جامعة الفرات
كلية الهندسة المدنية بالحسكة

مقرر هندسة الطرق 2

(هندسة طبقات رصف الطرق وهندسة السكك الحديدية)

د.م. رضوان حسين
دكتوراه في هندسة المواصلات والنقل

عام 2026

جامعة الفرات
كلية الهندسة المدنية بالحسكة

مقرر هندسة الطرق 2

(هندسة طبقات رصف الطرق وهندسة السكك الحديدية)

د.م. رضوان حسين
دكتوراه في هندسة المواصلات والنقل

عام 2026

هندسة الطرق

مواد الطرق وتصميم طبقات الرصف الطرقي

الدكتور المهندس بسام سلطان

2020

المحتويات

مقدمة عامة 2
تصنيف التربة 5
رص التربة 13
الآليات المستخدمة في تنفيذ و رص طبقات الطابق الترابي 19
قياس قدرة تحمل تربة المسار 20
الرصف المرن والطبقات المكونة له 23
الخلائط الحصوية 27
الخواص العامة لحصويات الطرق 28
المواد البيتومينية 31
الخلائط الإسفلتية 37
مقدمة في تصنيف الخلطات الاسفلتية 43
تصميم الخلطة الإسفلتية الساخنة وفق طريقة مارشال 46
تصميم سماكات طبقات الرصف المرن 50
طرق تصميم طبقات الرصف المرن 54
عيوب و صيانة طبقات الرصف المرن 66
أشكال العجز في الرصف المرن Distresses in Flexible Pavement 69
صيانة الرصف المرن Maintenance of Flexible Pavement 75

مقدمة عامة

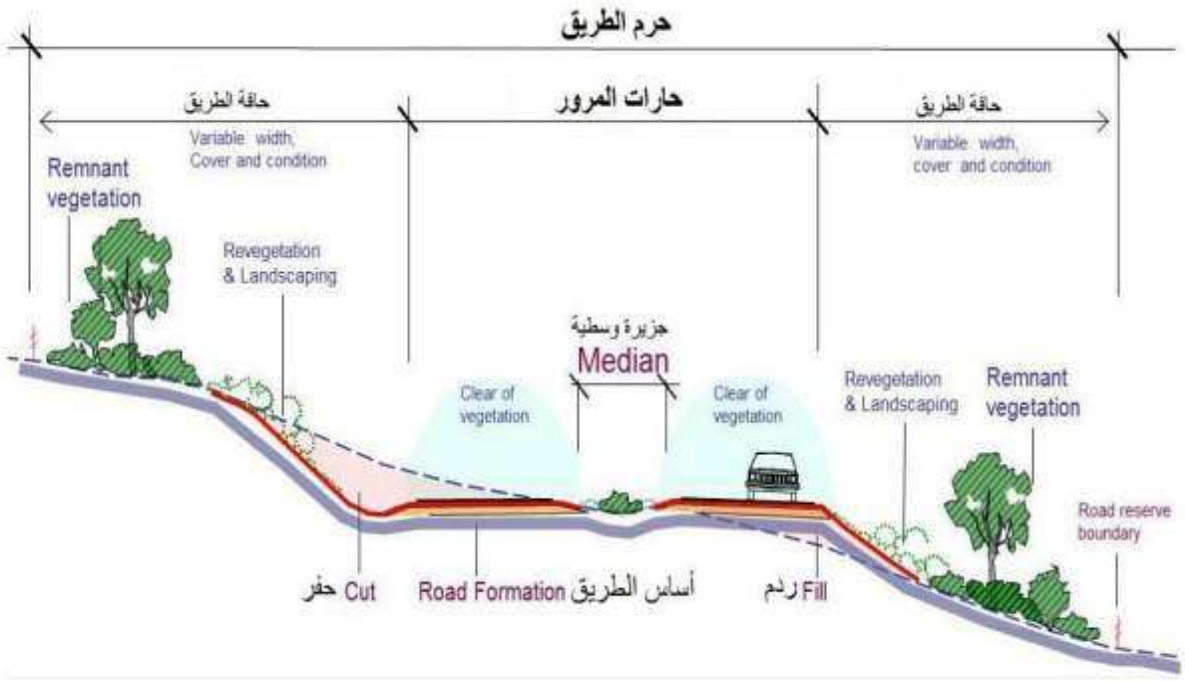
تعتبر هندسة الطرق من العلوم الهندسية القديمة التي تتطور باستمرار تبعاً لتطور العربات الطرقية كماً ونوعاً ، وتأتي أهمية المواصلات الطرقية من خصوصيتها المميزة عن بقية أنواع المواصلات الأخرى (الجوية ، السكك الحديدية ، والبحرية) كونها سهلة الاستخدام ويستطيع الفرد اقتناء سيلة النقل عليها ، وبالتالي تعتبر الطرق شريان الحياة اليومي للمجتمعات البشرية الحديثة إذ تساهم بشكل فعال في تطوير الحياة الاقتصادية والخدمية والثقافية لهذه المجتمعات .

قبل الخوض في دراسة مواد طبقات الرصف الطرقي وطرق تصميمها لابد من القاء نظرة سريعة على أهمية الأرض الطبيعية (تربة المسار Subgrade) في أعمال الطرق ، حيث تنبع أهمية الارض الطبيعية من مصدرين :

الدراسة الهندسية : حيث يكون للأرض الطبيعة تأثير مباشر في اختيار مسار الطريق سواء في المسقط الافقي أو في المقطعين الطولي والعرضي ، إذ أن الكلفة الاقتصادية لمشروع الطريق تتغير بشكل كبر فيما إذا كانت أعمال الحفر ستتم ضمن كتل صخرية؛ أو ضمن تربة مخلخلة ، وكذلك أعمال الردم إن كانت ستقام على تربة مستقرة ؛ أو تربة ضعيفة ، وأيضاً هل يمكن استعمال نواتج الحفر في أعمال الردم أو يجب البحث عن حفر للاستعارة . كما أن استقرار منحدرات الحفر أو الردم في المقاطع العرضية تتعلق بنوعية الصخور أو التربة وثباتها تجاه العوامل المناخية ، واتخاذ الحلول المناسبة من اعتماد ميول طبيعية وانشاء جدران استنادية وتخفيض منسوب المياه الجوفية ... ، وكل هذا يؤدي إلى تغيير ملحوظ في الكلفة الكلية لمشروع الطريق .

الدراسة الإنشائية : كذلك يكون تأثير الأرض الطبيعية مباشراً في هذه الدراسة حيث تبين أن أغلب التشوهات والتشققات يعود سببها إلى تربة المسار فإذا كانت تربة المسار ذات مواصفات جيدة فإن ذلك ينعكس على تقليص سماكات الرصف لجسم الطريق أثناء تصميم من ناحية ، وتقليص عمليات الصيانة أثناء الاستثمار من ناحية أخرى ، وأما إذا كانت تربة المسار ذات مواصفات ضعيفة فإن ذلك سيؤدي إما إلى زيادة في سماكات الرصف أو إلى معالجة تربة المسار بإحدى طرق التثبيت المعروفة ، وفي الحالتين سيؤدي ذلك إلى زيادة في الكلفة الاقتصادية لمشروع الطريق .

إضافة لذلك فإن كانت الأرض الطبيعية الخاصة بمسار الطريق ذات مواصفات جيدة فإنه يمكن استعمالها كما هي كطبقة انشائية في جسم الطريق أو استعمال موادها في طبقات الطريق ، يبين الشكل مقطع لعناصر طريق في منطقة ريفية ويبين فيها مناطق الحفر والردم وحرم الطريق .



إذاً تعتبر دراسة الأرض الطبيعية الخاصة بتربة مسار الطريق ذات اهمية بالغة على صعيد كلفة الانشاء أثناء التنفيذ وعلى صعيد كلفة الصيانة ، أثناء الاستثمار . من وجهة نظر الهندسة المدنية فإن الأرض الطبيعية تتألف من عنصرين أساسين هما الصخور والتربة .

الصخور :

التعريف الهندسي للصخر وخاصة في أعمال الطرق هو أن كل أرض طبيعية لا يمكن حفرها إلا بالتفجير تسمى صخراً وما عدا ذلك فتدعى تربة . ويمكن تصنيف الصخور حسب طريقة تكوينها إلى ثلاثة مجموعات :

- مجموعة الصخور النارية
- مجموعة الصخور الرسوبية
- مجموعة الصخور المتحولة

إن ما يهم المهندس المدني من خواص الصخور هو معرفة :

- قوة هذه الصخور ومقاومتها وتأثير المياه على المقاومة
- الزحف تحت تاثير الإجهادات العالية مثل الردميات الكبيرة
- استعمالها كمواد انشائية
- مقدار سهولة الحفر فيها
- تأثير الشروط المحيطية

التربة :

تعتبر دراسات التربة من المواضيع المهمة ف الهندسة المدنية وبصورة خاصة لأعمال الطرق ، حيث يتركز الاهتمام في سلوك التربة عند استعمالها كمادة انشائية في طبقات رصف الطرق ، أو كطبقة تأسيس لجسم الطريق ، أو لدعائم الجسور والمنشآت الفنية الأخرى ،وقد تستعمل دون تغيير في تركيب هيكلها الداخلي أي كما هي في حالتها الطبيعية أو تم تثبيتها بإحدى الروابط كالكلس أو الاسمنت أو الاسفلت .

يمكن تعريف التربة : بأنها جميع المواد المفككة أو المترابطة بقوى ضعيفة وهي التي تشكل سطح الأرض ، والمتواجدة فوق الصخر الصلب ، ويمكن تعريف التربة بأنها أي مادة يمكن الحفر بها دون الحاجة إلى التفجير .

إن الحبيبات الصلبة التي تتألف منها التربة غير العضوية وهي عبارة عن ناتج تأثير القوى الميكانيكية والكيميائية على الصخور حيث تؤدي هذه القوى إلى عملية تآكل وتفتت هذه الصخور ، كما تؤثر دورات الصقيع والذوبان والتغيرات الحرارية والتحلل الكيميائي وغيرها من العوامل على تكوين التربة ، و تبعاً للعوامل الرئيسية المسؤولة عن تكوين وتواجد التربة في موقع معين، فإننا يمكن أن نميز بين الترب المتبقية والترب المنقولة .

الترب المتبقية : وهي الترب التي تكون موجودة فوق الصخر الأم مباشرة وتتميز بتركيب معدني مشابه للصخر الأم ، وتختلف درجة تماسكها وفقاً لعمقها وطبقاتها ذات التدرج الانتقالي من التربة إلى الصخر ، كما أن حواف حباتها حادة خلافاً لأنواع الترب المنقولة

الترب المنقولة : وهي الترب التي ترسبت بعد أن انتقلت من مواقع تكوينها إلى مواقع أخرى بإحدى وسائط النقل كالماء والرياح والجليد واندفاعات البراكين ، وتتميز بفقدانها للتجانس واستدارة حباتها .

تجدر الإشارة إلى أن عدم تجانس تربة مسار مشروع طريق ما ، هو الحقيقة الثابتة والتجانس هو الاستثناء ، وبصورة عامة فإن مصادفة خمسة إلى عشرة أنواع من الترب عبر كيلو متر واحد من الطريق أمر طبيعي .

تصنيف التربة

مقدمة في تصنيف التربة :

يقصد بتصنيف التربة أن توضع كل تربة مع المجموعة التي لها نفس الخواص والسلوك . ويمكن القول بأن تصنيف التربة هو لغة تخاطب بين المهتمين بعلم التربة ، ويعد من الأمور المهمة التي يجب معرفتها والالمام بها .

يعتمد التصنيف على الغرض من استخدام التربة ، فقد يكون التصنيف لأغراض زراعية أو جيولوجية أو هندسية والأخيرة هي موضوع دراستنا وبالتفصيل التصنيف لأعمال انشاء الطرق والمطارات . وبمعرفة نوع التربة يمكن التعامل معها وحل المشاكل التي قد تظهر عند استخدامها . يعد التصنيف بمثابة دليل عند الحاجة إلى دراسة التربة نظرياً ومخبرياً .

إن اختلاف وتعدد أشكال التربة وأنواعها من موقع إلى أخر ، وحتى في الموقع الواحد يجعل من الصعب اعتماد نظام واحد موحد لتصنيفها . هذا وإن تصنيف التربة للأغراض الانشائية أمر غاية في الأهمية فهو يعطي فكرة وإن كانت تقريبية عن الخصائص المتوقعة لهذه التربة أو تلك ، مما يساعد في رسم التصور الأولي في ذهن المهندس عن شكل التاسيس للمنشأ المطلوب ،، حظي تصنيف التربة باهتمام العديد من العلماء والهيئات المختصة ، وظهرت مجموعة من أنظمة التصنيف من أشهرها وأكثرها استخداماً :

- تصنيف الأشتو AASHTO
- التصنيف الموحد USCS
- التصنيف المثلثي

تتفق جميع التصانيف على اعتماد أربعة مجموعات للتربة بشكل رئيسي حسب قطر الحبات وهي التربة الخشنة وتتضمن (البحص ، الرمل) والترب الناعمة وتتضمن (الغضار والسيليت)

تصنيف التربة وفق نظام الآشتو Soil Classification using (AASHTO) System

American **A**ssociation of **S**tate **H**ighway and **T**ransportation **O**fficials (AASHTO)

يصنف نظام AASHTO أنواع التربة ضمن سبع مجموعات رئيسية من A-1 و حتى A-7 و بشكل عام بناءً على مدى تفضيل التربة كطبقة ما تحت الأساس لإنشاء الطرق

يعتمد على التركيب الحبي و حد السيولة ودليل اللدونة في التصنيف

المناخل الأساسية للتصنيف هي (N10 , N40 , N200)

نظام الجمعية الأمريكية لموظفي الطرق السريعة والنقل لتصنيف التربة، ويسمّى اختصاراً بنظام أشتو لتصنيف التربة (AASHTO soil classification system) نظامٌ طوّرته الجمعية الأمريكية لموظفي الطرق السريعة والنقل، ويستخدم لتصنيف التربة وخلطاتها لأغراض بناء الطرق السريعة. تم تطوير نظام التصنيف لأول مرة من قبل هوجونتوغلر وكارل فون ترزاغي في عام 1929م، وقد تم تعديله عدة مرات منذ ذلك الحين ، واعتمد في منذ العام 1966 من قبل الجمعية الأمريكية للطرق في شكله الحالي .

يعمل نظام الآشتو على تصنيف التربة إلى سبع مجموعات رئيسية من A-1 إلى A-7 ، كما هو مبين في الجدول لاحقاً .

تحتوي A1 A7 مجموعة من المجموعات السبعة على مجموعتين فرعيتين ، باستثناء المجموعة الثانية A-2 تتضمن أربع مجموعات فرعية .

يعتمد تصنيف الآشتو على نسبة المار من المنخل (N200=0.075) فإذا كانت نسبة المار من المنخل N200 تساوي أو أقل من 35 % تكون التربة خشنة حبيبية وتصنف على أنها واحدة من المجموعات الثلاثة (A-1 , A-2 , A-3) .

أما إذا كانت نسبة المار من المنخل N200 أكبر من 35 % تكون التربة ناعمة وتصنف على أنها واحدة من المجموعات (A-4 , A-5 , A-6 , A-7)

كما يعتمد نظام الآشتو على نسبة المار من المناخل (N200 , N40 , N10) بالإضافة إلى حالة اللدونة للتربة لتصنيف المواد الناعمة بشكل دقيق .

الشكل يمكن استخدامه لتصنيف التربة الناعمة أي المجموعات (A-4 , A-5 , A-6 , A-7) ، والمجموعات الفرعية ل A-2

بشكل مبسط يمكن القول :

- المجموعة A-1 تربة ذات تدرج جيد من الحصويات والرمل الخشن وقليل من الرمل الناعم ولها لدون منخفضة
- المجموعة A-2 تربة حبيبية تصل نسبة المواد الناعمة فيها حتى 35 %
- المجموعة A-3 تربة ذات رمل ناعم
- المجموعة A-4 والمجموعة A-5 تربة سيلتية
- المجموعة A-6 والمجموعة A-7 تربة غضارية

ملاحظة : المجموعة A-8 غير موجودة في جدول التصنيف وهي خاصة بالتربة العضوية

ملاحظة: يستخدم تصنيف الآشتو ما يسمى ب دليل المجموعة (Group Index **GI**) وهي قيمة عديدة تساعد في إرجاع التربة إلى المجموعة الأساسية التي تنتمي إليها ولتحديد موقع استخدام التربة .

General Classification	Granular Materials (35% or less passing No.200)						
	A-1			A-2			
Group Classification	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A -2-6	A-2-7
Sieve analysis, percent passing							
No.10 (2.0 mm)	50 max	-	-	-	-	-	-
No.40(0.425mm)	30max.	50max.	51max.	-	-	-	-
No. 200(0.075)	15max.	25max.	10max.	35max.	35max.	35max.	35max.
Characteristics of fraction passing No.40							
Liquid limit	-		-	40max.	41min.	40max.	41min.
Plasticity index	6max.		N.P.	10max.	10max.	11min.	11min.
Usual types of significant constituent materials	Stone fragments, gravel and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand			
General rating as subgrade	**Excellent to good**						

General Classification	Silt-Clay (more than 35% passing No.200)			
				A-7
Group Classification	A-4	A-5	A-6	A-7-5, A-7-6
Sieve analysis, percent passing				
No.10 (2.0 mm)				
No.40(0.425mm)				
No. 200(0.075 mm)	36min.	36min.	36min.	36min.
Characteristics of fraction passing No.40				
Liquid limit	40max.	41min.	40max.	41min.
Plasticity index	10max	10max.	11min.	11min.
Usual types of significant Constituent materials	Silty soils		Clayey soils	
General rating as subgrade	Fair to poor			

نظام تصنيف التربة حسب الأشتو (AASHTO M 145) أو (ASTM D3282)

التصنيف العام	المواد الحبية Granular Materials (35% او أقل يمر من منخل #200 (0.075 ملم))							المواد السيلتية والغضارية Silt-Clay Materials (أكثر من 35% يمر من منخل #200 (0.075 ملم))			
تصنيف المجموعة	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
التحليل الحبي Sieve analysis نسبة المار %											
منخل #10 (2.00 ملم)	أقصى قيمة 50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
منخل #40 (0.425 ملم)	أقصى قيمة 30	أقصى قيمة 50	أدنى قيمة 51	...	...	...	...	...	...	...	...
منخل #200 (0.075 ملم)	أقصى قيمة 15	أقصى قيمة 25	أقصى قيمة 10	أقصى قيمة 35	أقصى قيمة 35	أقصى قيمة 35	أقصى قيمة 35	أدنى قيمة 36	أدنى قيمة 36	أدنى قيمة 36	أدنى قيمة 36
خصائص الجزء المارّ من منخل #40 (0.425 ملم)											
حد السيولة LL	...		...	أقصى قيمة 40	أدنى قيمة 41	أقصى قيمة 40	أدنى قيمة 41	أقصى قيمة 40	أدنى قيمة 41	أقصى قيمة 40	أدنى قيمة 41
دليل اللدونة PI	أقصى قيمة 6		لا يوجد قيمة	أقصى قيمة 10	أقصى قيمة 10	أدنى قيمة 11	أدنى قيمة 11	أقصى قيمة 10	أقصى قيمة 10	أدنى قيمة 11	أدنى قيمة 11
الأنواع الاعتيادية لأهم المواد المكوّنة	بحص ، رمل		رمل ناعم	بحص ، رمل سيلتي				تربة سيلتية		تربة غضارية	
الصلاحية لتربة الممر	ممتاز الجودة إلى جيّد الجودة							متوسط الجودة إلى سيء الجودة			

المجموعة A-1 : وهي التربة المؤلفة من مزيج جيد التدرج من فتات الصخور من الحصى والرمل الخشن والناعم وقد تحتوي على مواد ناعمة ذات لدونة ضعيفة أو معدومة ، وقد قسمت هذه المجموعة إلى مجموعتين جزئيتين :

A-1-a : حيث تتألف هذه المجموعة الجزئية من فتات صخري حصوي بشكل غالب

A-1-b : فإن الرمل الخشن يكون المهيمن فيها وهذه المجموعة تعتبر ذات مواصفات ممتازة لأعمال الطرق

المجموعة A-3 : تمثلها رمال الصحارى الناعمة أو رمال الشواطئ التي لا تحتوي على السيليت والغضار أو تلك التي تحتوي على نسبة صغيرة من السيليت عديم اللدونة وتشمل أيضاً خلائط الرمال الناعمة سيئة التدرج التي تتوضع بفعل الترسبات النهرية التي قد تحتوي على كميات محدودة من الرمل الخشن والحصى ، وتشكل هذه التربة طابقاً ترابياً جيداً لجميع أنواع الرصف اذا حصرت و رطبت .

المجموعة A-2 : تشمل هذه المجموعة أنواع مختلفة من الترب الحبيبية ، التي تقف على الحدود الفاصلة بين الترب الواقعة في المجموعة A-1 والمجموعة A-3 وبين الترب السيلتية والغضارية في المجموعات A-7 , A-6 , A-5 , A-4 ، وهي تمثل جميع الترب التي فيها نسبة المواد الناعمة (أي نسبة المار من N200) أقل من 35 % ، والتي لا يمكن أن نصنفها ضمن المجموعات A-1 و A-3 نظراً لاحتوائها على نسبة من المواد الناعمة تقترب من 35 % ، أو أن خواص اللدونة فيها مرتفعة أو الأمرين معاً ، وقد قسمت هذه المجموعة إلى مجموعات جزئية (A-2-4) و (A-2-5) و (A-2-6) و (A-2-7) ، حيث أن المجموعتين (A-2-4) و (A-2-5) تشمل مختلف المواد الحبيبية السيلتية التي فيها نسبة من المواد الناعمة لا تزيد عن 35 % و خواص اللدونة لهذه المواد (حد السيولة ودليل اللدونة) تشابه في خواصها على التوالي (A-4) و (A-5) أما المجموعتان الجزئيتان (A-2-7) و (A-2-6) فتشملان مواد شبيهة بالمجموعات الجزئية (A-2-4) و (A-2-5) و لكن تختلف عنهما من حيث أن المواد الناعمة التي تحتويها لها خواص لدونة شبيهة بخواص اللدونة للمجموعتين (A-6) و (A-7).

إن المجموعة A-2 بمجموعاتها الجزئية تعتبر ذات مواصفات أدنى من المجموعة A-1 نظراً لخواص اللدونة فيها أو لرداءة التدرج الحبي أو لكليهما معاً وتعتبر تربة المجموعتين الجزئيتين (A-2-4) و (A-2-5) تربة مناسبة وكافية لأعمال الطرق إذا تم رصها وتصريفها بشكل جيد بينما المجموعتين (A-2-6) و (A-2-7) تفقد ثباتها نتيجة لقوة الخاصية الشعرية فيها ، أو لضعف في تصريفها ويمكن أن تكون جيدة لأعمال الطرق إذا احتوت على نسبة ضعيفة من المواد الناعمة وبصورة عامة فإن المجموعة A-2 تكون مناسبة لاستعمالها كطبقة واقية فوق الترب ذات اللدونة العالية التي تعترض مسار الطريق .

المجموعة A-4 : إن الترب السيلتية عديمة أو معتدلة اللدونة ، وهي تحتوي عادة على 75 % أو أكثر من المواد المارة من المنخل N200 ، وتعتبر نموذجاً حياً لهذه المجموعة كما تشمل هذه المجموعة خلائط الترب المكونة من السيليت الناعم و الرمل والبحص التي تحتوي نسبة من المواد المحجوزة على المنخل N200 قد تصل إلى 64 % ، ويمكن لتربة هذه المجموعة أن تستخدم كطبقات رصف سطحية في الطرق الترابية ، بعد رصها جيداً لأن هناك صعوبة في الوصول إلى درجة رص جيدة لهذا النوع من الترب ومن الخواص التي تتميز بها المجموعة حساسيتها تجاه تأثير الصقيع ، كما أن ينصح حين استعمالها كطابق ترابي لطبقات رصف الطرق أن تكون مشبعة بالماء .

المجموعة A-5 : تعتبر التربة النموذجية لهذه المجموعة مشابهة لتربة المجموعة A-4 عدا انها مؤلفة من سيليكا عضوية المصدر ، كما أنها قد تكون عالية المرونة ، وهذا ما يستدل عليه من القيم العالية لحد السيولة ، ولا تتواجد هذه المجموعة بشكل كبير مقارنة مع المجموعة A-4 ، وحساسية هذه المجموعة تجاه الصقيع أيضاً مرتفعة ، ونظراً لحساسيتها للصعود الشعري فيجب حين تصميم طبقات الرصف فوقها أن تعتبر قدرة تحملها وهي في حالة الإشباع كما يجب ضبط محتوى الماء فيها للحصول على رص جيد .

المجموعة A-6 : ويمثلها الغضار اللدن الذي يحتوي على أكثر من 75 % من المواد الناعمة كما وتشمل الخلائط المكونة من الترب الغضارية الناعمة ونسبة من الرمل والبحص أي المحجوز على المنخل N200 قد يصل إلى 64% وتتميز هذه المجموعة بالتغيرات الحجمية الكبيرة حين انتقالها من حالة الرطوبة إلى الجفاف أو بالعكس ، و تربة هذه المجموعة منتشرة بشكل واسع ويجب أخذ الاحتياطات حين وجودها تحت طبقات الرصف من منع وصول التسربات المائية إليها ، وأثناء حساب طبقات الرصف فوقها يجب اعتبار قدرة تحملها وهي في حالة الاشباع وعملياً تستعمل هذه المجموعة في ردم جوانب الطرق .

المجموعة A-7 : و تمثلها مواد شبيهة بمواد المجموعة A-6 وتخالفها بفارق واحد أن حد سيولتها مرتفع كتربة المجموعة A-5 وقد تكون هذه المجموعة مرنة وخاضعة للتغيرات الحجمية الكبيرة ، وقد قسمت إلى مجموعتين جزئيتين (A-7-5) و تشمل الترب التي تتصف بلدونة مرتفعة تكون عالية المرونة و خاضعة لتغيرات حجمية كبية ، أما (A-7-6) فتشمل الترب التي تتصف بلدونة عالية وتغيرات حجمية عالية جداً . وتعتبر أسوأ الترب اللاعضوية من أجل استعمالها في أعمال الطرق .

دليل المجموعة Group Index :

يرتبط دليل المجموعة (GI) بنظام تصنيف التربة وفق الآشتو ، وهو رقم يكتب بين قوسين بعد اسم المجموعة ويعتمد هذا الدليل على :

- نسبة المار من المنخل (N200)
- حد السيولة LL
- دليل اللدونة PI

يتم حساب دليل المجموعة من العلاقة :

$$GI = (F200 - 35)*[0.2+0.005(LL-40)] +0.01(F200-15)(PI-10)$$

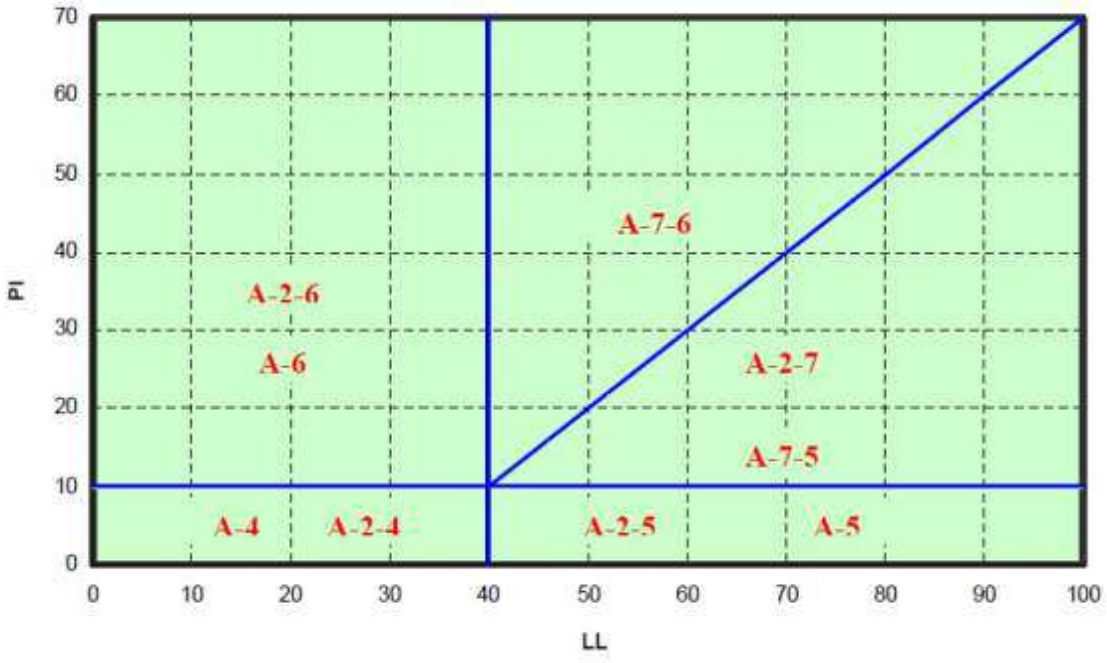
حيث:

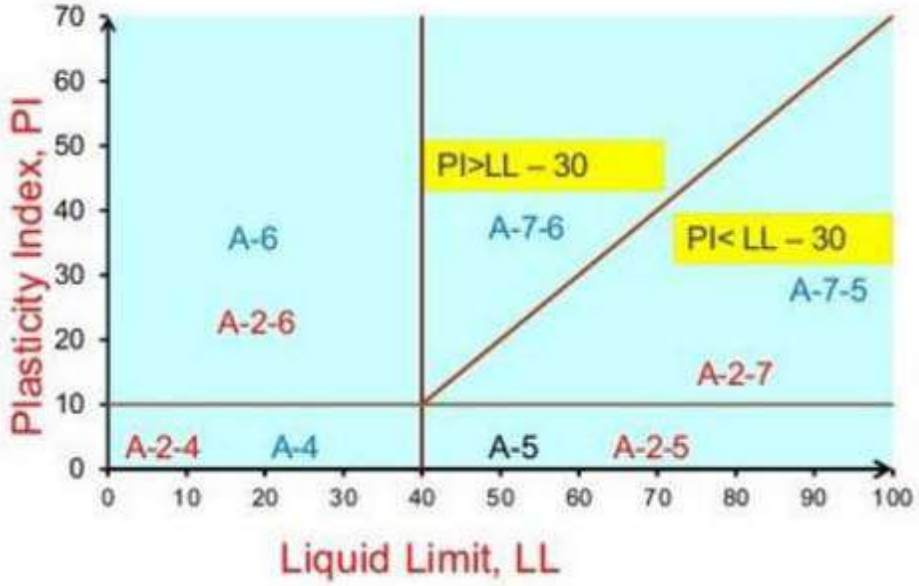
F200 نسبة المار من المنخل N200

LL : حد السيولة PL حد اللدونة (حدود أتربرغ)

PI : دليل اللدونة (PI= LL - PL)

يقرب الرقم المحسوب لأقرب رقم صحيح (في حالة كانت القيمة المحسوبة سالبة نعتمد GI=0) ، بصفة عامة فإن التربة التي لها دليل مجموعة كبير تكون تربة غير مرغوبة وخاصة في أعمال انشاء الطرق .





دليل المجموعة GI	صلاحية المواد الترابية
≤ 0	ممتازة
1	جيدة
2 – 4	مقبولة
2 – 9	ضعيفة
>10	ضعيفة جداً

رص التربة

في أعمال الطرق تعتبر التربة إحدى مواد انشاء جسم الطريق سواء باستعمالها في إنشاء الردميات أو سواء بإدخالها في طبقات الرصف وفي كلا الالتين نسعى دوماً إلى تحسين خواصها الميكانيكية من اجل التخفيف أو منع التشققات والتشوهات.

إن تحسين الخواص الميكانيكية للتربة يمكن أن يتم بعدة وسائل كالمعالجة عن طريق إملاء فراغات التربة جزئياً أو كلياً بإحدى الروابط كالاسمنت والكلس والبيتومين . أو بوساطة تقليص فراغاتها عن طريق طرد الهواء أو طرد الماء أو الاثنين معاً. ويستخدم استعمال الروابط على نطاق واسع في تقوية الخواص الميكانيكية لطبقات الرصف باعتبار أن هذه الوسيلة مكلفة؛ أما من أجل تحسين تربة الأساس فإننا نعتمد على مبدأ تقليص الفراغات في التربة وذلك عن طريق طرد الهواء وهذا ما ندعوه بالرص (Compaction) وبالتالي فإن **الرص** يعرف بأنه عملية تقليص آنية لحجم التربة يتم بتخفيض حجم الفراغات المليئة بالهواء فقط ودون خروج أي ذرة من الماء أو تغير في نسبة الرطوبة لذلك يجب أن يكون الفرق بين الرص (Compaction) والتشديد (Consolidation) واضحا،، فالتشديد يعني خروج الماء من مسامات التربة بسبب الازدياد التدريجي في الضغط الفعال على حبات الترب المتماسكة غالبا أما الرص فهو طرد للفراغات الهوائية فقط. وتتم عملية الرص بوسائل مختلفة وغالباً ما تكون عن طريق تطبيق قدره ميكانيكية وفق المبادئ المعروفة كالدحل والرج والطرق وغيرها

الغرض من رص التربة :

الرص هو عملية طرد الهواء من فراغات التربة باستخدام وسائل ميكانيكية مختلفة ينتج عنها زيادة في كثافة التربة وقدرة تحملها للإجهاد ونقص في نسب هبوطها .

يعتبر الرص من أهم العمليات التي تستخدم في **مجال الطرق** ، وتهدف عملية الرص إلى تحسين الخواص الهندسية للتربة من خلال تحقيق المتطلبات التالية :

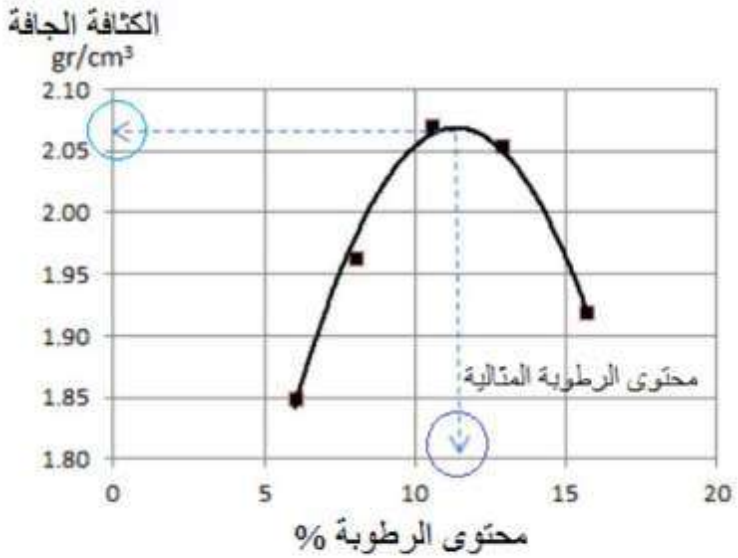
1- الزيادة في مقدار تحمل التربة للإجهادات
2- التقليل من حجم الفراغات الموجودة في التربة وبالتالي الحد من مقدار الهبوط
3- التحكم في التغيرات الحجمية للتربة من حيث الانكماش والانتفاخ
4- الزيادة في عامل الامان ضد انزلاقات التربة
5- خفض نفاذية التربة للمياه

الطرق المخبرية لتحديد قياس يكون مرجعاً في عملية الرص الحقلية ومنها :

- **اختبار بروكتور القياسي**
- **اختبار بروكتور المعدل**
- اختبار هارفرد
- الاختبار الستاتيكي

تجربة بروكتور :

إن هذه التجربة تستعمل من أجل تحديد الرطوبة الي نستطيع بها الحصول على الكثافة الأعظمية تحت تأثير طاقة رص محدودة. وعملياً نستطيع القول بأنها تخدم من أجل مراقبة درجة الرص في الحقل. حيث أنه حين استعمال طاقة رص محددة فإن الكثافة الجافة للتربة ترتفع مع ازدياد نسبة الرطوبة ، وحين الوصول إلى نسبة من الرطوبة ندعوها بنسبة الرطوبة الأصولية أو المثالية فإن الكثافة الجافة تصل لقيمتها الأعظمية ، ومن ثم تعود الكثافة للانخفاض بزيادة نسبة الرطوبة ، كما هو مبين في الشكل



إن نسبة الرطوبة تلعب دوراً هاماً في رص التربة . حين إضافة الماء التربة الجافة فإن الماء يقوم بتغليف الحبات بطبقة رقيقة ويكون هناك شد سطحي بين الحبات يعيق انزلاقها على بعضها تحت تأثير طاقة الرص ، ولكن بزيادة نسبة الماء تدريجياً فإن سماكة الطبقة المائية المحيطة بالحبات تزداد ، وبالتالي يؤدي ذلك إلى انخفاض في الشد السطحي من ناحية وإلى سهولة انزلاق الحبات على بعضها من ناحية أخرى ، وبالنتيجة يكون هناك توضع آخر للحبات يعطي حجماً أقل (كثافة أكبر) .... وهكذا حتى الوصول إلى نسبة الرطوبة الأصولية حيث يلعب الماء دوراً عكسياً إذ يمتص جزءاً من طاقة الرص المطبقة (الماء غير قابل للانضغاط) فيباعد بين حبات التربة وتقل الكثافة .

