رو RO/RO SYSTEMS. برای جابجا کردن محموله‌های پیچیده شده اغلب از تریلرهای مخصوص یدک کش با محورهای غیرقابل کنترل و با تایرهای توپر استفاده می‌شود. این تریلرها می‌توانند بین ۲۰ تا ۴۰ فوت و با (۶ تا ۱۲ متر) طول داشته باشند.

بارهای محوری تریلرها و تراکتورهای مربوط به آنها در کل شبیه بارهای وسایط نقلیه روی جاده می‌باشند.

۲-۲-۴ - استردل کاریرها (STRADDLE CARRIERS)

«استردل کاریرها» برای مقاصد زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند :

۱ - فقط جابجایی کانتینرها.

۲ - روی هم قراردادن به ارتفاع ۲ تا ۵ کانتینر.

این وسایل نقلیه معمولاً دارای ۴ یا ۸ چرخ در هر طرف می‌باشند. اگرچه بندرت در برخی موارد نیز از ۶ چرخ در هر طرف استفاده شده است. عمده‌ترین مورد استفاده این استردل کاریرها، جابجا کردن کانتینرها با فواصل نسبتاً کوتاه به قسمت انبار یا مناطق بارگیری کامیون می‌باشد. سرعت معمولاً محدود به کمتر از ۳۰ کیلومتر در ساعت می‌باشد. ابعاد و اندازه‌ها بصورت نمونه در جدول شماره ۲ آورده شده است.

در عمل بارهای چرخها تا حدود ۱۷ تن متغیر می‌باشند. برای محاسبه بارهای چرخ، معمولاً چنین فرض می‌شود که بار کانتینر در میان تمام چرخهای استردل کاریرها بطور برابر تقسیم می‌شود و هیچگونه بار خارج از مرکزیت برای کانتینرها مجاز نیست.

۲-۲-۵ - لیفتراکهای جلو برنده (FRONT LIFT TRUCKS)

در بسیاری از کشورها لیفتراکهای جلوبرنده (FLT) بمنظور جابجایی کانتینرها برای محموله‌ها شکستنی فله‌ای به دلیل قابلیت تغییر آنها، قابل دسترس بودن فراوان آنها و سهولت سرویس آنها ترجیح داده می‌شوند. در مقایسه با استردل کاریرها، لیفتراکهای جلوبرنده باعث صدمات بزرگتری به روسازی می‌شوند و این بدلیل بارهای سنگین‌تر محورهای آنها در جایی که کانتینرها جابجا می‌شوند، می‌باشد.

به همین دلیل استفاده از FLS (لیفتراکهای جلویی) در پاره‌ای موارد فقط به جابجا کردن و انباشتن کانتینرهای خالی محدود می‌شود. محور جلوی لیفتراکهای جلوبرنده (FLT) اغلب از ۲ یا ۴ تایر تشکیل گردیده است، اگرچه در مواردی هم تا ۶ تایر بکار گرفته شده است.

محورهای عقبی (قابل کنترل) معمولاً فقط ۲ تایر دارند. برای محاسبه مقدار باری که محور قابل کنترل می‌تواند تحمل نماید، نیازمند شناسایی شکل هندسی وسایل نقلیه و مرکز ثقل آنها می‌باشیم.

چنانچه در گراف شماره ۱ نشان داده شده، هنگامی که بار در حال حمل شدن افزایش پیدا می‌کند، نسبت بار حمل شده توسط محور جلو افزایش پیدا می‌کند در حالی که این نسبت برای محور عقب کاهش می‌یابد. اغلب جزئیات دقیق شکل هندسی وسایل نقلیه شناخته شده نیستند. در چنین شرایطی برای سهولت فرض می‌شود بار محور جلویی وسایل نقلیه خالی در حال حرکت در حدود ۳۵٪ بار محوری ظرفیت ارزیابی شده است و در حالتی که وسیله نقلیه با بار کامل حرکت می‌کند، در حدود ۸۰٪ کل بار به محور جلویی منتقل خواهد شد.

نمونه‌ای از بارهای محوری FLT در جدول شماره ۳ داده شده است. در زمان جابجایی کانتینرها، بایستی اجازه برای بارگذاری مرده اضافی برای "اسپریدرها" بی که برای نگهداشتن جعبه‌ها بکار می‌روند داده شود. سه نوع اسپریدر بیشترین موارد استفاده را دارند. اینها شامل اسپریدرهایی که بصورت خودکار در یک تراز قرار می‌گیرند (SELF-LEVELING)، نوع تلسکوپیک آن و

اسپریدرهای ثابت (فیکس شده) می‌باشند. بارهای اسپریدرها اصولاً از حدود ۲ تن برای یک اسپریدر ثابت که فقط برای حمل کانتینرهای ۲۰ فوتی تا وزن ۶ تن بکار می‌روند و برای اسپریدر تلسکوپیک هر دو کانتینر ۲۰ و ۴۰ فوت را حمل می‌کنند.

۲-۲-۶- سایدلودرها (SIDE LOADERS)

ساید لودرها معمولاً فقط در جایی بکار برده می‌شوند که سایر وسایل جابجایی کانتینرها مناسب نباشند. در ترانزیت می‌توان چنین فرض کرد که بارها بصورت برابر بین چرخها توزیع شده‌اند. چنین ماشینهایی می‌توانند کانتینرها را بصورت سه تایی بر روی هم قرار دهند. در طول انجام این عملیات، سایدلودرها بوسیلهٔ جک‌های هیدرولیکی که تا حدود ۷۰٪ وزن وسیله نقلیه و کانتینر را تحمل می‌کنند، تثبیت می‌شود.

فشارهای وارده بر روسازی از طریق جک‌ها تا حدود ۱/۳ Mpa می‌باشند. مقادیر بصورت تیپ در جدول شماره ۴ آورده شده است.

۲-۲-۷- ترانس تینرها (TRANSTAINERS)

ترانس تینرها جرثقیل‌های کانتینری نصب شده بر روی تاورهای لاستیکی می‌باشند. آنها سرعت و قدرت مانور جرثقیل‌های استرادل کریر را ندارند اما می‌توانند کانتینرها را بر روی یکدیگر تا ارتفاع بالاتری قرار دهند. ترانس تینرهای چرخ لاستیکی سنگین‌ترین بارهای چرخ منفردی را که بطور نرمال در هر نوع طراحی روسازی با آن مواجه هستیم، اعمال می‌کنند. این بارها زمانی که کانتینرها در یک طرف ماشین قرار می‌گیرند، تا حدود ۵۵ تن بر روی یک چرخ بار وارد می‌کنند.

۲-۳- کانتینرها و سایر بارهای استاتیکی

۲-۳-۱- بارهای کانتینری CANTAINER LOADS

جابجایی محموله‌ها بوسیله کانتینرها به نحو فزاینده‌ای در حال افزایش است. این کانتینرها در یک طیف وسیعی در دسترس بوده و شامل موارد زیر می‌باشند:

۱- کانتینرهای محموله خشک - جعبه‌های کاملاً بسته شده.

۲- جعبه‌های سردخانه‌ای (یخچالی).

۳- جعبه‌های باز و یا پوشیده شده با الیاف کفنی که برای جابجایی محموله‌های بصورت فله و یا اشیاء بزرگ استفاده می‌شوند.

۴- تانکرها - کانتینرهای تانکر به منظور جابجایی مایعات.

۵- "تیلت" ها "TILTS" - عرشه با کف مسطح و کج و با داشتن فقط دیواره‌ای در قسمت جلو.

کانتینرها در انواع متنوعی از نظر اندازه و وزن وجود دارند. استاندارد کردن اندازه‌ها و حداکثر بار خالص کانتینرها در سال ۱۹۶۱ بوسیله ISO شروع شد. اندازه‌های کانتینرها در واحدهای سلطنتی (IMPERIAL-UNITS) (که در امریکا متداول است) بصورت گسترده‌ای کاربرد دارند. تمام کانتینرهای ISO دارای ۸ فوت پهنا و دارای طولهایی است که ضرائب آنها برابر ۱۰ یا ۲۰ فوت می‌باشند. ارتفاع استاندارد ۸ فوت است اما برای کانتینرهای ۲۰ و ۳۰ و ۴۰ فوت می‌تواند ۸/۵ فوت باشد (در حقیقت عملاً این ارتفاع

بیشتر متداول است). طول و بار خالص که در اصل برای کانتینرهای ISO مجاز می‌باشند، در جدول شماره ۶ نشان داده شده است. به هر حال این مسئله باید مورد توجه قرار گیرد که استفاده از جعبه‌های ۱۰ فوتی متداول نمی‌باشد.

عملاً هر دو نوع کانتینرهای ISO و غیر ISO مورد استفاده قرار می‌گیرند. دستگاه‌های غیر ISO معمولاً (بطور نرمال) در اندازه‌های بزرگتر هستند. برخی دیگر از کانتینرهای غیراستاندارد در جدول شماره ۷ تشریح شده‌اند.

بطور کلی حدود ۷۵٪ از محموله‌ها در کانتینر ۲۰ فوتی جابجا می‌شوند و ۲۰٪ در کانتینرهای ۴۰ فوتی حمل شده و باقیمانده ۵٪ در جعبه‌های غیراستاندارد حمل می‌شوند. برای اهداف طراحی می‌توان بار خالص واقعی یک کانتینر را در حدود ۸۵٪ حداکثر ظرفیت کانتینرهای ۴۰ فوتی فرض نمود. جدول شماره ۶ نشان می‌دهد که این فرضیات محافظه‌کارانه بنظر می‌رسند. به هر حال ساده‌تر است که فرض گردد کانتینرهای با اندازه داده شده بطور برابر بارگیری شده‌اند. بطور کلی بارهای دینامیکی کانتینرها یعنی بارهایی که بایستی توسط وسایل نقلیه حمل شوند در جدول شماره ۸ خلاصه شده است.

عملاً تمام کانتینرها باتوجه به محدوده ظرفیت آنها بارگیری نمی‌شوند و گراف شماره ۴ توزیع بارهای کانتینر را بصورت تیپ برای بنادر انگلستان نشان می‌دهد.

تحقیقات بعمل آمده برای توزیع بارهای کانتینر در بنادر انگلستان که در دهه ۷۰ (سال ۱۹۷۹) بوسیله باربر و نپتون انجام شد نشان داد که :

- الف : وزنه‌های اصلی کانتینرهای ۳۰ فوت بیشتر از دستگاه‌های ۴۰ فوت است.
 - ب : وزن کانتینرهای صادر شده از بریتانیا سنگین‌تر از آنهایی که وارد می‌شوند بود.
 - ج : در حدود ۸/۵٪ کانتینرهای ۲۰ فوت بیش از حد بارگیری شده بودند.
- به هر حال فقط حدود ۲/۰ درصد از کانتینرهای ۴۰ فوت متجاوز از بارهای درنظر گرفته شده بود.
- د : از هر ۶ کانتینر حمل شده یکی خالی بود. نتایج طراحی برای طیف واقعی بارهای کانتینر در گراف شماره ۳ برای روسازی صلب نشان داده شده است. از این گراف می‌توان ملاحظه کرد که صرفه‌جویی‌های واقعی در ضخامت می‌تواند از طریق اینکه همه کانتینرها در اندازه ظرفیت موردنظر بارگیری نشده‌اند، تشخیص داده شود.
- به هنگام انباشته شدن، کانتینرها بارهای قابل توجهی به روسازی وارد می‌کنند. این بارها از طریق پایه‌های کوچک که دارای ابعاد نشان داده شده در گراف شماره ۴ می‌باشند، در روسازی در تماس بوده و بر روی سطحی حدود ۱۷۰ میلی‌متر مربع قرار می‌گیرند. بارهای وارده از جانب کانتینرهای انباشته شده بصورت تیپ در جدول شماره ۸ خلاصه شده است.

۲ - ۳ - بارهای استاتیکی

علاوه بر بارهای اعمال شده بوسیله کانتینرها، روسازی‌های بنادر باید سایر بارهای اعمال شده استاتیکی را که باعث ایجاد فشارهای مماسی زیادی می‌شوند را تحمل نمایند. این بارها از جانب چرخهای زیرسری (DOLLEY WHEELS) و پلیتهای محوری (PIVOT PLATES) و از ناحیه جکهای ثابت کننده بر روی سایدلودرها می‌باشند. اندازه‌های کلی بارها و فشارهای تماس در جدول شماره ۹ آورده شده است.

۲-۳-۳- بارهای محموله‌ای فله‌ای (BULK CARGO LOADS)

برای محموله‌های فله‌ای نظیر ذغالسنگ، بارهای وارد شده به روسازی را می‌توان با داشتن اطلاعاتی از مصالح و ارتفاع بار ریخته شده محاسبه نمود. در صورت فقدان جزئیات دقیق معمولاً طراحی روسازی براساس حداقل بار گسترده یکنواخت سه تن بر مترمربع انجام می‌گیرد.

۲-۴- محاسبه تکرار و بار طراحی روسازی بنادر

۲-۴-۱- بارهای طراحی

برخلاف روسازی جاده که دقیقاً فشار چرخ و محور وسایط نقلیه بوسیله مقرراتی کنترل می‌شود، هیچگونه محدودیتی در مورد اندازه‌ها، وزن و فشارهای تایلر و محورها در وسایط نقلیه صنعتی وجود ندارد.

در جایی که وسایط نقلیه دارای محورهای تاندم و چرخهای چندگانه نزدیک به هم هستند، باید اجازه برای هم‌پوشانی تنش‌های بوجود آمده بوسیله هر چرخ بطور ویژه داده شود. این به بهترین نحو از طریق کاربرد آنالیز به روش مکانیستیک بار یا سیستم روسازی انجام می‌شود. به هر حال پروسه‌های تقریبی در جایی که راه‌حلهای کامپیوتری وجود ندارد، در دسترس می‌باشد.

در طراحی روسازی حالت ایده‌آل آن است که طیف کاملی از بارگذاری در نظر گرفته شود. برای مثال بارهای هر چرخ از هر وسیله نقلیه باید در مرحله طراحی مورد توجه قرار گیرد. به هر حال برای ساده کردن محاسبات معمولاً از روش‌های ساده‌تری استفاده می‌شود. برای مثال در بسیاری موارد طراحان بنحو محافظه‌کارانه‌ای حداکثر بار بکار رفته در دستورالعمل‌ها را گرفته و فرض می‌کنند که وسیله نقلیه مربوطه همیشه در این سطح عمل خواهد کرد. از آنجا که عملاً روسازی‌های بنادر اغلب بایستی بار مربوط به وسایط نقلیه متنوعی را تحمل نمایند، طراحان دائماً در حال جستجو برای ترکیب تاثیرات بارهای وسایط مختلف نقلیه و شکل و ترکیب آنها از طریق تبیین آنها برحسب تعداد بار چرخ استاندارد هم‌ارز (ESAL) می‌باشند. بعنوان نمونه، AAPMA فرض می‌کند که اثر تخریبی بار یک چرخ متناسب با توان چهارم بار اعمال شده افزایش می‌یابد.

$$N_S = N \left(\frac{W}{W_S} \right)^n \quad (1)$$

مقدار n بستگی به نوع و جنس لایه که از نوع آسفالتی و یا بتنی باشد می‌تواند بین ۲ تا ۶ متغیر باشد. ولی مقدار n معمولاً ۴ در نظر گرفته می‌شود.

اثر خرابی ناشی از بار چرخ برحسب یک فاکتور بار چرخ معادل (EWLF) بیان می‌شود و خرابی ایجاد شده در یک سیستم روسازی به ازای هر عبور یک وسیله نقلیه طراحی متناسب با خرابی ایجاد شده به ازای هر عبور یک وسیله نقلیه طراحی استاندارد بارگذاری شده با یک کانتینر ۲۰ تنی که بر روی همان روسازی حرکت می‌کند، تعریف می‌شود. مقادیر کلی (EWLF) در جدول شماره ۱۱ داده شده است.

در انگلستان، ایده مشابهی توسعه یافته است و در اینجا بارهای ترافیکی مخلوط شده برحسب بارهای چرخ معادل سطح بندر (PAWL) بیان می‌شود. یک PAWL برحسب یک چرخ ۱۲ تنی معادل در حال حرکت بر روی یک تایلر با فشار باد ۰/۸ مگاپاسکال از طریق فرمول زیر تعریف می‌شود.

$$PAWL = \left[\frac{w}{12000} \right]^q \times \left[\frac{P}{0.8} \right]^{1.25} \quad (2)$$

$q = 3/75$ و W و P به ترتیب بار چرخ برحسب کیلوگرم و فشار تایلر برحسب مگاپاسکال از چرخ وسیله نقلیه مورد نظر می‌باشند. چنانچه دیده می‌شود شکل این معادله شبیه به همان معادله بیان شده در شماره ۱ می‌باشد.

تعیین مشخصات بارهای وسائل نقلیه با استفاده از مفهوم PAWL به شرح زیر انجام می‌گیرد:

الف: میانگین خسارت وارده از ناحیه هریک از وسیله نقلیه. این مقدار برابر است با متوسط مقادیر PAWL برای هر یک از بارهایی که توسط وسیله نقلیه بایستی حمل شود. بدیهی است که این عامل بستگی به توزیع بار وارده توسط وسایل نقلیه داشته و نمایانگر یک مشخصه واحد از وسیله نقلیه مورد نظر نمی‌باشد.

ب: اثر تخریبی بحرانی، از آنجایی که بیشتر فشارهای وارده از ناحیه وسیله نقلیه معمولاً کمتر از حداکثر بار هستند، خسارت بحرانی بعنوان باری تعریف می‌شود که در آن تخریب بیان شده برحسب PAWL حداکثر باشد.

این گونه مفاهیم بعنوان یک جزء مکمل از پروسه طراحی، (British port Association (BpA)، هم گمراه کننده بوده و هم برای بعضی مصالح روسازی یک اندازه‌گیری کمتر و خطرناک‌تر از تخریب واقعی روسازی را که محتمل است اتفاق بیفتد فراهم می‌سازد.

استفاده از فرمول ۲ چنانچه نشان داده می‌شود، در مورد روسازیهای دارای لایه‌های چسبنده منجر به طرح روسازی‌هایی می‌شود که بطور قابل توجهی کمتر از ضخامت واقعی طراحی شده‌اند. به همین دلیل بعضی از محققین طیف بارگذاری طراحی واقعی را برحسب تعداد تکرار هم‌ارز و N_m ، حداکثر تعداد باری است که باید بوسیله روسازی تحمل شود بیان کرده‌اند. در اینجا معادله ۲ به شکل زیر آورده شده است.

$$N_m = \left[\frac{W}{W_m} \right]^q \left[\frac{P}{P_m} \right]^{1.25} N_w \quad (3)$$

N_w تعداد دفعات تکرار بار W ، W_m و P_m ، به ترتیب حداکثر بار و فشار تایلر می‌باشند.

اگرچه روابط براساس بار معادل چرخ برای مدتهای طولانی است که در طراحی روسازی جاده‌های انعطاف‌پذیر مورد استفاده قرار گرفته، ایرادات جدی نسبت به این مفهوم در جایی که روسازی‌های صلب (بتنی) و یا در جایی که روسازی از لایه‌های سیمانی تشکیل شده باشد، وجود دارد. در این رابطه آزمایشات تجربی در مقیاس بزرگ ترافیکی که بوسیله بعضی از محققین انجام گرفته است، نشان داده که مقدار توان در فرمول ۱ و ۲ به هر دو عامل یعنی نوع روسازی و نوع مصالح بکار رفته در آن بستگی دارد. برای مصالح تثبیت شده با سیمان، مقدار q از ۶ بیشتر گزارش شده‌اند. بعلاوه در مورد مواد ترد و شکننده نظیر بتن، روسازی ممکن است بوسیله تنها یک بارگذاری بیش از اندازه برای همیشه تخریب گردد. این مطلب آخر با مفهوم بار هم‌ارز چرخ که هیچ شرطی را برای خرابی تحت تاثیر بارهای بیش از اندازه در نظر نمی‌گیرد، سازگار نیست. در نتیجه مناسب نیست که ایده هم‌ارز در طراحی روسازی‌های سخت (بتنی) و یا روسازی‌های انعطاف‌پذیر که شامل لایه‌های سیمانی می‌باشند مورد استفاده قرار گیرد.

اگر ایده بار معادل چرخ حذف گردد، لازم است که بطریقی بارهای واقعی وسایط نقلیه طراحی و تعداد تکرارهای مربوط به آن در نظر گرفته شود. این کار می‌تواند از طریق استفاده از یک مفهوم خستگی نظیر قانون مجموع خرابی خطی - PALMGREN

MINER انجام گیرد، پروسه‌ای که قبلاً با موفقیت در متدهای طراحی PCA بکار گرفته شده است. فرضیه MINER بیان می‌کند که صرفنظر از مقدار تنش، هر تنش تکراری جوابگوی یک مقدار معینی از خرابی ناشی از خستگی می‌باشد. لذا فرض می‌گردد که صرفنظر از طریقه اعمال بار، یک تجمع خطی از خرابی ناشی از خستگی وجود دارد و آن بدین معنی است که خرابی ناشی از خستگی زمانی اتفاق می‌افتد که مجموع افزایش خرابیها در هر سطحی از تنش، برابر یک باشد.

قانون می‌تواند به شکل زیر بیان گردد :

$$\sum_{i=1}^n \frac{n_i}{N_i} \leq 1 \quad (4)$$

که در اینجا N_i تعداد سیکل‌های منجر به خرابی در هر سطحی از تنش i و n_i تعداد سیکل‌های واقعی اعمال شده در سطح تنش i می‌باشد.

با بکار بستن قانونی که بصورت معادله ۴ نشان داده شده است، طراحی روسازی می‌تواند براساس تعداد و مقادیر واقعی بارهای متنوعی باشد که انتظار می‌رود بر روسازی اعمال شود. ایراد این پروسه این است که هر بار چرخ از همه وسایل نقلیه طراحی شده ممکن است لازم گردد که در محاسبات طراحی گنجانیده شود. این باعث بروز پیچیدگیهای اضافی در پروسه طراحی می‌شود. اما در صورت استفاده از برنامه‌های کامپیوتری این محاسبات به سادگی انجام می‌یابد.

۲-۴-۲- تکرار بارگذاری

تعداد تکرار اعمال شده بر یک نقطه مشخص شده در روسازی بستگی به عوامل زیر دارد:

الف : عرض خط

ب : عرض مسیر وسیله نقلیه

معمولاً چنین فرض می‌شود که حرکات جانبی وسایل نقلیه بطور نرمال در اطراف مسیر چرخها توزیع می‌شود. این توزیع می‌تواند برحسب فاکتورهای زیر تعریف شود:

الف : انحراف استاندارد بعنوان تابعی از اثر عرض خط (گراف شماره ۵)

ب : پهنای روسازی مورد بررسی و موقعیت آن در ارتباط با تمام پهنای روسازی مورد استفاده برای ترافیک.

پهنای مؤثر خط، پهنایی است که در آن ۹۵٪ جابجایی وسایل نقلیه اتفاق می‌افتد، که می‌تواند به طریق زیر تخمین زده شود :

۱- از حداقل شعاع دور زدن وسیله نقلیه به درون خط.

۲ - کاستن اختیاری از ۱ تا ۲ متر در هر دو طرف خط.

۳ - بعنوان پهنای واقعی روسازی مورد استفاده.

در عمل خطوط ۲۸ متری معمولاً بین خطوط تجمع کانتینرها اجراء می‌شوند بطوری که «استردل کریرها» بتوانند برای ورود به انبار، چرخش ۹۰ درجه‌ای داشته باشند. خطوط دسترسی به این نواحی دور زدن معمولاً حداقل ۱۲/۵ متر پهنا دارند، در حالی که خطوط بین صفهای طولانی کانتینرها که توسط «استردل کریرها» جابجا می‌شوند معمولاً حداقل ۱/۷۵ متر عرض دارند تا اجازه جابجایی آزادانه به استردل کریرها بدهند. این معمولاً نمایانگر شدیدترین حالت کانالیزه شدن بار که در روسازی‌های صنعتی اتفاق می‌افتد، بغیر از باندهای حرکت ترانس تینرها می‌باشد.

برای هر جابجایی کانتینر، دو جابجایی وسیله نقلیه (یکی پر و دیگری خالی) رخ خواهد داد. بنابراین برای عرضی از خط داده شده، درصد تمام بارهایی که در آن عرض از روسازی وارد می‌شود، می‌تواند تخمین زده شود. برای مثال شکل ۶ فاکتورهای می‌دهد که جابجایی وسیله نقلیه باید در آنها ضرب شوند تا تعداد تکرار طراحی محاسبه گردد.

۲-۵ - تعیین مشخصات و بهبود سابگرید (خاک بستر)

۲-۵-۱ - پارامترهای انتخاب طراحی

چنانچه در قسمتهای دیگر ذکر شد، طراحی‌های روسازی صنعتی و فرودگاهها به نحو فزاینده‌ای براساس آنالیز مکانیستیک می‌باشد. در مورد روسازی‌های انعطاف‌پذیر، ضروری است که سابگرید برحسب مدولهای شبه الاستیسیته (QUASI-ELASTIC MODULUS) بیان شود. این کار از طریق انجام آزمایشات بارگذاری تکراری سه محوری در آزمایشگاه بر روی خاک سابگرید بدست می‌آید که منجر به روابط بین مدول برجهندگی (نسبت تفاوت تنش $(\delta_1 - \delta_2)$ اصلی تکراری به کرنش برگشت پذیر محوری ϵ_r ، تعداد تکرار تنش و مقادیر مؤلفه‌های برشی و هیدرواستاتیکی تنش می‌شود. این روابط می‌تواند با پروسه‌های طراحی مکانیستیک همراه شود. مقادیر مدولهای برجهندگی در جدول شماره ۱۲ بطور نمونه آورده شده است.

تا سالهای اخیر تنها پروسه طراحی روسازیهای انعطاف‌پذیر که بطور صریح مدول برجهندگی را به عنوان یک وسیله برای تعیین خصوصیات سابگرید بکار می‌گرفته است، در آمریکا بوسیله انستیتو آسفالت در سال ۱۹۸۶ انجام گرفته است. معمولاً طراحی متکی بر آزمایشات بنیادین نبوده و بیشتر براساس آزمایشات CBR انجام گرفته است. براساس نتایج محدود آزمایشگاهی مدول برجهندگی سابگرید، Mrs را می‌توان از رابطه ساده زیر بدست آورد:

$$Mrs = 10 \cdot CBR \quad (۱)$$

Mrs برحسب مگاپاسکال می‌باشد.

ولی مقدار دقیق‌تر Mrs را می‌توان از جدول مربوطه که بستگی به مقدار CBR دارد، محاسبه نمود.

در مورد روسازی‌های صلب (سخت) متداول‌ترین پروسه‌های طراحی مکانیستیک براساس آنالیز وسترگارد برای دال‌های قرار گرفته بر روی سابگرید می‌باشد که فرض می‌شود سابگرید یک فشار عکس‌العملی عمودی را به دال اعمال می‌کند که متناسب با خیز دال تحت تاثیر بار اعمال شده می‌باشد. این فشار عمودی بوسیله مدول عکس‌العمل سابگرید، K، نشان داده می‌شود که از طریق آزمایش باربری صفحه اندازه‌گیری می‌شود. در اینجا K به عنوان یک مدول سکانت که بستگی به فشارهای اعمال شده به صفحه و تغییر شکل مربوطه دارد، تعیین می‌شود و بنابراین دارای واحد فشار بر روی واحد تغییر شکل است (کیلوپاسکال بر میلیمتر). اندازه‌گیری مدول عکس‌العمل سابگرید، K، وقت‌گیر و پرهزینه است. به همین دلیل معمولاً مقدار K از اطلاعات مربوط به CBR سابگرید و با استفاده از منحنی‌های همبستگی نظیر آنچه در شکل شماره ۷ داده شده است، مشخص شود (NAASRA, 1987).

آنالیزهای مکانیستیک براساس تئوری وسترگارد نمی‌تواند شرایط زیراساس قرار گرفته در زیر دال بتنی را مدل‌سازی نماید. بجای آن مقدار K مورد استفاده قرار گرفته برای طراحی باید براساس آزمایش باربری صفحه که بر بالای زیراساس انجام گرفته، تعیین شود. به دلایل ذکر شده در بالا، این روش آزمایش چندان عملی نمی‌باشد. بنابراین معمولاً اثر ترکیبی زیراساس و سابگرید، بعنوان

یک مقدار KC از نمودارهای داده شده در شکل شماره ۸ و ۹ (MARAI, 1974) و یا از طریق روابط تجربی بدست آمده از روش آماری که در پایین داده شده است (WITCZAK et al, 1985)، بیان می‌شود.

الف: برای مصالح شکسته خوب دانه‌بندی شده

$$\begin{aligned} \text{Log } k_c = & 1/251182 + 2/19732 \log k_{sg} - 0/2949522 (\log k_{sg})^2 \\ & + 0/0890125 h - 0/004425194 h^2 \\ & - 0/02901488 h \times \log K_{sg} \end{aligned} \quad (2)$$

ب: برای شن و ماسه‌های طبیعی

$$\begin{aligned} \text{Log } K_c = & -1/296084 + 2/63407 \log K_{sg} = -0/301341 \log K_c \\ & + 0/08554373 h - 0/0025741619 h^2 \\ & - 0/3050173 h \log K_{sg} \end{aligned} \quad (3)$$

h = ضخامت لایه (برحسب اینچ)

K_{sg} = ضریب عکس‌العمل ساب‌گرید (Psi/in)

معادلات (۲) و (۳) برای مقادیر K_{sg} تا ۵۰۰ Psi/in (۱۳۵ Kpa/mm) و برای مقادیر h بین ۵ و ۲۰ اینچ (۱۳۰ و ۵۰۰ میلیمتر) معتبر می‌باشد.

ج: برای مصالح تثبیت شده

$$\begin{aligned} \text{Log } K_c = & -0/1578667 + 1/02813 \log K_{sg} + 0/544761 h \\ & - 0/8473852 \times 10^{-3} h^2 + 0/7254749 \times 10^{-6} E \\ & - 0/1937295 \times 10^{-3} h^{1/2} E^{1/2} - 0/4409096 \times 10^{-2} h \cdot \log k_{sg} \\ & - 0/4601633 \times 10^{-7} E (\log k_{sg}) + 0/2465638 \times 10^{-4} E h \end{aligned} \quad (4)$$

E ، مدول الاستیسیته لایه تثبیت شده می‌باشد (Psi). این معادله فقط برای مقادیر E با دامنه‌ای از ۱۰۵ Psi تا ۶۱۰۰ Psi (۷۰۰ مگاپاسکال تا ۱۴۰۰۰ مگاپاسکال) معتبر می‌باشد.

۲-۵-۲- انتخاب کردن مقدار معرف مقاومت ساب‌گرید

این مسئله حائز اهمیت می‌باشد که برای هر نوع روسازی، بایستی اطلاعات کافی در مورد مقاومت (برای مثال مقادیر K یا CBR) برای مشخص کردن مقاومت ساب‌گرید بدست آورده شود. بطور ایده‌آل نباید این مقدار کمتر از یک آزمایش تعیین مقاومت در هر ۵۰۰ مترمربع یا کمتر از ۶ تا ۱۰ آزمایش برای هر سایت باشد.

برای یک روسازی مقاومت ساب‌گرید بین مقادیر آزمایش و نیز از محلی به محل دیگر متغیر خواهد بود. برای در نظر گرفتن این تغییرات بعضی از مهندسين کمترین مقدار اندازه‌گیری شده از مقاومت ساب‌گرید را برای طراحی انتخاب می‌کنند. به هر حال انتخاب کمترین مقدار مقاومت نادرست و محافظه‌کارانه خواهد بود. راه بهتر در اتخاذ یک روش آماری می‌باشد که شامل دو مرحله است:

۱- برای مشخص کردن اینکه آیا اطلاعات مربوط به مقاومت شامل نقاط خارج از محدوده مجموعه آماری بدست آمده است یا خیر.

۲ - برای ارزیابی پارامتری که معرف مقاومت سابگرید از نظر آماری محسوب می‌شود. هریک از این دو مرحله در اینجا مورد بررسی بیشتر قرار می‌گیرد.

۲-۵-۲-۱ - نقاط خارج از محدوده (OUT LIERS)

برای کنترل نقاط خارج از محدوده، پروسه زیر باید اتخاذ گردد. داده‌ها در ابتدا بترتیب منظم می‌شوند، سپس با استفاده از CBR برای کنترل مقادیر بسیار بزرگ آماری، مقدار را به طریقه زیر بدست می‌آورند:

$$\gamma = \frac{CBR_{\max} - CBR_{\max-1}}{CBR_{\max} - CBR_{\min}} \quad (5)$$

اگر γ بیشتر از مقادیر داده شده در جدول شماره ۱۳ باشد، مقدار مربوط به CBR max ممکن است حذف شود. بطور مشابه دوباره برای کنترل مقادیر بسیار کوچک مقدار بطریقه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\gamma = \frac{CBR_{\min+1} - CBR_{\min}}{CBR_{\max} - CBR_{\min}} \quad (6)$$

و اگر مقدار γ بیشتر از مقادیر ذکر شده در جدول شماره ۱۳ باشد، CBR min حذف می‌شود.

۲-۵-۲-۲ - مقادیر معرف

مقاومت خاک با هر دو عامل عمق و محل تغییر می‌کند. در صورت تغییرات با عمق، پیشنهاد شده است که (JAPAN ROAD ASSN, 1980) میانگین مقاومت خاک در یک محل خاص که بعنوان CBR متوسط بیان شده است، از فرمول زیر محاسبه شود:

$$CBR_m = \left[\frac{h_1 CBR_1^{\frac{1}{3}} + h_2 CBR_2^{\frac{1}{3}} + \dots + h_i CBR_i^{\frac{1}{3}}}{\sum h_i} \right] \quad (7)$$

CBR_i، مقدار CBR در لایه با ضخامت h_i است. معمولاً $\sum_{i=1}^n h_i$ یک متر در نظر گرفته می‌شود.

هنگامی که مقدار متوسط وزنی مقاومت در محل مشخص نقشه تعیین شد، محاسبه مقادیر معرف برای سایت بطور کلی امکان‌پذیر می‌گردد. این بعنوان یا کمترین ده درصد مقدار CBR (NAASRA1987) یا بعنوان بالاتر از ۸۵٪ مدول برجهنگی بیان شده است (ASPHALT INSTITUTE 1986). بدیهی است که روش پیشنهادی (NAASRA) محافظه کارانه است. در اینجا کمترین ده درصد CBR به طریقه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{انحراف معیار } \frac{1}{3} - \text{متوسط } CBR = CBR \text{ طراحی} \quad (8)$$

بکار بردن فرمول (۸) در پاره‌ای از موارد منتهی به مقادیر غیرمجاز (مقادیر منفی) می‌شود. این به هنگامی که داده‌ها بسیار متنوع هستند یا در جایی که خاکها بسیار ضعیف ارزیابی شده‌اند، امکان وقوع بیشتری دارد. در چنین شرایطی مشخصه‌بندی بهتر داده‌های می‌تواند بوسیله فرض کردن اینکه مقادیر مقاومت از یک توزیع لگاریتم نرمال تبعیت می‌کند، بدست آید. معادله (۸) ممکن است به شکل زیر بازنویسی شود :

$$\text{Design CBR} = \text{alog} (\text{mean log CBR} - 1.3 * (\text{std deviation of the log of the CBRs})) \quad (9)$$

اگر هیچیک از معادلات (۷) یا (۸) منتهی به مقادیر قابل قبول نشوند، بنابراین معمولاً محتاطانه است که طراحی روسازی را براساس کمترین مقادیر مقاومت سابگرید اندازه گیری شده صورت گیرد.

جدول شماره ۱-۲ - بارهای وسائط نقلیه جاده‌ای

نوع محور	بار (KN)
محور منفرد، چرخ منفرد	۵۳
محور منفرد، چرخ دوبل	۸۰
محور تاندم، چرخ دوبل	۱۳۵
محور سه گانه، چرخ دوبل	۱۸۱

جدول شماره ۲-۲ - مشخصات استرادل کریر (BARBER AND KNAPTON, 1979)

خسارت نسبی در هر عبور (PAWL)				تایرها اندازه	وزن بدون بار (تن)	پهنای مسیر (متر)	تعداد چرخها	سازنده و مدل
جمع	بارگذاری نشده	بارگذاری	فشار (N/mm ²)					
۱/۱	۰/۲۹	۰/۸۳	۰/۷۰	۱۴×۲۴	۵۰	۴/۴۳۰	۸	VALMET ۳۰۹۷
۱/۴	۰/۴۰	۱/۰۲	۰/۷۰	۱۴×۲۴	۵۴	۴/۴۳۰	۸	۳۵۹۷
۱/۸	۰/۳	۱/۲۷	۰/۷۰	۱۴×۲۴	۵۸	۴/۳۷۰	۸	۴۰۹۷
۱/۹	۰/۵۴	۱/۴۰	۰/۹۸	۱۶×۲۵	۵۲	۳/۹۶۰	۸	NELLEN ۹۰۳ و ۹۰۲
۳/۷	۰/۷۵	۲/۹۱	۰/۸۷	۱۶×۲۷/۵	۳۵/۶	۳/۹۱۰	۴	KARRICON ۳۰۴۳
۲/۹	۰/۵۲	۲/۳۴	۰/۸۷	۱۶×۲۷/۵	۳۲/۷	۳/۹۱۰	۴	۳۰۴۳
۱/۱	۰/۳۰	۰/۸۲	۰/۷۰	۱۴×۲۴	۵۰	۴/۰۶۴	۸	CLARKS YCA۳۰
۰/۹	۰/۱۲	۰/۷۷	۰/۷۹	۱۶×۲۵	۲۱/۴	۳/۵۰۰	۴	HAACON ۱۰۳-۳۰S

جدول شماره ۲-۳ - مشخصات لیفتراکهای جلویی (FRONT LIFT TRUCK)

(BARBER AND KNAPTON, 1979)

سازنده و مدل		عرض مسیر (متر)	وزن بدون بار (تن)	تایرها اندازه	بارهای محور بارگذاری نشده (تن)		خسارت نسبی در هر عبور (PAWLs)	
					فشار N/mm ² عقبی / جلویی	عقبی / جلویی	بارگذاری متوسط	بارگذاری نشده
HYSTER (CHALLENGER) H520B (فوت ۲۰) H620B (فوت ۲۰)		۲/۴۰.۵ ۲/۴۰.۵	۳۴/۴۵ ۳۵/۷۰	۱۶×۲۵ ۱۶×۲۵	۰/۶۸/۰/۵۵ ۰/۶۸/۰/۵۵	۱۹/۷ ۱۶/۷ ۲۶/۴ ۱۵/۳	نظیر مدل B620 ۷/۷۲	۰/۶ ۸/۳
LANSEBOSS (DD) ۵۲/۴۸ CH (فوت ۲۰) ۶۲/۴۸ CH (فوت ۲۰) ۳۲/۴۸ CH (فوت ۲۰)		۲/۱۸.۵ ۲/۵۹.۰ ۲/۶۴.۰	۲۶/۷۷ ۳۹/۹۳ ۴۹/۹۱	۱۴×۲۴ ۱۶×۲۴ ۱۸×۲۵	۰/۷۶/۰/۶۷ ۰/۷۶/۰/۴۳ ۰/۷۶/۰/۴۸	۱۴/۳ ۱۴/۵ ۲۳/۸ ۱۸/۱ ۳۱/۵ ۲۴/۴	۵/۵۱ ۱۲/۲۲ ۲۱/۹۸	۰/۴ ۱/۱ ۳/۳
LANSING HENLEY (HERMES) ۵۶/۲۰ CH (فوت ۲۰) ۶۸/۲۵ CH (فوت ۲۰) ۹۰/۳۵ CH (فوت ۲۰)		۲/۴۴.۰ ۲/۴۴.۰ ۲/۴۴.۰	۴۰/۲۸ ۴۰/۴۶ ۶۱/۲۳	۱۸×۲۵ ۱۸×۲۵ ۱۸×۲۵	۰/۷۸/۰/۳۸ ۰/۷۸/۰/۳۸ ۰/۷۸/۰/۳۸	۲۵/۴ ۱۶/۹ ۳۰/۲ ۱۲/۲ ۴۳/۵ ۲۳/۷	۱۳/۷ ۱۷/۵ ۴۲/۷	۱/۵ ۲/۶ ۹/۵

جدول شماره ۲-۴ - مشخصات سایدلودرها (BARBER AND KNAPTON, 1979)

سازنده و مدل	تعداد چرخها	پهنای مسیر (متر)	وزن بدون بار (تن)	تایرها اندازه	فشار	بارگذاری متوسط	بارگذاری نشده	جمع
۲۰۰۰ (فوت ۲۰)	۴	۳/۰۲۰	۲۹/۴۸۵	۱۶×۲۵:۲۸PR	۰/۸۳	۱/۶۳	۰/۳۳	۲
۲۵۰۰ (فوت ۲۰)	۸	۳/۱۹۵	۳۷/۲۰۵	۱۴×۲۴:۲۲PR	۰/۷۶	۲/۶۲	۰/۷۵	۳/۴
۳۰۰۰ (فوت ۴۰)	۸	۳/۱۵۰	۴۷/۶۴۰	۱۶×۲۵:۲۸PR	۰/۹۰	۶/۶۳	۲/۲	۸/۸
۵۶۰ (فوت ۲۰)	۸	۳/۲۳۰	۳۹/۷۰۰	۱۴×۲۴:۲۲PR	۰/۸۰	۳/۳۲	۱/۰۲	۴/۳

جدول شماره ۲-۵ - وزن کانتینرها (BARBER AND KNAPTON, 1979)

شماره کانتینر	حداکثر وزن ناخالص (تن)	وزن کانتینر (تن)	وزن متوسط خالص (تن)	میانگین وزن ناخالص (تن)	درصد احتمال وقوع نسبی
۲۰ فوت	۲۰/۱۷۰	۲	۱۲/۳۶	۱۴/۳۶	۷۵
۳۰ فوت	۲۵/۴۰۰	۳	۱۴/۲۵	۱۷/۲۵	کمتر از ۵
۴۰ فوت	۳۰/۴۸۰	۳/۴۰	۱۳/۴۴	۱۶/۸۴	۲۰

جدول شماره ۲-۶ - جزئیات کانتینرهای ISO

نوع کانتینر ISO	ابعاد کلی			وزنها و بارها (تن)		
	طول (فوت)	عرض (فوت)	ارتفاع (فوت)	وزن کانتینر (تن)	وزن ناخالص در حال عملیات (تن)	حداکثر تقریبی بار (تن)
1D	۱۰	۸	۸ یا ۸/۵	-	۱۰	-
1C	۲۰	۸	۸ یا ۸/۵	۲	۲۴	۲۲
1B	۳۰	۸	۸ یا ۶/۵	۳	۲۵	-
1A	۴۰	۸	۸ یا ۸/۵	۳/۴	۳۰	۲۷

جدول شماره ۲-۷ - ابعاد کانتینرهای غیر ISO

نوع کانتینر	ابعاد کلی (فوت)		
	طول	عرض	ارتفاع
*USTAG	۴۰	۸/۵	۹/۵
	۴۵	۸/۵	۹/۵
	۴۸	۸/۵	۹/۵
	۵۳	۸/۵	۹/۵
BELL	۲۰	۸/۲	۸/۵
	۴۰	۸/۲	۸/۵
HIGH CUBE	۳۰	۸	۹/۵
	۴۰	۷	۹/۵
سری دوم	۲۴/۵	۸/۵	۸/۵-۹/۵
	۴۹	۸/۵	۸/۵-۹/۵

* گروه مشاور فنی آمریکا (US TECH ADVISORY GROUP)

جدول شماره ۲-۸ - بارهای کانتینرهای قرار گرفته بر روی هم (AAPMA, 1982)

بارگذاری گوشه کانتینر ۲۰ فوتی

ارتفاع انباشتگی	با در مقیاس تن		
	کانتینر تکی	خط ممتد	بلوک تجمع شده
۱	۷	۱۲	۲۲
۲	۱۲	۲۲	۴۲
۳	۱۷	۳۲	۶۲
۴	۲۲	۴۲	۸۲

بارگذاری گوشه کانتینر ۴۰ فوتی

ارتفاع انباشتگی	با در مقیاس تن		
	کانتینر تکی	خط ممتد	بلوک تجمع شده
۱	۹	۱۶/۵	۳۱/۵
۲	۱۶/۵	۳۱/۵	۶۱/۵
۳	۲۴	۴۶/۵	۹۱/۵
۴	۳۱/۵	۶۱/۵	۱۲۱/۵

جدول شماره ۹-۲ - بارهای استاتیکی (علاوه بر کانتینرها)

نوع	بار (تن)	فشار تماسی (مگاپاسکال)
چرخهای زیرسری DOLLY WHEELS	۱۴	۴۰
سندپلیت SAND PLATES	۱۴	۲
جکهای تثبیت کننده	-	۰/۴-۱/۰۳

جدول شماره ۱۰-۲ - ضرائب بار دینامیکی

عملیات	فاکتور
ترمز گرفتن	۱/۱-۱/۵
شتاب	۱/۱
پیچیدن	۱/۳-۱/۶
حرکت بر روی سطح ناهموار	۱/۲

جدول شماره ۱۱-۲ - فاکتورهای بار چرخ هم‌ارز (AAPMA, 1982)

