

جمهوری اسلامی ایران

## 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.mpor.org.ir/>

## 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، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایجاد و اشکال فنی مراتب را به

صورت زیر گزارش فرمایید:

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

۲- ایجاد 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.

پیشایش 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 ۱۹۹۱۷-۴۵۴۸۱

<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 گسترده‌گی طرحهای عمرانی، طی سالهای اخیر سعی شده است در تهیه و تدوین اینگونه مدارک علمی، از مراکز تحقیقاتی دستگاههای اجرایی ذیربیط 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 برخودار 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 راهنمای و یا دستورالعملی برای طراحی روسازی بنادر در کشور وجود نداشته است، لذا تدوین چنین راهنمای 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 راهنمایی 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 نوع رویه، 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 وسائل نقلیه، کانتینرها و سایر بارهای استاتیکی، محاسبه تکرار و بار طراحی روسازی بنادر و سپس تعیین مشخصات و بهبود سایرگرید 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 انتهای 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 ایمن‌راه 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 می‌نمایید.

اعضای گروه تدوین کننده

مهندس علی میرزائی

مهندس رحمت الله حکیمی

دکتر منصور فخری

ناظرین طرح

دکتر محمود عامری

دکتر ابوالفضل حسنی

دکتر غلامعلی شفابخش

کارشناسان پژوهشکده حمل و نقل

دکتر احمد منصوریان

دکتر غلامعلی شفابخش

دکتر محمود عامری

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

مهندس میرمحمد ظفری

مهندس بهناز پورسید

مهندس علی تبار

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

حبيب امين فر

معاون امور فنی

۱۳۸۶

## فصل اول - معرفی روش‌های بنادر

۱	۱ - مقدمه.....	۱
۱	۱ - تجهیزات مورد استفاده بر روی روش‌های بنادر .....	۱
۲	۲ - انواع روش‌های مورد استفاده در بنادر.....	۱
۲	۳ - عوامل مؤثر در انتخاب نوع روش‌زی بنادر .....	۱
۳	۴ - انتخاب رویه .....	۱
۳	۵ - انتخاب مصالح اساس یا زیراساس.....	۱
۳	۶ - اساس یا زیراساس دانه‌ای غیرچسبنده.....	۱
۴	۷ - اساس آسفالتی.....	۱
۴	۸ - مصالح چسبنده سیمانی .....	۱
۴	۹ - آزمایش‌های کنترل کیفیت.....	۱
۴	۱۰ - مصالح زیرسازی .....	۱
۴	۱۱ - مواد قیری .....	۱
۵	۱۲ - مصالح سنگی.....	۱
۵	۱۳ - مخلوط‌های آسفالتی .....	۱

## فصل دوم - بارگذاری روش‌زی بنادر

۱۱	۱ - مقدمه.....	۲
۱۱	۲ - بارهای دینامیکی وسایل نقلیه DYNAMIC VEHICLE LOADS	۲
۱۱	۳ - ۱ - وسایل نقلیه جاده‌ها.....	۲
۱۱	۴ - ۲ - وسایل نقلیه مورد استفاده در بنادر .....	۲
۱۲	۵ - ۳ - تراکتور یا تریلر.....	۲
۱۳	۶ - ۴ - استردل کاربرها (STRADDLE CARRIERS)	۲
۱۳	۷ - ۵ - لیفتراکهای جلو برنده (FRONT LIFT TRUCKS) .....	۲
۱۴	۸ - ۶ - سایدلودرها (SIDE LOADERS) .....	۲
۱۴	۹ - ۷ - ترانس تینرها (TRANSTAINERS) .....	۲
۱۴	۱۰ - ۳ - کانتینرها و سایر بارهای استاتیکی .....	۲
۱۴	۱۱ - ۳ - ۱ - بارهای کانتینری CANTAINER LOADS	۲
۱۵	۱۲ - ۳ - ۲ - بارهای استاتیکی .....	۲
۱۶	۱۳ - ۳ - بارهای محموله‌ای فله‌ای (BULK CARGO LOADS) .....	۲
۱۶	۱۴ - ۴ - محاسبه تکرار و بار طراحی روش‌زی بنادر .....	۲
۱۶	۱۵ - ۴ - ۱ - بارهای طراحی .....	۲

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 زیوسری تریلرها (چرخهای دالی تریلرها).....
۴۴ .....	۳ - ۸ - ۳ - جک‌های تثبیت کننده.....
۴۵ .....	۳ - ۹ - اندیکس طبقه‌بندی بار.....
۴۵ .....	۳ - ۱۰ - مقادیر LCI برای وسائل نقلیه متداول.....
۴۵ .....	۳ - ۱۱ - فاکتورهای نزدیکی چرخها .....
۴۷ .....	۳ - ۱۲ - محاسبه بار چرخ برای دستگاههای حمل کانتینر.....

### فصل چهارم - مثالهای طراحی

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

## 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 وسائل نقلیه جاده‌ای ..... ۲۲
جدول شماره ۲-۲ - مشخصات استرداد کریر ..... ۲۲
جدول شماره ۳-۲ - مشخصات لیفتراکهای جلویی ..... ۲۳
جدول شماره ۴-۲ - مشخصات سایدلودرها ..... ۲۳
جدول شماره ۵-۲ - وزن کانتینرها ..... ۲۳
جدول شماره ۶-۲ - جزئیات کانتینرها ISO ..... ۲۴
جدول شماره ۷-۲ - ابعاد کانتینرها 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، $(n=۰/۰)$ بکار رفته برای حذف مقادیر مقاومت خارج از محدوده سابگردید ..... ۲۶
جدول شماره ۱-۳ - توزیع وزن کانتینرها با استفاده از وزن ناخالص (کل) کانتینرها ..... ۳۷
جدول ۲-۳ - مقادیر اثر خرابی ..... ۳۸
ادامه جدول ۲-۳ - مقادیر اثر خرابی ..... ۳۹
جدول ۳-۴ - بار ناشی از تجمع کانتینرها بر روی روسازی ..... ۴۴
جدول شماره ۵-۳ - ..... ۴۵
جدول شماره ۶-۳ - اثرات تخریبی وسایلی که عموماً مورداً استفاده قرار می‌گیرند ..... ۴۶
جدول شماره ۷-۳ - فاکتورهای نزدیکی چرخها ..... ۴۷

## فهرست شکل‌ها

شکل شماره ۱-۱ - پروسه‌های طراحی به روشن مکانیستیک	۶
گراف شماره ۲-۱ - 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 عکس العمل ساچگرد 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 ساچگرد CBR	۳۴
شکل شماره ۳-۱ - تأثیرات حرکات جانبی وسیله نقلیه بر روی خط بر روی خرابی نسبی	۴۱
شکل شماره ۳-۲ - 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 استرال دل کاریر و چرخ گانتری	۵۲
گراف شماره ۳-۵ - نحوه محاسبه بار چرخ سیستمهای تراکتور و تریلر و جرثقیل متحرک	۵۳
شکل شماره ۴-۱ -	۵۵
شکل ۴-۲ - کرنش کششی مجاز برای اساس ثبت شده با سیمان	۵۹
شکل ۴-۳ - کرنش کششی مجاز برای دالهای بتی	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 وسائل نقلیه سنگین را در مقایسه با دیگر روسازی‌ها تحمل نماید. بنابراین استفاده کنندگان از بنادر انتظار دارند که روسازی بنادر از عملکرد و کارآیی 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، مهندسین طراح می‌باید در طراحی و محاسبات خود نهایت سعی و دقت را بکار برد 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، مشخص کننده ظرفیت جرثقیل‌های مورد استفاده در محوطه اسکله است که می‌تواند نوع وسائل نقلیه در محوطه را که مورد استفاده قرار می‌گیرند، تعیین نماید. در حقیقت نوع این وسائل نقلیه تعیین کننده 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 روسازی‌های 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 گانتری محوطه یا ترانس تینرها.

ب : تجهیزات جابجایی کانتینرها

ب - ۱ - تریلرها TRAILERS

ب - ۲ - سایدلودرها SIDE LOADERS

ب - ۳ - استردل کریرها STRADDLE CARRIERS

ب - ۴ - جرثقیل‌ها CRANES

ب - ۵ - PORT OR PIGGY - PACKERS

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

ممکن است بنظر رسد که تنها تجهیزات برای قرار دادن کانتینرها در محوطه فقط ترانس تیبر باشد. هرچند که استردل کریرها، بالابرندهای چنگکی (FORK LIFTS) و جرثقیل‌ها نیز ممکن است بتوانند در صورت لزوم این نقش را ایفا کنند. وجه تمایز اصلی ترانس تیبرها 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)<sup>۱</sup> می‌باشد. در بعضی مواقع روسازی‌های بتن مسلح و یا بتن پیش‌تنیده برای باندهای ترانس تیبر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ج : روسازی‌های بتنی بلوكی: در حدود ۳۰٪ از روسازی‌های بلوك‌های 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 می‌باشد.

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 ساچگریدها یا خاکریزها.

د : فاکتورهای اقتصادی.

<sup>۱</sup> 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 ماکadam و قطران.
- ۲ - رویه‌های بتنی شامل دال‌های ساخته شده در جا و قطعات پیش‌ساخته.
- ۳ - رویه‌های بتن بلوكی 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 مزايا و کاستيهای اين سه گروه در جدول شماره ۲ و مناسب بودن اين رویه‌ها از نظر نیازمندیهای عملیات اجرائی 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 عنوان 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 گستردگی بعنوان اساس یا زیراساس مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نظیر رویه‌های آسفالتی به حداقل رساندن نشسته‌های دائمی از عمدت‌ترین نیازمندی‌های لایه اساس آسفالتی می‌باشد. نتیجتاً بایستی بر استفاده از قیرهای دارای درجه نفوذ کم و درصد بالایی از درشت‌دانه در طرح مخلوط تأکید 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 ثبیت شده سیمانی در لایه اساس نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مصالح چسبنده سیمانی شامل سنگهای شکسته ثبیت 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، عملأً از نظر اقتصادی مقرن به صرفه است که از طریق ثبیت کردن ساپگرید 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. ثبیت مصالح عموماً بسیار مقرن 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- مصالح زیرسازی

آزمایش‌های کنترل کیفیت مصالح مصرفی در زیرسازیها 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 نمونه‌گیری 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 نمونه‌گیری از این مخلوط‌ها در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول شماره ۱-۱ - مقایسه سیستم‌های جابجایی کانتینر

#### معایب

#### مزایا

##### سیستم شاسی

- نیازمند به یک محل بزرگ می‌باشد که می‌تواند گران باشد)	- هزینه پایین نگهداری
- در شاسی سرمایه‌گذاری بزرگی می‌خواهد.	- تجهیزات ساده
- برای اتوماتیک کردن مناسب نمی‌باشد	- هزینه‌ها
	- بسیار انعطاف‌پذیر برای راهاندازی

##### سیستم استردل کریر

- تجهیزات پیچیده	- هزینه متوسط سرمایه‌گذاری
- هزینه‌های بالاتر نگهداری و هزینه‌های بالای مصرف انرژی	- ابیه ترافیک را می‌تواند بخوبی جذب کند
- نیازمند به پرسنل با تخصص بالا می‌باشد (برای راه اندازی و نگهداری).	- پکارگیری دائمی گسترده‌ای از تجهیزات (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 بالابرندۀ چنگکی و استکرهاي تلسکوپی

- به هنگام استفاده از آن به منظور انبار کردن کانتینرهای پر نیازمند به هزینه‌های سنگین می‌باشد.	- برای اباسته کردن کانتینرهای خالی بسیار مناسب می‌باشد
- بدليل ترکیب غیرقابل اجتناب آن با وسایل حمل و نقل داخلی ایمنی آن نیاز به توجه بسیار بیشتری دارد.	- سازماندهی آنها ساده می‌باشد
- دارای ظرفیت مناسب می‌باشد	
- مناسب نبودن برای اتوماتیک کردن	

##### (RTG) سیستم جرثقیل گانتری کوچک با تایرهای بادی

- نیاز به سرمایه‌گذاری بالای را دارد	- استفاده مناسب از محل
- هزینه‌های انرژی و نگهداری بالا	- پکارگیری دائمی وسیعی از تجهیزات
- نیازمندی به تمهیدات ایمنی خاص	- سازمان دهنی آن ساده می‌باشد
- نیازمندی به پرسنل با تخصص بالا	- اتوماتیک کردن ممکن، اما مشکل است

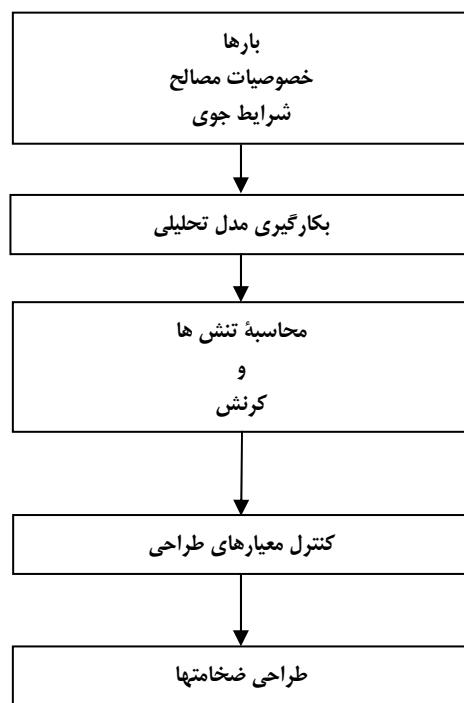
##### (RMG) سیستم جرثقیل گانتری بزرگ بر ریلهای

- سرمایه‌گذاری بالا در مهندسی مکانیک و عمران	- حداقل استفاده از محل
- نیازمندی به حمل و نقل اضافی داخلی	- داشتن درصد پایینی از خراب شدن
- تغییر در نقشه کلی آن دشوار می‌باشد	- هزینه‌های کم برای نگهداری
- نیازمند به رعایت نکات ایمنی می‌باشد	- اتوماتیک کردن سیستم ممکن است

برای انتخاب سیستم جابجایی شرایط محلی مهم می‌باشند 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 ۲-۱ - مقایسه انواع روش‌های بنادر

انواع روش‌های بنادر			
روش‌های بنادر (سخت)	روش‌های آسفالتی	روش‌های بتن بلوکی	
کم بالا بالا کم	بالا کم کم متوسط	کم متوسط کم بالا - بسادگی بازیافت می‌شود	هزینه‌ها صرف انرژی هزینه اولیه ساخت هزینه نگهداری ارزش اسقاطی
متوسط - کنترل ضعیفی از رنگ و بافت	ضعیف	خوب - رنگ بافت و شکل آن می‌تواند متعدد باشد	زیبایی ظاهری
نیاز به آموزش‌های تخصصی برای روش‌های دارد آهسته عملیات حفاری و دوباره پر کردن مشکل و پرهزینه می‌باشد گران است مصالح نیاز به پروسه شدن دوباره دارد	نیاز به تجهیزات مکانیکی پیچیده می‌باشد سریع نیاز به استفاده از جکهای چکشی می‌باشد مصالح نیاز به پروسه شدن دوباره دارد	فقط نیاز به حداقل دستگاههای ساده می‌باشد متوسط به آسانی از طریق روش‌های دستی عملیات کنند و حفاری انجام می‌گیرد مصالح نیاز به پروسه شدن دوباره ندارد	ساخت و نگهداری اشکالات ساخت سرعت ساخت کنند و دوباره پوشانیدن بازیابی
خوب خوب خوب	متوسط خوب	خوب خوب خوب	اجرا دوان
خوب خوب	ضعیف	خوب	مقاومت در برابر بارهای محوری سنگین
خوب خوب	ضعیف	خوب	مقاومت در برابر متوجه شده چرخ
خوب	ضعیف	خوب	مقاومت در برابر بارهای چرخشی
خوب	رضایت‌بخش	تا سرعت ۶۰ کیلومتر در ساعت رضایت‌بخش است	مقاومت در برابر سوت و روغن مقاومت در برابر لغزنندگی

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

نیازمندیهای کارکرد									رویه روسازی	
دوم	کیفیت	نایبر نشست غیرمتقارن (غیرپرکواف)	مقارمت در برابر لزندگی و خراشیدگی	بارهای ضربهای و بزرگ نقطه‌ای	رنگ رونمایی	بلار دینامیکی پل	بار استاتیکی پل		نوع	رویه
B	A	B	A	B	C	A	B		مخلوط آسفالتی ماکادام نفوذی	
A	A	B	B	B	A	A	A		مخلوط قطران (TAR) اصلاح شده	قیری
B	A	B	A	C	C	A	A		سطح اصلاح شده با قیر تشییت رویه با قطران اصلاح شده	
B	B	A	A	B	A	A	A		صفحه‌های بتنی (با گوشه‌های فولادی)	
A	B	A	A	A	A	A	A		صفحه‌های بتنی (chomfered)	بتن
A	A	A	A	A	A	A	A		بلوکهای بتنی بتن ساخته شده در محل	

= A مناسب

= B با در نظر گرفتن شرایطی مناسب

= C نامناسب

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

نوع روسازی									اجرا (عملیات)		
بنی ساخته شده در محل	بلوکهای بتنی (CHAMFERED)	صفحه‌های بتنی	صفحه‌های فولادی	(ا) گوشه‌های فولادی	رویه تثبیت شده با قطران	رویه اصلاح شده با قیر (تثبیت شده با قیر)	خونک قلن انداخته شده	ماکادام نفوذی	آسفالت	منطقه عملیاتی	فاز عملیاتی
A	A	A	A	B	C	A	B	C		کامپیون/کیر کیر / گاتنری گاتنری / تریلر	انتقال (فصل مشترک)
A	A	A	B	B	C	C	A	B			
A	B	B	B	B	B	B	A	C	B	مسیرهای محوطه انبارها	جابجایی
A	B	B	B	A	A	A	A	B	A	جاده‌های دسترسی	
A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	جمع کانتینرها	
A	A	A	A	B	C	A	A	C		جمع کانتینرها، محوطه تعمیر و پارک وسایل نقلیه	
A	A	A	A	C	C	B	A	C		پارک تریلر	ابار

= A مناسب

= B بصورت مشروط مناسب

C = نامناسب

جدول شماره ۱-۵ - آزمایش‌های کنترل کیفیت عملیات زیرسازی

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

جدول شماره ۱-۶ - آزمایش کنترل کیفیت مصالح سنگی

ASTM روش	AASHTO روش	شرح آزمایش
D75	T-20	نمونه‌گیری از مصالح
C231	T-19	وزن واحد حجم
C136	T-27	دانه‌بندی مصالح (ریزدانه و درشت‌دانه)
D546	T-37	دانه‌بندی فیبر
C127	T-84	وزن مخصوص مصالح ریزدانه
C128	T-85	وزن مخصوص مصالح درشت دانه
C151,C535	T-96	مقاومت در برابر سایش با آزمایش لوس آنجلس
-	T103	مقاومت در برابر بخندان - ذوب
C88	T104	سلامت سنگدانه‌ها با سولفات‌های سدیم با منیزیم
D2419	T-176	ارزش ماسه‌ای
-	T-189	سختی سنگدانه‌ها
-	T-100	وزن مخصوص فیبر
D3744	T210	ضریب دوام مصالح سنگدانه
C566	T255	تعیین درصد رطوبت مصالح با روش خشک کردن

جدول شماره ۷-۱ - آزمایش‌های کنترل کیفیت مخلوطهای آسفالتی

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

## فصل دوم - بارگذاری روسازی بنادر

### 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 انباسته 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 روسازی‌های بنادر باید بارهای استاتیکی اعمال شده بوسیله محموله‌های فله و محموله‌های متعددالشكل 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 چرخها، فشار تایرها و بار استاتیکی به طور جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### ۲ - بارهای دینامیکی وسایل نقلیه DYNAMIC VEHICLE LOADS

بدلیل اینکه روسازی بنادر باید وسایط نقلیه معمولی روی جاده علاوه ترافیک ویژه سنگین‌تر 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 - 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 KN ۸۹ با چرخهای دوبل می‌باشد.

### 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 :

TRACTOR / TRAILER UNITS a ) تراکتور / تریلر

STRADDLERS CARRIERS b ) استرادل کاربرها

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

d) سایدلودرها « SIDE LOADERS »

e) جرثقیلها « CRANES »

f) ترانس تینرها با چرخهای بادی (جرثقیل‌های گانتری)

### PNEUMATIC TYRED TRANSTAINERS (GANTRY CRANES)

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

در بیشتر موارد وسایل نقلیه با انتقال بارها بصورت یکسری از عملیات متواالی 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 - 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 یدک‌کش « YARD HORSES »، داک مسترها DUCK MASTERS ، یا

تراکتورهای ترمینال انجام می‌شود. بطورکلی 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 تنها یک می‌تواند استفاده از پروسم طراحی روسازی جاده معمولی را دربرداشته 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 بُکسل 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 سرمه‌بندی 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 تریلرها مخصوص یدک‌کش 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.

## ۲-۴- 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 وسائل 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. عمدترين مورد استفاده اين استردل کرييرها، جابجا کردن کانتينرها با فواصل نسبتاً كوتاه به قسمت انبار يا مناطق بارگيری کاميون می‌باشد. سرعت معمولاً محدود به کمتر از ۳۰ کيلومتر در ساعت می‌باشد. ابعاد و اندازه‌ها بصورت نمونه در جدول شماره ۲ آورده شده است.

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

## ۲-۵- ليفتراکهای جلو برنده (FRONT LIFT TRUCKS)

در بسياری از کشورها ليفتراکهای جلوبرنده (FLT) بمنظور جابجایی کانتینرها برای محموله‌ها شکستنی فلهای به دليل قابلیت تغییر آنها، قابل دسترس بودن فراوان آنها و سهولت سرويس آنها ترجیح داده می‌شوند. در مقایسه با استردل کرييرها، ليفتراکهای جلوبرنده باعث صدمات بزرگتری به روسازی می‌شوند و اين بدليل بارهای سنگين‌تر محورهای آنها در جايی که کانتینرها جابجا می‌شوند، می‌باشد.

به همين دليل استفاده از FLS (ليفتراکهای جلوبي) در پارهای موارد فقط به جابجا کردن و انباشتون کانتينرهاي خالي محدود می‌شود. محور جلوی ليفتراکهای جلوبرنده (FLT) اغلب از ۲ یا ۴ تاير تشکيل گردیده است، اگرچه در مواردي هم تا ۶ تاير بكار گرفته شده است.

محورهای عقبی (قابل کنترل) معمولاً فقط ۲ تاير دارند. برای محاسبه مقدار باری که محور قابل کنترل می‌تواند تحمل نماید، نیازمند شناسائی شکل هندسی وسائل 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 اين نسبت برای محور عقب کاهش می‌باید. اغلب جزئيات دقیق شکل هندسی وسایل نقلیه شناخته شده نیستند. در چنین شرایطی برای سهولت فرض می‌شود بار محور جلوبي وسایل نقلیه خالي 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 جلوبي 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. اينها شامل اسپریدرهایی که بصورت خودکار در يك تراز قرار می‌گيرند (SELF-LEVELING)، نوع تلسکوپیک آن و

اسپریدرها 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 - ۶ - سایدلودرها (SIDE LOADERS)

ساید لودرها معمولاً فقط در جایی بکار برد می‌شوند که سایر وسایل جابجایی کانتینرها مناسب نباشند. در ترازیت 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 بوسیله جک‌های هیدرولیکی که تا حدود ۷۰٪ وزن وسیله نقلیه و کانتینر را تحمل می‌کنند، تثبیت می‌شود.

فشارهای واردہ بر روسازی از طریق جک‌ها تا حدود  $Mpa \frac{1}{3}$  می‌باشند. مقادیر بصورت تیپ در جدول شماره ۴ آورده شده است.

## ۲ - ۷ - ترانس تینرها (TRANSTAINERS)

ترانس تینرها جرثقیل‌های کانتینری نصب شده بر روی تایرهای لاستیکی می‌باشند. آنها سرعت و قدرت مانور جرثقیل‌های استردل کریکر را ندارند اما می‌توانند کانتینرها را بر روی یکدیگر تا ارتفاع بالاتری قرار دهند. ترانس تینرها چرخ لاستیکی سنگین‌ترین بارهای چرخ منفرد 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.

## ۳ - ۲ - 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 محمولة خشک - جعبه‌های کاملاً بسته شده.

۲ - جعبه‌های سردخانه‌ای (یخچالی).

۳ - جعبه‌های باز و یا پوشیده شده با الیاف کنفی 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  $\frac{8}{5}$  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 باستی توسط وسایل نقلیه حمل شوند در جدول شماره ۸ خلاصه شده است.

عملاً تمام کانتینرها با توجه 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 : وزنهای اصلی کانتینرهای ۳۰ فوت بیشتر از دستگاههای ۴۰ فوت است.

ب : وزن کانتینرهای صادر شده از بریتانیا سنگین‌تر از آنهاست 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 متتجاوز 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 انباسته 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 وارد از جانب کانتینرهای انباسته 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 زیرسروی (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- 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 گستردۀ 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 تایر 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 پرسه‌های تقریبی در جایی که راهحله‌ای کامپیوتربوی وجود ندارد، در دسترس می‌باشد.

در طراحی روسازی حالت ایده‌آل آن است که طیف کاملی از بارگذاری درنظر 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 باستی بار مربوط به وسائل نقلیه متنوعی را تحمل نمایند، طراحان دائماً در حال جستجو برای ترکیب تاثیرات بارهای وسایل مختلف نقلیه و شکل و ترکیب آنها از طریق تبیین آنها بر حسب 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.

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

مقدار  $n$  بستگی به نوع و جنس لایه که از نوع آسفالتی و یا بتُنی باشد می‌تواند بین ۲ تا ۶ متغیر باشد. ولی مقدار  $n$  معمولاً درنظر گرفته می‌شود.

اثر خرابی ناشی از بار چرخ بر حسب 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 بر حسب بارهای چرخ معادل سطح بندر (PAWL) بیان می‌شود. یک PAWL بر حسب یک چرخ ۱۲ تنی معادل در حال حرکت بر روی یک تایر با فشار باد ۰/۸ مگاپاسکال از طریق فرمول زیر تعریف می‌شود.

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

$q = ۳/۷۵$  و  $P$  بترتیب بار چرخ بر حسب کیلوگرم و فشار تایر بر حسب مگاپاسکال از چرخ وسیله نقلیه مورد نظر می باشند. چنانچه دیده می شود شکل این معادله شبیه به همان معادله بیان شده در شماره ۱ می باشد.

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

الف : میانگین خسارت واردہ 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 واردہ توسط وسائل نقلیه داشته و نمایانگر یک مشخصه واحد از وسیله نقلیه مورد نظر نمی باشد.

ب : اثر تخریبی بحرانی، از آنجایی که بیشتر فشارهای واردہ از ناحیه وسیله نقلیه معمولاً کمتر از حداقل بار هستند، خسارت بحرانی بعنوان باری تعریف می شود که در آن تخریب بیان شده بر حسب PAWL حداقل باشد.

این گونه مفاهیم بعنوان یک جزء مکمل از پروسۀ طراحی، British port Association (BpA)، هم گمراه کننده بوده و هم برای بعضی مصالح روسازی یک اندازه گیری کمتر و خطناکتر از تخریب واقعی روسازی را که محتمل است اتفاق بیفتند فراهم می سازد.

استفاده از فرمول ۲ چنانچه نشان داده می شود، در مورد روسازیهای دارای لایه های چسبنده منجر به طرح روسازی هایی می شود که بطور قابل توجهی کمتر از ضخامت واقعی طراحی شده اند. به همین دلیل بعضی از محققین طیف بارگذاری طراحی واقعی را بر حسب تعداد تکرار هم ارز و  $Nm$  ، حداقل تعداد باری است که باید بوسیله روسازی تحمل شود بیان کرده اند. در اینجا معادله ۲ به شکل زیر آورده شده است.

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

$Nw$  تعداد دفعات تکرار بار  $W$  و  $Pm$  ، به ترتیب حداقل بار و فشار تایر می باشند. اگرچه روابط بر اساس بار معادل چرخ برای مدت های طولانی است که در طراحی روسازی جاده های انعطاف پذیر مورد استفاده قرار گرفته، ایرادات جدی نسبت به این مفهوم در جائی که روسازی های صلب (بتنی) و یا در جائی که روسازی از لایه های 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 ثبت شده با سیمان، مقدار  $q$  از ۶ بیشتر گزارش شده اند. بعلاوه در مورد مواد ترد و شکننده نظیر بتون، روسازی ممکن است بوسیله تنها یک بارگذاری بیش از اندازه برای همیشه تخریب گردد. این مطلب آخر با مفهوم بار هم ارز چرخ که هیچ شرطی را برای خرابی تحت تاثیر بارهای بیش از اندازه در نظر نمی گیرد، سازگار نیست. در نتیجه مناسب نیست که ایده هم ارز در طراحی روسازی های سخت (بتنی) و یا روسازی های انعطاف پذیر که شامل لایه های سیمانی می باشند مورد استفاده قرار گیرد.

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

انجام گیرد، پروسه‌ای که قبلاً با موفقیت در متدهای طراحی PCA بکار گرفته شده است. فرضیه MINER که صرفنظر از مقدار تنش، هر تنش تکراری جوابگوی یک مقدار معینی از خرابی ناشی از خستگی می‌باشد. لذا فرض می‌گردد که صرفنظر از طریق 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 کامپیوترباز این محاسبات به سادگی انجام می‌یابد.

## ۲ - ۴ - 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

معمولًاً چنین فرض می‌شود که حرکات جانبی وسایل نقلیه بطور نرمال در اطراف مسیر چرخها توزیع می‌شود. این توزیع می‌تواند بر حسب 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٪ جایجایی 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 معمولًاً 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 معمولًاً حداقل ۱۲/۵ متر پهنا دارند، در حالی که خطوط بین صفحه‌ای طولانی کانتینرها که توسط «استردل کریرها» جابجا می‌شوند معمولًاً حداقل ۱/۷۵ متر عرض دارند تا اجازه جابجایی آزادانه به استردل کریرها بدهند. این معمولًاً نمایانگر شدیدترین حالت کانالیزه شدن بار که در روسازی‌های صنعتی اتفاق می‌افتد، بغير 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 فاکتورهایی می‌دهد که جابجایی وسیله نقلیه باید در آنها ضرب شوند تا تعداد تکرار طراحی محاسبه گردد.

## ۲-۵- تعیین مشخصات و بهبود سابگرید (خاک بسته)

### ۲-۵-۱- پارامترهای انتخاب طراحی

چنانچه در قسمتهای دیگر ذکر شد، طراحی‌های روسازی صنعتی و فروگاهها به نحو فرایندهای براساس آنالیز مکانیستیک می‌باشد. در مورد روسازی‌های انعطاف‌پذیر، ضروری است که سابگرید بر حسب مدولهای شبیه‌الستیسیته (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 ( $\delta_2 - \delta_1$ ) اصلی تکراری به کرنش برگشت پذیر محوری)، تعداد تکرار تنش و مقادیر مؤلفه‌های برشی و هیدرواستاتیکی تنش می‌شود. این روابط می‌توانند 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 انسیتیو 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:

$$\text{Mrs} = 10 \cdot \text{CBR} \quad (1)$$

Mrs بر حسب مگاپاسکال می‌باشد.

ولی مقدار دقیق‌تر Mrs را می‌توان از جدول مربوطه که بستگی به مقدار CBR دارد، محاسبه نمود. در مورد روسازی‌های صلب (سخت) متدال‌ترین 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 پر هزینه 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 زیرا ساس قرار گرفته در زیر دال بتی را مدل‌سازی نماید. بجای آن مقدار K مورد استفاده قرار گرفته برای طراحی باید براساس آزمایش باربری صفحه که بر بالای زیرا ساس انجام گرفته، تعیین شود. به دلایل ذکر شده در بالا، این روش آزمایش چندان عملی نمی‌باشد. بنابراین معمولاً اثر ترکیبی زیرا ساس و سابگرید، عنوان

یک مقدار KC از نموگرامهای داده شده در شکل شماره ۸ و ۹ (MARAIS, 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

$$\begin{aligned} \text{Log } K_c = & -1/296084 + 2/63407 \log K_{sg} = -0/301341 \log K_c \\ & + 0/08504373 h - 0/00025741619 h^2 \\ & - 0/3050173 h \log K_{sg} \end{aligned} \quad (3)$$

$h$  = ضخامت لایه (برحسب اینچ)

$K_{sg}$  = ضریب عکس العمل سابگرید (Psi/in)

معادلات (۲) و (۳) برای مقادیر  $h$  بین ۵ و ۲۰ اینچ (۱۳۰ و ۵۰۰ میلیمتر) معتبر می‌باشد.

ج : برای مصالح تثبیت شده

$$\begin{aligned} \text{Log } KC = & -0/1578667 + 1/0.2813 \log K_{sg} + 0.544761 h \\ & - 0/8473852 \times 10^{-3} h^2 + 0/7254749 \times 10^{-6} E \\ & - 0/19377295 \times 10^{-3} h^{13} E^3 - 0/4409096 \times 10^{-3} h \cdot \log K_{sg} \\ & - 0/4601633 \times 10^{-7} E (\log K_{sg}) / 2465638 \times 10^{-8} Eh \end{aligned} \quad (4)$$

$E$  ، مدول الاستیسیتیه لایه تثبیت شده می‌باشد (Psi). این معادله فقط برای مقادیر  $E$  با دامنه‌ای از ۱۰۵ Psi تا ۲۰۶ 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 ۵۰۰۰ مترمربع یا کمتر از 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 درنظر گرفتن این تغییرات بعضی از مهندسین کمترین مقدار اندازه‌گیری شده از مقاومت سابگرید را برای طراحی انتخاب می‌کنند. به هر حال انتخاب کمترین مقدار مقاومت نادرست و محافظه کارانه خواهد بود. راه بهتر در اتخاذ یک روش آماری می‌باشد که شامل دو مرحله است :

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

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

### ۲ - ۵ - ۱ - نقاط خارج از محدوده (OUTLIERS)

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  $\gamma$  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 بطريقه زیر محاسبه می‌گردد.

