

هندسة الطرق

## HIGHWAY ENGINEERING



### About Me

- **NAME:** Hassan Elsayed Mahmoud Abbas
- **SCIENTIFIC GRADE:** - B.Sc. of Civil Engineering
- **UNIVERSITY GRADUATION:** - Kafr-Elsheikh University (KSU)
- **GRADUATION DATE:** - 2021
- **CUMULATIVE GRADE:** - Excellent (The Third in my Batch)



Eng: Hassan El-Sayed

Highway Engineering

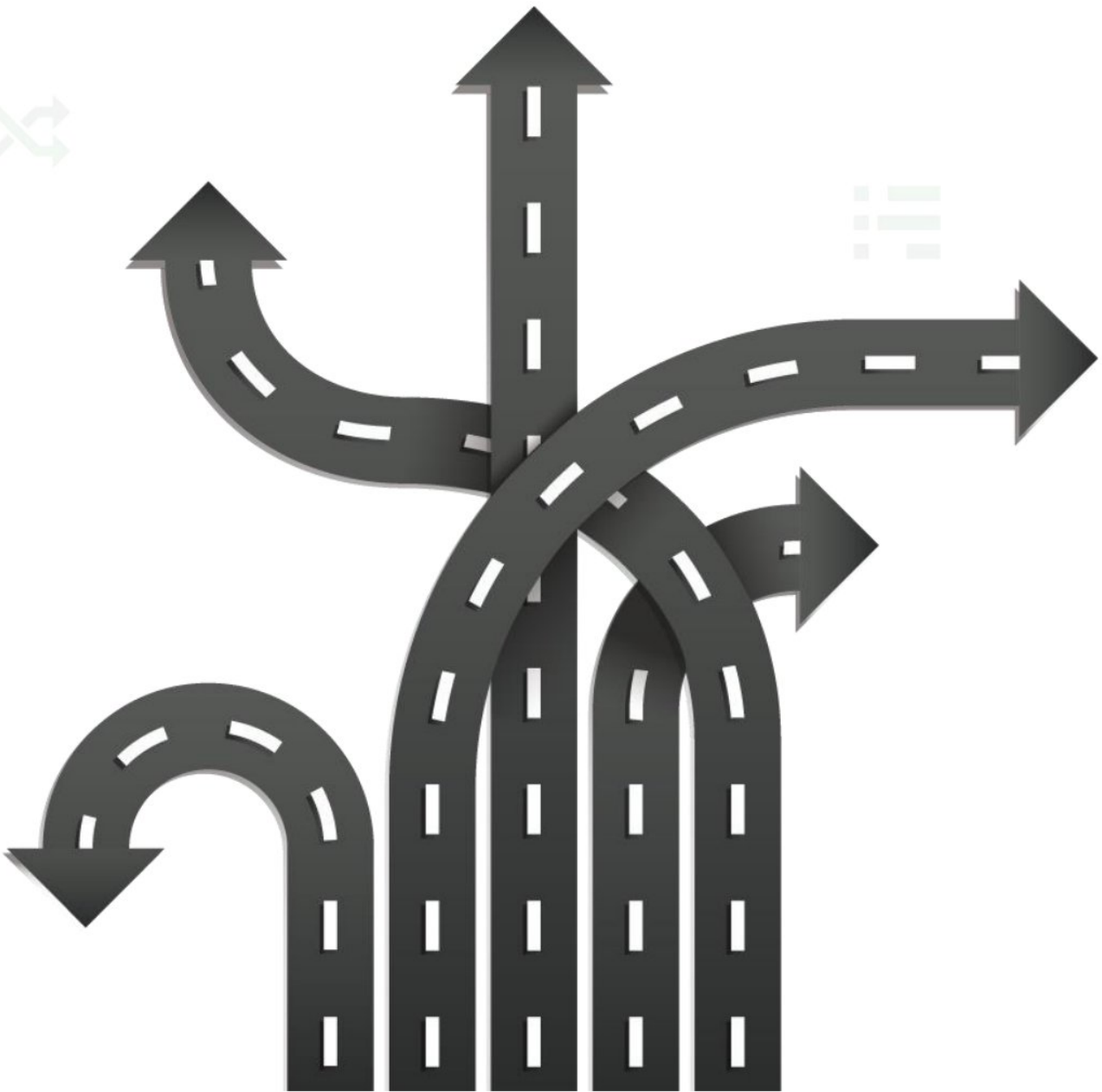


# Highway Engineering

هندسة الطرق

الباب الاول

## BASIC DESIGN CONTROL





## CH (I): Basic Design Control

### ① Topography and Physical Features :-

- طبيعة التضاريس المحيطة وطوبوغرافية الأرض تحكم
- بدرجة كبيرة على فاعلية الطريق ، حيث يختلف
- طبيعة إنشاء الطريق في أرض مسطوية عن أرض ممتدة
- وجود مناطق أثرية أو منشآت لا يمكن نزع
- ملكيتها يؤثر على إنشاء الطريق

### ② Traffic Data :-

- قبل البدء بتصميم ذي طريق يجب تحديد
- بعض البيانات المرورية المتوقعة الخاصة به
- مثل :-

#### A - Traffic Volume :-

- يمكن التعبير عن حجم المرور بأكثر من طريقة :-

#### 1. Average annual daily traffic (AADT) :-

- كما يُعرف بالمتوسط السنوي لحجم المرور اليومي وهو عبارة
- عن إجمالي حجم المرور اليومي خلال سنة مقسوماً على عدد أيام
- السنة (مركبة / يوم).

$$AADT = \frac{\text{إجمالي حجم المرور خلال سنة}}{\text{عدد أيام السنة}} = \dots (\text{Veh/day})$$

#### 2. Average daily traffic (ADT) :-

- كما يُعرف بمتوسط حجم المرور اليومي وهو عبارة عن
- إجمالي حجم المرور اليومي لفترة من يوم واحد وحتى أقل
- من سنة مقسوماً على عدد أيام المصير (مركبة / يوم).

#### 3. Design hourly Volume (D.H.V) :-

- كما يُعرف بحجم المرور الساعي حيث أنه هو حجم المرور
- في الساعة (تم (٣٠) عند ترتيب ساعات السنة تنازلياً
- حسب أحجام المرور.

كما هو الحجم المروري الذي تستخدم في التصميم

$$DHV = K * ADT = \dots \text{Veh/hr}$$

$$K = 0.12 \sim 0.18 \text{ لحرق خلوية} , K = 0.08 \sim 0.18 \text{ لحرق خضوية}$$

### ■ Contents :-

1. Topography and Physical Features.
2. Traffic Data.
3. Speed.
4. Design Vehicle
5. Design Designation.

### ■ Introduction :-

- هندسة الطرق :- هو فرع هندسي يتضمن
- تخطيط وتصميم وبناء وتشغيل وصيانة الطرق
- لضمان حركة المرور بشكل آمن وفعال.
- ينقسم تصميم الطرق إلى قسمين :-

#### 1. Geometric Design :-

- كما يُعرف بالتصميم الهندسي للطريق وهو عبارة
- عن دراسة وتصميم كل ما تراه العين من عناصر
- الطريق مثل :-

- ✓ Pavement width عرف الرصيف
- ✓ HZ ، VL Alignment التخطيط الأفقي والرأسي
- ✓ Slopes الميول
- ✓ Shoulders اكتاف الطريق
- ✓ Intersection التقاطعات

#### 2. Structure Design :-

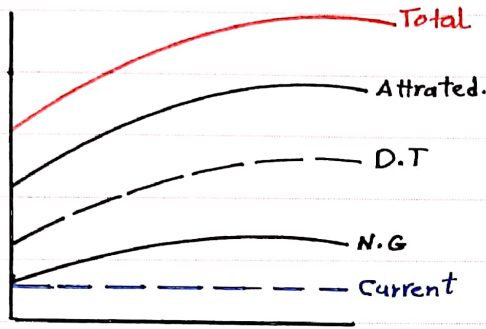
- كما يُعرف بالتصميم الإنشائي للطريق وهو عبارة
- عن دراسة وتصميم كل ما لا تراه من عناصر الطريق
- تصنيف التربة
- ✓ Classification of soil
- ✓ Pavement رصف الطريق
- ✓ Soil Compaction دملك التربة





٣. المورد الناتج من تطوير وتحسين المنطقة  
المجاورة للطريق development traffic

٥. الزيادة في المورد = النمو الطبيعي للمرور (N.G) +  
المورد المتولد (G.T) + المورد المتولد (D.T).



#### D. Direction distribution :-

• يُعرف بالتوزيع الاتجاهي وهو لنسبة بين  
حجم المرور من اتجاه لأخر خلال اليوم  
(60 ~ 80) %

$$DDHV = 60\% \text{ DHV}$$

• DDHV : حجم المرور التصميمي في اتجاه واحد ساعة الذروة.

• DHV : حجم المرور التصميمي (كلًا من الاتجاهين).

• أحسب عدد الحارات اللازمة إذا كان متوسط (EX) ..

حجم المرور (ADT) = ... مركبة/يوم ، لطريق

خلوي (K=0.16) مع العلم أن سرعة الحارة = ... مركبة/ساعة

$$A.D.T = 20000 \text{ Veh/day} , K = 0.16$$

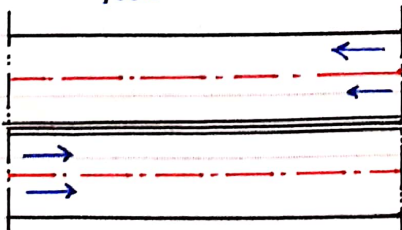
$$\therefore D.H.V = K * A.D.T = 0.16 * 20000$$

$$= 3200 \text{ Veh/hr}$$

$$\therefore DDHV = (60 \sim 80) \% \text{ DHV}$$

$$= 0.6 * 3200 = 1920 \text{ Veh/hr}$$

$$\therefore \text{No. of lane} = \frac{1920}{1000} = 1.92 = 2 \text{ lane}$$



• Question :- Why The ADT volume has no direct effect in The geometric design of highway?

• لأن (ADT) حجم المرور اليومي لا يعبر عن  
المورد خلال فترات مختلفة من الشهر خلال ليلة  
أو خلال أياماً مختلفة من الأسبوع أو حتى ساعات  
مختلفة خلال اليوم ، حيث أن حجم المرور  
يختلف كل ساعة .

#### B. Traffic Composition :-

• المركبات التي تتسير على الطريق ليست من  
نوع واحد ولا تشغل نفس الحجم لمرور على  
الطريق لذلك يتم تحويل جميع المركبات الموجودة  
على الطريق لعدد ملائم من مركبة خاصة تسمى

PC : Passenger Car

Vehicle types	Eg. Factor
Passenger	1
Bus	2
Single unit truck	2.5
Truck with trailer	3.5
Hand drive Car	6

#### C. Traffic Projection :-

• يُعرف بالمرور المستقبلي ويستخدم لتقدير احتياجات

المرور المستقبلية حيث يستخدم معامل يسمى معامل زيادة

المرور traffic projection factor = 1.5 ~ 2.5

$$\rightarrow \text{Future traffic} = \text{Current traffic} (1 + T.P.F)$$

- العوامل المؤثرة على المرور المستقبل :-

١. الزيادة في ملكية العربات وعدة لسكان وتسمى

Normal growth

٢. لمرور المتولد نتيجة إنشاء طريق جديد

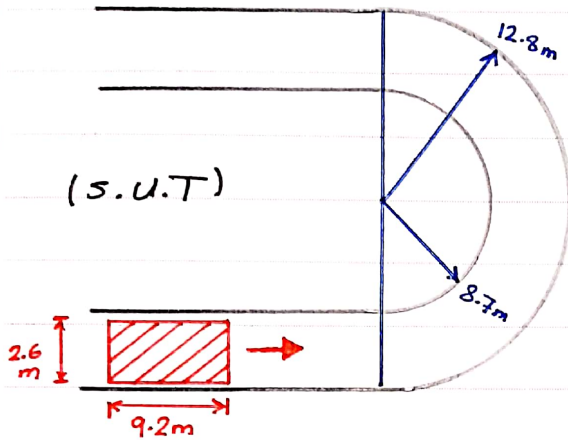
Generated traffic





#### ④ Design Vehicle :-

• يتم استخدام مركبة الـ (Single unit truck) لتصميم الطرق في مصر



	PC	Sut	Bus	WB-40	WB-50
Min. Turning	7.3	12.8	12.8	12.2	13.7
Max. Turning	4.7	8.7	7.1	6.1	6

#### ⑤ Design Designations :-

• عبارة عن البيانات التي يجب معرفتها قبل تصميم أي طريق.

- ✓ Design Year
- ✓ ADT (Current Year)
- ✓ ADT (designed year)
- ✓ DHV (designed year)
- ✓ D.D.F
- ✓ Speed design
- ✓ Design Vehicle.

#### ◆ Road Classification :-

##### 1. Free way (Highway)

• تُعرف بالطرق الحرة وهي طرق شريانية مخصصة لخدمة الممرات الطويلة العابرة بين المدن الكبيرة وتكون فيها السرعات والأحجام عالية ولا يُسمح فيها بالتقاطعات السطحية ولا الإتصال المباشر بالمفتحات الخاصة ويتم تأمين الدخول والخروج إلى ومن هذه الطرق من خلال نقاط محددة بحيث تدخل العربات تدريجياً دون تسبب أي خطر على السيارات المتواجدة.

#### ③ Speed :-

• is The distance over time (mph , kph , ft/sec)

##### 1. Design speed :-

• عبارة عن السرعة المستخدمة في تصميم الطرق ويتم اختيارها بناءً على عدة عناصر :-

- ✓ طوبوغرافية المنطقة المقام عليها الطريق
- ✓ الكثافة المرورية
- ✓ تصنيف الطريق
- ✓ ظروف الطريق الطبيعية والبيئية.

• تدخل السرعة التصميمية في تصميم كل من درجة انحناء المنحنيات الرأسية والأفقية وكذلك أنصاف أقطار المنحنيات ودرجة رفع حافة الطريق وإلليد الطولي والعرضي.

##### 2. Operation speed :-

• تُعرف بالسرعة التشغيلية وهي أقصى سرعة يمكن على الطريق وتقل عن السرعة التصميمية بحوالي 10 كم/ساعة.

##### 3. Overall speed :-

• سرعة الرحلة وهي عبارة عن المسافة المقطوعة مقسومة على زمن الرحلة بالكامل بدون إستقطاع زمن التوقفات.

##### 4. Running speed :-

• سرعة المسير وهي عبارة عن المسافة المقطوعة مقسومة على زمن الرحلة مطروحاً منه زمن التوقفات عليها.

$$\text{Running speed} > \text{Overall speed}.$$



## 2. Arterial Road:-

• الطرق الرئيسية : وهن طرق شريانية مخفضة  
لخدمة المرور العابر بين المدن المتوسطة وتكون  
على السرعات والازجاء كبيرة ، ويسمح على  
التقاطعات السطحية والاتصال المباشر  
بالممتلكات الخاصة .

## 3. Collector Road:-

• هن طرق تجميعية لربط شبكة الطرق المحلية  
بشبكة الطرق الرئيسية وتكون السرعات  
والازجاء على متوسطة ، ويسمح على التقاطعات  
السطحية والاتصال المباشر بالممتلكات .

## 4. Local Road:-

• هن طرق محلية تستخدم ضمن المنطقة الواحدة  
وتكون السرعات والازجاء على منخفضة .

	Type	Design speed (Kph)	
		Rural	urban
Free way	Divided	$\geq 110$	$\geq 90$
Arterial	Divided	80 ~ 110	70 ~ 90
	undivided	70 ~ 90	60 ~ 80
Collector	undivided	50 ~ 60	40 ~ 60
Local	undivided	$\leq 50$	$\leq 50$





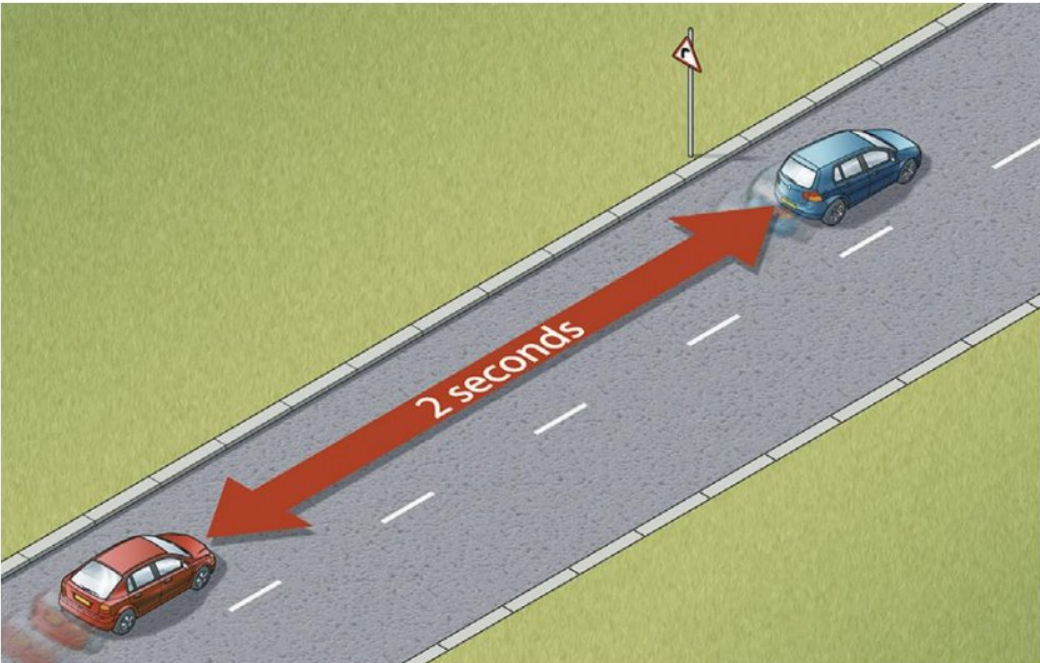
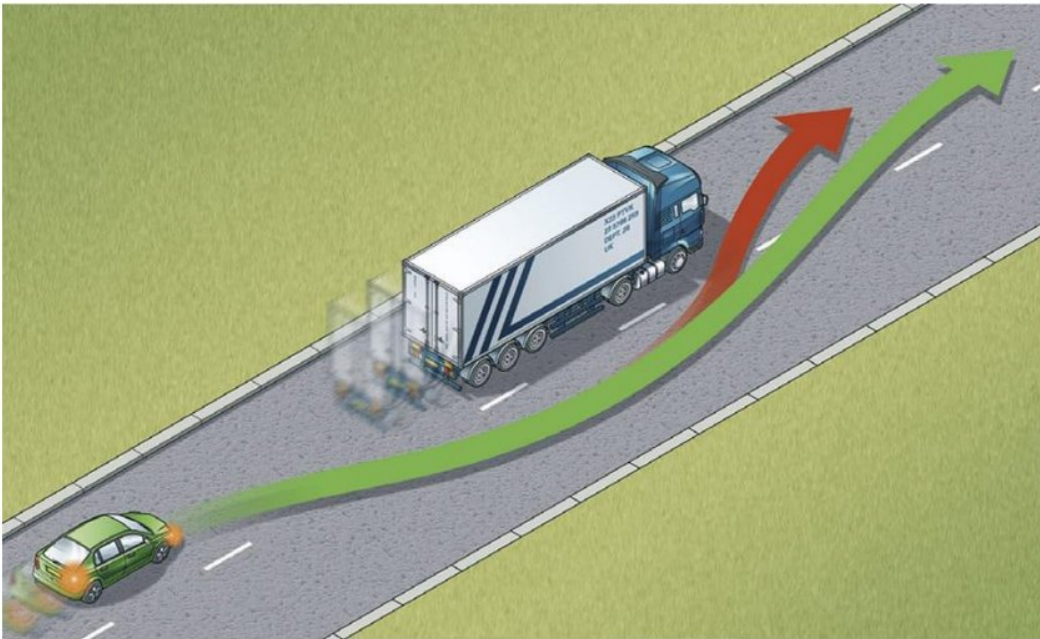


# Highway Engineering

هندسة الطرق

## الباب الثاني

### SIGHT DISTANCES





## ■ Introduction ..

- Sight Distance : عبارة عن المسافة التي يراها السائق أمامه على الطريق وتعتمد على :  
- لعوائق الموجودة على جانبي الطريق - خصائص الطريق مثل المنحنيات الأفقية والرأسية .

### ◆ Types of sight Distances :

#### A - Available sight distance مسافة الرؤية المتاحة للبرقعة

##### 1. Open sight distance .

← هي مسافة الرؤية المفتوحة إلى حد البصر أي لا يعترض خط النظر أي عوائق وتكون موجهة نحو الأجزاء المستقيمة من الطريق بعيداً عن المنحنيات الرأسية أو الأفقية .

##### 2. Limit sight distance .

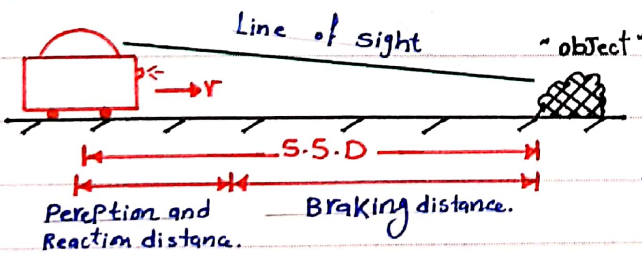
← هي مسافة الرؤية المتاحة للسائق وتكون محدودة بسبب وجود عائق على جانبي الطريق أو وجود منحنيات تصنع الرؤية .

#### B - Design sight distance مسافة الرؤية التصميمية

وهي المسافة التي يتم تصميم أجزاء الطريق عليها وتكون أقل مسافة رؤية لازمة للسائق لتحقيق تشغيل آمن وكفء للطريق .

1. Stopping sight distance (S.S.D) مسافة الرؤية الكافية للتوقف ✓
2. Passing sight distance (P.S.D) مسافة الرؤية الكافية للتخطي ✓
3. Decision sight distance (D.S.D) مسافة اتخاذ قرار ✓

## ■ Stopping sight distance .



• هي أقل مسافة رؤية تحتاجها السائق لكي يتوقف عند رؤية عائق أمامه

• هذه المسافة تنقسم على مرحلتين :

1- مسافة الإدراك ورد الفعل . Perception and reaction dis .

← هي المسافة التي تحتاجها السائق لكي يدرك وجود عائق

ثم يفكر ويتخذ القرار بالتصديعة أو الفرملة ولكنه لم يتخذ القرار بعد .

$$\text{Perception and reaction distance} = 0.278 * V_i * t$$

2- مسافة الفرملة Braking distance .

← هي مسافة تفعيل القرار الذي أخذه السائق بالتصديعة أو الفرملة .

$$\text{Braking distance} = \frac{V_i^2 - V_f^2}{255 (F \pm g)}$$





هـ مسافة الرؤية اللازمة للتوقف هـ مجموع مسافة الإدراك ورد الفعل ومسافة التوقف.

$$S.S.D = 0.278 * V_i * t + \frac{V_i^2 - V_f^2}{255 (F_L \pm g)}$$

- $V_i$  :- Initial speed (kph) ✓ السرعة الابتدائية للمركبة عند رؤية العائق.
- $t$  :- Perception and reaction time (2.5 sec) ✓ زمن الإدراك ورد الفعل.
- $V_f$  :- Final speed (kph) ✓ السرعة النهائية للمركبة بعد تنفيذ القرار والفعل (الفرامل).
- $F_L$  :- Road longitudinal friction ✓ معامل الاحتكاك الطولي بين العجل والطريق.

If not given :-  $F_L = 0.30$

Design speed	60	70	80	90	100	110	120
$F_L$	0.34	0.32	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28

Design speed  $\propto \frac{1}{F_L}$

- $g$  :- Road longitudinal grade. ✓ الميل الطولي للطريق.

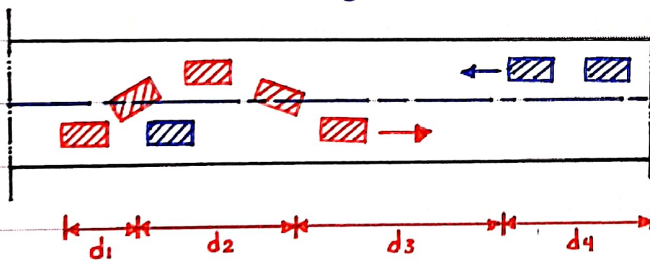
$g = + \rightarrow$  upgrade or uphill الميل صاعد

$g = - \rightarrow$  downgrade or downhill الميل هابط

$g = \text{zero} \rightarrow$  Flate الأرض مستوية.

### ■ Passing sight Distance :-

- هي أقل مسافة رؤية يحتاجها السائق لكي يتخطى مركبة أمامية دون أن يصطدم بالمركبة في الاتجاه الآخر ويتم حسابها فقط على الطرق (2 Lane - 2 Way).



$$P.S.D = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$$

$$\text{or } P.S.D = (3 \sim 4) S.S.D$$

- $d_1$  :- عبارة عن المسافة خلال زمن الإدراك واتخاذ القرار.  $d_1 = 0.278 * t_1 (V - m + a * \frac{t_1}{2})$

زمن المناورة.  $t_1$  : Initial delay time (or) hesitation time (or) Preliminary delay time. (4.5 sec)

$V$  : Overtaking speed (or) Passing speed سرعة التخطي.

$m$  :  $M = 15 \text{ kph}$  (If not given) الفرق بين سرعة المركبة السريعة والبطيئة

$a$  : Acceleration rate  $(2 \sim 8) \text{ kph/sec} = (2.5)$  معدل التسارع

- $d_2$  :- عبارة عن المسافة المقطوعة للمركبة في حارة المناورة.  $d_2 = 0.278 * t_2 * V$

$t_2$  : over taking time (or) Passing time (or) Left lane occupancy time (8 ~ 10) sec. (10 sec)



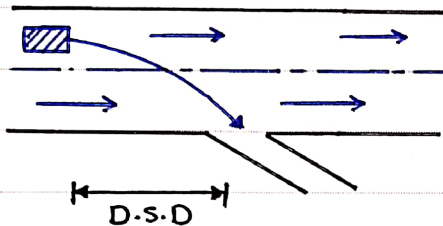
- $d_3$ : هي المسافة الآمنة بين المركبة التي تقوم بالتخطئ بعد عودتها للحارة الأصلية والمركبة الموجودة في الاتجاه المعاكس.

$$d_3 = 30 \sim 90 \text{ m}$$

- $d_4$ : هي المسافة التي تتحركها المركبة المعاكسة في أثناء عملية المناورة.

$$d_4 = 2/3 d_2$$

### ■ Decision sight Distance :-



- تُسمى بمسافة اتخاذ القرار وهي عبارة عن أقل مسافة ممكنة يحتاجها السائق لتعديل مساره أو لعمل مناورة توجية.

$$D.S.D = 0.278 \times V \times t$$

$$t = t_1 + t_2 + t_3$$

- $t_1$ : Detection time (1.5 ~ 3) sec. ✓ زمن الإدراك
- $t_2$ : Decision time (4 ~ 7) sec. ✓ زمن اتخاذ القرار
- $t_3$ : maneuver time (4 ~ 4.5) sec. ✓ زمن المناورة

- S.S.D is applicable on all highway.
- P.S.D " " only on 2Way - 2lane.
- D.S.D " " at complex locations.
- S.S.P is Minimum sight distance.
- $P.S.D > D.S.D > S.S.D$
- $P.S.D = (3 \sim 4) S.S.D$
- S.S.D is related inversely to the coeff. of longitudinal friction ( $F_L$ ).

ملاحظات





## جميعه لاهم مسائل الباب الثاني

1- Calculate the stopping sight distance required for a driver travels at 80kph. If the pavement becomes dry so that the longitudinal friction is increased by 0.07 what will be the SSD. Comment the results.