EWLF به هنگامی که وسایل نقلیه لیست شده بار در ستون راست را حمل می‌کند

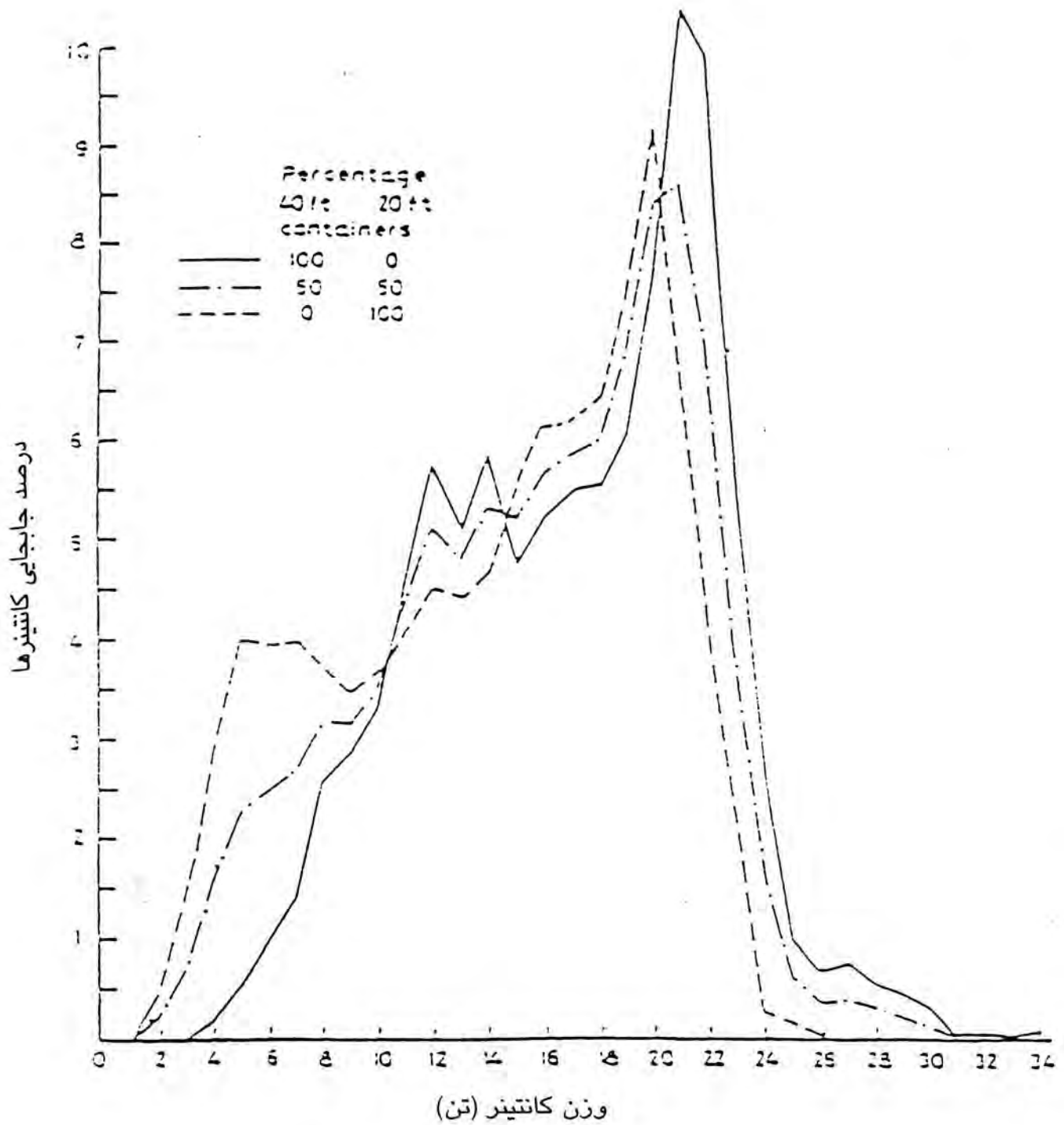
کانتینر (تن)	DOLLY	کامیون استرادل	لیفتراکهای چنگکی		
			بارگذاری نشده	بار مرکزی	بار خارج از مرکز
۲۰	۵	۳	۳	۱۰۰	۱۹۴
۲۱			۳	۱۰۰	۲۲۴
۲۲			۳	۱۲۲	۲۵۹
۲۳			۳	۱۴۴	۲۹۶
۲۴			۳	۱۷۱	۳۴۲
۲۶			۴	۲۳۶	
۲۸			۹	۳۱۱	
۳۰			۱۶	۴۰۷	۶۹۵
۳۱			۲۱	۴۵۹	۷۷۴
۳۲		۱۷	۲۷	۵۲۳	۸۵۹
۳۳			۳۵	۵۹۲	۹۵۱

جدول شماره ۱۲-۲ - مقادیر نمونه‌ای مدول برجهندگی گزارش شده از مطالعات قبلی

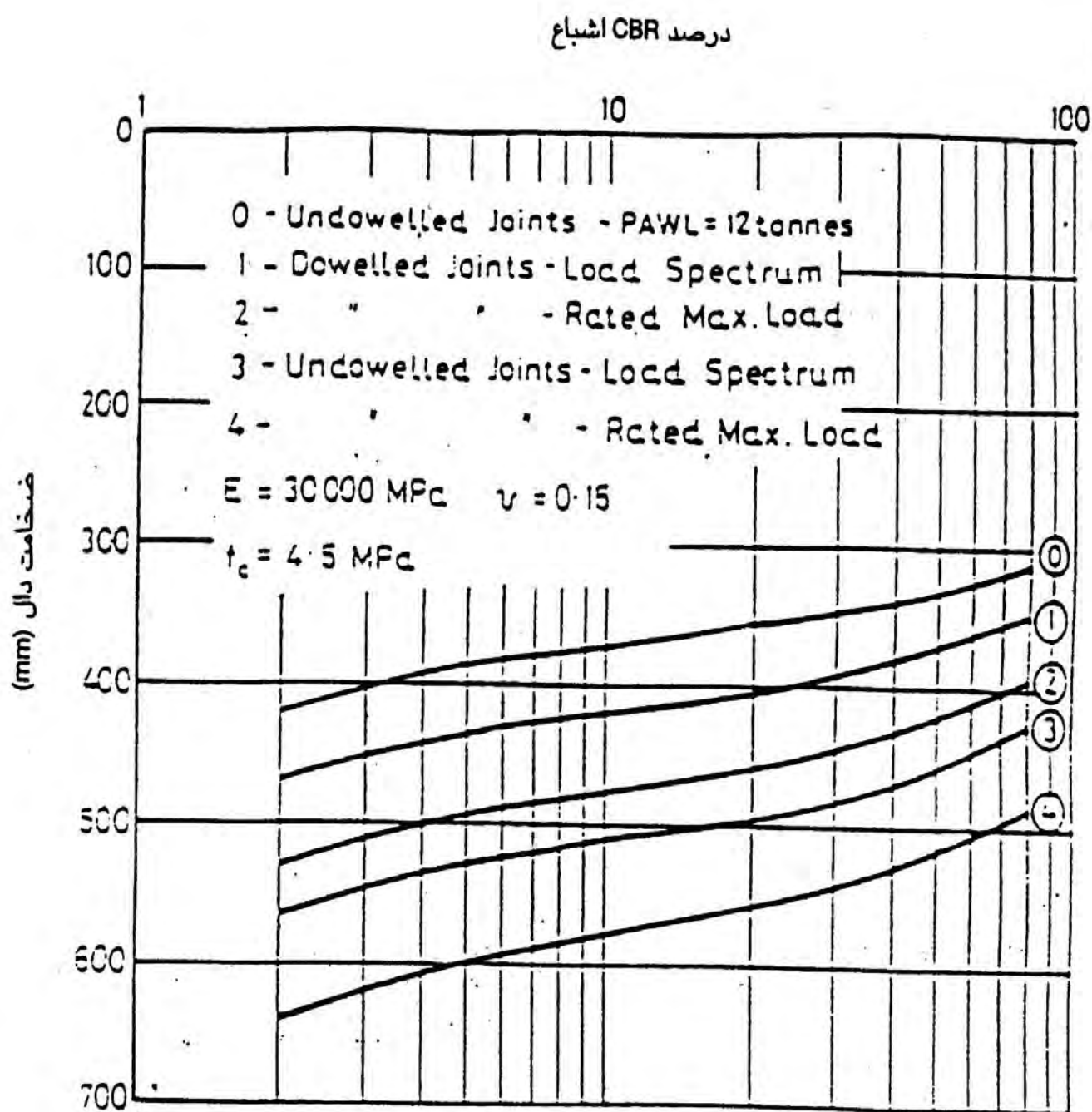
نوع مصالح	دامنه مدول برجهندگی (مگاپاسکال)
سابگرید رسی	۱۲ - ۳۰
رس لای‌دار	۳۰ - ۵۸۰
شن یا رس متراکم شده	۱۲۵ - ۳۸۰
شن یکنواخت	۱۲۰ - ۳۰۰
زیراساس ماسه‌ای	۶۰ - ۱۷۵
شن سنگ آهکی	۱۲۰ - ۲۵۰
زیراساس شنی	۸۰ - ۴۰۰
اساس شنی	۸۰ - ۴۵۰
شن شکسته	۶۰ - ۶۵۰
اساس سنگدانه‌ای	۱۰۰ - ۶۸۰

جدول شماره ۲-۱۳- مقادیر آماری، $(n \geq 5)$ و n بکار رفته برای حذف مقادیر مقاومت خارج از محدودهٔ سابقه

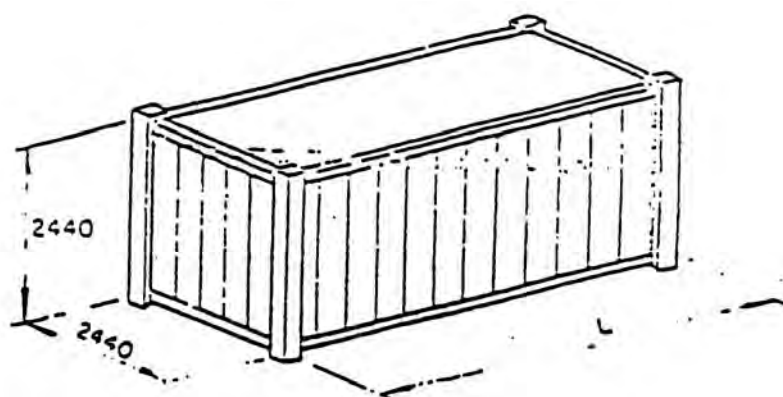
تعداد مقادیر	$(n, 0.05)$
۳	۰/۹۴۱
۴	۰/۷۶۵
۵	۰/۶۴۲
۶	۰/۵۶۰
۷	۰/۵۰۷
۸	۰/۴۶۸
۹	۰/۴۳۷
۱۰	۰/۴۱۲



گراف شماره ۱-۲ - توزیع بارهای کانتینر - وزن کانتینر (تن)

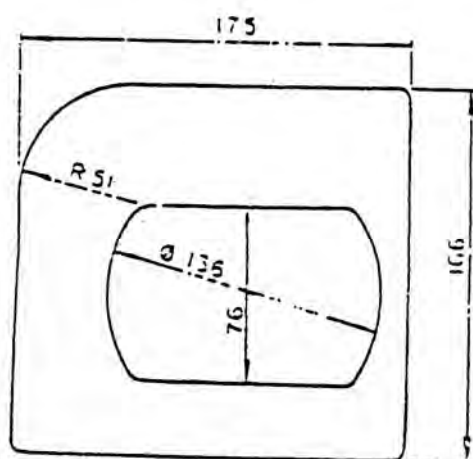


گراف شماره ۲-۲ - تأثیرات کاربرد بارهای توزیع شده نسبت به جابجایی حداکثر کانتینر



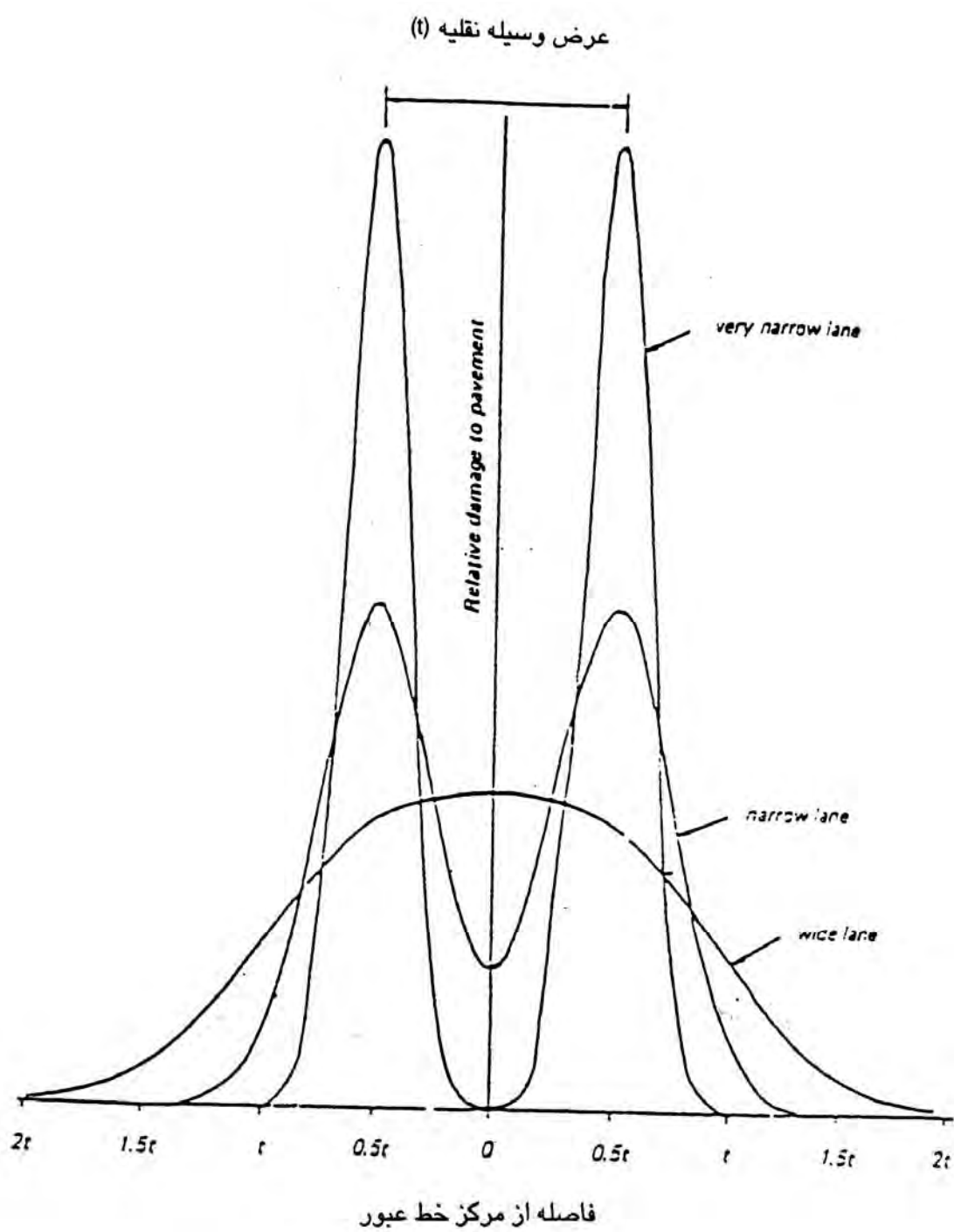
ردیف	حداکثر وزن ناخالص دستگاه (کانتینر)	طول	گوشه فشار (مگاپاسکال)	
			(MPa) به ارتفاع یک کانتینر	(MPa) به ارتفاع ۵ کانتینر
۱A	۳۰۰۰ کیلوگرم	۱۲۱۹۰ میلیمتر	۴/۳۱	۲۱/۶
۱B	۳۵۰۰ کیلوگرم	۹۱۲۵ میلیمتر	۳/۵۹	۱۸
۱C	۳۰۰۰ کیلوگرم	۶۲۵۵ میلیمتر	۲/۸۷	۱۴/۴
۱D	۱۰۰۰ کیلوگرم	۲۹۹۰ میلیمتر	۱/۴۴	۷/۲

(الف) ابعاد و بارگذاری

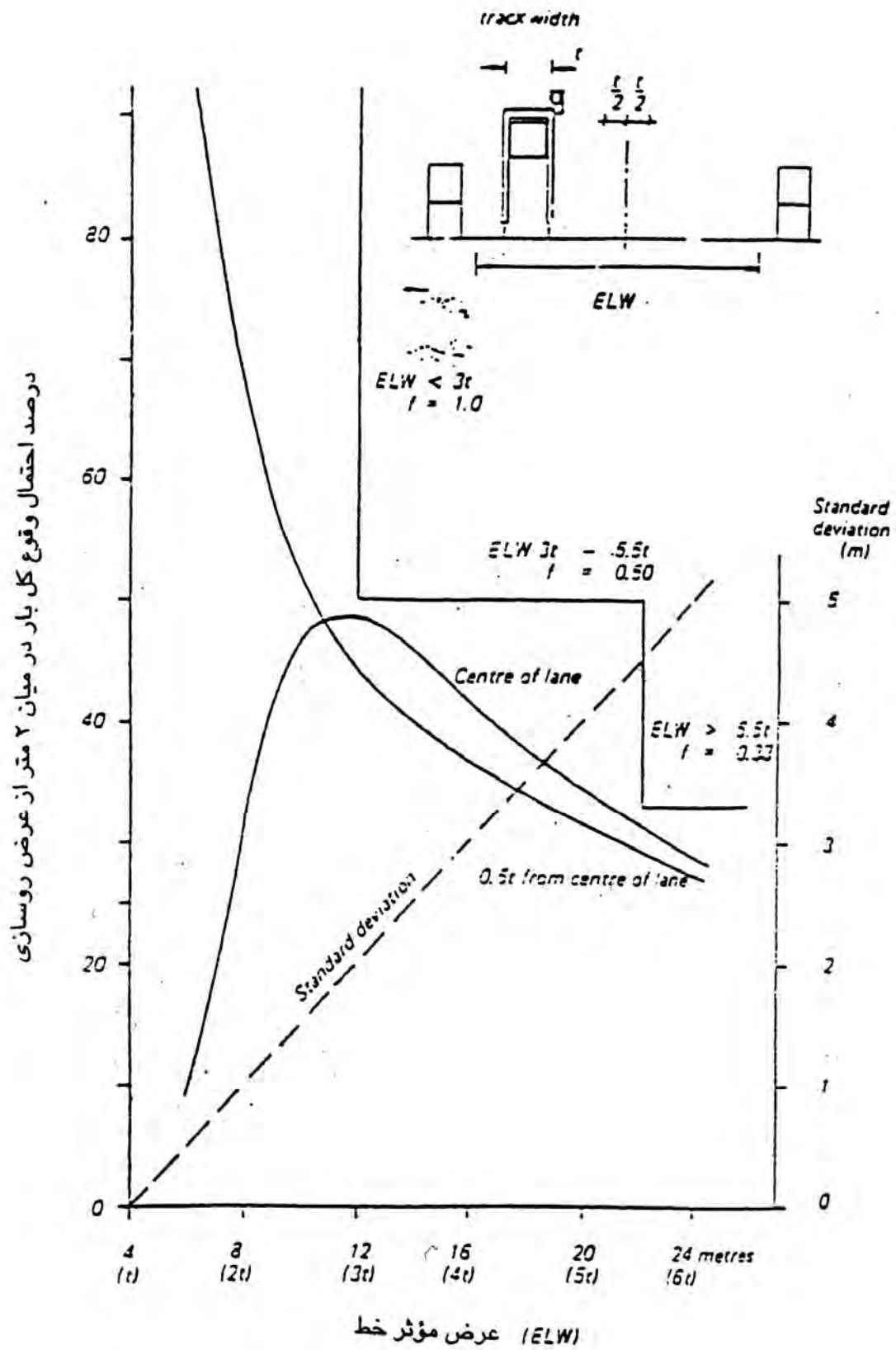


FACE AREA
= 0.0174 m²

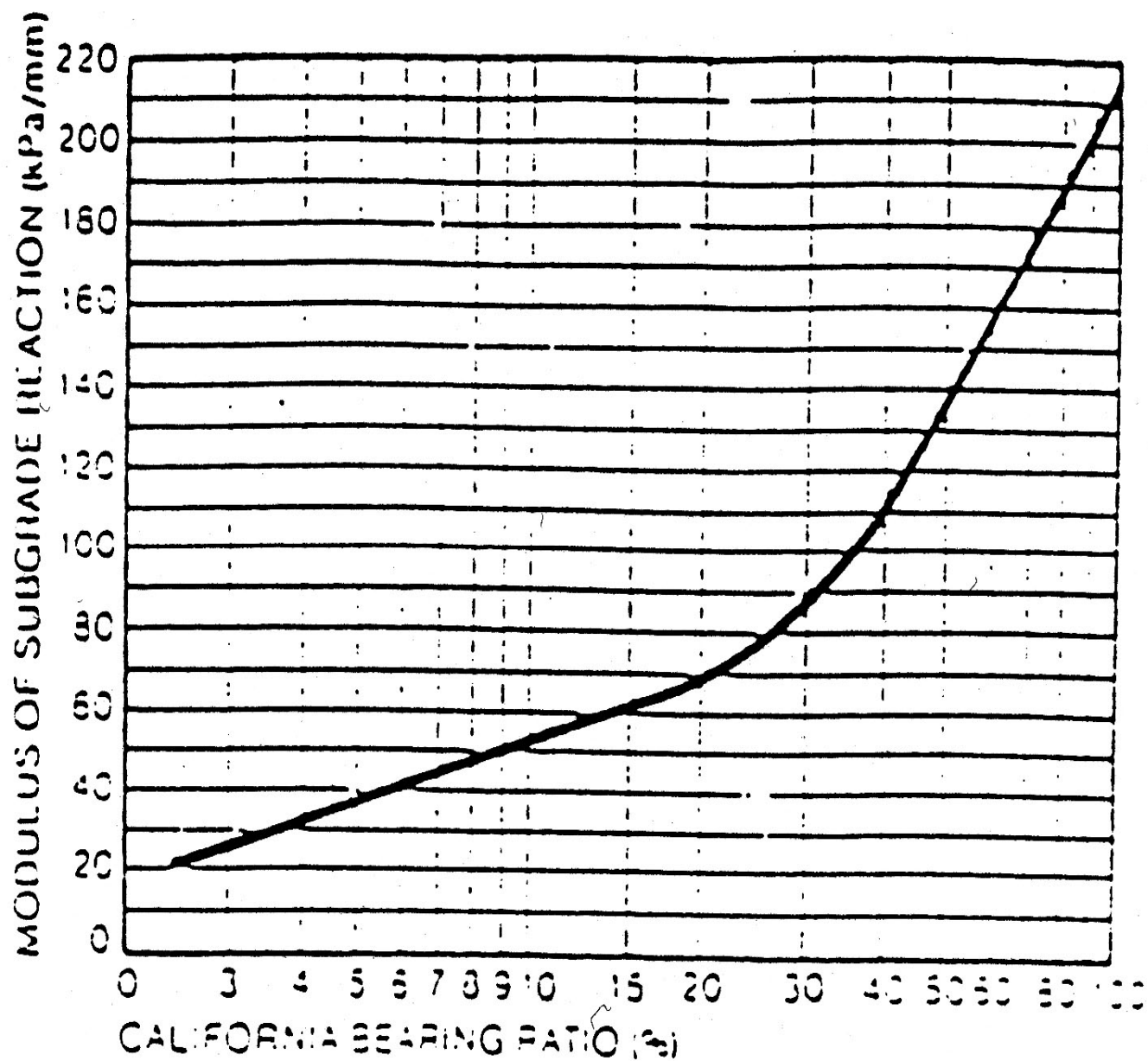
گراف شماره ۲-۳ - ابعاد کانتینر



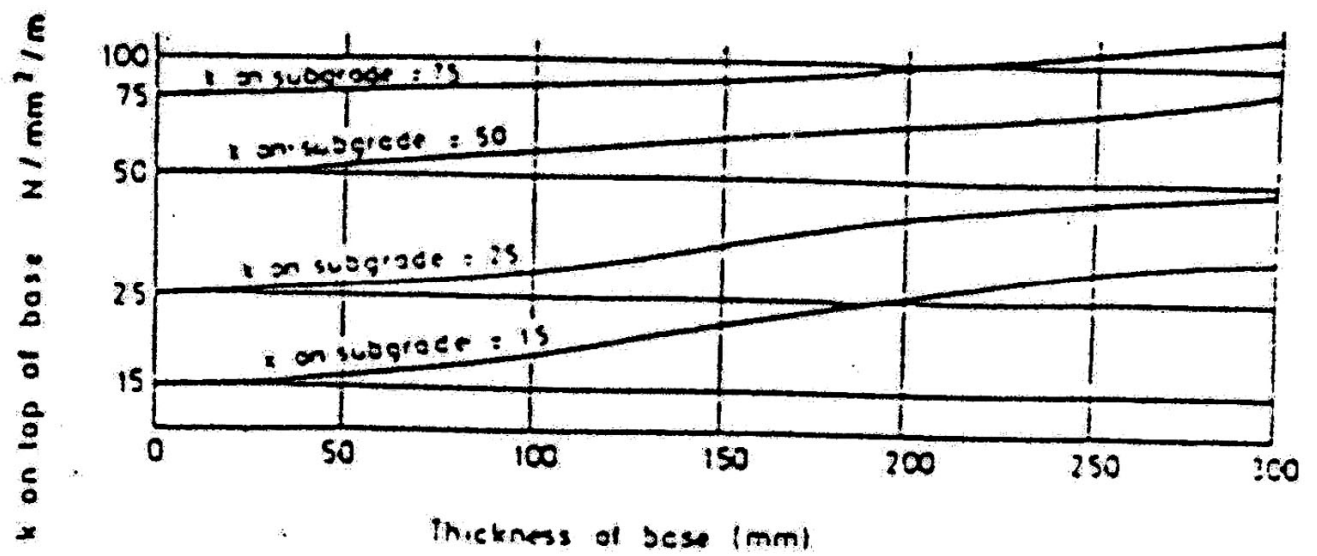
گراف شماره ۲-۴ - تأثیرات حرکات جانبی وسیله نقلیه بر روی خط



گراف شماره ۲-۵ - تأثیر عرض خط

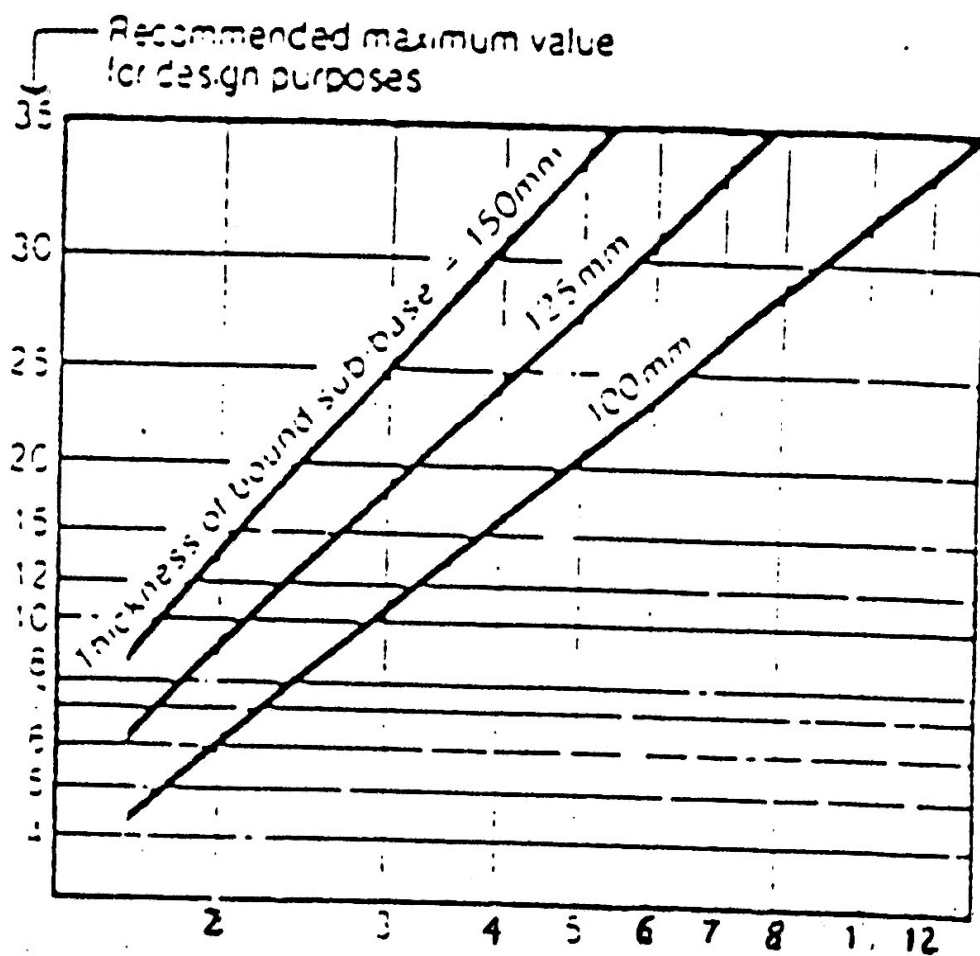


گراف شماره ۲-۶ - رابطه بین ضریب عکس العمل سابگرید و CBR (NAASRA, 1987)



گراف شماره ۲-۷ - اثرات زیر اساس غیرچسبنده بر روی K طراحی (MARAIS 1979)

مقاومت مؤثر سابگرید برای طرح ضخامت بتن برحسب درصد CBR



مقاومت اندازه‌گیری شده سابگرید برحسب درصد CBR

گراف شماره ۸-۲ - اثرات زیر اساس غیرچسبنده بر روی مقاومت طراحی سابگرید CBR (NAASRA, 1987)

فصل سوم - طراحی روسازی با استفاده از گراف‌های طراحی

۳-۱ - مقدمه - ارزیابی و محاسبه بارها (بارگذاری)

هدف از این بخش این است که نشان دهد که چگونه مقدار نشانه طبقه‌بندی بار (LCI) به یک وسیله نقلیه (PLANT) در یک موقعیت ویژه اعمال می‌شود. در ابتدا مقدار «بار چرخ محوطه بندر» (PAWL) از یک قسمت از محوطه بندر محاسبه و سپس مقدار LCI مشخص می‌شود. PAWL یک واحد بدون بعد است که برای مشخص نمودن اثر تخریبی نسبی نوع وسیله نقلیه مورد استفاده قرار گرفته، بکار می‌رود. رابطه بین PAWL و LCI در جدول شماره ۴ - ۵ داده شده است. این بخش همچنین مقادیر LCI را برای انواع دستگاه‌های معمول برای مواقعی که محاسبه مقادیر PAWL غیرعملی است، نشان می‌دهد.

۳-۲ - مفهوم خرابی روسازی

این دستورالعمل از فرمولی که بوسیله HEUKELOM و KLOMP (سال ۱۹۷۸) پیشنهاد شده استفاده نموده و خرابی روسازی (D) را برحسب بار چرخ (W) و تنش تماسی (یا فشار چرخ)، P می‌دهد.

$$D = w^{3.75} \times p^{1.25}$$

در این دستورالعمل منظور از دستگاه (PLANT) وسیله‌ای است که کانتینرها را جابجا می‌کند. در جایی که دستگاه یک محموله را حمل می‌کند، وزن این محموله بایستی جایگزین وزن کانتینر شود.

مقدار ۳/۷۵ در معادله بالا بوسیله HEUKELOM و KLOMP پیشنهاد گردیده که این مقدار توسط تعدادی از محققین مورد سؤال می‌باشد. اگر این مقدار یک مقدار دیگری فرض می‌شد، وزن کانتینر بحرانی بکار رفته برای بدست آوردن اثر تخریبی دستگاه مقدار متفاوتی بدست می‌آمد. در هر حال اختلاف تا حدود ۵۰٪ در توان منجر به اختلاف در وزن کانتینر بحرانی تا مقدار ۳٪ می‌شود که مقدار زیادی نمی‌باشد و بنابراین این مقدار همان ۳/۷۵ در نظر گرفته شده است.

واحد بکار رفته برای تعیین اثر خرابی، PAWL می‌باشد که همانطور که در بالا شرح داده شد، برابر است با:

بار چرخ: ۱۲۰۰۰ کیلوگرم (۲۶۴۵۵ lb)

فشار تماس: ۰/۸ N/mm² (۸/۱۵ kg/cm یا ۱۱۶ lb/in²)

اثر تخریبی D برحسب PAWL بصورت زیر می‌باشد:

$$D = \left(\frac{w}{12000}\right)^{3.75} \times \left(\frac{P}{0.8}\right)^{1.25} \quad (\text{واحد SI}) \quad (3-1)$$

که در این رابطه :

W = بار چرخ (kg)

P = فشار چرخ (N/mm²)

در موقع مشخص کردن بار و فشار چرخ یک دستگاه دو آیتم بایستی مدنظر قرار گیرد.

۱- اثر خرابی متوسط ناشی از هر آیتم دستگاه: این خرابی با محاسبه مقادیر PAWL مربوط به هر وزن کانتینر لیست شده در جدول ۳ - ۱ بدست می‌آید. هرکدام از این مقادیر PAWL در «فاکتور اندازه اختلاط^۱» لیست شده در جدول ۳ - ۱ ضرب می‌شود و جمع این مقادیر بر عدد ۱۰۰ تقسیم می‌گردد تا اثر خرابی متوسط بدست آید. این اثر خرابی متوسط در تعداد عبورهای آن دستگاه ضرب می‌گردد تا کل خرابی روسازی بدست آید.

۲- اثر خرابی بحرانی ناشی از هر آیتم دستگاه، اگر دستگاه یک تعداد مساوی از هر وزن کانتینر را حمل کند، اثر خرابی بحرانی با استفاده از حداکثر وزن کانتینر در معادله ۱ - ۲ بدست می‌آید. بهرحال این حالت کمتر اتفاق می‌افتد زیرا وزن تعداد خیلی کمی از کانتینرها به اندازه وزن سنگین‌ترین آنها است. بیشتر خرابی روسازی بوسیله حرکت دستگاهی که نسبت بیشتری از کانتینرهای با وزن کمتر را حمل می‌کنند، بوجود می‌آید. اثر خرابی بحرانی با استفاده از این کانتینرهای با وزن پایین‌تر بدست می‌آید.

۳-۳- محاسبه خرابی متوسط و خرابی بحرانی

جدول ۳ - ۱ ترکیبی از کانتینرهای با وزن‌های مختلف را که بر روی بنادر عبور می‌کنند را نشان می‌دهد. این جدول از (NATIONAL PORTS COUNCIL) گرفته شده است.

جدول ۳ - ۱ تشکیل یک اساس را برای محاسبه اثر تخریبی متوسط و بحرانی هر نوع دستگاهی که در حال حمل محموله می‌باشد را می‌دهد. نحوه محاسبه به شرح زیر است:

۱- انتخاب ترکیبی از کانتینرهای ۲۰ و ۴۰ فوتی که بایستی حمل شوند. جدول ۳ - ۱ درصدهایی برای ۵ نوع ترکیب که دارای محدوده‌ای از نسبت همه کانتینرهای ۴۰ فوتی به همه کانتینرهای ۲۰ فوتی می‌باشد را نشان می‌دهد.

۲ - محاسبه بارهای چرخ برای دستگاه با هر وزنی از کانتینر با استفاده از روابط بخش ۳-۱۱.

۳ - اصلاح بارهای چرخ تا آنجا که لازم است برای درنظر گرفتن نزدیکی چرخها. به بخش ۳-۱۰ مراجعه شود.

۴ - محاسبه اثر تخریبی هر چرخ در طول یک طرف از دستگاه با استفاده از فرمول ۳ - ۱. جدول ۳ - ۲ نتیجه حل این معادله را نشان می‌دهد.

۵ - جمع آثار خرابی همه چرخها بر روی یک طرف از دستگاه برای بدست آوردن اثر خرابی کلی دستگاه بازا هر افزایش در وزن کانتینر.

۶ - ضرب کردن همه اثرات خرابی با استفاده از جدول ۳ - ۱ برای پیدا کردن نسبتهای اثر خرابی هر وزنی از کانتینر. مجموع این ۳۵ مقدار بر ۱۰۰ تقسیم می‌گردد تا اثر خرابی متوسط بدست آید.

¹ Size- Mix Factor

جدول شماره ۳-۱- توزیع وزن کانتینرها با استفاده از وزن ناخالص (کل) کانتینرها

فاکتور اندازه اختلاط (نسبت کانتیرهای ۴۰ فوتی به کانتیرهای ۲۰ فوتی)					وزن کانتینرها (lb)	وزن کانتینرها (kg)
$\frac{0}{100}$	$\frac{40}{60}$	$\frac{50}{50}$	$\frac{60}{40}$	$\frac{100}{0}$		
.....
.....	.....	.....	.....	.....	۲۲۰۰	۱۰۰۰
۰/۴۶	۰/۲۸	۰/۲۳	۰/۱۸	.....	۴۰۰۰	۲۰۰۰
۰/۴۹	۰/۸۹	۰/۷۴	۰/۶۰	.....	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۳/۹۵	۱/۸۴	۱/۵۷	۱/۲۹	۰/۱۸	۸۰۰۰	۴۰۰۰
۳/۹۴	۲/۵۹	۲/۲۵	۱/۹۰	۰/۵۳	۱۰۰۰۰	۵۰۰۰
۳/۹۷	۲/۷۶	۲/۴۶	۲/۱۷	۰/۹۸	۱۲۰۰۰	۶۰۰۰
۳/۷۲	۲/۹۳	۲/۶۷	۲/۴۱	۱/۳۷	۱۴۰۰۰	۷۰۰۰
۳/۴۱	۳/۲۷	۳/۱۶	۳/۰۵	۲/۶۰	۱۶۰۰۰	۸۰۰۰
۳/۶۶	۳/۱۷	۳/۱۱	۳/۰۵	۲/۸۲	۱۸۰۰۰	۹۰۰۰
۴/۰۴	۳/۵۲	۳/۴۸	۳/۴۴	۳/۳۰	۲۰۰۰۰	۱۰۰۰۰
۴/۵۰	۴/۲۰	۴/۲۴	۴/۲۸	۴/۴۳	۲۲۰۰۰	۱۱۰۰۰
۴/۴۱	۴/۹۹	۵/۱۲	۵/۲۴	۵/۷۳	۲۴۰۰۰	۱۲۰۰۰
۴/۶۷	۴/۶۷	۴/۷۶	۴/۸۳	۵/۱۲	۲۶۰۰۰	۱۳۰۰۰
۵/۶۳	۵/۱۴	۵/۲۶	۵/۳۸	۵/۸۵	۲۸۰۰۰	۱۴۰۰۰
۶/۱۳	۵/۲۹	۵/۲۱	۵/۱۲	۴/۷۸	۳۰۰۰۰	۱۵۰۰۰
۶/۲۱	۵/۷۶	۵/۶۷	۵/۵۸	۵/۲۲	۳۲۰۰۰	۱۶۰۰۰
۶/۴۶	۵/۹۱	۵/۸۳	۵/۷۵	۵/۴۵	۳۴۰۰۰	۱۷۰۰۰
۷/۵۸	۶/۱۰	۶	۵/۹۱	۵/۵۵	۳۶۰۰۰	۱۸۰۰۰
۹/۱۹	۶/۹۸	۶/۸۳	۶/۶۸	۶/۰۸	۳۸۰۰۰	۱۹۰۰۰
۶/۷۲	۸/۵۸	۸/۴۳	۸/۲۸	۷/۶۷	۴۰۰۰۰	۲۰۰۰۰
۴/۰۸	۸/۱۹	۸/۵۶	۸/۹۳	۱۰/۴۰	۴۲۰۰۰	۲۱۰۰۰
۲/۴۷	۶/۴۳	۸/۰۲	۷/۶۰	۹/۹۵	۴۴۰۰۰	۲۲۰۰۰
۰/۲۴	۳/۶۹	۴	۴/۱۳	۵/۵۳	۴۶۰۰۰	۲۳۰۰۰
۰/۱۵	۱/۲۵	۱/۵۰	۱/۷۵	۲/۷۵	۴۸۰۰۰	۲۴۰۰۰
.....	۰/۴۷	۰/۵۵	۰/۶۳	۰/۹۵	۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰
.....	۰/۲۷	۰/۳۳	۰/۴۰	۰/۶۷	۵۲۰۰۰	۲۶۰۰۰
.....	۰/۲۹	۰/۳۶	۰/۴۳	۰/۷۲	۵۴۰۰۰	۲۷۰۰۰
.....	۰/۲۱	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۵۳	۵۶۰۰۰	۲۸۰۰۰
.....	۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۲۶	۰/۴۳	۵۸۰۰۰	۲۹۰۰۰
.....	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۲۸	۶۰۰۰۰	۳۰۰۰۰
.....	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۶۲۰۰۰	۳۱۰۰۰
.....	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۶۴۰۰۰	۳۲۰۰۰
.....	.....	.....	.....	.....	۶۶۰۰۰	۳۳۰۰۰
.....	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۵	۶۸۰۰۰	۳۴۰۰۰

جدول ۳-۲- مقادیر اثر خرابی

P ۱/۷N/mm ² تأثیر لاستیکی محکم ۲۴۶Lb/in. ²	P ۱/۲N/mm ² ۱۲/۲Kg/Cm. ² ۱۷۴Lb/in. ²	P ۱/۱N/mm ² ۱۱/۲Kg/Cm. ² ۱۵۹Lb/in. ²	P ۱N/mm ² ۱۰/۲Kg/Cm. ² ۱۴۵Lb/in. ²	P ۰/۹N/mm ² ۹/۲Kg/Cm. ² ۱۳۰Lb/in. ²	P ۰/۸N/mm ² ۸/۲Kg/Cm. ² ۱۱۶Lb/in. ²	P ۰/۷N/mm ² ۷/۱Kg/Cm. ² ۱۰۱Lb/in. ²	وزن (lb)	وزن (lb)
.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	۲۰۰۰	۱۰۰۰
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	۴۰۰۰	۲۰۰۰
۰/۰۱	۱/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	.....	۶۰۰۰	۳۰۰۰
۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۸۰۰۰	۴۰۰۰
۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۱۰۰۰۰	۵۰۰۰
۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۶	۱۲۰۰۰	۶۰۰۰
۰/۳۴	۰/۲۲	۰/۲۰	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۱	۱۴۰۰۰	۷۰۰۰
۰/۵۶	۰/۳۶	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۱۸	۱۶۰۰۰	۸۰۰۰
۰/۸۷	۰/۵۶	۰/۵۱	۰/۴۵	۰/۳۹	۰/۳۴	۰/۲۹	۱۸۰۰۰	۹۰۰۰
۱/۳۰	۰/۸۴	۰/۷۵	۰/۶۷	۰/۵۸	۰/۵۰	۰/۴۳	۲۰۰۰۰	۱۰۰۰۰
۱/۸۵	۱/۲۰	۱/۰۷	۰/۹۵	۰/۸۴	۰/۷۲	۰/۶۱	۲۲۰۰۰	۱۱۰۰۰
۲/۵۷	۱/۶۶	۱/۴۹	۱/۳۲	۱/۱۶	۱	۰/۸۵	۲۴۰۰۰	۱۲۰۰۰
۳/۴۶	۲/۲۴	۲/۰۱	۱/۷۸	۱/۵۶	۱/۳۵	۱/۱۴	۲۶۰۰۰	۱۳۰۰۰
۴/۵۷	۲/۹۶	۲/۶۵	۲/۳۶	۲/۰۷	۱/۷۸	۱/۵۱	۲۸۰۰۰	۱۴۰۰۰
۵/۹۲	۳/۸۳	۳/۴۴	۳/۰۵	۲/۶۸	۲/۳۱	۱/۹۵	۳۰۰۰۰	۱۵۰۰۰
۷/۵۵	۴/۸۸	۴/۳۸	۳/۸۹	۳/۴۱	۲/۹۴	۲/۴۹	۳۲۰۰۰	۱۶۰۰۰
۹/۴۷	۶/۱۳	۵/۵۰	۴/۸۸	۴/۲۸	۳/۶۹	۳/۱۲	۳۴۰۰۰	۱۷۰۰۰
۱۱/۷۴	۷/۵۹	۶/۸۱	۶/۰۵	۵/۳۰	۴/۵۷	۳/۸۷	۳۶۰۰۰	۱۸۰۰۰
۱۴/۳۷	۹/۳۰	۸/۳۴	۷/۴۱	۶/۴۹	۵/۶۰	۴/۷۴	۳۸۰۰۰	۱۹۰۰۰
۱۷/۴۲	۱۱/۲۷	۱۰/۱۱	۸/۹۸	۷/۸۷	۶/۷۹	۵/۷۵	۴۰۰۰۰	۲۰۰۰۰
۲۰/۹۲	۱۳/۵۴	۱۲/۱۴	۱۰/۷۸	۹/۴۵	۸/۱۵	۶/۹۰	۴۲۰۰۰	۲۱۰۰۰
۲۴/۹۱	۱۶/۱۲	۱۴/۴۶	۱۲/۸۳	۱۱/۲۵	۹/۷۱	۸/۲۲	۴۴۰۰۰	۲۲۰۰۰
۲۹/۴۳	۱۹/۰۴	۱۷/۰۸	۱۵/۱۶	۱۳/۲۹	۱۱/۴۷	۹/۷۱	۴۶۰۰۰	۲۳۰۰۰
۳۴/۵۲	۲۲/۳۳	۲۰/۰۳	۱۷/۷۸	۱۵/۵۹	۱۳/۴۵	۱۱/۳۹	۴۸۰۰۰	۲۴۰۰۰
۴۰/۲۳	۲۶/۰۳	۲۳/۳۵	۲۰/۷۲	۱۸/۱۷	۱۵/۶۸	۱۳/۲۷	۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰
۴۶/۶۰	۳۰/۱۵	۲۷/۰۵	۲۴/۰۱	۲۱/۰۵	۱۸/۱۶	۱۵/۳۷	۵۲۰۰۰	۲۶۰۰۰
۵۳/۶۹	۳۴/۷۴	۳۱/۱۶	۲۷/۶۶	۲۴/۲۵	۲۰/۹۳	۲۰/۷۱	۵۴۰۰۰	۲۷۰۰۰
۶۱/۵۳	۳۹/۸۱	۳۵/۷۱	۳۱/۷۰	۲۷/۷۹	۲۳/۹۸	۲۰/۳۰	۵۶۰۰۰	۲۸۰۰۰
۷۰/۱۹	۴۵/۴۱	۴۰/۷۳	۳۶/۱۶	۳۱/۷۰	۲۷/۳۶	۲۳/۱۵	۵۸۰۰۰	۲۹۰۰۰
۷۹/۷۰	۵۱/۵۷	۴۶/۲۵	۴۱/۰۶	۳۵/۹۹	۳۱/۰۷	۲۶/۲۹	۶۰۰۰۰	۳۰۰۰۰
۹۰/۱۳	۵۸/۳۲	۵۲/۳۱	۴۶/۴۳	۴۰/۷۰	۳۵/۱۳	۲۹/۷۳	۶۲۰۰۰	۳۱۰۰۰
۱۰۱/۵۳	۶۵/۶۹	۵۸/۹۲	۵۲/۳۰	۴۵/۸۵	۳۹/۵۷	۳۳/۴۹	۶۴۰۰۰	۳۲۰۰۰

ادامه جدول ۳-۲- مقادیر اثر خرابی

P ۱/۷N/mm ² تأثیر لاستیکی محکم ۲۴۶Lb/in. ²	P ۱/۲N/mm ² ۱۲/۲Kg/Cm. ² ۱۷۴Lb/in. ²	P ۱/۱N/mm ² ۱۱/۲Kg/Cm. ² ۱۵۹Lb/in. ²	P ۱N/mm ² ۱۰/۲Kg/Cm. ² ۱۴۵Lb/in. ²	P ۰/۹N/mm ² ۹/۲Kg/Cm. ² ۱۳۰Lb/in. ²	P ۰/۸N/mm ² ۸/۲Kg/Cm. ² ۱۱۶Lb/in. ²	P ۰/۷N/mm ² ۷/۱Kg/Cm. ² ۱۰۱Lb/in. ²	وزن (lb)	وزن (lb)
۱۱۳/۹۵	۷۳/۷۲	۶۶/۱۳	۵۸/۷۰	۵۱/۴۶	۴۴/۴۱	۳۷/۵۸	۶۶۰۰۰	۳۳۰۰۰
۱۲۷/۴۴	۸۲/۴۶	۷۳/۹۶	۶۵/۶۵	۵۷/۵۵	۴۹/۶۷	۴۲/۰۴	۶۸۰۰۰	۳۴۰۰۰
۱۴۲/۰۸	۹۱/۹۳	۸۲/۴۵	۷۳/۱۹	۶۴/۱۶	۵۵/۳۸	۴۶/۸۶	۷۰۰۰۰	۳۵۰۰۰
۱۵۷/۹۱	۱۰۲/۱۷	۹۱/۶۴	۸۱/۳۵	۷۱/۳۱	۶۱/۵۵	۵۲/۰۹	۷۲۰۰۰	۳۶۰۰۰
۱۷۵	۱۱۳/۲۳	۱۰۱/۵۶	۹۰/۱۵	۷۹/۰۳	۶۸/۲۱	۵۷/۷۲	۷۴۰۰۰	۳۷۰۰۰
۱۹۳/۴۰	۱۲۵/۱۳	۱۱۲/۲۴	۹۹/۶۳	۸۷/۳۴	۷۵/۳۸	۶۳/۷۹	۷۶۰۰۰	۳۸۰۰۰
۲۱۳/۱۹	۱۳۷/۹۴	۱۲۳/۷۲	۱۰۹/۸۳	۹۶/۲۷	۸۳/۰۹	۷۰/۳۲	۷۸۰۰۰	۳۹۰۰۰
۲۳۴/۴۲	۱۵۱/۶۷	۱۳۶/۰۴	۱۲۰/۷۶	۱۰۵/۸۶	۹۱/۳۷	۷۷/۳۲	۸۰۰۰۰	۴۰۰۰۰
۲۵۷/۱۶	۱۶۶/۳۹	۱۴۹/۲۴	۱۳۲/۴۸	۱۱۶/۱۳	۱۰۰/۲۳	۹۴/۸۲	۸۲۰۰۰	۴۱۰۰۰
۲۸۱/۴۸	۱۸۲/۱۳	۱۶۳/۳۶	۱۴۵/۰۱	۱۲۷/۱۲	۱۰۹/۷۱	۹۲/۸۵	۸۴۰۰۰	۴۲۰۰۰
۳۰۷/۴۵	۱۹۸/۹۳	۱۷۸/۴۳	۱۵۸/۳۹	۱۳۸/۸۴	۱۱۹/۸۳	۱۰۱/۴۱	۸۶۰۰۰	۴۳۰۰۰
۳۳۵/۱۳	۲۱۶/۸۴	۱۹۴/۴۹	۱۷۲/۶۵	۱۵۱/۳۴	۱۳۰/۶۲	۱۱۰/۵۴	۸۸۰۰۰	۴۴۰۰۰
۳۶۴/۶۰	۲۳۵/۹۰	۲۱۱/۵۹	۱۸۷/۸۳	۱۶۴/۶۵	۱۴۲/۱۱	۱۲۰/۲۶	۹۰۰۰۰	۴۵۰۰۰
۳۹۵/۹۲	۲۵۶/۱۷	۲۲۹/۷۷	۲۰۳/۹۶	۱۷۸/۷۹	۱۵۴/۳۲	۱۳۰/۵۹	۹۲۰۰۰	۴۶۰۰۰
۴۲۹/۱۸	۲۷۷/۶۸	۲۴۹/۷	۲۲۱/۰۹	۱۹۳/۸۱	۱۶۷/۲۸	۱۴۱/۵۶	۹۴۰۰۰	۴۷۰۰۰
۴۶۴/۴۳	۳۰۰/۵۰	۲۶۹/۵۳	۲۳۹/۲۶	۲۰۹/۷۳	۱۸۱/۰۲	۱۵۳/۱۹	۹۶۰۰۰	۴۸۰۰۰
۵۰۰/۷۷	۳۲۴/۶۵	۲۹۱/۲۰	۲۵۸/۴۹	۲۲۶/۵۹	۱۹۵/۵۷	۱۶۵/۵۱	۹۸۰۰۰	۴۹۰۰۰
۵۴۱/۲۶	۳۵۰/۲۱	۳۱۴/۱۱	۲۷۸/۸۳	۲۴۴/۴۳	۲۱۰/۹۶	۱۷۸/۵۳	۱۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰
.....