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

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

### ۲ - ۵ - 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 عنوان CBR متوسط بیان شده است، از فرمول زیر محاسبه شود:

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

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

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

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

بکار بردن فرمول (8) در پاره‌ای از موارد متنه 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 (8) 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 سابکرید اندازه‌گیری 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 سه‌گانه، چرخ دوبل	۱۸۱

جدول شماره ۲-۲ - مشخصات استردادل کریبر (BARBER AND KNAPTON, 1979)

خسارتم نسبی در هر عبور (PAWL)				تاپرها اندازه	وزن بدون بار(تن)	پهنای مسیر (متر)	تعداد چرخها	سازنده و مدل
جمع	بارگذاری نشده	بارگذاری	فشار (N/mm <sup>2</sup> )					
۱/۱	۰/۲۹	۰/۸۳	۰/۷۰	۱۶×۲۴	۵۰	۴/۴۳۰	۸	VALMET ۳۰۹۷
۱/۴	۰/۴۰	۱/۰۲	۰/۷۰	۱۶×۲۴	۵۴	۴/۴۳۰	۸	۳۵۹۷
۱/۸	۰/۳	۱/۲۷	۰/۷۰	۱۶×۲۴	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	۱۶×۲۴	۵۰	۴/۰۶۴	۸	CLARKS VCA۳۰
۰/۹	۰/۱۲	۰/۷۷	۰/۷۹	۱۶×۲۵	۲۱/۴	۳/۵۰۰	۴	HAACON ۱۰۳-۳۰S

**جدول شماره ۳-۲ - مشخصات لیفتراکهای جلویی (FRONT LIFT TRUCK)  
(BARBER AND KNAPTON, 1979)**

خسارت نسبی (PAWLs) در هر عبور			بارهای محور بارگذاری نشده (تن)		تایرها اندازه	وزن بدون بار (تن)	عرض مسیر (متر)	سازنده و مدل
مجموع	بارگذاری نشده	بارگذاری متوسط	عقبی / جلویی	N/mm <sup>2</sup> عقبی / جلویی	فشار			
۸/۳	۰/۶	نظیر مدل B620 ۷/۷۲	۱۹/۷ ۱۶/۷ ۲۶/۴ ۱۵/۳	۰/۶۸/۰/۰۵۵ ۰/۶۸/۰/۰۵۵	۱۶×۲۵ ۱۶×۲۵	۳۴/۴۵ ۳۵/۷۰	۲/۴۰۵ ۲/۴۰۵	HISTER (CHALLENGER) H520B(۲۰) H620B(۲۰)
۵/۹	۰/۴	۵/۵۱	۱۴/۳ ۱۴/۵	۰/۷۶/۰/۶۷	۱۴×۲۴	۲۶/۷۷	۲/۱۸۵	LANSERBOSS (DD) ۵۲/۴۸ CH(۲۰)
۱۳/۳	۱/۱	۱۲/۲۲	۲۳/۸ ۱۸/۱	۰/۷۶/۰/۴۳	۱۶×۲۴	۳۹/۹۳	۲/۵۹۰	۶۲/۴۸ CH(۲۰)
۲۵/۳	۳/۳	۲۱/۹۸	۳۱/۵ ۲۴/۴	۰/۷۶/۰/۴۸	۱۸×۲۵	۴۹/۹۱	۲/۶۴۰	۳۲/۴۸ CH(۲۰)
۱۵/۲	۱/۵	۱۳/۷	۲۵/۴ ۱۶/۹	۰/۷۸/۰/۳۸	۱۸×۲۵	۴۰/۲۸	۲/۴۴۰	LANSING HENLEY (HERMES) ۵۶/۲۰ CH(۲۰)
۲۰/۱	۲/۶	۱۷/۵	۳۰/۲ ۱۲/۲	۰/۷۸/۰/۳۸	۱۸×۲۵	۴۰/۴۶	۲/۴۴۰	۶۸/۲۵ CH(۲۰)
۵۲/۷	۹/۵	۴۲/۷	۴۳/۵ ۲۳/۷	۰/۷۸/۰/۳۸	۱۸×۲۵	۶۱/۲۳	۲/۴۴۰	۹۰/۳۵ CH(۲۰)

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

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

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

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

جدول شماره ۲-۶ - جزئیات کانتینرهای ISO

وزنها و بارها (تن)				ابعاد کلی			نوع کانتینر ISO
متوسط بار (تن)	حداکثر تقریبی بار (تن)	وزن ناخالص در حال عملیات (تن)	وزن کانتینر (تن)	ارتفاع (فوت)	عرض (فوت)	طول (فوت)	
-	-	۱۰	-	۸/۵ یا ۸	۸	۱۰	1D
۱۴	۲۲	۲۴	۲	۸/۵ یا ۸	۸	۲۰	1C
۱۷	-	۲۵	۳	۶/۵ یا ۸	۸	۳۰	1B
۱۷	۲۷	۳۰	۳/۴	۸/۵ یا ۸	۸	۴۰	1A

جدول شماره ۲-۷ - ابعاد کانتینرهای غیر ISO

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

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

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

بارگذاری گوشه کانتینر ۴۰ فوتی

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

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

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

جدول شماره ۱۰-۲ - ضرائب بار دینامیکی

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

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

به هنگامی که وسایل نقلیه لیست شده بار در ستون راست را حمل می کند

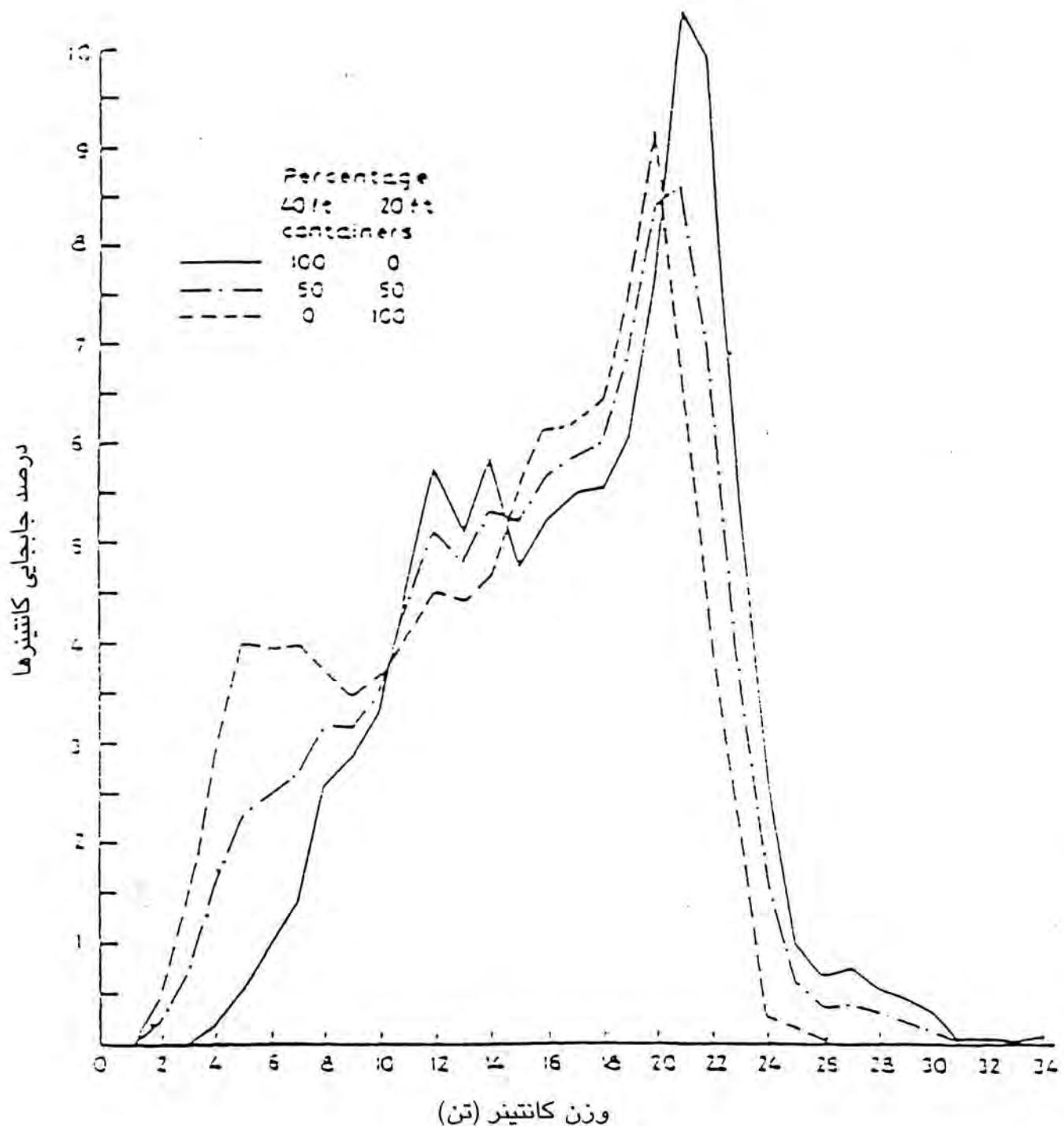
لیفتراکهای چنگکی	کامیون استردل	DOLLY	کانتینر (تن)
بار خارج از مرکز	بار مرکزی	بار گذاری نشده	
۱۹۴	۱۰۰	۳	۲۰
۲۲۴	۱۰۰	۳	۲۱
۲۵۹	۱۲۲	۳	۲۲
۲۹۶	۱۴۴	۳	۲۳
۳۴۲	۱۷۱	۳	۲۴
	۲۳۶	۴	۲۶
	۳۱۱	۹	۲۸
۶۹۵	۴۰۷	۱۶	۳۰
۷۷۴	۴۵۹	۲۱	۳۱
۸۵۹	۵۲۳	۲۷	۳۲
۹۵۱	۵۹۲	۳۵	۳۳
		۱۷	

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

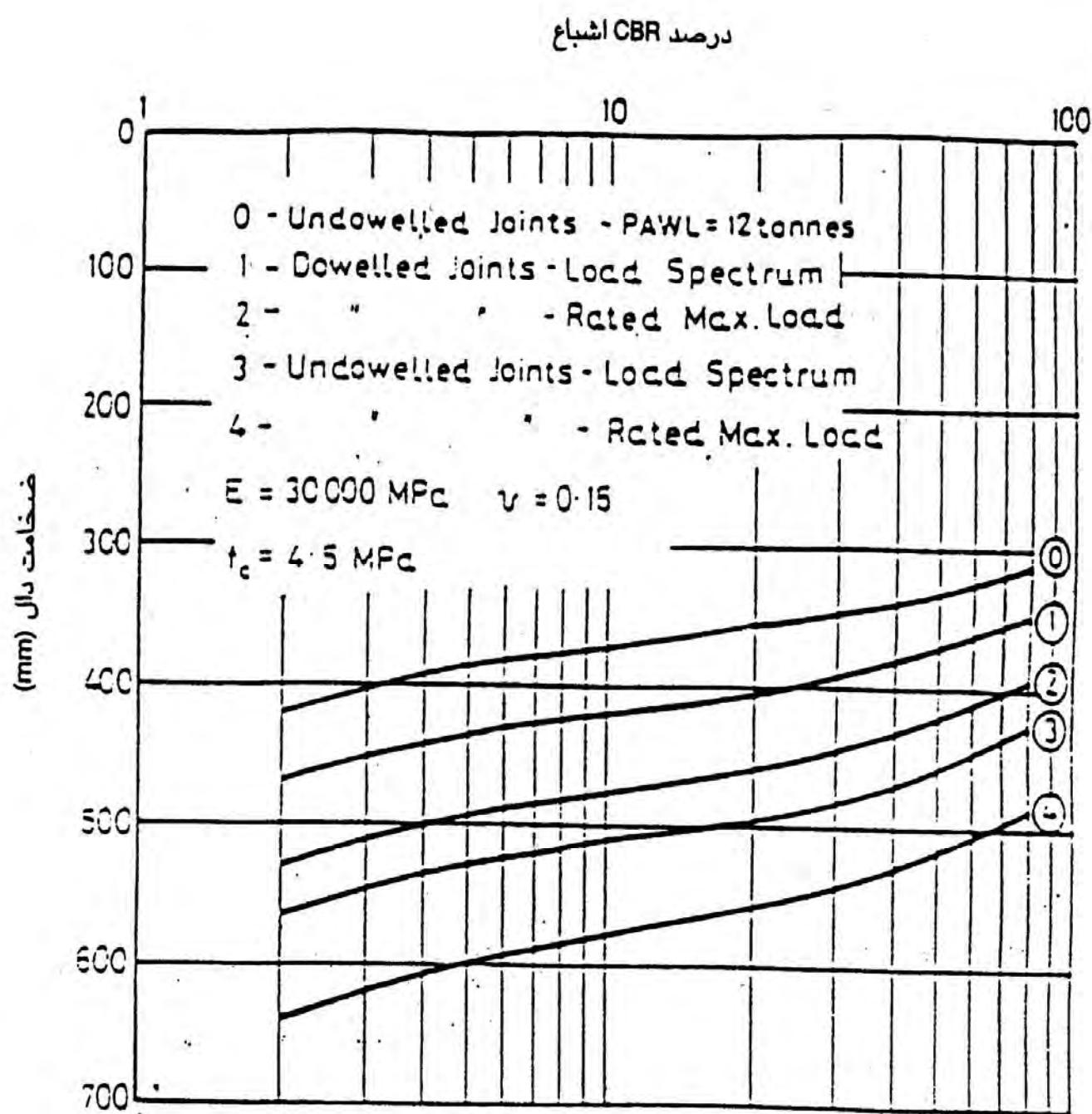
دامنه مدول برجهندگی (مگاپاسکال)	نوع مصالح
۱۲ - ۳۰	سابکرید رسی
۳۰ - ۵۸۰	رس لایدار
۱۲۵ - ۳۸۰	شن یا رس متراکم شده
۱۲۰ - ۳۰۰	شن یکتواخت
۶۰ - ۱۷۵	زیراساس ماسهای
۱۲۰ - ۲۵۰	شن سنگ آهکی
۸۰ - ۴۰۰	زیراساس شنی
۸۰ - ۴۵۰	اساس شنی
۶۰ - ۶۵۰	شن شکسته
۱۰۰ - ۶۸۰	اساس سنگدانهای

جدول شماره ۱۳-۲- مقادیر آماری، ( $n = 0/05$ ) بکار رفته برای حذف مقادیر مقاومت خارج از محدوده سابکرید

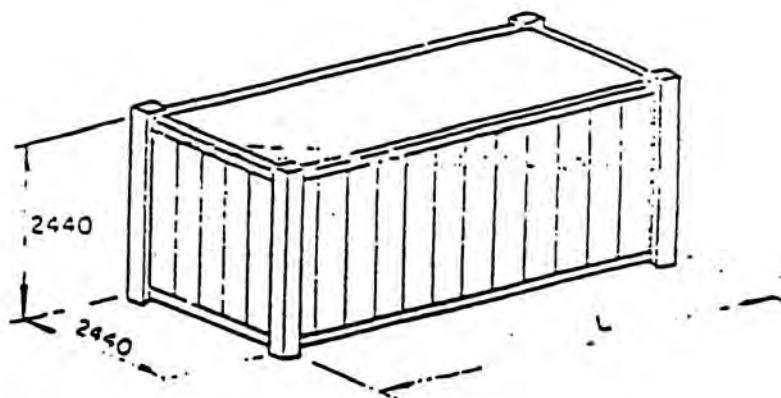
(n , 0.05)	تعداد مقادیر
۰/۹۴۱	۳
۰/۷۶۵	۴
۰/۶۴۲	۵
۰/۵۶۰	۶
۰/۵۰۷	۷
۰/۴۶۸	۸
۰/۴۳۷	۹
۰/۴۱۲	۱۰



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

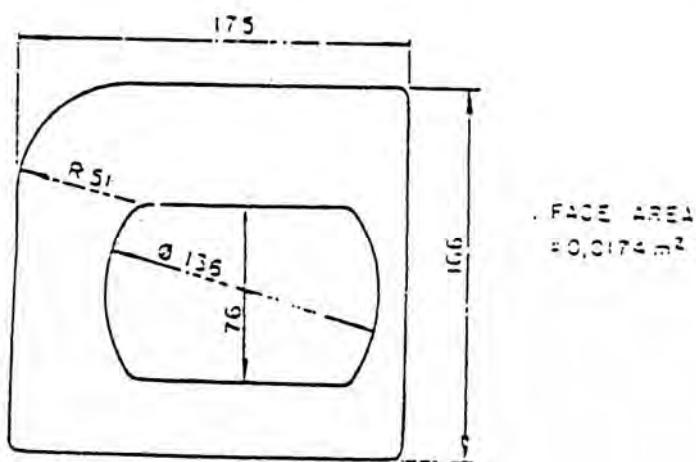


گراف شماره ۲-۲ - تأثیرات کاربرد بارهای توزیع شده نسبت به جابجایی حداقل کانتینر

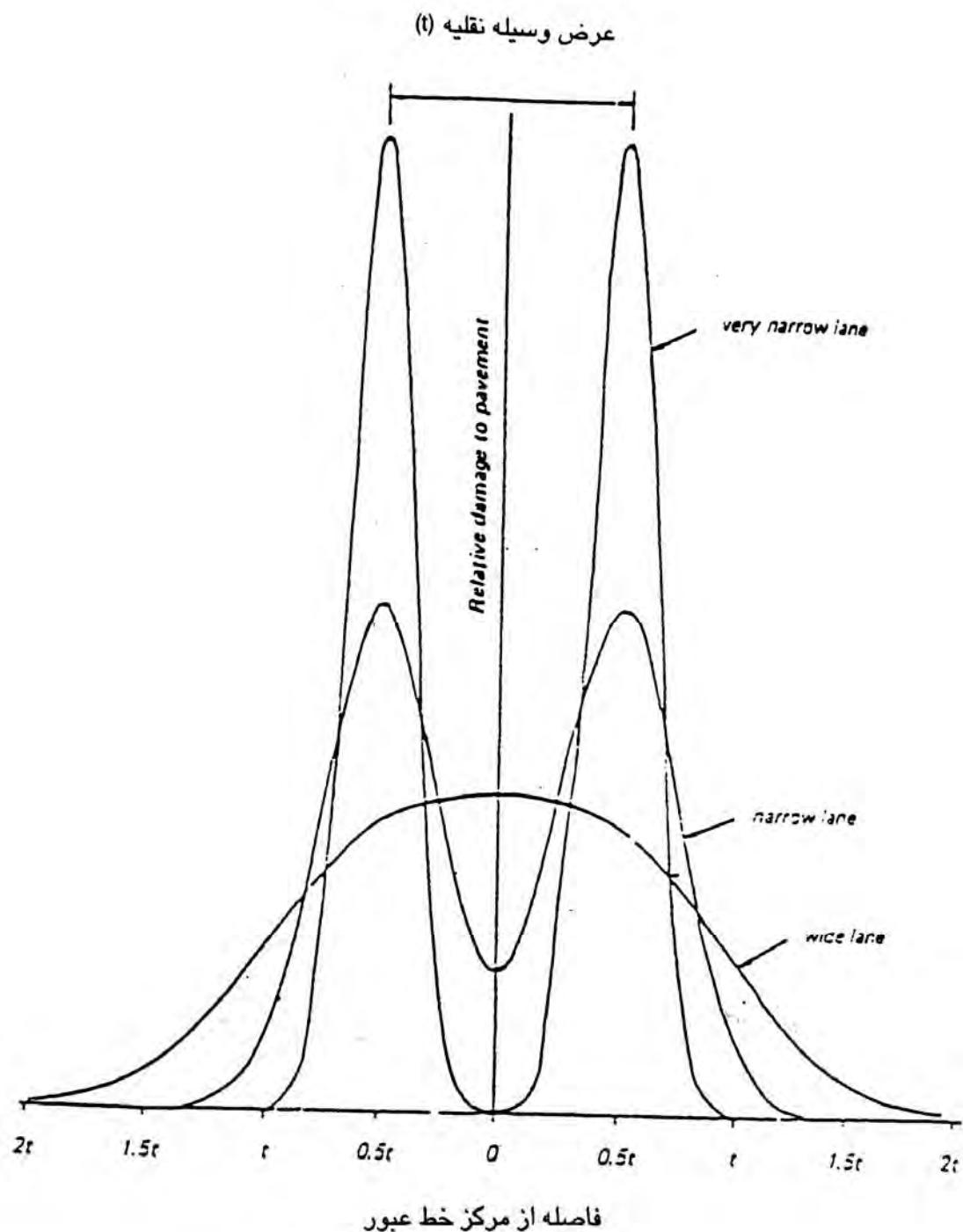


فشار (مگاپاسکال)		گوشه	طول	حداکثر وزن تخلص	
(MPa)	(MPa)	به ارتفاع یک کانتینر	دستگاه (کانتینر)	ردیف	
۲۱/۶	۴/۳۱	۱۲۱۹۰ میلیمتر	۳۰۰۰ کیلوگرم	۱A	
۱۸	۳/۵۹	۹۱۲۵ میلیمتر	۲۵۰۰ کیلوگرم	۱B	
۱۴/۴	۲/۸۷	۶۲۵۵ میلیمتر	۲۰۰۰ کیلوگرم	۱C	
۷/۲	۱/۴۴	۲۹۹۰ میلیمتر	۱۰۰۰ کیلوگرم	۱D	

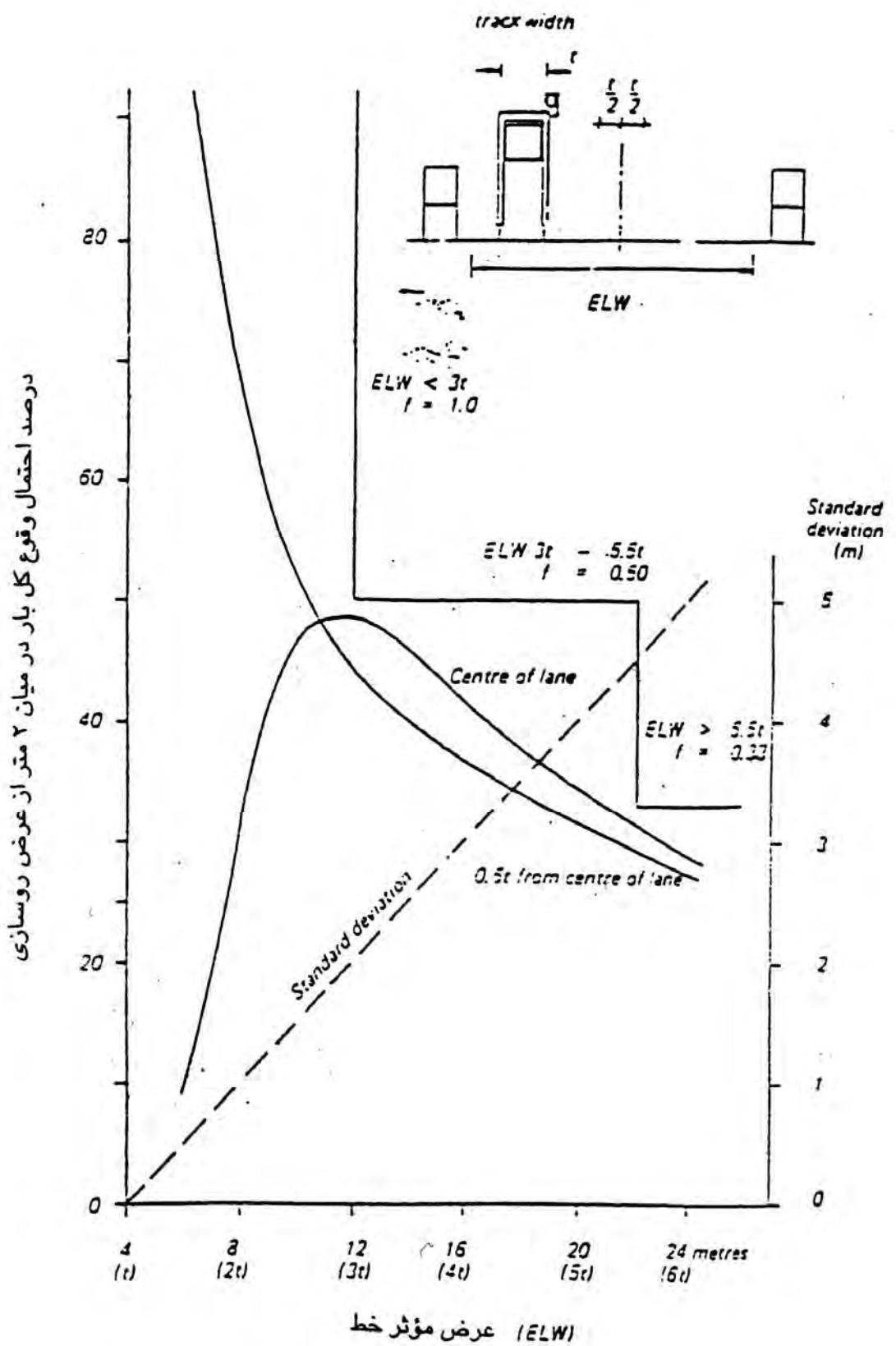
(الف) بعد و بزرگذرای



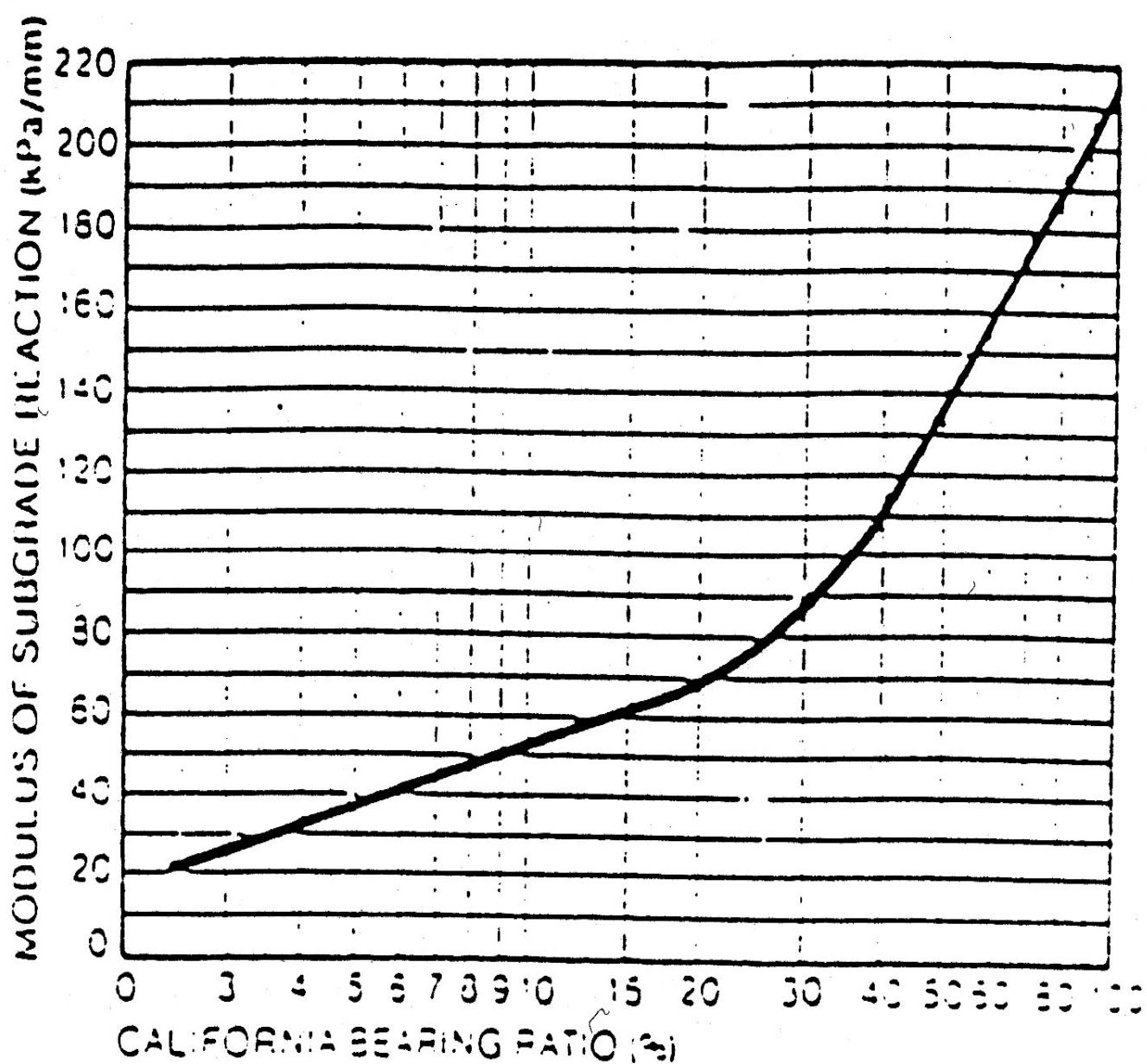
گراف شماره ۲-۳ - ابعاد کانتینر



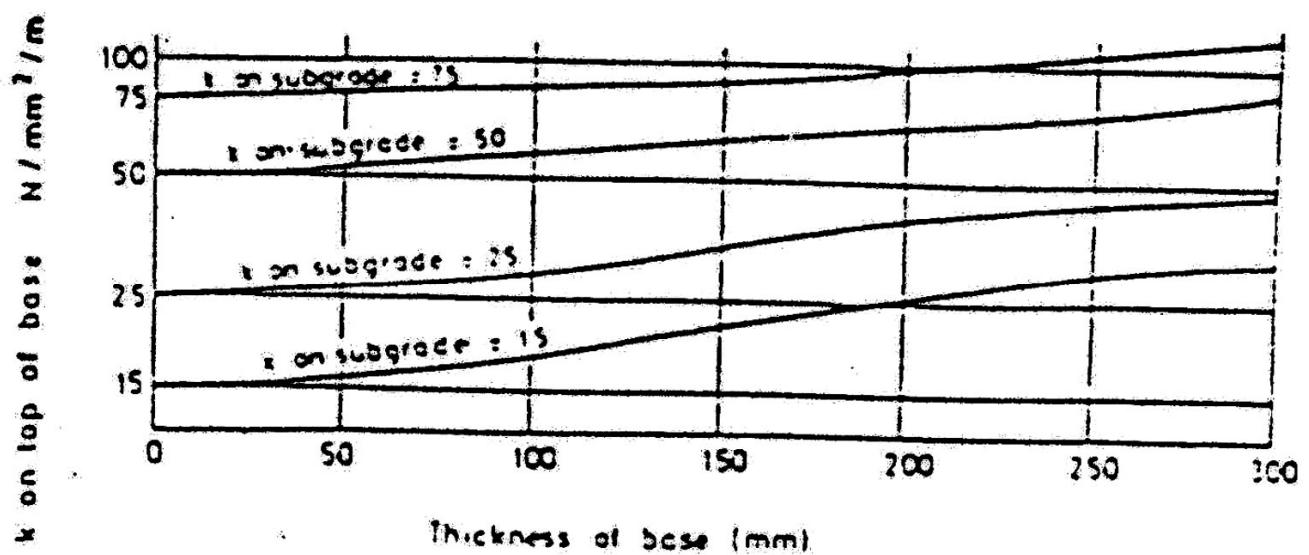
گراف شماره ۴-۲ - تأثیرات حرکات جانبی وسیله نقلیه بر روی خط



گراف شماره ۵-۲ - تأثیر عرض خط

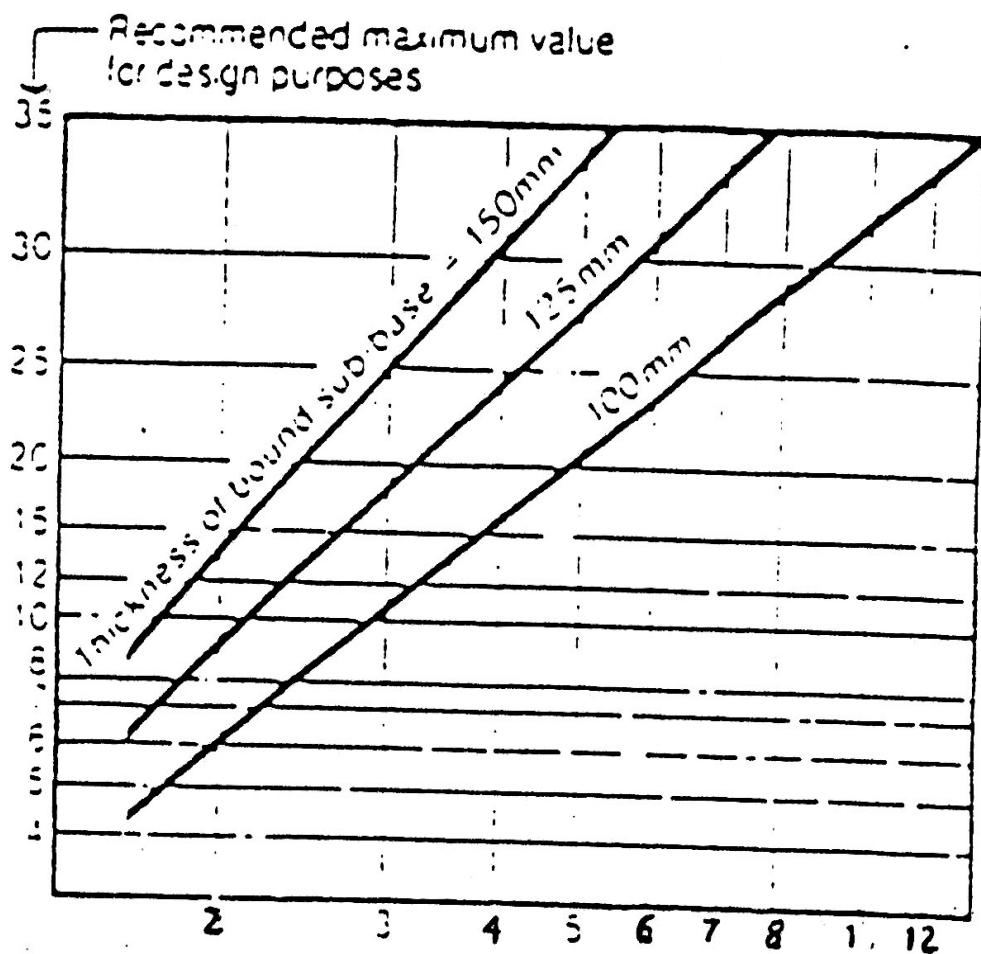


(NAASRA, 1987) - ۶- رابطه بین ضریب عکس العمل ساگرید و CBR



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

مقاومت مؤثر ساپگرید برای طرح ضخامت بتن برحسب درصد CBR



مقاومت اندازه‌گیری شده ساپگرید برحسب درصد CBR

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

## فصل سوم - طراحی روسازی با استفاده از گرافهای طراحی

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

هدف از این بخش این است که نشان دهد که چگونه مقدار نشانه طبقه‌بندی بار (PLANT) به یک وسیله نقلیه (PAWL) از یک قسمت از محوطه بندر محاسبه و سپس مقدار مشخص می‌شود. در ابتدا مقدار «بار چرخ محوطه بندر» (PAWL) از یک مشخص نمودن اثر تحریبی نسبی نوع وسیله نقلیه مورد استفاده LCI مشخص می‌شود. PAWL یک واحد بدون بعد است که برای مشخص نمودن اثر تحریبی 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.

### ۲ - مفهوم خرابی روسازی

این دستورالعمل از فرمولی که بوسیله HEUKELOM و KLOMP (سال ۱۹۷۸) پیشنهاد شده استفاده نموده و خرابی روسازی (D) را بر حسب 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 جائی 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 می‌شود، وزن کانتینر بحرانی بکار رفته برای بدست آوردن اثر تحریبی 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: ۱۲۰۰ کیلوگرم (۲۶۴۵۵ lb)

فشار تماس: (116 lb/in<sup>2</sup>) ۰/۸ N/mm<sup>2</sup> یا (116 kg/cm<sup>2</sup>) ۰/۸

اثر تحریبی D بر حسب PAWL بصورت زیر می‌باشد:

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

که در این رابطه :

W = بار چرخ (kg)

P = فشار چرخ (N/mm<sup>2</sup>)

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. هر کدام از این مقادیر PAWL در «فاكتور اندازه اختلاط<sup>۱</sup>» 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. بهر حال 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 ۱۱-۳.
- ۳- اصلاح بارهای چرخ تا آنجا که لازم است برای درنظر گرفتن تزدیکی چرخها. به بخش ۱۰-۳ 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 بازاء 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.

<sup>۱</sup> Size- Mix Factor

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

فاکتور اندازه اختلاط (نسبت کانتینرهای ۴۰ فوتی به کانتینرهای ۲۰ فوتی)					وزن کانتینرها (lb)	وزن کانتینرها (kg)
۰ ۱۰۰	۴۰ ۶۰	۵۰ ۵۰	۶۰ ۴۰	۱۰۰ ۰		
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	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 ۲-۳ - مقادیر اثر خرابی

P ۱/YN/mm <sup>2</sup> تایر لاستیکی محکم ۲۴۶Lb/in. <sup>2</sup>	P ۱/۲N/mm <sup>2</sup> ۱۷/۲Kg/Cm. <sup>2</sup> ۱۷۴Lb/in. <sup>2</sup>	P ۱/۱N/mm <sup>2</sup> ۱۱/۲Kg/Cm. <sup>2</sup> ۱۵۹Lb/in. <sup>2</sup>	P ۱N/mm <sup>2</sup> ۱۰/۲Kg/Cm. <sup>2</sup> ۱۴۵Lb/in. <sup>2</sup>	P ۰/۹N/mm <sup>2</sup> ۹/۲Kg/Cm. <sup>2</sup> ۱۳۰Lb/in. <sup>2</sup>	P ۰/۸N/mm <sup>2</sup> ۸/۲Kg/Cm. <sup>2</sup> ۱۱۶Lb/in. <sup>2</sup>	P ۰/۷N/mm <sup>2</sup> ۷/۱Kg/Cm. <sup>2</sup> ۱۰۱Lb/in. <sup>2</sup>	نیوتن (N) (lb)	نیوتن (N) (lb)
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	۲۰۰۰	۱۰۰۰
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	۴۰۰۰	۲۰۰۰
۰/۰۱	۱/۰۱	۰/۰۱	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	۵/۰۵	۴/۸۸	۴/۲۸	۳/۵۹	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	۲۲/۲۳	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 ۲-۳ - مقادیر اثر خرابی

P ۱/۷N/mm <sup>2</sup> تایر لاستیکی محکم ۲۴۶Lb/in. <sup>2</sup>	P ۱/۸N/mm <sup>2</sup> ۱۲/۲Kg/Cm. <sup>2</sup> ۱۷۴Lb/in. <sup>2</sup>	P ۱/۱N/mm <sup>2</sup> ۱۱/۲Kg/Cm. <sup>2</sup> ۱۵۹Lb/in. <sup>2</sup>	P ۱N/mm <sup>2</sup> ۱۰/۲Kg/Cm. <sup>2</sup> ۱۴۵Lb/in. <sup>2</sup>	P ۰/۹N/mm <sup>2</sup> ۹/۲Kg/Cm. <sup>2</sup> ۱۳۰Lb/in. <sup>2</sup>	P ۰/۸N/mm <sup>2</sup> ۸/۲Kg/Cm. <sup>2</sup> ۱۱۶Lb/in. <sup>2</sup>	P ۰/۷N/mm <sup>2</sup> ۷/۱Kg/Cm. <sup>2</sup> ۱۰۱Lb/in. <sup>2</sup>	نیزه (lb) نیزه (lb)	نیزه (lb) نیزه (lb)
۱۱۳/۹۵	۷۳/۷۲	۶۶/۱۳	۵۸/۷۰	۵۱/۴۶	۴۴/۴۱	۳۷/۵۸	۶۶۰۰۰	۳۳۰۰۰
۱۲۷/۴۴	۸۲/۴۶	۷۳۹۶	۶۵/۶۵	۵۷/۵۵	۴۹/۶۷	۴۲/۰۴	۶۸۰۰۰	۳۴۰۰۰
۱۴۲/۰۸	۹۱/۹۲	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 X L) برابر است با خرابی بوجود آمده بوسیله همه عبورهای تصادفی با بارهای مختلف در نتیجه:

$$\text{اثر خرابی متوسط} \times \text{کل تعداد جابجایی‌های وسیله نقلیه}$$

$$L = \frac{\text{اثر خرابی بحرانی}}{\text{اثر خرابی بحرانی}}$$

۲-۳

اثر خرابی از هر آیتم 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 درنظر بگیرید. یک قسمت از روسازی تحت تأثیر توازن 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.

