جامـــعة دمـــشق
كليـــــة الهندسة المدنية
قسم هندسة النقل ومواد البناء

تصميم طبقات الرصف

المحاضرة 11

هندسة الطرق

محتوى المحاضرة:

مقدمة

طريقة الآشتو 1972

طريقة الآشتو 1993

تحديد سماكات طبقات الرصف

مقدمة:

إن أول طريقة لتصميم الرصف كانت عام 1961 ونُشرت من قبل لجنة الآشتو وبما أن هندسة الطرق تعتمد في مجالها على الجانب التجريبي ، فقد تم تعديل هذه الطريقة عدة مرات لجعلها أكثر شمولية ومنها نتجت طريقة الآشتو 72 و 93 .

إن الطريقة المعتمدة في بلدنا هي 93 لأنها الأفضل حتى الآن ، ولكن سندرس أيضاً طريقة 72 التي كانت تستخدم سابقاً.

طريقة الآشتو 1972:

تعتمد طريقة الآشتو 72 على مفهوم الأداء في الخدمة ويعرف بـ :

قابلية طبقات الرصف للخدمة من خلال الانتهاء من الإنشاء مباشرةً أو في أي زمن كان بعد الإنشاء.

بمعنى آخر : هو دليل على كم من المدة ستظل طبقات الرصف تؤدي وظيفتها.

وبالاعتماد على دليل الخدمة وعلى مخططات تم تصميمها أصبح بإمكاننا حساب سماكات الطبقات.

تعتمد المخططات على المفاهيم التالية:

- مقاومة تربة المسار S
- عدد المحاور المكافئة التي ستمر على الحارة التصميمية للطريق خلال العمر التصميمي له $ESAL_n$
- الرقم الإنشائي المساعد $\overline{SN}$
- العامل الإقليمي R
- الرقم الإنشائي الموزون SN

1- دليل الخدمة (Pt):

تتراوح قيمة Pt بين (0 - 5)

تمثل القيمة 5 الحالة الممتازة جداً لطبقات الرصف (أي في بداية وضع الطريق بالخدمة) حيث تكون الطبقات خالية من أي تشوهات أو تشققات.

تمثل القيمة 0 الحالة السيئة جداً حيث لا يمكن استخدام الطريق نهائياً .

طبعاً نحن لا ننتظر حتى يصبح Pt=0 حيث تعتبر معظم الدول أنه عندما تصل قيمة دليل الخدمة Pt=2.5 يكون العمر التصميمي للطريق في نهايته ، وهذه القيمة للطرق من الدرجة الأولى أما بالنسبة للطرق من الدرجات الأخرى عندما تصل Pt=2 يكون انتهى العمر التصميمي للطريق.

2- مقاومة التربة (S):

تتغير قدرة تحمل التربة في المجال (10←0) فمثلاً : S = 3 تمثل مقاومة تربة سيليتية غضارية ، أما S=10 فتمثل مقاومة بحص مكسر.

وكلما زادت S زادت مقاومة التربة.

ولحساب S فأننا نعتمد قيمة نسبة تحمل كاليفورنيا C.B.R ومنها نستنتج S

3- عامل الموقع (العامل الإقليمي R):

إن قيمة عامل الموقع تقدر بتحليل مدى استمرار ظرف من الظروف المناخية المحلية خلال دورة سنوية ، فكلما زادت قيمته دل ذلك على وجود ظروف محلية أكثر سوء وقد تم اقتراح القيم التالية لعامل الموقع كما هو مبين بالجدول التالي:

التربة الحاملة	R
مواد تربة قابلة للتجمد حتى عمق ≤ 5	0.2 - 1
مواد تربة المسار جافة	0.3 -1.5
مواد تربة المسار رطبة	4 - 5

4- الرقم الإنشائي (SN):

نقصد به الرقم الإنشائي الموزون SN وليس المساعد $\overline{SN}$

تعريفه: هو يعبر عن المقاومة الإنشائية التي يجب أن تحقق في طبقات الرصف كي تتحمل حمولات الحركة المرورية وفق الشروط المحلية لتربة المسار (S) وعامل الموقع لمناخ المنطقة (R)