۳-۴ - محاسبه عمر طراحی (L)

عمر طراحی L معادل تعداد جابجایی بار بحرانی می‌باشد. بار بحرانی مورد استفاده برای بوجود آوردن گراف‌ها یعنی (اثر خرابی بحرانی $\times L$) برابر است با خرابی بوجود آمده بوسیله همه عبورهای تصادفی با بارهای مختلف در نتیجه:

اثر خرابی متوسط \times کل تعداد جابجایی‌های وسیله نقلیه

$$L = \frac{\text{اثر خرابی بحرانی}}{\text{اثر خرابی متوسط} \times \text{کل تعداد جابجایی‌های وسیله نقلیه}}$$

۲-۳

اثر خرابی بحرانی

اثر خرابی از هر آیتیم برابر است با تعداد PAWL که به یک قسمت از روسازی در هر عبور اعمال می‌شود. وسیله نقلیه‌ای با ۲ محور، هر محور با دو چرخ، که در یک خط باریک در حال حرکت است را در نظر بگیرید. یک قسمت از روسازی تحت تأثیر توأم بار چرخهای جلو و عقب از هر طرف از وسیله نقلیه برای هر عبور قرار می‌گیرد. در این صورت اثر خرابی برابر است با مجموع اثرات خرابی همه چرخها بر روی یک طرف وسیله نقلیه.

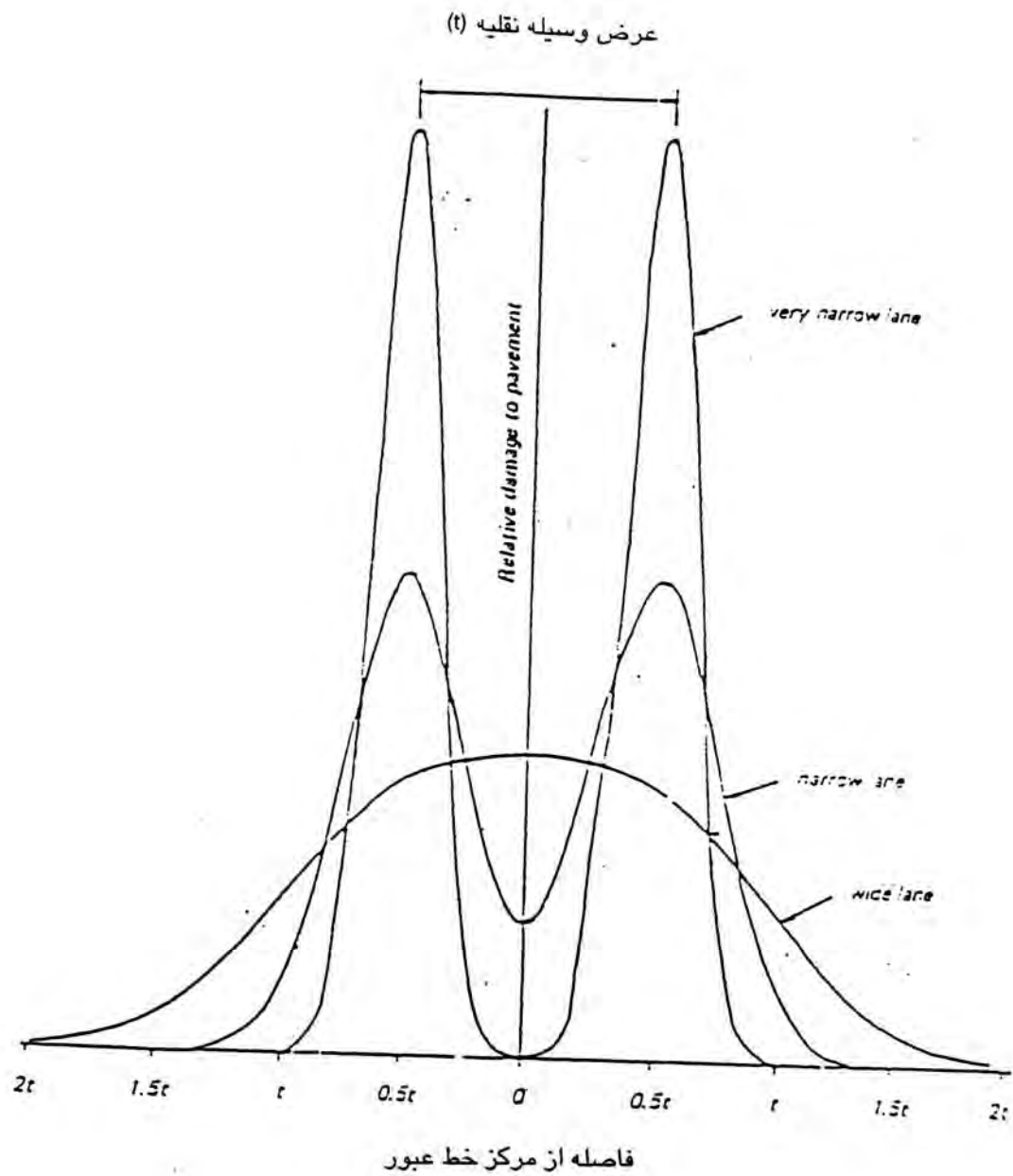
برای محاسبه کل تعداد جابجایی دستگاه بر روی یک سطح، مهندس طراح بایستی تعداد رفت و آمد را بر روی یک نقطه از روسازی مشخص نماید. او باید این کار را با ضرب کردن تعداد کل جابجایی معادل بار بحرانی L و با استفاده از یک فاکتور که در قسمت ۳ - ۶ شرح داده می‌شود، قبل از استفاده از گرافهای طراحی انجام دهد.

۳-۵ - لاستیک‌ها

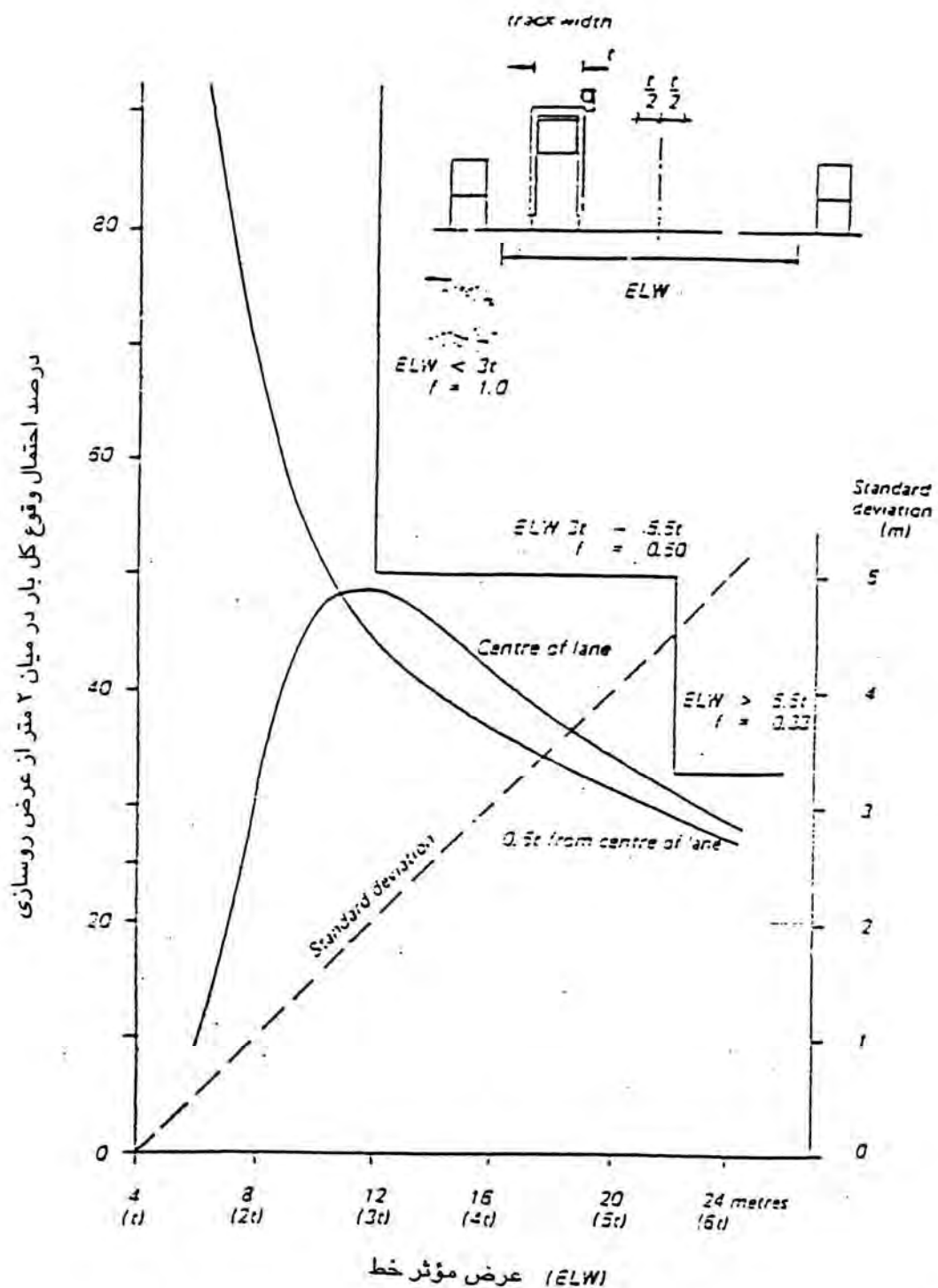
فرض می‌گردد که سطح تماس بصورت دایره‌ای و فشار تماس مساوی با فشار لاستیک باشد. در بعضی از وسایل نقلیه بزرگتر ممکن است از تایرهایی استفاده شود که برای عملیات بر روی زمین نرم مناسب باشند. زمانی که چنین تایرهایی بر روی سطوح روسازی حرکت می‌کنند، سطح تماس بصورت دایره‌ای نبوده و تنش تماس زیر لاستیک بیشتر از فشار تایر می‌باشد. گرچه این امر بر روی تنش‌های ایجاد شده در مصالح رویه اثر می‌گذارد، تمرکز تنش بطور عمده‌ای در سطوح پایین‌تر روسازی مستهلک می‌شوند. در بعضی از تریلرهای پایانه از تایرهای لاستیکی سخت استفاده شده است. فشار تماس بستگی به بار تریلر دارد ولی یک مقدار $1/7 \text{ N/mm}^2$ (246 lb/in^2) معمولاً بکار می‌رود که در جدول شماره ۳ - ۲ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدول ۳-۳ - ضرائب تأثیر بار دینامیکی

الف - ترمز کردن	FD
لیفتراک جلو بر (محور جلو فقط)	۱/۳
استرادل کریر	۱/۵
لیفتراک جانبی	۱/۲
تراکتور و تریلر	۱/۱
ب - پیچیدن	
لیفتراک جلو بر	۱/۴
استرادل کریر	۱/۶
لیفتراک جانبی	۱/۳
تراکتور و تریلر	۱/۳
ج - شتاب	
لیفتراک جلو بر	۱/۱
استرادل کریر	۱/۱
لیفتراک جانبی	۱/۱
تراکتور و تریلر	۱/۱
د - سطح ناهموار	
لیفتراک جلو بر	۱/۲
استرادل کریر	۱/۲
لیفتراک جانبی	۱/۲
تراکتور و تریلر	۱/۲
تذکر: چنانچه ۲ یا ۳ تا از این شرایط همزمان اتفاق بیفتد فاکتورهای بار دینامیکی در یکدیگر ضرب می‌شوند.	



شکل شماره ۳-۱- تأثیرات حرکات جانبی وسیله نقلیه بر روی خط بر روی خرابی نسبی



شکل شماره ۳-۲- تأثیرات عرض مؤثر خط بر روی خرابی نسبی

۳-۶ - بارهای دینامیکی

اثرات بارهای دینامیکی را که توسط پیچیدن، شتاب گرفتن، ترمز گرفتن و ناهمواری رویه بوجود می‌آید، بایست از طریق فاکتور f_d اعمال نمود.

زمانی که یک بخش از روسازی تحت تاثیر اثرات اینگونه بارها قرار می‌گیرد، بارهای چرخ در فاکتورهای داده شده در جدول ۳-۳ ضرب می‌شود. توجه شود که بر روی بعضی از محورها، فاکتورها ممکن است منفی باشد. برای مثال تحت نیروی ترمز، یک فاکتور مثبت بایستی به محورهای جلویی اعمال شود و یک فاکتور منفی بایستی به محورهای عقبی اعمال گردد. بعنوان یک قاعده کلی، باید اطمینان حاصل کرد که وسیله نقلیه از نظر وزن نه اضافه می‌شود و نه کم می‌گردد. توجه گردد که این فاکتورها به بارهای شبه استاتیکی یعنی بارهایی که برای یک فاصله زمانی قابل توجه مقداری کاهش یا افزایش یافته‌اند، اعمال می‌شوند. بارهای انتقالی آنی نظیر یک وسیله نقلیه در حال حرکت بر روی یک درز انبساط روسازی، از طریق اثرات اینرسی روسازی تمایل به کاهش دارد و چنین تغییراتی در تنش برای مقاصد این دستورالعمل در نظر گرفته نشده است.

۳-۷ - کانالیزه بودن خط

جابجایی دستگاه بر روی یک روسازی عریض، یک مسیر خاص را دنبال نمی‌کند، بلکه از یک طرف به طرف دیگر تغییر جهت می‌دهد. اگر خط کشی با تقریباً همان عرض دستگاه وجود داشته باشد، کانالیزه شدن شدید می‌شود. شکل ۳-۱ نشان می‌دهد که چگونه خرابی نسبی برای یک روسازی با عرض خط تغییر می‌کند. شکل ۳-۲ اثر عرض خط را بر روی تعداد بارهای چرخ عبوری بر روی خط وسط یک خط عبور و در فاصله نصف عرض مسیر از آن را نشان می‌دهد. این شکل از نتیجه عبور استرادل کاربر بوجود آمده است. همچنین فاکتورهای عمر طراحی برای روسازی‌های زیادی در رابطه با عرض خط که برحسب عرض عبور وسیله نقلیه می‌باشد، نشان داده شده است. برای استرادل کاربرهایی که در حال صفافی کانتینرهای در ردیف‌های طولانی هستند، چرخها به عرض‌های خیلی باریکی محدود می‌شوند. در این گونه موارد نشست دائمی (RUTTING) اتفاق می‌افتد. عمر طراحی روسازی بر طبق منحنی پلهای نشان داده شده در شکل ۳-۲ اصلاح می‌شود. عمر طراحی (L) در فاکتور نشان داده شده در هر قسمت افقی منحنی پلهای ضرب می‌گردد.

۳-۸ - بارهای استاتیکی

بارهای استاتیکی می‌تواند باعث تنش‌های خیلی زیادی در روسازی شود. اگر روسازی برای تحمل بارهای تکراری چرخ طراحی شده باشد. معمولاً این روسازی قادر به تحمل بارهای استاتیکی بدون بوجود آمدن خرابی سازه‌ای خواهد بود. با این وجود مصالح بکار رفته در رویه بایستی طوری اجراء شود که در مقابل بارها و تنش‌های تماس وارده مقاومت نماید. موارد زیر که معمولاً اتفاق می‌افتد، از نقطه نظر رویه و سازه‌ای نیاز به دقت ویژه‌ای دارد.

جدول ۳-۴- بار ناشی از تجمع کانتینرها بر روی روسازی

بار وارده به روسازی برای اشکال مختلف صفافی						تنش تماس LB/IN ²	تنش تماس N/mm ²	کاهش در وزن خالص	ارتفاع صفافی
بلوک LB	بلوک Kg	ردیف LB	ردیف Kg	انفرادی LB	انفرادی Kg				
۶۷۱۹۶	۳۰۴۸۰	۳۳۶۰۰	۱۵۲۴۰	۱۶۸۰۰	۷۶۲۰	۳۷۵	۲/۵۹	۰	۱
۱۲۰۹۴۴	۵۴۸۶۰	۶۰۴۷۲	۲۷۴۳۰	۳۰۲۴۷	۱۳۲۷۰	۶۷۷	۴/۶۷	%۱۰	۲
۱۶۱۲۶۶	۷۳۱۵۰	۸۰۶۴۴	۳۶۵۸۰	۴۰۳۲۲	۱۸۲۹۰	۹۰۳	۶/۲۳	%۲۰	۳
۱۸۸۱۴۰	۸۵۳۴۰	۹۴۰۷۰	۴۲۶۷۰	۴۷۰۴۶	۲۱۳۴۰	۱۰۵۴	۷/۲۷	%۳۰	۴
۲۰۱۶۰۰	۹۱۴۴۰	۱۰۰۸۰۰	۴۵۷۲۰	۵۰۴۰۰	۲۲۸۶۰	۱۱۲۸	۷/۷۸	%۴۰	۵

۳-۸-۱- بارهای گوشه در کانتینر (پایه‌های گوشه کانتینر)

کانتینرها در ردیف‌ها یا بلوک‌هایی که معمولاً در ارتفاع ۳ تایی یا حداکثر ارتفاع ۵ تایی بر روی یکدیگر قرار می‌گیرند. پایه گوشه‌ای به اندازه $178\text{mm} \times 162\text{mm}$ ($7 \times 6 \frac{3}{8}\text{in}$) و به اندازه $12/5\text{ mm}$ ($0/5\text{ in}$) از زیر کف کانتینر بیرون می‌آید. جدول شماره ۳-۴ حداکثر بارها و تنش‌هایی را که در بیشتر حالات اتفاق می‌افتد، نشان می‌دهد. از آنجا که بعید است که همه کانتینرهای قرار گرفته بر روی هم در یک نقطه کاملاً پُر باشند، لذا حداکثر وزن کل (ناخالص) به مقداری که در جدول نشان داده شده، کاهش می‌یابند. معادله ۳-۱ را می‌توان برای تعیین مقدار PAWL و بنابراین LCI برای یک سیستم تجمع کانتینر مورد استفاده قرار داد. صفافی کردن با ارتفاع زیاد نیاز به یک روسازی گران قیمت دارد. ملاحظات که بایستی در نظر گرفته شود یکی استفاده از بالست‌های مخصوص برای پایه‌های کانتینر و دیگری صفافی کانتینرها بر روی بستر شنی می‌باشد. معمولاً در روسازی‌های با بار بیش از اندازه (غیرمجاز) خرابی مستقیماً زیر پایه‌های کانتینر اتفاق می‌افتد.

۳-۸-۲- چرخهای زیرسری تریلرها (چرخهای دالی تریلرها)

چهار چرخ زیرسری در تریلرها وجود دارد که دارای 88 mm ($3/5\text{ in}$) عرض و 225 mm (9 in) قطر می‌باشند. زمانی که تریلر در حال پارک است، سطح تماس هر چرخ تقریباً $10 \times 88\text{ mm}$ ($3 \frac{1}{2} \times \frac{3}{8}\text{in}$) و تنش‌ها 40 N/mm^2 (5800 lb/in^2) می‌باشند. بعضی از تریلرها دارای صفحات پاشنه‌ای بوده و دارای اندازه $150\text{mm} \times 225\text{mm}$ ($6\text{in} \times 9\text{in}$) و ایجاد تنش‌های تماس 2N/mm^2 (290lb/in^2) می‌نمایند. رابطه ۳-۱ می‌تواند برای تعیین PAWL و در نتیجه یک LCI برای چرخهای زیرسری تریلر مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۸-۳- جک‌های تثبیت کننده

این جک‌ها برای تثبیت لیفت تراک‌های جانبی در هنگام بلند کردن یک کانتینر مورد استفاده قرار می‌گیرند. جک‌های می‌توانند تا ۷۰٪ از کل وزن وسیله نقلیه و کانتینر را در هنگام عملیات تحمل کنند ولی تنها حداکثر تنش‌های تماسی برابر با 2 N/mm^2 ($1/3\text{ lb/in}^2$) را تولید می‌کنند. در هر حال از آنجا که ممکن است آنها بر روی یک سطح از روسازی بطور مکرر مورد استفاده قرار گیرند، بایستی کنترل شوند. فرمول ۳-۱ می‌تواند برای تعیین PAWL و در نتیجه تعیین LCI مورد استفاده قرار گیرد.

۳ - ۹ - اندیکس طبقه‌بندی بار

وسایل نقلیه می‌توانند بر طبق جدول ۳ - ۵ طبقه‌بندی شوند.

بایستی توجه کرد که افزایش در ضخامت روسازی در هنگامی که از یک طبقه به طبقه دیگر تغییری اتفاق می‌افتد، ثابت خواهد ماند، با وجودی که جدول ۳ - ۵ نشان دهنده این است که دامنه PAWL بطور فزاینده‌ای به دنبال تغییر از یک کلاس به کلاس بعدی دو برابر می‌شود.

جدول شماره ۳-۵ -

مقادیر LCI	PAWL
A	کمتر از ۲
B	۲ تا ۴
C	۴ تا ۸
D	۸ تا ۱۶
E	۱۶ تا ۳۲
F	۳۲ تا ۶۴
G	۶۴ تا ۱۲۸
H	۱۲۸ تا ۲۵۶
طبقه‌بندی شده نیست	بیشتر از ۲۵۶

۳ - ۱۰ - مقادیر LCI برای وسایل نقلیه متداول

پیش‌بینی نوع دستگاهی که بر روی سطح یک روسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد، ممکن است غیرممکن باشد. جدول ۳ - ۶ دامنه‌ای از اثرات خرابی‌ها (برحسب PAWL) را برای آیتم‌های دستگاه‌های معمولی نشان می‌دهد.

مقادیر LCI داده شده ممکن است در پروسه‌های طراحی مورد استفاده قرار گیرد. فاکتورهای اثرات خرابی برای حرکت معمولی، ترمز، پیچشی (CORNERING)، شتاب‌گیری و برای عملیات بر روی یک سطح ناهموار در جدول شماره ۳ - ۳ داده شده است. برای مثال اگر انتظار می‌رود که یک لیفت تراک چنگکی با ظرفیت کانتینر ۲۰ فوتی مورد استفاده قرار گیرد و این لیفت تراک قرار است که ترمز بگیرد و حرکت چرخشی بر روی روسازی داشته باشد. روسازی بایستی برای LCI برابر با کلاس «F» طراحی شود.

۳ - ۱۱ - فاکتورهای نزدیکی چرخها

محدودیت‌های طراحی، کرنش کششی افقی در پایین لایه اساس می‌باشد. اگر فقط یک چرخ در نظر گرفته شود، حداکثر کرنش کششی افقی در مرکز چرخ اتفاق می‌افتد و با فاصله گرفتن از چرخ کاهش می‌یابد. اگر دو چرخ با اندازه کافی به یکدیگر نزدیک باشند، کرنش در زیر هر چرخ به اندازه یک مقدار معینی که متعلق به دیگر چرخ است افزایش می‌یابد.

بارهای چرخ با ضرب کردن آنها در فاکتور نزدیکی مربوطه که از جدول ۳ - ۷ استخراج می‌شود، اصلاح می‌شوند. این فاکتورها بطریق زیر بدست می‌آیند. اگر نزدیکی چرخ در نظر گرفته نشود، تنش مربوطه، تنش شعاعی کششی که مستقیماً زیر چرخ بارگذاری شده قرار گرفته خواهد بود. اگر یک چرخ دیگر در نزدیکی آن وجود داشته باشد، آن چرخ نیز یک تنش کشش مماسی را دقیقاً در زیر چرخ اول بوجود می‌آورد.

این تنش مماسی به تنش شعاعی بوجود آمده بوسیله چرخ اولیه اضافه می‌شود. فاکتور نزدیکی برابر است با نسبت تجمع این تنش‌ها به تنش کششی شعاعی بوجود آمده از چرخ اولیه. معادلات زیر برای محاسبه تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$\partial R = \frac{W}{2} \left[\frac{3r^2 Z}{a^2} - \frac{1-2}{a + Za^2} \right]$$

$$\partial_t = \frac{W}{2} [1 - 2V] \left[\frac{Z}{a^2} - \frac{1}{a + Za^2} \right]$$

∂R = تنش شعاعی

∂_T = تنش مماسی

W = بار

در جایی که:

r = فاصله افقی بین چرخها

Z = عمق نقطه‌ای که تنش محاسبه می‌شود

$a = r + Z$ = ضریب پواسان

جدول شماره ۳ - ۶ - اثرات تخریبی وسایلی که عموماً مورد استفاده قرار می‌گیرند

نوع دستگاه	حرکت معمولی	LCI برای ترمز
وسایل نقلیه جاده‌ای	A	A
تریلرهای پایانه	A و B	A و B و C
کامیونهای باربر جانبی	B و C	B و C و D
استردل کاریر	B	B و C
لیفت تراکهای جلوبر کوچک با کانتینرهای خالی	A	A و B
لیفت تراکهای جلوبر متوسط با کانتینرهای پر ۲۰ فوتی	C و D	D و E
لیفت تراکهای جلوبر بزرگ با کانتینرهای ۴۰ فوتی	E و F	F و G
گانتی کرین	G و H	-
جرثقیلهای متحرک (بدون بار)	B و C	C و D

زمانی که بیش از دو چرخ در نزدیکی یکدیگر قرار دارند، تنش شعاعی زیر چرخ بحرانی بایستی افزایش یابد تا اثرات مربوط به تنش‌های مماسی دو تا یا بیشتر از آن را در نظر گیرد. جدول ۳ - ۷ نشان می‌دهد که فاکتور نزدیکی بستگی به فاصله چرخ و عمق مؤثر تا زیر لایه اساس روسازی دارد. این عمق مؤثر تا زمانی که روسازی طراحی نشود، مشخص نمی‌شود. در هر حال مقدار آن را بطور تقریبی می‌توان از فرمول زیر محاسبه نمود.

$$\text{عمق مؤثر} = 300 \sqrt[3]{\frac{35000}{CBR_{10}}} \quad (3-3)$$

که در این رابطه CBR مقاومت باربری خاک می‌باشد.

زمانی که گراف‌های مناسب طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد، محور افقی بر روی گراف LCI مقدار واقعی عمق مؤثر را نشان می‌دهد. اگر این مقدار از مقدار محاسبه شده از طریق فرمول فوق‌الذکر به قدری اختلاف داشته باشد که یک مقدار نادرست برای LCI محاسبه شده باشد، سپس عمق مؤثر صحیح بایستی در یک طراحی تجدیدنظر شده مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال یک لیفت تراک جلوبر با سه چرخ در هر انتهای محور جلو را در نظر بگیرید. محل بحرانی در زیر چرخ مرکزی قرار می‌گیرد. فرض کنید که یک روسازی بر روی یک بستر با CBR برابر با ۷٪ طراحی شده باشد و فاصله جانبی چرخ تا مرکز برابر ۶۰۰ میلی‌متر باشد. از این فرمول، عمق مؤثر تقریبی از زیر لایه اساس روسازی برابر است با :

$$\text{عمق مؤثر} = 300 \sqrt[3]{\frac{3500}{7 \times 10}} = 2381 \text{ mm (94 in)}$$

با انترپولاسیون خطی از جدول شماره ۳ - ۷، فاکتور تقریبی برابر با ۱/۸۶ می‌باشد. این مقدار بایستی برای چرخ مرکزی دو برابر شود.

این بدان معنی است که بار منفرد مؤثر به اندازه ۰/۸۶ دو بار اضافه می‌شود. در نتیجه:

$$1 + 0/86 + 0/86 = 2/72$$

بایستی توجه گردد که این مقدار حدود ۱۰٪ کمتر از ۳ می‌باشد، بطوری که به این طریق قرار گرفتن چرخ بطور مؤثری بار را تا ۱۰٪ کاهش می‌دهد.

جدول شماره ۳ - ۷ - فاکتورهای نزدیکی چرخها

فاصله چرخ	فاکتوری نزدیکی برای عمق مؤثر			لایه اساس
	(mm)	(in)	(عمق مؤثر)	(عمق مؤثر)
۳۰۰	۱۲	۱/۸۲	۱/۹۵	۱/۹۸
۶۰۰	۲۴	۱/۴۷	۱/۸۲	۱/۹۱
۹۰۰	۳۶	۱/۱۹	۱/۶۵	۱/۸۲
۱۲۰۰	۴۸	۱/۰۲	۱/۴۷	۱/۷۱
۱۸۰۰	۷۲	۱/۰۰	۱/۱۹	۱/۴۷
۲۴۰۰	۹۶	۱/۰۰	۱/۰۲	۱/۱۴
۳۶۰۰	۱۴۴	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۲
۴۸۰۰	۱۹۲	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰

۳ - ۱۲ - محاسبه بار چرخ برای دستگاههای حمل کانتینر

لیفت تراک جلوبر (شکل ۳-۴) :

$$W_1 = f_D \times \left(\frac{A_1 W_C + B_1}{M} \right)$$

$$W_2 = f_D \times \left(\frac{A_2 W_C + B_2}{M} \right)$$

جائی که :

W_1 = بار وارده بر چرخ جلو

W_2 = بار وارده بر چرخ عقب

W_C = وزن کانتینر

M = تعداد چرخهای محور جلو (معمولاً ۲، ۴ یا ۶)

A_1 و A_2 و B_1 و B_2 ضرائب بدون واحد می‌باشند که از روابط زیر بدست می‌آیند.

$$A_1 = \frac{-x_2}{x_1 - x_2}$$

$$A_2 = \frac{-x_1}{x_2 - x_1}$$

$$B_1 = \frac{W_T(x_T - x_2)}{x_1 - x_2}$$

$$B_2 = \frac{W_T(x_T - x_1)}{x_2 - x_1}$$

x_1 و x_2 و x_T در شکل ۴ - ۳ نشان داده شده‌اند.

W_T = وزن خود وسیله نقلیه (کیلوگرم)

لیفت تراکهای پهلوبر (شکل ۳ - ۳)

$$W_i = f_D x + \left(U_i + \frac{W}{M^0} \right)$$

W_i = بار چرخ دستگاه بارگذاری شده

U_i = بار چرخ دستگاه بارگذاری نشده

M = تعداد کل چرخهای دستگاه

f_D = فاکتور دینامیکی

استرادل کاربر (شکل ۳ - ۴)

$$W_i = f_D \times (U_1 + \frac{W}{M^0})$$

W_i = بار چرخ دستگاه در حال بارگذاری

U_i = بار چرخ دستگاه بدون بارگذاری

W_C = وزن کانتینر

M = تعداد کل چرخهای دستگاه

f_D = فاکتور دینامیکی

گانتی کرین (شکل ۳ - ۴)

$$W_1 = f_D \left[\frac{A_1 W_C}{M} + U_1 \right]$$

$$W_2 = f_D \left[\frac{A_2 W_c}{M} + U_2 \right]$$

$$W_1 = \text{بار چرخ در سمت ۱}$$

$$W_2 = \text{بار چرخ در سمت ۲}$$

$$W_c = \text{وزن کانتینر}$$

$$A_1 = \left(1 - \frac{x_0}{x_2}\right)$$

$$M = \text{تعداد چرخها در هر سمت}$$

$$A_2 = \frac{x_0}{x_2}$$

$$f_D = \text{فاکتور دینامیکی}$$

$$U_1 = \text{وزن غیر بارگذاری شده گانتتری کرین روی هر چرخ سمت ۱}$$

$$U_2 = \text{وزن غیر بارگذاری شده گانتتری کرین روی هر چرخ سمت ۲}$$

$$x_2 \text{ و } x_c = \text{در شکل ۳ - ۴ نشان داده شده است}$$

توجه: چرخهای جلو و عقب ممکن است بارهای غیر بارگذاری شده مختلف داشته باشد. این مسئله از طریق بکار بردن معادلات برای

هر دو چرخ هر سمت با مقادیر f_D مربوطه در نظر گرفته می‌شود.

سیستمهای تریلر و تراکتور (شکل شماره ۳ - ۵)

$$W_1 = f_D [(W_c (1 - A)(1 - B)) : M_1 + U_1]$$

$$W_2 = f_D [(W_c (1 - A)x(1 - B)) : M_2 + U_2]$$

$$W_3 = f_D [(W_c A) : M_3 + U_3]$$

$$W_1 = \text{بار بر روی چرخهای جلوی تراکتور}$$

$$W_2 = \text{بار بر روی چرخهای عقب تراکتور}$$

$$W_3 = \text{بار بر روی چرخهای تریلر}$$

$$W_c = \text{وزن کانتینر (یا بار)}$$

$$M_1 = \text{تعداد چرخهای جلویی تراکتور}$$

$$M_2 = \text{تعداد چرخهای عقب تراکتور}$$

$$M_3 = \text{تعداد چرخهای تریلر}$$

$$U_1 = \text{بار بر روی چرخهای جلوی تریلر در حالت غیر بارگذاری شده}$$

$$U_2 = \text{بار بر روی چرخهای عقب تریلر در حالت غیر بارگذاری شده}$$

$$U_3 = \text{بار بر روی چرخهای تریلر غیر بارگذاری شده}$$

$$f_D = \text{فاکتور دینامیکی}$$

$$A = \frac{x_0}{x_3}$$

$$A = \frac{x_B}{x_2}$$

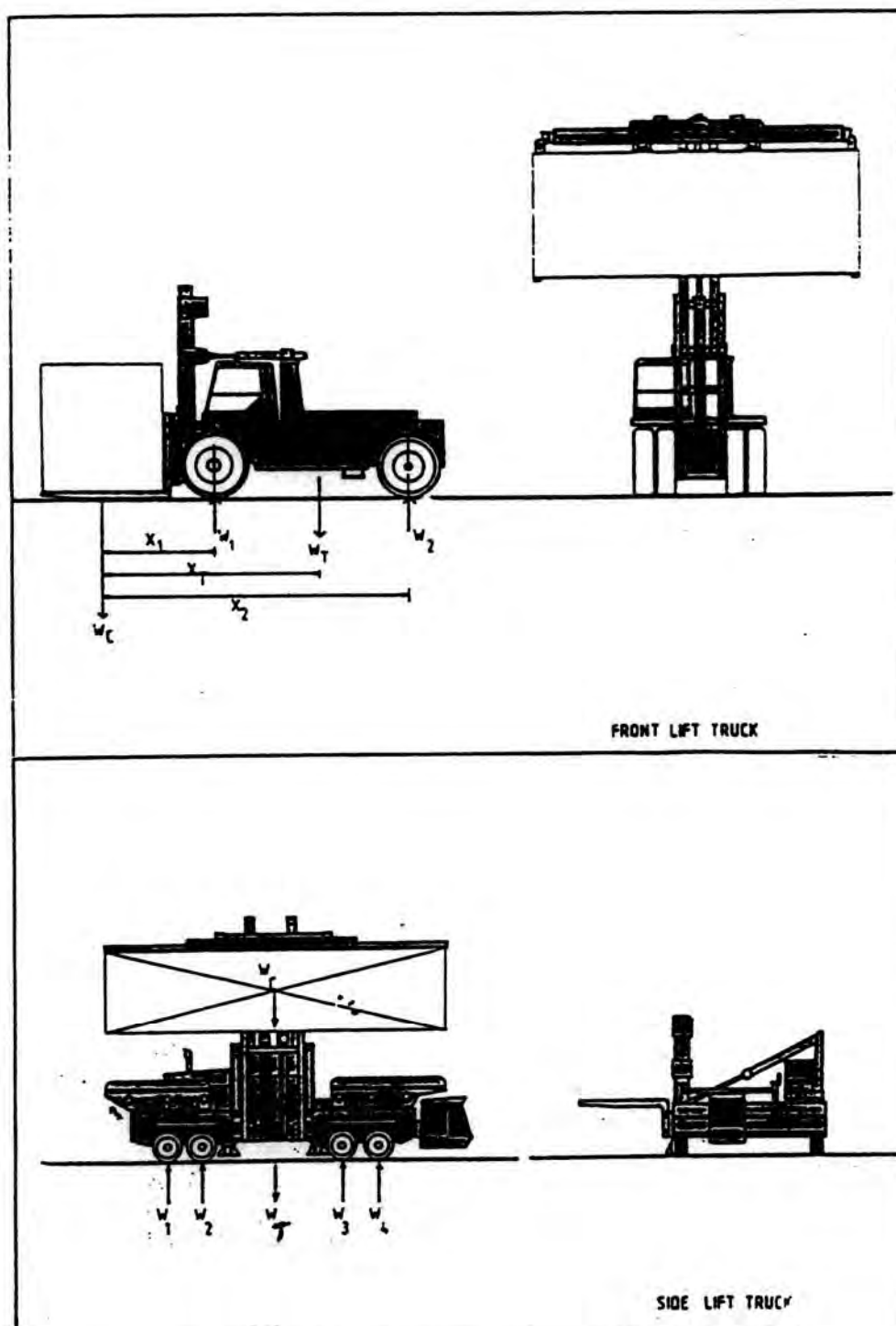
x_C و x_B و x_3 و x_2 در شکل ۳ - ۵ نشان داده شده است.