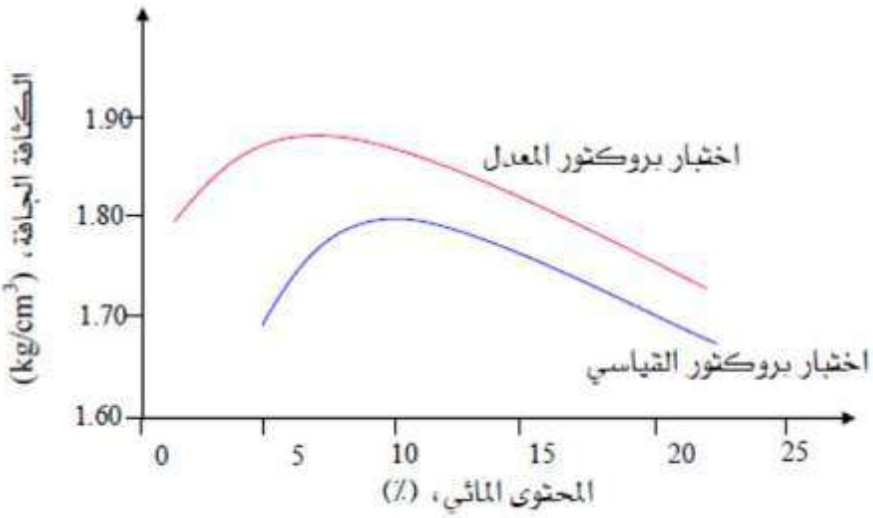
إذا رصت التربة إلى حالة لم يبقى معها أية فراغات هوائية ضمنها بدون خروج الماء فنحصل على منحني الاشباع (أي منحني نسبة الفراغات الهوائية صفر)

يستعمل في تجربة بروكتور قالب أسطواني قطره وارتفاعه محددان ترص فيه التربة على طبقات بواسطة سقوط مطرقة سقوطاً حراً عدداً من المرات على كل طبقة ويكرر هذا العمل على عدد من العينات من نفس التربة برطوبات مختلفة وعليه يمكن تمثيل العلاقة بين نسبة الرطوبة والكثافة الجافة ونحصل على منحني الرص

حدد العالم بروكتور مجموعة من العوامل التي تتعلق برص التربة وهي :

- الكثافة الجافة
- محتوى الرطوبة
- طاقة الرص
- نوع التربة (نسبة العناصر الخشنة والناعمة)

	بروكتور القياسي	بروكتور المعدل
أبعاد القالب	قطر 10.2 cm ارتفاع 11.6 cm	قطر 10.2 cm ارتفاع 11.6 cm
وزن المطرقة	2.5 Kg	4.54 Kg
ارتفاع السقوط	30.5 cm	45.7 cm
عدد الطبقات	3 طبقات	5 طبقات
عدد الضربات	25 طرقة	25 طرقة

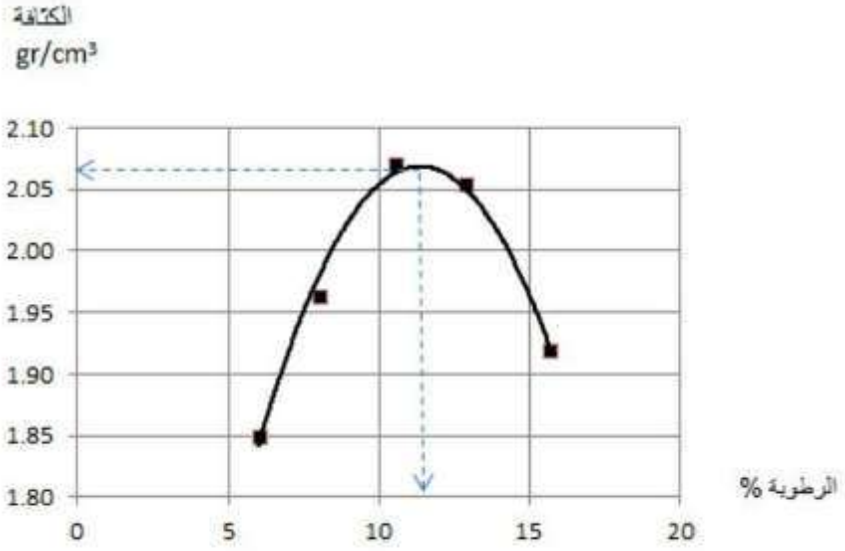


مثال تطبيقي على اختبار بروكتور :

المطلوب حدد كثافة بروكتور ومحتوى الماء المثالي باستخدام المعطيات

رقم العينة	1	2	3	4	5
وزن التربة بدون القالب gr	1847.71	2000.37	2163.13	2188.75	2097.81
محتوى الرطوبة %	6	8	10.58	12.89	15.68
حجم القالب cm^3	943.30				
الكثافة الرطبة gr/cm^3	1.96	2.12	2.29	2.32	2.22
الكثافة الجافة gr/cm^3	1.85	1.96	2.07	2.06	1.92

رسم العلاقة بين محتوى الرطوبة والكثافة الجافة لإيجاد الرطوبة المثالية المقابلة للكثافة الجافة العظمى



من الشكل نجد

الرطوبة المثالية 11.2 % وتقابل كثافة 2.067 gr/cm^3

خطوات تنفيذ الرص الحقلي :

1- تحضير المخططات ودراستها ورسم خطة العمل
2- اختيار المداحل المناسبة للرص مع الأخذ بعين الاعتبار نوع التربة
3- إجراء تجارب أولية في موقع العمل لتحيد نسبة الماء وعدد الأشواط اللازم للرص (القطاع التجريبي عادة 50 متر بعرض 3 أمتار)
4- فرش التربة على طبقات وبسماكات محددة (تنفذ كل طبقة لوحدها عادة بسماكة 20 سم)
5- رش كل طبقة بكمية كافية من المياه ثم خلطها جيداً
6- رص طبقة التربة بالمداحي المحددة مسبقاً
7- اجراء اختبارات على الطبقة المنفذة لمعرفة درجة الرص
8- إذا كانت درجة الرص كافية نستمر في عمليات انشاء باقي الطبقات تباعاً ، وإلا يعاد حرث الطبقة ورشها ودحلها واعادة اختباراها
9- يجب الاهتمام بتسوية السطح النهائي للطبقة قبل الانتقال إلى فرش طبقة أخرى

درجة الرص = (الكثافة الجافة الحقلية / الكثافة الجافة المخبرية)* 100

$$\text{درجة الرص} = \frac{\text{الكثافة الجافة الحقلية}}{\text{الكثافة الجافة المخبرية}} * 100$$

ملاحظة : درجات الرص المطلوبة للطبقات الترابية

(أساس وماتحت أساس حصوي والقاعدة) هي (**100 %**)

- **إيجاد الكثافة الجافة الحقلية :**

يتم قياس الكثافة الجافة الحقلية باستخدام :

- اختبار المخروط الرملي
- طريقة البالون
- اختبار الكثافة النووي (يحدد الكثافة الرطبة بشكل مباشر في الموقع ، و يتوفر أجهزة تقيس الكثافة الجافة بشكل مباشر وتحدد محتوى الرطوبة لكل أنواع الترب)

اختبار المخروط الرملي : وهو مستخدم بشكل كبير وعلى نطاق واسع

الأدوات والمواد التي تستخدم : مخروط ، وعاء بلاستيكي ، صفيحة معدنية مفرغة من وسطها بشكل دائري ، رمل نظيف معلوم الكثافة

المعطيات التي نحصل عليها من الموقع : كمية من تربة الموقع توضع في وعاء محكم الاغلاق ، كمية الرمل المنسكب في الحفرة ، كمية الرمل المتبقي

الحسابات والقياسات :

حجم الحفرة = (وزن الرمل في المستخدم / كثافة الرمل)

الكثافة الرطبة = (وزن التربة الرطبة المستخرج من الحفرة / حجم الحفرة)

الرطوبة = (وزن تربة رطبة – وزن تربة جافة / وزن التربة جافة)*100

الكثافة الحقلية الجافة = (الكثافة الرطبة / (1+الرطوبة))

أو : الكثافة الحقلية الجافة = (وزن التربة الجاف المستخرج من الحفرة / حجم الحفرة)

$$V_{hole} = \frac{W_{Sand}}{\gamma_{Sand}}$$

- حساب الكثافة الرطبة للتربة: $\gamma = \frac{W}{V_{hole}}$
- حساب الكثافة الجافة للتربة: $\gamma_d = \frac{\gamma}{(1 + \frac{w}{100})}$
- درجة الرص $RC(\%) = \frac{\gamma_{d\,(field)}}{\gamma_{d-max(lab)}} \times 100$

الآليات المستخدمة في تنفيذ و رص طبقات الطابق الترابي

عربات النقل	تراكس
تستخدم لنقل وترحيل المواد الترابية من وإلى الموقع	يستخدم للتحميل

غريدر	صهريج مياه
يستخدم لفرش وتسوية التربة على سماكات معينة	يستخدم لنقل وتوزيع المياه على طبقات الطابق الترابي والاسا وماتحت الاساس الحصوي

مداحي أرجل الغنم	مداحي معدنية ملساء
تستخدم لرص طبقات القاعدة وماتحت الأساس	تستخدم لرص طبقات التربة

قياس قدرة تحمل تربة المسار

إن قوة تحمل التربة تتعلق بصورة عامة بعدة عوامل منها :

- بنية هيكل التربة
- نوعية التربة
- نسبة الرطوبة و درجة الرص
- الإجهادات المطبقة

إن التجارب المستعملة من أجل تحديد قدرة تحمل التربة يمكن أن تجمع ضمن ثلاثة فئات : الاختراق ، التحميل ، والقص

أولاً : تجارب الاختراق :

تتميز هذه التجارب بان مساحة التحميل فيها تعتبر صغيرة نسبياً ، وبالتالي هناك تمركز في الإجهادات المطبقة ، و قد تطبق هذه التجارب على عينات سليمة أو مخربة ، وكذلك يمكن إجراؤها مخبرياً أو حقلياً ونتائجها ترتبط مباشرة بتحديد سماكات طبقات الرصف الطرقي . وأهم هذه التجارب هي تجربة نسبة التحميل الكاليفورنية (CBR) ، وتجربة اختراق المخروط .

تجربة نسبة التحميل الكاليفورنية California Bearing Ratio (CBR)

في هذه التجربة نقوم بقياس الحمولة الضرورية من أجل الحصول على اختراق معين في التربة ، بسرعة تحميل محددة ويمك إجراء هذه التجربة قبل أو بعد غمر التربة لمدة أربعة ايام (96 ساعة).

إن قوة تحمل التربة في هذه التجربة يعبر عنه بدليل (CBR) وهو بالتعريف النسبة بين الضغط اللازم للحصول على اختراق معين داخل التربة المدروسة؛ والضغط الذي يولد نفس الاختراق على عينة نموذجية . إن هذه التجربة ليس لها أي أساس نظري، وبالتالي فهي لا تترجم الخواص الجوهرية للتربة من وجهة نظر مقاومتها أو قونها على القص. ولكنها تعتبر طريقة غبر مباشرة لقياس قوة مقاومة التربة بالمقارنة مع تربة مرجعية .لذا يجب عدم استعمال هذه التجربة إلا من أجل طرق حساب سماكات طبقات الرصف في الطرق والمطارات وبصورة خاصة من أجل الرصف المرن ، حيث أوجدت هذه التجربة من أجل هذا الغرض فقط .

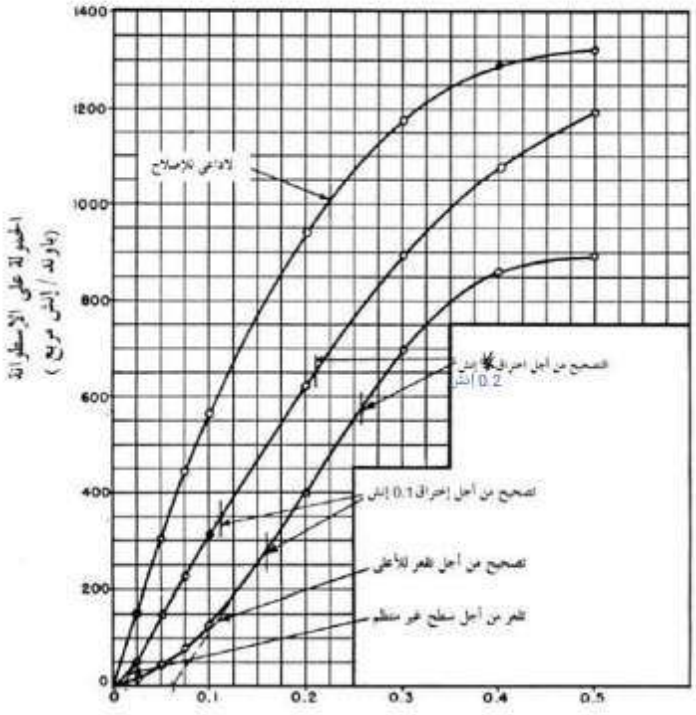
إن تحقيق تجربة (CBR) يتم بصورة عامة على عينات ترب مرصوصة وفق طاقة الرص لتجربة بروكتور المعدلة . ويمكن أن تجرى تجربة (CBR) على عينات مشبعة أي بعد الانتهاء من عملية الرص، فإن العينة توضع وهي في القالب داخل حوض مائي: ويتم غمرها مدة أربعة أيام ، وذلك من أحل إدخال تأثير التغيرات المناخية التي يمكن أن تخضع لها التربة خلال فترة استثمار الطريق، كما أنه خلال غمر العينة فإننا نقوم بقياس الانتفاخ الذي يمكن أن يحصل تبعاً

لحساسية العينة تجاه التغيرات المائية . عمليا من أجل التمثيل الأفضل لحالة التربة تحت طبقات رصف الطريق فإننا نقوم بتحميل سطح العينة بإجهادات تعادل تقريبا الإجهادات الناتجة عن الوزن الناني لطبقات الرصف ويتم تطبيق هذه الإجهادات بوساطة أوزان حقلية لا يقل وزنها عن (10 Lb = 4.53 Kg). وهذه تعطي ضغطاً يعادل ($0.03\ Kg/cm^2$) وهي قيمة يمكن أن ننتج عن طبقة رصف سماكتها حوالي (12 cm) . بعد الانتهاء من تهيئة العينة مشبعة أو غير مشبعة فإننا نقوم بنقلها إلى مكبس (CBR) ، حيث يتم تطبيق ضغط اختراق عند محورها بوساطة مكبس مقطعه دائري (المساحة $3\ in^2 = \mathbf{19.3\ cm^2}$) وبسرعة ثابتة (1.27 mm/min) ويتم أخذ القراءات لمقياس الحمولة ، ومقياس الاختراق .

يتم رسم العلاقة بين مقدار الاختراق ومقدار الحمولة (أو الإجهاد المطبق) وبحسب شكل المنحني نحدد هل يحتاج للتصحيحي أم لا

إذا كان المنحني الناتج مقعراً نحو الأعلى عند البدء (كما هو مبين في الشكل) فيجب تصحيح المنحني برسم مماس له عند الميل الأعظم ونمدده حتى يقطع المحور الأفقي فنحصل على الصفر الجديد ، ونقوم بقراءة النتائج والحساب بعدها

أما إذا كان المنحني مقعراً نحو الاسفل فلا يحتاج للتصحيح ونقوم بإجراء الحسابات بشكل مباشر عليه

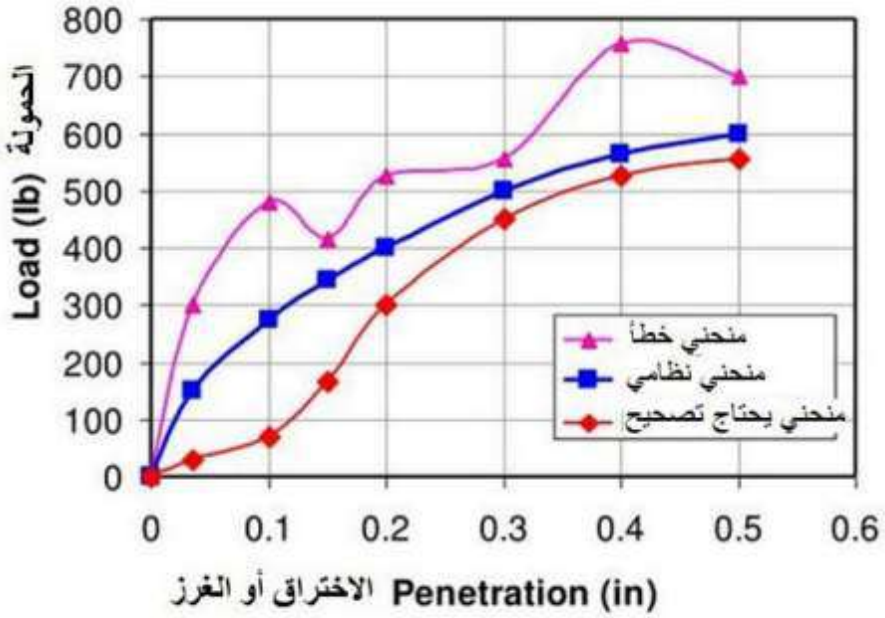


حيث تتم مقارنة المنحني المرسوم مع المنحني المرجعي العائد لعينة نموذجة من مقلع كاليفورنيا ، وعادة نقوم بحساب قيمة C.B.R دون تمثيل المنحني المرجعي وذلك للقيمتين :

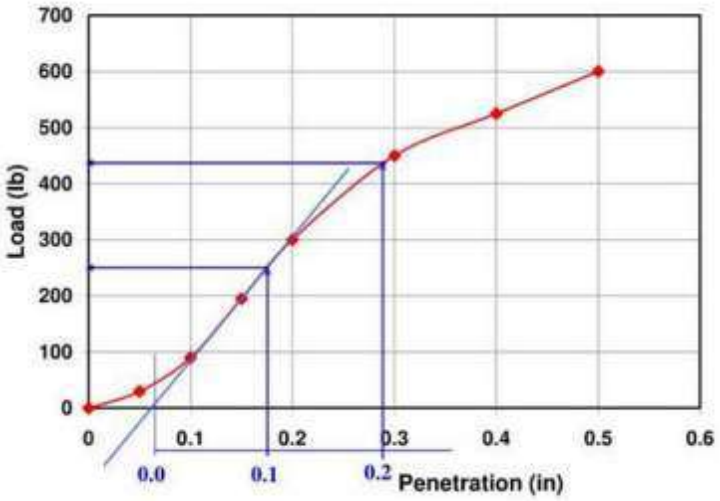
$$C.B.R_{2.54} = \frac{\text{قيمة الحمولة المصححة}}{70.29} * 100$$

$$C.B.R_{5.08} = \frac{\text{قيمة الحمولة المصححة}}{105.43} * 100$$

عادة تكون قيمة ال CBR العليا عند الاختراق المساوي ل 2.54 mm ، وعندما تكون قيمة CBR العليا عند الاختراق المساوي ل 5.08 mm يجب إعادة التجربة ، وفي حال كانت النتيجة مماثلة تعتمد النتيجة .



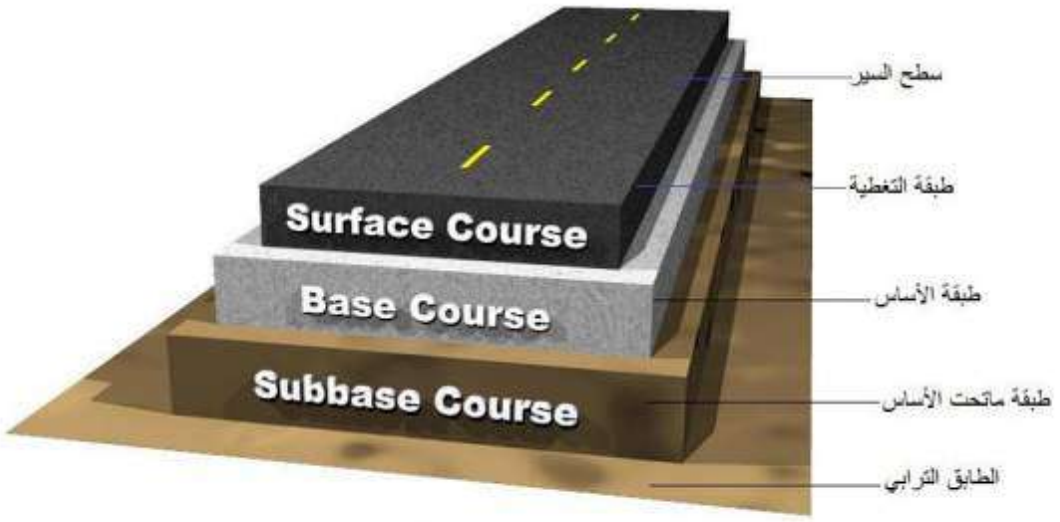
يبين الشكل التالي طريقة تصحيح منحني CBR



الرصف المرن والطبقات المكونة له

مقدمة :

الرصف المرن هو الرصف الذي تتكون طبقته السطحية من البيتون البيتوميني ، أما طبقتا الأساس وما تحت الأساس فيمكن أن تكونا من البحص المكسر أو الخلائط الحصوية الرملية أو من مواد معالجة بأحد الروابط البيتومينية ....الخ. ويتميز الرصف المرن بأن مقاومته على الانعطاف ضعيفة جداً ، والتشوهات التي قد تحصل في تربة المسار أو أي طبقة أخرى قد تنعكس عبر الطبقات حتى الوصول إلى الطبقة السطحية ، ويمكننا عملياً اعتبار الرصف المرن التقليدي مؤلفاً من عدد من الطبقات غير المترابطة أو المترابطة برابط حبيبي والتي يعلوها طبقة تغطية سطحية عادة ما تكون منشأة بوساطة رابط بيتوميني . والشكل يبين الطبقات الأساسية المكونة للرصف المرن



الطبقات المكونة للرصف المرن
Component Layers Of Flexible Pavement

الشكل .. الطبقات الأساسية المكونة للرصف المرن

1- طبقة التغطية السطحية Surfacing Layer

الهدف الأساسي لهذه الطبقة هو تأمين سطح سير مستقر ناعم وآمن ، إضافة إلى مقاومة الإجهادات الناتجة عن سير العربات والاهتراء الناتج عن الاحتكاك بين إطارات العجلات وسطح الطبقة السطحية ، كما يجب أن تقاوم الإجهادات الحرارية والعوامل المناخية المؤثرة ، وأن تضمن الكتامة ومنع تسرب المياه لجسم الطريق، وذلك لحمايته من التخريب ، و يجب أن تكون

الخواص الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية للمواد المستخدمة في هذه الطبقة ذات مواصفات عالية .

عندما تكون طبقة التغطية السطحية مكونة من خلائطبيتومينية، فإنه قد يتم إنشاؤها كطبقة واحدة متجانسة أو على شكل طبقتين يتم فرشهما بعمليتين منفصلتين تعرف العلوية منهما بطبقة الاهتراء Wearing course والسفلية بطبقة الأساس البيتومينية Bituminous base course وهذا يعتبر شائعا في حالة حركة المرور الثقيلة.

تؤلف طبقة الاهتراء السطح الفعلي لسير العربات التي يجب أن تؤمن ما يأتي :

- مقاومة انزلاق جيدة.
- التصريف السطحي السريع للمياه.
- تخفيف الضجيج
- مقاومة التشقق والتخدد.
- تحمل قوى الفرملة والانعطاف.
- حماية بنية الطريق التحتية.
- اقل أعمال صيانة ممكنة.
- إمكانية إعادة تغطيتها أو استعمالها.
- التمتع بقدرة تحمل كبيرة محققة المردود الأعلى للأموال المصروفة لإنشائها.

ولتحقيق ذلك يتم تصميم هذه الطبقة واختيار واختبار المواد الداخلة في تركيبها بدقة ويعتمد ذلك على خصائص كل موقع أو حالة على حدا ، أما طبقة الأساس البيتومينية فتشكل طبقة حاملة إنشائية لجعل السطح العلوي مستوياً وبذلك نتأكد أن طبقة الاهتراء ستملك نوعية قيادة جيدة عند إنشائها كما تسهم هذه الطبقة في التحمل والتوزيع المنتظم للحمولات المرورية المطبقة.

2- طبقة الأساس الحصوية (أساس الطريق) Road base

تؤمن هذه الطبقة طبقة حاملة لطبقة التغطية السطحية وباعتبار أن الإجهادات المتولدة عن حمولات العربات تتناقص مع العمق فإن الوظيفة الأساسية لهذه الطبقة هي توزيع الحمولات المنقولة إليها بحيث لا تتجاوز قدرة تحمل طبقة ما تحت الأساس والطابق الترابي تحتها .

تصمم طبقات أساس الطرق في الرصف المرن لتكون كثيفة ومستقرة تماماً وبحيث تقاوم الظروف الحرارية والمناخية وتحمي الطبقة السطحية من الصعود الشعري للمياه ، وباعتبار أن الإجهادات التي تتعرض لها هذه الطبقة أقل من الطبقة السطحية لذلك يمكن استخدام مواد ذات مواصفات فنية أقل جودة منها .

3- طبقة ما تحت الأساس Subbase layer

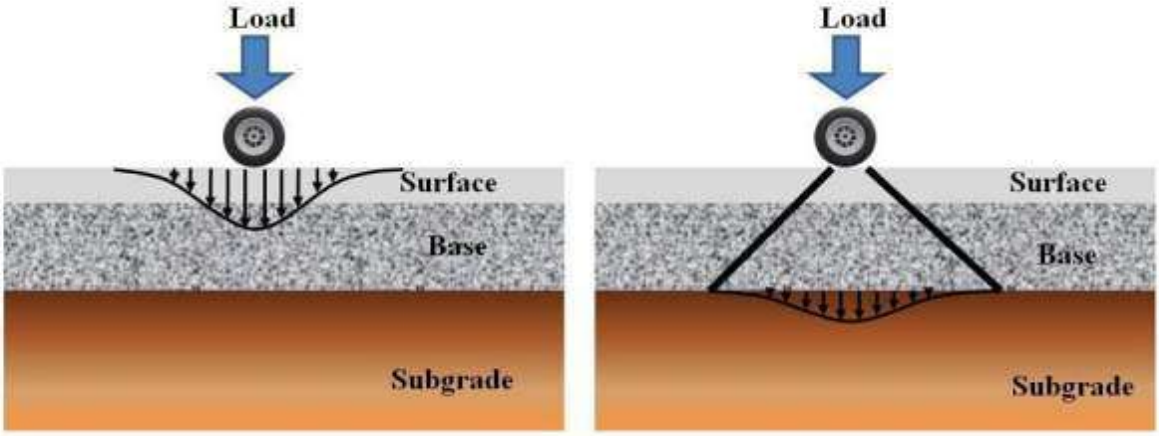
يمكن الاستغناء عن هذه الطبقة عندما تكون مواصفات تربة المسار ممتازة أو عندما تكون حركة السير على الطريق ضعيفة وعادة ما تكون موجودة في الرصف المرن كطبقة منفصلة تحت طبقة أساس الطريق ويعتمد وجودها وكيفية استخدامها على الوظائف المرجوة منها ، فهي كطبقة إنشائية في الرصف عليها أن تقاوم الحمولات المنقولة إليها من طبقة الأساس وأن توزع الإجهادات أكثر عمقاً إلى الطبقات التحتية ، كما يجب أن تعمل في أثناء إنشاء الطريق كطبقة حماية الطابق الترابي أو تربة المسار التحتية من تأثير عربات الموقع والإنشاء، خاصة عندما تكون الطبقة التحتية ذات خصائص سيئة (غضارية أو سيليسية) .

وباعتبار أن طبقة ما تحت الأساس تكون بعيدة نسبياً عن التغيرات الحرارية التي تتعرض لها الطبقة السطحية ، إضافة إلى أن الإجهادات الناتجة عن حمولات العربات تكون ضعيفة نسبياً لذلك من الممكن استخدام مواد ذات مواصفات فنية أقل جودة من سابقتها في هذه الطبقة .

4- تربة المسار أو الطابق الترابي Subgrade Layer

هي الطبقة من التربة الطبيعية التي تمت تهيئتها لاستقبال طبقات الرصف التي ستنشأ فوقها ويجب أن لا تتجاوز الإجهادات الواصلة إليها الحدود المسموحة.

إن تهيئة تربة المسار بشكل جيد يساعد على إعطاء سطح حامل متجانس لطبقة ما تحت الأساس وتحقيق رص متجانس فيها، كما يسهل عمليات حركة آليات الورشة وأعمالها، فإذا لم تكن خواص تربة المسار جيدة لا بد من معالجتها وتثبيتها بإضافة الروابط البيتومينية أو الفحمائية أو الكيميائية لرفع مقاومتها بحيث تحقق الوظائف المرجوة منها



الشكل طريقة توزيع الاجهادات في طبقات الرصف المرن

الرصف الصلب :

هو الرصف الذي تتكون طبقته السطحية من البيتون العادي أو المسلح الرصف الصلب هو الرصف الذي يكون له مقاومة وصلابة على الانعطاف ، كما أنه في الرصف الصلب لا تنتقل الاجهادات الشاقولية بنتيجة التماس بين الحبات كما هو في الرصف المرن ،

إنما يتم توزيع الإجهادات نتيجة المقاومة على الانعطاف .

لا تنقل بلاطة الرصف الصلب شكل التشوهات التي تحصل في الطبقات السفلى

الرصف نصف الصلب :

عندما يتم استخدام أحد الروابط الهيدروليكية (الإسمنت – الكلس – البوزلانا – الرماد ..) في معالجة وتثبيت طبقة الأساس أو ماتحت الأساس فإن هذه الطبقات يمكن أن تقاوم إجهادات الانعطاف

وهو رصف مرن ولكن يتم فيه معالجة طبقة الأساس الحصوي و/أو طبقة ماتحت الأساس بأحد الروابط الهيدروليكية وتبقى الطبقة السطحية من المجبول الاسفلتي

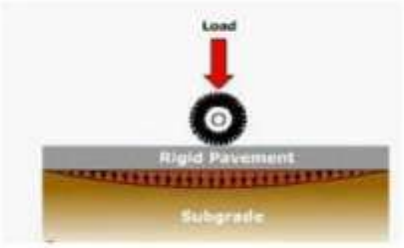
يساعد هذا النمط من الرصف على تخفيف و التقليل من سرعة وصول التشوهات التي تحدث في تربة المسار إلى الطبقة السطحية .

الرصف المرن (اللين) Flexible pavement

هو الرصف الذي تكون طبقته السطحية من المجبول الاسفلتي ، أما طبقتي الأساس وماتحت الأساس مكونة من مواد حصوية معالجة أو غير معالجة

السلوك الانشائي لهذا النوع يتميز بتوزيع الاجهادات الشاقولية ونقلها عبر الطبقات بالاعتماد على نقاط التماس بين الحبات وبالتالي طبقة الرصف الجيد هي الطبقة التي تستطيع توزيع الاجهادات على مساحة أكبر

بمعنى أخر : جودة الرصف اللين يتم تقييمها من خلال قدرة توزيعها للإجهادات الشاقولية تبعاً للعمق



الرصف الصلب Rigid Pavement

هو الرصف الذي تكون طبقته السطحية من المجبول الاسمنتي العادي أو المسلح او المسبق الاجهاد

الرصف الصلب هو الرصف الذي تكون له مقاومة وصلابة على الانعطاف
ويتم توزع الاجهادات نتيجة المقاومة على الانعطاف

جودة الرصف الصلب يتم تقييمها من خلال جودة الطبقة على مقاومة الانعطاف

الخلائط الحصوية

تعتبر الخلائط الحصوية أو المواد الحصوية المكون الأساسي والأكبر لطبقات رصف الطرق ، فهي تستعمل في تكوين الخلائط البيتومينية والبيتون الأسمنتي ، كما أنها يمكن أن تستعمل دون أي رابط في طبقات الرصف .

وعلى خواص المواد البحصية تتوقف بشكل رئيسي مقاومة طبقات الرصف للإجهادات الميكانيكية الناتجة عن حركة السير ، والإجهادات الحرارية الناتجة عن التغيرات الجوية

لهذا فإن معرفة خواص المواد الحصوية يعتبر ذا أهمية بالغة بالنسبة لمهندس الطرق .

إن معظم المواد الحصوية المستعملة في انشاء الطرق يمكن تصنيفها حسب مصدرها إلى نوعين :

- **الحصويات الطبيعية :** وهي الحصويات التي يتم الحصول عليها من المواد الصخرية الطبيعية من خلال الفصل على مهزات مختلفة للحصول على المقاسات المطلوبة ، ويشمل ذلك رواسب الزلط ، الرمل ، نواتج التعرية الطبيعية في الوديان
- **الحصويات المصنعة (حصويات المقالع) :** وهي الحصويات الناتجة عن تكسير الأحجام الكبيرة في الكسارات ، مثل الصخور الكربونية (الكلسية والدلوميتية) أو الصخور النارية (البازلت والغرانيت) وغيرها

ومن ثم يتم الفصل بعد التكسير على مناخل قياسية وتقسيم المنتج إلى خشن ومتوسط وناعم

- **الحصويات المصنعة (خبث الأفران) :** وتشمل أنواع الحصويات المصنعة وهي حصويات خفيفة الوزن ، وحصويات ثقيلة الوزن كنواتج ثانوية في صناعة الحديد والمسمى خبث الأفران

الخواص العامة لحصويات الطرق

1- المقاومة :

يجب أن تكون الحصويات المستعملة في انشاء الطرق ذات مقاومة كافية كي تصمد تحت تأثير الإجهادات الناتجة عن حمولة العربات المستخدمة للطريق ، وبصورة خاصة يجب أن تكون مقاومتها عالية في الطبقة السطحية .

اختبار المقاومة :

يسمى أحياناً باختبار التفتت وبالاعتماد على هذا الاختبار يمكن تحديد مقاومة المواد البحصية لحمولات متدرجة ، والحصويات التي تكون فيها قيمة التفتت أقل تكون ذات صلاحية أفضل من أجل استعمالها في طبقات الرصف .

توضع عينة من المواد البحصية الجافة ضمن قالب معدني نظامي وليكن وزن العينة W1 . ترص العينة على ثلاث طبقات بمعدل 25 طرقة لكل طبقة وتوضع بعدها تحت مكبس ثم تطبق عليها حمولة 400 kn وبعدها تنخل على منخل 2.36 mm وليكن وزن المواد المارة W2 و يحسب عامل التفتت = 100 * W1 / W2

2- الصلابة :

بما ان حصويات طبقات الرصف تكون معرضة إلى احتكاك فيما بينها ناتج عن حركة المرور ، فإن هذا الاحتكاك يؤدي إلى تآكل في الحبيبات وعليه يجب أن تكون الحبات الحصوية صلبة بشكل كاف لمقاومة التآكل

اختبار الصلابة :

إن اختبار صلابة المواد الحصوية يدعى باختبار التآكل ، وهناك ثلاث أنواع من التجارب معروفة عالمياً :

- تجربة تآكل لوس أنجلوس
- تجربة تآكل دوفال
- تجربة تآكل دوري

اختبار تآكل لوس انجلوس :

هو تعيين مقاومة المواد الحصوية حصراً للاهتراء، حيث يتم إجراء تجربة التحليل الحبي للمواد الحصوية المراد إجراء التجربة عليها وبعد تحديد التركيب الحبي للحصوية ومن الجدول المرفق

يتم تحديد وزن العينة اللازم إجراء تجربة لوس انجلوس وعدد الكرات الفولاذية التي يجب وضعها مع العينة داخل الوعاء الاسطواني والموّضح في الشكل

الشكل جهاز لوس انجلوس

كما يتم تحديد عدد الدورات اللازمة لإجراء التجربة من خلال جدول خاص

ثم توضع العينة في الوعاء الاسطواني مع الكرات الفولاذية ويدور الجهاز عدد من الدورات حسب ما تم تحديده من الجدول حسب التركيب الحبي ، وبعد انتهاء الدوران نفرّغ العينة بالمنخل (N12) الذي فتحته (1.68mm) ثم نحسب عامل لوس أنجلوس وفق العلاقة:

عامل لوس انجلوس=(الوزن المتآكل / الوزن الكلي للعينة)*100

3- المتانة :

إن المواد الحصوية المستخدمة في الطرق معرضة لفعل الصدم نتيجة الحركة عليها وتزداد قيمة هذا الفعل بخشونة سطح الطريق وزيادة سرعة العربات

اختبار المتانة :

إن اختبار متانة المواد الحصوية يدعى باختبار الصدم ، يتم تحضير العينات بحيث ترص على ثلاث طبقات وتتلقى كل طبقة 25 طرقة وتوضع بعدها تحت جهاز الصدم وتختبر بسقوط مطرقة الصدم عليها .

تؤخذ بعدها العينة وتمرر على منخل No.8 (2.36mm)

إن قيمة عامل الصدم عبارة عن نسبة وزن المواد المارة من

المنخل No.8 (2.36mm) على الوزن الأصلي للعينة

4- الديمومة :

إن المواد الحصوية المستخدمة في طبقات الرصف يجب أن تكون ذات مقاومة كافية للعوامل الجوية المتمثلة بالتغيرات الحرارية وتغيرات الرطوبة .

الخاصية التي تجعل المواد الحصوية تجابه فعل العوالم الجوية تدعى بالأصالة ، حيث أن هذه الحصويات تكون عرضة للعوامل الفيزيائية والكيميائية الناتجة عن مياه الامطار أو المياه الجوفية كما انها عرضة للصقيع والذوبان ، وعليه فإن المواد الحصوية المستعملة في الطرق يجب أن تكون ذات أصالة جيدة كي تكون هناك ديمومة أكثر لطبقات الرصف

اختبار الديمومة :

يتلخص الاختبار بتعريض العينة لدورات متسارعة من التجمد والذوبان مخبرياً باستعمال كبريتات الصوديوم ، أو كبريتات المغنزيوم

5- شكل الحبات :

إن الحبيبات الحصوية من حيث شكلها يمكن أن تكون كروية أو مكعبية أو رقيقة أو متطاولة ويمكن ان تكون مستديرة أو زاوية .

في انشاء الطرق وفي مختلف طبقات الرصف يفضل استبعاد الحبيبات الرقيقة والمتطاولة نظرا لضعف مقاومتها .

الحبيبات ذات الحواف المستديرة يمكن استخدامها في خلطات البيتون الاسمنتي أي الرصف الصلب كونها تعطي سهولة في الاستعمال

أما في حالة البيتون البيتوميني أو مختلف أنواع الرصف غير المعالج فإنه يجب استعمال الحبات البحصية الزاوية لأن ثبات هذه الأنواع من الرصف يعتمد على التشابك الزاوي للحبات

6- خاصية التلاحم مع البيتومين :

يمكن تصنيف المواد المستعملة في الطرق إلى نوعين : محبة للماء ، وكارهة للماء مقارنة مع البيتومين . إن الحصويات الناتجة عن تكسير الصخور الكلسية تعطي تلاحماً جيداً مع البيتومين ويمكن اعتبارها غير محبة للماء قياساً مع البيتومين

بينما الحصويات الناتجة عن تكسير الكوارتز والأحجار الرملية ينقص تلاحمها مع البيتومين نتيجة وجود الماء

وبصورة عامة يكون تلاحم البيتومين مع الحصويات اكثر فعالية كلما كانت الحصويات نظيفة وجافة وعليه يجب تسخين الحصويات قبل دمجها مع البيتومين .

المواد البيتومينية

عرفت المواد البيتومينية منذ القديم ، و قد استخدمت في إنشاء الطرق و كموانع للرشوحات ، وقد كان المصدر الوحيد للمواد البيتومينية الصخور الكلسية و الرملية المتشربة بالبيتومين (جبل البشري في محافظة ديرالزور و الرقة ، و منطقة كفريا قرب اللاذقية) و البحيرات في جزر برمودا و ترينداد .

و نظراً لنوعية البيتومين الطبيعي وكلفة استخراجه فإن قيمته التجارية في وقتنا الحاضر تبقى محدودة ، والمصدر الرئيسي للبيتومين المستعمل حالياً هو الناتج عن تقطير البترول في أغلب دول العالم .

يتم التفريق بين البيتومين الطبيعي ، و البيتومين الناتج عن تقطير البترول بإطلاق كلمة اسفلت (Asphalt) على البيتومين الطبيعي و بيتومين (Bitumen) بالنسبة للناتج عن تقطير البترول ، و يتم حاليا في أغلب الدول و خاصة في الولايات المتحدة الأمريكية استعمال كلمة اسفلت لكل من البيتومين الطبيعي و البيتومين الناتج عن البترول .

إن أهم أنواع المواد البيتومينية المستعملة في صناعة الطرق هي :

1- البيتومين (الإسفلت) – الإسفلت السائل – المستحلبات

2- القطران

طبقاً لتعريف الجمعية الأمريكية لاختبار المواد ASTM D8

البيتومين : نوع من المواد اللاصقة ذات لون أسود أو معتم وتكون على حالة (صلبة أو نصف صلبة أو لزجة) وتنتج طبيعياً أو صناعياً ، وتتكون أساساً من هيدروكربونات ذات وزن جزيئي عالي .

يمكن تصنيف البيتومين (Asphalt Cement (Bitumen طبقاً لخاصيتين

إما اللزوجة

AC -2.5 / AC – 5 / AC -10 / AC -20 / AC – 40

أو الغرز

40-50 / 60 -70 / 85-100 / 120-150 / 200-300

و التصنيف الأخير أي تصنيف الغرز هو الاكثر استخداماً في سوريا

وهناك تصنيف حديث للاسفلت هو تصنيف الاداء PG المعتمد وفق نظام السوبربيف

الإسفلت السائل Liquid Asphalt

يعرف الإسفلت السائل بأنه بيتومين الذي أضيف إليه بعض الزيوت الطيارة كالكازولين والكيروسين وبالتالي أصبح بالإمكان استعماله بدرجة الحرارة الطبيعية أو بعد تسخينه إلى درجة حرارة مقبولة .

