TA: amirghanbarii@yahoo.com

Subject: Hvang, 2004

Year. Month. Date. ( )

روسازی راه و آزفرودگاه (دکتر معتمدی)

حبیب الله صادقی

۴۲۰ صفحه

PG ← مهم

MID 2 → 7 خرداد

سطح سرویس به معنای خوب بودن و راحتی رانندگی روی جاده و احساس خوبی که به فرد در حین رانندگی رخ می دهد.

حل تمرین شنبه ۵ بعدازظهر

امتحان ← شنبه ۹۴/۳/۹ ساعت ۶

HW 3 → 75%

106 → 11 - 12.5

مراحل انجام روسازی مجدد و تریم ؟

تعیین

۱- میزان خرابی ۲- مواد سازنده ی راه از چه رفتاری تبعیت می کنند ← مواد که رفتارشان تابع زمان است و سیکو الاستیک هستند مثل سازه ی فولادی در آتش سوزی که

(I) در طول بازه ی زمانی رفتار مختلف دارند. (II) دما (III) پیر شدگی و ...

در آزمایشگاه تبعیت می کرده

۳- ثوابت و constants ی مدل ماده را باید بدست آورد ← مثلا 10 که ضرب و اردیم بعد از 5 s چه مقدار تغییر شکل داریم. ۴- بارگذاری روی سازه ی خودمان (جاده)

۵- مسائل مقادیر مرزی (معادلات دیفرانسیل) را با finite elements حل می کنیم.

۶- با توجه به تنش کرنش بدست آمده و روابطی که تنش کرنش را به خستگی ربط می دهند میزان خستگی را بدست می آوریم و میزان خرابی تعیین می گردد

نهایتاً باید optimize کنیم تا یک ضخامت بهینه برای راه داشته باشیم. برای بهینه کردن

PAPCO

Subject :
Year . Month . Date . ( )

تمامی مراحل مثل جای کار دارد مثلاً بارگذاری لاستیک خودرو و روی جاده کار ساده ای نیست

یا مثلاً روابط تنش کرنش

انواع روسازی :

۱- flexible pavements ← ترکیب قیر و سنگدانه

۲- Rigid pavements ← بتن ← portland cement concrete ← pcc

۳- composite pavements ← ترکیبی از یک لایه ی آسفالت و یک لایه ی بتن روی

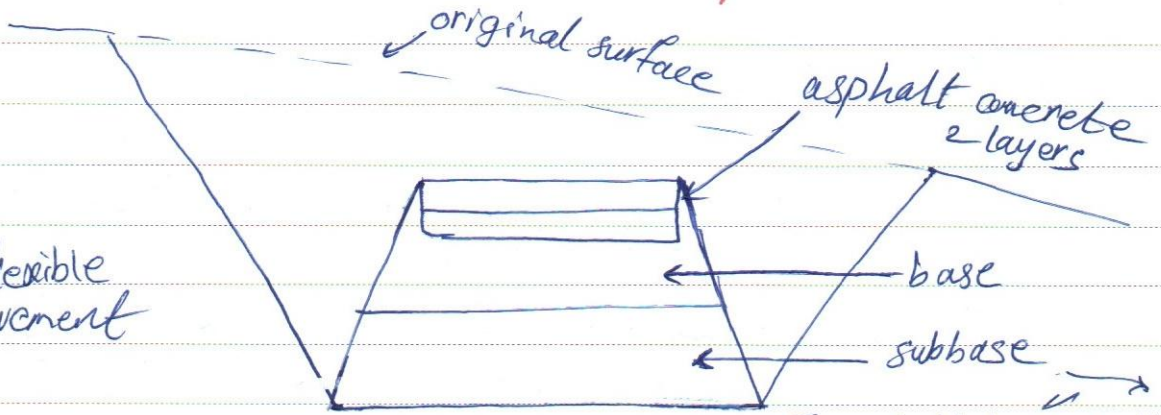
HMA → hot mixed asphalt

آن ← به این حالت white topping گویند چون رنگ بتن روشن تر از آسفالت

و حالت معمول روی بتن آسفالت می ریزند.

همگی حالات فوق دارای ساختار لایه ای هستند.

pavement structures



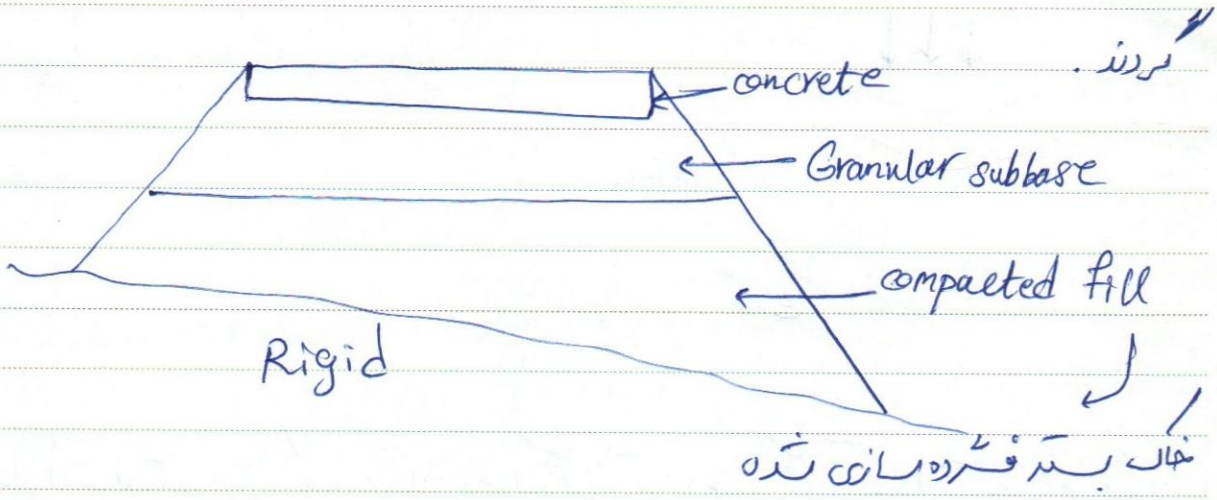
از مصالح سنگی با دانه بندی بهتر از base است ولی base خوب دانه بندی شده است

و دارای اتصال و پیوستگی خوبی است.

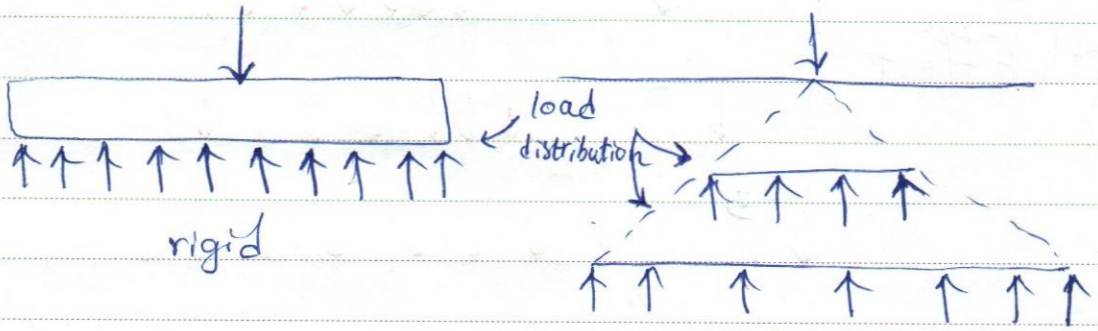
Subject:

Year. Month. Date. ( )

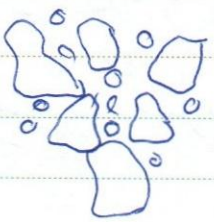
base و subbase معمولاً مصالح سنگی هستند. دیواری ممکن است با مواد اصلاح کنند.



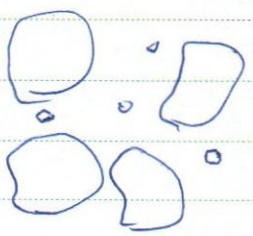
دلیل اینکه subbase دانه بندی بهتری نسبت به base دارد توزیع تنش است که هرچه پایین تر می رویم تنش گسترده تر می گردد.



base



subbase

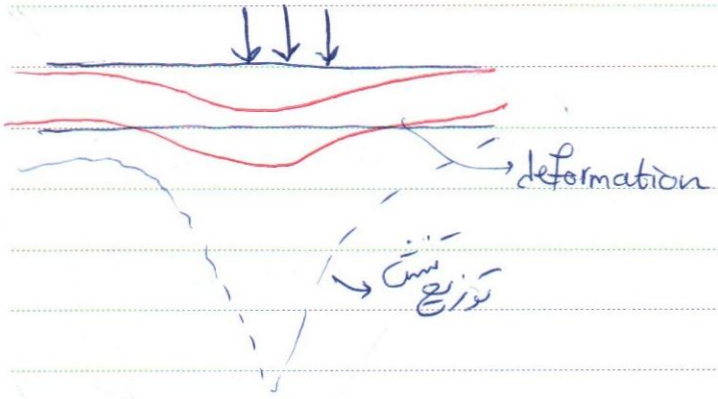


اندازه های بزرگ بدانه بندی شده

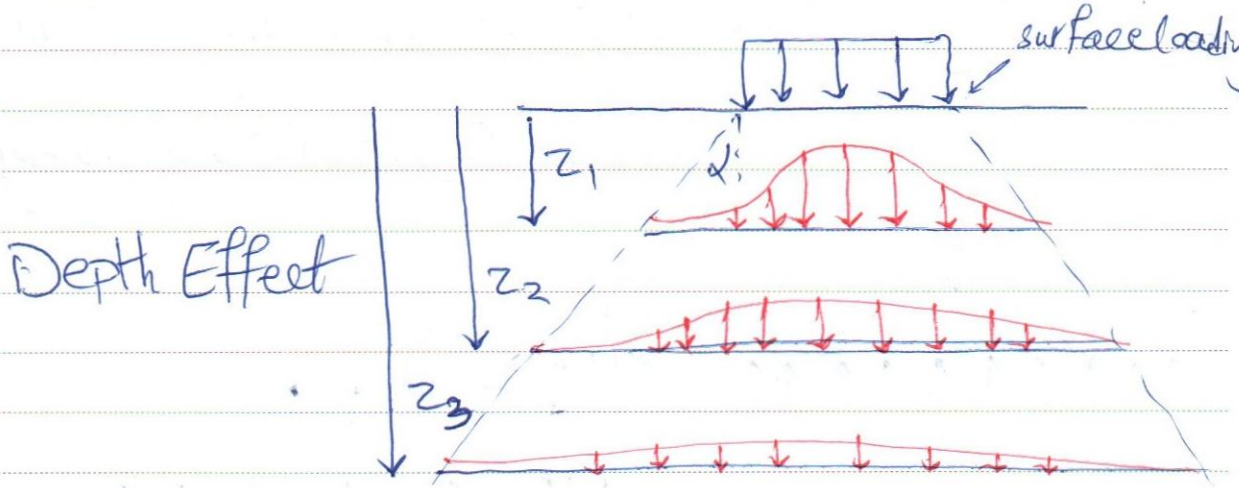
PAPCO

Subject :
Year . Month . Date . ( )

اگر روسازی ما Flexible باشد در اثر اعمال بارگذاری تغییر شکل به صورت موضعی است و در نتیجه توزیع تنش نیز حالت موضعی دارد.



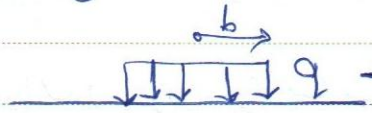
سطح آسفالت در اثر آلوده شدن و هوازدگی و گرد و غبار رنگ آسفالت روشن می شود.



در شکل فوق هرچه لایه ها بیشتر باشد زاویه ی α بیشتر می شود و به جسم صلب بودن و توزیع یکنواخت و گسترده نزدیک تر می گردد.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

Stronger layers "shield" weaker materials



بارگذاری دایره‌ای به شعاع b



نسبت $\frac{E_1}{E_2}$ در توزیع تنش تأثیر دارد. این رابطه را به صورت

یک نمودار برای تعیین $\frac{d_z}{q}$ است که تابعی از $\frac{E_1}{E_2}$ و

$\frac{z}{b}$ را داشته باشیم تا $\frac{d_z}{q}$ را بدست آوریم.

High Traffic Volume

HMA: hot mixed asphalt → سنگدانه‌ای با دانه‌بندی خوب که با قیر به هم چسبیده‌اند. aggregate + asphalt + air

Tack coat → لایه‌ی بسیار نازکی از قیر که روی لایه‌ی زیری می‌ریزند

↳ کاربرد قیر ← قیر در دمای عادی کشش زیادی دارد و ویسکوزیته بالایی دارد و برای استفاده در construction باید viseosity آن را کاهش بدهیم.

Asphalt
- Heating 150°c → با حرارت می‌دهیم
- +water → Emulsion → یا در آب حل می‌کنیم (امولسیون)
- +Fuel → cutback → در نفت سفید یا بنزین و... حل می‌کنیم.

↳ معایب cutback:
۱- ایمنی پست و برای کارگران آلودگی‌هایی تولید می‌کند.
۲- هزینه‌ی بالای سوخت و نفت (مقرون به صرفه نیست)
۳- از نظر محیط زیستی مناسب نیست.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

کات بک استفاده از cutback از دور خارج است و کمتر استفاده می گردد.

امولاسیون روز به روز مطلوب تری می شود و میزان استفاده از آن بیشتر می گردد.

لـــ دو مایع در هم حل نشدنی را در هم حل کنیم مثل آب و روغن، شیر، کرم های مصرفی

امولاسیون ممکن است چند فازی باشد و ترکیب باشد. شکل ۲ اسلاید what is Emulsion?

اگر یک امولاسیون قیری سالن بماند ذرات قیری مجدداً به هم متصل شده و ته نشین می گردند بنابراین

از نوعی ماده به نام Emulsifier یا surfactant یا surface active استفاده

می کنند که روی سطح قیری نشسته و سطح آن را بار داری می کند و در نتیجه ذرات قیر هم دیگر را دفع می کنند

و پایدار می مانند. عوامل مانند ۱- بارگذاری با غلتک ۲- مجاورت با هوا ۳- واکنش

شیمیایی این عوامل پایداری در مواد امولسیون را ~~ضعیف~~ از بین می رود و ذرات پایدار می گردند.

دلایل استفاده از prime coat

۱- ایجاد یک لایه ی سخت working platform برای ماشین های راهسازی

۲- ایجاد چسبندگی بین دو لایه ی بالا و پایین

۳- قیر در منافذ وارد می شود و باعث عایق، مانع بوجود آمدن مویینگی capilary می شود

Subject:
Year. Month. Date. ( )

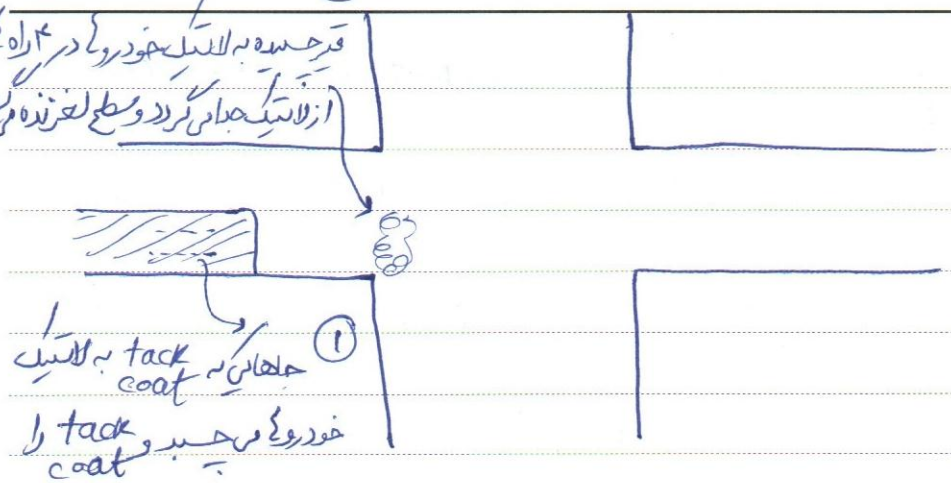
asphalt institute ← AI ← توجه شده اجرای prime coat تأثیری روی خرابی ندارد

طی تحقیقات سال های اخیر، در راهسازی بعد شد تا لایه ی آسفالت با یک دانه بندی خوب فشرده، لایه ای را ایجاد کند که خودش عایق است پس دیگر نیازی به prime coat نیست و اگر ضخامت prime coat از حدی بیشتر گردد آنگاه مقاومت برشی خوبی نمی دهد و دارای یک ضخامت Optimum است. و ضخامت زیاد از آن ۲ عیب دارد ۱- باعث ایجاد لغزندگی HMA روی base می شود. slippage failure ۲- ممکن است به لاستیک خودرو ها بچسبد. sticking to the equipment. tires

اگر HMA ضخامت زیادی داشته باشد می توان آن را در دو مرحله و دو لایه اجرا کرد چون لایه ی پایینی آن ممکن است دارای مقاومت مورد نیاز کمتری باشد و کیفیت پایین تری لازم داشته باشد.

Tack coat ← لایه ی نازک قیری است که سبب می شود دو لایه ی HMA به هم بچسبد و زمانیکه لایه ی بالایی را اجرا می کنیم خودش به دلیل داشتن دما و حرارت بالا مقداری از لایه ی زیری را گرم می کند و خودش نوعی چسبندگی ایجاد می کرده.

برای اجرای tack coat سطح روسازی ما باید ۱- گرد و خاک نداشته باشد و ۲- خشک باشد.



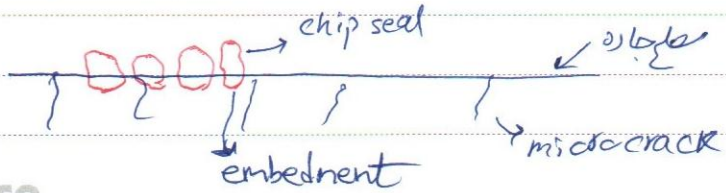
برای جلوگیری از دو مشکل فوق ۱- pattern لاستیک و شیرهای nozzle قیر ریز دستگاه به گونه ای است که لاستیک از روی قیر عبور نمی کند. ۲- از نوعی ماده ی تند گیر به زود به سطح جاده می چسبد و دیگر به لاستیک نمی چسبد استفاده می کنند

برای دو مورد فوق ماده ی جدیدی بنام Trackless tack می سازند.

- برای سخت HMA دو حالت وجود دارد
  - ۱- در محلی به نام plant می سازند
  - ۲- در داخل جاده و توسط ماشین آلات راهسازی

می سازند که مخلوط آسفالت را کمی سخت تر می کند و کمی فشرده می سازد.

Chip seal نوعی ماده ی سنگدانه ای است که تنش باربری ندارد. در ابتدا یک لایه قیر امولسیونی روی سطح راه می ریزند سپس یک لایه از این سنگدانه های یکنواخت روی جاده می ریزند و با غلتک روی سطح راه می چسبانند.



P4PCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

شکل chip seal آن است که مخلوط درشت به جاده بچسبد و با جارو درهمان ابتدا آنها را جمع می کنند اگر سنگدانه خوب بچسبد مخلوط است مثلا safety و ایمنی برای خودرو ایجاد کند.

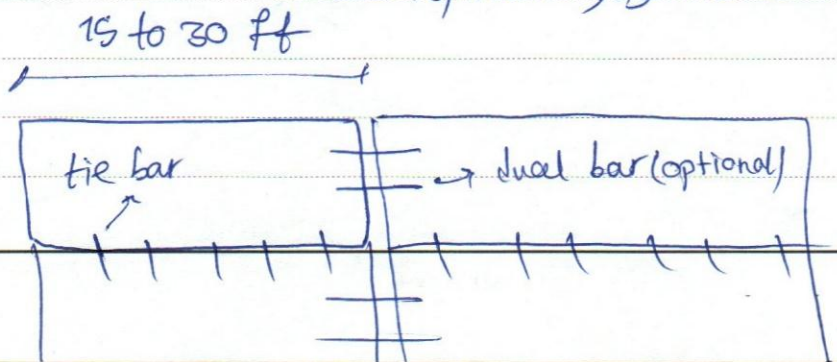
asphalt spray یک خودرو است که یک لایه ی قیر امولسیون روی جاده می پاشد که دارای nozzle هایی است که باهم، هم پوشانی دارند از طرف دیگر فاصله ی nozzle تا زمین و تمیز بودن حفرات آنها اهمیت بالایی دارد.

Rigid pavement surface یک لایه بتن ← concrete کمتر به شرایط جوی ربط دارد مثلا آسفالت در دمای مشخص صورت می گیرد ولی بتن در هنگام بهره برداری در دمای ۲۰- تا ۶۰+ خیلی تفاوت مقاومتی ندارد.

design آن

jointed plain concrete pavement (JPCP)

طول دال بین 15 تا 30 ft است (در جهت ترافیک) می توان برای اتصال دو دال از جهت کناری از tie bar استفاده کرد و در جهت طولی از dual bar استفاده می کنند. dual bar دلخواه و optional است.



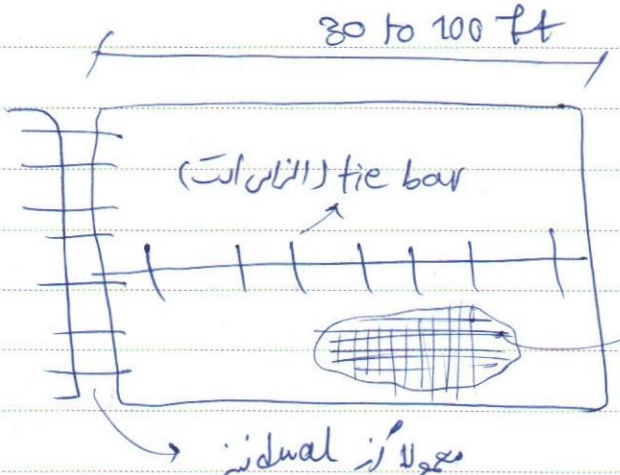
P4PCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

Homework 10

۱- addetive ها و افزودنی هایی به بتن و تأثیر هرکدام (کف بتن)
۲- نحوه اجرای هرکدام از این روسازی ها

jointed Reinforced concrete pavement (JRCP)



Continuously Reinf conc pave (CRCP)

steel area 0.6 to 0.8

این نوع بتن دال - دال نیست و یکپارچه است و طراحی ترک ها در ضخامت ... دارد.

prestressed concrete pavement PCP

نوع دیگری از روسازی ها مسلح و پیش تنیده است.

Subject:

Year. Month. Date. ( )

فرودگاه

Runway ← سطح باند فرودگاه برای پرواز و فرود هواپیما

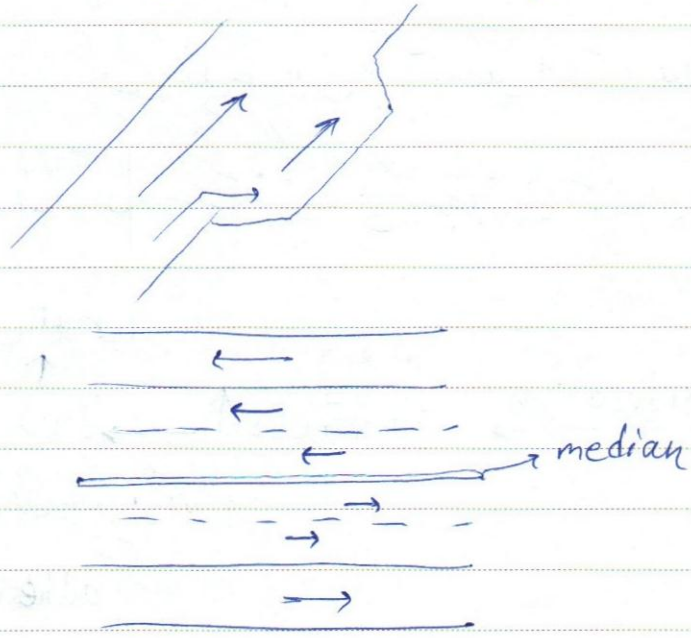
apron ← محل قرارگیری هواپیما برای مدت طولانی جهت سوخت‌گیری

taxiway ← اتصال دهنده‌ی دو مورد بالا است.

در محوده‌ی apron سطح روسازی باید به صورت بتنی اجرا شود زیرا بارگذاری زیادی برای مدت طولانی صورت می‌گیرد.

روسازی‌ها با توجه به مصالح در دسترس و تکنولوژی‌های در دسترس ماصورت گیرد.

Auxiliary lane ← لاین‌های کمکی در جاده‌های سربالایی که برای کمک به کامیون‌ها ایجاد گردیده



PaPCO

Subject:
Year. Month. Date.

می شکند ←

روسازی بتنی PCC

bas

مزایای روسازی انعطاف پذیر:

۱ـ اگر در سطح راه نشست رخ دهد با بتن و این نشست غیرمنتظره باشد، مانند دال بتنی نیست که بشکند و می تواند خودش را با سطح جاده با انعطاف پذیری هماهنگ کند.

چاله را می توان به راحتی ترمیم کرد.

HMA

base

۲ـ به دلیل انعطاف پذیری می توان به راحتی ترمیم کرد. (اگر چاله ایجاد گردد.)

۳ـ روکش زدن روی سطح آسفالت و اضافه کردن ضخامت همچنین در روسازی آسفالتی راحت تر است و با یک لایه tack coat ایجاد می گردد.

۴ـ سطح آن با فیت به سایش خیلی حساس نیست، ممکن است سنگدانه ها جدا گردد و یا قیر آن هوازده شود ولی اصطکاک آن در حالت خشک هیچ گاه بحرانی نمی شود ولی برای بتن ممکن است اینگونه نشود.

Binder $\xrightarrow{\text{oxidization}}$ stiffness ↑ $\longrightarrow$ Brittle ↑ احتمال ترک خوردن بالا می رود

میزان چسبندگی آن پایین می آید.

adhesion ↓

معایب:

۱ـ

Subject :

Year . Month . Date . ( )

معایب :

۱- انعطاف پذیری خود را در اثر هوازدگی از دست می دهد باید ترمیم کنیم .

۲- نسبت به رطوبت و جایی که ممکن است زیر سطح آب برود مناسب نیست و ممکن است تخریب شود و نباید از آن در مناطق استفاده گردد .

۳- ممکن است در درزهای عرضی دچار گسل و جدایش گردد .

موارد استفاده از روسازی بتنی :

airport apron - high traffic volume roads - - - -

مزایای روسازی بتنی -

۱- در برابر هوازدگی و آب مقاومت خوبی دارد . (دوام بالا)

۲- طول عمر سرویس دهی بالا

۳-

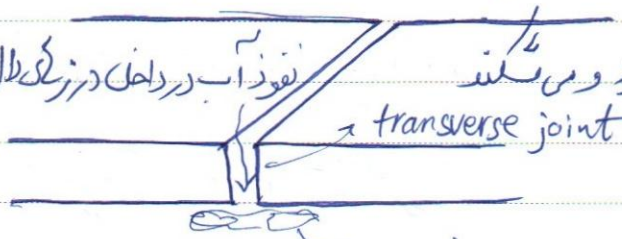
PAPCO

Subject :
Year . Month . Date . ( )

مطالب :

۱- سطح آن ممکن است بعد از زمان لغزنده گردد باید به گونه ای سطح آن را زبر و با اصطکاک بالا ساخت

۲- در اثر نشست نامتقارن ترک می خورد و می شکند



نشست و شستو تخریب مواد زیر دال

۳- may fault at transverse joint

خرابی های روسازی pavement Distresses

در مرحله ی طراحی باید در ابتدا میزان خرابی را بسنجیم

در این مرحله هم شدت خرابی اهمیت دارد هم فراوانی آن .

نیاز داریم تا :

هرچند وقت یکبار سطح سرویس راه را اندازه می گیرند و براساس آن مدیریت خرابی می کنند .

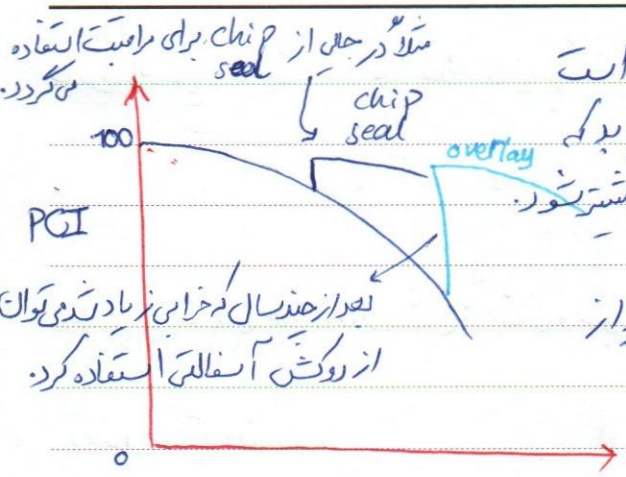
شناخت عوامل خرابی و اصلاح جنس و نوع روسازی براساس مکانیزم خرابی در دو مرحله ی design روسازی و انتخاب مواد باید روی آن بحث گردد .

برای تعیین سطح سرویس شاخص های مختلف تعیین شده است مثلا $100 \geq PCI \geq 0$ (بهتر ↑ بدتر ↑)

Subject :

Year . Month . Date . ( )

PCI → permanant conditioning Index



- یکی از عوامل محدود کننده‌ی راه budget ≤ ٪ است که برای روسازی یک بودجه‌ی مخصوص اختصاص می‌یابد که باید هزینه‌ی تعمیر و نگهداری ما از مقدار مشخص بیشتر نشود.

