With my best wish Eng-Ghassan Abdulrahem Almontser

بسم الله الرحمن الرحيم

التصميم الإنشائي للطريق

ENGINEER/ **Ghassan Abdulrahem Almontser**

التصميم الإنشائي للطريق

تعتبر عملية التصميم الإنشائي للطريق عبارة عن إيجاد سماكات طبقات الرصف لتتمكن من تحمل الأحمال المحورية للمركبات التي تسير على هذه الطرق ، والأنواع الرئيسية للرصف نوعان الأول هو الرصف الصلب وهو عبارة عن بلاطات خرسانية مسلحة توضع فوق سطح القاعدة الترابية أو طبقة تحت الأساس .

والنوع الثاني الأكثر شيوعاً هو الرصف المرن ويتكون من عدة طبقات هي تحت الأساس والأساس الحجري أو الحصوي ثم طبقات الرصف الأسفلتية وسوف نستعرض طريقة تصميم الرصف المرن .

تصميم الرصف المرن للطرق

Flexible Pavement

الأحمال التصميمية :

عند تصميم أي طريق يجب أن تكون بيانات أحجام وأحمال المرور المتوقعة متوفرة لعملية التصميم الإنشائي للطريق .

الحمل المكافئ لمحور مفرد :

يعرف الحمل المكافئ لمحور مفرد على أنه حمل قياسي على محور مفرد يسبب أثراً في الرصف عند موضع محدد فيه مساوياً لما يسببه حمل المحور المعني في نفس الموضع المحدد .

معامل حمل المحور المكافئ :

المعامل المكافئ لحمل المحور لمركبة ما هو نسبة التأثير لكل مرة تمر فيها المركبة على رصف معين إلى التأثير الذي يحدثه مرور الحمل المحوري المفرد القياسي على نفس الرصف . ويتم التعبير عن عدد مرات تكرار الحمل الذي يؤدي إلى وصول الرصف لنهايته المقبولة بصلابة طبقة الرصف .

ويتم التعبير عن صلابة طبقات الرصف بالرقم الإنشائي SN ويكون مستوي الخدمة النهائي PT للطرق الرئيسية (ذات المرورالثقيل) = 2.5 ، وللطرق المحلية والثانوية (ذات المرور المتوسط) =2.00 .

أما المحور القياسي فمقداره 18000رطل (80000 كيلو نيوتن) ويوضح جدول (1) قيم المعاملات المكافئة لأحمال المحاور المختلفة . وباستخدام قيم المعاملات المكافئة لأحمال المحاور التي تمر على الطريق خلال الفترة التصميمية وتبعاً لمعامل النمو وحجم المرور اليومي مصنفاً حسب نوع

المركبات ونسبة مركبات النقل في الحارة التصميمية يتم حساب قيمة الحمل التصميمي المكافئ على الطريق من العلاقة التالية :

إجمالي الأحمال المكافئة = 365 x LF x ٪A x ADT x GF x T x A

حيث :

ADT = متوسط حجم المرور اليومي .

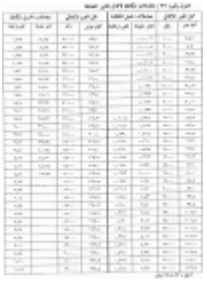
٪ A = النسبة المئوية للحمل المحوري (س) .

GF = معامل النمو في أحجام المرور .

T = نسب مركبات النقل في الحارة التصميمية .

LF = معامل الحمل المكافئ للحمل المحوري (س)

جدول (1) .



نسبة تحمل كاليفورنيا C B R

من العوامل المهمة في طرق تصميم الرصف المرن ، خاصة عند استخدام طريقة آشتو قدرة تحمل التربة أو الطبقة الترابية للحمولة ، وغالباً ما يستخدم اختبار نسبة قوة تحمل كاليفورنيا (CBR) لذلك الغرض ويجرى هذا الاختبار بقراءة مدى اختراق مكبس قياسي مساحة مقطعة 3 بوصات مربعة داخل عينة مدكوكة بطريقة قياسية على نسبة رطوبة مقررة في قالب قياسي ثم تحسب نسبة الأحمال التي تعطي اختراقاً قدره 0.10 بوصة إلى الأحمال التي تعطي الاختراق نفسه ولكن داخل عينة من كسر الأحجار المسحوقة العالية النوعية (والتي لها قيمة CBR= 100) وهذه النسبة هي نسبة قوة تحمل كاليفورنيا (CBR) للمادة التي يجري اختبارها.

توزيع الحركة على الحارات المختلفة بالطريق .