• Case (1) :-

$$V_i = 80 \text{ kph} \rightarrow F_L = 0.31, g = 0$$

$$\therefore \text{S.S.D} = 0.278 * 80 * 2.5 + \frac{(80)^2}{255(0.31 \pm 0)}$$

$$\therefore \text{S.S.D} = 136.6 \text{ m} = 140 \text{ m}$$

• Case (2) :-

$$V_i = 80 \text{ kph} \rightarrow F_L = 0.31 + 0.07 = 0.38, g = 0$$

$$\therefore \text{S.S.D} = 0.278 * 80 * 2.5 + \frac{(80)^2}{255(0.38 \pm 0)}$$

$$\therefore \text{S.S.D} = 121.6 \text{ m} = 125 \text{ m}$$

هذه مسافة التوقف (S.S.D) تعتمد على حالة الطريق (جان، مبتل) وتقل في حالة أن الطريق كان جافاً.

2- A driver requires 95 m to stop his vehicle on certain highway section of grade +4%. Calculate the safe traveling speed on his highway section. If the driver travels with resulting safe speed on another HWY section with downgrade -4%. What will be the SSD. (Assume  $f = 0.3$ )

• السائق يحتاج 95 متر علشان يوقف المركبة بمجرد هيدوس فرامل. ∴ نستخدم ال Braking distance.

$$\therefore \text{Braking Distance} = \frac{V^2}{255(0.3 + 0.04)} = 95 \quad \therefore V = 90.75 \text{ kph}$$

∴ safe speed = 90 kph.

IF :  $V = 90 \text{ kph}$ ,  $g = -4\%$  what will be the (SSD) ?

$$\therefore \text{S.S.D} = 0.278 * 90 * 2.5 + \frac{(90)^2}{255(0.3 - 0.04)} = 185 \text{ m}$$

3- The distance between two vehicles traveling after one another on a 2 lane -2-way road of 4% grade is 45 m. the front vehicle speed is 80 m kph and that for the rear vehicle is 100 kph. Both drivers applied the brakes at the same time to avoid an unexpected obstruction, decide whether or not collision takes place between the two vehicles, if yes, at what speed it takes place considering the following cases:

- 1) The two vehicles are traveling on going direction.
- 2) The two vehicles are traveling on coming direction.

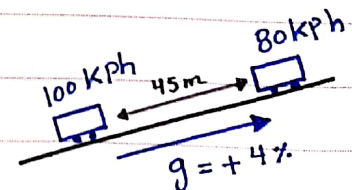
1) The two vehicles are Traveling on going direction.

• For Front vehicle (80 kph)  $\rightarrow F_L = 0.31$

$$\therefore D_B = \frac{(80)^2}{255(0.31 + 0.04)} = 71.7 \text{ m}$$

∴ تحتاج السيارة التي تسير بسرعة (80 kph) إلى مسافة

(71.7 m) لكي تتوقف





•• For Rear Vehicle (100kph)  $\rightarrow F_f = 0.30$

$$D_{B(100)} = \frac{(100)^2}{255(0.3 + 0.04)} = 115m$$

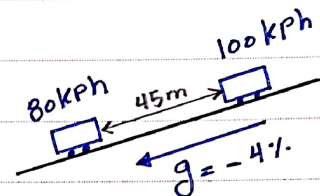
•• تحتاج السيارة التي تسير في الخلف بسرعة (100kph) إلى مسافة (115m) لكي تتوقف

$$D_{B(100)} = 115m < D_{B80} + 45m = 71.7 + 45 = 116.7m \quad \therefore \text{Not Collision}$$

2) The two vehicle are Traveling on Coming direction :-

•• For Front Vehicle:

$$D_{B(80)} = \frac{(80)^2}{255(0.31 - 0.04)} = 93m$$



•• For Rear Vehicle :-

$$D_{B(100)} = \frac{(100)^2}{255(0.3 - 0.04)} = 151m$$

$$D_{B(100)} = 151m > D_{B80} + 45 = 93 + 45 = 138m \quad \therefore \text{Collision} \quad \text{يحدث تصادم}$$

← نحسب سرعة التصادم للمركبة الأمامية (الخلف)

ثم المركبة في الخلف تسير بسرعة 100 كم/ساعة ولكن تصدم في المركبة الأمامية يجب أن نقطع المسافة بين المركبتين بالذخيرة طسافة المركبة التي أمامنا.

$$D_B = \frac{V_i^2 - V_f^2}{255(F_f \pm g)} \quad \therefore 138 = \frac{(100)^2 - (V_f)^2}{255(0.3 - 0.04)}$$

$$\therefore V_f = 29 \text{ kph.} \quad \text{سرعة التصادم}$$

4. Calculate the minimum sight distance required for safe overtaking to take Place under The following roadway conditions :-

• Design speed of road = 60 kph

• Speed of Vehicle to be overtaken = 50kph

• Hesitation time = 3 sec

• Left lane occupancy time = 9 sec

\* Solution \*

$$\therefore P.S.D = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \quad \text{Assume: } a = 2.5 \text{ kph/sec.}$$

$$\therefore d_1 = 0.278 * t_1 (V - u + a * t_1 / 2) = 0.278 * 3 * (60 - 10 + 2.5 * \frac{3}{2}) = 45m$$

$$d_2 = 0.278 * V * t = 0.278 * 60 * 9 = 150m$$

$$d_3 = (30 \sim 90) = 90m \quad d_4 = 2/3 d_2 = 100m$$

$$\therefore P.S.D = 45 + 150 + 90 + 100 = 385m$$

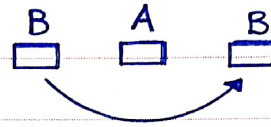




5. On a portion of 2 lane - 2 way after vehicle (A) had applied the brakes it need 80m to stop. The vehicle (B) tried to pass vehicle (A). The PSD = 700m. Down grade = 3%.  $m = 10 \text{ kph}$ ,  $a = 2 \text{ kph/sec}$ ,  $t_1 = 1.5 \text{ sec}$ .  
determine the left occupancy time ( $t_2$ )

\* Solution \*

• هـنوجد سرعة العربيه (A) من قانون (S.S.D)  
وهو عطينا  $(m = 10 \text{ kph})$  يعني الفتر بين العربيه  
(A) و (B) يقدر أقدر أجيب لسرعة (B)



Assume :  $F_L = 0.31$

$$\therefore 80 = \frac{V^2}{255(0.31 - 0.03)}$$

$$\therefore V_A = 75.6 \text{ kph}$$

$$\therefore V_B = V_A + m = 75.6 + 10 = 85.6 \text{ kph}$$

$$\rightarrow d_1 = 0.278 \times 1.5 \times \left( 85.6 - 10 + 2 \times \frac{1.5}{2} \right) = 32.15 \text{ m}$$

$$\rightarrow d_2 = 0.278 \times 85.6 \times t_2 = 23.8 t_2$$

$$\rightarrow d_3 = (30 \sim 90) \text{ sec take} \approx 60 \text{ m}$$

$$\rightarrow d_4 = \frac{2}{3} \times 23.8 t_2 = 15.87 t_2$$

$$\therefore \text{P.S.D} = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 = 700 \text{ m}$$

$$32.15 + 23.8 t_2 + 60 + 15.87 t_2 = 700$$

$$\therefore t_2 = 15.3 \text{ sec}$$

6. Determine the Max. S.S.D for the road with 120m decision sight distance knowing that :  $t_1 = 2.5 \text{ sec}$ ,  $F_L = 0.3$ ,  $g = 3\%$ .

\* Solution \*

$$\therefore \text{D.S.D} = 0.278 \times t \times V \quad \text{Assume : } t = t_1 + t_2 + t_3 = (10.2 \sim 14) \approx 10.2 \text{ Critical}$$

$$\therefore 120 = 0.278 \times 10.2 \times V \quad \therefore V = 42.32 \text{ kph}$$

$$\therefore \text{S.S.D} = 0.278 \times 2.5 \times 42.32 + \frac{(42.32)^2}{255(0.3 - 0.03)} = 55.425 \text{ m}$$

Max. علشان نوجد لـ





# Highway Engineering

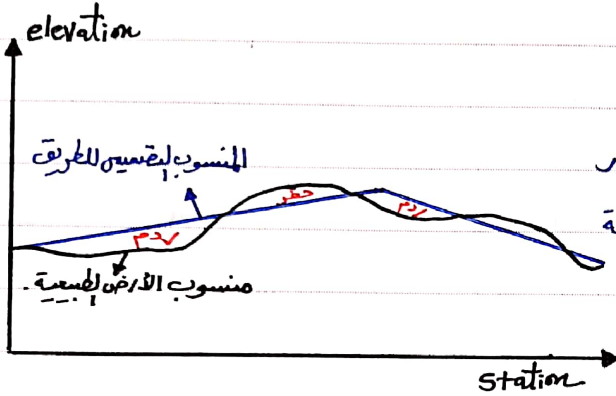
هندسة الطرق

## الباب الثالث

# VERTICAL ALIGNMENT





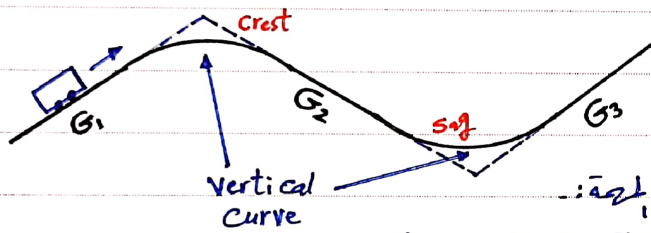
■ Introduction:-

- لا يمكن تنفيذ محور الطريق خط واحد وذلك بسبب طوبوغرافية المنطقة حيث يتم اختيار منسوب تصميم لسهولة السير عليه وعلى ذلك يتكون محور الطريق من مجموعة من المماسات أو الخطوط المستقيمة والتي يتم ربطها بمنحنيات رأسية عند أماكن تغير الميل.

• Vertical Alignment = Grades + Vertical Curve.

• Grades = up grade (or) down grade.

• Vertical Curve = Crest Curve (or) sag curve.



- قبل البدء في توقيع الطريق يجب معرفة بعض النقاط المهمة:-

١. Station :- عبارة عن التقييم الأفقي لمسافة من نقطة معينة .

٢. Ground level :- عبارة عن منسوب الأرض الطبيعية .

٣. Elevation :- عبارة عن منسوب النقطة المقاسة .

■ Grades. الميل

- عند تصميم محور الطريق سواء الأجزاء المستقيمة أو المنحنيات الرأسية يجب مراعاة بعض الشروط عند اختيار الميل في التخطيط الراسي للطريق.

1. Quantity of cut and fill.

- يتم اختيار الميل الرأسية التي تجعل كمية الحفر متوازنة مع كمية الردم قدر الإمكان.

2. Minimum grade ( $G_{min}$ ):-

- يجب ألا يقل الميل الطولي للطريق عن ( $G_{min}$ ) حتى يتم تصريف مياه الأمطار في الاتجاه الطولي

$$G_{min} = (0.35 \sim 0.5) \%$$

3. Maximum grade ( $G_{max}$ ):-

- يجب ألا يزيد الميل الطولي للطريق عن ( $G_{max}$ ) حتى لا تنخفض السرعات بشكل ملحوظ.

• العوامل المؤثرة على قيمة ( $G_{max}$ ) :-

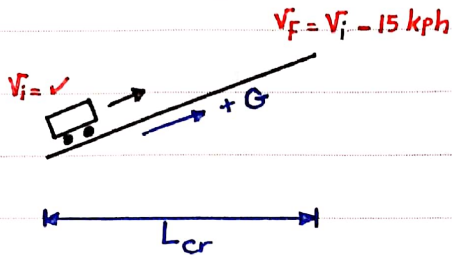
- |                 |                  |       |                   |             |       |
|-----------------|------------------|-------|-------------------|-------------|-------|
| 1. Design speed | السرعة التصميمية | عكسية | 2. Terrain        | التضاريس    | طردية |
| 3. Road type    | نوع الطريق       | عكسية | 4. Design Vehicle | نوع المركبة | عكسية |

• يوجد جدول لتحديد قيمة ( $G_{max}$ ) باستخدام العوامل السابقة.



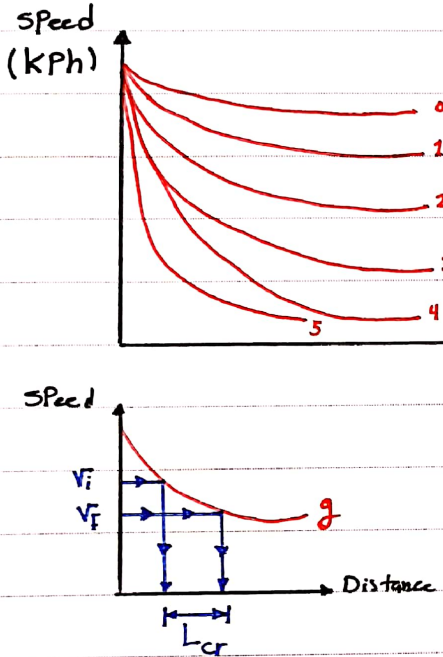


#### 4. Critical length :-



← الطول المخرج عبارة عن أقصر طول إحدار صاعد يمكن المسير عليه دون تخفيض في (السرعة بقيمة أكبر من 15 كم/ساعة، وبالتالي يجب ألا يزيد طول الميل الصاعد عن  $(L_{cr})$  وذلك حتى لا تنخفض السرعة ويقل التدفق وتقل مستوى الخدمة.

• كيفية تحديد الطول المخرج لأي ميل صاعد :-



1. يتم تحديد المنحنى الخاص بالميل المراد (g).

2. نحدد قيمة السرعة التصميمية وهي (السرعة عند بداية المنحنى  $(V_i)$ ).

3. ندخل الـ (chart) عند قيمة  $(V_i)$  ونحرك أفقياً حتى نلقى الميل.

4. نقطع منحنى الميل ثم ننزل رأسياً حتى نقطع خط الـ (Distance).

5. تحديد القيمة النهائية للسرعة بعد الطول المخرج وهي  $(V_f = V_i - 15)$ .

6. ثم ندخل الـ (chart) عند قيمة  $(V_f)$  ونحرك أفقياً.

7. نقطع منحنى الميل (g) وننزل رأسياً ونحدد النقطة على خط الـ (Distance).

8. المسافة بين الخطيين على الـ (Distance) هي الطول المخرج.

#### 5. Constant Point (Fixed Point) :-

← يجب أن يمر الـ (Profile) بالنقاط التي تتحكم في منسوب الطريق الجديد مثل التقاطع السطحي مع طريق أو سكة حديد أو كوبري.

#### 6. HL Curve & VL Curve :-

← يجب تفادي مثل منحنى أفقى مع منحنى رأسى في مكان واحد.

#### ■ حارة التسلق Climbing lane

• عبارة عن حارة مساعدة يتم تنفيذها على جانب الطريق في المنحنيات الرأسية ذات ميول حادة كبيرة وطول الميول أطول من الطول المخرج.

• وتستخدم Climbing lane في أي الحالات التالية :-

1. طريق (2way - 2 lane)

2. طريق به نسبة كبيرة من مركبات النقل (WB-50)

3. طريق عليه كثافة مرورية عالية.

4. حدوث انخفاض سرعة النقل بمقدار أكبر من 15 kph عن سرعة الطريق.

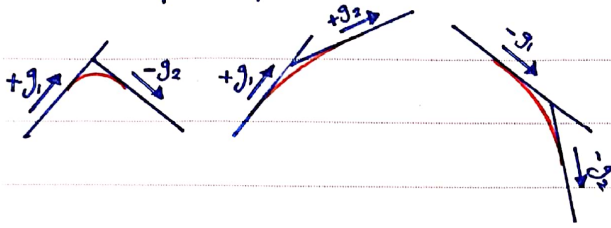




## Types of Vertical Curve:

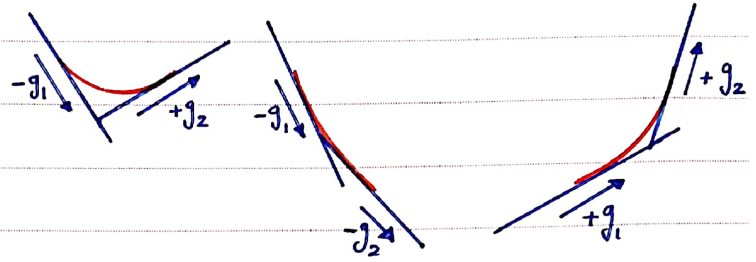
1. Crest Curve منحنى محدب

$$A = +ve \text{ «positive»}$$



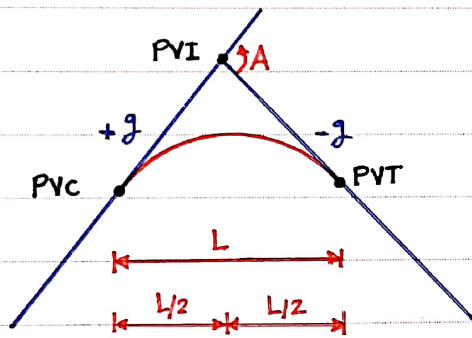
2. Sag Curve منحنى مقعر

$$A = -ve \text{ «negative»}$$



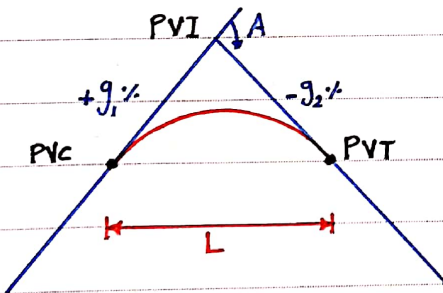
$$A = g_1 - g_2 \text{ كل منحنى بإشارات}$$

## Elements of Vertical Curve:



- PVC : Point of Vertical Curve. نقطة بداية المنحنى.
  - PVI : Point of Intersection. نقطة تقاطع الميول.
  - PVT : Point of Vertical tangent. نقطة نهاية المنحنى.
  - L : Vertical Curve length. طول المنحنى.
- طول المنحنى هو المسافة الأفقية من نقطة بداية المنحنى (PVC) إلى نقطة نهاية المنحنى (PVT).

## Design of Crest Curve:



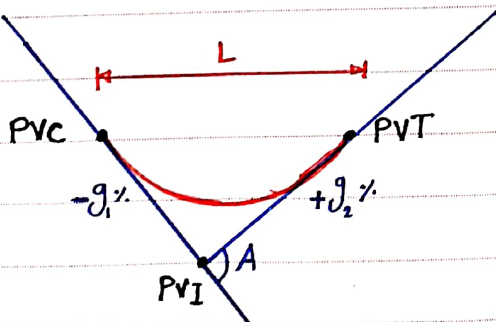
	S.S.D	P.S.D
$S \leq L$	$L = \frac{A \cdot S^2}{400}$	$L = \frac{A \cdot S^2}{940}$
$S > L$	$L = 2S - \frac{400}{A}$	$L = 2S - \frac{940}{A}$

التصميم باستخدام (P.S.D) يكون في حالة واحدة فقط ومع الطريق

(2 lane - 2 way)

$$S.S.D = 0.278 \cdot V \cdot t + \frac{V^2}{255 (F_L - G_{max})}$$

## Design of sag Curve:



	S.S.D
$S \leq L$	$L = \frac{A \cdot S^2}{120 + 3 \cdot S}$
$S > L$	$L = 2S - \frac{120 + 3 \cdot S}{A}$

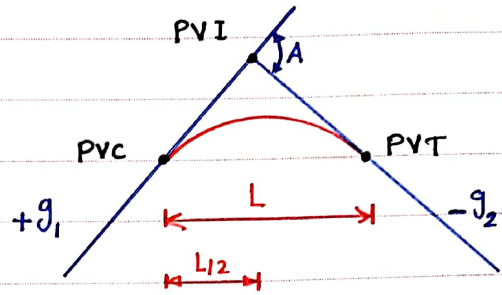
دائماً يتم تصميم المنحنى المقعر على (S.S.D) فقط.



## ■ Station and elevation of main points :-

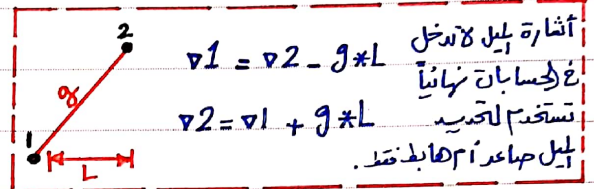
1 station  $\equiv$  100 m.

$$\left. \begin{aligned} \bullet \text{ St. (PVC)} &= \text{St. (PVI)} - L/2 \\ \bullet \text{ St. (PVT)} &= \text{St. (PVI)} + L/2 \\ &= \text{St. (PVC)} + L \end{aligned} \right\} \text{For crest or sag.}$$



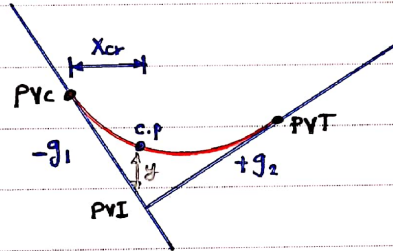
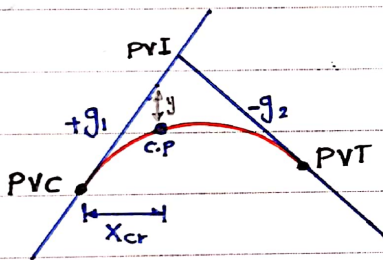
$$\left. \begin{aligned} \bullet \text{ Elev. (P.V.C)} &= \text{Elev. (PVI)} - g_1 * (L/2) \\ \bullet \text{ Elev. (PVT)} &= \text{Elev. (PVI)} - g_2 * (L/2) \end{aligned} \right\} \text{For crest}$$

$$\left. \begin{aligned} \bullet \text{ Elev. (PVC)} &= \text{Elev. (PVI)} + g_1 * (L/2) \\ \bullet \text{ Elev. (PVT)} &= \text{Elev. (PVI)} + g_2 * (L/2) \end{aligned} \right\} \text{sag curve.}$$



## ■ Critical Point :-

• هي النقطة التي يكون عندها ميل المماس يساوي صفر.  
وهي نقطة موجودة على المنحنى خلال الطول (L) من PVC وحتى PVT وهي تبعد مسافة أفقية مقدارها (X<sub>cr</sub>) من نقطة بداية المنحنى سواء كان (Crest) أو (Sag).



$$X_{cr} = \left| \frac{g_1}{A} \right| * L$$

$$\bullet \text{ St. (C.P)} = \text{St. (PVC)} + X_{cr}$$

$$\text{(Crest)} \bullet \text{ Elev. (C.P)} = \text{Elev. (PVC)} + X_{cr} * g_1 - y$$

$$y = \frac{A X_{cr}^2}{200 L}$$

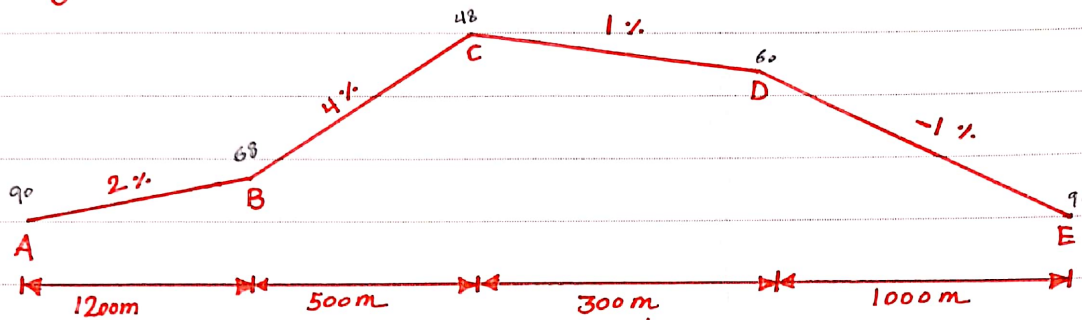
$$\text{(Sag)} \bullet \text{ Elev. (C.P)} = \text{Elev. (PVC)} - g_1 * X_{cr} + y$$





## جميعه لاهم مسائل الباب الثالث

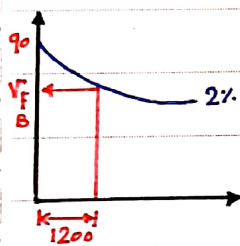
1. Given a Profile section of 2 lane - 2 way road with an average speed of 90 kph. Determine The speed at The end of Point (E) at this section It's required to have Climbing lane on This section? IF yes, determine it's location and total length.



★ Solution ★

• For (AB):-

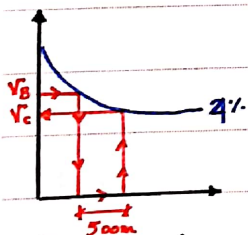
$$V_i = 90 \text{ km/hr} \quad g = +2\% \quad L = 1200 \text{ m}$$



$$\therefore V_B = 68 \text{ kph}$$

• For (BC):-

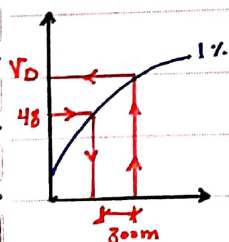
$$V_B = 68 \text{ kph} \quad g = 4\% \quad L = 500 \text{ m}$$



$$\therefore V_C = 48 \text{ kph}$$

• For (CD):-

$$V_C = 48 \text{ kph} \quad g = 1\% \quad L = 300 \text{ m}$$

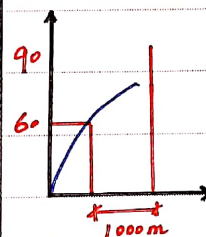


$$V_D = 60 \text{ kph}$$

هنا عند استخدام المنحنى الهادي  
تبقى الطول مع (1%) فبالنظر لنسبة  
المنحنى السراويل.

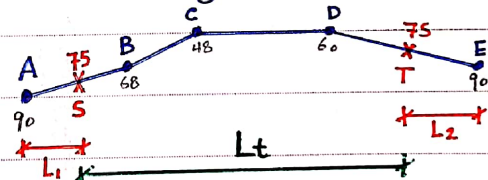
• For (DE):-

$$V_D = 60 \text{ kph} \quad g = -1\% \quad L = 1000 \text{ m}$$



$$V_E = 90 \text{ kph}$$

بسرعة المركبات قلت بمقدار 15 kph عن سرعتها عند  
دخولها فبالنظر إلى (Climbing lane)



$$\text{At } V_A = 90 \text{ kph}$$

$$\text{At } V_E = 75 \text{ kph}$$

$$V_S = 75 \text{ kph}$$

$$V_E = 90 \text{ kph}$$

$$g = 2\%$$

$$g = -1\%$$

$$\therefore L_1 = 700 \text{ m}$$

$$\therefore L_2 = 500 \text{ m}$$

• The total length of climbing lane =  
(1200 - 700) + 500 + 300 + (1000 - 500)  
 $L_t = 1800 \text{ m}$ .





2. Two grades of  $-5\%$  and  $3\%$  intersection at station  $20+00$  and elevation  $50\text{m}$ , and the length of curve is  $200\text{m}$ , determine station and elevation of main points.

**\* Solution \***

$$A = -5 - 3 = -8 \quad \therefore \text{Sag Curve.}$$

$$\begin{aligned} \text{St. (P.V.C)} &= \text{St. (P.V.I)} - L/2 \\ &= (20+00) - 200/2 = 19+00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{St. (P.V.T)} &= \text{St. (P.V.I)} + L/2 \\ &= (20+00) + 200/2 = 21+00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Elev (P.V.C)} &= \text{Elev (P.V.I)} + g_1 \times L/2 \\ &= 50 + (0.05) \times \frac{200}{2} = 55\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Elev (P.V.T)} &= \text{Elev (P.V.I)} + g_2 \times L/2 \\ &= 50 + (0.03) \times \frac{200}{2} = 53\text{m} \end{aligned}$$

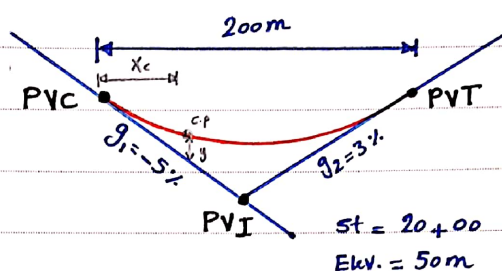
• For critical Point :-

$$\therefore X_{cr} = \left| \frac{g_1}{A} \right| \times L = \left| \frac{5}{8} \right| \times 200 = 125\text{m}$$

$$\text{St. (C.P)} = \text{St. (P.V.C)} + X_{cr} = (19+00) + 125 = (20+25)$$

$$\text{Elev (C.P)} = \text{Elev (P.V.C)} - g_1 \times X_{cr} + y \quad \text{where } y = \frac{A \cdot X_{cr}^2}{200 \times L}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{Elev (C.P)} &= 55 - (0.05) \times 125 + \frac{8 \times (125)^2}{200 \times 200} \\ &= 51.875\text{m} \end{aligned}$$



3. A  $3.5\%$  grade intersection a  $-3\%$  grade at station  $(300+50)\text{m}$  and elevation  $80\text{m}$ . Determine the length of the vertical curve connects the two grades based on (SSD). Then determine the station and elevation of (PVC), if  $V_d = 80\text{ kph}$ .