يتعلق الرقم الإنشائي SN بحساب سماكات طبقات الرصف وفق المعادلة التالية:

$$SN = a_1 . D_1 + a_2 . D_2 + a_3 . D_3$$

D_1 : سماكة الطبقة السطحية (الاهتراء والأساس الاسفلتي معا)

D_2 : سماكة طبقة الأساس الحصوية (بحص مكسر)

D_3 : سماكة طبقة ما تحت الأساس الحصوية (عبارة عن رمل)

a_1,a_2,a_3 : عوامل الطبقات الثلاث السابقة بالترتيب ويطلق عليها أيضا اسم عوامل المتانة النسبية وهي تدل على نوعية وجودة الحصويات الداخلة في تركيب كل طبقة من الطبقات الثلاث.

5- عوامل الطبقات (α_i):

تعريفها : وهي عبارة عن قيم ليس لها واحدة ، إنها تميز نوعية المواد المستعملة في طبقات الرصف تأخذ عادة القيم التالية:

$a_1 = 0.44$ للبيتون الإسفلتي المستعمل في الطبقة السطحية .

$a_2 = 0.14$ للحجر المكسر المستعمل في طبقة الأساس الحصوية .

$a_3 = 0.11$ المواد الحصوية الرملية المستعملة في طبقات ما تحت الأساس

وعادة ما يتم إيجاد هذه القيم من مخططات خاصة تعتمد على تجارب مخبرية

بالنسبة للأشتو 72 : لإيجاد a_1 تعتمد على تجربة ثبات مارشال .

a_2 ,a_3 تعتمد على $C.B.R$

بالنسبة للأشتو 93 : لإيجاد a_1 تعتمد على تجربة مارشال .

a_2 ,a_3 تعتمد على $C.B.R$

طريقة استخدم مخططات التصميم وفق آشتو 72:

1. نحدد مستوى الخدمة Pt حسب نوع الطريق (رئيسي أو ثانوي) وبناءً عليه نختار المخطط المناسب للتصميم (يذكر لنا بالمسألة نوع الطريق)
2. نحدد قيمة $C.B.R$ الديناميكي على المخطط الذي يحتوي كلاً من القيم $C.B.R$ و (S) قيمة تحمل التربة ثم نرسم منها خطاً أفقياً يقطع محور قيمة تحمل التربة S في نقطة منه فنحصل على قيمة (S)
3. نوقع قيمة مقاومة تربة المسار (S) على المحور الأول في مخطط التصميم المتعمد في الدراسة.
4. نوقع على المحور الثاني في المخطط المعتمد في التصميم ، عدد المحاور المكافئة الكلي على الحارة التصميمية خلال العمر التصميمي للطريق $ESAL_n$

5- نصل بين النقطتين السابقتين ثم نمدد الخط ليقطع محور الرقم الإنشائي المساعد $(\overline{SN})$ في نقطة ما

6. نحدد على محور عامل الموقع قيمة (R) المعطاة في الدراسة ونصل بينها وبين النقطة السابقة الواقعة على محور SN ثم نمدد الخط ليقطع محور الرقم الإنشائي الموزون SN في نقطة منه، نأخذ قراءتها ونعوض في المعادلة:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 \ \ldots\ldots (1)$$

7- نفرض سماكات الطبقات العلوية بحدودها الدنيا المسموحة و من مبدأ التوفير في الكلفة حيث تؤخذ $D_2 = 4$ `` , $D_1 = 2$`` في حال كان الطريق ثانوي.

وتؤخذ $D_2 = 8$``, $D_1 = 4$`` في حال كان الطريق رئيسي.

أما سماكة طبقة ما تحت الأساس فتحسب قيمتها من العلاقة (1) السابقة ، علماً أن قيم السماكات في هذه العلاقة تؤخذ بالانش.

وحسب المواصفات الفنية السورية فإن القيم الدنيا للسماكات:

الطبقات الإسفلتية هي 3 - 6 سم لطبقة الاهتراء و 5 - 8 لطبقة الأساس الاسفلتي

وعادة تؤخذ قيمة D_2 ضعف قيمة D_1 .

نقرب السماكات بالانش إلى أقرب أكبر ربع إنش.

نقرب السماكات بالسنتيمتر إلى أقرب أكبر 1 سم للطبقات الحصوية وإلى أكبر 0.5 سم للطبقات الإسفلتية.