يتم تصميم الطريق على أساس حجم المرور المتوقع على الحارة الواحدة من الطريق ويختلف هذا الحجم تبعاً لعدد الحارات بالطريق وكذلك النسب الخاصة بالنوعيات المختلفة من المركبات وفي حالة الطرق التي تزيد عن حارتين في الاتجاهين تتميز الحارات الخارجية (جهة الأكتاف) بزيادة الحركة عليها خصوصاً في الأوقات التي يقل بها المرور وعموماً يمكن الاسترشاد بالنسب التالية للتوزيع في حالة عدم توفر بيانات عن ذلك.

جدول رقم (2) نسبة مركبات النقل في الحارة التصميمية

عدد حارات الطريق (في الاتجاهين)	نسبة مركبات النقل في الحارة التصميمية (من حجم مركبات النقل الكلي)
2	50?
4	45?
6أو أكثر	٪ 40

الفترة التصميمية .

وهي الفترة الزمنية بالسنين من تاريخ افتتاح الطريق للمرور حتى تاريخ احتياجه إلى صيانة جسيمة وعادة ما تكون بين 10و30 سنة وتؤخذ الفترة التصميمية 15 سنة للرصف المرن للطرق ويمكن اختيار أي فترة زمنية أخرى بما يتناسب وظروف الإنشاء ودرجة أهمية الطريق .

معدلات الزيادة السنوية .

وتقدر معدلات الزيادة السنوية في أحجام المرور بمعرفة متوسط حجم المرور اليومي على الطريق لعدة سنوات ومنه يمكن حساب معدل الزيادة السنوية في حجم المرور على هذا الطريق وفي حالة عدم توفر بيانات كافية لتقدير هذه النسبة فإنه يمكن استخدام نسبة زيادة سنوية في حجم المرور تتراوح بين 2 ، 4٪ طبقاً للمنطقة التي يتم إنشاء الطريق بها ولمعاملات النمو حسب الفترة التصميمية . انظر جدول رقم (3) .

تأثير العوامل البيئية

تؤثر العوامل البيئية تأثيراً كبيراً على أداء مواد إنشاء الطريق ومن ثم على حالته الإنشائية خلال العمر الافتراضي له ولذلك يلزم التعرف على هذه العوامل حتى يمكن أخذها في الاعتبار عند التصميم .ومن أهم العوامل المناخية المؤثرة درجة الحرارة التي تؤثر بدرجة كبيرة على أداء طبقات الرصف الأسفلتية وكذلك الأمطار والمياه الجوفية والصقيع وأثرها على تشبع طبقات الرصف المختلفة ابتداء من تربة التأسيس وما فوقها من طبقات تحت أساس وأساس ولذلك فإنه يلزم تحديد تأثير كل من هذه العوامل على القطاع الإنشائي الذي سيتم تصميمه حسب الظروف البيئية بالمنطقة الواقع بها الطريق .

طريقة التصميم :

يجب تحديد الخصائص التالية عند تصميم الرصف المرن طبقاً للطريقة الواردة في هذا الدليل والمأخوذة عن طريقة اتحاد مسئولي النقل والطرق الأمريكي (AASHTO).

معامل الرجوعية (Mr)

يعتبر معامل الرجوعية مقياساً لمقاومة أي طبقة من طبقات القطاع الإنشائي للرصف والتي يمكن تحديدها بدءاً من طبقات تربة التأسيس فالأساس المساعد ثم الأساس فطبقات الرصف الأسفلتية ويتم إيجاد قيمة هذا المعامل عن طريق إجراء التجارب المعملية المناسبة لكل طبقة وحسب نوع المواد المستخدمة في هذه الطبقات . وعموماً في حالة عدم التمكن من إجراء مثل هذه التجارب يمكن تقدير قيمة تقديرية لهذه المعاملات بناء على نتائج اختبارات نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) والتي تعتبر من التجارب الشائعة في معظم معامل الطرق ، فبالنسبة لتربة التأسيس تكون العلاقة بين معامل الرجوعية (Mr) ونسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) كالآتي :

Mr = 1500 x CBR PSI

ومما يجب التنبيه له أن هذه العلاقة قابلة للتطبيق للتربة التي تقل نسبة تحمل كاليفورنيا عن 10٪ وفي حالة كون CBR 10? فأكثر فيمكن تحديدها بدقة عن طريق إجراء تجربة معامل الرجوعية وبالنسبة لطبقات تحت الأساس والأساس من المواد الحصوية فيمكن استخدام قيم معامل الرجوعية المقابلة لنسب تحمل كاليفورنيا المقابلة لها والمبينة بجدول رقم (6) .

وبالنسبة لطبقات الرصف السطحية المكونه من الخلطات الأسفلتية يقدر معامل الرجوعية لها بناء على قيم الثبات لتجربة مارشال (Marshall) أو قيم التماسك في اختبار فييم (Hveem) لهذه الطبقات حسب ما هو مبين في جدول رقم (4) .

