جامـــعة دمـــشق
كليـــــة الهندسة المدنية
*قسم هندسة النقل ومواد البناء*

# طرائق الرصف الإنشائي للرصف المرن

المحاضرة ١٠

هندسة الطرق

# محتوى المحاضرة:

طرائق تصميم الرصف الإنشائي

عوامل التصميم

خوارزمية حل المسائل

# طرائق تصميم الرصف الإنشائي:

هناك عدة طرق للتصميم نذكر منها على سبيل المثال:

١. طريقة نسبة تحميل كاليفورنيا C.B.R

٢. طريقة قرينة المجموعات GI

٣. طريقة معهد الإسفلت.

٤. طريقة الآشتو.

٥. طريقة تجريبية ميكانيكية.

# عوامل التصميم:

يقسم التصميم الإنشائي للرصف الطرقي إلى قسمين:

**القسم الأول:** هو تصميم المواد الداخلة في تركيب كل طبقة من طبقات الرصف (أي تحديد المواصفات الفنية لها و نوعيتها و جودتها)

**القسم الثاني:** هو تصميم السماكة الكلية لجسم الطريق، أو تصميم سماكة كل طبقة على حدى تبعاً للمواد المستعملة في كل منها، مع الآخذ بعين الاعتبار مجموعة من العوامل التي يمكن أن تؤثر على أداء طبقات الرصف، والتي تسمى بعوامل التصميم.

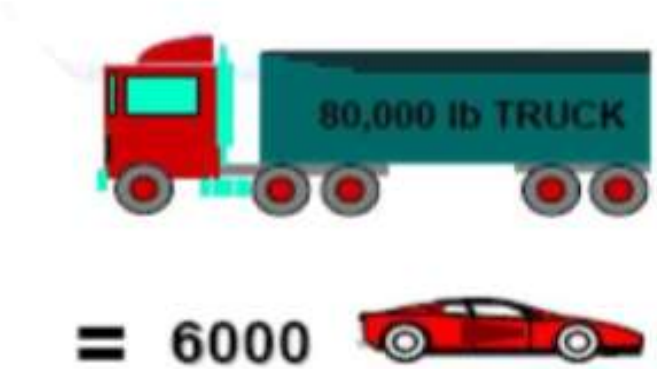
**العوامل التي تؤثر في تصميم طبقات الرصف:**

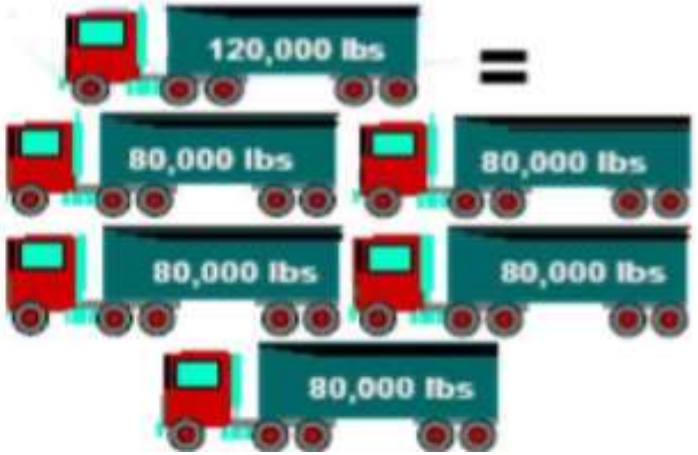
١. الحمولة التصميمية والحركة.
٢. تربة المسار والمواد المكونة لطبقات الرصف.
٣. الشروط المناخية والبيئية.

لقد ازداد في عصرنا الحاضر عدد و حمولة العربات التي تستخدم الطرق، وعلى المهندس أن يراعي هذه الزيادة مع المحافظة على شروط الأمان طيلة فترة وضع الطريق ولهذا فمن الضروري معرفة تطور حركة المرور على الطريق و ترتيبات وتباعدات و حمولات دواليب العربات.

ونظراً لتنوع العربات التي تستخدم الطرق فمن الضروري أيضاً الاستعانة عن حمولة العربات بنظام تحميل بسيط يمكن استخدامه بيسر عند التصميم.