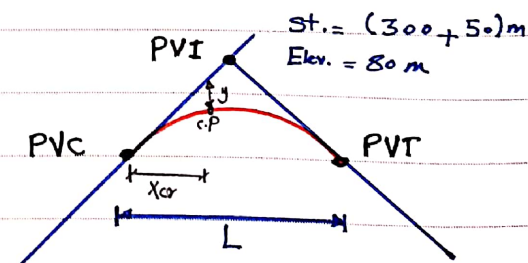
**\* Solution \***

$$A = 3.5 - (-3) = 6.5 \quad \therefore \text{Crest Curve.}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{S.S.D} &= 0.278 \times 80 \times 2.5 + \frac{(80)^2}{255(0.31 - 0.035)} = 146.9\text{m} \\ \therefore S &= 150\text{m} \end{aligned}$$

$$\text{Assume : } S \leq L \quad \therefore L = \frac{A S^2}{400} = \frac{(6.5)(150)^2}{400}$$

$$L = 365.625\text{m} = 370\text{m} > L \quad \text{ok.}$$





$$- St(P.V.C) = St(P.V.I) - L/2 = (300 + 50) - \frac{370}{2} = (298 + 65) m$$

$$- Elev(P.V.C) = Elev(P.V.I) - g_1 * L/2 = 80 - (0.035) * 370/2 = 73.525 m$$

في زيادة عن المائل .

$$- St(P.V.T) = St(P.V.I) + L/2 = (300 + 50) + 370/2 = (302 + 35) m$$

$$- Elev(P.V.T) = Elev(P.V.I) - g_2 * L/2 = 80 - (0.03) * 370/2 = 74.45 m$$

• For critical Point :-

$$X_{cr} = \left| \frac{g_1}{A} \right| * L = \left| \frac{3.5}{6.5} \right| * 370 = 199.2 m$$

$$St(C.P) = St(P.V.C) + X_{cr} = (298 + 65) + 199.2 = (300 + 64.2) m$$

$$Elev(C.P) = Elev(P.V.C) + g_1 * X_{cr} - y$$

$$= 73.525 + (0.035) * (199.2) - \frac{6.5(199.2)^2}{200 * 370} = 77.011 m$$

• Put (✓) and (X) :-

1. Design of sag curve depended on head light distance requirement (✓)
2. Minimum grade is 1% for a Purpose of rain drainage (X)
3. Design of sag curve depended primary on SSD and PSD requirement (X)
4. Difference in grade is always negative on sag curve (✓)
5. Climbing lanes are always added to the vertical grades (X)
6. Critical Point on crest curve is essential to locate drainage Pipes (X)





# Highway Engineering

هندسة الطرق

الباب الرابع

## HORIZONTAL ALIGNMENT

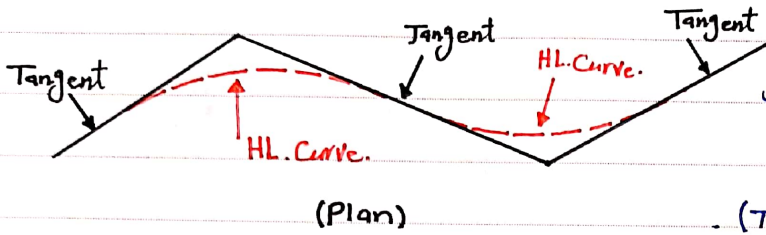


**Eng: Hassan El-Sayed**  
Faculty of engineering k-f-s



**Highway Engineering**  
هندسة الطرق



Introduction :-

• التخطيط الأفقي للطريق عبارة عن تحديد مسار الطريق في المسقط الأفقي للطريق حيث يتكون مسار الطريق من :-

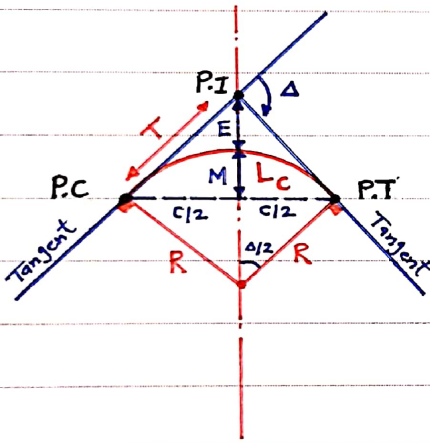
- ١- الأجزاء المستقيمة تسمى (Tangent).
- ٢- منحنيات أفقية تستخدم لربط الأجزاء المستقيمة عند أماكن تغير المسار.

Types of Horizontal Curve :-

• سيتم دراسة نوعين فقط من أنواع المنحنيات الأفقية.

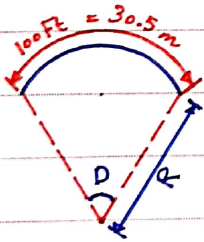
① Simple Curve : منحنى بسيط

• عبارة عن منحنى له نصف قطر واحد (جزء من دائرة).



- P.C: Point of Curve ✓ نقطة بداية المنحنى
- P.I: Point of Intersection ✓ نقطة بداية المنحنى
- P.T: Point of tangent ✓ نقطة نهاية المنحنى
- Δ: Deflection angle ✓ زاوية الانحراف
- T: Tangent length ✓ طول المماس
- L<sub>c</sub>: Length of curve ✓ طول المنحنى
- D: degree of curvature ✓ درجة (التقوس)

• درجة التقوس (المنحنى) :-



← درجة المنحنى هي مقدار الزاوية المركزية التي تقابل قوس من المنحنى طوله 100 قدم أو 30.5 متر

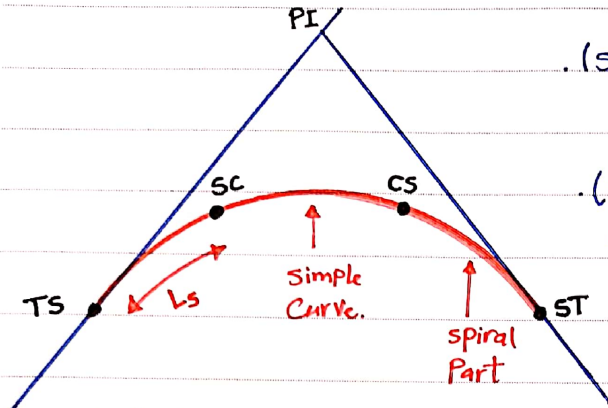
$$D = \frac{1750}{R}$$

• Elements of simple Curve :-

- Degree of curvature (D) = 1750 / R ✓ درجة التقوس
- Length of curve (L<sub>c</sub>) = R \* Δ \* (π/180) ✓ طول المنحنى
- Tangent length (T) = R \* tan (Δ/2) ✓ طول المماس
- Middle length (M) = R (1 - Cos (Δ/2)) ✓ طول السهم الداخلي
- External length (E) = R (Sec (Δ/2) - 1) ✓ طول السهم الخارجي
- Long Chord (c) = 2R sin (Δ/2) ✓ وتر المنحنى



## ② spiral - Curve - spiral :-



• عبارة عن منحنى يتكون من ثلاثة أجزاء :-

١- يبدأ بجزء من منحنى حلزوني يسمى (Spiral).

٢- ثم جزء من منحنى بسيط (Simple Curve).

٣- ينتهي بجزء من منحنى حلزوني (Spiral).

• جزء الـ (Spiral) عبارة عن جزء انتقال طوله (Ls) ويسمى

(Run of length) يعمل على صنع التغير المفاجئ في

قوة الطرد المركزي المؤثرة على المركبة أثناء مرورها

على المنحنى حيث يعمل على توزيع قوة الطرد المركزي أثناء الانتقال من الجزء المستقيم إلى المنحنى.





## ■ Design of Horizontal Curve :-

• يُقصد بتصميم المنحنى هو إيجاد نصف قطر المنحنى (R) وذلك لتجنب حدوث مشكلتين :-

1- مشكلة عدم الإتزان Balance condition.

2- مشكلة الرؤية Sight distance.

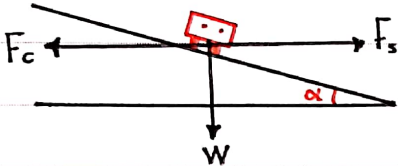
### ① Balance Condition . . شرط الإتزان

• أثناء حركة المركبة بسرعة (V) على منحنى دائري نصف قطره (R)

فإنه يتعرض لقوة طرد مركزي ( $F_c$ ) تحاول دفع المركبة خارج

المنحنى يتم حسابها من العلاقة التالية .

$$F_c = \frac{W \times V^2}{g \times R}$$



• معادلة الإتزان المستخدمة في التصميم :-

$$e + F_s = \frac{V^2}{127 R}$$

• V: Vehicle speed (kph)

• R: Curve radius (m)

•  $F_s$ : Side Friction Factor معامل الاحتكاك الجانبي

V(kph)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$F_s$	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12

$F_s = 0.13$

If not given.

• e: Super elevation rate الميل العرضي في المنحنى المنفرد

$e = 0.04 \sim 0.06$  For urban

$e = 0.06 \sim 0.12$  For rural

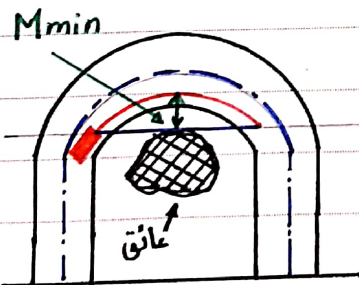
### ② Sight distance Problem . . مشكلة الرؤية

• تظهر مشكلة الرؤية عند وجود عائق للرؤية في الجزء الداخلي للمنحنى

مثل وجود أشجار أو مباني أو جبال وغيرها

• مسافة الرؤية تعني أن لا قد تكون للتوقف (S.S.D) أو للتخطي (P.S.D)

من الحالتين يوصى (S).



•  $Mmin$ : عبارة عن أقل مسافة من منتصف أول حارة داخلية وحتى عائق

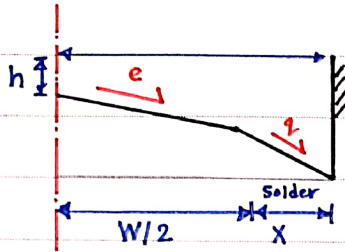
$$s \leq L_c \quad \therefore M = \frac{s^2}{8R}$$

$$s > L_c \quad \therefore M = \frac{L_c(2s - R)}{8R}$$

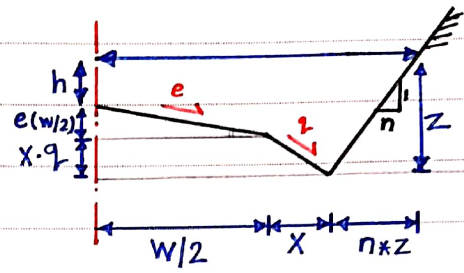


كيفية حساب البُعد (Mmin) :-

• في حالة (Cut section) :-



$$- M = W/2 + X$$



$$- h = 0.6m \text{ For S.S.D}$$

$$= 1.2m \text{ For P.S.D}$$

$$- Z = h + e(W/2) + X \cdot q$$

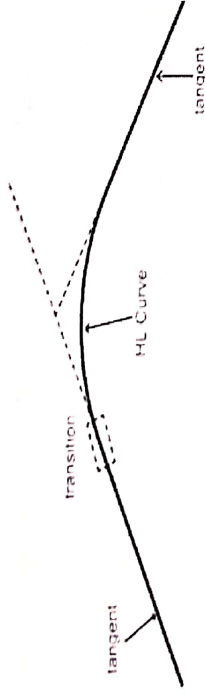
$$- M = W/2 + X + n \cdot Z$$



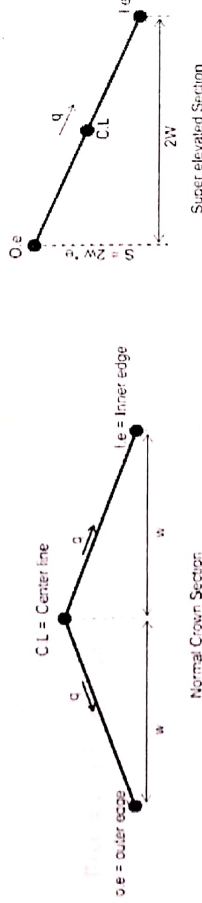


## Method of attaining of superelevation rate for Undeveloped HWY

### طرق توقيف الميل العرضي للطريق خلال المنحني



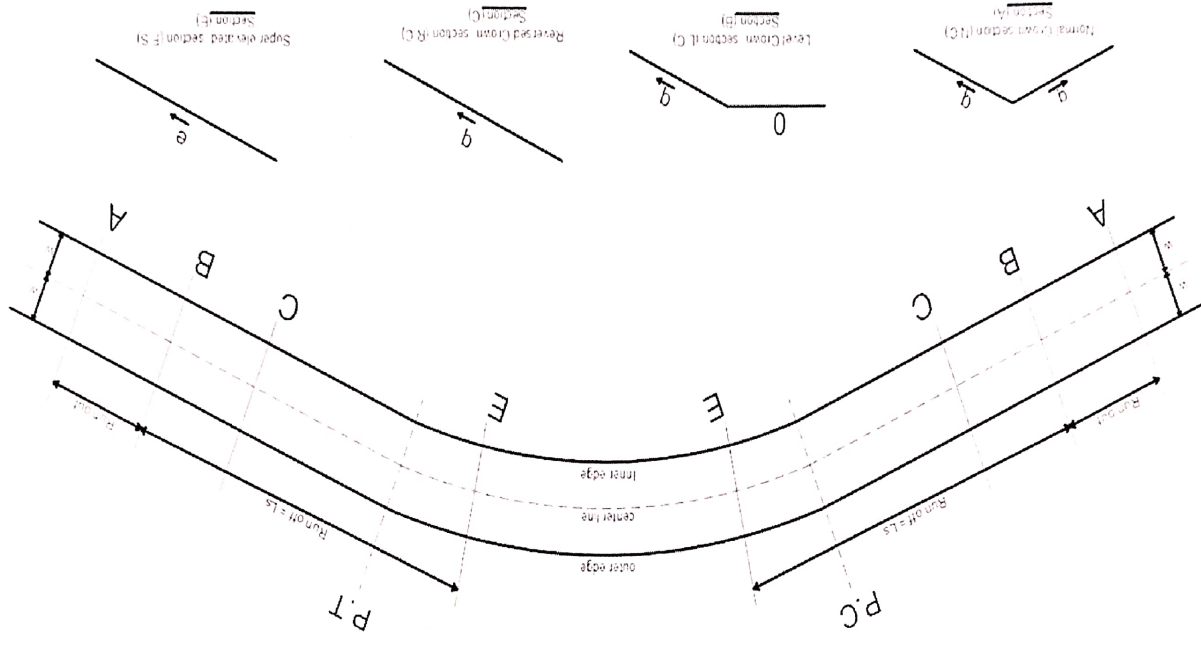
شكل القطاع في الجزء المستقيم (tangent) يكون مائل بقيمة  $q$  يسمى (Normal crown section).  
 — في المنحنيات الأفقية يتم تحويل القطاع إلى (Super elevated section) أي مائل بقيمة  $e$  وذلك لمقاومة قوة الطرد المركزي (يتم الاستفادة من الميل في تصريف مياه الأمطار).



## Method of attaining of superelevation rate for Undeveloped HWY

- 1-Rotation about Center line (C.L) ... Used at grade section  
 تدوير القطاع حول محور الطريق ويستخدم في الطرق السطحية
- 2-Rotation about inner edge (I.e) ... Used at cut section  
 تدوير القطاع حول الحافة الداخلية ويفضل استخدامه في قطاع الحفر
- 3-Rotation about outer edge (O.e) ... Used at fill section  
 تدوير القطاع حول الحافة الخارجية ويفضل استخدامه في قطاعات الردم

## مراحل تغيير القطاع من normal crown إلى super elevated sec.



المرحلة الأولى : يتغير فيها القطار من level crown الى normal crown  
 المرحلة الثانية : يتغير فيها القطار من level crown الى Reversed crown  
 المرحلة الثالثة : يتغير فيها القطار من Reversed crown الى Super-elevated section

يتغير القطار من شكل Normal crown الى Super-elevated section

Runout .....from (A - B)

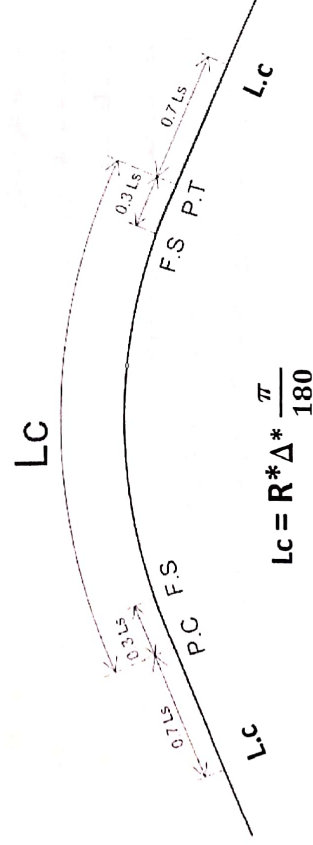
هو الطول الذي يتغير فيه القطار من شكل Normal crown الى level crown

Runoff ( Transition length (Ls) ) .....from (B - E)

هو الطول الذي يتغير فيه القطار من شكل Level crown الى Super-elevated section

الطول الانتقالي (Ls)

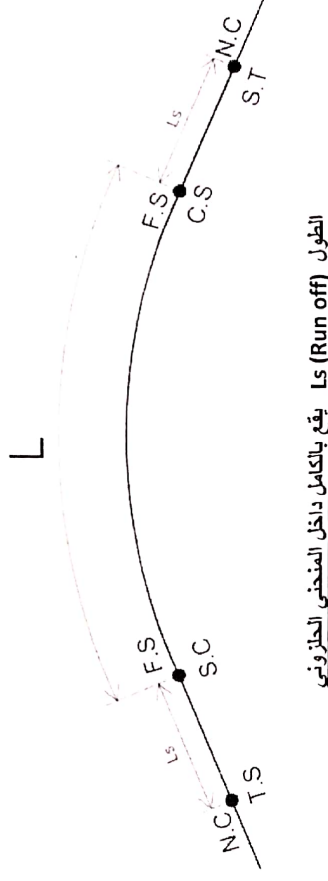
For simple curve



الطول Ls (Run off) يقع منه على الخط المستقيم و 30% داخل المنحنى

Legnth of super elevated sec. =  $L_c - 0.6 L_s = R * \Delta * \frac{\pi}{180} - 0.6 L_s$

For spiral - curve - spiral



الطول Ls (Run off) يقع بالكامل داخل المنحنى الحزوني

Legnth of super elevated sec. =  $L = R * \Delta * \frac{\pi}{180} - L_s$



## يتم حساب (transition length) من القوانين الاتية :-

سواء simple curve او spiral curve

### 1-if rotation about centerline or outer edge :

$$L_s = \text{Run off} = \max \left\{ \begin{array}{l} L_s = \frac{V^3}{28 R} \\ L_s = \frac{w \cdot e}{\Delta S} \end{array} \right. \quad \text{Run out} = \frac{q}{e} * \text{Run off}$$

### 2-if rotation about Inner edge :

$$L_s = \text{Run off} = \max \left\{ \begin{array}{l} L_s = \frac{V^3}{28 R} \\ L_s = \frac{w * (2e - q)}{2 \Delta S} \end{array} \right. \quad \text{Run out} = \frac{q}{e} * \text{Run off}$$

V	: vehicle speed (kph)	السرعة علي المنحني
W	: Width of lanes in one direction (m)	نصف عرض الطريق (عرض حارات فقط)
R	: Curvature radius (m)	نصف قطر المنحني
e%	: Super elevation rate	معدل الميل الجانبي للطريق في المنحنيات
q	: normal crown slope (%2)	الميل الجانبي للطريق في الاجزاء المستقيمة (ما لم يذكر يفرض ب 2%)
ΔS	: Relative slope	الميل النسبي بين محور الطريق واحد حوافه (اقصى فرق في الميل الطولي)

نحدد قيمة ΔS من مذكورة الجداول صفحته 13 بناء على قيمة السرعة

V, Kph	40	50	60	70	80	90	100	110	120
ΔS	0.71	0.67	0.64	0.51	0.50	0.47	0.45	0.41	0.40

## Method of attaining Super elevation

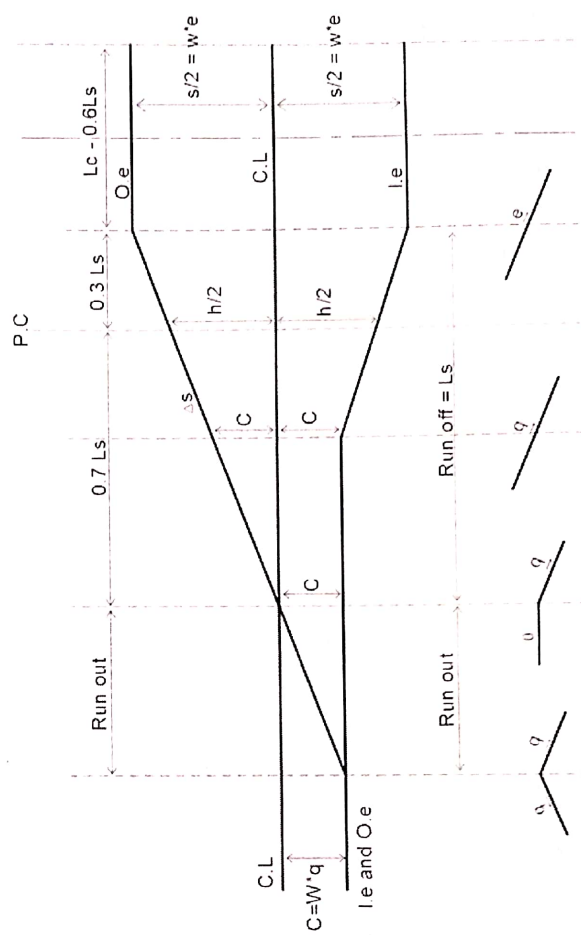
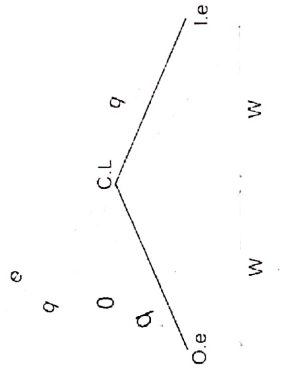
طرق توقيع الميل الجانبي للطريق

### 1- rotation about centerline ( C.L):

#### For simple curve

هذا يعني ان منسوب C.L ثابت ونحرك O.e او I.e حتي نصل الي super elevation rate

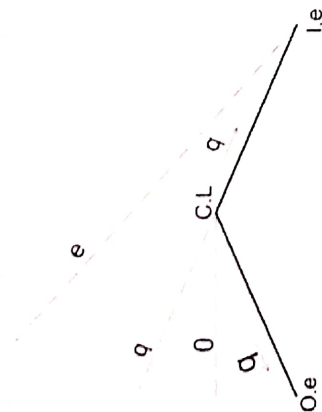
$$\begin{aligned} h &= 0.7 * S \\ C &= W * q \\ S &= 2 * W * e \end{aligned}$$



## 2- rotation about Inner edge (I.e) in cut section:

### For simple curve

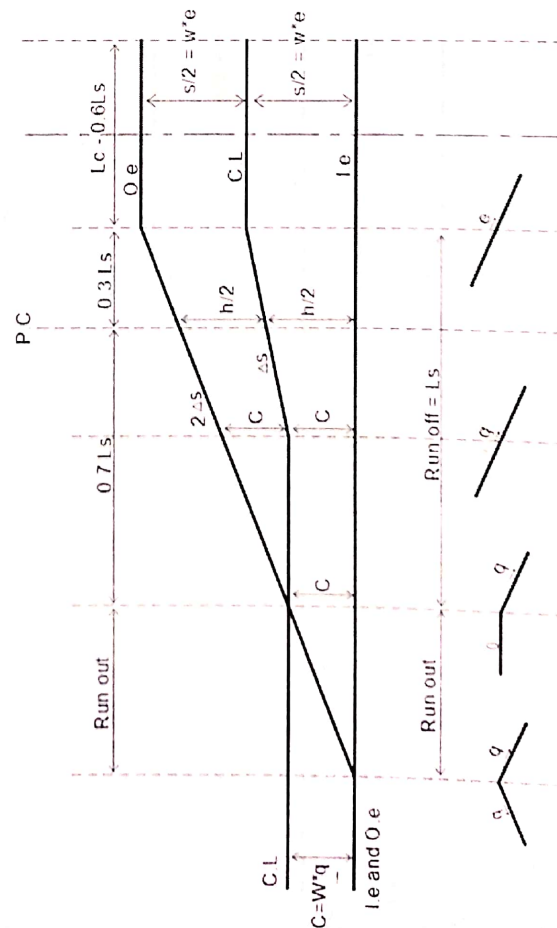
هذا يعني ان منسوب I.e ثابت ونحرك O.e او C.L حتي نصل الي super elevation rate



$$h = 0.7 * (S - C) + C$$

$$C = W * q$$

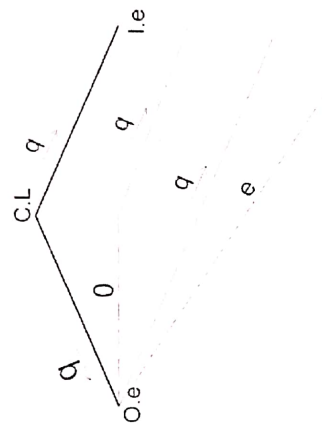
$$S = 2 * W * e$$



## 3- rotation about Outer edge (O.e) in fill section:

### For simple curve

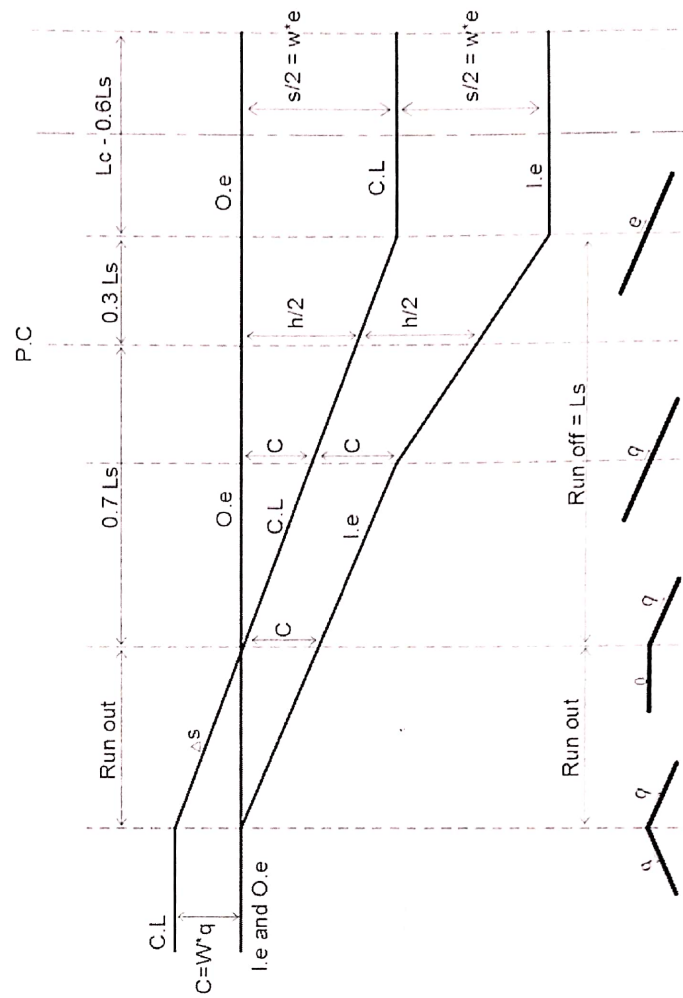
هذا يعني ان منسوب O.e ثابت ونحرك C.L او I.e حتي نصل الي super elevation rate



