



Lecture No.

1

Definitions

- **Bitumen's (Pitch and tumen):-**

Mixtures of hydrocarbons of natural or pyrogenous origin or combinations of both (liquid, semisolid or solid and which are completely soluble in carbon disulfide.

البيتومين :- خليط من مواد هيدروكربونية تحتوي على بعض المشتقات اللافلزية وقد تكون غازية , سائلة , متوسطة الصلابة او صلبة و تذوب كلياً في حامض ثنائي كبريتوز الكاربون.

- **Asphalt (Asfalon or Asfaltos):-**

Sticky materials a dark brown to black cementations material, solid or semisolid in consistency based on temperature

الاسفلت :- مادة بنية اللون او سوداء صلبة او نصف صلبة تستخدم كمادة رابطة جيدة تصبح سائلة عند التسخين معظمها بيتومين ونحصل عليها بتكرير النفط الخام او من الطبيعة.

• **Historical Background**

- Asphalt is oldest engineering material; its adhesive and water proofing properties
- Approximate analysis for a specimen of bitumen from foundation boxes of Iraq shows: [Ash 52.5%, soluble in benzene 9.3%, organic material & moisture 35.2%] the residue soluble in benzene (86 c°) paraffin naphtha 25.7%.
- Egyptians as a water proofing material for embalming in king Merenere's time (2568-B.C)
- A small asphalt refinery was operating in 1864, in Sargent Field California.

• **Classification or Source of Asphalt**

Asphalt is found in widely parts of the world in one or another of the following forms:

- 1- Natural Asphalts (Solid Bitumen):- laid down in geologic strata (layers) and occurring both as soft or hard bitumen material and also as friable, black bitumen in veins of rock.
 - a- Bitumen with inorganic impurities (50-57% bitumen + colloidal clay + some inert organic matter).
 - b- Cuban (20-90% purity CS₂)
 - c- Bermudez (85-92% purity CS₂)
- d- Rock asphalts
- e- Asphaltities [without impurities (silts, clays, salts) such as;
 - 1- Gilsonite – black, brittle, hard bitumen of various softening point < 250 F° , soluble in carbon disulfide.
 - 2- Grahamite – hard, brittle material of higher softening point Gilsonite, soluble in carbon disulfide.
 - 3- Glance pitch (ManJak) – 80 – 90% soluble with variable softening points 350 F°
 - 4- Subgroup (Pyrobitumen)- These materials show no softening point but intumesce on heating
 - 5- Wurtzilite – hard, black hydrocarbon material of solubility as low as 10% in carbon disulfide
 - 6- Albertite-slightly soluble
 - 7- Elaterite – slightly soluble





2- **Artificial Asphalts: have been classified;**

الاسفلت الصناعي يصنف الى

- a- **Oil or Petroleum Asphalts:-** the soft to hard asphalts of high solubility in carbon disulfide (>99%), derived from vacuum and or steam distribution of crude oils (high asphalt content)

الاسفلت النفطي :- و هو اسفلت سائل او صلب يذوب بحامض ثاني كبريتوز الكربون و الذي يمكن الحصول عليه من التقطير الاتلافي للنفط الخام .

- b- **Cracked Asphalt:** - these materials are petroleum derivatives, but are formed as by-products in oil cracking processes. These material contained variable percentage of "free carbon" under high temperature and pressure.

الاسفلت المعالج:- وهو الاسفلت الذي نحصل عليه من تكرار النفط الخام تحت ضغط و درجة حرارة عاليتين و ذلك للحصول على مواد نفطية خفيفة (هذه العملية تؤدي الى حدوث تغييرات كيميائية).

- c- **Coal Tar, Water – Gas Tars:-** are derived from tars, they are classified as bitumen.

Petroleum Asphalt	Cracked Asphalt
1-weather effect is little	1-weather effect is large
2-large age	2-little age
3-% of material not solubility in CCL ₄ < 0.5	3-% of materials not solubility in CCL ₄ > 0.5%
4-low specific gravity	4-large specific gravity
5-at spot test, single ring and homogenous	5-at spot test double non-homogenous ring
6-shing surface	6-dark surface

Asphalt	Coal Tar
1-Natural or artificial	1-artificial only
2-inorganic impurities	2-organic impurities (carbon)
3-little effect temperature	3-Effect temperature lager than asphalt

“Asphalt cement” refers to asphalt that has been prepared for use in HMA and other paving applications. This section uses the generic term, “asphalt binder”, to represent the principal binding agent in HMA because “asphalt binder” includes asphalt cement as well as any material added to modify the original asphalt cement propertie





Lecture No.

2

Manufactured Methods:-

The methods are used to obtain petroleum asphalts can be divided into two main groups;
الطرق المستخدمة لإنتاج الإسفلت

1) Fractional Distillation of Crude Oil:-

التقطير التجزيئي للنفط الخام

Separation of the different materials in the crude oil without significant changes in the chemical composition of each material. (Removes the different volatile materials at higher temperature and pressure).

وهي عملية فصل المواد المختلفة من النفط الخام بدون حدوث تغيرات كيميائية (فصل المشتقات الخفيفة تحت تأثير ضغط ودرجة الحرارة – فصل فيزيائي و بدون تغيير كيميائي).

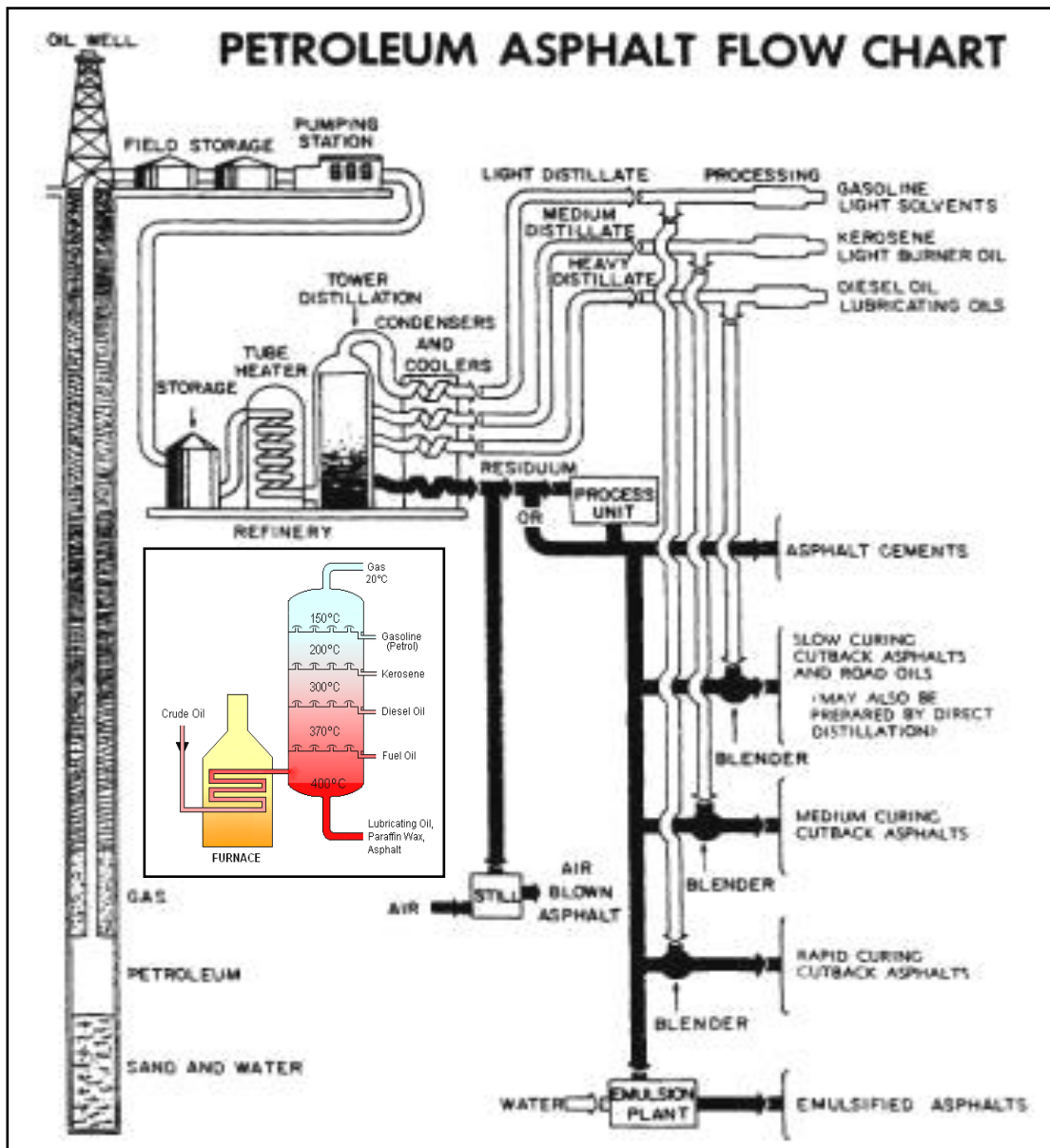
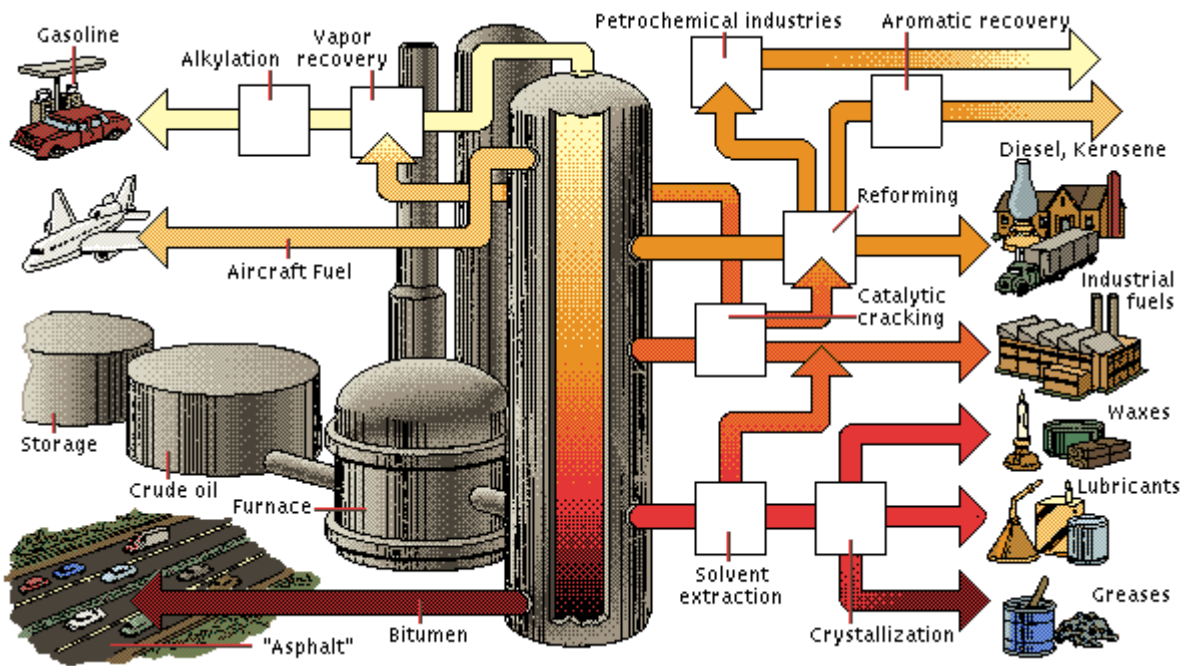
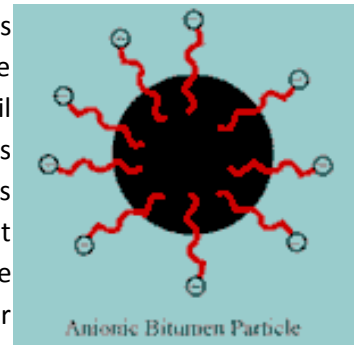


Figure (1):- shows Flow Chart of Petroleum Asphalt.

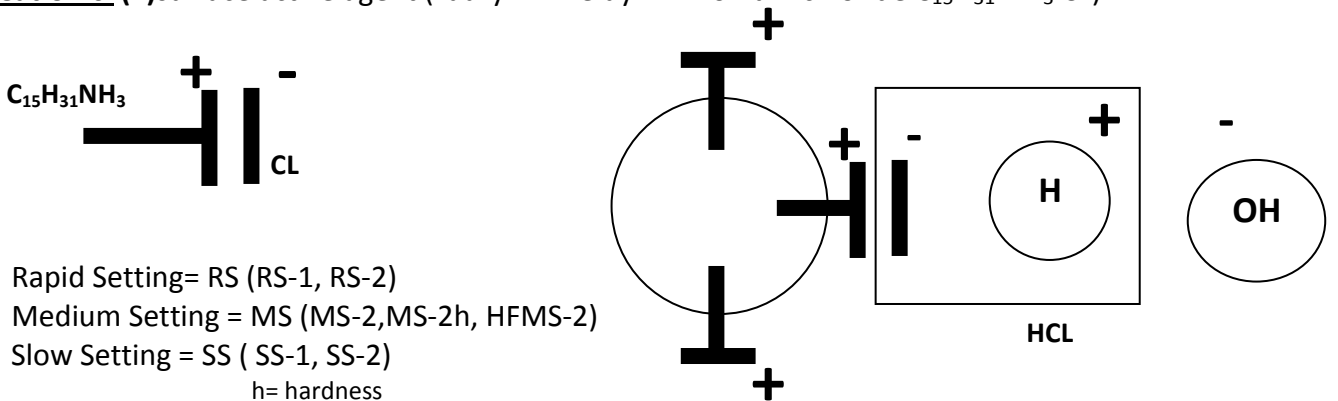




Anionic emulsifiers are based on fatty acids, these are reacted with a base such as caustic potash or caustic soda (KOH or NaOH) to form a salt. It is this salt that is the active emulsifier. Figure 4 shows a schematic of such a molecule. The non-polar tail is hydrophobic and hence aligns itself inward to the Asphalt. The polar end is hydrophilic and hence provides the solubility in water. The emulsifier thus attaches itself to the Asphalt particle. The number and density of emulsifier molecules that do this will impart a charge to the surface of the Asphalt particle. This charge will be exactly balanced by the free charges in the water phase. This will be the sodium or potassium ion of the sa

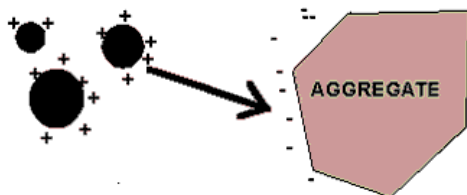
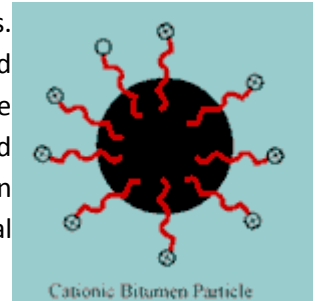


2) Cationic: (+) surface active agent (Lauryl Trimeluy Ammonium chloride C₁₅H₃₁ NH₃ CL)

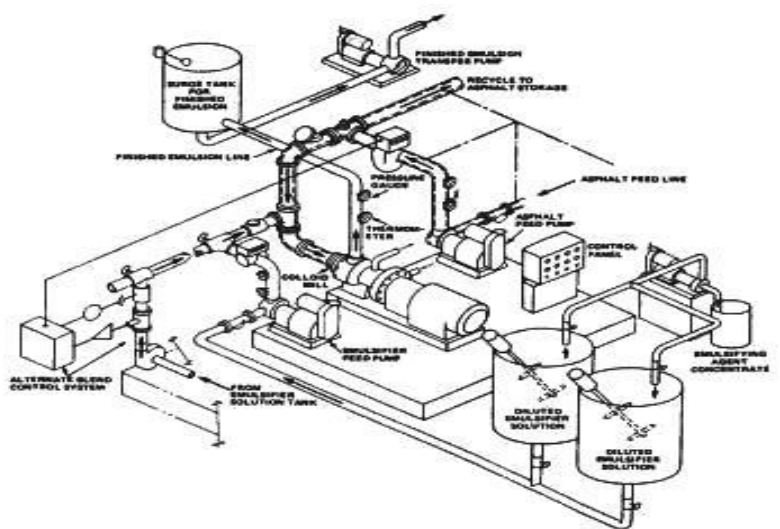
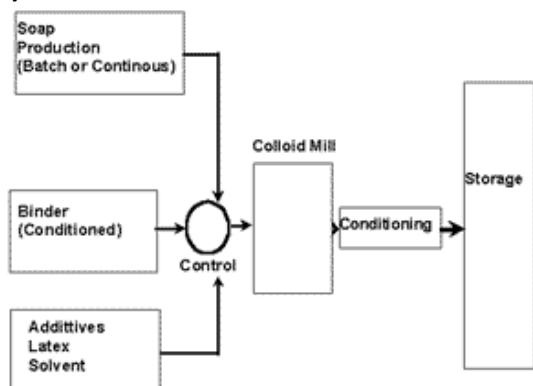


- 1) Rapid Setting= RS (RS-1, RS-2)
 - 2) Medium Setting = MS (MS-2,MS-2h, HFMS-2)
 - 3) Slow Setting = SS (SS-1, SS-2)
- h= hardness

Cationic Emulsifiers are based on acid salts of amines prepared from fatty acids. These may be fatty diamines, fatty quaternary ammonium compounds or ethoxylated derivatives. The main emulsifier types in slurry and microsurfacing emulsions are amidoamines and imadazolines. These are reaction products of polyamines and carboxylic acids. The type of emulsifier determines the number of charges that are on the surface of the Asphalt. Thus they determine the zeta potential.. Again, commercial emulsifiers are mixtures and give a balance of properties



3) Nonionic neutral



Schematic of an Asphalt Emulsion Manufacturing Plant.



Lecture No.

3

Fractional Compound of Asphalt مركبات الاسفلت التجزيئية

Asphalt or bitumen, cementing materials Hydrocarbons [C₈₉ H₁₀₄ S₃ N₂ O₂]. The fractional components of asphalt determined by the precipitation method are: - (according to Rostler Sternberg)

Fraction A; Asphaltenes, nC₇ in soluble with normal heptanes.

Fraction A constitutes the bodying agent affecting the consistency of asphalt.

Fraction N; which makes fraction (A) soluble and produce a homogenous mixture of other fractional components.