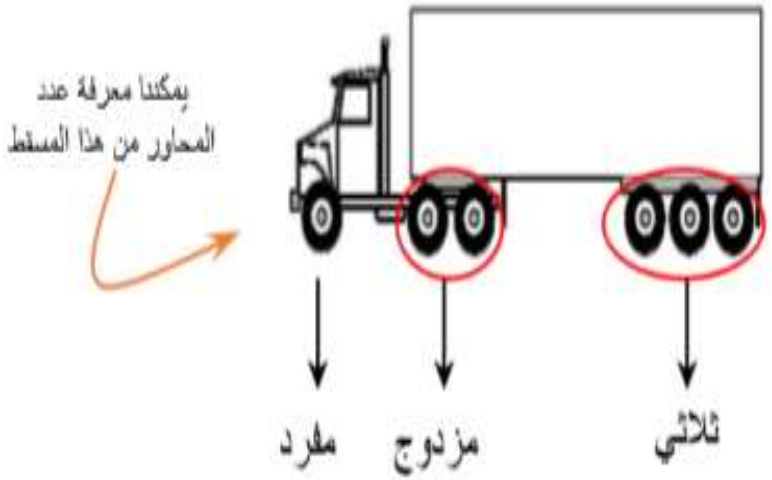
إن العربات السياحية تشكل النسبة الأكبر من العربات التي تسير على الطرق إلا أن حمولاتها صغيرة جداً إذا ما قورنت بحمولات العربات الشاحنة.



إن الحمولات التي تطبقها العربات الشاحنة الثقيلة على الطرق أثناء سيرها هي الأمر الحاسم بالنسبة لتصميم طبقات الرصف.

والشاحنات قد تكون منفردة أو قاطرة ومقطورة، كما أن محور العربة قد يكون منفرداً أو مزدوجاً أو ثلاثيا أو رباعيا، والمحاور قد تكون مزودة بدواليب أحادية أو ثنائية أو ثلاثية أو رباعية.



تباعد محاور الشاحنات وحمولاتها المسموحة تختلف من بلد ل آخر، فمثلاً في فرنسا تكون حمولة المحور المنفرد ذي الإطار المزدوج من كل طرف 13 ton

وهذا يطبق أيضاً في القطر العربي السوري.

أما في بلجيكا فإن حمولة المحور المنفرد 10 ton ، وفي بعض الولايات في أمريكا يكون 18 kips أي 8.2 ton تقريباً.

من أجل تحديد الحمولة التصميمية فإننا نعتمد على الاعتبارات التالية:

١. تكافؤ حمولات المحاور.
٢. تأثير تكرار تطبيق الحمولات.
٣. نمو الحركة.
٤. حركة المرور التصميمية.

## ١- تكافؤ حمولات المحاور (ESAL):

إن معظم طرائق تصميم سماكات طبقات الرصف الحديثة تعتمد على تحويل حمولات المحاور المختلفة إلى عدد مكافئ من حمولة محور مرجعي ESAL.

المحور المرجعي ESAL: هو المحور المفرد ذو الإطار المزدوج بحمولة 18 kips (كيلوباوند).

كل 1 kips تقابل 0.454 ton

عامل التحويل FL: هو عامل تحويل الحمولات للمحاور المفردة والمزدوجة إلى حمولات المحور المرجعي أو هو نسبة حمولة المحور الفعلي بالنسبة لحمولة المحور المكافئ.

عامل تحويل المحاور المفردة $FL = 10^{0.11833*(L-18)}$

عامل تحويل المحاور المزدوجة $FL = 10^{0.11833*(0.57L-18)}$

## مسألة (1)

اذا كان المتوسط اليومي لعدد وأوزان المحاور التي تسير على طريق ما هي

| حالة محور مفرد *Single Axle* | | حالة محور مزدوج *Tandem Axle* | |
|---|---|---|---|
| المتوسط اليومي لعدد المحاور | الحمولة $[Kips]$ | المتوسط اليومي لعدد المحاور | الحمولة $[kips]$ |
| 1270 | 10 – 14 | 110 | 16 – 20 |
| 980 | 14 – 18 | 230 | 20 – 24 |
| 410 | 18 – 22 | 75 | 24 – 32 |