$$h = 0.7 * S$$

$$C = W * q$$

$$S = 2 * W * e$$



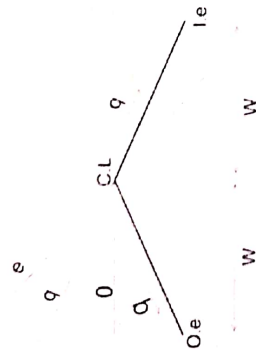


## For spiral – curve - spiral

### 1- rotation about centerline (C.L):

#### For spiral – curve - spiral

super elevation rate حتى تصل الي I.e او O.e ثابت ونحرك C.L



$$C = W * q$$

$$S = 2 * W * e$$

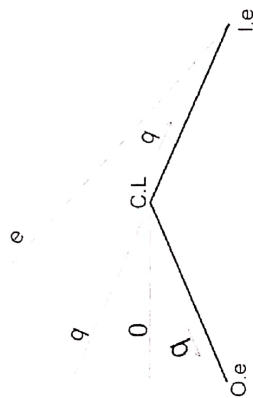
$$C = W * q$$

$$S = 2 * W * e$$

## 2- rotation about Inner edge (I.e) in cut section:

### For spiral – curve - spiral

super elevation rate حتى تصل الي I.e ثابت ونحرك C.L او O.e

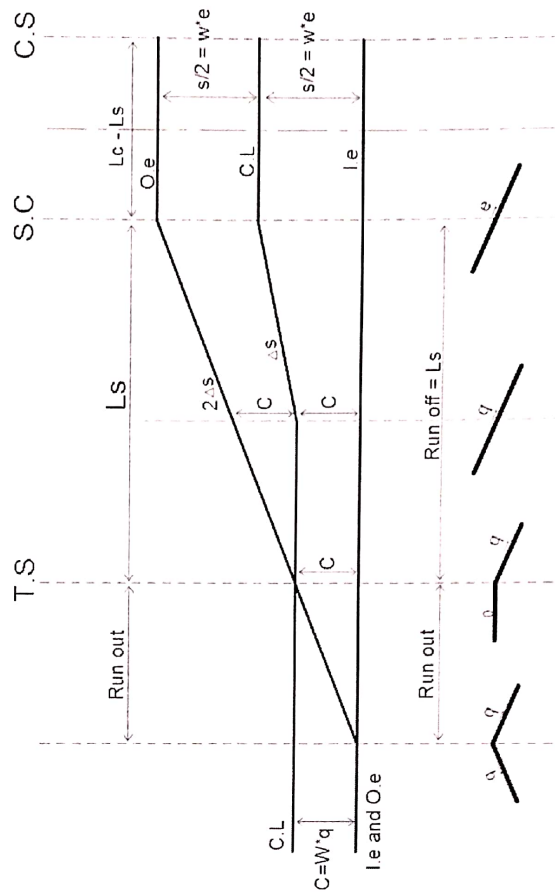
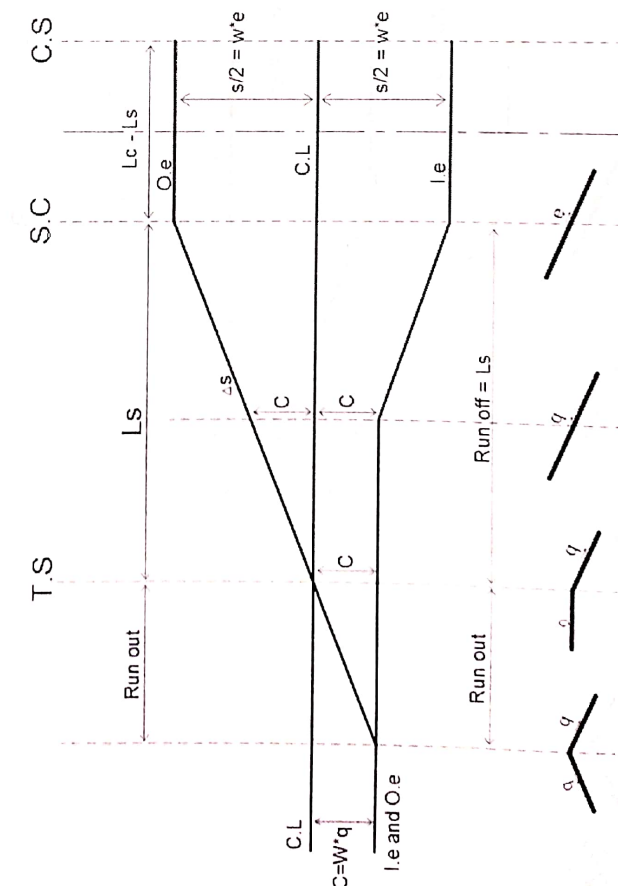


$$C = W * q$$

$$S = 2 * W * e$$

$$C = W * q$$

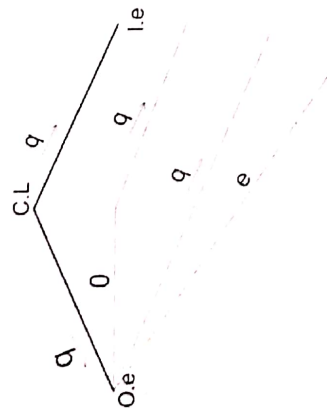
$$S = 2 * W * e$$



### 3- rotation about Outer edge (O.e) in fill section:

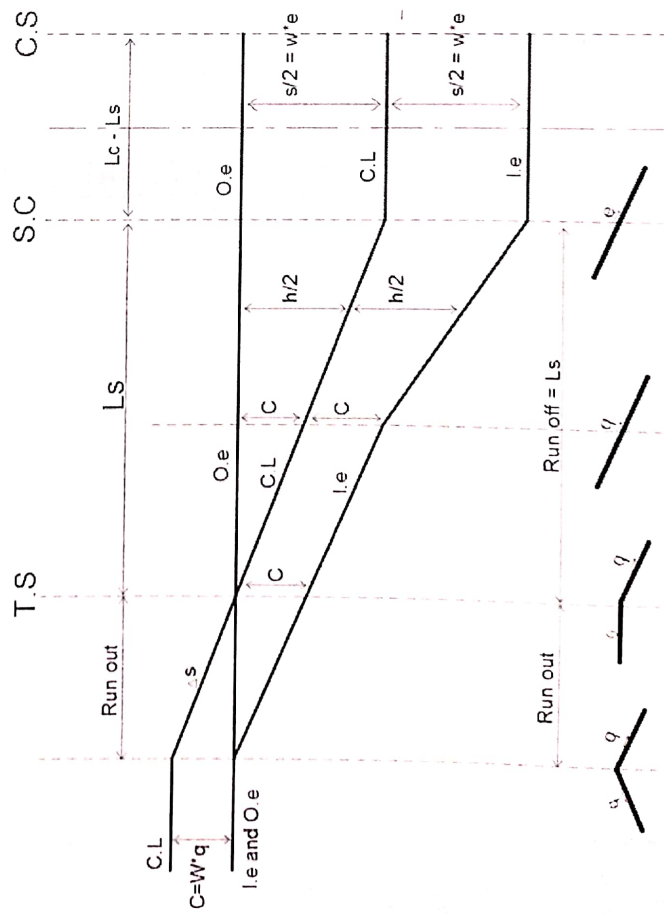
#### For spiral – curve - spiral

هذا يعني ان منسوب O.e ثابت ونحرك I.e او C.L حتي نصل الي I.e



$$C = W * q$$

$$S = 2 * W * e$$





1- A new rural H.W.y is to be constructed on a flat area, determine the degree of the sharp Pest Curve knowing that the max. speed is 90 kph

★ solution ★

$$\therefore V = 90 \text{ kph} \therefore F_s = 0.13 \quad \text{assume: } e = 0.1$$

$$\therefore e + F_s = \frac{V^2}{127 R} \quad \therefore 0.1 + 0.13 = \frac{(90)^2}{127 R} \quad \therefore R = 277 \text{ m}$$

$$\therefore D = \frac{1750}{R} = \frac{1750}{277} = 6.3^\circ$$

2- It's required to design a new freeway in a flat rural area of design speed 100 kph. If the road path deflects  $30^\circ$ , determine the suitable curve radius, curve degree, and curve length?

★ solution ★

1. يتم ذكر وجود أي عوائق وبالتالي يتم إيجاد نصف القطر من الإيزان فقط ثم إيجاد (Mmin)

$$\therefore e + F_s = \frac{V^2}{127 R} \quad \therefore 0.12 + 0.13 = \frac{(100)^2}{127 R} \quad \therefore R = 315 \text{ m}$$

$$D = \frac{1750}{315} = 5.55^\circ \quad L_c = \frac{R \Delta}{180} \times \frac{\pi}{180} = 165 \text{ m}$$

$$S.S.D = 0.278 \times 2.5 \times 100 + \frac{(100)^2}{255(0.3+0)} = 200 \text{ m}$$

$$\therefore S > L_c \quad \therefore M_{min} = \frac{L(2S - R)}{8R} = \frac{165(2 \times 200 - 165)}{8 \times 315} = 15.4 \text{ m}$$



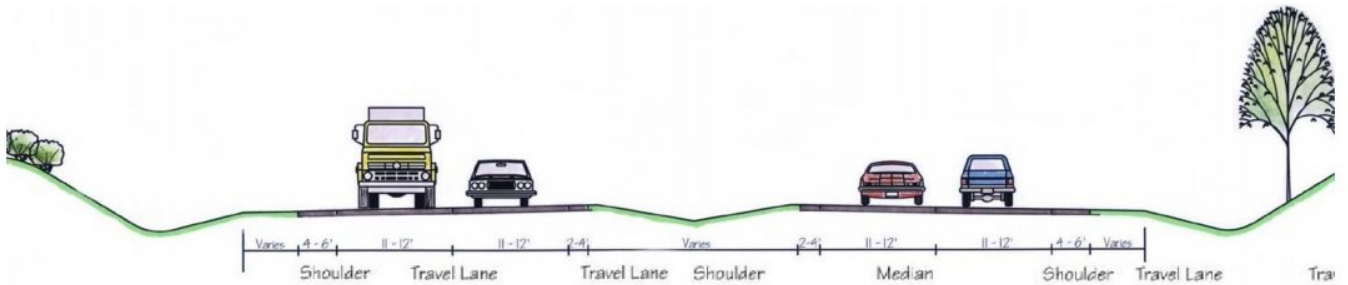


# Highway Engineering

هندسة الطرق

## الباب الخامس

### CROSS SECTION ELEMENT



Four Lane Divided Roadway





# Highway And Airport Engineering

## 4<sup>rd</sup> year Civil Engineering

### (Geometric Design)

#### Cross section elements

#### عناصر القطاع العرضي

### Highways design تصميم الطرق

#### Geometric design تصميم هندسي

عبارة عن تصميم العناصر المرئية (يمكن رؤيتها بالعين) للطريق مثل :-

- 1- الحارات (عددها - عرضها - ميلها)
- 2- المنحنيات الأفقية والرأسيه.
- 3- التقاطعات .
- 4- الطيات والأرصفة والجزر .

#### Structural design تصميم انشائي

عبارة عن تصميم العناصر الغير المرئية (لا يمكن رؤيتها بالعين) للطريق مثل :-

- 1- نوع الرصف المستخدم .
- 2- سمك طبقات الرصف .
- 3- تحديد المواد المستخدمة في الرصف والاختبارات عليها .

### - Geometric design content

ما سوف يتم دراسته في التصميم الهندسي :-

- 1-cross section elements  
عناصر القطاع العرضي
- 2-Basic design control  
محددات التصميم (البيانات المستخدمة في التصميم)
- 3-Sight distance  
مسافات الرؤية ( المسافه التي يراها السائق على الطريق )
- 4-Horizontal Alignment  
التخطيط الأفقى (تصميم المنحنيات الأفقيه)
- 5-Vertical Alignment  
التخطيط الرأسى (تصميم المنحنيات الرأسية)
- 6-Intersections Design  
تصميم التقاطعات

## Geometric Road elements

### عناصر الطريق

#### Main elements

- 1-Road Lanes حارات الطريق
- 2-Horizontal Alignment التخطيط الأفقي
- 3-Vertical Alignment التخطيط الرأسي
- 4-Intersections التقاطعات

#### Secondary elements

- 1-Shoulders الطبقات
- 2-Side slopes الميول الجانبية
- 3-Drainge systems أنظمة الصرف
- 4-Side Walks أرصفة المشاة
- 5-Auxiliary lanes حارات مساعدة
- 6-Canalizations الجزر

### Cross Section elements

#### عناصر القطاع العرضي

#### 1-Traveled way (pavement)

هو الجزء من الطريق المخصص لحركة السيارات .

$$\text{Traveled way} = \text{sum of lanes}$$

مجموع الحارات  
 Traveled way = sum of lanes  
 يكون له traveled way واحد وهو مجموع حارات الطريق ككل.  
 يكون له traveled way كل واحد هو مجموع حارات الاتجاه الواحد.

#### 2-lane

هو الجزء من الطريق المخصص لحركة مركبة واحدة فقط .

عرض الحارة (lane width) يتراوح من 2.7 إلى 3.6

العرض	نوع الطريق
2.7 - 3	Local road with low volume and speed
3.3	Urban road with moderate volume
3.6	Freeway ,expressway and arterial road

لتحديد عرض الطريق ندخل الجداول الاتية الموجودة في مذكرة الجداول على حسب نوع الطريق

Table ( 2-5 ) page ( 2 ) : Minimum Lane Width (m) of different Rural Roads

Road class	Main Arterial Road	Secondary Arterial Road	Collector	Local road
Minimum lane Width (m)	3.6	3.6	3.3	3.0

Table ( 2-8 ) page ( 4 ) : Minimum Lane Width (m) of different Urban Roads

Road (street class)	Main Arterial	Secondary Arterial	Collector	Local street
Minimum lane Width (m)	3.6	3.6	3.3	2.7

#### الميل العرضي للطريق (g) cross slope for lane

- يتم عمل ميل عرضي للطريق لصرف مياه الأمطار او اي مياه موجودة على الطريق .
- تختلف قيمة الميل على حسب (جودة الرصف - شدة الأمطار - عدد الحارات - وجود حواجز خرسانية ) .

لتحديد ميل الطريق العرضي ندخل جدول (2-1) صفحة 1 في مذكرة الجداول (الاجزاء المستقيمة فقط)

Table ( 2-1 ) page ( 1 ) : Normal pavement cross slope

Quality of surface	Cross slope rate (cm/m)
High (سطح ناعم)	1.5 - 2
Medium	1.5 - 3
Low (سطح خشن)	2 - 6

في حالة زيادة عدد الحارات عن 4 حارات يجب زيادة الميل العرضي بمقدار 0.5 الى 1 لكل حارتين زياده.  
 او في حالة وجود برودرات يتم زيادة القيم بمقدار 1 .

#### 3-Shoulder او الاكتاف

هو الجزء من الطريق الملاصق للجزء المخصص للمرور (traveled way) ويستخدم لـ :-

- 1-عبور الدراجات
- 2-الوقوف المؤقت
- 3-يزيد من مسافة الرؤية
- 4-يزيد من السعة المرورية
- 5-داعم انشائي للطريق
- 6-صرف المياه جانبا (ميل الطيان يتراوح من 2 الي 8 % )



### العوامل التي تؤثر في عرض الطيان :-

- 1- تصنيف الطرق
- 2- حجم المرور خاصة مركبات النقل
- 3- طبيعة الأرض
- 4- موقع الطيان (يمين - يسار)

يوجد نوعين من الطيان على حسب الموقع :-

Right shoulder = outer shoulder  
Left shoulder = inner shoulder

طيان يمين (على يمين الطريق)  
طيان يسار (على يسار الطريق)

يوجد نوعين من الطيان على حسب السطح :-

Paved  
Unpaved

مرصوف  
غير مرصوف

— ميل الطيان اكبر من ميل الحارة لصرف المياه بشكل اسرع  
قيمة الميل للطيان الغير مرصوف اكبر من ميل الطيان المرصوف

لتحديد عرض الطيان الخارجي Outer Shoulder Or Right Shoulder وقيمة الميل العرضي له ندخل جدول (2-6) صفحة 3

Table ( 2-6 ) Page 3 : Minimum Width And Slope Of Right Shoulders For Rural Roads

Road class		Main Arterial	secondary Arterial	Collector	Local road
Affecting elements					
Shoulder Width (m)	Traffic volume <= 400 vpd	2.5 – 3.5	1.25 (0.6)	0.6	0.6
	Traffic volume 400 – 1000 vpd		1.8 (1.25)	1.25	1.25
	Traffic volume >= 1000 vpd		2.5 (1.5)	1.8	1.8
Shoulder Side slope %	Paved shoulder	2 - 4	2 - 4	2 - 4	1 - 3
	UnPaved shoulder	3 - 5	3 - 5	3 - 5	3 - 5

عرض الطيان الخارجي Inner Shoulder Or left Shoulder في حالة الطرق المقسمة = 1.25- 0.6 متر في حالة وجود طيان مجزء مرصوف وجزء اخر غير مرصوف يجب الا يقل العرض عن القيم الموجودة داخل الأقواس

في حالة وجود حواجز جانبيه يجب الا يقل عرض الطيان الغير مرصوف عن 1.25 متر

### الجزر Median

هو الجزء من الطريق الذي يفصل اتجاهي حركة المرور في الطرق المقسمة ويستخدم لـ :-

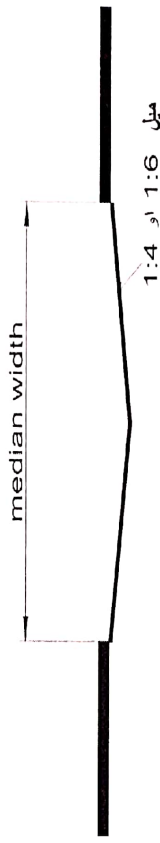
- 1- تقليل تأثير ضوء السيارات
- 2- انشاء حارات الإبطاء والاسراع و عمل u-turn
- 3- امكانية التوسع في المستقبل
- 4- استخدامها كمساحة خضراء
- 5- زيادة الامان بفصل حركة المرور في الاتجاهين
- 6- امكانية تثبيت اعمدة الاشارة واللوحات المرورية

— عرض الجزيره يتراوح من 1 الي 25 متر .

— أنواع الجزر :-

#### 1-جزر منخفضه Depressed Median

تفضل في الطرق ذات كفاءة عاليه في صرف المياه (الطرق الخليه)



#### 2-جزر مرتفعه Raised Median

تفضل في الشوارع الحضرية حيث تخدم الدوران للشمال



Table ( 2-7 ) page ( 3 ) : Minimum median Width (m) of different Rural Roads

Road class	Main Arterial Road	secondary Arterial Road	Collector	Local road
Minimum median Width (m)	4	2	2	—

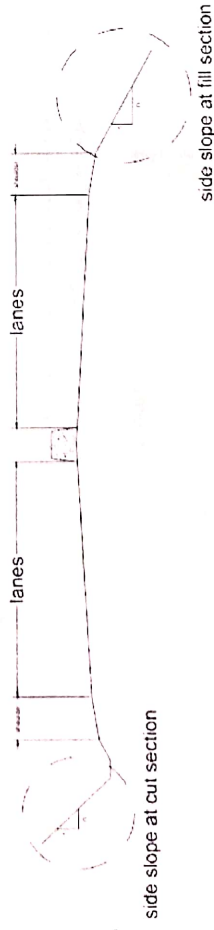
Table ( 2-10 ) page ( 4 ) : Minimum median Width (m) of different Urban Roads

Road (street class)	Main Arterial	secondary Arterial	Collector	Local street
Minimum median Width (m)	3.6	3.6	0.6	—

### 5-Side slope للميل الجانبي للطريق

الميل الجانبي يبدأ من نهاية الطيان الى ان يقابل سطح الارض الطبيعيه  
— يستخدم في قطاعات الحفر cut والردم fill .

- 1- يستخدم في قطاع الردم fill section لتحقيق الاتزان وصرف المياه وتحسن الرؤية للسائق
  - 2- يستخدم في قطاع الحفر cut section لمنع تحرك التربة
- قيمة الميل تتراوح ( 1:6 او 1:4 ) يتم استخدامها (1:2) في حالة ارتفاع الحفر او الردم كبير .



- قيمة الميل تعتمد على :-
- 1- نوع القطاع (حفر او ردم)
  - 2- ارتفاع الحفر او الردم
  - 3- طبيعة التربة وتضاريس المنطقة

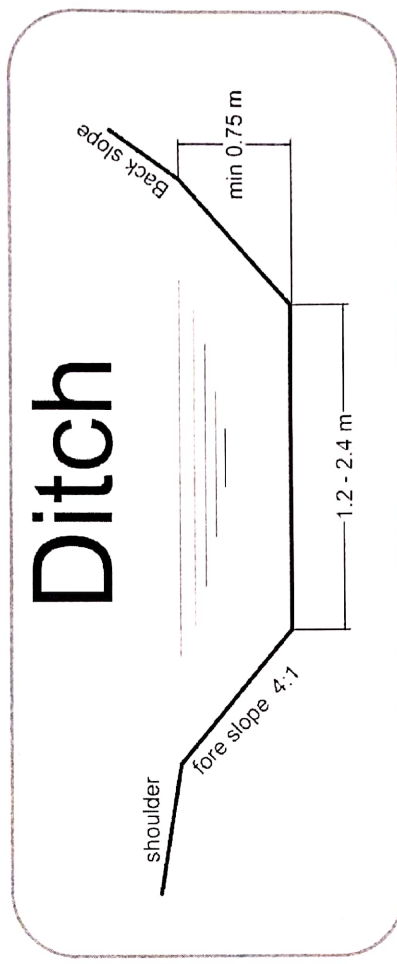
لتحديد قيمة الميل الجانبي ندخل جدول (2-4) صفحة 2 بدلالة ارتفاع الحفر او الردم وبدلالة تضاريس المنطقة الموجود بها

Table ( 2 - 4 ) Page 4 :- recommended value of side slope

Height of Embankment (cut&fill) , m	Flat or rolling	Moderately steep	Steep or mountainous
<=1.5	6 - 1	4 - 1	4 - 1
1.2 - 3	4 - 1	4 - 1	2 - 1
3 - 4.5	4 - 1	2.5 - 1	1.75 - 1
4.5 - 6	2 - 1	2 - 1	1.75 - 1
> 6	2 - 1	2 - 1	1.75 - 1

### 6-Drainage Channels (Ditch) قنوات صرف المياه

تقوم بتجميع وصرف المياه من الطريق وتوجد بجانب الطريق او بجانب الجزييره.  
يتم تبطين القناة لتحميها من التآكل ويجب ان تكون نظيفه وخاليه من المواد العائقه حتي لا تقلل سعتها.





## 7-Sidewalk رصيف المشاة

تستخدم في الطرق الحضرية (داخل المدن) ومن الممكن استخدامها في الطرق الخلفية القريه من المدن .  
قد يصل عرض الرصيف الى 6 متر وميل الرصيف لا يقل عن 1 % لصرف المياه .

Table ( 2 – 9 ) Page 4 : Minimum Pedestrian Sidewalks Width (m) of different Urban Roads

Road (street class)	Main Arterial street	secondary Arterial street	Collector street	Local street
Minimum pedestrians sidewalk Width (m)	2.5	2.5	1.5	1.5

## 8-Auxiliary lanes حارات مساعده

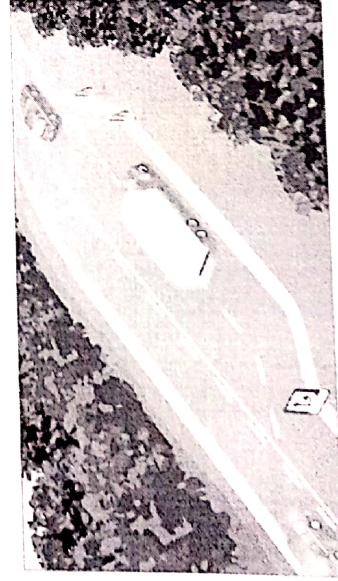
حارات اضافيه تستخدم لتحسين الحركة المروريه .

### A) Parking lane حارة انتظار

عبارة عن حارة واحدة على جانب واحد من الطريق او على جانبي الطريق تستخدم كامكان انتظار للمركبات يعتمد عرض الحارة على زاوية الانتظار (2.5 - 6) متر .

### B) Climbing lane حارة التسلق

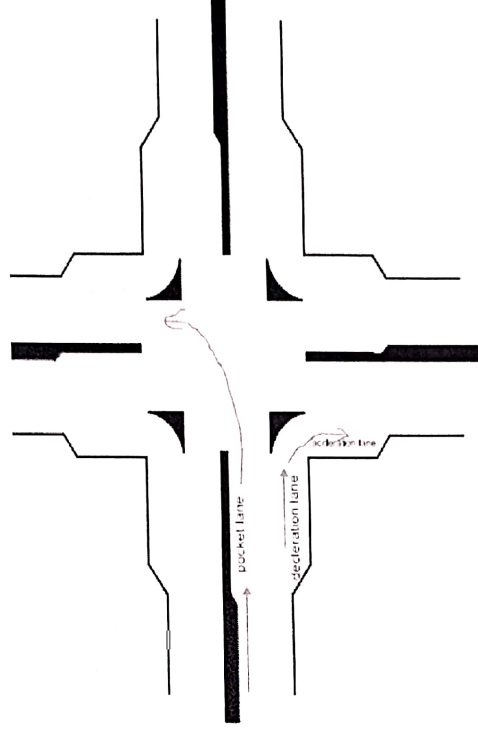
تستخدم كحارة اضافيه لمركبات النقل في المنحنيات الراسيه (لان في المنحنيات الراسيه تقل سرعة مركبات النقل اثناء الصعود وبالتالي ستؤثر على سرعة المركبات الاخرى فيتم فصلها في حارة منفصلة )



## C) speed change lane حارة تغيير السرعة

Deceleration lane حارة الابطاء	acceleration lane حارة الاسراع	Pocket lane حارة تخزين
تستخدم عند التقاطعات لخدمة الدوران لليمين حيث يقوم السائق بتهيئة السرعة من السرعة التصميمية للطريق لمرور الدوران لكي يقوم بالمرور لليمين	تستخدم عند التقاطعات لخدمة الدوران لليمين حيث يقوم السائق بعد عمل الدوران لليمين بزيادة السرعة من سرعة الدوران للسرعة التصميمية للطريق	تستخدم عند التقاطعات لخدمة الدوران لليسار حيث يقوم السائق بعمل تخزين للسيارة في الحارة حتى يتوقف له مساحه كافيه لعمل الدوران لليسار

Acceleration lane > Deceleration lane



## 9-Curbs بزلورات

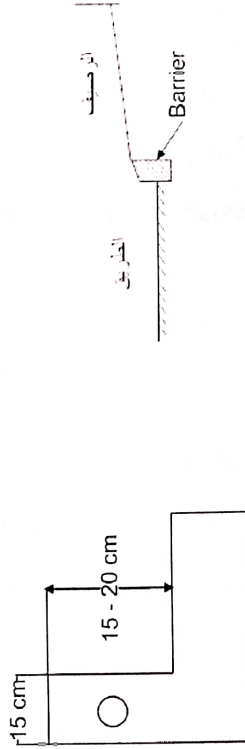
عبارة عن كتل خرسانية لها ابعاد معينة وتستخدم لـ :

- 1- تحديد نهاية الطريق.
- 2- الحفاظ على المركبات داخل الطريق .
- 3- حماية حافة الطريق من الاهتزاز بسبب الصياله او عوامل النحر

### — أنواع البردورات — :- types of curbs

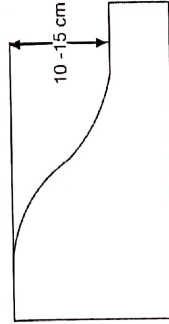
#### 1-بردوره حاجزه Barrier curb

تستخدم لفصل حركة المرور عن حركة المشاة لحماية المشاة من خطر المركبات .