إن دور الزيوت الطيارة في الحصول على الاسفلت السائل لا يكون فقط كبديل للحرارة من أجل تخفيف لزوجة البيتومين ولكن يساعد أيضاً في زيادة سيولة البيتومين لفترة أطول من الزمن . إذ أنه بعد استعمال الاسفلت السائل في الأعمال المختلفة للطرق كتثبيت التربة ومعالجة الماكادام أو تهيئة سطوح طبقات الرصف لاستقبال الخلطات البيتومينية فإن المواد الطيارة تتبخر مخلفة وراءها البيتومين الذي يؤدي إلى ربط و تلاحم العناصر مع بعضها .

إن سلوكية الاسفلت السائل لأي عمل تتعلق بنوعية وكمية المواد الطيارة التي استعملت في تحضيره وتبعا لذلك فإن الاسفلت السائل يقسم إلى ثلاثة أنواع :

- **سريع التطاير Rapid curing R.C**
- **متوسط التطاير Medium curing M.C**
- **بطيء التطاير slow curing S.C**

يتم الحصول على النوع الاول من الاسفلت السائل (R.C) بدمج البيتومين بمواد شديدة التطاير كالغازولين مثلاً ، أما النوع الثاني (M.C) فيتم الحصول عليه بدمج البيتومين بمواد أقل تطايراً من الأولى كالكيروسين مثلاً وفيما يتعلق بالنوع الثالث (S.C) فيتم الحصول عليه بدمج البيتومين بزيوت خفيفة تحوي قليلاً أو قد لا تحوي مكونات طيارة . إن كل نوع من أنواع الاسفلت السائل الثلاثة تحتوي على عدة درجات مختلفة تعتمد على نسب المواد الطيارة التي استعملت في تحضيره حيث تتراوح نسبتها من (15 – 40 %) وقد اعتمد التصنيف الأمريكي القديم للاسفلت السائل على اعطاء أرقام من (0) إلى (5) حسب اختلاف اللزوجة ضمن النوع الواحد حيث الرقم (0) يعبر عن أخفض لزوجة و الرقم (5) يعبر عن أعلى لزوجة و هكذا ..

أما التصنيف الحديث فقد اعتمد على قياس اللزوجة عند الدرجة (60°c) مقدرة ب (centistocks) والجدول التالي يعطي المسمى الدارج و ما يقابله من المسميات الحديثة للإسفلت السائل

نوع الإسفلت	التسمية الدارجة	التسمية الحديثة
إسفلت سائل سريع التطاير Rapid curing R.C	RC - 1	RC - 70
	RC - 2	RC - 250
	RC – 3 , RC - 4	RC - 800
	RC - 5	RC - 3000
إسفلت سائل متوسط التطاير Medium curing M.C	MC - 0	MC - 30
	MC - 1	MC - 70
	MC - 2	MC - 250
	MC – 3 , MC - 4	MC - 800
	MC - 5	MC - 3000

المستحلبات الإسفلتية Emulsified Ashalt

إن المستحلبات الإسفلتية هي نوع من الروابط الفحمائية التي يمكن استعمالها في صناعة الطرق بدرجة حرارة طبيعية ويعرف المستحلب بأنه عن سائلين غير قابلين للانحلال فيما بينهما ممزوجين مع بعض . أحد هذين السائلين موزع بشكل كريات مجهرية (قطر 2 ميكرون) ضمن السائل الأخر . إن البيتومين غير قابل للانحلال في الماء وبالتالي يمكن تحضير مستحلب من هذين السائلين وذلك بتسخين البيتومين والماء وإمرارهما عبر مضخة نابذة خاصة ، تعمل على توزيع كريات البيتومين ضمن الماء ولكي لا يتم التحام البيتومين مع بعضها فإنه يضاف إلى المزيج عنصر استحلاب و عادة يستعمل الصابون كعنصر استحلاب إذ يعمل الصابون على تخفيض الشد السطحي بين البيتومين والماء وكذلك يقوم بتشكيل طبقة على سطح الكريات ذات شوارد سالبة (Anionic) أو ذات شوارد موجبة (Cationic) . وهذا يؤدي إلى تنافر الكريات فيما بينها وعليه فإننا نميز نوعين من المستحلبات :

المستحلبات المشرسبة (Anionic Emulsions) و المستحلبات المشرجبة (Cationic Emulsions) .

ويتم اختيار أحدهما بالاعتماد على الخواص الفيزيائية والكيميائية للمواد الحصوية ، فإذا كانت سطوح المواد الحصوية ذات شوارد موجبة كالحصويات الكلسية مثلاً فإننا نستعمل المستحلبات المشرسبة . أما إذا كانت سطوح المواد الحصوية ذات شوارد سالبة كالحصويات السيليسية فإننا نستعمل المستحلبات المشرجبة .

إن ميكانيكية استعمال المستحلبات في الأعمال الطرقية تتلخص بأنه عندما ترش أو تمزج المستحلبات مع المواد الحصوية ، فإن المستحلب يتحطم أي تتغير حالة المستحلب من كريات دقيقة موزعة ضمن الماء إلى حالة يتوضع فيها البيتومين على سطح المواد الحصويات ، ويشكل طبقة ملتصقة بها ويلاحظ بدء التحطيم حين تغير لون المستحلب من اللون البني إلى اللون الأسود .

و يعتمد معدل سرعة تحطيم المستحلب على فاعلية عنصر الاستحلاب وعلى الطبقة التي تكونت على سطوح الكريات البيتومينية الدقيقة ووفق ذلك يمكن تقسيم المستحلبات المشرسبة إلى ثلاثة أنواع :

- سريعة التحطيم Rapid setting (R.S)
- متوسطة التحطيم Medium setting (M.S)
- بطيئة التحطيم Slow setting (S.S)

و يكون النوع الأول غير مستقر لأنه سريع التحطيم إذ يحتوي على كمية قليلة من عنصر الاستحلاب ولا يصلح للخلط مع المواد الحصوية لأنه يجعل زمن الخلط قصيراً جداً ، ولكن يمكن أن يستعمل من أجل التصاق طبقات الرصف فيما بينها ، أما النوع الثاني فإنه يحتوي على كمية كافية من عنصر الاستحلاب مما يسمح خلطه ببعض التراكيب الحبية ويستعمل بشكل خاص في صيانة الطرقات .

أما النوع الثالث فإنه يمتلك ثباتاً ميكانيكاً و كيميائياً كافياً لأغلب الأعمال بما فيها خلطة مع المواد الحصوية ويستعمل بشكل خاص في أعمال الطرق خلال فصل الشتاء ،

أما المستحلبات المشرجبة فإنه يمكن تصنيفها من حيث سرعة تحطيمها إلى سريعة و متوسطة و بطيئة التحطم ، ولكن يبقى استعمالها في أعمال الطرق محدودة .

اختبارات المواد البيتومينية

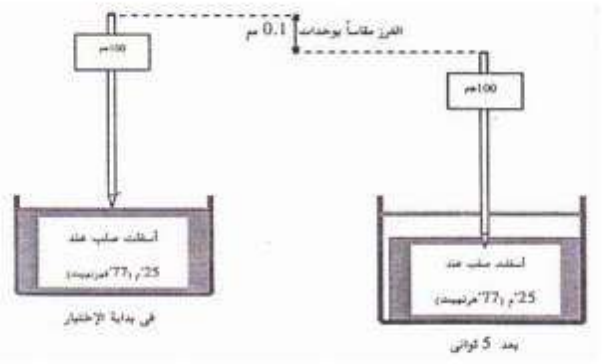
- تجربة الغرز
- تجربة اللزوجة
- تجربة الاستطالة
- تجربة نقطة التميع
- تجربة نقطة الوميض والاشتعال
- تجربة النقص في الوزن
- تجربة الوزن النوعي

اختبار الغرز(Penetration Test):

وهي المسافة التي تخترقها إبرة قياسية رأسياً في عينة الاختبار ،تحت الظروف الثابتة من درجة الحرارة والتحميل و الوقت .

تجرى هذه التجربة من أجل تحديد قساوة أو لدونة البيتومين

وتتلّخص التجربة لإبرة ذات أبعاد ووزن نظاميين من الانغراز شاقولياً ضمن عينة البيتومين بدرجة حرارة (25C) ولمدة (5) ثواني، ويتم قياس عمق الانغراز ضمن العينة ب (1/100) من cm



اختبار الاستطالة (Ductility Test):

تعتبر هذه الخاصية من الخواص الهامة للبيتومين المستخدم في الخلائط البيتومينية للطرق، إذ أن الطبقات السطحيّة تتعرض بشكل خاص لتغيرات حرارية شديدة وبالتالي يؤدي ذلك إلى تمدد وتقلّص الرابط البيتومين ، إضافة إلى ذلك فإنّ الحركة المتكررة على الطريق تؤدي إلى تشوّهات متكررة من شدّ وضغط وعليه عندما تكون مطاوعة البيتومين الرابط للمواد الحصوية جيدة فإنّ ظهور التشققات ضمن هذا الرابط سيكون متأخراً وهذا يعطي حياة أطول للطريق.

والاستطالة هي بالتعريف الطول الذي يبلغه خيط من البيتومين قبل انقطاعه بشروط نظامية وهي: درجة الحرارة 25 درجة مئوية. ،، سرعة الشّد 5cm/min.

اختبار نقطة التميّع (Softening Point test):

وهي درجة الحرارة التي تستطيع عندها كرة من الفولاذ تطبيق تشوّه محدد أثناء التسخين تحت تأثير وزنها الذاتي.

ويستخدم من أجل تحديد درجة ليونة البيتومين (أي معرفة درجة الحرارة التي ينتقل فيها البيتومين من الحالة الصلبة إلى حالة الليونة) وتكون سرعة تسخين الماء 5c/min.

تتضمن هذه التجربة تعيين درجة الليونة للإسفلت (البيتومين) باستخدام جهاز الحلقة والكرة في حمام .

اختبار نقطة التميّع (Softening Point test):

توضع كرة من الحديد ذات وزن معين على قرص العينة الذي يكون داخل حلقة معدنية أفقية بحواف ذات أبعاد قياسية، وتسخن المجموعة في حمام إيثلين غليكول بمعدل ثابت.

وتعين درجة الليونة بدرجة الحرارة التي تصبح عندها العينة طرية بدرجة كافية تسمح للكرة الموجودة بمادة العينة أن تسقط مسافة (25.4 مم).

نقطتي الوميض والاشتعال (Flash and fire point):

نقطة الوميض: هي درجة الحرارة التي تبدأ عندها أبخرة البيتومين بالالتهاب.

نقطة الاشتعال: هي أخفض درجة حرارة يبدأ عندها البيتومين ذاته بالاشتعال، ويتم الحصول عليها بالاستمرار في وضع الحرارة حتى تشتعل العينة لمدة (5) ثواني .

وتستخدم هذه التجربة لتحديد درجة الحرارة الحديّة والتي يمكن تسخين البيتومين عليها وهو في حالة أمان دون أن يشتعل .

تجربة النقص في الوزن (Loss- on heating test) :

الغاية منها معرفة التغيير في خواص البيتومين بعد تسخينه ، وهذا التغيّر ناتج عن تبخر المركبات الخفيفة ممّا يؤدي إلى حدوث تبدل يؤثر على خواصه وفقدانه قليلاً من وزنه وخفض غرزه واستطالته وارتفاع حرارة كسره.

تهدف هذه التجربة إلى تعيين الفاقد في الوزن (فيما عدا الماء) للزيوت والمركبات الإسفلتية. بصورة عامة تكون نسبة الفاقد بالحرارة حوالي (1- 0.8) %

تجربة الوزن النوعي (Specific Gravity test) :

يعرف الوزن النوعي بأنه النسبة بين كتلة محدودة الحجم من البيتومين بدرجة حرارة (25°c) على كتلة نفس الحجم من الماء

بدرجة حرارة (25°c)

ويمكن تحديد قيمة الوزن النوعي باستعمال البيكنومتر أو بتهيئة عينات مكعبية الشكل من البيتومين نصف الصلب أو الصلب ، و وزنه بالماء والهواء .

وبصورة عامة تتراوح قيمة الوزن النوعي للبيتومين الصافي من (1.03 – 1.01) بينما بالنسبة للإسفلت السائل تكون أخفض من هذه القيم

أما بالنسبة للقطران فيمكن ان تتراوح من (1.25 – 1.10)

الخلائط الإسفلتية
(المتطلبات الأساسية ، مراحل وطرق التصميم)

تعريف الخلائط الإسفلتية:

الخلائط الإسفلتية عبارة عن مزيج متجانس من مواد الرصف تشمل الرابط الاسفلتي (البيتومين) و الحصويات بتدرجاتها المختلفة من الخشن إلى الناعم وبعض الإضافات كالبودرة (المواد المالئة) ،و يمكن أن تضاف إلى الخلطة مواداًخرى ولكل مكون مواصفات تحدد ملائمة استخدامها وفق مجال التطبيق،(أو قد يكون الرابط الأسفلتي معدلاً بإضافات) ، يعمل الرابط الاسفلتي على حماية الخلطة من الماء وكرابط لحبيبات الحصويات لتكوين كتلة كثيفة متماسكة عندما تلتصق مع بعضها وهذا يؤدى إلى زيادة متانة ومقاومة الخلطة ويتأثر أداء الخلطة الإسفلتية بكل من خصائص مكوناتها كلاً على حدة وبخصائصها مجتمعة.

تعتبر الخلطات الإسفلتية المكون الرئيسي لطبقات الرصف في معظم الطرق الحديثة ، وبالنظر إلى الوظائف المهمة لهذه الطبقات و خاصة قدرتها على مقاومة الإجهادات المختلفة التي تتعرض لها نتيجة لأحمال المرور والتغيرات الحجمية بسبب اختلاف درجات الحرارة اليومية والموسمية ، فإن الخلائط الإسفلتية المطلوبة يجب أن تكون ذات جودة عالية. ويتحقق ذلك بتوفر عدد من الخواص الهندسية و الميكانيكية و التي من أهمها الثبات (Stability) و الانسياب (Flow) .

1 - المتطلبات الفنيّة للحصويات المستخدمة في الخلائط الإسفلتية :

يجب أن تتمتع الحصويات المستخدمة في الخلطة الإسفلتية بمجموعة من الخصائص التي تجعلها قابلة للاستخدام في هذا النوع من الخلائط ومن هذه الخصائص :

- أن تكون ذات مقاومة كافية لكي تصمد تحت تأثير الإجهادات الناتجة عن حمولة العربات.
- أن تقاوم الاهتراء والتفتت الناتج عن تواتر حركة السير.
- أن تتمتع بصلابة كافية لمقاومة الاحتكاك فيما بينها.
- أن تتمتع بمتانة عالية وديمومة لمقاومة العوامل الجويّة المختلفة.
- أن تكون حواف هذه الحصويات ذات زوايا واضحة لكي تحقق التشابك الزاوي.
- أن تعطي الحصويات المستخدمة تلاحماً جيداً مع البيتومين .

2 - مواصفات ومتطلبات بيتومين الطرق :

يجب أن يحقق الإسفلت المستخدم بعد اعتماد صنفه جميع الاختبارات المطلوبة

ويستخدم في الخلطات الاسفلتية الساخنة في سوريا الاسفلت صنف (60-70)

3 – المتطلبات الأساسية لتشكيل الخلطات الإسفلتية :

هناك أربع خواص أساسية يجب تحقيقها عند تصميم الخلائط البيتومينية وهي (الثبات – الديمومة – المرونة – مقاومة الانزلاق) عملياً لا يمكن الوصول إلى الحالة المثالية لهذه الخواص الأربع ، ولذلك فإن التصميم الجيد هو التصميم الذي يجمع أكبر نسبة من هذه الخواص .

1- الثبات (Stability)

وهو المقاومة التي تبديها مواد طبقة الرصف تجاه التشوهات التي تسببها الإجهادات الناتجة عن حمولة العربات ، والمصدر الأساسي لتلك المقاومة هو الاحتكاك والتعشيق الناتج عن تماس الحبيبات البحصية من جهة و التماسك الناتج عن وجود المواد الإسفلتية من جهة أخرى . تتغير قيمة الثبات حسب شكل الحبيبات الحصوية و التدرج الحبي ونسبة الرابط البيتومين. وإن التصميم الذي يعطي قيمة ثبات جيدة يمكن أن يساهم في تقوية الخواص الأساسية الأخرى .

2-الديمومة (Durability)

تعود ديمومة الخلائط البيتومينية إلى مقاومة هذه الخلائط للإجهادات الميكانيكية الناتجة عن الحمولات التي تولدها الحركة وأيضاً للإجهادات الحرارية التي تولدها التغيرات المناخية وكلما استطاع الرابط البيتومين حماية الحبيبات الحصويّة أكثر كلما كانت ديمومة الخلائط البيتومينية أكثر ،فمن أجل زيادة خاصية الديمومة للخلائط البيتومينية يجب أن تكون نسبة الرابط البيتومين كافية من أجل تغليف كافة الحبيبات الحصوية من جهة ويجب أن تكون جميع الفراغات بين الحبيبات الحصوية مليئة البيتومين من جهة أخرى.

3- المرونة(Flexibility)

تعود مرونة الخلائط البيتومينية إلى قابليتها للانعطاف دون حدوث تشققات فيها ودون حدوث تغير في شكل الطبقات التي تستند عليها هذه الخلائط .تكون مرونة الخلائط البيتومينية أفضل عند استعمال تراكيب حبية مفتوحة مقارنة باستعمال تراكيب حبية كثيفة. مع الأخذ بعين الاعتبار عند زيادة المرونة التقليل ما أمكن من الآثار السلبية على الخواص الأخرى .

4- مقاومة الانزلاق (Skid Resistance)

وهي قدرة سطح طبقة الرصف من الخلائط البيتومينية على مقاومة انزلاق دواليب العربات وتعتمد مقاومة الانزلاق على العاملين التاليين:

العامل الأول : نسيج المواد الحصوية الداخلة في تركيب الخلطة وقساوة تلك المواد، أي في حال كان نسيج المواد الحصوية يحوي نسبة لا بأس بها من المواد الناعمة وأيضا المواد الحصوية الطرية فإن سطح الطريق سيصبح ناعماً وتزداد النعومة مع زيادة الحركة عليه حيث يحدث تآكل في المواد الحصوية ،وعليه يجب أن تكون المواد الحصوية قاسية كافية لزيادة مقاومة الطبقة السطحية للانزلاق .مع الأخذ بعين الاعتبار حجم الحركة على الطريق .

العامل الثاني : نسبة البيتومين الداخلة في التركيب، في حال كانت نسبة الفراغات في المزيج ضعيفة فإنه نتيجة الحركة سترص الطبقة من ناحية و أيضاً في الأشهر الحارة من السنة يكون هناك تمدد في الرابط البيتومين ،وبالتالي صعوده إلى السطح مشكّلاً واحات بيتومينية ذات سطح ناعم غير مقاوم للانزلاق ، ولذلك يجب التركيز على النسبة المثالية للرابط البيتومين التي تعطي أفضل الخواص للخلطة.

أظهرت الدراسات الحديثة خصائص أخرى يجب أن تتحقق في الخلائط البيتومينية منها :

- مقاومة الخلائط لظاهرة التعب : التي تنشأ نتيجة الإجهادات الناظمية والمماسية المتكررة على منشأة الطريق .

- التشققات ومعدل انتشار هذه التشققات تحت تأثير الحرارة المنخفضة .

- قابلية التشغيل أي الحصول على خليط يمكن نقله وفرشه مع المحافظة على مواصفاته

عدم النفاذية Impermeability :

المقصود بعدم النفاذية هو ممانعة الخلطة الإسفلتية لتغلغل المياه وسريانها عبر الفراغات ضمن الطبقة ويرتبط تحقيق هذا الشرط بنسبة الفراغات الهوائية المتبقية في الخلطة المرصوصة . وعلى الرغم من أن حجم الفراغات الهوائية ضمن الخلطة قد يدل على درجه نفاذية الخلطة من عدمها إلا أن العامل الأكثر أهمية هو شكل هذه الفراغات وعددها واتصالها مع بعضها البعض وقربها من سطح الطريق كل ذلك يمكن أن يؤثر بشكل مهم على نفاذيتها .

يعتبر عامل عدم النفاذية أحد الخواص المرتبطة بديمومة الخلطة إلا أنه من الممكن السماح بنفاذية محدودة للطبقة بما لا يؤثر على مقاومتها وثباتها والذي يمكن أن يسبب مشاكل التطاير والتعرية أو ظهور التخدد مع الزمن ، وبما لا يعرض الطبقة لخطر التغيرات الحجمية الناتجة عن تجمد أو ذوبان المياه التي قد تتجمع في الفراغات ضمن الخلطة .

قابلية التشغيل Workability :

تعبر هذه الخاصية عن سهولة فرد (فرش) ورص المجبول في الموقع باستخدام مجهود معقول ولا توجد طريقة قياسية لتقييم وقياس قابلية التشغيل للخلائط الاسفلتية أثناء مرحلة التصميم ، ومشاكل قابلية التشغيل والفرش غالباً ما تظهر أثناء تنفيذ عمليات الرصف يمكن تحسين هذه الخاصية عبر تعديل معايير التصميم أو تغيير مصدر الحصويات أو تدرجها ونسبة المواد الناعمة أو باستخدام الإضافات . كما يؤثر لزوجه الرابط الاسفلتي ونسبته على هذه الخاصية حيث تخفض درجات الحرارة من اللزوجة مما يخفض من قابلية التشغيل للخلطة .

تعتبر هذه الخاصية من المتطلبات الأساسية للمجبول الاسفلتي خاصة في الأماكن ذات الطبيعة الخاصة التي تتطلب قابلية تشغيل عالية للمجبول كمداخل الأنفاق والمنحنيات الحادة وغيرها من الأماكن التي تتطلب اعتبارات خاصة .

يمكن أن يؤدي انخفاض قابلية التشغيل إلى صعوبات في الرص وعدم تأمين الاستوائية والنعومة المطلوبة للسطح وعدم كفاية تغطية الحصويات أو ارتفاع نفاذية الطبقة .

مقاومة التعب Fatigue Resistance :

أي قدرة طبقات الرصف الإسفلتية على الانعطاف المتكرر تحت تأثير الأحمال المتغيرة وغير المنتظمة ولفترة زمنية وبالتالي مقاومة الشقوق عند التعرض للحمولات . تتأثر مقاومة التعب للخلطات الإسفلتية بنسبة الفراغات الهوائية في الخلطة والتي تتعلق بدورها بمحتوى الرابط الإسفلتي الذي يؤثر بدوره بخصائصه على مقاومة التعب . تتعلق مقاومة الخلطة الإسفلتية للتعب بعدة عوامل منها محتوى الفراغات الهوائية وسماكة الطبقة ونوع ومواصفات الطبقات السفلى وقد يظهر تعب الخلطة إلى ظهور التشققات والتآكل المبكر للرابط والانحناء المفرط للطبقات .

إن طريقة مارشال وفيم لتصميم الخلائط الاسفلتية لايوجد بهما قياس مباشر لمقاومة التعب .

و يتم تعيين مقاومة التعب عن طريق تطبيق أحمال متكررة مركبة (إما إجهاد مستمر أوانفعال مستمر) على عينة الاختبار ومنها يتم تقدير عدد دورات تطبيق الحمل المسببة للانهيار (الشقوق) .

تزداد مقاومة الخلائط الإسفلتية للتعب عن طريق استخدام :

- نسبة عالية من الأسفلت
- تدرج كثيف للحصويات (Dense Graded)
- تدرج جيد للحصويات (Well Graded)

أظهرت الاختبارات أن نسبة الأسفلت من أهم العوامل المؤثرة على مقاومة الخلطة الإسفلتية للتعب (Resistance Fatigue) حيث وجد أنه كلما زادت نسبة الأسفلت كلما زادت مقاومة للخلطة على التعب، كما يجب أن يستخدم حصويات جيدة التدرج يتيح استخدام نسبة اسفلت عالية بدون حدوث نزف .

المقاومة للتشوهات الدائمة (Resistance to Pavement Deformation):

يجب ألا يحدث تشوه أو إزاحة لطبقة الرصف الاسفلتي عند تعرضه للأحمال المرور وتظهر أهمية المقاومة للتشوهات الدائمة (rutting) بشكل واضح أثناء أشهر الصيف الحارة حيث تنخفض لزوجة الأسفلت، ويتم مقاومة أحمال المرور في هذه الحالة عن طريق تداخل حبيبات الحصويات (Aggregate Structure) .

إن ثبات الخلطة الاسفلتية (Stability)كما هو مقاس في طريقة فيم أو مارشال ليس معبراً بصورة أكيدة عن مقاومة الخلطة الاسفلتية للتشوهات الدائمة ، ومقاومة الخلائط للتشوهات الدائمة (Pavement Deformation) يتم التحكم فيها عن طريق الاختيار الجيد لنوعية وتدرج الحصويات المستخدم، ونسبةالأسفلت المستخدمة بحيث نحصل على نسبة فراغات هوائية مناسبة ضمن الخلطة .

الدور الذي يلعبه كلاً من الحصويات والأسفلت في مقاومة التشوهات للرصف يتم من خلال :

1) قوى الاحتكاك الداخلي (Internal Friction)

تنتج هذه القوى نتيجة للاحتكاك المتولد بين الحبيبات المتداخلة مع بعضها (Interlocking) وتعتمد هذه القوى على :

- تدرج الحصويات (Gradation)
- شكل الحبات (Particle Shape)
- الملمس السطحي للحبات (Surface Texture)
- نسبة الاسفلت ضمن الخلطة (Percent of Asphalt)
- كثافة الخلطة الاسفلتية (Density of Mix)

فقوى الاحتكاك الداخلي تزداد بزيادة مساحة التلامس بين الحبيبات وبخشونة سطح الحبيبات الحصويات المستخدمة، ويمكن القول بأنه مع أي نوع من الحصويات المستخدمة فإن ثبات الخلطة يزداد مع زيادة كثافة الخلطة ،والذي يتحقق من خلال التدرج المناسب للحصويات ونسبة المواد الناعمة الملائمة ضمن الخلطة مع ملاحظة أن زيادة نسبة الأسفلت تعمل على تقليل الاحتكاك بين حبات الحصويات مما يؤدي إلى نقص في ثبات الخلطة الاسفلتية .

2) قوى التلاصق (Cohesion)

وهي القوى الرابطة (Binding Force) بين الأسفلت وبين حبات الحصويات وتتناسب هذه القوى طردياً مع :

- معدل التحميل (Rate of loading)
- سطح التحميل (Loaded Area)

- لزوجة الأسفلت (Viscosity of Asphalt)

بينما تتناسب هذه القوى عكسياً مع درجة الحرارة .

تختلف قوى التلاصق بين الأسفلت والحصويات باختلاف معدل التحميل والمساحة الواقع عليها الحمل أو اللزوجة للأسفلت،وتزداد القوى المتلاصقة بزيادة نسبة الأسفلت حتى القيمة القصوى (المثلى) بعدها تبدأ القوى في النقص ان مع زيادة نسبة الأسفلت،كما تتأثر أيضاً هذه القوى باختلاف درجات الحرارة . ويمكن إجراء بعض الاختبارات الأخرى مثل اختبار الرصف الإستاتيكي أو الديناميكي (Static or Dynamic Creep Tests) للتنبؤ بالتشوهات الدائمة التي قد تحصل .

خواص ومتطلبات أخرى يجب لحظها :

المقاومة لفعل الرطوبة (Resistance to Moisture Induced Damage)

بعض الخلائط الإسفلتية عند تعرضها للرطوبة أو المياه يحدث لها فقدان في قوة الربط أوالالتصاق بين سطح الحصويات والاسفلت الرابط وتعتبر خواص الحصويات المستخدمة هي المسؤولة عن هذا الفقدان على الرغم من أن بعض أنواع الأسفلت تكون أكثر ميلاً لإحداث الضرر بسبب الرطوبة .

من مظاهر تأثير الرطوبة على الخلائط الاسفلتية حدوث التقشر (Striping) ،ولعلاج هذه المظاهر تضاف مواد مقاومة للتقشر إلى الخلائط (Anti-Striping Agents)

المقاومة للشقوق في الأجواء الباردة (Low Temperature Cracking) :

من المتطلبات الهامة للخلائط الإسفلتية في المناطق الباردة، والشقوق التي تحدث لطبقات الرصف الأسفلتي نتيجة الأجواء الباردة يتسبب فيها وبصورة أساسية خصائص الأسفلت المستخدم ، ولذلك فإن الاختيار المناسب لدرجة الأسفلت المستخدم يقلل من حدوث هذا النوع من الشقوق .

مقدمة في تصنيف الخلطات الاسفلتية

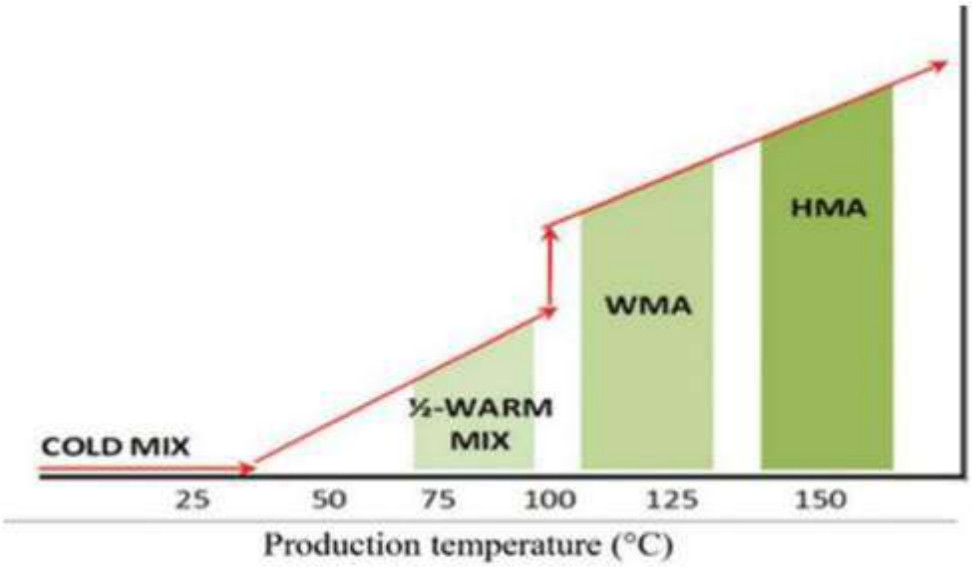
تتوفر أنواع مختلفة من الخلطات الاسفلتية تختلف إما بالمكونات الداخلة في التصميم ، أو بالتدرج الحبي ، أو بطريقة الخلط والتحضير أو بالغرض المطلوب من الخلطة ، وفيما يلي عرض لأنواع الخلطات الاسفلتية والتي تمثل معايير شائعة حول العالم :

حسب طريقة التحضير درجة حرارة الخلط	الخلائط الإسفلتية الباردة Cold Mixes Asphalt CMA الخلائط الإسفلتية الدافئة Worm Mixes Asphalt WMA الخلائط الإسفلتية الحارة Hot Mixes Asphalt HMA خلائط الماكادام
حسب الوظيفة الاستثمارية	خلطة أساس إسفلتية Asphalt Base Coarse خلطة إهتراء Wearing Coarse خلطة ختم سطحية Slurry Seal خلطة اسفلتية مسامية Porous Asphalt Mixture خلطة مقاومة للانزلاق Skid Resistance Asphalt Mixture
حسب طريقة التقوية	الخلطة المقواة بالألياف Fibre Reinforced Asphalt الخلطة المدعمة بالبوليميرات Polymers Modified Asphalt Mixture الخلطة المقواةبالجيوغريد GeoGrid Reinforced Asphalt Mixture
حسب التركيب الحصوي	الخلطة الهيكلية الملدنة Stone Mastic Asphalt SMA خلطة ذات قطر أسمي كبير Large Stone Asphalt Concrete خلطة من الإسفلت الرملي Sand Asphalt Mixture

أنواع الخلائط الإسفلتية حسب درجة حرارة التصنيع :

يعتبر تصنيف الخلائط الإسفلتية حسب درجة حرارة التصنيع هو التصنيف الأكثر شيوعاً حول العالم حيث يمكن تقسيم الخلائط الإسفلتية إلى ثلاثة أنواع هي :

1) الخلائط الإسفلتية الحارة Hot mixes asphalt (HAM)
2) الخلائط الإسفلتية الدافئة Warm mixes asphalt (WMA)
3) الخلائط الإسفلتية الباردة Cold mixes asphalt (CAM)



تصنيف الخلائط الإسفلتية حسب درجة حرارة التصنيع

الخلائط الإسفلتية الحارة hot mixes asphalt (HMA)

وتعرف أيضاً بالخرسانة الإسفلتية (Asphalt Concrete) وهي الخلطة الأكثر شيوعاً حول العالم وتنتج بتسخين الحصويات والرابط الإسفلتي المعدل أو غير المعدل حتى درجات حرارة عالية تتراوح بين 155 – 165 °C ، وعند فرش المجبول ورصه يجب ألا تقل درجة حرارة المجبول عن 120 °C في قمع الفرادة ويتطلب إنتاجه استهلاك كبير للطاقة لرفع درجة حرارة الحصويات والرابط لحين تحقيق اللزوجة اللازمة لتغليف الحصويات وانبعاث أبخرة وغازات قد تؤثر على البيئة وعلى سلامة العاملين في مجال الرصف .

تتعلق قابلية التشغيل للمجبول الحار بدرجة حرارة المزج إذ أنه كلما قلت درجة الحرارة تزداد لزوجة الرابط وتتناقص قابلية التشغيل ، أن ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى احتراق الرابط . كما تتعلق قابلية التشغيل بنسبة المواد الناعمة في الخليط الحصوي وشكل الحبات الحصوية ولا تتعلق بمحتوى الرابط الإسفلتي .

تعتبر درجة حرارة المزج من العوامل الرئيسية التي تؤثر على فعالية الرص للمجبول الحار وخصائصه الحجمية بالإضافة للخصائص الأخرى التي تتعلق بنوع الحصويات وتدرجها حيث ذكرت العديد من الأبحاث التي أجريت بهدف دراسة تأثير درجة الحرارة على عمل الرابط البيتومين بأن تفاعلات أكسدة الرابط تتزايد مع كل $10^{\circ}C$ ارتفاع في درجة حرارة التسخين مسببة في مراحل متقدمة مشاكل التطاير والتعرية والتغيرات الكيميائية والتأثر بالرطوبة والتأثر بالضوء وبالتالي شيخوخة أسرع للرابط البيتومين .

يجب تسخين الرابط البيتومين إلى درجة الحرارة الملائمة لمنع تصلب الرابط وتغليف المجموع الحصوي الساخن بشكل كامل ، حددت المواصفات العالمية درجة حرارة المزج الدنيا بدرجة الحرارة التي توافق التوزيع السريع للرابط ضمن الخليط الحصوي خلال زمن المزج الأصغري أما درجة حرارة المزج المثالية فقد اعتبرت المواصفات بأنها درجة الحرارة التي توافق لزوجة رابط حوالي 0.2 Pa.s ، ويمكن رفع درجة حرارة المزج في حال زيادة مسافة النقل للمجبول بما يؤمن درجة الحرارة المطلوبة عند فرد ورص المجبول في الموقع . عملياً يتم تحديد درجة حرارة الخلط والنقل والرص من مخطط BTDC حسب اللزوجة المطلوبة لكل مرحلة .

الخلائط الإسفلتية الدافئة warm mixes asphalt (WMA)

انطلاقا من اعتبارات بيئية واقتصادية تم البحث عن تكنولوجية جديدة لإنتاج الخلطات الإسفلتية بدرجة حرارة معتدلة كبديل عن الخلائط الاسفلتية الحارة .
يعتبر المجبول الإسفلتي الدافئ تقنية رصف جديدة تم تطويرها في أوروبا تسمح بإنتاج المجبول الإسفلتي بدرجة حرارة منخفضة أقل من الدرجة التقليدية لإنتاج المجبول الحار بحوالي $20 - 40^{\circ}C$ ، تهدف هذه التقنية لتحقيق لزوجة للرابط الإسفلتي تؤمن تغليف جيد للحصويات بدرجة حرارة منخفضة دون انخفاض في أداء المجبول عبر استخدام إضافات كيميائية سائلة أو صلبة .

الخلائط الإسفلتية الباردة cold mixes asphalt (CMA)

وهي الخلائط الحصوية مع المستحلب الإسفلتي والتي تخلط مع بعضها البعض في درجة حرارة الغرفة . تستخدم هذه الخلطات في الأماكن البعيدة عن مجابل المجبول الحار وفي ظروف درجة الحرارة المنخفضة (أقل من $40^{\circ}C$) ويمكن أن تصنع في الموقع كما يمكن استخدامها كطبقات أساس بيتومينية أو طبقات رابطة وكذلك طبقة اهتراء . ويكثر استخدام هذا النوع في أعمال الصيانة والترقيع في الوقت الراهن . كما يمكن استخدامه كطبقة رابطة أو طبقة سطحية في حالة الطرق الثانوية ، ويجب عمل طبقة دهان للسطح في هذه الحالة (حالة استخدامها كطبقة سطحية) لوجود فراغات في السطح ، نظراً لأن الإسفلت السائل هو الذي يستخدم في هذا النوع من الرصف ويكون تدرج المواد مفتوح في هذه الحالة لكي يسمح بتبخر المذيب الموجود في الاسفلت ، وطبقة الدهان تتكون من الأسفلت السائل والرمل .

يجب أن تصمم بحيث تحقق متطلبات التشغيل والمقاومة والتغليف على أن تؤخذ بعين الاعتبار مواصفات البيتومين والحصويات والتغيرات المناخية في المنطقة .

تصميم الخلطة الإسفلتية الساخنة وفق طريقة مارشال

طورت الطريقة من قبل بروس مارشال الذي كان يعمل في قسم الطرق السريعة في ميسيسبي وتم اعتمادها من قبل USACE ووكالات النقل . تم توضيح مراحل الطريقة بشكل مفصل في نشرات معهد الإسفلت ومواصفات الـ AASHTO و ASTM أما المبادئ الرئيسية لهذه الطريقة فهي :

1) يجب أن تحقق مواد الخلطة (رابط وحصويات وإضافات) المواصفات والشروط المطلوبة ضمن مجال الاستخدام .
2) تصنيع عينات مخبرية بقطر 10.16 cm وارتفاع 6.35 cm عبر رصها في قالب نظامي عبر السقوط الحر لمطرقة ذات وزن وارتفاع محدد
3) يتم تقييم الخصائص الحجمية للعينات المرصوصة وهي الفراغات الهوائية VTM والفراغات بين الحصويات VMA والفراغات المليئة بالاسفلت VFB . كما يجب تحقيق متطلبات الثبات والانسياب والتي تلعب دوراً حاسماً في تحديد أداء ومقاومة الخلطة .
4) تحدد درجة الرص (عدد الطرقات) وفق الحمل المروري المتوقع مروره على الطريق خلال العمر التصميمي له وحددت المواصفات على أنه يجب رص العينات ب 35 ضربة لكل وجه للطرق ذات الحمل المروري القليل و 55 للطرق ذات الحمل المروري المتوسط و 75 للطرق ذات الحمل المروري العالي .
5) يعتمد الحد الأدنى للفراغات بين الحصويات VMA على القطر الأعظمي للحبة على ألا تقل عن 14% وتقل هذه النسبة كلما تزايد القطر الأعظمي للحصويات . أما نسبة الفراغات المملوءة بالبيتومين VFB وقيم الثبات والانسياب فهي تعتمد على الحمل المروري التصميمي المتوقع مروره على الطريق خلال عمره ووفق هذه الطريقة يتم تصميم عينات مخبرية بمحتوى رابط متغير لتحديد النسبة المثالية للرابط والتي تحقق أفضل شروط الثبات والانسياب والخصائص الحجمية للخليط .