جرثقیلهای متحرک (بارگذاری نشده) (شکل شماره ۳ - ۵)

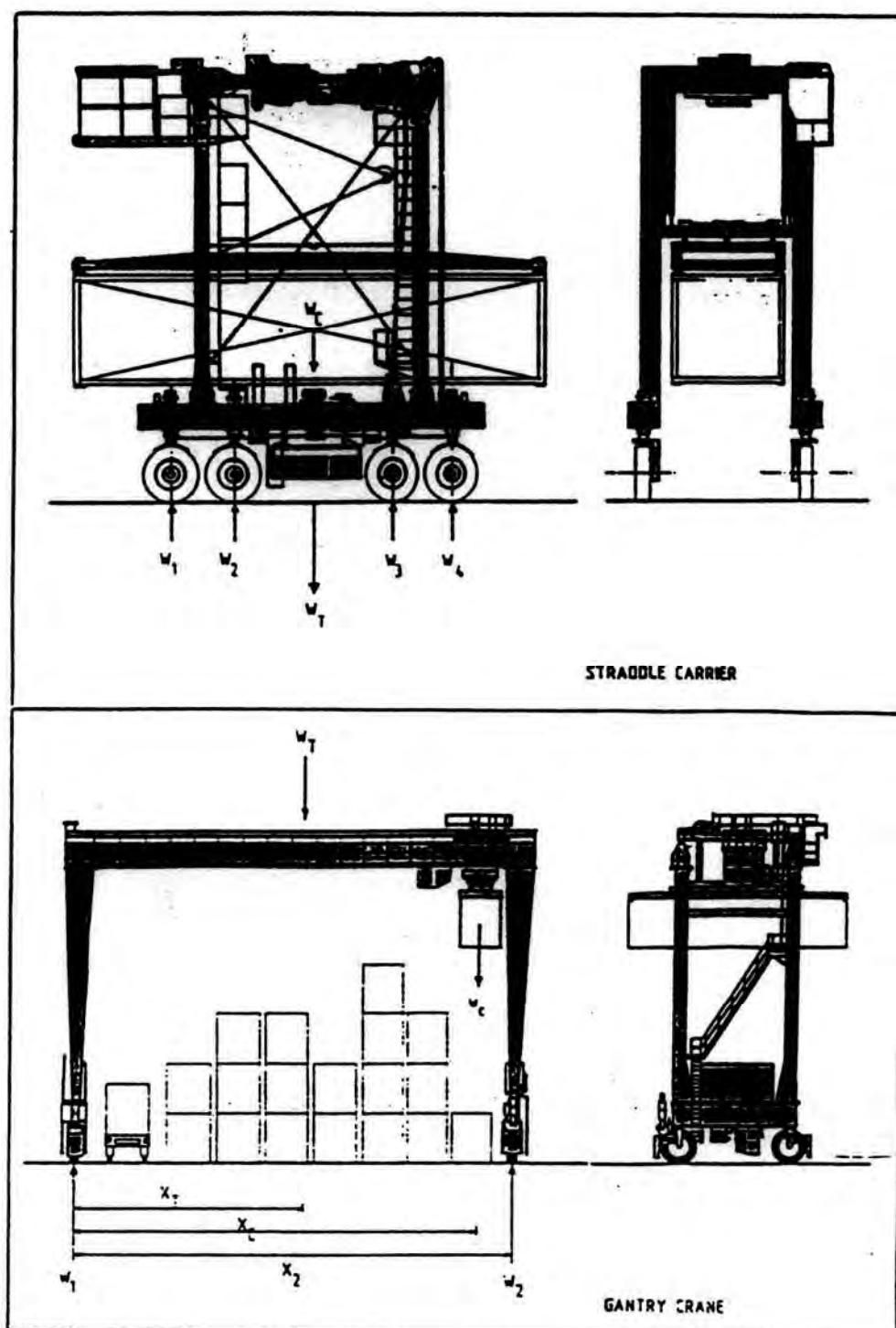
$$W = W_T / M$$

W_T = وزن خود جرثقیل

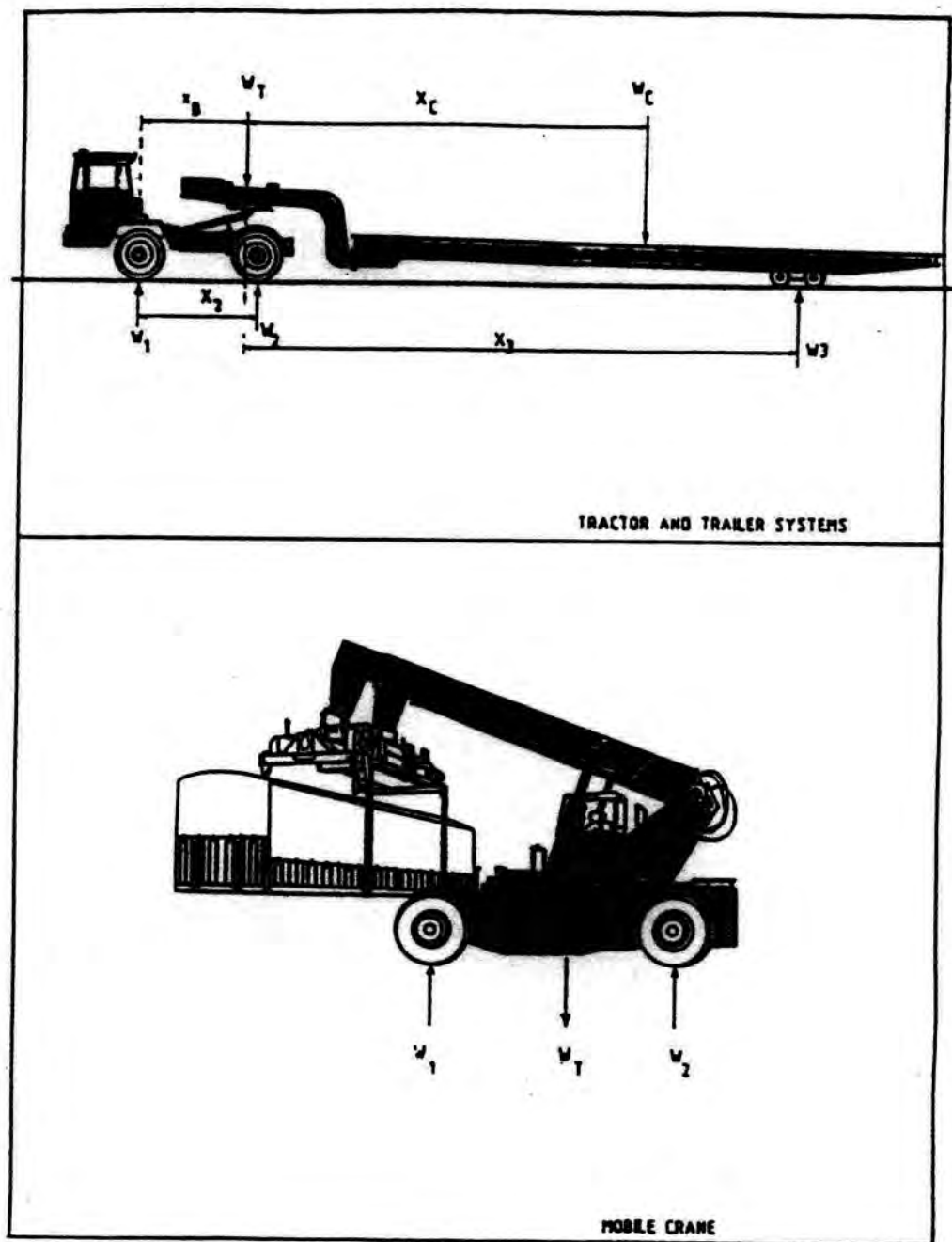
M = تعداد کل چرخهای جرثقیل



گراف شماره ۳-۳- نحوه محاسبه بار چرخ لیفت تراک جلو بر و لیفت تراک جانبی



گراف شماره ۳-۴- نحوه محاسبه بار چرخ استرادل کاریر و چرخ گانتیری



گراف شماره ۳-۵- نحوه محاسبه بار چرخ سیستم‌های تراکتور و تریلر و جرثقیل متحرک

فصل چهارم - مثالهای طراحی

۴ - ۱ - مثالهایی از محاسبه (LOAD CLASSIFICATION INDEX) LCI

۴ - ۱ - ۱ - استرادل کاریر S.I.

مقدار CBR = ۵٪

وزن بدون بار شامل تیراسپریدر = کیلوگرم ۵۶۳۱۰ (WT)

عرض مسیر = ۴/۵ m

فشار چرخ = ۰/۸۲۷ N/mm²

فاصله چرخ = ۲/۴ m

در این مثال استرادل کاریر همه کانتینرهای ۴۰ فوتی را حمل می‌کند و توزیع وزن از ستون ۱۰۰/۰ جدول شماره ۳ - ۱ می‌باشد. وزن بحرانی کانتینر از طریق ضرب کردن مقادیر مربوطه در آن ستون و ستون مربوطه در جدول ۳ - ۲ بدست می‌آید. تجربیات نشان می‌دهد که وزن کانتینر بحرانی معمولاً ۲۰۰۰۰ کیلوگرم، ۲۱۰۰۰ کیلوگرم، ۲۲۰۰۰ کیلوگرم یا ۲۳۰۰۰ کیلوگرم برای همه نسبت‌های کانتینرهای ۴۰ فوتی به ۲۰ فوتی می‌باشد. جدول زیر با استفاده از مقادیر جدول ۳ - ۱ و ۳ - ۲ در ارتباط با این چهار وزن کانتینر و فشار تایر داده شده تشکیل می‌شود.

وزن کانتینر (kg)	درصد کانتینرها در این وزن (۱)	اثر خرابی از جدول ۲-۲ (۲)	کل خرابی (۲)※(۱)
۲۰،۰۰۰	۷/۶۷	۶/۷۹	۵۲
۲۱،۰۰۰	۱۰/۴۰	۸/۱۵	۸۵
۲۲،۰۰۰	۹/۹۵	۹/۷۱	۹۷
۲۳،۰۰۰	۵/۵۳	۱۱/۴۷	۶۳

بالاترین مقدار کل خرابی مربوط به کانتینرهای ۲۲۰۰۰ کیلوگرم می‌باشد و این وزن کانتینر بحرانی می‌باشد. با اضافه کردن این بار بطور مساوی به هریک از ۸ چرخ استرادل کاریر، کل بار چرخ برابر است با:

$$\frac{56310 + 22000}{8} = 9789 \quad \text{چرخ/کیلوگرم}$$

حال اثر نزدیکی چرخ را در نظر می‌گیریم. با استفاده از معادله در بند ۳ - ۱۰، عمق مؤثر روسازی برابر است با:

$$= 300 \sqrt[3]{\frac{35000}{5 \times 10}} = 2664 \text{ mm}$$

از جدول ۳ - ۷، فاکتور نزدیکی از طریق انترپولاسیون برابر ۱/۱۴ می‌شود. بنابراین بار مؤثر چرخ برابر است با:

$$۹۷۸۹ \times ۱/۱۴ = ۱۶۰،۱۱ \text{ کیلوگرم}$$

حال یک استرادل کاریر را که در حال حرکت معمولی و تحت تاثیر نیروی ترمز می‌باشد، در نظر بگیرید. تحت حرکت معمولی، هر چرخ یک بار مؤثر برابر ۱۶۰۱۱ کیلوگرم با فشار چرخ ۰/۸۲۷ N/mm² را اعمال می‌کند بطوری که مقدار PAWL برابر است با:

$$(PAWL) = 4 \times \left(\frac{11160}{12000} \right)^{3.75} \times \left(\frac{0.827}{0.8} \right) = 4 \times 0.76 \times 1.04 = 3.16$$

از جدول ۳ - ۵ این مقدار نشان دهنده یک LCI از کلاس B می‌باشد.

برای ترمز گرفتن، جدول ۳ - ۳ یک فاکتور بار دینامیکی ۱/۵ را نشان می‌دهد. این مقدار فقط به چرخهای جلو و عقب‌ترین چرخ اعمال می‌شود. بار چرخ جلو به اندازه ۵۰٪ اضافه و بار چرخ عقب نصف می‌شود. یک توزیع مجدد بار کمتری برای چرخهای باقیمانده وجود دارد و فاکتور ۱/۲ بنظر مناسب می‌رسد. شکل شماره ۴ - ۱ بارهای چرخ را در موقعیت ترمز گرفتن نشان می‌دهد. توجه شود که وزن کل، نه کاسته می‌شود و نه از بین می‌رود.



شکل شماره ۴ - ۱

مقدار PAWL از هر چهار چرخ بایستی بطور مجزا بطریق زیر محاسبه شود:

$$\begin{aligned} \text{تعداد PAWL} &= \left(\frac{16740}{12000} \right)^{3.75} \times \left(\frac{0.827}{0.8} \right)^{1.25} + \left(\frac{13392}{12000} \right)^{3.75} \times \left(\frac{0.827}{0.8} \right)^{1.25} \\ &+ \left(\frac{8928}{12000} \right)^{3.75} \times \left(\frac{0.827}{0.8} \right)^{1.25} + \left(\frac{5880}{12000} \right)^{3.75} \times \left(\frac{0.827}{0.8} \right)^{1.25} \\ &= 3.62 + 1.57 + 0.33 + 0.06 = 5.58 \end{aligned}$$

از جدول شماره ۳ - ۵ این مقدار مربوط به LCI برابر C می‌شود.

توجه گردد که این عمر طراحی، در نتیجه تعداد تکرار یک آیتم از دستگاه در پرتراфик‌ترین بخش روسازی، بایستی قبل از استفاده از گرافهای طراحی محاسبه شود. این پروسه در بخش‌های ۳ - ۲ و ۳ - ۳ جمع‌بندی شده‌اند. این پروسه می‌تواند ساده‌سازی شود. نوعاً اثر خرابی متوسط ۱۰٪ از اثر خرابی بحرانی کمتر است. بنابراین عمر طراحی L بکار رفته در گراف‌ها برابر با ۱۰٪ تعداد تکرار محاسبه شده که در زمان کانالیزه شدن خط در نظر گرفته می‌شود، می‌باشد.

۴-۲- مثال استفاده از گراف‌ها

۴-۲-۱- محاسبه عمر طراحی

اطلاعات طراح ممکن است به تعداد کانتینرهایی که بر روی محوطه حرکت می‌کنند، محدود باشد. با در نظر گرفتن شکل کلی یک روسازی خاص، معمولاً امکان محاسبه تعداد عبورهای یک آیتم از دستگاههای معمول بر روی یک محوطه وجود دارد. با در نظر گرفتن عرض دستگاه در ارتباط با عرض خط مربوط به آن دستگاه، محاسبهٔ تعداد عبورهای یک دستگاه بر روی یک نقطه در روسازی امکان‌پذیر می‌باشد. مثال زیر را در نظر بگیرید:

یک محوطه بعنوان یک جاده برای استرادل کاریر بایستی طراحی گردد. دوازده تا استرادل کاریر برای مدت ۱۲ ساعت در روز و ۳۶۰ روز در سال مورد استفاده قرار می‌گیرند و روسازی مورد نظر لازم است که دارای عمر ۲۵ سال باشد. عرض استرادل کاریر m $4/5$ (ft) $14/76$ و عرض جاده برابر با m 20 (ft) 65 می‌باشد. جاده یک بخش از یک سیستم یک طرفه و هر استرادل کاریر هر ۲۰ دقیقه یک بار از آن عبور می‌کند. تعداد عبور استرادل کاریر در طی ۲۵ سال برابر است با: 3888000 (تعداد جابجایی در ساعت) $3 \times$ (تعداد استرادل کاریر) $12 \times$ (ساعت) $12 \times$ (روزهای سال) $360 \times$ (سال) 25 شکل ۳ - ۲ نشان می‌دهد که این مقدار بایستی نصف گردد تا تعداد عبور بر روی یک نقطه از روسازی را که برابر 1944000 می‌باشد، بدست بیاید. عمر طراحی از طریق ضرب کردن این مقدار در نسبت اثر خرابی متوسط به اثر خرابی بحرانی بدست می‌آید. این مقدار می‌تواند بعنوان $0/1$ برای دستگاهی که در حال حمل کردن یک طیفی از بارهای مشابه جدول ۳ - ۱ می‌باشد، در نظر گرفته شود. بنابراین عمر طراحی برابر 194000 می‌باشد.

۴-۲-۲- محاسبه کرنش کششی (گراف‌های A و B و C)

گراف A برای اساس‌های تثبیت شده و گراف B برای اساس‌های بتنی و گراف C برای اساس‌های دانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. محور افقی گراف‌های A و B و C عمر طراحی را نشان می‌دهد. عدد مناسب مربوطه را بر روی این محور پیدا می‌کنیم. یک خط بصورت عمود به طرف گراف مربوطه رسم می‌کنیم. برای اساس‌های با بتن لاغر هریک از چهار منحنی بر روی گراف A در ارتباط با یک مقاومت خاص می‌باشد. برای روسازیهای سخت، منحنی پایین‌تر بر روی گراف B در ارتباط با بتن با کیفیت معمولی بوده و گراف بالاتر در ارتباط با بتن مسلح با الیاف فولادی می‌باشد بطریقی که ظرفیت کرنش کششی الیاف‌ها با یک فاکتور $1/75$ افزایش یافته است. جایی که خط قائم رسم شده منحنی انتخاب شده را قطع کند، یک خط افقی به سمت راست محور عمودی رسم نموده و کرنش کششی شعاعی مجاز را برای مصالح انتخاب شده می‌توان قرائت نمود. آن را به نزدیکترین واحد برحسب میکرواسترین تبدیل کنید.

۴-۲-۳- توضیح در مورد استفاده از گراف‌های طراحی

گراف‌های اصلی طراحی را می‌توان برای همه روسازی‌ها مورد استفاده قرار داد. هر گراف برای یک ترکیب مختلفی از CBR ساب‌گرید، ضخامت‌های زیراساس و مصالح رویه می‌باشد. مقدار CBR، 1% و 3% و 5% و 10% و 30% ، سه ضخامت زیراساس صفر، 12 (in) 300 mm، 24 (in) 600 mm و سه نوع رویه (آسفالت، بلوک بتنی و روسازی بتنی) در گراف‌ها وجود دارند.

گراف‌های ۱ تا ۳۰ برای اساس دانه‌ای و تثبیت شده با سیمان و گراف‌های ۳۱ تا ۴۵ برای روسازی بتنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در هر گراف، منحنی بالایی دارای مقدار مجاز کرنش بر روی محور عمودی می‌باشد. در مورد اساس اصلاح شده با سیمان و روسازیهای بتنی از محور سمت چپ شروع نموده و مقدار مناسب را همانطور که در بخش ۲-۲-۴ توضیح داده شد، قرار می‌دهیم. یک خط از این نقطه عمود نموده تا منحنی LCI مناسب را قطع کند (A تا H). از اینجا یک خط عمودی بطرف گراف پایین رسم نموده تا یک خط افقی مناسب را در گراف پایین‌تر که در ارتباط با مصالح اساس انتخاب شده می‌باشد، قطع نماید. در مورد گراف‌های ۳۱ تا ۴۵ فقط یک چنین خط افقی وجود دارد. نقطه تلاقی در میان یک سری منحنی‌هایی می‌باشد که از طریق آنها می‌توان ضخامت اساس را از طریق اینترپولاسیون بدست آورد.

در مورد اساس‌های دانه‌ای، معیار طراحی محدود به کرنش فشاری در سابگرید می‌شود. کرنش مجاز سابگرید فقط بستگی به تعداد تکرار بار دارد. گراف C این رابطه را نشان می‌دهد.

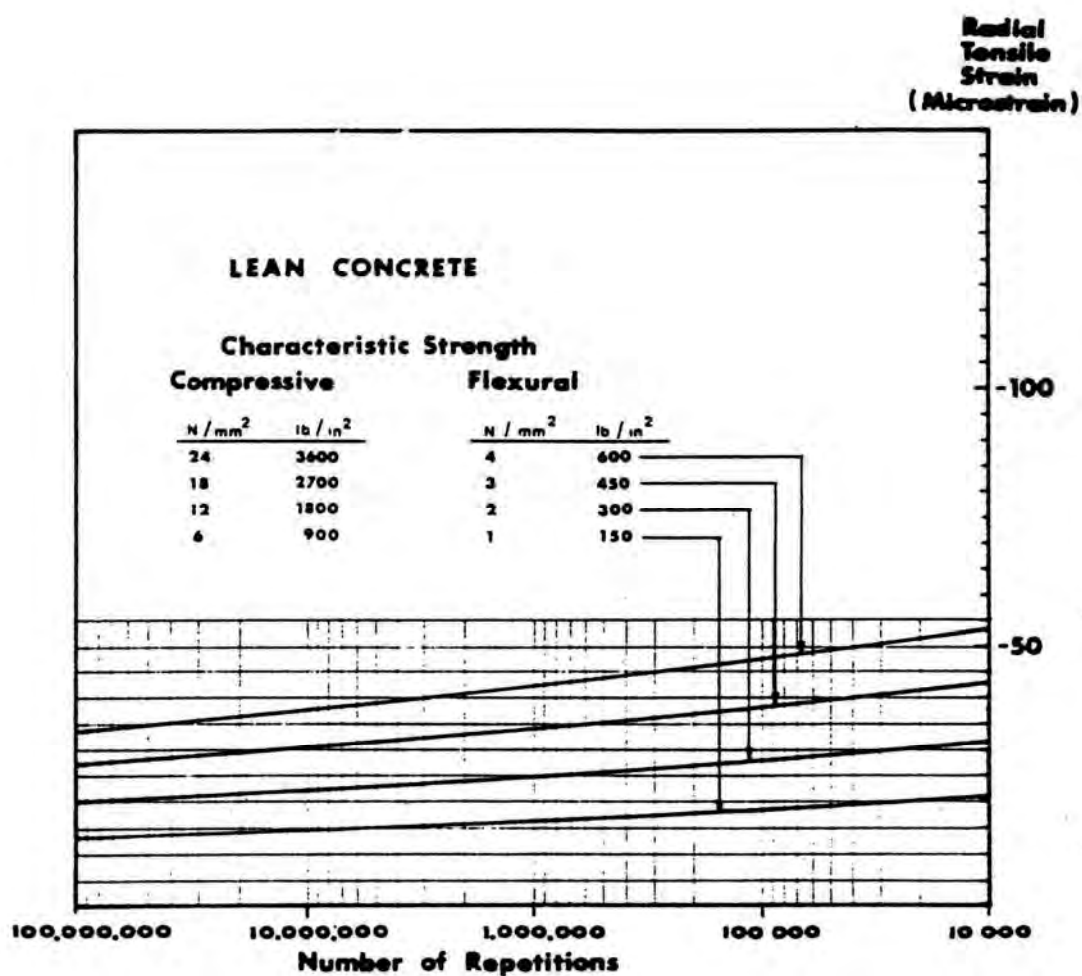
مقدار کرنش خوانده شده از گراف C بعنوان یک نقطه شروع بر روی قسمت راست عمودی بر روی گراف‌های ۱ تا ۳۰ می‌باشد. بنابراین برای اساس‌های دانه‌ای با کرنش سمت راست محور گراف‌های ۱ تا ۳۰ شروع نموده و سپس یک خط افقی رسم نموده تا منحنی LCI مناسب را قطع نماید. از این نقطه یک خط عمودی به سمت پایین رسم نموده تا خط مربوط به مدول الاستیسیته 2 N/mm^{1000} را در گراف پایین‌تر قطع نماید. این نقطه برخورد در میان تعدادی از گراف‌هایی قرار می‌گیرد که ضخامت اساس دانه‌ای می‌تواند از طریق اینترپولاسیون مشخص شود.

۳-۴- خلاصه‌ای از روش گام به گام برای طراحی روسازی بنادر با استفاده از روش گراف طراحی:

- ۱- تعیین اثر تخریبی (D) بر حسب PAWL با استفاده از رابطه ۱-۳
- ۲- محاسبه خرابی متوسط و خرابی بحرانی بر طبق مراحل زیر:
 - ۱-۲- انتخاب ترکیبی از کانتینرهای ۲۰ و ۴۰ فوتی که بایستی حمل شوند (از جدول ۱-۳)
 - ۲-۲- محاسبه بارهای چرخ برای هر دستگاه در حال حمل کانتینر با هر وزنی از کانتینر با استفاده از روابط بند ۱۱-۳.
 - ۳-۲- اصلاح بارهای چرخ برای در نظر گرفتن نزدیکی چرخها با محاسبه عمق مؤثر از رابطه ۳-۳ و سپس تعیین فاکتور نزدیکی چرخها از جدول ۷-۳.
 - ۴-۲- محاسبه اثر تخریبی هر چرخ در طول یک طرف از دستگاه با استفاده از رابطه ۱-۳. جدول ۲-۳- جوابهای این رابطه را مستقیماً محاسبه می‌کند.
 - ۵-۲- جمع آثار خرابی همه چرخها بر روی یکطرف از دستگاه برای بدست آوردن اثر خرابی کلی دستگاه به ازاء هر افزایش در وزن کانتینر
 - ۶-۲- ضرب کردن همه اثرات خرابی با استفاده از جدول ۱-۳ برای پیدا کردن نسبتهای اثر خرابی هر وزنی از کانتینر. مجموع این ۳۵ مقدار بر ۱۰۰ تقسیم می‌گردد تا اثر خرابی متوسط بدست آید.
- ۳- محاسبه عمر طراحی (L) با استفاده از رابطه ۲-۳. برای محاسبه تعداد کل جابجایی وسیله نقلیه بایستی حرکت جانبی وسیله نقلیه در نظر گرفته شود و ضرائب مربوطه از منحنی پله‌ای شکل ۲-۳ بایستی اعمال گردد.

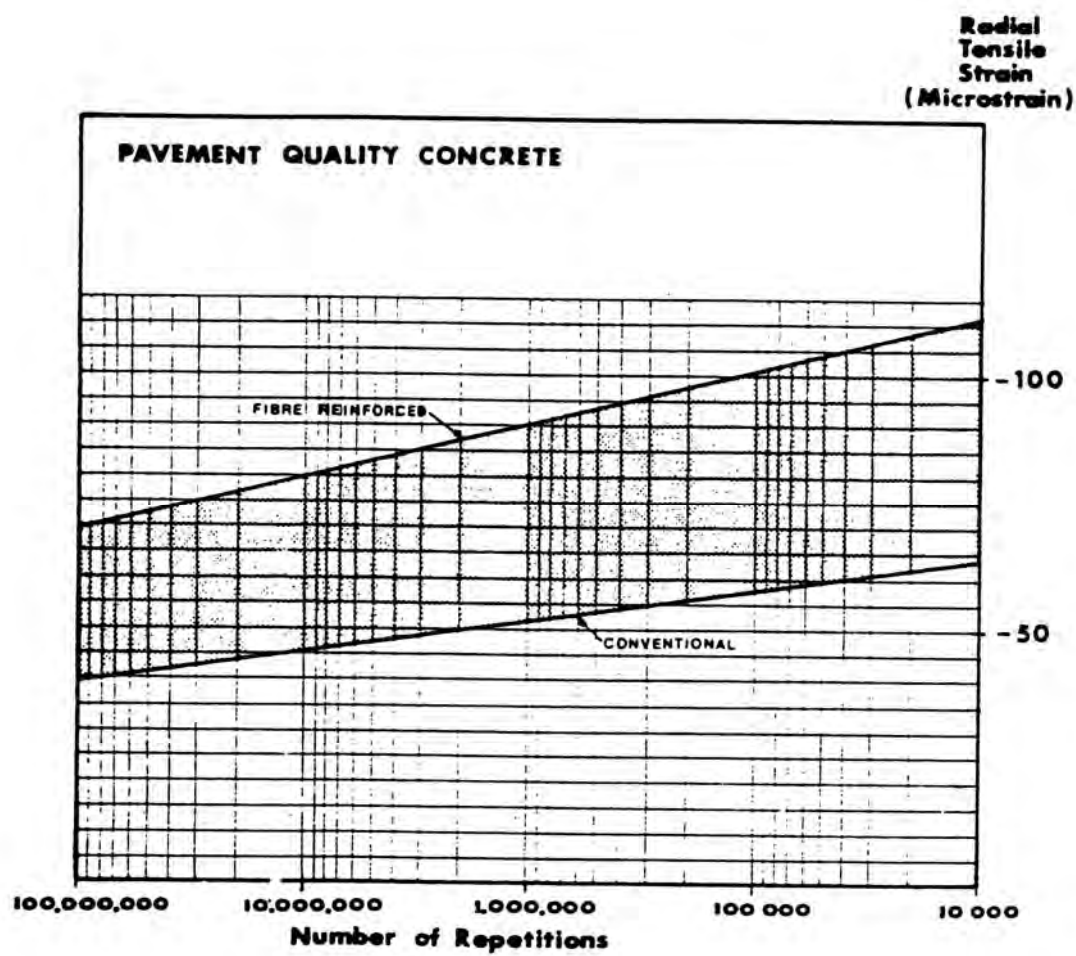
-
- ۴- اعمال ضرائب بارهای دینامیکی : اثرات بارهای دینامیکی (پیچیدن، شتاب گرفتن، ترمزگرفتن و ناهمواری رویه) از طریق فاکتور f_D از جدول ۳-۳ اعمال گردد.
- ۵- اثرات بارهای استاتیکی شامل تأثیر بارهای گوشه کانتینر (پایه گوشه کانتینر) از جدول ۳-۴ چرخهای زیرسری تریلرها (چرخهای دالی تریلرها و جکهای تثبیت کننده به شرح بندهای ۳-۱-۷ و ۳-۲-۷ و ۳-۳-۷ بایستی در نظر گرفته شود.
- ۶- تعیین اندیس طبقه بندی بار وسایل نقلیه که بر طبق جدول ۳-۵ انجام می گیرد.
- ۷- استفاده از گرافهای A, B, C برای محاسبه کرنشهای کششی و فشاری و گرافهای ۱ تا ۴۵ برای تعیین ضخامت روسازیهای آسفالتی و بلوک بتنی و بتنی بر طبق مثال ارائه شده در بند ۴-۲.

CHART A



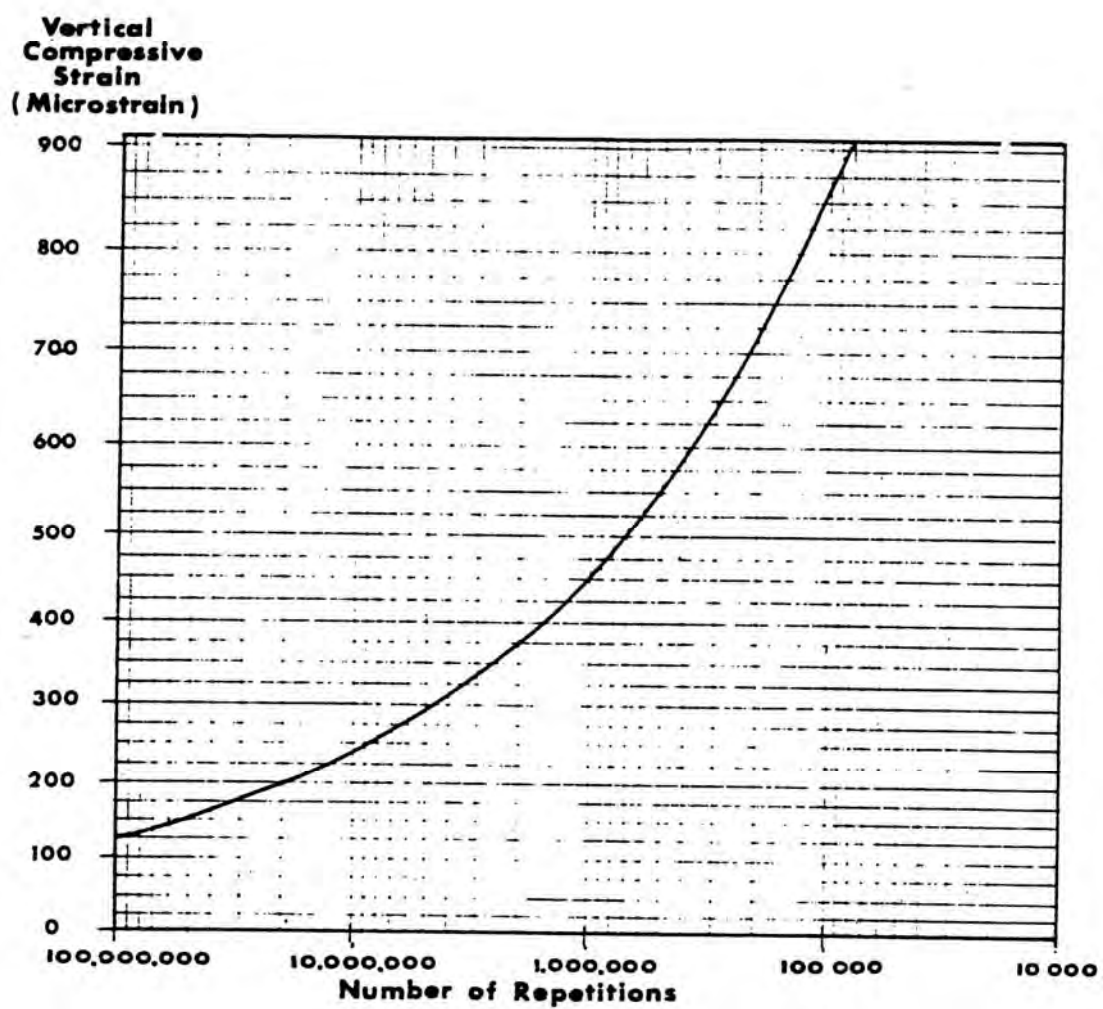
شکل ۴-۲- کرنش کششی مجاز برای اساس تثبیت شده با سیمان

CHART B



شکل ۳-۴- کرنش کششی مجاز برای دالهای بتنی

CHART C



شکل ۴-۴ - کرنش فشاری قابل قبول برای اساسهای دانه‌ای

مراجع :

REFERENCES

ANON. TERMINAL SURFACING - BRING THE PROBLEMS DOWN TO EARTH. CARGO SYSTEMS PP 92-97, APRIL 1979.

ASPHALT INSTITUTE. THICKNESS DESIGN - ASPHALT PAVEMENTS FOR HEAVY WHEEL LOADS. MANUAL 23, 1986.

JAPAN ROAD ASSOCIATION. MANUAL FOR DESIGN AND CONSTRUCTION OF ASPHALT PAVEMENT, 1980.

ASPHALT INSTITUTE THICKNESS DESIGN-ASPHALT PAVEMENTS FOR HEAVY WHEEL LOADS MANUAL 23 ASPHALT INST. 1986.

ASSOCIATION OF AUSTRALIAN PORT AND MARINE AUTHORITIES. GUIDELINES FOR MINIMUM DESIGN LOADS FRO CONTAINERS UNITIZED AND GENERAL CARGO BERTHS. AAMA, MELBOURNE, 1982.

AUSTROADS PAVEMENT DESIGN - A GUIDE TO THE STRUCTURAL DESIGN OF ROAD PAVEMENTS. AUSTROADS, 1992.

AUSTROADS (1993). PAVEMENT DESIGN - A GUIDE TO THE STRUCTURAL DESIGN OF ROAD PAVEMENTS. AUSTROADS.

ANON (1962) THE AASHO ROAD TEST PAVEMENT RESEARCH, SPEC REPORT 61H HRB.

BOUSSINGESQ J APPLICATION DES POTENTIELS A L'ETUDE DE EQUILIBRE ET DU MANUVEMENT DE SOLIDES ELASTIQUE. GAUTHEIR - VILLARS, PARIS. 1985.

BARBER S D PAVEMENT DESIGN FOR PORT AREAS. JULY 1980 PAGE 225.

BARBER, S.D. AND J. KNAPTON "PORT PAVEMENT LOADING", THE DOCK AND HARBOUR AUTHORITY, APRIL, 1979.

BRITISH PORTS ASSOCIATION. THE STRUCTURAL DESIGN OF HEAVY DUTY PAVEMENTS FOR PORTS AND OTHER INDUSTRIES, BPA, LONDON 1982.

BERGSTROM, S.G., E. FROMEN AND S. LINDERHOLM, (1949) INVESTIGATION OF WHEEL ROAD STRESSES IN CONCRETE PAVEMENTS PROCEEDINGS SWEDISH CONC. RES. INST. NO. 13, 24, 25.

BROWN SF A SIMPLIFIED FUNDAMENTAL DESIGN PROCEDURE FOR BITUMINOUS PAVEMENTS THE HIGHWAY ENGINEER. VOL. 21, NOS. 8/9 AUG./SEPT. 1974, P 14-23.

BARKER, W.R. BRABSTON, W.N. AND CHOU, Y.T. (1982). A GENERAL SYSTEM FOR THE STRUCTURAL DESIGN OF FLEXIBLE PAVEMENTS. PROC. 5TH INT.CONF. ON STL. DESIGN OF ASPHALT PAVEMENTS. DELFT.

BROWN, S.F. AND BRUNTON, J.M. (1984). COMPUTER PROGRAMS FOR THE ANALYTICAL DESIGN OF ASPHALT PAVEMENTS. HWY TRANSP V5131 NO. 8/9.

CLAESSEN, A.I.M., EDWARDS, J.M., SOMMER, P. AND UGE P. (1977). ASPHALT PAVEMENT DESIGN - THE SHELL METHOD. PROCEEDING 4TH INT. CONF. ON STL. DESIGN OF ASPHALT PAVEMENTS, ANN ARBOR.

CONADIAN PORTLAND CEMENT ASSN. (1985) THICKNESS DESIGN FOR CONCRETE HIGHWAY AND STREET PAVEMENTS CONADIAN PORTLAND CEMENT ASSN.

HEUKELON W AND FOSTER C R DYNAMIC TESTING OF PAVEMENT, JOURNAL OF THE SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS DIVISION, ASCE, VOL. 86, NO. 5MI, PROC, PAPER 2368.

HUANG Y.H. (1993) PAVEMENT ANALYSIS AND DESIGN. PRENTICE HALL.

HEUKELOM W AND KLOMP A J G CONSIDERATION OF CLACLUATED STRAINS AT VARIOUS DEPTHS IN CONNECTION WITH THE STABILITY OF ASPHALT PAVEMENT. PROC. 2ND INT. CONF. ON THE STRUCTURAL DESIGN OF ASPHALTIC JAMESON, G.W., SHARP, K.G. AND ROLLINGS, R.S. AN INVESTIGATION OF THE USE OF ROLLER COMPACTED CONCRETE IN A HEAVILY-TRAFFICKED HIGH SPEED APPLICATION IN AUSTRALIA. PROC 5th INT. CONF ON CONC. PAVEMENT DESIGN & REHABILITATION. PURDUE UNIV. 1993.

KNAPTON J (1985) THE STRUCTURAL DESIGN OF HEAVY INDUSTRIAL PAVEMENTS, PROC. ICE PART I 77 179-194, ALSO DISCUSSION (1986) PROC, ICE PART I 80 559-573.

LARSEN, T.J., NUSSBAUM, P.J. AND COLLEY, B.E.(1969). RESEARCH ON THICKNESS DESIGN FOR SOIL-CEMENT PAVEMENTS P.C.A. DEV. DEPT., BULLETIN D142.

LACEY, H.M. AND BLOOM, M.J. TRENDS IN CONTAINERSHIPS AND THEIR IMPACT ON TERMINAL DESIGN. ASIAN NATIONAL DEVELOPMENT. MARCH 1986, pp 391-401.

MELETIOU M & KNAPTON J (1987). CONTAINER TERMINAL PAVEMENT MANAGEMENT. UNCTAD MONOGRAPH ON PORT MANAGEMENT NO. 5., UNITED NATIONS UNCTAD/SHIP/494 (51).

MARAIS, L.R. THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF CONCRETE PAVEMENTS, PORTLAND CEMENT INSTITUTION, JOHANESBURG, 1974.

MCDOWELL, C. FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN GUIDE. BULL. 327, NATIONAL LIME ASSN, WASHINGTON, 1972.

MELETIOU, M. GRAVEL BEDS FOR STACKING CONTAINERS. PROC. INT. CONF. ON COASTAL AND PORT ENGINEERING IN DEVELOPING COUNTRIES, COLOMBO, 1983.

NATIONAL ASSOCIATION OF AUSTRALIAN ROAD AUTHORITIES, PAVEMENT DESIGN, A GUID TO THE STUCTURAL DESIGN OF ROAD PAVEMENTS, NAASRA, 1981.

NATIONAL PORTS COUNCIL ANNUAL DIGEST OF PORT STATINTICS. VO. I, 1971 TO 1976 HMSO LONDON.

PAVEMENTS. UNIV. OF MICHIGAN , ANN ARBOR 1978, PP 155-168.

ODEMARK N UNDERSOKNING AT ELASTICITETSEGENSKAPERNA HAS OLIKA JOUDARTER SAMT TEORI FOR BRAKNING AV BLELGNINGAR ENLIGHT ELASTICITERSTEOREIN. STATENS VAGINSTITUT, MEDDELANDE 77, 1949.

ODEMARK, N. (1949). INVESTIGATION AS TO THE ELASTIC PROPERTIES OF SOILS AND DESIGN OF PAVEMENTS ACCORDING TO THE THEORY OF ELASTICITY, STATE ROAD INSTITUTE, STOCKHOLM.

PACKARD, R.G. (1973). DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENT, PCA, SKOKIE.

PATERSON, W.D.O. AND MAREE, J.H. (1978). AN INTERIM MECHANISTIC PROCEDURE FOR THE STRUCTURAL DESIGN OF ASPHALT PAVEMENTS. TECH. RPT RP 15178 NITRR CSIR.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (1966). THICKNESS DESIGN FOR CONCRETE PAVEMENTS, PCA, SKOKIE.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (1985). PCAPAV THICKNESS DESIGN OF HIGHWAY AND STREET PAVEMENTS. CONCRETE DESIGN SOFTWARE LIBRARY, PCA, SKOKIE.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (1986) AIRPORT. CONCRETE THICKNESS DESIGN FOR AIRPORTS AND PAVEMENTS. CONCRETE DESIGN SOFTWARE LIBRARY, PCA, SKOKIE.

POWELL, W.D., POTTER, J.F., MAYHEW, H.C. AND NUnn, M.E. (1984). THE STRUCTURAL DESIGN OF BITUMINOUS ROADS. TRRL REPT LR 1132.

PORTLAND CEMENT ASSN. (1989) LOAD STRESSES AT PAVEMENT EDGE - A SUPPLEMENT TO THICKNESS DESIGN FOR CONCRETE PAVEMENTS. PORTLAND CEMENT ASSN. SKOKIE.

PATERSON, W.D.O. FUNCTIONAL PAVEMENT DESIGN FOR CONTAINER TERMINALS, PROC. ARRB, VOL. 8, PP 22-29, 1976.

POWELL, W.D., POTTER, J.F., MAYHEW, A.C. AND NUnn, M.E. THE STRUCTURAL DESIGN OF BITUMINOUS ROADS. TRRL RptLR1132, ROAD RES. LAB., 1984.

PATERSON, W.D.O. FUNCTIONAL PAVEMENT DESIGN FOR CONTAINER TERMINALS PROC. ARRB, VOL. 8, PP 22-29, 1976.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. DESIGN OF HEAVY INDUSTRIAL CONCRETE PAVEMENTS PCA SKOHIE 1988.

PACKARD R G DESIGN OF CONCRTE AIRPORT PAVEMENT. PORTLAND CEMENT ASSN, SKOKIE, 1973.

PICKETT, G. AND G.K. RAY, INFLUENCE CHARTS FOR CONCRETE PAVEMENTS TRANS AMER. SOC. OF CIVIL ENGRS;

ROLLINGS, R.S. AND AHLBRICK, R.C. DESIGN AND CONSTRUCTION OF ASPHALT CONCRETE FOR HEAVY LOADS; IN SEMINAR ON US TRENDS IN HEAVY LOAD PAVEMENT, RMIT SEPT, 1988.

ROSSELLE, A.T. PORTS : RECENT TRENDS, FUTURE PROSPECTS. ASIAN NATIONAL DEVELOPMENT. MARCH 1986, PP18-26.

ROTH, H. AND REIS, H-W. STACKING TECHNOLOGIES FOR INTERMODAL OPERATIONS. PROC. CONF. ON INTERMODAL FREIGHT TERMINAL DESIGN. TRB NEW ORLEANS, 1986, pp87-95.

SHACKEL, B. (1986). THE DESIGN OF HEAVY DUTY INDUSTRIAL CONCRETE PAVEMENTS CONCRETE IN TRANSPORTATION (ED. D.R. MORGAN) AMERICAN CONC. INST., DETROIT SP-93.

SHACKEL, B. (1986). MECHANISTIC PROCEDURES FOR THE DESIGN OF FLEXIBLE ROAD AND INDUSTRIAL PAVEMENTS. PROC. 6TH INT. ASPHALT CONF., SYDNEY.

SHACKEL, B. (1986). THE DESIGN AND APPLICATION OF CONCRETE SEGMENTAL PAVING IN TRANSPORTATION - CONCRETE IN TRANSPORTATION (ED. D.R. MORGAN) AMERICAN CONC. INST. SP-93.

TABATABAIE, A.M. AND E.T. BARENBERG. (1980) STRUCTURAL ANALYSIS OF CONCRETE PAVEMENT SYSTEMS PROCEEDINGS ASCE VOL 106, NO TE5, SEPTEMBER.

SHELL PAVEMENT DESIGN MANUAL. SHELL INTERNATIONAL PETROL COMPANY LIMITED 1978.

ULLIDTZ P AND PEATTIE K R PAVEMENT ANALYSIS BY PROGRAMMABLE CALCULATOR. TRANSPORTATION ENGINEERING JOURNAL SEPT. 1980.

ULLDITZ, P. (1981). PREDICTION OF PAVEMENT RESPONSE USING NON-CLASSICAL THEORIES OF ELASTICITY. INST. FOR ROADS AND TRAFFIC, DENMARK.

VON LEEUWEN H. THE USE OF BLOCK PAVING IN EUROPEAN POSTS. PROC. 1st INT. CONF. ON CONC. BLOCK PAVING. NEWCASTLE, PP 65-69, 1980.

VAN DER SLUIS, F.A. THE USE OF SOIL-CEMENT IN THE CONSTRUCTION OF CONTAINER LOADING AREAS IN THE PORT OF ROTTERDAM. LARENCO NV. ARNHEM, THE NETHERLANDS.

VON LEEUWEN, H. THE USE OF BLOCK PAVING ON HEAVILY LOADED HARBOUR TERMINAL. PROC. ARRB, VOL. 8, PP 22-29, 1976.

VELSINK H. PORTS AND TERMINALS. TECH UNIV. OF DELFT, 1993.

VAN HOUTEN, T.G. TERMINAL DEVELOPMENT AS EFFECTED BY NEW GENERATION SHIPS. PROC. PORTS 86 - SPECIALTY CONFERENCE ON INNOVATIONS IN PORT ENGINEERING AND DEVELOPMENTS IN THE 1990'S. ASCE, OAKLAND 1986, pp402-409.
WEBSTER, S.L. AND ALFORD, S.J. INVESTIGATION OF CONSTRUCTION CONCEPTS FOR PAVEMENTS ACROSS SOFT GROUND. U.S. ARMY WATERWAYS EXP. Stn TECH. REPORT S-78-6 VICKSBURY, 1978.

WITCZAK, M.W., JOHNSON, M., UZAN, J. DEVELOPMENT OF A PROBABILISTIC RIGID PAVEMENT DESIGN METHODOLOGY FOR MILITARY AIRFIELD.

WARNES, C.E. (1982) STRUCTURAL DESIGN OF CONCRETE PAVEMENTS BY COMPUTER PROCEEDINGS ASCE VOL 98, NOTE 1, FEBRUARY.