فما هو المتوسط اليومي المكافئ لحمولة محور $kips$ 18 على هذا الطريق ؟؟ ((قصدن المحور المكافئ))

• **الحل :**

لدي نوعين من المحاور (مفردة ومزدوجة) , فأنا اريد تحويل المحاور المفردة إلى محور مكافئ والمحاور المزدوجة إلى محور مكافئ فنقوم بتنظيم جدولان لكل من المحورين (المفردة والمزدوجة) يضمان

1- العمود الأول : الحمولة ((ونأخذ الوسطي)) ((في حال كانت الحمولة بـ $Ton$ نحولها لـ $Kips$))

2- العمود الثاني : نحسب العامل $FL$ بالاعتماد على الحمولة

3- العمود الثالث : ((المتوسط)) اليومي لعدد المحاور

4- العمود الرابع : نحسب عدد المحاور المكافئة ((نضرب العامود الثاني بالعامود الثالث))

عدد المحاور المكافئة = المتوسط اليومي (محور) * عامل التحويل $FL$

وأخيراً نجمع عدد المحاور المكافئة للمحاور المزدوجة والمفردة ونحصل على المجموع الكلي للمحاور المكافئة $ESAL$

| الجدول الأول : المحاور المفردة | | | |
|---|---|---|---|
| عمود (1) | عمود (2) | عمود (3) | عمود (4) |
| متوسط الحمولة $kips$ $L$ | عامل التحويل $FL$ للمحور المفرد | متوسط عدد المحاور | عدد المحاور المكافئة $ESAL$ |
| $\frac{10+14}{2} = 12$ | 0.195 | 1270 | $0.195 * 1270 = 247.65$ |
| $\frac{14+18}{2} = 16$ | 0.580 | 980 | 568.4 |
| $\frac{18+22}{2} = 20$ | 1.724 | 410 | 706.84 |
| | | | $\sum = \mathbf{1522.89}$ |

$$FL = 10^{0.11833*(L-18)}$$

| الجدول الثاني : المحاور المزدوجة | | | |
|---|---|---|---|
| عمود (1) | عمود (2) | عمود (3) | عمود (4) |
| متوسط الحمولة $kips$ $L$ | عامل التحويل $FL$ للمحور المفرد | متوسط عدد المحاور | عدد المحاور المكافئة $ESAL$ |
| $\frac{16+20}{2} = 18$ | 0.121 | 110 | $0.121 * 110 = 13.31$ |
| $\frac{20+24}{2} = 22$ | 0.226 | 230 | 51.98 |
| $\frac{24+32}{2} = 28$ | 0.574 | 75 | 43.05 |
| | | | $\sum = \mathbf{108.34}$ |

$$FL = 10^{0.11833*(0.57\,L-18)}$$

واخيراً عدد المحاور المكافئة $ESAL$ = مجموع عدد المحاور المكافئة في المحاور المفردة والمزدوجة

ESAL = 1522.89 + 108.34 = 1631.23 محور مكافئ

## ٢- تأثير تكرار تطبيق الحمولات :

إن تكرار تطبيق الحمولات على الطريق ينتج عنه مع الزمن تشوهات دائمة في طبقات الرصف، أو في التربة الحاملة للطريق ، كما ينتج تشققات مثل التشققات التمساحية.

لذا فإنه من الضروري تعيين عدد مرات تكرار حمولات المحاور الفعلية التي ستستخدم الطريق خلال عمره التصميمي، وتحولها إلى عدد من حمولة المحور المرجعي المكافئ (ESAL) و إدخالها في الطرق الحديثة لتصميم سماكات طبقات الرصف.

## ٣- نمو الحركة:

إن تصميم طبقات الرصف لا يعتمد على عدد حمولات المحاور المكافئة (ESAl) لليوم الأول فقط، أو للسنة الأولى فقط من وضع الطريق في الخدمة، وإنما يجب الأخذ بعين الاعتبار تطور الحركة على الطريق خلال العمر التصميمي له.