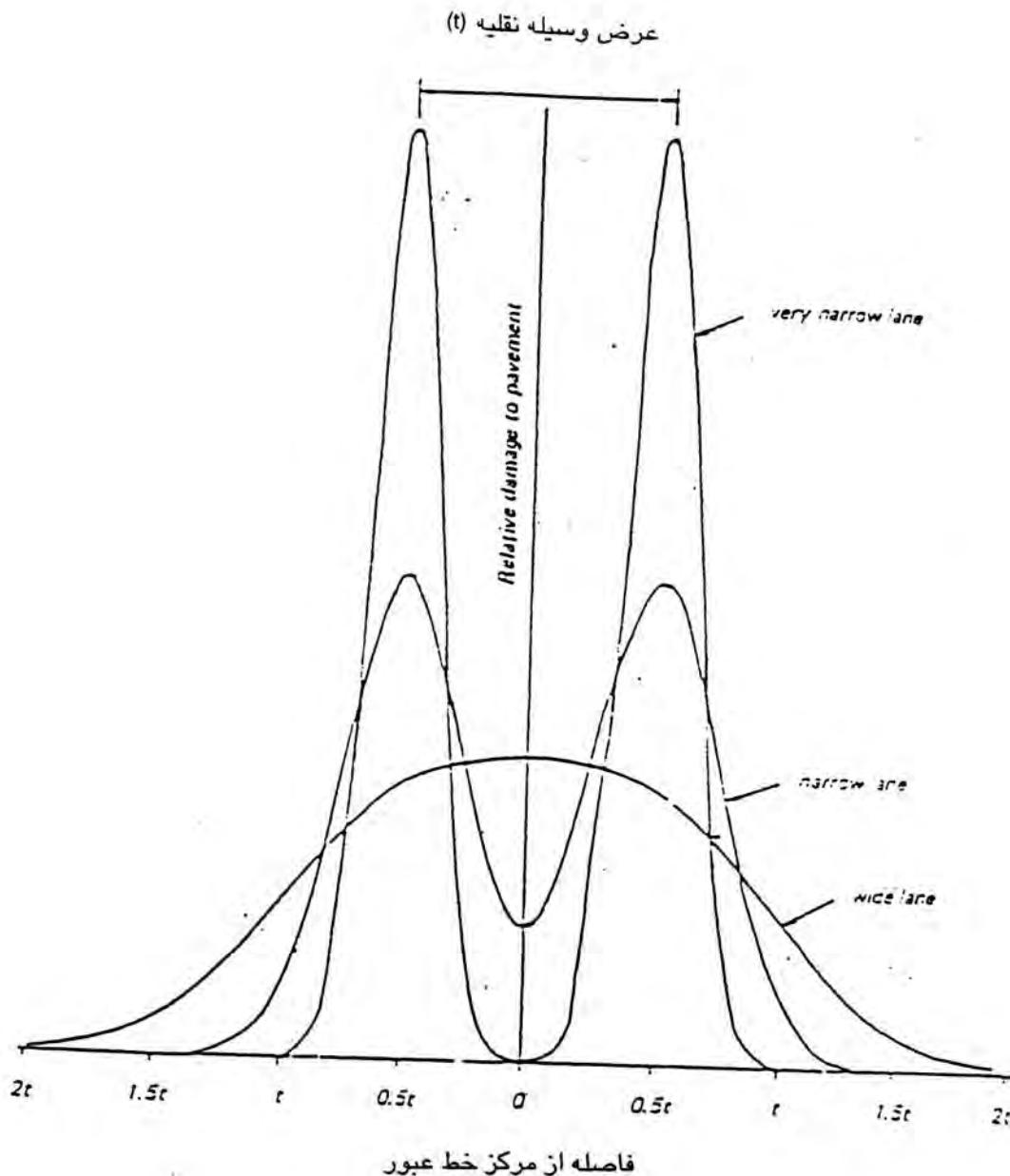
### ۳-۵ - لاستیک‌ها

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 تنفس تماس زیر لاستیک بیشتر از فشار تایر می‌باشد. گرچه این امر بر روی تنفس‌های ایجاد شده در مصالح رویه اثر می‌گذارد، تمرکز تنفس بطور عمده‌ای در سطوح پایین‌تر روسازی مستهلك می‌شوند. در بعضی از تریلرهای پایانه از تایرهای لاستیکی سخت استفاده شده است. فشار تماس بستگی به بار تریلر دارد ولی یک مقدار معمولاً بکار می‌رود که در جدول شماره ۳ - ۲ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

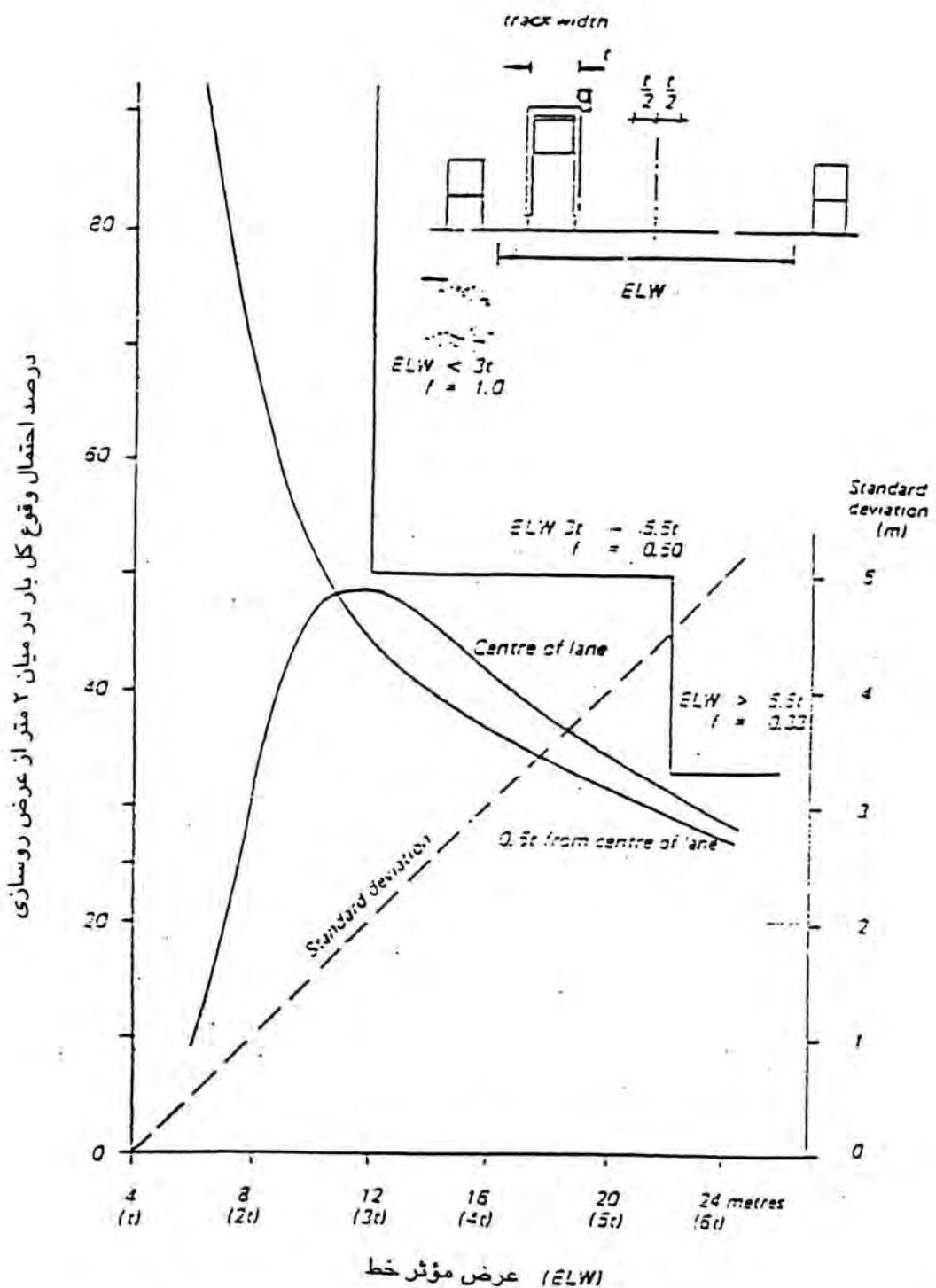
جدول ۳-۳ - خرائیت تأثیر بار دینامیکی

FD	الف - ترمز کردن
۱/۳	لیفتراک جلوبر (محور جلو فقط)
۱/۵	استرال کریر
۱/۲	لیفتراک جانبی
۱/۱	تراکتور و تریلر
	ب - پیچیدن
۱/۴	لیفتراک جلوبر
۱/۶	استرال کریر
۱/۳	لیفتراک جانبی
۱/۳	تراکتور و تریلر
	ج - شتاب
۱/۱	لیفتراک جلوبر
۱/۱	استرال کریر
۱/۱	لیفتراک جانبی
۱/۱	تراکتور و تریلر
	د - سطح ناهموار
۱/۲	لیفتراک جلوبر
۱/۲	استرال کریر
۱/۲	لیفتراک جانبی
۱/۲	تراکتور و تریلر

تذکر: چنانچه ۲ یا ۳ تا از این شرایط همزمان اتفاق بینفت 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 fD اعمال نمود.

زمانی که یک بخش از روسازی تحت تأثیر 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. عنوان 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 تنفس برای مقاصد این دستورالعمل درنظر 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 استردل کاربر بوجود آمده است. همچنین فاکتورهای عمر طراحی برای روسازی‌های زیادی در رابطه با عرض خط که بر حسب عرض عبور وسیله نقلیه می‌باشد، نشان داده است. برای استردل کاربرهایی که در حال صفاتی کانتینرهای در دیفهای 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 تنفس‌های 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 تنفس‌های تماس وارد 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 وارد به روسازی برای اشکال مختلف صفاتی						تنش تماس LB/IN2	تنش تماس N/mm <sup>2</sup>	کاهش در وزن خالص	ارتفاع صفاتی
بلوک LB	بلوک Kg	ردیف LB	ردیف Kg	انفرادی LB	انفرادی Kg				
۶۷۱۹۶	۳۰۴۸۰	۳۳۶۰۰	۱۵۲۴۰	۱۶۸۰۰	۷۶۲۰	۳۷۵	۲/۵۹	.	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  $178mm \times 162mm \times 6\frac{3}{8}in$  (۱۲/۵ mm) و به اندازه  $10\frac{1}{2}in$  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 پر باشند، لذا حداکثر وزن کل (ناخالص) به مقداری که در جدول نشان داده شده، کاهش می‌باشد. 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. ملاحظاتی که بایستی در نظر گرفته شود یکی استفاده از بالشتک‌های مخصوص برای پایه‌های کانتینر و دیگری صفاتی 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 زیرسروی تریلرها (چرخهای دالی تریلرها)

چهار چرخ زیرسروی در تریلرها وجود دارد که دارای  $88mm \times 225mm$  (۳/۵ in) عرض و  $88mm \times 225mm$  (۹ in) قطر می‌باشند. زمانی که تریلر در حال پارک است، سطح تماس هر چرخ تقریباً  $10 \times 3\frac{1}{2}in$  (۴۰ lb/in) و تنش‌ها  $2 \times 40 N/mm^2$  (۵۸۰۰ N/mm<sup>2</sup>) می‌باشند. بعضی از تریلرها دارای صفحات پاشنه‌ای بوده و دارای اندازه  $150mm \times 225mm \times 6in \times 9in$  (۲۹۰lb/in<sup>2</sup>) و ایجاد تنش‌های تماس تریلر موردن استفاده قرار گیرد.

### ۳-۸-۳- جک‌های ثبیت کننده

این جک‌ها برای ثبیت 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  $2 \times 1/3 N/mm^2$  (۱۸۸ lb/in) 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. باقیتی 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

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

### 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 باقیتی برای LCI برابر با کلاس «F» طراحی شود.

### ۳ - ۱۱ - فاکتورهای نزدیکی چرخها

محدودیت‌های طراحی، کرنش کشنی افقی در پایین لایه اساس می‌باشد. اگر فقط یک چرخ درنظر گرفته شود، حداکثر کرنش کشنی 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 می‌شوند، اصلاح می‌شوند. این فاکتورها بطريق زیر بدست می‌آیند. اگر نزدیکی چرخ درنظر گرفته نشود، تنفس مربوطه، تنفس شعاعی کشنی که مستقیماً زیر چرخ بارگذاری شده قرار گرفته خواهد بود. اگر یک چرخ دیگر در نزدیکی آن وجود داشته باشد، آن چرخ نیز یک تنفس کشنی 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:

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

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

تنش شعاعی =  $\partial R$

تنش مماسی =  $\partial_t$

بار = W

در جائی که :

r = فاصله افقی بین چرخها

عمق نقطه‌ای که تنش محاسبه می‌شود = Z

ضریب پواسان =  $a = r + Z^{\frac{1}{2}}$

### جدول شماره ۳ - ۶ - اثرات تخریبی وسایلی که عموماً مورداستفاده قرار می‌گیرند

نوع دستگاه	حرکت معمولی	برای ترمز LCI
وسایل نقیله جاده‌ای	A	A
تربلرهای پایانه	B و A	C و B
کامیونهای باربر جانبی	C و B	D و C
استردل کاربر	B	C و B
لیفت تراکهای جلوبر کوچک با کانتینرهای خالی	A	B و A
لیفت تراکهای جلوبر متوسط با کانتینرهای پر ۲۰۰ فوتی	D و C	E و D
لیفت تراکهای جلوبر بزرگ با کانتینرهای ۴۰۰ فوتی	F و E	G و F
گانتری کریں	H و G	-
جرثقیلهای متحرک (بدون بار)	C و B	D و C

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.

$$300^3 \sqrt{\frac{35000}{CBR \times 10}} = \text{عمق مؤثر} \quad (3-3)$$

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 فوق الذکر 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 درنظر 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 :

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

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 ۸۶/۰ 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

لایه اساس	فاکتوری نزدیکی برای عمق مؤثر			فاصله چرخ	
۳۰۰۰ mm (۲۰ in) (عمق مؤثر)	۲۰۰۰ mm (۸۰ in) (عمق مؤثر)	۱۰۰۰ mm (۴۰ in) (عمق مؤثر)	(in)	(mm)	
۱/۹۸	۱/۹۵	۱/۸۲	۱۲	۳۰۰	
۱/۹۱	۱/۸۲	۱/۴۷	۲۴	۶۰۰	
۱/۸۲	۱/۶۵	۱/۱۹	۳۶	۹۰۰	
۱/۷۱	۱/۴۷	۱/۰۲	۴۸	۱۲۰۰	
۱/۴۷	۱/۱۹	۱/۰۰	۷۲	۱۸۰۰	
۱/۱۴	۱/۰۲	۱/۰۰	۹۶	۲۴۰۰	
۱/۰۲	۱/۰۰	۱/۰۰	۱۴۴	۳۶۰۰	
۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱۹۲	۴۸۰۰	

### 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 واردہ بر چرخ جلو

$W_2$  = بار واردہ بر چرخ عقب

$W_C$  = وزن کانتینر

$M$  = تعداد چرخهای محور جلو (معمولًاً 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

استرال کاریر (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

گانتری کرین (شکل ۳ - ۴)

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

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

$W_1$  = بار چرخ در سمت ۱

$W_2$  = بار چرخ در سمت ۲

$W_C$  = وزن کانتینر

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

$M$  = تعداد چرخها در هر سمت

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

$f_D$  = فاکتور دینامیکی

$U_1$  = وزن غیر بارگذاری شده گانتری کرین روی هر چرخ سمت ۱

$U_2$  = وزن غیر بارگذاری شده گانتری کرین روی هر چرخ سمت ۲

$x_C$  و  $x_2$  = 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  $D$  مربوطه درنظر گرفته می‌شود.

سیستم‌های تریلر و تراکتور (شکل شماره ۳ - ۵)

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

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

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

$W_1$  = بار بر روی چرخهای جلوی تراکتور

$W_2$  = بار بر روی چرخهای عقب تراکتور

$W_3$  = بار بر روی چرخهای تریلر

$W_C$  = وزن کانتینر (یا بار)

$M_1$  = تعداد چرخهای جلویی تراکتور

$M_2$  = تعداد چرخهای عقب تراکتور

$M_3$  = تعداد چرخهای تریلر

$U_1$  = بار بر روی چرخهای جلوی تریلر در حالت غیر بارگذاری شده

$U_2$  = بار بر روی چرخهای عقب تریلر در حالت غیر بارگذاری شده

$U_3$  = بار بر روی چرخهای تریلر غیر بارگذاری شده

$f_D$  = فاکتور دینامیکی

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

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

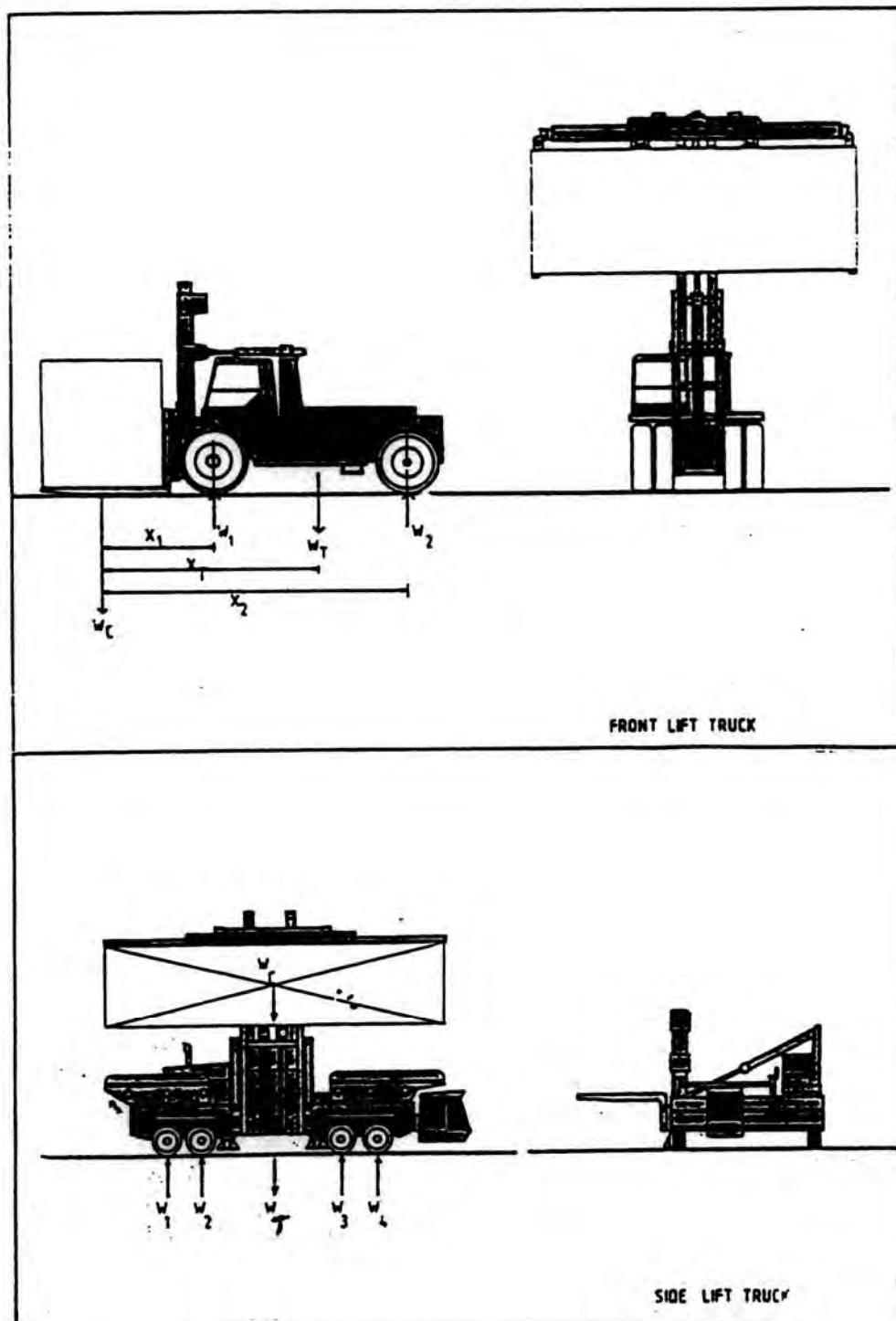
$x_B$  و  $x_2$  و  $x_3$  در شکل ۳ - ۵ نشان داده شده است.

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

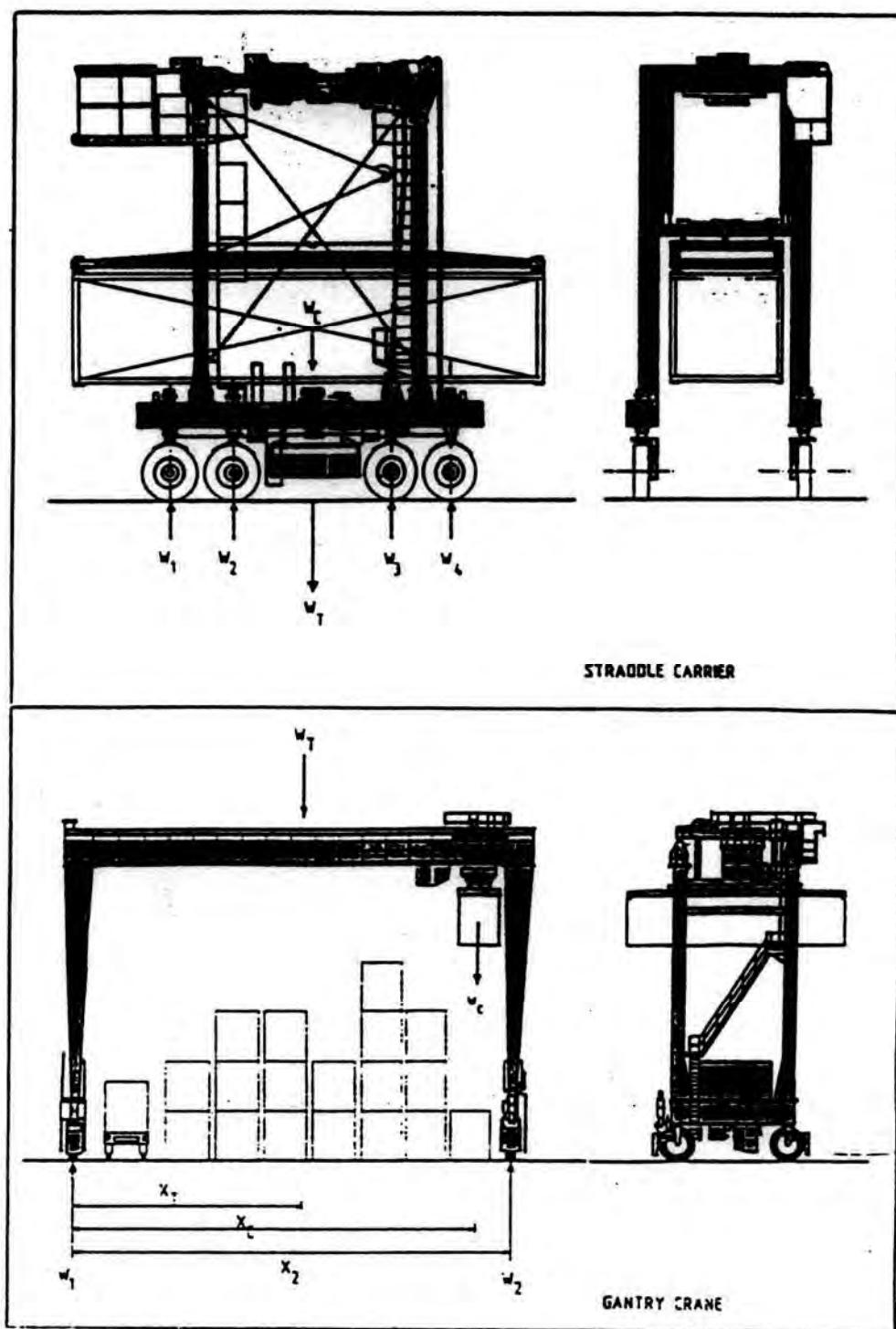
$$W = W_T / M$$

$W$  = وزن خود جرثقیل  $W_T$

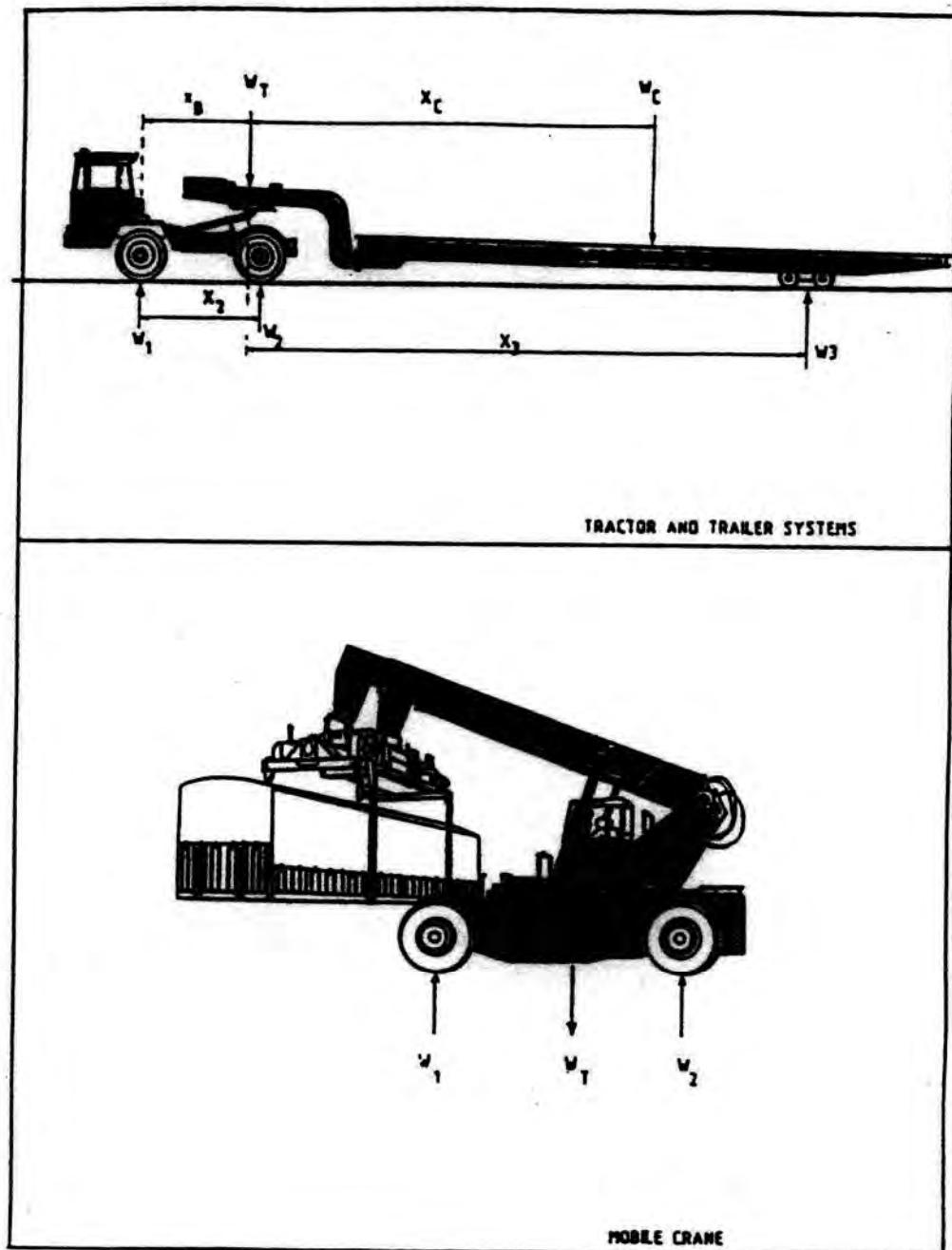
$M$  = تعداد کل چرخهای جرثقیل



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 گانتری



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

## فصل چهارم - مثالهای طراحی

### ۱ - مثالهایی از محاسبه LOAD CLASSIFICATION INDEX) LCI

#### ۱ - ۱ - استرادل کاریر S.I

مقدار  $\% 5 = CBR$

وزن بدون بار شامل تیراسپریدر = کیلوگرم ۵۶۳۱۰ (WT)

عرض مسیر  $4/5 \text{ m} =$

فشار چرخ  $0.827 \text{ N/mm}^2$

فاصله چرخ  $2/4 \text{ m} =$

در این مثال استرادل کاریر همه کانتینرهای ۴۰ فوتی را حمل می‌کنند 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 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.

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

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 :

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

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

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

از جدول ۳ - ۷ ، فاکتور نزدیکی از طریق انترپولاسیون برابر  $1/14$  می‌شود. بنابراین بار مؤثر چرخ برابر است با :

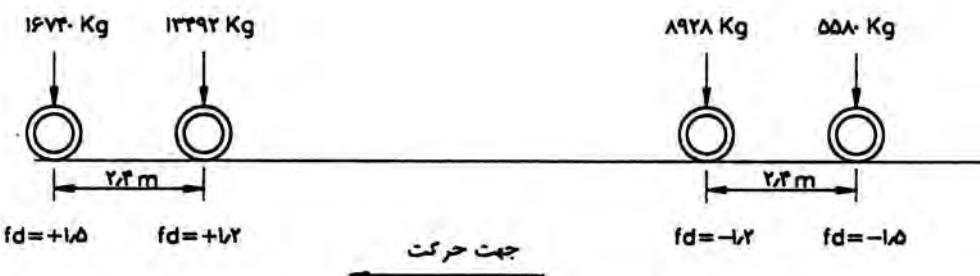
$$\text{کیلوگرم} = 160,11 \times 1/14 = 9789$$

حال یک استرالد کاریر را که در حال حرکت معمولی و تحت تاثیر نیروی ترمز می‌باشد، درنظر بگیرید. تحت حرکت معمولی، هر چرخ یک بار مؤثر برابر  $160,11$  کیلوگرم با فشار چرخ  $N/mm^2 = 827$  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  $1/5$  را نشان می‌دهد. این مقدار فقط به چرخهای جلو و عقب‌ترین چرخ اعمال می‌شود. بار چرخ جلو به اندازه  $50\%$  اضافه و بار چرخ عقب نصف می‌شود. یک توزیع مجدد بار کمتری برای چرخهای باقیمانده وجود دارد و فاکتور  $1/2$  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 :

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

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 پرترافیک‌ترین 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  $10\%$  از اثر خرابی بحرانی کمتر است. بنابراین عمر طراحی L بکار رفته در گراف‌ها برابر با  $10\%$  تعداد تکرار محاسبه شده که در زمان کانالیزه شدن خط درنظر گرفته می‌شود، می‌باشد.

## ۴ - ۲ - مثال استفاده از گرافها

### ۴ - ۲ - محاسبه عمر طراحی

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

یک محوطه بعنوان یک جاده برای استردادل کاریر باستی طراحی گردد. دوازده تا استردادل 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 استردادل کاریر  $m$   $(\frac{4}{5} \text{ ft})$   $(14/76)$  و عرض جاده برابر با  $20 \text{ m}$   $(65 \text{ ft})$  می‌باشد. جاده یک بخش از یک سیستم یک طرفه و هر استردادل کاریر هر ۲۰ دقیقه یک بار از آن عبور می‌کند. تعداد عبور استردادل کاریر در طی ۲۵ سال برابر است با:  $= 3888000$  (تعداد جابجایی در ساعت)  $3 \times (تعداد استردادل کاریر) 12 \times (\text{ساعت})^{12} \times (\text{روزهای سال})^{360} \times (\text{سال})^{25}$  شکل ۳ - ۲ نشان می‌دهد که این مقدار باستی 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  $1/0$  برای دستگاهی که در حال حمل کردن یک طیفی از بارهای مشابه جدول ۳ - ۱ می‌باشد، درنظر گرفته شود. بنابراین عمر طراحی برابر  $194000$  می‌باشد.

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

گراف A برای اساس‌های ثبت 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 بطريقی که ظرفیت کرنش کششی الیافها با یک فاکتور  $1/75$  افزایش یافته است. جائی 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 - 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 ساخته شده، ضخامت‌های زیراساس و مصالح رویه می‌باشد. ۵ مقدار CBR،  $1\%$  و  $\frac{1}{3}\%$  و  $\frac{5}{10}\%$  و  $\frac{30}{30}\%$ ، سه ضخامت زیراساس صفر،  $(12 \text{ in})$  و سه نوع رویه (آسفالت، بلوك 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 بتی 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 بتی از محور سمت چپ شروع نموده و مقدار مناسب را همانطور که در بخش 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 منحنی‌های 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 ساچگردید می‌شود. کرنش مجاز ساچگردید 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 الاستیستیته ۲ N/mm<sup>2</sup> 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.

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

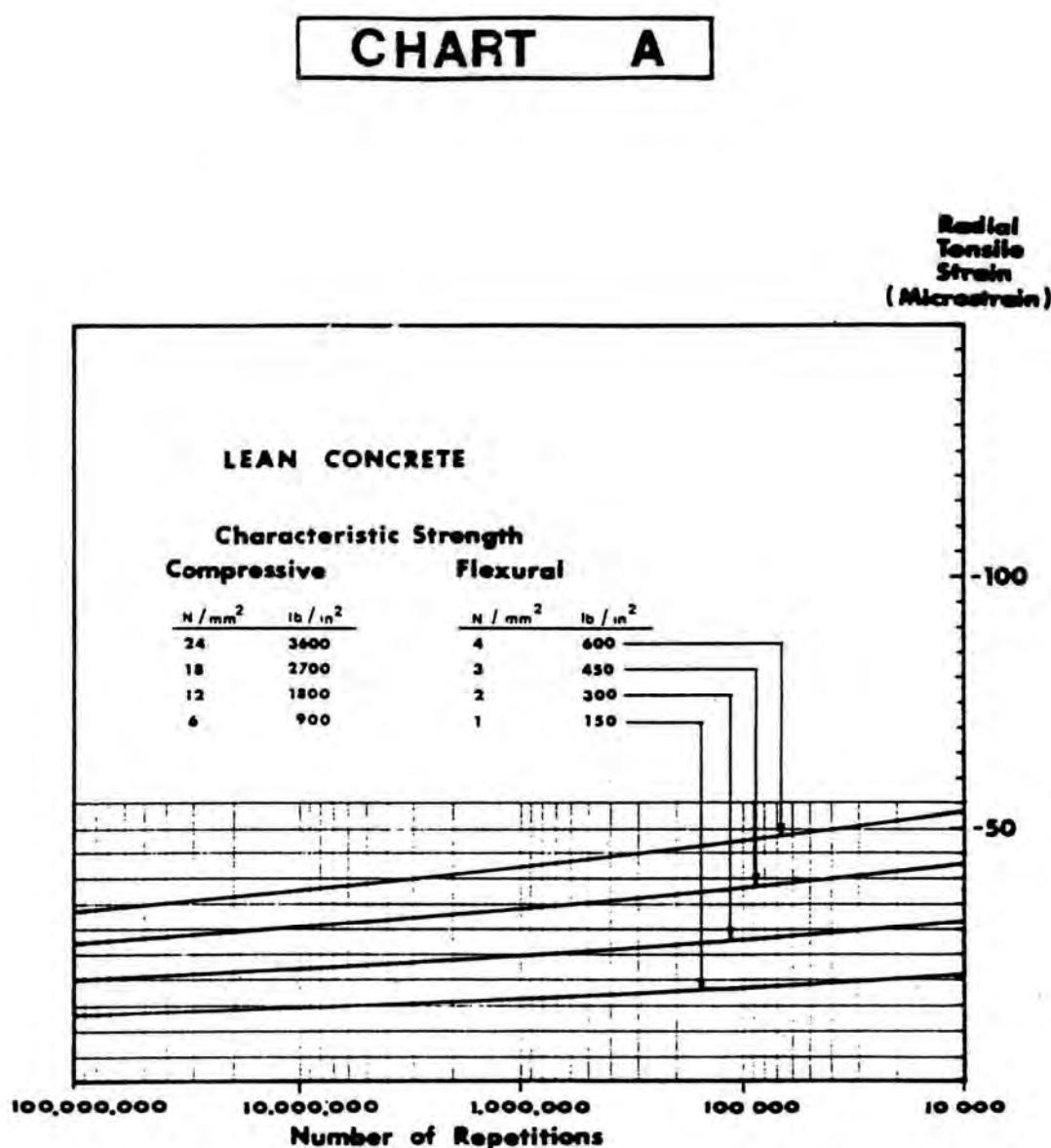
- ۱- تعیین اثر تخریبی (D) بر حسب PAWL با استفاده از رابطه ۱-۳
- ۲- محاسبه خرابی متوسط و خرابی بحرانی بر طبق مراحل زیر:
  - ۱-۱- انتخاب ترکیبی از کانتینرهای ۲۰ و ۴۰ فوتی که بایستی حمل شوند (از جدول ۱-۳)
  - ۲-۱- محاسبه بارهای چرخ برای هر دستگاه در حال حمل کانتینر با هر وزنی از کانتینر با استفاده از روابط بند ۱۱-۳
  - ۳-۱- 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
  - ۴-۱- 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.
  - ۵-۱- جمع آثار خرابی همه چرخها بر روی یکطرف از دستگاه برای بدست آوردن اثر خرابی کلی دستگاه به ازاء هر افزایش در وزن کانتینر
  - ۶-۱- 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.
  - ۷-۱- 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 fID از جدول ۳-۳ اعمال گردد.

۵- اثرات بارهای استاتیکی شامل تأثیر بارهای گوشه کانتینر (پایه گوشه کانتینر) از جدول ۴-۳ چرخهای زیرسروی تریلرها (چرخهای دالی تریلرها و جکهای تثبیت‌کننده به شرح بندهای ۱-۷-۳ و ۲-۷-۳ و ۳-۷-۳) باستی در نظر گرفته شود.

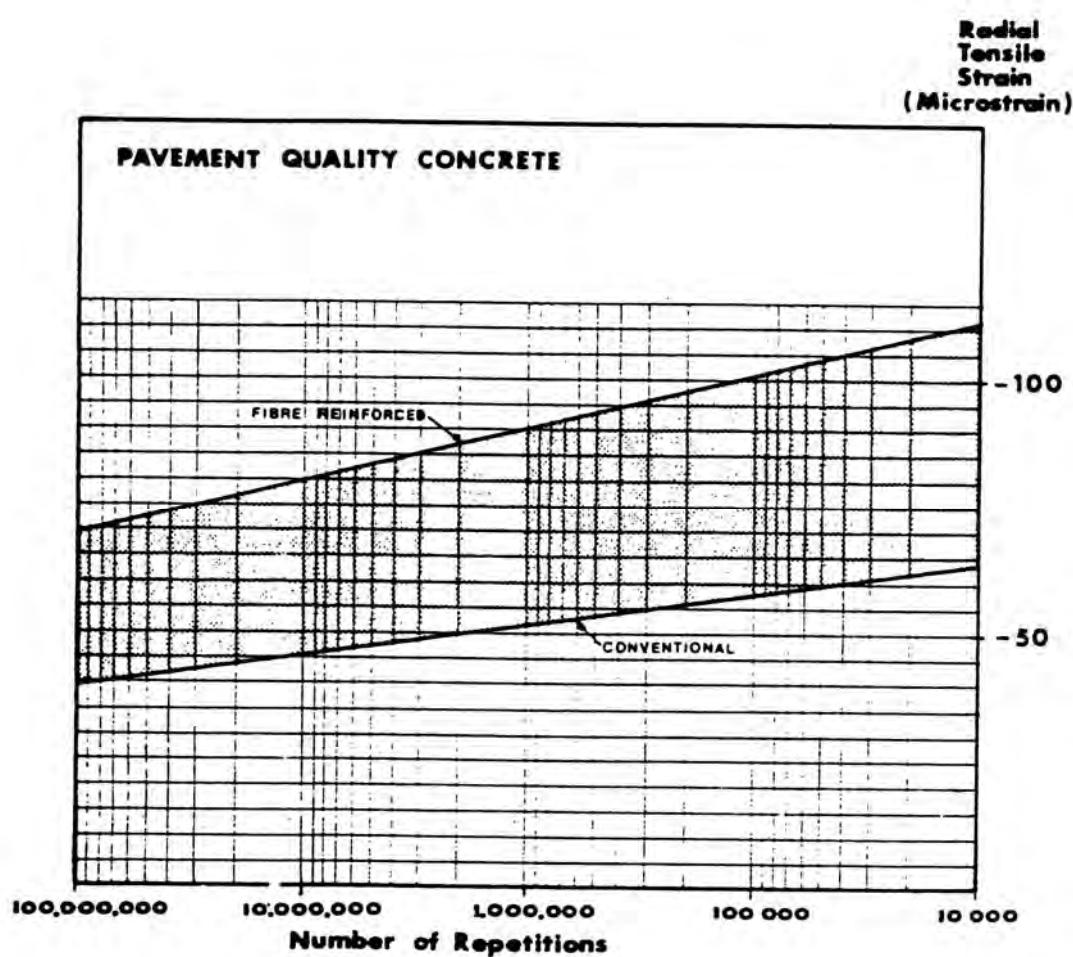
۶- تعیین اندیس طبقه‌بندی بار وسایل نقلیه که بر طبق جدول ۵-۳ انجام می‌گیرد.