وفيما يلي تفاصيل إجراء الاختبار :

قبل البدء بتجربة مارشال يجب تعيين ميزات مختلف العناصر الداخلة في تركيب الخلطة الاسفلتية ، فالمواد الحصوية يجب أن تكون جافة ، وأن يكون تركيبها الحبي ضمن الحزمة النظامية ، كما أن الوزن النوعي الحجمي يجب أن يكون محدداً لكافة العناصر الحصوية بدءاً من العناصر الناعمة وانتهاءً بالعناصر الخشنة ، كما أن الوزن النوعي للإسفلت المستعمل يجب أن يكون معروفاً.

يتم تحضير عينات التجريب في قالب اسطواني الشكل قطره (4 inch) وارتفاعه (2.5 inch) وترص العينات ضمن القالب بسقوط مطرقة وزنها (10 lb) تسقط سقوطاً حراً من ارتفاع (18

inch) حيث يتم رص العينة على الوجهين ويتعلق عدد الطرقات على كل وجه بكثافة المرور على الطريق ونستعمل عادةً

(35) طرقة للطرق ذات الغزارة القليلة

(50) طرقة للطرق ذات الغزارة المتوسطة

(75) طرقة للطرق ذات كثافة المرور العالية

يتم عادةً تحضير ثلاث عينات لكل نسبة من الإسفلت المستعمل ، وعادةً تستعمل خمس نسب من الإسفلت تختلف الواحدة عن الأخرى بنسبة (0.5 – 1 %).

وفي اليوم التالي لتحضير العينات يتم حساب الكثافات ونسبة الفراغ ، وبعد ذلك تغمر العينات في حمام حراري بدرجة حرارة (60) درجة ولمدة (30) دقيقة ، ثم تنقل العينات إلى جهاز الثبات لمارشال لقياس ثبات وانسياب العينة .

إن سرعة تحميل العينة تؤثر كثيراً في النتائج وهي محددة في جهاز مارشال ب (2 in/ min) ، حيث يتم تسجيل أكبر حمولة يتم الوصول إليها خلال التجربة ، وهذه تدعى بثبات مارشال (Marshall Stability) للعينة.

ويجب ضرب ثبات مارشال للعينة بعامل يسمى عامل التصحيح ويتعلق هذا العامل بحجم العينة وتكون قيمة هذا العامل (1) عندما يكون ارتفاع العينة نظامياً (2.5 inch). في حال نقص ارتفاع العينة عن ذلك فإن عامل التصحيح يزداد عن الواحد ، وإذا ازداد ارتفاع العينة عن الارتفاع النظامي فإن عامل التصحيح ينقص عن الواحد .

إن نسبة الإسفلت الأصولية (optimum bitumen content) يمكن تعيينها من تجربة مارشال بأخذ متوسط القيم التالية:

- نسبة الإسفلت التي تعطي قيمة ثبات أعظمية.
- نسبة الإسفلت التي تعطي قيمة الكثافة الأعظمية .
- نسبة الإسفلت التي تكون عندها نسبة الفراغات الهوائية(4%) .

ومن أجل أن يكون تصميم الخلطة الإسفلتية وفق طريقة مارشال مناسباً للأعمال الطرقية فإن دليل الشروط و المواصفات الفنية لأعمال الطرق في سوريا يوصي باعتماد القيم الموضحة في الجدول

الجدول مواصفات تصميم H.M.A وفق المواصفات السورية

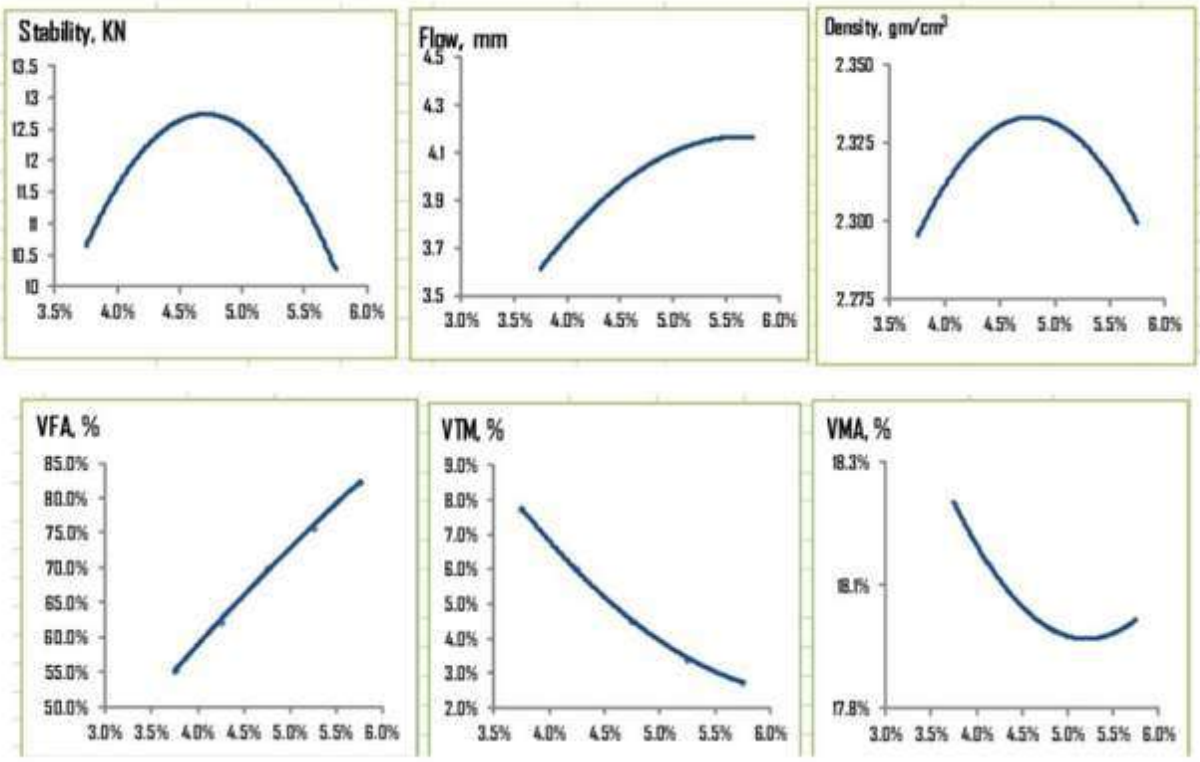
	طبقة اهتراء			طبقة أساس		
الاختبار	صنف آ	صنف ب	صنف ج	صنف آ	صنف ب	صنف ج
الثبات (kg) كحد أدنى	1100	900	700	1000	800	600
الانسياب (mm)	2-4	2-4	2-4	2-4	2-4	2-4
الفراغات الهوائية %	3-5	4-6	4-6	5-7	5-7	5-7
نسبة الاسفلت %	4-6	4-6	4-6	3-6	3-6	3-6

واعتماداً على النتائج المحسوبة والمقاسة يمكن إيجاد :

1. العلاقة بين كثافة مارشال ونسبة الإسفلت.
2. العلاقة بين الثبات (S) ونسبة الإسفلت.
3. العلاقة بين الانسياب (F) ونسبة الإسفلت.
4. العلاقة بين نسبة الفراغات المليئة بالإسفلت (VFB) ونسبة الإسفلت.
5. العلاقة بين نسبة الفراغات الهوائية (VA) ونسبة الإسفلت.
6. تحديد نسبة الإسفلت الأصولية للخلطة الإسفلتية وفق تجربة مارشال بأخذ المتوسط للقيم التالية:

- نسبة الإسفلت التي تعطي قيمة ثبات أعظمية
- نسبة الإسفلت التي تعطي الكثافة الحجمية الأعظمية
- نسبة الإسفلت التي تعطي فراغات هوائية (3-5)%
- نسبة الإسفلت التي تعطي انسياب مقداره (2-4) مم
- نسبة الإسفلت التي تعطي فراغات مليئة بالإسفلت (70-80)%

فيما يلي نموذج عن مخططات مارشال (المحور الأفقي يمثل نسبة الاسفلت % ، المحور الشاقولي متغير)



Stabilty الثبات (يتم قياسه وفق اختبار مارشال ، واحدته KN أو Kg)

Flow الانسياب (mm)

Density كثافة عينات مارشال (gr/cm^3)

VFA : الفراغات الملينة بالبيتومين (%)

VTM أو VA : الفراغات الهوائية (%)

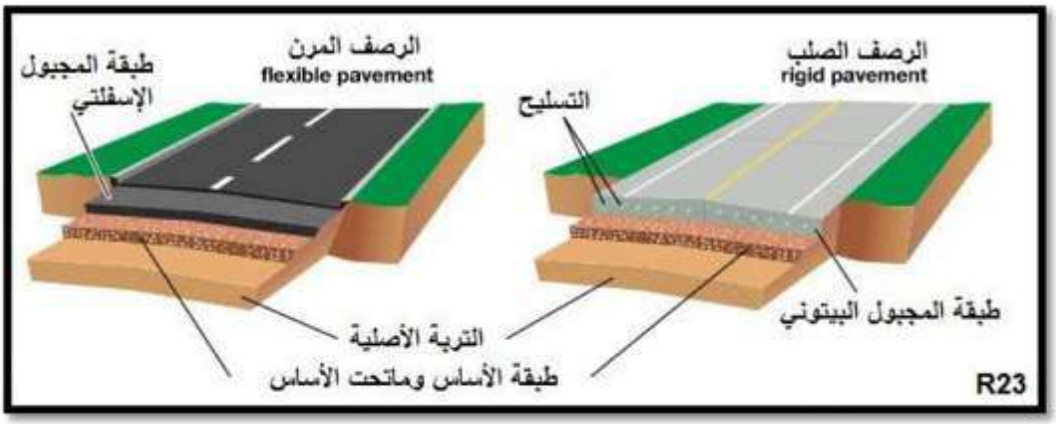
VMA : الفراغات الحصوية (%)

تصميم سماكات طبقات الرصف المرن

إن تصميم طبقات الرصف يتكون من جزئين :

الجزء الأول : هو تصميم المواد التي ستستعمل في كل طبقة من طبقات الرصف

الجزء الثاني : هو تصميم السماكة الكلية لجسم الطريق ، أو تصميم كل طبقة على حدى تبعاً للمواد المستعملة في كل منها



الغاية الاساسية من طبقات الرصف :

- توزيع الحمولات التي يتعرض لها الطريق
- تخفيف شدة الإجهادات تبعاً للعمق
- تأمين انسيابية جيدة للحركة
- تأمين الراحة والأمان لمستخدمي الطريق
- تأمين سرعة في التنقل و زمن أقل للتنقل

عوامل تصميم سماكات طبقات الرصف

- الحمولة التصميمية والحركة
- تربة المسار والمواد المكونة لطبقات الرصف
- الشروط المناخية والبيئية

الحمولة التصميمية والحركة

يجب معرفة عدد وحمولة العربات التي تستخدم الطريق ، ومراعاة الزيادة في أعداد المرور مع المحافظة على شروط الأمان طيلة فترة وضع الطريق في الخدمة ،،

من الضروري معرفة تطور حركة المرور على الطريق وترتيبات وتباعدات حمولات دواليب العربات .... ومن الضروري الاستعاضة عن حمولة العربات وأنواعها بنظام بسيط يمكن استخدامه بشكل سهل عند التصميم

تشكل العربات السياحية النسبة الأكبر من العربات التي تسير على الطرق إلا أن حمولاتها صغيرة جداً مقارنة بحمولات العربات الشاحنة ،

الحمولات التي تطبقها العربات الشاحنة الثقيلة خلال سيرها على الطرق هي العامل الأساسي في تصميم طبقات الرصف ،

هذه الشاحنات قد تكون منفردة أو قاطرة ومقطورة ، كما قد يكون محور العربة منفرداً أو مزدوجاً

يختلف تباعد محاور الشاحنات و حمولاتها المسموحة من بلد إلى أخر ..

في سوريا حمولة المحور المنفرد ذي الإطار المزدوج من كل طرف يساوي **13 ton**

و هذه الحمولة مطبقة في فرنسا

في الولايات المتحدة الأمريكية تكون قيمة حمولة المحور المنفرد **8.2 ton**

في بلجيكا تكون قيمة حمولة المحور المنفرد **10 ton**

من أجل تحديد الحمولة التصميمة .. نعتمد على الاعتبارات التالية :

- ❑ ضغط التماس
- ❑ تأثير تكرار تطبيق الحمولات
- ❑ حمولة الإطار المعادل
- ❑ نمو الحركة
- ❑ تكافؤ حمولات المحاور

ضغط التماس

تعطى أبعاد سطح التماس من قبل صانع الإطارات ، ويمكن حسابها بشكل تقريبي بتقسيم الحمولة الإجمالية للإطار على قيمة ضغط النفخ :

$$A = \frac{W}{P}$$ مساحة سطح التماس

حيث : W الحمولة الكلية على الإطار P ضغط النفخ

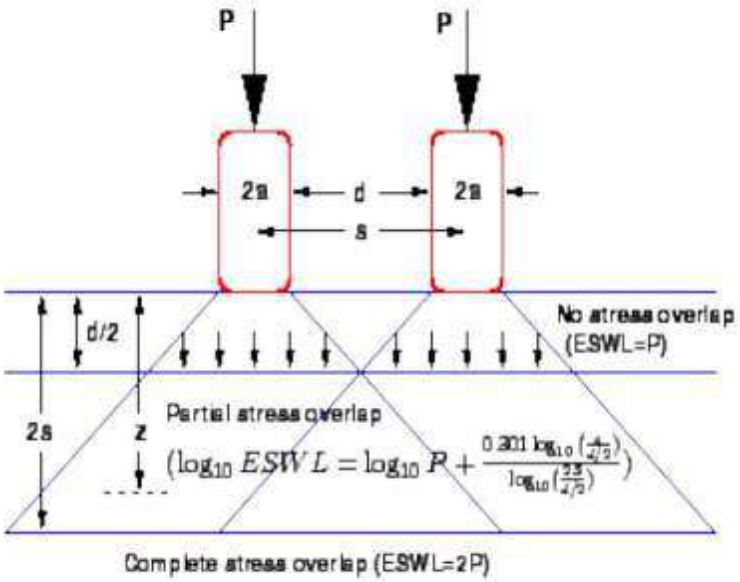
تفترض معظم طرق الحساب لسطح التماس أن الحمولة تتوزع على سطح تماس دائري مع العلم أن سطح التماس الفعلي هو بشكل قطع ناقص ،

كما تعتبر طرق الحساب أن توزع الإجهادات على سطح التماس هو توزع منتظم علماً بأن توزع الاجهادات الفعلي يأخذ أشكالاً تختلف مع الحمولة المطبقة وضغط النفخ ونقوش الإطار المطاطي .

حمولة الإطار المعادل ESWL

حتى لا تتعدى الحمولة الواقعة على الإطار الواحد الحمولة المسموح بها ولزيادة حمولة العربة فإنه يتم صناعة شاحنات بعدد من المحاور ذات تباعدات مختلفة بإطارات مزدوجة

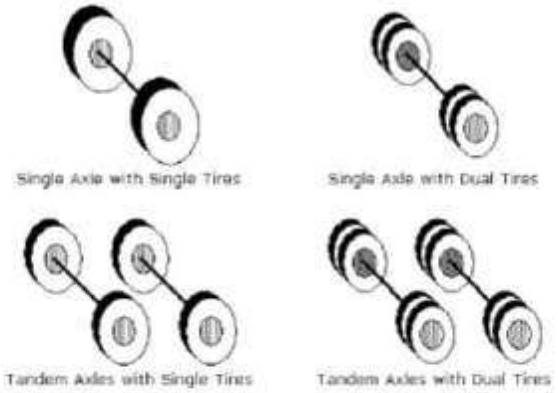
وعند تصميم طبقات الرصف نتاج إلى إيجاد طريقة ما يمكن بها رد حمولات الإطارات إلى حمولة إطار منفرد معادل ESWL



إن الأسس التي يعتمد عليها في تحديد ESWL للرصف المرن هي المساواة بين الإجهادات أو التشوهات التي تسببها مجموعة من الاطارات مع الإجهاد أو التشوه الذي تسببه حمولة الاطار المعادل ، والطريقة الأكثر سهولة وانتشارا لحساب ESWL للرصف المرن هي طريقة تساوي الاجهادات لإطارين متجاورين في البعد بين مركزيهما S وبين وجهيهما الداخلين d كما أن انتشار الاجهادات مع العمق هو انتشار خطي ويصنع زاوية 45 مع الأفق او الشاقول

العمق الذي يكون فيه تأثير كل إطار مستقل عن غيره وكأنه إطار منعزل له حمولته الخاصة يساوي d/2 ولا يكون هناك تداخل في الإجهادات

العمق الذي تتداخل فيه تأثيرات الاطارين المتجاورين ، وبصورة يكون فيها حاصل الاجهاد على تربة المسار يساوياً للاجهاد الذي يحدثه اطار منعزل حمولته تعادل حمولة الاطارين المتجاورين هو 2S



تربة المسار والمواد المكونة لطبقات الرصف

إن تربة مسار الطريق والمواد المكونة لطبقات الرصف تخضع ضمن حدود معينة من الإجهادات إلى قوانين نظرية المرونة أو إلى قوانين نظرية المرونة – اللزوجة

إن الترب السيلتية والغضارية نتيجة احتوائها على الماء فإنها تظهر بعض السلوكية اللزجة حين تغير نسبة الرطوبة فيها ، كما أن المجبول الاسفلتي وجميع المواد المعالجة بالروابط الإسفلتية تظهر سلوكية لزجة تتعلق بنوع الرابط وبدرجة الحرارة

التغيرات المناخية والبيئية

إن أحد أهم العوامل التي تؤثر في فاعلية طبقات الرصف هو التغيرات المناخية والبيئية في منطقة المشروع .

إن المؤثرات المناخية الاكثر أهمية التي تؤدي إلى تغيرات في سلوكية تربة مسار الطريق وطبقات رصفه وتشمل هذه المؤثرات :

- ✓ **تغيرات كمية الرطوبة**
- ✓ **فعل الجليد**
- ✓ **تغيرات درجات الحرارة**

طرق تصميم طبقات الرصف المرن

أجريت بعض المحاولات المحدودة لدراسة مسائل تصميم الرصف قبل عام 1940 بسنوات عديدة إلا أن البحوث الجادة والهادفة لدراسة تصميم سماكات طبقات الرصف لم تبدأ إلا مع بداية الحرب العالمية الثانية بسبب الحاجة الملحة لإنشاء مشروعات عديدة من الطرق والمطارات للأغراض الحربية في أسرع وقت وبأقل كلفة ممكنة ... مما أدى إلى إيجاد عدد كبير من طرق التصميم التي تعتمد على المبادئ الأساسية لعلوم هندسة التربة

يتوفر ما لا يقل عن 25 طريقة من طرق التصميم الخاصة بسمكات طبقات الرصف يجري استعمالها في جميع أنحاء العالم

يمكن تقسيم هذه الطرق إلى خمسة مجموعات رئيسية :

المجموعة الأولى	تشمل طرق التصميم التي تعتمد على الخبرة المحلية المكتسبة
المجموعة الثانية	تشمل الطرق التجريبية التي تعتمد على زاوية توزيع الحمل أشهرها معادلة ماساشوست 1901 ومعادلة هارزل 1937
المجموعة الثالثة	تشمل الطرق التجريبية التي تعتمد على اختبارات تصنيف التربة أشهرها : طريقة معامل المجموعات GI طريقة منظمة الطيران الامريكية FAA
المجموعة الرابعة	تشمل الطرق التجريبية التي تعتمد على اختبارات مقاومة تحمل التربة أشهرها طريقة نسبة كاليفورنيا للتحمل C.B.R
المجموعة الخامسة	تشمل الطرق النظرية ونصف النظرية يتم في هذه الطرق تحديد خصائص العلاقة بين الإجهادات والانفعالات أو التغيرات المرنة لتربة الأساس من نتائج اختبارات القص أو الضغط المحوري ويعتمد التصميم في هذه الطرق على التحليل النظري باستخدام إحدى نظريات توزيع الإجهادات

- طرق تصميم سماكات طبقات الرصف المرن
  - C.B.R
  - ثلاثي المحاور
  - معهد الاسفلت
  - الآشتو
  - منظومة الطبقة والطبقتين
- طرق تصميم سماكات طبقات الرصف الصلب
  - وسترغارد
  - الآشتو

طريقة نسبة التحمل الكاليفورنيا C.B.R

تتضمن استخدام المنحنيات أو المعادلات

العلاقة المستخدمة لحساب سماكة طبقات الرصف

$$t_0 = \sqrt{W * \left[\frac{1.75}{C.B.R} - \frac{1}{\pi . p}\right]}$$

حيث : t_0 سماكة الرصف الكلية cm

W الحمولة على الإطار Kg

P : ضغط النفخ kg/Cm^2

شرط استخدام العلاقة : C.B.R<12 % و 5.10^3 >عدد الحمولات

إن لم يتحقق شرط عدد الحمولات يتم التعديل باستخدام العلاقة التالية وحسب عدد مرات المرور N

$$t=t_0 [0.177 +0.223 *Log N]$$

مثال عملي :

المعطيات : CBR=3 % تربة المسار

حمولة الإطار 6 ton

ضغط النفخ للاطار $0.70\ Mpa = 7\ kg/cm^2$

عدد مرات المرور 7.00.000

مطلوب :

أولاً : حساب السماكة الكلية لطبقات الرصف

ثانياً : توزيع السماكة الكلية باعتبار استخدام :

مواد طبقة ماتحت أساس CBR=10.5 %

مواد طبقة أساس CBR=33 %

الحل : بتطبيق العلاقة وباعتماد CBR =3 % يتم إيجاد السماكة الكلية وتعديلها بحسب عدد المرور بحيث تكون السماكة الكلية (85 cm)

بتطبيق العلاقة وباعتماد CBR =10.5 % يتم إيجاد السماكة فوق طبقة ماتحت الأساس وتعديلها بحسب عدد المرور بحيث تكون السماكة فوق طبقة ماتحت الاساس الحصوي (40 cm)

بتطبيق العلاقة وباعتماد CBR =33 % يتم إيجاد السماكة فوق طبقة الأساس وتعديلها بحسب عدد المرور بحيث تكون السماكة فوق طبقة الاساس الحصوي (10 cm)

يتم حساب السماكات النهائية على النحو التالي :

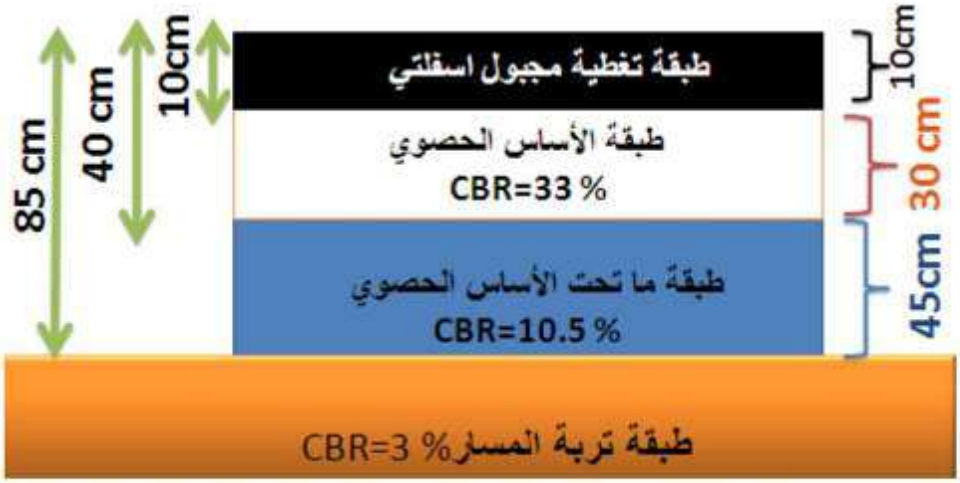
السماكة الكلية 85 cm

سماكة طبقة ما تحت الأساس = 85 – 40 = 45 cm

سماكة طبقة الأساس = 40 – 10 = 30 cm

سماكة طبقة تغطية مجبول اسفلتي = 10 cm

يكون المقطع النهائي لتوزيع السماكات



طريقة الآشتو لتصميم سماكات طبقات الرصف المرن AASHTO 93

اعتمدت طريقة الآشتو على مفهوم الأداء في الخدمة أكثر من اعتمادها على تحليل الإجهادات ، كما اعتمدت على قيمة الإجهادات التي تسبب تشققات طبقات الرصف ...

مفهوم الأداء حسب الآشتو : هو قابلية طبقات الرصف للخدمة خلال الانتهاء من الانشاء مباشرة ،، ومن أجل اعطاء هذا المفهوم قياساً كمياً فقد اقترحت AASHTO آشتو مقياساً يسمى ب **دليل الخدمة** Pt

اعتمدت آشتو في قياس قدرة طبقات الرصف على تقديم الراحة والأمان لمستعملي الطريق بأخذ مقياس اتفاقي يتراوح بين (5-0) حيث :

تمثل القيمة **5** الحالة الممتازة جداً لطبقات الرصف وخلوها تماماً من أي تشقق أو تشوه

أما القيمة **0** تمثل الحالة السيئة جداً لطبقات الرصف بحيث لا يمكن معها استخدام الطريق مطلقاً

أطلق على هذا المقياس اسم **دليل الخدمة Pt**

مفاهيم :

- عوامل طبقات الرصف Layer Coefficients (a_1 , a_2 , a_3,...):

وهي العلاقة التجريبية بين الرقم الإنشائي SN وسماكة الطبقة، التي تحقق المقدرة النسبية للمادة كي تعمل كجزء إنشائي من الغطاء.

- عوامل التصريف Drainage Coefficients:

وهي العوامل المستخدمة لتعديل عوامل الطبقات في الأغطية المرنة، بحيث تعكس درجة جودة طبقات الرصف لتصريف المياه المتسربة إليها.

- الحمولات المحورية الإفرادية المكافئة Equivalent Single Axle Loads (ESAL`S):

مجموع الحمولات المحورية الإفرادية المكافئة لـــ 18000 ليبرة، والناجمة عن تحويل المرور المركب إلى مرور تصميمي خلال الفترة التصميمية.

- الحمولات المحورية الإفرادية Single Axle Loads:

مجموع الحمولات المنقولة من كافة الدواليب المركبة على المحور الإفرادي والممتد على كامل عرض المركبة.

- الحمولات المحورية المزدوجة Tandem Axle Loads:

مجموع الحمولات المنقولة إلى الطريق من محورين متتاليين ممتدين على كامل عرض المركبة، علماً أن المسافة المستخدمة بين المحورين المزدوجين في تجارب الآشو على الطرق تساوي 120 سم.

- الحمولات المحورية الثلاثية Triple (Tridem) Axle Loads:

مجموع الحمولات المنقولة على كافة الدواليب الواقعة على ثلاثة محاور متتالية والممتدة على كامل عرض المركبة، علماً أنه لم يكن هناك محاور ثلاثية في تجارب الآشو على الطرق، وبالتالي يمكن استنتاج المسافة بين المحاور الثلاثة المتعاقبة اعتماداً على المسافة بين المحورين المزدوجين والتي تساوي 120 سم.

- عامل تكافؤ حمولات المرور e: Traffic Equivalences Factor:

عامل عددي يعبر عن العلاقة لتحويل حمولة محورية معينة إلى حمولة محورية أخرى في إطار تأثيرها على قابلية خدمة طبقات الرصف الإنشائية. وفي هذا الدليل يتم التحويل كافة الحمولات المحورية الفعلية إلى عدد مكافئ من الحمولات المحورية الإفرادية المكافئة لـــ 18000 ليبرة (8.15 طن).

- قرينة قابلية الخدمة الحالية Present Serviceability Index (PSI):

وهو الرقم المستنتج من المعادلة اللازمة لحساب معدل قابلية الخدمة بناءً على قياسات بعض الخواص الفيزيائية للغطاء الطرقي.

- عامل المرونة الارتجاعي Resilient Modulus (M_R):

وهو عبارة عن قياس لعامل مرونة تربة الطابق الترابي ومواد الرصف الإنشائية الأخرى.

- الرقم الإنشائي Structural Number (SN):

وهو عبارة عن قرينة رقمية مشتقة من تحليل حركة المرور وخواص الطابق الترابي والظروف البيئية، والتي يمكن تحويلها إلى سماكة تصميمية لطبقات الرصف، من خلال استخدام عوامل طبقات مناسبة مرتبطة بنوع المادة المستخدمة في إنشاء كل طبقة من طبقات الرصف.

يعتمد التصميم وفق طريقة الأشتو على تحديد الرقم الإنشائي SN ، وذلك للحصول على المقاومة الكافية للحمولات المحورية المرورية المطبقة

طريقة تحديد الرقم الإنشائي Structural Number SN

باستخدام المخطط المرفق ومن أجل تحديد الرقم الإنشائي المطلوب ليتوافق مع الشروط التالية :

1- المرور المستقبلي المتوقع لعدد مرات المحور (W18) خلال فترة الخدمة
2- الموثوقية R
3- الانحراف المعياري S0
4- عامل المرونة الارتجاعي (الرجوعي) للطابق الترابي MR
5- فاقد قابلية الخدمة التصميمي PSI (PSI=P0-Pt)

بعد تحديد الرقم الإنشائي SN لطبقات الرصف ، يتم تحديد سماكات طبقات الرصف المختلفة والتي عند وضعها فوق بعضها البعض سوف تستطيع تحمل الحمولات الموافقة للرقم التصميمي SN و تحقق المعادلة التالية

$$SN=a1*D1 + a2*m2*D2 +a3*m3*D3$$

حيث :

a1,a2,a3 عوامل الطبقات (a1 لطبقة المجبول الاسفلتي ، a2 لطبقة الاساس الحصوي ، a3 لطبقة ماتحت الاساس)

m2,m3 عوامل تصريف طبقة الاساس وماتحت الاساس

D1 سماكة طبقة المجبول الاسفلتي (بالانش)

D2 سماكة طبقة الاساس الحصوي (بالانش)

D3 سماكة طبقة ماتحت الاساس (بالانش)

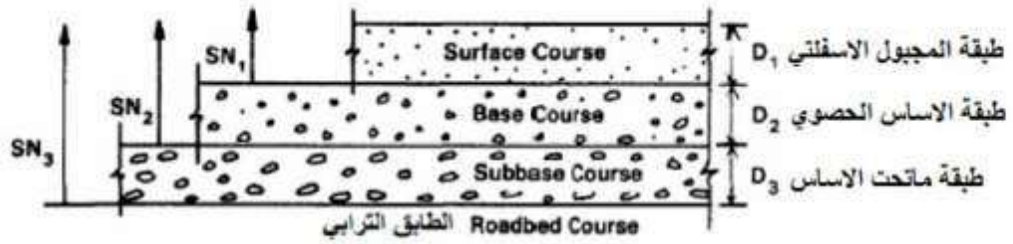
يجب تقريب سماكات طبقات الرصف إلى أقرب 0.25 انش أو 1 سم نحو **الأعلى**

ومن غير العملي والاقتصادي تبني سماكات لطبقة المجبول الاسفلتي والاساس وما تحت الاساس دون الحد الأدنى وفق الجدول

السماكات الاصغرية المطلوبة لطبقات الرصف (cm)

الحمولات المحوريةESAL s	طبقة المجبول الإسفلتي	طبقتي الأساس وماتحت الأساس الحصوية
<150.000	2 in = 5.0 cm	6 in = 15.0 cm
150.001-500.000	7.0	15.0
500.001-2.000.000	8.0	15.0
2.000.001-7.000.000	9.0	15.0
7.000.000 <	10.0	15.0

مكونات الرصف		العـــوامـــل
الطبقة السطحية		
بيتون إسفلتي (ثبات ضعيف)	a1	0,2
بيتون إسفلتي (ثبات قوي		0.44
رمل إسفلتي		0.4
طبقة الأساس		
مواد حصوية رملية	a_2	0,07
مواد حصوية مكسرة		0,14
مواد حصوية معالجة بالإسمنت مقاومة الضغط بعد(7)أيام:		
$\geq 45,5Kg/cm^2$		0,23
$28-45,5Kg/cm^2$		0,2
$<28Kg/cm^2$		0,15
مواد معالجة بالإسفلت		
حصوية متدرجة		0,34
رمل إسفلتي		0,3
مواد معالجة بالكلس		0,3-0,15
طبقة ما تحت الأساس		
مواد حصوية رملية	a3	0,11
مواد رملية أو غضارية رملية		0,1-0,05



$$D^*_1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN^*_1 = a_1 D^*_1 \geq SN_1$$

$$D^*_2 \geq \frac{SN_2 - SN^*_1}{a_2 m_2}$$

$$SN^*_1 + SN^*_2 \geq SN_2$$

$$D^*_3 \geq \frac{SN_3 - (SN^*_1 + SN^*_2)}{a_3 m_3}$$

1) **a, D, m and SN are as defined in the text and are minimum required values**

تم تعريف العناصر **a, D, m, SN** في الكود وهي تمثل الحد الادنى من القيم المطلوبة

2) **An asterisk with D or SN indicates that it represents the value actually used, which must be equal to or greater than the required value**

يدل استخدام النجمة مع **D** او **SN** انها تمثل القيمة المستخدمة فعلا والتي يجب أن تكون مساوية او اكبر من القيمة المطلوبة

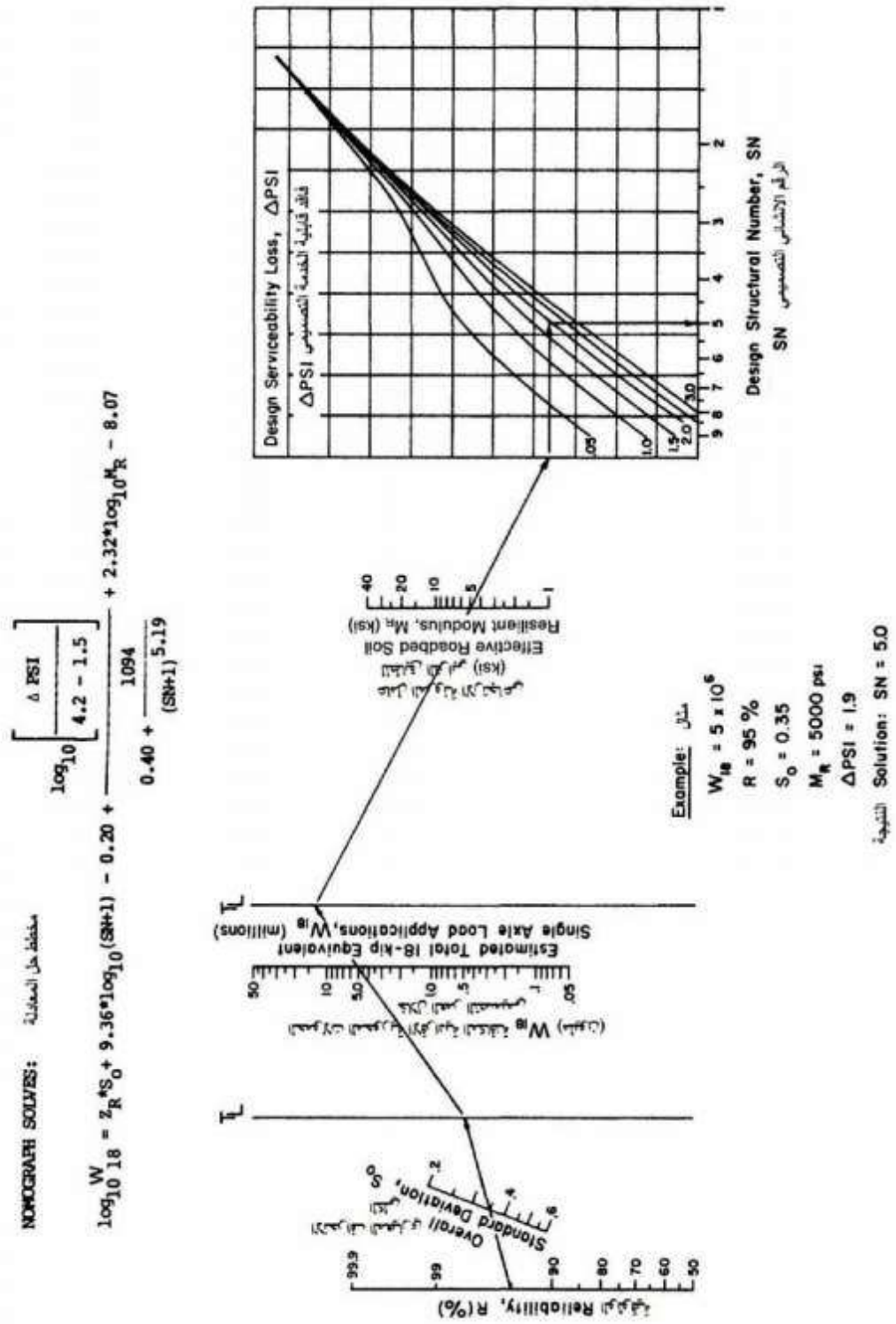
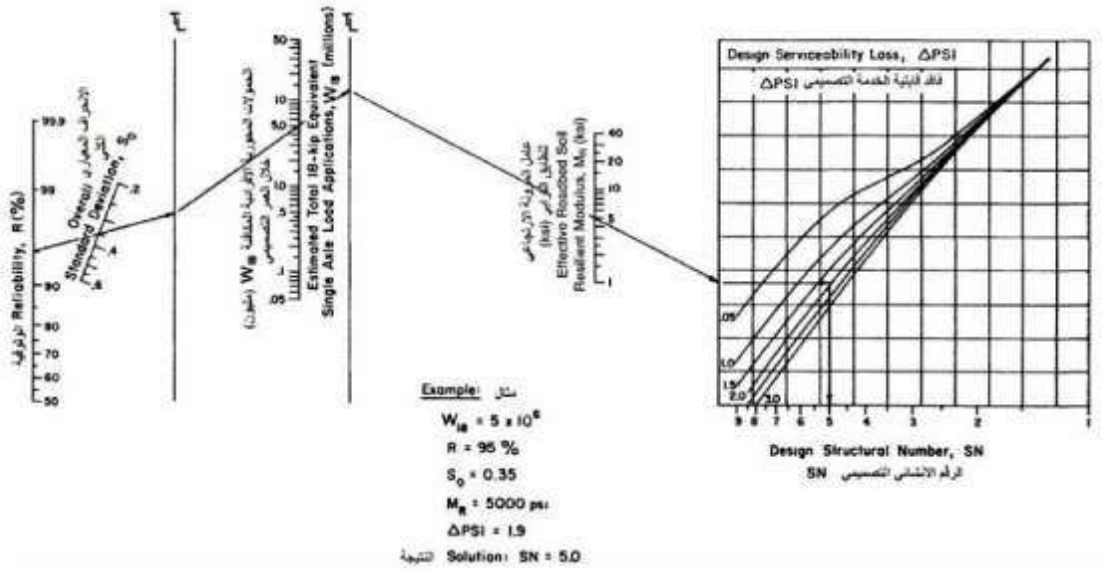


Figure 3 - 1 Design Chart for Flexible Pavements Based on Using Mean Values for Each Input

شكل 3 - 1 المخطط التصميمي للأغطية المرنة بناء على استخدام القيم الوسطية لكل ادخال



مثال :

بفرض المعطيات التالية لطريق

العدد الكلي للمحور المكافئ ESAL $W_{18} = 5 * 10^6$

عامل مرونة التربة الارتجاعي MR= 5000 Psi

واحدة psi هي باوند لكل انش مربع lbf/in^2 وتساوي 6.895 Kpa

1 Ksi = 1000 Psi

دليل الخدمة الابتدائية PSI=4.4

دليل الخدمة النهائية Pt =PSI=2.5

الموثوقية R=95 %

الانحراف المعياري S0 = 0.35

<u>من أجل مواد الطبقات فالمعطيات هي</u>

ثبات مارشال للطبقة السطحية S=1200 kg

مواد طبقة الأساس (تصريف جيد (m2 = 1 MR=50000 psi

مواد طبقة ماتحت الأساس (تصريف ضعيف (m3 = 0.8 MR=14500 psi

بفرض قيم عوامل مواد الطبقات

a1 = 0.42 , a2=0.14 , a3=0.11

الحل :

الخطوة الأولى هي تحديد فاقد دليل الخدمة

$$\Delta PSI = 4.5 - 2.5 = 2$$

الرقم الانشائي استناداً لمعيطات الطبقات وبحسب معامل المرونة الارتجاعي الخاص بكل طبقة

معامل مرونة التربة الارتجاعي يعطي SN=SN3 = 5

معامل مرونة ماتحت الاساس الارتجاعي يعطي SN2 = 4.5

معامل مرونة الاساس الارتجاعي يعطي SN1 = 2.65

نطبق العلاقات لحساب السماكات والتحقق من السماكات الدنيا :

سماكة الطبقة السطحية من المجبول الاسفلتي (D1)

$$D_1^* = \frac{SN_1}{a_1} = \frac{2.65}{0.42} = 6.31\ in = 17\ cm$$

نتحقق : كان يجب أن يأخذ القيمة 6.69=17/2.54 إنش

$$SN_1^* = a_1 D_1^* = 0.42 * 6.31 = 2.651 \geq SN_1 = 2.65$$

سماكة طبقة الاساس الحصوي (D2)

كان يجب أن يدخل *SN1

$$D_2^* = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 * m_2} = \frac{4.5 - 2.65}{0.14 * 1} = 13.21\ in = 34\ cm$$

نتحقق :

$$SN_1^* + SN_2^* = a_1 D_1^* + a_2 m_2 D_2^* = 0.42 * 6.31 + 0.14 * 1 * 13.39 = 4.53 \geq SN_2 = 4.5$$

سماكة طبقة ماتحت الاساس الحصوي (D3)

$$D_3^* = \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 * m_3} = \frac{5 - 4.53}{0.11 * 1} = 4.27\ in = 6\ in = 15\ cm$$

تجب إعادة حساب القيم

عيوب و صيانة طبقات الرصف المرن

العوامل المؤثرة على تدهور أداء الرصف

تعود أسباب عجز مستوى الأداء لطبقات الرصف إلى عوامل عديدة منها ما هو كمي كحركة المرور، ومنها ما هو نوعي كنوعية المواد التي نستعملها في إنشاء طبقات الرصف ، ومنها ما هو عشوائي ينتج عن التغيرات المناخية ، وتعد هذه العوامل في الحقيقة فاعلة ومنفعلة ، فعند ظهور بعض التشوهات أو التشققات الناتجة عن فعل هذه العوامل، فإن هذه التشققات تصبح سبباً في ظهور تشققات أخرى ، وظهور أحد التشققات لا يعود إلى عامل واحد فقط، إنما قد يكون نتيجة عدة عوامل مجتمعة ، وتحديد نسبة التأثير لكل منها هي عملية تقريبية والأهم هو العامل الأساسي في حدوث تشوه معين .