فإذا كان عدد المحاور المكافئة في اليوم الأول من وضع الطريق في الخدمة هو $(ESAL_0)$ فإنه يكون في السنة الأولى $(ESAL_1 = 365 * ESAL_0)$

**ولكن هذا الكلام لا يعتبر صحيحاً من أجل باقي السنوات** القادمة بسبب نمو الحركة مع الزمن.

يجب الأخذ بعين الاعتبار إدخال معدل التزايد السنوي للحركة مع الزمن (i) و هو منتظم من أجل (n) سنة. وبالتالي يمكننا حساب عدد المحاور المكافئة خلال العمر التصميمي للطريق $ESAL_n$ باستخدام العلاقة التالية:

**القانون الأول** لحساب $ESAL_n$ بدلالة اليوم الواحد $ESAL_0$:

$$ESAL_n = ESAL_0 * \frac{365}{\ln(1+\mathrm{i})} * [(1+\mathrm{i})^n - 1]$$

وأما إذا تم إحصاء عدد المحاور المكافئة في السنة الأولى من وضع الطريق في الخدمة $ESAL_1$ فعندها يحسب عدد المحاور المكافئة خلال العمر التصميمي للطريق n عام باستخدام العلاقة التالية:

**القانون الثاني** لحساب $ESAL_n$ بدلالة السنة $ESAL_1$:

$$ESAL_n = ESAL_1 * \frac{(1+\mathrm{i})^n - 1}{\mathrm{i}}$$

## ٤- حركة المرور التصميمية:

اعتمدت طريقة الآشتو على تحويل حجم حركة المرور إلى عدد تكرار مرور حمولة المحور المكافئ على الحارة التصميمية، خلال العمر التصميمي للطريق .

العمر التصميمي للطريق : هو عدد المحاور المكافئة التي تمر على الحارة التصميمية للطريق خلال العمر التصميمي له.

الحارة التصميمية: هي الحارة التي يتوقع أن يمر عليها أكبر نسبة ممكنة من أعداد المحاور المكافئة خلال العمر التصميمي للطريق.

وتعتبر في بلدنا هي الحارة اليمينية الطرفية للطريق، من أجل ذلك يتم إدخال تأثير عامل الحارة التصميمية، وعامل الاتجاه،على عدد المحاور المكافئة المحسوبة خلال العمر التصميمي للطريق.

حيث تؤخذ قيمة عامل الحارة التصميمية كما في الجدول بالأسفل.

وتؤخذ قيمة عامل الاتجاه مساوية للواحد إذا كانت الحركة على الطريق باتجاه واحد،

وتكون مساوية للنصف إذا كانت الحركة عليه باتجاهين.

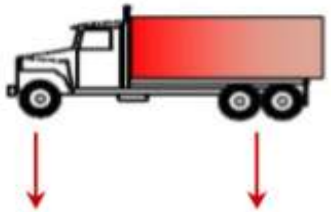
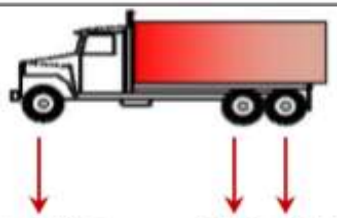
| عدد حارات المرور باتجاه اواحد | ١ | ٢ | ٣ | ٤ |
|---|---|---|---|---|
| عامل الحارة المرورية التصميمية % | ١٠٠ | ٨٠ | ٧٠ | ٦٠ |

# خوارزمية حل المسائل:

**أولاً :** يجب معرفة المحاور المزدوجة والمحاور المفردة

**الحالة الأولى :** من الأمام يكون المحور مفرد (دالوب) $11\ kips$ أما الخلفي محور مزدوج ((دالوبين)) وحمولته تساوي $20.4\ kips$