۷- استفاده از گرافهای A,B,C برای محاسبه کرنشهای کششی و فشاری و گرافهای ۱ تا ۴۵ برای تعیین ضخامت روسازی‌های آسفالتی و بلوك بتني و بتني بر طبق مثال ارائه شده در بند ۲-۴.



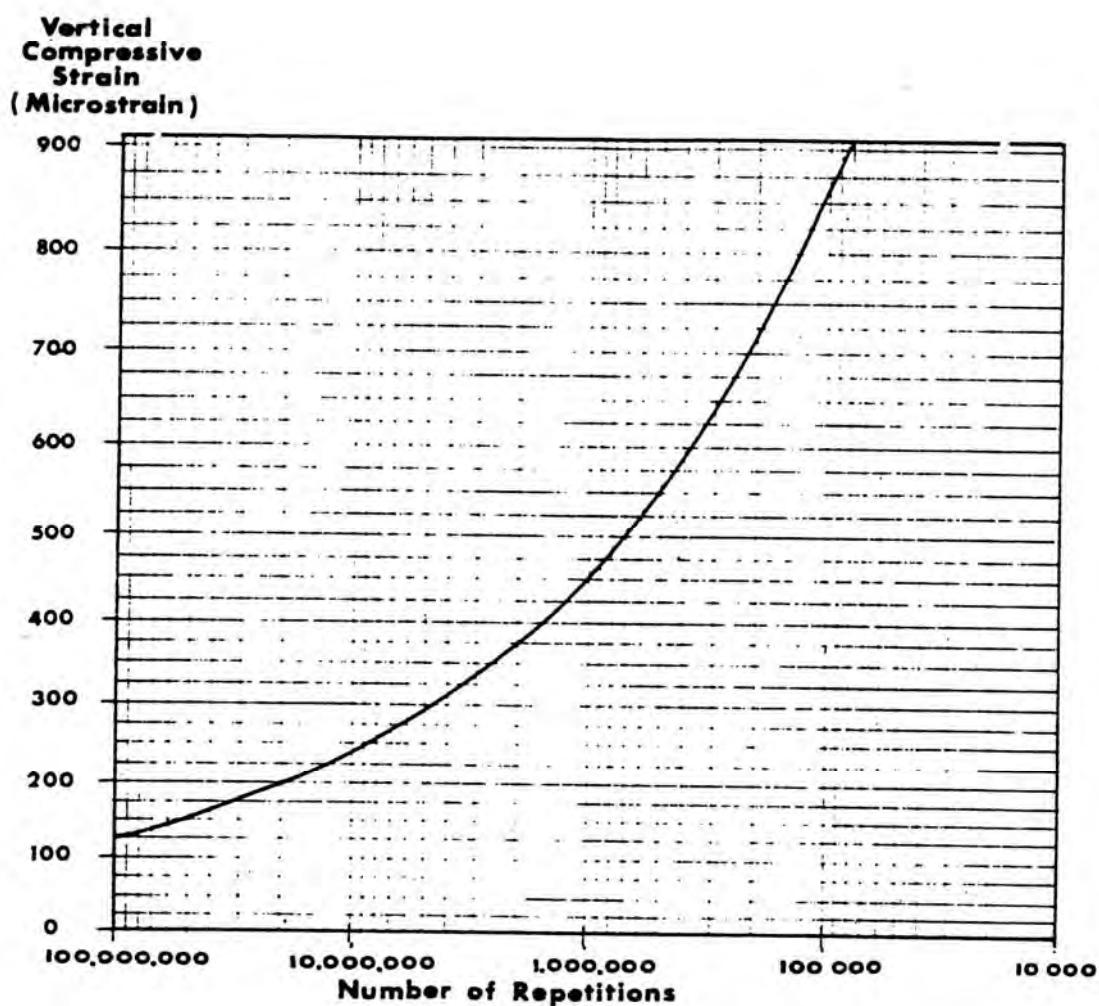
شکل ۲-۴- کرنش کششی مجاز برای اساس ثبیت شده با سیمان

## CHART B



شکل ۴-۳- کرنش کششی مجاز برای دالهای بتی

## 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 MANUVEIMENT 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. LINDEHOLM, (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 ANALYTICL 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 GUIDE TO THE STRUCTURAL DESIGN OF ROAD PAVEMENTS, NAASRA, 1981.

NATIONAL PORTS COUNCIL ANNUAL DIGEST OF PORT STATISTICS. VOL. 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.

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

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

PORLAND 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.

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

PORLAND 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 CLCULATOR. TRANSPORTATION ENGINEERING JOURNAL SEPT. 1980.

ULLIDTZ, 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 PORTS. 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.

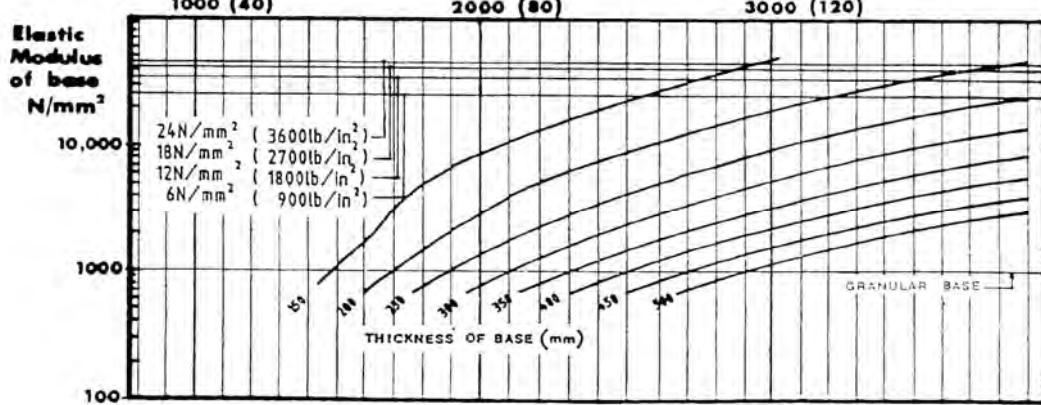
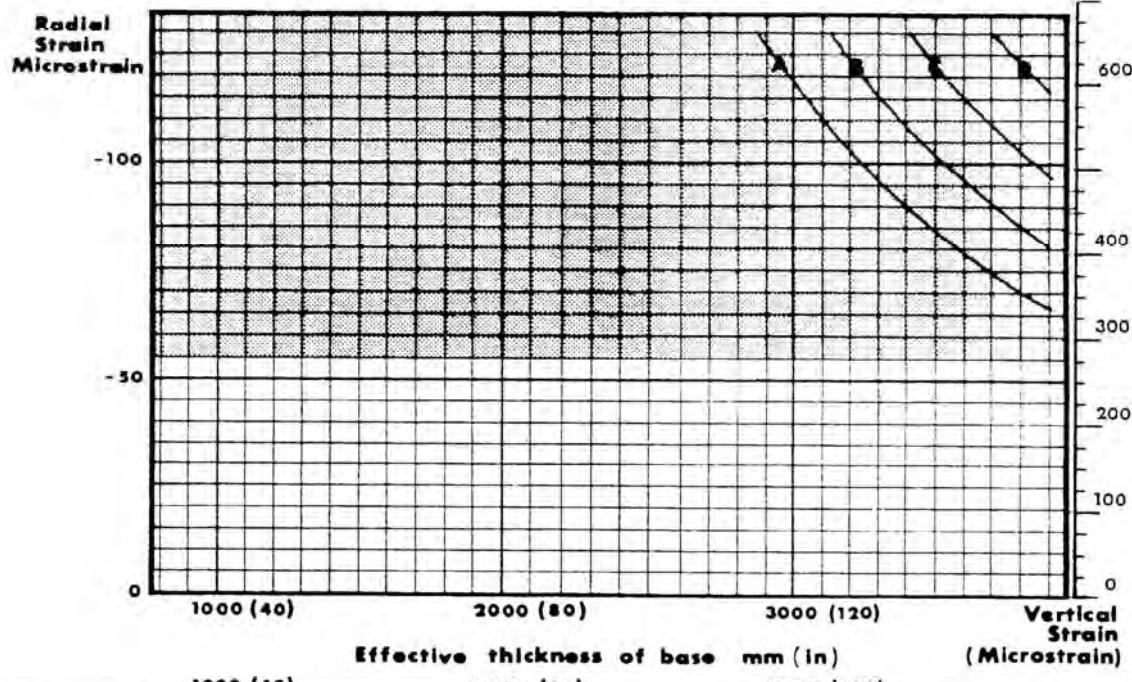
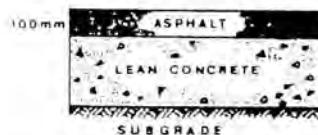
ضمان:

## CHART No. 1

1 % CBR

ASPHALT

No sub-base

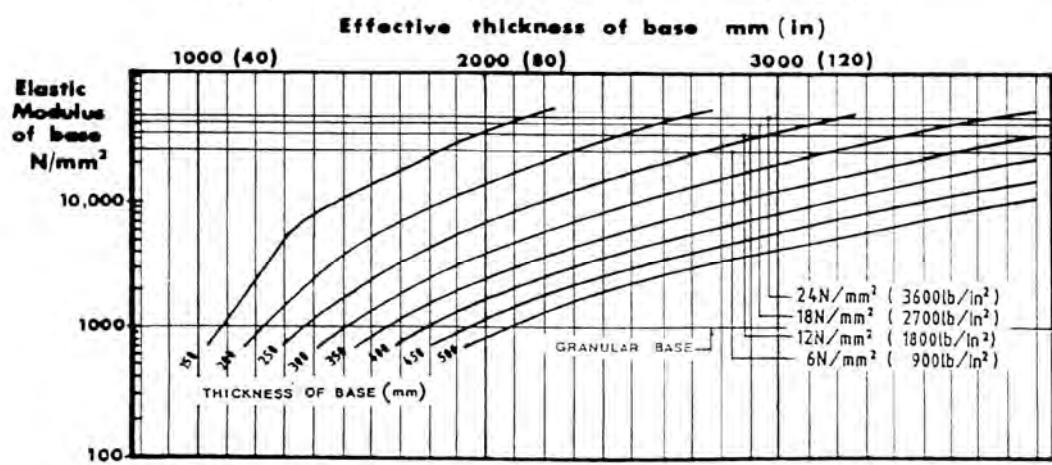
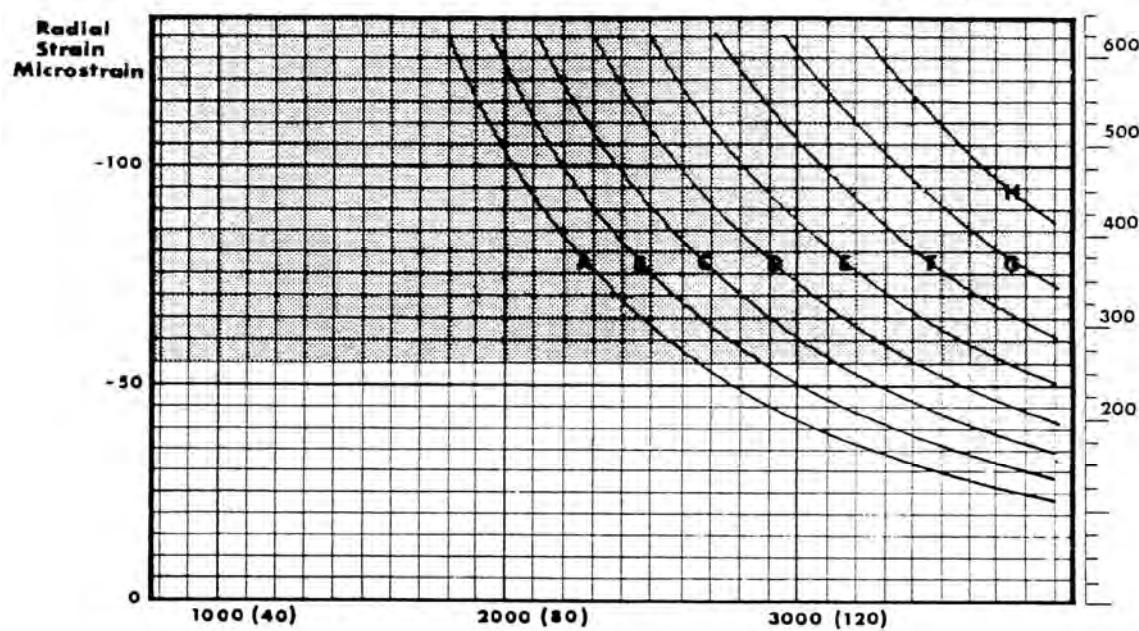
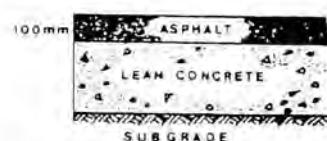


**CHART No. 2**

**3% CBR**

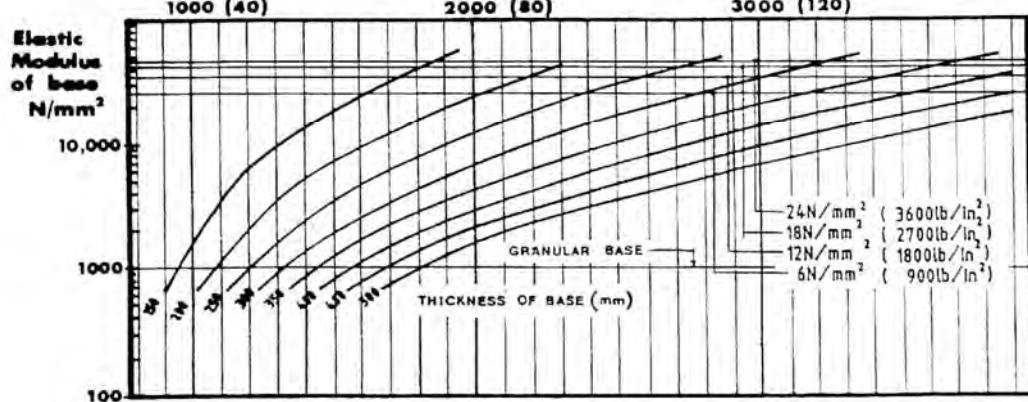
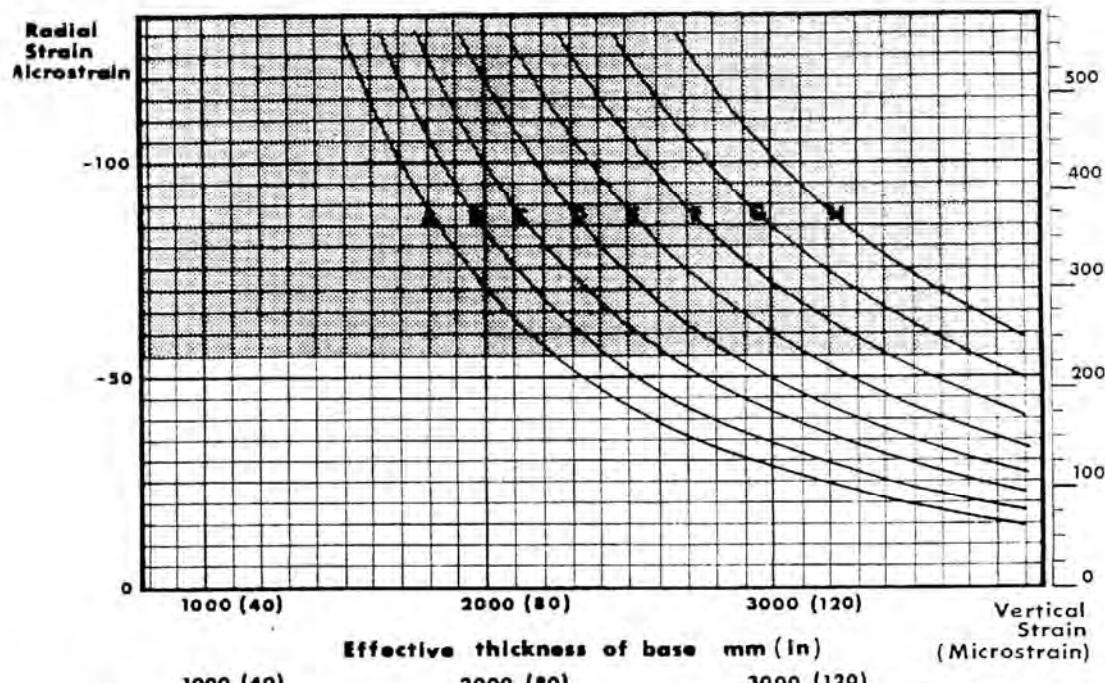
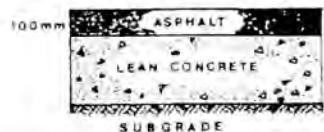
**ASPHALT**

**No sub-base**



### CHART No. 3

**5% CBR  
ASPHALT  
No sub-base**

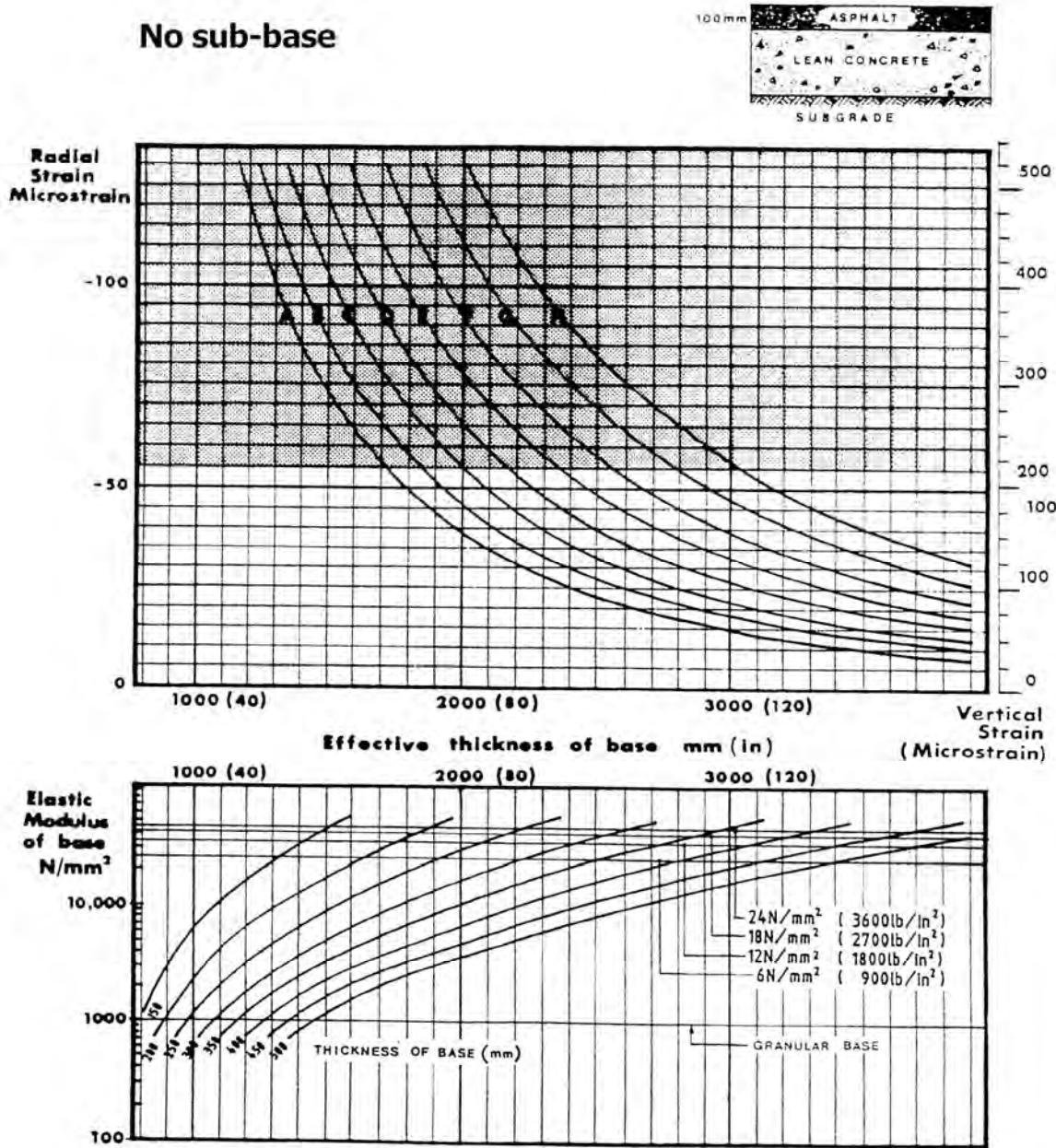


**CHART No. 4**

**10 % CBR**

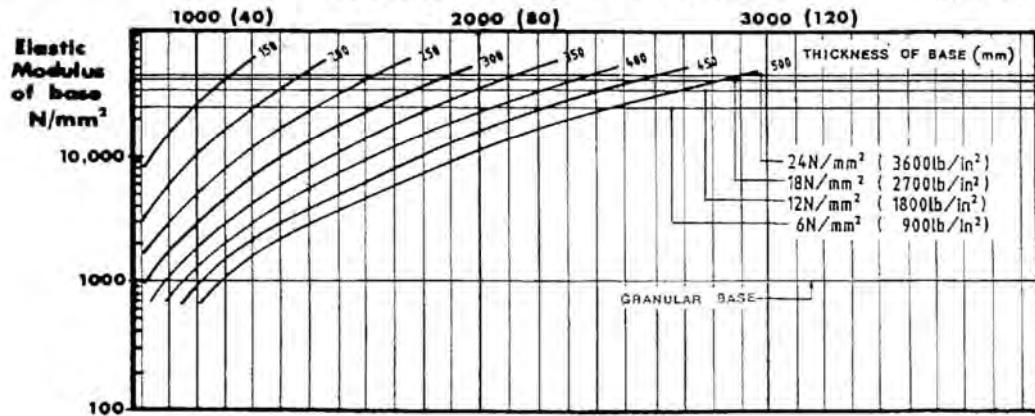
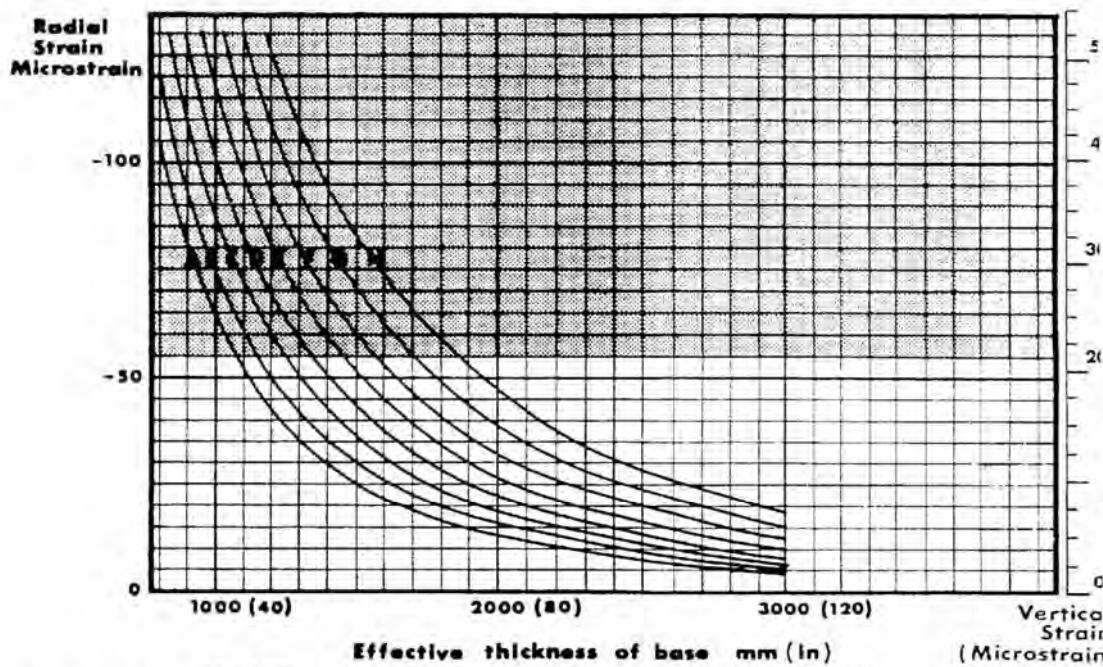
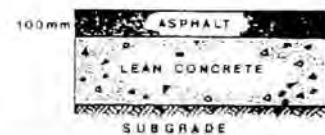
**ASPHALT**

**No sub-base**



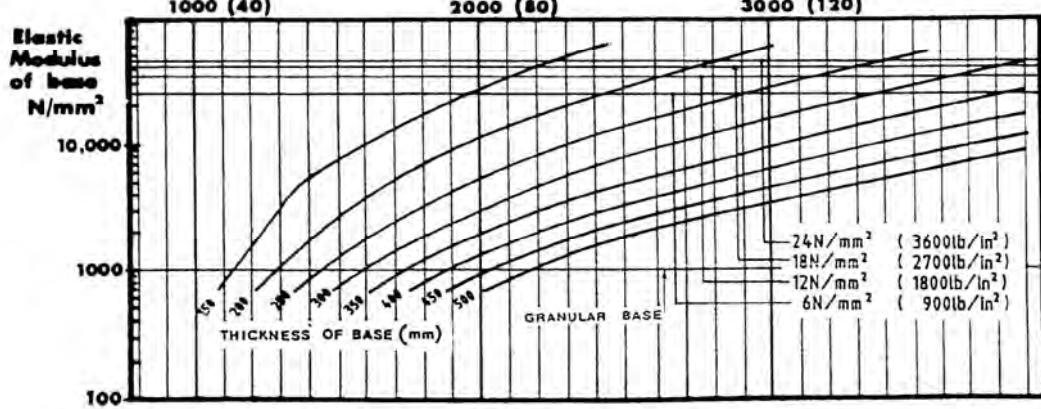
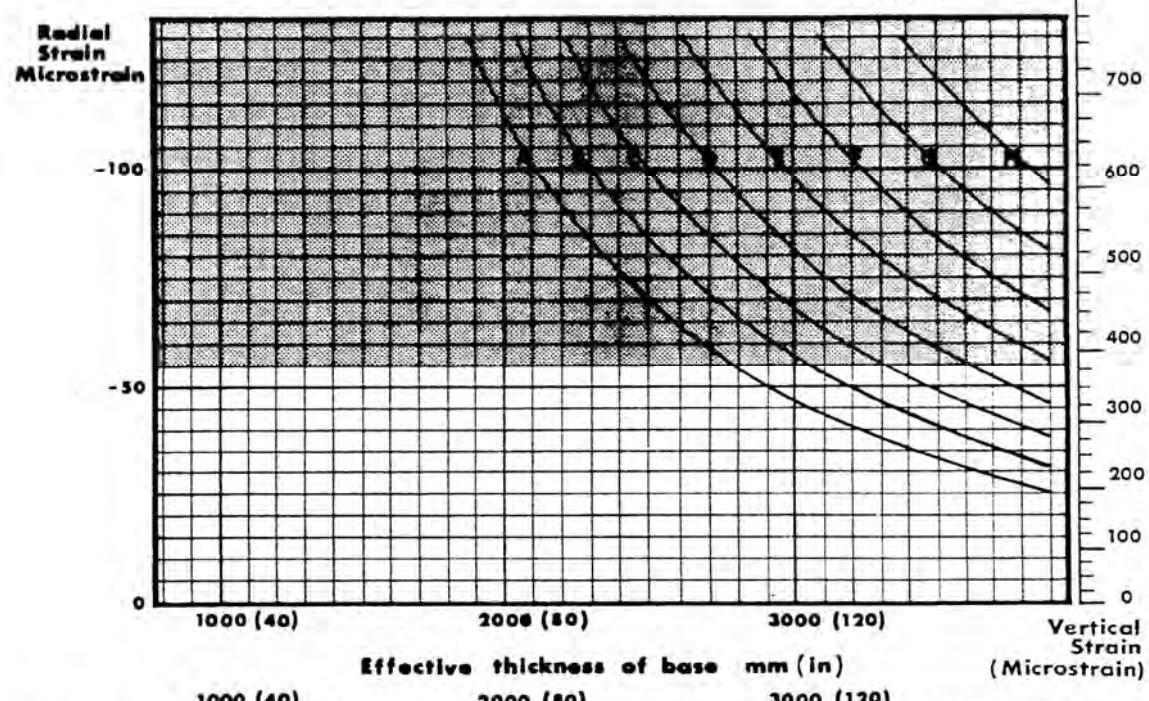
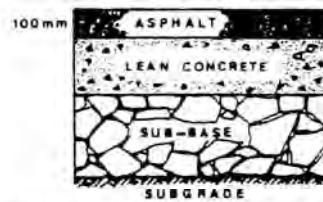
**CHART No. 5**

**30 % CBR  
ASPHALT  
No sub-base**



**CHART No. 6**

**1% CBR  
ASPHALT  
300 mm (12 in) sub-base**

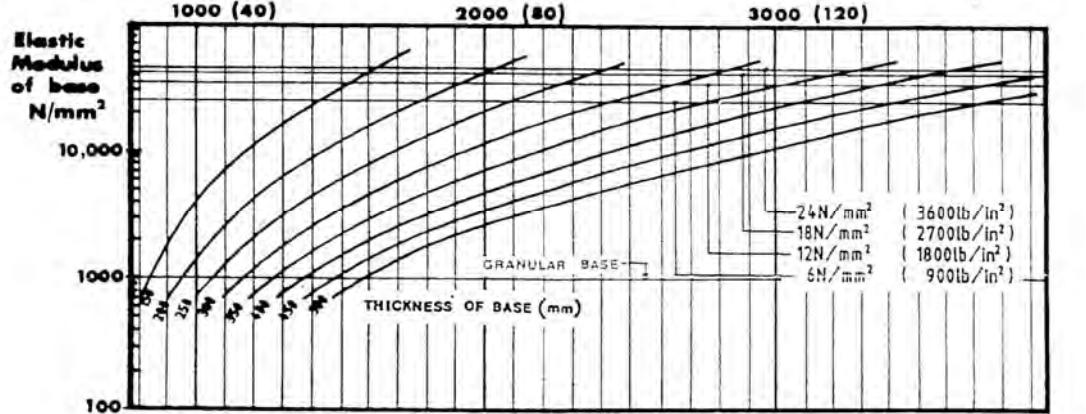
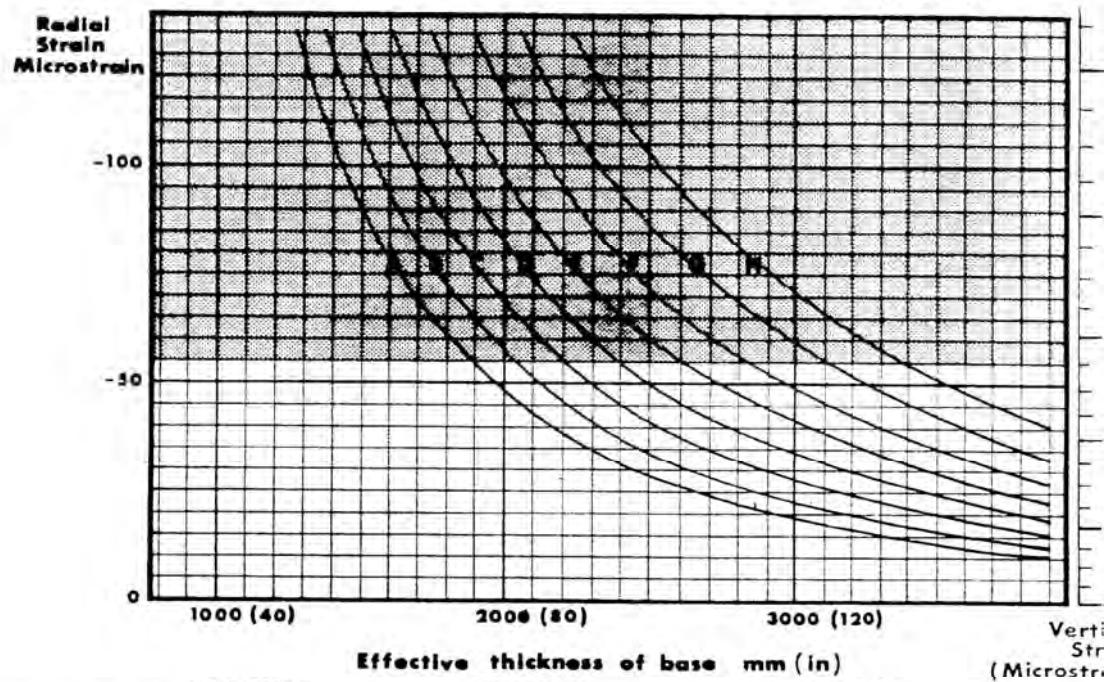
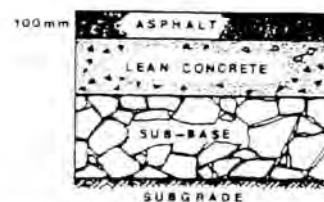


**CHART No. 7**

**3% CBR**

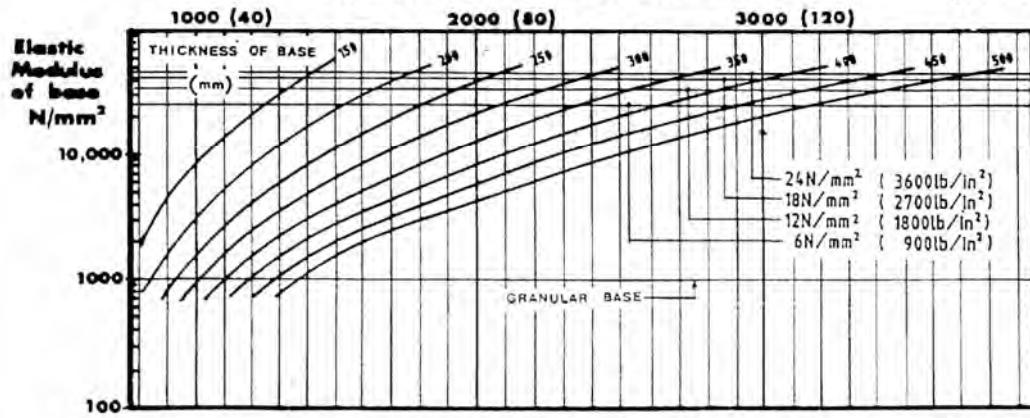
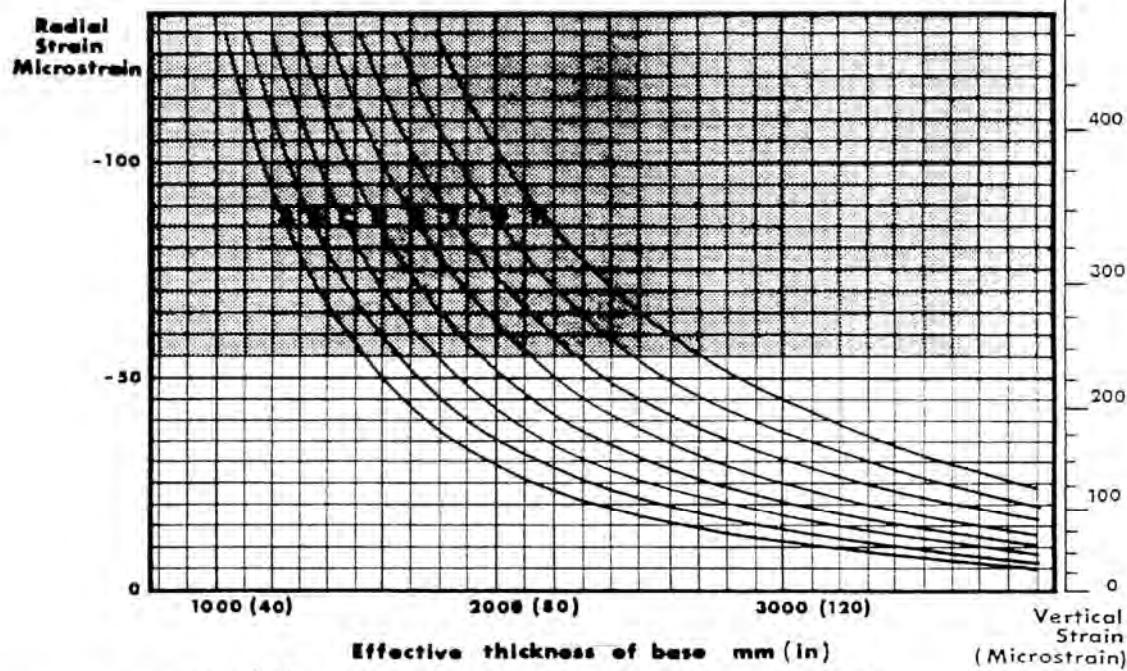
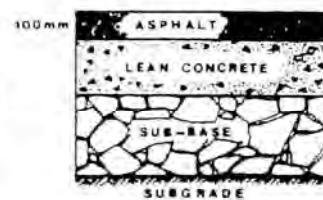
**ASPHALT**