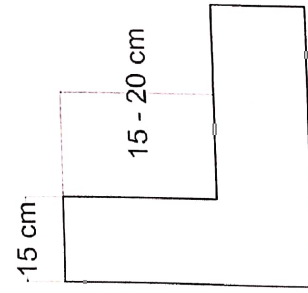
#### 2-بردوره يمكن تساقطها Mountable curb

بردوره يمكن الصعود عليها حيث تمكن المركبة من الصعود عليها اذا انحرفت عن الطريق .



#### 3-بردوره مدفونه Embedded curb

بردوره توجد في الطرق الخلوية في نهاية الرصف لحماية من الاتهابار .



### طرق الخدمة =frontage road

طريق اضافي بجانب الطرق الرئيسيه ويتم عمله في الطرق الحضرية والخلوية .

في الطرق الحضرية يخدم حركة المرور داخل المدن  
في الطرق الخلوية يستخدم لتوزيع حركة المرور على المناطق المجاورة او تجميع حركة المرور من المناطق المجاورة لتسلك الطرق الخلوية .

### حرم الطريق 11-Right of way

عبارة عن مجموع عرض عناصر الطريق كله بالاضافه الى ( مسافه علي جانبي الطريق ( 25 - 50 ) متر ) .

الغرض من المسافه :-

1-امكانية التوسع في المستقبل

2-تحسين الرؤية في المنحنيات الأفقيه



## تجميع أسئلة (v) و (x) واختباري

### Put true (v) or False (x) :-

- 1) The S.S.D in inversely related to The coefficient of <sup>longitudinal</sup> side Friction (X)
- 2) Design speed Value depended on highway lenght (X)
  - Design Speed depended on « Highway type & traffic volume & terrain & Constructed area »
- 3) The P.S.D is used for design of all types of highway (X) (S.S.D)
- 4) The Average Daily Traffic (ADT) is used in geometric design for (Hwy) (X)
  - The Design Hourly Volume (DHV)
- 5) Design speed Value depends on highway classifications (v)
- 6) The Passing sight distance is used for design of divided highway only (X)
  - P.S.D is used for design of (2 lane - 2 way) only.
- 7) Choosing design speed Value depends on highway cross section (X) (2)
- 8) The decision sight distance is for design of all types of highway (X) (S.S.D)
- 9) Design speed Value depends on highway topography (v) Topography = terrain
- 10) S.S.D in Wet case is greater than that in dry case (v)
- 11) In cut section you must rotate about inner edge to maintain superelevation rate (v)
- 12) The max. safe speed on HL in cut section can be increased by decreasing the side slope (v)
- 13) The spiral curve spiral is suitable for low speed highway (X) high speed
- 14) Choosing the Horizontal curve type depended on the cost (v)
  - Choosing the HL curve depended on « Highway types & Design speed & Cost & Area & Deflection angle »
- 15) The Problem in the design of HL curve is balance of vehicle only (X)
  - Balance and sight distance.
- 16) The value of super <sup>(e)</sup> elevation rate is directly Proportional with design <sup>(v)</sup> speed (v)  $e + F_s = \frac{v^2}{127 R}$
- 17) The spiral curve spiral is suitable for rural Hwy (v) High speed & sharp curvature.
- 18) The value of superelevation rate is inversely Proportional with horizontal curve radius (v)
- 19) In Fill section you must rotate about center line to maintain superelevation (X) (outer edge)
- 20) The max. safe speed on HL in fill section can decrease by decrease the side slope (X) <sup>تأثر</sup>
- 21) The value of superelevation rate is directly Proportion with horizontal curve degree (v)
  - $e + F_s = \frac{v^2}{127 R}$  ∴  $e \propto 1/R$  ∴  $D = \frac{175 v}{R}$  ∴  $D \propto 1/R$  ∴  $D \propto e$
- 22) The max. safe speed on HL in cut section can increase by decreasing shoulder width (X)
  - زيادة كتف الطريق يزيد من مسافة الرؤية وبالتالي زيادة السرعة.



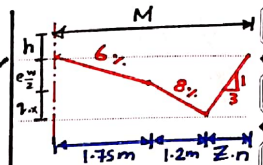
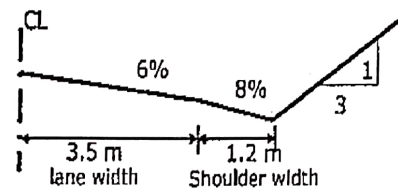


- 23) Different in grade is always negative on sag curve (✓)
- 24) SD and super elevation are the only two problems on horizontal curve (✓)  
 $\Rightarrow$  Super elevation = Balanced
- 25) Min. grade is 1% for a purpose of rain drainage (X)  $g_{min} = (0.35 \sim 0.5)\%$
- 26) Using spirals curves allows the centrifugal force to develop gradually (✓)
- 27) Design of sag curves depends on head light sight distance requirement (✓)
- 28) Rotation the pavement about I.E is more suitable in case of drainage problem (✓)
- 29) Climbing lane climbing lanes are always added to the vertical curve (X)
- 30) Tangent runoff is the length between normal crown and crown removal section (X)  
 • Tangent runoff : (Normal Crown  $\rightarrow$  Crown runoff)  
 • Super elevation Runout : (Crown runoff  $\rightarrow$  Super elevation)
- 31) S.S.D > D.S.D (X) (P.S.D > D.S.D > S.S.D)
- 32) Revolving the pavement @ C.L is more distortion than revolving it @ O.E or I.E (X)  
 • Revolving @ C.L is the most widely used method because the change in elevation of pavement edges is made with distortion less than that of the other two methods.
- 33) Design of sag curve depends on SSD and PSD requirements (X) (S.S.D) only.
- 34) Storage length is added to the acceleration lane to solve (L.T) problems (X)
- 35) The straight distance on H.L. alignment should not exceed 5 km (✓)
- 36) Critical Point on crest curve is essential to locate drainage pipes (X) (sag)
- 37) Reaction and perception time on urban road is more than rural roads (X)





The shown section of a horizontal curve of a highway was constructed in a cut area. Determine the maximum operating speed on that section. If  $R = 305m$ , specify the following:



Lateral clearance for sight distance  $M = \dots\dots\dots m$

- A: 5.25      B: 5.35      C: 5.45      D: 5.55

Assuming that  $S < L$ , then  $S = \dots\dots\dots m$

- A: 114      B: 116      C: 118      D: 120

$V_1$  (from sight distance) =  $\dots\dots\dots kph$

- A: 60      B: 70      C: 85      D: 90

$V_2$  (from balance) =  $\dots\dots\dots kph$

- A: 85      B: 90      C: 70      D: 60

Maximum operating speed =  $\dots\dots\dots kph$

- A: 60      B: 70      C: 85      D: 90

Rotating the pavement about I.E is more convenient for  $\dots\dots\dots$  section

- A: cut      B: Embankment      C: fill      D: flat

In highway projects, one station normally =  $\dots\dots\dots m$

- A: 10      B: 25      C: 50      D: 100

$$Z = h + e \left( \frac{W}{Z} \right) + g \cdot x$$

$$Z = 0.6 + (1.75 \times 0.06) + (1.2 \times 0.08) = 0.801$$

$$\therefore M = 1.75 + 1.2 \times 0.801$$

$$\therefore M = 5.353 m$$

$$S < L \therefore M = \frac{S^2}{8R}$$

$$S = 114.25 m$$

$$114 = 0.278 \times V^2 \times 2.5$$

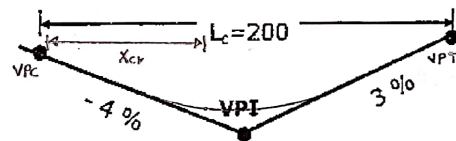
$$+ \frac{V^2}{255(0.3 + 0)}$$

$$\therefore V = 70.5 kph$$

$$0.06 + 0.13 = \frac{V^2}{127(305)}$$

$$V = 85.78 kph$$

The opposite figure represents a sag curve. Knowing  $st(VPI) = 11+00$  and  $Elev(VPI) = 20m$ . Specify the following:



23 Difference between grades A =  $\dots\dots\dots$

- A: -1%      B: -7%      C: 7%      D: 1%

24 St (VPC) =  $\dots\dots\dots$

- A: 10+00      B: 12+00      C: 13+00      D: 9+00

25 Elev (VPC) =  $\dots\dots\dots$

- A: 16      B: 24      C: 17      D: 23

26 Distance to critical point =  $\dots\dots\dots$

- A: 114.3      B: 115      C: 114.8      D: 113.8

27 Station of suitable location for drainage pipe  $\approx \dots\dots\dots$

- A: 11+12      B: 11+13      C: 11+15      D: 11+16

28 Elevation of critical point =  $\dots\dots\dots$

- A: 22.3      B: 20.8      C: 21.3      D: 21.8

$$A = -4 - (3) = -7$$

$$St(VPC) = (1100) - 100 = 10+00$$

$$Elev(VPC) = 20 + \frac{4}{100} \times 100 = 24m$$

$$X_{cr} = \left| \frac{g}{A} \right| \times L$$

$$X_{cr} = \left| \frac{4}{7} \right| \times 200$$

$$X_{cr} = 114.28 m$$

$$St(CP) = (1000) + X_{cr} = (11 + 14.3)$$

$$Elev(CP) = Elev(VPC) - \frac{g}{100} \times X_{cr} + y$$

$$Elev(CP) = 24 - \frac{4}{100} \times 114.28$$

$$114.3 + \frac{7 \times (114.28)^2}{200 \times 200} = 21.71 m$$





# Highway Engineering

هندسة الطرق

الباب السادس

## INTRODUCTION TO STRUCTURAL DESIGN





### Introduction :-

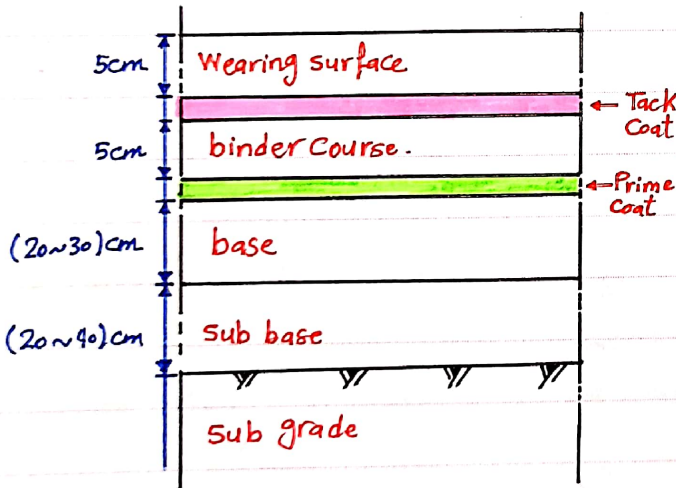
- التصميم الإنشائي " structural design " :- عبارة عن الفرج الذي يهتم ب :-
  - ✓ تصميم سمك طبقات الرصف ونوعية المواد المستخدمة في الرصف .
  - ✓ دراسة تربة التأسيس وتحديد مدى تحملها للحمولات المرورية .
  - ✓ طرق تنفيذ دمج التربة
  - ✓ دراسة الإجهادات الواقعة على طبقات الرصف .

### Types of Pavement :-

• الرصف " Pavement " :- هو العنصر الإنشائي المسئول عن نقل أحمال الطريق إلى التربة الصالحة للتأسيس بالإجهادات المسموح بها .

#### 1) Flexible Pavement الرصف المرن :-

• يتكون الرصف المرن من مجموعة من الطبقات حيث تقوم كل طبقة بتشتيت جزء من الحمل حتى يصل إلى تربة التأسيس بقيمة إجهادات أقل من قوة تحمل تربة التأسيس .



← يتكون من :-

- |                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| 1- Wearing surface | طبقة سطحية          |
| 2- Tack Coat       | طبقة لزقة           |
| 3- binder Course   | طبقة ترابطة         |
| 4- Prime Coat      | طبقة تشريب          |
| 5- base            | طبقة الأساس         |
| 6- sub base        | طبقة الأساس المساعد |
| 7- Sub grade       | طبقة التأسيس        |

#### • Sub grade طبقة التأسيس

• عبارة عن منسوب الأرض الطبيعية التي يتم تأسيس الطريق عليها .  
 • يؤثر منسوب تلك الطبقة على سمك كل الطبقات فكلما كان منسوبها أعلى كلما قل سمك كل طبقة مع منسوب الأرض الطبيعية .

• من الممكن حدوث بعض المشاكل بحيث لا يمكن التأسيس عليها لذلك نلجأ لبعض الحلول مثل :-

- ✓ يتم إزالة التربة إذا كانت تربة عضوية
- ✓ يتم وضع سن ثم الدمك لزيادة تحمل التربة
- ✓ يتم حقن التربة أو حلاصها



## • الأساس المساعد . Sub base.

- عبارة عن سن من الحجر الجيري حيث يمكن زولده على حسب قوة طبقة ال (Sub grade).
- يتراوح سمكها بين (٤٠ سم - ٤٠ سم).
- لا تزيد مقاس الرخاا الأكبر المستخدم عن ٢٠ بوصة ولا يزيد عن ٢٠ سمك الطبقة.
- لا تزيد كمية المادة المفككة المحتجزة على منخل رقم (٤) عن ١٠٪ من وزن العينة.
- لا تزيد قيمة اختبار ال (CBR) عن ٢٥٪.
- لا تزيد ال (L.L) (liquid limit) عن ٣٠٪ ولا تزيد ال (P.I) (Plasticity index) عن ٨٪.
- طبقة سميكة ذات تكلفة لإنشاء رخيصة توفر التكاليف.

## • طبقة الأساس . Base Course.

- تعتبر من أهم الطبقات حيث أنها المسئولة عن نقل الأحمال لباقي الطبقات ويمكن وضعها على طبقة واحدة أو عدة طبقات حسب سمكها التصميمي.
- تتكون من مادة جسيبة (سن) ولكن بجودة عالية قد يكون:
- ✓ Crushed stone حجر مطحون
- ✓ Crushed slag خبث أخفان
- ✓ Crushed gravel نزل مطحون
- ✓ Sand رمل
- من أهم فوائدها هو حفظ الطبقات السطحية من أي تغيرات حجمية لطبقة ال (Sub base).
- يتراوح سمكها بين (٢٠ سم - ٢٠ سم).
- لا يتجاوز قيمة اختبار لورسن أنجلوس ٥٠٪ [50% < (نسبة البري) % Wear].
- لا تزيد كمية المادة المفككة المحتجزة على منخل رقم (٤) عن ٥٪ من وزن العينة.
- لا تزيد ال (L.L) (liquid limit) عن ٢٥٪ ولا تزيد ال (P.I) (Plasticity index) عن ٦٪.
- يجب ألا تحتوي المواد الناعمة على لحين أو مواد عضوية.
- % CBR ≥ 50% 6 % Passing #200 ≤ 2/3 % Passing #40 6 % Water absorption after 24hr ≤ 5%.

## • طبقة التشريب . Prime Course.

Medium Curing zen (MCO)

- عبارة عن بيتومين سائل متوسط التطاير.
- يتم تسخينه ثم رشه على طبقة الأساس بمعدل ١٠ كجم / م<sup>2</sup> يتم حساب نسبتها من خلال لوح مساحة (١١\*١) م ثم وزن المادة عليه.
- يجب أن يخترق طبقة الأساس لعمق (٥ سم) وذلك لـ:
- ✓ منع إصتها من طبقة الأساس (Base) لبيتومين الطبقة الرابطة.
- ✓ تغليف طبقة الأساس لمنع وصول المياه إليها.
- ✓ حفظ الحبيبات الناعمة لطبقة الأساس من التطاير.
- يتم رشه قبل الدفوف بأسبوعين.





## • Binder Course:.. الطبقة الرابطة .

- تتكون من (أسفلت + Asphalt + بودرة Mineral filler (M.F) + رمل Fine aggregate + حجر جيري أو بزلت أو دولوميت).
- يقل فيك نسبة المواد الناعمة حيث أن كل طبقة صلبة.
- تتكون من ركام والستومين وسمكها حوالي (٨-٥) سم.

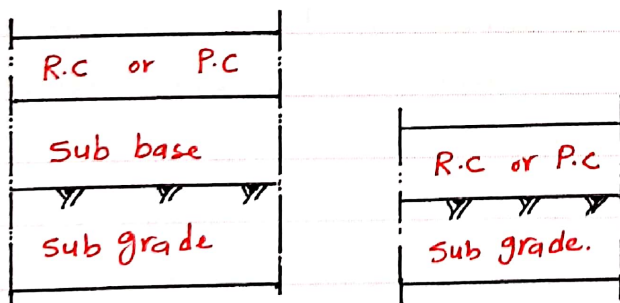
## • Tack Coat. طبقة لزقة

- عبارة عن رش أسفلت بجرم (٥.٥ م ٥.٧٥) طم ٢/١ على الطبقة الرابطة.
- عبارة عن مادة أسفلتية سريعة التماس Rapid Coat (RC1, RC2) لذلك يجب وضع الطبقة السطحية بعد رشه مباشرة (لا تزيد الحبة عن ٣ ساعات).
- الغرض من هو لترك الطبقة السطحية بالطبقة الرابطة.

## • Wearing surface.. الطبقة السطحية

- نفس مكونات الطبقة الرابطة ولكن بزيادة مكونات المواد الناعمة والأسفلت وذلك للحصول على سطح ناعم ورطب (ركام ١ أو ٢).
- تعتبر أعلى الطبقات كثافة لأنها تتصل مباشرة بالأحجار المروية.
- طبقة ذات تدرج كثيف، سمكها حوالي ٥ سم، مقاومة للتآكل.

## ② Rigid Pavement. رصن صلب :-



في حالة التربة الضعيفة . في حالة التربة القوية .

- يتكون الرصن الصلب من طبقة من الخرسانة العادية أو لماسة توضع مباشرة فوق (Sub grade) أو توضع فوق (Sub base).
- تستخدم :-

١. ممرات هبوط الطائرات .
٢. محطات تغذية الوقود .
٣. أماكن الانتظار .

→ Concrete slab البلاطة الخرسانية

- ✓ الغرض من نقل أحمال المركبات إلى التربة بطريقة غير مباشرة وتستخدم في حالة الأحمال الكبيرة وتقلون من مجموعة من البلاطات توضع بينهما فواصل .

→ Sub base. طبقة الأساس

- ✓ الغرض من توفير نقاط ارتكاز للبلاطة وتقليل التغيرات الحجمية وتستخدم في حالة التربة الناعمة لعدم خروج الحبيبات الناعمة من التربة .



## 1. Compare between :-

### Rigid Pavement and Flexible Pavement

Rigid Pavement	Flexible Pavement
<ul style="list-style-type: none"> <li>عبارة عن رصيف صلب يتكون من الخرسانة المسلحة أو العادية</li> <li>توضع فوق ال (Subbase) أو فوق ال (Subgrade).</li> <li>ينتقل الحمل عن طريق نظرية Slap action Theory</li> <li>يستخدم في الأماكن المرورية العالية مثل المطارات.</li> <li>تكاليفه وكفائه.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>عبارة عن مجموعة من الطبقات حيث تقوم كل طبقة بتشتيت جزء من الحمل حتى يصل إلى تربة التأسيس بالذات لا يسمح.</li> <li>ينتقل الحمل عن طريق نظرية Multi layer elastic Theory</li> <li>يستخدم في جميع الطرق</li> <li>معدات محطات البنزين</li> <li>أقل تكلفة وكفاءة</li> </ul>

## 2. benefits of subbase in rigid Pavement ?

1. زيادة قوة طبقات الرصف.
2. تحسين صرف المطر.
3. تقليل التغيرات الحجمية.
4. منع ظاهرة ال Pumping

## 3. Talk about Base Course .

- تعتبر من أهم الطبقات حيث أنزل المسؤولة عن نقل الأحمال لباقي الطبقات وتعمل على زيادة مقاومة الرصف للزحف وانهياره.

الاختبارات :-

1. التدرج الحبيبي
  2. اختبار CBR
  3. المسوية والدونة L.L, P.I
  4. اختبار الإمتصاص
  5. اختبار لوجس الجلويس (البرقي).
- الملاحظات :-

1.  $PI \leq 6\%$  ,  $LL \leq 25\%$
2.  $\leq 50\%$  نسبة البرق (Wear)
3.  $C.B.R \geq 50\%$
4.  $\leq 5\%$  Water absorption after 24 hr
5.  $\leq 213$  % Passing # 40  $\leq 200$  % Passing # 40

## 4. Put (✓) or (x) :-

1. The bitumen RC2 is used as a tack Coat (✓)
2. Prime Coat layer is sprayed by rate (0.75 ~ 1.7)  $Kg/m^2$  (✓)
3. Max. size of aggregate used in base layer is 6 cm (✓)
4. Min. total Thickness of binder and surface Coarse layer is often 10 cm (✓)
5. The bitumen MC0 is used as a <sup>Prime</sup> tack Coat (x)
6. Tack Coat layer is sprayed by rate (0.5 ~ 0.75)  $Kg/m^2$  (✓)
7. Max. size of aggregate use in surface layer is 2 cm (✓)
8. Thickness of binder coarse is often <sup>5cm</sup> 4cm (x)
9. Rigid Pavement depends on multilayer Theory (x)
10. binder Course contain of bitumen and asphalt <sup>less</sup> more Than wearing (x)
11. in rigid Pavement connective material is Cement (✓)
12. Pumping occur in rigid Pavement (✓)







# Highway Engineering

هندسة الطرق

## الباب السابع

# SOIL ENGINEERING FOR HIGHWAY DESIGN



■ Introduction :-

- يجب قبل البدء عملية إنشاء الطريق معرفة بعض خصائص التربة وطبقة التأسيس ومدى قدرة تحملها للحجم المرورية

•• This chapter including :-

1. Soil Classification «AASHTO»
2. Measuring sub grade soil strength
  - Shear test.
  - Bearing test.
  - Penetration test (CBR).
  - Cyclic test.

■ Soil Classification :-

- يتم تصنيف تربة التأسيس لمعرفة مدى صلاحيتها للتأسيس ومقاومة الأحمال.

... Soil Classification system :-

- ✓ 1. (AASHTO) «The American Association of State Highway and Transportation Officials»  
تصنيف مكتب مصلحة الطرق الأمريكية.
2. (USCS) «The unified soil classification system»  
نظام التصنيف الموحد الأمريكي  
← يستخدم في تصنيف تربة المنشآت
3. (FAA) «The Federal Aviation Agency classification system»  
← يستخدم في تصنيف مطارات الطائرات.

•• (AASHTO) Soil classification system :-

- تعتمد هذه الطريقة على تجارب قياسية محددة مثل :-

  1. التحليل المنخلي (Sieve Analysis)
  2. حدود قوام التربة (consistency limits)

✓ تصنيف ال (AASHTO) يعتمد على أن تكون العينة مفككة losses

→ Sieve Analysis. التحليل المنخلي

- يتم عمل اختبار معمار للتربة ومعرفة نسب التربة الحارة من كل منخل.

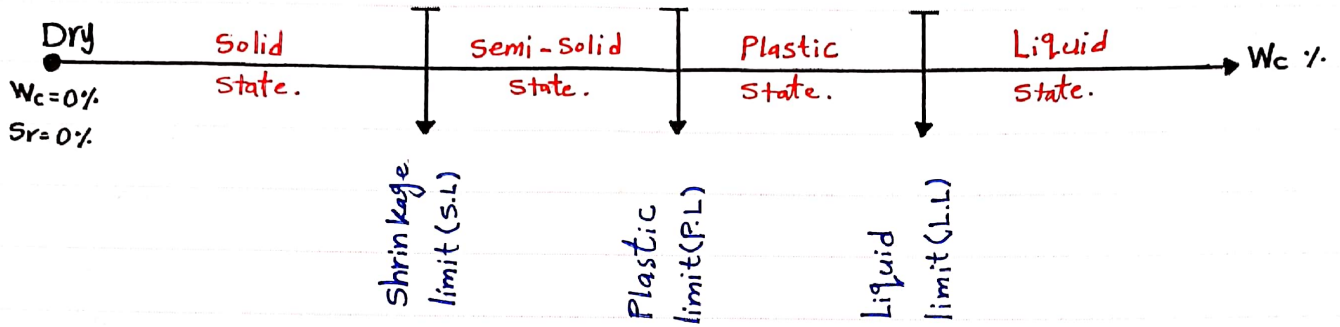
Sieve No.	#200 (0.075mm)	#40 (0.425mm)	#10 (2mm)
Passing %.	✓	✓	✓





## حدود ليقوام . Consistency limit .

• عبارة عن المحتوى المائي الذي تتحول عنده التربة من حالة إلى أخرى وتسمى أيضاً بحدود أتربرج (Atterberg limits) وهي :-



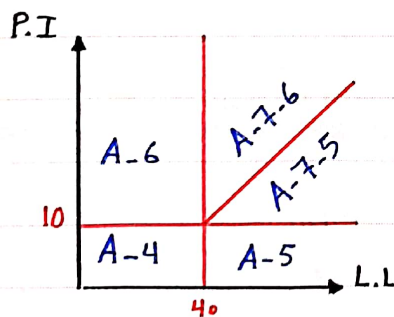
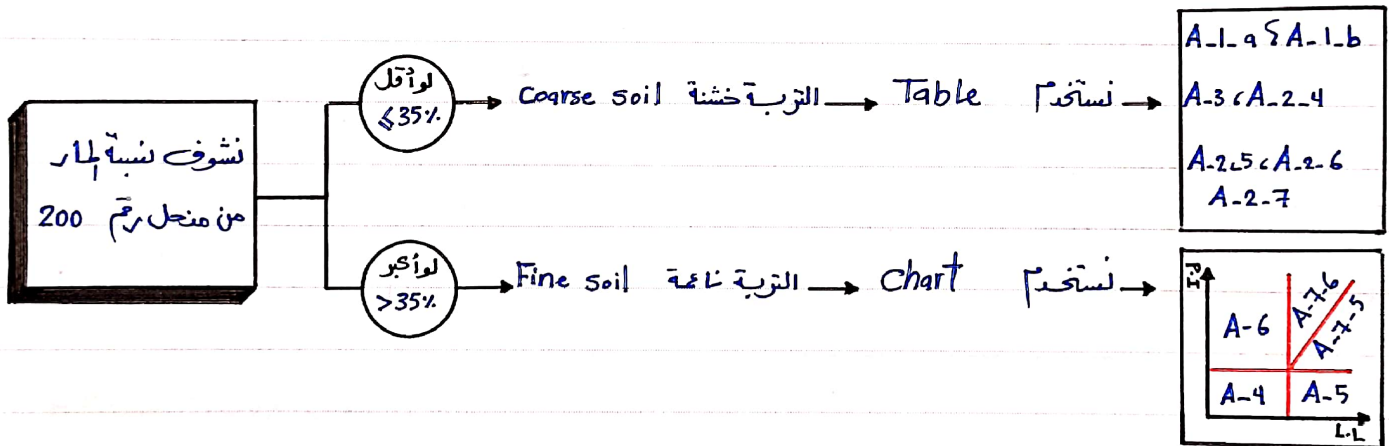
• **Plasticity Index** :- عبارة عن الفرق بين حد السيولة (L.L) وحد لدونة (P.L) وليستخدام في قياس لدونة التربة

$$P.I = L.L - P.L$$

✓ طريقة التصنيف لا يستخدم فيها (L.L, P.I) ولا يستخدم ال (P.I) في إيجاد قيمة (P.I).

• Soil used for both liquid and plastic limits must pass sieve No. 40 before determining these limits.

• خطوات التصنيف :-



في حالة التربة الناعمة :- #200 > 35 %

يتم تصنيفها عن طريق (chart).

✓ إذا وقعت النقطة على خط من الخطوط الفاصلة فإننا نختار التربة ذات التقييم الأقل.

✓ إذا كانت التربة في (A-7)

\*  $P.I < L.L - 30$  ∴ A-7-5

\*  $P.I > L.L - 30$  ∴ A-7-6



#200 < 35 %

في حالة التربة (الخسنة) ..