ومن هذه العوامل نذكر:

- حركة المرور
- التغيرات البيئية
- تصميم طبقات الرصف
- مواد الرصف والإنشاء

1- حركة المرور

أوضحت AASHTO تبعاً للتجارب أن تطور التشوهات والتشققات في طبقات الرصف مرتبط بحمولة محور العربة ومدة تطبيق وعدد مرات مرور هذه الحمولة.

2- التغيرات البيئية

وهي العامل الأكثر تأثيراً على جسم الطريق والذي يؤدي إلى ظهور نسبة من الماء في طبقات الرصف أكثر من الحد الطبيعي ، وكذلك الاختلاف الحراري الذي يؤدي إلى تجمد أو ذوبان الماء الموجود في جسم الطريق .

إضافة إلى ذلك فإن التغيرات المناخية قد تؤدي إلى ظهور بعض الأفعال الكيميائية التي تطور التشوهات كتأكسد الرابط البيتومينى في الخلطة التي يضعف ثباتها ، وتعري الحصويات عن الرابط بسبب تغلغل الماء بين الحصويات والروابط ، كما تؤدي التغيرات الحرارية إلى نشوء إجهادات حرارية تسبب تفتت مواد الرصف المرن والتواء في بلاطات الرصف الصلب

3- تصميم طبقات الرصف

كان تصميم طبقات الرصف لسنوات كثيرة يتدخل بشكل غير محسوس في أسباب ظهور التشوهات ، لكن في الوقت الحاضر ونظرا لزيادة نسبة الشاحنات في حركة المرور وتطور طرق تصميم سماكات الرصف أصبح هذا العامل الأداة الأكثر تفسيراً لظهور كثير من التشوهات والتشققات، وذلك من خلال مقارنة الإجهادات والانفعالات المطبقة مع الإجهادات المسموحة .

4- مواد الرصف والإنشاء

وهما العاملان الأكثر أهمية في نشوء التشوهات والتشققات وانحطاط مستوى الخدمة لطبقات الرصف، وقد وجد أن ثلثي التشوهات والتشققات في الرصف يعود سببها إلى سوء الإنشاء والتنفيذ .

أسباب العجز في الرصف المرن

يعرف العجز في الرصف المرن بأنه الهبوط أو الانهيار الموضعي الذي يحصل في منشأة الطريق ، ونتيجة للسلوك الإنشائي للرصف المرن، فإن أي خلل أو عجز في طبقات الرصف سينعكس على شكل تموج أو أخاديد أو تشوهات على سطح الطريق . ويمكن بشكل عام أن نميز بين نوعين من العجز أو الانهيار:

☒ **الانهيار الإنشائي** (Structural Failure) :

ويعني الانهيار الإنشائي لكامل جسم الطريق أو انهيار طبقة أو أكثر من طبقات الرصف ، بحيث يصبح الرصف غير قادر على الصمود أمام الحمولات المطبقة على سطح الطريق

☒ **الانهيار الوظيفي** (Functional Failure) :

ويعني أن جسم الطريق أو إحدى طبقاته لم يعد يقوم بمهمته من دون أن يسبب إزعاجاً لمستخدمي الطريق ، أو من دون أن يسبب صعوبات كبيرة في حركة العربات التي تمر عليه (سطح الطريق يصبح وعراً) .

إن العجز والتشوهات التي تظهر على سطح الطريق قد لا يكون سببها ضعف الطبقة السطحية وحدها ، بل قد يكون سببها ضعفاً أو عجزاً في الطبقات الأخرى ويمكننا أن نميز بين:

- العجز في التربة الحاملة
- العجز في طبقة الأساس أو ما تحت الأساس
- العجز في الطبقة السطحية

1- العجز في التربة الحاملة (تربة المسار):

يؤدي إلى تموج وتجعد سطح الطريق ، ويمكن إرجاعه بصورة عامة إلى سببين رئيسين:

- ☒ الضعف في الخواص الجيوتكنيكية للتربة الحاملة : مما يعني انخفاضاً في خواصها الفيزيائية والميكانيكية .
- ☒ تعرض التربة الحاملة لإجهادات كبيرة : نتيجة لضعف سماكات طبقات الرصف فوقها أو تعرض سطح الطريق لحمولات أكبر من تلك الحمولات المعتبرة في التصميم .

2- العجز في طبقة الأساس أو ما تحت الأساس:

ويمكن أن يكون مصدره أحد أو بعض الأسباب الآتية:

1. التدرج الحبي غير الصحيح للمواد.
2. ضعف التشابك الزاوي بين الحبات .
3. السماكة غير الكافية للطبقة السطحية (أو غيابها) .
4. استعمال مواد ذات مواصفات فنية ضعيفة : وتنتج عنها أغلب التشوهات والانهيارات وبشكل خاص الانهيار الإنشائي
5. الرص غير الكافي لطبقات الرصف الذي يؤدي إلى عدم تجانس في الثبات وفي القدرة الحاملة، وهذا يؤدي إلى هبوطات وتشوهات تظهر على شكل تموج في الطبقة السطحية.

3- العجز في الطبقة السطحية:

يكون مصدر العجز في هذه الطبقة أحد أو بعض الأسباب الآتية:

1. التصميم غير الصحيح للخلطة البيتومينية.
2. استخدام رابط غير مناسب .
3. استخدام نسبة غير صحيحة من المواد الناعمة .
4. سوء التنفيذ والمراقبة غير الكافية .
5. تأكسد وتطاير الرابط .

أشكال العجز في الرصف المرن Distresses in Flexible Pavement

من أهم أشكال العجز في الرصف المرن نذكر:

1- الشقوق التمساحية Alligator Cracking

ترتبط الشقوق التمساحية بالحمولات وعادة ما تكون محصورة في المناطق ذات الحمولات المرورية المتكررة ، وينتج هذا التشوه بسبب تعب الطبقة السطحية نتيجة تكرار الحمولة عليها، وأيضاً بسبب ضعف في بعض الأماكن وحركة بعض الأجزاء من الطبقات السفلية للرصف ، بالإضافة إلى تعرض السطح للمياه بصورة شبه مستمرة وبشكل نترافق مع تصريف سيئ لها أو بسبب قساوة الطبقة الإسفلتية نتيجة القدم والاستهلاك. معظم التشققات المرتبطة بالحمولات من هذا النوع تبدأ كشقوق طولية مفردة غير مستمرة في مسار العجلة، ثم تتطور بمرور الزمن والحمولات إلى نمط أكثر تشعبا تأخذ بعدها بالتشابك وأخيرا تتداخل الشقوق بشكل كبير لتشكل قطعاً متعددة معطية شكل جلد التمساح.

نموذج عن شكل الشقوق التمساحية

2- الشقوق الطولية Longitudinal Cracking

توازي الشقوق الطولية الخط المحوري للطريق ، وتظهر عندما يكون الرصف مهترئاً بسبب حركة المرور الثقيلة (خاصة عجلات الشاحنات الثقيلة) ، أو بسبب طبقة أساس غير مناسبة أو بسبب الإنشاء السيء ، كما تظهر هذه التشققات نتيجة الحركة الأفقية لمواد الرصف التي يكون الاحتكاك الداخلي فيها ضعيفاً أو نتيجة التغيرات الحجمية التي تحدث في طبقة الأساس وما تحت الأساس ، وتكون الشقوق الطولية المرتبطة ببداية تشكل الشقوق التمساحية غير مستمرة عادة ومتواجدة في مسار العجلة.

نموذج عن شكل الشقوق الطولية

3-الشقوق العرضية Transverse Cracking

عندما يبرد الرصف بسرعة فإنه يحاول أن يتقلص ، وتؤدي الإجهادات الداخلية الناتجة عن هذه العملية إلى حدوث سلسلة من التشققات تتوضع بشكل يعامد الخط المحوري للطريق ، وقد تنتج هذه الشقوق بسبب تشققات في طبقات الرصف السفلية كما في بلاطات الرصف الصلب ، وقد تكون قصيرة متقطعة أو مستمرة على كامل عرض الطريق.

نموذج عن شكل الشقوق العرضية

4- التخدد Rutting

التخدد هو انضغاط في السطح يحدث عند مسار العجلة نتيجة التشوه المستمر لطبقة ما تحت الأساس في الرصف ، وعادة ما يحدث الانضغاط من طرف مسار العجلة ثم يتدرج ليأخذ قيمته الأعظمية عند مركز مسار العجلة ، وعندما تتخدد طبقات الرصف العليا بشكل كبير عندها قد يرتفع الرصف على حواف المنطقة المتخددة.

يعد التخدد شائعاً جداً في أماكن التقاطعات، حيث يكون هناك حركة مرور لعربات مفرملة ومتوقفة ، وقد يحدث التخدد بسبب ضعف في الإنشاء أو ضعف في الخلطة الإسفلتية نفسها أو بسبب التشديد الذي يحدث في واحدة أو أكثر من طبقات الرصف ، ومن أسبابه أيضاً الحمولات الثقيلة والحصويات ذات النوعية السيئة.

نموذج عن شكل التخدد

5- التطاير Raveling

يعبر التطاير Raveling والتعرية Weathering عن تخرب السطح نتيجة تعرية الحصويات وفقدانها من سطح أو حواف الرصف ، أو عندما يسبب النزف فقداناً في الرابط الإسفلتي فيفقد الرصف ملاسة سطحه ويظهر خشنا كورقة رمل خشنة ، وأسباب حدوث هذا العجز قد تكون في أن الرابط الإسفلتي غير قادر على تثبيت الحصويات في مكانها أو بسبب وجود حصويات غير نظيفة (مغبرة) أو بسبب انفصال الخلطة خلال عملية الإنشاء أو لأن الرابط الإسفلتي قديم . هذا وتصنف شدة التطاير حسب درجة فقدان الحصويات أما التعرية فتصنف حسب فقدان الرابط الإسفلتي.

6- النزف Bleeding

ينتج النزف بسبب وجود زيادة من الرابط البيتوميني على سطح الرصف الذي يخلق سطحاً عاكساً براقاً كالزجاج قد يصبح لزجاً في درجات الحرارة العالية ، ومن أسباب نزف سطح الطريق أيضاً نذكر زيادة نسبة البيتومين في الخلطة ، أو أن نوع البيتومين المستخدم لا يوافق الحالة المناخية للمنطقة (أي تتخفف لزوجته كثيراً بحيث يصبح طرياً عند ارتفاع درجة حرارة سطح الطريق ويصعد على السطح بفعل حركة المرور) ، وقد يحدث نتيجة تكرار عملية الحقن للتشققات.

نموذج عن شكل النزف

7- عدم الاستوائية و التموجات Corrugation and waves

قد يحدث هذا التشوه في أماكن معزولة كالتقاطعات أو قد يحتل جزءاً كبيراً من سطح الطريق ، ويسبب ذلك تموجات عرضية في سطح الرصف وتظهر عدم الاستوائية على شكل موجات قريبة من بعضها بينما تكون المسافة في التموجات الكبيرة أكبر من 3 أقدام من الذروة إلى القاع.

نموذج عن عدم الاستوائية

8-الشقوق الشبكية Block Cracking

تقسم الشقوق الشبكية سطح الرصف إلى قطع مستطيلة تقريباً مع خطوط تقاطع بين التشققات وبزوايا تصل إلى 90 درجة ، وعادة ما تحدث على مساحات كبيرة من الرصف ، ويختلف هذا النوع عن التشققات التمساحية في أن التمساحية تشكل قطعاً عشوائية الشكل وأصغر وذات زوايا حادة .

تحدث الشقوق الشبكية بشكل أساسي نتيجة تقلص الملاط الإسفلتي ودورة درجات الحرارة اليومية . وهذا العجز ليس عجزاً مرتبطا بالحمولات رغم أنها قد تزيد من شدة الشقوق المنفردة وعادة ما يعبر عن حدوث الشقوق الشبكية بأن الإسفلت قد تصلب بشكل كبير جداً بمرور الزمن.

نموذج عن الشقوق الشبكية

9- الحفر Potholes (Chuck Holes)

وهي عبارة عن حفر ذات أبعاد مختلفة تظهر على سطح الطريق نتيجة عدم التلاحم الجيد بين الطبقة السطحية وطبقة الأساس ، وهي تبدأ عادة كبقع صغيرة متمركزة في التشقق التمساحي أو كتخريب في السطح الذي يعاني من طبقة أساس ضعيفة وعندما تصل الرطوبة إلى هذا السطح، فإنها تتسبب في تخريب البنية الداخلية للرصف، مما قد يسبب مغادرة بعض أجزاء الطبقة

السطحية وظهور طبقة الأساس بشكل حفر مختلفة الأبعاد ، ويمكن أن تظهر المغاور نتيجة وجود جيب ضعيف في طبقات الرصف وينعكس ضعف هذا الجيب على الطبقة السطحية بتقعر موضعي يتحول بفعل تجمع الماء وتغلغله في طبقات الرصف إلى حفرة تظهر فيها مواد طبقة الأساس ، كما يؤدي ذوبان الصقيع في الفترات الدافئة إلى ظهور المغاور على سطح الطريق.

نموذج عن الحفر

10- الزحف Pushing & Shoving

يكون هذا العجز عادة ذا شكل هلالي يتجه باتجاه السير ، ويعد زحف الطبقات ودفعها الأكثر شيوعاً في تقاطعات الطرق، خاصة في مناطق مواقف السيارات إلى جانب الطرق العامة حيث تصبح المسالك متموجة .

ينتج الزحف بسبب ضعف في قوة المادة الرابطة بين الطبقة السطحية والطبقة التي تليها، خاصة في حال عدم استخدام وجه لاصق بين الطبقتين ، وقد ينتج بسبب المحتوى الرملي العالي في الخلطة ، أو بسبب مرور الشاحنات الثقيلة (أوزان أكبر من المسموح)، أو بسبب تدفق مروري متسارع مع قوى كبح وانطلاق غير منتظمة.

نموذج عن زحف الطبقات

11- صقل الحصويات Polished Aggregate

وهي حبيبات الحصى الموجودة على سطح طبقات الرصف التي تآكلت وأصبحت ملساء نتيجة فعل الحركة المرورية عليها ، حيث تم فقدان الإسفلت المانع من سطح الرصف بفعل المرور بينما تفقد الحصويات السطحية نسيجها الدقيق متحولة إلى حصويات ناعمة ملساء، ووجود هذا العيب يقلل من مقاومة الانزلاق لسطح الطريق.

12- الرقع Patching

وهي عبارة عن مساحات من سطح الرصف تم استبدالها بمواد جديدة لإصلاح سطح الرص الموجود ، وقد تتعرض هذه الترقيعات للتخرب وزوال حوافها أو قد يكون منسوبها أعلى من منسوب سطح الطريق نتيجة سوء التنفيذ مما يتسبب بحدوث مطبات تجعل السير غير مريح.

13- التحدبات و التقعرات Sags and Humps

يحدث هذا العجز عادة في مناطق معزولة من سطح الطريق ، وتعد الحدبات و التقعرات مناطق انضغاطات أو مناطق مرتفعة من الرصف تنتج عن زحف الرصف أو عن توضعه بغير مكانه نظراً لحدوث انتفاخ تحت الأساس أو نتيجة تغير توضع جذور الأشجار.

نموذج عن التحدبات والتقعرات

14- الهبوط Dropping

عبارة عن مساحات قليلة ومحدودة تكون على منسوب أقل من منسوب سطح الإسفلت و تكون أحياناً مترافقة مع تشققات أو غير مترافقة معها ، وقد ينتج الهبوط من تعرض الرصف لحجم مروري أكبر مما هو مصمم له أو بسبب الضعف في طريقة الإنشاء وعدم حصول طبقات الرصف على الرص والدحي الكافيين.

نموذج عن الهبوط

صيانة الرصف المرن Maintenance of Flexible Pavement

تعد برامج الصيانة الخطوة المهمة والضرورية التي تلي عملية إنشاء الطريق بغرض المحافظة عليه وتأمين حركة مرور آمنة ومريحة .

إن اختيار نوع الصيانة المناسب في الوقت المناسب وضمن الميزانية المتاحة هو عمل جوهري لمهندسي الطرق ، وبغض النظر عن كون هذه الصيانة مرتبطة بدورة حياة الرصف أو شجرة اتخاذ القرار أو أي رقم أو أداة تحليلية أخرى فعلينا التأكد دوماً من أننا نستخدم آلية عمل فعالة ومستمرة تساعدنا في اتخاذ القرار المتعلق بالصيانة والاستراتيجيات التي يجب إتباعها مستقبلاً .

تهدف صيانة الرصف الطرقي إلى :

- ✓ التقليل من حوادث الطرق
- ✓ تحقيق مستوى خدمة آمن على الطرق
- ✓ إطالة العمر التشغيلي للطرق
- ✓ إزالة التعديات عن الطرق
- ✓ تقليل تكلفة النقل على الطرق

- ✓ تأمين سطح الطرق بحالة تشغيلية جيدة خالية من العيوب والمشاكل

أنواع صيانة الرصف المرن Types of Maintenance

كان هناك تركيز في السنوات السابقة على بناء طرق جديدة ، لكن التركيز الحديث بات ينصب على صيانة وحفظ سطوح الرصف للطرق المشادة أصلاً ، وهذه النقلة أوجدت ثلاثة أنواع أساسية من عمليات صيانة الرصف هي:

- ✓ الصيانة الوقائية Preventive Maintenance
- ✓ الصيانة العلاجية Corrective Maintenance
- ✓ الصيانة الطارئة Emergency Maintenance

1-الصيانة الوقائية Preventive Maintenance

إن الصيانة الوقائية للرصف هي استراتيجية منظمة ومنتظمة تحسن حالة الطريق وتبطئ تخربه المستقبلي ، وهي توفر المال وتحسن شروط الأمان وراحة القيادة للمستخدمين و المسؤولين على حد سواء . وقد عرفتها الـ AASHTO بأنها " عبارة عن تخطيط استراتيجية للمعالجات المرتكزة على فعالية الكلفة لنظام طرق موجود وهذه الاستراتيجية تحفظ النظام وتؤخر التخرب المستقبلي وتحافظ على الحالة الوظيفية للنظام".

وتكون الصيانة الوقائية عادة مخططة وذات طبيعة دورية ، وغايتها إصلاح تخرب الرصف المبكر وتأخير انهيار الرصف وتقليل الحاجة إلى الصيانة العلاجية .

تطبق الصيانة الوقائية بشكل أساسي على الرصف ذي الحالة الجيدة والذي لا يزال أمامه فترة خدمة طويلة ، وتعد هذه الصيانة استراتيجية لزيادة عمر خدمة الرصف وتأخير التخرب وتقليل الحاجة إلى الصيانة الروتينية ، كما أنها يمكن أن توفر الأموال وتقلل أزمنة التأخير وتحسن الأمان ونوعية القيادة ، وتُظهر الدراسات أن الصيانة الوقائية أكثر فعالية واقتصادية ب (6-10) مرات من استراتيجية "عدم فعل شيء " ويكون العلاج أكثر اقتصادية وفعالية عندما يطبق بوقت مبكر من حياة الرصف.

2- الصيانة العلاجية Corrective Maintenance

تطبق هذه الصيانة بعد حدوث خلل في الرصف كفقدان الاحتكاك ، التخدد ، الشقوق المتزايدة ... الخ ، وتختلف هذه الصيانة عن الوقائية بشكل أساسي في الكلفة والتوقيت ، فبينما يتم تطبيق الصيانة الوقائية والرصف لا يزال بحالة جيدة يتم تطبيق الصيانة العلاجية عندما يكون الرصف بحاجة إلى إصلاح ، فتكون أعلى كلفة.

3- الصيانة الطارئة Emergency Maintenance

تجري أعمال هذه الصيانة خلال الحالات الطارئة كأن يحدث فقدان للرصف أو حفر شديدة تحتاج الإصلاح الفوري ، وعادة ما يتم إصلاحها بداعي الأمان أو للسماح للمرور باستخدام الطريق .

كما تشمل الصيانة الطارئة الأعمال والمعالجات التي تبقي سطح الرصف متماسكا حتى يتم تطبيق أعمال إصلاح أو إعادة إنشاء أكبر عليه ، وعندما نحتاج للصيانة الطارئة لا تعود بعض الاعتبارات المعتادة في اختيار طريقة المعالجة مهمة، والكلفة عندها قد تكون العامل الأقل أهمية أمام الأمان وزمن التطبيق.

أساليب صيانة الرصف المرن Types of Maintenance of Flexible pavement

هناك أساليب كثيرة للصيانة تختلف فيما بينها حسب نوع العيوب وشدتها وحسب المنطقة و العوامل الجوية بالإضافة إلى تأثير طريقة استخدام الطريق وعوامل أخرى متعددة وتتغير هذه الأساليب وطرق تطبيقها مع تطور المواد المستخدمة في الصيانة، ونورد فيما يلي بعض أساليب صيانة الرصف البيتومينى:

1-الصيانة الروتينية Routine Maintenance

تتألف الصيانة الروتينية من العمل الذي يخطط ويجري على أسس روتينية لصيانة وحفظ حالة الطرق، أو كي تستمر الحركة ضمن حالة محددة تحافظ على مستوى خدمة معين لنظام الطرق .

تندرج تحت الصيانة الروتينية الأعمال الدورية التي تجري من قبل فرق الصيانة، وذلك لصيانة وحفظ حالة الطرق عند مستوى معين مناسب من الخدمة ، نذكر منها تنظيف جوانب الطرقات ، إنشاءات القنوات والخنادق ، صيانة تخطيط الرصف، ملء الشقوق ، الترقيع.....الخ ، وترتكز أعمال الصيانة الروتينية عادة على نوع العجز ونوع أعمال الصيانة اللازمة وزمن (توقيت) تطبيقها.

2- إعادة التغطية (overlay)

تتضمن هذه الطريقة إنشاء طبقة بيتومينية جديدة بسماكة 40-50mm، وذلك إما بتطعيم الطبقة السطحية القديمة (Inlaying) وإضافة طبقة سطحية جديدة (Overlaying)، ومن ثم معالجة السطح الموجود حتى يتم مزج أجزاء من المواد القديمة والحديثة وإعادة دكها ، أو بوضع سطح بمواصفات خاصة جدا كالسطوح المستخدمة للتقليل من مستويات الضجيج المروري.

يتم تطبيق إعادة التغطية عندما يظهر السطح الموجود عجزاً مرئياً وعندما تتخرب المواد في التغطية السطحية بشكل كبير ، ويتم تحديد هذه التشوهات عادة عبر المسح البصري والتحليلات المخبرية للمواد السطحية ، لكن إعادة التغطية لا تكون مناسبة لمعالجة الرصف في حال وجود مشاكل في طبقة الأساس أو مشاكل إنشائية كبيرة .

إن استبدال السطح القديم للرصف عادة ما يكون أكثر كلفة من إضافة طبقة جديدة ، كما أن الرصف المعاد تغطيته على الطرق الرئيسية يعطينا عدة سنوات من الأداء الممتاز . وفي كل الأحوال لا بد لنا أن ننتبه إلى أن هذه الطبقات يتم وضعها في أوقات وظروف مختلفة من السنة وهذا يتطلب الدقة والحذر في كلا حالتي التصميم وتنفيذ العمل ، حيث يمكن أن يكون لتصميم الخلطة ولمواصفات المواد ودرجة الحرارة وتأثير الرياح الدور الكبير في نجاح عملية إعادة التغطية.

3-إعادة إنشاء الرصف Reconstruction

إن إعادة إنشاء الرصف هي عبارة عن استبدال كامل إنشاء الرصف الموجود برصف آخر، وعادة ما يتطلب ذلك الإزالة الكاملة له واستبداله عندما ينهار أو يصبح غير قابل للاستثمار نهائياً.

اختيار طريقة المعالجة (الصيانة) (Treatment Selection)

يجب أخذ العديد من العوامل بعين الاعتبار عند تحديد أو اختيار أي صيانة أو معالجة للرصف ، ويجب أن تتضمن عملية اتخاذ القرار الأسئلة الثلاثة الآتية:

1- هل المعالجة اقتصادية ؟

2- هل تحسن المعالجة أداء الرصف ؟

3- ما هي أفضل طريقة للمعالجة ؟

وباعتبار أن أعمال الصيانة وتقنياتها تتغير بسرعة كبيرة جداً لتلاقي متطلبات شبكات الطرق الحديثة لذلك كان لا بد من إدارة فعالة لعمليات الصيانة عبر تطبيق الصيانة المناسبة في الوقت المناسب وفي المكان المناسب ، ويجب أن يكون نظام الإدارة المحقق لهذه المتطلبات مرناً كفاية لتحقيق احتياجات مختلف أنواع الرصف، وهذا يقودنا إلى نظم إدارة الرصف Pavement Management Systems التي تعتبر الأداة أو الطريقة الداعمة في الاختيار الأمثل للاستراتيجيات اللازمة لصيانة الرصف وإبقائه في حالة دائمة للخدمة ضمن مدة زمنية معينة.

منشورات جامعة البعث
كلية الهندسة المدنية

هندسة السكك الحديدية

د. م. محمد الشلاش
مدرس في قسم هندسة المواصلات والنقل

د. م. ممدوح عبارة
مدرس في قسم هندسة المواصلات والنقل

د. م. محمد أفيوني
أستاذ مساعد في قسم هندسة المواصلات والنقل

لطلاب السنة الرابعة – مدني عام

مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية

2014 - 2015

مقدمة

إن قطاع النقل يرتبط بشكل أساسي بالاقتصاد الوطني لأي بلد. إذ لا يمكن أن يزدهر الاقتصاد بدون وجود مرفق نقل متطور.

لقد شهدت العقود الأخيرة تطوراً كبيراً في وسائل النقل المختلفة ومنها النقل بالخطوط الحديدية بغية الوصول إلى سرعات عالية وراحة ركاب مميزة وحجوم نقل كبيرة.

إن الاهتمام بمرفق النقل بالخطوط الحديدية وتدريس هندسة السكك الحديدية وتنشيط الأبحاث في هذا المجال هي من الغايات التي يبتغيها القائمون على قطاع النقل وقطاع التعليم.

هذا الكتاب هو الجزء النظري لمادة هندسة السكك الحديدية لطلاب السنة الرابعة — مدني عام، آملين أن نضع كتاب القسم العملي بين أيدي الطلاب لاحقاً.

لقد تضمن الكتاب مقدمة عامة عن النقل ولمحة عن شبكة الخطوط السورية. كما تناول عناصر الخط الحديدي بالتفصيل. وكذلك أيضاً التخطيط الهندسي للسكك الحديدية وحساب الإجهادات في عناصر الخط. إضافة لذلك تناول الكتاب بالتفصيل التجهيزات الخاصة بالخطوط من تفريعات ومحطات وإشارات. وكذلك أيضاً الحسابات الجريّة وصيانة الخطوط.

لقد قام الدكتور محمد الشلاش بتأليف الفصول: الأول والثاني والثالث والرابع والسادس والسابع والثامن، كما قام الدكتور محمد أفيوني بتأليف الفصل الخامس. أما الدكتور ممدوح عبارة فقد ألّف الفصلين التاسع والعاشر.

نأمل أن يحقق هذا الكتاب الغاية المرجوة على الصعيد التعليمي للطلاب الأعزاء، والمساعدة للزملاء المهندسين المهتمين والعاملين في مجال السكك الحديدية.

والله ولي التوفيق

المؤلفون

الفصل الأول

مقدمة عامة عن النقل
بالخطوط الحديدية والشبكة السورية

1-1- مقدمة عامة عن النقل :

1-1-1- النقل :

النقل هو عبارة حركة الأفراد والأشياء من مكان إلى آخر باستخدام وسائل ووسائط مختلفة. ويشكّل قطاع النقل أحد أهم الفعاليات في كل مرحلة من مراحل التقدم الحضاري للمجتمع .

- يعدّ النقل أحد المؤشرات الأساسية على التقدم الاقتصادي والاجتماعي والتجاري في البلد كما أن البنية الكلية للتجارة والصناعة تستند إلى القاعدة الجيدة للنقل.
- تحسُّن كفاءة النقل يعتبر أساسيّاً في عملية التقدم الاقتصادي للأمّة وبالتالي للعالم ككلّ.

الأرض والماء والهواء تستخدم في تطوير أنماط النقل مثل السكك الحديدية والنقل المائي والنقل الجوي.

ويمكن تصنيف أنماط النقل اعتماداً على الوسط الذي تتم فيه عملية النقل كالآتي:

1- النقل الأرضي: الطرق، السكك الحديدية، الكابلات، الأقشطة.

2- النقل المائي: النقل بالأقنية، الأنهار، البحار والمحيطات، البحيرات.

3- النقل الجوي: النقل بواسطة الطائرات.

4- النقل بواسطة أجهزة الاتصالات: للأفكار والمعلومات والصور (البريد الإلكتروني E – mail، شبكة الإنترنيت).

كما يمكن تصنيف النقل أيضاً اعتماداً على الوسائل التي تتحرك بواسطتها المنقولات كالآتي:

- النقل بواسطة الإنسان، بواسطة الحيوان، بواسطة الطريق، بواسطة قضبان السكك الحديدية، الهواء، الماء، الأنابيب، الأقشطة، الكابلات والحبال.

وأخيراً واعتماداً على الطاقة المستخدمة يمكن تصنيف النقل كما يلي:

1- الطاقة البشرية.

2- الطاقة الحيوانية.

3- طاقة الديزل والبترول.

4- طاقة البخار.

5- الطاقة الإلكترونية.

1-1-2- خصائص أنماط النقل :

تتمتع جميع أنماط النقل بخاصتين أساسيتين هما:

1- الإمكانية المكانية Place Utility: وهي عبارة عن القدرة على نقل الأشخاص والبضائع إلى الأماكن المقصودة .

2- الإمكانية الزمانية Time Utility: وهي عبارة عن القدره على نقل الأشخاص والبضائع عندما يراد ذلك (في الوقت المناسب).

1-1-3- اختيار نمط النقل:

اختيار نمط معيّن للنقل يعتمد بشكل كبير على كفاءته الأساسية وأهليته للقيام بهذا النوع من النقل وخصائصه، ويمكن أن نبين ذلك كما يلي:

1- السكك الحديدية: Rail ways

تتميز السكك الحديدية بين وسائط النقل الأخرى بالإمكانية الكبرى في نقل الحجوم الكبيرة والثقيلة والبضائع الضخمة لمسافات طويلة جداً. كما تتميز بالرحلات الطويلة للأشخاص مع تأمين السلامة والراحة والملائمة.

2- النقل بالطرق: Road Transport

يؤمن إمكانية كبرى للنقل على المسافات القصيرة والطويلة للبضائع الخفيفة والحجوم الصغيرة.

3- النقل الجوي : Air Transport

يعطي إمكانية عظمى عندما يكون عامل الزمن في النقل هو الأكثر أهمية بالمقارنة مع تكلفة النقل. صناعة النقل الجوي تمتلك أهمية في نقل المنتجات والبضائع مع قيمة عالية عندما تقارن وحدة الحجم أو الوزن أو الزمن بوسائل النقل الأخرى.

4- النقل المائي (الطرق المائية): Water ways

يتميز هذا النوع بإمكانية نقل البضائع الثقيلة والضخمة وذلك عندما يكون الزمن ليس ذو أهمية كبيرة وهو يعتبر الأكثر اقتصادية بين وسائل النقل.

5- النقل البحري : Sea ways

له ميزة في نقل البضائع الضخمة والثقيلة عبر المسافات الطويلة .

6- النقل بالأنابيب : Pipe Lines

يستخدم بشكل عام لنقل البترول والماء والغاز والمجاري .

7- النقل بالكابلات والحبال : Rope ways, Cable ways

يستخدم في حمل المواد السائبة مثل الرمل، الفحم، الحجارة ... وذلك لتغذية الخلاطات والجبالات والمصانع.

8- النقل بواسطة الأقشطة : Belt conveyor system

يستخدم في نقل المواد الحصويَّة والحبوب، كما يتعامل مع الأشخاص ويحتمل أن يحظى بتطوير مستقبلي لنقل ركاب الضواحي (Urban Passengers).

2-1- الخطوط الحديدية : Rail ways

منذ أمد العصور والإنسان يتنقل من مكان لآخر مستخدماً قوته العضلية أو قوة الحيوانات أو تيارات الماء أو دفع الرياح. هذه الوسائل لم تحقق للإنسان السرعات الكبيرة

والإمكانات المناسبة التي توفر نشاطاً اقتصادياً أفضل ينعكس رفاهية على المجتمع.

عرفت السكك الحديدية وغير الحديدية منذ القرن الخامس عشر. حيث استخدمت السكك وكانت خشبية أو معدنية في المناجم، إذ تدفع العربات المتحركة باليد أو تجرها الحيوانات.

لقد كان لاختراع الآلة البخارية الأثر الأكبر في تطوير النقل بالسكك منذ القرن الثامن عشر:

- حيث قام Nicholos Cugnot في فرنسا بتطوير أول قاطرة بخارية Locomotive Steam عام 1771 .
- ثم تبعه William Murdock عام 1786 حيث قام بتطوير موديل القاطرة البخارية.
- كما قام كلٌّ من Trevithick والمهندس Cornich بتصميم قاطرة بخارية عام 1804.
- لكن النجاح التام كان للتطوير الذي أنجز على القاطرة البخارية من قبل Stephenson (1781-1844) حيث استطاع بنجاح تسيير أول قطار في العالم يوم 27-9-1825 في انكلترا بين Stockton وDarlington بسرعة حوالي 39 Km/h.

ومنذ ذلك الحين أخذ إنشاء الخطوط الحديدية يغزو مختلف أنحاء العالم. وبدأ الاهتمام المتزايد بتحسين خدمة النقل على الخطوط الحديدية من الناحية الإنشائية للخط ومن ناحية تطوير وتحديث القطارات لتأمين كفاءة عالية للخدمة في هذا النمط من النقل.

1-2-1- مقارنة بين الخطوط الحديدية والطرق:

1- مقاومة الحركة:

إن مقاومة الحركة للعجلة الفولاذية على القضيب الفولاذي في الخطوط الحديدية هي أقل بنسبة $\left(\frac{1}{5}-\frac{1}{6}\right)$ منها للعجلة المطاطية على سطح الطريق.

2- طاقة التحميل:

يمكن التعامل مع حمولات كبيرة وبسرعات عالية في الخطوط الحديدية بينما تكون طاقة التحميل للشاحنات التي تسير على الطرق منخفضة.

3- إمكانية السير:

إن إمكانية الحركة على الخط الحديدي ليست حرة وإنما تتم وفقاً لجدول ينظمها. ولا يمكن الدخول للخط في أية نقطة، أما في حالة الطرق فلدينا من المرونة ما يمكّن أي مستخدم من الدخول على الطريق والسير فيه.

4- التحكم بالتشغيل:

تحتاج الخطوط الحديدية لنظم إشارات دقيقة وتحكّم بأقسام الخط للحصول على الأمان وكفاءة جيدة للحركة. ويتم التحكم بالتشغيل بواسطة جداول المسير الخاصة، أما الطرق فلا حاجة للتحكم بهذا الشكل.

5- الميول الطولية:

في الخطوط الحديدية يجب أن تكون الميول الطولية صغيرة لكي تؤمن الحركة للحمولات الثقيلة وبسرعات عالية، بينما تكون الميول الطولية في الطرق حادة.