Table C.2-1

Traffic Equivalence Factors, Flexible Pavement

Single Axles, $p_t = 2.0$

Axle Load		Structural Number, SN					
Kips	kN	1	2	3	4	5	6
2	8.9	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	17.8	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	26.7	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
8	35.6	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
10	44.5	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08
12	53.4	0.16	0.18	0.19	0.18	0.17	0.17
14	62.3	0.32	0.34	0.35	0.35	0.34	0.33
16	71.2	0.59	0.60	0.61	0.61	0.60	0.60
18	80.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	89.1	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.60
22	97.9	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	106.8	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	115.7	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	124.6	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	133.4	10.38	10.03	9.24	8.65	8.73	9.17
32	142.3	14.00	13.51	12.37	11.46	11.48	12.07
34	151.2	18.55	17.87	16.30	14.97	14.87	15.63
36	160.1	24.20	23.30	21.16	19.28	19.02	19.93
38	169.0	31.14	29.95	27.12	24.55	24.03	25.10
40	177.9	39.57	38.02	34.34	30.92	30.04	31.25

Table C.2-2

Traffic Equivalence Factors, Flexible Pavement

Tandem Axles, $p_t = 2.0$

Axle Load		Structural Number, SN					
Kips	kN	1	2	3	4	5	6
10	44.5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
12	53.4	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
14	62.3	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
16	71.2	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04
18	80.1	0.07	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07
20	89.0	0.10	0.12	0.12	0.12	0.11	0.10
22	97.9	0.16	0.17	0.18	0.17	0.16	0.16
24	106.8	0.23	0.24	0.26	0.25	0.24	0.23
26	115.7	0.32	0.34	0.36	0.35	0.34	0.33
28	124.6	0.45	0.46	0.49	0.48	0.47	0.46
30	133.4	0.61	0.62	0.65	0.64	0.63	0.62
32	142.3	0.81	0.82	0.84	0.84	0.83	0.82
34	151.2	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	160.1	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	169.0	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	177.9	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	186.8	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	195.7	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	204.6	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	213.5	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83

Traffic Equivalence Factors, Flexible Pavement

Single Axles, $p_t = 2.5$

Axle Load		Structural Number, SN					
Kips	kN	1	2	3	4	5	6
2	8.9	0.0004	0.0004	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
4	17.8	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.002
6	26.7	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
8	35.6	0.03	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03
10	44.5	0.08	0.10	0.12	0.10	0.09	0.08
12	53.4	0.17	0.20	0.23	0.21	0.19	0.18
14	62.3	0.33	0.36	0.40	0.39	0.36	0.34
16	71.2	0.59	0.61	0.65	0.65	0.62	0.61
18	80.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	89.0	1.61	1.57	1.49	1.47	1.51	1.55
22	97.9	2.48	2.38	2.17	2.09	2.18	2.30
24	106.8	3.69	3.49	3.09	2.89	3.03	3.27
26	115.7	5.33	4.99	4.31	3.91	4.09	4.48
28	124.6	7.49	6.98	5.90	5.21	5.39	5.98
30	133.4	10.31	9.55	7.94	6.83	6.97	7.79
32	142.3	13.90	12.82	10.52	8.85	8.88	9.95
34	151.2	18.41	16.94	13.74	11.34	11.18	12.51
36	160.1	24.02	22.04	17.73	14.38	13.93	15.50
38	169.0	30.90	28.30	22.61	18.06	17.20	18.98
40	177.9	39.26	35.89	28.51	22.50	21.08	23.04