ضمان:

CHART No. 1

1 % CBR
 ASPHALT
 No sub-base

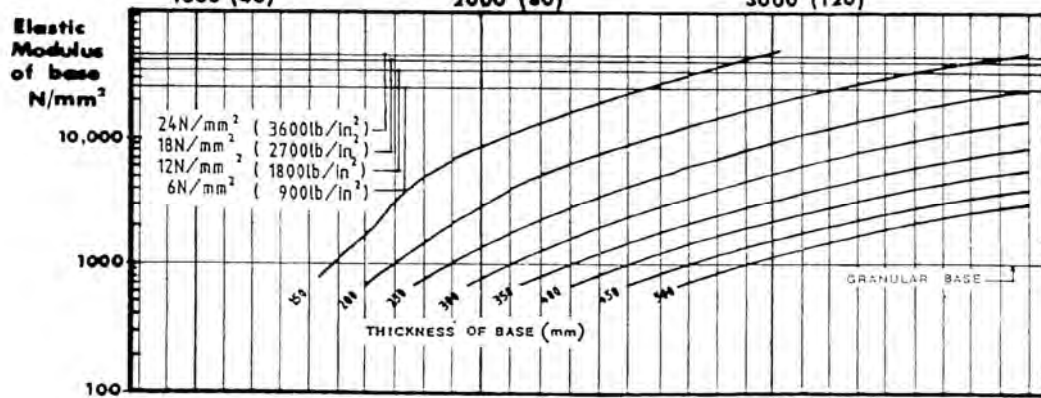
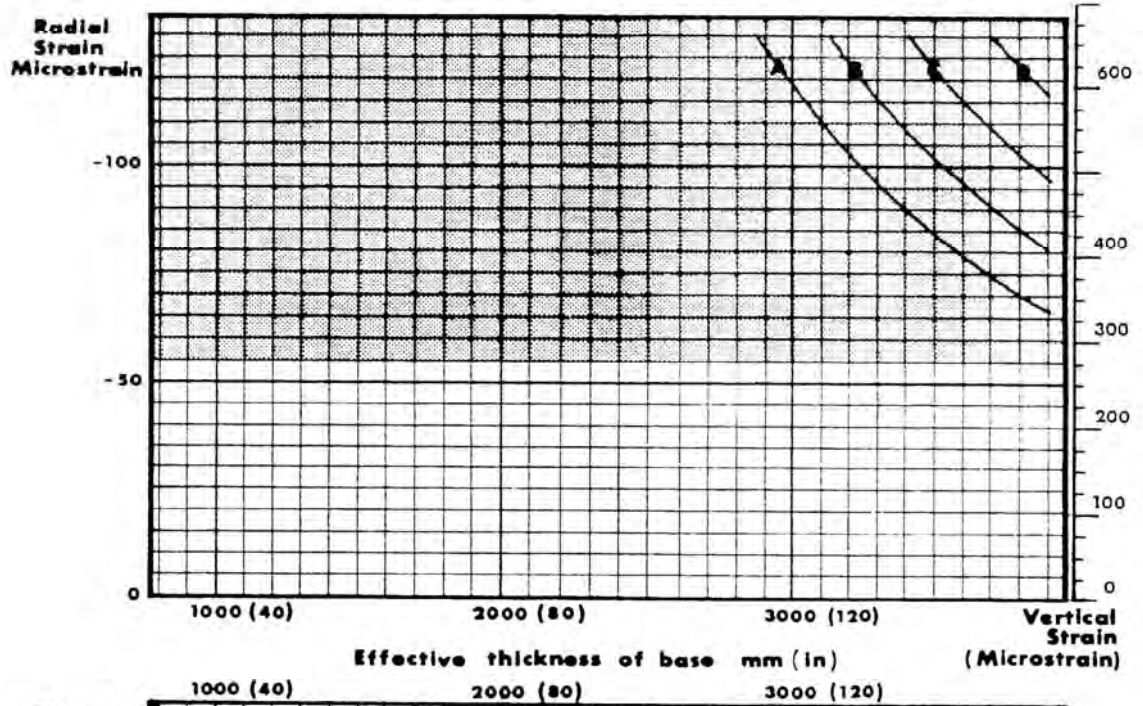
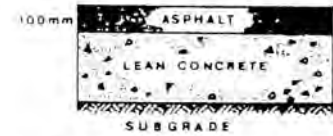


CHART No. 2

3% CBR

ASPHALT

No sub-base

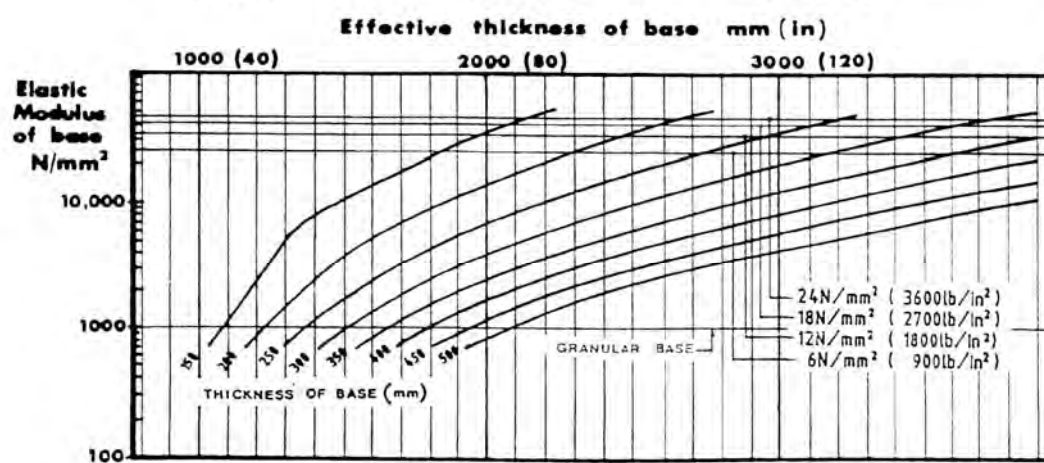
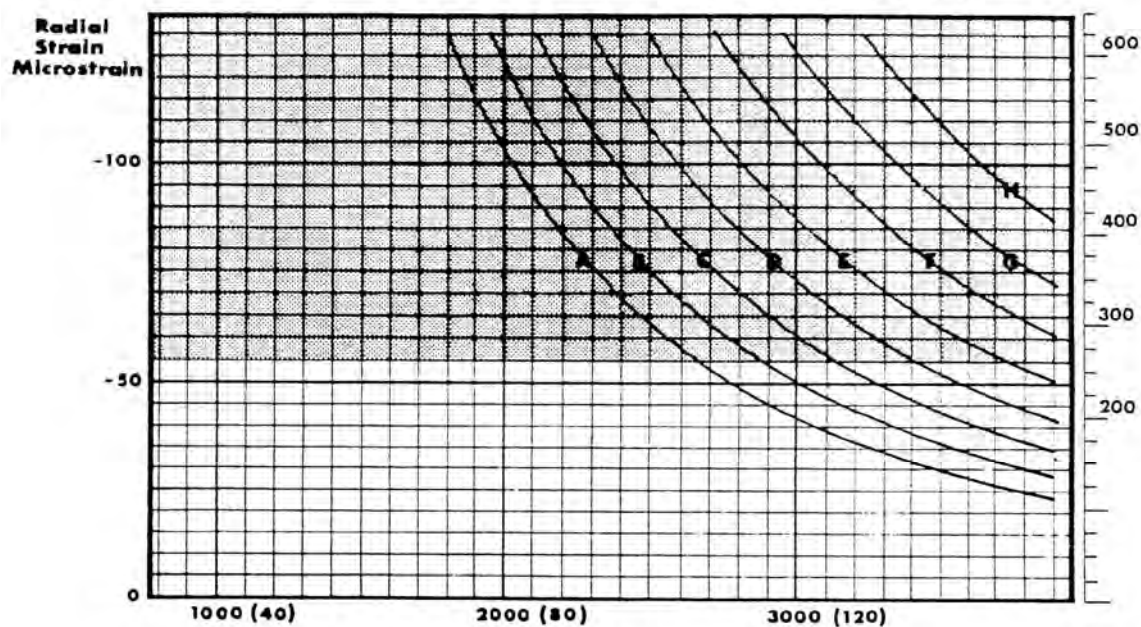


CHART No. 3

5% CBR
ASPHALT
No sub-base

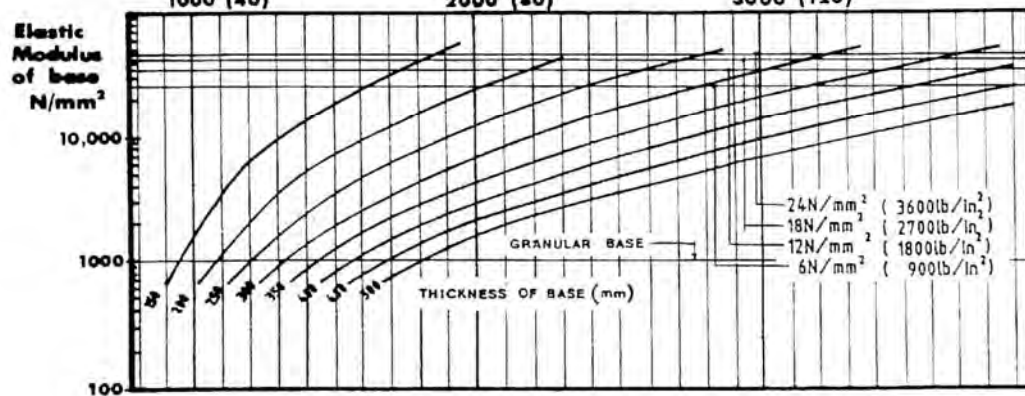
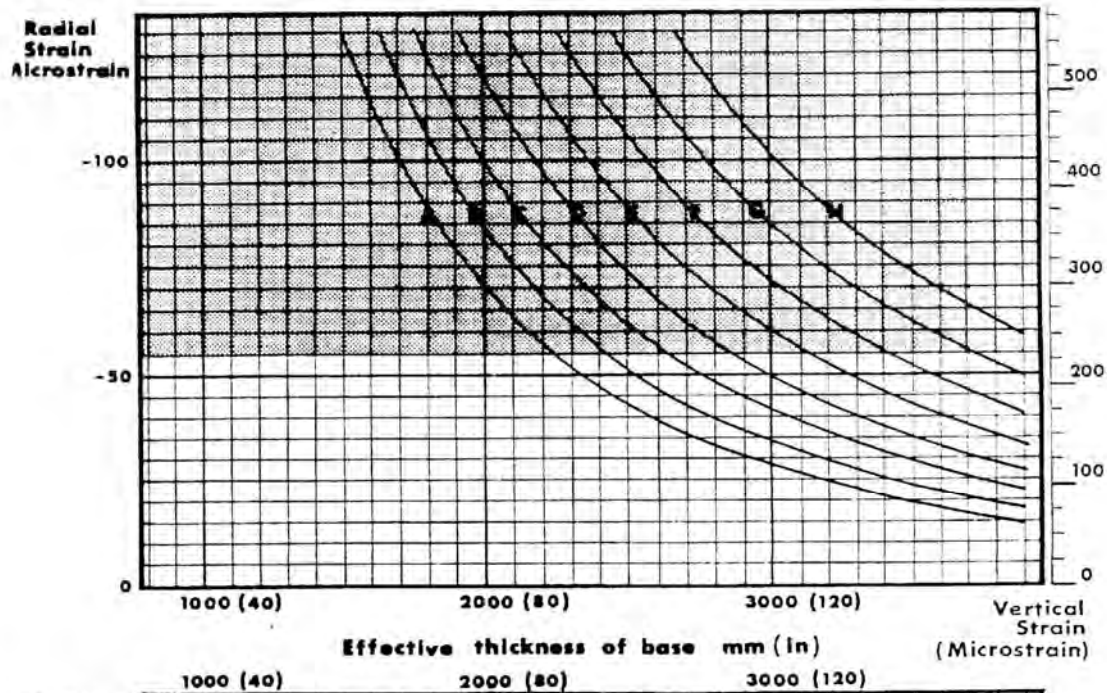
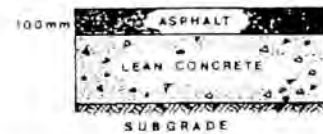


CHART No. 4

10 % CBR

ASPHALT

No sub-base

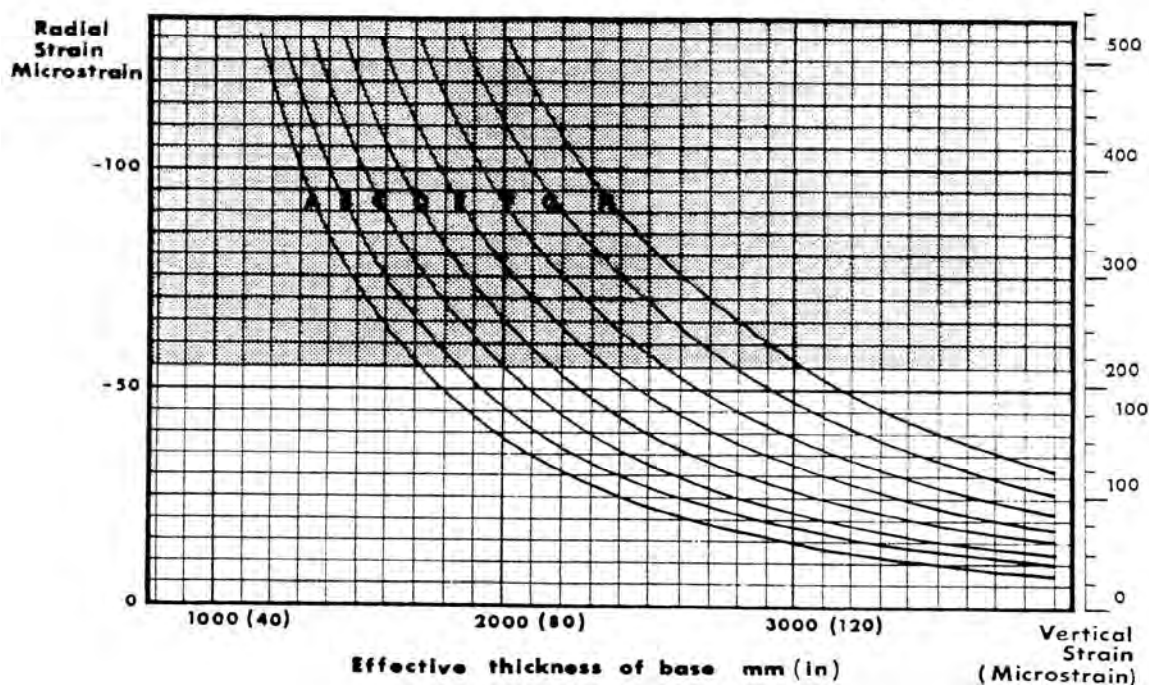


CHART No. 5

30 % CBR
ASPHALT
No sub-base

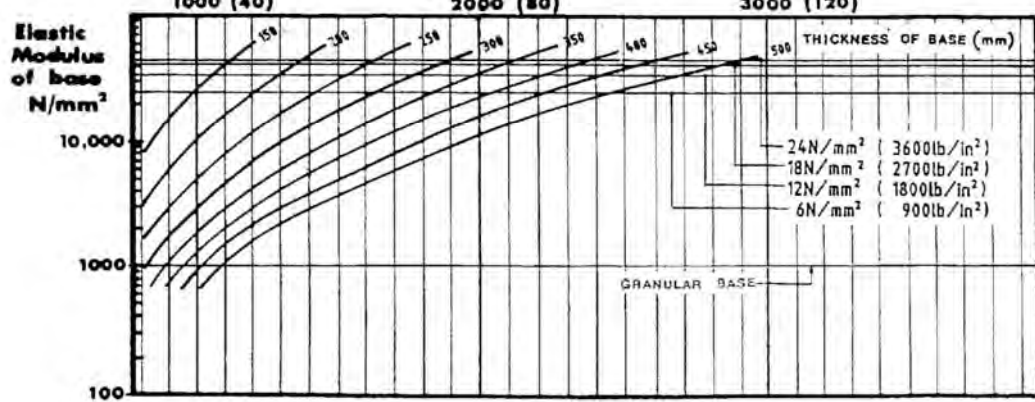
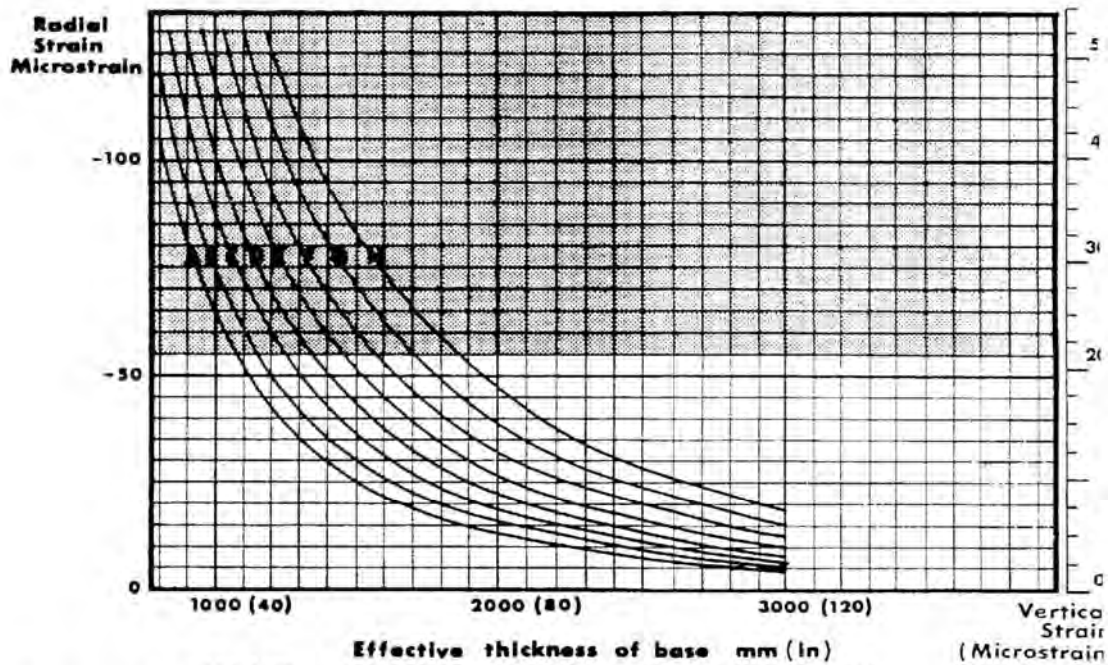


CHART No. 6

1% CBR

ASPHALT

300 mm (12 in) sub-base

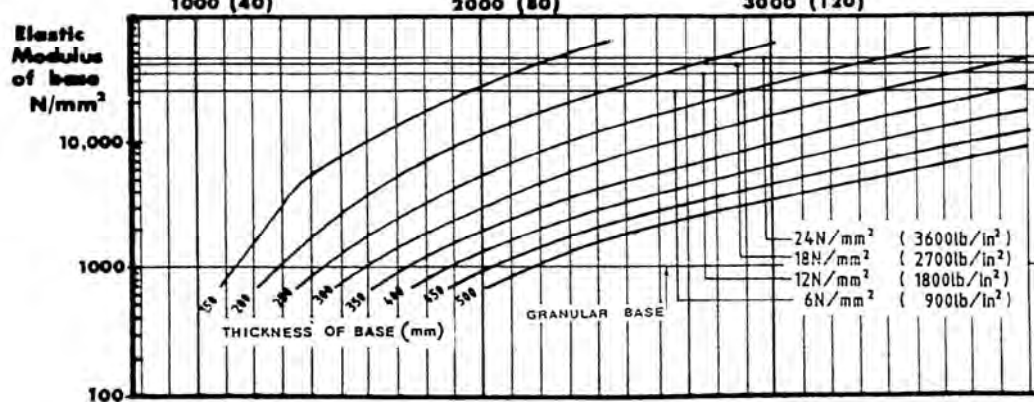
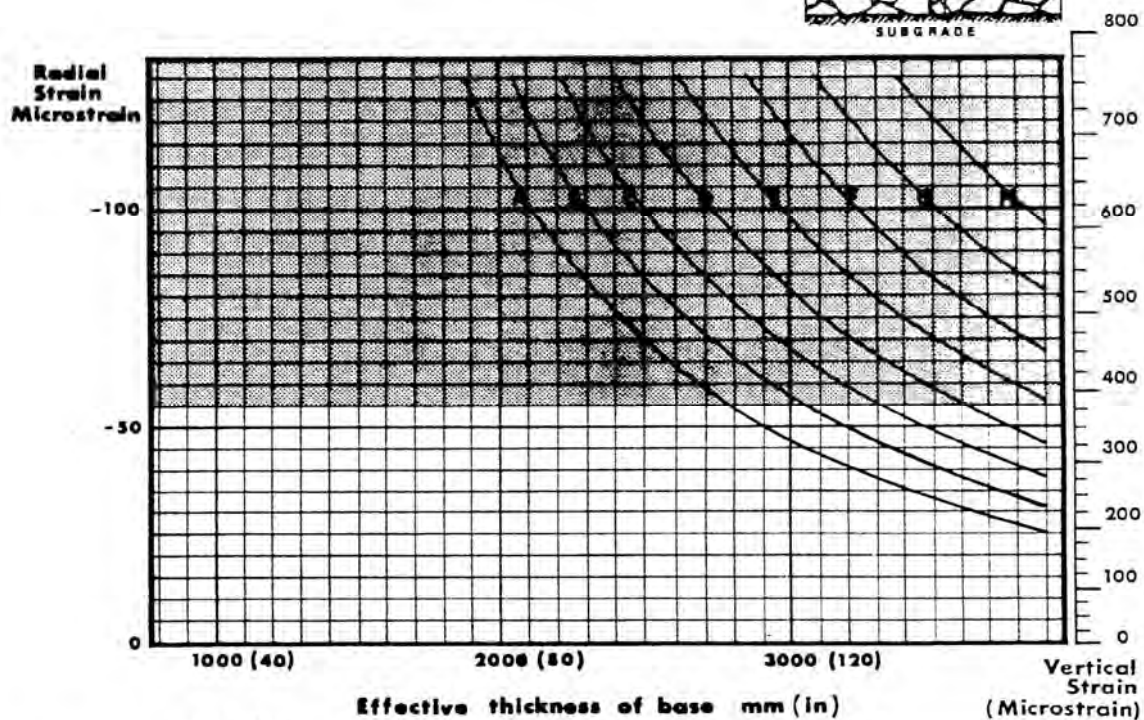
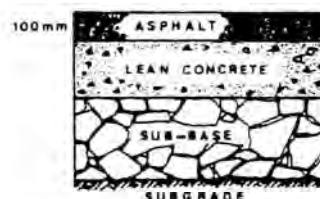


CHART No. 7

3% CBR

ASPHALT

300 mm (12 in) sub-base

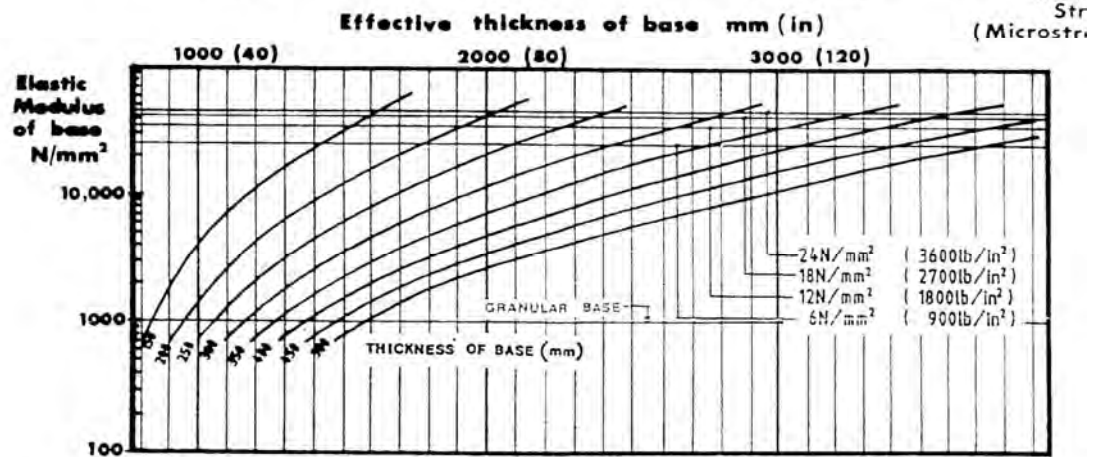
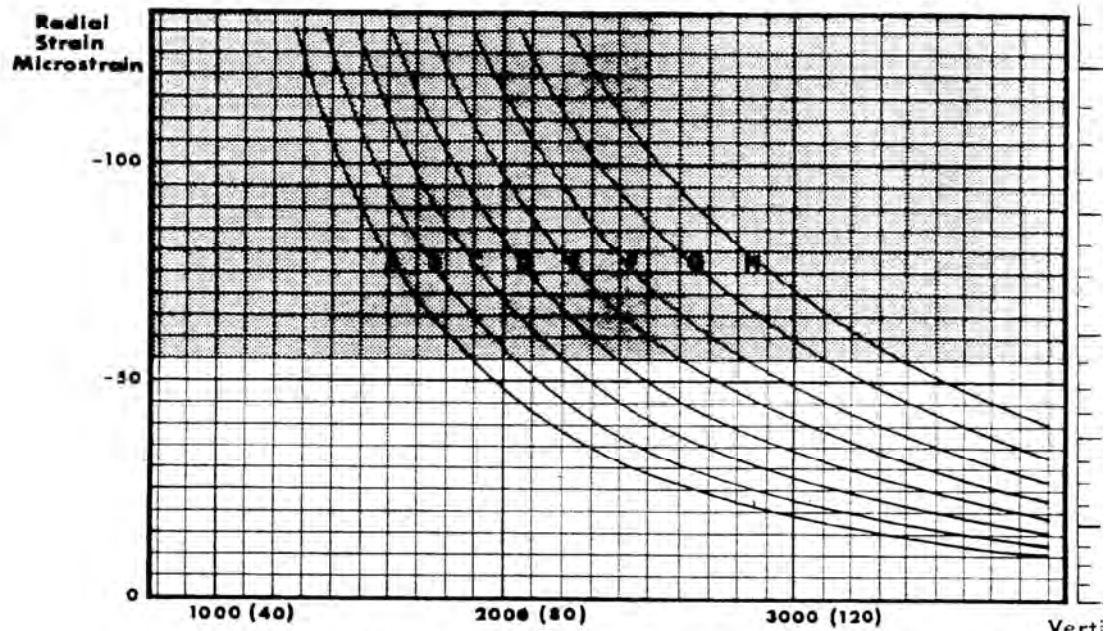
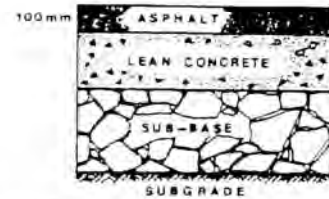


CHART No. 8

**5% CBR
ASPHALT
300 mm (12 in) sub-base**

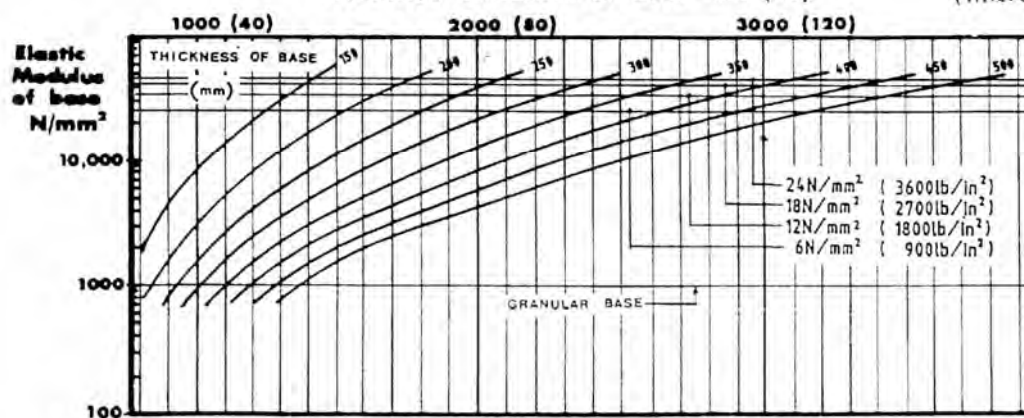
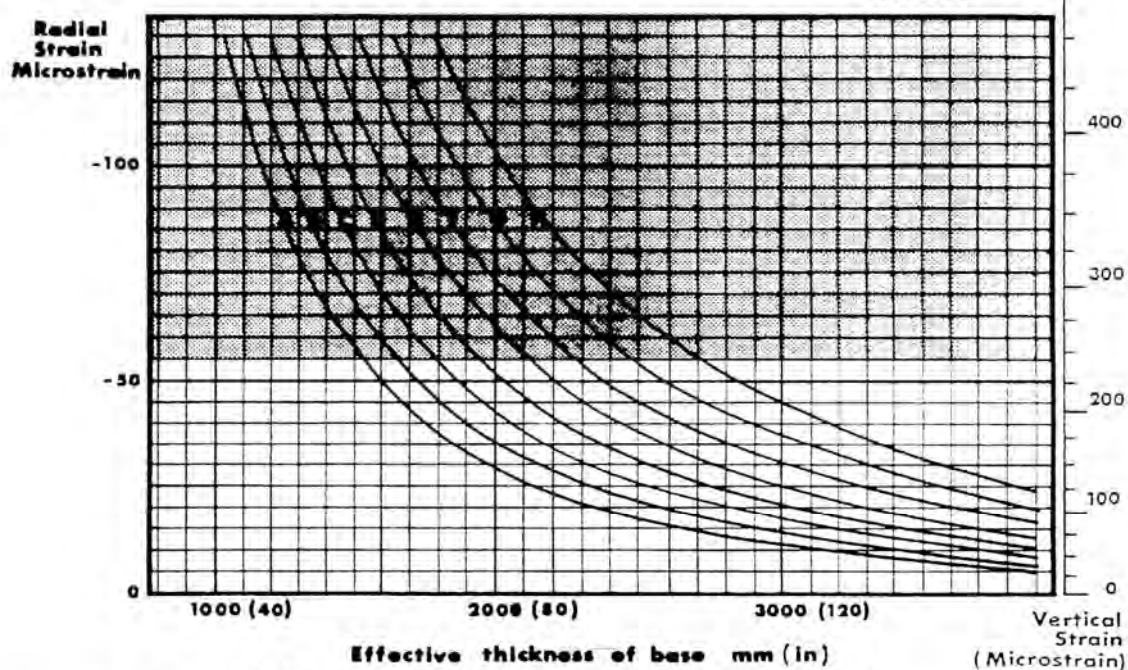
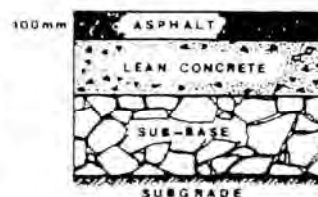


CHART No. 9

**10 % CBR
ASPHALT
300 mm (12 in) sub-base**

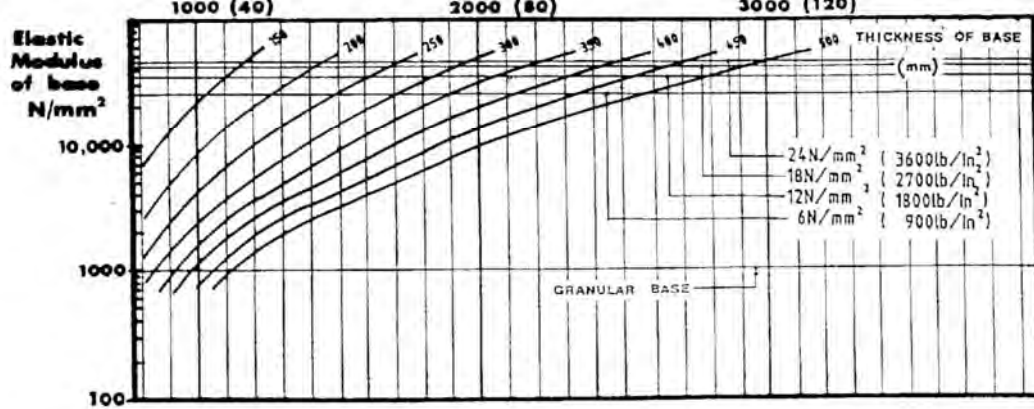
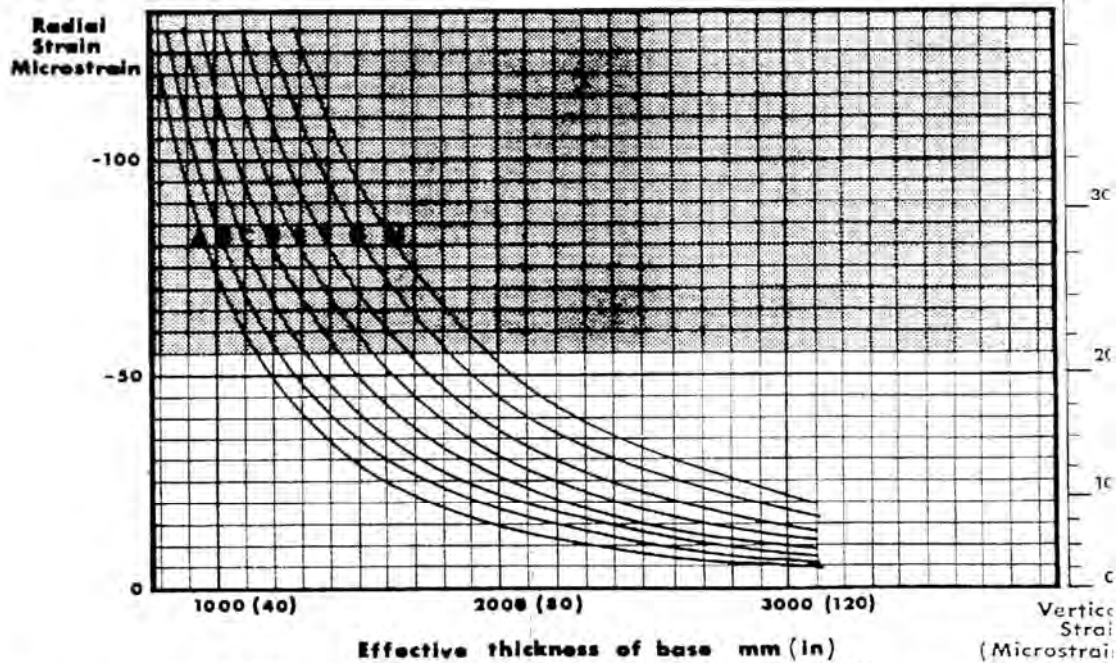
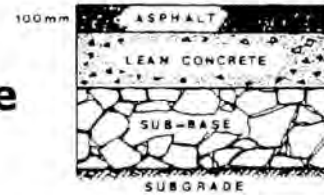


CHART No. 10

30% CBR
ASPHALT
300 mm (12 in) sub-base

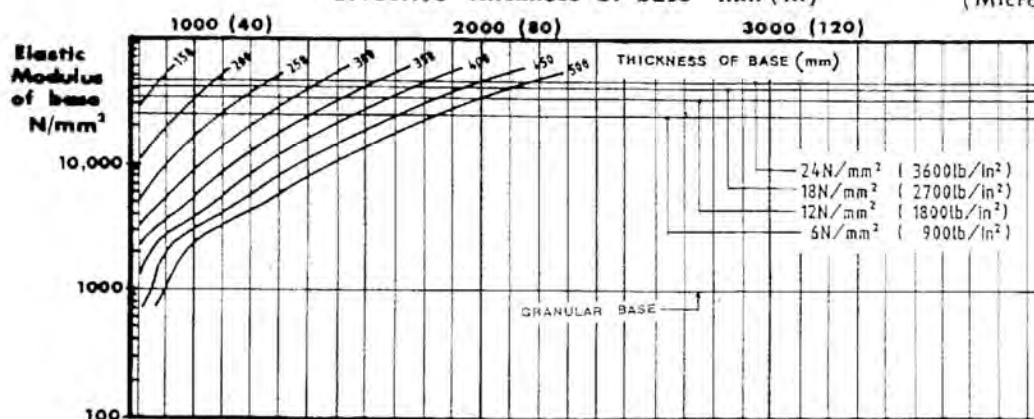
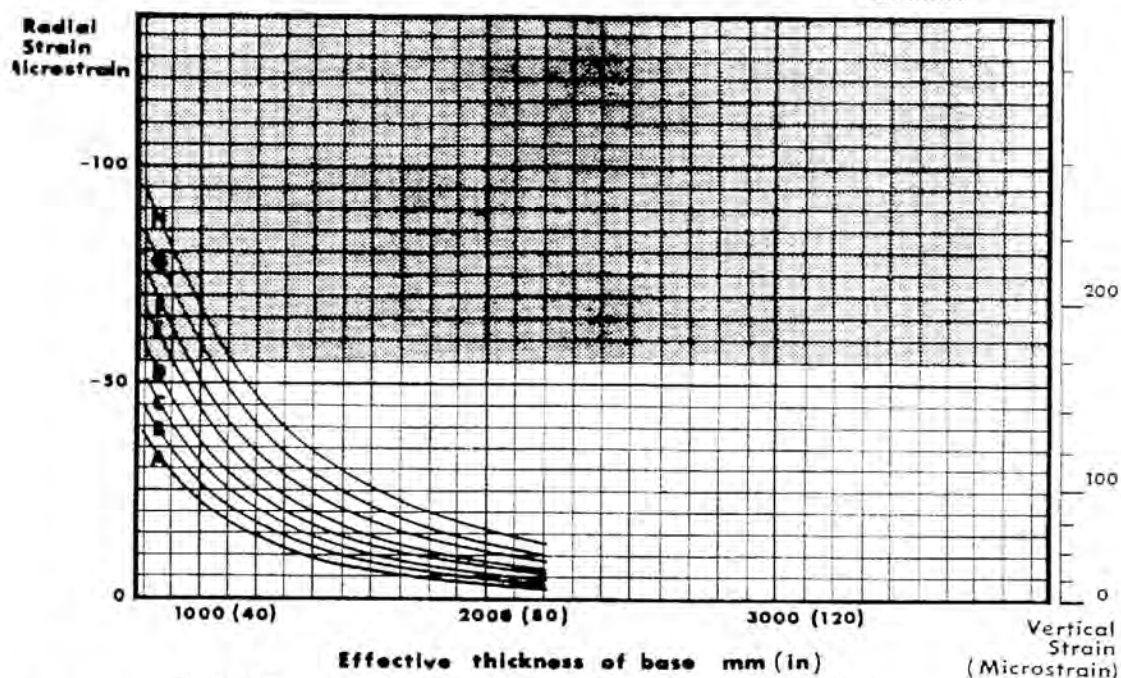
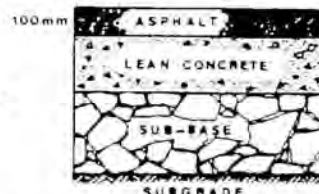


CHART No. 11

1% CBR
 ASPHALT
 600 mm (24 in) sub-base

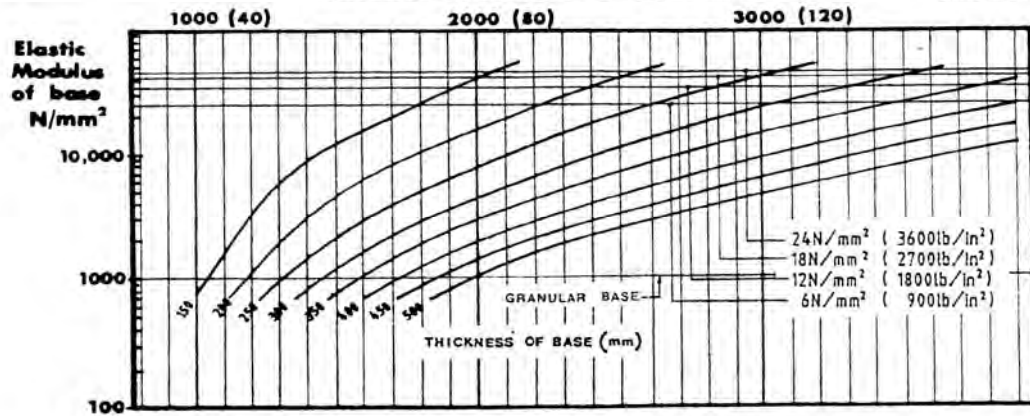
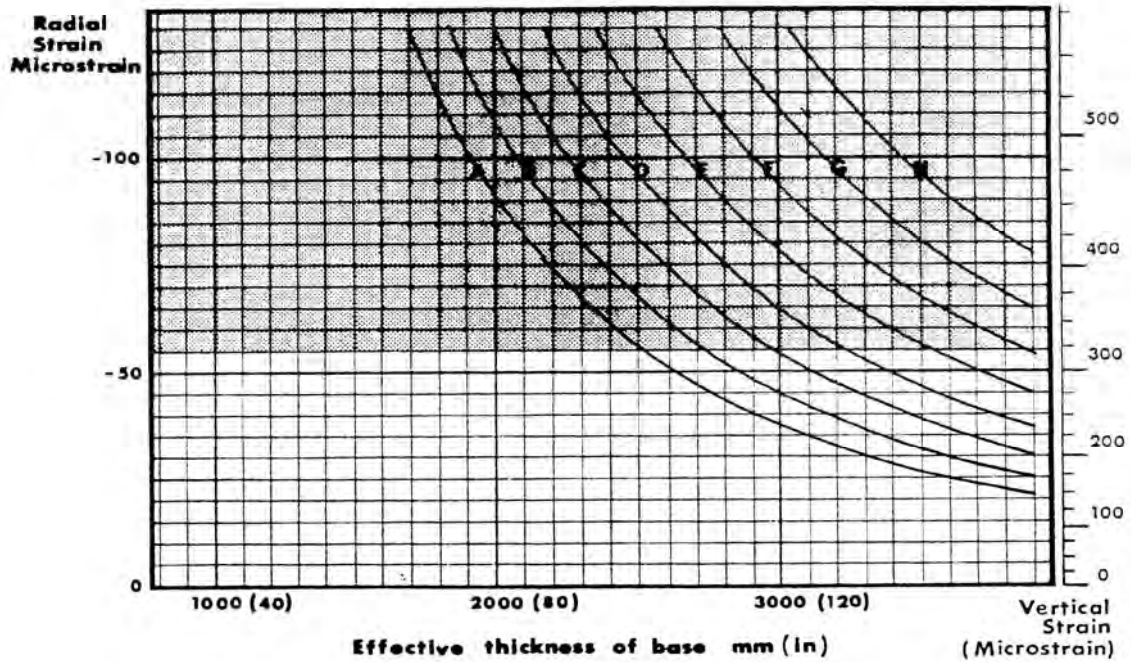
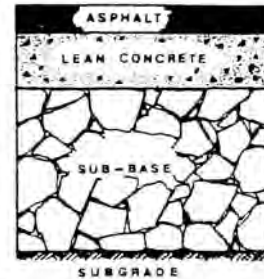


CHART No. 12

3% CBR
ASPHALT
600 mm (24 in) sub-base

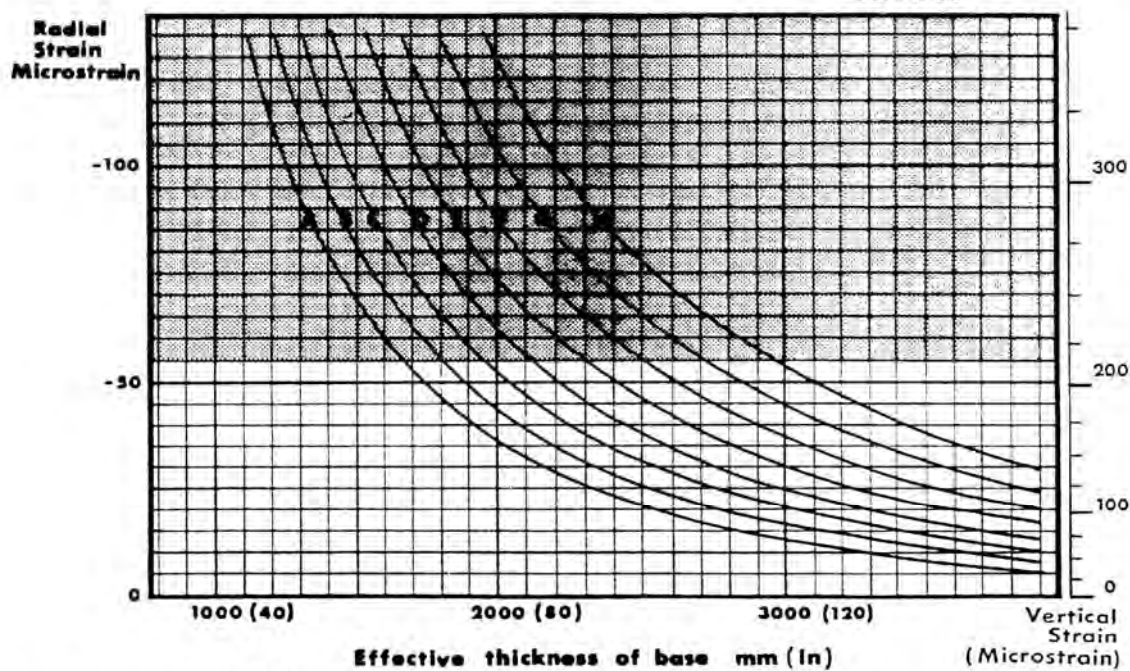
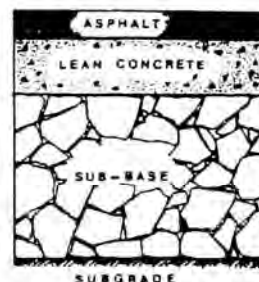