- مسئله‌ی بعدی میزان رضایت مردم از راه است که نباید از حدی کمتر گردد مثلاً می‌گویند 60 < PCI < 100 باشد.

مثلاً می‌توان زمانی که micro crack داشتیم از یک لایه‌ی chip seal استفاده کرد و مانع از این تخریب لایه‌ی آسفالت شد اگر این کار را نکنیم آب و هوا وارد ترک‌های ریز می‌شود و آنها را بزرگ می‌کند و دیگر نمی‌توان از chip seal استفاده کرد چون روسازی به شکل سازه‌ای اشکال پیدا کرده است و باید یک لایه‌ی آن آسفالت را تراشید و مجدداً HMA جدید روی آن ریخت.

بین دو حالت ترمیم بالا (کوتاه مدت و بلندمدت) اینکه کدام یک بهتر و اقتصادی‌تر است را pavement management مشخص می‌کند. مثلاً هزینه‌ی chip seal حدود ¼ هزینه‌ی روکش جدید است.

از اهمیت بالایی دارد زیرا هر خرابی چه تأثیری روی سرویس می‌گذارد.

دسته‌بندی خرابی { نوع

شدت خرابی { کم low
متوسط medium
زیاد severe / high

تعداد خرابی {

P4PCO

pavement condition index

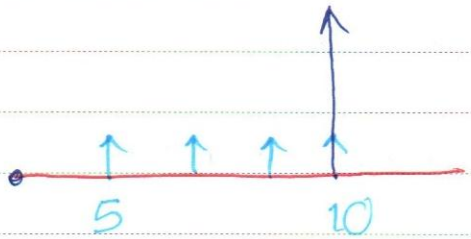
با توجه به نوع، شدت و تعداد خرابی سطح سرویس PCI را مشخص می‌کند.

$$PCI = 100 - a_1 D_1 - a_2 D_2 - \cdots$$

برای پارامترهای بالا جدول‌هایی مشخص وجود دارد که براساس ۳ پارامتر نوع و شدت و خرابی تعیین می‌گردند.

هزینه‌های تعمیر راه دو نوع است: ۱- هزینه‌های تعمیر ۲- هزینه‌هایی که بابت وقت بعضی (زمان) مردم تحمیل می‌گردد، هزینه‌های تعمیر خودرو، اشتغال زایی، رضایت مردم و تأثیر روی اقتصاد و...

نمودار هزینه و زمان



مثلاً بعد از ده سال می‌خواهیم روکش کنیم.

هر مبنی که $\frac{B}{C}$ (benefit / cost) بالاتری داشته باشد، بهتر است، در واقع می‌خواهیم با حداقل هزینه حداکثر سود را داشته باشیم.

* pavement management چیست؟

* چه پارامترهایی در روی مدیریت راهداری تأثیرگذار است؟

Subject:

Year. Month. Date. ( )

خرابی ← آشکار شدن مشکل ← به عنوان یک نشانه است که یا طراحی مناسبی نداشتیم یا مواد مناسبی استفاده نشده است، دلایلی که عامل خرابی هستند را مکانیزم خرابی گویند.

علت ایجاد خرابی زیاد در زمان کم (خرابی زودرس)

۱- مواد نامناسب ۲- طراحی نامناسب ۳- ساخت و اجرای نامناسب

عوامل تأثیرگذار بر عملکرد روسازی

۱- شرایط موجود ← خاک بستر

۲- مواد انتخابی

۳- سازه‌ای که طراحی می‌کنیم

۴- در اجرا چقدر دقیق و خوب هستیم

۵- عملیات ترمیم و نگهداری maintenance & repair ← M&R (rehabilitation)

۶- رطوبت

۷- ترافیک

P4PCO

Subject :
Year . Month . Date . ( )

عوامل ایجاد خرابی:

age related ↑ | moisture ↑ | tempreture ↑

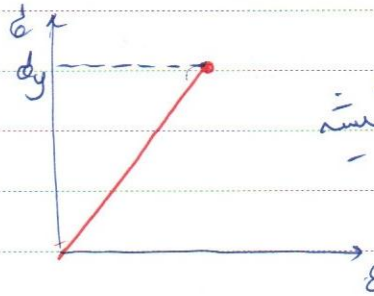
۱- بارگذاری ۲- دما ۳- رطوبت ۴- هوازدگی (الیژن)

از عوامل مربوط به بارگذاری ترک های مربوط به خستگی یا Fatigue ← ترک ناشی از بارگذاری

cracking

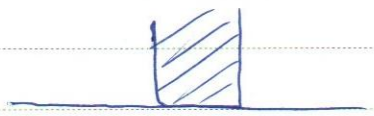
مرحله ای





تنش-برش شیشه

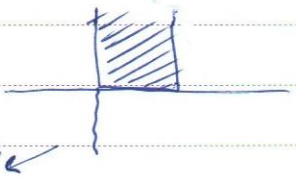
در هر نوع ماده ای خستگی در اثر عوامل خاصی صورت می گیرد مثلاً شیشه و فولاد عمدتاً اثر عوامل مختلف داشته باشند.



ترک خستگی چند نوع اند:

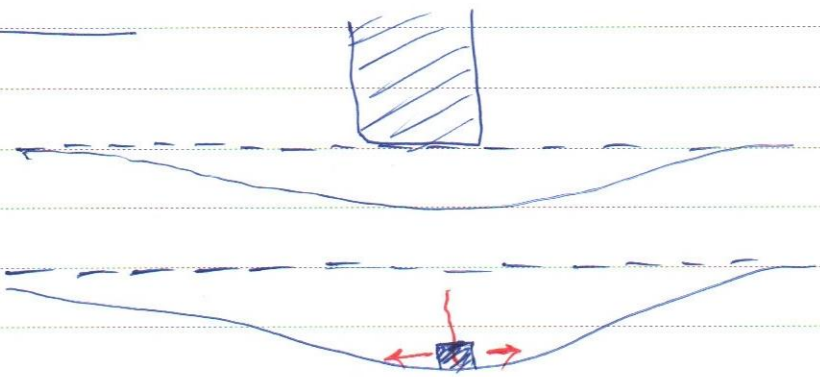


۱- نوعی که از پایین به بالایی رود bottom-up



۲- نوعی که از بالا به پایین می رود top-down

علت ایجاد این نوع ترک برش ایجاد شده می باشد.



لـ در اثر کششی که در المان پایین راه ایجاد می کردد.

P4PCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

ترک های ناشی از خستگی از نظر شدت دارای low severity یا شدت کم است و بازشدگی کمی دارند.

ترک ناشی از خستگی به ترک سوسماری یا Aligator cracking معروف است.

خرابی دوم که در اثر بارگذاری بوجود می آید:

شیارشدگی (rutting) (تغییر شکل دائم یا پلاستیک) ← نشست که در مسیر عبور plastic deformation

لایه آسفالتیک از روی سطح جاده بوجود می آید شیارشدگی گویند. ← علت آن: ۱- تراکم در لایه های روسازی، اگر ما در حین طراحی و ساخت راه به اندازه ی کافی تراکم نکنیم در لایه ها بعد از عبور وسایل نشست صورت می گیرد. ۲- علت دوم آن است که مدول الاستیسته و برشی تابعی از دما هستند

اگر دما بالا بود، مقاومت کشش و برشی آن پایین می رود.



$E(T)$ → مدول الاستیسته

$G(T)$ → مدول برشی

در حالتی که Rutting بر اثر نیروی برشی صورت گیرد حالت موضعی تری دارد. اما در حالتی که شیارشدگی بر اثر نشست باشد گسترده تر است (پهن تر).

برای اندازه گیری شیارشدگی در جهت عرضی جاده یک میله را قرار می دهند و بیشینه فرورفتگی در سطح جاده را اندازه گیری می کنند.

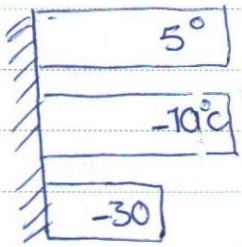
P4PCO

۲ـ دما مکانیزم دوم خرابی که اگر دما خیلی پایین بیاید سبب سفت شدن HMA می‌شود و مدول الاستیسیته بالا می‌رود و ماده حالت خیلی الاستیک و شیشه‌ای دارد و ایراد آن اینست که دیگر damping نداریم و ناگهان مثل شیشه می‌شکند.

علت ایجاد ترک‌های حرارتی آن است که دما در طول روز به یکباره در یک بازه‌ی زمانی کوتاه تغییر زیادی می‌کند و کاهش دما موجب انقباض می‌شود و نهایتاً در یک دمایی این انقباض به مقداری می‌شود که سبب ترک خوردن سطح راه می‌شود.

$T < 0°c$

$E \uparrow$ HMA



$\Delta L = \alpha L \Delta T$

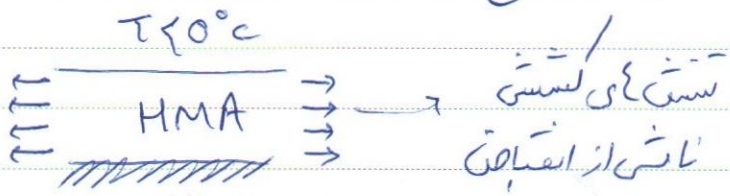
$F = K \cdot \Delta L$

$5°c \downarrow \varepsilon$

شب دما / نامادا

$5°c \leftarrow 2\ AM$

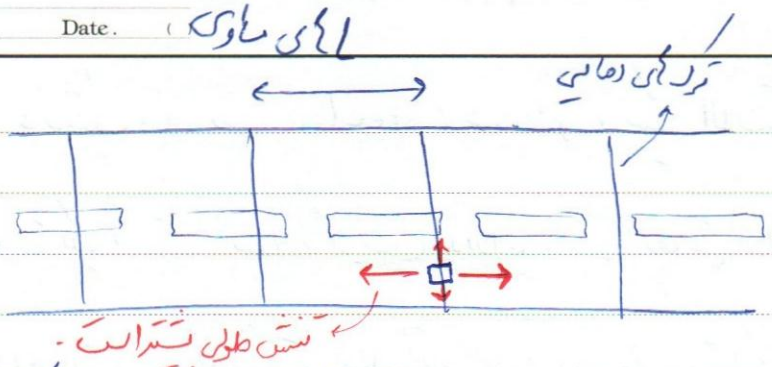
$-30°c \leftarrow 10\ AM$



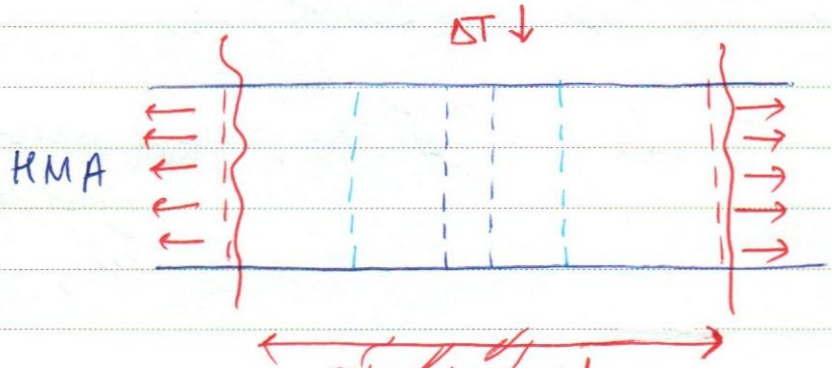
اگر سطح روسازی ما از یک ماده‌ی یکنواخت و یکپارچه به خوبی ساخته نشده باشد آنگاه ترک‌ها روی سطح جاده در فاصله‌هایی مساوی رخ می‌دهد که این طول‌های مساوی همان طول‌هایی است که اگر طول از آن بیشتر شود آن طول باعث گسیختگی آسفالت روی سطح راه می‌شود.

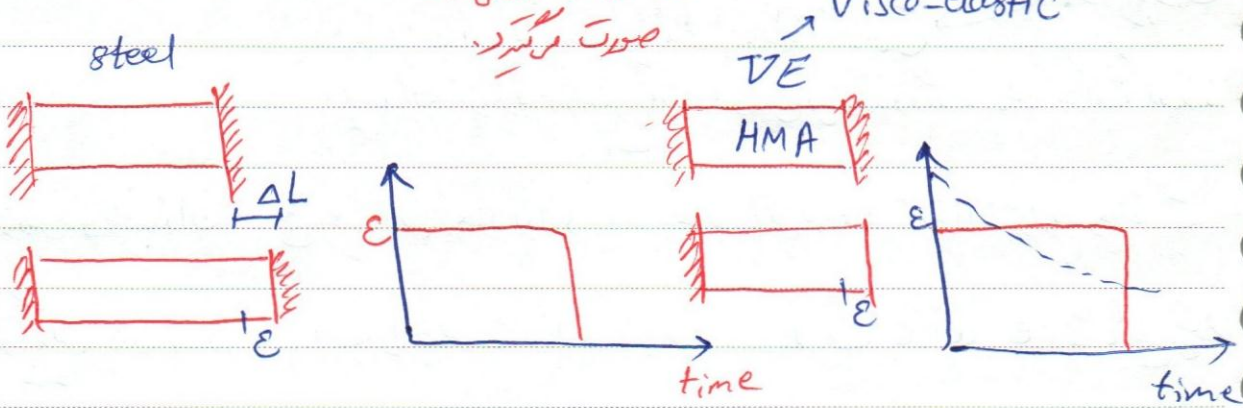
Subject :

Year . Month . Date . (کشش ماوی



چون این ترک ها در اثر نیروی انقباض $F = K_n \Delta L$ اگر L از حدی بیشتر گردد ΔL به میزان ΔL گسیختگی در سر دیس ترک ها در L های مساوی ایجاد می گردد. علت آنکه در راستای طولی ترک نمی خورد آن است که در جهت عرض هیچ نیرداری (confinement) وجود ندارد که تنش ایجاد کند و در ابعاد راهسازی ما ترک طولی ایجاد نمی شود. (اسلاید 27)





PqPCO

تفاوت ماده‌ی الاستیک مثل فلز (steel) با ماده‌ای ویسکو الاستیک مانند HMA

در صورتی که به علت یک تنش، مقداری کرنش پدید آید، پس از مدتی به دلیل جابجایی مولکول‌ها ماده relax می‌شود و با گذشت زمان تنش از بین می‌رود و فقط کرنش صورت می‌گیرد.

مشکل rutting علی الخصوص به دلیل تغییر شکل در لایه‌ی اول در روسازی‌های جوان صورت می‌گیرد. ترک‌های خستگی در روسازی‌های پیر (کهنه) صورت می‌گیرد.

ترک‌های حرارتی هم در روسازی جوان، هم در روسازی پیر رخ می‌دهد.

۳- رطوبت ← در واقع می‌توان گفت حرارت و رطوبت با هم یک مکانیزم می‌سازند که به آن Tem perature/moisture-related گویند.

Frost-heave

یخ زدگی ← مهم و اساسی

برآمدگی

Frost penetration

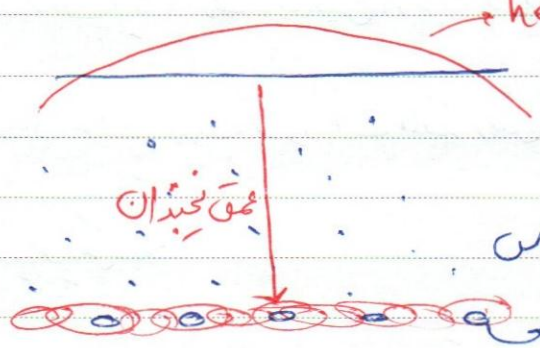
عمق یخبندان ← عمق از خاک که دما، زیر دمای انجماد آب است را عمق یخبندان گویند که در آن عمق آب در این عمق یخ می‌زند و دیگر نمی‌تواند حرکت کند.

در زیر عمق یخبندان، هیچ یخبندانی وجود ندارد، در خاک‌هایی که حالت ریزدانه داریم و خاصیت مویینگی داریم این لایه آب را به سمت بالا می‌آورد و در اطراف Ice lense ها جمع می‌شود

Subject:

Year. Month. Date. ( )

و lense های یخ بزرگ می شوند و ممکن است به یکدیگر بپیوندند، آنگاه لایه‌ای از یخ زیر سطح روسازی ایجاد می شود که افزایش حجم صورت می گیرد و با نیروی ایجاد شده راه را به سمت بالا حرکت می کند.



عوامل ایجاد ده

۱- ذرات ریز دانه (خاصیت مویینگی) ← خاک حساس

۲- وجود آب

۳- بروز دمای پایین

بیش از ۱۰٪ از الک ۲۰۰ عبور کند یا بیش از ۳۷٪ از الک ۴۲۵ عبور کند

# #

آسفالت یا بتن؟ مزایای آسفالت نسبت به بتن؟

۱- از نظر مصالح ارزان تر است

۲- آسفالت Carbon footprint ٪30 از بتن است. ← ردپای کربن گازهای گلخانه‌ای

۳- ساخت راه آسفالتی نسبت به بتنی بسیار سریع تر است.

~ 22 hours/mile → asphalt

~ 22 hours/mile → concrete

۴- better life cycles than concrete

عوامل Frost heave

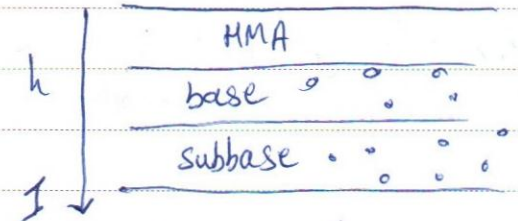
زمانیکه یخ زدگی در لایه زیرین خاک بوجود می آید از اثر این حجم سبب ایجاد نیروی رو به بالا می شود که سبب ایجاد ترک و کاهش باربری سطح آسفالت می شود، از طرف دیگر زمانیکه برف رشد و در اثر گرمای هوا یخ ذوب شود آب مانند روغن lubricant عمل می کند و سبب کاهش مقاومت خاک زیرین می گردد.



هر لایه ای دارای مدولی است که باعث می شود در برابر باربری مقاومت کند، در اثر ذوب شدن لایه یخ $M_R \propto E \downarrow$ resiliant modulus M_R کاهش می یابد و مقاومت تک لایه زیرین کم شده و ظرفیت باربری کم می شود.

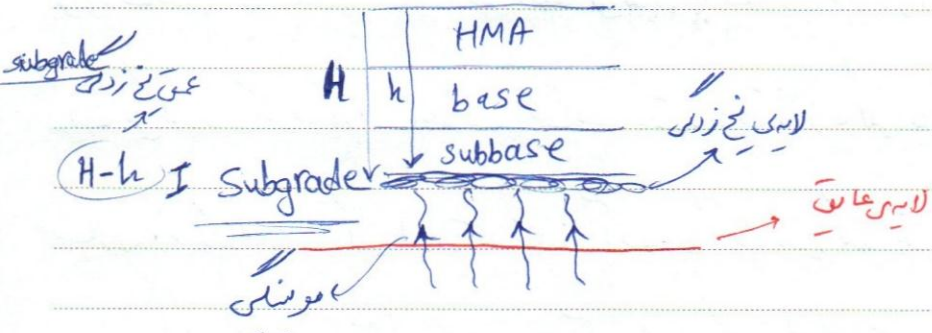
راهکارهای مقابله با Frost-heave

۱- ضخامت لایه های بالایی را طوری طراحی می کنیم که عمق یخبندان کم شود، اگر اصلاً عمق یخبندان به خاک بستر نرسد دیگر این مشکل را نخواهیم داشت.



۲- راه حل دوم برداشتن لایه ی زیرین و جایگزین کردن آن با خاکی که خاصیت مویینگی نداشته باشد.

۳ـ می دانیم آبی که برای ایجاد این مشکل است مقدار زیادی است و از طریق مویینگی بالا می آید. اگر به نحوی عبور این آب به سمت بالا را قطع کنیم (مثلاً یک لایه‌ی مصالح درشت بگذاریم تا مویینگی از بین برود یا اینکه یک لایه قیر اولسیونی بریزیم تا مانع عبور آب گردد.) پس لایه‌ی خاک زیرین را به جای subgrade خود برمی گردانیم.



۴ـ راهکار بنیادی نیست در این راه، لایه‌ای با لاتری را با توجه به مقاومت کاهش یافته‌ی لایه‌ی subgrade در اثر Frost-heave طراحی می کنیم و ضخامت بیشتری به آن می دهیم.

ناهمسان مقاومت در اثر رطوبت

حالت اول برگشت پذیر است.

نفوذ آب در اثر مویینگی → ① → برای ذرات به صورت روغن عمل می کند. → مقاومت مواد را کاهش می دهد.

② → این حالت دائم و برگشت ناپذیر است. → تغییر دادن / آبپس راندن به مواد روسازی به صورت دائم

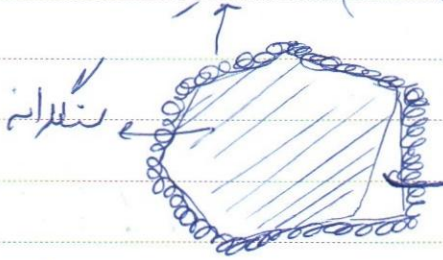
↳ مثال: عریان شدگی و جدا شدن قیر از سنگدانه ها یا ملاک ترک خوردگی

Stripping

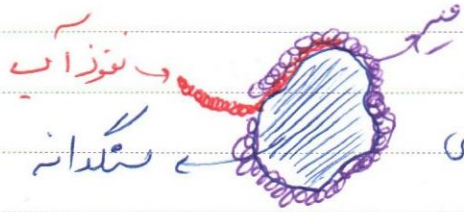
PAPCO

Subject :
Year . Month . Date . ( )

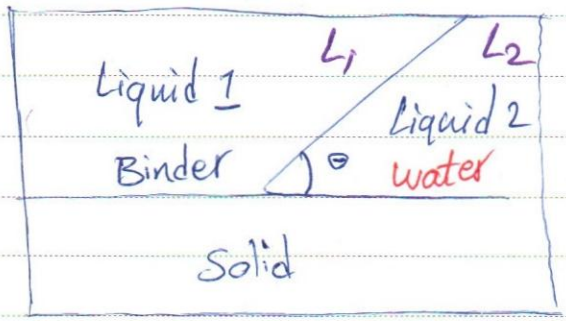
عریان شدگی (moisture related) stripping



برای ساختن ابتدا سنگدانه را با قیر مخلوط می‌کنند و آسفالت می‌سازند سپس با غلتک روی آن حرکت می‌کنند، اگر سنگدانه خوب انتخاب نشده باشند (پولکی باشد) آنگاه در هنگام شده سازی، سنگدانه ها ممکن است بشکنند و آب بین آنها نفوذ کند اگر سنگدانه آب دوست یا hydrophilic باشد، آب در اطراف آن حرکت می‌کند و کم کم قیر را از سطح سنگدانه جدا می‌کند.



برای نفوذ کردن آب، بین قیر و سنگدانه به یک انرژی لازم است. سیستم جداسازی مانند سیستم ۳ فازی است، این انرژی و نیرو توسط کشش سطحی پدید می‌آید



$$\gamma_{2S} > \gamma_{1S} + \gamma_{12}$$

موادی به نام Antistripping داریم که میزان روانی قیر را افزایش می‌دهند که بهتر سنگدانه را

Subject:

Year. Month. Date.

فیزیکوشیمایی ← physicochemical

در بر گیرد، کار دوس که انجام می دهد آن است که پیوند بین قیر و سنگدانه را بهبود می دهند.

oxidize HMA surface layer در اثر هوازدگی یا کهنه شدن قیر، قیر، چسبندگی آن کاهش می یابد و قیر حالت سخت و خشک پیدا می کند و این مسئله باعث می شود که سنگدانه و قیر باهم از سطح جاده در اثر عبور خودروها کنده شوند چون قیر مقاومت و چسبندگی کافی را ندارد.

خرابی دیگر bleeding است یا روزدگی قیر که این مسئله زمانی رخ می دهد که ما ترکیبی داشته باشیم که قیر آن بیشتر از حد باشد آنگاه در اثر نیرو سنگدانه ها می توانند روی هم حرکت کنند و مقاومت کافی را نداشته باشند و بعد از مدتی سنگدانه ها به سمت پایین حرکت می کنند و قیر روی سطح می آید و روی سطح را فرا می گیرد. علت دیگر استفاده از قیر نرم در محیط گرم است.

خرابی های روسازی بتنی صلب: (بتن)

۱- در اثر بارگذاری ← ترک های خستگی روی سطح بتن، کلاً تحت هر نوع بارگذاری در روی سطح



راه خمش ایجاد می شود و عامل ایجاد ترک و گسترش آن می گردد.

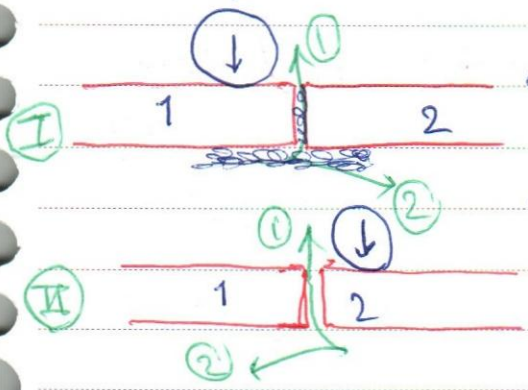
faulting ← اختلاف سطح ایجاد شده بین دو طرف ترک یا دو طرف درزهای اجرایی را faulting گویند. علت: زمانیکه آب بین درزها نفوذ می کند و مقداری از سطح زیر دال را می شوید

← از نوع خرابی ها در اثر بارگذاری

P4PCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

زمانیکه خودرو روی سطح راه حرکت می‌کند آب را به دو جهت می‌تواند حرکت دهد یکی به سمت بیرون



درز یعنی می‌کند و یا اینکه به زیر دال دیگری می‌فرستد به این پدیده

یعنی بیرون زدگی آب از بین دو دال را pumping گویند.

نهایتاً شسته شدن مواد از زیر لایه‌ی ۲ و حرکت به زیر لایه‌ی ۱

به دلیل جهت حرکت خودرو، عامل تجمع مواد زیر لایه‌ی ①، از این ارتفاع لایه‌ی ① و افت سطح لایه‌ی ② است. به این پدیده faulting گویند. معمولاً این پدیده در لایه‌ی plain JPCP رخ می‌دهد. از جمله موارد دیگری که به faulting کمک می‌کند ۱- temperature gradiant

۲- moisture gradiant است که سبب ایجاد curling در سطح بتن می‌گردد.

۳- عدم وجود dual bar ٤ که با رد این دو دال منتقل می‌کند، عامل دیگری است.

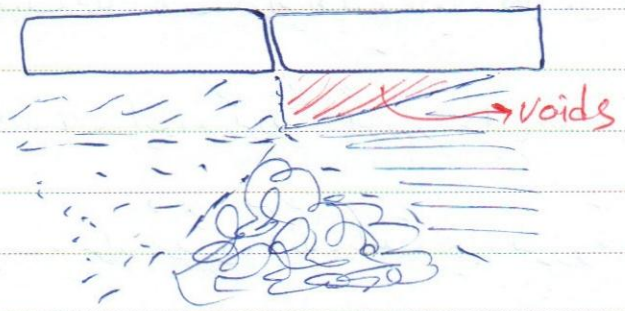
کلاً اگر اختلاف ارتفاع دو طرف faulting تا کمتر از 2.5 mm باشد احساس نمی‌شود

اگر بیش از 4mm اختلاف وجود داشت، باید برای آن کاری کرد مثلاً سطح آن را می‌توان

سایش داد و هموار کرد.

بعد از رخ دادن پدیده‌ی faulting زیربتن از دال ٤ خالی می‌شود و دال متن طره عمل

می کنند و می شکنند.



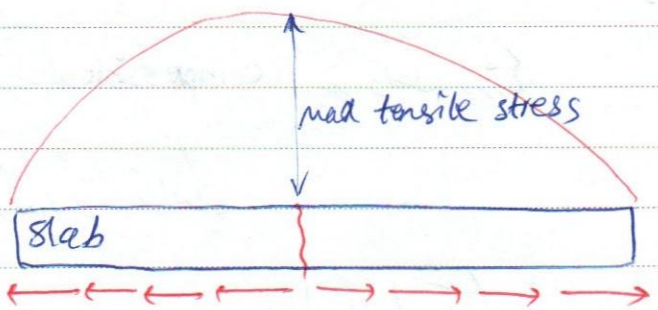
pumping پدیده‌ی مرتبط با رطوبت است. (تحت تأثیر رطوبت)

durability

پدیده‌ی دیگری که moisture related است cracking "D" است به آن "دوام" گویند

ترک‌های بسیار ریز و تقریباً هلالی هستند معمولاً نزدیک joint‌ها رخ می‌دهد و عامل ایجاد آنها رطوبت joint‌ها است. این ترک‌ها در اثر یخ زدن - ذوب شدن ذرات آبی است که در داخل بتن وجود دارد. در این پدیده دما هم اهمیت دارد پس moisture و temprature است. از جمله نشانه‌های این نوع ترک وجود رنگ تیره‌ی کلسیم هیدروکسید در ترک‌ها است.