Table C.2-4

Traffic Equivalence Factors, Flexible Pavement

Tandem Axles, $p_t = 2.5$

Axle Load		Structural Number, SN					
Kips	kN	1	2	3	4	5	6
10	44.5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
12	53.4	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
14	62.3	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02
16	71.2	0.04	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04
18	80.1	0.07	0.10	0.11	0.09	0.08	0.07
20	89.0	0.11	0.14	0.16	0.14	0.12	0.11
22	97.9	0.16	0.20	0.23	0.21	0.18	0.17
24	106.8	0.23	0.27	0.31	0.29	0.26	0.24
26	115.7	0.33	0.37	0.42	0.40	0.36	0.34
28	124.6	0.45	0.49	0.55	0.53	0.50	0.47
30	133.4	0.61	0.65	0.70	0.70	0.66	0.63
32	142.3	0.81	0.84	0.89	0.89	0.86	0.83
34	151.2	1.06	1.08	1.11	1.11	1.09	1.08
36	160.1	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	169.0	1.75	1.73	1.69	1.68	1.70	1.73
40	177.9	2.21	2.16	2.06	2.03	2.08	2.14
42	186.8	2.76	2.67	2.49	2.43	2.51	2.61
44	195.7	3.41	3.27	2.99	2.88	3.00	3.16
46	204.6	4.18	3.98	3.58	3.40	3.55	3.79
48	213.5	5.08	4.80	4.25	3.98	4.17	4.49

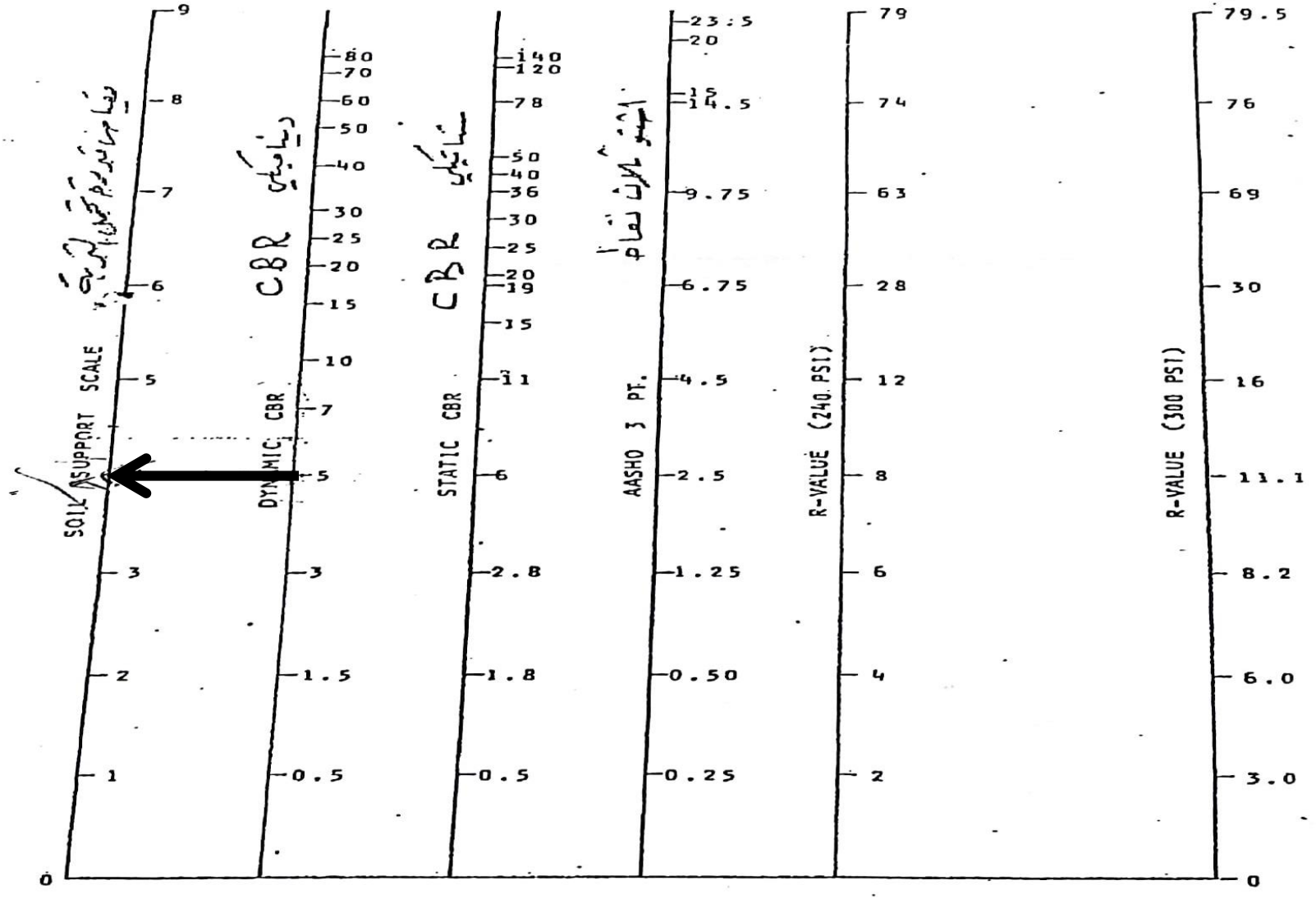

Figure C.3-6 Test Values as Determined from the Graphs in Figures C.3-2 through C.3-5