CHART No. 13

**5% CBR
ASPHALT
600mm (24 in) sub-base**

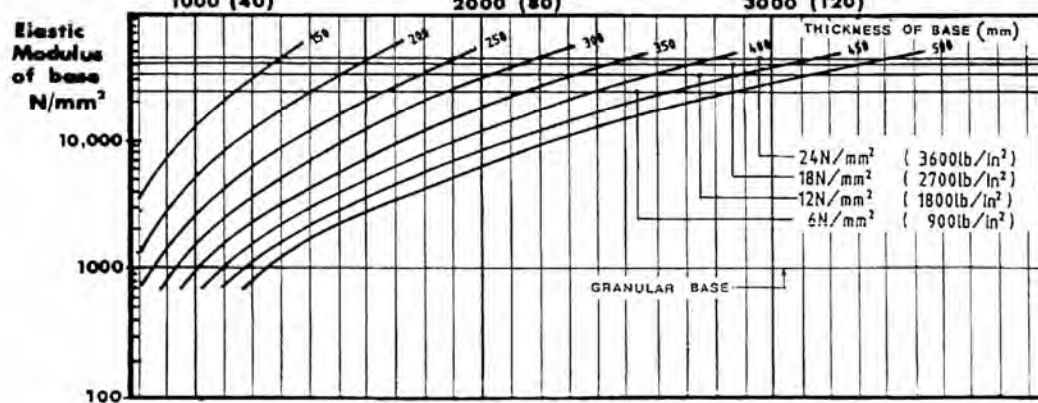
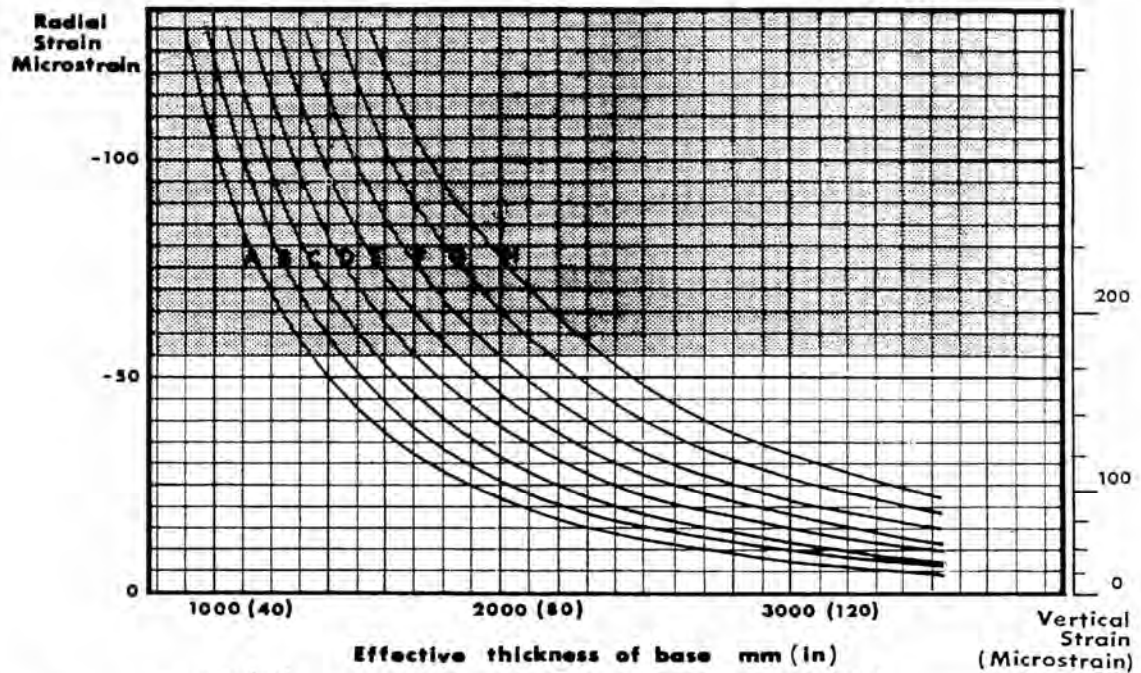
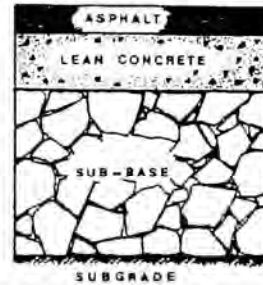


CHART No. 14

**10% CBR
ASPHALT
600mm (24 in) sub-base**

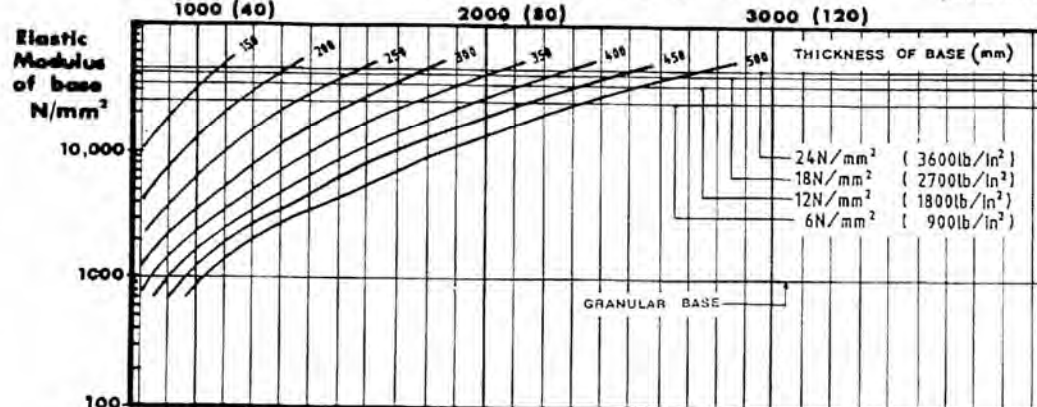
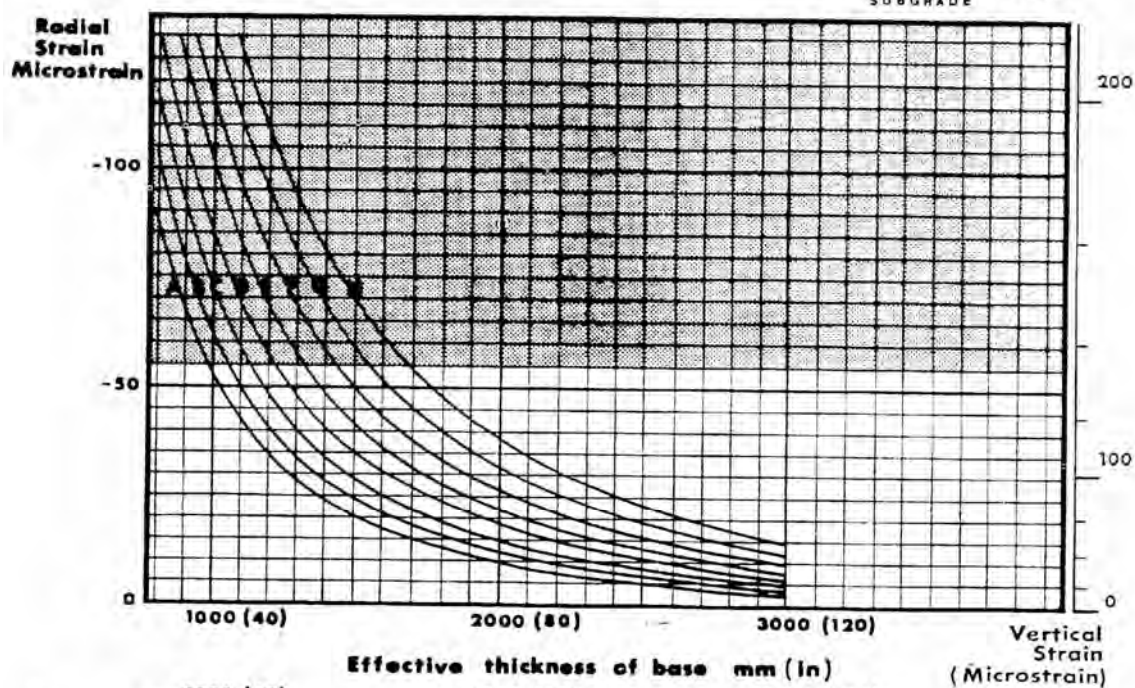
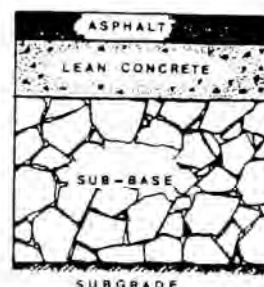


CHART No. 15

30% CBR
 ASPHALT
 600mm (24 in) sub-base

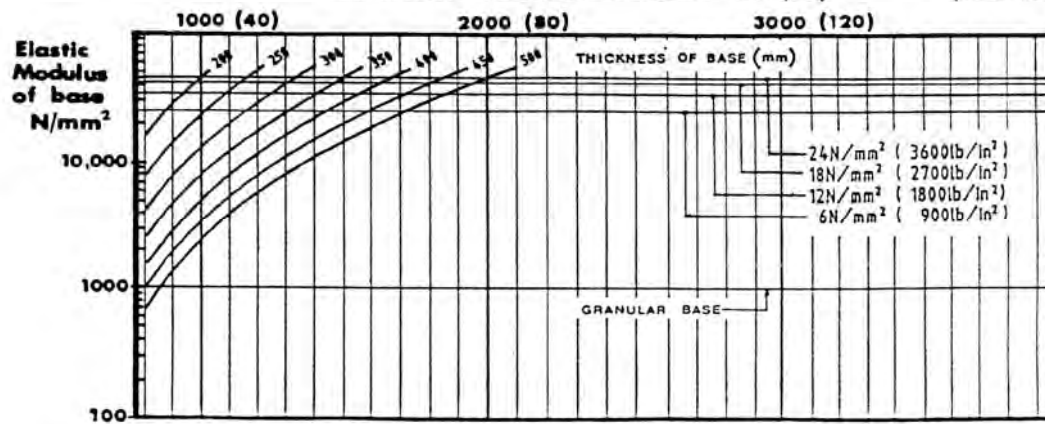
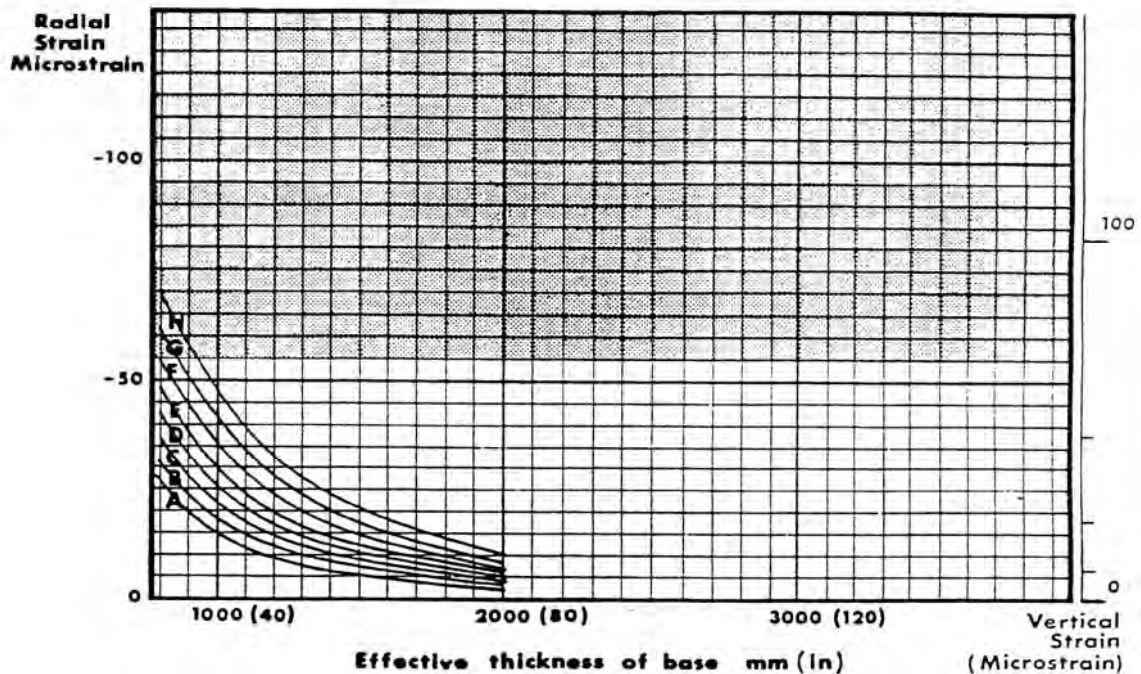
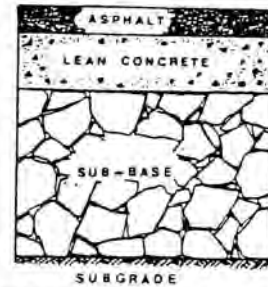


CHART No. 16

1% C.B.R.
Concrete blocks
No sub-base

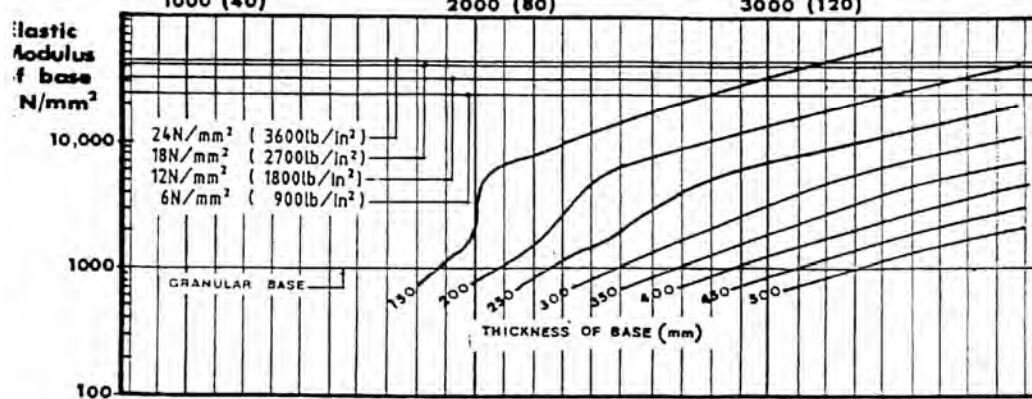
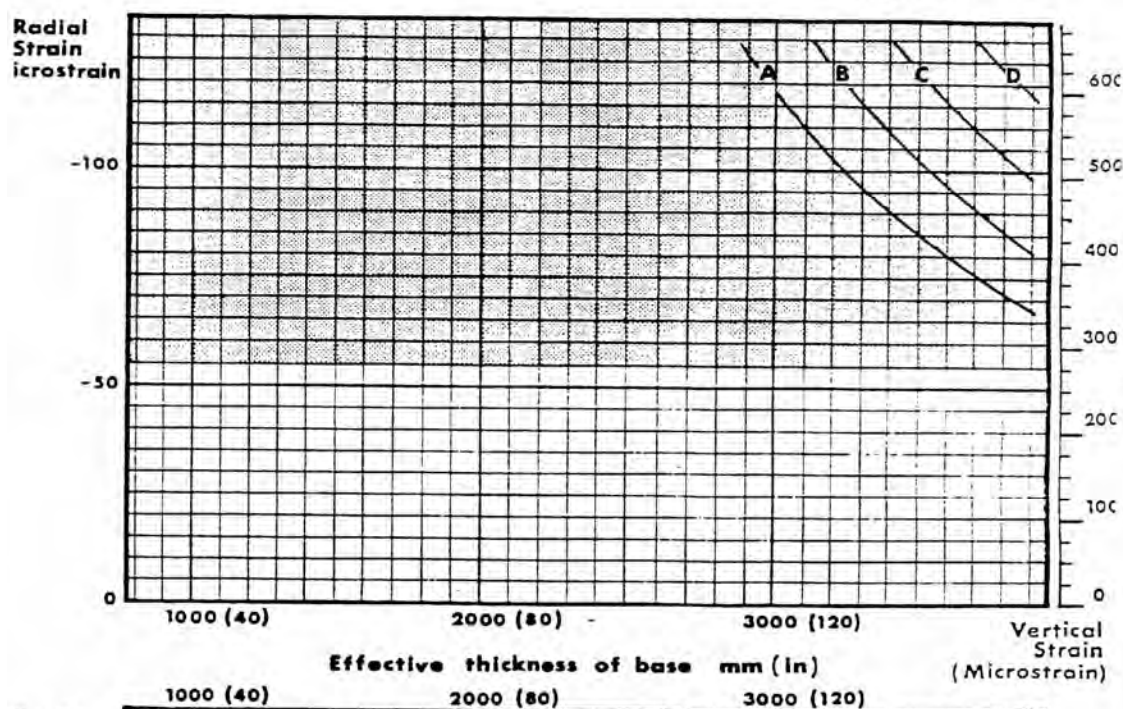
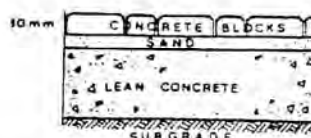


CHART No. 17

**3% C.B.R.
Concrete blocks
No sub-base**

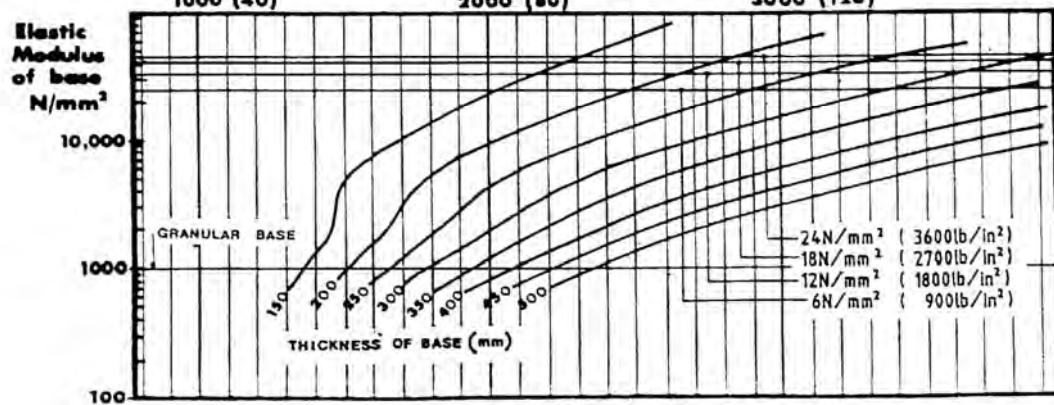
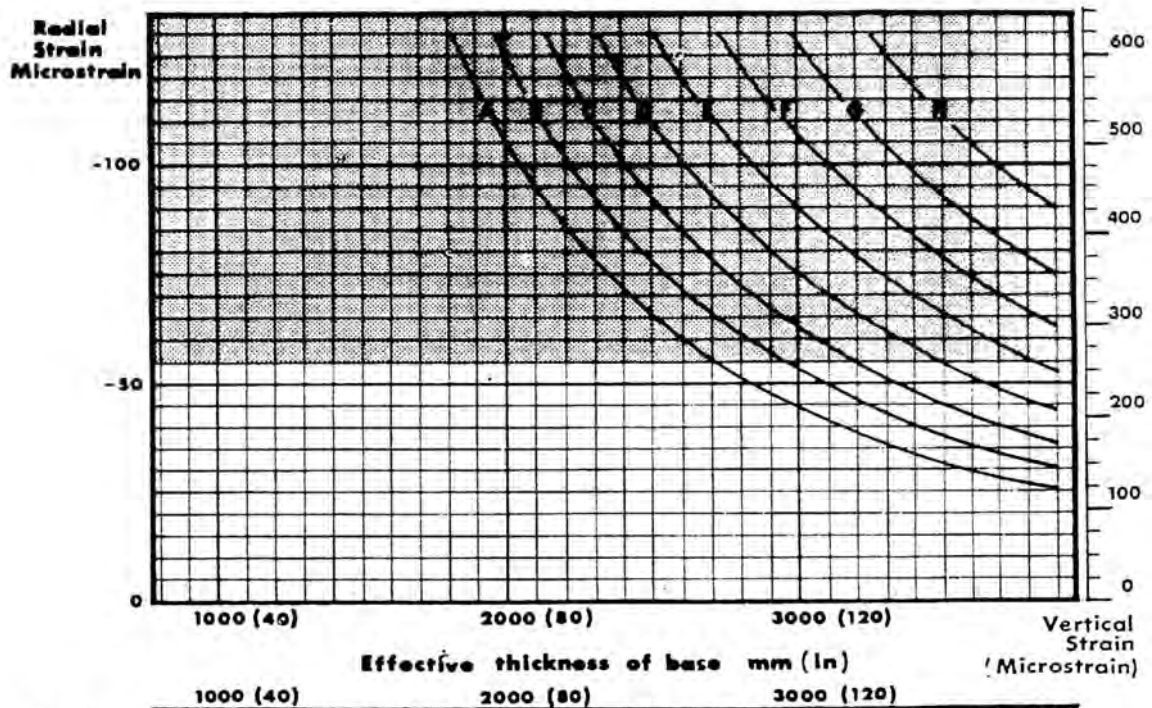
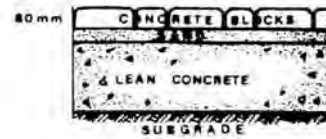


CHART No. 18

5% C.B.R.
Concrete blocks
No sub-base

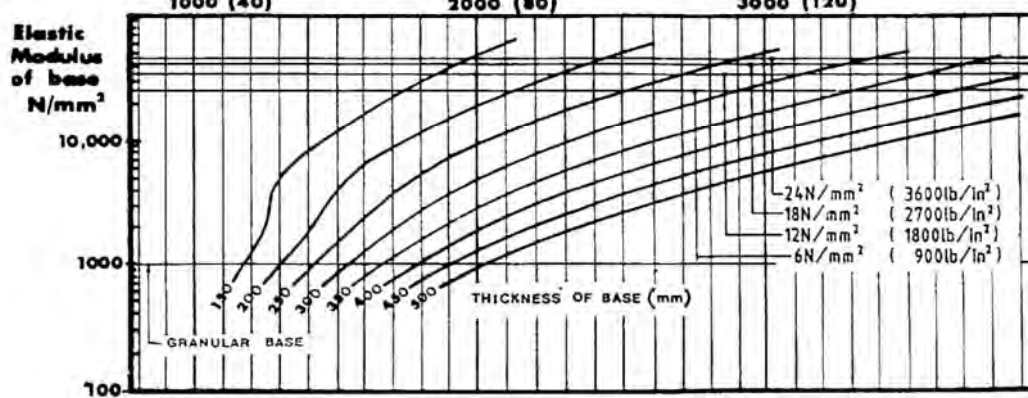
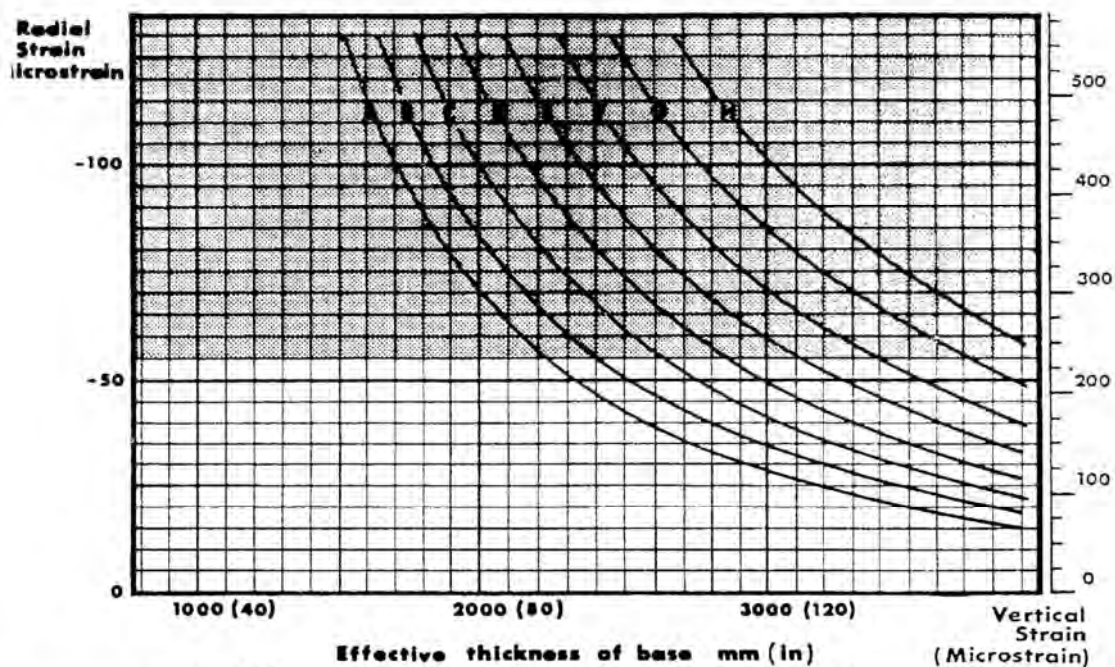
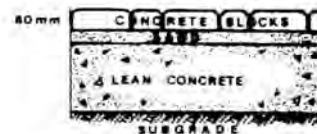


CHART No. 19

10% C.B.R.

Concrete blocks

No sub-base

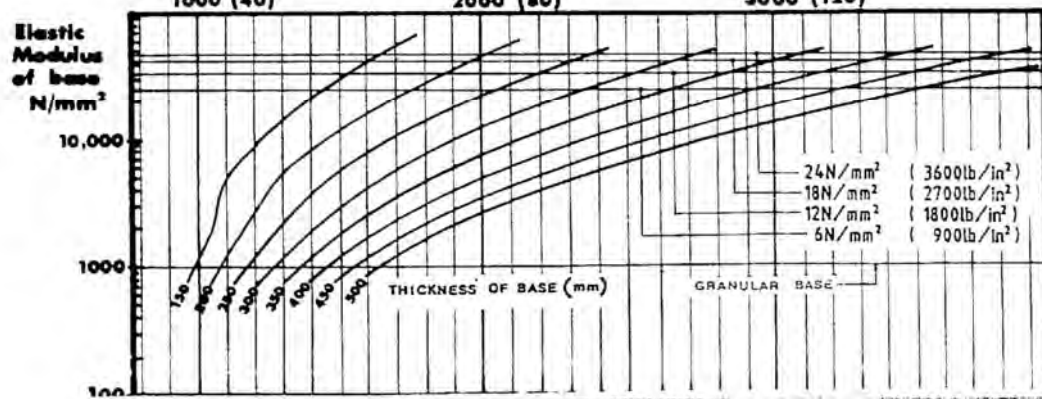
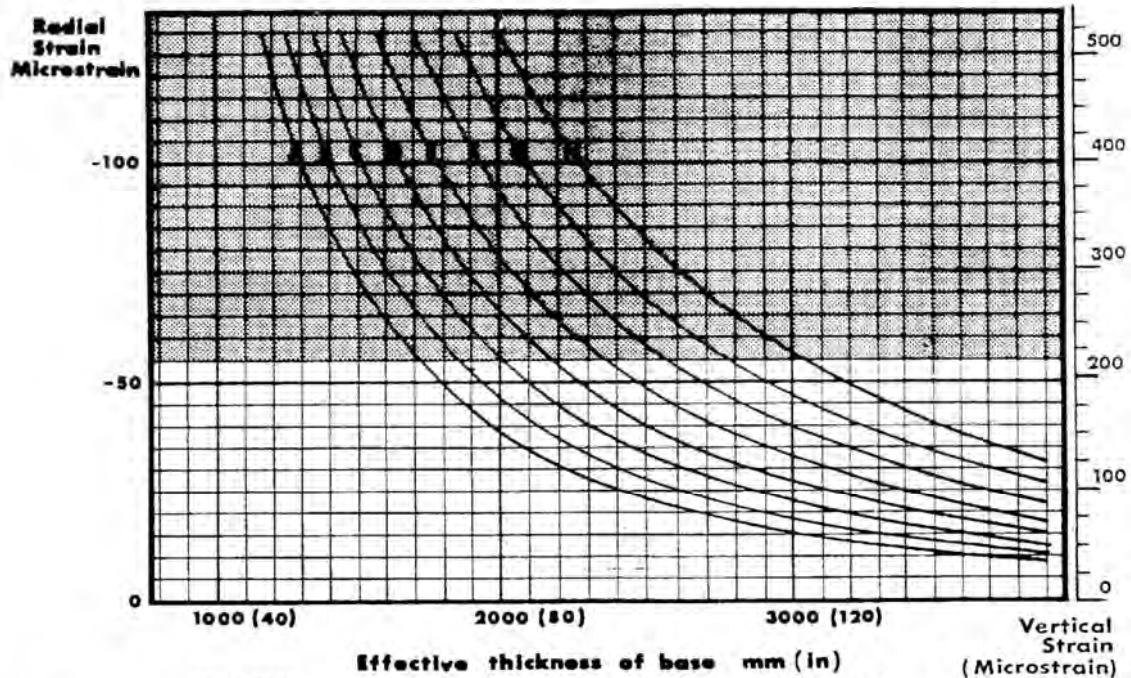
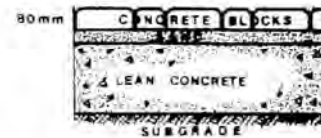


CHART No. 20

30% C.B.R.
Concrete blocks
No sub-base

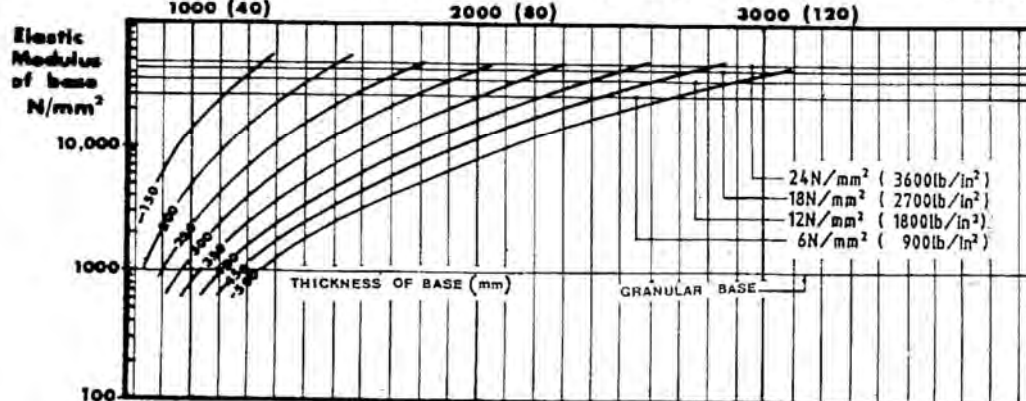
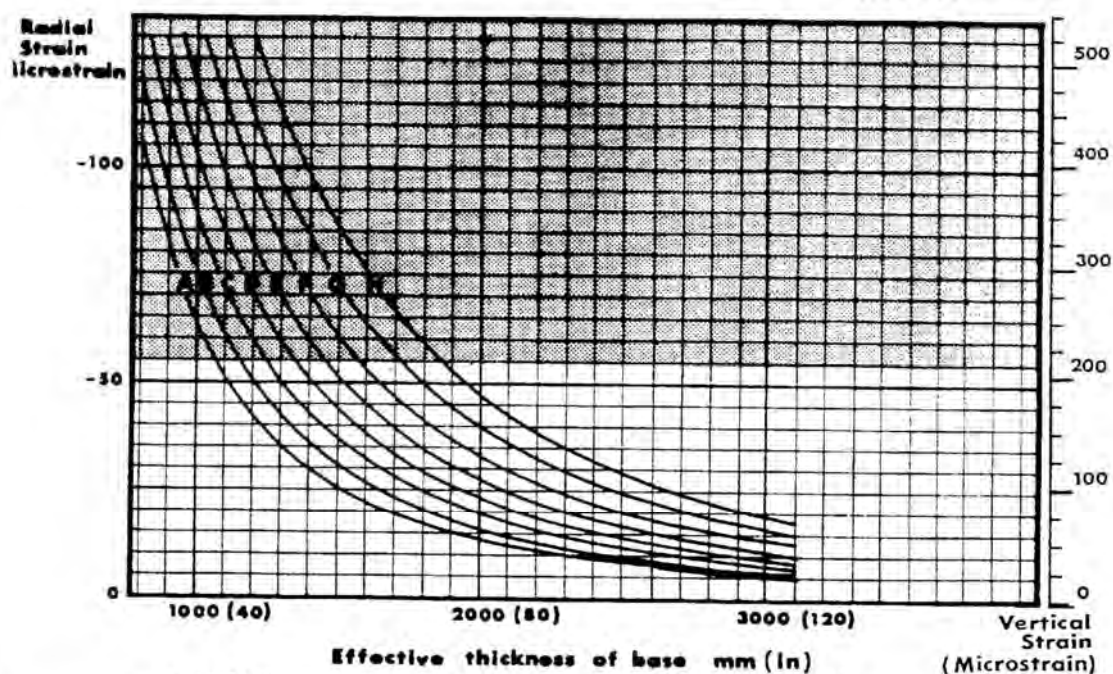


CHART No. 21

1% C.B.R.

Concrete blocks

300mm (12 in) sub-base

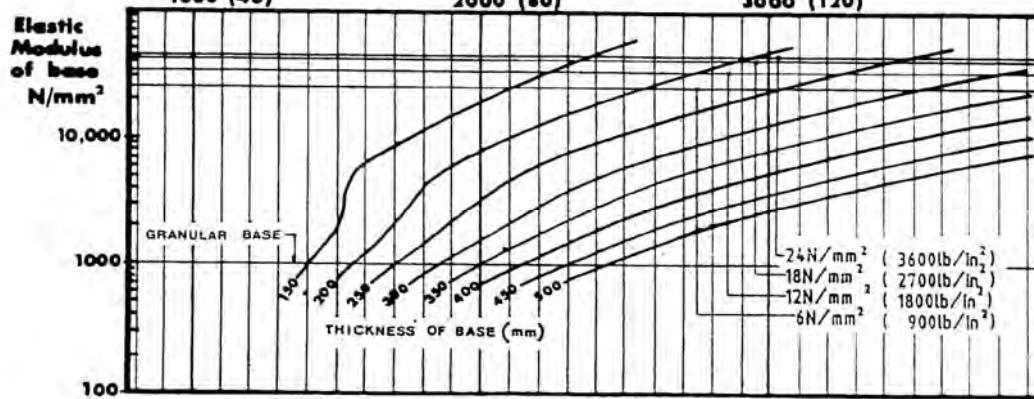
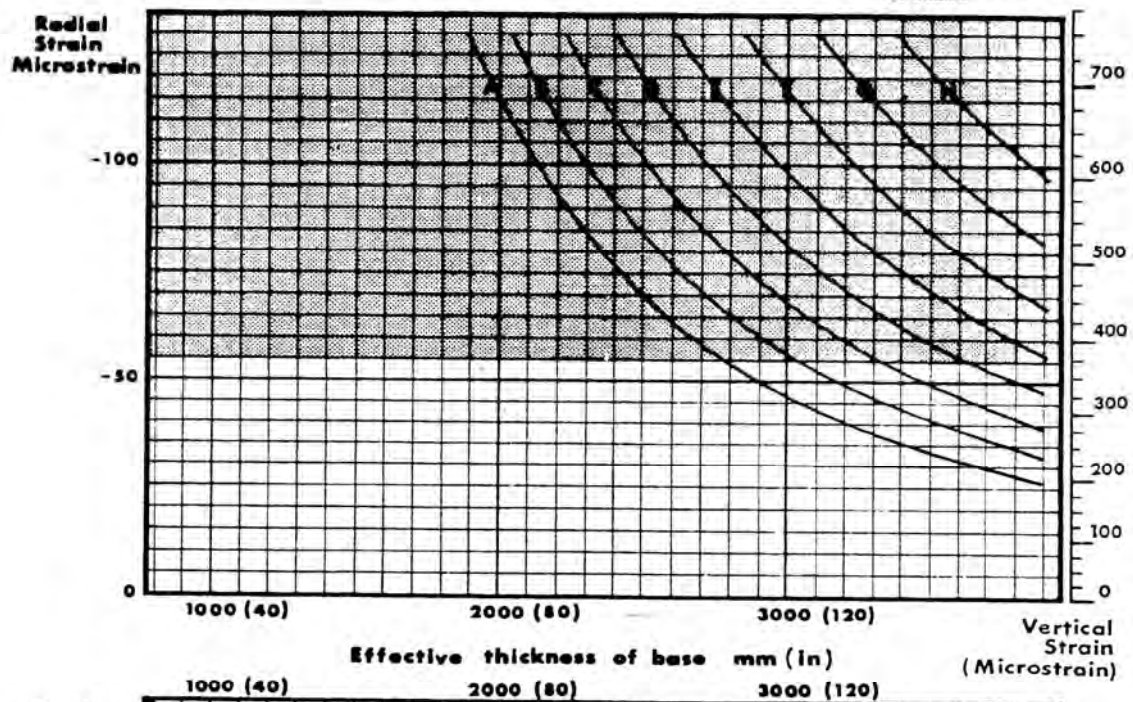
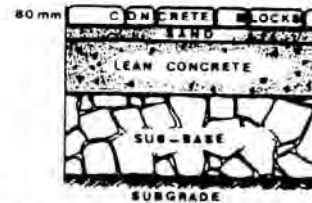


CHART No. 22

3% C B R

Concrete blocks

300mm (12 in) sub-base

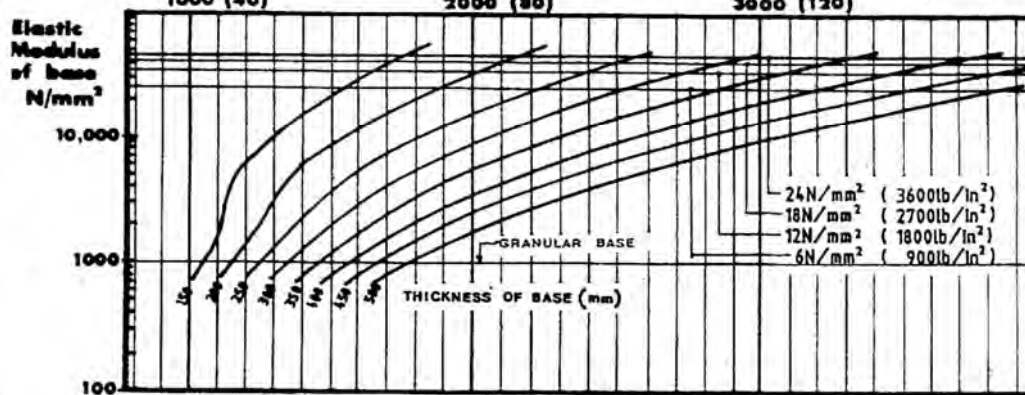
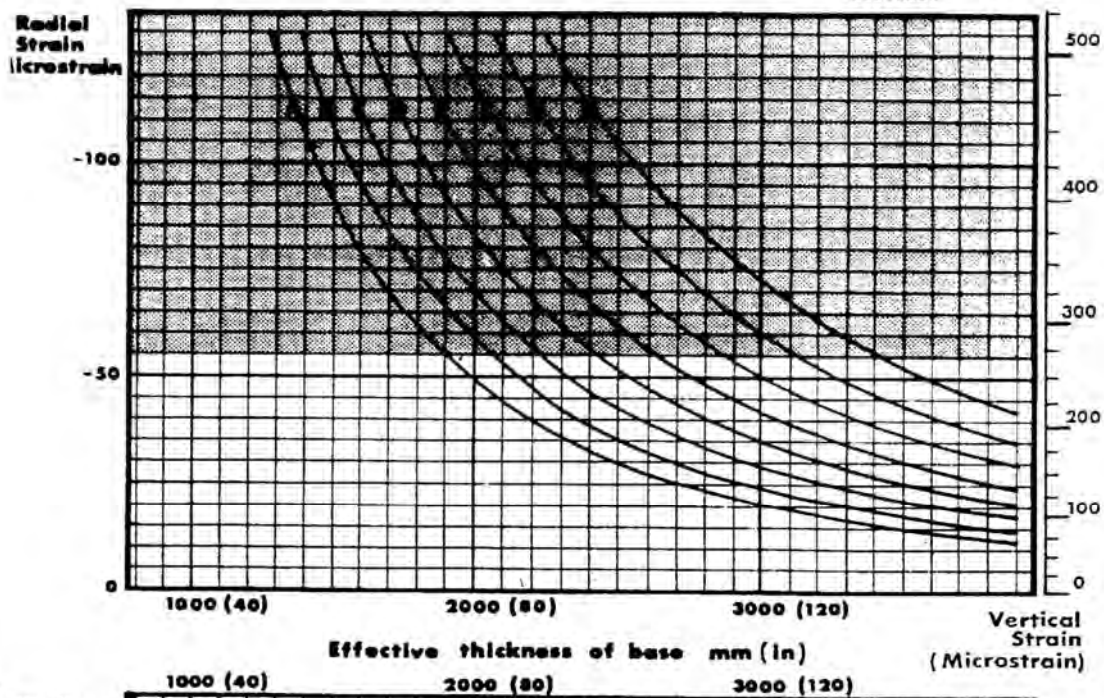
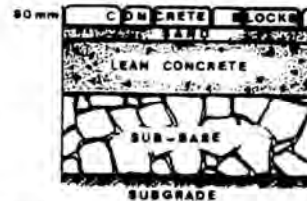


CHART No. 23

5% C B R
Concrete blocks
300mm (12 in) sub-base

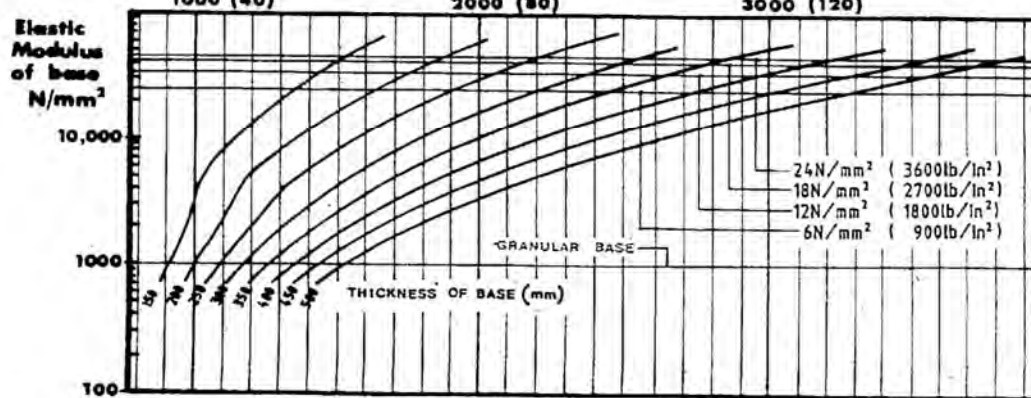
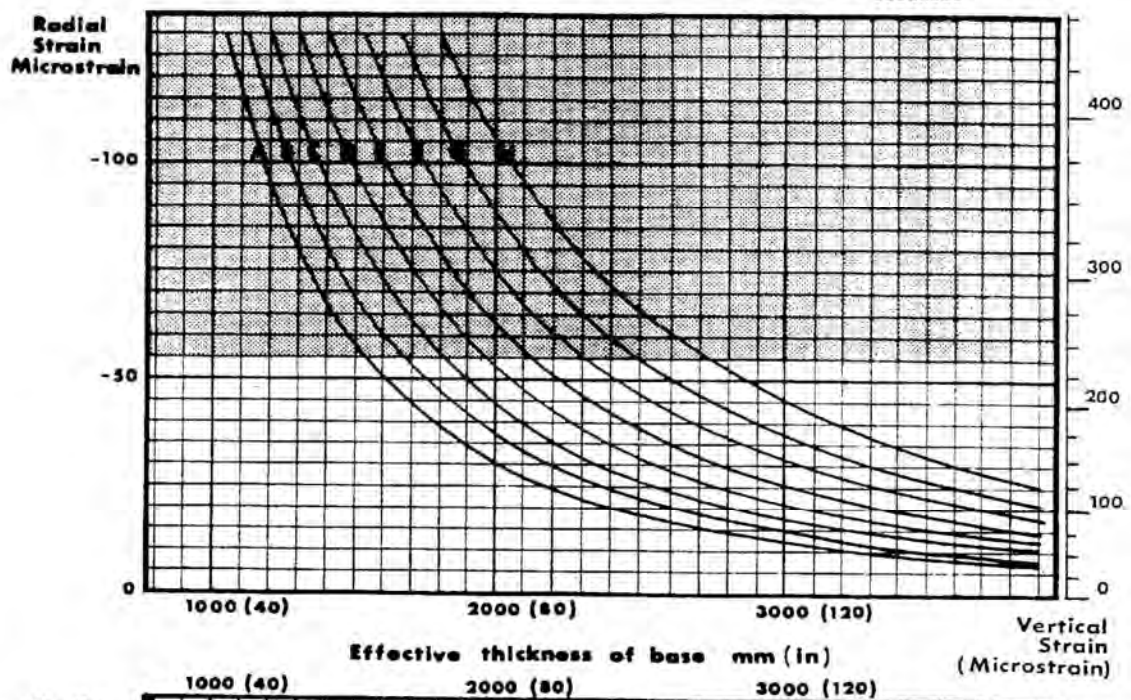
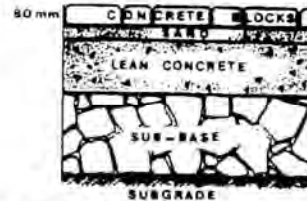