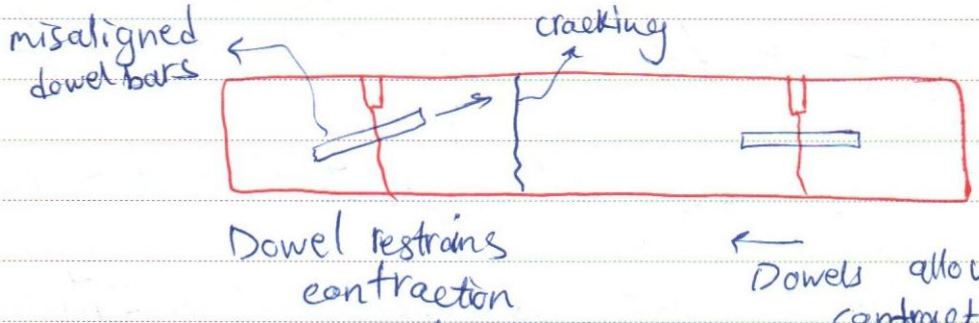
نوع دیگر خرابی temperature related است که اگر تغییرات دمایی به طور ناگهانی و شدید رخ دهد در وسط دال این ترک‌ها رخ می‌دهد:



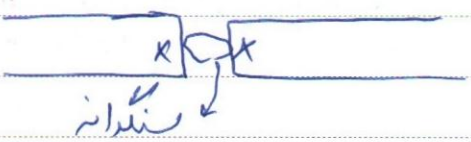
گاهی اوقات ممکن است در اثر افزایش دما، دال های بتن ماسبط گردد و نوعی نیروی expansive force ایجاد می گردد که اگر درز اجرایی مناسبی وجود نداشته باشد یا این درز ها توسط سنگدانه یا سایر مواد پر نشود، آنگاه باعث ایجاد ترک و تخریب بتن می گردد

به این نوع خرابی، spalling گویند که در محدوده ی 2ft از درز ها ایجاد می گردد

عوامل ایجاد: ۱- عدم قرارگیری کاملاً صاف میلگرد ها در داخل دال های بتنی



۲- دلیل دیگر عدم وجود seal یا عایق بین دو لایه است که یا نباشد یا از جنس خوبی نباشد که بعداً درز ها توسط سنگدانه ها پر می شود و به انبساط آزادانه ی دال ها اجازه نمی دهد.



۳- نفوذ مواد incompressible در داخل درز ها

۴- بارگذاری ترافیکی

۵- وجود مواد خاص در طرح اختلاط بتن که باعث ایجاد ترک ها می گردد.

Subject:

Year. Month. Date. ( )

عوامل پیشگیری و cure

۱- استفاده از مواد عایق بندی در داخل درزه ۲- استفاده از وصله یا patching استفاده

۳- وصله ها می‌توانند نیمه عمق یا تمام عمق باشند.

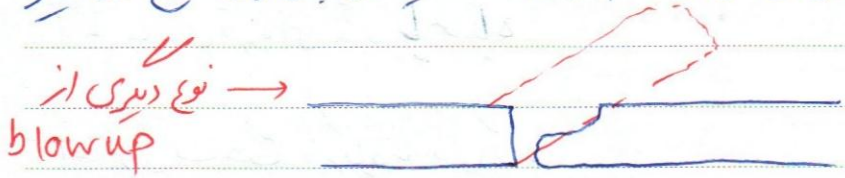
مورد دیگر از خرابی‌های مربوط با دما blow-up است که در روزهای اجرایی اجازه می‌دهد تا دال بتنی منبسط شود و بالا آمدگی رخ می‌دهد.



ممکن است هر دو خرابی فوق همزمان رخ دهد یعنی هم بالا آمدگی رخ دهد، هم لبه‌ی دو دال ترک بخورد.

عوامل ایجاد و سرعت گیری blowup

۱- وجود ترک ها در لبه‌ی دو دال می‌تواند اجازه دهد تا یک دال بتنی روی سطح دال دیگر بلغزد. ← "D" cracking



۲- ← از اسلاید ها مطالعه گردد.

P4PCO

Subject :
Year . Month . Date . ( )

مخلوط آسفالتی چیست؟ مواد آسفالتی چه هستند؟ چگونه آن را طراحی می‌کنند؟

Bitumin → آسفالت

Bituminous materials → مواد آسفالتی (قیری)

← مواد سیاه، قیره رنگ و مواد لیمانی شده

جامد، نیمه جامد یا ویسکوز ← بستگی به دمایی که دارد

یا طبیعی وجود دارند، یا به شکلی طبق پروسه‌ی ساده‌ای تولید می‌شوند

دارای ساختار هیدروکربن پیچیده‌ای هستند.

و تقریباً همگی آنها در کربن دی سولفید حل می‌شوند.

Eample & tar, pitch, asphalt binder, ...

& asphalt binder

۱- ماده‌ی قهوه‌ای قیره یا سیاه

۲- برای ساخت بزرگراه یا فرودگاه

۳- طبیعی است یا از تقطیر نفت خام در پالایشگاه به عنوان سنگین‌ترین ماده‌ی فرآورده‌ی نفتی

۴- separation یا از تقطیر جزء به جزء

P4PCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

نفت خام زمانی که خارج می‌شود حاوی مقدار زیادی آب و نمک است. در پالایشگاه با حرارت دادن نفت خام مواد هیدروکربنی مثل بنزین و سوخت جت و... بخار می‌شود و جداسازی صورت می‌گیرد سپس قیر در پایان باقی می‌ماند. قیر دارای خصوصیاتی است که تابع نفت خام نوع و منبع اولیه‌ی آن است مثلاً نفت کشورهای عربی دارای 7.2٪ مواد قیری و آسفالتی است.

۲- تکنولوژی و پروسه (دما) این که در ساخت قیر کاربرد دارد در ویژگی آن تأثیرگذار است.

۳- اصلاحاتی که در ساخت قیر صورت می‌گیرد مانند مواد افزودنی که به قیر اضافه می‌گردد مثل افزودنی پلیمری یا با هوادهی قیر که باعث بالا رفتن ویسکوزیته قیر می‌شود که در جاهایی کاربرد دارد که از قیر در هوای گرم می‌خواهیم استفاده کنیم و بهتر است قیر ما سفت‌تر باشد. air blown

یک پروسه به نام کوکینگ وجود دارد که به پالایشگاه اجازه می‌دهد قیر را به بنزین، سوخت جت و کوک یا زغال سنگ تبدیل می‌کند که این مسئله باعث افزایش قیمت قیر شده است.

Tar قار

برخلاف قیر دارای یک فرایند تقطیر تخریبی است که مولکول‌های هیدروکربن را می‌شکند که یک تغییر شیمیایی بر روی مولکول‌ها صورت می‌گیرد، این فرایند روی زغال سنگ، چوب، نفت و... صورت می‌گیرد.

P4PCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

پروسه‌ی گران تیت

تار دارای یک بوی تند است که ممکن است برای چشم و پوست حساسیت ایجاد کند.

تار دارای حساسیت حرارت بالاتری نسبت به قیر دارد مثلاً قیر سن ۰ تا ۱۰ دارای ۳ تا ۴ نیاز است ولی تا حدی از قیر حساس تر است.

از آنجایی که تار گران تر و خطرناک تر برای سلامتی است خیلی استفاده نمی شود ولی دارای یک خصوصیت خوب است که در داخل نفت و بنزین حل نمی شود، مثلاً در جاهایی مثل فرودگاهها یا مثلاً پمپ بنزین ها و جاهایی که احتمال ریختن سوخت روی روسازی وجود دارد از آن استفاده می کردند.

آسفالتایت: asphaltite

خیلی شبیه به قیر است ولی خیلی سخت تر است. در طبیعت به صورت رگه هایی در صخره ها دیده می شود.

برای استفاده از آن چون خیلی نفت و سخت است ابتدا باید آن را در یک ماده‌ی حلال، حل کرد و بعد به عنوان قیر از آن استفاده کرد. از دیگر استفاده های آن در رنگ سازی و جوهر سازی است

به آن Gilsonit نیز می گویند ← نام اولین فرد استفاده کننده از آن

Subject:

Year. Month. Date. ( )

بیوآسفالت Bio-asphalt

نوعی آسفالت است که در اثر یک فرایند شیمیایی روی مواد غذایی مثل شکر، برنج، ذرت و ... ایجاد می‌گردد و قابلیت رنگ پذیری است و به جای رنگ قیره و سیاه می‌توان به آن رنگ داد و برای زیبایی استفاده کرد.

مشکله دیگر heat island است شاهد های زیادی انسان در یک محدوده‌ی کوچک زندگی می‌کنند تولید گرمای زیادی می‌کنند، اگر مطح راه این منطقه تیره باشد ممکن است در اثر جذب انرژی خورشیدی دمای شهر چند درجه افزایش یابد مثلاً از 40 به 45° برسد و peak مصرف انرژی برای خنک کردن در شهر بالا برود و برای مردم شهر از نظر سلامتی مشکل ساز گردد. برای جلوگیری از افزایش دما می‌توان از بیوآسفالت استفاده کرد.

مواد آسفالتی Bituminous mixture

مخلوطی از سنگ دانه و قیر است که پس از فشرده سازی مقداری هوا در داخل آن باقی می‌ماند.

Heat → HMA حرارت دادن قیر سبب مایع و روان می‌گردد دما 150° 130° c در compaction

Emulsion ← برای استفاده از قیر در روسازی باید به نحوی ویسکوزیته را کاهش داد

ذرات قیر را در آب به نحوی حل کنیم با استفاده از افزودنی

اگر از سوخت برای حل کردن قیر استفاده گردد به آن کوتبک cutback گویند

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

نوع دیگری از آسفالت warm mixed asphalt است که دمای mixing تقریباً حدود ۲۰ - ۳۰ پایین تر است برای اینکه قیر به خوبی نرم گردد باید به دمای 150° برسد ولی می توان با اضافه کردن نوع خاصی افزودنی در دمایی مثل 120° به همان مقدار ویسکوزیته رسید.

مزایا: ۱- چون حجم مصالح و دستگاه بسیار بالا است با کاهش 30 درجه ای دما مصرف انرژی بسیار کاهش می یابد. ۲- قیر در دمای 150° شروع می کند به دود کردن و آلاینده ها را وارد هوا می کند ۳- بحث دیگر کار اجرایی است قبلاً در جاهای سرد، یا در جاهایی که محل تولید آسفالت با محل اجرا فاصله دارد می توان از warm mix آسفالت استفاده کرد.

مخلوط آسفالتی چگونه طراحی می گردد؟

چه مواردی را انتخاب کنیم؟ به چه میزانی؟ ← پس سازه را طراحی می کنیم.

پارامترهای مهم:

۱- عملکرد performance ۲- هزینه cost

← می خواهیم cost-Benefit ما حداکثر گردد.

برای طرح اختلاط ← ابتدا نوع سنگدانه را انتخاب می کنیم. پس قیر را انتخاب

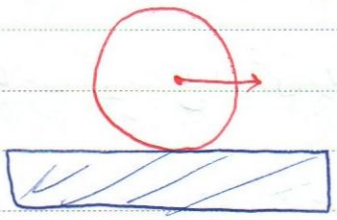
Subject:

Year. Month. Date. ( )

می کنیم ← با توجه به شرایط آب و هوایی و دما - با توجه به شرایط ترافیکی راه

- باید میزان یا نسبت قیر به سنگدانه را پیدا کنیم.

- باید مطمئن شویم مخلوط آسفالتی مناسب است ← با آزمایش در آزمایشگاه



یک چرخ به صورت سیکلی روی آسفالت ←

حرکت می کند و صرفاً نوعی آزمایش Industary oriented

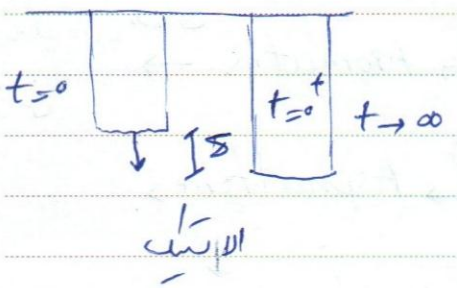
است و به ما نتایج زیادی نمی دهد و نقطتان دهنده ی مقاومت در برابر شیار شدگی یا

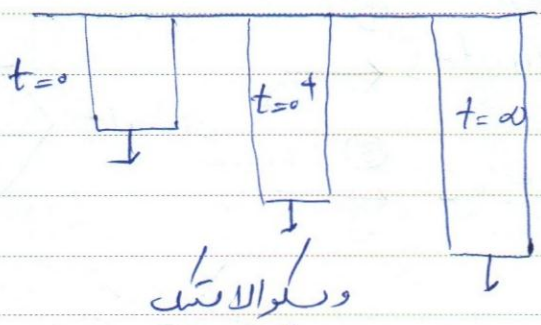
Rutting resistance

قیر را بهتر بشناسیم:

قیر طی پروسه ای در آزمایشگاه ساخته می شود.

رفتار قیر ویسکوالاستیک است ← رفتارش وابسته به زمان است.



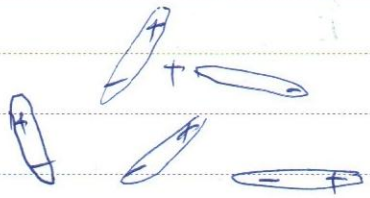


P4PCO

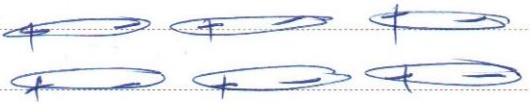
Subject:
Year. Month. Date. ( )

از عواملی که باعث سخت شدن قیر می‌گردد هوازدگی یا oxidization است.

قیر داخلی مولکول‌های قطبی است، هنگامی که حرارت می‌دهیم مولکول‌های قیر به صورت نامنظم در می‌آیند طبق اصول ترمودینامیک زمانی که آسفالت می‌خواهد سرد شود مولکول‌ها تمایل دارند به پایین‌ترین سطح انرژی برسند که در حالتی رخ می‌دهد که موازی هم قرار گیرند.



حالت نامنظم در دمای بالا



حالت منظم و پایدار

steric hardening

Chemical makeup

ترکیب شیمیایی قیر

90-95 ٪ hydrocarbons
5-10 ٪ hetro atoms (N, O, S)
1٪ metals

از نظر شیمیایی پایدارند

① Saturates

② Aromatics → آروماتیک دارای حلقه‌های بنزنی

③ Resins

④ Asphaltenes → ساختار پیچیده و وزن مولکولی بالا

Asphalt

SARA

Subject :

Year . Month . Date . ( )

از بین ۴ عامل صفحه‌ی قبل، مولکول‌های آسفالتین هستند که دارای خاصیت قطبی هستند بقیه غیرقطبی (apolar) هستند به موارد ① و ② و ③ Maltenes گویند

(apolar)

آسفالتین در سه جزء دیگر حل است. آسفالتین مولکول بسیار رنگین است و عامل structure و strength در قیر ما همین آسفالتین است. اگر آسفالتین جدا گردد قیر به شکل روغن در می‌آید. افزایش بیش از حد آسفالتین سبب ایجاد حساسیت در برابر شکستن می‌گردد.

رزین ← قطبی نیست. در دمای اتاق حالت نیمه جامد دارد، در دمای بالا به صورت مایع در می‌آید. رزین خصوصیت چسبندگی و شکل‌پذیری را به قیر ما می‌دهد و عامل Viscosity و روان در قیر ما است.

پروسه‌ی آنالیز شیمیایی قیر در مقیاس میکروسکوپیک یک پروسه‌ی بسیار گران قیمت و زمانبری است اما در حد علم بوده که به ما بگوید تغییر دما چه تأثیری روی مواد ما می‌گذارد برای ما مفید است.

اگر درصد مواد ما در قیر تغییر کند روی مسائل مختلف تأثیر گذار است.

oxidative & Steric hardening

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

performance (Rutting, fatigue cracking, & moisture damage)

سائل مانند دما، هوازدگی، انجماد، رطوبت، حرارت روی مشکلات بالا تأثیر می‌گذارد.

litte associated soft	well balanced viscoelastic	highly associated Brittle

Time, aging, cooling →
← moisture, Heating

Quality controll مراحل امولسیون:

دارای دو بخش ۱- قبل از اجرا ۲- بعد از اجرا است. باید بدانیم در مراحل امولسیون چه درصدی آب وجود دارد مثلاً چون چگالی قیر و آب کم است ممکن است کارخانه به جای 30٪ از 50٪ آب استفاده کند که باید مطمئن شویم که قیر مصرفی امولسیون ما با کیفیت است یا نه، مشکل بعدی چک کردن Viscosity است که از وسیله‌ی in-line-Viscometer استفاده می‌گردد.

بعد از اجرای روسازی هم باید مطمئن شویم قیر اجرا شده کیفیت مطلوبی داشته است یا نه.

Subject:

Year. Month. Date. ( )

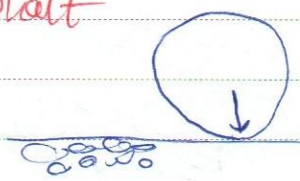
Recycled asphalt pavement

- Recycling — RAP (old HMA)
- warm mix — 30°C ↓ → آلودگی محیط زیست کمتر
- poroas Asphalt → reduces noise ↓
- Right M & R strategies

تولیدی پایدار

Sustainability

porous asphalt



زمانیکه از آسفالت متخلخل استفاده گردد مقدار زیادی از آلودگی صوتی damp می‌گردد و آزاد نمی‌گردد.

خوبی دیگر آسفالت متخلخل آن که آب بهتر از سطح جاده به کناره‌ها و پایین منتقل می‌گردد در نتیجه مشکل پاشیدن آب به کناره‌های راه منتفی می‌گردد (splashing) که ایمنی راه را بالا می‌برد.

معایب: ۱- هوازدگی بیشتر است ۲- دانه‌بندی دقیق است و سطح تماس سنگدانه‌ها کمتر است پس قیر ما باید قیر با کیفیت‌تری گردد که باعث افزایش هزینه‌ی راهسازی می‌گردد.

۳- از جمله عیوب دیگر آن است که منافذ روی سطح راه پر شود و دیگر نه آب را به خوبی زهکشی کند و نه از آلودگی صوتی جلوگیری کند.

PAPCO

Encalc کتاب
Subject: SARA گزارش
Year. Month. Date. ( )

چگونه اجزای تشکیل دهنده قیر را با استفاده از حلال های مختلف می توان جدا کرد؟

مسئله ی دیگر استفاده کردن از تابرخوردگی در تولید قیر است که تابرخی را بوجود می آورد و چون ماده ی الاستیک است در بهبود شرایط ملاتیکی خاک تاثیر گذار است.

مسئله ی دیگر در توسعه ی پایدار life cycle Analysis است که بسنجیم کدام یک طول عمر بیشتر و هزینه ی پایین تری دارد و کدام strategy بهینه تر است.

بررسی اینکه چه موادی در قیر و asphalt binder استفاده می گردد

برای اینکه اجزای مختلف قیر را بسنجیم از کروماتوگرافی chromatography استفاده می گردد

مثلاً روش دیگر حل کردن قیر در پروپان است که تمامی اجزای آن حل می شود به جز آسفالتین پس می توان درصد آسفالتین آن را پیدا کرد. براین عمل deasphalting یا آسفالت زدایی کردن (آسفالتین) گویند. ماده ای که به صورت روغنی از این کار حاصل می گردد به عنوان روغن صنعتی استفاده می گردد.

وقتی از پروسه ی deasphating استفاده می گردد در انتها ۱- آسفالت رسوبی ۲- روغن صنعتی داریم. آسفالت رسوبی آسفالت بسیار سختی است و به تنهایی از آن استفاده کردن کار جالبی نیست و معمولاً در اصلاح آسفالت های نرم و ستاومت دادن به آنها استفاده می گردد.

AFM ← atomic Force Microscopy در این روش یک نوع میله ی طره ای با نوک تیز

Subject :

Year . Month . Date . ( )

کم است که روی یک لایه‌ی نازک قیر حرکت کرده و سطح آن را scan می‌کند و جنس مواد روی لایه را می‌تواند تشخیص دهد و نهایتاً درصد هر یک مشخص گردد.

NCAT → national center asphalt technology

فصل ۲ : قیر و خواص آن (مهم) فصل ۳ : سنگدانه

فصل ۴ : Mix design

فصول مهم کتاب Hwang

فصل ۱ : کلیات فصل ۲ : تنش فصل ۷ : مواد روسازی

فصل ۷ : عملکرد روسازی (و خرابی) فصل ۱۱ : طراحی روسازی انعطاف پذیر

در روش گرومانو گرافی قیر را از یک ستون تا ته عبور می‌دهند تا ببینند اجزای قیر چگونه‌اند



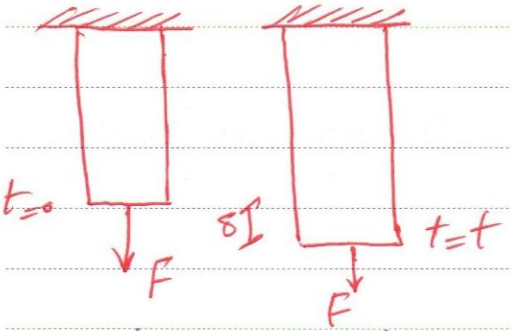
P4PCO

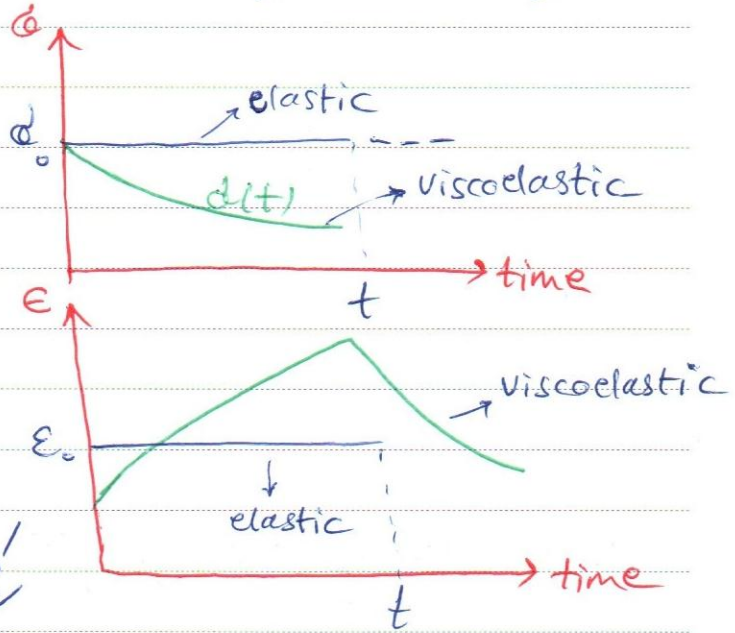
Subject :
Year . Month . Date . ( )

خصوصیات رئولوژی : ویژگی‌ها و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مواد را گویند.

Review_Time dependent response

مواد الاستیک در بارگذاری در یک زمان خاص یک کرنش ثابت دارد ولی ویسکوالاستیک متغیر است



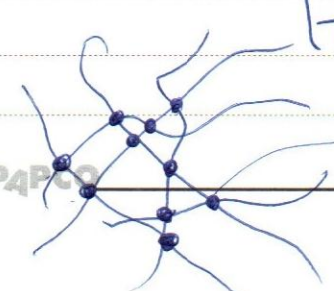


در مواد ویسکوالاستیک چون مولکول‌ها روی هم می‌لغزند کرنش از جایی به بعد کاهش می‌یابد که به آن relaxation گویند و این مسئله باعث کم شدن تنش می‌گردد.

$$\text{Elastic}: E = \frac{\sigma}{\epsilon} \qquad \text{visco}: E_r(t) = \frac{\sigma(t)}{\epsilon_0}$$

$E_r(t)$ ← relaxation modulous

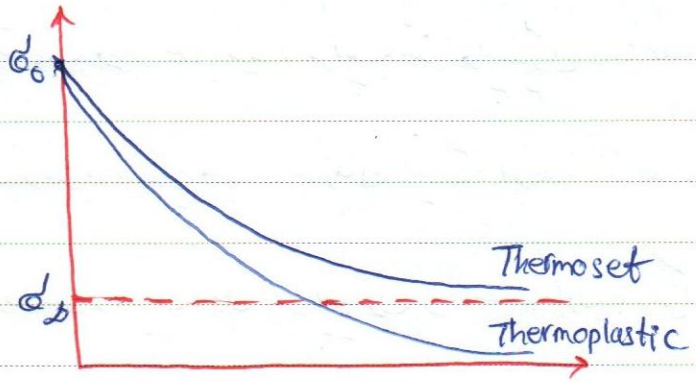
viscoelastic
- Thermoplastic : شاخه‌ای هیدروکربن که با هم cross link ندارند می‌توانند به راحتی روی هم بلغزند.
- Thermoset : برخلاف ترموپلاست‌ها، دارای cross link هستند و این مسئله جابجایی ذرات را محدود می‌کند.

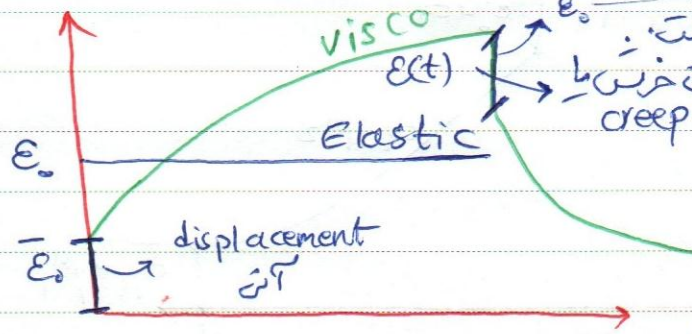


P4PCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )





$\bar{\varepsilon}_0$ ← در زمان بارگذاری هم کرنش آنی داریم که مربوط به المان اولیه است.

$\varepsilon(t)$ ← کرنش‌ها تست خزش یا creep

Elastic مدول نرمی

$E=\frac{\sigma}{\varepsilon}$, $D=\frac{\varepsilon}{\sigma}$

$\varepsilon_{nr}=\varepsilon_p$ ← کرنش غیرقابل برگشت

$D=\frac{1}{E}$

در مواد Vico نمی‌توان گفت

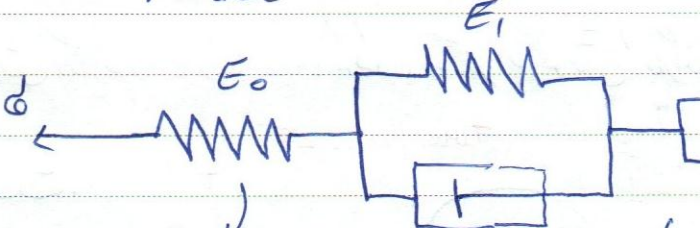
$D=\frac{1}{E}$

Viscoe

$D(t)\neq\frac{1}{E(t)}$ ← $D(t)=\frac{\varepsilon(t)}{\sigma_0}$

یکی از روش‌ها که می‌توان رفتار ماده را بررسی کرد استفاده از mechanical model است که ترکیبی از فنر و دشپات است.

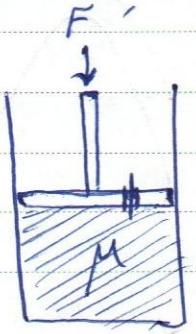
dashpot spring



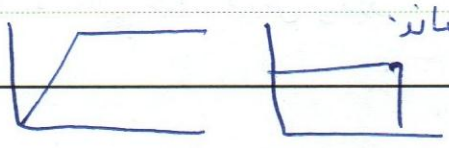
مدل برگر

این قسمت از فنر E_0 با displacement آنی $\bar{\varepsilon}_0$ را مدل می‌کند.

این قسمت ε_{nr} یا کرنش باقی‌مانده غیرقابل برگشت را مدل می‌کند.



رفتار پیستون به F و M بازه‌ی زیر آن بستگی دارد و وقتی که بارگذاری شود در آن حالت مشخص باقی می‌ماند.