القيمة النهائية والابتدائية لدليل مستوى حالة سطح الرصف:

القيمة النهائية هي أقل مستوى حالة يسمح به في نهاية فترة التحليل وذلك قبل اللجوء لعمل أي نوع من أنواع الصيانة الجسيمة كالتغطية أو إعادة الإنشاء . وعادة فإن القيمة النهائية لدليل مستوى الحالة تؤخذ 2.5 للطرق الرئيسية وتؤخذ 2.0 للطرق المحلية والثانوية . بينما القيمة الابتدائية لدليل مستوى حالة الرصف بعد الانتهاء من تنفيذ الرصف مباشرة تتراوح قيمتها بين 4.2إلى 4.5تبعاً لجودة التنفيذ .

جدول رقم (4) : معامل طبقة الخلطة الأسفلتية (a1) المقابل لمعامل مرونة الطبقة الأسفلتية عند درجة حرارة 20˚ م

معامل المرونة (رطل / بوصة 2)	ثبات مارشال (رطل)	معامل قوة الطبقة الأسفلتية	التماسك Hveem
125.000	500	0.22	80
150000	750	0.25	95
200000	975	0.30	120
250000	1200	0.33	130
300000	1400	0.36	155
350000	1600	0.39	175
400000	1900	0.42	190

جدول رقم (5) قيم المعاملات m2 , m3 للقدرة على التصريف من طبقتي تحت الأساس والأساس .

كفاءة التصريف	مناطق صحراوية	المناطق الزراعية
جيدة	1.15 – 1.25	1.0
ضعيفة	0.80 – 1.05	0.60

جدول رقم (6) معامل الطبقة لكل من طبقتي تحت الأساس (a3) والأساس الحصوية (a2) المقابل لمقدار نسبة تحمل كاليفورنيا للطبقة وكذلك معاملات الرجوعية (Mr)

نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR)	معامل قوة تحت الأساس (a3)	Mr رطل / بوصة 2	معامل قوة2 الأساس(a2)	Mr رطل / بوصة 2
20	0.095	13000	-	-
25	0.100	13500	-	-
30	0.11	14500	-	-
40	0.120	16000	0.105	21000
55	0.125	17500	0.120	25000
70	-	-	0.130	27000
100	-	-	0.140	30000

الرقم الإنشائي (SN).

وهو عبارة عن رقم دليلي ناتج من تحليل المرور وتربة التأسيس والقدرة على تصريف المياه من الطبقات والذي يمكن تحويله إلى سمك الطبقات المختلفة لطبقات الرصف المرن عن طريق استخدام معاملات الطبقات والتي تعتمد على أنواع المواد المستخدمة في طبقات الرصف المختلفة ومعامل الطبقة يعرف برمز a1 , a2 , a3 لطبقات السطح والأساس وتحت الأساس على الترتيب وهو عبارة عن العلاقة بين الرقم الإنشائي للرصف وسمك الطبقة بالبوصة وهو يمثل القدرة النسبية للمادة المستخدمة في كل طبقة من طبقات الرصف والتي

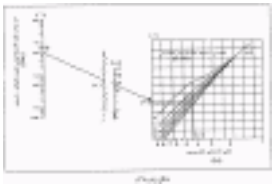
تشارك في القوة الإنشائية لقطاع الرصف ككل ويتم توزيع الرقم الإنشائي (SN) كالآتي :

$$SN = a1\ t1 + a2\ m2\ t2 + a3\ m3\ t3$$

حيث t1, t2 , t3 هي سمك الطبقات المختلفة بينما m2 , m3 تمثل معاملات تصريف الأمطار من طبقتي الأساس و تحت الأساس على الترتيب ومعامل الطبقة لكل من طبقتي الأساس (a2) و تحت الأساس (a3) يمكن ربطهما مباشرة بنتائج اختبارات تحمل كاليفورنيا (CBR) والتي يتم إجراؤها تحت أسوأ الظروف المتوقعة في الموقع ويعتبر الغمر لمدة أربعة أيام لعينات هذه الاختبارات الممثل لظروف الطرق وذلك كما سبق ذكره في جدول رقم (6) حيث يوضح قيم هذه المعاملات المقابلة لمقدار نسبة تحمل كاليفورنيا لكل من الطبقتين أما معامل الطبقة السطحية الأسفلتية فيتم ربطه بمقدار معامل الرجوعية لها عند درجة حرارة 20° مئوية . يبين جدول (4) قيم هذا المعامل المقابل لقيم مختلفة من معامل المرونة أما المعاملات m3 m2 , والتي تعكس مقدرة طبقتي الأساس وتحت الأساس على تصريف الأمطار فيتم تقديرها على أساس سرعة تصريف المياه من الطبقة وعموماً يمكن القول إن درجة التصريف جيدة إذا تم التخلص من المياه خلال 24 ساعة أما إذا احتفظت الطبقة بالمياه لمدة شهر فتعتبر درجة التصريف ضعيفة وبناء على ذلك تكون قيم m2 , m3 لظروف التشغيل كما هو مبين بجدول رقم (5)

تحديد سمك طبقات الرصف .