يتم تصنيف عن طريق (Table)

Sieve No.	A-1-a	A-1-b	A-3	A-3
10 #	50 Max	-	-	يتم استخدام chart.
40 #	30 Max	50 Max	51 Min	
200 #	15 Max	25 Max	25 Max	35 Max
P.I	6 Max	6 Max	N.P	

Max: لا يزيد

Min: لا يقل

لا بُد من تحقيق جميع شروط نوع التربة كلها ، فإذا لم يتحقق واحد يتم البحث عن النوع التالي - يعني أي ؟

Ex (1):-

S.N	10	40	200
%P	30	20	10

#10 → Max. 50 → 30 ✓

#40 → 30 Max → 20 ✓

#200 → 15 Max → 10 ✓

∴ A-1-a

Ex (2):-

S.N	10	40	200
%P	60	40	10

في [A-1-a] هلافة مبيحة في (A-1-a)

شروط واحد #200 → 15 Max

∴ نشوف النوع التالي

#10 → ملوش شرط

#40 → 50 Max → 40 ✓

#200 → 25 Max → 10 ✓

∴ A-1-b

Ex (3):-

S.N	10	40	200
%P	60	55	20

هلافة مبيحة في (A-1-a)

ولا (A-1-b)

∴ نشوف النوع الثالث

#10 → ملوش شرط

#40 → 51 Min → 55 ✓

#200 → 25 Max → 20 ✓

∴ A-3

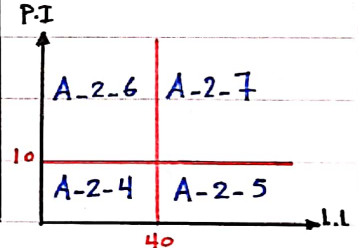
Ex (4):-

S.N	10	40	200
%P	60	55	30

هلافة مشدقة في (A-2)

#200 → 35 Max → 30 ✓

∴ نستخدم (chart)



■ Group Index (G.I):-

يُعرف بمعامل المجموعة وهو رقم يستخدم لتقييم مدى جودة وحلالية تربة التأسيس وتتراوح بين (0~20).

$$G.I = 0.2a + 0.005 a.c + 0.01 b.d$$

• a : (% Pass #200) - 35 = (0~40)

• b : (% Pass #200) - 15 = (0~40)

• c : L.L - 40 = (0~20)

• d : P.I - 10 = (0~20)

G.I	Soil as sub grade	التعديل على التربة
0	Excellent	لتسوية فقط
1	Good	لتسوية مع دملك خادك
2~4	Fair	لتسوية بجهود ودملك عالي
5~9	Poor	تحسين
10~20	Very Poor	إحلال وتحسين





## • Advantages and Disadvantages of (AASHTO):

Dis advantages للعيوب

1. تعتمد على تجارب قياسية

2. لا تأخذ في الاعتبار قوة انضغاط التربة

3. التصنيف غير واضح حيث يصعب عن نوع التربة لرموز

Advantages للمميزات

1. طريقة سهلة ومباشرة في التصنيف

2. تعتمد على عدد محدود من التجارب البسيطة

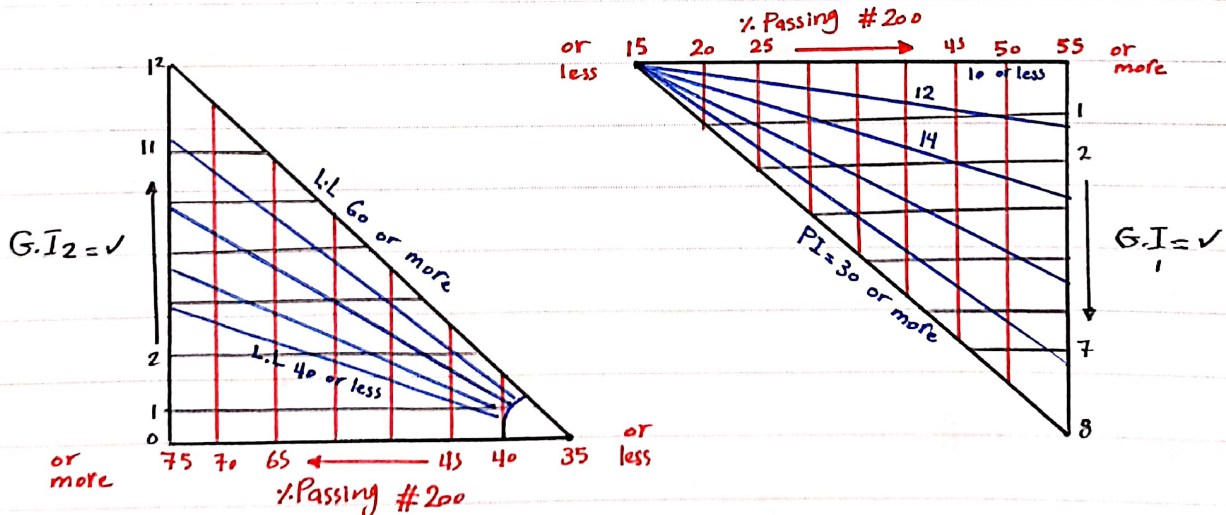
3. التنبؤ بسلوك التربة في حالة استخدامها لتربة تأسيس

## • Description of groups of soil:

نوع التربة	المكونات	ملاحظة الاستخدام لتربة تأسيس	عدد الدمك المناسب
A-1-a	كسرا حجار أو زلط	جيدة التأسيس	المراسن إهزازية
A-1-b	مزل خشن	جيدة التأسيس	
A-3	مزل صخر ناعم	جيد التأسيس	المراسن إهزازية
A-2	تربة خشنة بلا بعض المواد الناعمة	جيدة التأسيس بشرط قلة المواد الناعمة	أو المطاطية أو
A-4	طين (silt) يمر 70% من #200	جيد التأسيس بشرط الدمك الكافي	الحديدية
A-5	طين يحتوي على مواد مطاطية	لا تفضل كطبقة تأسيس	المراسن المطاطية أو الحديدية
A-6	طين لدن Plastic clay	سيئة التأسيس	هياكل حوافر الختم
A-7	طين ذو سيولة عالية	سيئة جداً في التأسيس	

• يمكن إيجاد قيمة ال (G.I) من (Chart) مباشرة عن طريق  
L.L ، P.I ، % Passing # 200 كالآتي :- وغالباً الآلة توربيجل بيكر

ملاحظة



$$G.I. = \boxed{\checkmark} = \boxed{\checkmark} + \boxed{\checkmark}$$

ال (Chart) مبطنة

(1A) في الجداول



## ■ Measuring subgrade soil strength :- قياس قدرة تحمل التربة .

• Factors affecting the soil strength :- للعوامل المؤثرة على مقاومة التربة .

١. حجم حبيبات التربة (Soil Particle size) .  
← كلما زادت حجم الحبيبات كلما زادت قدرة تحمل التربة .
٢. الكثافة الطبيعية (Bulk Density) .  
← تزداد قوة التربة بزيادة الكثافة وذلك عن طريق الدك .
٣. محتوى الرطوبة (Moisture Content) .  
← تزداد قوة التربة مع نقص محتوى الرطوبة .
٤. النفاذية (Permeability) .  
← تزداد قوة التربة بزيادة النفاذية .
٥. الشكل الداخلي للحبيبات (Internal soil structural) .  
← تزداد قوة التربة عن طريق دك حبيباتها .

## • Types of test used to measure soil strength :-

1. Shear test (Triaxial shear test)
2. Bearing test (Plate loading test)
3. Penetration test (CBR test) // المقعر على نابي
4. Cyclic test.

## ■ Penetration test :-

### ♦ California Bearing ratio (CBR) :- «lab test»

- عبارة عن النسبة بين قوة التربة المدروسة وقوة التربة القياسية .
- عبارة عن النسبة بين الضغط اللازم للحصول على إختراق معين داخل التربة المدروسة والضغط اللازم للحصول على نفس الإختراق على عينة قياسية .
- يستخدم الحكم على صلاحية التربة للتأسيس .

### للخوض من الاختبار

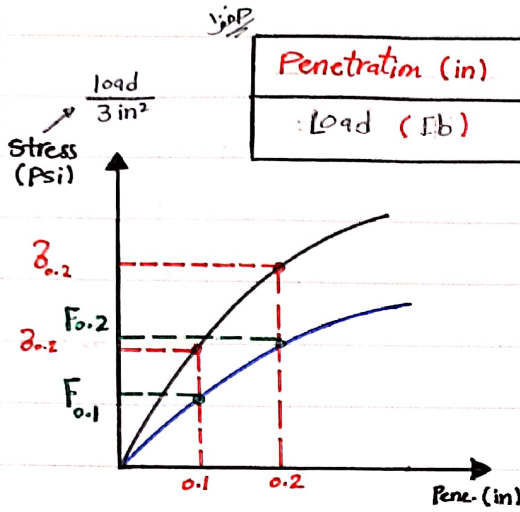
١. معرفة مدى صلاحية التربة المدروسة للإستخدام في طبقات الرصف وكذلك تصنيفها .
٢. تحديد سماكات الرصف المختلفة عن طريق معادلات ومنحنيات خاصة  
بـ الرصف المرص .





• أن هناك قيم قياسية لغز مكبس جهاز الـ (CBR) في كسر الحجر القياسية (Crushed Stone).

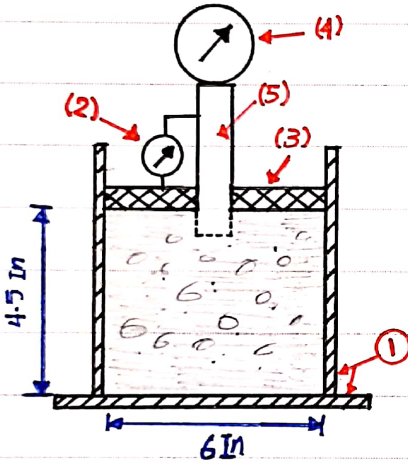
### فكرة الاختبار



Penetration (in)	0.1	0.2	0.3	0.4
Load (lb)	1000	1500	1900	2300

• يتم عمل نفس الاختبار للتربة بدراسة لمراد تحديد نسبة تحمل كاليفورنيا وحساب النسبة بين الأجهاد اللانم لعمل قيمة اختراق معين في التربة والإجهاد القياسي لعمل نفس الاختراق في عينة كسر الحجر لقياس.

### مكونات الجهاز



1. Cylindrical mould (6" \* 4.5")
2. Deflection Dial
3. surcharge weight to simulate The weight of The Pavement.
4. Pressure gauge
5. Piston (3 in²)

### خطوات الاختبار

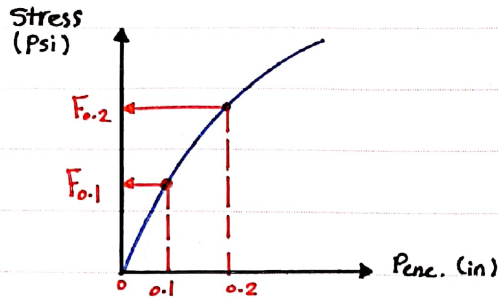
1. يتم عمل اختبار بروكتور بعد عمل عينة من التربة وتحديد (W.C) الأمثل.
2. يتم دملك عينة من التربة بعد إضخافة (W.C) باستخدام طاقة الدمك المحدد.
3. وزن المطرقة (10 رطل) السقوط (18 بوصة) 5 طبقات 55% خربة / طبقة.
4. لمدة 4 أيام تغرس العينة في الماء، ثم يتم إخراجها وتركها لتجف في الهواء لمدة 10 دقيقة.
5. يتم اختبار العينة في جرد (CBR) ويكون معدل الاختراق للمكبس 0.05 بوصة / دقيقة.
6. يتم أخذ قراءات بمعدل الاختراق ثابت.

Penetration (in)	0.025	0.05	0.075	0.1	0.2	0.3	→
Stress (Psi)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	→

• إذا كانت قراءات الحمل مطاعة (load)  $I_b \checkmark =$  يتم تحويلها إلى إجابات بوحدة (Psi)  $(I_b \text{ in}^2)$  بقسمة الـ (load) على  $(3 \text{ in}^2)$  وهي مساحة مكبس الاختبار القياسي.



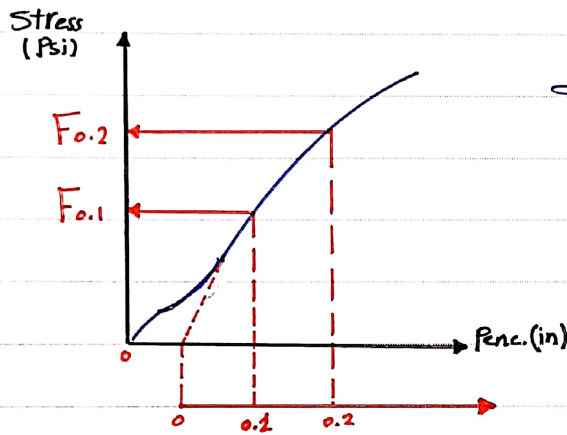
٦- رسم المنحنى « علاقة بين ال (Penetration) لمحور أفقى وال (stress) لمحور رأسى  
ويأخذ ثحد الشكلىن الاتىين :-



✓ نأخذ قىم ال (stress) لىقابل لـ (Penetration) اىباشرة  
دون الحاجة إلى عمل تصحيح .

$$\therefore CBR_{0.1} = \frac{F_{0.1}}{1000} \text{ or } \frac{Load (P_{0.1})}{3000}$$

$$\therefore CBR_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{1500} \text{ or } \frac{Load (P_{0.2})}{4500}$$



•• الشكل الثانى :-

✓ يتم تصحيحة بعمل مماس للمنحنى عند نقطة الانقلاب  
ثم رسم محور جدي يوازئ لمحور الأفقى يبدأ من  
من نقطة تقاطع المماس مع المحور الأفقى القديم .

$$\therefore CBR_{0.1} = \frac{F_{0.1}}{1000} \text{ or } \frac{P_{0.1}}{3000}$$

$$\therefore CBR_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{1500} \text{ or } \frac{P_{0.2}}{4500}$$

- $CBR_{max}$  تعبر عن قىمة (CBR) لطبقة ال (subgrade)
- من المفروض  $CBR_{0.1} > CBR_{0.2}$  لكن تكون التجربة صحيحة وإذا لم تكن يتم إعادة التجربة معملياً مرة أخرى على الأقل .





- ① • Classify The following soil according to (AASHTO) Classification system, determine Their Group index and comment about Their Probable use as sub grade.

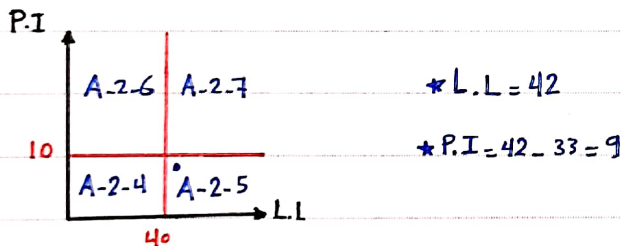
S.N % Pass.	No. 10	No. 40	No. 200	L.L	P.L
Soil (A)	-	55	30	42	33
Soil (B)	100	96	85	35	15

★ Solution ★

• For Soil (A) :-

% Passing #200 = 30 %  $\therefore < 35$  %  
 $\therefore$  Coars soil  $\therefore$  use table.

S.N	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2
#10	50 Max	-	-	-
#40	30 Max	50 Max	51 Min	-
#200	15 Max	25 Max	10 Max	35 Max



$\therefore$  Soil is (A-2-5)

$$G.I = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd$$

$$\checkmark a = 30 - 35 = \text{Zero}$$

$$\checkmark b = 30 - 15 = 15$$

$$\checkmark c = 42 - 40 = 2$$

$$\checkmark d = 9 - 10 = \text{Zero}$$

$$\therefore G.I = \text{Zero}$$

$\therefore$  The soil A-2-5 (0)

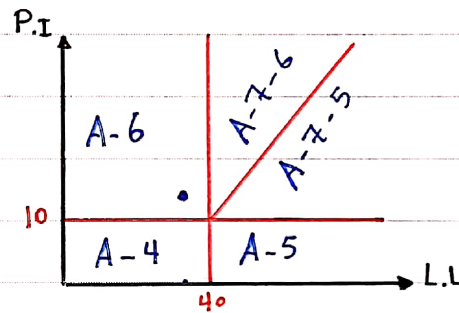
$\therefore$  Excelent as sub grade.

• For Soil (B) :-

% Passing #200 = 85 %  $> 35$  %  
 $\therefore$  Fine soil  $\therefore$  use Chart.

$$* L.L = 35$$

$$* P.I = 35 - 15 = 20$$



$\therefore$  Soil is (A-6)

$$G.I = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd$$

$$\checkmark a = 85 - 35 = 40$$

$$\checkmark b = 85 - 15 = 40$$

$$\checkmark c = 35 - 40 = 5$$

$$\checkmark d = 20 - 10 = 10$$

$\therefore$  The soil (A-6) (7)

$\therefore$  Very Poor as sub grade.

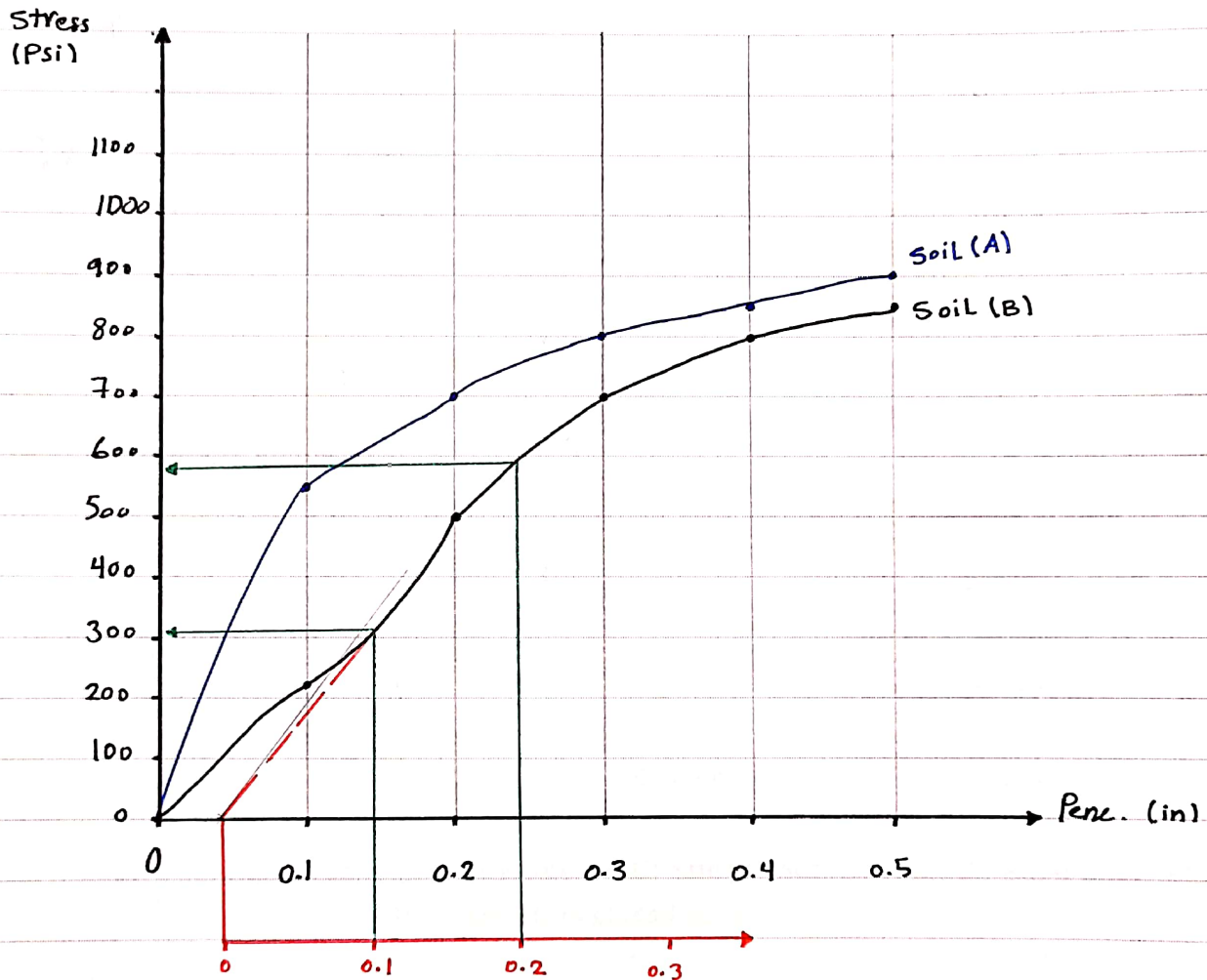
(12) من المنهج



② • Find The California bearing ratio (C.B.R) for The following two soils :-

Penetration (in)		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Stress	Soil (A)	550	700	800	850	900
Ib/in <sup>2</sup>	Soil (B)	210	500	700	800	850

★ Solution ★



• For Soil (A):-

$$CBR_{0.1} = \frac{550}{1000} \times 100 = 55\%$$

$$CBR_{0.2} = \frac{700}{1500} \times 100 = 47\%$$

$$\therefore CBR_{\text{Soil (A)}} = 55\%$$

• For Soil (B):-

$$\therefore CBR_{0.1} = \frac{320}{1000} \times 100 = 32\%$$

$$\therefore CBR_{0.2} = \frac{590}{1500} \times 100 = 39\%$$

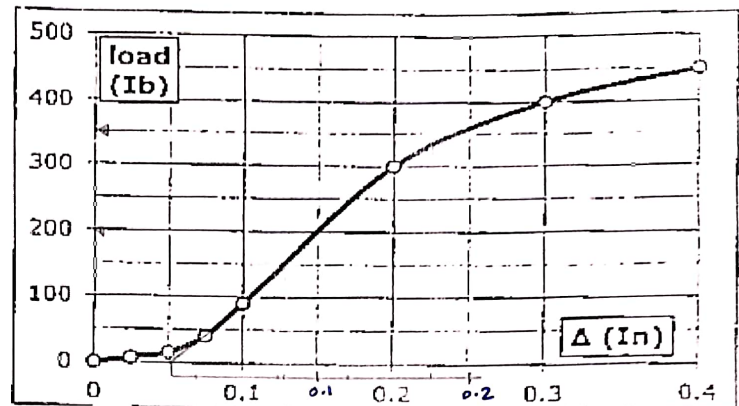
$$\therefore CBR_{0.2} > CBR_{0.1}$$

∴ يجب أخذ التجربة مرة أخرى على الأقل وتأخذ الأكبر.





- 3 The figure represents a result for the CBR test, determine the following:



- 45 Is the curve needs correction?  
A: No B: Yes C: -- D: --
- 46  $CBR_{0.1} =$   
A: 6.6 % B: 6 % C: 5 % D: 3.3 %
- 47  $CBR_{0.2} =$   
A: 5 % B: 8 % C: 6 % D: 6.6 %
- 48 Is the test needs to be repeated?  
A: Yes B: No C: May be D: --
- 49 The CBR value of the soil is  
A: 6.6 % B: 6 % C: 8 % D: 3.3 %
- 4 Soil A of  $P_{40} = 55 \%$ ,  $LL = PL = 0$  is classified as  
A: A-6 B: A-1-b C: A-4 D: A-3
- 51 Volume change characteristics of soil A is  
A: Slight B: None C: High D: Medium
- 52 Rating of soil A as subgrade is  
A: Excellent B: Good C: Fair D: Poor
- 53 The suitable roller for soil A is  
A: Vibrators B: Smooth Wheel C: Sheep foot D: Pneumatic wheel
- 54 Soil B of  $P_{200} = 55 \%$ ,  $LL = 40$ ,  $PL = 20$  is classified as  
A: A-6 B: A-1-b C: A-4 D: A-3
- 55 Rating of soil B as subgrade is  
A: 6 B: 7 C: 6.5 D: 8
- 56 GI of soil B =  
A: Excellent B: Good C: Fair D: Poor



**Example**

Classify each of following material according to AASHTO classification method and describe each in detail estimating their probable behavior for subgrade ?

Seives	%passing Soil A	%passing Soil B	%passing Soil C	%passing Soil D	%passing Soil E
#NO. 19 mm	100	100	93	100	100
#NO. 12 mm	100	98	76	100	100
#NO. 4.75 mm	93	85	43	85	94
#NO.(10) 2 mm	97	95	49	100	100
#NO.(40) 0.425 mm	90	60	39	78	74
#NO.(200) 0.075 mm	70	10	6	52	31
L.L	29	N.P	N.P	48	41
P.L	25	N.P	N.P	36	23

**For soil A**

# passing NO. 200 = 70% > 35      fine soil

(A-4, A-5, A-6, A-7)

طالما التربة ناعمة ندخل ب حد السيولة ومجال اللدونه مباشره

L.L = 29 ,    P.I = 29 - 25 = 4

L.L = 29      soil is (A-4 OR A-6)

PI = 4      soil is ( A-4 )

$$G.I = 0.2 a + 0.005 ac + 0.01 bd$$

a = %passing #200 - 35 = 70 - 35 = 35

b = %passing #200 - 15 = 70 - 15 = 55      take it = 40

c = L.L - 40 = 29 - 40 = -11      take it = 0

$$d = P.I - 10 = 4 - 10 = -6$$

take it = 0

$$G.I = 0.2 * 35 + 0.005 * 35 * 0 + 0.01 * 40 * 0 = 7$$

التربه (A-4) ضعيفه كثره تاسيس

**For soil B**

# passing NO. 200 = 10% < 35      Coarse soil

( A-1, A-3, A-2 )

# passing NO. 10 = 95% > 50%      soil is not A-1-a

# passing NO. 40 = 60% > 50%      soil is not A-1-b

# passing NO. 200 = 10% ≤ 10%      and N.P

SOIL IS A - 3

$$G.I = 0.2 a + 0.005 ac + 0.01 bd$$

a = %passing #200 - 35 = 10 - 35 = -25      take it = 0

b = %passing #200 - 15 = 10 - 15 = -5      take it = 0

c = L.L - 40      take it = 0

d = P.I - 10      take it = 0

$$G.I = 0.2 * 0 + 0.005 * 0 * 0 + 0.01 * 0 * 0 = 0$$

التربه (A-3) ممتازة كثره تاسيس



**For soil C**

# passing NO. 200 = 6% < 35  
( A-1, A-3, A-2 )

Coarse soil

# passing NO. 10 = 49% < 50% soil may be A-1-a

# passing NO. 40 = 39% > 30% soil is not A-1-a and may be A-1-b

# passing NO. 200 = 6% < 25% may be A-1-b

L.L = NP and P.I = N.P < 6 %

SOIL IS A-1-b

$$G.I = 0.2 a + 0.005 ac + 0.01 bd$$

a = %passing #200 - 35 = 6 - 35 = -29 take it = 0

b = %passing #200 - 15 = 6 - 15 = -9 take it = 0

c = L.L - 40 take it = 0

d = P.I - 10 take it = 0

$$G.I = 0.2 * 0 + 0.005 * 0 * 0 + 0.01 * 0 * 0 = 0$$

التربة ممتازة كثرة تأسيس (A-1-b)

**For soil D**

# passing NO. 200 = 52% > 35 fine soil

(A-4, A-5, A-6, A-7)

طالما التربة ناعمة ندخل ب حد السيولة ومجال اللونه مباشرة او ندخل الى CHART

L.L = 48 , P.I = 48 - 36 = 12%

L.L = 48 soil is (A-5 OR A-7)

PI = 12 soil is ( A-7 )

PI = 12% < L.L-30 = 48-30 = 18 %

SOIL IS (A-7-5)

$$G.I = 0.2 a + 0.005 ac + 0.01 bd$$

a = %passing #200 - 35 = 52 - 35 = 17 (0 - 40)

b = %passing #200 - 15 = 52 - 15 = 37 (0 - 40)

c = L.L - 40 = 48 - 40 = 8 (0 - 20)

d = P.I - 10 = 12 - 10 = 2 (0 - 20)

$$G.I = 0.2 * 17 + 0.005 * 17 * 8 + 0.01 * 37 * 2 = 5$$

التربة ضعيفة كثرة تأسيس (A-7-5)

**For soil E**

# passing NO. 200 = 31% < 35 Coarse soil

( A-1, A-3, A-2 )

# passing NO. 10 = 100% > 50% soil is not A-1-a

# passing NO. 40 = 74% > 50% soil is not A-1-b

# passing NO. 200 = 31% > 10% soil is not A-3

L.L = 41 ≤ 41 and P.I = 41 - 23 = 18% > 11 %

SOIL IS A-2-7

$$G.I = 0.2 a + 0.005 ac + 0.01 bd$$

a = %passing #200 - 35 = 31 - 35 = -4 take it = 0

b = %passing #200 - 15 = 31 - 15 = 16 (0 - 40)

c = L.L - 40 = 41 - 40 = 1 (0 - 20)

d = P.I - 10 = 18 - 10 = 8 (0 - 20)

$$G.I = 0.2 * 0 + 0.005 * 0 * 1 + 0.01 * 16 * 8 = 2$$

التربة مقبولة كثرة تأسيس (A-2-7)

**Example**

Classify each of following material according to AASHTO classification method and describe each in detail estimating their probable behavior for subgrade.?