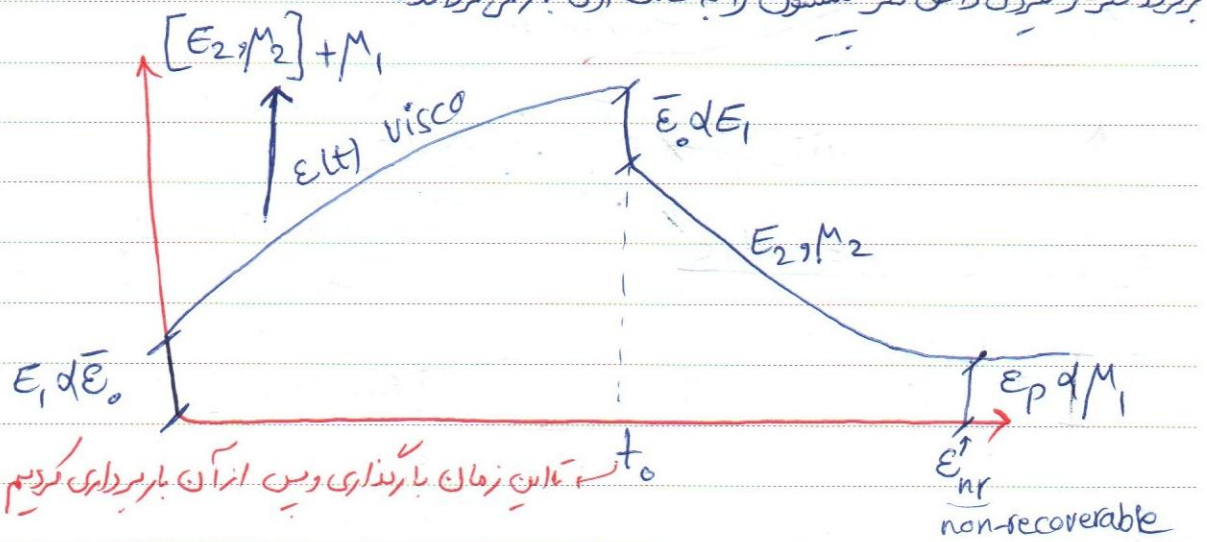


PAPCO

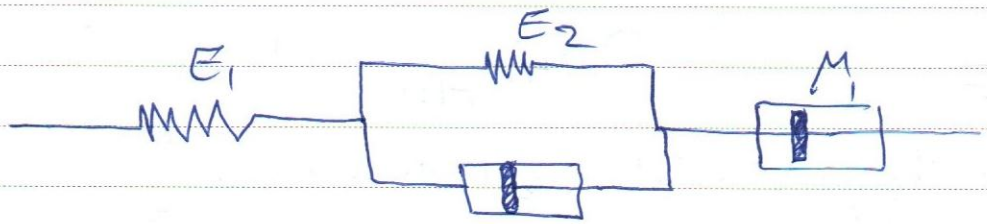
Subject :
Year . Month . Date . ( )

در قسمت میانی مدل برگر، ترکیب فنر و پیستون به ما کمک می‌کند که رفتار وابسته به زمان تولید لزجوان به پیر

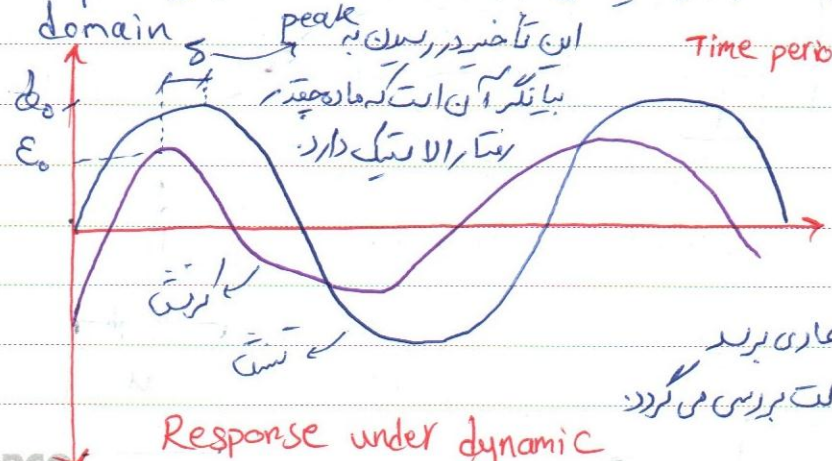
رفتار فنر به تنهایی وابسته به زمان نیست از طرفی اگر بخواهیم کرنش ایجاد شده در پیستون به حالت اول برگردد فنر و نیروی داخل فنر پیستون را به حالت اول باز می‌گرداند.



تا این زمان بارگذاری و پس از آن باربرداری کردیم.



روش دیگر بررسی رفتار ماده به کمک رفتار پیستونی بارگذاری و با استفاده از Frequency



این تأخیر در رسیدن به پیک بیانگر آن است که ماده چقدر رفتار الاستیک دارد.

Time period = T = 1/f

است.

زمانیکه بارگذاری cyclic داریم 10 - 20 دور اول صرفاطول می‌کشد تا رفتار ماده به حالت عادی برسد پس رفتار ماده در این حالت بررسی می‌گردد.

P4PCO

Subject:

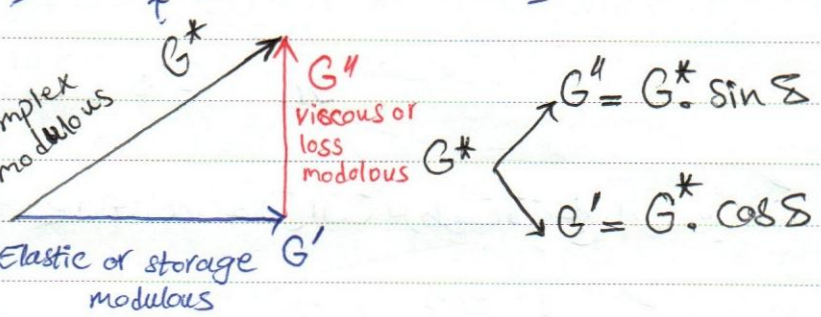
Year. Month. Date. ( )

$G^* = \frac{\sigma_P}{\varepsilon_P}$ ← peak

شاخصی دیگری که از رفتار cyclic بدست می‌آید

اگر تأخیر فاز صفر باشد، کل رفتار ما، رفتار الاستیک است.

ترکیبی از دو مؤلفه‌ی ویسکوز و الاستیک



اگر فرکانس بالا برود $f \uparrow \Rightarrow G^* \uparrow \quad \delta \downarrow$

برای فنر فرقی نمی‌کند که f بالا برود ولی بیتومن عملاً از دور خارج می‌شود.

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی قیر است که رفتار مخلوط آسفالتی را دیکته می‌کند که تابعی است از دما

۲- و سرعت و فرکانس بارگذاری ما.

- Tempreture
- loading Rate

مسئل شیارشدگی ایجاد می‌گردد. قیر نرم { $G^* \downarrow$, $\delta \uparrow$ } در محیط گرم استفاده شود

در نمودار صفحه‌ی قبل هرچه δ بیشتر باشد ماده ویسکوزتر است.

و ما باید دانش و بزرگی کمی قیر داشته باشیم تا بتوانیم قیر مناسبی را با توجه به شرایط آب و هوایی برای روسازی انتخاب کنیم.

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

↑Δ G*↓

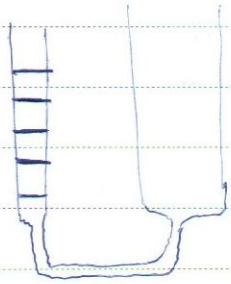
اگر از یک نوع قیر نرم استفاده کنیم، مشکل Rutting یا شیارشدگی اتفاق می افتد. اگر قیر حالت سخت و شکننده داشته باشد مشکل ترک های خستگی و ترک های دمایی دارد. low temperature cracking

↓Δ G*↑

حالتی است که رطوبت قیر سطح را می شوید و سنگدانه ها از قیر خارج می گردد و باعث عریان شدن دانه های سنگی و نهایتاً کنده شدن سنگدانه و ایجاد pot hole است. راه حل آن است که patching کنیم و وصله بزنیم یعنی حفرات را قیر می کنیم و در آن محل آسفالت جدید می ریزیم.

Mechanical properties of binder

۱- classical approach روش کلاسیک که با توجه به میزان نفوذ سوزن در داخل قیر است و روش های دیگری هم دارد...



۲- viscosity grade اندازه گیری ویسکوزیته و گرانروی قیر

۳- performance grading G* ، δ

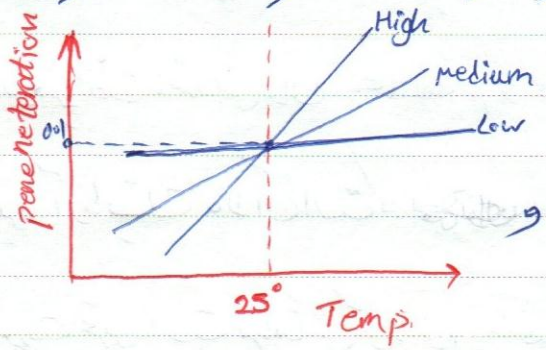
Subject:

Year. Month. Date. ( )

Classical approaches

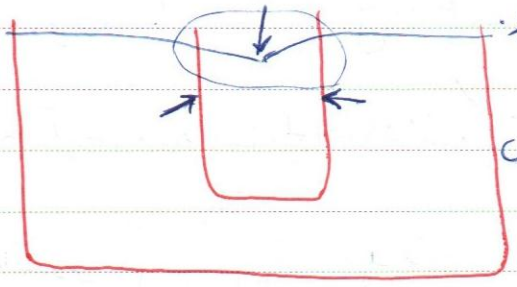
۱- آزمایش Ring & Ball : شامل یک حلقه‌ی فلزی است (شبیه یک دونات توخالی) که داخل آن قیر می‌ریزیم و سطح آن را صاف می‌کنیم و در حمام آب قرار می‌دهیم تا گرم شود. سپس با قرار دادن حرارت زیر حمام آب کم‌کم قیر نرم می‌شود و deform می‌شود و با چسباز حلقه عبور می‌کند دمایی که توپ از حلقه بگذرد آن دمای نقطه‌ی نرمی است. اگر اختلاف دمای دو حلقه بیشتر از دو درجه‌ی فارنهایت باشد آزمایش باید تکرار گردد. این آزمایش در اروپا برای راهسازی استفاده می‌شود و در آمریکا برای کنترل آسفالت پوشش نقف استفاده می‌گردد.

۲- آزمایش peneteration Test : با قرار دادن سوزن استاندارد که روی آن وزنی معادل است میزان نفوذ یافت می‌شود، با توجه به نفوذ می‌توان نرمی یا سختی قیر را تشخیص داد. قیر یک ماده‌ی دارای حساسیت حرارتی است و این یعنی چند قیر ممکن است در یک دما دارای نفوذ یکسان باشند ولی در کل دارای شیب متفاوتی هستند.



در دمای 4°C به دلیل سختی بیشتر قیر از وزنه‌ی 200g و زمان 60 ثانیه استفاده می‌گردد.

اندازه و ابعاد ظرف برای ما اهمیت دارد زیرا روی deformed shape ما تأثیر می‌گذارد. اگر نمونه کوچک باشد و تَرَک‌های جداره‌ای نمونه روی نفوذ تأثیر می‌گذارد.



نهایتاً، بعد از انجام آزمایش می‌توان حضور صدمات نفوذی را به وَتَرَک‌های رفتاری قیر ربط داد. مثلاً قیر نرم در هوای سرد استفاده می‌شود و قیر سخت در هوای گرم مورد استفاده است. درجه‌ی نفوذ قیر را با درعددی مثل 40-50 نشان می‌دهند یعنی نفوذ بین 4 تا 5 mm است. هر عدد درجه برابر 0.1 mm نفوذ است. مزایا: تست بسیار بسیار ارزان است و دستگاه را به راحتی می‌توان به محل آزمایش انتقال داد.

روش دیگر اندازه‌گیری viscosity استفاده از rotational viscometer است که یک paddle است که داخل قیر می‌چرخد که آزمایش خوبی نیست زیرا انرژی و Torque بالایی می‌خواهد و اگر قیر سخت باشد نمی‌توان paddle را بچرخانیم.

ایراد آزمایش بالا آن است که خیلی وَتَرَک‌های قیر را به صورت علمی بررسی نمی‌کند و به صورت تجربی است نهایتاً می‌گوید نرم یا سخت است و از طرف تست penetration به دلیل محدوده

Subject:

Year. Month. Date. ( )

دمایی که دارد نمی‌تواند برای دمای بالای مثلاً 60° استفاده شود پس اطلاعاتی که به ما می‌دهد درد Mixing نمی‌خورد.

برای اندازه‌گیری حساسیت دمایی از شاخص PI استفاده می‌گردد.

$$PI = \frac{20 - 500A}{1 + 50A}$$

A: Slope of the line

$$A = \frac{\log pen@T_2 - \log pen@T_1}{T_2 - T_1}$$

$\log 800 = 20$

$-10 \leq PI \leq 20$

$T_{R\&B} = T_{800}$

$T_{R\&B}$ → ring & ball (دمای نقطه‌ی نرمی)

High Tempreture susceptibility ⇒ low PI

PI<-2 is considered highly tempreture susceptible → Thermal cracking

PI را می‌توان به سختی قیر ربط داد که سختی خود تابعی از دما و زمان بارگذاری نیز می‌باشد.

PI ⟶ Stiffness

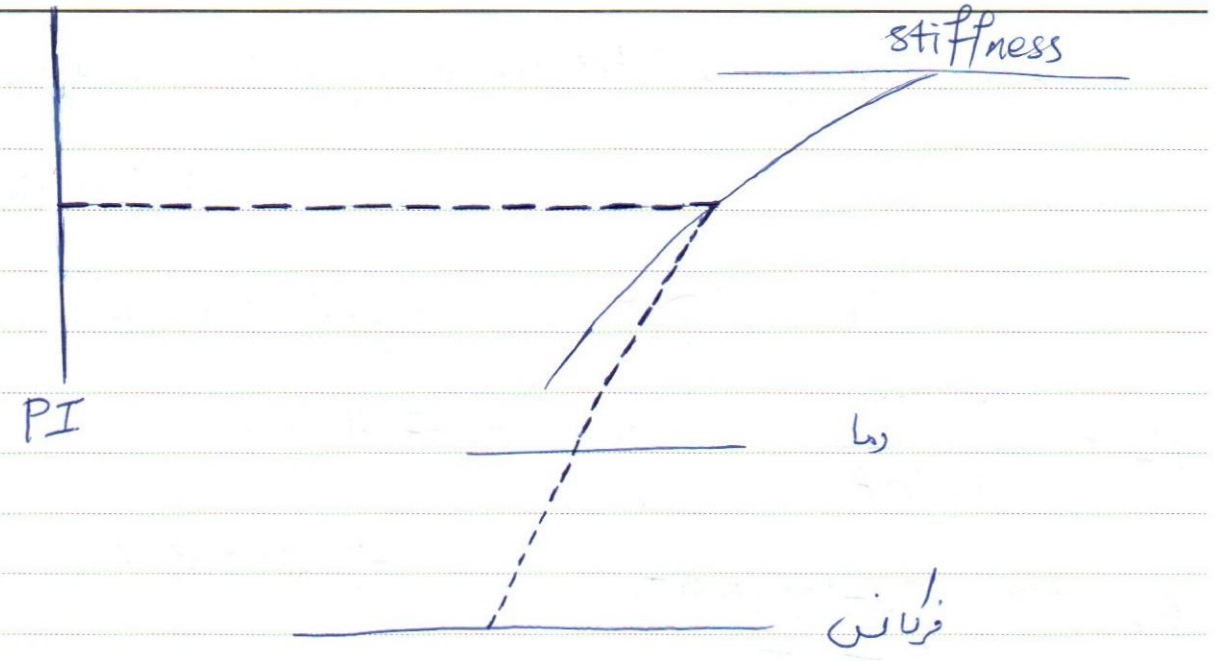
Temp

Time of bading

آقای به نام Van der poel این کار را انجام داد و به یک nomograph دست پیدا کرد.

Subject :

Year . Month . Date . ( )



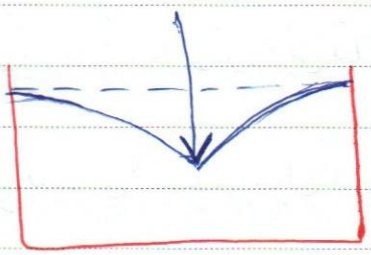
فرکانس که بالا می‌رود سختی (stiffness) بالا می‌رود. رها بالا می‌رود سختی کم می‌شود.

آسفالت تابعی از سختی قیر و سنگدانه‌ها می‌باشد که آن هم در یک نمودار بیان می‌گردد. stiffness

Subject:

Year. Month. Date. ( )

در آزمایش peneteration Test اگر تغییرشکل ها بالا باشد باید از ظرف بزرگتری استفاده شود زیرا جداره ای کناری ظرف ممکن است روی تغییرشکل ها تأثیر بگذارد.



PI یا peneteration Index شیب خط نفوذ-دما است و معمولاً در دمای ring & ball بدست می آورند. $T_{R\&B} = T_{800}$

PI کم بیانگر حساسیت حرارتی بالا است و طبق تجربه PI < -2 مقدار خطرناکی است و احتمال Termal cracking وجود دارد.

قیر یک ماده ویسکوالاستیک است و سختی آن به موارد زیر بستگی دارد:

- Rate of loading
- Temp
- Material property

} → به این دو پدیده جانگاه شده است.

بعد از بدست آوردن سختی قیر به سراغ محاسبه ی سختی آسفالت می رویم که سختی آسفالت به قیر و درصد سنگدانه ی آن بستگی دارد.

روش Viscosity Grade درجه‌بندی گرانروی

محاسبه‌ی گرانروی جزو خصوصیات بنیادی مواد است و هدف از این روش محاسبه‌ی یک پارامتر علمی و جایگزین کردن آن با روش تجربی قبلی می‌باشد.

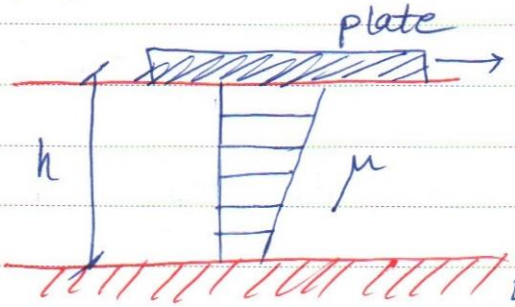
ویسکوزیته مقاومتی است که سیال در برابر حرکت از خود نشان می‌دهد. دو نوع گرانروی داریم:

1) Absolut مطلق

2) Kinematic کینماتیک

مقاومت حرکتی سیال تحت تأثیر وزن آن

وقتی داخل یک بالابشر باید گرانروی مطلق را حساب کرد ولی در روغن‌های بالاکه قبر خیلی نرم شده است



ویسکوزیته Kinematic ← $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

$\tau = \mu \frac{du}{dy}$ $\frac{\tau}{\dot{\varepsilon}} = \mu$

مسائل روسازی بر مبنای ویسکوزیته مطلق می‌باشد.

* یکی از روش‌های محاسبه‌ی ویسکوزیته مطلق استفاده از لوله‌ی مویینه است که روی آن نشانه‌هایی Timing Mark وجود دارد که براساس زمان میزان گرانروی را محاسبه می‌کند.

روش دیگر RV یا Rotational viscometer که یک پره یا میزان گشتاور یا Torque

Subject:
Year. Month. Date. ( )

مشخص شروع به چرخیدن در داخل قیر می‌کند، با توجه به میزان چرخش گرانروی محاسبه می‌گردد.

برای بیان کردن وسیله قیر یک دسته بندی کلی وجود دارد که دارای 3 جدول است که در ASTM D3381 و اسلایدهای درس موجود است. اگر قیر پیر نشده باشد با AC نشان می‌دهند. و اگر پیر شده باشد AR ← Aged residue.
↳ Asphalt concrete

هوازدگی یا oxidization واکنشی است که آسفالت با هوا انجام می‌دهد و سبب سخت شدن قیر می‌گردد. پیرشدگی دو نوع است: ۱- کوتاه مدت ← در ساخت و ساز به وجود می‌آید و دمای بالا و زمان کوتاه در حد ۳-۲ ساعت است. ۲- بلندمدت ← در عمر راه مثلاً ۱۰ سال به مرور رخ می‌دهد.

برای بدست آوردن پیرشدگی کوتاه مدت و مدل کردن آزمایشگاهی از روش Thin Film oven Test است که قیر را روی یک سینی مشخص به میزان یک لایه‌ی نازک قرار می‌دهند و برای 5 ساعت در دمای 163°C قرار می‌دهند (TFOT)

روش دیگر (RTFO) Rolling thin Film oven که دارای محفظه‌ای برای شیشه‌های مشخص وجود دارد که در داخل هرکدام از شیشه‌ها 35 g قیر می‌ریزیم. شیشه‌ها از قبل باید کاملاً توسط حلال

شسته شده و تمیز باشند. در حالتی که دستگاه می چرخد در داخل آن هوا می دمند. در آزمایش TFOT عین که وجود داشت این بود که فقط یک قیر هوازده می شد و یک لایه مثل سرشیر روی آن ایجاد می شد ولی در این روش جدید تمام قیر هوازده می شود. زمان کاهش می یابد و aging بیشتر می گردد ولی عیب آن سخت بودن خروج مواد قیری از داخل لوله های شیشه ای است.

روش سوم ← SAFT stirred air Flow Test

دارای یک لوله است که از آن هوا به داخل قیر وارد می شود و دارای یک پره است که می چرخد و هوا را با قیر مخلوط می کند هر بار 250 g می توان آزمایش کرد، دما همان 163° است و زمان به 30 دقیقه کاهش پیدا می کند.

برای مدل کردن پیرشدگی بلندمدت در آزمایشگاه از دستگاهی به نام PAV یا pressure aging vessel استفاده می کنند. در داخل دستگاه تا ۱۰ سینی می توان قرار داد که روی هر سینی باید 50g قیر ریخته شود پس سینی را داخل یک محفظه قرار می دهند که تحت فشار قرار دارد برای این کار قیر را برای مدت 20 ساعت در فشار 2.1 Mpa نگه می دارند. اول باید قیر را توسط RTFO پیرشدگی کوتاه مدت را انجام داد پس قیر پیرشده کوتاه مدت را روی سینی قرار می دهند.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

احتمال داخل قیر حباب های هوا وجود دارد که برای ازبین بردن حبابهای هوا دما را تا حد 150 یا 140 بالا می برند تا قیر به خوبی مایع شود و حبابهای هوا خارج گردد.

واحد ویسکوزیته poise (پوز) است در داخل جدول استاندارد ۴ گریدی 500 پوز ویسکوزیته داشته باشد آن را با AC-5 نمایش می دهند یا AR 500 نمایش می دهند.

بدی روشن Viscosity Grade آن است که خصوصیات قیر را در دمای بالای سیم و در دمای متوسط و پایین نمی بینیم.

روشن اندازه گیری ویسکوزیته مطلق (60°C)
- مویینه تحت خلاء ← روشن قدیمی تر
- ویسکومتر چرخشی ← روشن جدیدتر ← performance Grading کاربرد دارد.

روشن اندازه گیری ویسکوزیته کینماتیک
- مویینه ← دارای یک لوله ی باریک است که بالای آن یک زانویی است ابتدا و انتهای لوله وارد می شود تا عبور کند سپس می گذارند تحت اثر وزن خود حرکت کند زمان را همزمان با Time-mark اندازه می گیرند.
- لیبولت ←

له دمایی که ویسکوزیته کینماتیکی را حساب می کنند، دمای بالایی است (135°C)

PqPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

ویسکوزیته مطلق را در دمای 60° اندازه می‌گیرند به این دلیل که دمای روسازی در آمریکا 60° است

و ویسکوزیته کینماتیک را در دمای 135° اندازه می‌گیرند زیرا Mixing و متراکم کردن عنبر در این

دما صورت می‌گیرد.

از نظر بررسی مواد روسازی از نظر دمایی ۳ دما را در نظر می‌گیرند ، ۱- دمای پایین ۲- دمای متوسط
(5-40°) 5°

۳- دمای بالا (بالای 40°)

در روش Viscosity فقط رفتار آسفالت و قیر در دمای بالا را می‌بیند رفتار در دمای متوسط کمتر
Grade
و دمای کم وجود ندارد.

از معایب روش Viscosity Grade این است که درگیری رفتاری short term aging را دید ولی رفتار طولانی مدت دیده نشده است.

در روش مؤثین به این دلیل تحت خلاء قرار می‌دهند که قیر تحت وزن خودش نتواند در دمای زیر 60° حرکت کند پس با ایجاد خلاء و اختلاف فشار قیر در لوله‌ی مؤثین حرکت می‌کند.

۱- روش اول اندازه گیری ویسکوزیته کینماتیک

P4PCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

برای اندازه گیری ویسکوزیته به کمک زمان حرکت قطرات { Time mark } به دلیل خلاء را اندازه می گیرند.

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y}$$

$$\tau_1 = \tau_2$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} \approx \frac{1}{T}$$

$$\frac{\mu_2}{T_2} = \frac{\mu_1}{T_1}$$

برای یک سیال که ویسکوزیته اش را می دانیم.

$$\mu_2 = T_2 \times \frac{\mu_1}{T_1}$$

$\frac{\mu_1}{T_1}$ → calibration factor

اثر وزن قابل اغماض است در این آزمایش

در روش Rotational viscometer دستگاه از کالیبره شدن خارج می گردد و باید هر چند وقت یکبار آن را با مایع مشخص کالیبره می کنند ولی در این با دانستن زمان و تنش برشی دستگاه μ به راحتی بدست می آید.

روش saybolt سیبولت ← روش دوم اندازه گیری ویسکوزیته کینماتیکی

60 g قیر را در داخل ظرفی می ریزند که در پایین ظرف نازل وجود دارد که نازل آن 2 نوع دارد

universal ← قطر کمتر

Furol ← قطر بیشتر ← برای موادی که ویسکوزیته ی بالا دارند استفاده می شود.

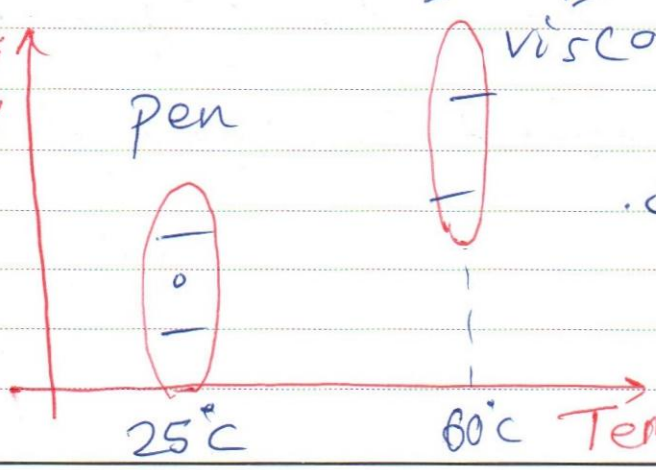
البته ویسکوزیته روش سیبولت با روش لوله ی مویین متفاوت است و یک جدول وجود دارد که آنها را به هم ربط می دهد.

Subject :
Year . Month . Date . ( )

در روش ویسکوزیته گرید Viscosity Grade به جز میزان ویسکوزیته باید موارد دیگری نظیر ductility را بررسی کرد.

ductility یک روش قدیمی است که نمونه ای قیر را که به شکل dog bone است در داخل قالب ductility Test دستگاه قرار می دهند با سرعت 5 cm/min می کشند در دمای 25°C هرچه میزان کشش بیشتر باشد یعنی قیر ductile تر است، بهتر است این آزمایش در داخل یک مایع هم چگالی با قیر صورت گیرد آب چگالی تقریباً برابری دارد ولی توان با اضافه کردن موادی به آب که با قیر واکنش ندهند می توان آن را دقیقاً هم چگالی کرد. در دمای پایین تر از 25°C نیز می توان با Rate های سفارشی این آزمایش را انجام داد.

در جدول Table 1 در مورد قیرهای پیر شده و پیر نشده، شدت حساسیت حرارتی در نظر گرفته نشده است. اگر حساسیت حرارتی پایین باشد باید Table 2 استفاده گردد و از جدول ۲ تأیید در جدول ۱ نیز تأیید می گردد



چون جدول دوم سخت گیرانه تر است.

P4PCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

(PG)

روش سوم اندازه گیری و سلوزنیته روش performance grade است که براساس عملکرد است و می تواند برای قیرهای اصلاح شده یا اصلاح نشده ربط پیدا کند و خصوصیات قیر را به عملکرد آنها ربط داده می شود و برای ۳ نوع خرابی قابل استفاده می گردد: ۱- Rutting ۲- Fatigue cracking ۳- low Tempreture cracking ← در جایی که هوا خنک است.

برای انجام این کار هر ۳ stage یا مرحله سرشکنگی را باید بسنجیم: short long

باید قیر را در یک محدوده ی وسیعی از دما بسنجند که این مشکل نیز برای اولین بار انجام شد.

performance Graded specifications (PG)

SHRP specifications ← این شامل این اطلاعات است.
strategic highway Research program
superpave specifications

۳ روش نامگذاری این نوع روش

PG - 64 - 22

64 ← حداقل دمای رویه ای °c

performance Grade

Maximum Termpretur of pavement °c (7days)

خرابی را بینگ این نوع خرابی را به ما ویلد می کند.

برای این میانگین ۷ روزه ← میانگین ۷ روز متوالی در سال که max است.

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

فلسفه‌ی استفاده از این روش آن است که اگر قیر نخواهد عملکرد خوبی داشته باشد باید دارای بازه‌ی گرانروی مشخصی در دماهای بالا باشد.

قابلیت پمپاژ بودن

۱ــ با استفاده از RV باید چک شود که آیا قیر workable است یا نه ← این روش rotational viscometer

برای قیری که هنوز پیر نشده است استفاده می‌گردد ــ قیری که از پالایشگاه خارج شده است.

۲ــ برای چک کردن rutting نبودن ، باید قیر در مرحله‌ی ساخت یا short term aging باید

قیر را تحت برش یا تنش برشی سینوسی قرار دهند ← DSR direct shear reometer

۳ــ مسئله‌ی بعدی کنترل مسئله‌ی خستگی است Fatigue

۴ــ پیش ترک های دمای پایین را بررسی می کنند low Temperature cracking

با استفاده از روش RV میزان ویسکوزیته را اندازه گیری می‌کنند که نباید بیشتر از 3pa.sec گردد.

میزان ویسکوزیته مرحب دما را رسم کنیم (به صورت نیمه لگاریتمی است) می‌توان تشخیص داد در چه بازه‌ی دمایی باید mixing و در چه بازه‌ای compaction صورت گیرد.