**300 mm (12 in) sub-base**



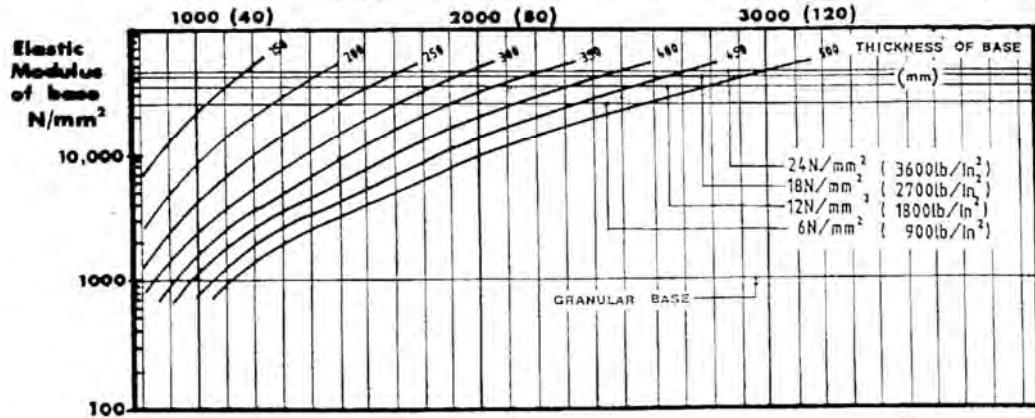
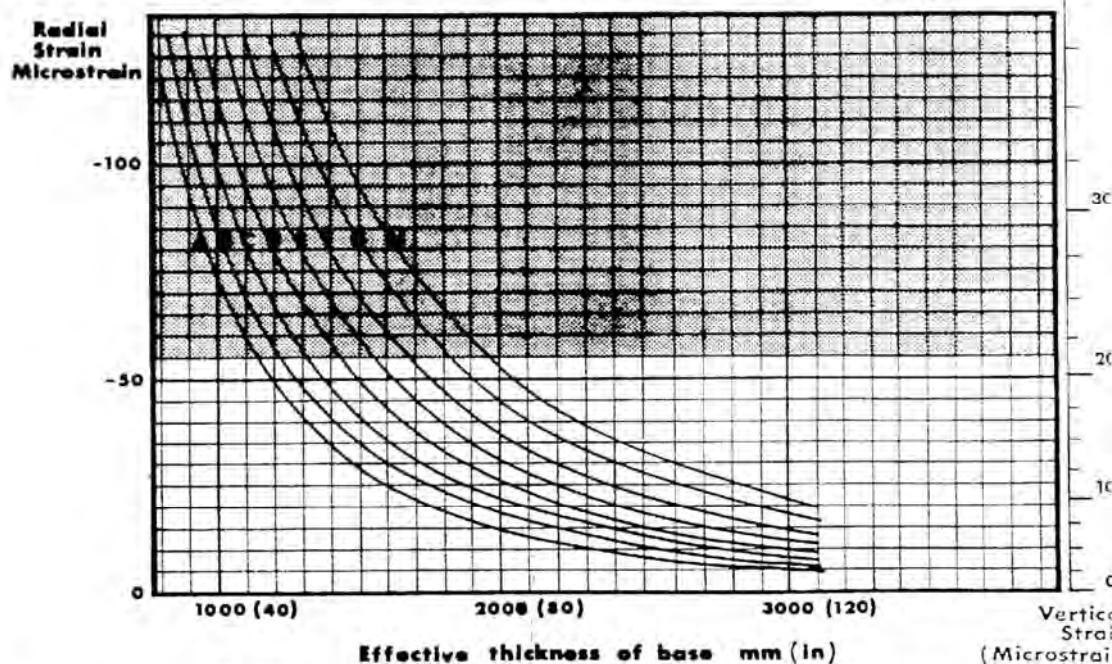
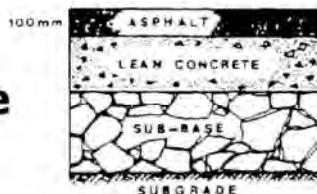
### CHART No. 8

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



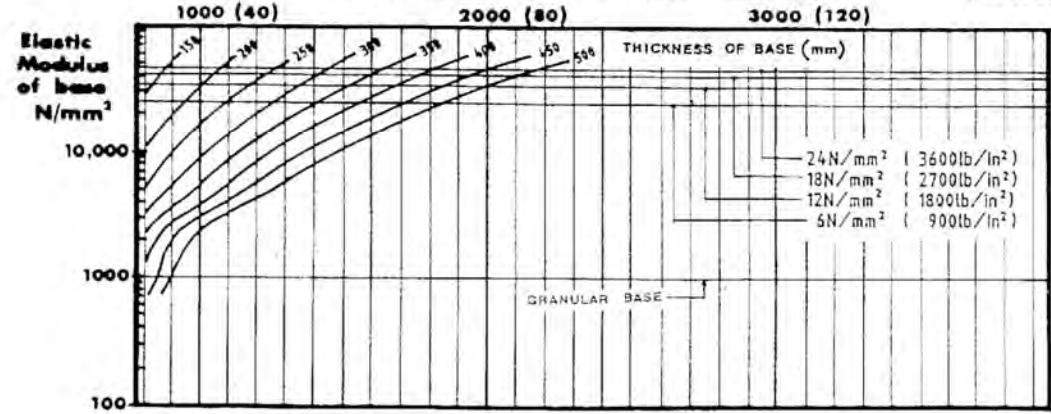
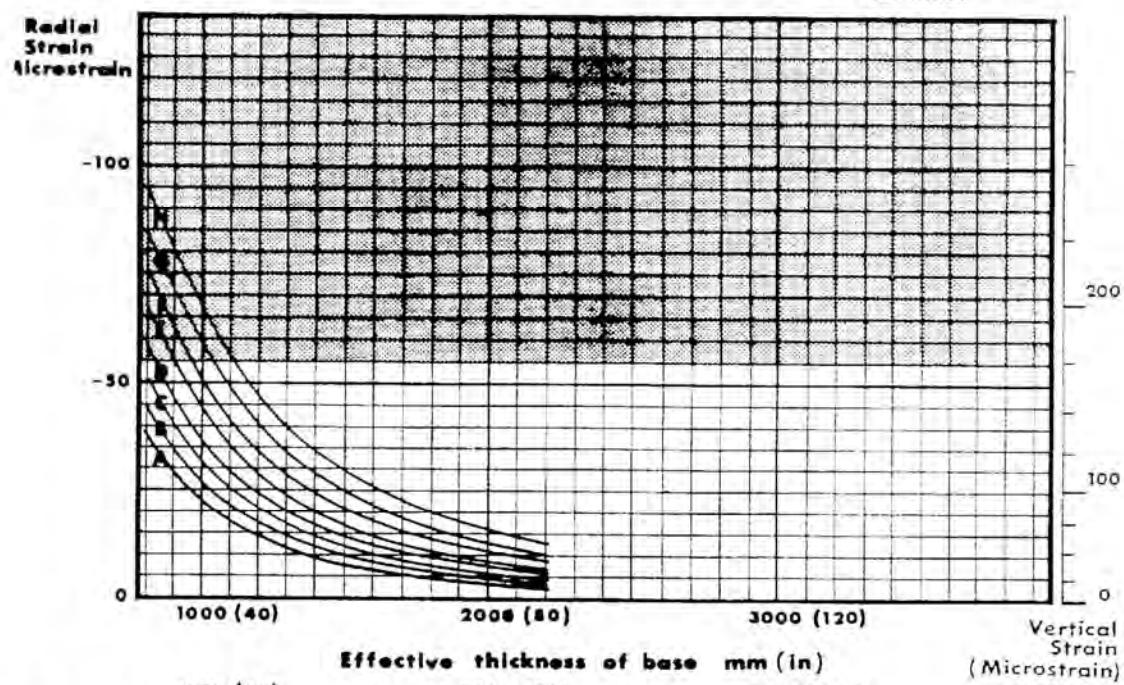
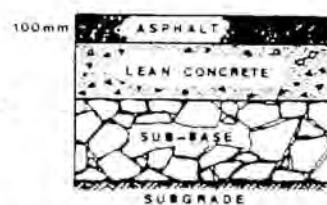
**CHART No. 9**

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



**CHART No. 10**

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

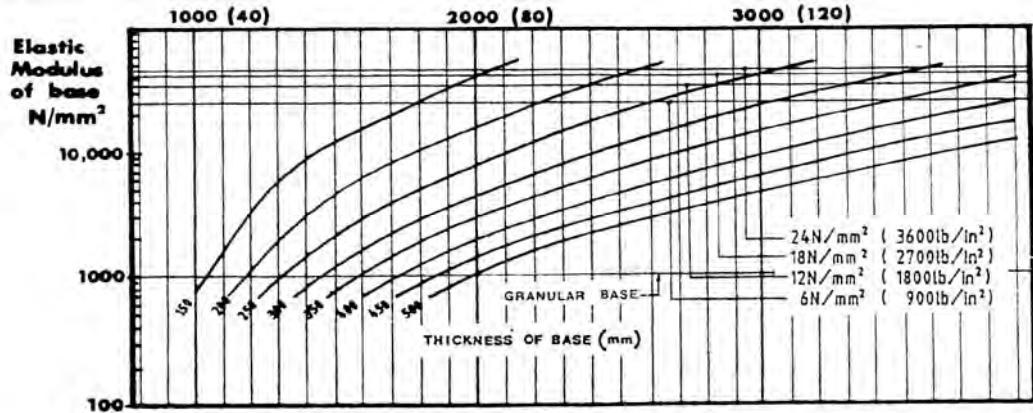
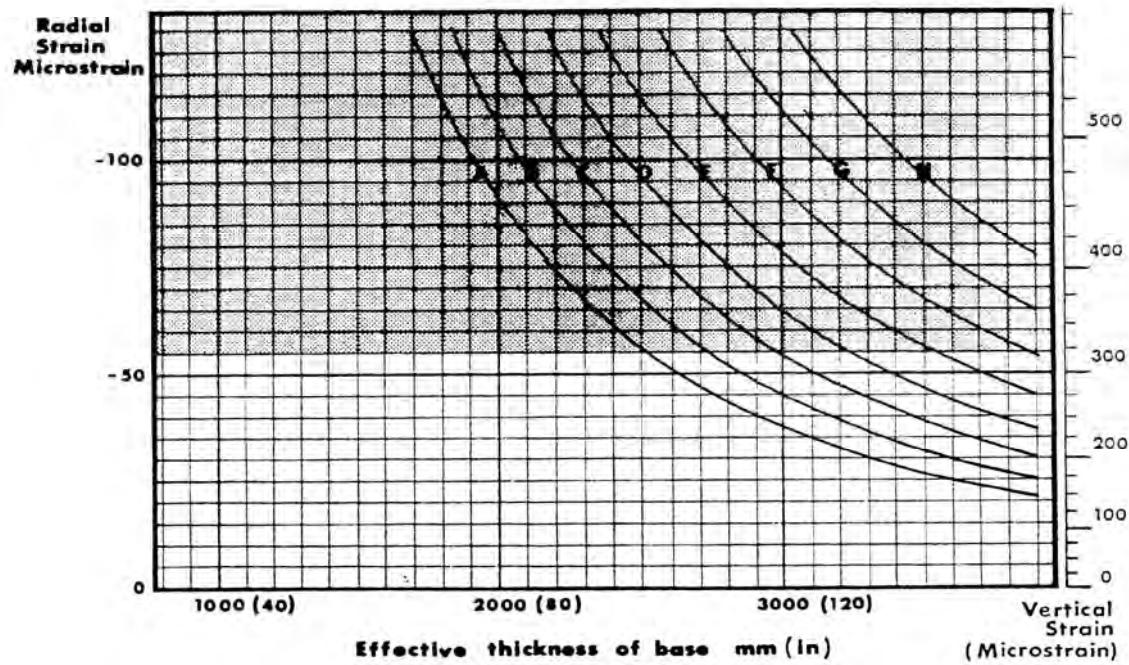
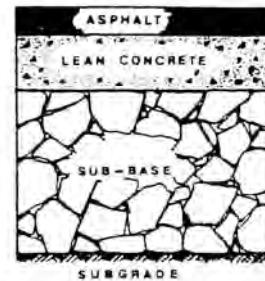


**CHART No. 11**

**1% CBR**

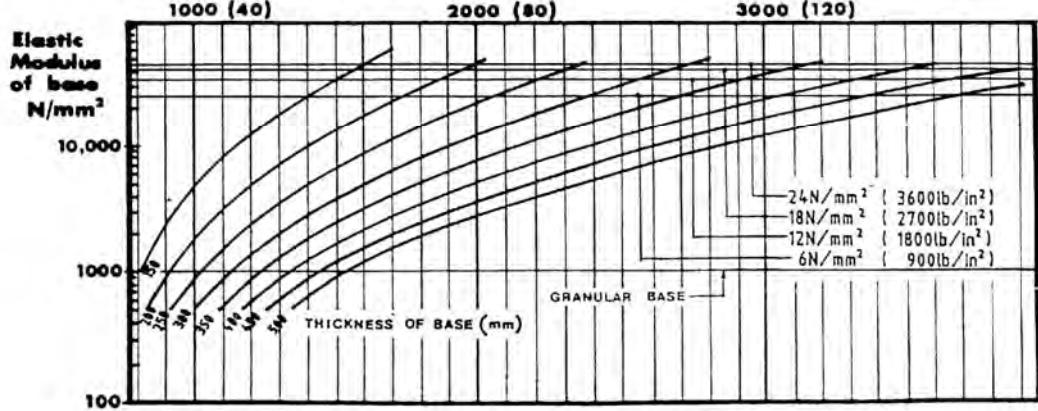
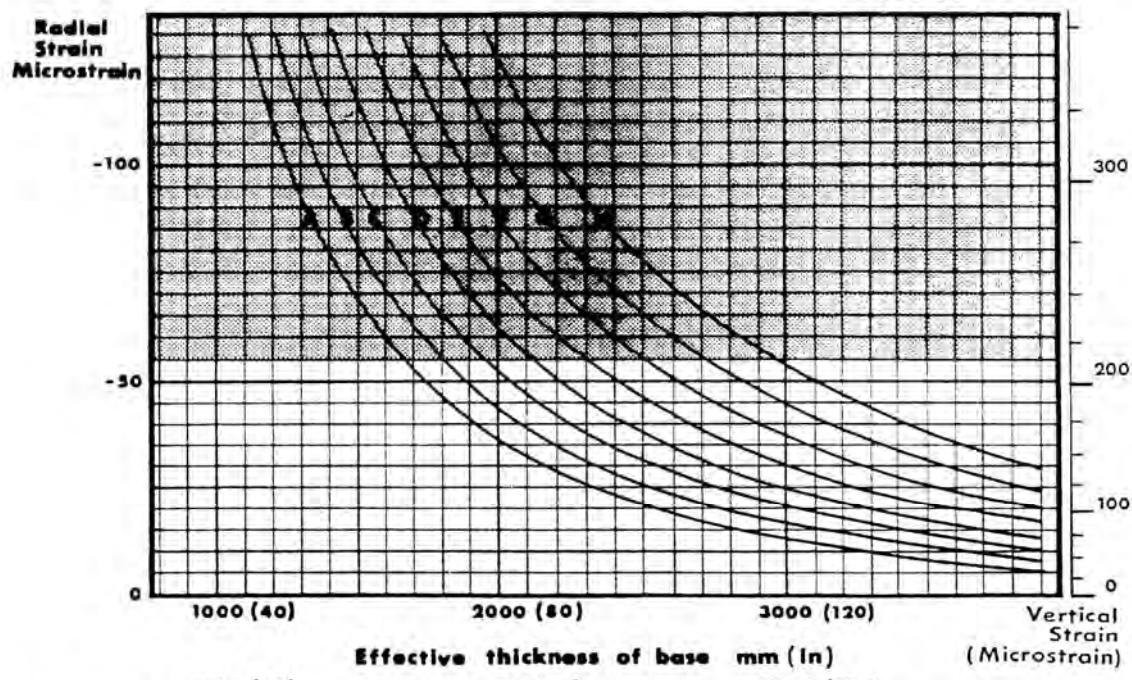
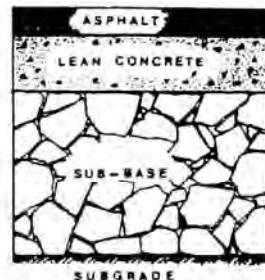
**ASPHALT**

**600 mm (24 in) sub-base**



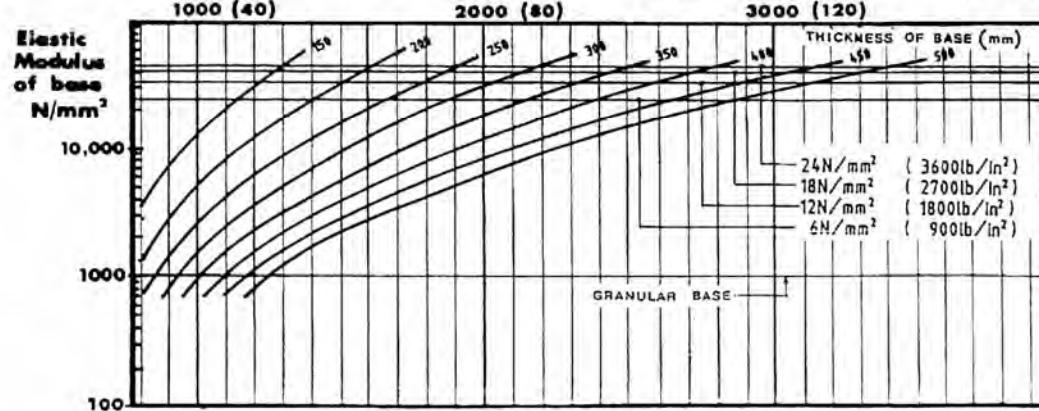
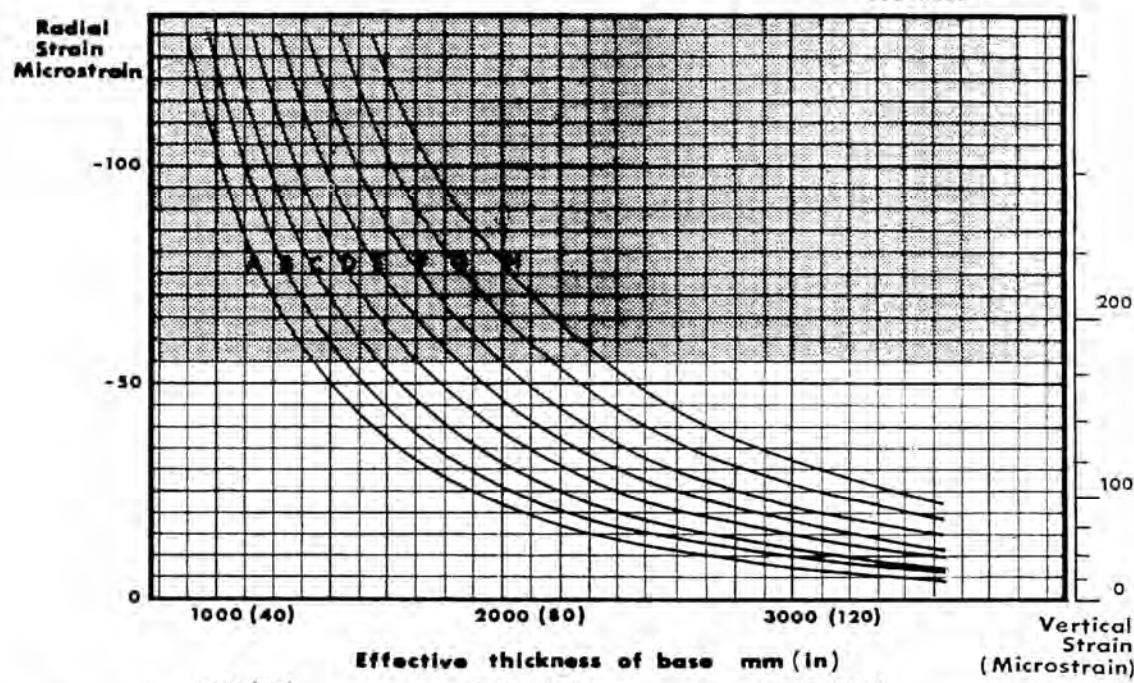
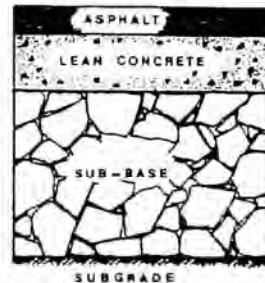
**CHART No. 12**

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



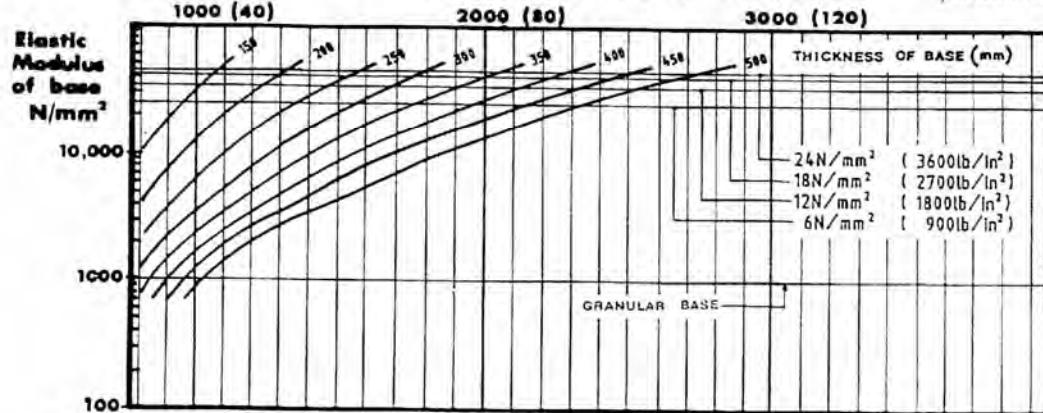
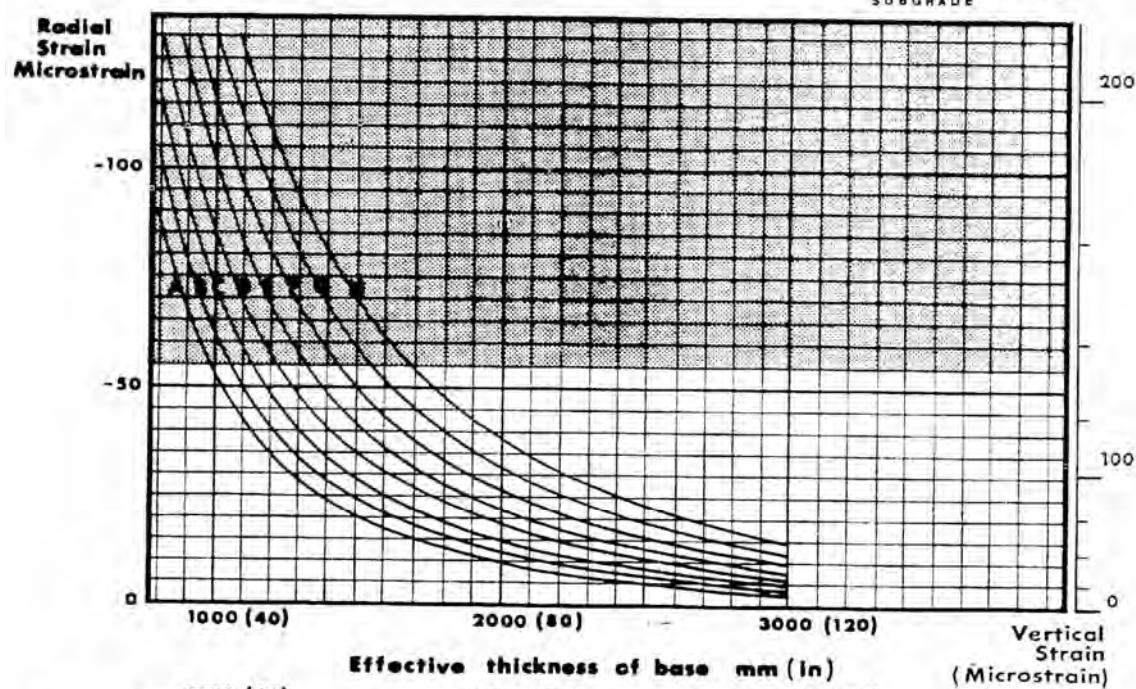
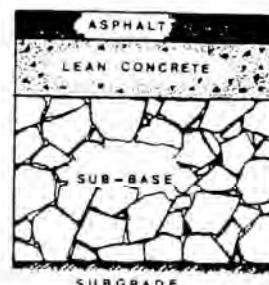
### CHART No. 13

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



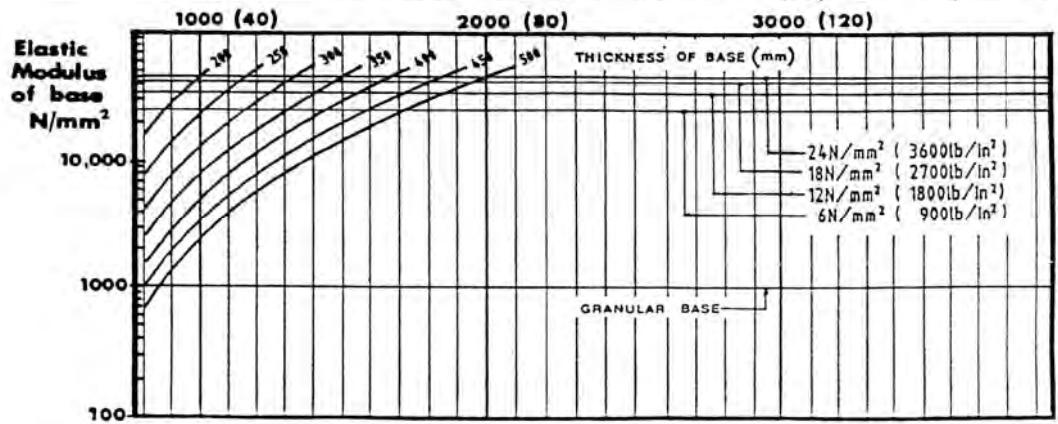
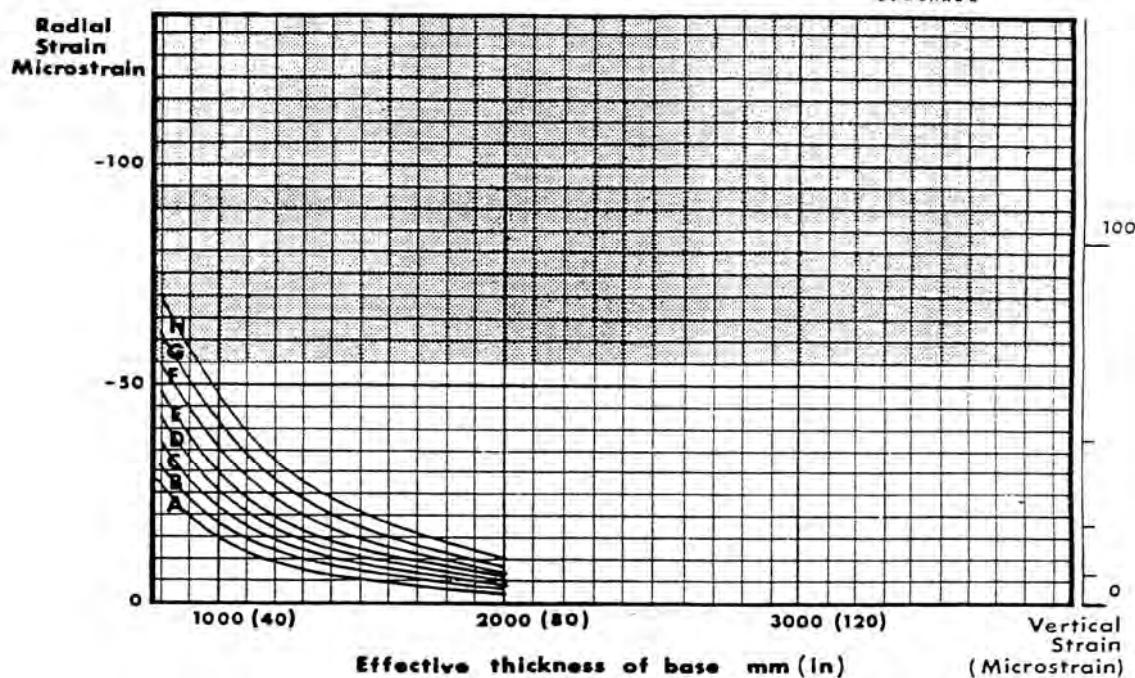
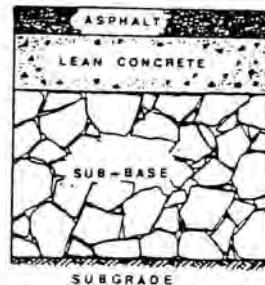
**CHART No. 14**

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



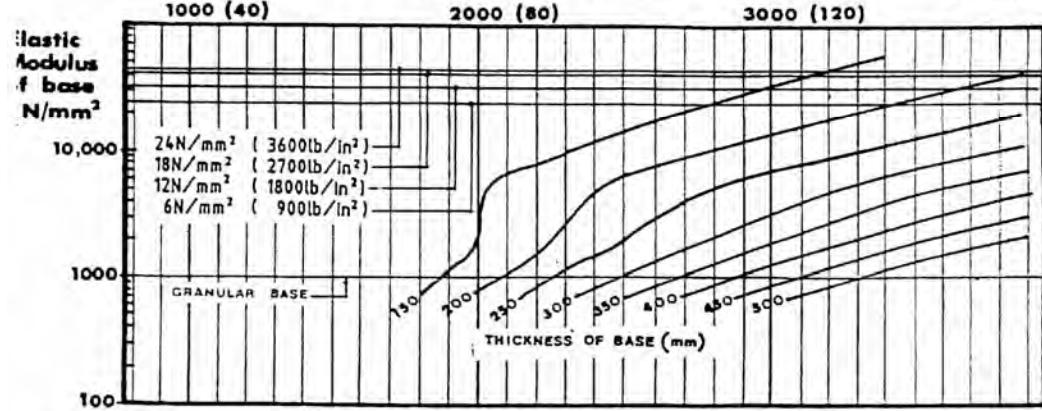
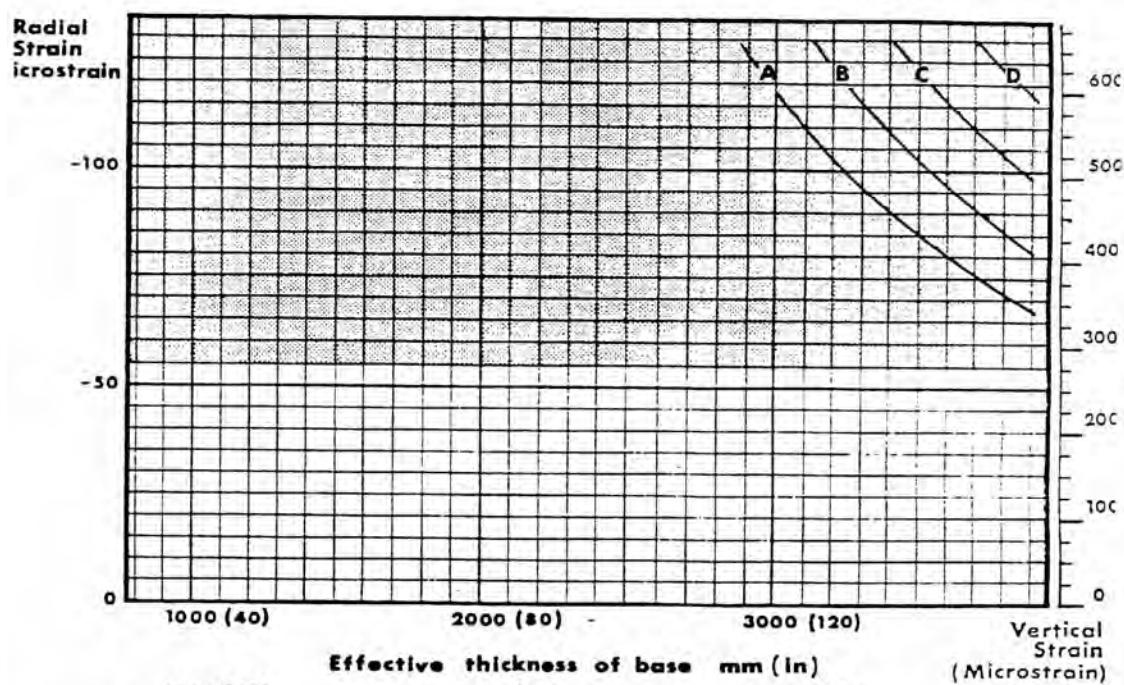
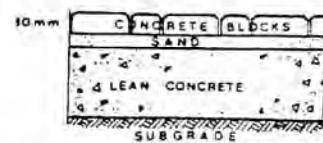
**CHART No. 15**

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



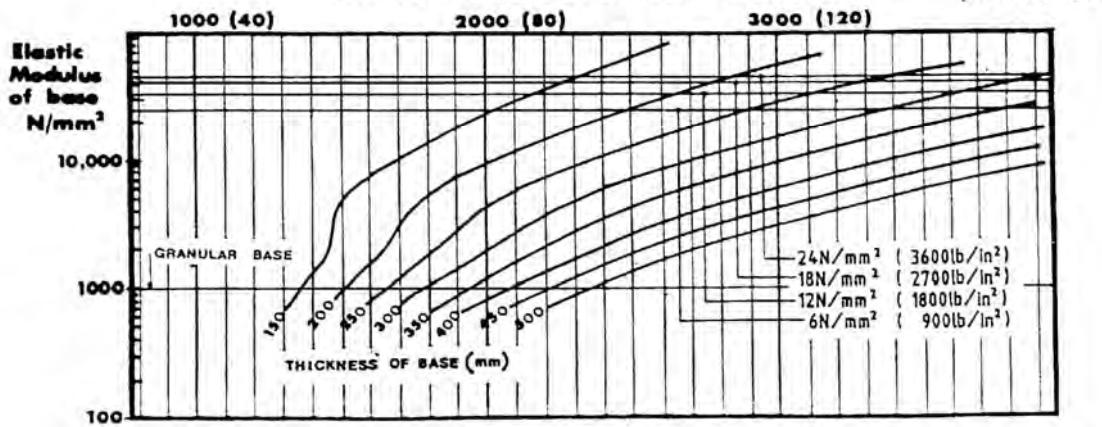
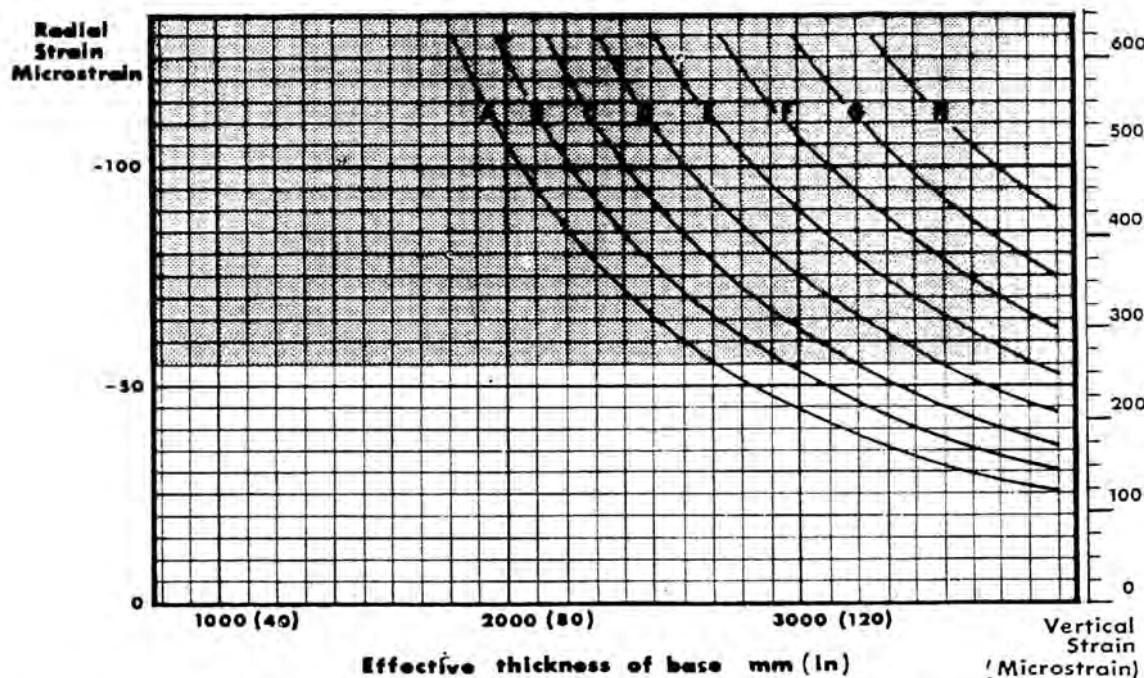
**CHART No. 16**