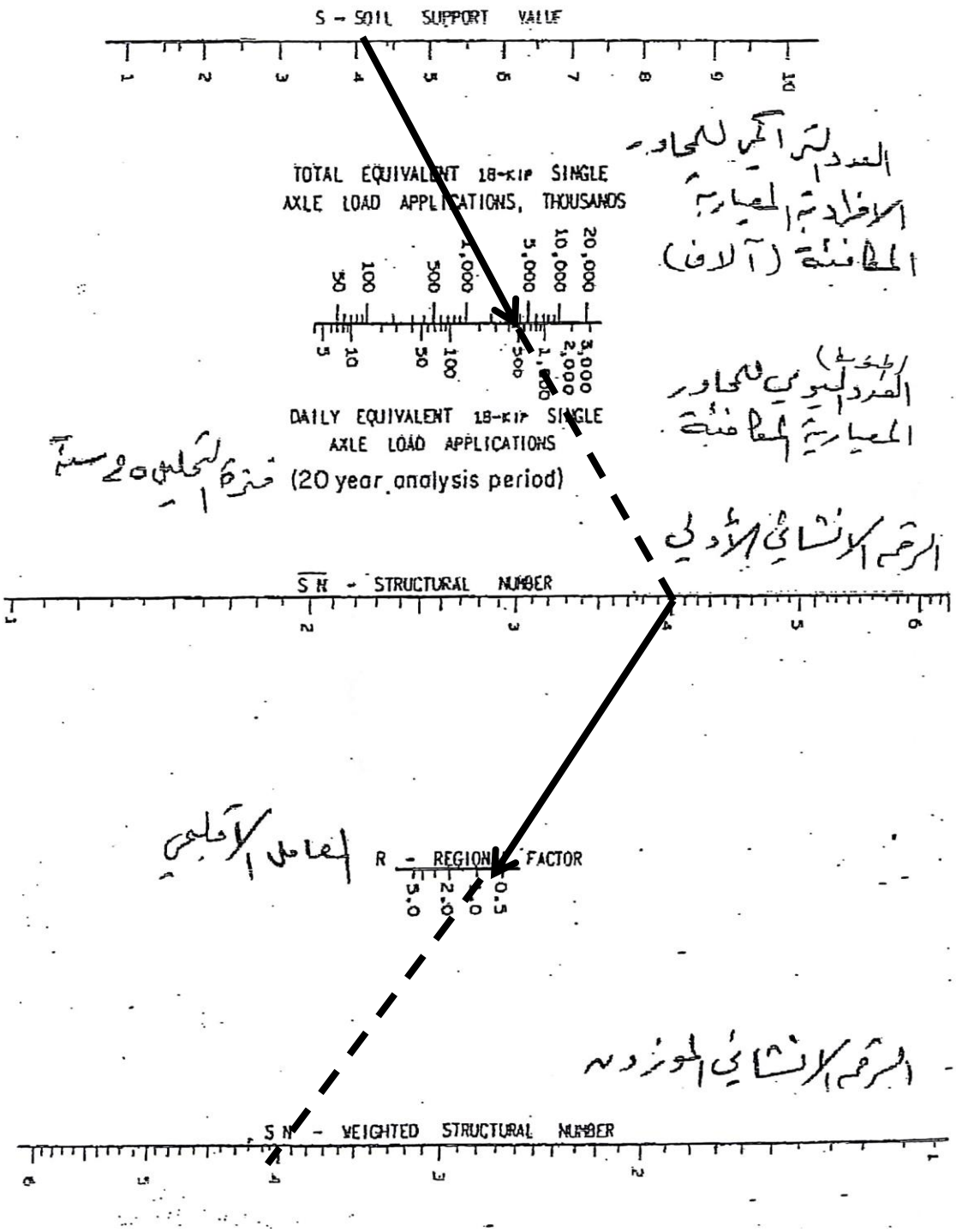

Figure II-2 Design Chart for Flexible Pavements, $p_t = 2.0$

طريقة الآشتو 1993:

قام اتحاد جمعية النقل والطرق الأمريكي أشتو في عام 1993 بوضع طريقة معدلة لتصميم طبقات الرصف المرن ، وكان التعديل عن طريق إدخال تأثير مجموعة جديدة من عوامل التصميم وهي:

درجة الثقة R والانحراف المعياري S_0

أضافت هذه الطريقة عامل أمان يتم من خلاله زيادة مستوى الحمولات المحورية المتراكمة المستخدمة في التصميم ويتكون عامل الأمان من شقين :

الأول هو درجة الثقة R والثاني هو الإنحراف المعياري الكلي S_0

بالنسبة لدرجة الثقة R فتعريفها هي عبارة عن نسبة مئوية تعبر عن درجة الثقة المرغوب فيها من قبل المصمم .

مثلاً عند اعتبار $R= 95\ \%$ فهذا يعني إن المصمم يقبل أن هناك 5% احتمال انهيار مبكر للمقاومة الإنشائية لطبقات الرصف أي أن الطريق سيستطيع أداء وظيفته بشكل جيد خلال عمره التصميمي بنسبة 95% وقد ينهار وظيفياً (يصبح بحاجة لصيانة) ويفشل بأداء وظيفته خلال العمر التصميمي المقدر له بنسبة 5%

أما بالنسبة لقيمة الانحراف المعياري الكلي فهي تعتمد على درجة التباين لكل قيم عوامل التصميم سواء المتعلقة بتحديد الحمولات وحركة المرور المتوقعة أو تلك المتعلقة بالمواصفات الفنية لمواد الرصف المستخدمة أو درجة مستوى الأداء و مستوى تنفيذ وقيمة S_0 تؤخذ مساوية ل 0.35 (حسب الكود السوري) إن لم تكن معطاة في نص المسألة.

ملاحظة مهمة جداً : إذا ذكر لنا في المسألة ان الطريق تم إنشاؤه على مرحلتين فنقوم بجذر قيمة R

مثلاً : $R = 90\% \quad R = \sqrt{0.90} = 0.95$

مقدار التغيير في مستوي الخدمة ΔPSI :

كما أوضحنا سابقاً أن القيمة النهائية لدليل الخدمة هي أقل مستوى خدمة يسمح به في نهاية العمر التصميمي وذلك قبل اللجوء لوضع قميص اسفلتي جديد أو إعادة إنشاء وعادة تؤخذ (2) للطرق الثانوية و 2.5 لطرق الرئيسية

وأما القيمة المبدئية لدليل الخدمة Pt_1 فتحدد مباشرة بعد الانتهاء من التنفيذ (أي نحدد كم يكون مستوى الخدمة له وهو جديد) ولن تصل هذه القيمة لمستوى الخدمة إلى حدها الأقصى وهو 5 لذلك ناخذ قيمته $Pt_1 = 4.2$ في الرصف المرن، و $Pt_1 = 4.5$ في الرصف الصلب : طبعاً في دراستنا نصمم رصف مرن لذلك ناخذ القيمة 4.2 فتكون ΔPSI (الفرق بين دليل الخدمة الابتدائي والنهائي) :

عامل مرونة التربة الارتجاعي M_R:

استخدام عامل مرونة تربة المسار الارتجاعي ليعكس الخواص الهندسية لتربة الاستناد ، حيث انه عند مرور العربات على طبقات الرصف فإن ذلك يؤدي إلى ظهور إجهادات وتشوهات ضمن تربة المسار وهذه التشوهات على نوعين :

منها دائمة ومنها مسترجعة

اختيار عامل مرونة التربة الارتجاعي يحدد خواص تربة الاستناد تحت تأثير هذه الحمولات المتكررة.