اگر این نمودار برای قیرهای اصلاح شده است اگر قیر polymer modified باشد این دماها کمی بیشتر و دماها پایین تر است در دمای این جدول قیر ممکن است بسوزد با کمی روش‌های دیگر دماهای mixing و compaction را با کمی وخطا می‌توان بدست آورد.

PAPCO

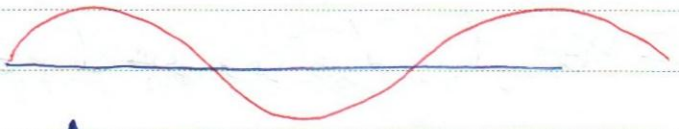
Subject:

Year. Month. Date. ( )

برای اندازه گیری خستگی (Fatigue) می توان از دستگاه DSR استفاده کرد

قابلیت این را دارد که بارگذاری را در حالت های مختلف وارد کند. ← DSR و انواع بارگذاری

PG :

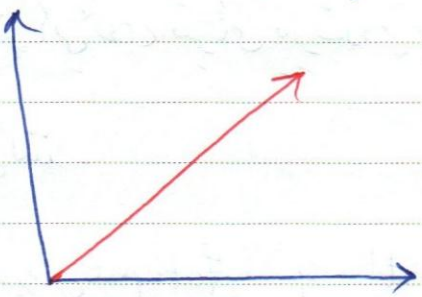


creep هم در این حالت رخ می دهد

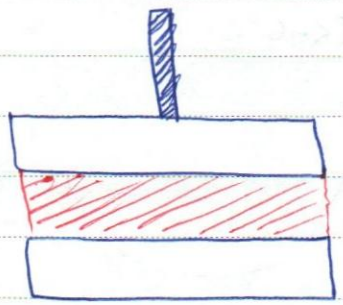
PG+ :

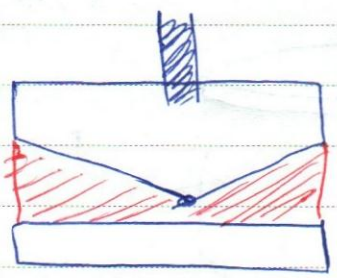


(RAMP) Research :



DSR





→ cone & plate

برای بدست آوردن Max دمای ۷ روزه ابتدا برای ۳۶۵ روز سال Max دما را بدست می آوریم سپس ۷ روز - ۷ روز حرکت می کنیم مثلاً اول از ۱ تا ۷ بعد 2 تا ۸ و میانگین های روزها را بدست

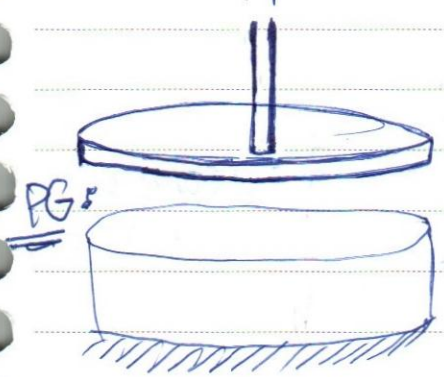
می آوریم آن مقدار MAX دمای ۷ روزه است . ولی برای Min دما، هر روزی که Min بود همان ملاک است و دیگر average گیری نداریم.

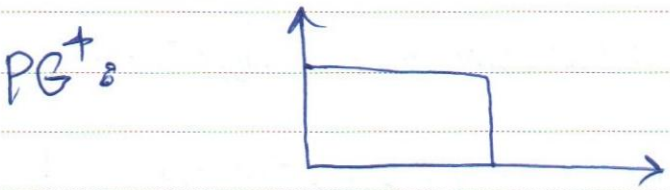
برای تشخیص PG یک جدول وجود دارد که برای یک PG مشخص باید تمام ویژگی های ردیف های زیر آن ستون را برآورده کند.

تست هایی که روی تیرهای کوتاه پیرشده و پیرنشده انجام می شود، مشکلات Rutting را بررسی می کنند. تست هایی روی تیرهای پیرشده ی بلندمدت انجام می گیرد مشکلات fatigue را بررسی می کنند.

بررسی خرابی ها : برای بررسی fatigue و Rutting از دستگاهی به نام DSR استفاده می گردد.

dynamic shear reometer





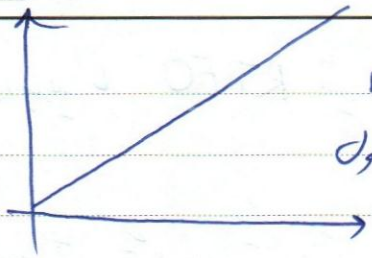
بارگذاری به این یا به عبارتی creep - recovery

بارگذاری و باربرداری

Subject:

Year. Month. Date. ( )

Research



هر تست بارگذاری می‌تواند در research استفاده گردد، یکی از تست‌های متداول ramp است.

Rutting

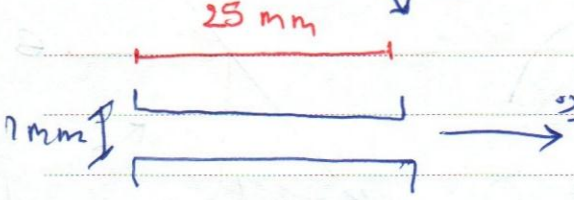
- unaged or short term aged — قیر پیر نشده یا کم پیر شده باشد.
- High Temp — دما بالا باشد.

برای بررسی و شبیه‌سازی در lab از قیرهای مقابل استفاده می‌گردد:

- unaged
- RTFO Aged

Test at high Temp

باعث می‌شود ماده در شرایط تست نرم باشد ← material is soft



اگر ضخامت از این بیشتر گردد مواد را خوب حرکت کرده و از کناره‌ها فرار می‌کنند.

Fatigue

- long term aged — پیرشدگی بلندمدت
- Intermediate Temp — دمای متوسط

برای بررسی و شبیه‌سازی در lab

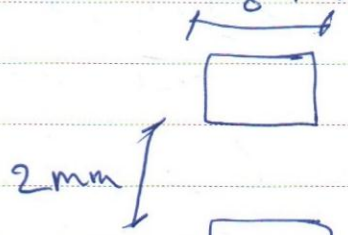
PAV-Aged & Intermediate Temp

Hard materials قیر سخت است

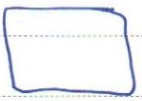
P4PCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

برای انجام PAV ابتدا باید با RTFO قیر را پیرشده‌ی کوتاه مدت کرد.



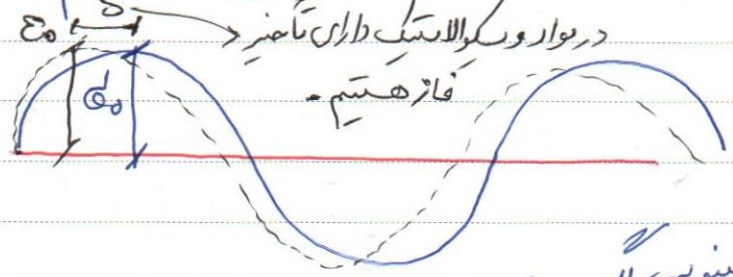
صفحه‌ی قطر ۸ را کم کردیم تا دستگاه با مقدار کمتری Torque وارد کند و ارتفاع نمونه را به 2mm رساندیم تا resolution بالا برود.

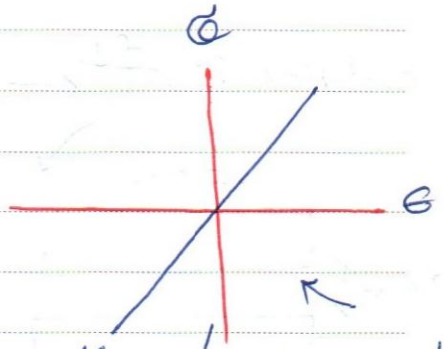


به این هندسه parallel plate گوییم.

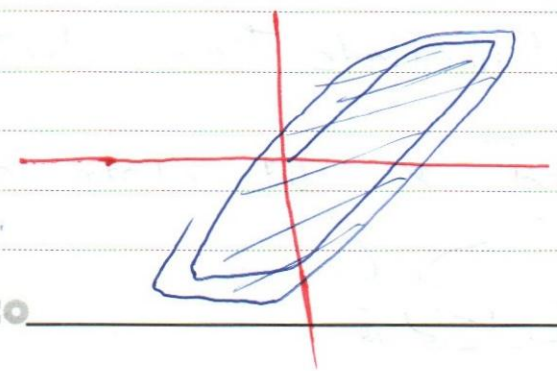
حال باید ببینیم در دو دستگاه مکانیکی چه شاخصی را باید اندازه بگیریم و چه شاخصی بیانگر fatigue یا rutting است.

شاخصی برای rutting $= \frac{G^*}{\sin\delta}$





برای ماده‌ی الاستیک در بارگذاری سینوسی اگر damage نداشته باشیم Histress داریم ولی اگر damage داشته باشیم به شکل زیر



slope

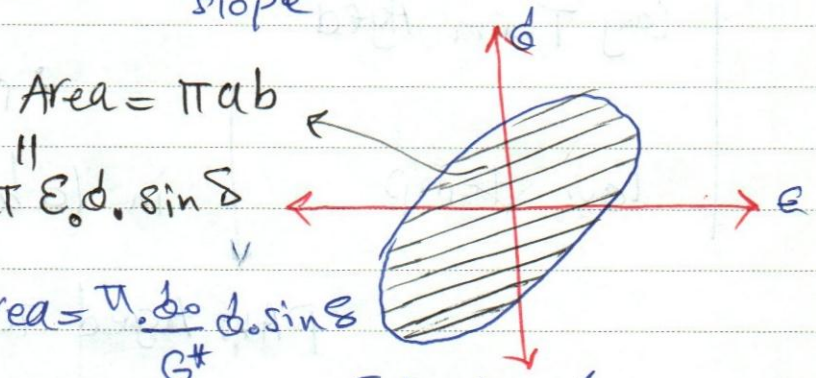
مساحت داخل می‌گردد و مساحت برابر انرژی جذبی است.

Subject :

Year . Month . Date . ( )

برای مواد Viscoelastic (که دارای زاویه فاز هستیم) Histress و نمودار ما حت دار است.

slope



$G^* = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \rightarrow Area = \pi \frac{\sigma_0}{G^*} \sigma_0 \sin\delta$

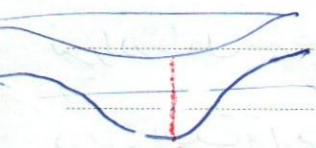
$Area = \frac{\pi \sigma_0^2}{G^* / \sin\delta}$ ← صورت کسر عددثابت است

← این مقدار زیاد تر باشد، ما حت

کمتر است و ما می خواهیم که حراق برای این کمیت آوریم تا بزرگتر ما وی عددی گردد که برای ما مناسب باشد. این نسبت براساس مقداری آزمایش بدست می آید.

شاخص Fatigue $G^* \sin\delta$ است.

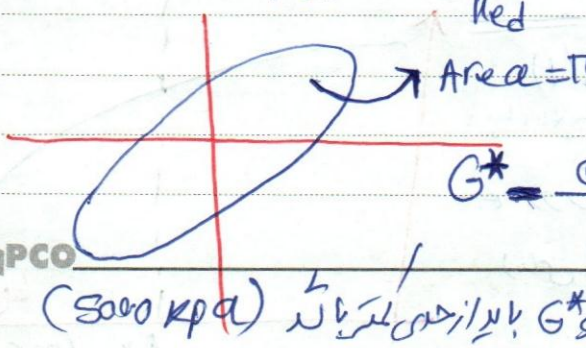
Fatigue دو نوع است، ترک ای strain controlled، rutting برعکس Fatigue



top down ، bottom up

چون از پایین به بالا حرکت می کرد تحت یک تغییر شکل و strain

بسیار زیاد بود به همین دلیل می گفتند strain controlled است.



← پس $G^* \sin\delta$ باید از حدی کمتر باشد (5000 kPa)

Low Temp cracking

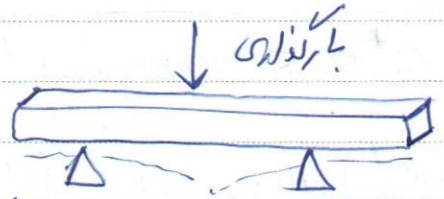
برای بررسی ترک خوردگی در دماهای کم:

Long Term Aged

low temp ↓ in lab

PAV-Aged test at low test

در گذشته چون دستگاه آنچنان قوی نبود نمی‌شد با DSR در دماهای بسیار پایین و با میزان سختی کار کرد، بنابراین از BBR استفاده می‌کردند ولی در حال حاضر به دلیل قوی بودن بسیار زیاد DSR حتی در دماهای بسیار پایین هم می‌توان deformation مناسبی با آن ایجاد کرد.



ایجاد تیر چوبی تیری نسبتاً کوچک است.

میزان تغییر شکل در وسط تیر اندازه گیری می‌گردد. S(t)

تیر را در داخل حوزچه‌ای که آب در آن است قرار می‌دهیم تا دما را تا مدتی که آنها بیاوریم. و مدت تیر با حمام هم دمای تست را انجام می‌دهیم.

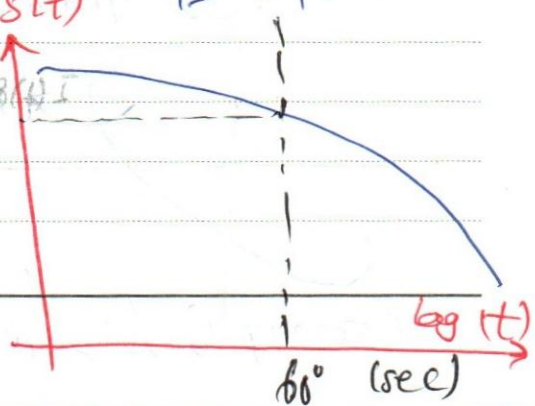
$$S(t) = \frac{P L^3}{4 b h^3 \Delta(t)}$$

creep stiffness

P: نیرو، L: طول تیر، b: عرض تیر، h: عمق تیر، $\Delta(t)$: deflection

S(t) در $t = 60^s$ دو نقطه را از این نمودار می‌خوانیم

دهای 60s و شیب منحنی نمایش پرنمودار در



Subject :

Year . Month . Date . ( )

unaged

Rutting $2.2 \leq \frac{G^*}{\sin\delta}$

RTFO

Fatigue $G^* . \sin\delta \leq 5000$ kpa

Flash point ⟵ نقطه اشتعال

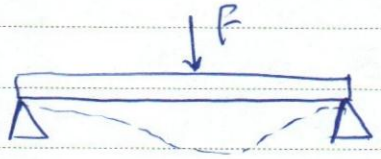
برای تست های ترک های دمای پایین :

- low Temp
- Long Term Aging

⟶ PAV- Aged Test of low-temp

در دمای بسیار پایین قیر بسیار گنت است پس از DSR نمی توان استفاده کرد ولی

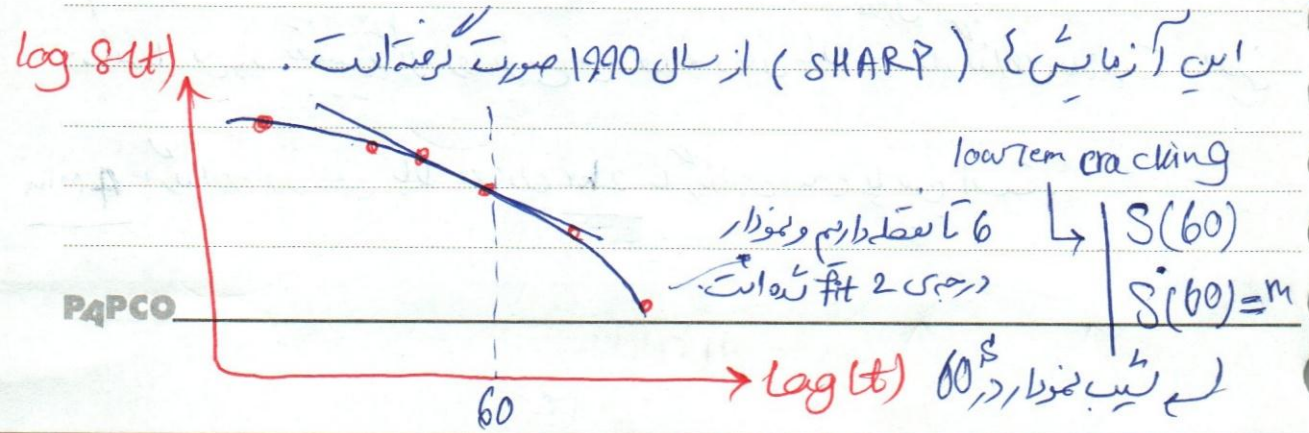
با استفاده از BBR چک می شود



BBR Temp range : $0^\circ C$ تا $-36^\circ C$

این آزمایش در حمام آب و الکل صورت می گیرد

این آزمایش (SHARP) از سال 1990 صورت گرفته است .

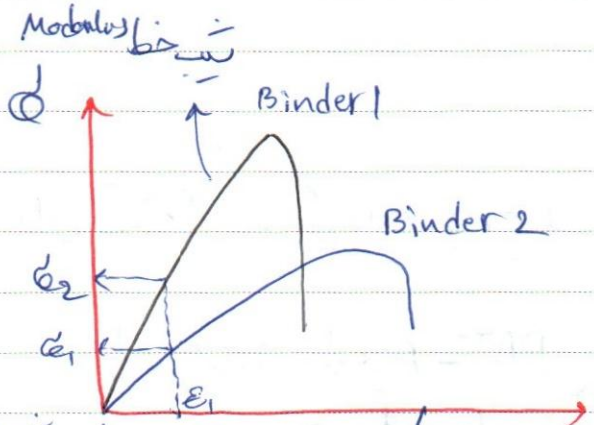


از شیب نمودار در 60 ثانیه

برای اینکه یک قیری تست های PG را pass کند باید :

creep stiffness at 60 S ≤ 300 Mpa (43.5 psi)

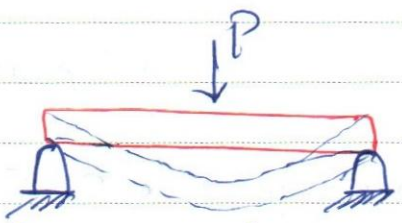
m- value at 60 s ≥ 0.3



هرچه modulus بیتومن بالاتر باشد به ازای یک strain یکسان مقدار تنش بیتومن

لازم دارد پس modulus یا سختی بیتومن یعنی ε یعنی خطرناک تر است. ① در سختی بیتومن

max نمودار بالاتر است ② به ازای یک ε یکسان $\sigma_1 < \sigma_2$



$-22^\circ C$ $+10^\circ C$ $-12^\circ C$

2 hr 4 Min

دما به بالا می رود تغییر شکل زودتر رخ می دهد، دمای بالا به بارگذاری طولانی معادل یعنی بارگذاری در دمای بالا معادل 2hr بارگذاری دمای پایین است. 4Min

Subject:
Year. Month. Date. ( )

روند عالیبی PG براساس مشخصات

تعدادی result از آزمایش‌های DSR و BBR بدست آمده به ما می‌دهند پس بجدول مربوطه می‌رویم.

1- مطالب مربوط با safety

2- از نظر workability و construction

3- به سطر RTFO می‌رویم اولاً با یک mass change کمتر از ۱٪ باشد

دوتا دمای Max و Min می‌خواهیم بدست آوریم. حداقل دمای Max از 46 شروع می‌شود و 6° بالا می‌رود و به طور تقریبی هر 6° stiffness را ½ می‌کند این عدد از آزمایش‌های rutting بدست می‌آید.

مثال ← BinderA

Temp °C	un Aged ($1 \le G^*/\sin\delta$)	RTFO ($2.2 \le G^*/\sin\delta$)
✓ 46	✓ 2.3	✓ 6
✓ 52	✓ 1.7	✓ 4.5
✓ 58	✓ 1.05	✓ 3.1 → PG58 OK ✓
X 64	X 0.85	✓ 2.3

یک مشکلی دیگر که وجود دارد PG پیوسته یا PG continous است.

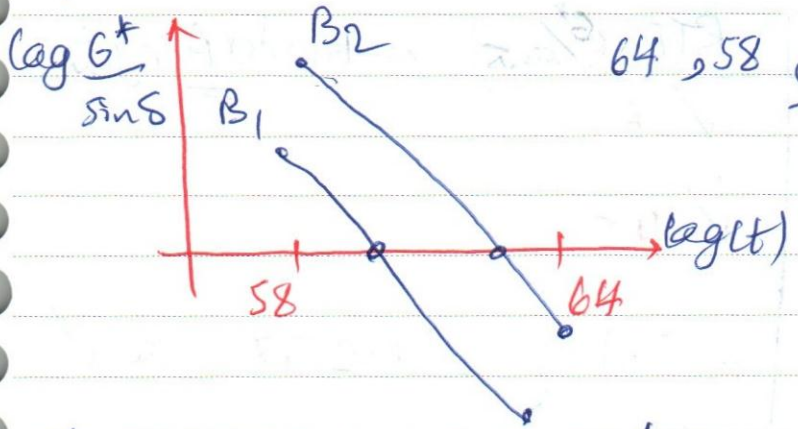
چرا اهمیت دارد؟ ← صفحه بعد

Subject:
Year. Month. Date. ( )

For Binder B

temp	unAged $G^*/\sin\delta$	Aged $G^*/\sin\delta$
46	✓	✓
52	✓	✓
58	1.9 ✓	3.6 ✓
64	0.97 ✗	2.4 ✓

بین دو Binder، A و B در این است که هر دو دارای PG 58 هستند ولی Binder B به 64 نزدیک‌تر است و Binder A به 58 نزدیک است بنابراین دلیلی بین دو دما interpolate می‌کنیم و می‌گوییم جایی که $\frac{G^*}{\sin\delta} = 1$ باشد بنابراین $\log\frac{G^*}{\sin\delta} = 0$ می‌شود، دمای متناظر با آن را از روی نمودار می‌خوانیم.



پس دمای دقیق حدواسط بین 58 و 64 است.

حال باید به سراغ حدواسط دمای test برویم و آن را بدست بیاوریم، اینجا روی PAV سر کار می‌کنیم.

Subject:
Year. Month. Date.

Temp°C	Binder A – PAV Aged S(60)	Binder A – PAV Aged m	Binder B S(60)	Binder B m
-16°C → -6°C	150 ✓	0.4 ✓		
-22°C → -12°C	250 ✓	0.37 ✓		
-28°C → -18°C	320	0.31 ✓		

(?) ✗

$300 \leq S(60) \leq 600$ ← اگر m پاس شدولی S بین ۳۰۰ تا ۶۰۰ بود شرط می‌تواند پاس کند و این شرط پاس کردن تست DTT است.

در تست DDT اگر $\varepsilon_f > 1\%$ کرنش (failure) باشد آنگاه این تست

$S < 300$ Mpa , $M > 0.3$ → OK → pass پاس می‌شود.

$300 < S < 600$, $M > 0.3$ → OK → pass

$\varepsilon_f > 1\%$.

پس مثال اگر $\varepsilon_f = 1.2\%$ بود آنگاه مقدار دمای حداقل 28- می‌شود. PG 58-28 ✓

اما همه چیز تمام شده است باید شرط Fatigue نیز چک گردد یعنی $G^* \sin\delta$

که باید $\frac{58-28}{2} + 4^\circ = 19^\circ$ و این را هم پاس می‌کند. ✓

Subject :
Year . Month . Date . ( )

در طبقه بندی براساس PG تست flash point جهت ایمنی و Safety محیط کار است.

اگر دمای قیر به بالای 200 درجه برسد ممکن است در اثر جرقه زدن روی سطح قیر شعله ور شود و آتش بگیرد. این تست توسط یک ظرف که داخل آن قیر است و روی شعله قرار می گیرد حرارت قرار می گیرد و با سرعت rate 14-15 °C/min به آن گرما می دهیم و در حالتی که دما خیلی زیاد شد با 6 °C/min دما را زیاد می کنند. زمانیکه با عبور یک شعله ی کوچک روی سطح قیر در یک دمای مشخص قیر شروع به جرقه زدن کمی ناپایدار می کند و دماهای بالاتر از آن قیر شعله ور می شود (flash point) که به آن دمای شعله ای گویند.

در برخی حالات درست است که requirement های PG همگی باید چک شوند ولی اگر یکی از آنها خیلی نزدیک OK بودن بود می توان با مشاجره و توضیح دادن ایراد از آن قیر استفاده کرد مثلاً اگر flash point 220 بود می توان با اغماض از آن قیر استفاده کرد.

$$LT = -22^{\circ}C \xrightarrow{+10^{\circ}C} -12^{\circ}C$$

$$\begin{cases} S(60) @ LT+10^{\circ}C \\ M(60) @ LT+10^{\circ}C \end{cases}$$

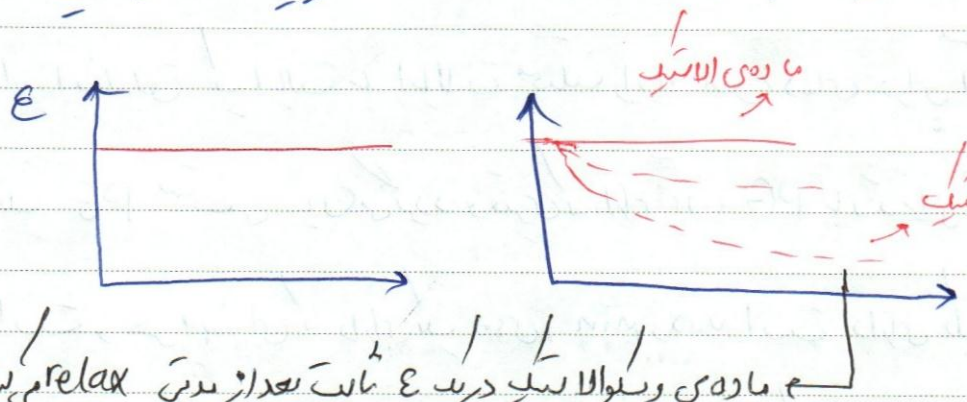
ثانیه ↓ ↓ low temperature

PAPCO

Subject :

Year . Month . Date . ( )

هرچه M بزرگتر باشد یعنی نسبت به زمان modulous زودتر تغییر می‌کند و فنر سریع‌تر relax می‌کند.

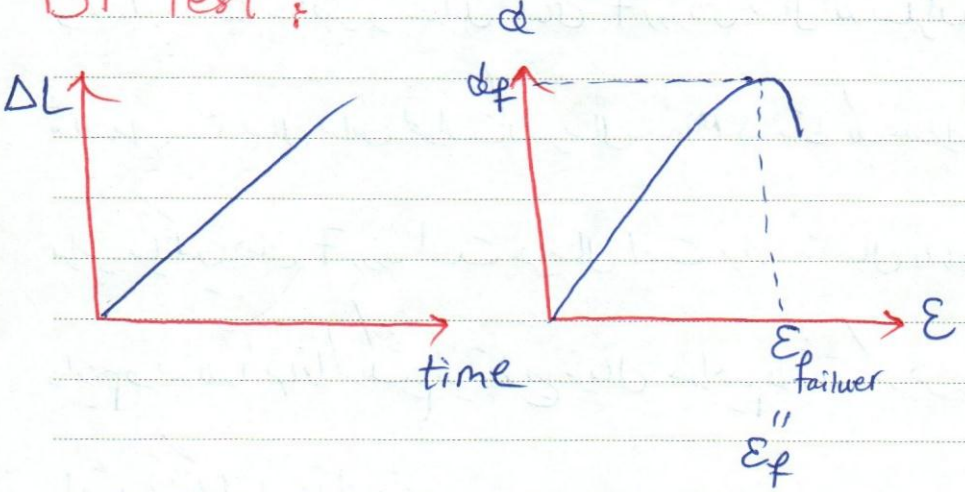


ε ماده‌ی ویسکوالاستیک در یک ε ثابت بعد از مدتی relax می‌شود

که از تقسیم $\frac{\sigma}{\varepsilon}$ مقدار relaxation modulous بدست می‌آید.

DT ← direct torsion تستی است که در حالتی که $300 < \text{stiffness} < 600$ باشد و $M > 0.3$ آن‌گاه با انجام تست DT و OK بودن این تست می‌توان گفت که فنر دارای مقدار PG ok است.

DT Test :



در تست DT مقدار ε_f باید بزرگتر از 0.01 باشد تا DT ok شود.