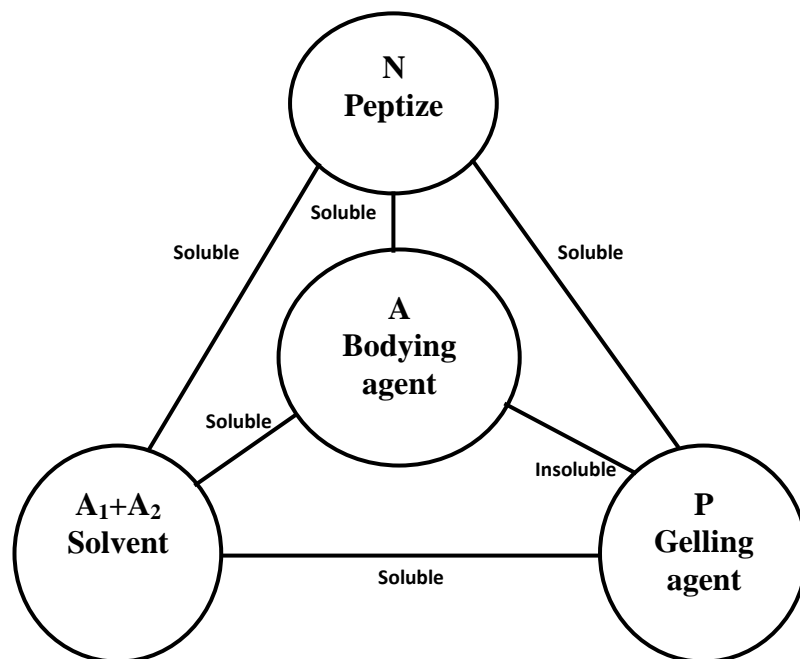
Fraction A₁; is a solvent for fraction (A) with (N), (A₁) is highly reactive and subject to oxidation (high unsaturation)

Fraction A₂; is a solvent for fraction A but has a low unsaturation and less susceptible to oxidation

Fraction P; having no chemical unsaturation, is least responsive to oxidation and thus contributes greatly to durability. The ratio (N/P) responsible for the rheological properties (Gel/Sol)

-Principle characteristics of fractional components

Fraction	General Description	Chemical Reaction
Asphaltenes	Higher molecular weight	Low
Nitrign bases	Maltenes fraction	High
1 st acidaffins	Unsaturated residual hydrocarbons	High
2 nd acidaffins	Slightly unsaturated hydrocarbons	Low
Paraffin's	Saturated hydrocarbons	Low



Solubility Relations of Asphalt Components



Performance Parameters can be used to evaluate asphalt;

a) Rostler Parameter (P_R)

$$P_R = (N+A_1)/(P+A_2)$$

$$P_R \leq 1.5$$

$N+A_1$ more reactive than $P+A_1$

P_R	Performance
0.4 – 1.0	Superior asphalt type
1.0 - 1.2	Good type
1.2 – 1.5	Satisfactory type
> 1.5	Not acceptable

b) Gotoliski Parameter (P_G)

$$P_G = (N+A_1+A_2)/(P+A)$$

$$P_G (1.3 - 2.6)$$

satisfactory performamnce

Fractional Components according to ASTM-D4124

- 1- **Asphaltenes A**; nC_7 in soluble with normal heptanes ; relative hardeners of asphalt (consistency)
- 2- **Petrolane's P**; nC_7 soluble
 - a- **Polar-Aromatics PA (+,-)**
Adhesiveness of asphalt
 - b- **Naphtha – Aromatics NA**; (elastic and plasticizer)
 - c- **Saturates (S)**; Gelling material or
 - 1- **Material not effect with time (S.A)** مواد لا تتاثر بالزمن
 - 2- **Material affected with time (PA, NA)** مواد تتاثر بالزمن
- **Gaested Index** $I_G = (A+S)/(PA+NA)$ (0.4-1.1) معامل كاستند
- Viscosity at 60 c^o and measured by poises; absolute viscosity

$$\text{Log } \eta = 0.903 + 5.3 * I_G$$

Example No.1:

If $I_G=0.8$, determined absolute viscosity.

Example No.2:

Determined P_G and P_R for the following local asphalt;

P_R	% of components
A	19
N	24
A1	20
A2	26
P	11



Is the study of stress-strain patterns of a material in relation to time; the following rheological are:-

- 1- Degree of elastic recovery after a series of deformation. درجة المرونة المستعادة
- 2- Stress or strain relaxation after deformation. مقدار الاجهاد والتشوة في حالة الاسترخاء
- 3- Internal strain relaxation with time after deformation and partially recovery.
- 4- Recovery with time after deformation and partially relaxing the stress (creep recovery – recovery of strain on release of stress).
- 5- Change of strain with time under constant stress (creep).

Rheological Types of Asphalts:-

Various degree of dispersion of asphaltenes gives rise to three following;

- 1- **Sol (Newtonian) type:-** viscous – part الجزء اللزج او الذي يسلك سلوك نيوتن بالجريان

This type show purely viscous flow with no elastic effect viscosity is independent of shearing stress or time; deformation per unit time is proportional to shearing stress. These asphalts are characterized by susceptibility to temperature change.

يمثل الجزء اللزج و بدون تأثير للمرونة, حيث ان اللزوجة لا تتأثير باجهاد القص او الزمن (التشوة يتناسب مع اجهاد القص) هذا الاسفلت يكون حساس لدرجة الحرارة.

- 2- **Sol – Gel (Viscoelastic Asphalt):-** الجزء اللزج- المرن

This type is differentiated from the Sol – type by the presence of elastic deformation; after a deformation the viscosity is practically independent of stress. At constant shearing stress the rate of deformation decreases at the beginning and recover particle elasticity after stress removal.

هذا النوع يختلف عن النوع السابق بوجود التشوة المرن, بعد التشوة اللزوجة لا تتأثير بالقص . عند تسليط اجهاد قص ثابت سوف تقل عن البداية.

- 3- **Gel or Elastic Asphalts (non-Newtonian)** الجزء المرن او الذي لا يسلك نيوتن بالجريان

This type of asphalt is characterized by a retarded elastic deform ability with considerable permanent deformation but no permanent viscous deformation.

هذا الجزء يمثل المرونة المتبقية او الدائم .

- Rheological properties of Gel asphalts

- a- The gel asphalt show a low degree of consistency change with change in temperature
- b- Deformation increases rapidly with increasing shearing stress, and thixotropic effects.
- c- Internal structure is destroyed with increasing shearing stress
- d- Resilience decreases much more after continued deformation than in the case of the sol-gel types

- **Types of Flow:-** انواع الجريان

- 1- **Newtonian flow (viscous flow);** flow directly when load applied

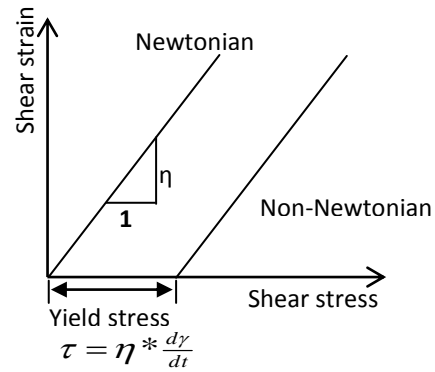
الجريان يحدث مباشرة بعد تسليط الحمل ويمتاز بالخصائص التالية:-

- a- The curve passes through origin. المنحنى يمر بنقطة الاصل
- b- Newtonian flow behavior is slope. سلوك الجريان يعبر عنها بميل المنحني
- c- Asphalt heating > softening point. يحدث عند تسخين الاسفلت الى درجة حرارة اكبر من درجة حرارة الليونة

- 2- **Non-Newtonian Flow:-** no direct flow after yield stress

الجريان لا يحدث مباشرة بعد تسليط الحمل ويمتاز بالخصائص التالية:-

- a- The curve does not pass through origin but somewhat along to shearing stress > yield stress . المنحنى لا يمر بنقطة الاصل ويحتاج الى اجهاد اكبر من اجهاد الخضوع
- b- At low temperature asphalt behave as non-Newtonian. تحدث بدرجات الحرارة المنخفضة



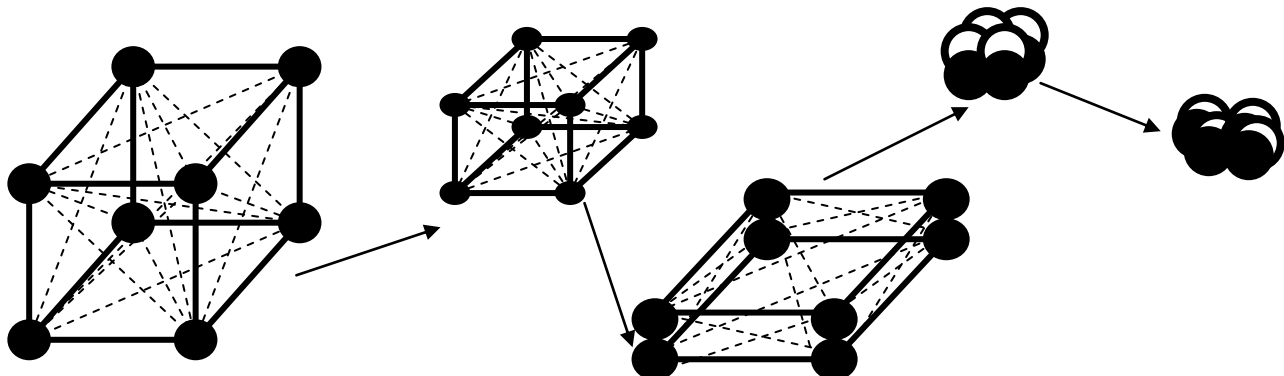
• **Non-Newtonian flow divided into:-**

Pesdo-Plastic Flow (viscous, but with elastic effect)	Dilatant Flow	Thixo-tropic Flow (Touch +change)	Plastic Flow (Oxidized asphalt)
Type of flow where consistency curve starts at the origin (no yield value) but the rate of flow increases faster than in a linear with shear stress. نوع الجريان الذي يكون فيه منحني القوام يبدأ من نقطة الاصل (لا يحتاج الى اجهاد خضوع) و معدل الجريان يزداد بسرعة خطية مع اجهاد القص.	Dispersions that are Newtonian liquid at low rates of shear but whose viscosity increasing rate of shear above a minimum critical value تزداد اللزوجة بزيادة اجهادات القص	A state of change of a gel to sol state after applying shearing forces at constant temp. or property of a body by virtue of which the ration of shear to rate of deformation is temporarily reduced by previous deformation. I) Break down of the structure under shear until homogenous consistency. II) At rest; build up structure forming Gel.	

• **Rheological States:-**

Plasticity – Pseudo Plasticity – False body – Thixotropy – Dilatancy – Newtonian flow

False body; materials of very low viscosity and high yield value, (cutting type)





Lecture No.

5

Paving Asphalt Material:-

مواد التبييط الإسفلتي (تمتاز المواد الإسفلتية ب)

- a) Rheological Parts;-stress-strain relationship is time dependent. (Asphalt)
- b) Thermo plastic:-consistency various with temperature.

Under Stress

تحت تأثير الاجهادات الثابتة يمكن تقسيم المواد إلى:-

1- Elastic Materials:-

المواد المرنة و التي تمتاز بالتالي:-

- a) Stress-strain is time independent (لا تتأثير بالزمن)
- b) Immediate strain and removing with no permanent deformation
يحدث تشوه مباشر عند تسليط الحمل و عند رفع الحمل يفقد كل التشوه الحاصل فيه.
- c) Follows Hooke's law
تتبع قانون هوك

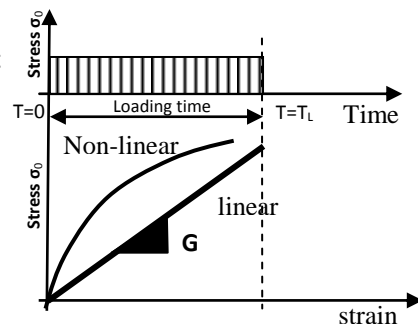
Constant of Proportional based on the type of load applied

- Tension (Modulus of Elasticity , Young Modulus) – $E = \frac{\sigma_T}{\epsilon_T}$
- Compression (Bulk Modulus , Modulus of Compressibility) – $K = \frac{\sigma_c}{\epsilon_c} = \frac{E}{3(1-2\mu)}$
- Shear (Shear Modulus , Modulus of Rigidity) – $G = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{E}{2(1+\mu)}$

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{9K} + \frac{1}{3G}$$

$$\mu_{Poisson\ ratio} = \frac{Lateral\ Deformation}{Longitudinal\ Deformation} = \frac{Construction\ Strain}{Elongation\ Strain}$$

- d) Represent by spring يمكن تمثيله بسبرنك
- e) At low level of strain still material behave as an elastic



2- Viscous Materials;

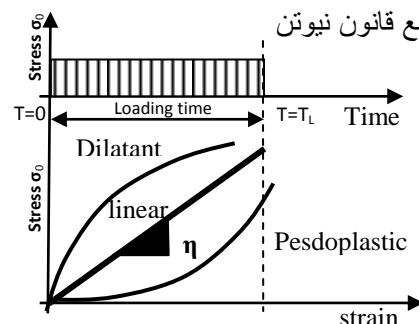
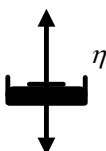
المواد اللزجة :- و التي تمتاز بالتالي:-
تتأثر بالزمن

- a) Stress-strain is time dependent
- b) No immediate strain or recovering and with permanent deformation
لا يحدث تشوه مباشر عند تسليط الحمل و عند رفع الحمل يبقى التشوه فيه.
- c) Follows Newtonians law
تتبع قانون نيوتن

$$\tau_{Shear\ Stress} = \theta_{viscosity} * \frac{\partial \gamma}{\partial t_{rate\ of\ shear}}$$

- d) Represent by Dashpot

يمكن تمثيله بدش بورت





- **Viscosity**:- is internal friction or resistance to flow

اللزوجة :- قابلية المادة لمقاومة الحركة أو الجريان أو هي الاحتكاك الداخلي ويمكن تمثيلها

- Fluidity = 1/η

وتقسم اللزوجة الى:-

a) Absolute viscosity (dynamic)- under vacuum pressure

اللزوجة المطلقة وتقاس ب (الداين) :- قابلية المادة لمقاومة الحركة تحت تأثير ضغط .

b) Kinematics viscosity (stokes)- under gravity

اللزوجة الحركية وتقاس ب (ستوك) :- قابلية المادة لمقاومة الحركة تحت تأثير الجاذبية.

Kinematics viscosity=Absolute viscosity /density=poise/(gm/cm³)

At Non-Newtonian viscous materials:-

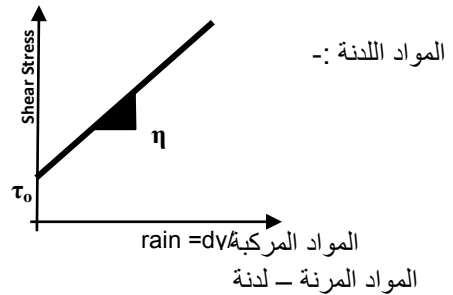
$\eta_{Einstein's\ suspension} = \eta_o(1 + 2.5 \theta)$

Where:- η_o - Original liquid viscosity

θ - Volumetric Concentration

3- **Plastic Materials**:- concentrated dispersion of solid ,s in liquid

$\tau - \tau_o = \eta^*(dy/dt)$



4- **Combinations Materials** :-

a) Elastic- Plastic materials (Elasto-plastic)

- **Resilience**: - ability of material to absorbed energy under elastic range.

الرجوعية (الاستعادة) :- قابلية المادة لامتصاص الطاقة الناتجة من تسليط الحمل ومن ثم ابتعادها بعد رفع الحمل المسلط .

- Resilient Modulus = area under elastic zone

$M_R=0.5*\sigma_x*\sigma_y= \sigma_y^2/2E$

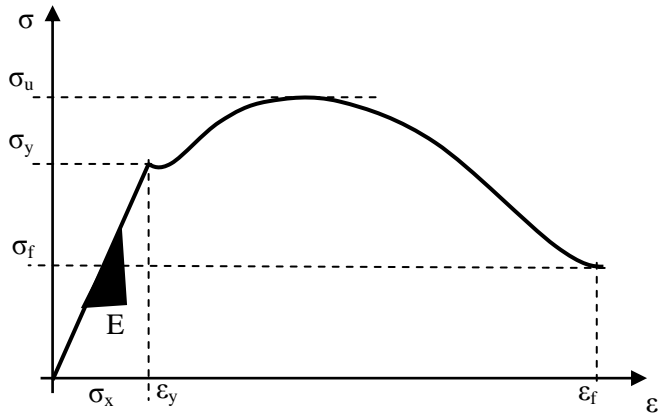
معامل الرجوعية

ϵ_f :- strain at failure , strain at rupture, ductility.

ϵ_y :- strain at yield.

σ_y :- yield stress

σ_u :- ultimate stress.



نتجة لتسليط الحمل سوف تولد اجهادات تسبب تشوهات وهذه التشوهات تزداد بزيادة الحمل الى ان نصل الى الاجهاد الذي يسبب تكسر الاواصر المتساهمة بين الجزيئات (اجهاد الخضوع) حيث نلاحظ انخفاض الاجهاد مع استمرار زيادة التشوة الى ان تتلامس الجزيئات فنلاحظ تزايد الاجهادات و تزايد التشوهات الى ان نصل الاجهادات العليا (القصوى) الذي يؤدي الى تكسر الجزيئات و انهيار هيكلية المادة و الوصول الى تشوة الفشل .

-**Toughness**: work required to fracture material

المتانة: - مقدار الشغل اللازم لكسر المادة

-Toughness Modulus: total area under the curve= $[(\sigma_u + \sigma_y)/2]*\epsilon_f$



b) Viscous-Elastic Materials (Viscoelastic Materials)

المواد اللزجة – المرنة :-

1- In Series,(Spring or Dashpot)

-Stress constant and strain additive

a- spring system

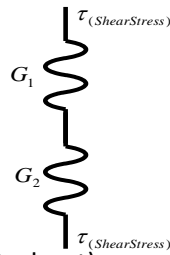
$$\epsilon_T = \epsilon_1 + \epsilon_2 = \frac{\tau}{G} + \frac{\tau}{G} = \tau \left[\frac{1}{G} + \frac{1}{G} \right] = \tau/G$$

b- Dashpot System

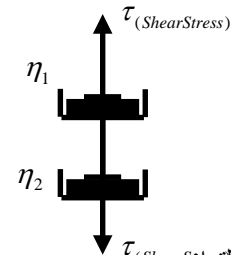
$$1/G_T = 1/G_1 + 1/G_2$$

$$d\gamma = \frac{d\gamma}{dt} + \frac{d\gamma}{dt}$$

$$1/\eta_T = 1/\eta_1 + 1/\eta_2$$



ربط التوالي او المتسلسل
الاجهاد ثابت و نضيف التشوه



2-In Parallel, (Spring or Dashpot)

-Deflection constant and stress additive

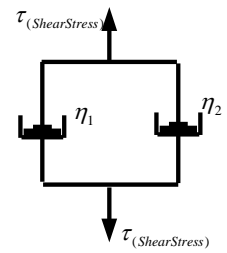
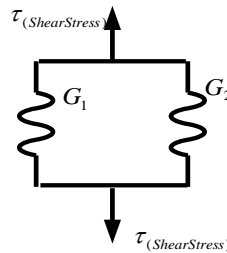
a- spring System

$$\sigma_T = \sigma_1 + \sigma_2 = G_1 \epsilon + G_2 \epsilon = \epsilon (G_1 + G_2)$$

b- Dashpot

$$G_T = G_1 + G_2$$

$$\eta_T = \eta_1 + \eta_2$$



ربط التوازي
التشوه ثابت و نضيف الاجهاد

• Viscoelastic Material Properties; can be study by:

هنالك طريقتين لدراسة خواص المواد اللزجة – المرنة

1- **Mechanical Model** النماذج الميكانيكية

a- Maxwell Model: spring and dashpot series (heavy liquid)

نموذج ماكسويل:- يفترض ماكسويل بان التبليط المرن يتكون من حبيبات مرنة و لدنة مربوطة على التوالي. و يستخدم لتمثيل السوائل الثقيلة.