إن اختيار تحديد قيمة عامل مرونة التربة الارتجاعي *AASHTO T 274* غير متوفر في معظم المخابر لذا يتم الاستعاضة عنه باختيار C.B.R ومن ثم نطبق العلاقة التجريبية التالية:

$$M_R(MPA) = 10.34 * C.B.R \quad , M_R(PSi) = 1500 * C.B.R$$

الفرق بين العلاقتين هي الواحدة التي ستنتج بها M_R : ولكن شرط استخدام العلاقات السابقة هو

$C.B.R \leq 10\%$ وفي حال عدم تحقق هذا الشرط فيجب إجراء اختبار *AASHTO T 274* أو تطبيق علاقات تجريبية أخرى .

الرقم الإنشائي SN:

يمكن إيجاد قيمة الرقم الإنشائي SN باستخدام مخطط التصميم ، حيث تم إيجاد قيمة SN لكل طبقة من طبقات الرصف على حدى (وليس لطبقة واحدة كما في آشتو 72) .

بحيث في كل مرة نستخدم فيها هذا المخطط نقوم بتعويض قيمة M_R للطبقة الموجودة أسفل الطبقة المدروسة. (أي للطبقة التي تستند عليها الطبقة المدروسة) :

ويتم استخدام المخطط كما يلي:

- نحدد قيمة R على المحور الأول.
- نحدد قيمة S_0 على المحور الثاني.
- نصل بين القيمتين السابقتين ونمدد الخط فيقطع المحور المساعد في نقطة ما .
- نحدد قيمة ESALn ثم نصل بينها وبين النقطة التي حددناها على المحور المساعد الأول ونمدد الخط ليقطع المحور المساعد الثاني في نقطة ما
- نحدد قيمة Mr للطبقة التي تستند عليها الطبقة المدروسة. ثم نصل بينها وبين النقطة السابقة ونمدد الخط حتى يقطع أول خط عمودي في الشبكة .
- نرسم خطاً أفقياً من النقطة السابقة حتى يقطع أحد المنحنيات المرسومة داخل الشبكة عند قيمة مساوية لقيمة ΔPSI المحسوبة.

ملاحظة:

إذا كان المنحني المعبر عن قيمة (ΔPSI)غير موجود في الشبكة فنرسمه بشكل تقريبي.

ننزل عمود من النقطة السابقة حتى يقطع المحور الأفقي في نقطة هي قيمة SNالتي تمثل الرقم الإنشائي للطبقة المدروسة مع كافة الطبقات الواقعة فوقها (أي عندما نوجد قيمة SN لطبقة الأساس الحصوية فتكون SN تعبر عن طبقة الأساس الحصوية و الطبقات التي فوقها و هي طبقة القميص. لذلك سنجد لاحقاً أنه لإيجاد SN لطبقة الأساس الحصوية فقط فإننا نطرح من فيمة SN الناتجة من SN الخاص بطبقة القيمص:

$$SN\text{الأساس الحصوية} = SN\text{القميص و الأساس الحصوية} - SN\text{القميص}$$

وبعد حساب SN لكل طبقة نتحقق من سماكة كل طبقة بحيث يكون مجموع المقاومات الإنشائية لكامل الطبقات أكبر أو يساوي الرقم الإنشائي المطلوب:

$$SN \leq a_1 D_1^* + a_2 m_2 D_2^* + a_3 m_3 D_3^*$$

حيث: D_3^*, D_2^*, D_1^* : سماكات الطبقات الثلاثة بالانش بعد التقريب.

a_3, a_2, a_1 : عوامل المتانة النسبية للطبقات الثلاثة.

m_2, m_3: معاملات تصريف المياه لطبقتي الأساس الحصوي وما تحت الأساس الحصوي.

وهنا نلاحظ أن طريقة AASHTO 93 قد أضافت العوامل m_3 و m_2 لطبقتي الأساس وماتحت الأساس وهي تعكس قدرة هاتين الطبقتين على سرعة تصريف المياه عموماً.

Overall standard deviation, S_0
Reliability, R (%)
99.9
99
90
80
70
60
50
Estimated total 18-kip equivalent single-axle load applications, W_{18} (millions)
50
10
5.0
1.0
.5
.05
Effective roadbed soil Resilient modulus, M_R (psi) x 10^3
40
20
10
5
1
Design Serviceability Loss, ΔPSI
.05
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
9 8 7 6 5 4 3 2 1
Design structural number, SN
Example:
$W_{18} = 5 \times 10^6$
$R = 95\%$
$S_0 = 0.35$
$M_R = 5000$ psi
ΔPSI = 1.9
Solution: SN = 5.0

تحديد سماكات طبقات الرصف:

1) **حسب سماكة طبقة القيمص (الأساس الاسفلتي والاهتراء)** .