6- كلفة الإنشاء والصيانة:

إن كلفة إنشاء وصيانة الخط الحديدي تعتبر عالية جداً مقارنةً بالطرق.

7- المصدر والمقصد:

إن نقطة البداية (المصدر) ونقطة النهاية (المقصد) في الخطوط الحديدية محددة وهي المحطات. أما في حالة الطرق فيمكن الشحن أو التفريغ من الشاحنات للبضاعة في أية نقطة وهذا ما يحقق إمكانية الخدمة من الباب إلى الباب.

8- ملاءمة النقل:

تستخدم الخطوط لنقل الحمولات الثقيلة والخامات مثل الفحم وخامات الحديد من المناجم إلى أماكن التصنيع بكلفة نقل أقل وأكثر ملاءمةً من السيارات. أما النقل

الطرقي فيلائم نقل الأشخاص والمواد في حدود مسافات حتى 600 Km.

9- الزمن والتكلفة:

إن الخطوط الحديدية تعتبر أكثر ملاءمةً وأرخص تكلفةً للسفر والنقل على المسافات البعيدة. أما الطرق فتعتبر مناسبة لحالة المسافات القصيرة عندما يكون للوقت الأهمية الأكبر.

10- الطبيعة والجغرافية:

إن الخطوط الحديدية لا تناسب إلى حدٍّ كبير المناطق ذات التضاريس الصعبة مقارنةً مع الطرق.

11- الملاءمة مع أبعاد ونوع البضاعة:

تتعامل الخطوط الحديدية مع كافة أنواع وأبعاد البضاعة بينما لا تتعامل السيارات معها بنفس الجودة.

12- حالات الحوادث:

إن حالات الحوادث على الخطوط الحديدية تعتبر منخفضة جداً بالمقارنة مع عدد الحوادث على الطرق.

13- إشغال الأراضي:

إن عرض الحيز من الأرض تحت الخط الحديدي أقل من العرض اللازم لإنشاء الطريق.

14- الطن.كم الصافي للعربة في الساعة:

إن قيمة الطن.كم الصافي للعربة في الساعة أعلى من قيمتها للنقل بواسطة الشاحنات على الطرق.

15- القوة المطلوبة بالحصان:

إن القوة المطلوبة مقدَّرةً بالأحصنة للطن الواحد تعتبر قليلة لحالة النقل بالخطوط الحديدية بينما تكون كبيرة لحالة الطرق.

1-2-2- فوائد النقل على الخطوط الحديدية:

للنقل على الخطوط الحديدية فوائد على الصعيد الاقتصادي والسياسي والاجتماعي ويمكن أن نبيّن ذلك كما يلي:

1-2-2-1- الفوائد الاقتصادية:

1- تزداد حركة الأشخاص وبالتالي فالمناطق المكتظة بالسكان يمكن أن يقلّ عدد سكانها أما المناطق ذات الكثافة السكانية القليلة فسوف تنمو.

2- تسهيل حركة العمالة للإسهام في التطوير الصناعي.

3- أثناء الكوارث، تلعب الخطوط الحديدية دوراً كبيراً في نقل الأطعمة والملابس والخيام للمناطق المنكوبة.

4- نمو الإنتاج الصناعي الكبير بسبب نقل الخامات اللازمة بخطوط نقل موحّدة (شحن خامات ذات نوع واحد على كامل عربات القطار).

5- التوزيع السريع للمنتجات الصناعية الجاهزة من خلال نقلها بالخطوط الحديدية.

6- يوفر قطاع الخطوط الحديدية وظائف لأعداد من المواطنين وبالتالي فهو يساهم في حل مشكلة البطالة.

7- تتطوّر التجارة باستخدام الخطوط الحديدية، وبالتالي فهي تساهم في تحسين ورفع مستوى معيشة السكان.

8- تزداد قيمة الأراضي نتيجة التطور الصناعي وهذا ما ينعكس على زيادة الثروة القومية.

9- نتيجة نقل المنتجات في الخطوط الحديدية فإن استقرار أسعار البضائع يصبح ممكناً.

10- المنتجات الزراعية التجارية تستفيد كثيراً من شبكة الخطوط الحديدية على كامل البلد.

1-2-2-2- الفوائد الاجتماعية:

1- يزول الشعور بالعزلة وخاصةً بالنسبة لسكان القرى التي تمر بها الخطوط.

2- نتيجةً لسفر فئات مختلفة بنفس القطار وبدون فواصل، فإن الشعور باختلاف ثمن التذكرة يختفي تقريباً.

3- تسهّل الخطوط الحديدية الوصول إلى المقاصد السياحية.

4- تعتبر الخطوط الحديدية نظام نقل آمن وملائم في البلد.

5- التطلعات الجماهيرية لمجتمع كبير تتسع من خلال رحلات الخطوط الحديدية.

1-3- شبكة السكك الحديدية السورية القديمة والحديثة :

تتألّف شبكة السكك الحديدية السورية القديمة من أقسام أنشئ كل منها بصورة مستقلة عن الآخر وفي أزمنة مختلفة، خلال الفترة الواقعة بين (1859 و1920). وكان للوضع السياسي للدولتين العثمانية والفرنسية وتطوراته في سورية وفي الأقطار المتجاورة لها أثر كبير في بنية هذه الخطوط واتصال بعضها ببعض، واستثمارها بغض النظر عن الفائدة الاقتصادية والاجتماعية وضرورة تكامل خطوط الشبكة واتصال أقسامها المختلفة مع بعضها .

وكنتيجةً لذلك الوضع السائد آنذاك فقد أنشئ نوعان من الخطوط:

- ضيقة بعرض 105 cm
- عريضة بعرض 143.5 cm

ولم يتصل هذان النوعان إلاّ في محطة الرياق داخل الأراضي اللبنانية في عام 1902 وفي محطة القدم بدمشق عام 1984.

تمّ إنشاء جميع الخطوط الحديدية في سورية من النوع المفرد وبمواصفات فنية مختلفة.

يبلغ طول شبكة السكك الحديدية السورية الضيقة 315 Km وأهمها:

1- خط حديدي دمشق – سرغايا – الحدود اللبنانيّة /61 Km/.

2- خط حديدي دمشق – درعا – الحدود الأردنية /147 Km/.

3- خط حديدي دمشق – قطنا /33 Km/.

وهناك خط يصل درعا ببصرى وآخر بالحمّة الفلسطينيّة.

أما طول شبكة السكك الحديدية السورية العريضة الموضوعة في الاستثمار حتى نهاية 1990 فهي 1900 Km .

تقسم شبكة الخطوط الحديدية السورية العريضة إلى أربعة أقسام وهي:

1- خطوط قديمة.

2- خطوط مجدَّدة.

3- خطوط حديثة.

4- خطوط قيد الإنشاء.

1-3-1- الخطوط القديمة:

ومنها خطوط:

- حلب – المسلمية – الراعي - الحدود التركية- والمسلمية - ميدان اكبس - الحدود التركية بطول /166 Km/ .

- القامشلي - اليعربية - الحدود العراقية بطول /81 Km/.

- حمص - القصير - الحدود اللبنانية إلى الرياق بطول /40 Km/.

- خط العكاري - الحدود اللبنانية إلى طرابلس بطول /5.3 Km/.

والخطّان الأخيران متوقفان منذ نهاية السبعينات. ويبلغ مجموع أطوال هذه الأقسام /293 Km/ .

1-3-2- الخطوط المجدَّدة :

- خط حلب - حمص - العكاري بطول /262 Km/.

1-3-3- الخطوط الحديثة :

- خط القامشلي - حلب - اللاذقية بطول /757 Km/.

- خط حمص - دمشق بطول /208 Km/.

- خط اللاذقية - طرطوس بطول /90 Km/.

- خط مهين - مناجم الفوسفات (قرب تدمر) بطول /120 Km/ .

- خط حماة - محردة بطول /19 Km/ . (تفريعة من خط حلب — دمشق).

- خط دير الزور - البوكمال بطول /147 Km/.

- خط دمشق - درعا - الحدود الأردنية بطول /112 Km/.

والخط الأخير هو الجزء السوري من مشروع إعادة إنشاء الخط الحديدي الحجازي دمشق — عمان — المدينة المنورة.

1-3-4- خطوط قيد الإنشاء:

- تفريعة المنطقة الصناعية في حسياء بمحافظة حمص بطول 17 Km.

وذلك لخدمة النقل من وإلى المنطقة الصناعية في حسياء. حيث تتفرع من خط حمص — دمشق.

كما تتصل التفريعة بمحطة المرفأ الجاف والمنطقة الحرة في حسياء. وفي المرفأ الجاف تتم عملية التخليص الجمركي وكافة الإجراءات للبضائع الصادرة أو الواردة بدلاً من إجرائها في المرافئ البحرية (طرطوس - اللاذقية).

كما تمَّ إعداد الدراسات التنفيذية لتفريعات لعددٍ من الصوامع ومعامل الإسمنت.

تستطيع الخطوط الحديثة والمجددة تحمل قطارات تسير عليها بوزن قطبي أعظمي مقداره 25 ton بواقع فعلي 20 ton .

أما السرعات العظمى المحققة فهي [130 Km / h] لقطارات الركّاب و[80 Km / h] لقطارات البضائع، أما السرعات التصميمية العظمى للخطوط الحديثة فهي [160 Km / h] لقطارات الركاب و[110 Km / h] لقطارات الشحن.

1-4- الأدوات المتحركة: Rolling Stock

يمكن تصنيف الآليات التي تسير على الخط الحديدي كما يلي:

1- القاطرات: وهي التي تقوم بعملية الجرّ لجميع أنواع القطارات (ركاب، بضاعة، خدمات، تمديد الخطوط).

2- العربات: وهي نوعان: عربات بضائع وعربات ركّاب.

3- الآليات الخاصة بتمديد الخط وصيانته (روافع، عربات قياس العيوب، آلات دكّ البحص).

1- القاطرات: Locomotives

وهي الأدوات الذاتيّة الحركة والتي تجرّ العربات التي يتكوّن منها لقطار. وحسب حمولة القطار واستطاعة القاطرة يمكن تركيب القاطرات اللازمة لجر القطار (1 أو 2 أو 3). وبشكلٍ عام تجرّ قطارات الركاب بقاطرة واحدة أما قطارات البضاعة ذات الحمولات الكبيرة فيمكن أن تجر بأكثر من قاطرة. ويعبّر عن استطاعة القاطرة بالحصان البخاري (Hp 2500 – 1500). وتزداد سرعة القاطرة بازدياد الاستطاعة.

ويمكن تصنيف القاطرات طبقاً لنوع الطاقة المستخدمة كما يلي :

آ- قاطرات كهربائية Electric Locomotives

ب- قاطرات ديزل Diesel Locomotives

ج- قاطرات بخارية Steam Locomotives

كما يمكن تصنيف القاطرات حسب استخدامها إلى:

1- قاطرات اكسبريس: Express Locomotive ونصف اكسبريس وهي قاطرات لجرّ قطارات الركاب وعادةً ما تكون استطاعة هذه القاطرات بين H.P 2500 – 2000.

2- قاطرات الركاب المحلية: Local Passengers Locomotives وتتراوح استطاعتها بين H.P 1500 – 1000.

3- قاطرات البضاعة السريعة للمسافات الطويلة: Trunk Freight Locomotives وتتراوح استطاعتها بين H.P 3000 – 2000.

4- قاطرات البضاعة السريعة للمسافات القصيرة: وهي قاطرات صغيرة لا تزيد استطاعتها

عن 1500 H.P.

5- قاطرات المناورة: وهي قاطرات تستخدم في أعمال المناورة داخل المحطات واستطاعتها لا تزيد عن 1500 H.P

كما توجد وحدات ذاتية الحركة، حيث تحتوي عربة الركاب على كابينة القيادة مثل مترو الأنفاق وبعض أنواع قطارات الركاب.

2- العربات:

آ- **عربات الركاب: Coaches**

تصنَّف إلى درجات منها أولى مكيَّفة، ثانية مكيَّفة وغير مكيَّفة، وثالثة، وعربات مطعم وعربات النوم. ويلحق بقطارات الركاب السبنسات وهي عبارة عن عربات تستخدم لحمل بضائع الركاب والبريد وللفرملة ولأغراض أخرى.

ويقاس حُسن استغلال عربة الركاب إمَّا بـ:

1- نسبة الوزن الفارغ: وهي نسبة الوزن الفارغ للعربة إلى عدد المقاعد في العربة:

الوزن الفارغ للعربة/ عدد المقاعد Kg/set

وفي حال زيادة عدد الركاب على عدد المقاعد أي حالة وجود ركاب وقوف كما في مترو الأنفاق فإن نسبة الوزن الفارغ تصبح:

الوزن الفارغ للعربة / عدد الركاب الكلِّي في العربة Kg/person .

ويجب خفض هذه النسبة ما أمكن إما بتخفيض وزن العربة أو زيادة عدد المقاعد أو الركاب. وكمثال: نسبة الوزن الفارغ لعربة عدد مقاعدها 108 بلغ 388 Kg/set. وإذا بلغ عدد الركاب في عربة مترو إلى 250 في ساعة الذروة فإن نسبة الوزن الفارغ يمكن أن تصل إلى 120 Kg/person .

2- إنتاجية العربة: وهي عبارة عن كيلومترات المسير للراكب الواحد أو للمقعد الواحد. ويعبَّر عنه بشكل وسطي:

متوسط إنتاجية العربة = إجمالي الراكب.كم / يوم/ عدد الأماكن بالعربة.

ب- عربات البضاعة : Car wagons

ولهذه العربات أشكال ومقاسات مختلفة لتناسب البضاعة المحمولة فمنها :

المغطاة :

1- العربات الصندوقية Box wagons (المغطاة: البرادات، نقل السكر، التموين، السكر الخام والمكرر، الأسمدة، الإسمنت).

2- عربات الصهاريج Tank wagons (للمياه والمشتقات البترولية).

المكشوفة :

1- العربات القمعية Hopper wagons: لنقل المحاصيل والبازلت.

2- عربات ذات جوانب مفصلية (للسيارات والمعدّات العسكرية) وعربات ذات جوانب ثابتة (للفحم والفوسفات...) والمهمات الخاصة بإدارة السكك الحديدية.

3- العربات السطح: لنقل قضبان السكك الحديدية والآليات ذات المقاسات الزائدة.

ويبيّن الشكل التالي (1-1) الأنواع المختلفة لعربات البضاعة.

وتستخدم نسبة الوزن الفارغ للعربة كمقياس لكفاءة عربة البضائع. فهي تعطي الوزن الفارغ اللازم لنقل كمية معينة من السلعة كما تستخدم في حساب تكلفة الطن.كم من السلعة.

ويلاحظ أنه كلّما ارتفعت حمولة العربة كلّما قلّ وزن الفارغ لكل طن من حمولتها. وتتجه الصناعة الحديثة إلى النزول بالوزن الفارغ للعربات إلى الحدّ الأدنى والذي يضع حدّاً أعلى لحمولة عربة البضاعة وهو الحدّ الأقصى للحمولة المحورية Axle Load.

1-5- طاقة الخط الحديدي: Capacity of Railway track

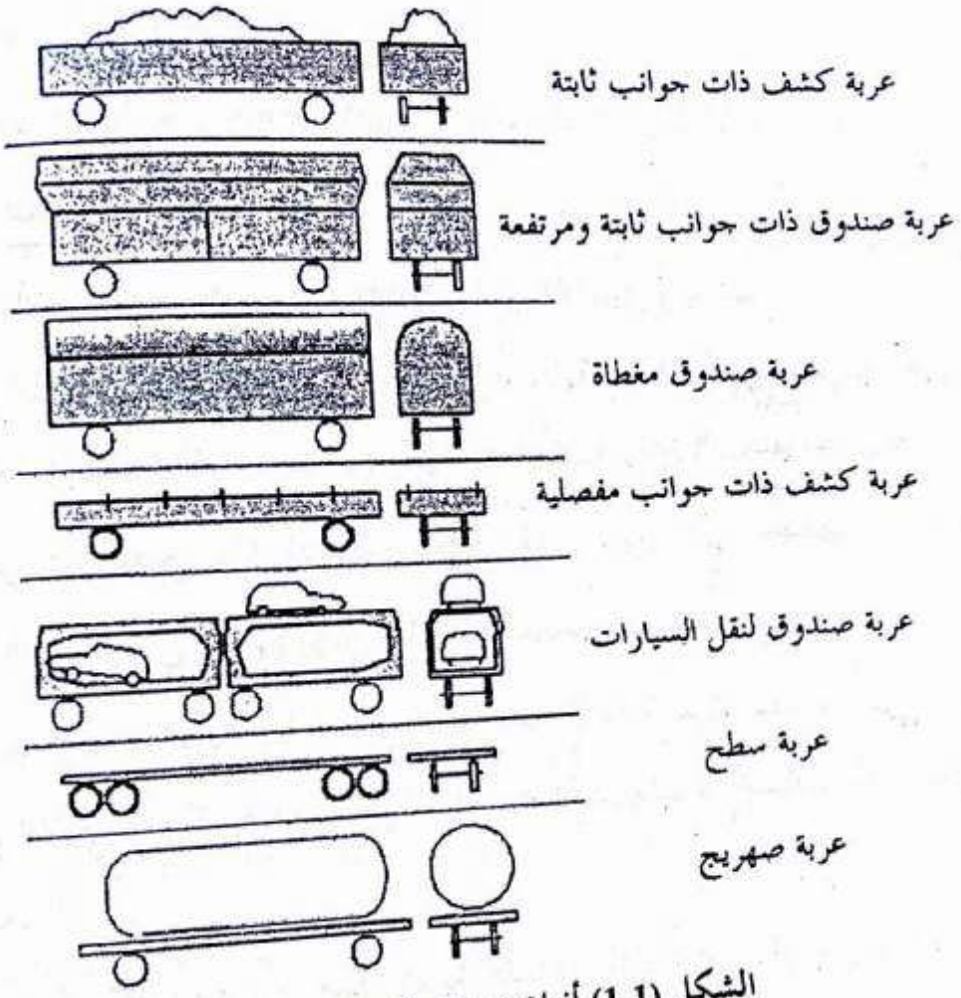
يعبَّر عن طاقة الخط الحديدي: بالطاقة الساعيّة (hourly capacity) للخط للتعامل مع القطارات بشكلٍ آمن. أو بتعبير آخر: هي عدد القطارات التي يمكن أن تمرر

على الخط في الساعة.

ويمكن أن تزداد هذه الطاقة بواسطة العاملين التاليين:

1- تأمين حركة أسرع للقطارات على الخط.

2- تقليل المسافة بين القطارات المتعاقبة.



الشكل (1-1) أنواع عربات البضاعة

الفصل الثاني

الخط الحديدي وعناصره

Railway Track& components

أولاً: الخط الحديدي

2-1-1- تمهيد:

التركيبة المكوّنة من القضبان المثبتة على العوارض التي ترسو في البلاست المفروش على طبقة أساس السكة تسمى الخط الحديدي. ويبين الشكل (2-1) مقطعاً عرضياً نموذجياً في خط حديدي.

تربط القضبان في الخط الحديدي ببعضها بوساطة الجبائر (Fish plates) والمسامير (Bolts) ومن ثم تربط إلى العوارض بواسطة أنواع التثبيت المختلفة (Fastening).

تباعد العوارض عن بعضها بشكل منتظم، ثم ترسى في البلاست الذي يرص بشكل مناسب وبحيث يسوى مع الطرف العلوي للعارضة. أما طبقة البلاست فهي مفروشة على أساس السكة Formation.

تعمل القضبان كحوائز لنقل حمولة العجلة (Wheel Load) إلى العوارض، التي تقوم بإمساك القضبان في المكان المناسب مع الأخذ في الاعتبار المحافظة على الاتساع والمستوى وتنقل الحمولة من القضبان إلى البلاست.

يعمل البلاست على توزيع الحمولة إلى أساس السكة ويقوم أيضاً بالإمساك بالعوارض في مكانها.

في المنحنيات: يتم تأمين العلو الإضافي بواسطة طبقة البلاست أما سطح أساس السكة فيبقى مستوي. حيث توضع كمية أكبر من البلاست تحت القضيب الخارجي. وهذه الكمية الإضافية من البلاست والتي توضع تحت القضيب الخارجي لكل خط حديدي

تجعل عرض أسفل البلاست أكبر.

2-1-2- متطلبات الخط الحديدي المثالي:

يعتبر الخط الحديدي شبه مرن (Semi – Elastic) في الطبيعة، وهناك إمكانية للاهتلاك جرّاء مرور القطارات المحمّلة عليه. لذلك ينشئ ويحافظ عليه آخذين في الاعتبار بعض المتطلبات لتأمين سرعة عالية وكفاءة ركوب أفضل وصيانة قليلة في المستقبل. وفيما يلي بعض المتطلبات الأساسية للخط الحديدي:

1- الاتساع: يجب أن يكون صحيحاً ونظامياً.

2- القضبان: يجب أن تكون في المستوى المناسب. ففي الاستقامات يجب أن تكون على نفس المنسوب، أما في المنحنيات فإن القضيب الخارجي يجب أن يكون على العلو الإضافي المناسب. ويجب تأمين الانتقال المناسب من الاستقامة إلى المنحني.

3- وضع الخط (محور الخط): يجب أن يكون صحيحاً بحيث يخلو من عدم الانتظام.

4- التدرجات: يجب أن تكون نظامية وأي تغير في التدرج يجب أن يتبع بمنحني رأسي مناسب.

5- يجب أن يكون الخط مرناً Resilient، أي يجب أن يكون هناك كمية من المرونة في الخط.

6- يجب أن يمتلك الخط مقاومة جانبية كافية، ذلك أن الوضعية الأفقية يحافظ عليها من القوى الناشئة عن:

a- الدفع الجانبي في الاستقامات والقوى العرضية في المنحنيات.

b- القوى العرضية الناشئة عن التمدد الحراري للقضبان بخاصة القضبان الملحومة.

7- قطر الانحناء والعلو الإضافي في المنحنيات: يجب أن يصممان بشكل جيد وينفذان بشكل صحيح.

8- نظام تصريف المياه: يجب أن يكون تاماً.

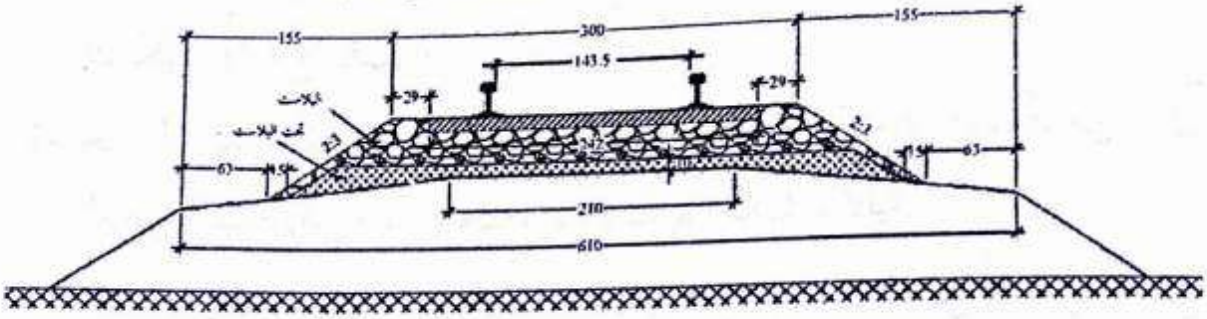
9- الوصلات (الإبر، التقاطعات): والتي تعتبر نقاط ضعيفة في الخط يجب أن تصمم

وتنفذ بشكل مناسب.

10- تجنباً لحدوث مشاكل نتيجة الزحف يجب معالجة الأمر مسبقاً.

11- كافة عناصر الخط من قضبان، أدوات تثبيت، عوارض، بلاست أو أساس: يجب أن تفي بالمتطلبات التي وضعت من أجلها. وإذا كان هناك ضعف في الإيفاء بالمتطلبات فيجب تحسين أو استبدال العنصر.

12- يجب تأمين الإمكانات اللازمة لعمليات التجديدات والاستبدال.



الشكل (2-1) مقطع عرضي نموذجي في خط حديدي

ثانياً: القضبان Rails

2-2-1- مقدمة:

يمكن اعتبار القضبان كجسور معدنية مستمرة تحمل حمولات المحاور. وتصنع القضبان من الفولاذ المضاف إليه بعض العناصر الكيميائية لتقاوم التآكل والاحتكاك وتكسبه الصلابة الكافية لمقاومة الحمولات.

2-2-2- ميزات القضبان:

تتميز القضبان في الخط الحديدي بما يلي :

1- تمرير حمولات المحاور الثقيلة مع أدنى احتكاك بين معدنها ومعدن العجلات، وهذا ناتج عن تمتعها بالصلابة والنعومة والسطح غير المتغير.

2- تحمل الإجهادات الناشئة نتيجة مرور الحمولات العمودية الثقيلة والجانبية والفرملة والحرارة.

3- تعطي مادة القضيب أقل تآكل لتجنب استبدال القضيب واهتلاكه.

4- تنقل القضبان الحمولات إلى العوارض وبالتالي تقلّل الضغط عن البلاست وسطح أساس السكة.

2-2-3- متطلبات القضبان:

لتحقيق الميزات السابقة الذكر يجب أن تتوفر في القضبان المتطلبات التالية:

1- يجب أن تحقق التركيب المعدني المناسب وتصنع بالطرق الجيدة.

2- يجب أن تكون الصلابة العمودية كافية لنقل الحمولة إلى عدد من العوارض، أي يجب أن يكون الارتفاع كاف.

3- يجب أن تكون القضبان ذات كفاءة لتحمل الحمولات الجانبية وذلك من خلال العرض الكبير للرأس (التاج) والقاعدة والصلابة الجانبية الكافية.

4- يجب أن يكون ارتفاع التاج كافياً بحيث يسمح بوجود احتياطي للتآكل الرأسي، وسطوح التآكل يجب أن تكون قاسية.

5- يجب أن تكون سماكة الجسد كافية لمقاومة الحمولات التي يتعرض لها. كما يجب أن يملك صلابة انحناء كافية في المستوى الأفقي.

6- أسفل التاج وأعلى القاعدة: يجب أن يكونان متشابهان ليمكّنا الجبائر من نقل الحمولات من التاج إلى القاعدة بكفاءة في الوصلات.

7- يجب أن يكون عرض القاعدة كافياً ليعطي للقضيب استقراراً ضد الدوران.

8- يجب أن يكون توزيع المعدن في التاج والجسد والقاعدة بشكل متوازن.

9- مركز ثقالة مقطع القضيب: يجب أن يكون في منتصف الارتفاع تقريباً لكي تتساوى الإجهادات العظمى للشد والضغط.

10- مقاومة الشد العظمى لمعدن القضيب: يجب أن لا تقل عن $90\ Kg/mm^2$ والتطاول النسبي الأدنى 11%.

2-2-4- تطور القضبان:

تطورت قضبان السكك الحديدية كما يلي :

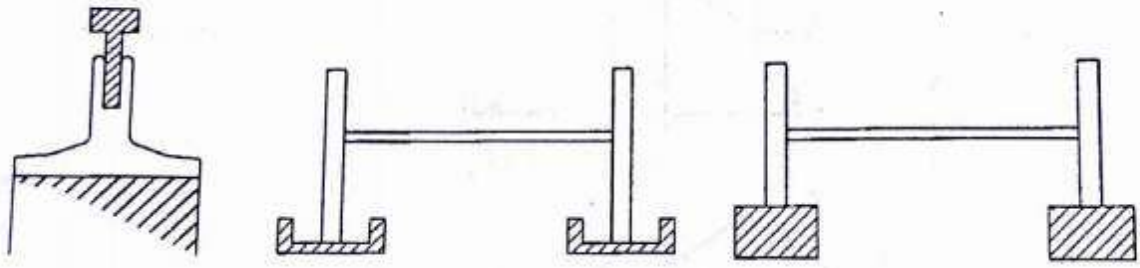
1- كتل خشبية توضع بجوار بعضها على بُعد يساوي المسافة بين محاور عجلات العربات التي تجرها الجياد حتى تقلل من مقاومة السير (قبل عام 1767)، كما في الشكل (2-2-1).

2- قضيب على شكل حرف U من الزهر لسكك حديد المناجم الإنكليزية تحمل عليه العجلات مباشرة، الشكل (2-2-2).

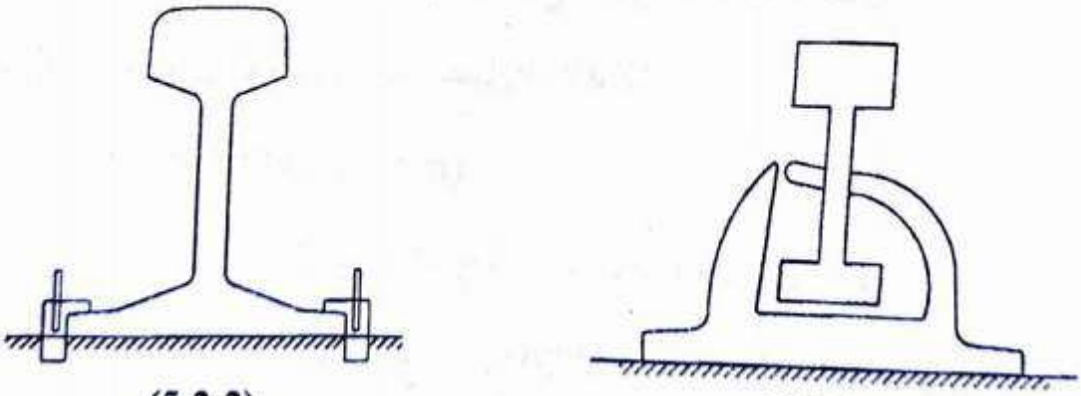
3- بداية القضيب المحمول على كراسي، والكراسي تحمل على كتل حجرية عام 1825، كما في الشكل (2-2-3).

4- أنواع من القضيب ذي الرأسين (الديسمتريكي) ويحمل على عوارض خشبية ومعدنية، الشكل (2-2-4).

5- قضيب فينول نسبة إلى Vignole عام 1936، الشكل (2-2-5).



(1-2-2) (2-2-2) (3-2-2)



(4-2-2) (5-2-2)

الشكل (2-2)

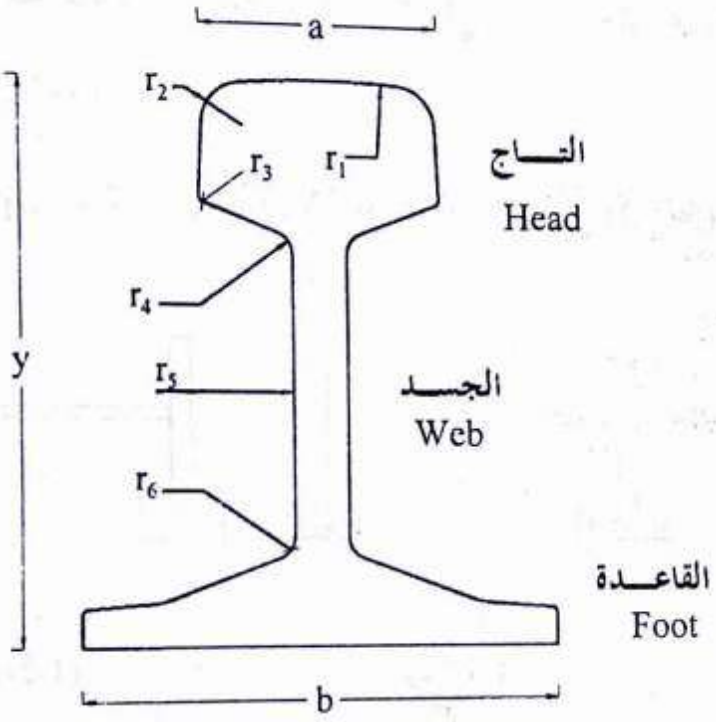
2-2-5- أبعاد قضيب فينول:

يبيّن المقطع شكل قضيب فينول وهذا الشكل هو السائد حالياً في كل السكك الحديدية في العالم، الشكل (2-3).

عند تشكيل القضبان الحديدية يجب مراعاة بعض القواعد الهامة التي استنبطت من الأبحاث التي أجريت على عدد كبير من المقاطع والتي أثبتت التجربة على أنها اقتصادية مع حسن تحملها وهذه القواعد هي:

آ- ارتفاع القضيب y :

$$y = 21.37\sqrt{w}$$



الشكل (2-3) مقطع عرضي في قضيب فينول

حيث: w: وزن القضيب بالمتر الطولي (Kg/m).

y: ارتفاع القضيب (mm).

ب- توزع المادة بين التاج والجسد والقاعدة بالنسب التالية:

48% للتاج ، 20% للجسد ، 32% للقاعدة

كما توزع الارتفاعات الجزئية كما يلي:

جـ- ارتفاع التاج:

$y_h = 0.32\ y$

ارتفاع الجسد:

$y_w = 0.5\ y$

ارتفاع القاعدة:

$y_c = 0.18\ y$

د- r_1 نصف قطر سطح التاج (300 mm)

r_2 نصف قطر الاتصال بين سطح التاج وجانبيه (10-13 mm)

r_4 نصف قطر الاتصال بين أسفل التاج والجسد (8-12 mm)

r_5 نصف قطر سطح الجسد (300 mm)

والجدول التالي (2-1) يبيّن الأبعاد الهندسية وخصائص بعض مقاطع القضبان .

الجدول (2-1) الأبعاد الهندسية وخصائص بعض مقاطع القضبان

النوع	الوزن Kg/m	مساحة المقطع cm^2	الارتفاع y mm	عرض القاعدة b mm	عرض التاج a mm	سمك الجسد mm	عزم العطالة cm^4
R 43	44.65	57	114	132	70	14.4	1489
R 50	51.51	65.99	132	152	70	16	2011
S 52	51.89	66.25	141	155	66	15	2090
UIC 54	54.4	69.34	140	159	70	16	2346
UIC 60	60.4	76.86	150	172	72	17	3055

2-2-6- التركيب الكيميائي لمعدن القضيب:

التركيب الكيميائي لمعدن القضيب وطريقة التعدين يكونان بحيث تفي القضبان المصنعة بالمتطلبات اللازمة من صلابة وديمومة ومقاومة للاهتراء والتآكل وعدم التفاعل مع الظروف البيئية المحيطة. ونورد في الجدول (2-2) التالي نسب الإضافات لبعض أنواع القضبان:

الجدول (2-2) نسب المعادن الداخلة في تركيب بعض أنواع القضبان.

النوع	كربون C %	سيليكون Si %	منغنيز Mn %	فوسفور Pb %	كبريت S %
A	0.6 - 0.75	0.5 max	0.9 – 1.3	0.05 max	0.05 max
B	0.5 - 0.75	0.5 max	1.3 – 1.7	0.05 max	0.05 max
C	0.45 - 0.65	0.4 max	1.7 – 2.1	0.05 max	0.03 max

إن زيادة نسبة الكربون تؤدي إلى زيادة القساوة والصلابة للفولاذ، ولكنها تزيد من حساسيتها للصدم. كما تؤثر بشكل سلبي في قابلية اللحام. أما زيادة نسبة المنغنيز فهي تزيد من مقاومة الفولاذ وصلابته. والصلب المنغنيزي يصلح لمقاومة الاحتكاك بدرجة كبيرة، وهو يستعمل في التقاطعات والمفاتيح التي يكثر فيها الحركة وكذلك في مداخل المحطات ومخارجها. وكذلك في المنحنيات الحادة حيث قوة الاحتكاك بين القضيب والعجلة أكبر ما يمكن. إذ ترتفع تكاليف الصيانة وتتعطل الحركة لتغيير القضبان في فترات قصيرة.

عند تصميم مقطع القضيب الجديد أو التحقق من إمكان رفع السرعة أو زيادة حمولة المحور وذلك باعتبار تأثير القوى الرأسية فقط بعد إهمال القوى الناتجة في الاتجاه العرضي والطولي فإن قيمة إجهادات الانعطاف المسموحة هي:

1500 Kg/cm^2 للسكك الرئيسية وسرعات لغاية 110 Km/h وحمولة محورية بحدود 22 ton وكمية حركة كبيرة.

و2000 Kg/cm^2 للسكك الفرعية ذات السرعة القليلة لغاية 60 Km/h وحمولة محورية بحدود 15 ton وكمية حركة قليلة.

2-2-7- تآكل القضبان الحديدية:

عادةً ما يؤخذ التآكل (الاهتراء) في الاعتبار عند تصميم مقاطع القضبان، بحيث يعطى مجال اهتراء شاقولي كافي في كل نقاط الخط ويعطي أيضاً مجال اهتراء جانبي كافٍ

يتعلق التآكل بشكل عام بالعوامل التالية:

- عمر القضيب: يتراوح بين (20-40) سنة حسب الخواص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية لفولاذ القضيب وجودة التصنيع ودرجة الخط وغزارة النقل.
- سرعة القطار: يتناسب التآكل طرداً مع السرعة، وإذا ما تمَّ تصميم العربات والشاحنات بحيث تعطى أهمية لطريقة التعليق والربط ومخمدات الحركة، فإن زيادة السرعة لن تؤثر بشكل كبير على تآكل القضبان.

ينعدم تأثير السرعة على القضبان بزيادة عدد دورات صيانة عناصر الخط لاسيما للوسائد والجبائر وأدوات التثبيت. كما أن استعمال قضبان طويلة ملحومة والاختيار الجيد لبحص البلاست يؤدي إلى التخفيف من التآكل.

- الحمولات الإجمالية المنقولة على الخط وبالتالي حمولة القطبة الواحدة: إن زيادة غزارات النقل والحمولات الإجمالية على الخط تؤدي إلى زيادة التآكل. ولضمان مقاومة الخط لهذه الحمولات نلجأ إلى استخدام قضبان ذات مقطع أكبر، كما نلجأ إلى زيادة عدد العوارض بالكيلومتر.
- موقع الخط: يزيد التآكل في المنحنيات وفي الأنفاق بسبب زيادة الرطوبة ويزداد في نقاط التقاطع والمفاتيح.

2-2-7-1- أنواع التآكل:

- التآكل الشاقولي أو الرأسي ويحدث في الاستقامات.
- التآكل الزاوي الجانبي ويحدث في المنعطفات.

2-2-7-2- معدلات التآكل الحدية المسموحة:

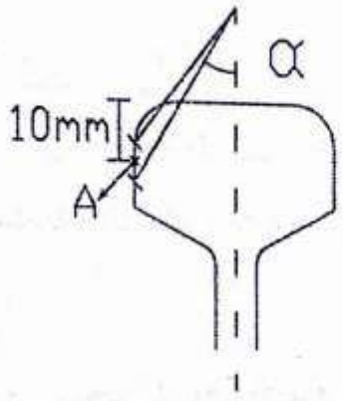
- **معدل التآكل الشاقولي:** إن التآكل الشاقولي المسموح هو 12 mm في الخطوط الرئيسية و20 mm في الخطوط الثانوية، وبشكل تقريبي يعادل ثلث ارتفاع الرأس بالنسبة لقضيب R50 مثلاً.
- **معدل التآكل الجانبي:** إن التآكل الجانبي أكبر في المنعطفات ذات أنصاف الأقطار

الصغيرة فإذا صمم الميل العرضاني على سرعات صغيرة وكان أقل من الميل المطلوب فالتآكل يكون كبيراً في القضيب الخارجي. وإذا صمم الميل على سرعات كبيرة وكان أكبر من الميل المطلوب يكون التآكل كبيراً في القضيب الداخلي. وهذا التآكل ينتج عن احتكاك جانب العجلة بالطرف الداخلي من رأس القضيب الحديدي ويكون أكبر كلما كان نصف انحناء السكة أصغر.