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



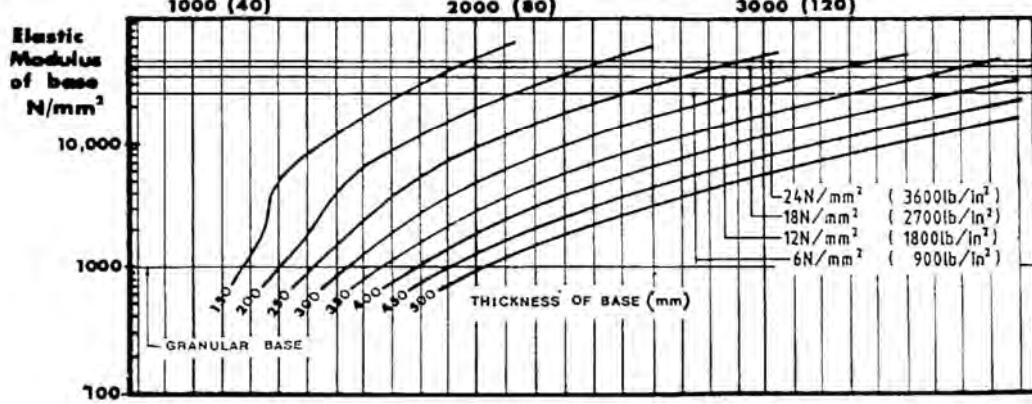
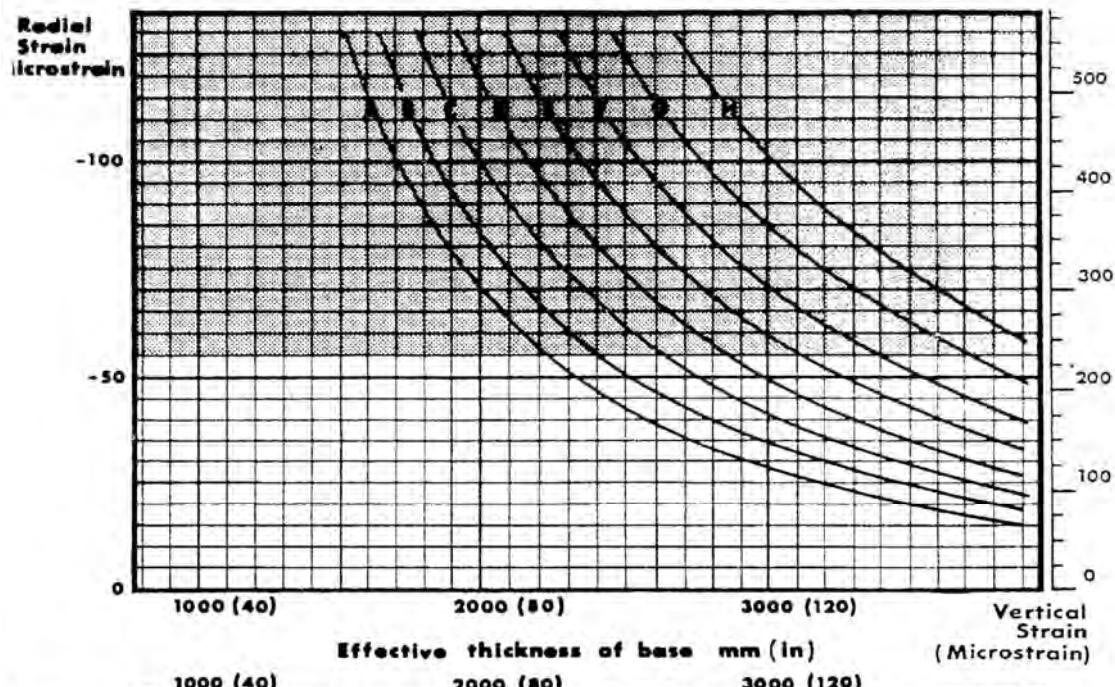
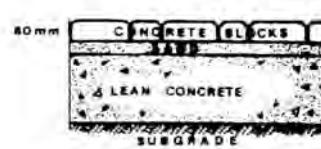
**CHART No. 17**

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



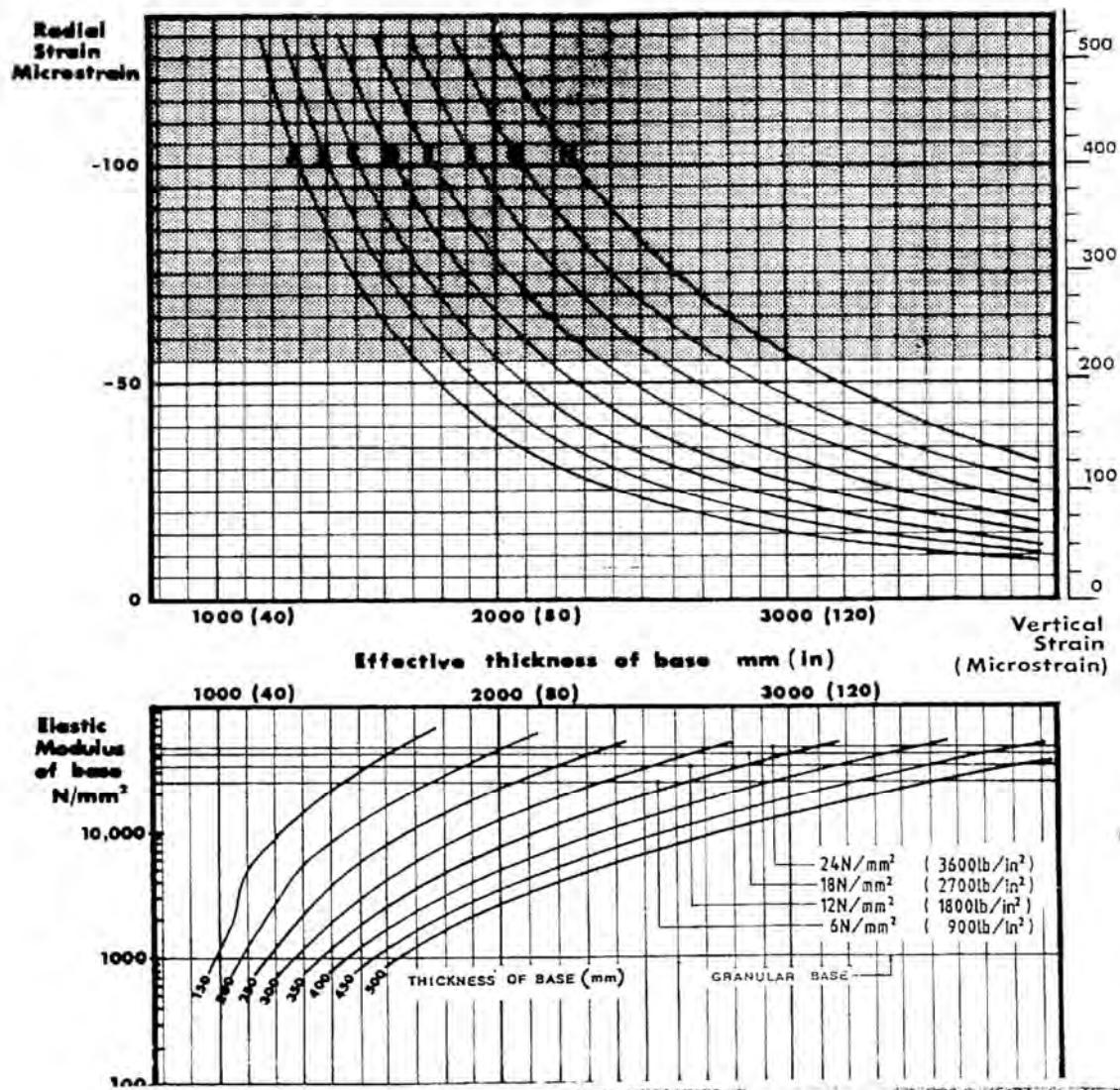
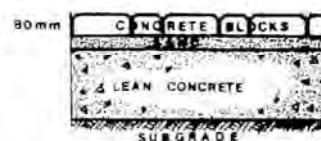
**CHART No. 18**

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



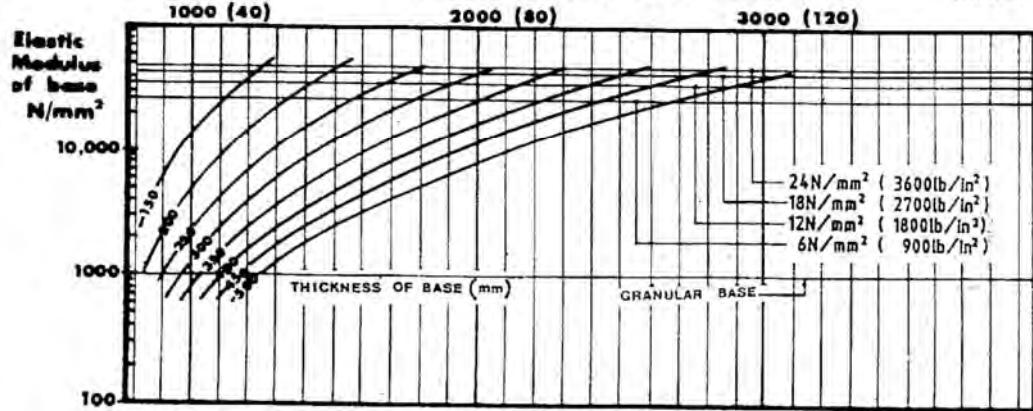
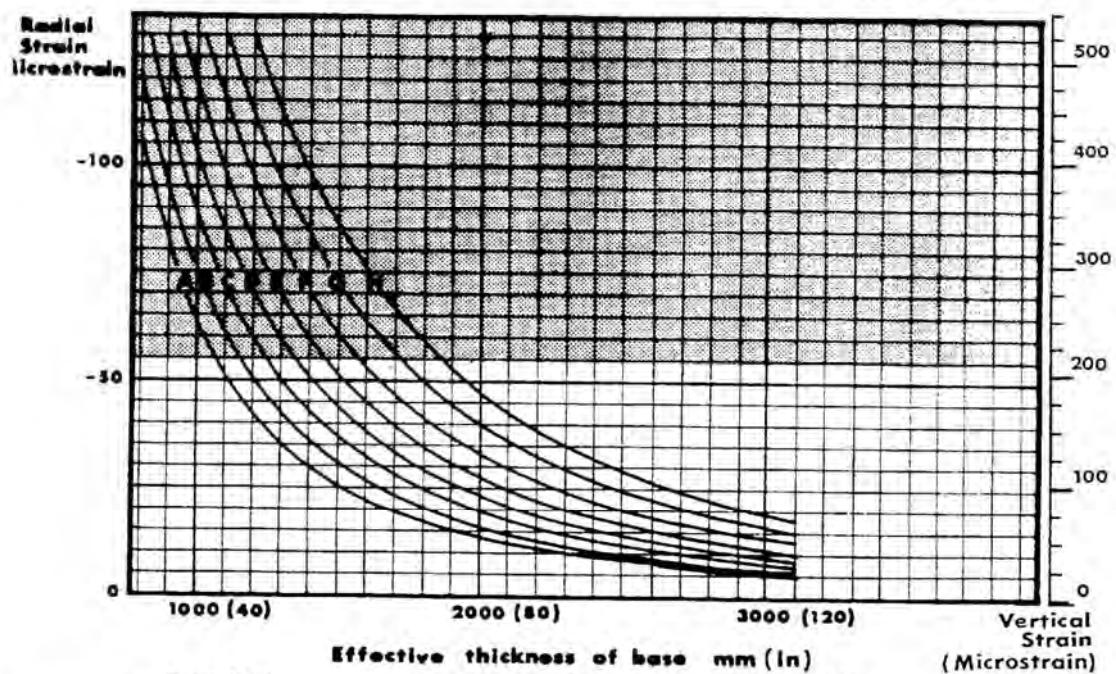
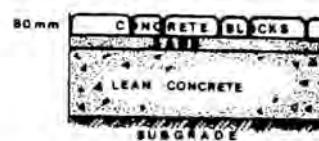
### CHART No. 19

**10% C.B.R.**  
**Concrete blocks**  
**No sub-base**



**CHART No. 20**

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

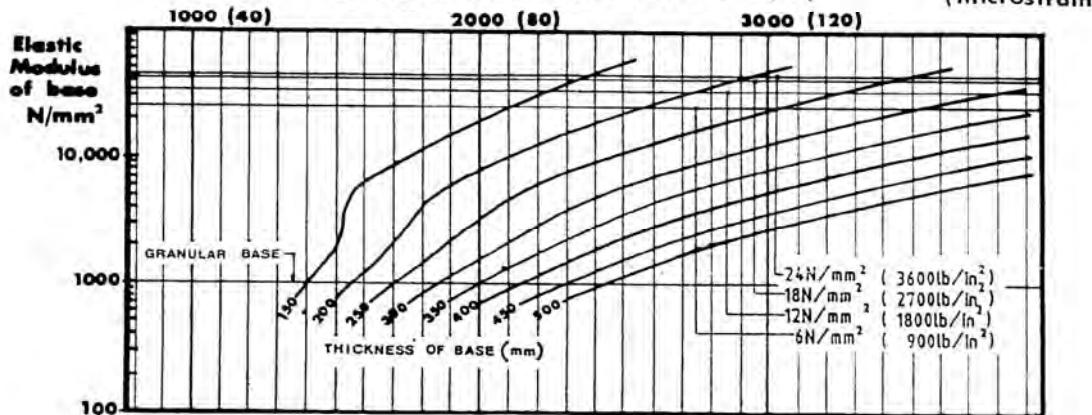
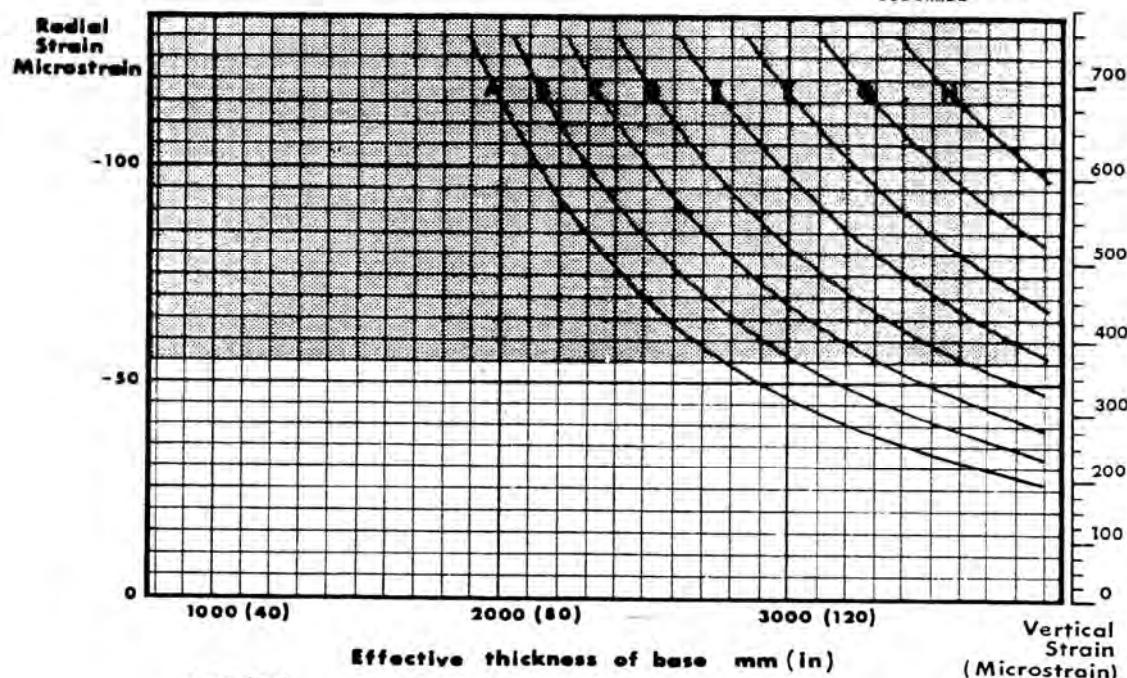
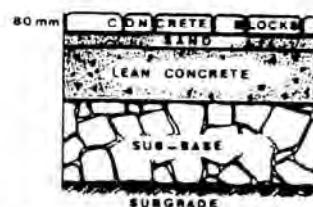


**CHART No. 21**

**1% C.B.R.**

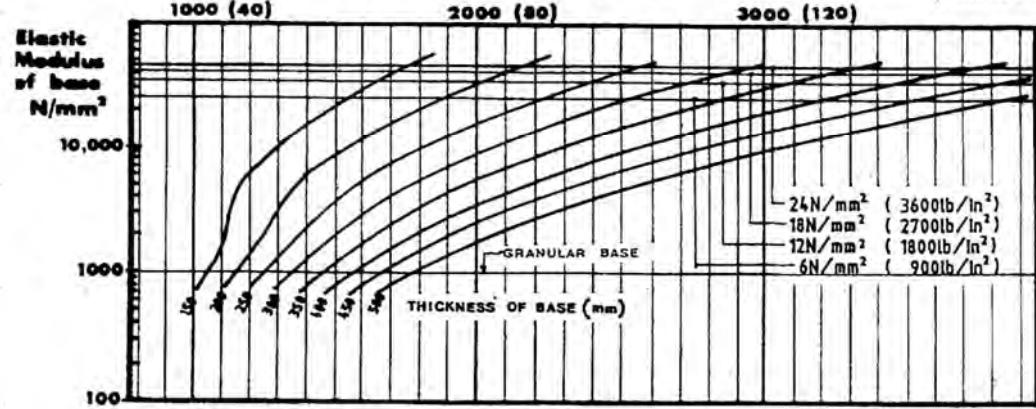
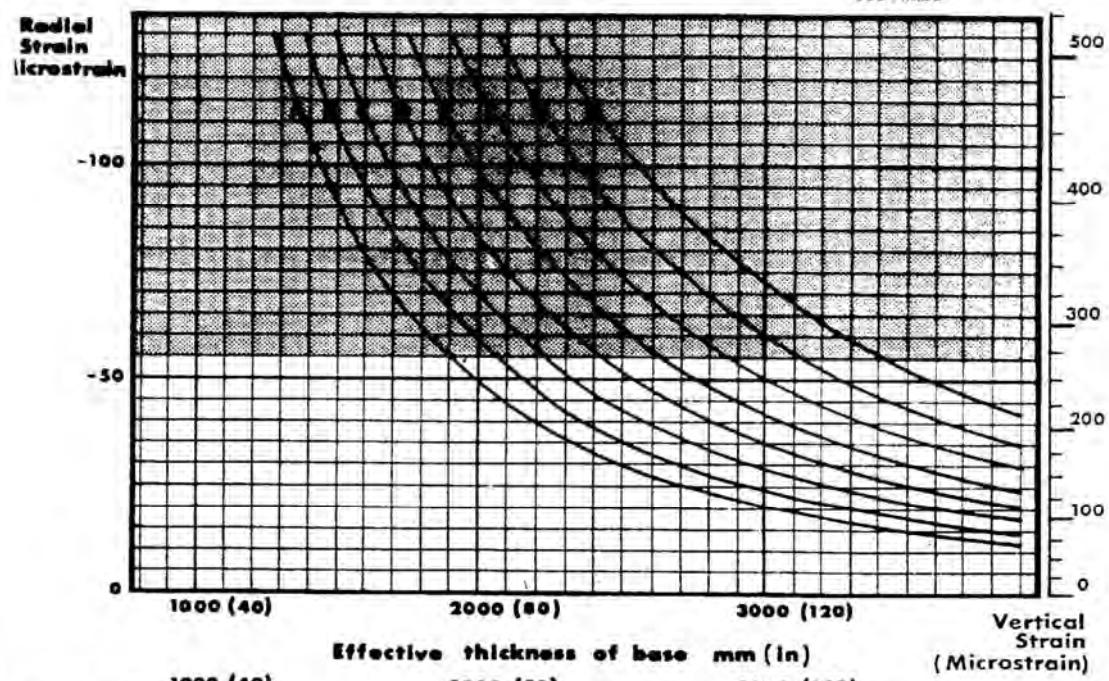
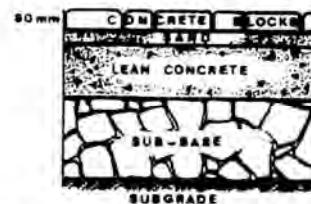
**Concrete blocks**

**300mm (12 in) sub-base**



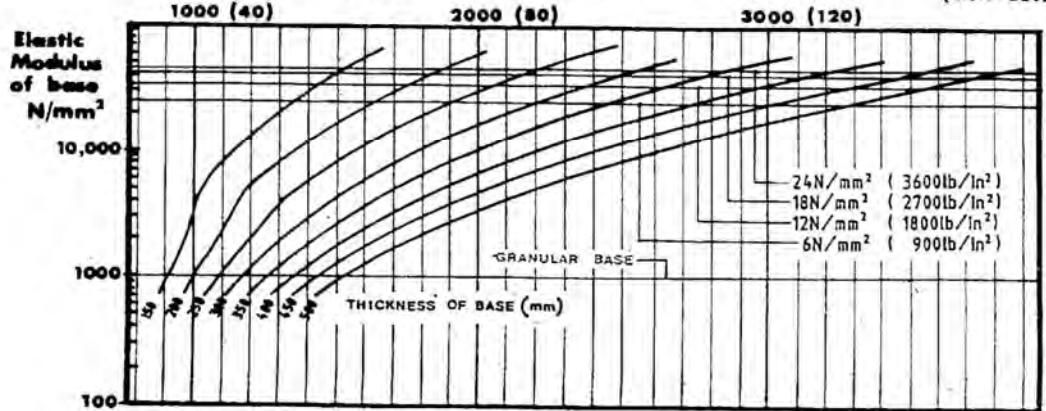
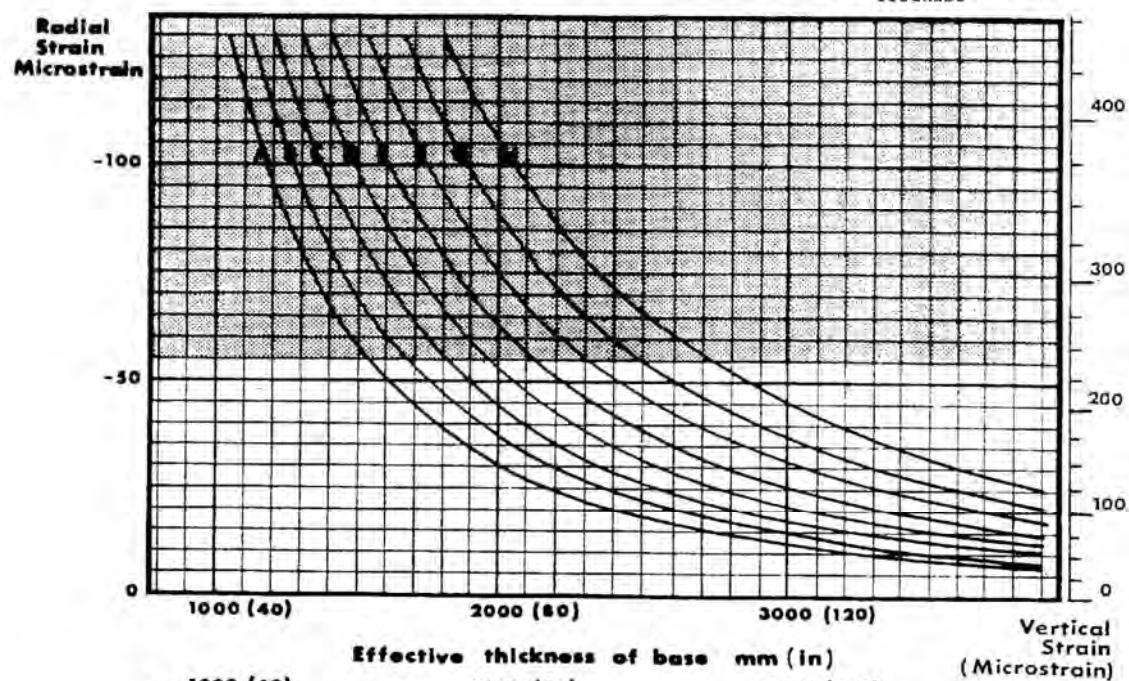
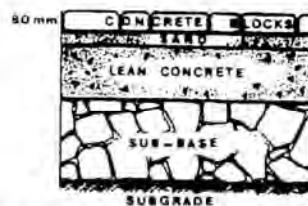
**CHART No. 22**

**3% C B R**  
**Concrete blocks**  
**300mm (12 in) sub-base**



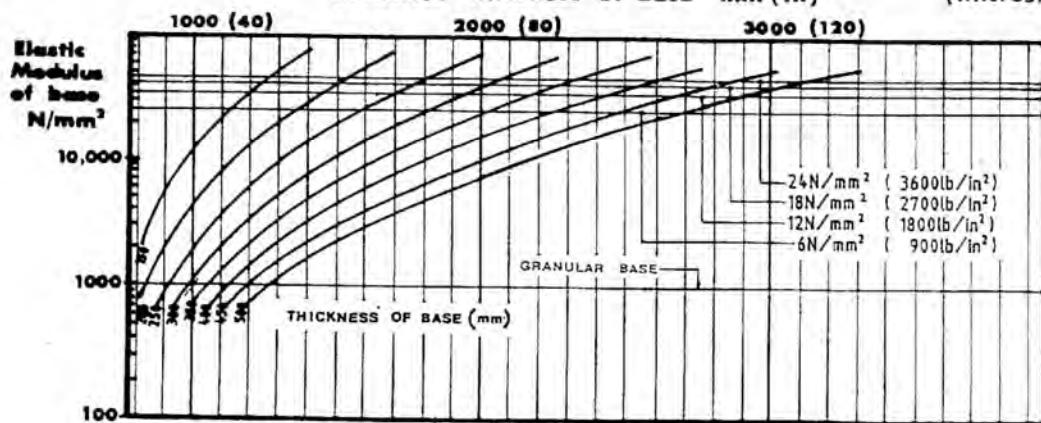
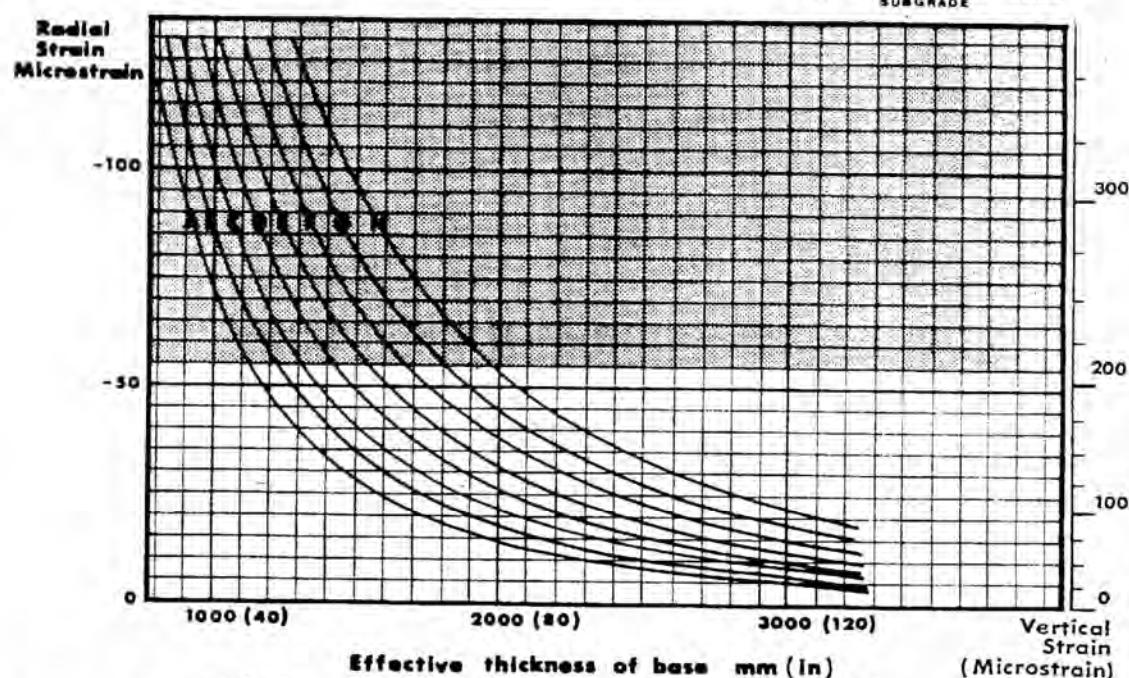
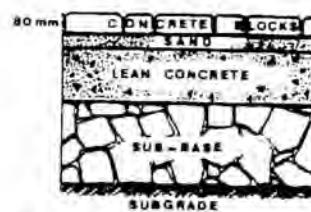
**CHART No. 23**

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



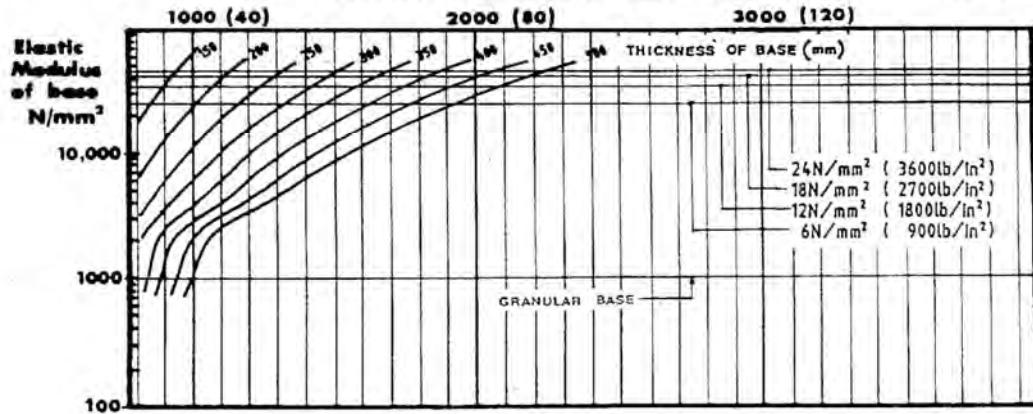
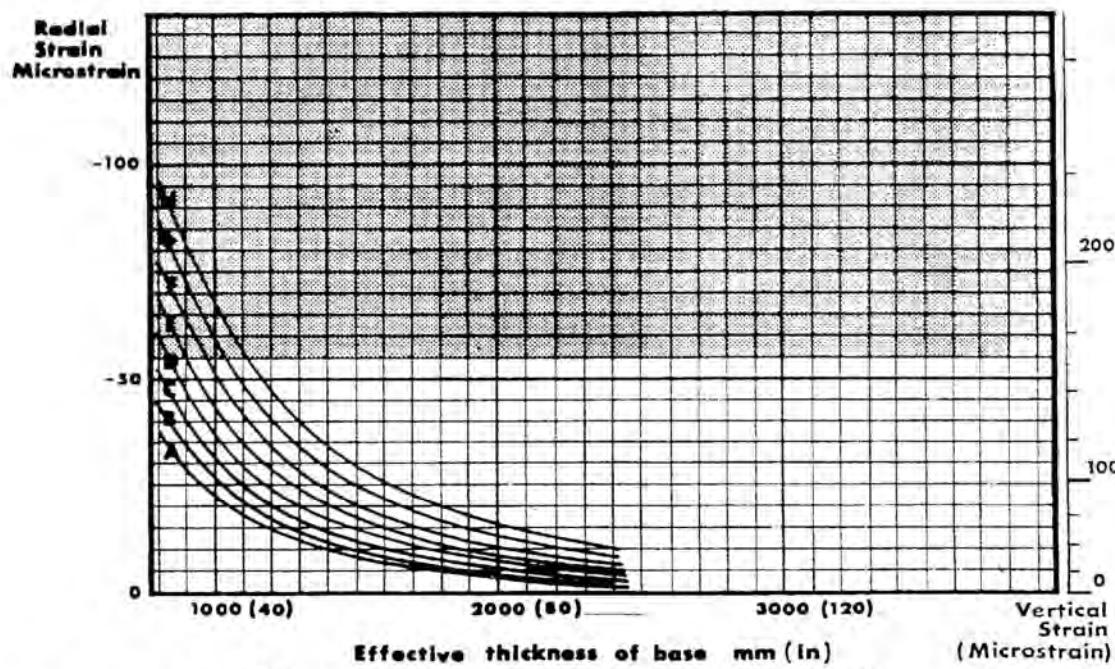
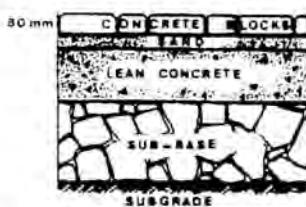
**CHART No. 24**

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



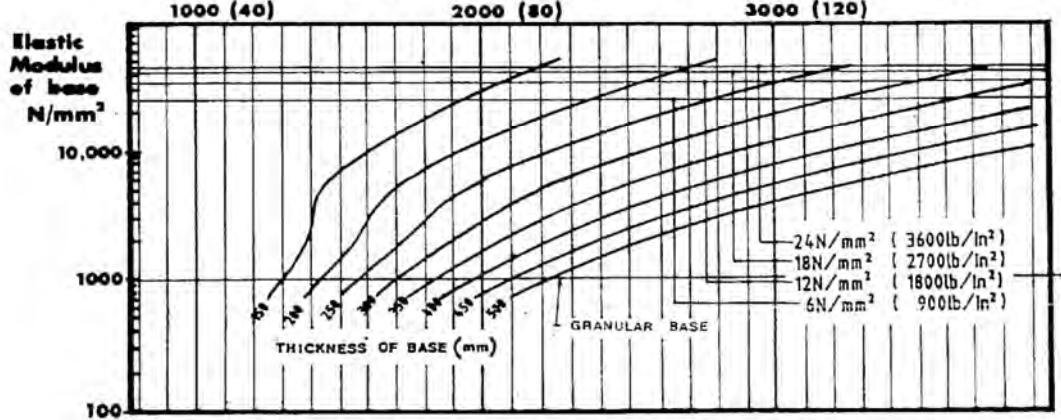
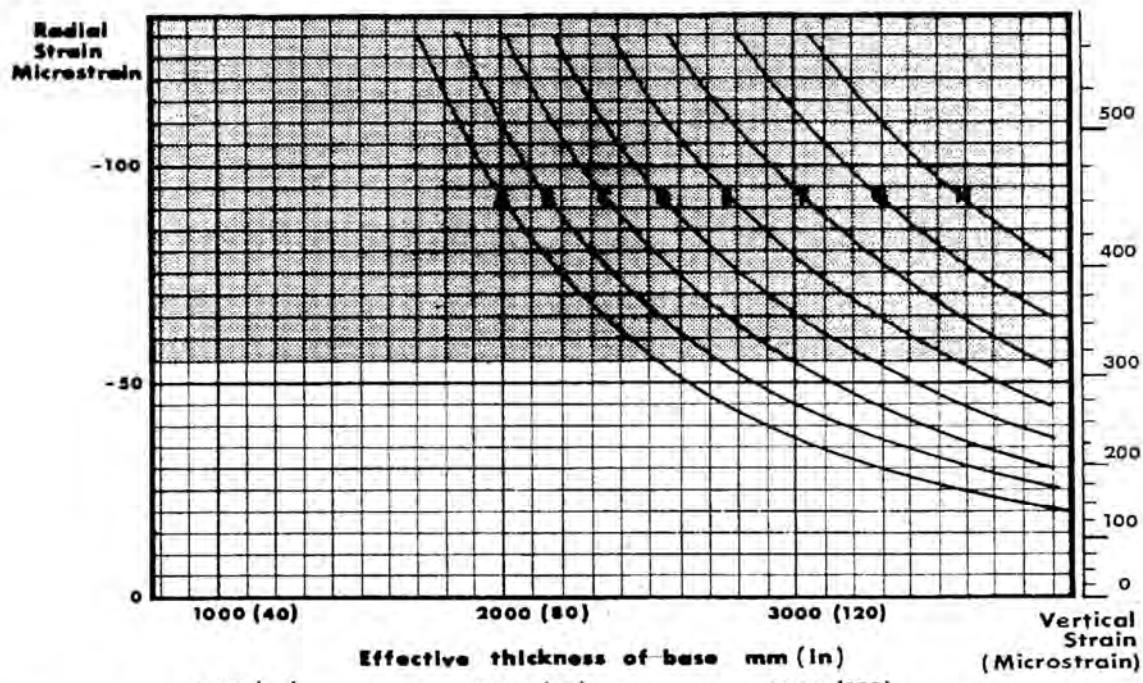
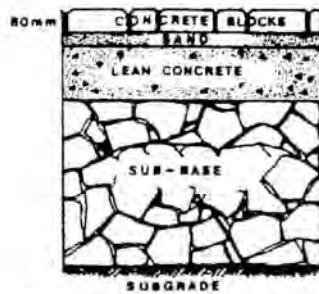
### CHART No. 25

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



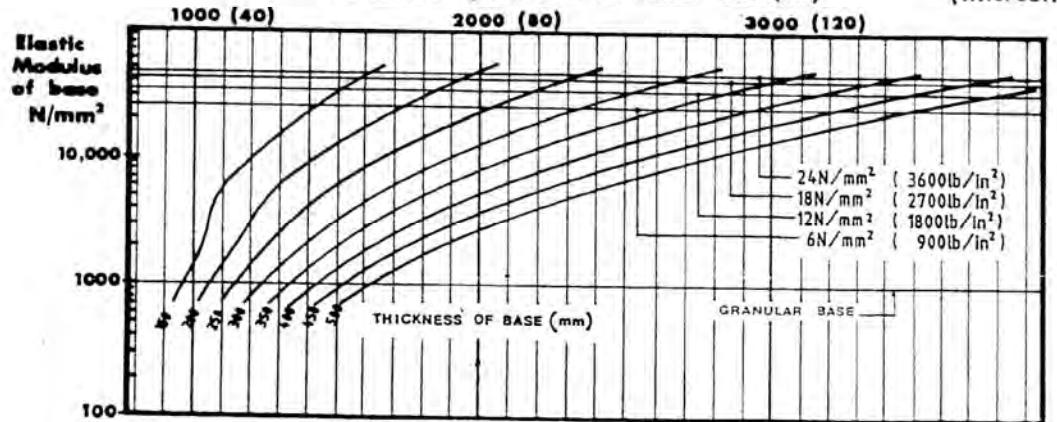
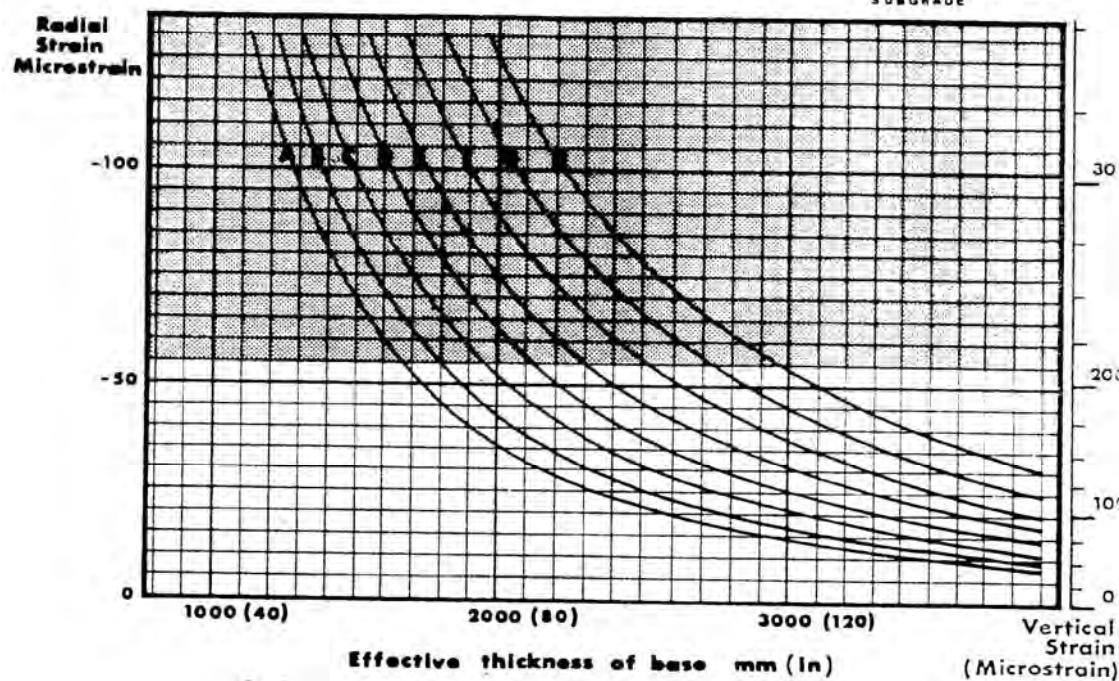
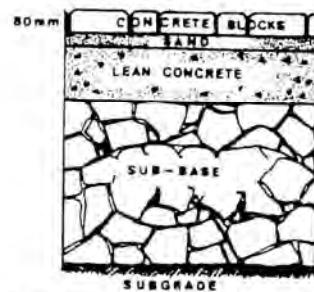
**CHART No. 26**