CHART No. 24

10% C B R
Concrete blocks
300mm (12 in) sub-base

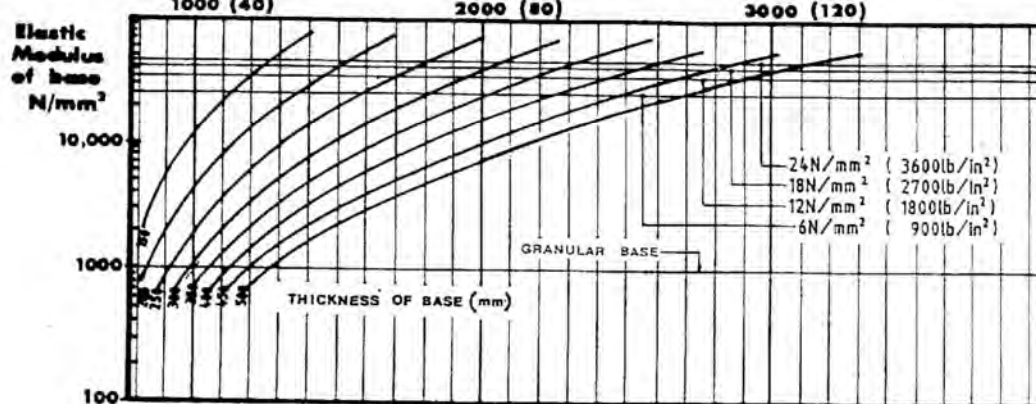
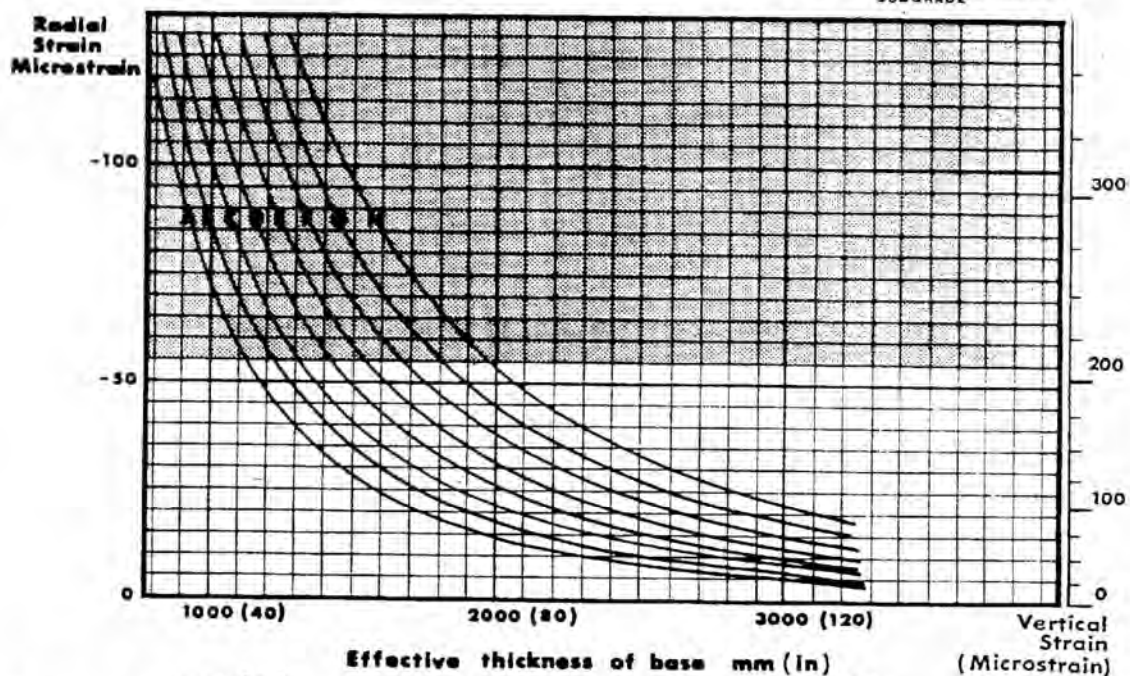
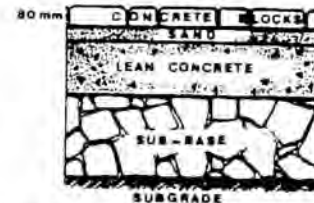


CHART No. 25

30% C B R
Concrete blocks
300mm (12in) sub-base

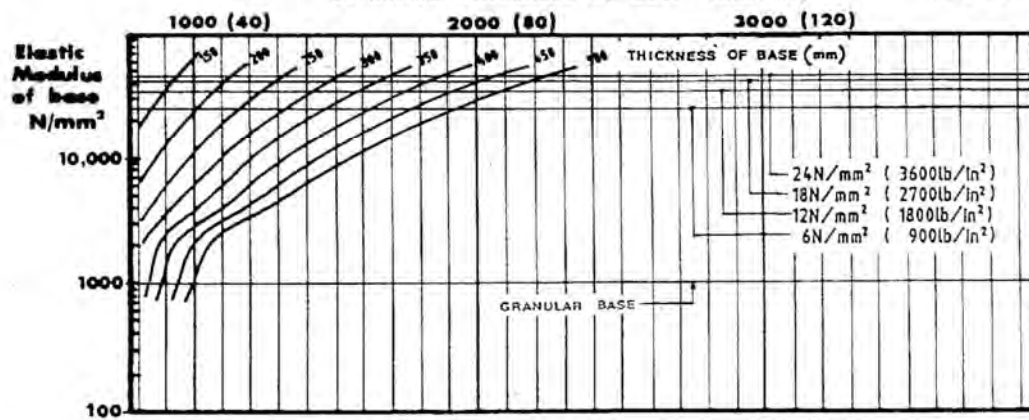
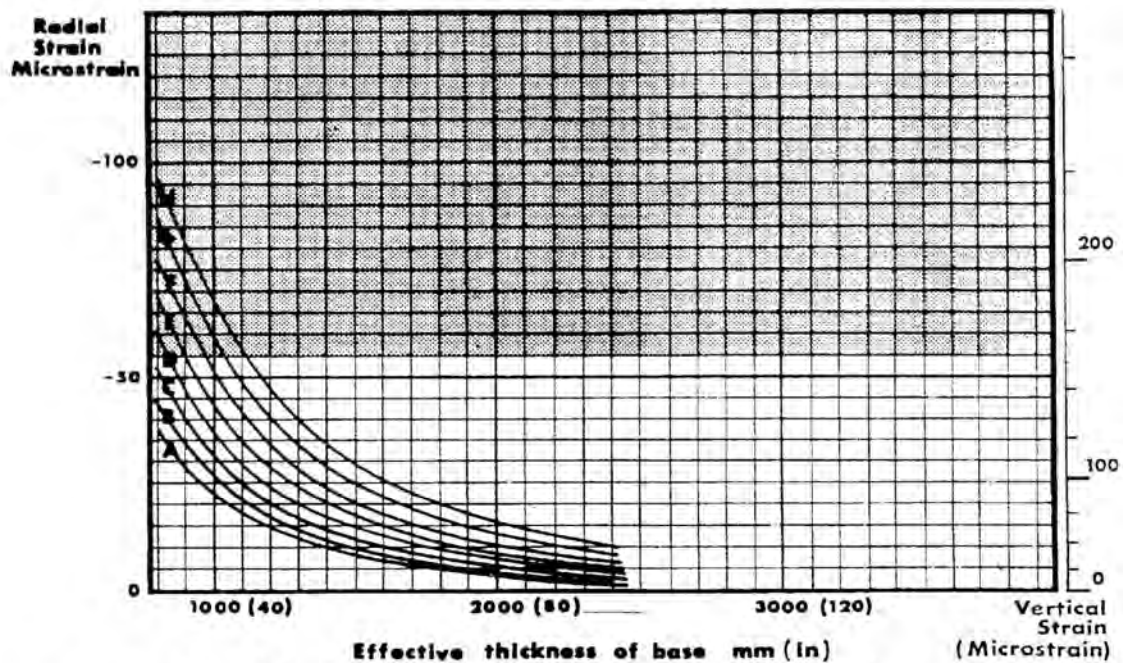
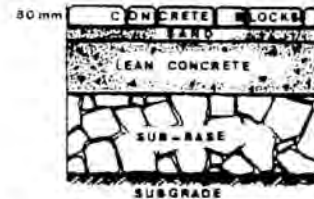


CHART No. 26

1% C B R
Concrete blocks
600mm (24in) sub-base

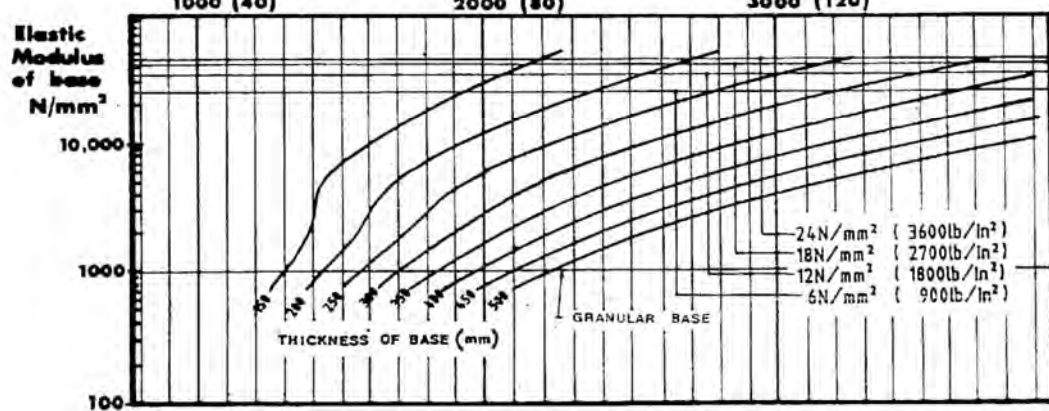
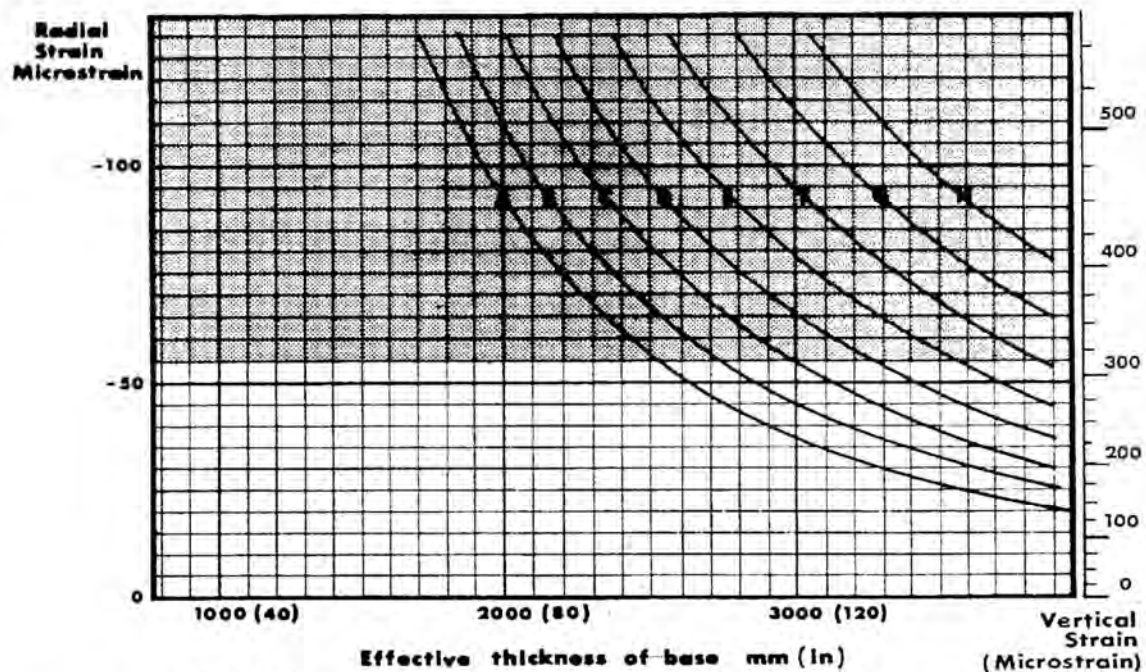
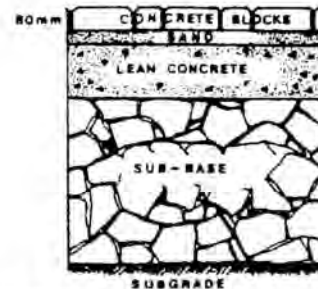


CHART No. 27

3% C B R
Concrete blocks
600mm (24 in) sub-base

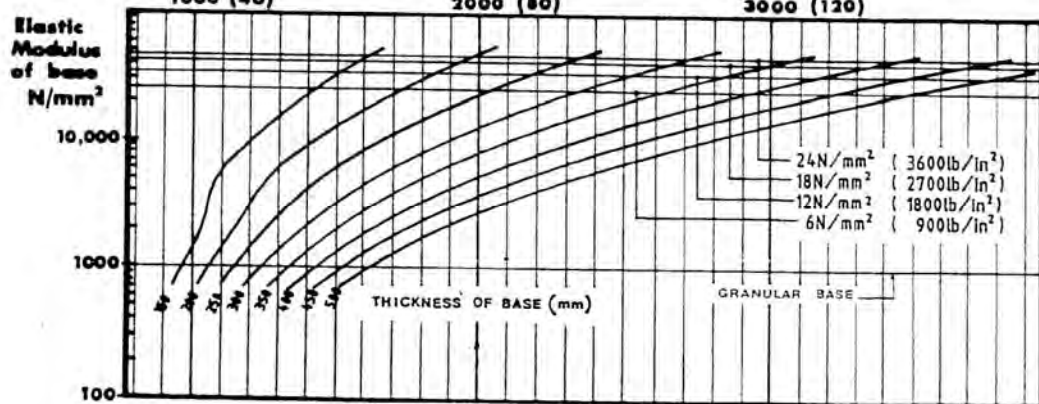
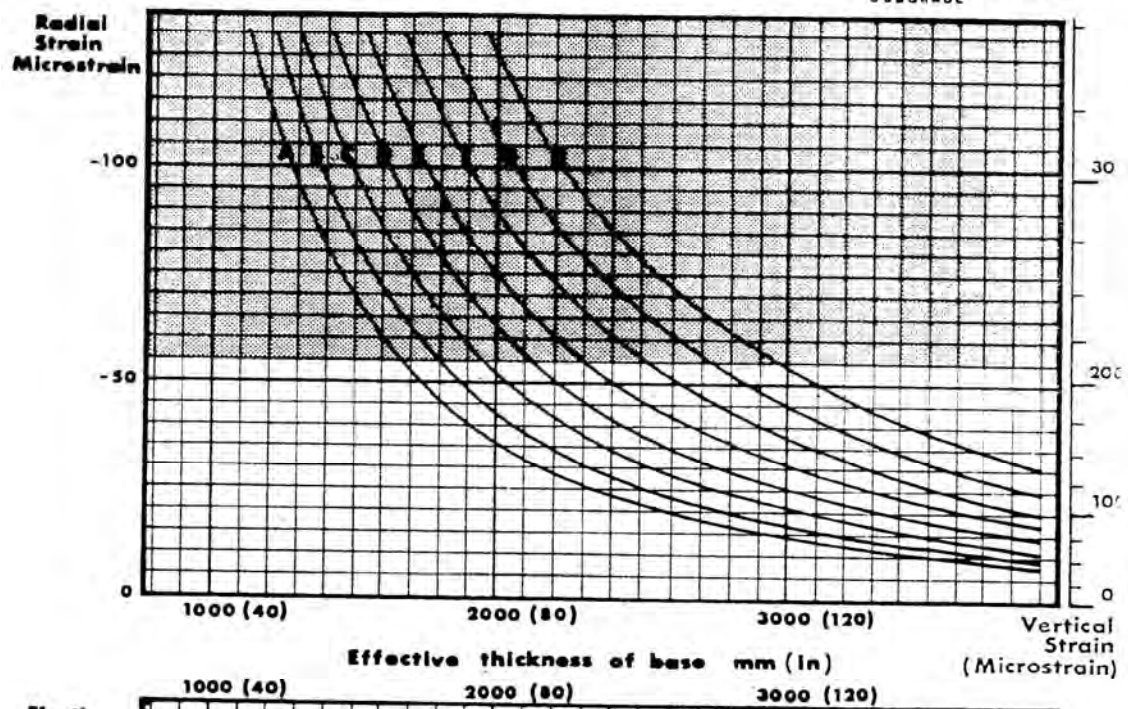
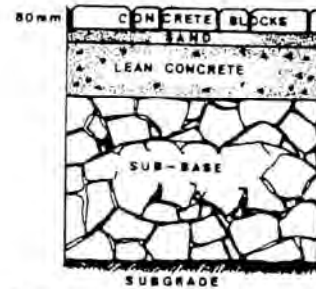


CHART No. 28

5% CBR
Concrete blocks
600mm (24 in) sub-base

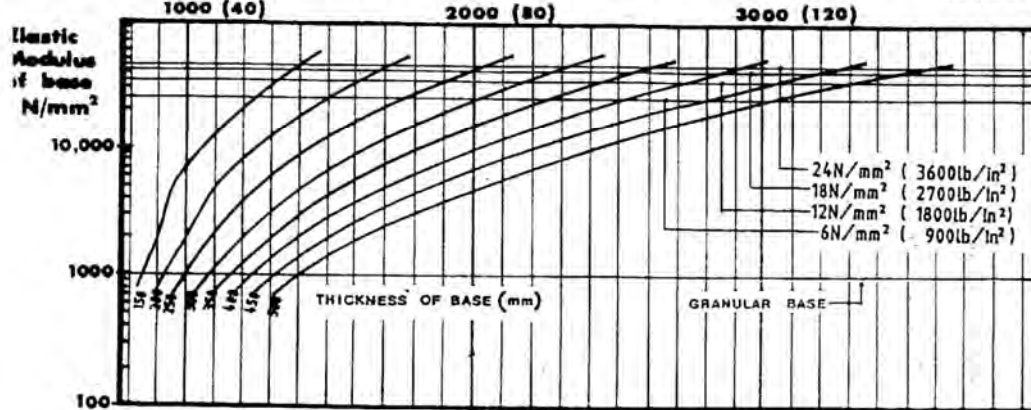
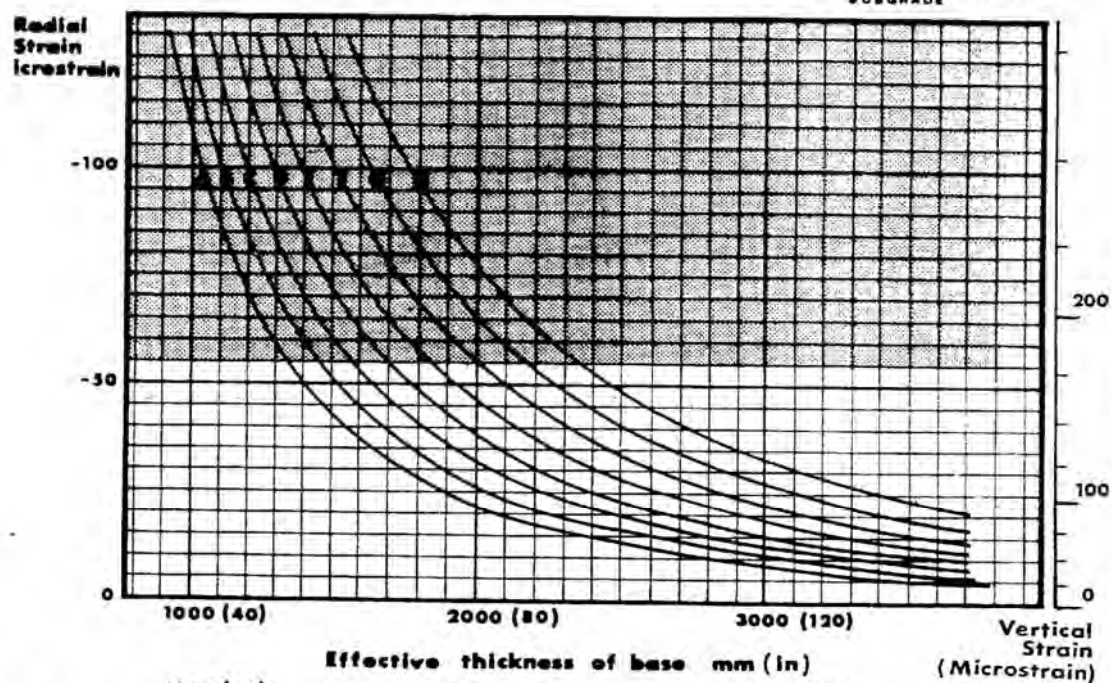
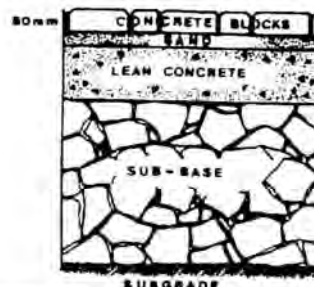


CHART No. 29

10% C B R
Concrete blocks
600mm (24 in) sub-base

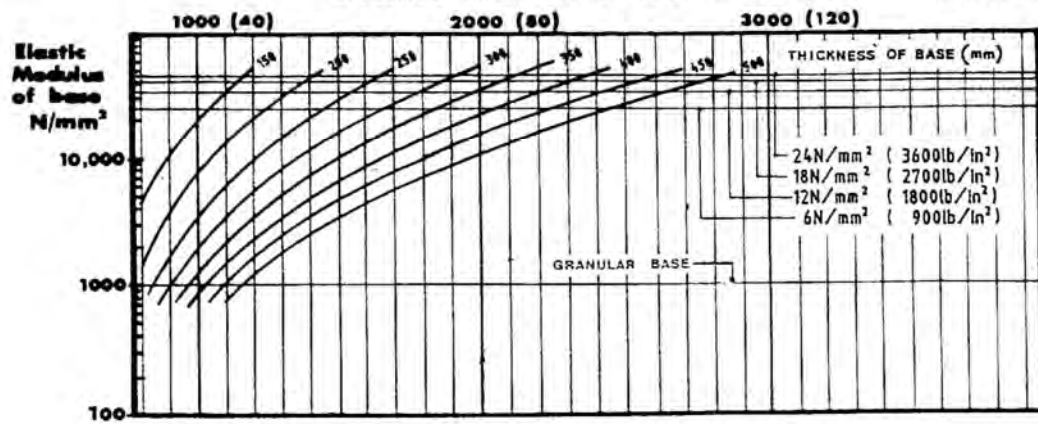
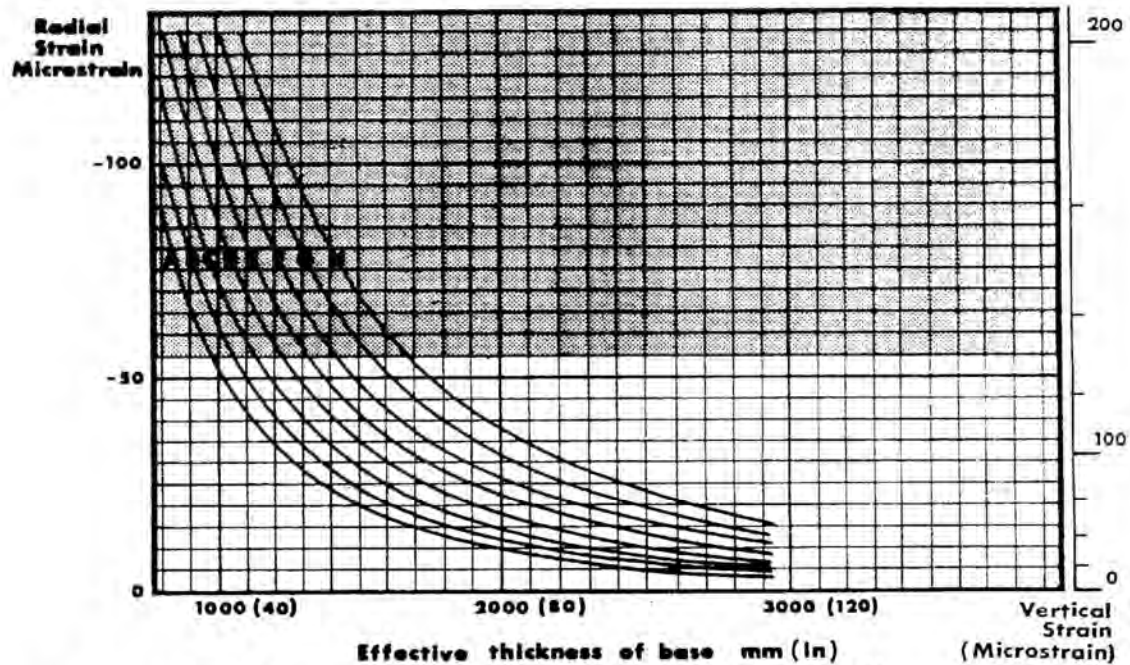
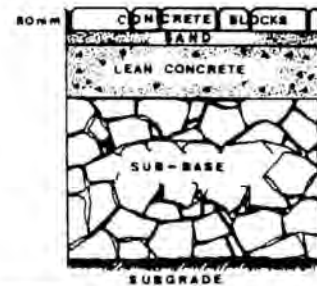


CHART No. 30

30% C B R
Concrete blocks
600mm (24 in) sub-base

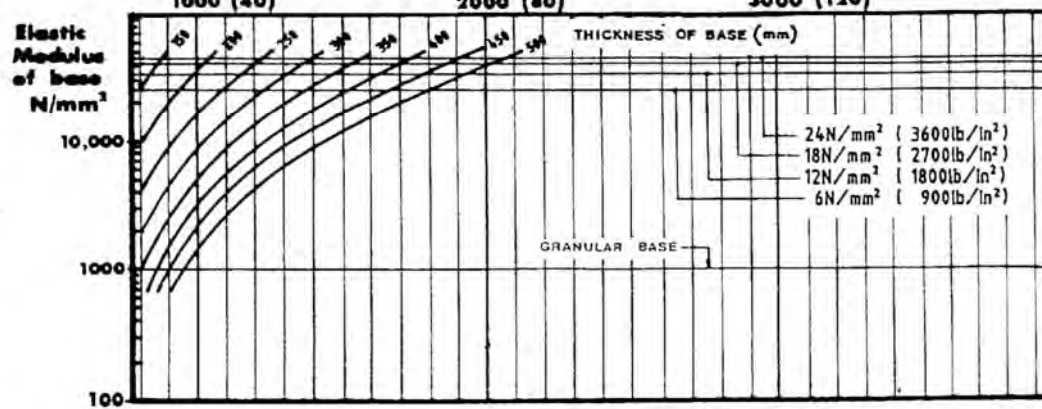
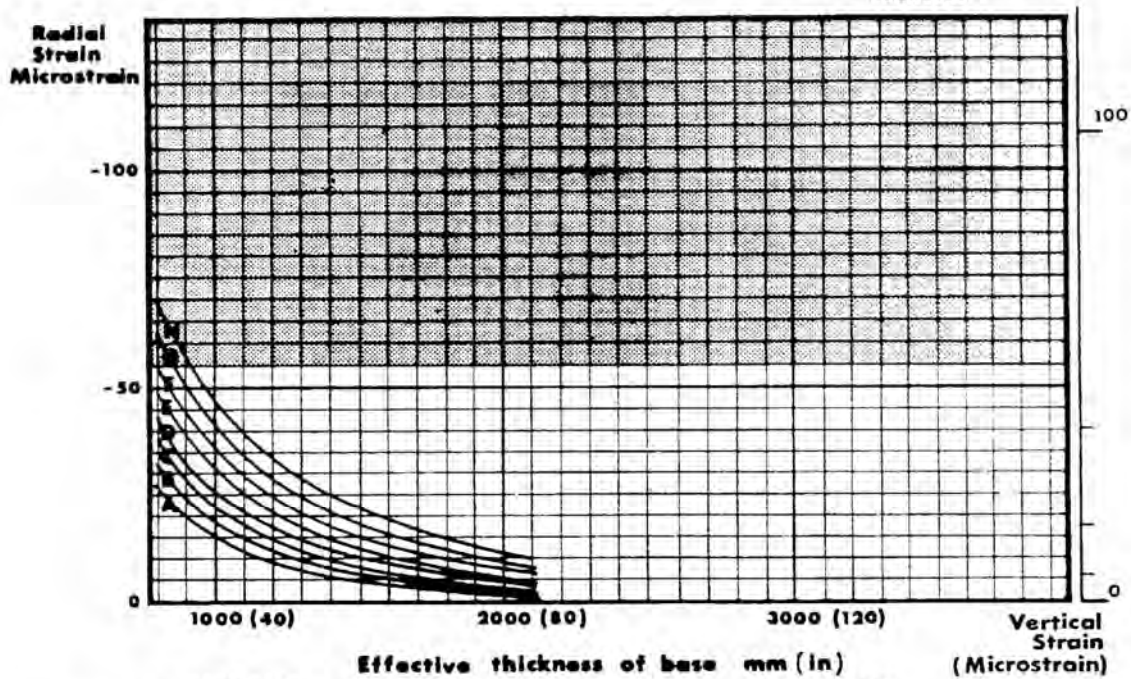
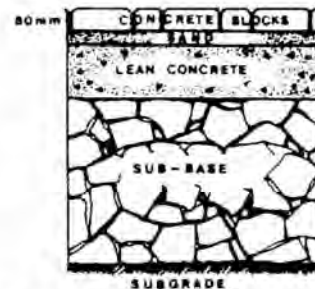


CHART No. 31

1% C B R
Rigid concrete
No sub-base

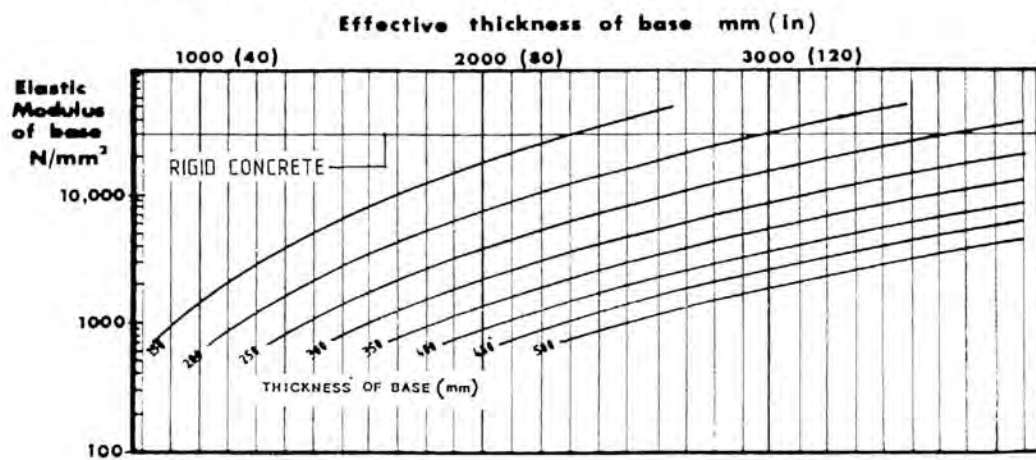
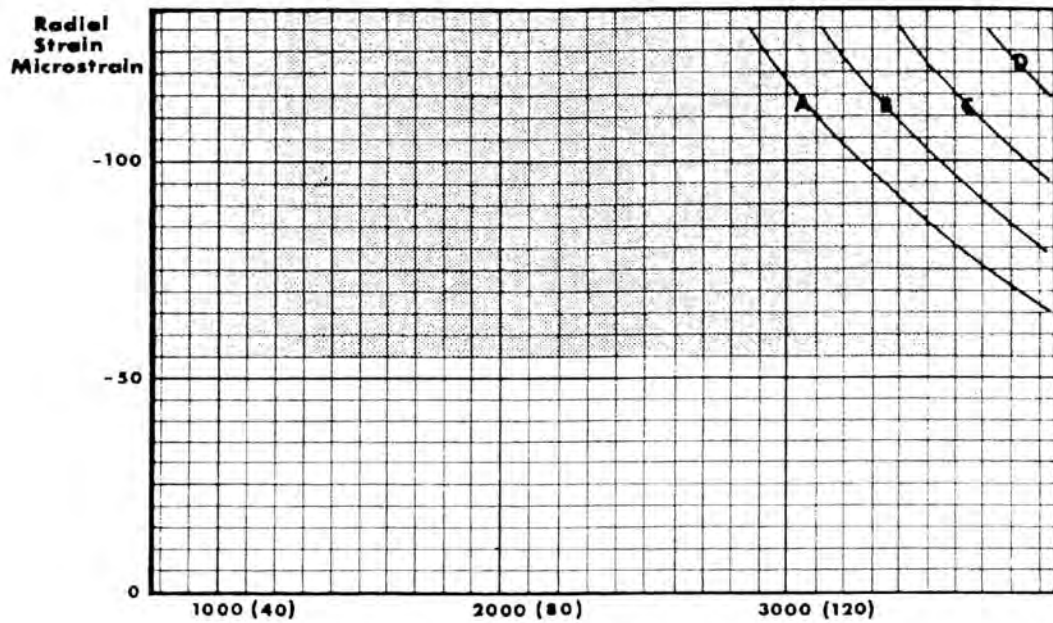
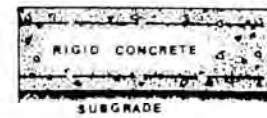


CHART No. 32

3% C B R

Rigid concrete

No sub-base

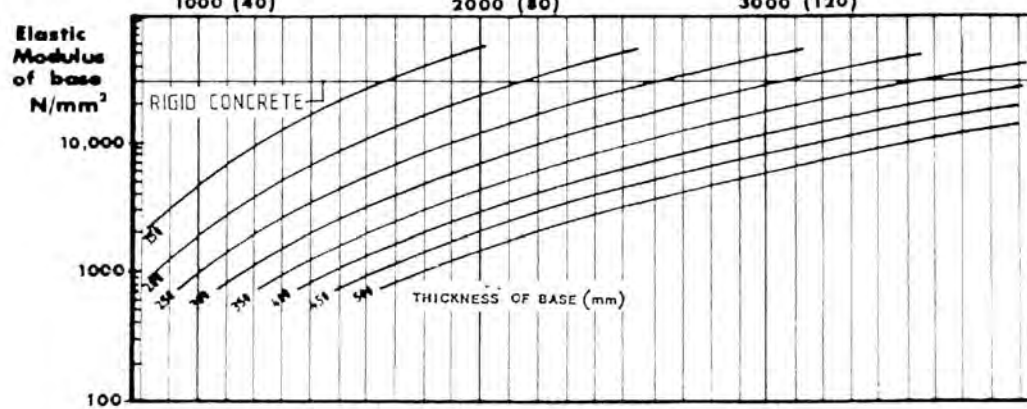
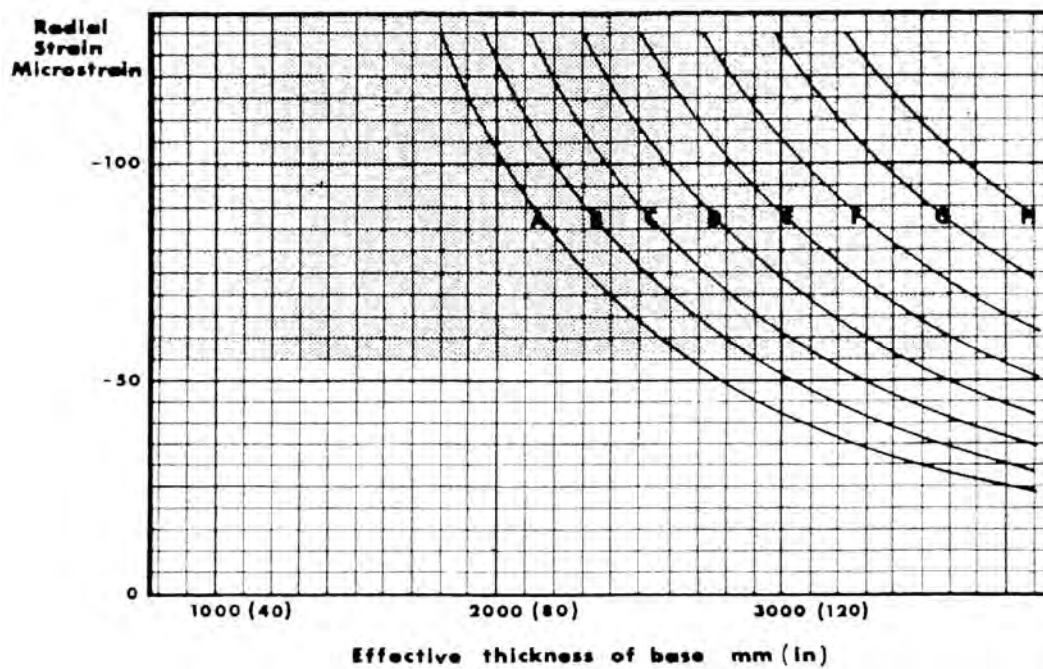


CHART No. 33

5% C B R
Rigid concrete
No sub-base

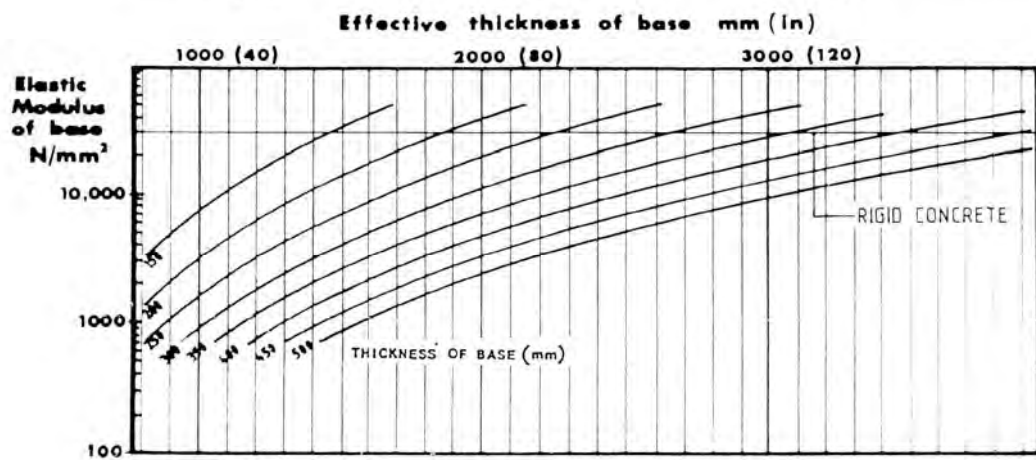
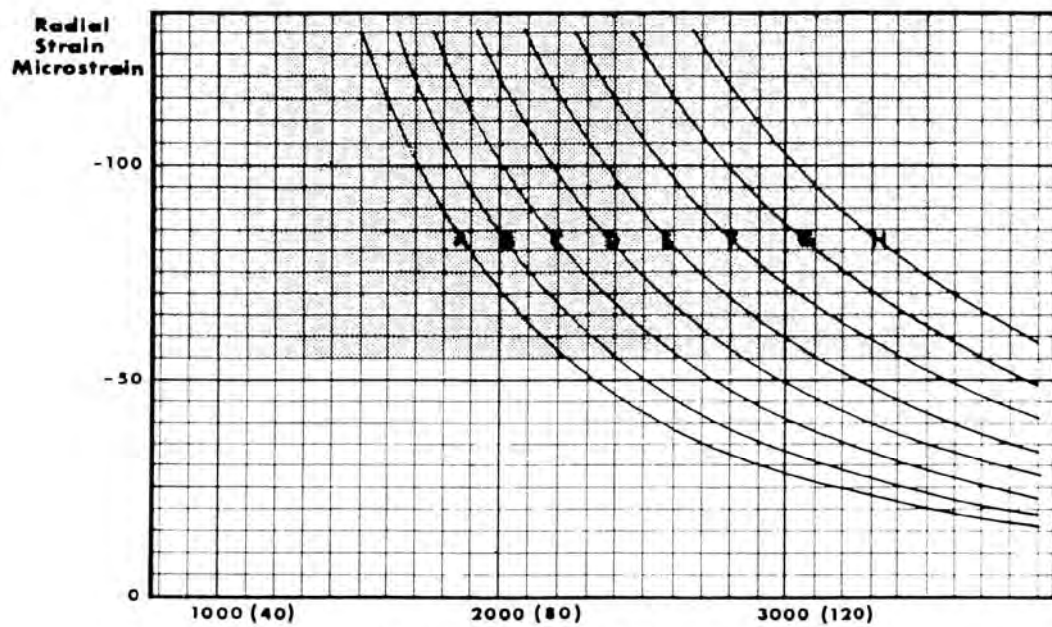
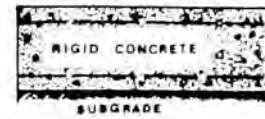


CHART No. 34

10% C B R

Rigid concrete

No sub-base

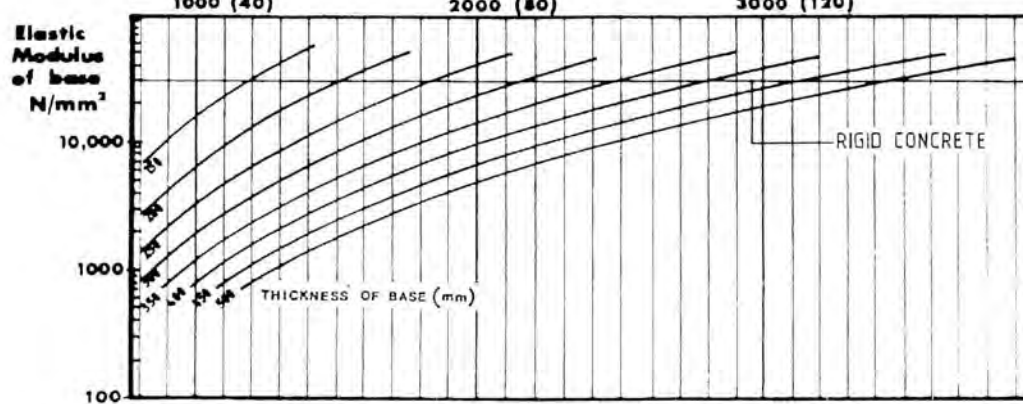
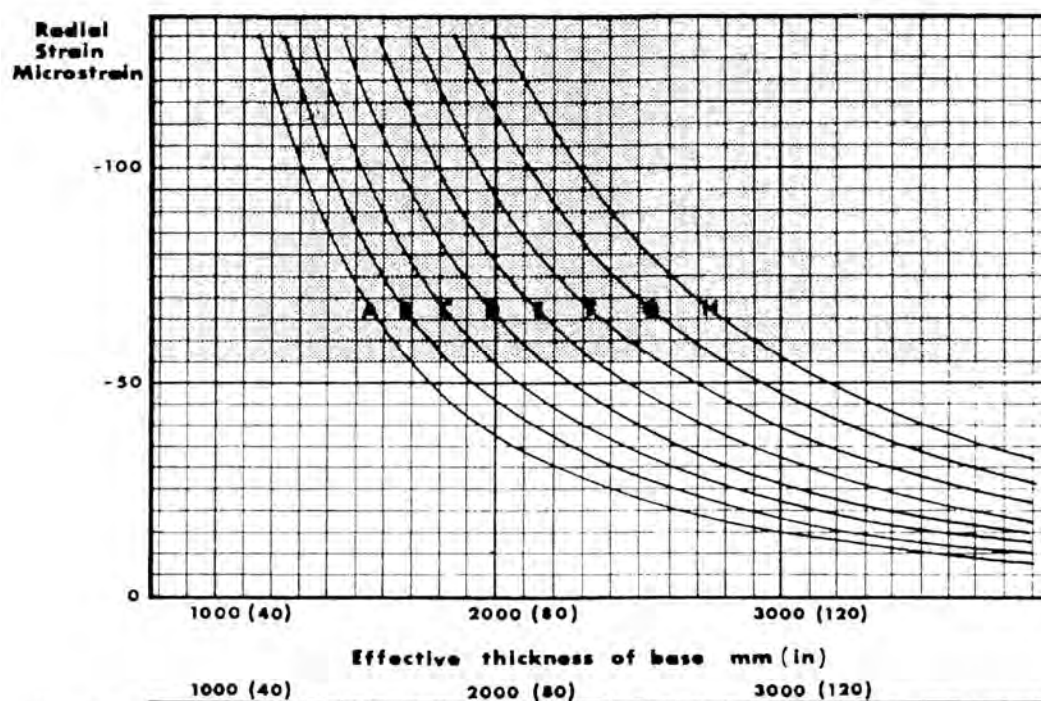