بفرض أن α: زاوية التآكل الشكل (2-4)، فإن القيمة الحدية المسموحة لهذه الزاوية تكون:

$\alpha = 34°$ على الخط الرئيسي.

$\alpha = 32°$ على الخط الثانوي.



الشكل (2-4)

ويحدد التآكل الجانبي المسموح بوصول زاوية التآكل إلى حدودها القصوى أو وصول التآكل إلى النقطة A كما في الشكل السابق.

2-2-7-3- علاج التآكل بأنواعه:

1- يمكن إعادة استخدام القضبان المتآكلة شاقولياً نتيجة استخدامها في الخطوط الرئيسية (الدرجة الأولى) في خطوط الدرجة الثانية (الثانوية) ذات الحمولات الأقل والسرعات الأصغر كما يمكن استخدام الأخيرة بعد تجاوزها التآكل الشاقولي المسموح به لخطوط الدرجة الثانية في خطوط الدرجة الثالثة.

2- كما يمكن في بعض الأحيان أن نقلب القضيب (ندوره) بحيث يصبح الطرف

الداخلي المتآكل بفعل مرور شفاه العجلات طرفاً خارجياً والخارجي السليم غير المتآكل يصبح داخلياً على أن نتحقق من عدم وجود أي عيوب في القضيب المعاد استخدامه. وهذا يصح في القضبان المتآكلة في الاستقامات وليس في المنعطفات.

3- يلجأ عادةً إلى تعبئة سطوح القضبان المتآكلة أو نهايات القضبان عند الفواصل بواسطة اللحام عندما يصل تآكل القضبان إلى القيم الحدية. إلا أن هذه العملية تكون مرحلية إلى حين يتم استبدال القضبان .

4- لتخفيف التآكل الجانبي للقضبان في المنحنيات في أشهر الصيف الحارة يلجأ إلى تزييت الوجوه الداخلية لقضبان المنحني بشكل دوري.

ثالثاً: العوارض Sleepers , Ties

العوارض هي أحد مكونات الخط الحديدي وهي عبارة عن عناصر تُلقى بشكل متعارض مع القضبان التي تستند عليها. تثبت العوارض في البلاست وتنقل الحمولات من القضبان إلى البلاست.

2-3-1- وظائف العارضة:

1- تحافظ على الاتساع المناسب للخط الحديدي.

2- تحافظ على المستوى المناسب للقضبان (في التقاطعات، والتفريعات ...).

3- تؤمن وسط مرن بين القضبان والبلاست.

4- تؤمن ميلاً عرضياً للقضبان.

5- تعمل على توزيع الحمولة من القضبان إلى البلاست الذي تستند إليه في الخط أو إلى الجوائز في حالة الجسور.

6- تؤمن المستوى المناسب للقضبان في الاستقامة والارتفاع الإضافي في المنحنيات.

7- تعدّ عنصر يزيد من استقرار الخط ككل.

2-3-2- متطلبات العوارض:

لتحقيق الأهداف السابقة الذكر فإن العوارض يجب أن تمتلك الخصائص التالية:

1- يجب أن تكون العوارض اقتصادية. أي أن التكلفة البدائية وتكاليف الصيانة يجب أن تكون قليلة ما أمكن.

2- سهولة التعامل مع العوارض وسهولة ضبطها أثناء عمليات الصيانة (رفع، وضع ودك تحتها ..) وسهولة التخلص منها واستبدالها.

3- يجب أن يكون وزن العوارض ليس ثقيلاً جداً ولا مفرط في الخفة. أي يجب أن يكون وزنها متوسطاً.

4- يجب أن يؤمن تصميم العارضة سهولة ضبط الاتساع ومحور الخط والمستوى والمحافظة عليهم.

5- يجب أن تكون منطقة تحميل العارضة (مساحة التحميل) أسفل قاعدة القضيب وأعلى طبقة البلاست كافية لتقاوم كسر قاعدة القضيب وكسر طبقة البلاست (حبات البحص) تحت العارضة.

6- يجب أن يراعي تصميم العارضة والتباعد بين العوارض إمكانية رفع أو استبدال طبقة البلاست.

7- يجب أن تكون العوارض ذات قدرة على تحمل الاهتزازات الناشئة عن الحمولات الثقيلة لحركة القطارات عالية السرعة.

8- يجب أن يأخذ تصميم العوارض في الاعتبار عدم تأذي العارضة أثناء دك البلاست.

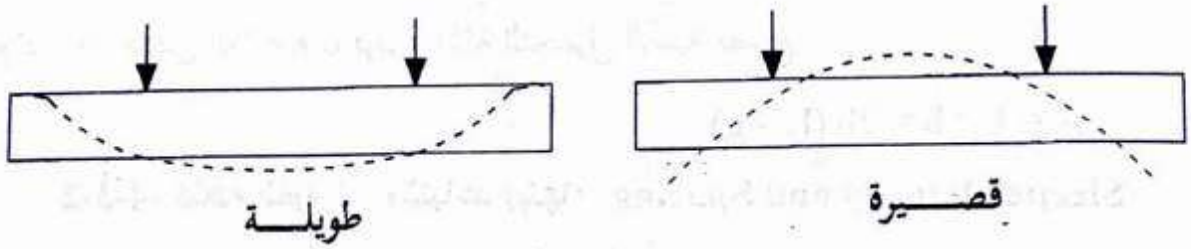
9- يجب أن يؤمن العزل الكهربائي لها عن القضبان خلال دارات الخط.

10- يجب أن يكون تصميم العوارض بحيث لا تنجرف بسهولة نتيجة مرور القطارات المتحركة (خاصةً في العارضة الصلبة المعدنية ذات النهايات الدائرية إذا لم تؤخذ الحيطة اللازمة).

2-3-3- أبعاد العوارض:

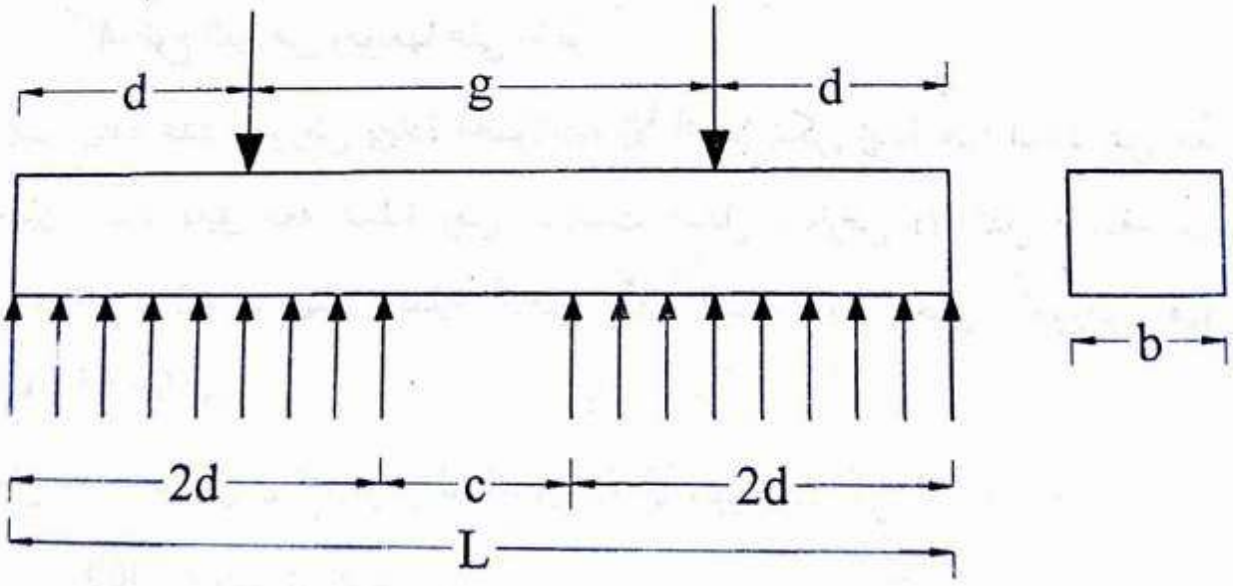
لاختيار مقاسات مقطع العارضة فإن العوامل الستاتيكية ليس لها دور كبير، مقارنةً بالعوامل الخاصة بربط القضيب بالعارضة، المقطع الاقتصادي بالنسبة لشكل جذع الشجرة في العوارض الخشبية وأقصى مدة لبقاء العوارض في السكة.

أما بالنسبة لطول العارضة فإنه يحدد من واقع تحميلها على طبقة البلاست. بحيث تحافظ على وضع حافات السير في مكانها التصميمي. فلا قصيرة بالدرجة التي تجعل المسافة بين حافات السير تتسع (تحدب) ولا طويلة بالدرجة التي تجعل المسافة بين حافات السير تضيق (تقعر)، الشكل (2-5).



الشكل (2-5) تحديد طول العارضة

يجب أن تمر محصلة الضغط رأسياً في المحور الرأسي لمقطع كل قضيب. وجرت العادة أن يترك وسط العارضة ولمسافة (c) من دون دك، الشكل (2-6). وهذه المسافة تساوي (2g – L).



الشكل (2-6) طول المنطقة المحملة تحت العارضة.

g: المسافة بين محاور القضبان (اتساع السكة + عرض تاج القضيب)

L : طول العارضة.

ونستنتج من الشكل السابق:

لدينا:

$$L - g = 2d \Rightarrow 4d = 2L - 2g$$

$$c = L - 4d = L - (2L - 2g) = 2g - L$$

بشكلٍ عام فإن الطول الكلي لمنطقة التحميل :

$$L_1 = 4d = 2(L - g)$$

وإذا كان عرض العارضة b فإن منطقة التحميل الكلية تصبح:

$$A = L_1 \times b = 2b\,(L - g)$$

2-3-4- كثافة العوارض والتباعد بينها: Sleeper Density and Spacing

تتوقف المسافة بين محاور العوارض على:

1- مقطع القضيب المستخدم.

2- حمولات المحاور وسرعة القطارات.

3- نوع البلاست.

4- نوع العوارض وموقعها على الخط.

يجب زيادة عدد العوارض بزيادة الحمولات، إلاَّ أنه لا يمكن زيادة هذا العدد عن حدٍّ معيَّن بحيث يعيق معه عملية رص البلاست أسفل العوارض (لا تقل المسافة عن (25 – 30 cm) لتسهيل عملية الرص. أما التباعد بين محاور العوارض فهو (60 – 65 cm).

يبلغ عدد العوارض في الكيلومتر الواحد في سكك سورية كما يلي:

1400 عارضة في المحطات.

1600 عارضة في الخطوط الرئيسية.

1840 عارضة في المنحنيات التي يقل نصف قطرها عن 600 m.

ويعبَّر عن كثافة العوارض بطريقة أخرى :

عدد العوارض تحت القضيب يساوي (n + x) حيث :

n : طول القضيب.

x : عامل يعتمد على عدة مؤثرات منها: مقطع القضيب، الحمولات ....

ويبيّن الجدول (2-3) عدد العوارض تحت القضيب لعدد من البلدان:

الجدول (2-3): عدد العوارض تبعاً للعلاقة (n + x)

البلد	عدد العوارض تحت القضيب
بريطانيا	n + 4
الهند	n + 3 → n + 6
أمريكا	n + 9 → n + 11

ويعود العدد الكبير من العوارض في أمريكا إلى حمولات المحاور الثقيلة جداً.

2-3-5- أنواع العوارض:

يمكن أن تصنف العوارض اعتماداً على المواد المستخدمة في تصنيعها كما يلي:

1- العوارض الخشبية.

2- العوارض المعدنية.

3- العوارض الخرسانية: آ- العوارض الخرسانية المسلحة.

ب- العوارض الخرسانية المسبقة الإجهاد.

2-3-5-1- العوارض الخشبية: Wooden Sleepers

بشكلٍ عام تحقق العوارض الخشبية معظم متطلبات العارضة المثالية. وتستخدم في سورية على التقاطعات والتفريعات وفوق الجسور المعدنية ويتعلق عمرها بمدى:

1- مقاومتها للتآكل والاهتراء.

2- هجوم الحشرات والفطريات.

3- كفاءة الخشب المستخدم.

وتتميز بأنها:

1- تصميمها وشكلها بسيط.

2- مقاومة للاهتزازات الناشئة عن الأحمال الثقيلة وبالتالي تخفض من الضجة.

3- سهلة المد والرفع والدك أثناء الصيانة.

4- مناسبة لكافة أنواع البلاست.

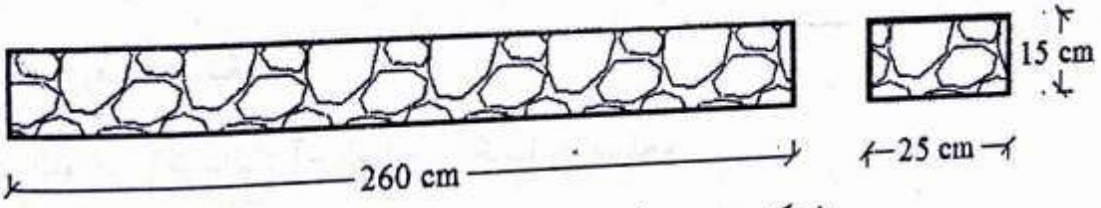
5- مفضلة لعزلها الكهربي.

أما عيوبها فهي:

1- تتعرض العوارض الخشبية إلى التآكل وافتراس الحشرات والفطريات والتشققات واتساع مكان تثبيت البراغي.

2- عمرها قصير بالمقارنة مع الأنواع الأخرى من العوارض (12-15 year).

3- تصنع العوارض الخشبية من أخشاب قاسية وجيدة مثل الصنوبر القاسي، الزان، أشجار السنديان، الأورو الأوروبي، الجراح الأسترالي، ويبين الشكل (2-7) الأبعاد الهندسية لعارضة خشبية.



الشكل (2-7) الأبعاد الهندسية لعارضة خشبية

2-5-3-2- العوارض الخرسانية: Concrete Sleepers

بدأت المحاولات الأولى لتصنيع العوارض الخرسانية عام 1942. ومع تقدم صناعة الخرسانة الجاهزة المسبقة الإجهاد وارتفاع أسعار الخشب وخصوصاً في البلدان التي لا

تمتلك غابات، وتحسين الطرق الميكانيكية لتركيب وصيانة السكة أمكن الوصول إلى عوارض اقتصادية لا تقل في أدائها لوظيفتها عن العارضة الخشبية. وبشكل عام فإن العوارض الخرسانية نوعين:

1- العوارض الخرسانية المسلحة Reinforced concrete sleepers

2- العوارض الخرسانية المسبقة الإجهاد Pre – stressed concrete sleepers

أثبتت التجارب أن الخرسانة مادة مثالية للعوارض للأسباب التالية :

آ- مصنوعة من مادة متجانسة وقوية، ب- غير قابلة للتأثر بالرطوبة، ج- غير خاضعة للتأثير الكيميائي للجو.

ونتيجة الأبحاث تمَّ التوصُّل إلى شكل وقياسات سهلة لهذه العوارض لمقاومة الإجهادات المتأتية عن طريق الحركة السريعة والحمولات الثقيلة.

ميزات العوارض الخرسانية :

1- العوارض الخرسانية غير عرضة للاهتراء وفتك الحشرات والفطريات.

2- عمرها بالنسبة لباقي الأنواع هو الأكبر، حيث يمكن أن يصل (40-60 year) تحت تأثير الظروف الطبيعية.

3- لا تتأثر بالرطوبة ولا تتفاعل كيميائياً مع البلاست أو الأملاح الموجودة في الطبقات الدنيا.

4- غير صعبة العزل الكهربائي.

5- الوزن المرتفع لهذه العوارض يساعد في تقليل صيانة الوصلات وذلك من خلال إمكانية استخدام قضبان ملحومة طويلة، ويعطي استقرار أكبر للخط ومقاومة أفضل ضد الارتفاع الحراري.

6- معامل مرونة العوارض الخرسانية عالي ولذلك فهي تقاوم الإجهادات المتولدة عن طريق حركة المرور الثقيلة والسريعة. وفي الوقت ذاته فإن الإجهادات في العوارض والقضبان تقل.

مساوئ العوارض الخرسانية:

1- وزن هذه العوارض يعادل (2.5-3) مرات وزن العارضة الخشبية لذا نحتاج إلى معدات ميكانيكية للتعامل معها.

2- تحتاج لتجهيزات أكثر من العوارض الخشبية من أجل تثبيت القضبان عليها.

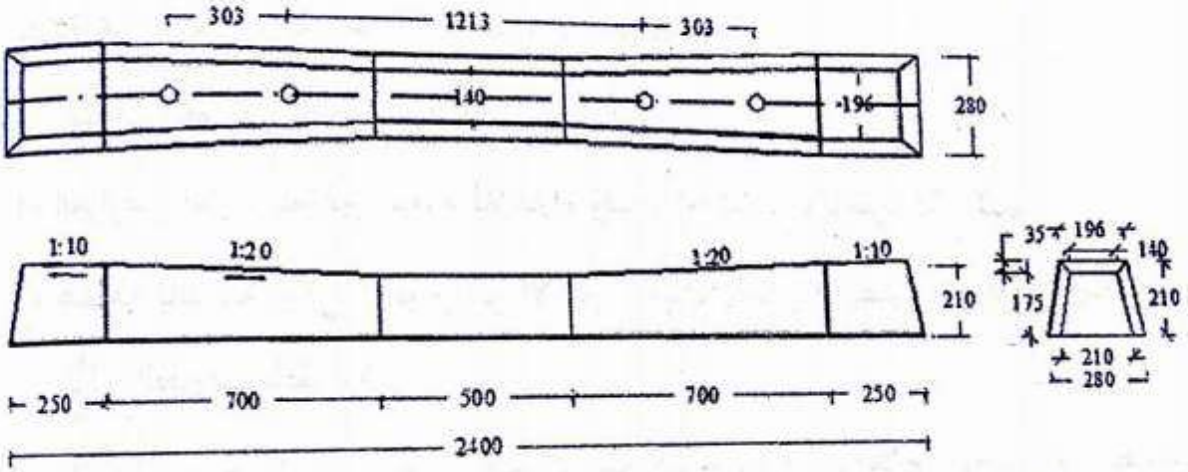
3- عرضة لكي تتضرر حوافها السفلى نتيجة استخدام المعدات، لدك البلاست.

أنواعها:

أ- عارضة خرسانية ذات قطعة واحدة.

ب- عارضة خرسانية ذات قطعتين.

أ- العارضة ذات القطعة الواحدة، الشكل (2-8) :

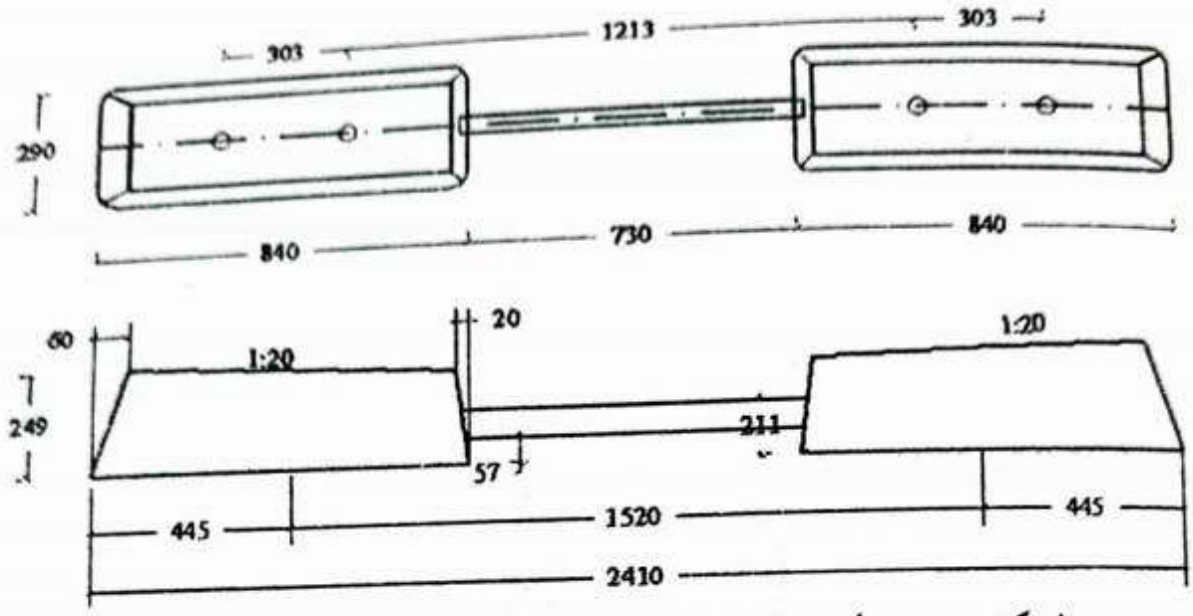


الشكل (2-8) الأبعاد الهندسية لعارضة خرسانية تتكون من قطعة واحدة (mm).

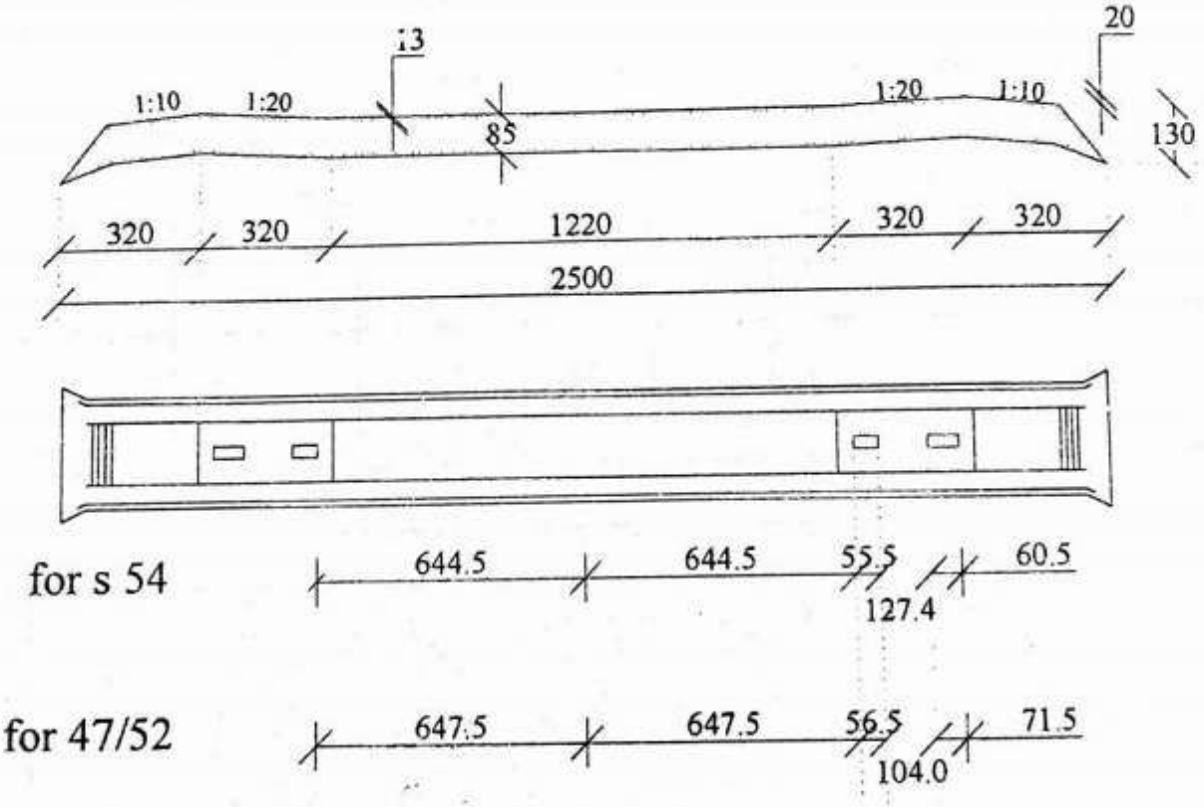
ب- العوارض ذات القطعتين، الشكل (2-9):

2-3-5-3- العوارض المعدنية:

وهي الأقل استخداماً حالياً وذلك لصعوبة العزل الكهربائي لها. إذ إن الإشارات في الخطوط الحديدية تعتمد على تيار كهربائي بحيث يكون قضيبا الخط معزولين كهربائياً عن بعضهما البعض. ويبين الشكل (2-10) المسقط الجبهي والمسقط الأفقي لعارضة معدنية. ويلاحظ في المسقط الأفقي اختلافاً في الأبعاد تبعاً لنوع القضيب المستخدم.



الشكل (2-9) الأبعاد الهندسية لعارضة خرسانية تتكون من قطعتين (mm).



الشكل (2-10) المسقط الأفقي والجبهي لعارضة معدنية.

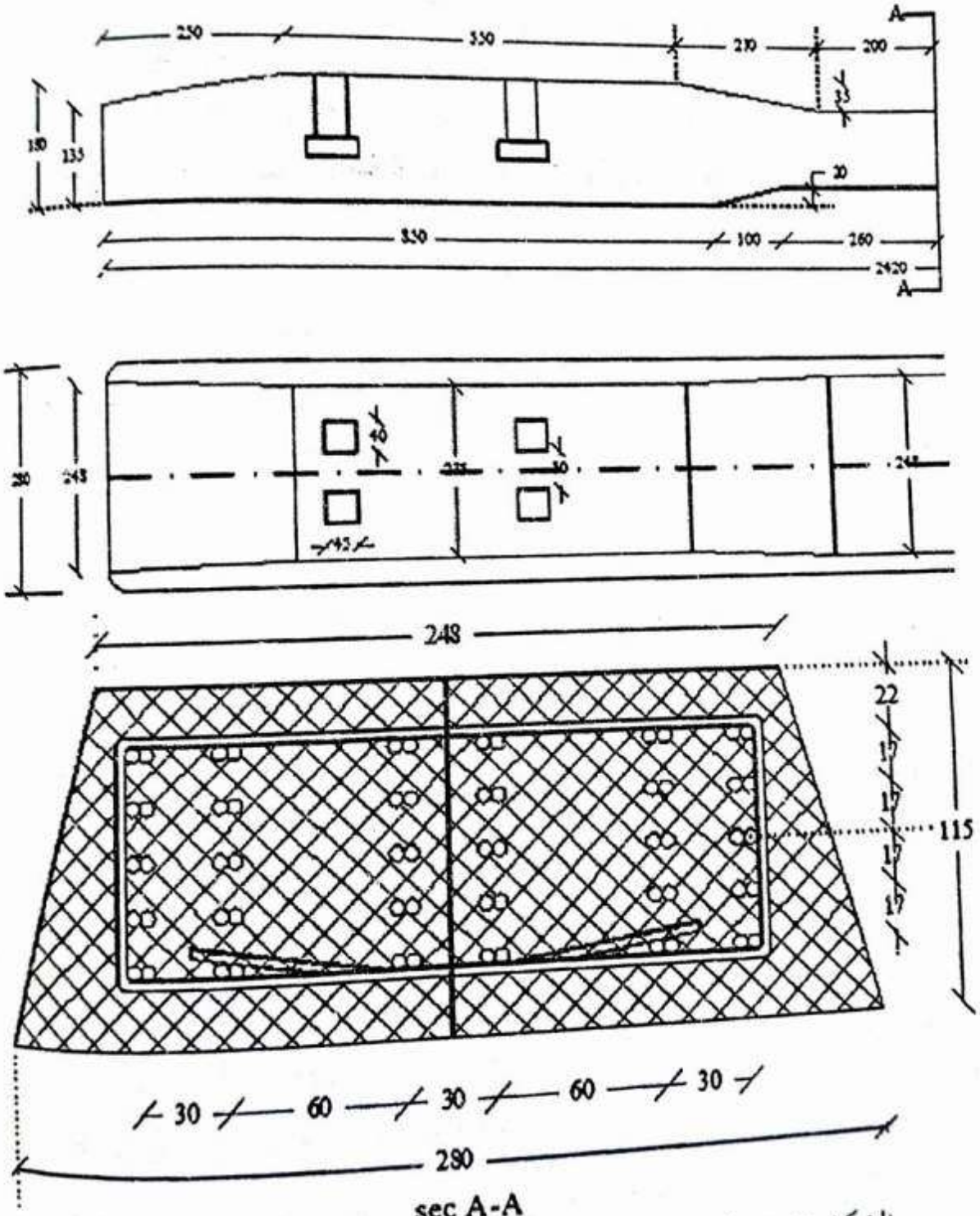
2-3-5-4- العوارض المسبقة الإجهاد:

كمثال عن هذه العوارض سوف نتناول بالتفصيل العارضة المستخدمة في سورية، حيث تمّ تصنيع هذه العوارض منذ عام (1966)، ونموذج الصنع هنغاري.

هذه العارضة ذات شكل موشوري وسماكتها في المنتصف أقل من الطرفين. المقطع

العرضي في المنتصف بشكل شبه منحرف بأبعاد (280×248×115 mm). يتم سبق الإجهاد فيها بواسطة 48 سلكاً من الفولاذ عالي المقاومة بقطر 3 mm أو (60 سلكاً قطر 2.5 mm) وتتوزع هذه الأسلاك على كامل المقطع. ويتم نقل الضغط إلى البيتون بعد الالتصاق التام بينه وبين فولاذ الأسلاك.

يبلغ طول العارضة (242 cm) ووزنها (237 Kg) وبحجم ($0.1\ m^3$)، الشكل (2-11).



الشكل (2-11) أبعاد العارضة السورية – الهنغارية المسبقة الإجهاد (mm)

تبلغ إجهادات الشد (115 Kg/mm²) مما يحقق قوة ضغط على البيتون بعد جفافه تقدر بـ 35 ton.

خطوات تصنيع العوارض البيتونية (الخرسانية) المسبقة الإجهاد في معمل العوارض في حلب:

1- تجهز مواد الخرسانة من بحص ورمل وإسمنت ومياه بالمقادير المثالية المحددة تماماً حسب التدرج الحبي المحدد الذي يعطي أكبر كثافة ممكنة للخرسانة.

2- تُشدُّ أسلاك التسليح على خمسة قوالب بفاصل (3-4 cm) بين كل قالب وآخر، وبقوة فعلية قدرها 36 ton. وتبقى مشدودة هكذا حتى بعد صب البيتون والتصاقه بها.

3- يصب البيتون في القوالب بعد تجهيزها بالمواد لتأمين الفجوات اللازمة في جسم العارضة لوضع براغي التثبيت فيها لاحقاً، ويتم رج الخرسانة في هذه القوالب رجاً اهتزازياً.

4- تدخل القوالب في فرن المعالجة البخارية للإسراع في تصلب الخرسانة بواسطة البخار الحار بدرجة تصل إلى 80-85° وتبقى في الفرن لمدة (7-8 hours). تتسع الخلية الواحدة من الفرن لخمسين عارضة.

5- يتم إخراج القوالب من الفرن والتحقق من أبعاد مسافات الثقوب بعد تصلب الخرسانة، والكشف الظاهري على الشكل العام الذي أخذته العارضة في القالب قبل إحداث الإجهاد.

6- تزال القوة الخارجية لشد الأسلاك فتهبط الإجهادات قليلاً في الأسلاك وتبقى العارضة مضغوطة بقوة فعلية مقدارها 30-32 ton.

7- يجري قص أسلاك التسليح في الفاصل الموجود بين القوالب وتملأ نهايتي العارضة بالمونة

لتغطية أسلاك التسليح ومنعها من التأكسد.

8- تخرج العوارض من القوالب ويجري تخزينها ورشها بالماء لمدة ثمانية أيام قبل شحنها إلى مركز تجميع سلالم الخطوط الحديدية (سلالم بطول 25 m) المشكّلة من العوارض والقضبان الحديدية المثبتة عليها.

تبلغ إنتاجية خط الإنتاج في المعمل 200 عارضة للوردية الواحدة. ويوجد في المعمل خطا إنتاج يعملان معاً أو كل على حده حسب الحاجة.

رابعاً: البلاست (طبقة المواد الحصوية) Ballast

2-4-1- مقدمة:

البلاست عبارة عن مواد حصوية عادةً ما تكون بشكل حجارة مكسرة أو حصى أو رمال طبيعية أو خبث أفران. توضع وتدك أسفل وحوالي العوارض لنقل الحمولة إلى سطح أساس السكة وفي الوقت نفسه تتيح تصريف المياه عن الخط الحديدي. كما أنها تزود العوارض بأساس مناسب وتقوم بإمساك العوارض في مكانها الصحيح حيث تمنع حركتها نتيجة الدفع الجانبي (دفع جانبي في الاستقامات وقوى الطرد المركزي في المنحنيات) والطولي. وهي بذلك تؤمن الاستقرار الجانبي للخط وتقاوم الزحف.

لو تمَّ مدّ الخط على التربة مباشرةً لغاصت العوارض لأن الضغط المنقول مباشرةً أسفل العوارض أكبر من قيم تحمل التربة مهما كان نوعها ومقاومتها.

2-4-2- الغرض من طبقة البلاست:

إن استخدام طبقة من الحصويات أسفل العوارض يجب أن يحقق الأهداف التالية:

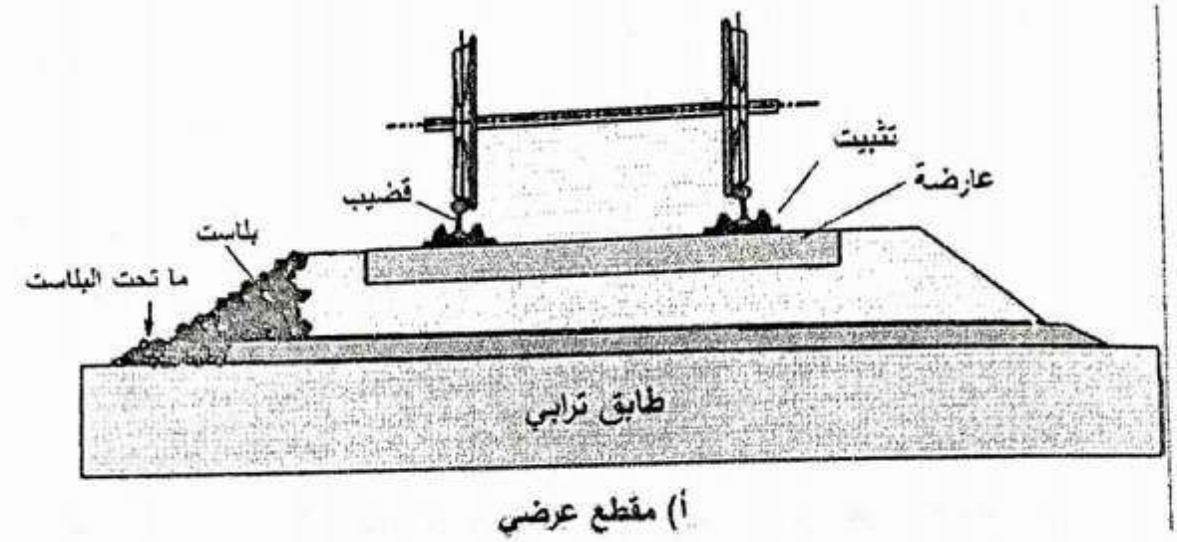
1- نقل الحمولات من العوارض إلى الطابق الترابي وتوزيعه على منطقة أكبر مما يؤدي إلى تقليل قيم الضغوط على سطح أساس السكة، الشكل (2-12).

2- تقوم بتثبيت العوارض في مكانها وتمنع الحركة الطولية والجانبية الناشئة عن الحمولات الديناميكية والاهتزازية للقطارات المتحركة وقوى الطرد المركزي في المنحنيات.

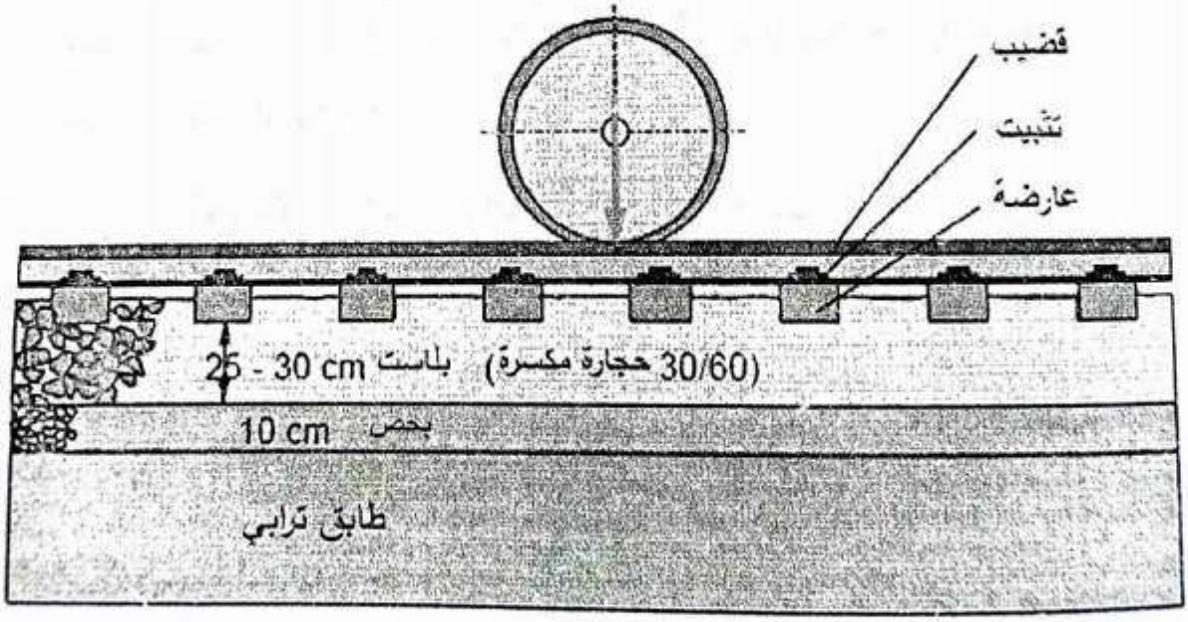
3- تعطي نوع من المرونة للخط.

4- تعدّ وسيلة سهلة للمحافظة على المستويات الصحيحة للخط في الاستقامات والعلو الإضافي في المنحنيات وتصحيح مسار الخط.

5- يؤمن أساس جيد للتصريف بشكل مباشر تحت العوارض ويساعد في حماية الطبقة العليا من الطابق الترابي.



أ) مقطع عرضي



ب) مقطع طولي

الشكل (2-12) توضع البلاست وزاوية توزع الضغوط فيه

2-4-3- متطلبات البلاست الجيد:

لتحقيق الأهداف السابقة الذكر يجب أن تتوافر في طبقة البلاست الخصائص التالية:

1- يجب أن تقاوم الكسر تحت الحمولات الديناميكية.

2- يجب أن تحافظ على خط غير مغبر وخالي من الطين الناتج عن التكسير السطحي لحبيبات البلاست تحت تأثير الحمولات.

3- يجب أن يسمح بتصريف جيد مع أقل غمر ممكن. و يجب أن تكون الفراغات كبيرة بما فيه الكفاية لتمنع ظاهرة الشد الشعري (capillarity).

4- يجب أن يكون البلاست ذو مقاومة للتآكل والتعرية: وسبب التآكل هو احتكاك الحبات فوق بعضها البعض، أما التعرية فهو التشقق والانشطار الناتج عن الاختلاف الحراري والرطوبة والتجمد. تعتبر الحبات عديمة الفجوات هي الأفضل للاستخدام.

