

جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية
قسم هندسة النقل ومواد البناء

طرائق الرصف الإنشائي للرصف المرن

هندسة الطرق

المحاضرة 10

محتوى المحاضرة:

طرائق تصميم الرصف الإنشائي

عوامل التصميم

خوارزمية حل المسائل

طرائق تصميم الرصف الإنشائي:

هناك عدة طرق للتصميم نذكر منها على سبيل المثال:

1. طريقة نسبة تحميل كاليفورنيا C.B.R

2. طريقة قرينة المجموعات GI

3. طريقة معهد الإسفلت.

4. طريقة الأشتو.

5. طريقة تجريبية ميكانيكية.

عوامل التصميم:

يقسم التصميم الإنشائي للرصف الطرقي إلى قسمين:

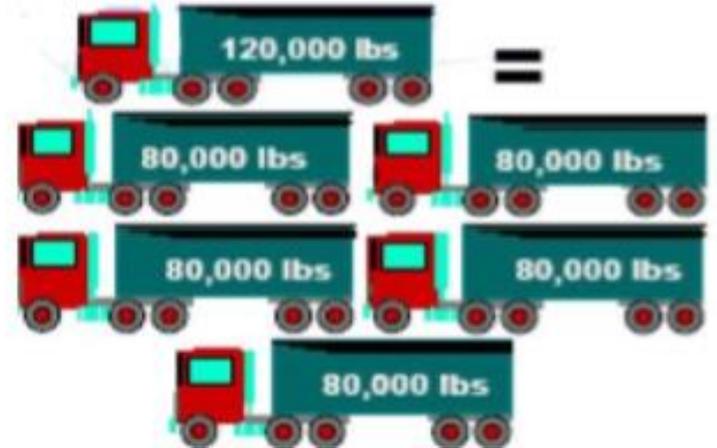
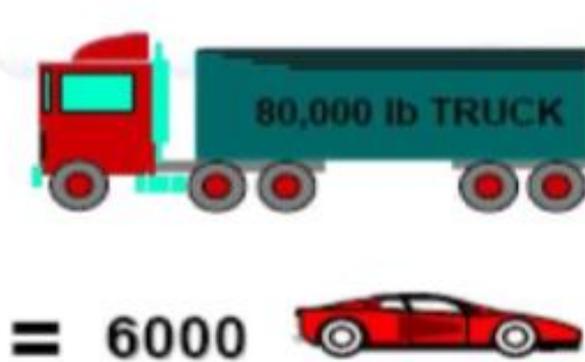
القسم الأول: هو تصميم المواد الداخلة في تركيب كل طبقة من طبقات الرصف (أي تحديد المواصفات الفنية لها و نوعيتها و جودتها)

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

العوامل التي تؤثر في تصميم طبقات الرصف:

1. الحمولة التصميمية والحركة.
2. تربة المسار والمواد المكونة لطبقات الرصف.
3. 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 ثلاثياً أو رباعياً، والمحاور قد تكون مزودة بدواليب أحادية أو ثنائية أو ثلاثية أو رباعية.



تباعده محاور الشاحنات وحمولاتها المسموحة تختلف من بلد لآخر, 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 نعتد على الاعتبارات التالية:

1. تكافؤ حمولات المحاور.

2. تأثير تكرار تطبيق الحمولات.

3. نمو الحركة.

4. حركة المرور التصميمية.

1- 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)

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

حالة محور مزدوج <i>Tandem Axle</i>		حالة محور مفرد <i>Single Axle</i>	
الحمولة [kips]	المتوسط اليومي لعدد المحاور	الحمولة [Kips]	المتوسط اليومي لعدد المحاور
16 – 20	110	10 – 14	1270
20 – 24	230	14 – 18	980
24 – 32	75	18 – 22	410

فما هو المتوسط اليومي المكافئ لحمولة محور 18 kips على هذا الطريق؟؟ (اقصدن 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) لضمان

1- العمود الأول : الحمولة ((ونأخذ الوسطي)) ((في حال كانت الحمولة بـ *Tom* 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

(1) عود	(2) عود	(3) عود	(4) عود
متوسط الحمولة <i>kips</i> <i>L</i>	عامل التحويل <i>FL</i> للمحور المفرد	متوسط عدد المحاور	عدد المحاور المكافئة <i>ESAL</i>
$\frac{10 + 14}{2} = 12$ →	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
			$\Sigma = 1522.89$

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

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
			$\Sigma = 108.34$

$$FL = 10^{0.11833 + (0.57 L - 18)}$$

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

$$ESAL = 1522.89 + 108.34 = 1631.23 \quad \text{محور مكافئ}$$

2- 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 التماساحية. 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.

3- نمو الحركة:

إن تصميم طبقات الرصف لا يعتمد على عدد حمولات المحاور المكافئة (ESAI) 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 باقى 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 $ESAL_0$:

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

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 $ESAL_1$:

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

4- حركة المرور التصميمية:

اعتمدت طريقة الأشتو 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.