CHART No. 35

30% C B R
Rigid concrete
No sub-base

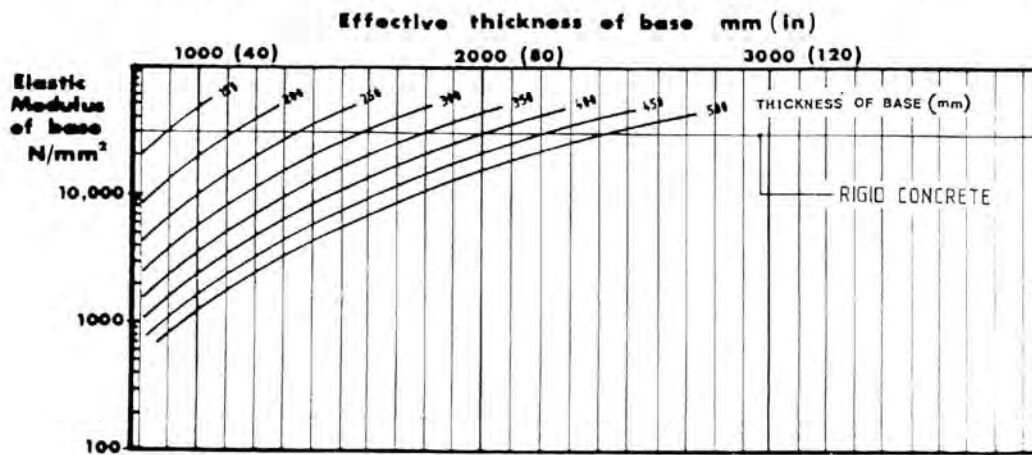
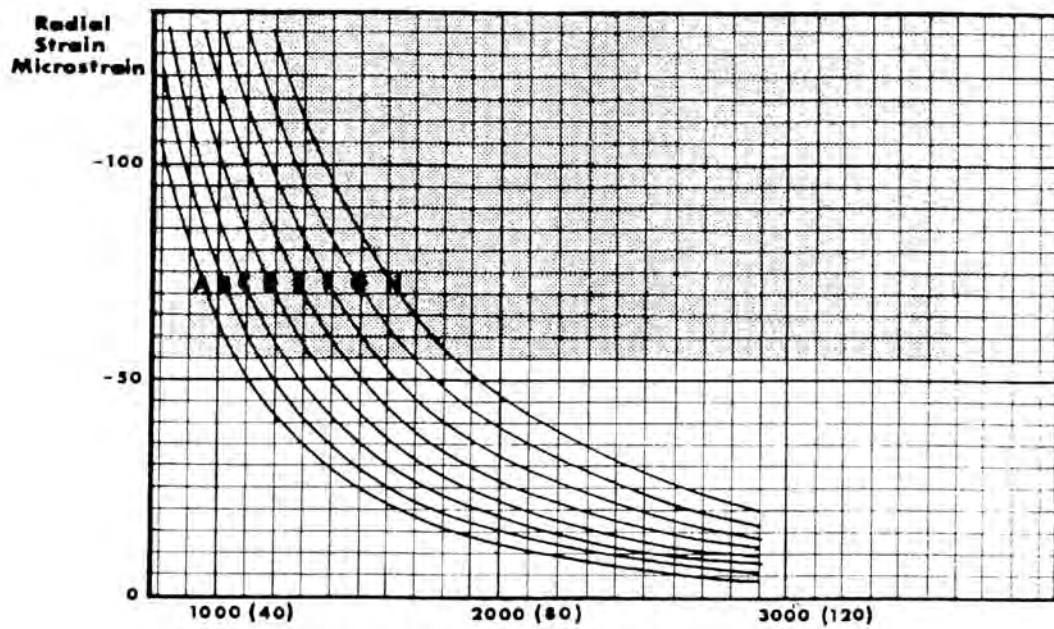


CHART No. 36

1% C B R

Rigid concrete

300mm (12 in) sub-base

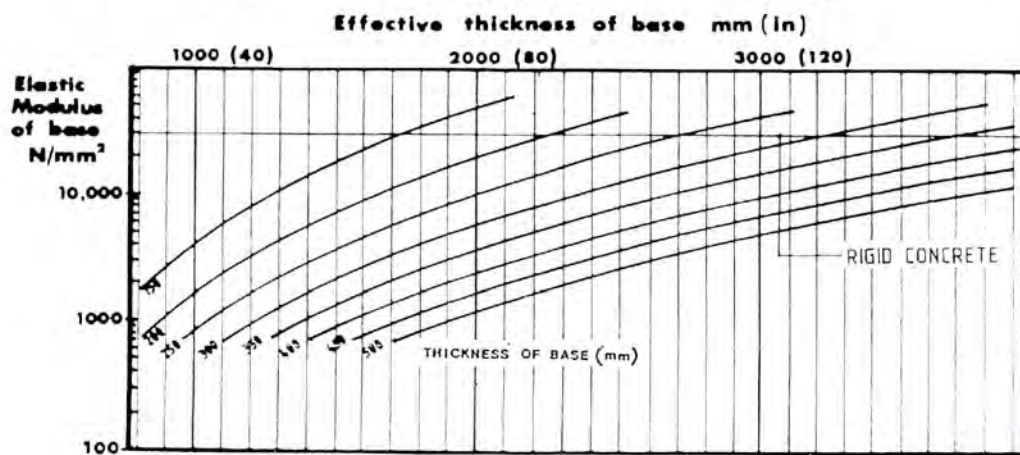
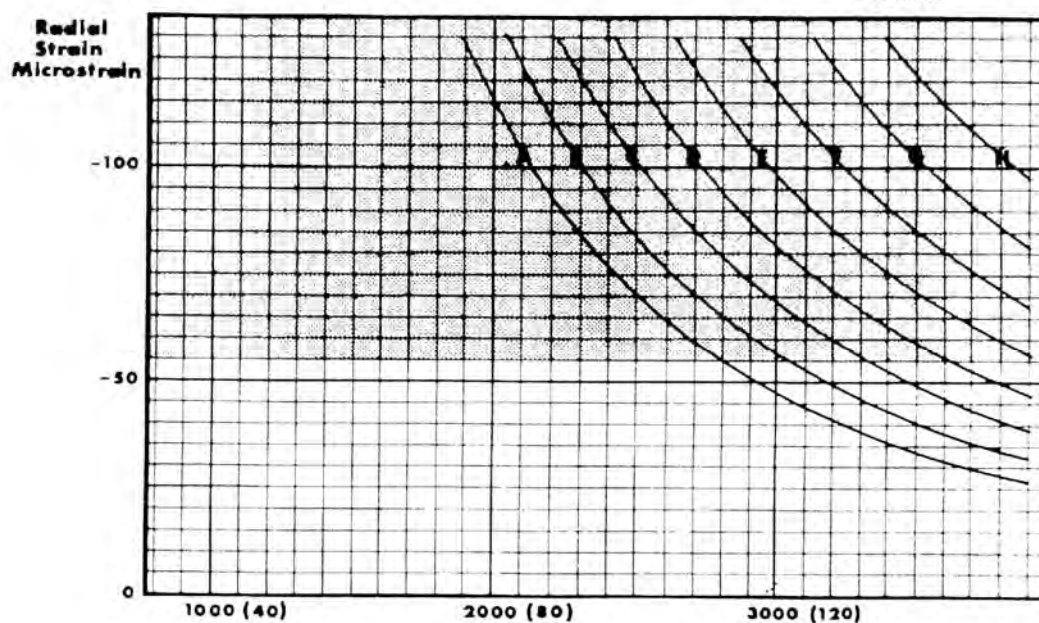
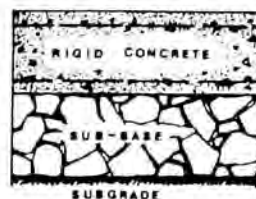


CHART No. 37

3% C B R

Rigid concrete

300mm (12 in) sub-base

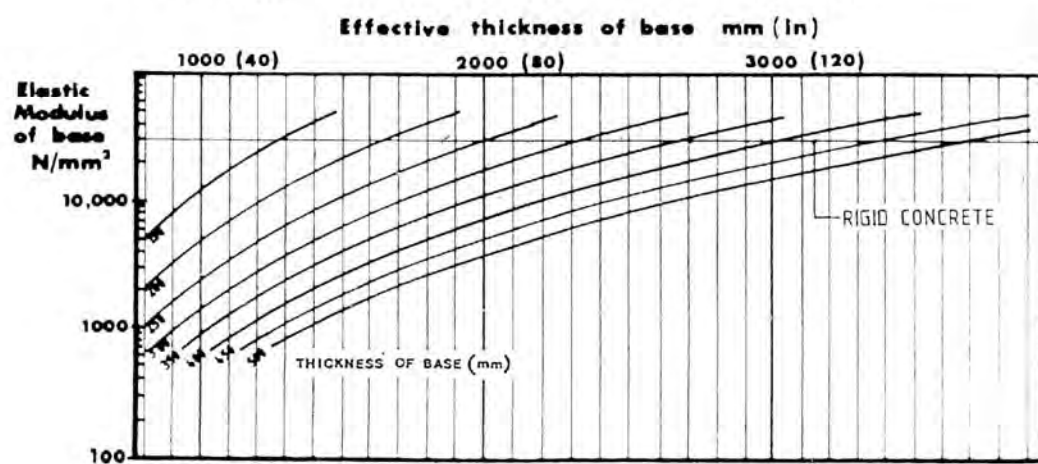
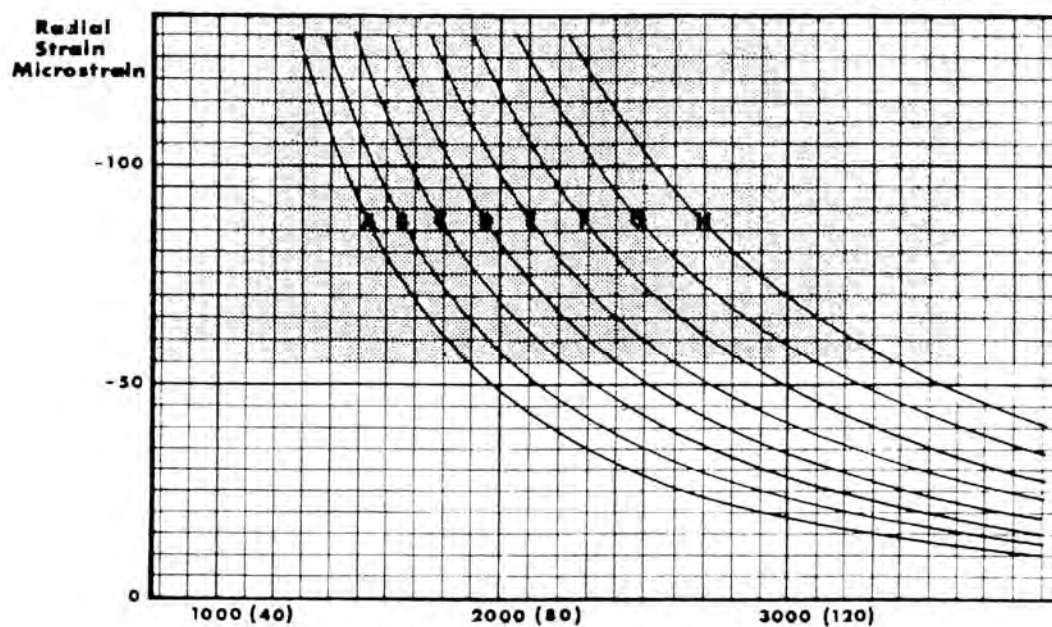
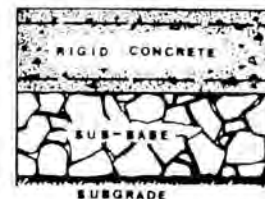


CHART No. 38

5% C B R

Rigid concrete

300mm (12in) sub-base

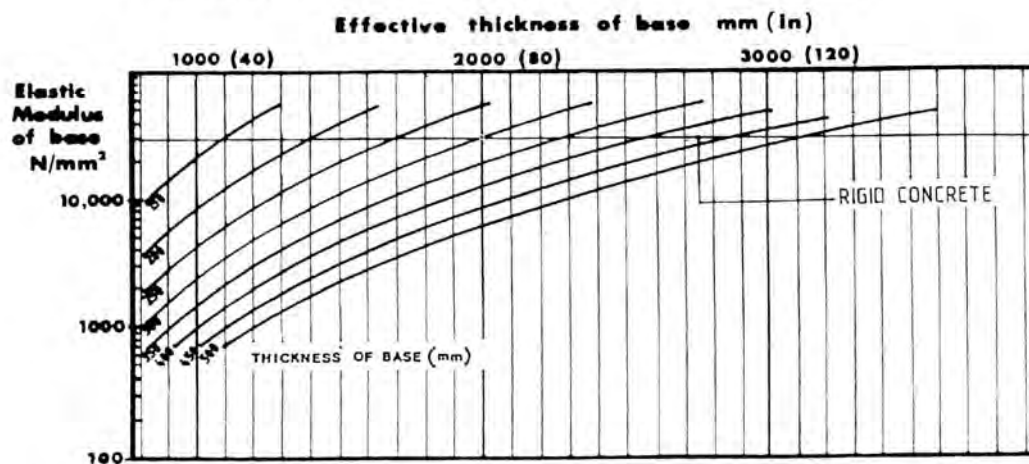
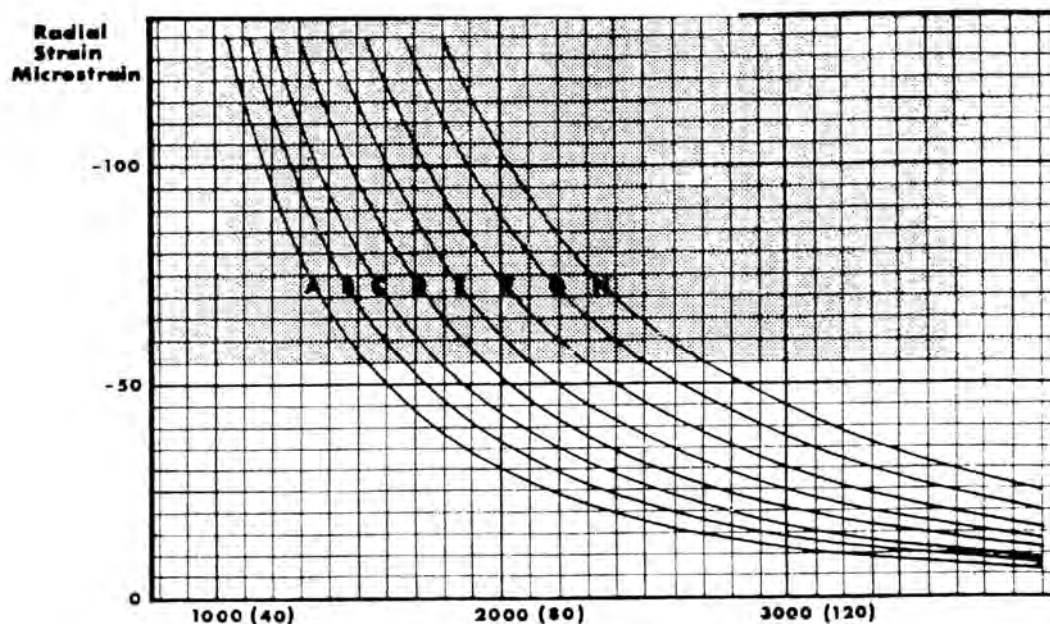
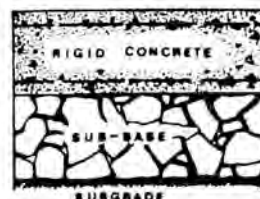


CHART No. 39

10% C B R
Rigid concrete
300mm (12 in) sub-base

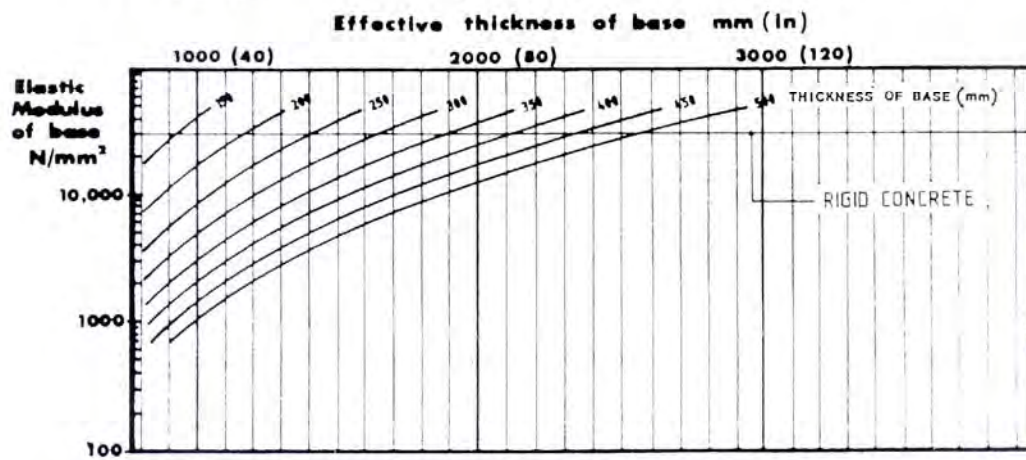
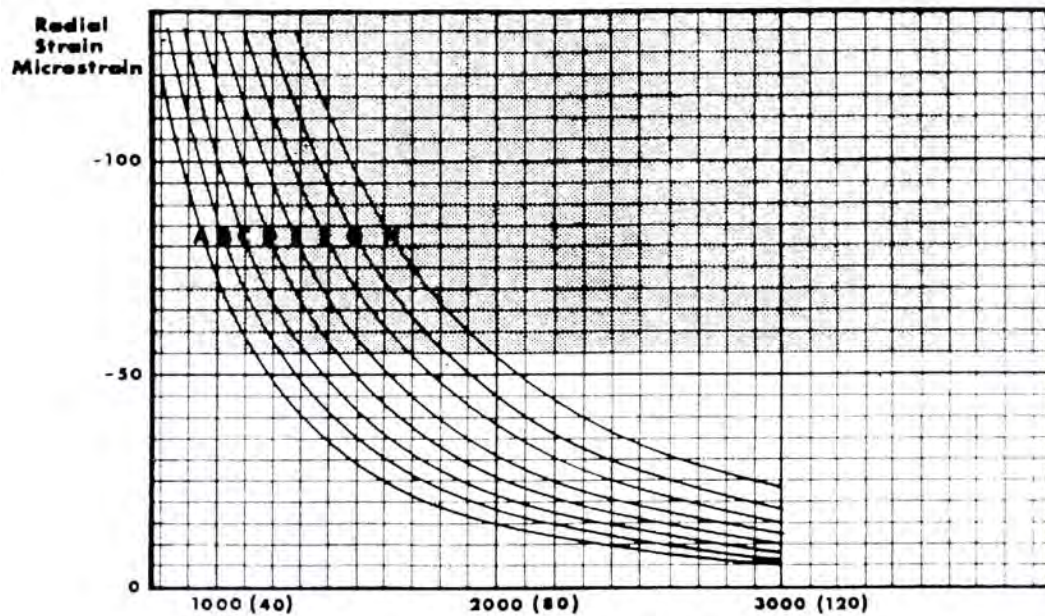
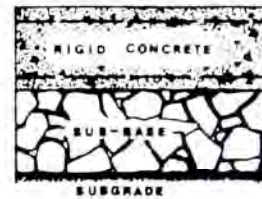


CHART No. 40

30% C B R

Rigid concrete

300mm (12 in) sub-base

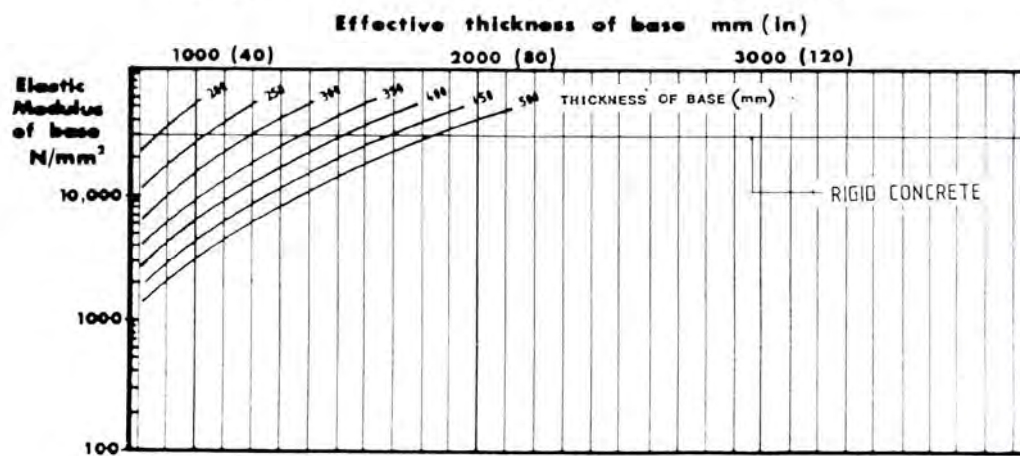
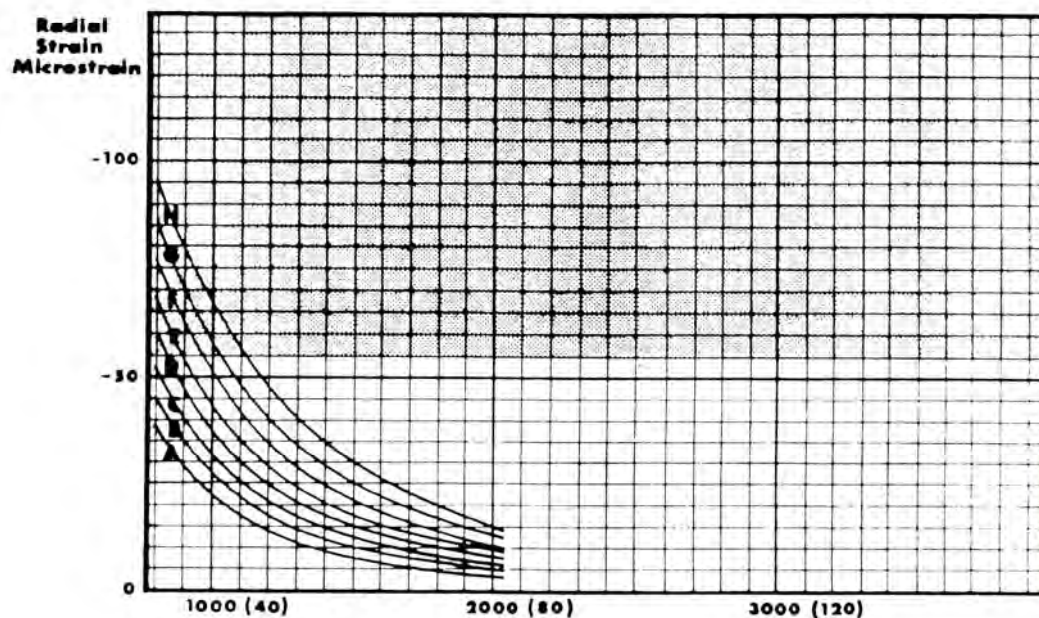
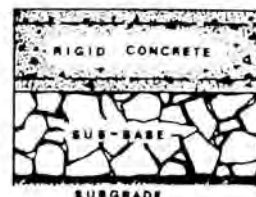


CHART No. 41

1% C B R

Rigid concrete

600mm (24 in) sub-base

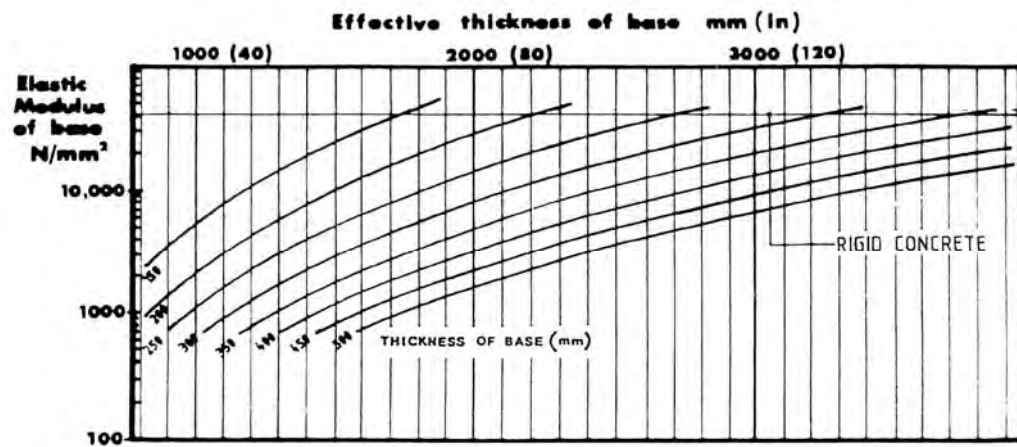
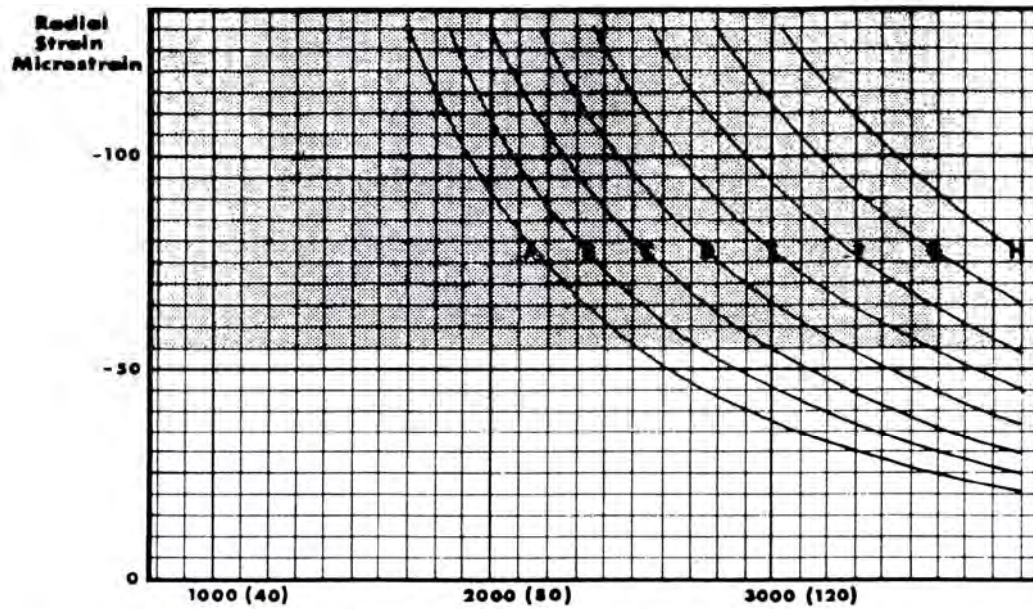
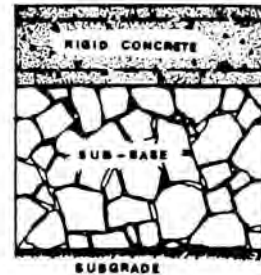


CHART No. 41

1% C B R

Rigid concrete

600mm (24 in) sub-base

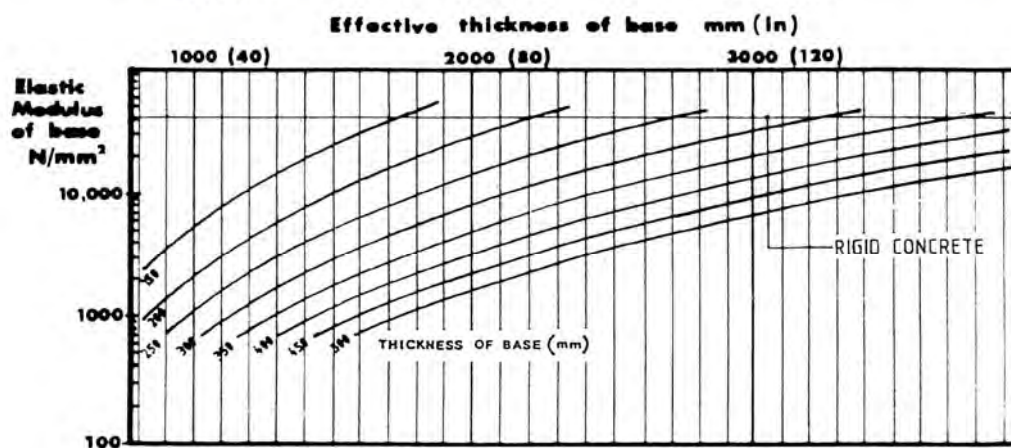
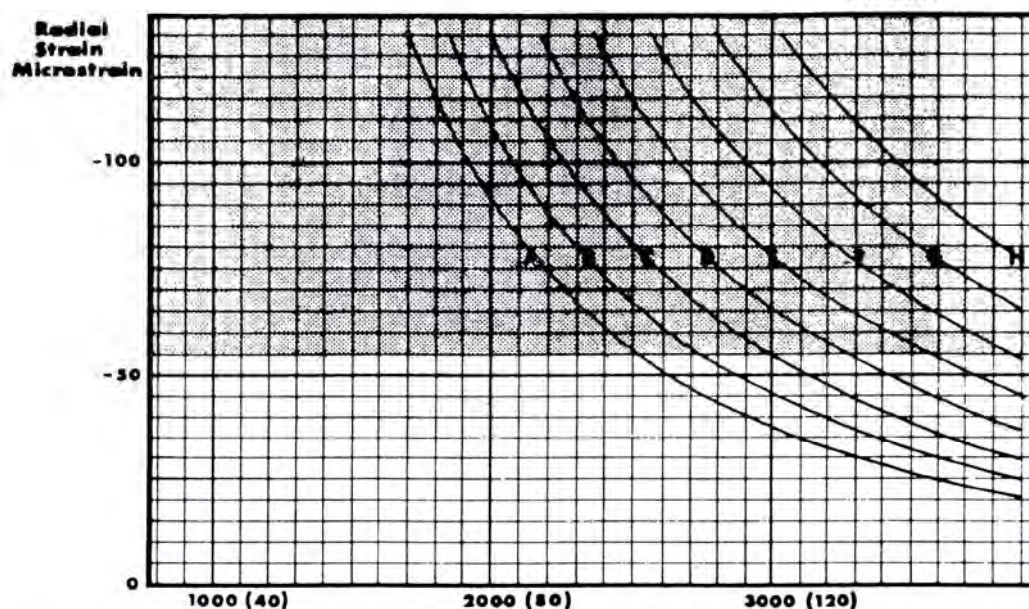


CHART No. 42

3% C B R
Rigid concrete
600mm (24 in) sub-base

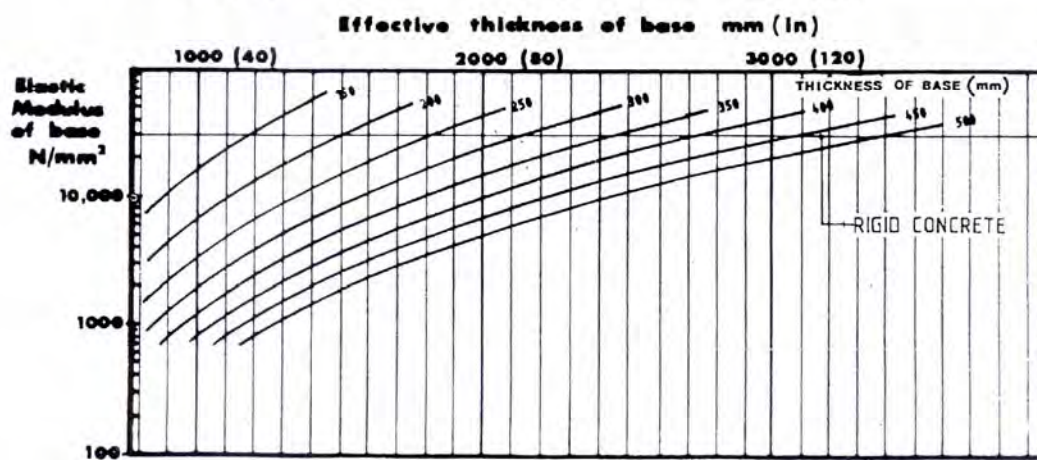
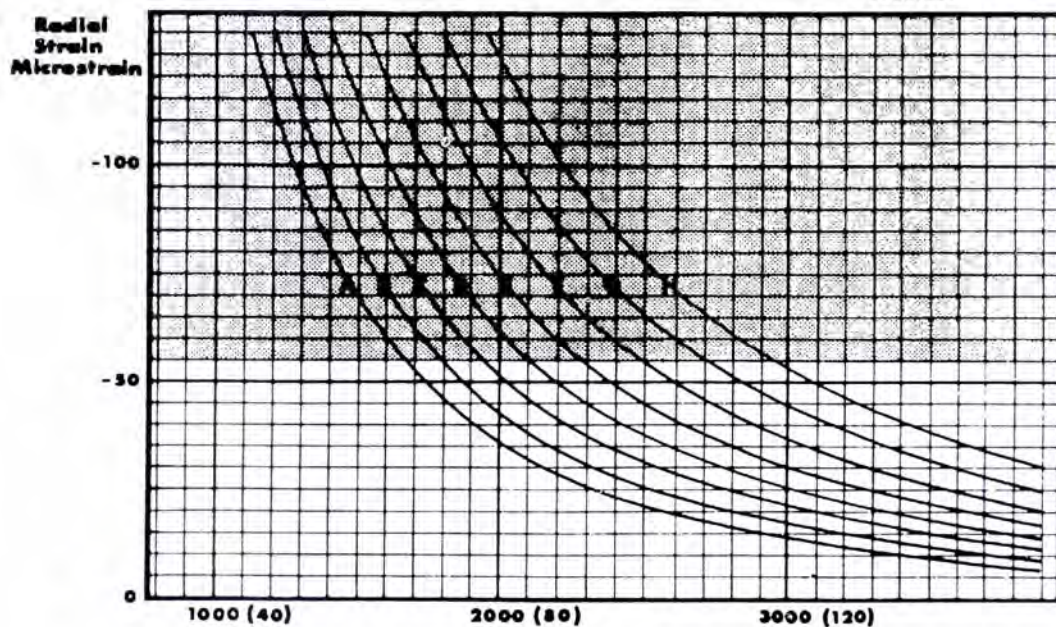


CHART No. 43

5% C B R

Rigid concrete

600mm (24 in) sub-base

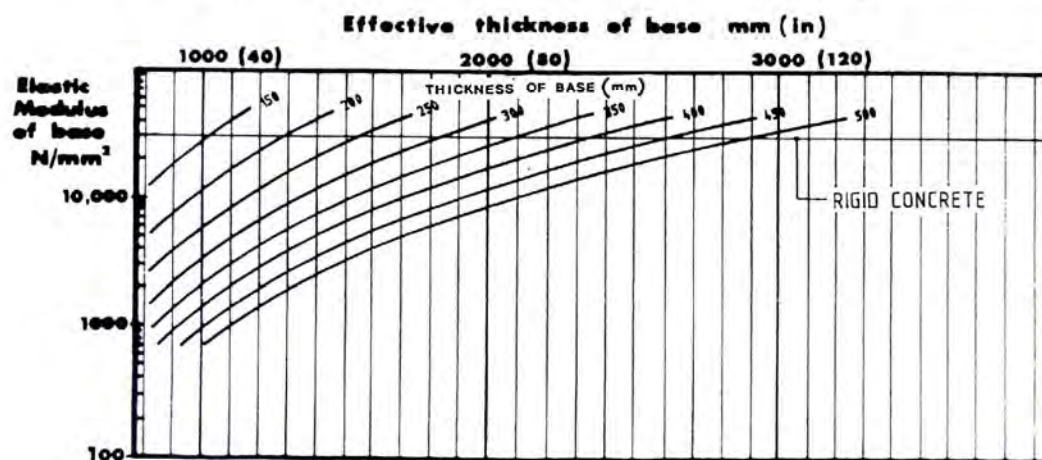
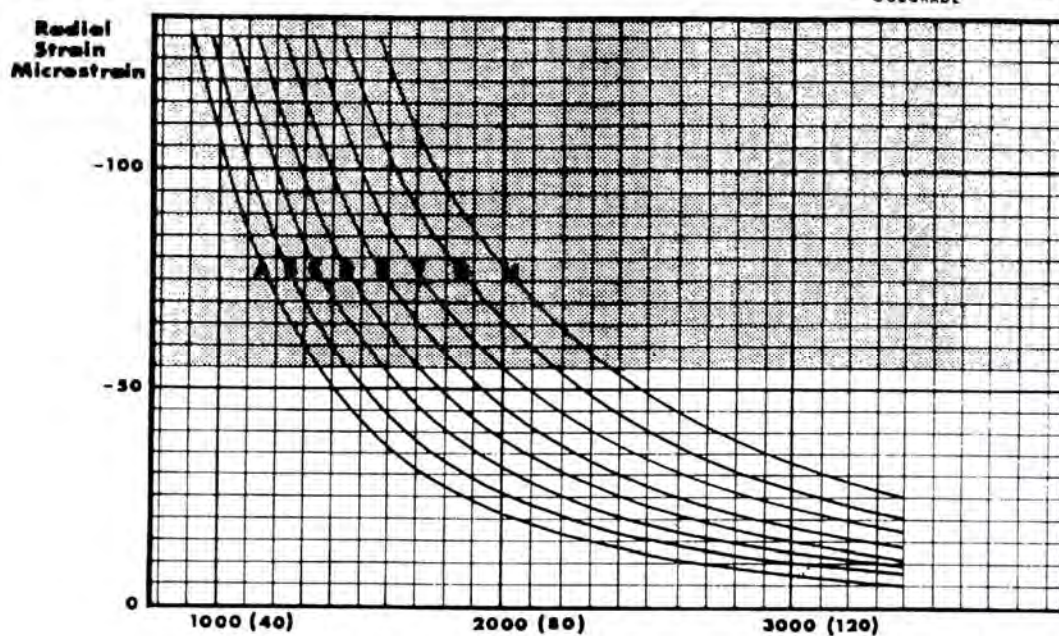


CHART No. 44

10% C B R
Rigid concrete
600mm (24 in) sub-base

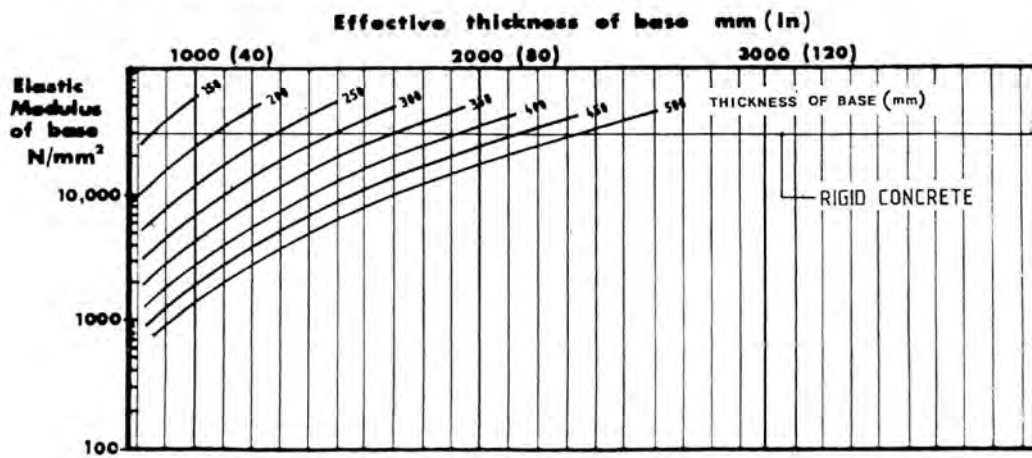
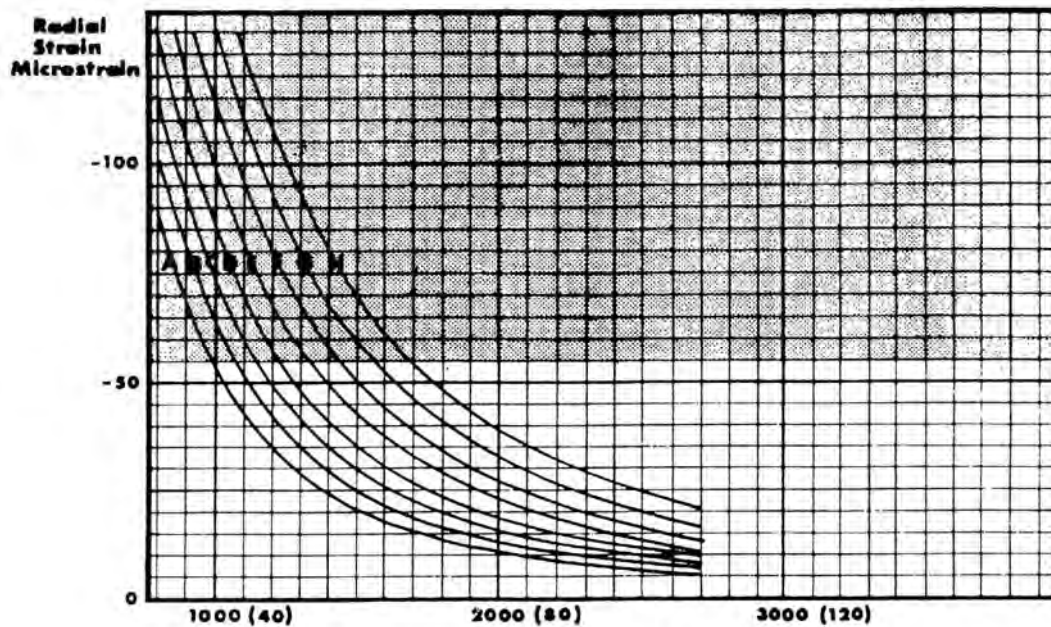
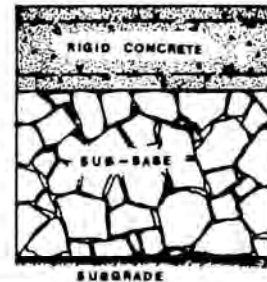
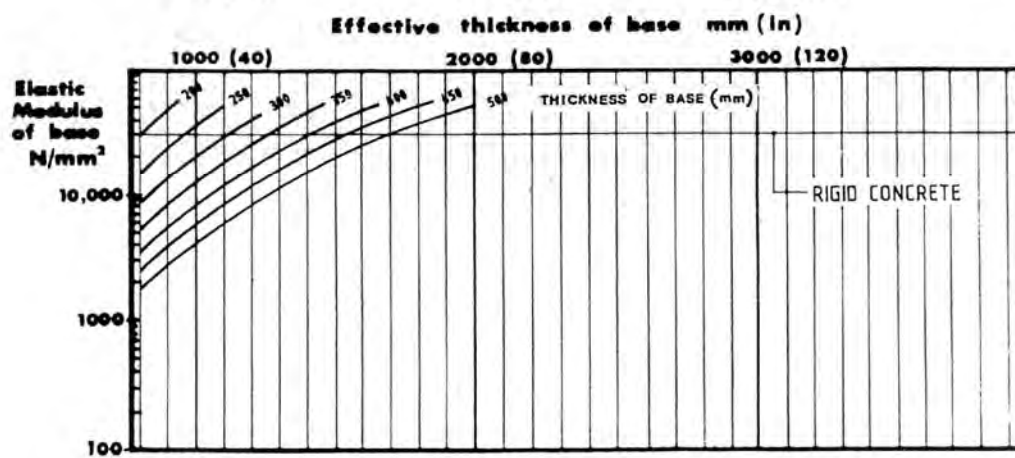
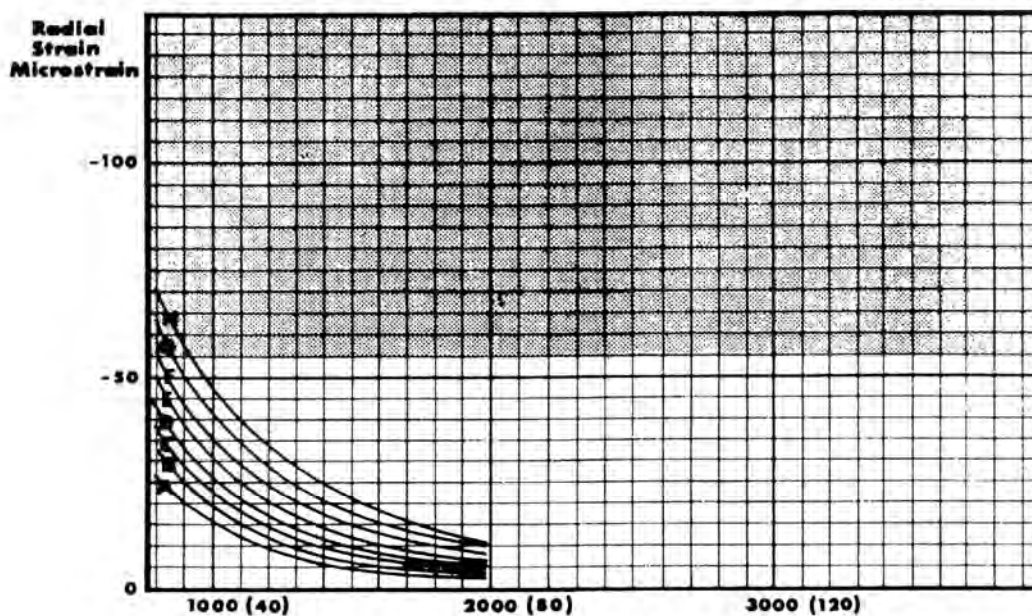


CHART No. 45

30% C B R
Rigid concrete

600mm (24 in) sub-base



خواننده گرامی

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر پانصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تألیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه پیوست در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیتهای عمرانی به کار برده شود. به این لحاظ برای آشنایی بیشتر، فهرست عناوین نشریاتی که طی سالهای اخیر به چاپ رسیده است به اطلاع استفاده‌کنندگان و دانش‌پژوهان محترم رسانده می‌شود.

لطفاً برای اطلاعات بیشتر به سایت اینترنتی <http://tec.mporg.ir> مراجعه نمایید.

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
معاونت امور فنی

فهرست نشریات منتشر شده در سالهای اخیر
دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

				-	:	I.C.U
					:	-
					:	
				-	:	()
					:	-
					:	
				-	:	()
					:	-
				-	:	()
					:	NICU
					:	-
				-	:	()
					:	-
					:	
				-	:	()
					:	-
					:	
				-	:	()
					:	-
					:	

این نشریه

با عنوان "راهنمای طراحی روسازی بنادر" به منظور یکسان سازی طراحی روسازی بنادر کشور، با همکاری وزارت راه و ترابری تهیه و تدوین شده است. نحوه بارگذاری استاتیکی و دینامیکی و همچنین طراحی روسازی با استفاده از گرافهای طراحی مباحث عمده این نشریه را تشکیل می‌دهد.

این نشریه به صورت راهنما تهیه شده و دستگاههای اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران در صورتیکه روشها و یا راهنماهای بهتری در اختیار داشته باشند استفاده از آن مجاز خواهد بود.