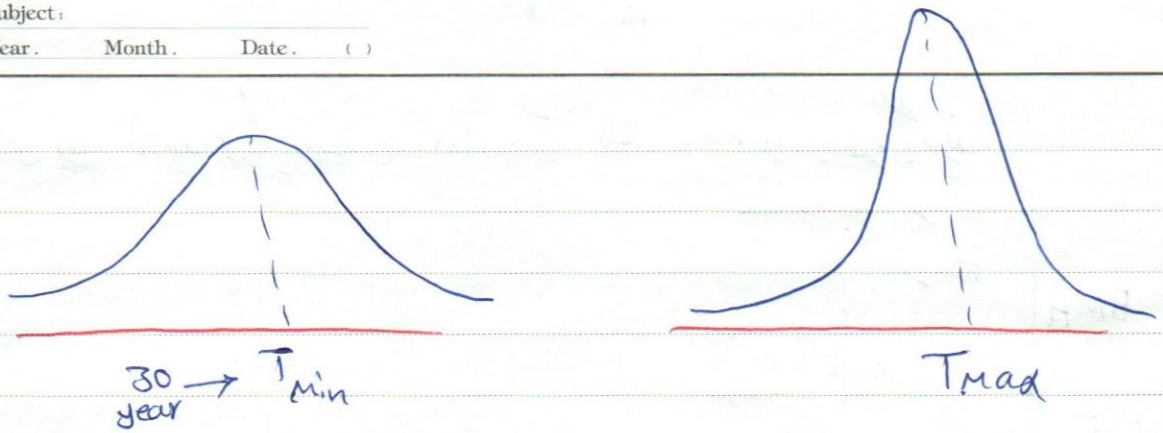
علت اینکه از تست PG استفاده می‌شود:

ابتدا مناطق یک ایالت یا ایالات مختلف را براساس دمای هوای آن ناحیه و اقلیم یک PG مشخص بیان می‌گردد و قیری که دارای آن PG باشد برای آن ایالت مناسب است و هر پهنه ای که دارای یک دمای max, min است دارای یک PG می‌شود.

مثلاً در یک منطقه با حداقل دمای 20- و حداکثر 48+ باشد محدوده‌ی PG باید شامل این دما باشد و چون 6 تا 6 تا دمای PG تغییر می‌کند حداقل PG برابر PG52-22 خواهد بود ولی PG58-28 هم خوب است.
PG58-22

در آمریکا و کانادا از 6500 ایستگاه هواشناسی استفاده شد تا پهنه بندی صورت گیرد و مقدار متوسط حداکثر و حداقل دمای 7 روزه‌ی سال در نظر است. مقدار max, min مثلاً برای ۳۰ سال به این نحو است که هر سال min دما فقط یک عدد برای یک روز است ولی max برابر میانگین دمای 7 روزه است هر سال است برای ۳۰ سال دارای min ۳۰, max ۳۰ داریم و نمودار آنها را که یک توزیع نرمال خواهیم داشت که هرچه پراکندگی data بیشتر باشد، زنگوله پهن‌تر است.

Subject:
Year. Month. Date. ( )



Reliability میزان اعتماد ما به سازه است که چقدر احتمال وجود دارد که سازه fail نشود و در یک دمای خاص دُم سمت چپ نمودار احتمال کمتر بودن دما از آن دما است و دُم سمت راست احتمال بالاتر بودن و تجاوز کردن دما است.

برای استاندارد کردن توزیع نرمال و تبدیل به توزیع نرمال استاندارد $\frac{X-\mu}{\sigma}$ (میانگین) نویسیم.

(σ → standard deviation) که در توزیع نرمال شدا اختلاف داده ها از میانگین برابر صفر می شود.

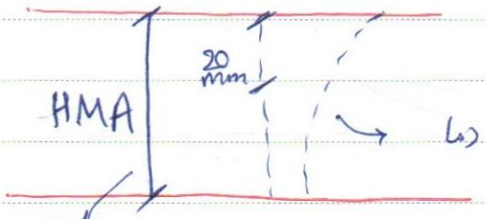
در توزیع نرمال استاندارد شده، می توان محور افقی را براساس standard deviation تقسیم بندی کرد

مثلاً برای احتمال 1.98، مقدار 2σ جلوتر از عدد ave می رویم برای مقدار دمای Min با 2σ به عقب برویم.

دمای روسازی تابع ۳ چیز است: ۱- دمای هوا ۲- زاویه ی تابش خورشید

۳- عمق روسازی ← هرچه در عمق پایین تری برویم دما خنک تر است.

برای دمای نماینده‌ی یک روسازی، دما در عمق 20 mm را در نظر می‌گیرند.



دمای Min برای هوا و روسازی تا حدی نزدیک به هم هستند و در برخی از این دو را یکی می‌گیرند

علت اینکه در داده‌ای T_{max} پرکننده‌گی کمتر است وجود میانگین ۷ روزه در این تا حض می‌باشد

اگر یک قیر با PG $T_{max\,ave} - T_{min\,ave}$ انتخاب کنیم حداقل 50 ٪ reliability داریم.

برای جریان ترافیکی اگر سرعت پایین باشد، مثلاً به خاطر ترافیک سنگین و... آنگاه مدت زمان بارگذاری بالا می‌رود و این برای روسازی خوب نیست. به عبارتی تأثیر افزایش زمان بارگذاری معادل افزایش دمای روسازی است و اگر با این دید به قضیه نگاه کنیم به قیری با PG بالاتر نیاز داریم

به عبارتی دمای بالای PG برای ترافیک کم یک Grade بالاتر رود و اگر ترافیک stationary باشد دمای بالاتر دو Grade بالاتر برویم.

for Toll road → PG 64-22
Toll booth → PG 70-22 } ۳ حالت داریم
weigh Stations → PG 76-22

مثلاً برای عوارضی جاده

Subject:

Year. Month. Date. ( )

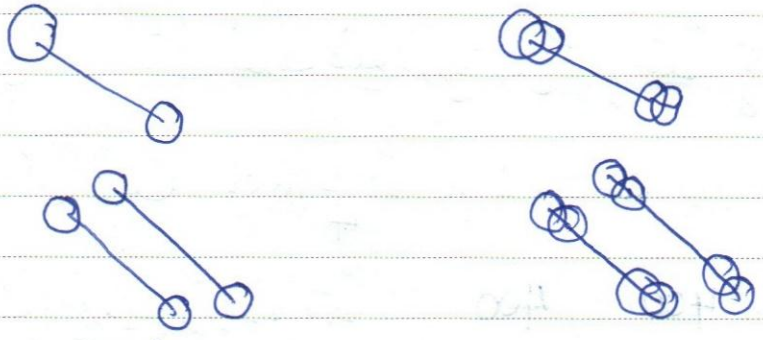
$10 - 30 \times 10^6$ ESAL

↳ تا PG بالای بریم level میزان

30×10^6 ESAL → تا حجم بالای رود:

↳ equivalent single Axle load

گونه‌های مختلفی از چرخ‌ها برای خودروهای سنگین وجود دارد:



Tandem axle

برای تبدیل کردن هرکدام از این نوع چرخ‌ها و محورها به یکدیگر، به نوعی ضریب هم‌ارزی نیاز مندیم

یعنی محوری که استاندارد نیست وقتی عبور می‌کند، چه میزان خرابی نسبت به حالتی که استاندارد

نیست ایجاد می‌کند.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

سنگ‌شناسی

انواع سنگ‌ها از نظر سنگ‌شناسی : (Geology)

بدست آوردن سنگ‌ها از معدن و مبحث Exploration & production

X سنگ‌شناسی در امتحان مورد ارزیابی قرار نمی‌گیرد. X

نحوه‌ی نام‌گذاری الک‌ها

برای الک‌های دانه درشت بعد یک ضلع سوراخ را می‌گویند مثلاً $\frac{3}{8}$ الکی با سوراخ $\frac{3}{8}$ inch است و الک‌های درشت $\frac{1}{4}$ inch تا 1in هستند. برای الک‌های ریزدانه تعداد حفرات در یک اینچ مربع را گویند. مثلاً 400 دارای 400 سوراخ در $inch^2$ است و الک‌های ریزبین 400 - 4 شماره‌گذاری می‌گردند.

سنگ‌های Rip-Rap ← در پایدار کردن شیب‌ها کاربرد دارند.

برای اکتشاف معدن از core گیری استفاده می‌شود و پس core گرفته شده براساس خصوصیاتش روی یک ورق core grah رسم کرده و اطلاعات هر قسمت را با توجه به عمقش بدست می‌آوریم.

عملیات Stripping برداشتن خاک روی معدن است.
زائد

Subject:

Year. Month. Date. ( )

Sampling (نمونه گیری)

با این کار ابتدا ارزیابی می کنیم تا ببینیم سنگدانه ها به درد می خورد یا نه (evaluation)

۲- کنترل مصالح تأمین شده (control) ۳- .....

این اهمیت دارد sample را کجا بگیریم، هرچند وقت یکبار بگیریم.

یکی از جاهایی که می شود sampling کرد روی تسمه نقاله (conveyer) است. جای دیگر در محل خروجی pulley است. و در خود stockpile هم می توان این کار را انجام داد.

در صورتی که به صورت دستی sampling می کنیم باید conveyer را متوقف کنیم و این کار سرعت production را پایین می آورد. ولی چون در آنجا هنوز segregation صورت نگرفته است بنابراین چه است. این کار می تواند به صورت اتوماتیک توسط یک دستگاه که روی conveyer belt نصب می گردد انجام شود و مزیت اتوماتیک نسبت به دستی، سرعت بیشتر آن خواهد بود. size نمونه ای که می گیریم نباید خیلی بزرگ باشد و نه خیلی کوچک. در ابتدا شروع حرکت belt چون هنوز segregation نیز اخت نیست نمونه گیری نمی کنیم. برای نمونه گیری از stockpile باید هنگام اجلا stockpile یا هنگام برداشت stockpile از آن استفاده کرد. بهتر است از 1/3 بالایی آن نمونه گیری کنیم.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

وقتی یک stockpile خیلی بزرگ داریم، بعضی وقتها مجبوریم با loader یک قسمت را جابجا کنیم و نمونه بگیریم.

گاهی اوقات مجبوریم که از stockpile بزرگ یک stockpile کوچک بسازیم و از آن نمونه گیری کنیم.

گاهی اوقات که نمونه های ماشین است می توان با استفاده از یک لوله دوم وارد کردن لوله داخل انبار نمونه گیری کرد.

ریزدانه ↑

sand

خاک

تقسیم کردن نمونه ها:

۱- splitting: دستگاهی که نمونه را به طور متناوب به دو قسمت تقسیم می کند. می توان مجدداً هر قسمت را باز هم به دو قسمت تقسیم کرد.

۲- Quartering: نمونه را به چهار قسمت تقسیم کنیم و به صورت ضربدری دو قسمت از چهار قسمت را برمی داریم.

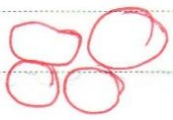
Subject :

Year . Month . Date . ( )

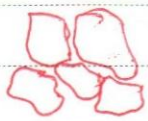
سنگدانه‌های ایده‌آل :

سنگدانه‌ها باید با هم interlock و پیوند خوبی داشته باشند نه سنگدانه‌های لیز و شکسته

مناسب‌تر از سنگدانه‌های گرد هستند.



X



✓

قیر ← weak point یا weak link قسمتی از مخلوط آسفالتی است که رفتار وسکوالاستیک آسفالت را دیکته می‌کند. امّا 95٪ مخلوط آسفالتی سنگدانه است پس سنگدانه‌ها هم اهمیت بالایی دارند.

جرم مخصوص یا G_s نسبت وزن یک ماده به وزن آب هم حجم آن (specific gravity)

G_s limestone 2.65 to 2.75

asphalt binder ~ 1.025

coal = 0.8 to 1.5

shale = 2.0 to 2.7 > مواردی که دوست نداریم قاطی سنگدانه‌های ما باشند.

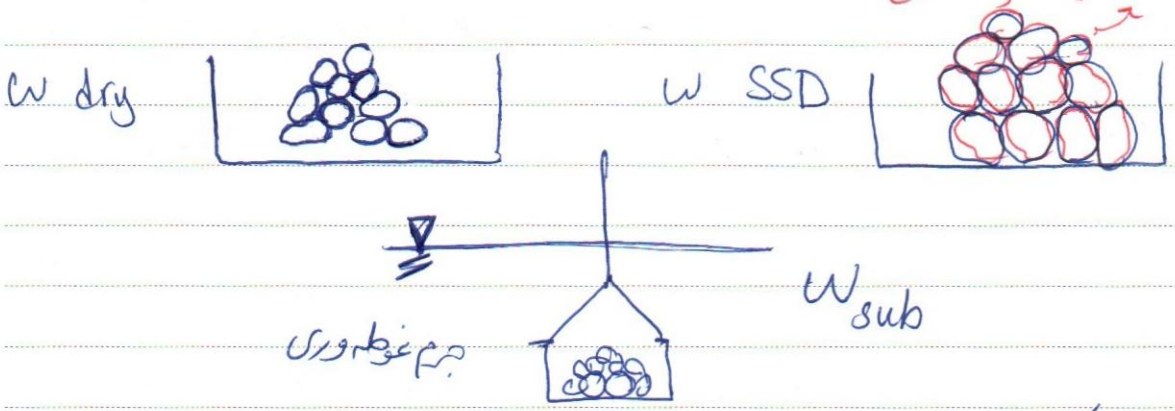
← برای جداسازی آنها می‌توان مخلوط سنگی را در داخل یک مایعی که G_s آن را می‌دانیم و G_s مثلاً بالاتر از 2 دارد ریخت و مواد مثل coal روی آن شناور می‌شود ولی ماده‌ی shale چگالی‌اش با چگالی سنگدانه‌های ما هم پوشانی دارد و جدا کردن آن برای ما سخت است.

Subject :

Year . Month . Date . ( )

برای بدست آوردن چگالی سنگدانه ها جرم به راحتی بدست می آید، برای محاسبه‌ی حجم از نیروی شناوری یا ارشمیدس که نیروی ارشمیدس معادل آب هم حجم آن مخلوط است مقدار چگالی را می توان بدست آورد.

SSD → saturated surface dried داخل ذرات با آب پر و اشباع است.



برای بدست آوردن چگالی SSD ریزدانه از تست cone با روش فرو طی استفاده می شود تا مطمئن شویم که ریزدانه ها اشباع شده است.

یک شاخص دیگر Bulk density است که منافذ داخل ذره هم به عنوان حجم ذره به حساب می آید و چگالی توده‌ی ذره می شود.

شاخص دیگر apparant density است که حجم منافذ را برای چگالی قسر محسوب نمی کردد.

$$G_{sb} = \frac{\text{Dry mass}}{\text{Bulk vol}} \qquad G_{sa} = \frac{\text{Dry mass}}{\text{apparant vol}}$$

G_{sb} ↓ bulk Specific gravity

G_{sa} ↓ apparant specific gravity

P4PCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

به عنوان یک قاعده‌ی سرانگشتی مقدار قیری که جذب سنگدانه می‌شود 50٪ میزان جذب آب سنگدانه است.

$$\text{درصد جذب آب} = \frac{\text{SSD weight} - \text{oven dry weight}}{\text{oven dry weight}}$$

برای کاهش میزان جذب قیری که جذب سنگدانه می‌شود می‌توان یا از {warm mix / addattive} استفاده کرد، یا از قیری که چسبانی بالاتری دارد می‌توان استفاده کرد.

در Hot Mix asphalt مقدار زیادی قیر جذب سنگدانه می‌گردد و لیه‌ی سنگدانه پوشیده می‌گردد که نشانه‌ی نفوذ قیر داخل سنگدانه است ولی در warm mix asphalt اینگونه نیست و مقدار کمتری جذب می‌گردد که در مقیاس بالا هزینه‌ی بسیار زیادی می‌گردد.

هرچه سنگدانه {angularity بالاتری داشته باشد روی internal friction تأثیر می‌گذارد که عامل اصلی مقاومت برشی آسفالت است.

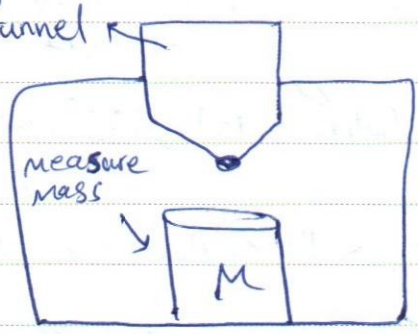
اندازه‌گیری angularity:

برای درشت دانه با توجه به تعداد وجه‌های شکسته طبقه‌بندی می‌کنند که سنگ‌هایی که دارای ۲ وجه شکسته یا بیشتر هستند به عنوان سنگ‌های fractured face شناخته می‌شوند.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

برای ریزدانه از روشی به نام uncompacted voids استفاده می‌گردد که سنگدانه‌ها از یک ارتفاع مشخص با یک قیف داخل یک سیلندر ریخته می‌شود پس سیلندر را وزن را به آرامی تکان می‌دهیم و وزن آن را اندازه می‌گیریم بدون اینکه هیچ گونه compaction صورت گیرد پس حجم آن را هم داریم و وزن آن را اندازه می‌گیریم:

$$\text{uncompacted voids} = \frac{V - M/G_{sb}}{V} \times 100\%$$



تیزگوشگی ↑

هرچه angularity بالاتر باشد میزان حفرات و تخلخل بالاتر می‌رود.

برای سنگدانه‌ای گرد ٪۳۹ و برای سنگدانه‌های تیز و لبه پرش خورده ٪۴۹ است.

Fractured face (FF) → 95%.

UV ⟶ uncompacted voids > 49%.

سنگدانه‌های پولکی مناسب نیستند زیرا interlock خوبی ندارند و مقاومت آنها نیز پایین است. کلاً سنگدانه‌های Flaky, Elongated مناسب نیستند.

پولکی ↙ طویل و دراز

PqPCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

یکی از مشکلات سنگدانه‌ای پولکی شکستگی است که بین دو صفحه شکسته هیچ‌گیری وجود ندارد و اگر سنگدانه‌ها hydrophil باشند (آب‌دوست) مشکل عریان شدگی بوجود می‌آید.

هرچه سنگدانه‌ها angular تر باشند، interlock بیشتری دارند و مقاومت بیشتری خواهند داشت.

معادل ماسه‌ای Sand Equivalent

محلول سنگدانه‌ای را در آب و کلسیم کلرید حل می‌کنیم نمک کلسیم کلرید ایجاد Suspension یا تعلیق است که سنگدانه‌ها به آرامی ته‌نشین گردند. نهایتاً بعد از ته‌نشین شدن در داخل یک لوله‌ی شیشه‌ای تا جایی که ماسه قرار می‌گیرد sand یا ارتفاع از رس ماسه‌ای می‌شود و در یک نقطه بالاتر از آن سطح محلول است که clay می‌نشیند.

sand equivalent ↑ — Equivalent

clay Equivalent

$$SE = \frac{\text{sand reading}}{\text{clay reading}} \times 100$$

وجود خاک رس عیوبی دارد که باعث می‌شود مشکل عریان شدگی پدید بیاید بنابراین باید SE باید کنترل گردد. البته درصدی از ریزدانه‌ها برای مخلوط لازم است. برای طبقه‌بندی خاک با استفاده از الک #200 و روش هیدرومتری صورت می‌گیرد.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

روش Methelyne blue Test

ابتدا مصالح سنگدانه ای خشک را در داخل ظرفی قرار می دهیم و به صورت نیم ml - نیم ml به محلول اضافی می کنیم و یک فیلتر داریم که روی آن نیز از متیلن بلو می ریزیم، اگر اشباع نباشد رنگ فیلتر سفید است و اگر اشباع باشد آبی رنگ می گردد. و متیلن بلوای که برای اشباع شدن لازم است بستگی به درصد خاک رسی که داخل محلول است دارد.

مقدار MB=30 باشد و مخلوطی داشته باشیم که ۲٪ ریزدانه داشته باشد (رد شده از الک #200 آنگاه عدد تعیین کننده 30x2=60 است که برای ما مهم است، یعنی ممکن دو مخلوط MB یکسان داشته باشند امّا درصد ریزدانه مخلوط خاک تعیین کننده خواهد بود اگر ۱۵٪ باشد 30x15=450 خواهد بود. MB دارای واحد $\frac{mgr}{gr}$ ← متیلن بلو / gr ← مخلوط سنگدانه است.

این مهم است که دانه بندی تر است یا خشک زیرا اگر خشک باشد ممکن است کلوخه های رسی (clay lumps) روی سطح الک می ماند و این باعث خطا در دانه بندی و درصد رس ما می شود.

دانه بندی سنگدانه ها روی ۱- بافت یا Texture سطح جاده تأثیر دارد ۲- روی stiffness

Subject:
Year. Month. Date. ( )

و سختی مخلوط آسفالتی تأثیر می‌گذارد.

$$P = \left(\frac{d}{D}\right)^{n}$$

- P: درصد عبوری سنگدانه
- d: سایز الک مورد استفاده
- D: مقطع max سنگدانه‌ای مورد استفاده
- n: اگر روی باشد 0.5 است. / اگر گردی نباشد 0.45 است.

خطی که نزدیک خط‌شکنی باشد max graded گوییم. و اگر فاصله زیاد باشد dense graded

و اگر نزدیک زیر دانه افتی شود open graded (خط‌شکنی) gap graded

در سنگدانه‌ای uniform graded تعداد contact point زیاد است پس تعداد نقاط محدودی نیرو را متقل می‌کند در نتیجه‌ی آن احتمال خردشدن و شکستن بالا است. سنگدانه‌ای قفل شدگی بسیار کمی دارند فریب آنها نفوذپذیری بالا است ولی معمولاً از این نوع سنگدانه خیلی استفاده نمی‌شود.

در سنگدانه‌ای well graded معمولاً برای ساخت porous asphalt استفاده می‌شود

dense graded	هوا <7٪
gap graded	هوا <22٪ <

از open graded برای ساخت مخلوط آسفالتی نیز استفاده می‌گردد (شکل بالای صفحه) {Slide دار ↑ ۲۰۰}

دارای درصد هوای 10-15٪ هستند. برای ساخت آنها از قیری اصلاح نشده استفاده می‌کنند.

به جز اینکه شکل دانه بندی چه شکلی است، معمولاً با توجه به Max agg size دانه بندی نیز سنگدانه ها
بیشتر از
ایم گذاری می گردند. که از دو اندازه ی Max nominal agg size است ← اولین الکی که 10٪ از
از سنگدانه ها از الک عبور کند الک بزرگتر از آن می شود Max nominal size آن سنگدانه.

37.5 mm → base
25 mm
} binder & mix
12.5 mm
12.5 mm
↓
} surface

اینکه چرا Dense graded باید باشد این است که فضای بین سنگدانه ها کمتر باشد هزینه ی کمتری
لازم است، از طرفی فضای بیشتر هر بیشتر می خواهد که Stability و قدرت تأثیر قرار می دهد
و فضای کمتر بین سنگدانه ها interlock بیشتری بوجود می آورد.

مقاومت ضربه ای سنگدانه نیز برای ما اهمیت دارد که برای اینکار از تست Los-Angeles استفاده
می گردد که دستگاه دارای یک drum است که سنگدانه ها را داخل آن به همراه گوی هایی می ریزند
که این گوی ها به سنگدانه ها ضربه می زنند و می شکنند پس مجدداً با دانه بندی درصد loss
بدست می آید. ← جزئیات در اسلاید

Subject:

Year. Month. Date. ( )

روش دیگری که شبیه Micro-deval است los-Angeles است که دارای یک فنر کوچک است که ۵ gr سنگدانه داخل آن به همراه ساچمه ریزند این آزمایش مقاومت در برابر ضربه را بدست نمی آورند و مقاومت در برابر سایش یا polish شدگی سنگدانه را به ما می دهد.

اگر میزان loss در این آزمایش کمتر از 18 باشد برای HMA خوب است.

Soundness Test تست سلامت ← مقاومت در برابر یخ زدگی را نشان می دهد

سنگدانه را در محلول $NaSO_4$ سدیم سولفات اشباع کرده و خارج می کنیم و این کار مقاومت Thaw & freez را بدست می آورد و نهایتاً این کار با وزن خشک مصالح پودر نشده بدست می آید.

روش های دیگر تست اصطکاک ← {slide

تست های شیمیایی

سنگ { آب دوست hydrophilic ← بار −

عنصر آبدوست (آلکریز) hydrophobic ← بار +

← این سنگدانه ها برای قیر راهسازی مهم تر هستند، این نوع سنگ ها در معرض آب باعث عریان شدگی می شوند.

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

SiO_2

هرچه سنگ از نظر کانی شناسی میزان سیلیکای بالاتری داشته باشند میزان بار فشر بیشتر می‌شود. در range 65 تا 100 درصد مخلوط‌ها آبدوست می‌شود.

Superpave criteria

آزمایش superpave فقط خصوصیات مشخص شده‌ی قبلی را اصلاح کرد و یک range دقیق‌تر را مشخص کرد. مثلاً angularity سنگدانه‌ها و ....

در این رابطه یک جدول موجود است که با توجه به جدول می‌توان با توجه به میزان ESAL راحت‌تر میزان angularity و سایر ویژگی‌ها را مشخص کرد.

در حالت کلی هرچه به سطح روسازی نزدیک‌تر می‌شویم، میزان stress concentration افزایش می‌یابد.

دلایل داشتن روابط & volumetric

- HMA Design
- $V_a \xrightarrow[\text{رابطه دارد با}]{\alpha}$ performance
- Quality control → QC → یکی از راه‌های کنترل کردن کیفیت مواد ساخته شده در راه و مقایسه‌ی آن با آزمایشگاه استفاده از روابط فازی است.

Subject:

Year. Month. Date. ( )

$$G_{mb} = \frac{\text{Mass of agg + binder}}{\text{Vol of agg + binder + air}} = \frac{\text{وزن کل}}{\text{حجم کل}}$$

bulk specific gravity

← حجم داخل یعنی از boundary تا دیواره داخل

$$G_{mm} = \frac{\text{Mass of (Agg+binder)}}{\text{Vol of (Agg+binder)}}$$

Max specific gravity

از دو فاکتور G_{mm} و G_{mb} می‌توان درصد هوا را بدست آورد:

$$\text{percent of air voids} = \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right) \times 100$$

$$\frac{G_{mb}}{G_{mm}} = \frac{V_{a+b}}{V_{a+b+v}}$$

برای بدست آوردن G_{mb} ← وزن خشک را اندازه می‌گیریم.

" اشباع را " " .

وزن غوطه‌وری (زیر آب) را اندازه می‌گیریم.

$$G_{mb} = \frac{A \rightarrow \text{mass of dry sample}}{B - C}$$

B ← mass of SSD

C ← mass of sample under water

. Loose mix ← نمونه آسفالتی را خرد کرده و در داخل آب و زیر دستگاه خلاء قرار می‌دهیم تا هیچ حباب هوایی در داخل آن نماند.

$$G_{mm} = \frac{A \rightarrow \text{mass of dry sample}}{B \rightarrow \text{volume of sample (without air voids)}}$$

P4PCO

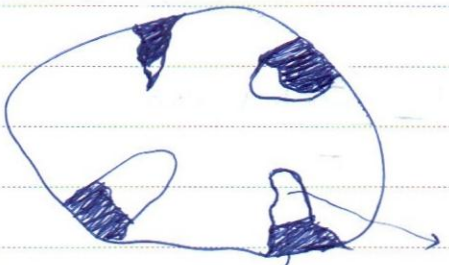
Subject:
Year. Month. Date. ( )

اهمیت air void ← یکی از کلیدی ترین پارامترهای میباشد performance است.

$$G_{se} = \frac{\text{Mass of dry Agg}}{\text{vol of solid Agg + voids not filled with binder}}$$

effective specific gravity for Agg

↓ منافذی که پر نشده است.



$$G_{se} = \frac{100 - P_b}{\frac{100}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

P_b ← درصد قیر

G_b ← specific gravity of the binder

از حد خصوصیاتی است که فقط به سنگدانه مربوط نیست و به قیر هم مربوط است. G_{se}

$$P_{ba} = 100\left(\frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} G_{se}}\right) G_b$$

G_{sb} ← bulk specific gravity of Total Agg

P_{ba} ← % of binder absorbed by mass of Agg

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} P_b$$ ← حل گردد؟؟

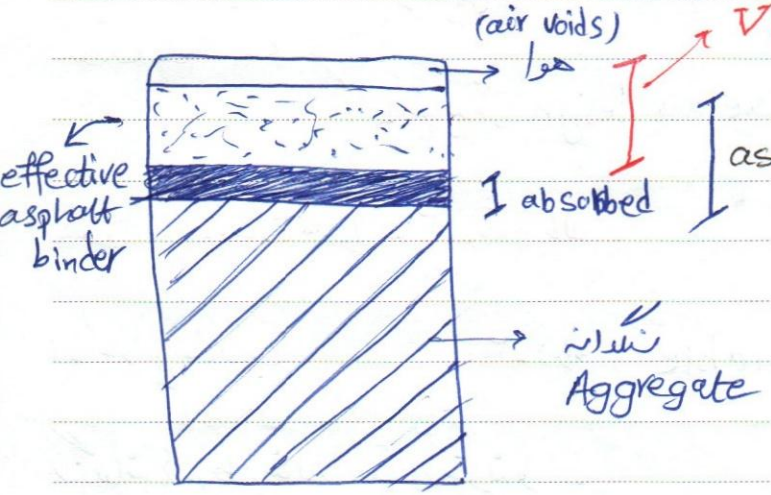
P4PCO

Subject: voids in Mineral Agg

Year. Month. Date. ( )

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \cdot P_s}{G_{sb}}$$ → pecent of agg by mass of the mix

$$VMA_{effective} = 100 - \frac{G_{mb} P_s}{G_{se}}$$



Volume diagram

VMA برای Mix مطلوب است.

وقتی VMA کم است، بیانگر یک Mix شکننده است زیرا قیر آن کم است و عمده‌ی فضا را سنگدانه ها اشغال کرده اند.

اگر VMA خیلی بالا باشد یعنی Mix ما stability ندارد و احتمالاً دارای مشکل پایداری است.