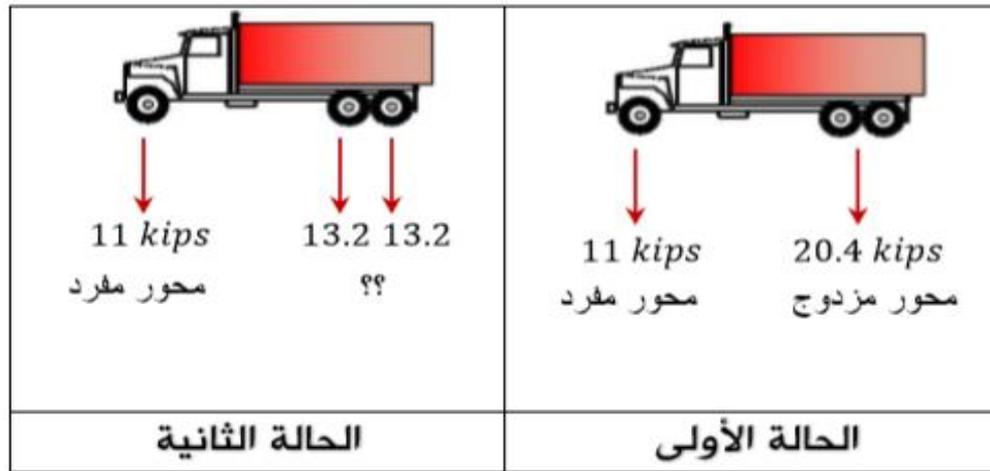
عدد حارات المرور باتجاه واحد	1	2	3	4
عامل الحارة المرورية التصميمية %	100	80	70	60

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 $13.2 + 13.2 = 26.4\ kips$



ثانياً : دوماً نحول الحمولات لـ *Ton*

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 المزدوجة

$$FL = 10^{0.11833*(0.57L-18)} \quad *2$$

حفظ

عامل تحويل المحاور المفردة

$$FL = 10^{0.11833*(L-18)} \quad *1$$

ومن ثم تحسب عدد المحاور المكافئة الكلي *ESAL*

رابعا : 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 ص 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

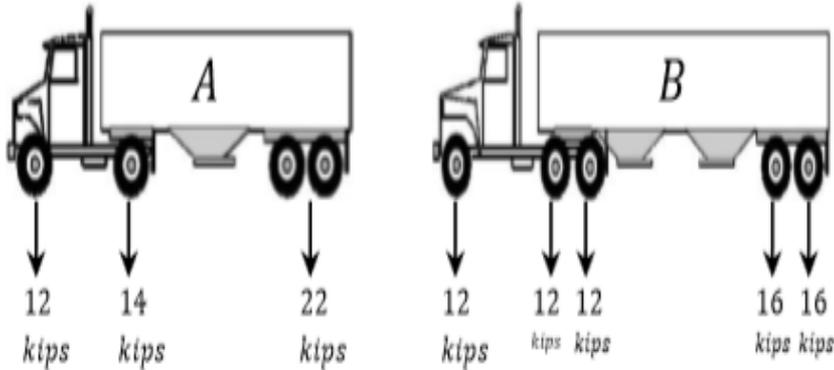
حفظ

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

👉 ففي حال حصلنا على $ESAL_1$ نختار القانون الثاني

حفظ

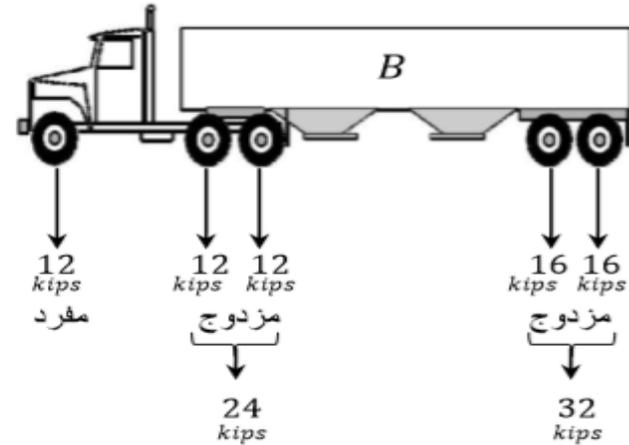
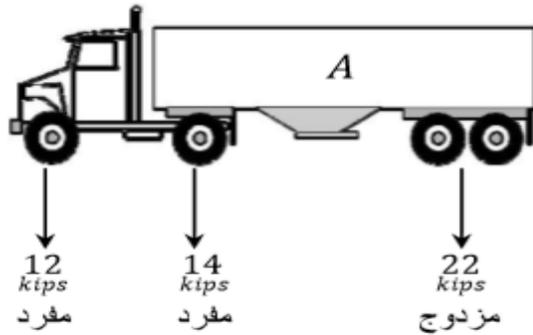
$$ESAL_n = ESAL_1 * \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$$



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 $n = 20 \text{ year}$

• الحل :

أولاً : نقوم بمعرفة المحاور المفردة والمزدوجة



ثانياً : نقوم بتحويل حمولات المحاور لـ $kips$ ((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
				$\Sigma = 227.1$
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
				$\Sigma = 314.2$

$$ESAL = 227.1 + 314.2 = 541.3 \quad \text{محور مكافئ}$$

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

$$ESAL_0 = 541.3$$

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

من نص السؤال (بالاتجاهين) \Leftarrow عامل الاتجاه 0.5

من نص السؤال (عدد الحارات المرورية بالاتجاه الواحد) \Leftarrow من الجدول ص 5 .. عامل الحارة = 60%

$$\Rightarrow ESAL_0 = 541.3 * 0.5 * 60\% = 162.39 \quad \text{محور مكافئ}$$

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

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

$$\Leftarrow i = 3\% = 0.03$$

$$\Leftarrow n = 20 \text{ year}$$

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