_ At constant stress

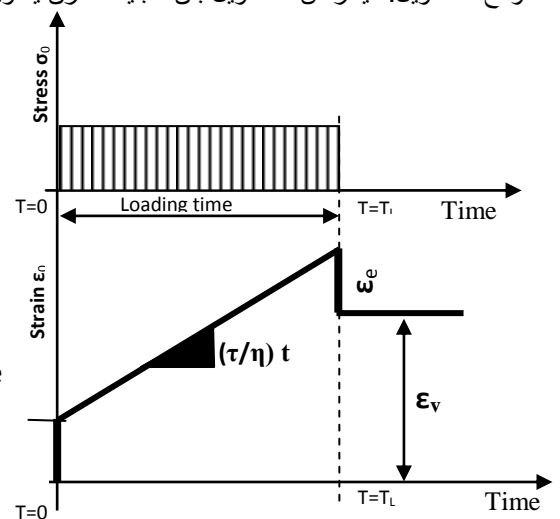
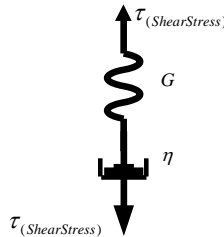
$$\epsilon_{total} = \epsilon_e + \epsilon_v = \sigma / G_1 + (\sigma / \eta) * t$$

$$d\epsilon/dt = (1/G_1) * d\tau/dt + \tau / \eta$$

$$\gamma = e^{-\frac{G}{\eta}t} * \left[\tau_o + G \int_0^t \frac{d\gamma}{dt} e^{\frac{G}{\eta}t} . dt \right]$$

_ At constant strain (γ=c, dγ/dt=0)

$$\tau = \tau_o * e^{-\frac{G}{\eta}t}$$



$T_{rel} = \text{Relaxation time} = \eta/G;$

Is the time required for a stress to be reduced 36.8% of the original value.

زمن الاسترخاء :- وهو الزمن اللازم لتقليل الاجهاد المسلط بمقدار 36.8 بالمائة من الاجهاد الاصلي و يحسب من العلاقة التالية:-

$$\tau = \tau_o e^{-\frac{t}{T_{rel}}} \quad \text{at} \quad t = T_{rel} \quad \tau = \frac{1}{3} \tau_o \quad (e^{-1} = 1/e^1 = 1/2.731)$$



b- Kelvin (Voigt) Model (Spring and dish pot in parallel): Solid Material

نموذج كلفن :- يفترض كلفن بان التبليط المرن يتكون من حبيبات مرنة و لدنة مربوطة على التوازي. و يستخدم لتمثيل المواد الصلبة .

- At constant strain
- $\tau = \tau_1 + \tau_2 = \eta_1 \frac{d\gamma}{dt} + G_2 * \gamma$
- $\gamma = e^{-\frac{G}{\eta}t} * \left[\gamma_0 + \frac{1}{\eta} \int_0^t \tau * e^{\frac{G}{\eta}t} . dt \right] = e^{-\frac{G}{\eta}t} * \left[\gamma_0 + \frac{\tau}{\eta} \left(\frac{e^{\frac{G}{\eta}t}}{G/\eta} \right)_0^t \right]$
- at $\gamma_0 = 0$ $\gamma = \frac{\tau}{G} \left(1 - e^{-\frac{G}{\eta}t} \right)$
- at $t = \infty$ $\gamma = \frac{\tau}{G}$ (max strain occupying)

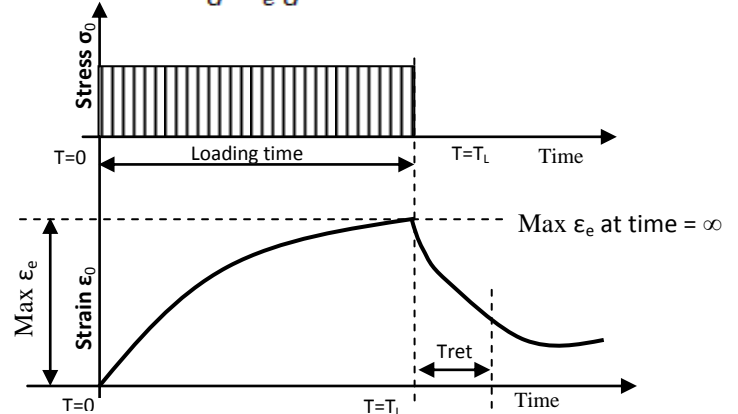
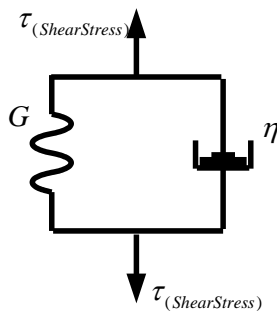
T_{ret} = **Retardation time**;

is the time required for the elastic strain to be reducing (1/e from original value).

زمن الاستعادة :- وهو الزمن اللازم لقليل التشوه المرن بمقدار 1/e وتحسب من العلاقة التالية

$$T_{ret} = \eta/G$$

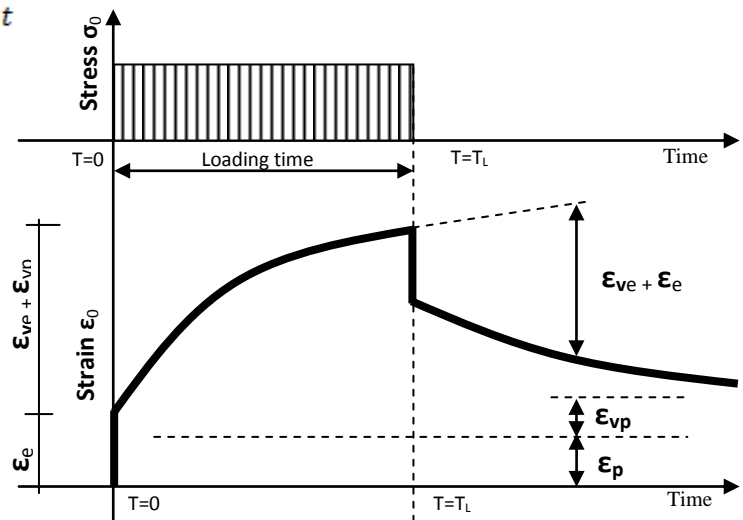
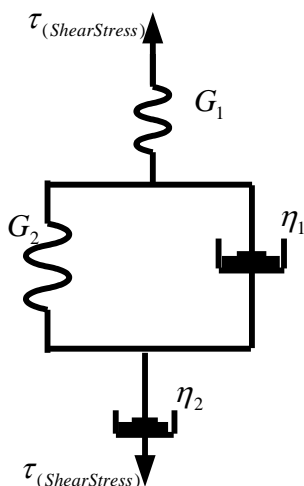
$$\gamma = \frac{\tau}{G} \left[1 - e^{-\frac{t}{T_{ret}}} \right] \text{ at } t = T_{ret} \quad \gamma = \frac{\tau}{G} - \frac{1}{e} \frac{\tau}{G}$$



c- Burger 's Model (4-element model)- Viscoelastic Materials

نموذج بيركوير :- يفترض بيركوير بان التبليط المرن يتكون من حبيبات مرنة و لزجة مربوطة على التوالي و التوازي . و يستخدم لتمثيل المواد اللزجة- مرنة .

$$\gamma_T = \gamma_e + \gamma_d + \gamma_v = \frac{\tau}{G_1} + \frac{\tau}{G_2} \left[1 - e^{-\frac{G_2}{\mu_2}t} \right] + \frac{\tau}{\eta_1} t$$





d-Krass Model:-

نموذج كرس :- يفترض كرس بان التبليط المرن يتكون من حبيبات مرنة و لدنة و لزجة مربوطة بالشكل التالي .

General rheological model for bituminous mixes

Damage in aggregate can be represent by pins.

Notation	Time depend	Reversibility
Elastic γ_e	Time dependent	Reversible
Plastic γ_p		
Viscous γ_v	Time dependent	Irreversible
Visco plastic γ_{vp}		Reversible
Visco elastic γ_{ve}		

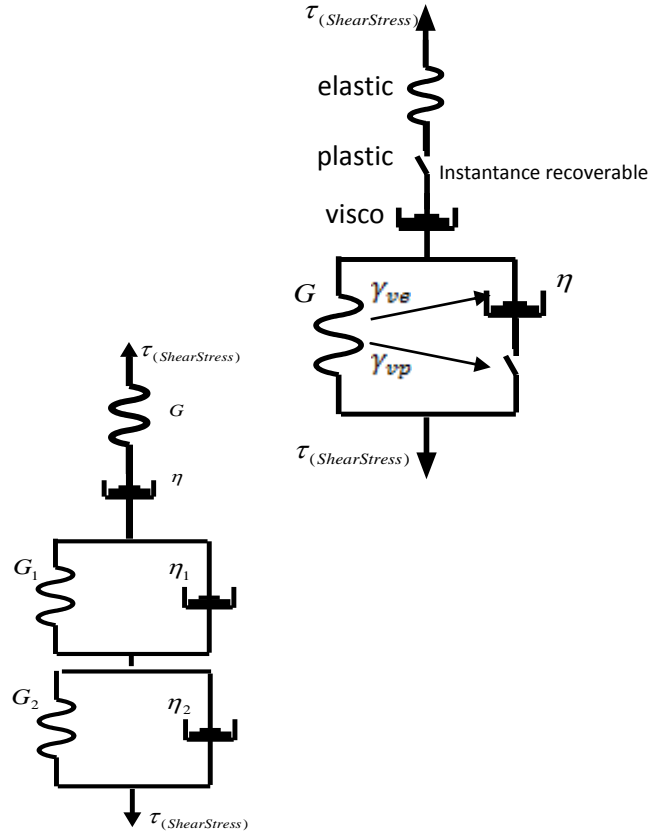
e-The Generalized Model:-

$$\epsilon = \frac{\tau}{E_0} \left(1 + \frac{t}{T_0} \right) + \sum_{i=1}^n \frac{\tau}{E_i} \left[1 - e^{-\frac{t}{T_i}} \right]$$

n=number of model

$$T_0 = \eta_0 / G_0 \quad T_i = \eta_i / G_i$$

Note: a single Kelvin model is not sufficient to cover the long period of time over the retarded strain take place and a number of Kelvin models may be needed.



ملاحظة:- نموذج كرفن واحد غير كافي لتغطية زمن الاستعادة لذلك نحتاج إلى أكثر من نموذج

2-Creep Compliance: $1/E=D(t)$

مقلوب الصلادة (استجابة الزحف)

$$D(t) = \frac{1}{E_0} \left(1 + \frac{t}{T_0} \right) + \sum_{i=1}^n \frac{1}{E_i} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_i}} \right)$$

-at constant stress, the creep compliance is the inverse of Young 's Modulus

Examples:-

1-) Maxwell model show represented behavior the liquid asphalt which is a constant strain is applied to system.

Find;

- a- Relaxation time of model
- b- Stress after 1,10,100 sec of loading if the initial shear stress=100 psi
- c- Calculate the instantaneous elastic strain
- d- Permanent strain if the load is removed

Answer:- a-10 sec b-90.5 psi , 36.7 psi , 0.0045 psi. c- 0.00054 in/in. d- 0.0000054 in/in.



2-) A Kelvin model shown represent elastic solid a constant stress 50 psi is applied to the model. The initial shear strain is equal to zero. Find;-

a-The Retardation time of model.

b-The strain after 1, 10 sec of loading.

Answer:- a- 1 sec **b-** 0.0000211 in/in, 0.0000333 in/in

3-) Burgers model shown represent a behavior of visco-elastic model a constant stress of 100 psi is applied. The initial strain ($\gamma=0$). A plot strain time curve of the model

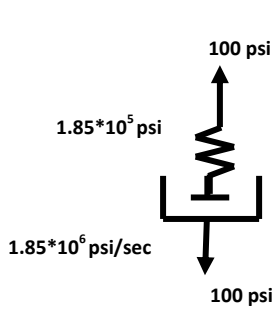


Figure (1)

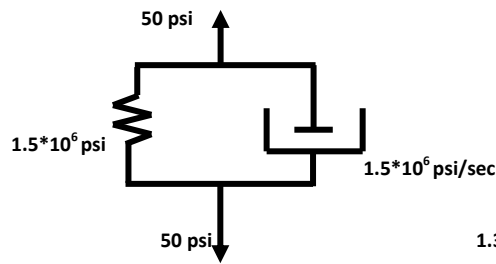


Figure (2)

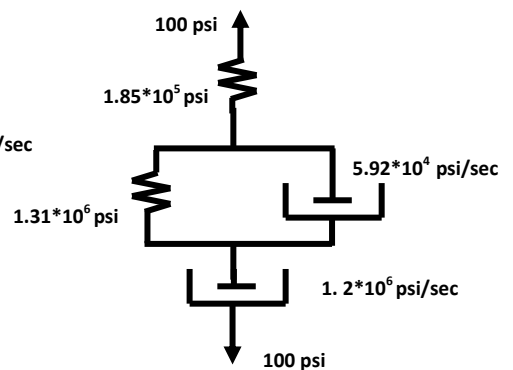


Figure (3)

4-) for the asphaltic material, the strain-time relationship , determined as follows under a shear stress of 200 psi. Determine the constants of the model represented behavior?

Time , sec	0	50	100
Strain, In/In	0.002	0.005	0.008

5-) Consider voight model ; if the slope of relationship(curve)=0.02 at t=0 , find constants of the model if the shear stress = 200 psi.



متطلبات الخلطة الإسفلتية

تتكون الخلطة الإسفلتية من المكونات التالية :- الإسفلت , الركام (الناعم و الخشن) و المواد المألنة و المضافات

(Asphalt, Aggregate (Fine, Coarse), Filler, Additive)

- 1- **Stability**:- resistance to;
 - a-Permanent deformation due to shear strength
 - b-Cracking deformation due to tensile strength
 - c-Densification deformation due to compression strength
- Good stability can be achieved using coarse aggregate with high crushing strength and angular shape
- Stability is function of;
 - i. Inter particle based on the
 - a) Roughness of the surface particles,
 - b) Inter angular contact pressure.
 - ii. Binder frictions; high enough viscosity to give as great a liquid friction.

الاستقرارية :- قابلية الخلطة الإسفلتية لمقاومة

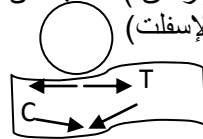
- 1) اجهادات القص الذي تؤدي إلى حدوث تشوه دائم.
- 2) اجهادات الشد الذي تؤدي إلى حدوث تشققات.
- 3) اجهادات ضغط الذي تؤدي إلى حدوث تفتت.

للحصول على استقرارية جيدة نستخدم كمية اكبر من الركام خشن ذو السطوح المكسرة. أن الاستقرارية تعتمد على التداخل بين حبيبات الركام الذي يعتمد على خشونة سطح الركام و الضغط الناتج وكذلك الإسفلت يكون ذي لزوجة كافية .

2- **Flexibility**:-

Ability to resistance fatigue cracking due to repeated traffic load and temperature (higher binder contact are used).

المرونة :- الخلطة الإسفلتية يجب ان تكون مرنة لمقاومة شقوق الكلل (التعب أو الإرهاق) الناتجة من الأحمال المتكررة والتغير بدرجة الحرارة بين الليل و النهار (لغرض زيادة المرونة نستخدم كمية اكبر من الإسفلت)



T:- Tension , C :- Compration

3- **Durability**:-

Ability to resistance to changes due to weather or rapid ageing. (oxidation of binder).

Good durability is achieved using dense mixes containing well-graded aggregate and high binder content.

الديمومة:- الخلطة الإسفلتية يجب أن تكون لها القابلية لمقاومة التغيرات الجوية او الشيخوخة المبكرة (أكسدة الإسفلت) للحصول على ديمومة جيدة نستخدم خلطة كثيفة تحتوي على نسبة اكبر من الركام الأملس و كذلك زيادة كمية الإسفلت.

4- **Workability**:-

The mixes must be able to spread easily and compacted to its max. density. Good workability at reasonable temp. can be obtained by less viscous binder and higher binder content.

قابلية التشغيل :- الخلطة الإسفلتية يجب ان تكون لها القابلية على الفرش و الحدل للوصول الى الكثافة العظمى . للحصول على قابلية تشغيل جيدة نسخن الخلطة الإسفلتية بدرجة حرارة مقبولة للحصول على لزوجة كافية وكذلك بزيادة كمية الإسفلت.

**5- Safety:-**

The mix should be providing a surface with;

- a- Good skid resistance
- b- Resistant fretting which creates loose particles on the road surface.

الأمان :- الخلطة الإسفلتية يجب ان توفر سطح جيد لمقاومة الانزلاق و التآكل الذي يخلف حبيبات على السطح.

6- Sufficient voids:-

The mixes should be content a min. voids ratio in order to avoid bleeding.

- According to SORB; % voids 3-5% in binder surface layer
% voids 3-7% in base layer
- According to SHRP; min. 4% should be provided if not the binder would be squeezed to surface by the action of traffic load which will then become smooth and skid.

SORB:- State Organization for Roads and Bridge (الهيئة العامة للطرق و الجسور)

SHRP :- Strategic Highway Research Program (برنامج إستراتيجية بحوث الطرق – الأمريكية)

كفاية الفراغات :- الخلطة الإسفلتية يجب ان تحتوى على كمية معقولة من الفراغات الهوائية التي تسمح للإسفلت بالنفاذ و تكون طبقة رقيقة من الإسفلت حول حبيبات الركام بحيث لا يحدث نزف أو انحصار (عصر) للإسفلت.

7- Stiffness:-

The compacted mix should have a high stiffness (modulus of elasticity).; is the ratio between stress to strain . $E = \sigma/\epsilon$. Can be calculated

الصلابة:- الخلطة الإسفلتية المحدولة يجب أن تكون ذات صلابة عالية لمقاومة الاجهادات المسلطة.
الصلابة تمثل معامل المرونة ويمكن حسابها من المخطط المرفق:-

The stiffness can be calculated from **Van-Dar Poel Nomograph (Shell Nomo graph)**.

- 1- Calculated S_b (Binder Stiffness), using following figure;

S_b : is f (Hardness, Temp. susceptibility, Duration of load, Load Rate, Temp. at loading)

- a) $T_{diff} = T_{R-B} - T_{Test}$ where T_{R-B} ; softening point temp.(Ring and Ball temp).
- b) For intermediate behavior (elastic and viscous) use

Penetration Index (P.I)

معامل النفاذية

$$\frac{20 - P.I}{10 + P.I} = 50 * \frac{\log 800 - \log P_{Test}}{T_{R-B} - T_{Test}}$$

Log 800 قيمة النفاذية عند درجة حرارة الليونة تساوي 800

Log P_{Test} : قيمة النفاذية بدرجة حرارة الفحص.

الفترة الزمنية لتسليط الحمل

- c) Duration time (loading time)

- 2- Volumetric Characterization of the Mix

التغيرات الحجمية في الخلطة الإسفلتية

$$V_{agg.} = \left[1 + \left(\frac{2.5}{n} \right) \left(\frac{C_v}{1 - C_v} \right) \right]^n$$

$$n = 0.831 * \log \left[\frac{4 * 10^5}{S_b} \right]$$

Approximately Elastic Modulus of Bitumen's = $4.4 * 10^5$ psi

- a- If VTM % (air void content) = 3% $0.7 < C_v < 0.9$

$$C_v = (V_{agg.}) / (V_{agg.} + V_{asphalt})$$

- b- If VTM > 3% using adjust factor

$$C'_v = \frac{C_v}{1 + H} \quad H = VTM\% - 0.03$$



The Adjusted Factor used when $C_b \geq \frac{2}{3}(1 - C'_v)$

c- Volume Concentration Factor $C_b = (V_{\text{asphalt}})/(V_{\text{agg.}} + V_{\text{asphalt}})$

3- $S_m = S_b * V_{\text{agg.}}$. Where S_m , mix stiffness, S_b binder stiffness, $V_{\text{agg.}}$ volumetric change of agg.