Seives % passing	#4	#10	#40	#100	#200	L.L	P.I
Soil A	90	75	55	30	8	-	N.P
Soil B	85	76	61	60	41	50	20

**Solution****For soil A**

# passing NO. 200 = 8% < 35      Coarse soil

(A-1, A-3, A-2)

# passing NO. 10 = 75% > 50%      soil is not A-1-a

# passing NO. 40 = 55% > 50%      soil is not A-1-b

# passing NO. 200 = 8% < 10%      soil may be A-3 or A-2

L.L = N.P      and      P.I = N.P

**SOIL IS A-3**

$$G.I = 0.2 a + 0.005 ac + 0.01 bd$$

$$a = \% \text{passing } \#200 - 35 = 8 - 35 = -27 \quad \text{take it} = 0$$

$$b = \% \text{passing } \#200 - 15 = 8 - 15 = -7 \quad \text{take it} = 0$$

$$c = L.L - 40 \quad \text{take it} = 0$$

$$d = P.I - 10 \quad \text{take it} = 0$$

$$G.I = 0.2 * 0 + 0.005 * 0 * 0 + 0.01 * 0 * 0 = 0$$

التربة (A-3) ممتازة كثرة تأسيس

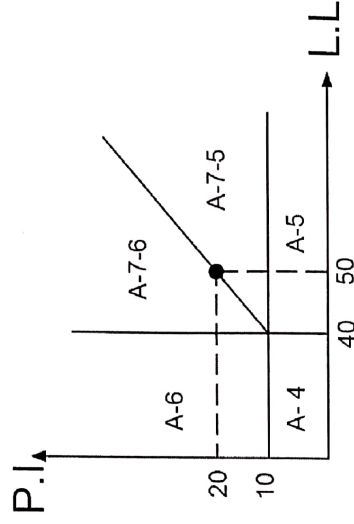
معدة الدمك الهراسات الهزازة او العجل الكاو تش او العجل الحديدي

**For soil B**

# passing NO. 200 = 41% > 35      fine soil

(A-4, A-5, A-6, A-7)

تدخل الـ Chart



$$P.I. = 20$$

$$L.L. - 30 = 50 - 30 = 20$$

$$P.I. \leq L.L. - 30$$

**SOIL IS A-7-5**

$$G.I = 0.2 a + 0.005 ac + 0.01 bd$$

$$a = \% \text{passing } \#200 - 35 = 41 - 35 = 6 \quad (0 - 40)$$

$$b = \% \text{passing } \#200 - 15 = 41 - 15 = 26 \quad (0 - 40)$$

$$c = L.L. - 40 = 50 - 40 = 10 \quad (0 - 20)$$

$$d = P.I. - 10 = 20 - 10 = 10 \quad (0 - 20)$$

$$G.I = 0.2 * 6 + 0.005 * 6 * 10 + 0.01 * 26 * 10 = 4.1 \quad \text{Take it} = 4$$

التربة (A-7-5) ضعيفة كثرة تأسيس

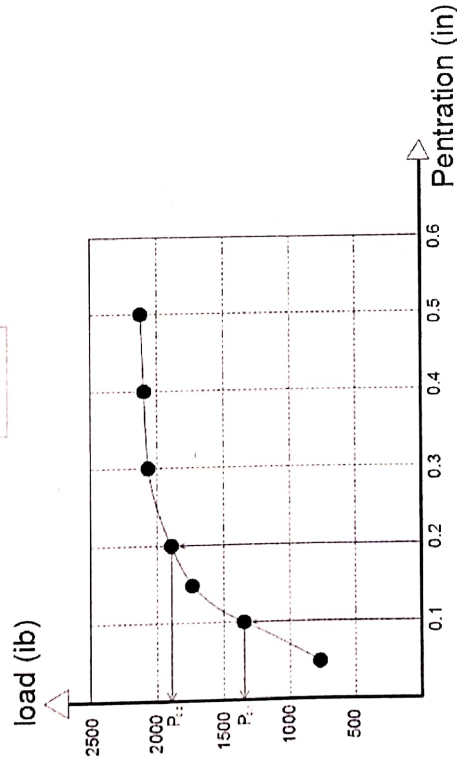
معدة الدمك هراسات حوافر الختم



**Example**

Evaluate CBR value for the soil with the following results?

Penetration (inch)	0.05	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5
Load (lb)	750	1325	1670	1835	2050	2100	2150

**Solution**

المنحنى لا يحتاج للتصحيح لأنه لا يوجد جزء مقعر في بداية المنحنى

$$CBR_{0.1} = \frac{P_{0.1}}{3000} * 100 = \frac{1325}{3000} * 100 = 44.2 \%$$

$$CBR_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{4500} * 100 = \frac{1835}{4500} * 100 = 40.8 \%$$

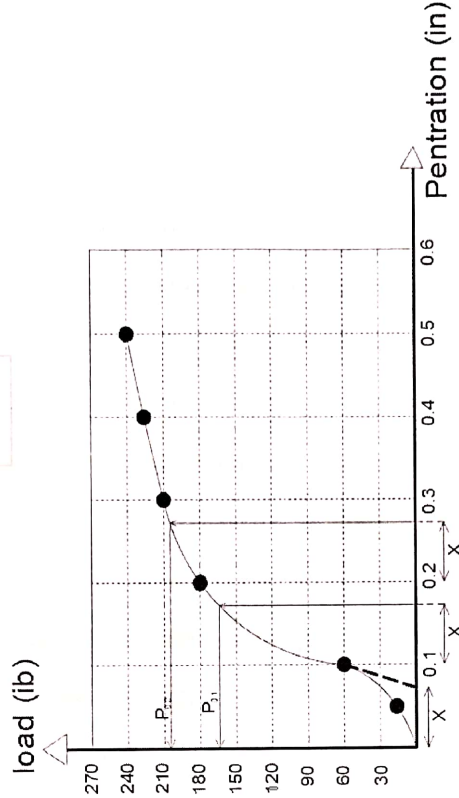
$$CBR_{0.1} > CBR_{0.2}$$

$$CBR = 44.2 \%$$

**Example**

Evaluate CBR value for the soil with the following results?

Penetration (inch)	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Load (lb)	15	60	180	210	225	240

**Solution**

نح تصحيح المنحنى لأنه يوجد جزء مقعر في بداية المنحنى

From graph :  $P_{0.1} = 162 \text{ lb}$  ,  $P_{0.2} = 205 \text{ lb}$

$$CBR_{0.1} = \frac{P_{0.1}}{3000} * 100 = \frac{162}{3000} * 100 = 5.4 \%$$

$$CBR_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{4500} * 100 = \frac{205}{4500} * 100 = 4.55 \%$$

$$CBR_{0.1} > CBR_{0.2}$$

$$CBR = 5.4 \%$$

Q Put (✓) or (X) :-

1. In AASHTO classification method, soil is classified based on its drainage condition (X)
2. " " " " depended on <sup>Standard</sup> advanced test (X)
3. The soil with  $P.I = 6$  is a non-plastic soil (X)
4. Atterberg limits test are done on material that passing sieve No. 40 (✓)
5. In AASHTO classification method, <sup>silty-clay soil</sup> granular soil has 40% passing from #200 (X)
6. The higher the G.I of a soil, the higher its stability as a subgrade (X)
7. Soil type (A-1-b) consists of coarse sand compacted using <sup>vibrators</sup> rollers (X)
8. AASHTO classification method depends on simple test (✓)
9. " " " " <sup>loose</sup> compacted soil sample properties (X)
10. soil type (A-1-a) consists of gravel or crushed stones (✓)
11. Soil with smaller GI more stability as subgrade (✓)
12. Consistency limits depend on soil #40 (✓)
13. Soil type (A-1-b) consists of <sup>coarse sand</sup> gravel and crushed stones (X)
14. CBR test is <sup>Lab</sup> Field test (X)
15. CBR test is conducted with loading (0.05) in/min (✓)
16. Strength of soil increased as the internal friction increase (✓)







# Highway Engineering

هندسة الطرق

## الباب الثامن

### SOIL COMPACTION



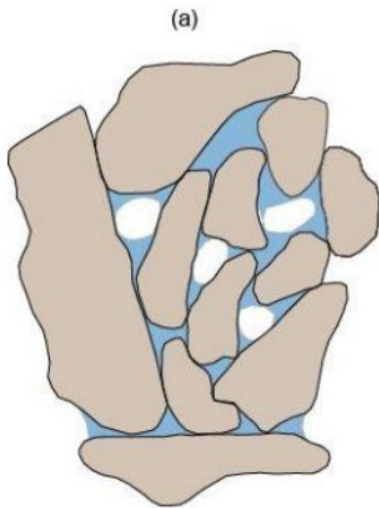


# SOIL COMPACTION

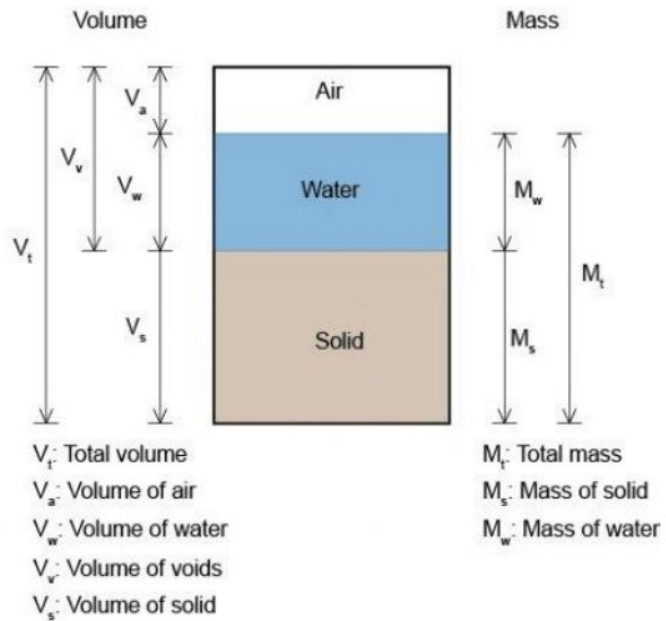
## دمك التربة

### ❖ Introduction:

- **الدمك** عبارة عن عملية تكثيف التربة أو زيادة الكثافة الجافة للتربة وذلك عن طريق تقليل نسبة الفراغات في التربة نتيجة خروج الهواء وإعادة ترتيب حبيباتها مرة أخرى ويمكن الحصول عليها صناعياً بأحد الوسائل الميكانيكية مثل الدك بالمندلة أو الهرس بالهرايسات.



- Water
- Solid particle
- Air



### ❖ Purpose of Compaction:

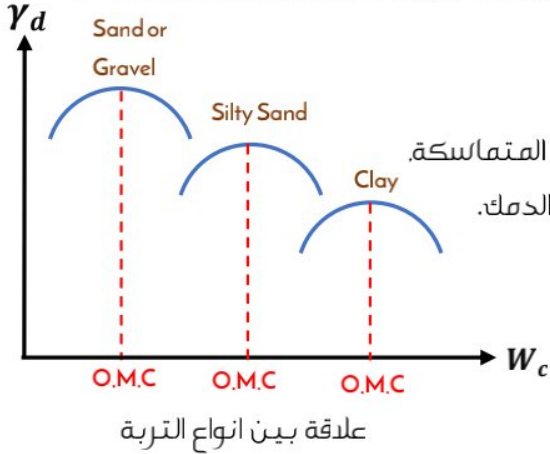
- الغرض من عملية الدمك هو:
  - ١- زيادة قدرة تحمل التربة للإجهادات.
  - ٢- تقليل النفاذية تبعاً لتقليل نسبة الفراغات.
  - ٣- تقليل الهبوطات والفروق بينها تحت تأثير أحمال المرور المتكررة.
  - ٤- الزيادة في عامل الأمان ضد انزلاقات التربة.
  - ٥- التحكم في التغيرات الحجمية للتربة من حيث الانكماش والانتفاش.







## ❖ Factors Affecting Compaction:



• تتوقف حالة الدمك على العوامل التالية:

١- نوع التربة Soil Types :

- ✓ عملية الدمك تعطي نتائج افضل في التربة غير المتماسكة عن التربة المتماسكة.
- ✓ كلما زادت خشونة التربة كلما زادت الكثافة الجافة مع ثبوت طاقة الدمك.

NOTE:

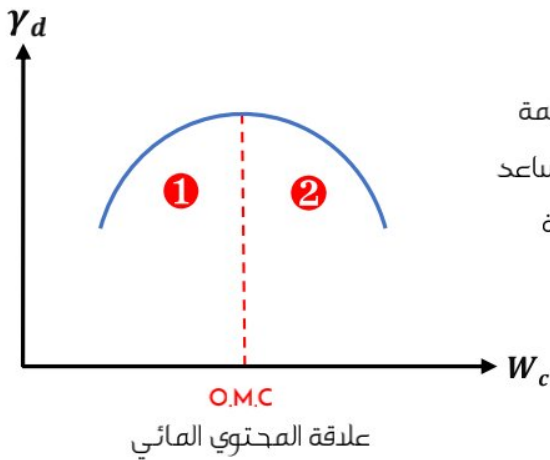
لملاحظة

Optimum Moisture Content محتوي الرطوبة المثالي

- Sand or Gravel (4-10)%
- Silty Clay (8-14)%
- Clay (14-20)%

٢- المحتوي المائي Water Content

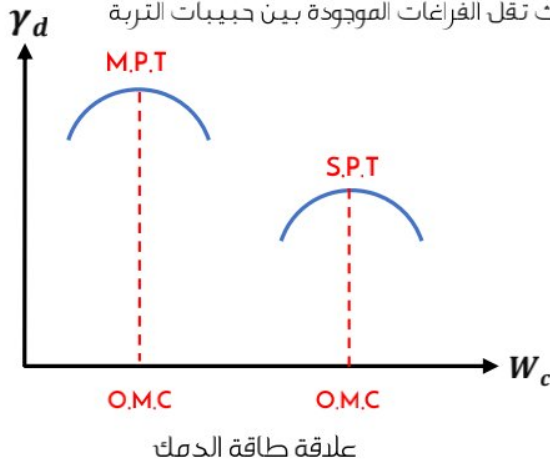
- ✓ (1) بزيادة المحتوى المائي تزداد الكثافة الجافة حتى تصل لأقصى قيمة عند المحتوى المائي الأمثل حيث تجد ان المياه تعمل كمادة لينة تساعد على انزلاق الجسيمات على بعضها مما يساعد على زيادة كثافة التربة
- ✓ (2) بزيادة المحتوى المائي عن محتوى الرطوبة الأمثل تقل الكثافة الجافة لان المياه تشغل حجم كبير من الفراغات تعمل على حبس الهواء وزيادة حجمها وبالتالي نقص كثافتها.



٣- طاقة الدمك Compaction Energy

- ✓ هي الجهد المبذول للدمك
- ✓ في العمل يعبر عنها بعدد الضربات لكل نوع من الاختبارات المعملية
- ✓ في الحقل يتوقف على نوع الهراس وعدد المشاوير.

✗ تغيير مقدار الطاقة الدامكة على تربة معينة له تأثير كبير على خصائص دمك هذه التربة وكلما زاد مقدار الطاقة الدامكة زادت الكثافة الجافة وقلت نسبة الرطوبة المثلي. ويلحظ ان زيادة مقدار الطاقة الدامكة لا تسبب زيادة قيم الكثافة الجافة فقط بل تؤدي لزيادة مقاومة قص وتحمل التربة وتقلل من نفاذيتها للماء حيث تقل الفراغات الموجودة بين جسيمات التربة المدموكة



NOTE:

لملاحظة

$$E = \frac{M \times H \times N \times n}{V}$$

M : وزن المطرقة  
H : ارتفاع السقوط  
N : عدد الطبقات  
n : عدد الضربات

- **S.P.T:** Standard Proctor Test
- **M.P.T:** Modified Proctor Test

✓ عبارة عن اختبارات معملية لتعين الدمك سيتم بشرحه لاحقا.





## ❖ Laboratory Compaction Test:

- يتم اختبار عملة الدمك في المعمل بطريقتين:

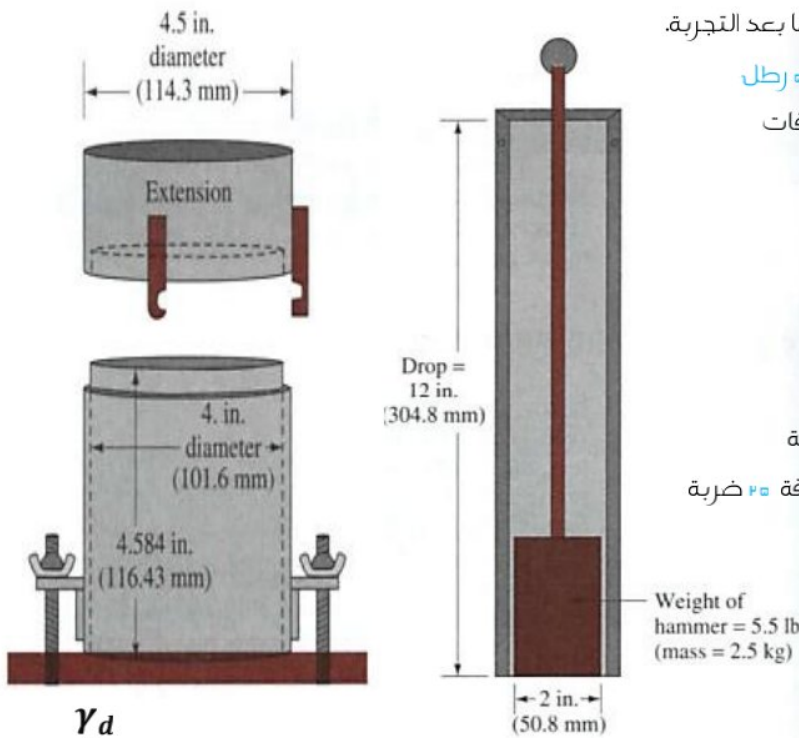
١- اختبار بروكتور القياسي **Standard Proctor Test**

٢- اختبار بروكتور المعدل **Modified Proctor Test**

الغرض من اختبار عملية الدمك في المعمل هو إيجاد أقصى قيمة للكثافة الجافة في المعمل وذلك لمعرفة مدى كفاءة الدمك في الموقع.

### 1- STANDARD PROCTOR TEST.

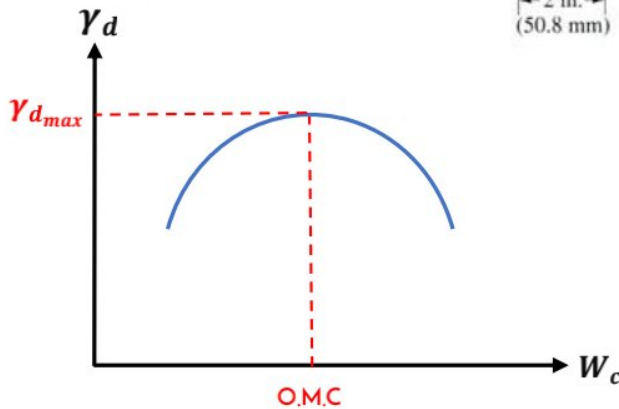
- يطلق عليها أحيانا تجربة بروكتور فقط نسبة الي واضعها وتعرف حاليا بتجربة **AASHTO** وتتلخص في دمك التربة على ثلاث طبقات متساوية في قالب أسطواني حجمه  $\frac{1}{30} Ft^3$  أي  $944 cm^3$  وقطرة ٤ بوصة وارتفاعه ٤.٥٨٤ بوصة له امتداد على شكل طوق يمكن رفعة ٢.٤ بوصة وله قاعدة يمكن تثبيت قالب فيها وفكه منها بعد التجربة.



- يستعمل في الدمك مدق أسطواني قطره ٢ بوصة ووزنه ٥ رطل ويسقط حرا من ارتفاع ١٢ بوصة وتلك كل طبقة من الطبقات الثلاثة ٢.٥ مرة موزعة بالتساوي على السطح.

### خطوات التجربة:

- ١- يتم وزن قالب الدمك فارغ  $W_1$
- ٢- احضار عينة من تربة جافة من منخل رقم ٤
- ٣- يتم تجفيف العينة
- ٤- يتم وضع كمية مناسبة من المياه تتوقف على نوع التربة
- ٥- يتم وضع التربة في القالب على ٣ طبقات ودمك كل طبقة ٢.٥ ضربة
- ٦- يتم وزن القالب بالتربة  $W_2$
- ٧- يتم حساب الكثافة الطبيعية  $\gamma_b = \frac{W_2 - W_1}{Volume}$
- ٨- يتم اخذ عينة من الماء وحساب المحتوى المائي لها  $W_c = \frac{W_{water}}{W_{soil}}$
- ٩- يتم حساب الكثافة الجافة للتربة  $\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + W_c}$
- ١٠- يتم رسم علاقة بين  $W_c$  و  $\gamma_d$  بعد تكرار التجربة على خمس عينات اخري بنسب مياه مختلفة
- ١١- يتم استنتاج  $\gamma_d$  العملية وكذلك O.M.C



$\gamma_d$								
$W_c$								







## 2- MODIFIED PROCTOR TEST.

- تعرف بتجربة الدمك المعدل وقد عدلت التجربة القياسية لتعطي طاقة أكبر للدمك تتفق مع طاقة الدمك لوسائل الدمك الحقلية المتطورة لتحقيق احتياجات دمك التربة لأعمال المطارات وفي هذه التجربة فإن القالب الاسطواني المستعمل في اجراء التجربة المعدلة هو نفس القالب المستعمل في اجراء التجربة القياسية الا ان التربة يتم دمكها على خمس طبقات متساوية بمدق وزنة ١٠ رطل وسقوط ١٨ بارترفاع بوصة.
- الجدول التالي يوضح الفرق بين طاقة الدمك المستعملة في كل من التجريبتين القياسية والمعدلة:

Points	STANDARD PROCTOR TEST	MODIFIED PROCTOR TEST
Mold Size	$1/30 \text{ Ft}^3$	$1/30 \text{ Ft}^3$
Drop Height	12 in	18 in
Weight of Hammer	5.5 lb	10 lb
Number of Layers	3 Layers	5 Layers
Number of Blows	25 blow/ Layer	25 blow/ Layer
Energy	12375 ft. lb/ft <sup>3</sup>	56250 ft. lb/ft <sup>3</sup>
Using	طرق النقل الخفيف والطرق الفرعية	طرق النقل الثقيل والمطارات

### ❖ Field Compaction Test:

- يتم اختبار عملة الدمك في الموقع بعدة طرق:
  - ١- طريقة المخروط الرملي Sand Cone Test
  - ٢- طريقة الحلقة القاطعة Core Cutter Test
  - ٣- طريقة النزاحة بالماء Volumenometer Test
  - ٤- طريقة البالون الكاوتش Rubber Balloon Test
- الغرض من اختبار الدمك في الموقع هو تحديد مدي جودة الدمك في الموقع حيث يلزم تعيين الكثافة الجافة والمحتوي المائي للتربة بالاختبارات السابقة وسيتم شرح الطرق الأكثر استعمالاً.

## 1- SAND CONE TEST.

- يستعمل في هذه الطريقة جهاز أسطواني مكون من غرفتين بينهما حاجز به ثقب قطرة نصف بوصة ويمكن فتحة وغلقه حسب الحاجة بمكبس خاص. وقطر الأسطوانة الداخلي  $4\frac{1}{2}$  بوصة وارتفاعه حوالي ١٥ بوصة.

### 👉 الأدوات المستخدمة:

- ١- أسطوانة مملوءة برمل قياسي
- ٢- مخروط معدني
- ٣- قاعدة للجهاز بها ثقب
- ٤- ميزان حساس
- ٥- فرن تجفيف
- ٦- اوعية وأدوات حفر





### خطوات التجربة:

- ١- يتم تسوية الأرض جيدا ثم تثبيت اللوح على الأرض
- ٢- الجفر داخل اللوح واخذ عينة ووضعها في كيس ونحسب وزنها  $W$
- ٣- تجفيف العينة ونحسب وزنها الجاف  $W^-$  ثم تعيين المحتوى المائي  $W_c = \frac{W_{water}}{W_{soil}} = \frac{W - W^-}{W^-}$
- ٤- تعيين وزن الجهاز وبه الرمل القياسي  $W_1$
- ٥- تثبيت الجهاز فوق الفتحة ثم فتح المحبس لينزل الرمل ويملا الحفرة
- ٦- تعيين وزن الجهاز بعد نزول الرمل  $W_2$
- ٧- يتم عمل الحسابات التالية:

$$\rightarrow W_{\text{sand in hole and cone}} = W_1 - W_2$$

$$\rightarrow W_{\text{sand in hole}} = W_{\text{sand in hole and cone}} - W_{\text{sand in cone}}$$

$$\rightarrow V_{\text{soil}} = V_{\text{hole}} = V_{\text{sand in hole}} = \frac{W_{\text{sand in hole}}}{\gamma_{\text{soil}}}$$

$$\rightarrow \gamma_b = \frac{W_{\text{soil}}}{V_{\text{soil}}}$$

$$\therefore \gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + W_c}$$

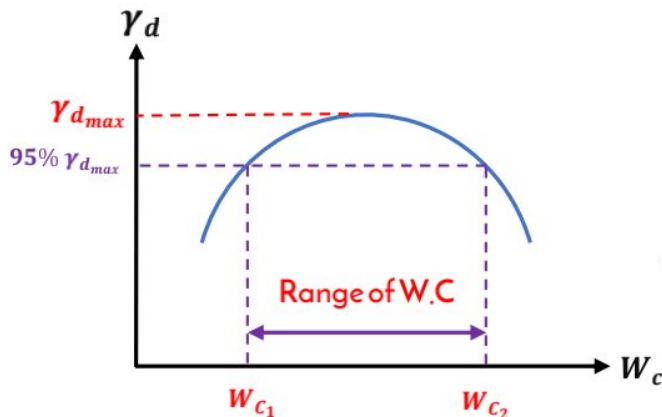
✓ هذا الاختبار يصلح لجميع أنواع التربة.

### الاحتياطات الواجب مراعاتها عند اجراء التجربة:

- ١- يجب عدم لمس اوهز الجهاز اثناء التجربة
- ٢- يجب حفظ العينة المستخرجة من الحفرة في وعاء غير منفذ للمياه
- ٣- إذا كان الاختبار لطبقة الأساس وما تحت الأساس تؤخذ الحفرة بكامل عمق الطبقة المدموكة
- ٤- إذا كان الاختبار لطبقة الأرض الطبيعية تؤخذ الحفرة بعمق ١٥ سم الي ٢٥ سم
- ٥- أي ايجار كبيرة تعود للجهة مرة اخري

### ❖ Relative Compaction (Icompaction):

- يعرف بمعامل الدمك حيث يستخدم للحكم على مدى قبول الدمك في الموقع حيث تنص المواصفات القياسية على ان لا يقل معامل الدمك عن 95%



$$I_c = \frac{\gamma_d \text{ Field}}{\gamma_d \text{ Lap.}} \times 100$$

- ✓ إذا كان الدمك مرفوض ويقع قبل  $W_{c1}$  يتم إضافة مياه وإعادة الدمك
- ✓ إذا كان الدمك مرفوض ويقع بعد  $W_{c2}$  يتم ترك التربة لتجف وإعادة الدمك







## ❖ Compaction in Field:

- يتم الدمك باستخدام وسائل ميكانيكية ترتبط كل منها بنوع التربة المراد دمكها وسمك الطبقة والكثافة المطلوبة، وتختلف هذه المعدات فمنها ما يعتمد على الضغط ومنها ما يعتمد على الاهتزاز والعجن والدك.