**الحالة الثانية :** المحور من الامام محور مفرد (دالوب) حمولته $11\ kips$ أما المحور الخلفي مزدوج ((دالوبين)) ((لكن اعطاني حمولتان 😑)) أي انت هون بتجمعن وبتعاملن معاملة محور مزدوج أي تصبح حمولة المحور المزدوج $13.2 + 13.2 = 26.4\ kips$

| الحالة الأولى | الحالة الثانية |
| --- | --- |
|   |   |

**ثانياً** : دوماً نحول الحمولات للـ $Kips$

حفظ

كل $1\ Kips$ تقابل $0.454\ ton$

**ثالثاً** : ننظم جدولاً للشاحنات يضم كل منها المحاور المفردة والمزدوجة في جدول ونحسب عدد المحاور المكافئة الكلي $ESAL$ كما فعلنا بالمسألة الأولى ((عدد المحاور المكافئة – متوسط عدد المحاور – المعامل $FL$ – الحمولة))

حفظ

عامل تحويل المحاور المفردة

$$FL = 10^{0.11833*(L-18)}$$

$*_1$

حفظ

عامل تحويل المحاور المزدوجة

$$FL = 10^{0.11833*(0.57\,L-18)}$$

$*_2$

ومن ثم تحسب عدد المحاور المكافئة الكلي $ESAL$

**رابعاً :** يجب معرفة $ESAL$ المحسوبة سابقاً هل هي ليوم واحد $ESAL_0$ أو لسنة واحدة $ESAL_1$
وذلك من نص السؤال ثم نضربها بعامل التحويل للاتجاه وعامل التحويل للحارة التصميمية

- في حال ذكر أن الطريق باتجاه واحد ⇦ معامل الاتجاه يساوي 1 حفظ
- في حال ذكر أن الطريق باتجاهين ⇦ معامل الاتجاه يساوي 0.5 حفظ
- ⇦ نحسب معامل الحارة التصميمية من الجدول صـ 5 حفظ

**خامسا :** نحسب $ESAL_n$ المطلوب من نص السؤال بالاعتماد على احد القانونين حسب طبيعة المسألة

- ففي حال حصلنا على $ESAL_0$ نختار **القانون الأول**

حفظ

$$ESAL_n = ESAL_0 * \frac{365}{\ln(1+i)} * [(1+i)^n - 1]$$

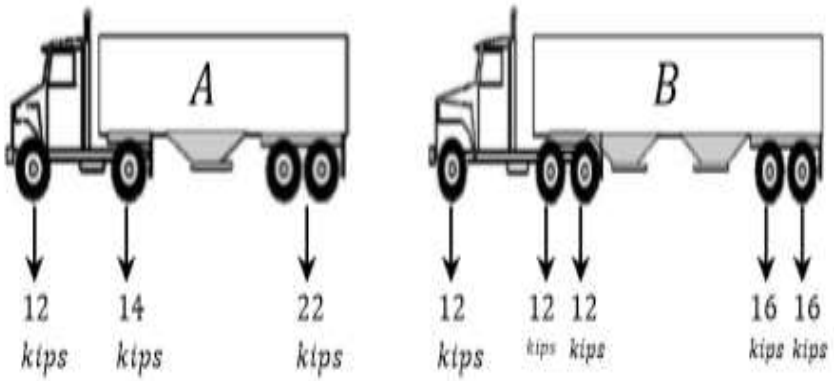
- في حال حصلنا على $ESAL_1$ نختار **القانون الثاني**