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



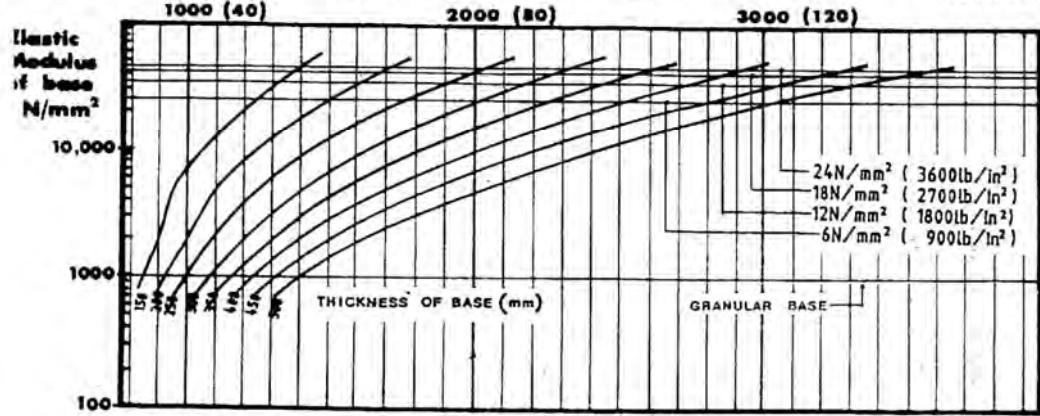
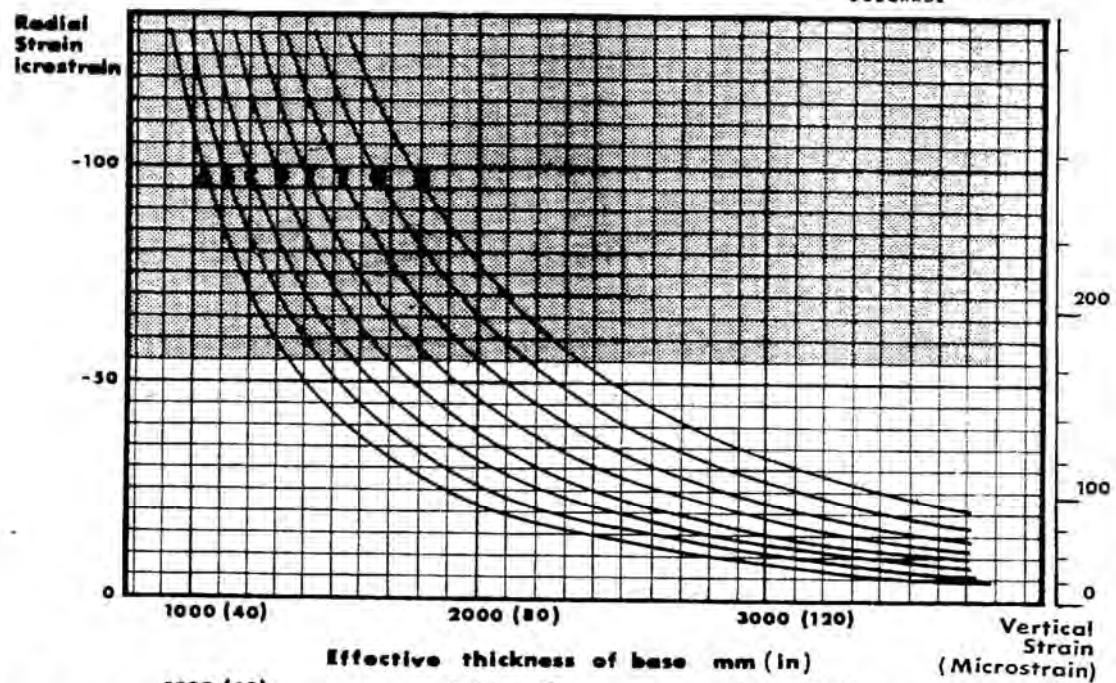
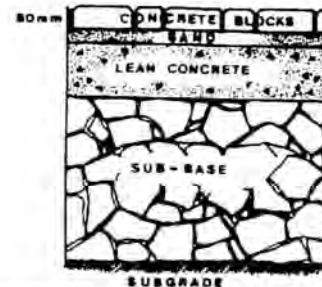
**CHART No. 27**

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



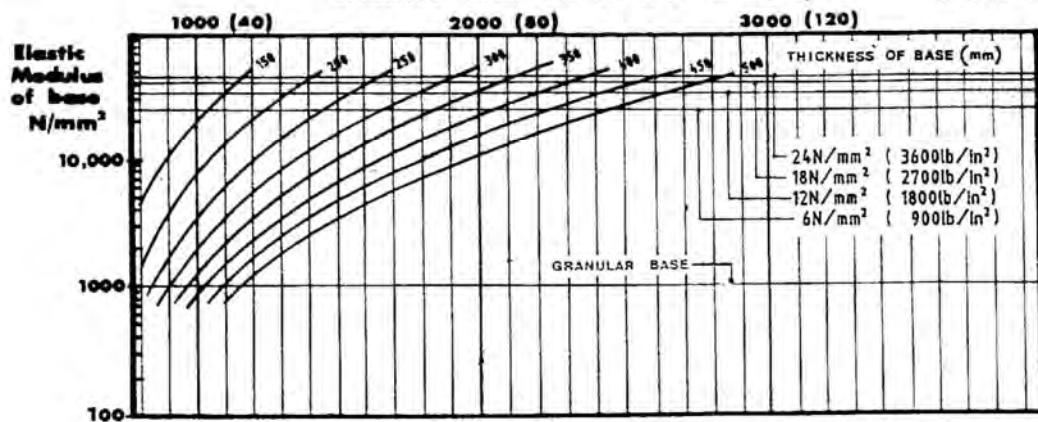
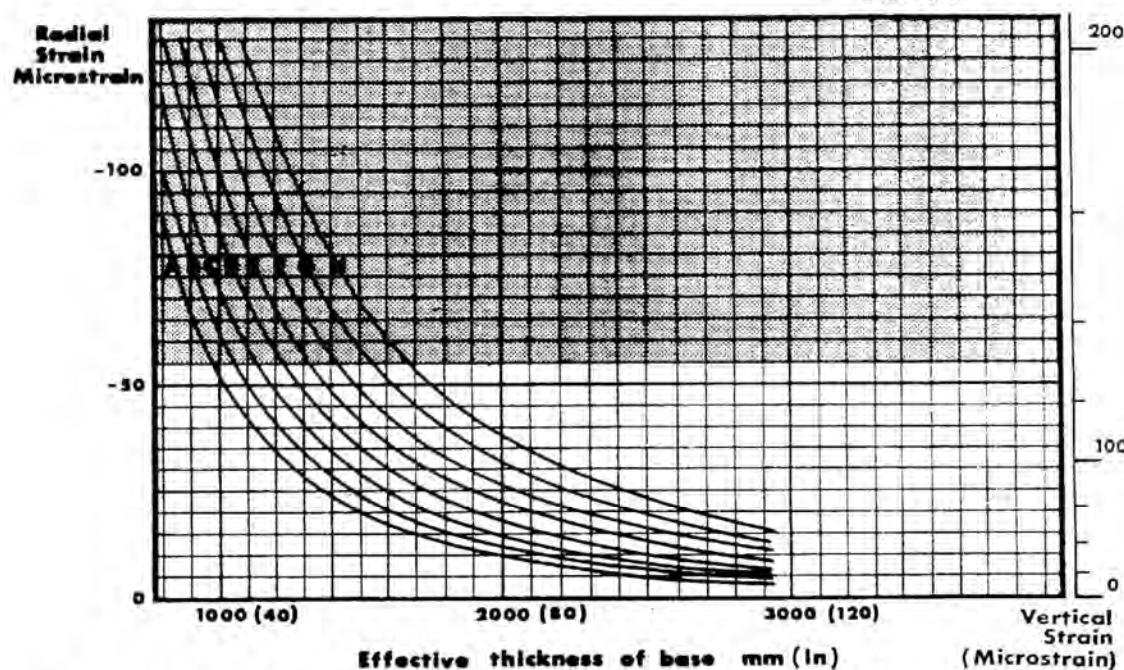
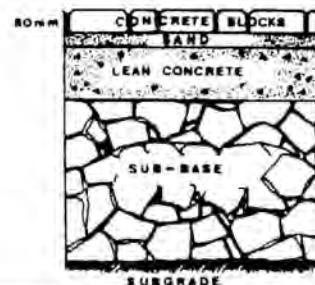
### CHART No. 28

**5% C B R**  
**Concrete blocks**  
**600mm (24 in) sub-base**



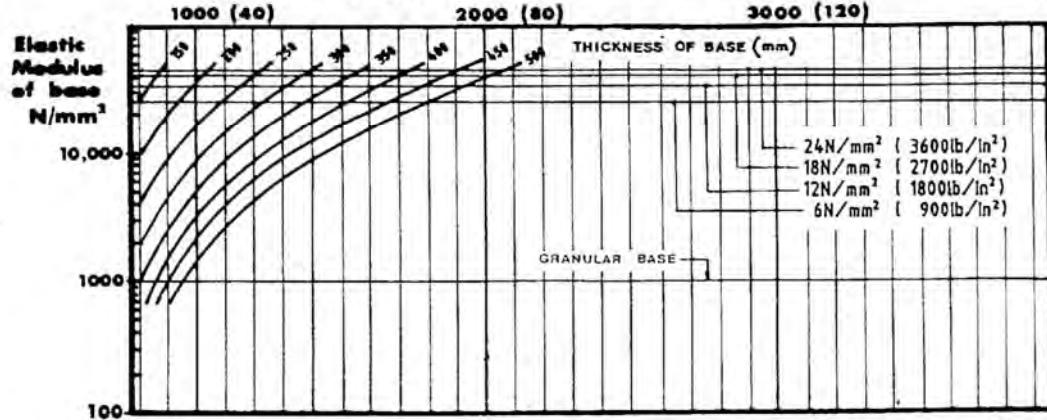
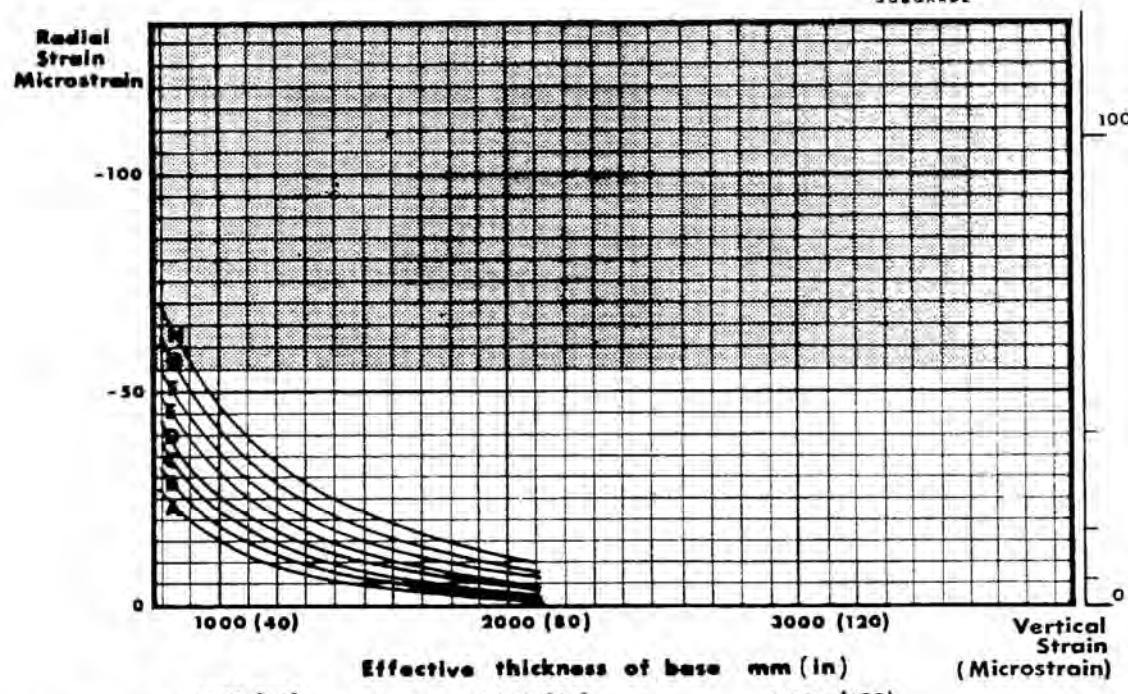
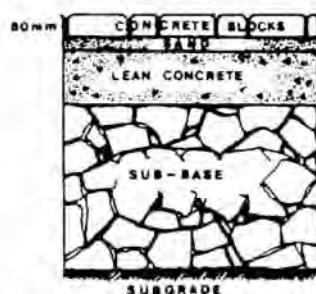
**CHART No. 29**

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



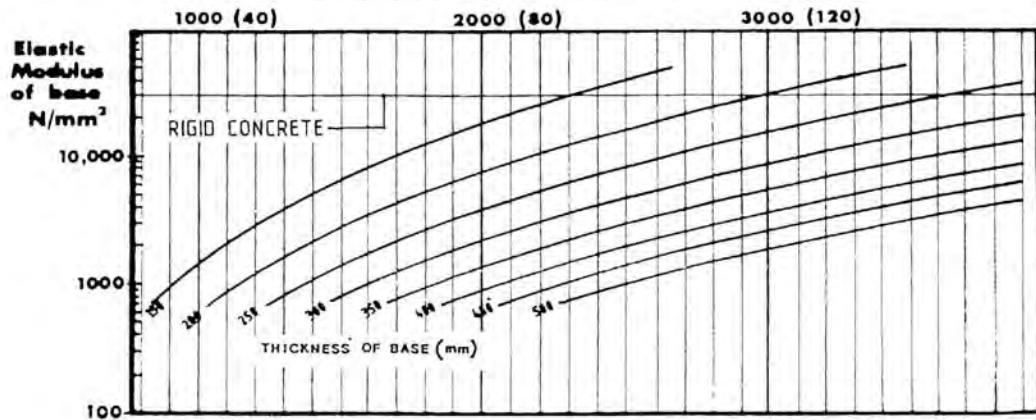
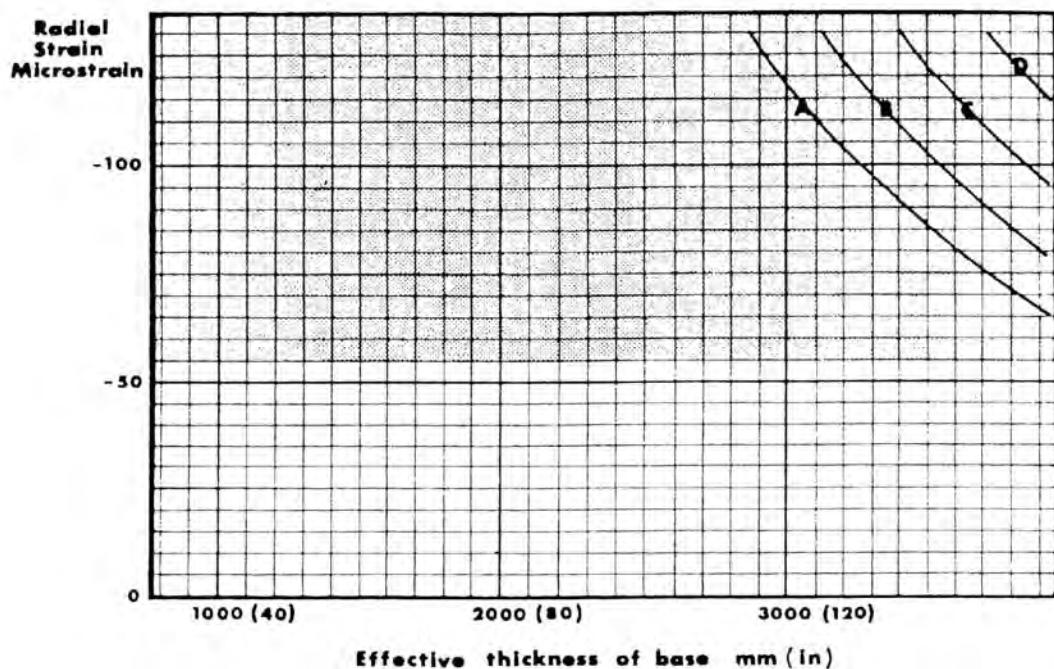
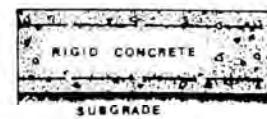
**CHART No. 30**

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



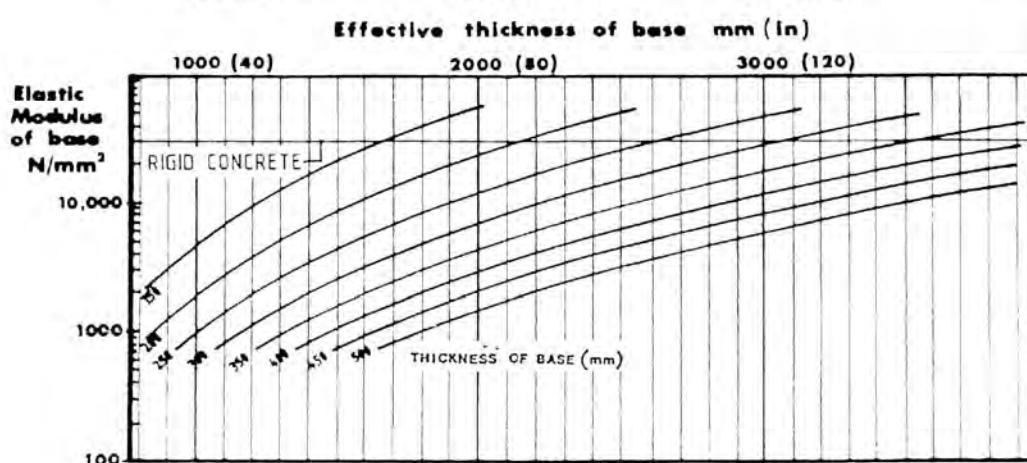
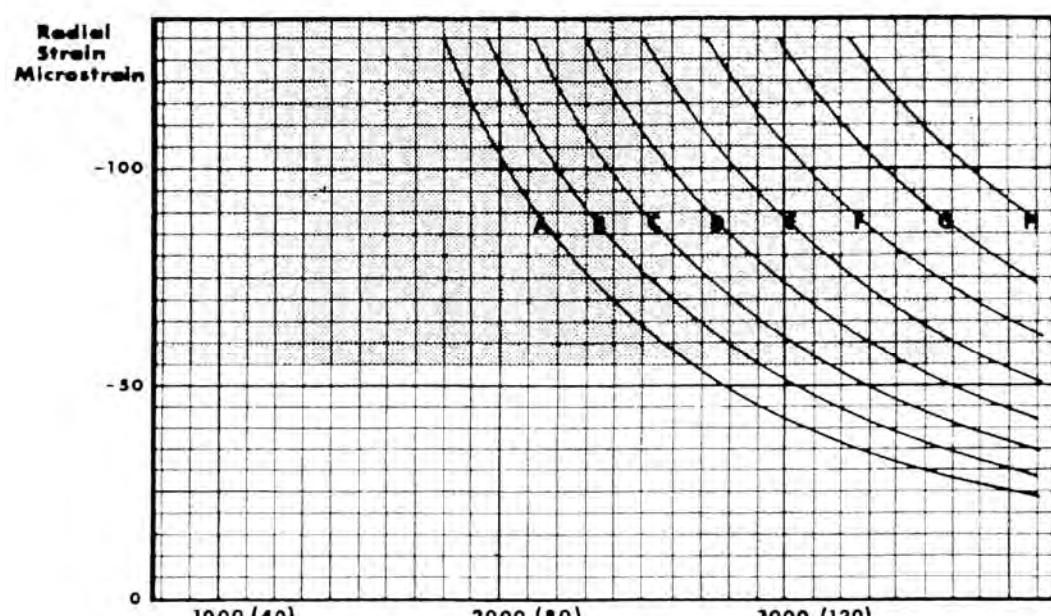
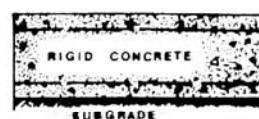
### CHART No. 31

**1% C B R**  
**Rigid concrete**  
**No sub-base**



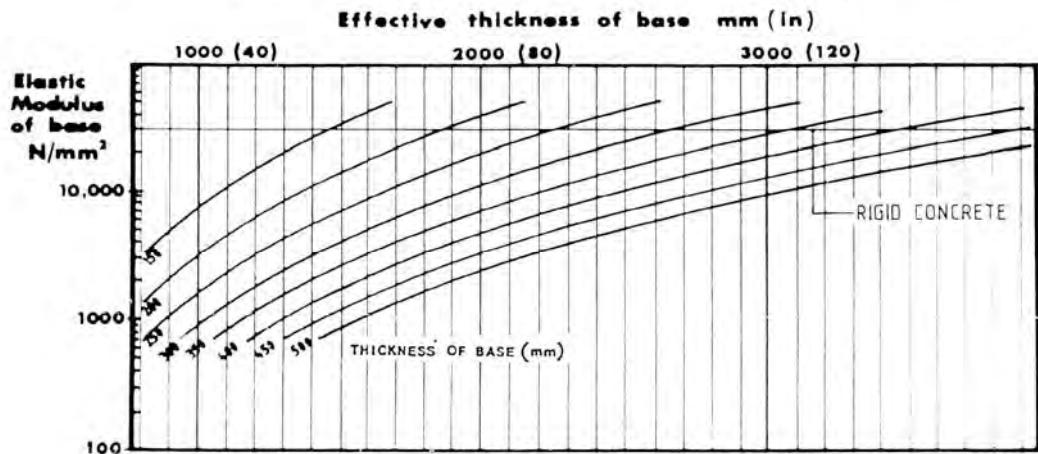
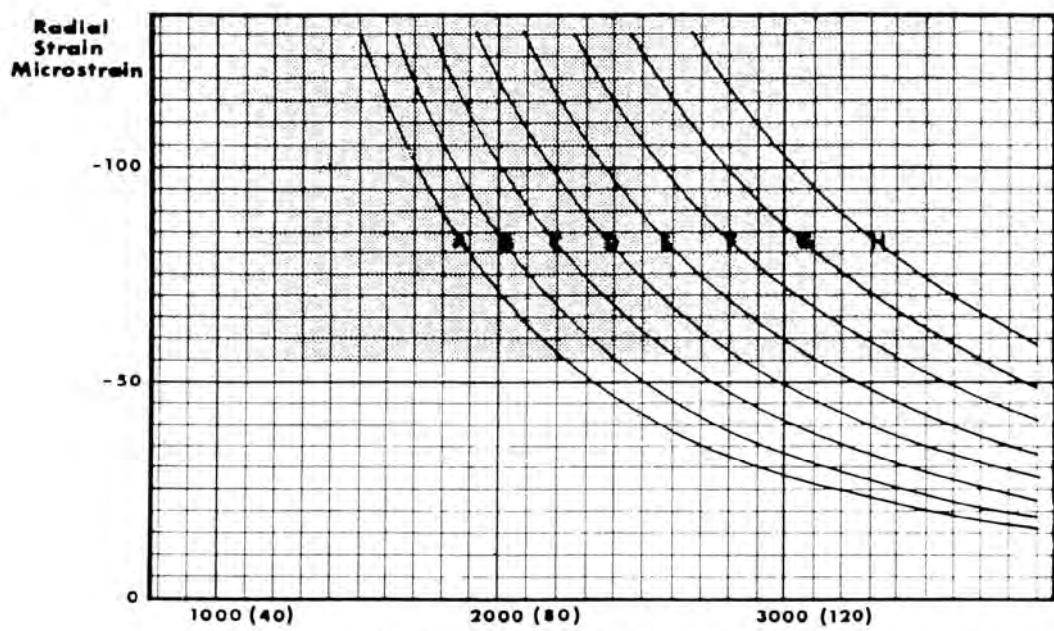
**CHART No. 32**

**3% C B R**  
**Rigid concrete**  
**No sub-base**



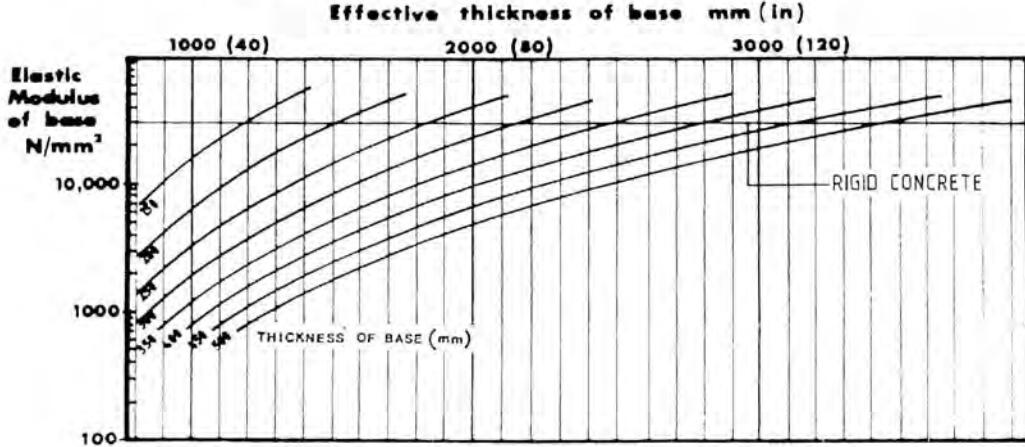
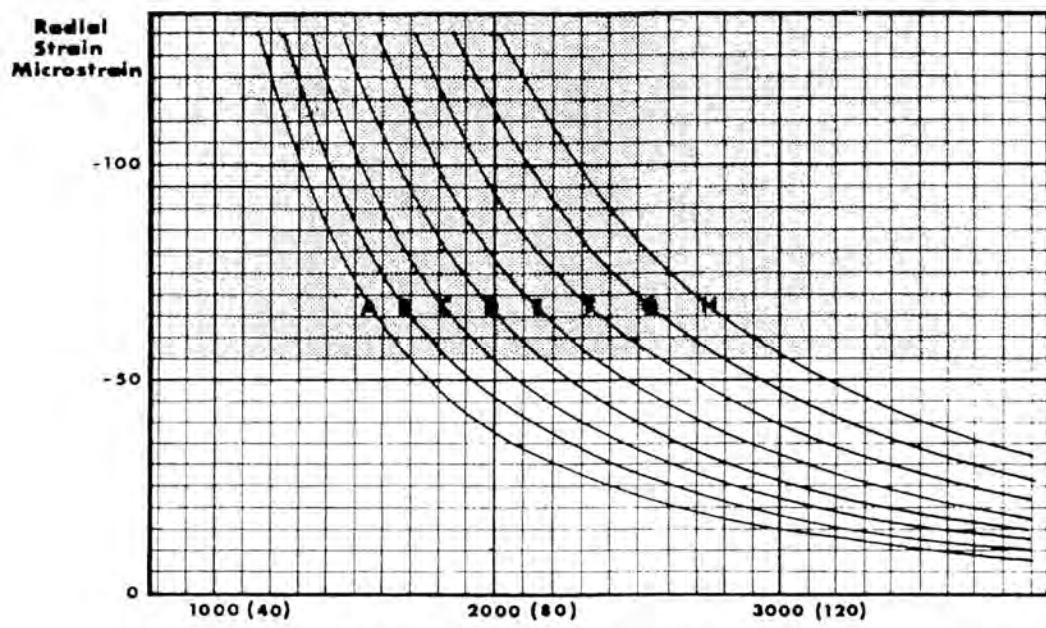
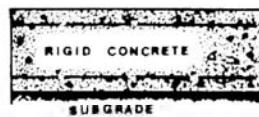
**CHART No. 33**

**5% C B R**  
**Rigid concrete**  
**No sub-base**



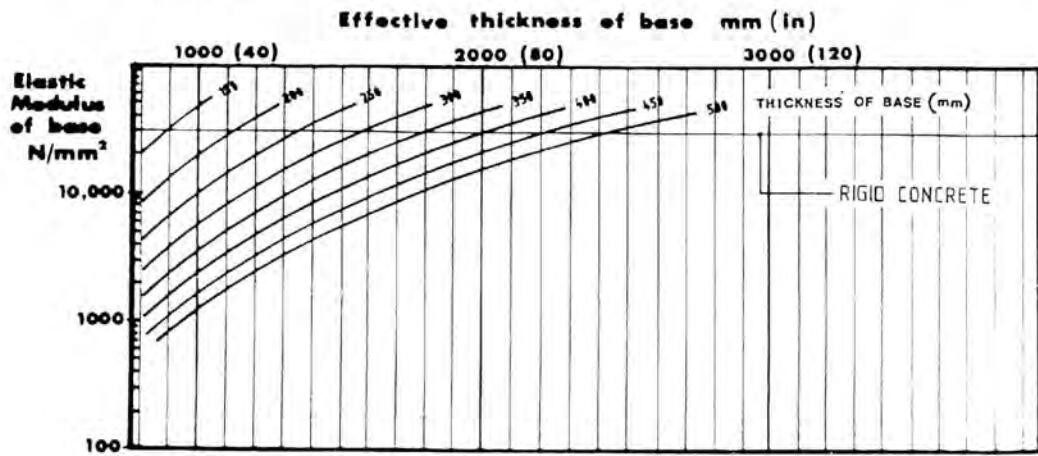
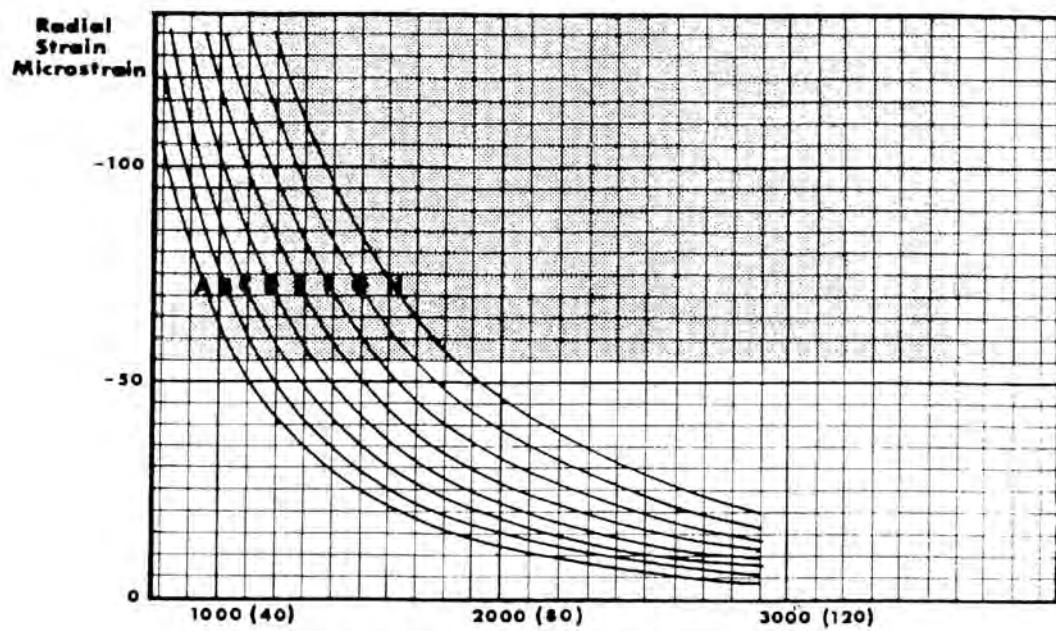
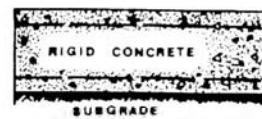
**CHART No. 34**

**10% C B R**  
**Rigid concrete**  
**No sub-base**



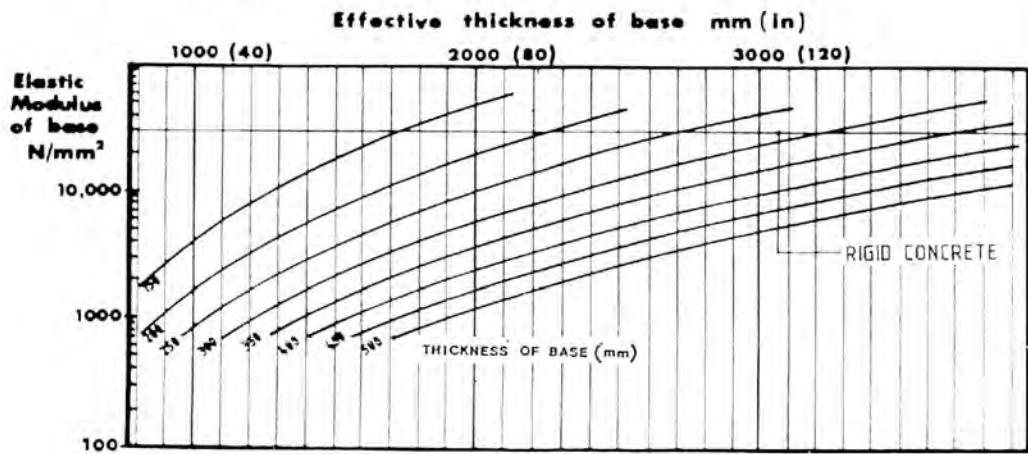
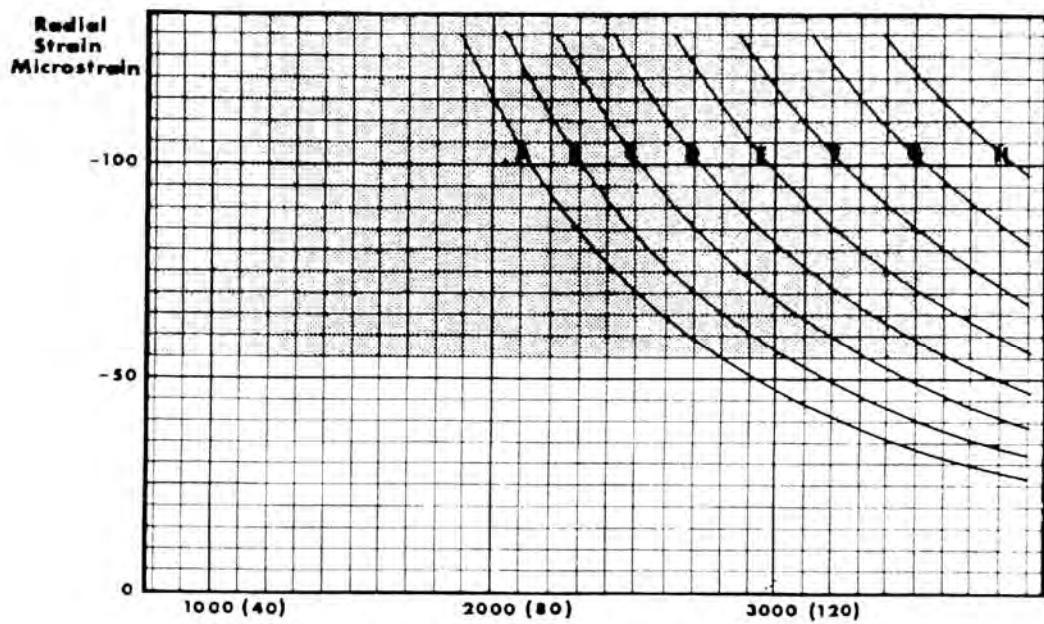
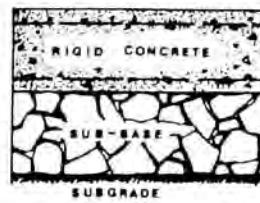
**CHART No. 35**