الهدف من طريقة التصميم المستخدمة هو إيجاد طبقات رصف لها رقم إنشائي (SN) كافي لتحمل الأحمال التي يتعرض لها الطريق ويوضح الشكل رقم (34) المنحنيات المستخدمة في تصميم الرصف المرن وقد تم الحصول عليها من طريقة اتحاد مسئولي النقل والطرق الأمريكي AASHTO وذلك لقيمة معامل ثقة 95٪ وانحراف معياري 0.45 وتكون خطوات استخدام المنحنيات كالتالي :



- يتم توقيع عدد مرات التكرار القياسية المفردة المكافئة على المحور (أ) ـ نقطة (1).
- يتم توقيع معامل مرونة التربة التأسيسيه (Mr) على المحور (ب) (نقطة 2) .
- ويتم توصيل النقطة (2) مع النقطة (1) حتى يتقاطع الخط الواصل بينهما مع محور (جـ) في نقطة (3).

- يتم حساب الفرق بين مستوي الخدمة الابتدائي والنهائي (PSI) ومنه يتم تحديد المنحنى الذي يستخدم في التصميم (د) .
- يتم رسم خط أفقي من نقطة (3) حتى يتقاطع مع المنحنى الذي له فرق مستوى الخدمة المحدد (PSI) المطلوبة في نقطة (4) .
- من نقطة (د) يتم رسم خط رأسي يتقاطع مع المحور الأفقي للمنحني عند نقطة (5) التي تحدد قيمة الرقم الإنشائي لطبقات الرصف (SN3) .
- يتم تكرار نفس الخطوات السابقة (من 1 إلى 5) باستخدام معامل المرونة الرجوعي لطبقة الأساس المساعد ويتم الحصول على الرقم الإنشائي (SN 2) .
- يتم تكرار الخطوات السابقة (من 1 إلى 5) باستخدام معامل المرونة الرجوعي للأساس ويتم الحصول على الرقم الإنشائي (SN1) .
- يتم استخدام العلاقات التالية للحصول على سمك طبقات الرصف المختلفة .

سمك الطبقة السطحية (بالبوصة) = $t1 = \frac{SN1}{a\ 1}$

سمك طبقة الأساس (بالبوصة) = $t2 = \frac{SN2 - a1\ t1}{a\ 2\ m2}$

سمك طبقة تحت الأساس (بالبوصة) = $t3 = \frac{SN3 - a1\ t1 - a2\ t2\ m2}{a3\ m3}$

(ملحوظة : يقرب سمك الطبقة إلى أقرب 1سم لأعلى قبل حساب السمك التالي)

أقل سمك لطبقات الرصف .

يبين جدول (7) أقل سمك مقترح لطبقات الرصف المختلفة المقابل لإجمالي عدد أحمال محورية قياسية مكافئة خلال العمر التصميمي للطريق .

جدول رقم (7) أقل سمك للقطاعات النمطية المقترحة لدرجات الطرق المختلفة

نوع طبقة التأسيس	القطاعات النموذجية للطرق المحلية	القطاعات النموذجية للطرق التجميعية الحضرية والطرق الفرعية الثانوية المحلية الخلوية	القطاعات النموذجية للطرق الشريانية والخلوية الرئيسية
طبقة التأسيس ممتازة (نسبة تحمل كاليفورنيا > 9?)	5سم طبقة سطحية 15سم طبقة أساس	5سم طبقة سطحية 5سم طبقة أساس أسفلتي 20سم طبقة أساس	5سم طبقة سطحية 5سم طبقة أساس أسفلتي 25سم طبقة أساس
طبقة التأسيس متوسطة (نسبة تحمل كاليفورنيا 5-9٪)	5سم طبقة سطحية 15سم طبقة أساس	5سم طبقة سطحية 5سم طبقة أساس أسفلتي 25سم طبقة أساس	5سم طبقة سطحية 5سم طبقة أساس أسفلتي 30سم طبقة أساس
طبقة التأسيس ضعيفة (نسبة تحمل كاليفورنيا 2-5 ٪)	5سم طبقة سطحية 30سم طبقة أساس	5سم طبقة سطحية 5سم طبقة أساس أسفلتي 30سم طبقة أساس	5سم طبقة سطحية 7سم طبقة أساس أسفلتي 35 سم طبقة أساس