Mix stiffness can be measured into 2 behavior methods;

1- Resilient modulus:- haversine pulse with a rest period

2- Dynamic modulus: haversine pulse or sinusoidal pulse without rest period.

Frequency = $1/c$, c: cycles/sec.

التردد يساوي مقلوب عدد الدورات

Example:-

For a bitumen with PI= +2 and $T_{R\&B}=75$ °C. Determined stiffness modulus of binder at test temp. -11 °C and frequency of 10 Hz.

Solution:-

- 1) Connect frequency 10 Hz on time scale with T_{diff} .
- 2) Calculate T_{diff} ($T_{R\&B} - T_{\text{test}}$) = $75 - (-11) = 86$ °C
- 3) Connect PI with conflict point in step 2.
- 4) Draw curve line from conflict point result in step 3.
- 5) $S_b = 5 * 10^8$ N/m²

Example:-

At penetration Index = -1.4, softening point temp. = 47.5 C°. Find S_b at loading time (0.01, 0.1, 1 and 10 sec) and test temp. (10, 20 and 30 C°). Draw relationship between S_b and both temp. and loading time.

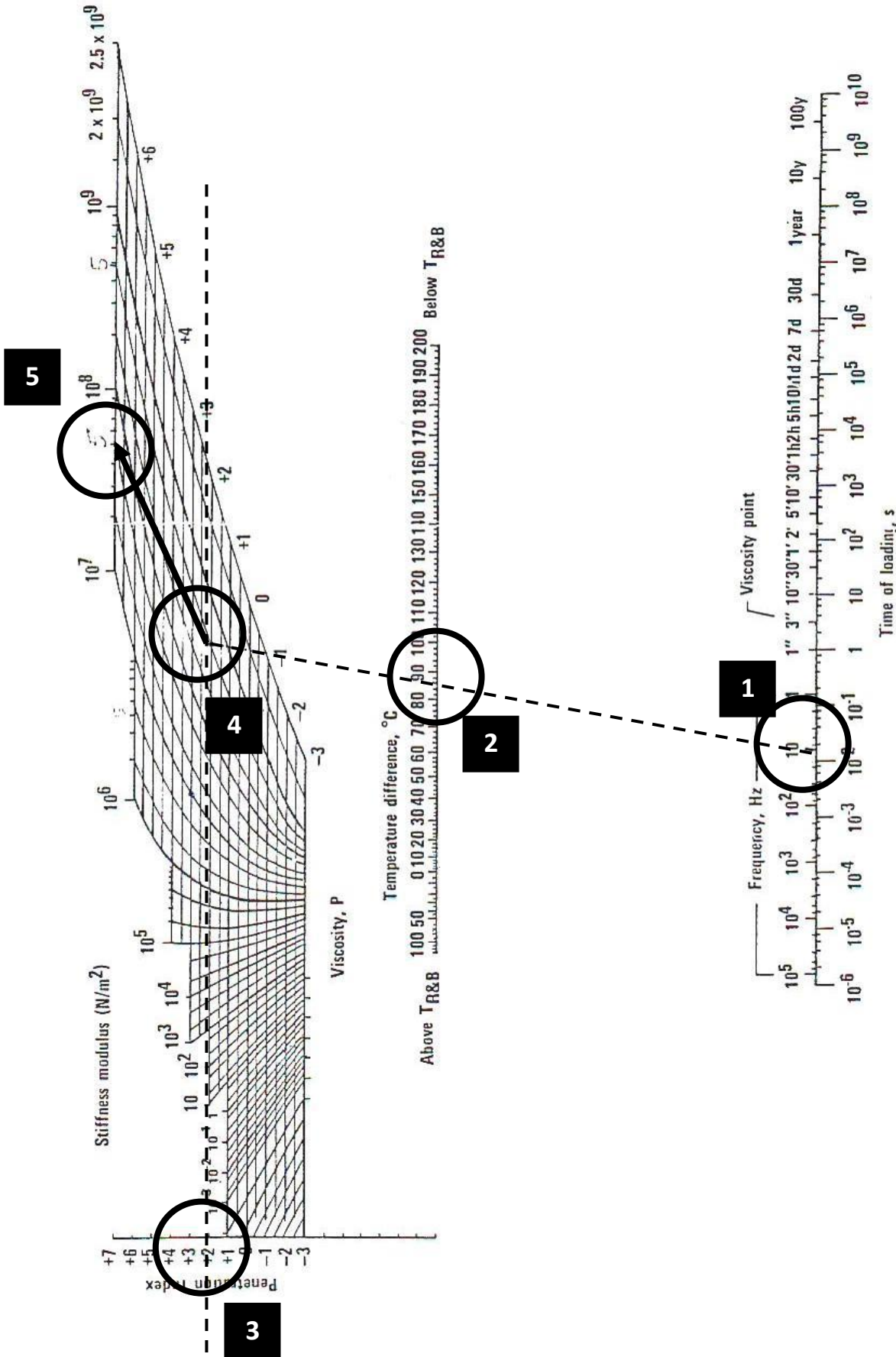


Figure 8.15. KSLA nomograph for S_b (bitumen stiffness). (From Shell Oil Co.)



الركام المستخدم في الخلطة الإسفلتية

The aggregate properties played the central role in overcoming permanent deformation, fatigue cracking and low temp., cracking were less affected by deformation.

خصائص الركام تلعب دورا كبيرا بالسيطرة التشوهات الدائمة و شقوق الكلال أو شقوق الناتجة من انخفاض درجة الحرارة ويمكن دراسة هذه الخواص حسب

-Properties: according to **SHRP,SP-2**

1- Consensus Aggregate Properties:-

خصائص الركام في المقلع (خصائص الاجماع)

a- **Coarse Aggregate Angularity;**

الركام الخشن ذو الزوايا الحادة

All mineral material retained on the No.8 sieve (Aggregate Particles > 4.75 mm No. 4 sieve) with one or more fractured faces. (Crushed rock or gravel)

كافة المواد المتبقية على منخل رقم 8) الركام الأكبر من منخل رقم 4 ويكون ذو سطح مكسر واحد أو أكثر .

Crushed gravel; surface and binder layer. الحصى المكسر يستخدم في الطبقة السطحية او الرابطة

Uncrushed gravel; base layer

الحصى الغير مكسر يستخدم في طبقة الأساس

Increased internal friction; increased ability of material to resist shear strength and rutting resistance.

الركام الخشن يزيد من الاحتكاك الداخلي و الذي يزيد من قابلية المادة لمقاومة اجهادات القص و بالتالي مقاومة التحدد

W _{18*10} ⁶ حمل العجلة المكافئة القياسية	العمق أسفل السطح	
	أقل من 10 سم < 10 cm	أكبر من 10 سم > 10 cm
< 10	85 / 80	60 / --
< 30	95 / 90	80 / 75
< 100	100 / 100	95 / 90

Note 85 % : The coarse agg. has one or more fractured faces. نسبة الركام المكسر وجة واحد

80 % : The coarse agg. has two or more fractured faces. نسبة الركام المكسر وجهين او اكثر

b- **Fine Aggregate Angularity:-**

الركام الناعم ذو الزوايا الحادة

All mineral matter passing the No. 8 sieve .(Agg. Particles between sieve No. 4 and sieve No. 2). It consists of natural sand or manufactured material derived by crushing stone slag or gravel and it includes mineral filler and mineral dust.

كل الركام المار من منخل رقم 8 و المتبقي على منخل رقم 2 و يتضمن كافة الرمل الطبيعي او المصنع الناتج من تكسير الصخور يلعب هذا النوع من الركام دورا مهما لزيادة قابلية الخلطة لمقاومة التكرس أثناء الإنشاء او الناتج من المرور.

- To avoid breakage during construction or traffic

يمكن دراسة خواص هذا الركام من خلال حساب نسبة الفراغات في النموذج الغير محمول

% Void in uncompacted mass = $\frac{v-w}{G} * 100$; where; G:-bulk specific gravity of fine agg.

W _{18*10} ⁶	Depth below surface	
	< 10 cm	> 10 cm
< 30	Min 45 %	Min 40 %
< 100	Min 45 %	Min 40 %



c- **Flat and Elongated Particles:-**

الركام المفطح او المستطال

Is the percentage by mass of coarse agg. Those have a max. to min. dimension ratio greater than 5, this type of aggregate used to avoid breakage during construction and under traffic.

نسبة الركام الخشن الذي تكون فيه نسبة البعد الأكبر إلى البعد الأصغر اكبر من 5 وتلعب هذه الجزئيات دورا مهما لمنع التآكل أثناء الحدل او المرور

d- **Clay Content:-**

المحتوى الطيني

Is the percentage of clay material contained in the agg. fraction that is finer than 4.75 mm (No. 4) sieve.

الخلطة الإسفلتية يجب ان تحتوي كمية قليلة من الطين لتحسين قوى التلاصق مع الإسفلت.

For better adhesion with binder.

The allowable clay content for fine agg. expressed as a min. percentage of sand equivalent.

يمكن تحديد نسبة الطين من خلال فحص الرمل المكافئ والذي يحسب من العلاقة أدناه:-

Sand equivalent = [(Sand height)/(clay height)]*100

W_{18*10}^6	$S_{eq} \%$
< 10	Min 45 %
< 30	Min 45 %
< 100	Min 50 %

2- **Source Aggregate Properties:-**

خصائص الركام حسب المصدر

a- **Toughness;**

المتانة

Is the percent loss of material from an agg. Blend during the loss Angeles Abrasion test (AASHTO T96 or ASTM C131 or C535).

نسبة المواد المفقودة من الركام حسب فحص لوس انجلوس . يعطى هذا الفحص فكره عن :-

- This test estimates the resistance of coarse agg. to abrasion and mechanical degradation during handling, construction and in service.

قابلية الركام لمقاومة التآكل او التفتت الحاصل أثناء نقل او أنشاء الطرق.

- The test result is the mass percent of coarse material lost during the test. **< 35 – 45 %**

نسبة المواد المفقودة يجب ان لا تزيد 35- 45 % .

b- **Soundness :**

Is the percent loss of material from an agg. blend during the sodium or magnesium sulfate (AASHTO T104, ASTM C88)

نسبة المواد المفقودة من الركام الناتجة من تمدد بلورات المغنسيوم أو الصوديوم بعد تبخر الماء

- This test estimates the resistance of agg to in-service weathering.

يعطي هذا الفحص فكرة قابلية الركام لمقاومة الظروف الجوية.

- The test result is total percent loss over various sieve intervals for a required number of cycles. **< 10 – 20%**

حسب المواصفات يجب ان لا تزيد نسبة المواد المفقودة عن 10- 20 % من وزن الركام المفحوص.

c- **Deleterious Materials:**

الشوائب

The mass percent of contaminants such as clay lumps, shale, wood, mica and coal in the blend aggregate **(AASHTO T112, ASTM C142) < 0.2-10%**

يجب ان لا تزيد نسبة المواد العضوية 0.2 – 10 %



Gradation (Design Aggregate Structure):

تدرج الركام المستخدم (هيكلية الركام المصمم)

- 1- Fuller chart; $P = 100 * \sqrt{\frac{d}{D}} = 100 * (\frac{d}{D})^{0.5}$

P% = percent passing of any sieve opening (d)
 D = Max. agg. size

نسبة المواد المارة لكل منخل
 مقياس الركام الأعظم

2-Super pave modify the fuller equation to 0.45 power gradation chart;

P=100*(d/D)^{0.45}

- The 0.45 power gradation chart uses a unique graphing technique to show the cumulative particle size distribution of an agg. blend.

يمكن تمثيل التدرج اعلاه بمخطط احادي المحور (محور السيني = حجم المنخل مرفوع الى الاس 0.45)

- Superpave uses:

1- Max. Size; one sieve size larger than the nominal max. size.

المقاس الاعظم

%

100

المارة

المواد

نسبة

فيها

تكون

الذي

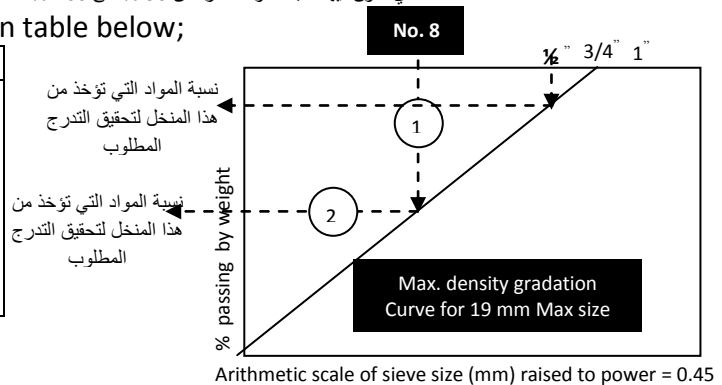
المنخل

2- Nominal Size; one sieve size larger than the first sieve to retain more than 10%. المقاس الاعتيادي

المنخل الذي تكون فيها نسبة المواد المارة من 90 % الى 100 %

- The horizontal axis can be calculated as shown in table below;

Sieve size (inch)	mm	0.45 power
1"	25.4	4.3
3/4" (Max.)	19.05	3.8
1/2" (Nom.)	12.7	3.2
No. 4	4.75	2.01
Central No. 8	2.36	1.5
No. 200	0.075	0.8



- 1- **Maximum Density Gradation**; represents a gradation where the particles fit together in their densest possible arrangement.

يمثل التدرج الاكثف اي سوف تكون الجزيئات متقاربة جدا و لا توجد فيه فراغات

- 2- Superpave adding two features to the 0.45 power chart;

a- **Control Points**;

نقاط السيطرة

- 1- Nominal max. size,
- 2- Intermediate sieve (No. 8 or 2.36 mm),
- 3- Smallest sieve (No. 200 or 0.075 mm).

b- **Restricted Zone**

المنطقة المحصورة

Resides along the max density gradation between an intermediate sieve and the 0.3 mm (No. 50 sieve). المنطقة المحصورة بين منخل رقم 50 ومنخل رقم 8

- To avoid mixture with high preoperational of fine sand relative to total sand (Humped gradation); gradations that pass through the restricted zone from below zone. تجنب الخلطة الاسفلتية الذي تحتوي على نسبة عالية من الرمل من خلال مرور خط التدرج اسفل المنطقة المحصورة.
- To avoid tender mixes with more susceptibility to permanent deformation. لتقليل او تجنب حساسية الخلطة للتشوه الدائمي
- To avoid different compaction. لتقليل او تجنب الحدل الغير منتظم



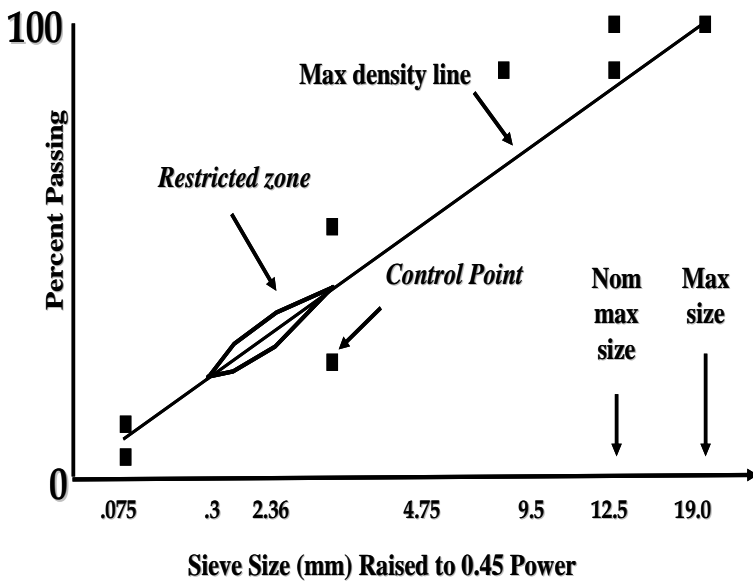
Particle Size (mm)	% Passing
19.0	$P = \left(\frac{19.0}{19.0}\right)^{0.45} = 1.000 (100.0\%)$
12.5	$P = \left(\frac{12.5}{19.0}\right)^{0.45} = 0.833 (83.3\%)$
9.5	$P = \left(\frac{9.5}{19.0}\right)^{0.45} = 0.732 (73.2\%)$
2.00	$P = \left(\frac{2.00}{19.0}\right)^{0.45} = 0.363 (36.3\%)$
0.300	$P = \left(\frac{0.300}{19.0}\right)^{0.45} = 0.154 (15.4\%)$
0.075	$P = \left(\frac{0.075}{19.0}\right)^{0.45} = 0.082 (8.2\%)$

الجدول التالي يبين كيفية حساب المحور السيني لمخطط التدرج (وهو مخطط احادي المحور حيث:-

(1) المحور السيني – فتحة المنخل مرفوعة الى اس 0.45 حسب قانون فولر.

(2) المحور الصادي – مقياس عادي

Example:- Graph Max. Agg. Size = 3/4" (19 mm).



Sieve Size mm	Control Points		Restricted Zone boundary	
	Min	Max	Min	Max
25		100		
19	90	100		
12.5		90		
9.5				
4.75				
2.36	23	49	34.6	34.6
1.18			22.3	28.3
0.6			16.7	20.7
0.3			13.7	13.7
0.15				
0.075	2	8		

تحديد كميات الركام الواجب أخذها من كل منخل
 طريقة المحاولة و الخطأ

Blending:-

1- Trial and error method:-

General form; $a X_1 + b X_2 + c X_3 + \dots = T$

- Where; X_1, X_2, X_3 : % passing or returning from each type of agg on each sieve size.
- a, b, c: unknown parameter for % passing or returning ; $a + b + c = 1$
- T; specification limit (for 1st trial used mid-point)

Example: In order to make a mixture from 3 types of agg. the sieve analysis for these types shown in table below. Determine percent can be used from each type?