**30% C B R**  
**Rigid concrete**  
**No sub-base**



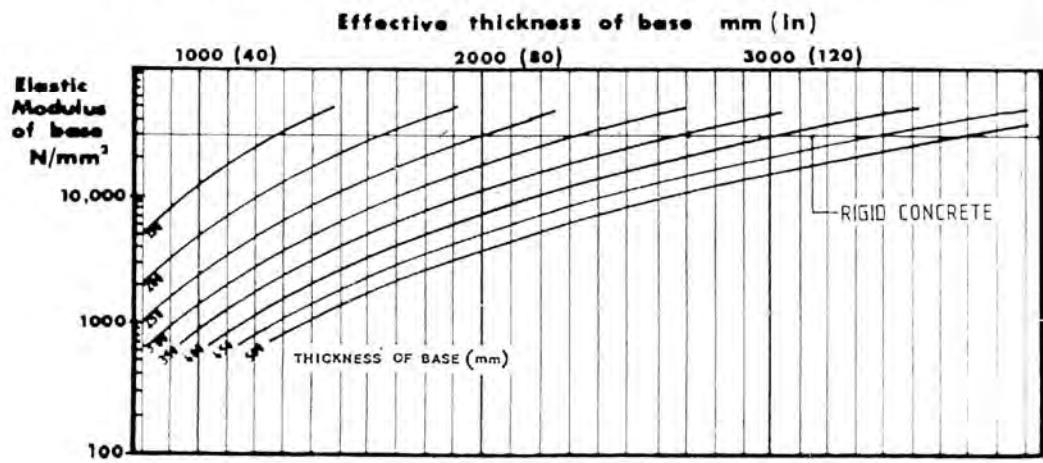
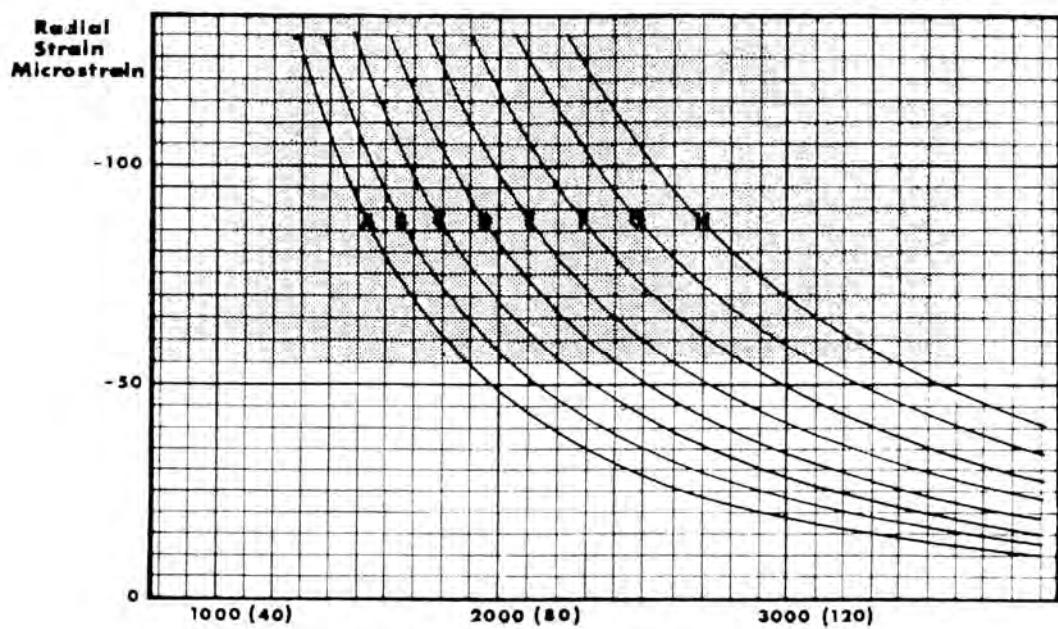
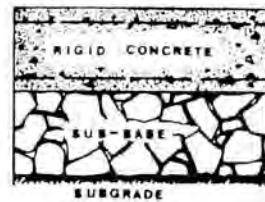
**CHART No. 36**

**1% C B R**  
**Rigid concrete**  
**300mm (12 in) sub-base**



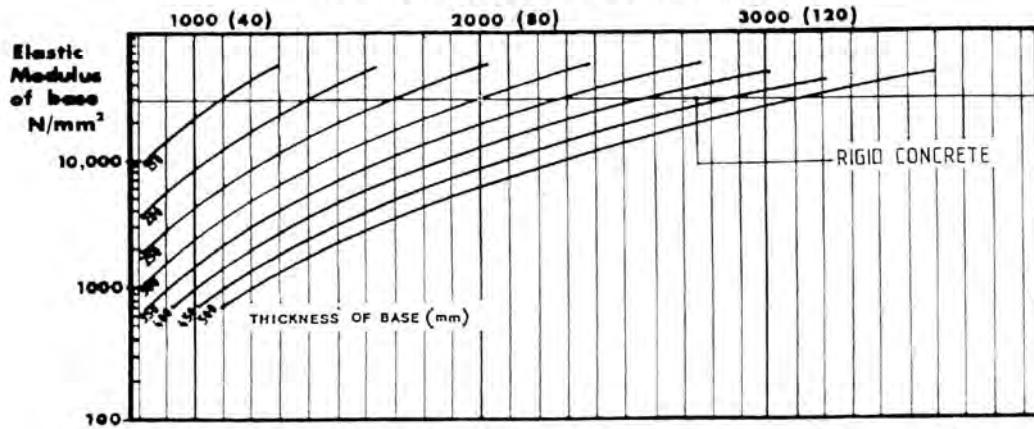
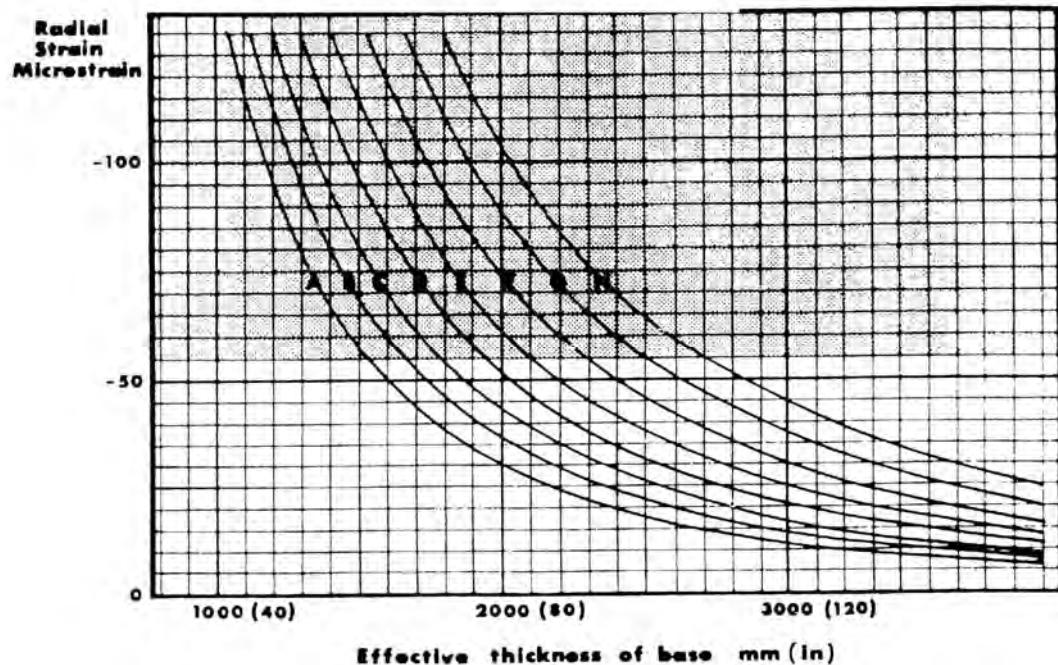
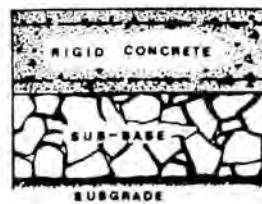
**CHART No. 37**

**3% C B R**  
**Rigid concrete**  
**300mm (12 in) sub-base**



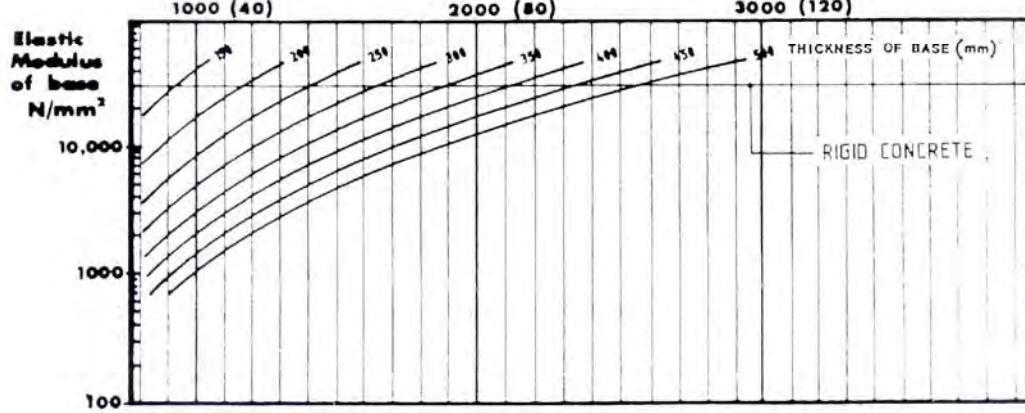
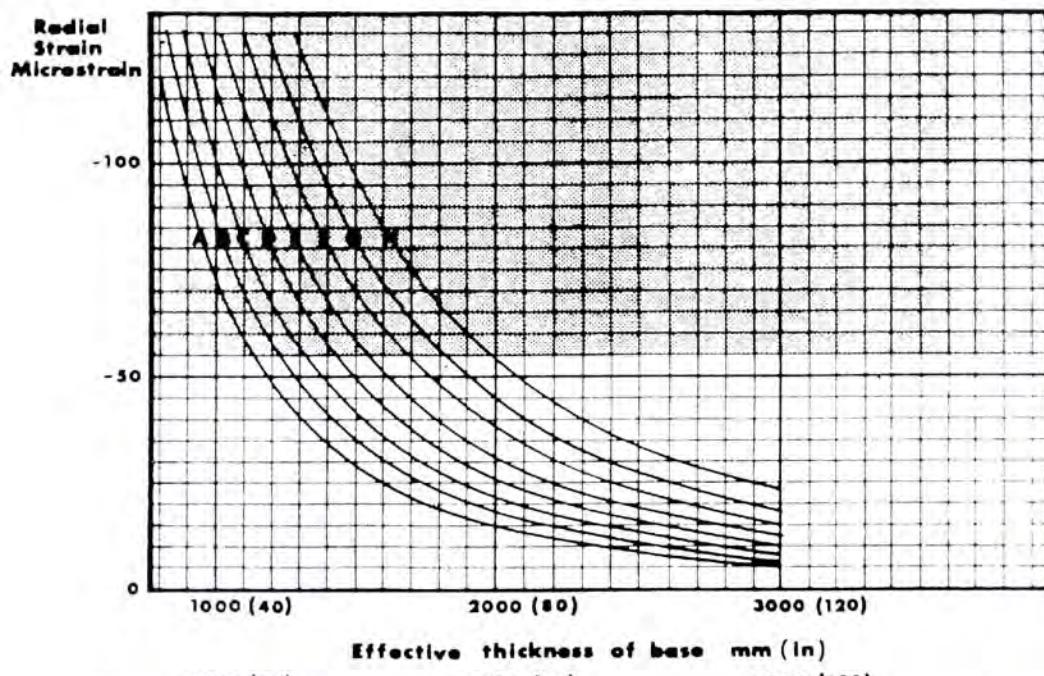
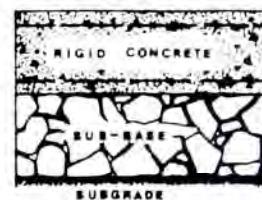
**CHART No. 38**

**5% C B R**  
**Rigid concrete**  
**300mm (12in) sub-base**



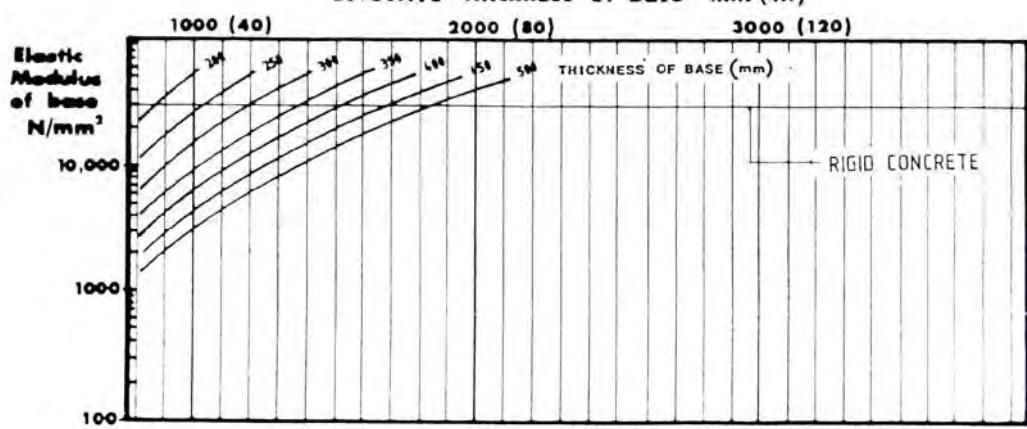
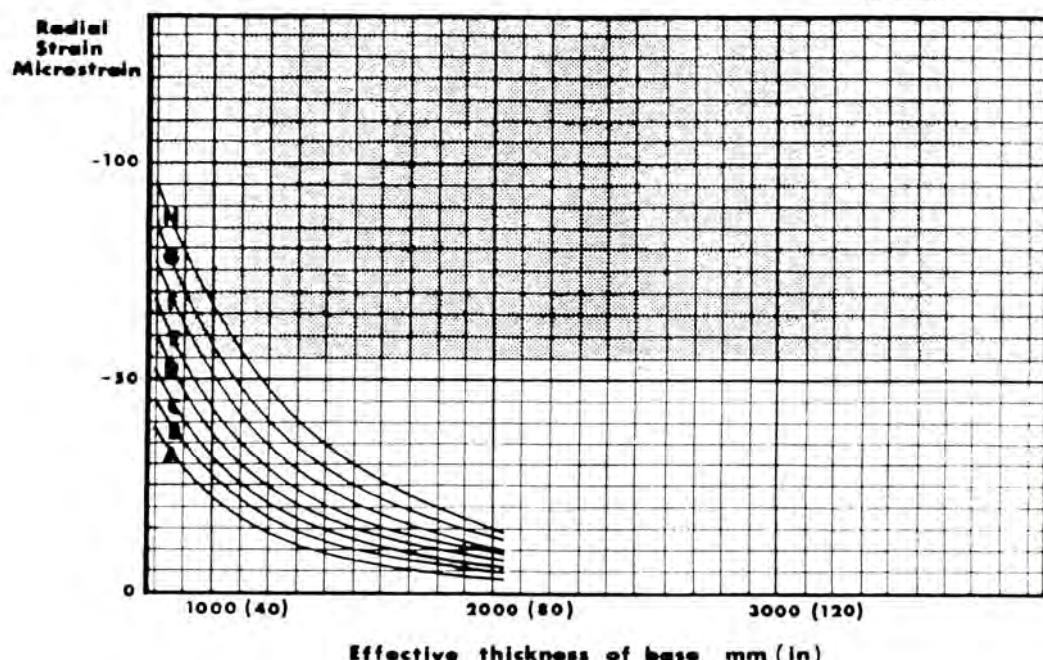
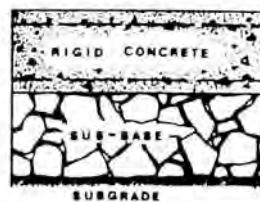
**CHART No. 39**

**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**

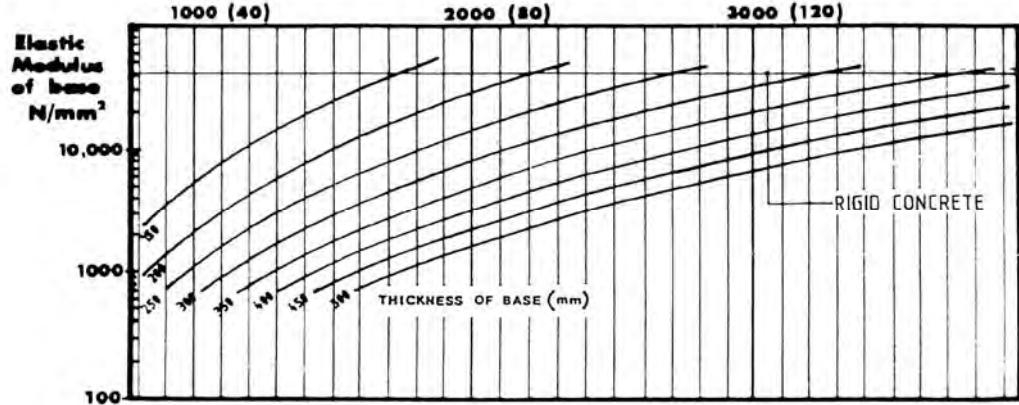
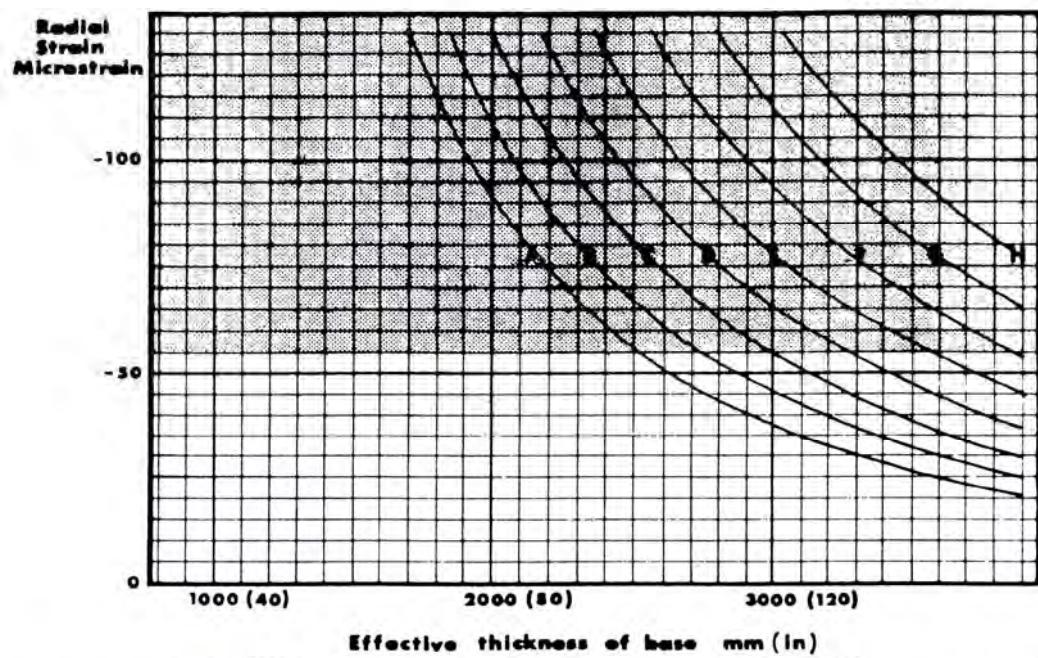
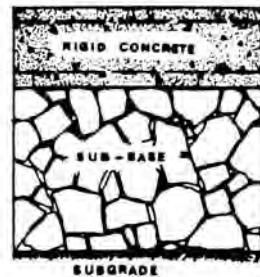


**CHART No. 41**

**1% C B R**

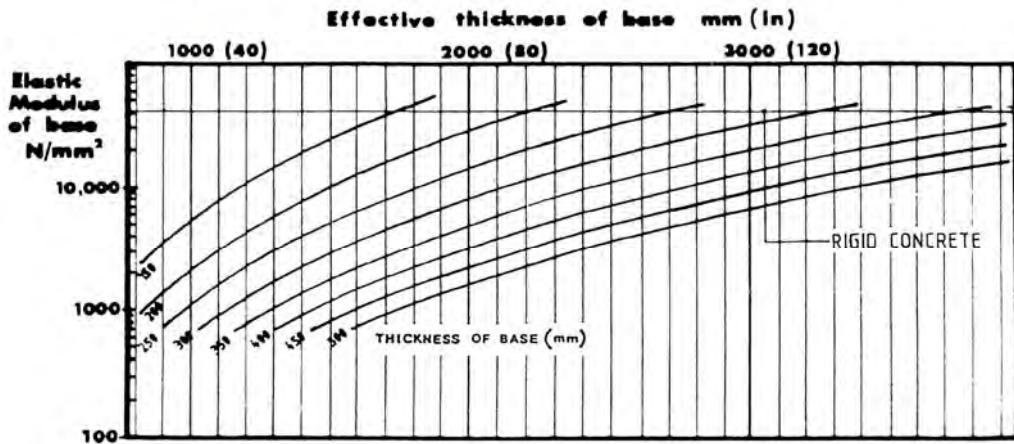
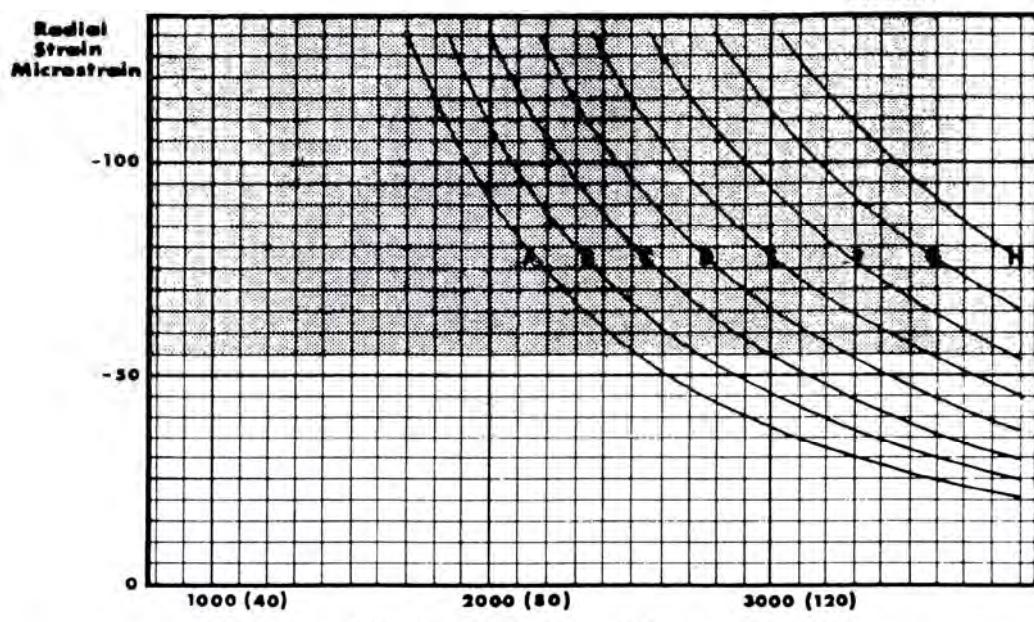
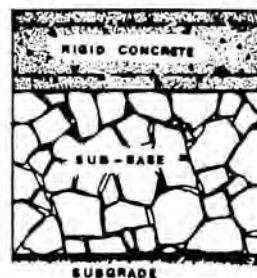
**Rigid concrete**

**600mm (24 in) sub-base**



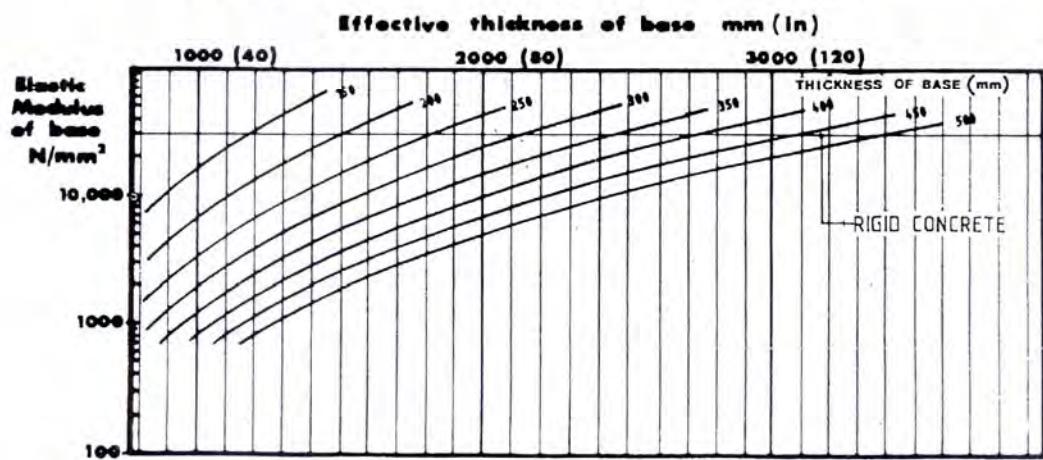
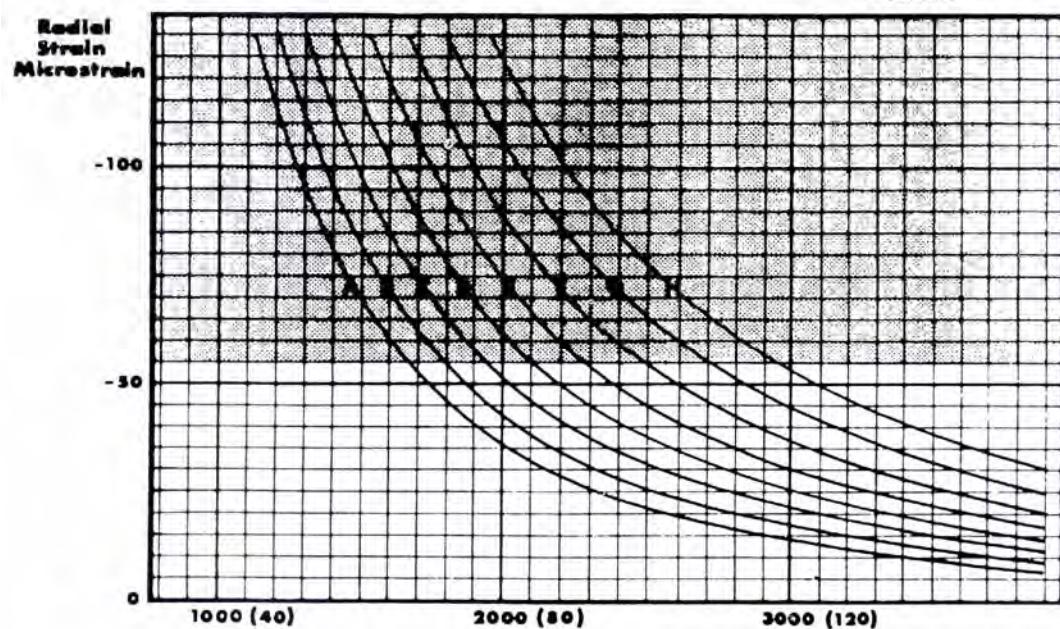
**CHART No. 41**

**1% C B R**  
**Rigid concrete**  
**600mm (24 in) sub-base**



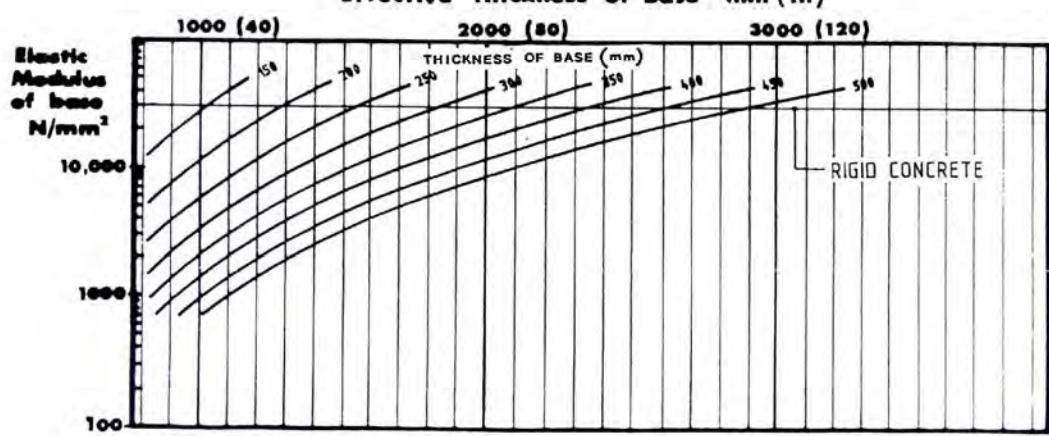
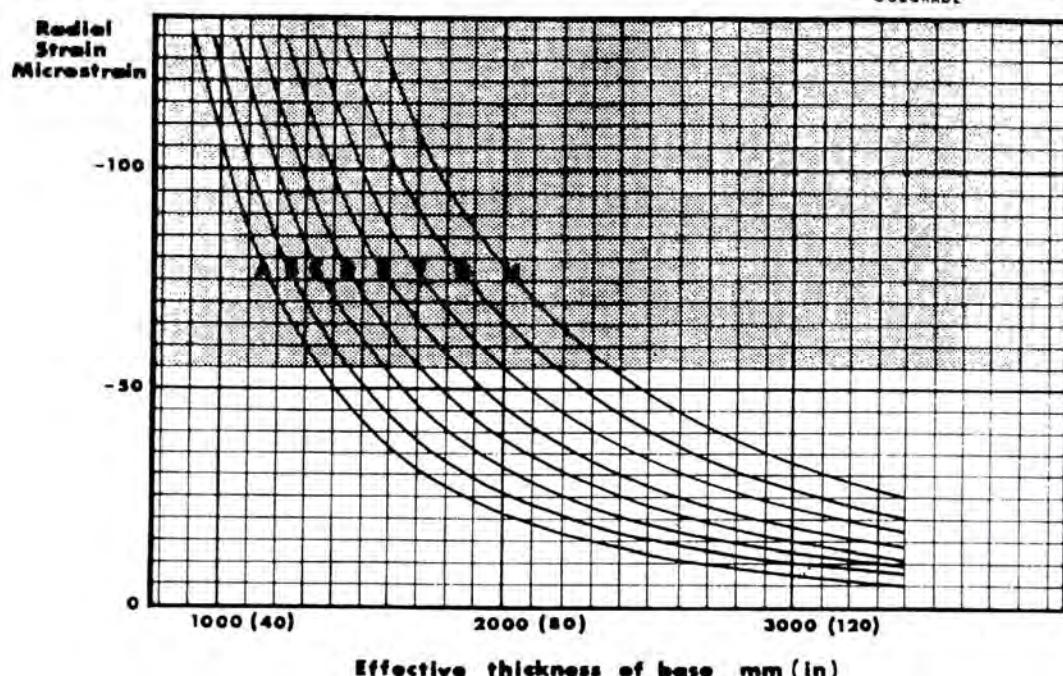
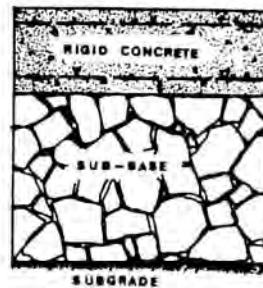
## CHART No. 42

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



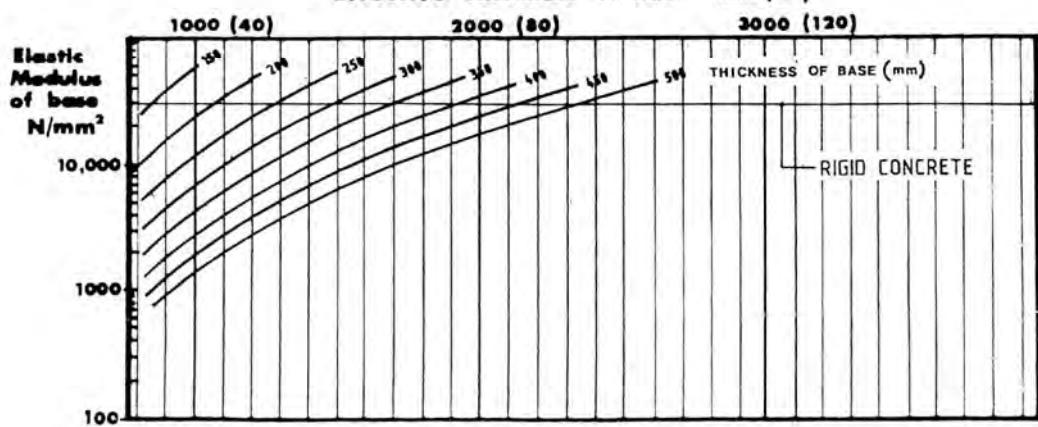
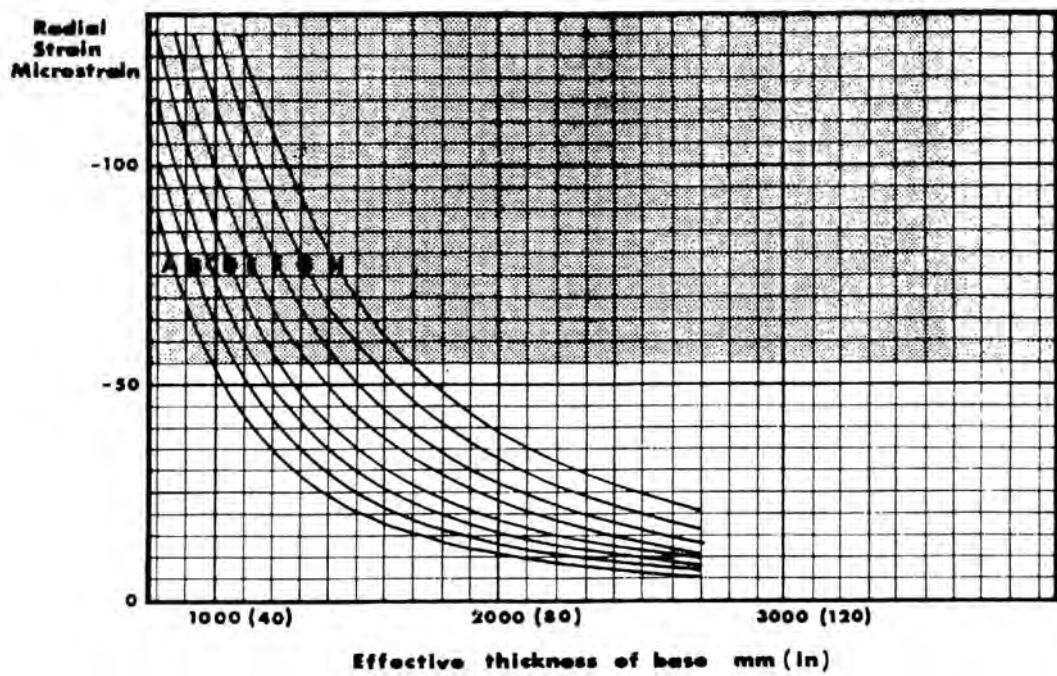
**CHART No. 43**

**5% C B R**  
**Rigid concrete**  
**600mm (24 in) sub-base**



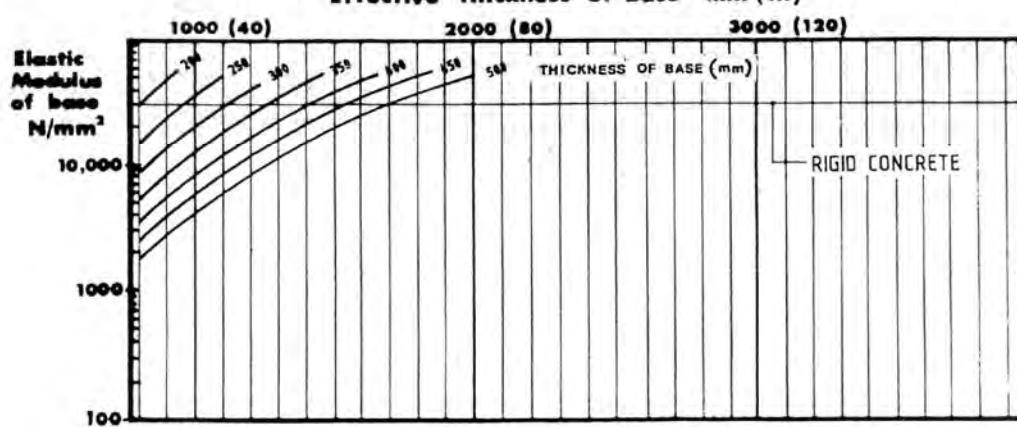
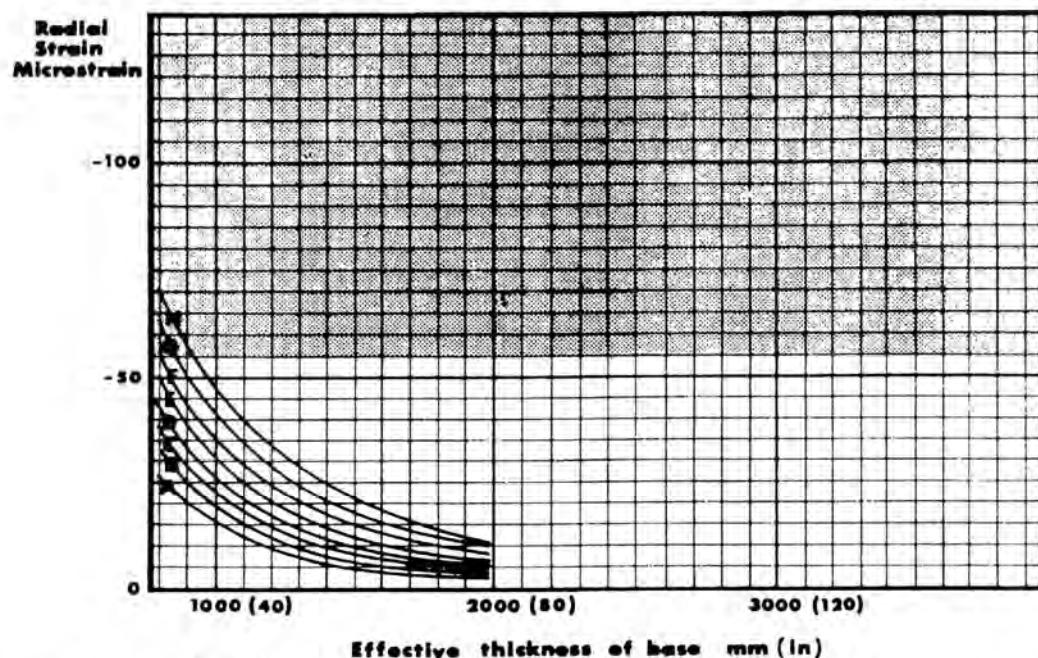
**CHART No. 44**

**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، افرون بر پانصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت 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 برد شود. به این لحاظ برای آشنایی بیشتر، فهرست عناوین نشریاتی که طی سالهای اخیر به چاپ رسیده است به اطلاع استفاده کنندگان و دانشپژوهان محترم رسانده می‌شود.

لطفاً برای اطلاعات بیشتر به سایت اینترنتی <http://tec.mpor.org.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



A horizontal bar divided into five equal-width sections by black vertical lines. The first four sections are white, while the fifth section is a solid light blue color.




A horizontal bar divided into five equal-width sections by black vertical lines. The first four sections are white, while the fifth section is light gray.

A horizontal bar divided into five equal-width sections by black vertical lines. The first four sections are white, while the fifth section is a solid light blue color.



## 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 راهنمای تهیه شده و دستگاههای اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران در صورتیکه روشها و یا راهنمایی بعتری در اختیار داشته باشند استفاده از آن مجاز خواهد بود.