VFA = 100 $\frac{VMA - V_a}{VMA}$ → voids filled with Asphalt

VFA شاخصی است که رابطه‌ی بهتری با پارامترهای VMA و V_a است بنابراین خیلی ها می‌گویند این شاخص یک شاخص واسطه است و چیز جدیدی نیست.

P4PCO

Subject :
Year . Month . Date . ( )

هدف از ساخت مخلوط آسفالتی : ترکیب اجزای آن به صورتی بهینه برای رفع نیازهای موجود به شکل اقتصادی

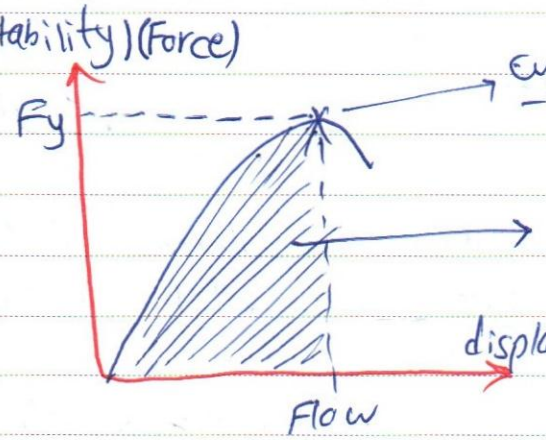
روش‌های مختلف
- قدیمی‌تر: Marshal, Hveem
- جدیدتر: superpave mix design ← بر روی قیر و مخلوط کار کردند اما روی سنگدانه‌ها نه!

اهداف و ملزومات معمول هر ۳ روش بالا :

۱- کارایی مناسب ۲- دوام (Durable) : باید مقدار قیر در حدی باشد که سنگدانه‌ها به طور مناسب متصل شوند و...

۳- پایداری (stability) ۴- میزان هوای موجود کارآمد باشد، بگونه‌ای که نباید خیلی کم باشد تا در بارگذاری دوزدگی رخ ندهد، نباید از یک حدی بیشتر شود تا رطوبت و... مخلوط‌ها را فرسوده کند.

روش مارشال :



در روش مارشال عرضاً این نقطه مهم است.

مقاومت زیر منحنی را برزشی لازم کاربرد دارد برای

هرچه قیر بیشتری در مخلوط داشته باشیم ↑ Flow

Subject:

Year. Month. Date. ( )

تنها stability مهم نیست، بلکه میزان تغییر شکل هم در زمان شکست مهم است.

* در ساخت نمونه برای متراکم کردن نمونه از چکش مارشال استفاده کردیم.

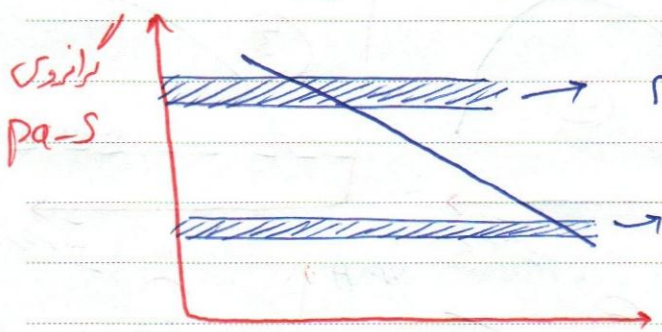
Volumetric	Va	VFA
	VMA	Density
Mechanical	stability	
	Flow	

پارامترهای مهم این روش؟

روش مارشال، شامل ۶ گام اصلی زیر است:

۱- انتخاب سنگدانه مناسب ← از نقاط اطراف محل ساخت باشد بهتر است.

۲- انتخاب قیر مناسب ← خرید قیر مناسب از پالایشگاه ← تعیین دمای مناسب اختلاط و



این نمودار را می‌توان، برای قیر اصلاح شده (پلیمر دار و ...) استفاده کرد. این اطلاعات را بهتر است از سازنده بگیریم.

یا مثلاً درصد بهینی قیر (هدف در ادامه)

P4PCO

Subject :

Year . Month . Date . ( )

۳ـ استفاده از روش سعی و خطا : Develop trial blends

حدود درصد قیر پهنه 5 % است ، حال باید نمونه هایی مختلف قیر با درصدهای مختلف قیر

(5 ± 0.5 و 5 ± 1) ساخته و شاخص های گفته شده در صفحه ی قبل را بدست آوریم .

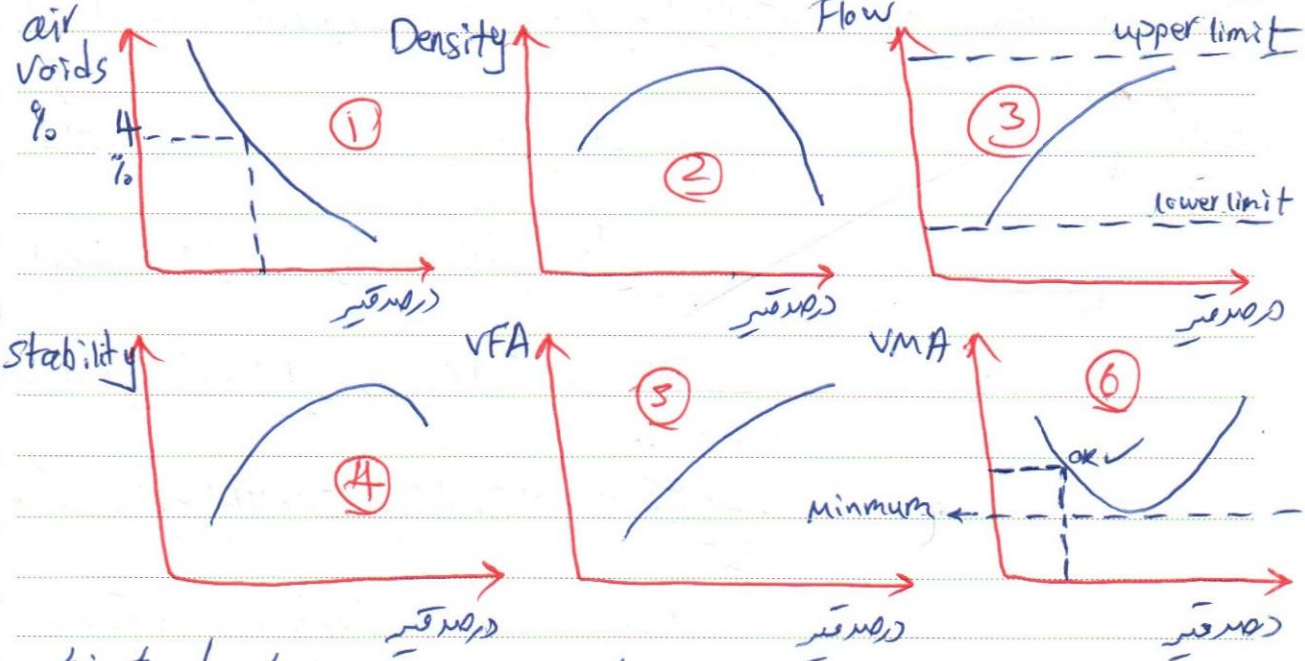
در حالت کلی :

نوع مصالح سنگدانه ← سیلیسی / آهکی

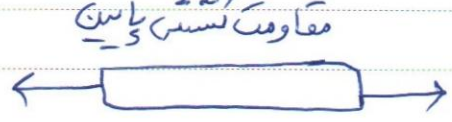
نوع دانه بندی ← C3 ← تعداد نمونه $12 \times 5 \times 3 = 180$ حالت

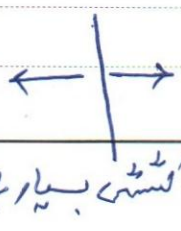
قیر ← 2 نوع

۴ شاخص اشاره شده :



ناشی از آزمایش فشار هیدرواستاتیکی





PqPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

با استفاده از 1 ، 2 ، 4 ، درصد قیرهای بهینه تعیین می‌شود و با استفاده از 3 و 5 چک می‌شود. حدود استاندارد برای Flow ، VMA و Stability و ... در جدول مربوطه داده شده است. که بر اساس نوع ترافیک، سبک، متوسط و سنگین تعیین می‌شود.

* پس از انجام این روند برای تمام نمونه‌ها، حالت بهینه‌ی یکی از آن ۱۲ حالت تعیین می‌گردد.

با بررسی ۴ پارامتر ۱- عملکرد ۲- مسائل اقتصادی، یکی را انتخاب می‌کنیم

مقایسه توسط داده‌های آزمایشگاهی مناسب ← راحت است.
بهینه
تشبیه سازی با نرم افزارهای المان محدود

مزایای روش مارشال: ۱- توجه به فضای خالی، مقاومت و پایداری، دوام

۲- روشی ارزان قیمت است ۳- در پروسه‌ی کنترل و پذیرش، براحتی انجام پذیر است.

معایب روش مارشال: ۱- ترافیک را به نحوی که در کارگاه انجام می‌شود شبیه سازی نمی‌کند

۲- مقاومت برشی زیاد در نظر نمی‌گیرد ۳- تفاوت جهت تراکم و بارگذاری

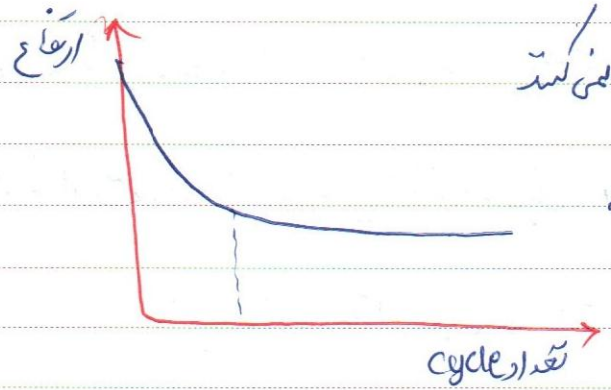
یکی از تغییراتی که Superpave ایجاد کرد، نحوه‌ی متراکم کردن نمونه بود که با اعمال بارگذاری ثابت بر روی نمونه و چرخش ظرف محتوی آن با زاویه‌ی 125° نسبت به قائم انجام شود که هم فشار و هم برش را که در عمل اتفاق می‌افتد را شبیه سازی می‌کند.

P4PCO

Subject :

Year . Month . Date . ( )

Superpave Design Method :



در حالت compaction با ضربه نمونه را متراکم می‌کنند

super pave

بلکه با داشتن یک رفتار cyclic ارتفاع نمونه

کاهش می‌یابد و شبیه compaction در

field است.

به تعداد cycle‌ای که لازم است تا نمونه به یک ارتفاع ثابت برسد را ..... گویند.

طراحی سازه‌ی روسازی :

۱ـ مقدار بارگذاری

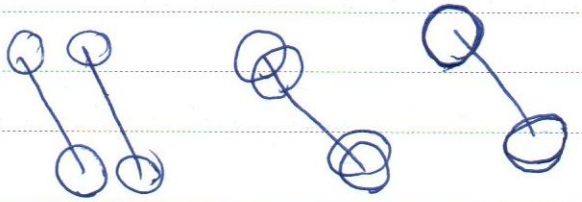
۲ـ شکل بارگذاری (شکل محور و فاصله‌ی آن‌ها)

۳ـ میزان تنش تماسی تایرهای خودرو با سطح جاده

۴ـ مثلاً اینکه در یک باند جاده خودروها دقیقاً از یک مسیر رد نمی‌شوند Traffic wandering گویند.

در حالت کلی وسایل نقلیه‌ی متنوعی وجود دارد و هر کدام بارگذاری متفاوت و متنوعی دارند.

مثلاً



P4PCO

Subject :

Year . Month . Date . ( )

۳ روش بررسی بارگذاری ترافیکی :

۱- Fixed Traffic ← عمر روسازی براساس خستگی نیست بلکه آنالیز براساس بارگذاری مجازی است.

۲- Fixed vehicle

۳- variable Traffic & vehicle

← معمولاً برای فرودگاه ها و اتوبان ها با خودروهای سنگین استفاده می‌شود و معمولاً برای روسازی بتنی خوب است. ← این روش تقریباً منسوخ شده است.

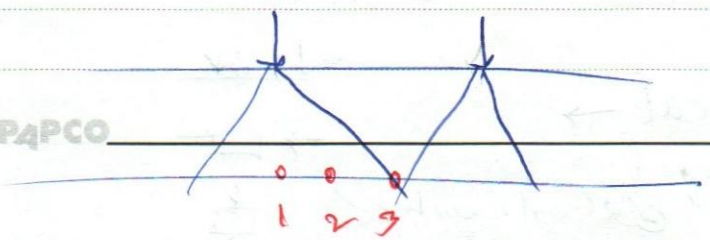
← این روش طراحی برای single aale می‌باشد و برای حالت Tandem مناسب نیست و بلحاظ single Tire نشده است، اما با اعمال اصلاحاتی می‌توان از این روش استفاده کرد. برای تبدیل single به dual

چند روش وجود دارد که در روسیستم اینها را با هم معادل می‌کند.

- vertical stress
- " deflection
- Tensile strain

این ۳ عامل از جمله عوامل ایجاد کننده‌ی خرابی در سیستم‌ها است که اگر آنها را معادل کنیم تقریباً می‌شود گفت خرابی که میزان آنها با هم معادل هستند.

اگر مثلاً عمق روسازی کم باشد میزان vertical stress در زیر چرخ هم پوشانی ندارد.



فصل ۶ کتاب هووانگ

P4PCO

Subject: Year. Month. Date. ( )

ضریب معادل گیری 2 ضریب معادل گیری 1 فاصله‌ی محور تا محور دو تا لاستیک

اگر ضخامت روسازی از $\frac{d}{2}$ کمتر باشد اصلاً هم پوشانی نداریم و اگر از $2d$ ضخامت بیشتر شد کاملاً هم پوشانی داریم و برای تبدیل بارگذاری dual به single یک نمودار وجود دارد که بین ضخامت $\frac{d}{2}$ و $2d$ نیز یک معادله وجود دارد:

$$\log(ESWL) = \log P_d + \frac{0.301 \log(2Z/d)}{\log(4Sd/d)}$$

(عمق روسازی / مرکز تا مرکز لاستیک‌ها / فاصله‌ی آزاد لاستیک‌ها)

{slide مثال در}

برای بدست آوردن بارگذاری زیر لاستیک‌ها باید از برهم نهی استفاده کرد.

امّا من دانیم کجا مقدار تنش Max است برای این کار ۳ نقطه را بررسی می‌کنند، یکی زیر یک سری از لاستیک‌ها یکی در $\frac{sd}{2}$ یا بین دو لاستیک و دفعه‌ی بعدی در $\frac{sd}{4}$ لاستیک دیگر است.

$$9s \times \left[\frac{\sigma_z}{q}\right] \leftarrow \text{بار یک محوره}$$

Fixed Vehicle بارگذاری تمامی وسایل نقلیه معادل می‌کنند با بارگذاری یک وسیله‌ی نقلیه‌ی واحد ← ESAL

طراحی روسازی 2 حالت کلی دارد: Emperical → / Mechanical →

با استفاده از روش‌های تجربی کلی

← با بدست آوردن توزیع تنش و روابط تنش و کرنش حل می‌کردند.

P4PCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

EALF_Ashto Method

$$\frac{W_{tx}}{W_{t18}} \simeq \frac{1}{F}$$

$$\log \frac{W_{tx}}{W_{t18}} = 4.79 \log(18+1) - 4.79(L_x + L_2) + 4.33 \log L_2 + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}}$$

$$\frac{W_{18}}{W} = F = EALF$$ (تعداد عبور ماشین‌های بارگذاری زیاد (کم‌تر) است)

بارکم ≈ خرابی کم ≈ تعداد عبور بیشتر (مجاز)

بارزیاد ≈ خرابی زیاد ≈ تعداد عبور کم (مجاز)

$$load \propto Distress \propto \frac{1}{W}$$

$$F = EAlF = \frac{\text{میزان خرابی در اثر عبور بار مجهول}}{\text{میزان خرابی در اثر عبور بار استاندارد (18 kips)}}$$

مثلاً $\frac{200\,000}{100\,000} = 2$ (W_{18} بالا، W_x پایین)

P_t مشخص است که نشان دهنده‌ی این است که وضعیت روسازی ما در چه وضعیتی است.

$0 < PSI < 5$ است PCI مشابه PSI

$0 < PCI < 100$ ← بد ↓ وضعیت روسازی ↓ خوب

↓

present servicibility Index

5 — very good

4

3 — Good

2 — Fair

1 — poor

0 — very poor

PSI (is a performance Indicator)

SN : Structural number نشان می‌دهد روسازی ما چقدر قوی است.

$$PCI = 100 - a_1 x_1 - a_2 x_2$$

↓

یک سری پارامترهای خرابی از ۱۰۰ کم می‌شود.

مثلاً $80 \leq PCI \leq 100$ ← chipseal استفاده می‌کنیم.

$70 \leq PCI \leq 80$ ←

FYI → For your information (بی خواهد)
set → بی خواهد اول بنداره

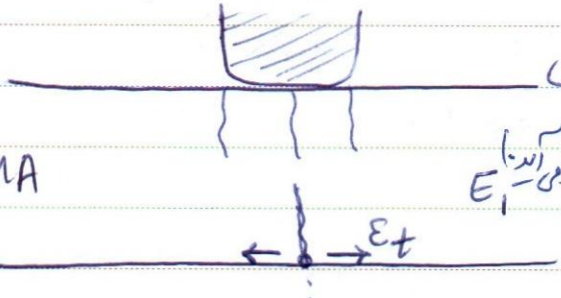
در فرمول $\log \frac{W_{t_x}}{W_{t_{18}}}$ پارامتر β خود تابعی از SN است نه مقدار اصلی از $\left(\log \frac{W_{t_x}}{W_{t_{18}}}\right)$

برای SN استفاده می کنیم که خودش SN دارد پس باید با سعی و خطا مقدار SN را بدست آورد.

$$SN = f(D_i, a_i, m_i)$$
ضخامت لایه } جنس لایه } زهکشی لایه }

برای بدست آوردن عمر خستگی و عمر رایتگ در کتاب هوانگ و Solide رابطه وجود دارد:

عمر خستگی: تعداد دفعات عبوری است که در روسازی سبب ایجاد ترک خستگی می شود.



ترک های خستگی از کرنش در زیر لایه آسفالتی

لایه ی اول ناشی می گردد. (واز ترک هایی که از زیر به بالا می آیند) E_1

$$N_f = f_1 (\varepsilon_1)^{-f_2} (E_1)^{-f_3}$$

asphalt institute ← AI ←
$$N_f = 0.0796 (\varepsilon_t)^{-3.291} (E_1)^{-0.854}$$

Crauss et al (1982)
$$N_f = 0.0636 (\varepsilon_t)^{-3.291} (E_1)^{-0.854}$$

← وقتی ضخامت لایه خیلی کم باشد از این فرمول استفاده می گردد زیرا لایه مقاومت کمتری دارد و زودتر ترک می خورد.

HMA ≤ 4 in

$$N_f = 0.0685 \ldots$$

به طور شبیه روابط بالا رابطه ای داریم که عمر Rutting را می دهد.

$$N_d = f_4 (\varepsilon_c)^{-f_5}$$

Subject:

Year. Month. Date. ( )

۳ رابطه نیز برای عمر Rutting وجود دارد ← slides

N_f $EALF = \frac{W_{t18}}{W_{tx}} = \left(\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_{18}}\right)^2 \rightarrow EALF = \left(\frac{L_x}{18}\right)^4$ $EALF = \left(\frac{L_x}{L_s}\right)^4$

میزان بار

در روابط مکانیکی بالا باید یک محور با type یک type مشخص محور مقایسه کرد نمی‌توان

مثلاً یک محور را با ۳ محوره مقایسه کرد.

برای آنالیز تنش در روسازی لایه‌ای از نرم افزار Ken layer استفاده می‌شود که برای روسازی‌های

انعطاف پذیر (Flexible) است و برای روسازی Rigid از Kenslab استفاده می‌شود.

یک شاخص PSR وجود دارد که در آن کارشناسان روی راه رانندگی می‌کنند و شاخص را به صورت

کیفی مشخص می‌کنند و به صورت کیفی امتیاز می‌دادند. این تابع به دلیل خطا و تفاوت بسیار زیاد نتایج

و کیفی بودن آن خیلی قابل استناد نیست به همین دلیل شاخص PSI را تعریف کردند.

$PSI = f(\text{Roughness}, \text{Distresses})$

پستی و بلندی‌های سطح راه — خرابی‌ها

$PSI = A_0 + A_1 R_1 + A_2 R_2 + B_1 D_1$

$R_1 \rightarrow \log(1+SV)$ ← Slope variation

شاخصی که Roughness را نشان می‌دهد.

$R_2 \rightarrow \frac{1}{RD^2}$ ← Rutting

$D_1 \rightarrow (C+P)^{1/2}$ ← cracking, patching

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date.

تا بحث از این پارامتر

$$PSI = f(SV, RD, C+P) = PSR$$

نهایتا این مقدار PSI را با PSR برابر در نظر گرفتند که PSR مبیّن شاخص کنونی بود که کارشناسان مشخص می‌کردند.

عمر Fatigue ← E لایه‌ی اول ↔ ε کشش لایه‌ی اول

عمر Rutting ← ε ↕ لایه‌ی دوم

اطلاعات ترافیکی

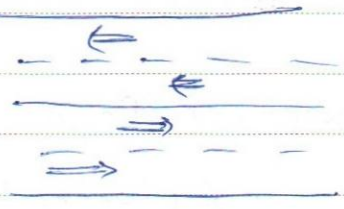
ADT
- هر وسیله‌ی نقلیه
- چه نوع محوری دارد

در حالت کلی ADT + درصد وسایل نقلیه را می‌دهند.

انواع محور → F_i تبدیل می‌شود → ESAL برای عمر روسازی

ESAL

ADT ترافیک در دو جهت رفت و برگشت است. برای طراحی ضخامت روسازی باید میزان ترافیک جهتی را بیابیم که برای این منظور باید ADT



در یک ضریب directional distribution ضرب شود و از طرفی در هر جهتی ما یک ضریب lane distribution داریم که با توجه به میزان ترافیک و سطح سرویس است که در هر باندی چه ترافیکی داریم و با فدبجرانی

Subject: Growth Factor directional distrib lane distrib year

Year. Month Date.

$$n_i = (n_0)_i (G)(D)(L)(365)(Y))$$

رابیا سیم ،

ضریبی که افزایش ترافیک در طول پروژه را در نظر می گیرد. Growth Factor

در طول پروژه و در حین اصلاحات راه جهت افزایش می یابد و زمین } تغییر کاربری می دهند ترافیک زیاد می شود.

ن زیر نمودار ترافیک 20 سال است.



G (۳ رابطه دارد) ← {slide

ضریب G براساس میزان متوسط رشد ترافیک است.

ترافیک سال وسطی ← 0.5Y

$G = (1+r)^{\text{درصد رشد ترافیک}}$ → رابطه ی PCA

$$G = \frac{[1+(1+r)^Y]}{2}$$ → محافظه کارانه تر است و میانگین سال اول و آخر است.

$$G = \frac{(1+r)^Y - 1}{r.Y}$$

GxY مساحت زیر نمودار بالا است و چون مفهوم فیزیکی پیدا می کند به آن نحوه آن را می نویسند.

chapter6 ← ص 271 ← مثال Huang بررسی گردد.

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

مثال) صفحه 271 هوانگ

$r = 3.5\%$ $y = 30$ → 1.9

نرخ رشد را به دو روش محاسبه کنید.

$G = \frac{[1+(1+r)^y]}{2} = 1.9$ → 1.675

رابطه 2 $= 1.675$ → 1.721

رابطه ی ۳ $= 1.721$

برای ربط دادن $(N_0)_i$ به ADT رابطه ی زیر را داریم: صفحه 265 و صفحه 266 هوانگ

$$(N_0)_i = (P_i F_i)(ADT)_0 (T)(A)$$

A: Average number of Axle per truck

T: percent of truck in ADT

$$T_f = \left[\sum_{i=1}^{m} (P_i F_i)\right] \times A$$

T_f: Truck factor

خرابی که هر کامیون ایجاد می کند.

$$ESAL = (ADT)_0 (T)(T_f)(G)(D)(L)(365)(Y)$$

در سیستم های Mechanical نیازی به تبدیل کردن بارگذاری ها به یکدیگر نیست و برای هر بارگذاری جداگانه تنش و کرنش و در نتیجه خرابی ها بدست می آید.

Subject:

Year. Month. Date. ( )

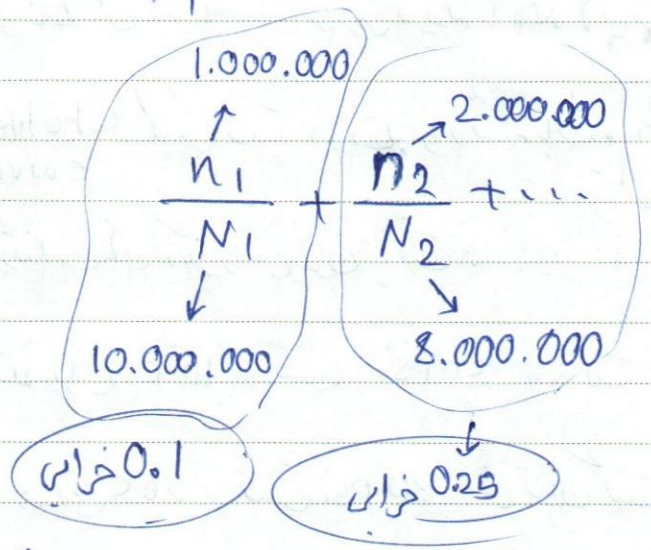
مقاومت خاک بستر در فصول مختلف و زمان های مختلف روز متفاوت است و خصوصیات

متفاوتی دارند، پس لازم است بدانیم در چه فصلی از سال چه میزان ترافیک داریم.

$\frac{n_1}{N_1} + \dots$

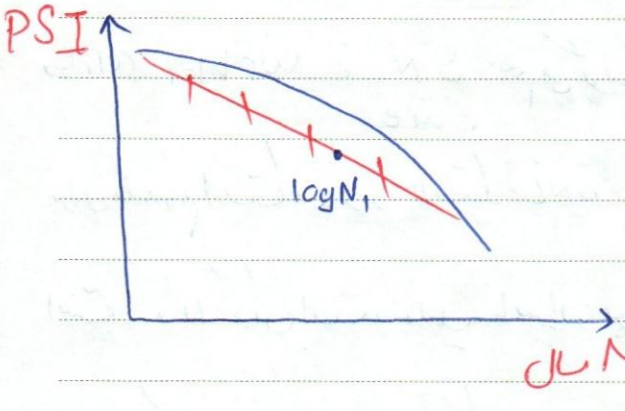
$> 1 \rightarrow$ Fails خازه

$= 1$ / $< 1 \rightarrow$ does not Fail



$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} = 1$ بهتر از میزان بارگذاری را در زمان خاص خودش لحاظ کنیم و مشکل استفاده از اصل

آمست که همه چیز را خطی در نظر می گیرد.



$G_D = f(D)$

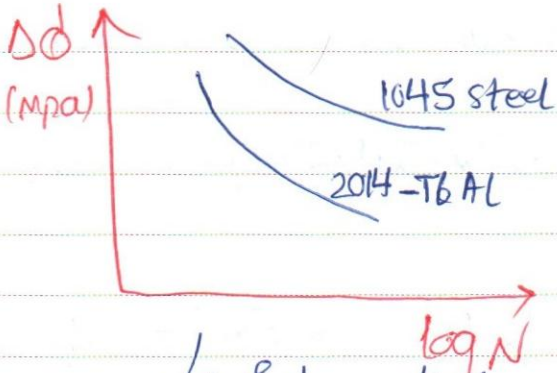
↓

growth

deterioration

Subject :
Year . Month . Date .

Wohler Curve



این نمودار N مجاز را برای مواد مختلف نشان می دهد

رفتار آنها تحت N بار، بارگذاری cyclic نشان می دهد

و perpetual نوعی از روسازی است pavement

که Δσ آن در ناحیه‌ای قرار می گیرد که با N (بی نهایت) گسیختگی fail نمی کند برای ریم

Wohler curve با کافی است دو نقطه را داشته باشیم $\sigma_1 \rightarrow N_{f1}$ $\sigma_2 \rightarrow N_{f2}$ پس تعداد cycle مجاز برای بارگذاری‌های دیگر را می توان یافت.

$N_f = (\sigma$ ، شرایط بارگذاری)

↓

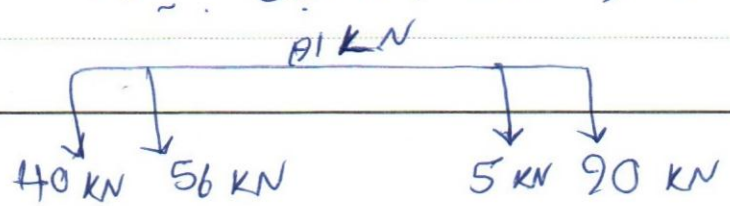
دما - میزان رطوبت

مثلاً برای 10°C و تنش 30 psi و حالت

دمای 20°C و تنش 30 psi نمی توان گفت تعداد N_i یکسان است، باید حواسمان باشد، آنها را هم جزئی بگذاریم.