Sieve size (mm)	% passing			Specification
	A	B	C	
25	100	100	100	100
19	100	100	94	90-100
(4.75) No. 4	100	100	54	60-75
1.18	100	66.4	31.3	40-55
0.3	100	26.0	22.8	20-35
0.15	73.6	17.6	9.0	12-22
0.075	40.1	5.0	3.1	5-10



Solution:- general form $a(x_1)+b(x_2)+c(x_3)=T$

Trial No. 1

a- take sieve No. 4 (4.75 mm)

$$100 a + 100 b + 54 c = 67.5$$

% passing

$$0 a + 0 b + 46 c = 32.5$$

% retaining

$$C = 32.5/46=0.71$$

b- Take sieve 1.18 mm

$$100 a + 66.4 b + 31.3 c = 47.5$$

$$100 a + 26.0 b + 22.8 c = 27.5$$

take sieve 0.3 mm

$$40.4 b + 8.50 c = 20$$

$$b=0.35$$

$$a + b + c=1$$

$$a=1-(0.35+0.71) = - 0.06 \text{ (not good negative)}$$

Trial No, 2

a- taking sieve No. 4 70% (average of specification)

b- Taking sieve 1.8 mm (change specification = 45 %)

$$100 a + 100 b + 54 c = 70$$

$$0 a + 0 b + 46 c = 30$$

$$C = 0.65$$

$$100 a + 66.4 b + 31.3 c = 45$$

$$100 a + 26.0 b + 22.8 c = 27.5$$

$$40.4 b + 8.50 c = 17.5$$

$$b=0.3 \quad a=0.05$$

Sieve size (mm)	% passing			Combination	Specification mid-point
	A * 5%	B * 30%	C * 65%		
25	$100 \cdot .05=5$	$100 \cdot .3=30$	$100 \cdot .65=65$	100	100
19	$100 \cdot .05=5$	$100 \cdot .3=30$	$94 \cdot .65=61.1$	96.1	95
4.75	$100 \cdot .05=5$	$100 \cdot .3=30$	$54 \cdot .65=35.1$	70.1	67.5
1.18	$100 \cdot .05=5$	$66.4 \cdot .3=19.92$	$31.3 \cdot .65=20.3$	45.256	47.5
0.3	$100 \cdot .05=5$	$26.0 \cdot .3=7.8$	$22.8 \cdot .65=14.8$	27.62	27.5
0.15	$73.6 \cdot .05=3.68$	$17.6 \cdot .3=5.28$	$9.0 \cdot .65=5.85$	14.81	17
0.075	$40.1 \cdot .05=2.005$	$5.0 \cdot .3=1.5$	$3.1 \cdot .65=2.015$	5.52	7.5



العلاقات الحجمية للخلطات الإسفلتية

حجم الفراغات في الركام

- Voids in Mineral Aggregate (VMA);**

The volume of inter granular void space between the agg. particles of a compacted paving mixture that includes the air voids and effective asphalt content. **SORB (Min. VMA > 15%)**

حجم الفراغات الهوائية المحصورة بين جزئيات الركام وبضمنها الفراغات المملوءة بالإسفلت وحسب المواصفات العراقية يجب ان تكون اكبر من 15 %

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} * P_s}{G_{sb}} \quad or \quad VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} * \frac{100}{100 + P_b} * 100$$

- Effective Asphalt Content (P_{be});**

نسبة الإسفلت الفعال

The total asphalt content of a paving mixture minus the portion of asphalt absorbed into the agg. particles.

نسبة الإسفلت الفعال = نسبة الإسفلت الكلية - نسبة الإسفلت الممتص من قبل الركام

$$P_{be} = P_b - (P_{ba} / 100) * P_s$$

- Air Voids (V_a);**

حجم الفراغات الهوائية

the total volume of the small pockets of air between the coated agg. particles throughout a compacted paving mixture.

SORB (3-5%) حجم الفراغات المملوءة بالهواء بين جزئيات الركام المغطاة بالإسفلت

$$V_a = 100 * \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \quad SORB (3 - 5\%)$$

- Voids Filled with Asphalt (VFA);**

حجم الفراغات المملوءة بالإسفلت

The percentage portions of the volume of inter granular void space between the agg. particles that is occupied by the effective asphalt.

حجم الفراغات الهوائية الموجودة بالركام و المملوءة بالإسفلت و حسب المواصفات العراقية (70-85 %)

$$VFA = 100 * \frac{VMA - V_a}{VMA} \quad SORB (70-85\%)$$

- Asphalt Absorption (P_{ba});**

نسبة الإسفلت الممتص

$$P_{ba} = 100 - \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} * G_{se}} * G_b$$

- Bulk Specific Gravity (G_{sb}) for Total Agg.;**

الكثافة الكلية للركام الكلي

The ratio of the mass in air of a unit volume of permeable material (including both permeable and impermeable voids normal to the material).

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 \pm \dots \mp P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} \pm \dots \mp \frac{P_n}{G_n}}$$

$P_1 - P_n$; % by mass of agg. $G_1 - G_n$; bulk specific gravity of agg.



• **Apparent Specific Gravity (G_{sa}):**

الكثافة الظاهرية للركام

The ratio of the mass in air of a unit volume of an impermeable material.

• **Effective Specific Gravity (G_{se}):**

الكثافة الفعلية للركام

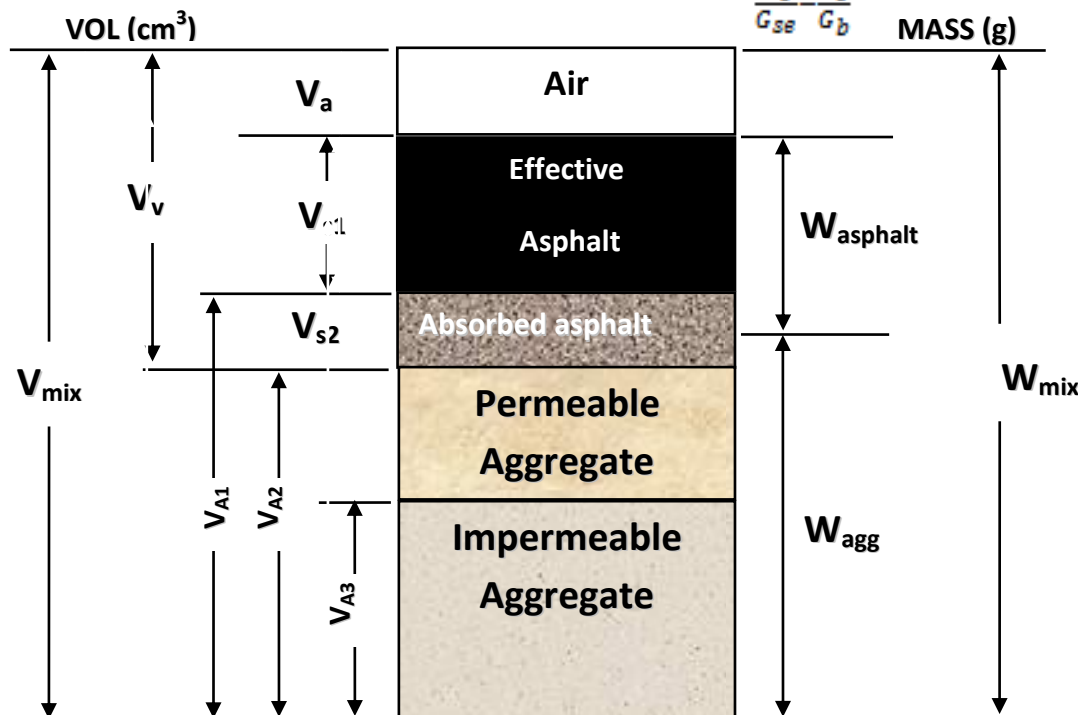
The ratio of the mass in air of a unit volume of a permeable material (excluding voids permeable to asphalt).

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

• **Maximum Specific Gravity of Mixture;**

الكثافة العظمى للخطة

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



VMA=Volume of Voids in Mineral Agg.

حجم الفراغات في الركام

V_{A1} =Bulk Volume of Compacted Mix.

الحجم الكلي للخطة المحدولة

V_a =Void less Volume of Paving Mix

VFA=Volume of Voids Filled with Asphalt.

حجم الفراغات الهوائية المملوءة بالاسفلت

V_a =Volume of Air Voids

حجم الفراغات الهوائية

V_b =Volume of Asphalt Binder

حجم الاسفلت الرابط

V_{ba} =Volume of Absorbed Asphalt

حجم الاسفلت الممتص

V_{sb} =VMA (by bulk specific gravity)

V_{se} =VMA (by effective specific gravity)



P'_{s2} = % of absorbed asphalt by weight of agg.

$$= \frac{w_{s2}}{w_A} * 100 = \frac{V_{s2} * G_s}{w_A} * 100 = \frac{V_{A3} - V_{A2}}{w_A} * G_s * 100 = \left[\frac{1}{Bulk G_A} - \frac{1}{eff G_A} \right] * G_s * 100$$

* P_{s2} = % of absorbed asphalt by total weight of mix = $P'_{s2} * (P_A/100)$

* P_{s1} = % of effective asphalt by weight of total mix = $P_s - P_{s2}$

P_s = % of added asphalt by weight of total mix

$$* Max G_m = \frac{w_m}{V_m - V_o} = \frac{w_m}{V_{s1} + V_{s2} + V_{A2}} = \frac{w_m}{\frac{w_s}{G_s} + \frac{w_A}{eff G_A}} = \frac{w_m}{\frac{P_s * w_m}{G_s} + \frac{P_A * w_m}{eff G_s}} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_s} + \frac{100 - P_s}{eff G_A}}$$

$$* V_a = \% \text{ of air voids} = \frac{V_o}{V_m} = \frac{V_m - V_o}{V_m} = 1 - \frac{V_m - V_o}{V_m} * \frac{w_m}{w_m} = 1 - \frac{1}{\frac{max G_m}{Bulk G_m}} = 1 - \frac{Bulk G_m}{max G_m}$$

$$* VMA = \% \text{ of voids in mineral agg.} = \frac{V_v}{V_m} = \frac{V_m - V_{A3}}{V_m} = 1 - \frac{V_{A3} * \frac{w_A}{w_A} * \frac{V_m}{V_m}}{V_m}$$

$$= 1 - \frac{\frac{1}{Bulk G_A} * P_A}{\frac{1}{Bulk G_m}} = 1 - \frac{Bulk G_m * P_A}{Bulk G_A}$$

$$* VFA = \frac{V_{s1}}{V_v} = \frac{V_v - V_o}{V_v} * \frac{V_m}{V_m} = \frac{V_v - V_o}{\frac{V_v}{V_m}} = \frac{\left[\frac{V_v}{V_m} - \frac{V_o}{V_m} \right]}{\frac{V_v}{V_m}} = \frac{VAM - V_o}{VAM}$$

* relative compaction = Bulk G_m / density

Example:- The design data shown in table, are used in the sample of paving mixture. Calculate asphalt mixture volumetric:-

Material	Specific gravity	Mix Compaction	
		% by mass of total mix	% by mass of total agg.
Asphalt cement	1.03 (G_b)	5.3 (P_b)	5.6 (P_b)
Coarse agg.	2.716 (Bulk G_1)	47.4 (P_1)	50.0 (P_1)
Fine agg.	2.689 (Bulk G_2)	47.3 (P_2)	50.0 (P_2)
Mineral filler	-----	-----	-----

Solution:-

$$G_{sb} = \frac{50 + 50}{\frac{50}{2.716} + \frac{50}{2.689}} = 2.703, G_{se} = \frac{100 - 5.3}{\frac{100}{2.535} - \frac{5.3}{1.03}} = 2.761$$

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{96}{2.761} + \frac{4}{1.03}} = 2.587 \quad P_{ba} = \frac{2.761 - 2.703}{2.703 * 2.761} * 100 * 1.03 = 0.8$$



$$P_{be} = 5.3 - \frac{0.8}{100} * 94.7 = 4.5$$

$$VMA = 100 - \frac{2.442 * 94.7}{2.703} = 14.4$$

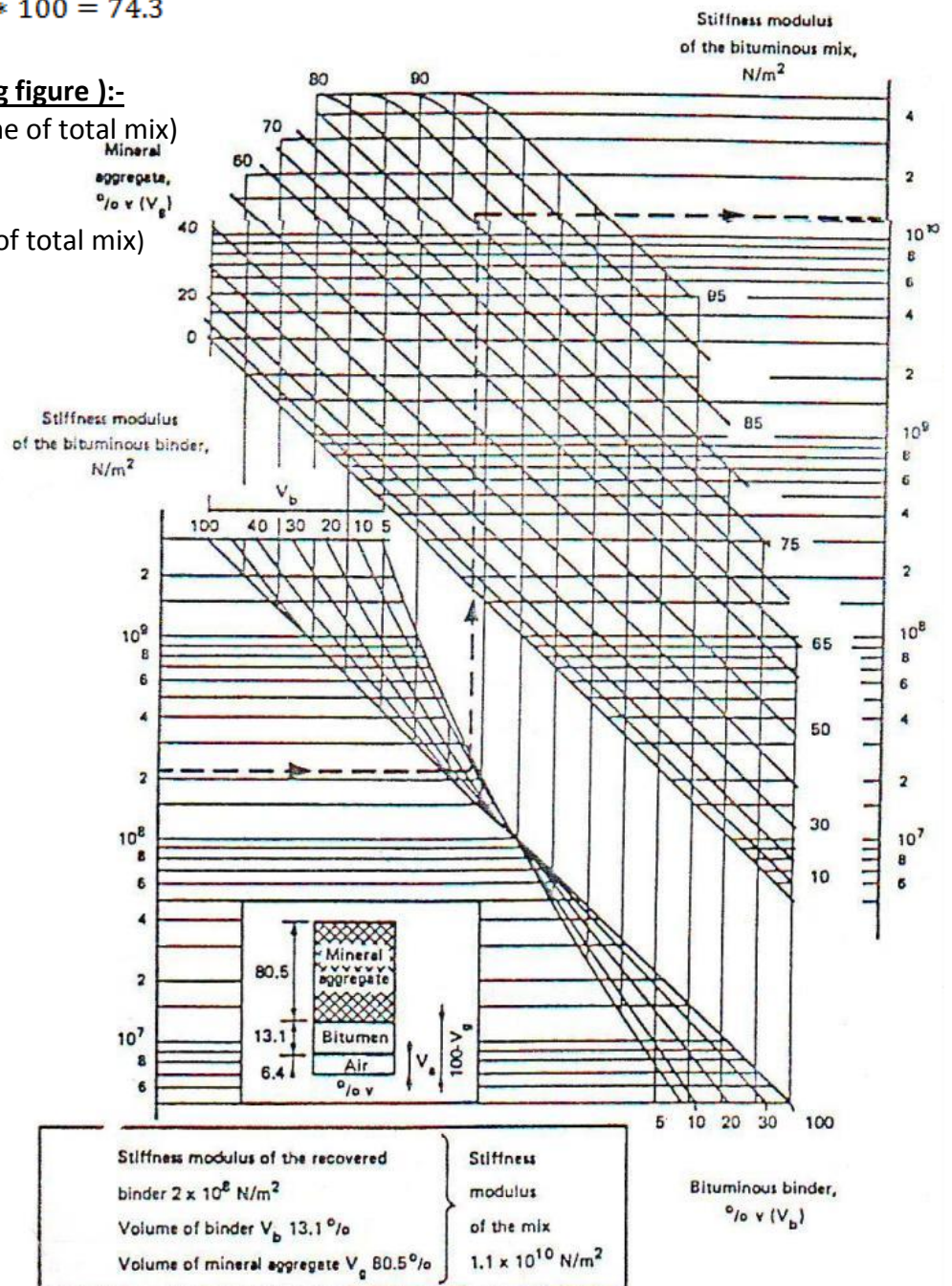
$$\text{or } VMA = 100 - \frac{2.442}{2.703} * \frac{100}{100 + 5.6} * 100 = 14.4$$

$$V_a = \frac{2.535 - 2.442}{2.535} * 100 = 3.7$$

$$VFA = \frac{14.4 - 3.7}{14.4} * 100 = 74.3$$

Mix Stiffness (Using following figure):-

- 1- V_b (% Binder by volume of total mix)
 $= \frac{V_{fa}}{V_{mb}} * 100$
- 2- V_g (% Agg. by volume of total mix)
 $= \frac{V_{Bulk}}{V_{mb}} * 100$



**Examples**

- 1) An asphalt concrete mix contains 2250 Kg of agg. and 150 Kg of asphalt per 1 m³, asphalt absorption is 1.2 %, bulk specific gravity of agg. 2.67, specific gravity of asphalt = 1.05. Find the mass-volume relation.
- 2) Relative density for asphalt pavement is 2440 Kg/m³, asphalt content = 5.8 %, asphalt absorption = 0.2 % and Sp. gr. of asphalt = 1.03. Determine Mass- Volume relationship.
- 3) Bulk density of asphalt pavement mix = 1.7 ton/m³, specific gravity of asphalt = 1.03, specific gravity of agg. (Apparent = 2.45 and Bulk = 2.34) and asphalt content = 5 %. Determine mass-volume relationship.
- 4)

1- **Asphalt Cement Properties;**

Test	Purpose
1-Pentration (0.1mm @100gm,5 sec) فحص النفاذية	1-Consistency. القوام 2-Relative hardness. الصلادة النسبية 3-Temperature susceptibility. الحساسية الحرارية
2-Softing Point Temp. فحص نقطة الليونة	1-Tendency to flow. الميل لجريان 2-Max. soft heating temp. (soft point +(90-110))
3-Ductility Test فحص المطالية	1-Tensile properties خصائص الشد 2- Adhesion properties خصائص التلاصق
4-Thin Film Oven Test (163 c ^o ,5 hr,1/8") فحص	1-Ghange in properties due to weathering (effective of temp. &air) التغير بالخصائص نتيجة الظروف الجوية
5-Flash Point Temp. فحص درجة حرارة الوميض	1-Safety on plants الامان بالمعمل
6-Solubility	1-Homogenity or % of Bitumen تجانس الاسفلت
7-Absolute Viscosity at 60 c ^o اللزوجة المطلقة Kinematic Viscosity at 135 c ^o	1-Temp. susceptibility الحساسية الحرارية
8-G _s ;Specific Gravity of Asphalt	الوزن الجزيئي للاسفلت

2- **Temperature Susceptibility:-**

الحساسية الحرارية

هناك عدة طرق لحساب الحساسية الحرارية للإسفلت منها:-

a- **Penetration Ratio (P_R);**

نسبة النفاذية

$$P_R = \frac{P_1 @ 4 c^o, 200 gm, 60 sec \text{ and } @ 46 c^o, 50 gm, 5 sec}{P_2 @ 25 c^o, 100 gm, 5 sec}$$

b- **Penetration Index (P.I.);**

معامل النفاذية

(-2 → +2), (high ← normal → low)

$$P.I = \frac{30}{1+90k} - 10 \quad k = \frac{\Delta \log P}{\Delta T} = \frac{(\log P_{at R\&B=800}) - \log P_{standard}}{T_{R\&B} - T_{standard} = 25 c^o, 77 F^o}$$

c- **Penetration Viscosity Number (P.V.N);**

رقم النفاذية الزوجة

$$P.V.N = \frac{1.5 \log \mu + 1.2 \log P - 6.4}{0.8 - 0.19 \log P}$$

where, P; standard penetration,

η; kinematics viscosity at 135 c^o3- **Asphalt Classification ;**

طرق تصنيف الإسفلت

a- Penetration Grade ;-(40-50), (60-70), (80-100)

مقياس النفاذية

b- Viscosity Grade; Ac-20

مقياس اللزوجة

c- Performance Grade;

مقياس الكفاءة

$$PG = T_{Max.} - T_{Min.}$$

T_{Max.}; Max. Pavement temp. at C^o

درجة حرارة التبليط العظمى

T_{Min.}; Min. pavement temp. at C^o

درجة حرارة التبليط الصغرى



- $T_{Max. \text{ at } 2\text{cm depth}} = 0.9545[T_{air} - 0.00618 L^2 + 0.00289 L + 42.2 - 17.78]$
- T_{air} ; Max. air temp. during the hot test 7 day period - c° أكبر درجة حرارة للهواء
- L; project attitude in degree – Iraq (29° – 38°) الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة
- $T_{Min. \text{ at surface (c°)}} = 0.859 T_{air} + 1.7 \cong T_{air}$
- $T_{air} = \text{Min. for all year air temp.}$ أقل درجة حرارة بالسنة