نوجد قيمة SN_1 من المخطط التصميمي مع الانتباه إلى تعويض قيمة M_R الموافقة للطبقة الواقعة أسفل الطبقة المدروسة (أي هذه الحالة هنا هي طبقة الأساس الحصوي) والقيمة التي نحصل عليها ل SN_1 نعوضها في العلاقة:

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1} \ (INCH)$$

نقرب إلى أكبر ربع إنش فنحصل على D_1^* ثم نحسب قيمة SN_1^* من العلاقة:

$$SN_1^* = \ a_1 * D_1^*$$

بما اننا غيرنا قيمة D_1 فستنتج قيمة جديدة ل SN لذلك عدنا وحسبناها من جديد...

2) **حساب سماكة طبقة الأساس الحصوي:**

نوجد قيمة SN_2 من المخطط التصميمي نعويض قيمة M_R لطبقة ما تحت الأساس الحصوي أو SN_2 الناتجة تمثل الرقم الإنشائي لطبقة الأساس الحصوي وللطبقة الإسفلتية ومن ثم نحسب قيمة D_2 من العلاقة

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 * m_2} \ (INCH)$$

لاحظ في البسط الطرح عبارة عن حساب SN الخاصة ب طبقة الأساس الحصوية نقرب إلى أكبر ربع إنش فنحصل على D_2^* ثم نحسب قيمة SN_2^* من العلاقة:

$$SN_2^* = \ a_1 * m_2 * \ D_2^*$$

SN_2^*: تعبر عن الرقم الإنشائي لطبقة الأساس الحصوية فقط.

3) **حساب سماكة طبقة ما تحت الأساس :**

نوجد قيمة SN_3 من المخطط التصميمي نعويض قيمة M_R لطبقة الطابق الترابي وهي تمثل في هذه الحالة القيمة الكلية للرقم الإنشائي SN أي أنها تمثل الرقم الإنشائي للطبقات الثلاثة معاً ومن ثم نحسب قيمة D_3 من العلاقة

$$D_3 = \frac{(SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*))}{a_3 * m_3} \ (INCH)$$

نقرب إلى أكبر ربع إنش فنحصل على D_3^* ثم نحسب قيمة SN_3^* من العلاقة:

$$SN_3^* = \ a_3 * m_3 * \ D_3^*$$

$$SN \leq SN_1^* + SN_2^* + SN_3^*$$

فإذا لم تتحقق نقوم بتعديل المساكات المصممة بشكل تتحقق معه المتراجحة.

ملاحظات:

قيمة SN_i المستخرجة من المخطط السابق تمثل الرقم الإنشائي للطبقة المدروسة مع كافة الطبقات فوقها لذا إذا اردنا لطبقة ما نحذف منها قيمة SN لباقي الطبقات التي فوقها

D_1^* : سماكة الطبقة i بعد تكبيرها لأكبر ربع إنش مثلاً $D = 5.1 \leftarrow D^* = 5.25$

و $D = 5.6 \leftarrow D^* = 5.75$ بينما $D = 5 ,D = 5.5 ,D = 5.75$ فتبقى كما هي

..

قيمة SN_1^* : المحسوبة من العلاقة

$$SN_1^* = a_1 * D_1^*$$

تمثل الرقم الإنشائي للطبقة المدروسة i فقط وهنا وضعنا إشارة (*) للدلالة على أن قيمة SN_1^* محسوبة من العلاقة بتعويض قيمة D_1^*

عند توقيع قيمة M_R على المخطط نعوض قيمة M_R للطبقة الواقعة أسفل الطبقة المدروسة وإذا أردنا الحصول على قيمة SN الكلية لكامل الطبقات نعوض قيمة M_R للطابق الترابي.

يمكن في النهاية حساب سماكات الطبقات بواحدة سم ونقرب D_1 لأكبر نصف سم ونقرب D_2, D_3 لاكبر 1 سم لطبقة الأساس الحصوية وما تحت الأساس الحصوية، أما لطبقة القميص فنقرب إلى أقرب 0.5