### 1- SMOOTH WHEEL ROLLER.



- تسمى بهرالسات الحديد الملساء حيث تتميز ب:

- ✓ تستخدم لدمك التربة الخشنة (الرمل والزلط) ماعدا التربة الصخرية
- ✓ العجلات تغطي التربة تحتها تماماً
- ✓ تعطي ضغط على التربة حوالي  $400kN/m^2$
- ✓ يعتمد في طاقة الدمك على الضغط الستاتيكي
- ✓ يتم الدمك تدريجياً من السطح الي أسفل

### 2- SHEEP FOOT ROLLER.



- تسمى بهرالسات حواف الغنم حيث تتميز ب:

- ✓ تستخدم في دمك التربة اللزجة والتمماسكة (الطين والطيني)
- ✓ مساحة القباقيب تغطي حوالي  $8-12\%$  من مساحة الأسطوانة
- ✓ تعطي ضغط على التربة حوالي  $700 - 1400kN/m^2$
- ✓ يعتمد في طاقة الضغط على العجن والضغط الستاتيكي
- ✓ يتم الدمك تدريجياً من أسفل الي سطحها

### 3- PNEUMATIC RUBBER ROLLER.



- تسمى بالهرالسات المطاطية حيث تتميز ب:

- ✓ تستخدم لجميع أنواع التربة
- ✓ يغطي حوالي  $80\%$  من التربة
- ✓ تعطي ضغط على التربة حوالي  $700kN/m^2$
- ✓ يعتمد في طاقة الضغط على العجن والضغط الستاتيكي
- ✓



#### 4- VIBRATING PLATES.



• تسمي بالهزازات الدامكة حيث تتميز ب:

- ✓ تستخدم لجميع أنواع التربة ماعدا التربة المبللة
- ✓ تستخدم في المساحات الصغيرة
- ✓ يعتمد في طاقة الدمك على الاهتزازات



#### 5- DYNAMIC COMPACTION.





- ① • How Can The Compaction in The field be checked ?  
• How can highway engineering control The quality of compaction in The field?

- ١- يتم تصنيف التربة واقتراح معدة الدمك المناسبة.  
٢- حساب المحتوى المائي الأمثل عند أقصى كثافة جافة.  
← يتم ذلك بإجراء اختبارات معملية.

Compare	Standard Proctor test	or	Modified Proctor test
Mold size	1/30 Ft <sup>3</sup>		1/30 Ft <sup>3</sup>
Drop height	12 in		18 in
W. of hammer	5.5 Ib		10 Ib
No. of layers	3 layers		5 layers
No. of blows	25 blow / layer		25 blow / layer
Energy	12375 ft.lb / ft <sup>3</sup>		56250 ft.lb / ft <sup>3</sup>
Using	طرق لنقل لطيفين وطرق الفرعية .		طرق لنقل الثقيل والطارات .

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + W_c}$$

$$W_c = \frac{W_{water}}{W_{s.d}}$$

- ٣- يتم دمك الطبقات في الموقع بشرط كل طبقة بعد دمك لا تزيد عن ١٥ سم.  
٤- تحديد الكثافة الجافة في الموقع عن طريق إجراء اختبار (sand cone test).  
٥- حساب معامل الدمك (Ic) Relative Compaction لتحديد مدى قبول الدمك

$$I_c = \frac{\gamma_d \text{ Field}}{\gamma_d \text{ Lab.}} \times 100 \quad \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow 90\% \text{ subgrade} \\ \rightarrow 95\% \text{ subbase, base} \\ \rightarrow 97\% \text{ الطارات والحرق المرحية} \end{array} \right.$$

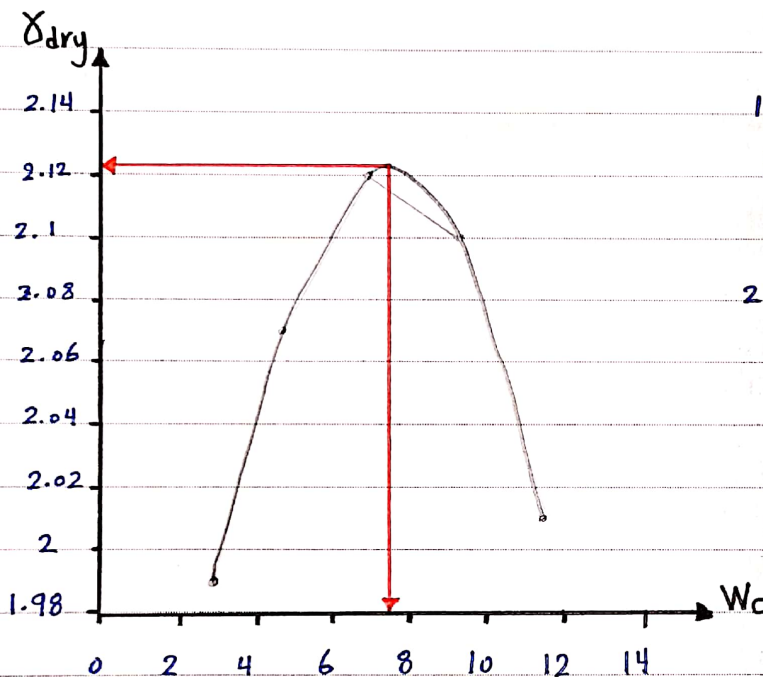


2. in The shown table given The results of standard Proctor test (max. dry density & moisture content) Required:-

1. Max. lab dry density and optimum moisture content
2. if field dry density =  $2.05 \text{ gm/cm}^3$ . Comment on quality of compaction.

Water Content (%)	3.1	4.71	6.79	9.6	11.5
Dry density ( $\text{gm/cm}^3$ )	1.99	2.07	2.12	2.1	2.01

★ Solution ★



1. Max. lab. dry density =  $2.123 \text{ gm/cm}^3$

& optimum moisture content

$$O.M.C = 7.3 \%$$

2. Relative Compaction =  $\frac{\gamma_{dF}}{\gamma_{dL}} \times 100$

$$R.C = \frac{2.05}{2.123} \times 100 = 96.56 \%$$

$$R.C > 95 \%$$

∴ Accepted level of compaction.





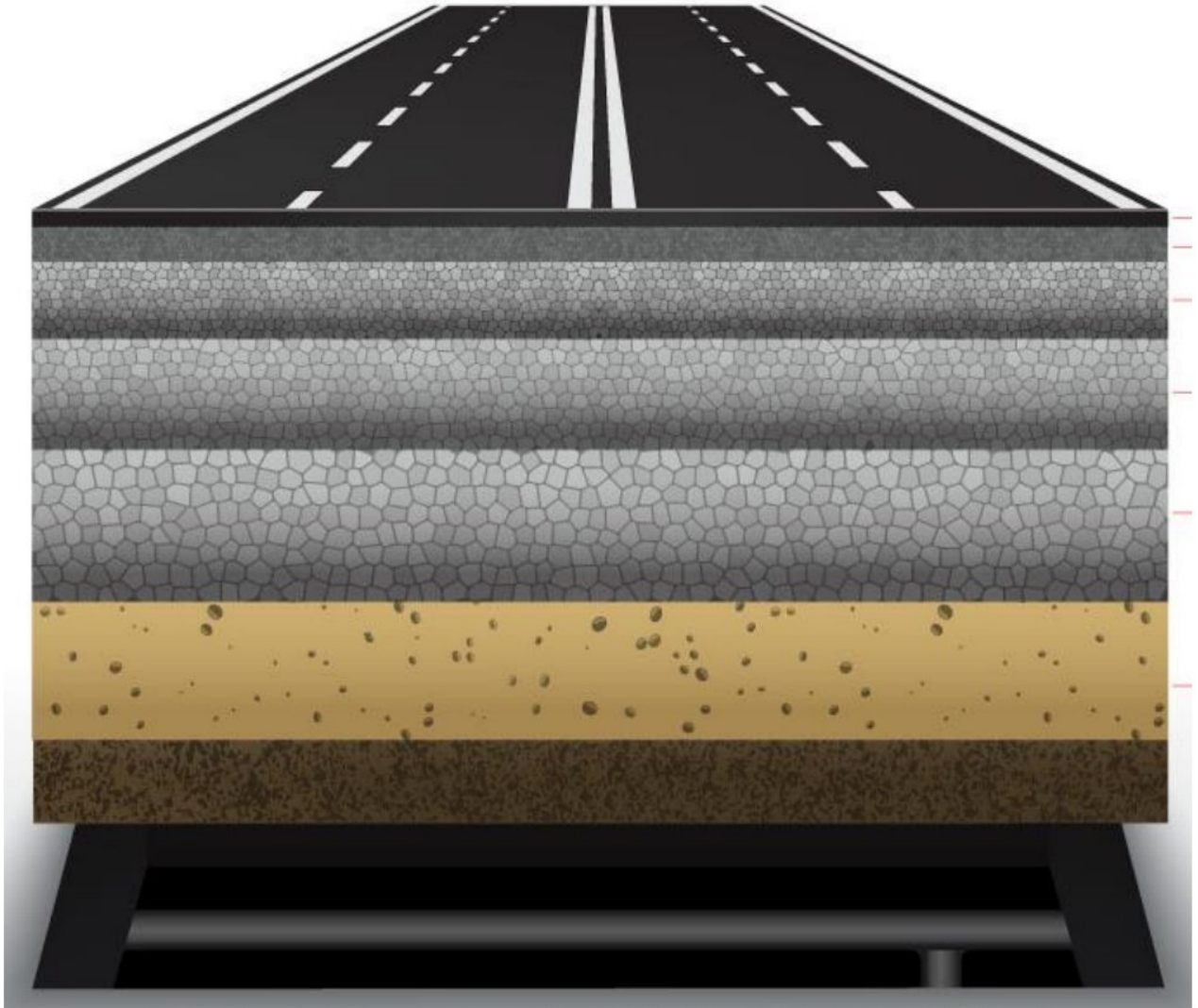


# Highway Engineering

هندسة الطرق

## الباب التاسع

# FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN



## ■ Introduction:-

- الرصيف المرن يكون مادة الأسفلت هي طبقة الأساسية لربط طبقات الرصيف بينما الرصيف الصلب يكون الأسفلت هي طبقة الأساسية ، وتوجد آلتان من طريقتي لتصميم الرصيف المرن .

### ... Method of flexible Pavement design :-

1. Theoretical (Mechanistic) Method الطريقة النظرية.
- 2. Empirical method [ CBR , CBR modified , AASHTO ] الطرق التجريبية.
3. Empirical - Mechanistic Method طرق نظرية تجريبية.

### ... Factors affecting on pavement Thickness :-

1. Traffic loading الأحمال المرورية.
2. Material characteristics (CBR , E , Mr) خصائص المواد المستخدمة.
3. Environmental Condition العوامل البيئية.

## ■ Flexible Pavement design by (AASHTO) Method:-

### ← طريقة التصميم :-

1. تحديد مدخلات التصميم :-

في احتياج طريقة الـ (AASHTO) إلى عدد من المدخلات (5 inputs)

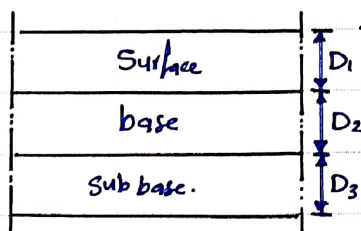
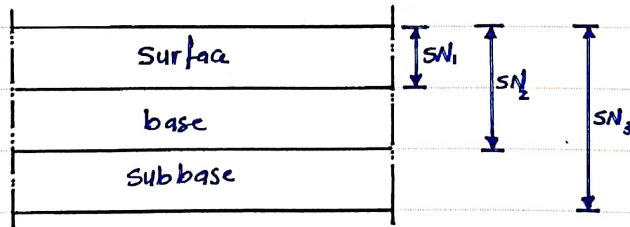
Reliability (R) درجة الثقة Standard deviation (S<sub>d</sub>) الانحراف المعياري.

Material characterization خواص المواد Traffic Consideration الأحمال المرورية.

Pavement serviceability index حالة الرصيف 2. التصميم :-

في يتم التصميم عن طريق بعض المنحنيات.

3. إيجاد الرقم الإشاري :-



4. تحويل الرقم الإشاري إلى سمك لكل طبقة.





## ■ Reliability (R) :- درجة الثقة

Function classification	urban	Rural
Free way road. طريق رئيسية	85~99.9	80~99.9
Arterial Road طريق شريانية	80~99	75~95
Collector road طريق تجميعية	80~95	75~95
Local road طريق داخلية	50~80	50~80

- عبارة عن نسبة مئوية تعبر عن درجة الثقة المرغوب فيها من قبل المصمم ، أو هي النسبة التي نزل الدخول فيها بعمل بكفاءة جيدة خلال الفترة التصميمية الكلية للطريق .
- إذا لم تأخذ في الحسنة تؤخذ (95~90) %

## ■ Standard deviation (So) :- الانحراف المعياري

- عبارة عن رقم يتراوح بين (0.35 ~ 0.45) ويعبر عن مدى انحراف القيم التصميمية لمداخلات التصميم عن القيم الواقعية التي تحدث فعلاً سواءً لمتعلقة بحجم المرور المتوقع أو كفاءة القطاع التصميمي والتي تعتمد بدورها على خصائص المواد المستخدمة ودرجة هستون الذناد المتوقع

Design Condition	Standard deviation (So)
Variation in Pavement Prediction without traffic error	0.35 Flexible , 0.45 Rigid .
Total Variation " " " and in traffic estimation	0.45 Flexible , 0.35 Rigid .

- هذا يعني أن الرصيف المرز تأثر تأشراً بالعوامل الجوية و الخارجية من الرصيف الصلب .

## ■ Material Characterization. خواص المواد

### 1- معايير الرجوعية Resilient Modulus (Mr) :-

- عبارة عن رقم يتم تحديده لكل طبقات الرصيف وهو يعبر عن قوة كل طبقة حيث أن كلما زادت (Mr) كلما زادت قدرة تحمل التربة لهذه الطبقة .
- يمكن حسابها بطريقة مباشرة باستخدام أجهزة معملية أو بطريقة غير مباشرة عن طريق حسابها من نسبة تحميل كاليفورنيا (CBR) كالآتي :-

$$\rightarrow Mr = 1500 * CBR \quad \text{For } CBR < 10\%$$

$$\rightarrow Mr = 3000 * CBR^{0.65} \quad \text{For } CBR \geq 10\%$$

### 2- معامل الصرف Drainage Coefficient (m) :-

- عبارة عن رقم يعبر عن قدرة التربة على صرف المياه .
  - يتم الحصول عليه من جدول اعتماد على :-
- 1- Quality of drainage for base and subbase جوة صرف لمياه
  - 2- % of exposure to moisture نسبة زمن التشبع

- لا يوجد (m) للطبقة السطحية لأن الأسفلت غير منفذ للمياه

- إذا لم يتوفر معطيات لحسابها تؤخذ (m<sub>2</sub> = m<sub>1</sub> = 0.8)



Quality of Drainage	% of exposure to moisture.			
	less than 4%	(1 ~ 5) %	(5 ~ 25) %	Greater than 25%
Excellent	1.4 ~ 1.35	1.35 ~ 1.30	1.3 ~ 1.2	1.2
Good	1.35 ~ 1.25	1.25 ~ 1.15	1.15 ~ 1	1
Fair	1.25 ~ 1.15	1.15 ~ 1.05	1 ~ 0.8	0.8
Poor	1.15 ~ 1.05	1.05 ~ 0.8	0.8 ~ 0.6	0.6
Very poor	1.05 ~ 0.95	0.95 ~ 0.75	0.75 ~ 0.4	0.4

٣. معامل الطبقات (q) Layer coefficient

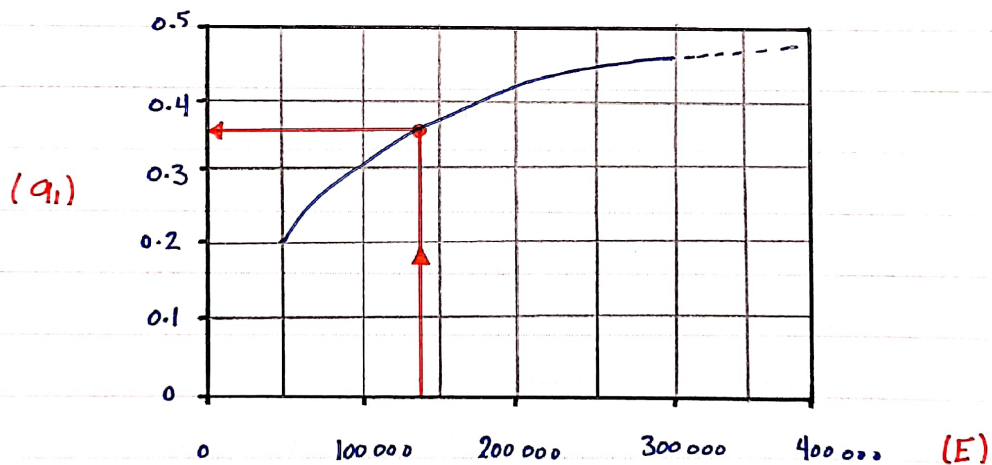
• عبارة عن رقم يستخدم لتحويل الرقم الإنشائي (ل) سمك للطبقات.

← كيفية حساب قيم (q)

١. حساب قيمة (q<sub>1</sub>)

• باستخدام Figure (6-12) صفحة (٢٩) في كتاب الجداول.

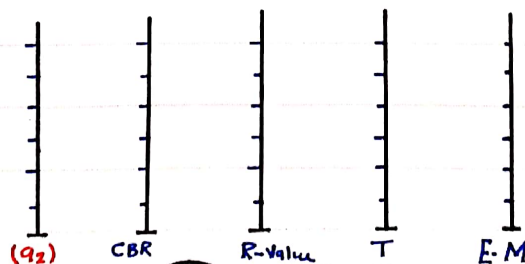
بمعلومية Elastic modulus (E) توجد (q<sub>1</sub>).



٢. حساب قيمة (q<sub>2</sub>)

• باستخدام Figure (6-13) صفحة (٣٠) في كتاب الجداول

يكون معطى معامل من أحد المعاملات التي على الشكل (CBR, R-value, E.M) ومن ثم توجد قيمة (q<sub>2</sub>).





٣- حساب قيمة (93) :-

.. باستخدام Figure (6-14) صفحة (٢٢)

نفس طريقة استخراج (92) ولكن بمعلومية طبقة ال (Subbase).

### ■ الاحمال المرورية . Traffic Consideration .

تعتمد طريقة تحديد الاحمال المرورية على طريقة " كل المحاور المفرد لكافئ " (ESAL)

" Equivalent single Axle load " بحيث تكون فكرة حسابية هو حساب تأثير

كل محور كنسبة من كل المحاور المفرد لكافئ .

$$W_{18} = 18000 \text{ lb} = 18 \text{ kip} = 8.2 \text{ ton}$$

حساب لكل (يوم) الواحد

$$W_{18} = \boxed{ADT * T * TF} * \boxed{365 * DD * LD * G}$$

• ADT : Average daily traffic

• T : Percent of trucks

• TF : Average TF Value

• DD : Directional Distribution factor

• LD : Lane Distribution factor

• G : Growth factor

متوسط عدد المركبات (لـ يوم) الواحد .

نسبة ال (Trucks) من حجم المرور الكلي

$$TF = ESAL = \sum \left( \frac{W}{18000} \right)^4$$

معامل التوزيع ال اتجاهي 50% فالم يذكر

معامل التوزيع على الحارات (1 ~ 0.6)

$$G = \frac{(1+r)^n - 1}{r} , r = \frac{\text{rate}}{1000}$$

### ■ Performance Criteria:-

قدمت طريقة ال (AASHTO) معامل يسمى (PSI) (Pavement serviceability index)

للتعبير عن حالة الرصف ويتراوح بين (5 ~ 0)

عند إنشاء الطريق تكون قيمة (PSI) عالية ولكن لا تصل إلى (5) لأن هناك

عيوب (التشقق) وبالتالي تكون قيمة (PSI) عند عمر الطريق (4.2)

$$\Delta PSI = P_0 - P_t$$

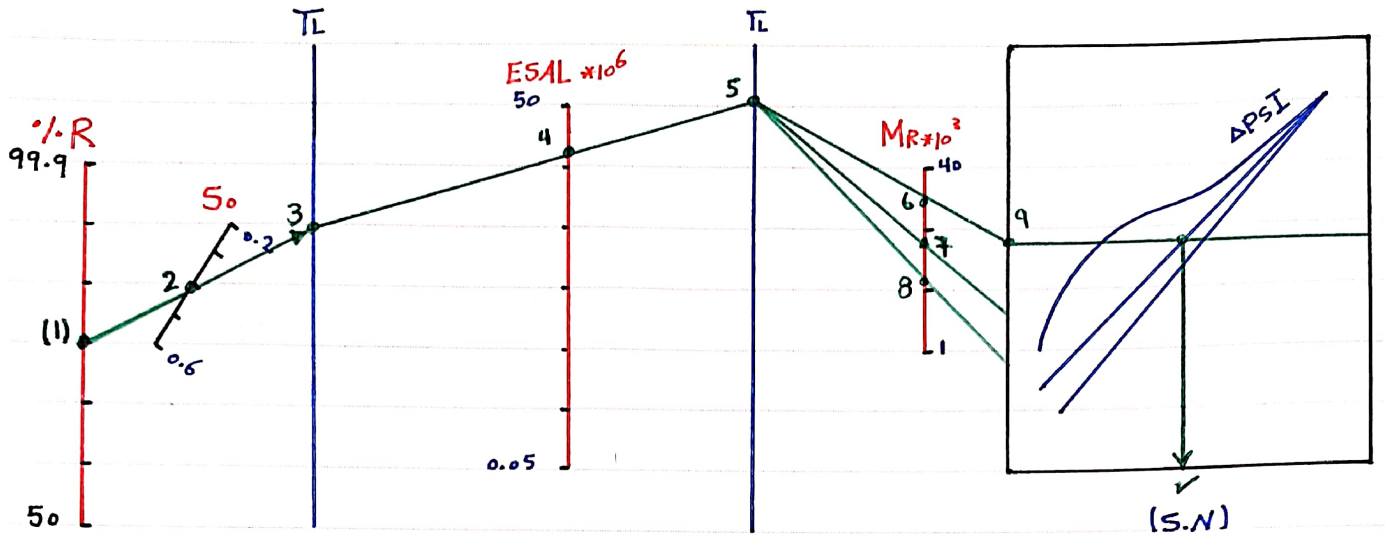
.. بهذا الشكل نكون قد انتهينا من ايجاد جميع المدخلات وبالتالي يتم استخدام

(AASHTO - chart) للحصول على (Structural Number) الطبقات الرصف

.. T.F :- عبارة عن عدد المحاور لقياسية المكافئ للمحاور المركبة الواحدة .

.. E.S.A.I :- عدد المحاور لقياسية المارة في المارة التصميمية خلال فترة الطريق التصميمية .





"AASHTO chart"

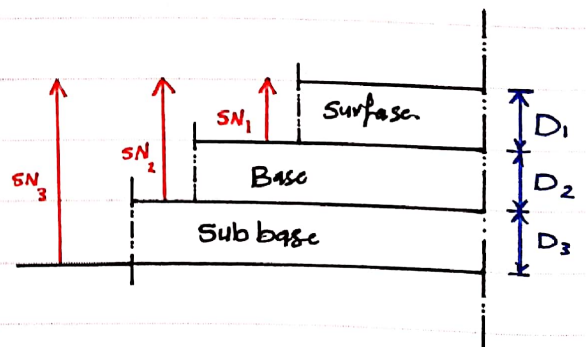
•• كيفية إستخدامة ••

- ١- توقيع قيمة "Reliability" على خط (%R) « نقطة ١ »
- ٢- توقيع قيمة (So) "Standard deviation" « نقطة ٢ »
- ٣- وصل نقطة (١) مع (٢) بخط مستقيم حتى تصل للخط الرأسى عند نقطة (٣).
- ٤- توقيع قيمة (ESAL) على خطه « نقطة (٤) » وصل (٣)، (٤) حتى تقطع الخط الرأسى عند (٥).
- ٥- توقيع قيمة (MR) لكل من طبقات "Subgrade", "Subbase", "Base" على خط ال (MR) [نقط ٦، ٧، ٨].
- ٦- وصل (٥، ٦) ونمد الخط على إستقامته حتى تصل للمستطيل عند (٩).
- ٧- من (٩) نرسم خط أفقى.
- ٨- من تقاطع الخط الأفقى مع المنحنى الذى يمثل قيمة ( $\Delta PSI$ ) للمسألة نرسم خط رأسى لنوجد قيمة ( $S.N_{Base}$ ).
- ٩- نكرر خطوات (٦، ٧، ٨) مرتين أخريتين مرة مع (Subbase) ونوجد ( $S.N_{Sub}$ ) ومرة مع ال (Subgrade) لنوجد ( $S.N_{Subg}$ ).

### الرقم الإنشائى (S.N). Structural Number

•• عبارة عن رقم دلائل لطبقات الرصف ناتج من تحليل المرور وتربة التأسيس ولعامل البيئى ويتم تحويل هذا الرقم عن طريق إستخدام معاملات الطبقات

$$SN = \sum D \cdot m \cdot q$$





• Example:- ... Given The following information, design a four layer Pavement section.

- Reliability = 90 %
- over standard deviation = 0.35
- Accumulated traffic ( $W_{18}$ ) = 10 million
- Design serviceability loss = 2

Material	Modulus (Psi)	Drainage Coeff. (m)
Asphalt Concrete	400 000	—
Crushed ston base.	30 000	0.8
Granular subbase	14 000	0.7
Road bed (sub grade)	5000	—

\* Solution \*

•• Given :-

$$R = 90 \% \quad S_o = 0.35 \quad ESAL = 10 \times 10^6 \quad \Delta PSI = 2$$

Asphalt	$E = 400\,000$	$D_1$
Base	$E = 30\,000$ $m = 0.8$	$D_2$
Subbase	$E = 14\,000$ $m = 0.7$	$D_3$
Subgrade.	$E = 5000$	

•• To get (a) Value :-

- For (a<sub>1</sub>) :-

$$E = 400\,000 \text{ — Fig. (6.12) } \rightarrow a_1 = 0.42$$

- For (a<sub>2</sub>) :- « Crushed ston »

$$E = 30\,000 \text{ — Fig (6.13) } \rightarrow a_2 = 0.14$$

- For (a<sub>3</sub>)

$$E = 14\,000 \text{ — Fig (6.14) } \rightarrow a_3 = 0.10$$

• To get (SN) use AASHTO chart :-

$$\checkmark \text{ For Base (MR) } = 30\,000 \text{ Psi} \quad \therefore SN_1 = 2.8$$

$$\checkmark \text{ For subbase (MR) } = 14\,000 \text{ Psi} \quad \therefore SN_1 + SN_2 = 3.8$$

$$\checkmark \text{ For sub grade (MR) } = 5000 \text{ Psi} \quad \therefore SN_1 + SN_2 + SN_3 = 5.4$$

• To get (D) Layer Thicknesses :-

$$\checkmark SN_1 = a_1 \times D_1$$

$$\therefore 2.8 = 0.42 \times D_1$$

$$\therefore D_1 = 6.67 \text{ inch}$$

$$\text{Take } D_1 = 7 \text{ inch}$$

$$\therefore SN_1^* = 0.42 \times 7$$

$$SN_1^* = 2.94$$

$$\checkmark SN_2 = a_2 \times D_2 \times m_2$$

$$(3.8 - 2.94) = 0.14 \times D_2 \times 0.8$$

$$\therefore D_2 = 7.67 \text{ inch}$$

$$\text{Take } D_2 = 8 \text{ inch}$$

$$\therefore SN_2^* = 8 \times 0.14 \times 0.8$$

$$\therefore SN_2^* = 0.896$$

$$SN_3 = 1.564$$

$$\therefore D = 23 \text{ inch.}$$