4- Asphalt Binder Content:-

تحديد كمية الإسفلت المستخدم كمادة رابطة

هنالك عدة طرق لتخمين أو تقدير كمية الإسفلت المستخدم كمادة رابطة

a- **Approximate Method;**

الطريقة التقريبية

$$P_{s(\text{optimum})} \cong 0.035 * A_c + 0.045 * A_f + 0.018 * F + \text{Absorbtion (0 - 2\%)}$$

A_c; % of coarse agg. >No.8,

نسبة الركام الأكبر من منخل رقم 8

A_f; % of fine agg. (No.8-No.200),

نسبة الركام المحصور بين منخل رقم 8 و 200

F; % of filler <No.200

نسبة المواد المألثة المارة من منخل رقم 200

b- **Surface Area of Aggregate:-**

تقدير كمية الإسفلت حسب المساحة السطحية

$$\text{Density} = \frac{\text{weight}}{\text{volume}} = \frac{w}{A * t}$$

Asphalt binder by weight of agg.=Surface area of agg.*Film thickness of asphalt*Density of asphalt *100

- Surface area of agg. can be calculated used sieve size analyze;

المساحة السطحية للركام تحسب من التحليل المنخلي للركام

- %passing by volume=%passing by weight (fine agg.)*[G_{combined agg.}/G_{fine agg.}]

$$\text{Surface area} \left(\frac{m^2}{kg} \right) = \sum \% \text{ passing by volume} * \text{surface area factor (S.A.F)}$$

Sieve Size	Surface Area Factor (m ² /kg)
3/4"	} * surface area for all coarse agg. size
3/8"	
No. 4	0.41
8	0.82
16	1.64
30	2.87
50	6.14
100	12.29
No. 200	32.7

ملاحظة:- المساحة السطحية للركام الخشن (الأكبر من منخل رقم 4) تكون مساحته السطحية تساوي 0.41 م²/كلغم**Example:-** Calculate surface area of gradation shown in table, G_c=2.4, G_f=2.67

Sieve Size	%passing by wt.	Surface Area Factor (m ² /kg)	% passing by volume	Surface area
3/4"	100	*		0.41
3/8"	90	*		0.41
No. 4	70	0.41	70*(2.6/2.4)=76	0.3116
8	60	0.82	60*(2.6/2.67)=58	0.4756
16	50	1.64	49	0.8036
30	40	2.87	39	1.1195
50	30	6.14	29	1.7806
100	20	12.29	19	2.3351
No. 200	6	32.7	6	1.9662
				∑ 9.612 m ² /kg



$$G_{combined} = \frac{100}{\left(\frac{30}{2.4}\right) + \left(\frac{70}{2.67}\right)} = 2.6$$

c-Nebraskan Equation:-

معادلة نبراسكين

$$B.C\% = A * G * 0.02 * a + 0.06 * b + 0.1 * c + S_d$$

Where;

A: absorption modifying factor of agg. retained on sieve No. 50.

معامل الامتصاص للركام المتبقي على منخل رقم 50 .

G: specific gravity correction factor for agg. retained on sieve No. 50.

معامل تصحيح الوزن النوعي للركام المتبقي على منخل رقم 50 . ويحسب من العلاقة التالية

$$G = 2.62 / (\text{apparent Sp. Gr. of agg.})$$

a: % by weight of agg. retained on sieve No. 50

نسبة وزن الركام المتبقي على منخل رقم 50

b: % by weight of agg. passing on sieve No. 50 and retained on sieve No.100

نسبة وزن الركام المار من منخل رقم 50 و المتبقي على منخل رقم 100 .

c: % by weight of agg. passing on sieve No. 100 and retained on sieve No. 200

نسبة وزن الركام المار من منخل رقم 100 و المتبقي على منخل رقم 200.

d: % by weight of agg. passing on sieve No. 200

نسبة وزن الركام المار من منخل رقم 200

s: Experimental factor depending on the finesses and absorption of material passing sieve No. 200.

معامل خارجي يعتمد على نعومة و امتصاص المواد المارة من منخل رقم 200.



Many empirical and semi-empirical design methods have been used to evaluate various properties of bituminous mixtures and then determine the binder content based on these properties.

هناك العديد من الطرق العملية المستخدمة لتصميم وتقييم الخصائص المختلفة للخلطات الإسفلتية و تحديد كمية الإسفلت اللازمة لتحقيق هذه الخصائص.

Marshall Test [ASTM-D1559]:-

طريقة مارشال لإيجاد نسبة الإسفلت المثالية لتصميم الخلطة الإسفلتية

- The Marshall Stability test is a type of unconfined compressive strength test.

A cylindrical specimen, 101.5 mm diameter and 63.5 mm high, is compressed radial at a constant rate of strain of 50.8 mm per minute.

فحص مارشال (فحص الانضغاط الغير محصور) من خلال صب نماذج اسطوانية بقطر 4 انج (101.5 ملم) و بسمك 2.5 انج (63.5 ملم) ومن ثم تسليط ضغط بمعدل ثابت مقداره 2 انج \ بالدقيقة (50.8 ملم \ دقيقة) و النتائج الذي سوف نحصل عليها :-

- The results are expressed;

a) Marshall stability value:- is the Max. load in Newton's sustained by the specimen.

قيمة قوة مارشال :- اكبر قوة مسلطة على النموذج مقاسه بالنيوتن

b) Marshall flow value:- is the deformation in mm at failure.

قيمة جريان مارشال :- مقدار التشوه عند الفشل مقاس بلمم .

* The various steps followed in Marshall Test are:-

خطوات الفحص

1- Prepare a series of test specimens for a range of different binder contents [To estimate the optimum binder content, either surface area equation or determine on the experience].

لغرض تخمين كمية الإسفلت الواجب استخدامها يتم تحضير عدد من النماذج بنسب مختلفة من الإسفلت.

- Each Marshall Test specimen requires ~1.2 kg of agg. and (3) test specimens are usually prepared for each asphalt content used. كل نموذج يحتاج إلى 1200 غرام من الركام (يتم تهيئة 3 نماذج لكل نسبة إسفلت)
- The asphalt must be heated to produce viscosities of 170 ± 20 centistokes and 280 ± 30 centistokes shall be established as the mixing and compaction temp. الإسفلت المستخدم يجب إن يسخن بحيث تكون اللزوجة بمقدار 170 سنتي ستوك عند الخلط و 280 سنتي ستوك عند الحد
- Compaction is done by a hammer having a flat, circular tamping face 98 mm, equipped with 4.45 kg (10 lb) weight and constructed to obtain a specified drop of 457 mm (18 in) حدل النموذج بواسطة مطرقة دائرية قطرها 98 ملم وزنها 4.45 كلغم تسقط بصورة حرة من ارتفاع 457 ملم
- Compaction is done on both sides with face of the hammer heated (in water bath).
 - 35 blow on both sides - Light traffic. 35 ضربة على كل وجه في حالة المرور الخفيف
 - 50 blow on both sides - Medium traffic. 50 ضربة على كل وجه في حالة المرور المتوسط
 - 75 low on both side - Heavy and very heavy traffic. 75 ضربة على كل وجه في حالة المرور الثقيل

2- Determine the bulk unit weight of each specimen.

نجد الكثافة الكلية لكل نموذج



3- Calculate the V_a % in each compacted specimen.

نحسب نسبة الفراغات الهوائية في النموذج المحدول

$$\% V_a = \frac{G_t - G_d}{G_t} ;$$

Where; G_t = Max. theoretical unit weight. (gm /cm³),

G_d = Bulk unit weight. (gm /cm³)

4- Calculate the VMA %, for each specimen

نحسب نسبة الفراغات في الركام في كل نموذج

$$\% VMA = 100 - \frac{G_{bM} * P_A}{G_{bA}} ,$$

where G_{bA} ; bulk specific gr. of agg.,

P_A ; agg. percent by weight of total paving mixture

G_{bM} ; bulk specific gr. of mix,

5- Calculate the VFA% = [(VMA - V_a)/VMA]*100

نحسب نسبة الفراغات الهوائية المملوءة بالإسفلت

6- Determine Marshall Stability and flow value for each specimen.

نجد قوة و جريان مارشال لكل نموذج

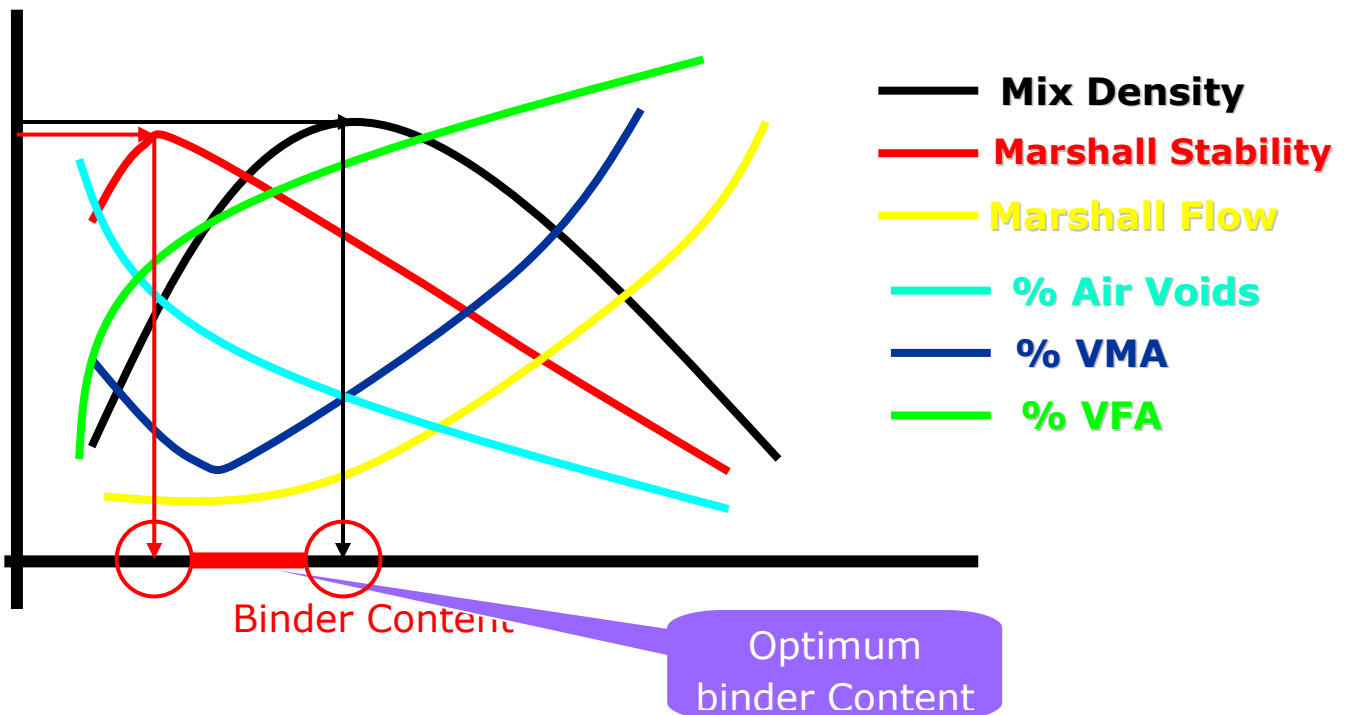
7- The measured stability values are corrected to exact specimen thickness (63.5 mm height). This is done by multiplying by a correction ratio.

تصحيح قيمة قوة مارشال حسب السمك القياسي (63.5 ملم)

8- Plot the following graphs:-

نرسم المخططات التالية

Marshall Test Method (ASTM D 1559)





9-Determine the optimum binder content, taken as the average of binder contents corresponding to Max. Stability, Max. unit weight, appropriate % V_{air} , % VFA.

نجد قيمة محتوى الاسفلت المثلى (المحتوى الذي يحقق اكبر قوة مارشال و كثافة ونسبة فراغات مقبولة وحسب المواصفات

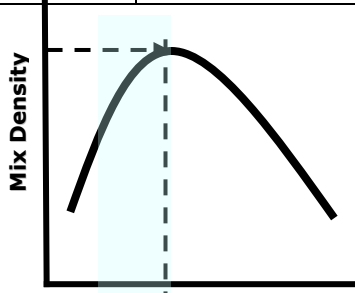
Notes:-

- The stability value increases with increasing binder content up to max. after which the stability decreases. كلما يزداد محتوى الإسفلت تزداد قوة مارشال لحد القيمة العظمى وبعدها تقل القوة
- The curve of unit weight is similar to the stability curve, except that the max. unit weight normally occurs at a slightly higher binder content than the Max. stability. منحنى الكثافة يشبه منحنى القوة ماعدا إن الكثافة العظمى تحدث قبل القوة (مع زيادة نسبة محتوى الإسفلت)
- The flow value increases with increasing binder content. قيمة الجريان تزداد بزيادة محتوى الإسفلت.
- The % V_{air} decrease with increasing binder content ultimately approaching a min. void content نسبة الفراغات الهوائية تقل بزيادة محتوى الإسفلت.
- The % VFA increases with increasing binder content, ultimately approaching a max. VFA %.

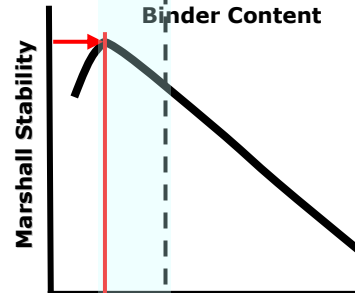
Specification:-

نسبة الفراغات الهوائية المملوءة بالإسفلت تزداد بزيادة محتوى الإسفلت
نفرض بان وزن النموذج 1200 غرام بدون اضافة وزن الاسفلت و المضافات .

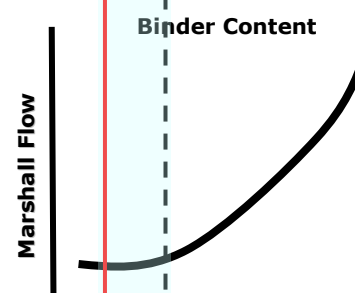
Sieve Size		Selection Aggregate	Weight of retaining agg. (grams)
1 in	25 mm	100	0
3/4 in	19 mm	90	$1200*0.1 = 120 \text{ gr}$
1/2 in	12.5 mm	80	$(1200-120)*0.2= 216 \text{ gr}$
3/8 in	9 mm	68	$(1080-216)*0.32=277 \text{ gr}$
No. 4	4.75 mm	50	$(864-277)*0.5= 294 \text{ gr}$
No.8	2.36 mm	29	$(587-294)*0.71= 208 \text{ gr}$
No.10	0.6 mm	20	$(293-208)*0.8= 68 \text{ gr}$
No.50	0.3 mm	9	$(85-68)*0.91= 15 \text{ gr}$
No.200	0.075 mm	6	$(17-15)*0.94= 2 \text{ gr}$
Total weight			1200 gram



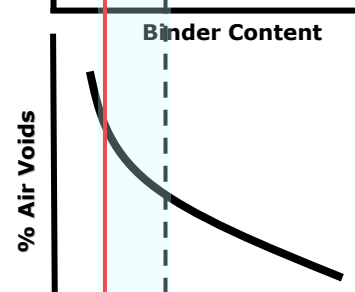
نلاحظ كلما تزداد نسبة الاسفلت تزداد الكثافة (نتيجة لزيادة الوزن) الى حد معين وبالتالي تبدأ بالنقصان



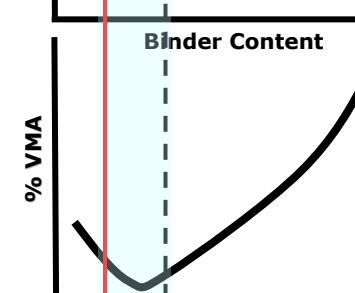
نلاحظ كلما تزداد نسبة الاسفلت تزداد الاستقرار (نتيجة لنقصان الفراغات الهوائية) الى حد معين وبالتالي تبدأ بالنقصان



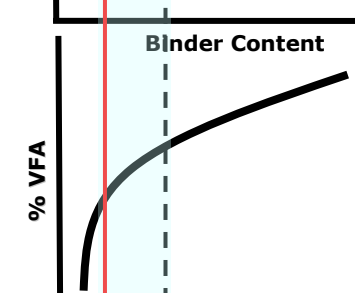
نلاحظ كلما تزداد نسبة الاسفلت تزداد التشوه (نتيجة لزيادة الاسفلت)



نلاحظ كلما تزداد نسبة الاسفلت تقل نسبة الفراغات الهوائية



نلاحظ كلما تزداد نسبة الاسفلت تقل نسبة الفراغات الهوائية الموجودة بالركام الى حد معين وبالتالي تبدأ بالزيادة



نلاحظ كلما تزداد نسبة الاسفلت تزداد نسبة الفراغات الهوائية الملوثة بالاسفلت

نختار نسبة الاسفلت الذي تحقق الكثافة العظمى و الاستقرار الجيدة وبنسبة فراغات معقولة

**Example:-****BULK SPECIFIC GRAVITY and DENSITY DATA SHEET**
for ASPHALT MIX DESIGNS (D 1559)

Specimen Number	% AC by Wt. of Mix	Wt. in Air (A)	Wt. in Water (C)	Wt. SSD (B)	Vol. cc (B-C)	Bulk - G_{mb} Sp.Gr. $A / (B-C) = D$	Unit Wt. pcf $D \times 62.4$
1	4	1191	698	1199	501	2.377	
2	4	1197	701	1209	508	2.356	
3	4	1193	695	1200	505	2.362	
Average						2.365	147.58
1	4.5	1191	701	1193	492	2.421	
2	4.5	1203	708	1207	499	2.411	
3	4.5	1199	708	1203	495	2.422	
Average						2.418	150.88
1	5	1200	709	1204	495	2.424	
2	5	1193	708	1200	492	2.425	
3	5	1195	706	1199	493	2.424	
Average						2.424	151.26
1	5.5	1187	699	1189	490	2.422	
2	5.5	1199	707	1200	493	2.432	
3	5.5	1188	700	1190	490	2.424	
Average						2.426	151.37
1	6	1181	692	1182	490	2.410	
2	6	1184	696	1186	490	2.416	
3	6	1187	698	1190	492	2.413	
Average						2.413	150.56

Note: All weights measured in grams.

Bulk Specific Gravity and Density Computations.

MARSHALL METHOD STABILITY and FLOW
Data Sheet (ASTM D 1559)

Specimen Number	% AC by Wt. of Mix	Ht. of Specimen Inches	Marshall Stability Lbs.	Stability Corr. Ratios	Corrected Marshall Stability	Marshall Flow 0.01 Inches
1	4	2 1/2	1700	1.00	1700	12
2	4	2 7/16	2200	1.04	2288	11
3	4	2 7/16	2000	1.04	2080	10
Average					2023	11
1	4.5	2 7/16	2300	1.04	2392	11
2	4.5	2 7/16	2200	1.04	2288	13
3	4.5	2 7/16	2500	1.04	2600	13
Average					2427	12
1	5	2 7/16	2400	1.04	2496	17
2	5	2 7/16	2700	1.04	2808	14
3	5	2 3/8	2200	1.09	2398	15
Average					2567	15
1	5.5	2 7/16	2200	1.04	2288	17
2	5.5	2 3/8	1900	1.09	2071	15
3	5.5	2 3/8	2000	1.09	2180	17
Average					2180	16
1	6	2 3/8	1600	1.09	1744	19
2	6	2 3/8	1400	1.09	1526	21
3	6	2 3/8	1400	1.09	1526	17
Average					1599	19

Marshall Method Stability and Flow Record.