Wohler curve، S.N هم می گویند ← stress number curve

برای ما مهم است که بار زیر لاستیک چقدر است و هم چنین میزان تنش روی سطح روسازی چقدر است. مثلاً ممکن است به دلیل نامیزان بودن بار لاستیک، عدم کارکرد سیستم suspension و یا بارگذاری نامتقارن داخل کامیون بار روی برخی از چرخ‌ها بیشتر گردد.

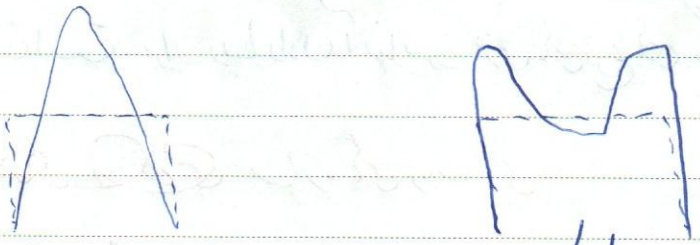


PAPCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

و در مرحله‌ی بعض خوردگی روی سطح لاستیک‌ها بر تنش روی سطح راه تأثیر می‌گذارد

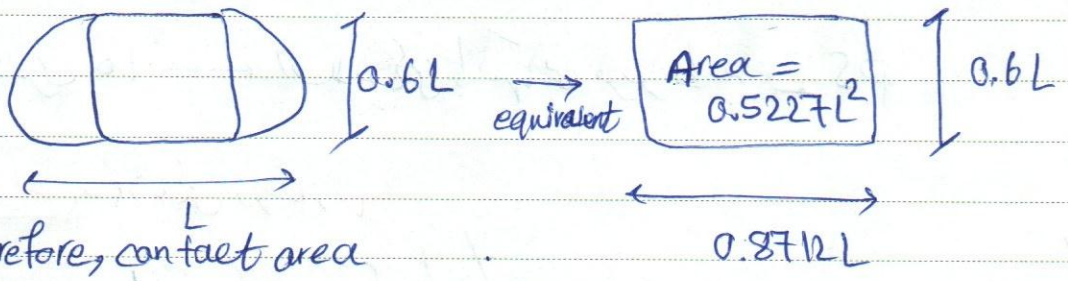


باد زیاد لاستیک تنش روی سطح لاستیک است.

لاستیک کم باد

برای روسازی، نه لاستیک پر باد مناسب است و نه لاستیک کم باد

برخی اوقات برای تحلیل بارگذاری روسازی سطح تماس را با دایره یا مستطیل تقریب می‌زنند که این کار، محاسبات را برای بدست آوردن تنش آسان می‌کند.



Therefore, contact area A_c, is given by $= 0.5227\,L^2$



$$a = \sqrt{\frac{P}{p\pi}}$$

P ← بارگذاری

pressure = p

در سطح روسازی همیشه یک باند بی‌انی وجود دارد و در داخل همان باند هم هنگی وسایل یکسان هم حرکت نمی‌کنند که به آن traffic wander گویند.

Subject :
Year . Month . Date . ( )

روابطی که برای آنالیز های روسازی به صورت تجربی بود برای نوعی از آسفالت که در آن زمان بوده است صادق است. برای ربط دادن آنها به روسازی های نوع های دیگر

طراحی سازه های روسازی

طراحی بر مبنای روش AASHTO

اسلایدهایی که نیاز به مطالعه ی آنها نیست.

سری ۴ ← ۳ اسلاید مربوط به تئوری آی FYI

سری ۶ ← کی

سری ۱۰ ← اسلایدهای انتهایی مربوط به PSI

طراحی سازه های روسازی

یک loop داریم که باید در آن حرکت کنیم و بهینه ترین و اقتصادی ترین راه را پیدا کنیم این مسئله بستگی به این دارد که چه option هایی داریم و گزینه های ما چیست؟ برای هر لایه ی روسازی با توجه به set موادی که داریم ضخامت ها را تعیین می کنیم و پس نسبیم هزینه ی هر set مواد با set های دیگر مواد چقدر تفاوت دارد و اینکه در هر زمان چقدر هزینه برای

Subject :

Year . Month . Date . ( )

نگهداری این set داریم.

نوع آیین نامه ای که در ابتدا طراحی شد با توجه به وسایل تقلیل آن زمان است که در طول زمان و با زیاد شدن وسایل تغییرات بسیار زیادی شده است. از جمله محدودیت های دیگر این روش آن است که فقط برای base در نظر گرفته شده است.

$$ESAL = f(t_{AC}, t_{base}, t_{subbase}, load \dots)$$

t_{AC}: asphalt concrete

Design for standard Axle

$$\log W_{18} = 9.36 \log(SN+1) - 0.2 + \frac{\log\left[\frac{4.2-P_t}{4.5-1.5}\right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

SN: structural number

این فرمول برای یک خاک بستر خاص می باشد و برای خاک بستر های مختلف باید یک ترم جدید اصلاحی اضافه کرد.

SN ⟵ به ما نشان می دهد که سازه ی روسازی ما چقدر قوی است

$$SN = a_1 D_1 + m_2 a_2 D_2 + m_3 a_3 D_3$$

a_1: ضریب ثابت هر لایه

D_1: ضخامت هر لایه

m_2: ضریب زهکشی هر لایه

هر چه مقاومت لایه ای قوی تر باشد a آن بیشتر است.

لایه HMA پارامتر M ندارد چون بالای روی آن تأثیری نمی گذارد.

m به دو چیز بستگی دارد : ۱- به این که زهکش ما چقدر خوب است ۲- اگر ظرف ۲ ساعت آب از زهکش خارج گردد ← عالی است.

" " " " " " " 24 " " " " " خوب است.

" " " " " " " " " " " Fair است

Table 4.7

پارامتر a_2 از روی Figure 2.6 خوانده می شود با توجه به تستی که انجام داده ایم

می توان a_2 را بر حسب E_2 یا resilient modulous بر پایه ها

$a_2 = 0.249 \log(E_2) - 0.977$ ← فقط برای خاک اصلاح نشده می توان از این رابطه استفاده کرد. untreated

$E_2 = K_1 \theta^{K_2}$ ← میزان استرس است که مجموع تنش های اصلی می باشد.

K_1 و K_2 ثابت هستند.

$$\theta = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z + \gamma z(1+2k_0)$$

k_0 ← coef of earth pressure at rest

از روی نمودار مربوطه آن

a_3 ← Fig 2.7 (a_3 هم به a_2 بستگی می آید) رابطه ای a_3, a_2

متفاوت هستند و باید دقت شود. از طرفی a_2 و a_3 برای اصلاح شده رابطه ندارند.

Subject :

Year . Month . Date . ( )

بعضی وقتها خاک زیر را اصلاح می کنیم (با سیمان قیر) بنابراین باید دقت کرد که از نمودار Fig 2.8 برای base اصلاح شده استفاده نکنیم مثلا a_2 و a_3 اصلاح نشده است.

تأثیر بارگذاری هم روی خاک بستر یا M_R تأثیر می گذارد و هم روی ε_i که برای لایه های مختلف روسازی اثلت از آن استفاده می شود.

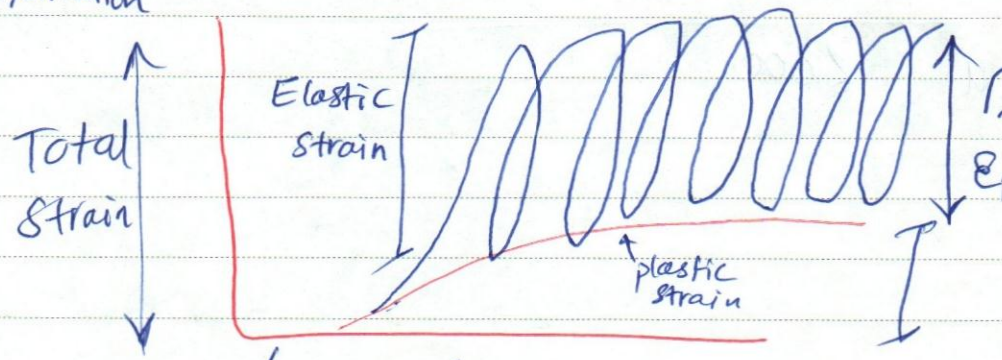
$$M_r = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_r}$$

σ_d → deviatoric stress = تنش تفاضل بارگذاری

ε_r = کرنش برگشت پذیر

Resilient modulous = تقسیم تنش بر کرنش الت برگشت پذیر

این modulus از جایی به بعد کلا recoverable می شود چون دیگر permanent deformation



با یک M_R می خواهیم روسازی را طراحی کنیم که با توجه به اینکه در طول سال چند damage داریم و با توجه به آن یک average گیری می کنیم و روسازی را طراحی می کنیم.

$$U_f = \bigcirc \times M_r$$

M_r ↑ مقدار U_f ↓ و یعنی میزان damage کمتر است.

$$\overline{U_f} = \frac{\sum U_{fi}}{a=12}$$

بعداز بدست آوردن M_f متوسط M_2 را از رابطه‌ی آن با M_f می‌توان بدست آورد ازاین طریق می‌توان M_R متوسط را بدست آورد. امّا همواره اینگونه نیست که بازه‌ی زمانی مساوی داشته باشیم مثلاً در مناطق جنوبی ایران بارندگی نداریم مثلاً در

winter	
spring	5000
summeb	
Fall	8000

P4PCO

Subject:

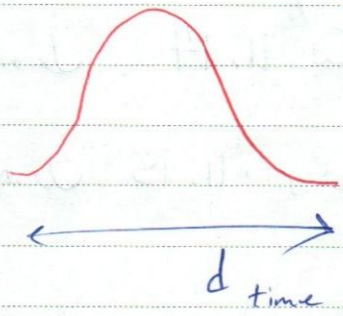
Year. Month. Date. ( )

K_1 و K_2 برای مصالح خشک و تر به حالت کی مختلف و متفاوتی هستند و دارای بازه هستند.

مطالب مربوط به طراحی فصل ۱۱ و ۷ است

K_1 و K_2 برای subbase و base دارای مقادیر مختلفی هستند.

بارگذاری یک خودرو که از روی راه عبور می‌کند به شکل زیر است



→

به صورت سینوسی یا مثلثی تخمین می‌زنند.



زمان d یا پریود بارگذاری تابع دو چیز اصلی است: ۱- سرعت خودروهای عبوری ۲- ضخامت روسازی

در ضخامت کمی بزرگتر نقطه‌ی A زودتر احساس بارگذاری می‌کند و پریود طولانی‌تر می‌شود.



برای وارد کردن Reliability در رابطه‌ی $\log \frac{W_{18}}{10}$ یک پارامتر $Z_R S_0$ بدست می‌آید و وارد روابط می‌شود.

Subject :
Year . Month . Date . ( )

PSi در زمان انتها

$\Delta PSI = P_i - P_t$

باید ثبت شود که SN را به جز رابطه‌ای که $\log_{10}^{W_{18}} = \dots$ است می‌توان با ماشین حساب از آن رابطه بدست آورد و راه دیگر استفاده از nomogram است nomograms دوربین دارد

جدول 11.14 کتاب هوانگ جدول درصد reliability برای انواع راه‌هاست.

جدول 11.15 برای هر reliabity یک Z به ما می‌دهد.

R =	Z =
50	0
90	-1.282
95	-1.645

S یا standard deviation می‌تواند اندازه گرفته شود ولی اگر نداشتیم توصیه می‌شود (صفحه ۵۰۸ کتاب هوانگ)

Flexible ← S=0.49
rigid ← S=0.39

P_t در رابطه برابر PSi در زمان انتهاست.

کلی‌ترین شکل معادله‌ی design معادله‌ی 11.37 است. در رابطه‌ها PSi اولیه را 4.2 می‌گذارند که PSi اولیه به نوع راه و نحوه‌ی اجرا بستگی دارد.

PAPCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

psi initial (اولیه)
- Flexible ⟶ 4.2
- Rigid ⟶ 4.5

P_t ← psi t انتهای بستر حالت تا 1.5 پایین می‌آید.

$$\log\left[\frac{4.2-P_t}{4.2-1.5}\right]$$

psi final (نهایی) — حدنهایی پایین رفتن
- مهم 2.5
- کم‌اهمیت 2

ص 509 کتاب هوانگ

تعیین ضخامت لایه‌های روسازی

SN = ?

بستر subgrade

برای بدست آوردن SN در معادله‌ی design به جای M_R باید E_2 یا E لایه‌ی زیرین را قرار داد و فلسفه‌ی SN آنست که روسازی را بیابیم که لایه‌ی E_2 یا بالایی از لایه‌ی پایینی محافظت کند.

پس ضخامت لایه‌ی اول از رابطه‌ی $D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$ بدست می‌آید. برای SN لایه‌ی دوم باید $SN_2 = a_1D_1 + a_2D_2m_2$ پس E لایه‌ی زیرش را قرار دهیم.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

و از آن رابطه D_2 بدست می آید و روسازی ما نهایتاً برای 4 لایه طراحی می گردد و برای پایین ترین لایه از M_R که مدول خاک بستر استفاده می گردد و پس

$$SN_3 = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 M_3$$

$$SN_4 = a_1 \times \quad \times \quad \vee \quad a_4 D_4 M_4$$

در اثر شرایط آب و هوایی نیز تغییرات در شرایط ΔPSi شرایط آب و هوایی داریم که ΔPSi

۲ جزء داریم ۱- swelling lost ۲- Frost heave با جمع این دو مورد تغییرات ΔPSi کل بدست می آید و در اثر افزایش زمان این مشکل بیشتر و بیشتر می گردد و ما باید بینیم برای روسازی که داریم چه مقداری ΔPSi کل ما در اثر آب و هوا تغییر می کند و این را باید لحاظ کنیم

$$\Delta PSi = 0.0035 \cdot V_R \cdot P_S \cdot (1 - e^{-\theta t})$$

درصد ناحیه ای تحت تأثیر ← پتانسیل افزایش ارتفاع یا Vertical Rise ↓ swelling

V_R را با توجه به شرایط رطوبتی چگونه کنترل می گردد مگر نه دارد دارد که PI خاک را به نحوی مربوط ربط می دهد به ضخامت روسازی مرتبط می کند و پس V_R یا پتانسیل افزایش ارتفاع را می یابیم.

PAPCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

پارامتر سوم یا θ برابر Rate یا سرعت swelling است و θ هم به میزان moisture در خاک بستگی دارد و هم به ریزدانه خاک ربط پیدا می کند.

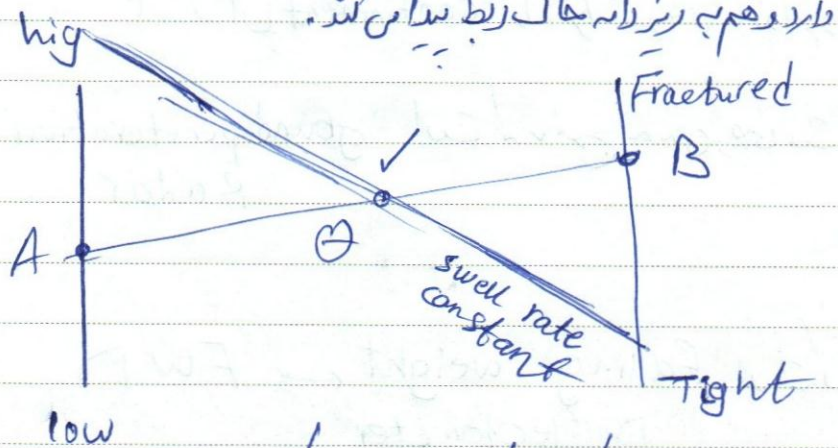


Fig 2.2 برای جایی است که مشکل ریزدانه و خاک رس دارد و باید روسازی را براساس شرایط آب و هوایی نیز طراحی کنیم Swelling & Frost heave

Frost heave برای ← $\Delta PSI = 0.01 \times P_F \times \Delta P_{Si\,max} \times (1 - e^{-\phi})$

← که برحسب جنس خاک است می توان ϕ را بدست آورد: از نمودار

mm/hr

یک نمودار داریم که با توجه به عمق یخبندان به شرایط زهکشی ΔPSI_{max} را می دهد.

Fig 6.7

زمانیکه روسازی را طراحی کردیم برای اطمینان از اینکه واقعاً روسازی دارای استحکام کافی است یا نه می توان از تست مخرب استفاده کرد و این تست کی مخرب

Subject :
Year . Month . Date . ( )

شامل core گیری است ۱- تخریب می‌کند ۲- زمان بر است ۳- هزینه بر است ۴- شرایط confinement راه را نمونه‌ی مانداره.

راه دیگر ground peneteration است که با موج جنس و ضخامت لایه‌ها را بدست می‌آورد. Radar

راه دیگر FWD ← Falling weight است که یک صفحه‌ی با وزن خاص را روی راه می‌اندازند تا بیشترین deflection ای ایجاد می‌گردد و به تعدادی سنسور نیاز داریم و سنسور سمت راست انها و سنسورهای دور data ای که به ما می‌دهند بررگ‌تر deflection لایه‌ای است و هرچه به زیر plate نزدیک‌تر می‌شویم deflection لایه‌های بالاتر تأثیر گذارتر است و به تدریج مدول لایه‌ها را بدست می‌آوریم و روش بدست آوردن مدول لایه‌ها به صورت سعی و خطایی است این نرم‌افزاری که از deflection مدول لایه‌ها را بدست می‌آوریم به آن back calculation یا محاسبه‌ی معکوس گویند و داریم برعکس مسیر طراحی حرکت می‌کنیم.

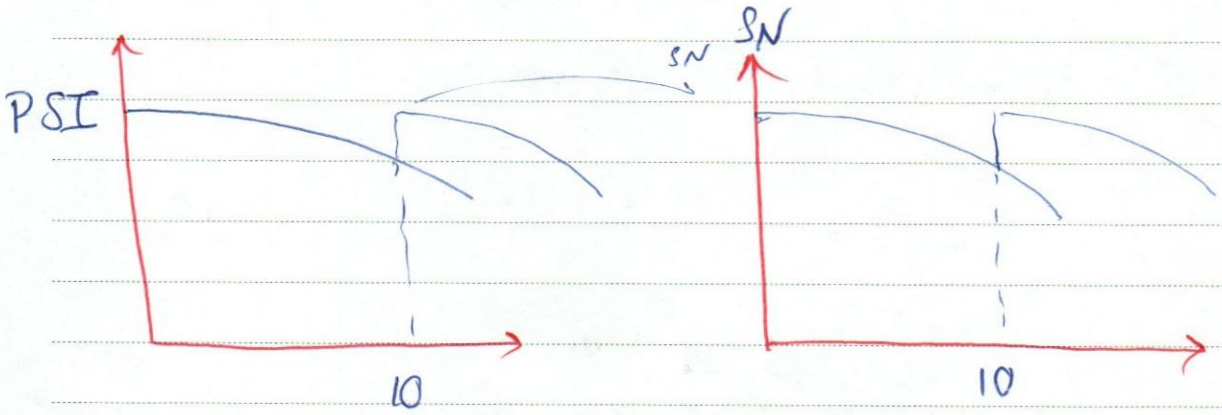
NDT → none destractive test ← FWD جزو این نوع تست‌ها است.

P4PCO

Subject :

Year . Month . Date . ( )

Application ; QC → quality control



Subject :

Year . Month . Date . ( )

Subject:
Year. Month. Date. ( )

حل تمرین روسازی

طراحی

E9.11-37
Fig 11.25
} دو جزء بسیار برای طراحی ما

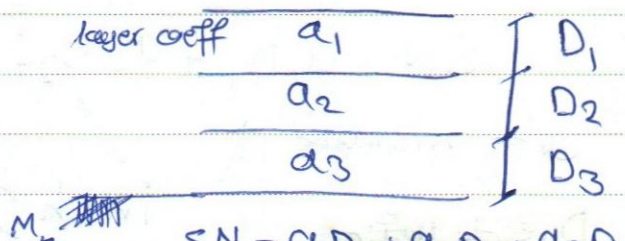
ESAL

برای SN مجهول ←

پارامتر ها: W_{18} S_o SN ΔPSI M_R → مدول الاستیسیته خاک

SN → structural number

Z_R → Reliability



$SN = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3$

اول SN را می خواهند با معادله و solve آن SN بدست می آید و سپس D_1 و D_2 و D_3 را بدست می آوریم.

یک سیک سوال آن است که می گویند و می گویند چه حجمی از ترافیک می تواند عبور کند در این حالت W_{18} مجهول است که برحسب ESAL است.

هرچه S_o پایین می آید M_R کمتر می شود و M_R مدول الاستیسیته ی لایه ی خاک است.

ΔPSI → $P_i = 5$ / 4.5 / 4.2 , $P_t = 2.5$ / 2

$\Delta PSI = P_i - P_t$

$\Delta PSI_{traffic} + \Delta PSI_{environ}$

Frost heave
swelling

PAPCO

جلسه‌ی چهارم :

Eq 11-37 W_{18}
Fig 11-25

توصیه می‌شود اگر SN مجهول بود از نمودار Fig 11.25 است

اولین نکته

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3$$

a_i – environmental
" Due to traffic
inch
حتماً مهم است.

1 inch = 2.54 cm

پارامترهایی که می‌تواند مجهول باشند M_R, ΔPSI, S_0, Z_R, W_{18}

W_{18} ← traffic ESAL
Z_R ← reliability
SN ← structural number
M_R ← subgrade modulus
S_0 ← standard deviation (اگر به ما ندادند فرض کنیم)

برسی شود در کتاب یک جدول داده که S_0 برای روسازی بتنی و آسفالتی در آن داده شده است و فرق می‌کند با هم.

ΔPSI که می‌شود $P_i - P_t$ ← terminal
$1.5 =$ ← اولیه

Subject :

Year . Month . Date . ( )

$$\Delta PSI = \Delta PSI_{traffic} + \Delta PSI_{environmental}$$

ΔPSI ترافیک و environmental باید در فرمول کلی 1.5 جمع مقداری

را بگذاریم. گاهی اوقات اگر بگوید صرفنظر کنیم environmental آن را

اگر هیچ چیزی نگفت از نمودار 11.23 که یک نمودار کلی است برای یک

منطقه است می‌توان ΔPSI environmental را بدست آورد. اگر چیزی راجع به environmental

نگفت با دوره‌ی طرح ۱۰ سال یا 15 سال مقدار ΔPSI environmental را بدست می‌آوریم

برای Z_R از table 11.15 آن را بدست آورد.

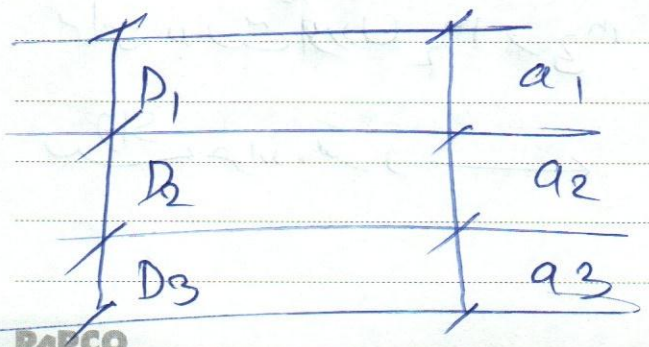
ص 512 کتاب

برای طراحی S_N روسازی بین 6 تا 4 است ولی ممکن است

بین ۳ تا ۶ هم باشد.

طراحی برای طراحی SN را بدست می‌آوریم بین باید یک روسازی ۳ لایه

استفاده می‌کنیم.



Subject :

Year . Month . Date / ( )

$$SN = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

Fig 16.27

فرمول 11.44

اگر a_2 =
- معلوم
- E_2 = ... } untreated
  - 7.15 (a)
  - 7.15 (b) → bituminous treated
  - 7.15 (c) → Cement treated

a_3
- E_3 → Eq 11.46
- 7.16 → CBR
- R_value
- ⋮

برای بدست آوردن m_2 و m_3 ص 518 جدول 11.20

ص 519 خوانده شود ← SN_3 و SN_2 و SN_1

Subject:
Year. Month. Date. ( )

$SN_1 \longrightarrow$ E9 11.37 $\longrightarrow M_R = E_2$

$SN_2 \longrightarrow$ 〃 $\longrightarrow M_R = E_3$

$SN_3 \longrightarrow$ 〃 $\longrightarrow M_R = M_R$

$SN_{\omega} = SN_3$ ✓

PG → ✓ → PG اصلاح شده / بنویسم ✓

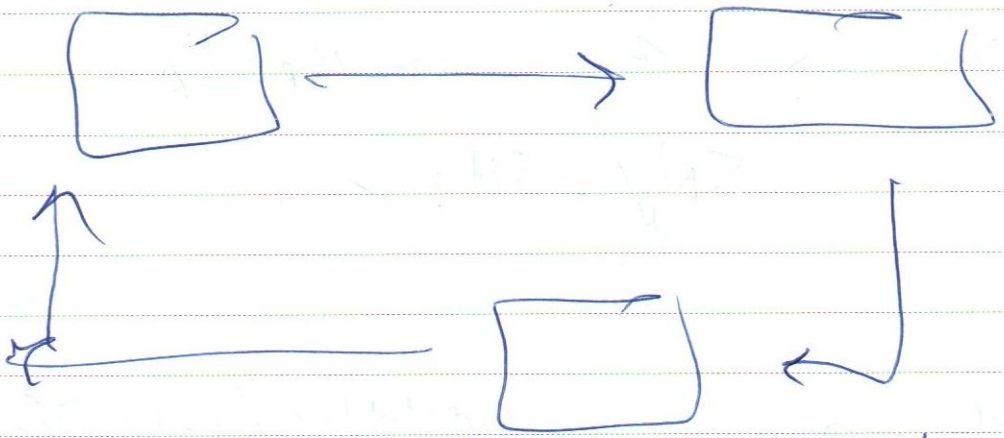
volumetric & marshal

Design ✓

N_f , N_d

f_1 E f_2 ε f_3 → روابط مکانیکی بدهند

یک چیزی که به صورت چرخشی بود به صورت دایرام



حرف مارشال

معیارهای superpave چیست؟

آزمایش rutting تنش کنترل است

خزش fatigue کرنش کنترل است.

$$E = \frac{\epsilon}{\varepsilon}$$

تنش / کرنش

Subject:

Year. Month. Date. ( )

PG -۱

Design -۲

Volumetric -۳

Marshal -۴

PG اصلاح ← تعریف $\bar{X}$ σ^2 CV -۵

fatigue -۶

Traffic -۷ (ESAL محاسبه)

(load factor EALf)

۱- مقاومت آن است که در برابر فقط در برابر ترک خوردگی termal cracking

Flash point → safety → > 230°C

Rotational viscometer → safety → @135° < 3pas

RTFO, PAV } Aging → short aging
→ long term aging

DSR, BBR, DT } Test

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date:

28- دمای روباری با تغ
در 10- آزمایش می کنند همین 10 درجه بیشتر

PAV ← Fatigue

1) HT = min (HT1, HT2) ← RTFO Aged / unaged ← Rutting

PAV ← low-Temp cracking

Test
- DSR
  - HT → rutting
    - unAged → $G^*/\sin\delta > 1$ kPa
    - RTFO → > 2.2 kPa
  - low temp → PAV → Fatigue $G^* \cdot \sin\delta < 5000$ kPa
- BBR → LT+10°C → Fatigue
  - $S(t) \leq 300$ Mpa
  - $m > 0.3$
- DT

High Temp HT | IT (check) | LT

unAged	RTFO-Aged	PAV-aged	pav-age
$G^*/\sin\delta$	$G^*/\sin\delta$	$G^* \sin\delta$	S(t) & m value
			300 / 0.3

$G^*/\sin\delta = 1$ $G^*/\sin\delta => 2.2$

مرتبط

$-6 - 10 = -16$

سیلر مهم

P4PCO

A

Subject:

Year. Month. Date. ( )

IT ← باید چک شود بعد مثلا PG شده

PG 58-16 $IT_2 \frac{58-16}{2} + 4 = 25$

روی جدول می رویم که ببینیم $\frac{G^*}{\sin\delta}$ ... 5000 >

باشد گربود OK اگر نبود دوی HT را دریت نمی زنیم

و LT را به اندازه‌ی یک درجه افزایش می دهیم

برای Continous PG و true PG را نخواهیم بدست بیاوریم

فرض می کنیم PG ما بسته است و باید مقدار $\frac{G^*}{\sin\delta} = 1$ و

$m_{value} = 0.3$ و $S(t) = 300$ و $\frac{G^*}{\sin\delta} = 2.2$

PAPCO

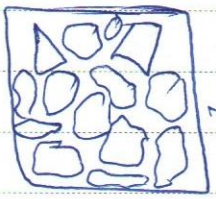
Subject :

Year . Month . Date . ( )

Subject:

Year. Month. Date. ( )

روش مکانیکی ← می‌تواند بسیار دقیق باشد ← می‌تواند به ما محدوده بدهد که در چه بارگذاری می‌توان خرابی را متوقف کرد ← بدین آن پیچیدگی تحلیل‌های مربوطه و محاسبات موجود با توجه به پیچیدگی ماده‌ی آسفالت.



شکل‌های نامنظم باعث ایجاد رفتارهای غیرخطی و stress concentration در نقاط مختلف روسازی می‌گردد.

رفتار قیر ← وابسته به دما، زمان، سرعت بارگذاری، پیرشدگی، رطوبت

همچنین یک روش جدید ME یا Mechanical-Empirical ایجاد شده است