حفظ

$$ESAL_n = ESAL_1 * \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

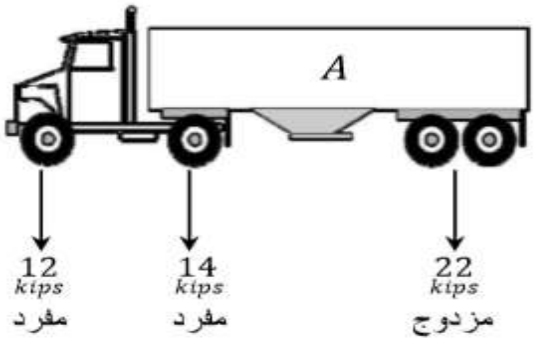
## مسألة (2) — دورة 2017

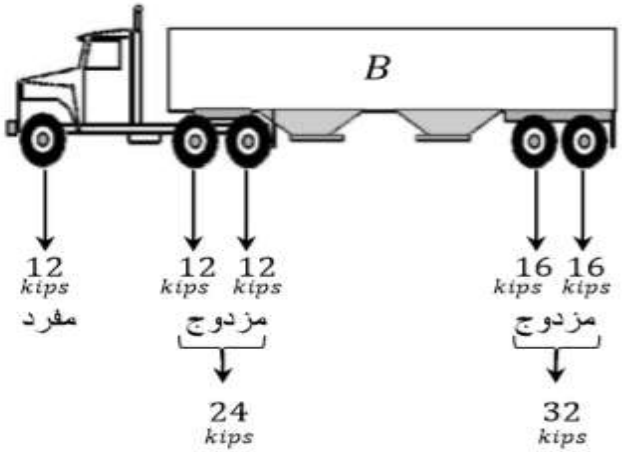
طريق رئيسي ذو اتجاهين , مؤلف من 4 حارات مرورية في كل اتجاه , ويمر عليه في اليوم الأول من وضعه في الخدمة 300 شاحنة من النوع $A$ و 200 شاحنة من النوع $B$ ,فاذا كان التزايد السنوي لحركة المرور $i = 3\%$ والمطلوب إيجاد عدد المحاور المكافئة $ESAL_n$ التي ستمر على الحارة التصميمية للطريق خلال العمر التصميمي له $n = 20\ year$



• **الحل :**

**أولاً :** نقوم بمعرفة المحاور المفردة والمزدوجة




**ثانياً :** نقوم بتحويل حمولات المحاور للـ $kips$ ((بالأساس معطاة بالـ $kips$))

**ثالثاً :** ننظم جدولاً يضم كالمسألة الأولى لكل من الشاحنة $A$ والشاحنة $B$ لكل من المحاور المفردة والمحاور المزدوجة فيها

| | $L\ [kips]$ | عامل التحويل $FL$ | عدد المحاور | عدد المحاور المكافئة |
|---|---|---|---|---|
| الشاحنة $A$ | | | | |
| المحاور المفردة في $A$ | 12 | $0.195\ *_1$ | 300 | 58.5 |
| | 14 | $0.336\ *_1$ | 300 | 100.8 |
| المحاور المزدوجة في $A$ | 22 | $0.226\ *_2$ | 300 | 67.8 |
| | | | | $\sum = 227.1$ |
| الشاحنة $B$ | | | | |
| المحاور المفردة في $B$ | 12 | $0.195\ *_1$ | 200 | 39 |
| المحاور المزدوجة في $B$ | 24 | $0.308\ *_2$ | 200 | 61.6 |
| | 32 | $1.068\ *_2$ | 200 | 213.6 |
| | | | | $\sum = 314.2$ |

$$ESAL = 227.1 + 314.2 = 541.3$$ محور مكافئ

**رابعاً** : معرفة المحسوب السابق هل هو لليوم الواحد $ESAL_0$ أو لسنة $ESAL_1$ , فنقرأ نص السؤال بتمعن ((ويمر عليه في اليوم الأول)) أيّ أن $ESAL \Longrightarrow ESAL_0$

$$ESAL_0 = 541.3$$

ومن ثم نضرب $ESAL_0$ بعامل التحويل للاتجاه وبعامل الحارة المرورية

من نص السؤال (بالاتجاهين) ⇦ عامل الاتجاه 0.5

من نص السؤال (عدد الحارات المرورية بالاتجاه الواحد) ⇦ من الجدول صـ 5 .. عامل الحارة = 60%

$$\Longrightarrow ESAL_0 = 541.3 * 0.5 * 60\% = 162.39$$ محور مكافئ

**خامساً** : المطلوب حساب $ESAL_n$ خلال $n = 20\ year$ لكن اختار القانون الأول لأننا حسبنا $ESAL_0$

$$ESAL_n = ESAL_0 * \frac{365}{\ln(1+i)} * [(1+i)^n - 1]$$

- $i = 3\% = 0.03$
- $n = 20\ year$

$$\Longrightarrow ESAL_n = 162.39 * \frac{365}{\ln(1+3\%)} * [(1+3\%)^{20} - 1] = 1616442.60$$ محور مكافئ