RICE METHOD for DETERMINATION of MAXIMUM SPECIFIC GRAVITY of PAVING MIXTURES (D 2041)

% AC by Wt. of Mix	Wt. Sample & Bowl in Air	Wt. of Bowl in Air	Wt. of Sample in Air (A)	Wt. of Bowl in Water	Wt. of Sample & Bowl in H ₂ O	Wt. of Sample in H ₂ O (B)	Volume A-B=C	Specific Gravity = A/C G _m
5	781	108	673	92	258	404	269	2.50
5	618	108	510	92	398	306	204	2.50
5	803	108	695	92	510	418	277	2.51
						Average G _m =		2.50

COMPACTED PAVING MIXTURES DATA SHEET (ASTM D 1559)

Materials	Specific Gravity			Specimen Number				
	Apparent	Bulk		1	2	3	4	5
Coarse Aggregate	2.76	2.65	P ₁	61.5	61.1	60.8	60.5	60.2
Fine Aggregate	2.82	2.70	P ₂	30.7	30.6	30.4	30.2	30.1
Mineral Filler	3.12	N.A.	P ₃	3.8	3.8	3.8	3.8	3.7
Total Aggregate	2.79	2.68	P ₄	96.0	95.5	95.0	94.5	94.0
Asphalt Cement	1.01	N.A.	P ₅	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
Bulk Sp.Gr. (G _{mb}), compacted mix, (ASTM D 2726)				2.36	2.42	2.42	2.43	2.41
Bulk Sp.Gr. (G _{sb}), total aggregates, Equation 1				2.68	2.68	2.68	2.68	2.68
Effective Sp.Gr. (G _{mm}), total aggregates, Equation 2				2.71	2.71	2.71	2.71	2.71
Max. Sp.Gr. (G _{mm}), paving mixture**, Equation 3				2.54	2.52	2.50	2.48	2.46
Absorbed Asphalt (P _{ba}), % by wt. of aggregates, Equation 4				0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
Effective Asphalt Content (P _{ba}), % by wt. of total mix, Equation 5				3.60	4.10	4.60	5.10	5.61
Percent Voids Mineral Aggregate (VMA), Equation 6				15.46	13.76	14.22	14.32	15.47
% Air Voids (P _v), Equation 8				7.09	3.97	3.20	2.02	2.03
Percent Voids Filled with Asphalt (VFA), Equation 9				54.1	71.1	77.5	85.9	86.9

Notes:

* Reference for Equations See Explanation of Effective Asphalt Content Determination.

**Average value normally of three samples for the Marshall Method. Test three loose mixture specimens in the middle of the asphalt range to measure the Rice specific gravity. If the resultant G_{mm} is not identical for all the samples, extend the testing to the other specimens. G_{mm} should be identical for all asphalt percentages.

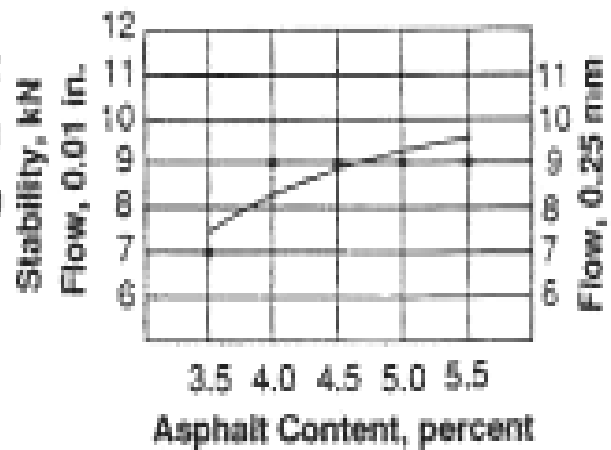
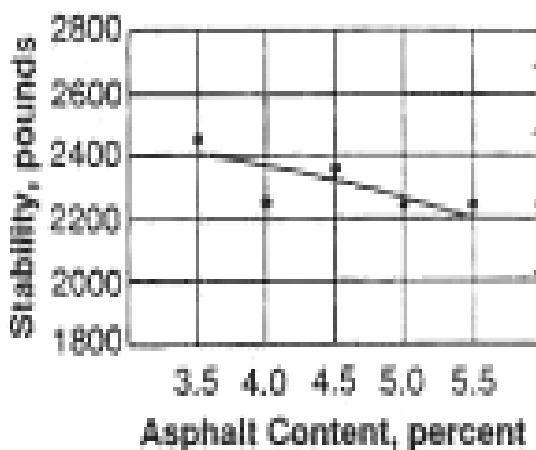
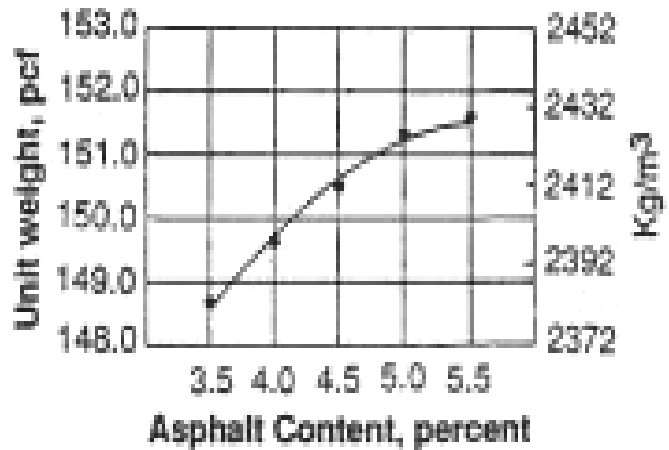
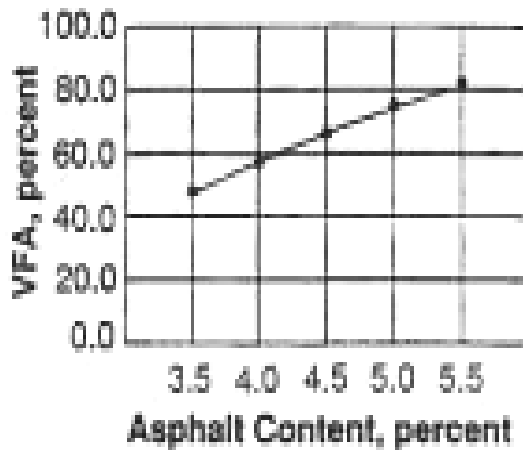
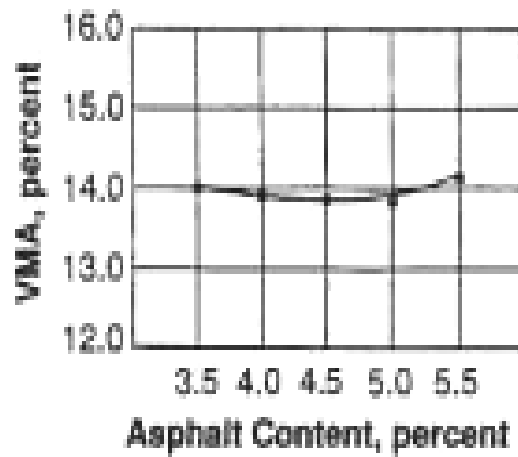
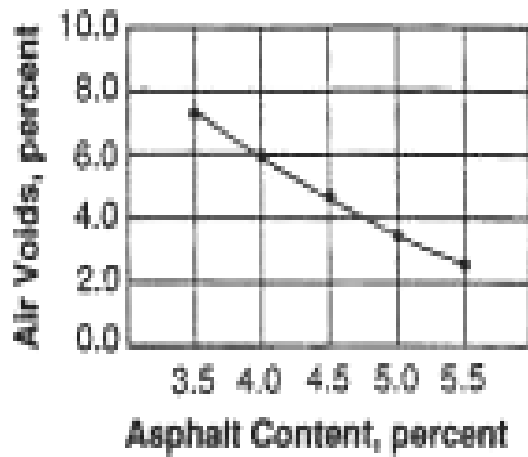


Figure 27 - Typical Test Property Curves for a Hot Mix Asphalt Paving Mixture by the Marshall Method: Six Graphs.



Lecture No.

11

Production of HMA (Manufactures)

تصنيع او انتاج الخلطة الاسفلتية

معامل الخلط تقسم

معامل الطبخ

وزن الركام الساخن

تكون عملية الوزن حسب المناخل

يضاف الاسفلت

تكون عملية الخلط

خلاطة الطبخ الدوارة

هذه الطريقة سهلة السيطرة

العداد ميكانيكي

معامل الخلط المستمرة

وحدة السيطرة على الندرج

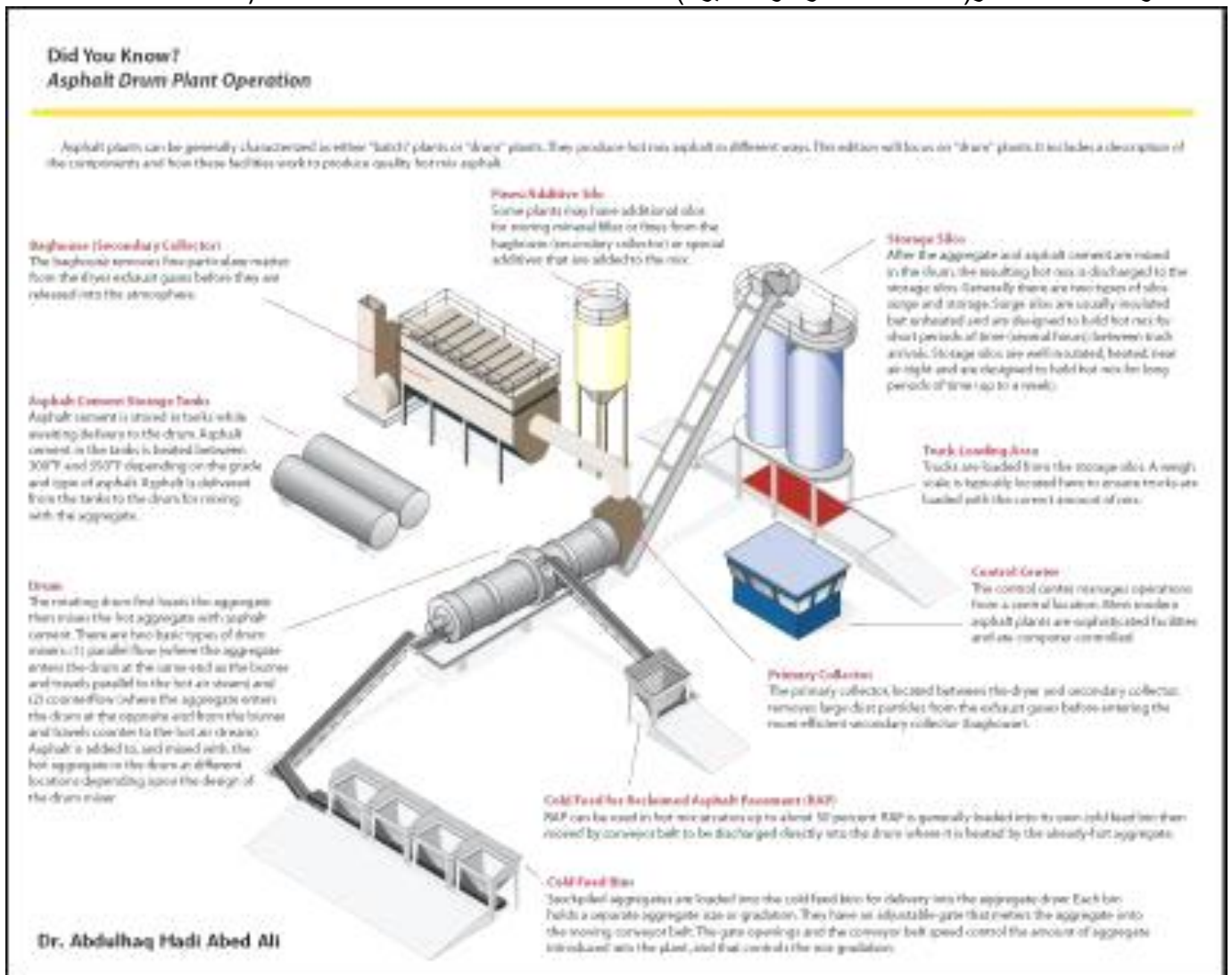
1- **Mixing Plant**:- It consists of ,

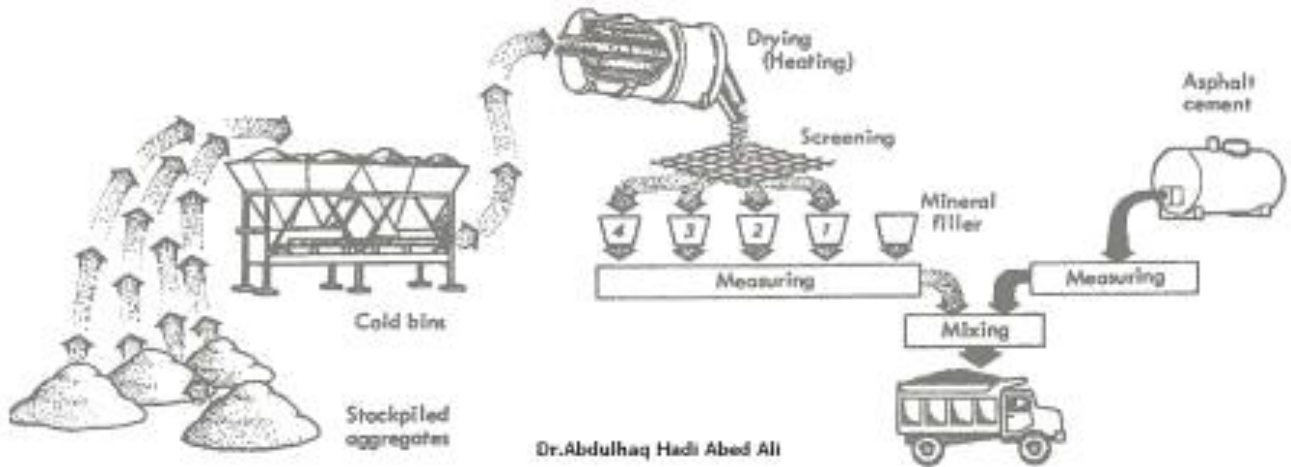
a) **Batching Plants**; include:

- Weight box or hopper (weight of each size of agg.).
- Agg. scales are scales for any weigh-box or hopper.
- Bitumen bucket is for weighting the bitumen.
- Mixer unit for batch method;
 - a- Rotary batch mixer.
 - b- Time lock to control the operation (5 sec- 3 min/cycle)
 - c- Mechanical batch counter.

b) **Continuous Mixing Plants**; include:

- Gradation control unit. (Weight of each size of agg.)
- Synchronization of agg. and bitumen feed. (Interlocking control between flow of agg. and flow of bitumen.) (تتداخل تدفق الركام و الاسفلت)
- Weight calibration of bitumen and agg. feed (calibrating gate opening) معايرة فتحات البوابة
- Mixer unit of continuous method, (a- continuous mixer, b- permissible variation in job-mix-formula). وحدة الخلط المستمر (الخلاطة المستمرة او المتغيرة)



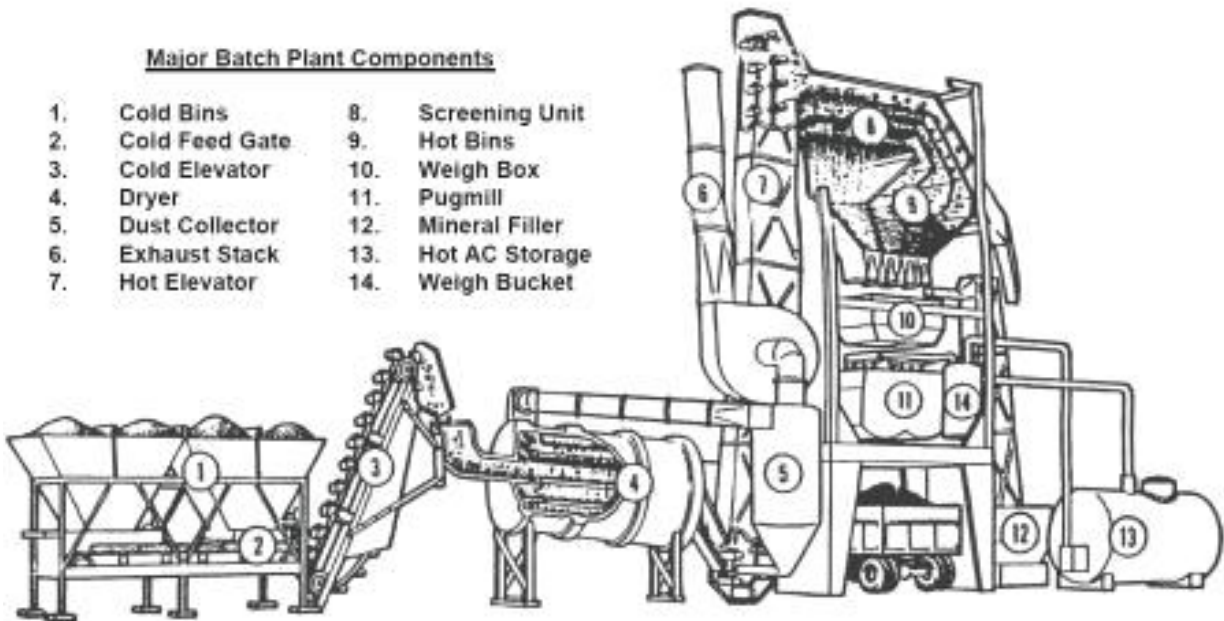


Typical Batch Plant

(Taken from The Asphalt Institute Manual ES-1, Second Edition)

Major Batch Plant Components

- | | |
|-------------------|--------------------|
| 1. Cold Bins | 8. Screening Unit |
| 2. Cold Feed Gate | 9. Hot Bins |
| 3. Cold Elevator | 10. Weigh Box |
| 4. Dryer | 11. Pugmill |
| 5. Dust Collector | 12. Mineral Filler |
| 6. Exhaust Stack | 13. Hot AC Storage |
| 7. Hot Elevator | 14. Weigh Bucket |



c) Drum Mixer; these plant consider of :-

- Cold feed (accurate flow agg.)
- Agg. in the drum are dry heated and mixing with filler, asphalt content and mixing with temp. about 80 – 90 °C .
- Raise temp. to specified level .

الطريقة الثالثة هي

في هذه الطريقة المواد تجهز بدون تسخين

الركام يسخن ويخلط ويضاف له الاسفلت بدرجة حرارة . 80 – 90 °C

ترفع درجة الحرارة الى المستوى المطلوب

2- **Construction Method**:- the fundamental steps are;

طريقة الانشاء

a- **Preparation of mixture**,

تحضير الخلطة

The agg. and mineral filler are dried, heated to proper temp. (≤ 177 c°), screened, stored proper proportions of hot agg. are then carefully weighted and mixed with hot asphalt in a suitable mixer.

- The temp. of binder at time of mixing (150-177 c°).

درجة حرارة الاسفلت



- The temp. of agg. at time of mixing (155-163 c°). درجة حرارة الركام
 - The difference temp. between agg. and binder (≤ 14 c°). الفرق بدرجة الحرارة بين الاسفلت و الركام
- الركام الخشن والناعم يجفف ويسخن الى درجة حرارة لا تتجاوز 177 م تتخل وتخزن و حسب المواصفات اعلاه.

b- Transportation of Mixture:-

نقل الخلطة

Mixture is discharged from the plant into suitable vehicles usually trucks from transportation to the job site. Truck bodies should be light, well cleaned, wetted with soluble oil solution to prevent sticking and when necessary covered with canvas for weather protection.

الخلطة تجهز من المعمل الى المركبات المخصصة للنقل لنقلها الى موقع العمل (هذة اشاحنات يجب ان تكون نظيفة و مطيها بقليل من النفط لمنع التصاق الخلطة وتغطي للحفاظ عليها من الظروف الجوية.



3- Placing of Paving Mixture:-

فرش الخلطة

Mixture is laid on the prepared base and practically all asphalt concrete mixture is laid by:-

- Hand;

الفرش اليدوي

a- To regular thickness regions.

في المناطق الغير منتظمة (صعوبة دخول الفارشات)

c- In confined areas.

في المساحات المحصورة

d- On foot pokes

e- Min. distance at expansion joint for bridge.

المناطق القريبة من مفاصل التمدد

- Mechanical Method (Paver):-

الفارشات الميكانيكية

******The truck backs up the paver and dumps the hot mix into a hopper from where it is carried back and deposited on the road at a uniform loose depth.

الشاحنات تفرغ الخلطة الاسفلتية الساخنة في حاضنة الفارشة خلف الفارشة لتقوم بفرشه بالسلك المنتظم المطلوب

******The paver contains the functions (screening, leveling and partially compact the mix.

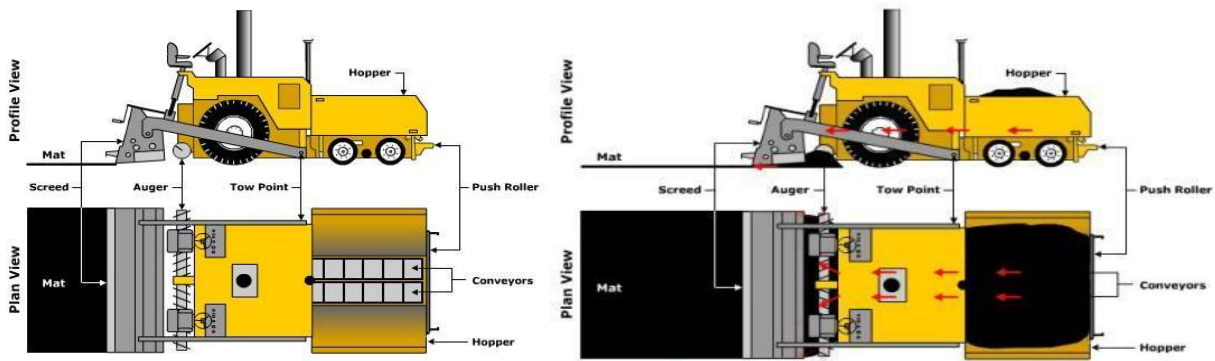
الفارشة تقوم بالوظائف التالية :-

(1 فرش الخلطة الاسفلتية و حسب السمك المطلوب.

(2 تسوية الخلطة المفروشة.

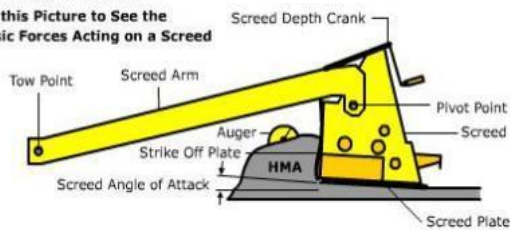
(3 حذل الخلطة جزئيا".





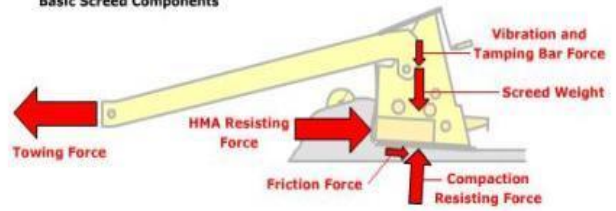
Screed Components

Click this Picture to See the 6 Basic Forces Acting on a Screed



Screed Forces

Click this Picture to See the Basic Screed Components



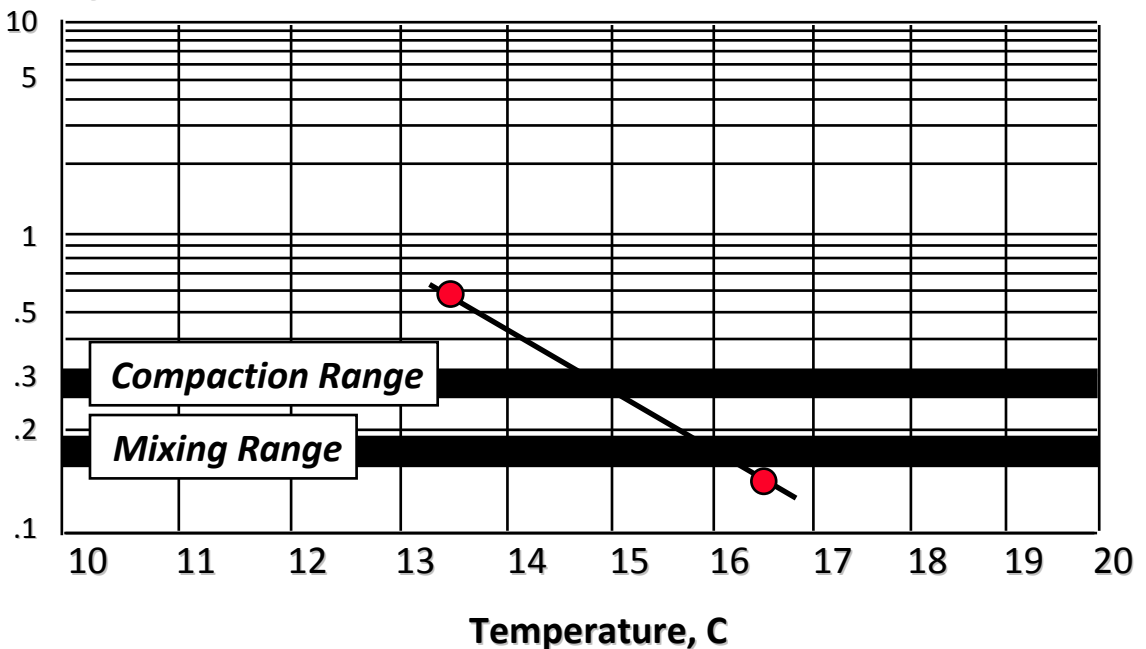
4- Compaction of Mixture:-

حذل الخلطة

Is the acting mechanical effect by roller or other equipment to increase the density of asphalt mixture (reduced the air voids) to improve mechanical properties.

d) Asphalt institute has recommended the min. spreading and rolling temp. to be completed after placing time. (as shown in the following figure)

Viscosity, Pa s



e) Compaction is done by:-

الحذل يكون على ثلاثة مراحل

1- **Breakdown rolling (stable-roller):**

Tandem 2-axle min. (8-12 ton), max. speed of breakdown roller 5 km/hr, 2-3 passes to obtain required density.



الحادلة المستقرة (حادلة الاضلاف):- ثنائية المحور وحمولتها (8-12 طن) واقصى سرعة لها 5 كلم بالساعة فلغرض الحصول على الكثافة المطلوبة تمر 2-3 مرة.

2- **Intermediate rolling; Pneumatic roller,**

min. 3.15 kg/cm² tire pressure is used behind the breakdown roller, run at 25 km/hr without displacement.

الحادلة الاطارية (المتوسطة):- تستخدم هذه الحادلة بعد الحادلة الاولى ويكون ضغط الاطار فيها 3.15 كلغ \ سم³ وتكون سرعتها 25 كلم \ ساعة .

3- **Finish rolling;**

Tandem 3-axle min. 8-10 ton, which added little more density and removes all irregularities left by breakdown roller?

الحادلة النهائية:- حادلة ثلاثية المحور وزنها 8-10 طن تقوم باضافة نسبة قليلة من الكثافة وازالة بقايا الناتجة من الحادلة الاولى.

**Dynamic roller; this roller is used a dynamic load with different pulse and frequency.

الحادلة الديناميكية:- تستخدم حمل متكرر و مختلفة التردد و النبضات.

**The degree of compaction obtained by rolling is determined by the field density test. This is made by cutting a sample about 30 cm² from the finished coarse and dividing the sample into 4 smaller samples (equal size) density = $\frac{weight}{volume} \geq 95\%$

درجة الحدل الذي نحصل عليها من الحادلة تحسب من فحص الكثافة الحقلية وذلك بقطع نموذج بحجم 30 سم² من الطبقة النهائية وتقسم النموذج الى اربعة اجزاء وحسب المواصفات تكون اكبر من 95 %.

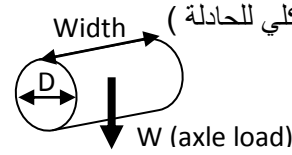
**Factor effecting on the compaction by roller:-

العوامل على الحدل

a) Axle load; total weight of roller acting along the axle

b) Static Linear Pressure;

$$SLP = \frac{\text{axle weight}}{\text{drum width}}$$



حمل المحور (الوزن الكلي للحادلة)
الضغط الاستاتيك الخطي

$$c) \text{ Nijbore Factor } (N_f) = \frac{\text{axle load}}{\text{DrumDiam} * \text{Drum Width}} < 0.25 \text{ Kg/ m}^2$$

High N_f caused cracking and ridges.

يسبب تشقق و تخدد



5- Surface Finish;

انهاء السطح

Most specification has straight edge requirements (1 mm – 1 m and max. variation 0.5 mm – 1 m)

اغلب المواصفات تطلب ان يكون وجة التبليط مستقيم (1 ملم لكل 1 م و اكبر تباين مسموح به 0.5 ملم لكل 1 م)

6- Construction of Joints;

انشاء المفاصل

when work is temporarily stopped, the roller is driven off thus forming a ramp (should be cut back to point where the pavement is of full depth and then lightly primed with a thin coat of cut-back or emulsion asphalt before fresh material is placed adjacent to it.

عند ايقاف العمل بصورة مؤقتة

7- Tack-Coat;

1) Minimizing roller cracking.

تقليل الشقوق الناتجة من الحادلة



2) Offset wind-deposited and traffic placed dust.
The tack-coat should be placed at 50 kg / 100 m².

منع الغبار من التطاير

يستخدم بمقدار 50 كلغ \ 100 م²

ملاحظات مهمة:-

- 1) عملية الحدل تكون بالاتجاه الطويل ذهاباً و اياباً و تكون في البداية من الحافة الى الوسط وكلما تزداد عدد مرات الحركة يزداد الرص و تزداد الكثافة و تقل الفراغات.
- 2) يجب ان تكون عملية الفرش مستمرة وبدون حدوث انقطاع اي يجب ان تكون سرعة الفارشة متناسبة مع سرعة الفرش وسرعة ذهاب و اياب الشاحنة (اللوري) بحيث لاتؤدي الى تجميع اللوريات مما يؤدي الى برودة الخليط) يجب ان يكون هنالك كمية كافية للخلط لحين عودة اللوري).
- 3) الحدل او الرص يمثل الجهد الميكانيكي الذي يعمل على تقليل كمية الفراغات الهوائية من خلال زيادة كثافة المادة وتحسين الخواص الميكانيكية فيه.

MultiCool, developed by Professor Vaughn Voeller and Dr. David Timm, is a Windows based program that predicts HMA mat cooling. *MultiCool* can be used to predict the time available for compaction and is available on the National Asphalt Pavement Association's *A Guide for Hot Mix Asphalt Pavement* CD-ROM or for download at several locations:



Lecture No.

12

Superpave Mix Design

Superpave mix design procedures involve;

1- Selecting asphalt; include steps:-

اختيار الاسفلت ويكون بالخطوات التالية

a- Estimated the volume of asphalt binder absorbed into the agg. (V_{ba});

$$V_{ba} = \frac{P_s * (1 - V_a)}{\left(\frac{P_b}{G_b} + \frac{P_s}{G_{se}}\right)} * \left(\frac{1}{G_{sb}} - \frac{1}{G_{se}}\right)$$

$$G_{se} = G_{sb} + 0.8 (G_{sa} - G_{sb})$$

Where; P_b =% of binder (assumed 0.05)

P_s =% of agg. (Assumed 0.95)

G_b = Sp. Gr. Of binder (assumed 1.02)

V_a =volume of air voids (assumed 0.04 cm³/cm³ of mix)

G_{sb} =Bulk Sp. Gr. of agg., G_{sa} = Apparent Sp. Gr. of agg. and G_{se} = Effective Sp. Gr. of agg.

تخمين حجم الاسفلت الممتص بالركام من العلاقة اعلاه
حجم الاسفلت الفعال

b- The volume of effective binder (V_{be})

$$V_{be} = 0.176 - 0.0675 * \log (S_n);$$

Where S_n =the normal max. size of agg. (mm)

c- Calculate the initial trial asphalt binder content (P_{bi});

حساب محتوى الاسفلت الابتدائي

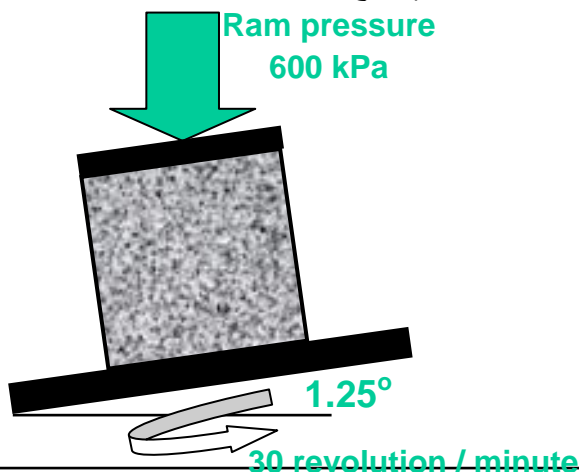
$$P_{bi} = \frac{G_b * (V_{be} + V_{ba})}{(G_b (V_{be} + V_{ba})) + W_s} * 100, \quad W_s = \text{mass of agg., gm}; = \frac{P_s * (1 - V_a)}{\left[\frac{P_b}{G_b} + \frac{P_s}{G_{se}}\right]}$$

2- Aggregate Materials:-

الركام

f) The primary device used in superpave mix design in the Superpave Gyrotory Compactor (SGC)[Texas gyrotory compactor and French gyrotory compactor] ; its 6" sample diameter could accommodate mixture containing agg. up to 50 mm max. size, a load apply to the loading ram to produce a 600 kpa compaction pressure on the specimen. The base rotates at a constant 30 revolutions/minute during compaction with the mold positioned at a compaction angle = 1.25 degree.

عملية حدل النموذج يجب ان تكون مماثله للواقع باستخدام SGC وذلك بأخذ نموذج اسطواني بقطر 6 انج يحتوي على الخبطة بارتفاع يزيد بمقدار 50 ملم اكثر من الحجم الاصلي ومسلط عليه حمل (على قرص دوار) لينتج ضغط مقداره 600 كيلو باسكال قاعدة النموذج تدور بسرعة 30 دورة بالدقيقة وبزاوية مقدارها 1.25 درجة .





- g) Specimen height is measured by recording the position of the ram throughout the test.
- h) Specimen density can be estimated during compaction by knowing the mass of material placed in the mad.
- i) Number of Gyration
 - a- $\text{Log } N_{\text{max.}} = 1.10 * \text{Log } N_{\text{des}}$
 - b- $\text{Log } N_{\text{ini}} = 0.45 * \text{Log } N_{\text{des}}$
 - $N_{\text{max.}}$ = max. number of gyration
 - N_{ini} = initial number of gyration
 - N_{des} = design number of gyration = f (climate and traffic load).

Design W_{18*10}^6	Average Design High Air Temp.											
	< 39 c°			39 – 40 c°			41 – 42 c°			43 – 44 c°		
	N_i	N_D	N_M	N_i	N_D	N_M	N_i	N_D	N_M	N_i	N_D	N_M
< 0.3	7	68	104	7	74	114	7	78	121	7	82	127
0.3-1	7	76	117	7	83	129	7	88	138	8	93	146
1-3	7	86	134	8	95	150	8	100	158	8	105	167
3-10	8	96	152	8	106	169	8	113	181	9	119	192
10-30	8	109	174	9	121	195	9	128	208	9	135	220
30-100	9	126	204	9	139	228	9	146	240	10	153	253
>100	9	143	235	10	158	262	10	165	275	10	172	288

- j) Superpave Design Gyrotory Compactive effort.

Superpave Mix Design Procedure

1. Selection of materials
 - a. Selection of Asphalt Binder
 1. Determine project weather conditions using weather database.
 2. Select Reliability.
 3. Determine Design Temperatures.
 4. Verify Asphalt Binder Grade.
 5. Temperature-Viscosity relationship for lab. Mixing and compaction.
 - b. Selection of Aggregates
 1. Consensus Properties.
 - a. Combined Gradation.
 - b. Coarse Aggregate Angularity.
 - c. Fine Aggregate Angularity.
 - d. Flat and Elongated Particles.
 - e. Clay Content.
 2. Agency and other properties.
 - a. Specific Gravity.
 - b. Toughness.
 - c. Soundness.
 - d. Deleterious materials.
 - c. Selection of Modifiers
2. Selection of Design Aggregate Structure.
 - a. Establish Trial Blends



1. Develop three blends.
2. Evaluate Combined Aggregate properties.
- b. Compact Trial Blend Specimens
 1. Establish Trial Asphalt Binder content
 - a. Superpave Method.
 - b. Engineering Judgment method.
 2. Establish Trial blend specimen's size
 3. Determine $N_{initial}$, N_{design} and N_{Max} .
 4. Batch trial blend specimens.
 5. Compact specimens and generate densification tables.
 6. Determine mixture properties (G_{mm} & G_{mb})
- c. Evaluate Trial Blends
 1. Determine % G_{mm} @ $N_{initial}$, N_{design} and N_{Max} .
 2. Determine % air voids and %VMA
 3. Estimate asphalt binder content to achieve 4% air voids
 4. Estimate mix properties and estimated asphalt binder content
5. Determine dust asphalt ratio.
6. Compare mixture properties to criteria.
- D. Select Most Promising Aggregate Structure for Further Analysis
- 3- Selection of Design Asphalt Binder Content
 - a- Compact Design Aggregate Structure Specimens at Multiple Binder Contents:-
 - 1- Batch design aggregate structure specimens
 - 2- Compact specimens and generate densification tables
 - b- Determine Mixture Properties Versus Asphalt Binder Content
 - 1- Determine % G_{mm} , N_{ini} , N_{des} and N_{max} .
 - 2- Determine volumetric properties
 - 3- Determine dust asphalt ratio
 - 4- Graph mixture properties versus asphalt binder content
 - c- Selection Design Asphalt Binder Content
 - 1- Determine asphalt binder content at 4% air voids
 - 2- Determine mixture properties at selected asphalt binder content
 - 3- Compare mixture properties to criteria
- 4- Evaluation of Moisture Sensitivity of Design Asphalt Mixture using AASHTO T283.