5- نظراً لوظيفة البلاست في مقاومة الحركة الجانبية والطولية للعوارض خاصة في المنحنيات، فإن الاحتكاك الداخلي الذي يساهم في الاستقرار يعتمد على مقاس وشكل ونسيج حبات البلاست. ولذلك يجب أن تستخدم الحجارة المكعبية والزاوية وليس الحبات الصفائحية.

6- يجب ألا يكون لمادة البلاست نشاط كيميائي مع القضبان أو مع العوارض.

7- قابلية تشغيل واستخدام طبقة البلاست بالوسائل الميكانيكية المتوفرة.

8- يجب توافر البلاست في مقالع قريبة من الخط لتقليل كلفة التوريد. ويجب أن يفي البلاست بمتطلبات الكفاءة وكمية الحركة والعمر وكلفة الصيانة.

وبإيجاز يجب أن تتوافر في مادة البلاست المواصفات التالية :

القوة والصلابة – قابلية التنظيف – الديمومة – التصريف — الاقتصادية — الاستقرار.

2-4-4- الارتفاع الأدنى لطبقة البلاست:

يحدد ارتفاع طبقة البلاست بعد الأخذ بعين الاعتبار التباعد بين العوارض وزاوية احتكاك مادة البلاست وعرض العارضة.

في حال تأثير محورين متتاليين على عارضتين متجاورتين، الشكل (2-12)، فلكي يتعرض أساس السكة كلياً للضغط فإنه يجب أن تتحقق المعادلة التالية:

$$h > \frac{a-b}{2\,tg\,\theta}$$

حيث: h : ارتفاع البلاست ويؤخذ ابتداءً من أسفل العارضة وحتى سطح الطابق الترابي.

a : التباعد بين العوارض (cm). ويعبر عن المسافة بين محاور العوارض.

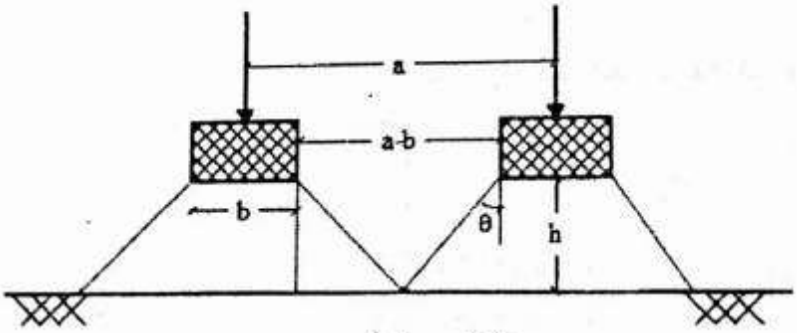
b : عرض العارضة (cm).

θ : زاوية توزع الضغط، وتتراوح بين $(30° - 45°)$.

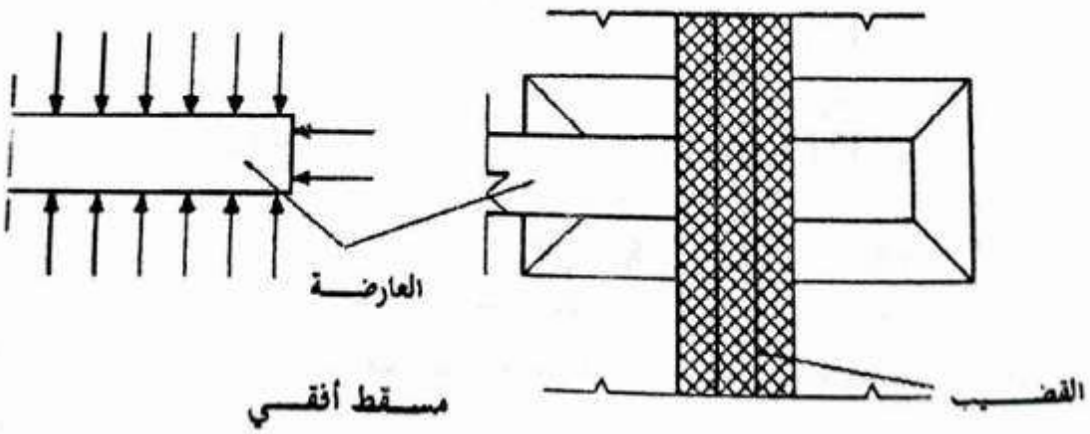
أما في حال كون:

$$h \leq \frac{a-b}{2\,tg\,\theta}$$

فإن ذلك يؤدي إلى وجود مناطق من سطح الطابق الترابي ذات ضغط معدوم، الأمر الذي يساعد على ارتفاع التراب داخل مادة البلاست مما يؤثر في عملها.



مقطع طولي



مسقط أفقي

الشكل (2-13) عمق البلاست تحت العوارض وعلاقته بزاوية توزع الضغط والمسافات بين محاور العوارض.

ويقاس ارتفاع طبقة البلاست ابتداءً من أسفل العارضة ويبين الجدول (2-4) سماكة طبقة البلاست في بعض الدول:

الجدول (2-4) سماكة طبقة البلاست في بعض البلدان.

سورية	25 + 10 = 35	فرنسا وايطاليا	35
روسيا	35 حتى 50	أمريكا	40 حتى 75 (تباعد عوارض)
الهند	20 حتى 25	ألمانيا	30
مصر	30 + 10 = 40	يوغسلافيا	40 – 45

بشكل عام يجب أن نختار مادة البلاست من الأحجار ذات ضغوط الكسر العالية والغير قابلة للتحليل نتيجة لعوامل التعرية (أحجار بركانية). ويعد البازلت أحسنها حيث أنه أكثر صلابة وتبلغ مقاومته للضغط: $2500 - 4000\,Kg/cm^2$.

والبلاست المستخدم في سورية يستخرج من تكسير الأحجار ذات المواصفات المبينة في الجدول (2-5):

الجدول (2-5) مواصفات البلاست المستخدم في سورية.

مادة الحجر المستخدم	عامل الاهتراء %	مقاومة الانكسار Kg/cm^2	امتصاص الماء (% وزناً)
بازلت أصم (الأكثر استخداماً)	14	3200	1.5
بازلت مسامي	23	1750	2.2
انديزيت	13	3315	1.1
دولوميت	8 – 22	1155 – 3450	0.9 – 2.1

أما من ناحية شكل الحبيبات المكونة لمادة البلاست وأحجامها، يستحسن أن تكون ذات أطراف مدببة وتتدرج في الحجم بحيث تتداخل فيما بينها مما يزيد من مقاومة الزحف. يجب أن تكون ليست بالكبيرة بحيث تخلخل السكة وتعوق عملية الدك تحتها

وليست بالصغيرة الأمر الذي يعمل على تقليل معامل الاحتكاك الداخلي بينها وكذلك عدم تهوية السكة وتصريف مياه الأمطار. وقد وجد بالتجربة أن أنسب تدرج حبي هو كالآتي :

1: (30 – 65) mm 90 % وزناً على أن يكون وزن الحبيبات ذات أحجام ما بين (30 – 45) mm لا يزيد عن 40 % ولا يقل عن 25 %.

2: (15 – 30) mm 8 % وزناً على أن لا تتجاوز وزن الحبيبات ذات الأحجام (15 – 25) mm عن 67 %.

3: (8 – 15) mm 2 % وزناً.

وحسب المواصفات المصرية فإن البلاست يجب أن يحقق التدرج الحبي التالي، الجدول (2-6) الذي يوضح النسبة المئوية المارة تبعاً لقطر المنخل (mm):

الجدول (2-6) التدرج الحبي للبلاست وفقا للمواصفات المصرية.

النوع	76.1	64	38.1	25.4	19	12.7	9.51	4.76
تكسير صخور نارية أو تكسير أحجار أو حصويات طبيعية	100	85 – 100	25 – 60	–	0 - 10	0 – 5		
حصويات سليمة	100	95 – 100	25 – 60	–	–	0 – 5		
سن من تكسير صخور نارية أو تكسير أحجار أو تكسير حصى	–	–	100	90 – 100	40 – 75	15 – 35	0 – 15	0 – 5

أما في سورية فيستخدم في الخطوط الحديدية بلاست بأبعاد (25 – 70) mm وهناك اتجاه لاعتماد (25 – 60) mm كما تستخدم الأبعاد الصغيرة كطبقة فاصلة بين الطابق الترابي والبلاست وتدعى طبقة ما تحت البلاست بسماكة 10 mm ويبين الجدول (2-7) الأبعاد القصوى والصغرى لحبات البلاست في بعض الدول :

الجدول (2-7) الأبعاد القصوى والصغرى لحبات البلاست في بعض الدول

فرنسا	(25 – 60) mm
بريطانيا	(25 – 50) mm
روسيا	(25 – 70) mm
الهند	(19 – 51) mm
الولايات المتحدة	(19 – 64) mm
ألمانيا	(30 – 60) mm

2-4-5- أنواع البلاست:

للبلاست نوعين اعتماداً على طبيعة مادة البلاست:

1- المواد الطبيعية:

آ- الحجر المكسر:

ينتج عن تكسير الحجارة الطبيعية المستخرجة من المقالع. يتمتع البلاست الناتج بخصائص الصخور الأصلية المستخرج منها. وللصخور الطبيعية أنواع حسب طريقة التشكل: فالصخور البركانية الكتيمة والكثيفة مثل الغرانيت والبازلت والبورفير وهي صخور صلبة غير قابلة للتفتت أو التشقق ولا تتأثر بالعوامل الخارجية. أما الصخور الرسوبية فتصلح لصنع البلاست الجيد إذا كانت من الصخور المشكلة في الدور الأول. وهذه الصخور رغم قابليتها للتقشر أو التشقق باتجاه مستوي الترسيب فيها إلاَّ أنَّ البلاست الناتج عنها جيد ويقاوم عوامل الطقس الخارجية. وأهم أنواعها الصخور السيليسية مثل الكوارتزيت والغري. أما الكلسية فتتأثر بالمياه ولذلك لا تستعمل إلاَّ الأنواع القاسية منها.

تستعمل في الخطوط الحديدية السورية الجديدة بصورة رئيسية البلاست الناتج عن تكسير الحجارة البازلتية بسبب توفر مصادرها في نقاط مختلفة من البلاد كما ويستخدم الحجر الكلسي الدولوميتي الذي وجد في أواسط القطر.

ب- البحص الطبيعي:

البحص الطبيعي هو عبارة عن حصى مدورة من مجاري الأنهار الحديثة والقديمة. الأولى غالباً ما تكون نظيفة بينما تحتوي الثانية على نسبة من الغضار. والنوع الثاني من البحص يجب تنظيفه قبل استعماله كبلاست لأن احتواءه على نسبة من الغضار يفقده النفاذية. ويسمح عادة باحتواء البحص على نسبة ضئيلة من الرمل لأن هذا الأخير يقلل من حركة عناصره فيما بينها. إن نعومة سطوح البحص الطبيعي تجعله صعب الرص تحت العارضة. وقد تمّ اللجوء إلى تكسيره بغية إيجاد رؤوس وحروف مدببة. إلاّ أن النتائج التي تمّ الحصول عليها لا تعادل بأي حال النتائج التي يعطيها الحجر المكسر القاسي. فضلاً عن أن تنظيف البحص الطبيعي وتكسيره يزيد في الكلفة كثيراً. لذا لا ينصح باستعمال هذا النوع من البلاست على الخطوط التي تسير عليها قطارات سريعة وثقيلة (وزن المحاور 18 ton أو أكثر).

جـ- الرمل :

يحتوي الرمل في أغلب الأحيان على ذرات ترابية تقلل من نفاذيته فضلاً عن أن صغر ذراته يجعله سهل الانجراف بالمياه أو الرياح القوية. لذا لا يستخدم في صنع البلاست إلاّ في الخطوط الفرعية في المحطات أو الخطوط الثانوية جداً. استعمل الرمل كبلاست أولي في الخطوط الجديدة أثناء إنشائها.

2- المواد الصناعية:

تشمل خبث أفران التعدين. وهي عبارة عن الخبث الناتج عن أفران صناعة الحديد والذي يطفو على سطح البوتقة أو يتوضع داخلها ويؤخذ الخبث على ثلاثة أشكال :

آ- الخبث المكسر:

يعطي بلاست جيد يعادل أحسن أنواع البلاست. وينصح باستعماله بعد مدة من استخراجه لكي يتم انطفاء بقايا الكلس الحي الذي قد يحتويه في البداية.

ب- الخبث الحبيبي:

ينتج عن إسالة الخبث عند خروجه من الأفران في الماء البارد. ينسحق الخبث الحبيبي بسهولة ويساعد على نمو النباتات داخل الخط لذلك لا يستعمل إلاَّ في الخطوط الثانوية بسبب رخص ثمنه.

ج- الخبث الناعم:

وهو عبارة عن نواتج تكسير الخبث ولا ينصح باستعماله إلاَّ في الخطوط الفرعية. ذلك أنه قد يتماسك مع الوقت فيؤلف كتلاً صلبة.

وبذلك يمكن تصنيف البلاست حسب جودته كما يلي:

1) الحجر المكسر: ويدخل فيه بالترتيب: البورفير والبازلت والغرانيت- الغري القاسي والكوارتزيت - الحجر الكلسي القاسي.

2) الخبث المكسر: ويشمل خبث أفران التعدين.

3) البحص الطبيعي: ويشمل البحص النهري المغسول — البحص الطبيعي أو المكسر — البحص الناتج عن المقالع.

4) المواد الأخرى: ويشمل الخبث الحبيبي والرمل.

2-4-6- تجارب البلاست :

يخضع البلاست الناتج عن الأحجار إلى تجارب عديدة تحدد درجة جودته استناداً إلى مواصفات المؤسسات المستخدمة له وتشتمل هذه التجارب على :

1- تجربة المقاومة ضد الضغط على عينات نظامية مشكّلة من الصخر الأساسي الأم.

2- تجربة الصدم.

3- تجربة الوزن النوعي بعد تنشيفه لمدة ثلاث ساعات بدرجة 50° .

4- تحديد درجة امتصاصه للرطوبة عن طريق تغطيسه بالماء وإعادة وزنه.

5- تجربة التفتيت بالصقيع وذلك بتغطيسه بالماء ثم تجميد الماء وإذابة الجليد 25 مرة

متتالية.

6- تجربة الاهتراء بواسطة جهاز لوس أنجلس.

7- فحص التشكل الطبيعي لمعرفة أصل الصخور التي ينتمي إليها.

2-4-7- جودة البلاست:

تعرف جودة البلاست بعامل جودة يحدد مقاومة البلاست للاهتراء بالاحتكاك وبالصدم المعتدل. تؤخذ عينة وزنها 5 Kg من العناصر المتوسطة الحجم وتوضع في جهاز لوس أنجلس وتطبق عليها 10000 دورة خلال خمس ساعات ثم يوضع ناتج الاهتراء في منخل ذي ثقوب قطر 1.6 mm وتوزن الكمية المارة من المنخل.

واستناداً إلى الأسس المعتمدة فإن:

$$Q = \frac{400}{W}$$

حيث: Q عامل الجودة.

W وزن المواد المارة بالمنخل بالغرامات لكل كغ من العينة.

للحجر الكلسي $Q = 12$

للحجر القاسي $Q = 14$

2-4-8- اختيار البلاست:

يتم اختيار البلاست وأبعاده استناداً لعناصر عديدة أهمها :

1- متطلبات النقل على الخط من حيث وزن المحاور وسرعة القطارات وحجم النقل الإجمالي. فحيث تسير المحاور الثقيلة بسرعات عالية يجب وضع بلاست جيد وسميك.

2- عدم ثبات البناء السفلي حيث يمكن أن يضيع البلاست ويتوجب إضافة كميات جديدة بصورة مستمرة. وفي هذه الحالة يمكن استعمال مواد أقل كلفة مثل الرماد حتى يثبت البناء السفلي.

3- توفر المواد اللازمة لصنع البلاست من حيث الجودة والكمية.

4- كلفة استخراج وصنع البلاست ونقله إلى مكان استعماله حسب المواد المتوفرة في المنطقة.

ولهذا لا بد من دراسة كافة مصادر البلاست الطبيعي والمصنوع ودراسة الشروط الاقتصادية المحلية حتى يمكن على ضوء ذلك اتخاذ قرار نهائي بشأن البلاست من الوجهتين الفنية والاقتصادية.

2-4-9- معامل البلاست:

يعرف البلاست بمعامل يعبر عن مرونته باعتبارها من أهم عناصر الجودة المطلوب توفرها فيه ويدعى "معامل البلاست".

لنفرض P الضغط المطبق على سطح البلاست بواسطة العارضة.

ولنفرض Y الهبوط المرن الذي تعانيه العارضة من جراء هذا الضغط فيمكننا أن نكتب علاقة Winkler كما يلي:

$$P = C \times Y$$

حيث C معامل البلاست أو:

$$C = \frac{P}{Y} \quad \left(\frac{kg/cm^2}{cm} \right) \; kg/cm^3$$

ويمكن حينئذٍ تعريف معامل البلاست كما يلي:

معامل البلاست عبارة عن الضغط kg/cm^2 اللازم تطبيقه على سطح البلاست لإحداث هبوط مرن في العارضة قدره $1\,cm$. ونرى من هذا التعريف أن الهبوط المرن للعارضة هو الانضغاط المرن للبلاست من جراء مرور الأثقال عليه.

وقد أجريت تجارب عديدة لتحديد قيمة معامل البلاست حسب نوعيته فأعطت القيم التالية :

$C=3$ من أجل بلاست مؤلف من البحص الطبيعي المفروش مباشرة على الأساس.

$C=8$ من أجل بلاست مؤلف من طبقة من البحص الطبيعي فوق طبقة سفلية من الحجر المكسر.

$C=18$ من أجل بلاست مؤلف من طبقة من الحجر المكسر فوق طبقة أخرى من الحجر المكسر.

وربط اليابانيون قيمة معامل البلاست بجودة الإنشاء نفسه فأعطوا القيم التالية:

$C=5$ من أجل أساس خط رديء. $C=13$ من أجل أساس خط جيد.

إن تعريف معامل البلاست يستند إلى فرضية أساسية وهي كون أساس الخط ثابت وغير قابل للانضغاط وبالتالي لا يتغير منسوبه وهذا مخالف للواقع لأن الهبوط الظاهري يتألف من الانضغاط المرن للبلاست ومن الهبوط المرن لأساس الخط. وقيمة انضغاط البلاست هي التي تدخل في الحساب.

2-4-10- المحافظة على جودة البلاست:

إن أهم العوامل التي تقلل من جودة البلاست وتسبب اتساخه ينتج عن:

1- الرماد الذي تنشره القاطرات البخارية والتي هي نادرة الاستخدام الآن.

2- النباتات المتفسخة.

3- المواد الترابية التي تحملها الرياح والمواد المختلفة التي تسقط من الشاحنات أو يرميها الركاب من عرباتهم.

4- المواد الناعمة التي تنتج من تآكل البلاست وتفتته تحت تأثير الحمولات الخارجية أو آلات الرص.

ولتلافي حدوث هذه الأمور يجب :

1- تجهيز القاطرات البخارية بصناديق رماد كتيمة، إن استخدمت قاطرات كهذه.

2- تعشيب الخط بصورة مستمرة.

3- تنظيف البلاست بصورة مستمرة.

خامساً: نظام التثبيت والربط Rail fixture and fastening systems

2-5-1- الغرض من نظام التثبيت:

يستخدم نظام التثبيت للحفاظ على القضبان في وضعها المناسب. كما يستخدم لوضع نقاط التفرع والتقاطعات بدقة. حيث يتم تثبيت القضبان بالعوارض بواسطة نظام التثبيت.

بشكل عام إن أي نظام تثبيت جيد يجب أن يحتوي على الميزات التالية :

1- تثبيت القضيب في مكانه الصحيح ونقل القوى المؤثرة عليه إلى العوارض.

2- الحفاظ على اتساع السكة بدقة.

3- تقييد الحركة الطولية (الزحف) للقضيب.

4- توفير قوة ارتكاز مناسب على القضيب.

5- يجب أن تكون مكونات نظام التثبيت بسيطة وقليلة العدد تسمح بسهولة إزالة القضيب وإعادة تركيبه.

6- يجب أن يكون نظام التثبيت صالحاً للاستخدام مع جميع أنواع العوارض.

7- تحقيق الصيانة الدورية على فترات طويلة.

8- يمكن إعادة استخدامها.

9- يجب أن يكون نظام التثبيت صالحاً للتركيب والفك يدوياً بأدوات بسيطة.

10- أن يكون اقتصادياً قدر المستطاع.

2-5-2- أنواع التثبيت:

هناك نوعين لتثبيت القضبان بالعوارض وهما:

أ- التثبيت غير المباشر:

وفي هذا النوع يتم تثبيت القضبان مع الوسائد بعناصر منفردة عن تلك التي تثبت بها الوسائد مع العوارض.

ب- تثبيت مباشر:

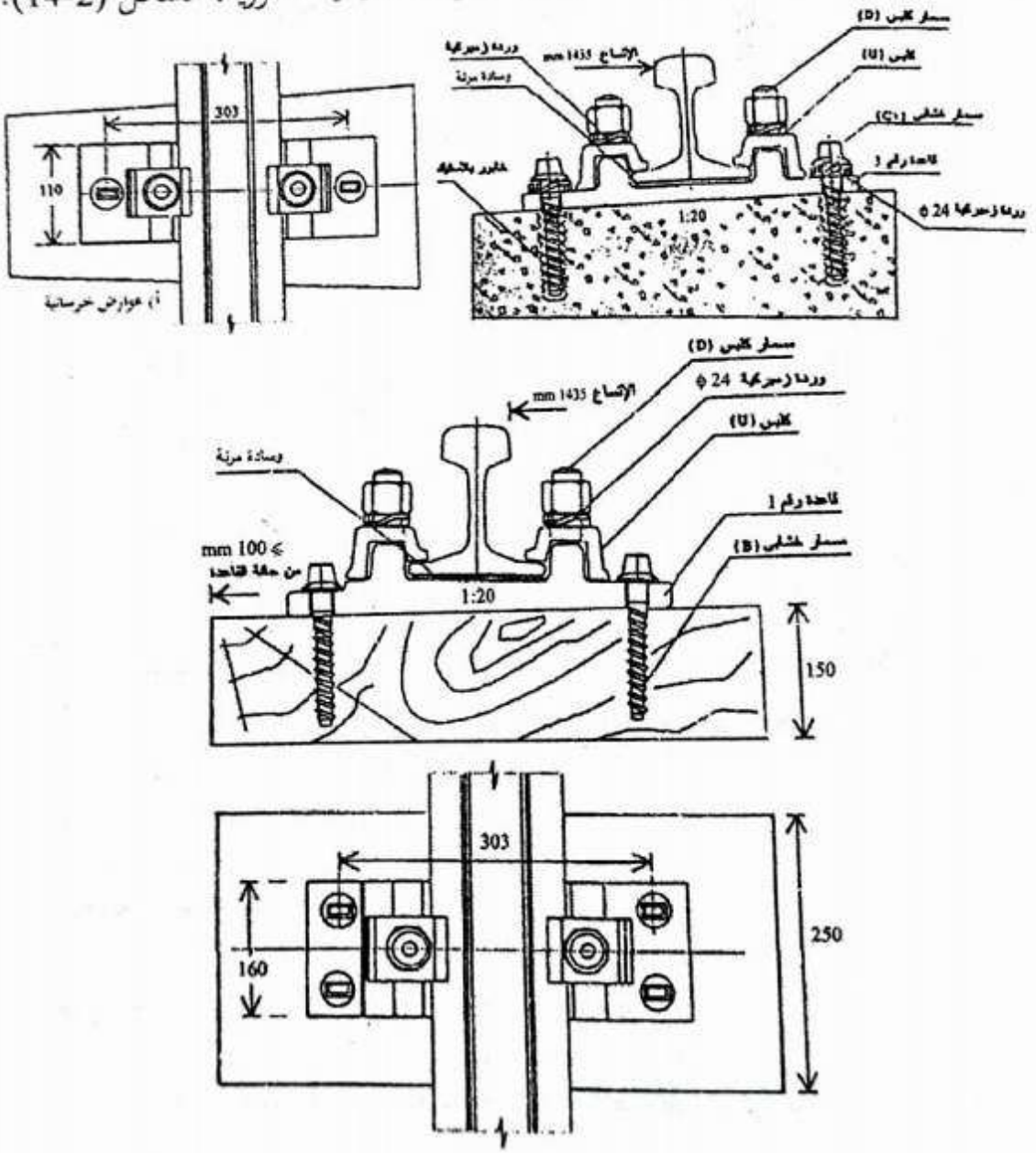
وفيه يتم تثبيت القضبان والوسائد مع العوارض بعناصر مشتركة.

وهناك نوع ثالث من التثبيت يقع بين النوعين السابقين ويسمى التثبيت المباشر الجزئي.

2-5-3- نماذج لنظم التثبيت:

أ- نظام التثبيت K :

وهو أهم نوع من المثبّتات الغير مباشرة المستخدم في جميع أنواع العوارض (خشبية، معدنية، خرسانية). ويستخدم في الخطوط الحديدية السورية، الشكل (2-14).

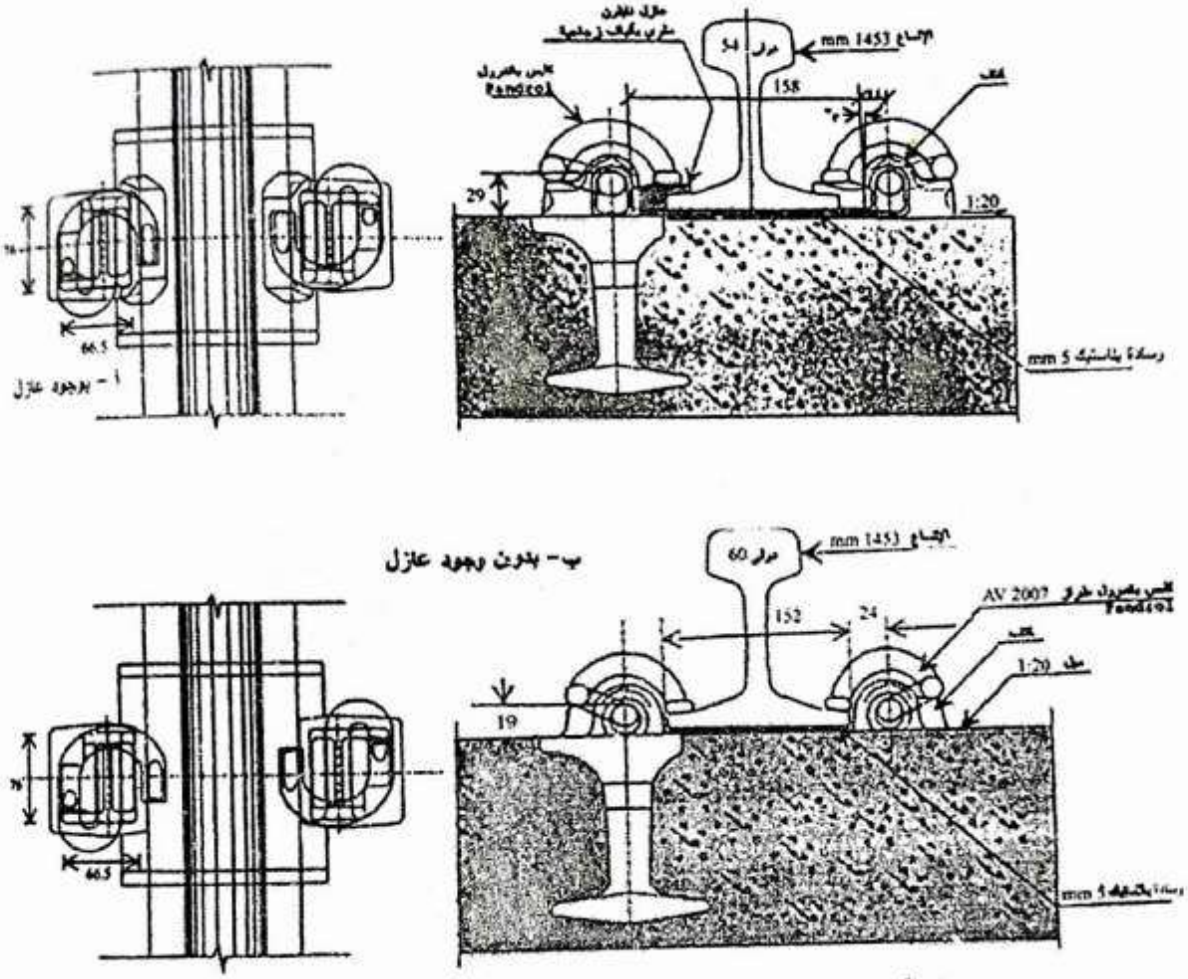


ب) عوارض خشبية

الشكل (2-14) نموذج تثبيت k على العوارض الخرسانية والخشبية.

ب- نظام تثبيت باندرول:

وهذا النوع من التثبيت هو ذو استخدام عالمي ويعدّ تثبيت مرن حيث يمكن أن يستخدم مع جميع أنواع العوارض مع ترتيبات خاصة، الشكل (2-15). ويحتوي على أغلب ميزات نظام التثبيت الجيد .



الشكل (2-15) نموذج باندرول على العوارض الخرسانية.

ولكن له بعض العيوب وهي:

1- صعوبة ضبط الاتساع.

2- ليس مضمون البقاء في مكانه نتيجة سهولة نزعه.

3- قد ينتج فراغ عند قاعدة القضيب نتيجة للضغط الذي تتعرض له القاعدة مما قد يحرك الكلبس.

4- يوجد أكثر من 70000 Km من الخطوط الحديدية التي تستخدم هذا النظام وتسير

قطارات بسرعة أكبر من 200 Km/h في بريطانيا على خطوط يستخدم فيها هذا النظام وحمولاتها المحورية هي 25 ton.

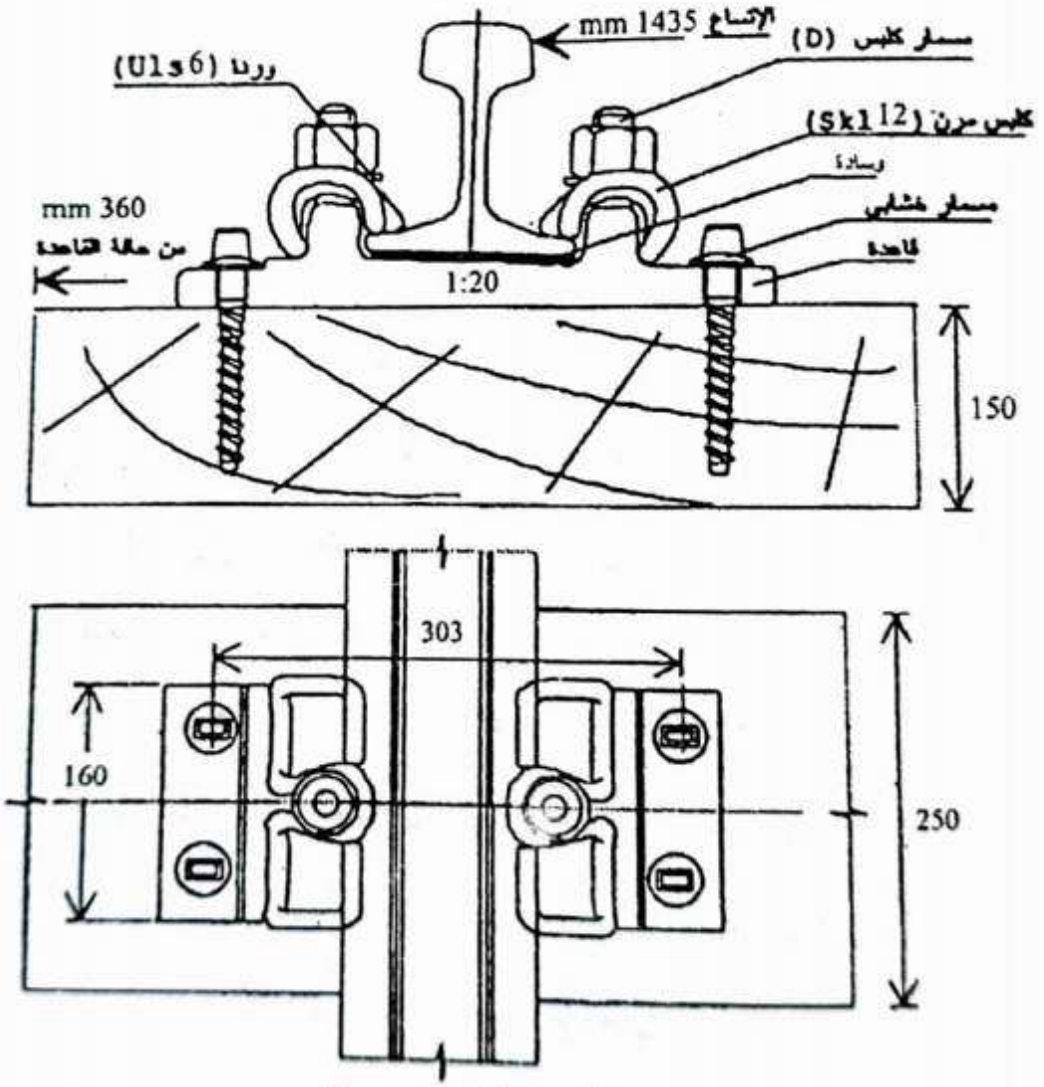
جـ - نظام تثبيت فوسلو:

ولهذا النظام نوعان من التثبيت :

- تثبيت مباشر: وهو مستخدم مع العوارض الخشبية والخرسانية أو العوارض المستمرة.

- تثبيت غير مباشر: ويستخدم مع العوارض الخشبية، الشكل (2-16).

وفي الشكلين من التثبيت تكون قوة الشد على الكلبس (1300–1150 Kg) على التوالي ومقدار الانحناء الموافق هو 14.5 mm.



جميع الأبعاد بالملليمتر بدون مقياس رسم

الشكل (2-16) نموذج فوسلو مع العوارض الخشبية.

سادساً: الجبائر:

الجبائر (البلنجات) وهي عبارة عن ألواح حديدية تشكّل بحيث يتم الحفاظ على حافة المسير والسطح العلوي للقضيب مستمرين عند الوصلة. كما تكفل الاحتفاظ بمتانة المقطع ومقاومته للقوى والإجهادات التي يتعرض لها.

وللجبائر عدّة أشكال يتوقف استعمال إحداها على نوع القضبان ووزن المحور والسرعة القصوى على الخط ونوع الوصلة.

2-6-1- متطلبات الجبائر:

1- تتوضع وتدعم أسفل التاج وأعلى القاعدة.

2- يجب أن تسمح بحركة حرة للقضبان من أجل التمدد والتقلص (لذلك فهي لا تلامس جسد القضيب).

3- يجب أن تكون ذات مقطع بحيث تتحمل الإجهادات الناشئة عن العزوم الرأسية والجانبية دون أن تتضرر وأن تمتص الاهتزازات الناشئة عن قفز العجلات فوق فاصل التمدد.

4- يجب أن تحافظ على الوضع الجانبي للقضبان في الخط والوضع العمودي كمستوي.

5- يجب أن تكون مقاومة للتآكل الناتج من الصدم أو التمدد والتقلص.

2-6-2- أنواع الوصلات:

للوصلات الأنواع التالية:

1- وصلة محملة: ويقع الفاصل فوق عارضة واحدة.

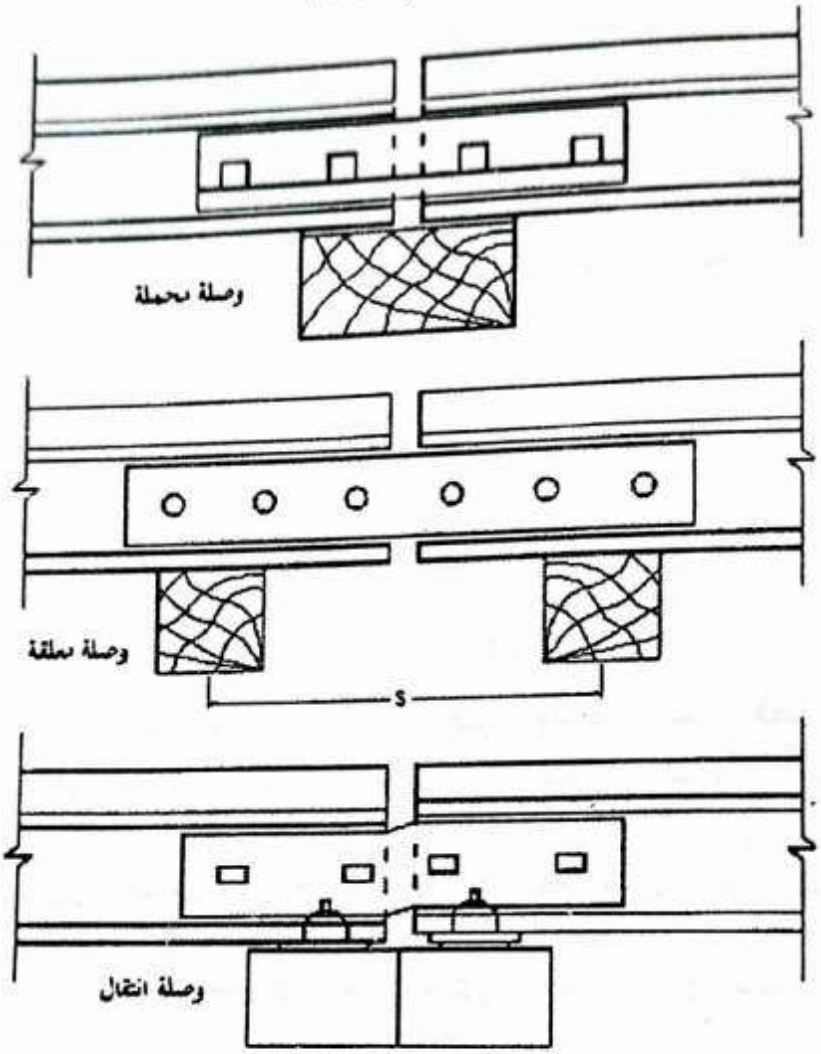
2- وصلة معلقة: ويقع الفاصل بين عارضتين متجاورتين.

3- وصلة معلقة ومحملة: ويكون الفاصل بين عارضتين متجاورتين متقاربتين.

4- وصلة انتقال: من قضبان من نوع معين إلى أخرى.

5- وصلة عازلة: وتستخدم لعزل التيار بين طرفي القضيب.

ويبين الشكل (2-17) بعض أشكال هذه الوصلات.



الشكل (2-17) بعض أنواع الوصلات.

أما أنواع الجبائر فهي كالآتي:

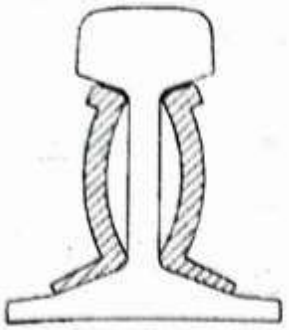
1- جبيرة لوحية.

2- جبيرة ذات شفة.

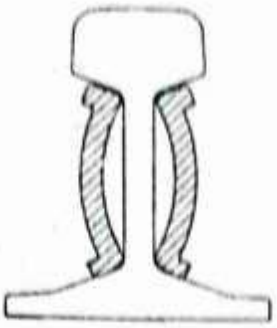
3- جبيرة زاوية.

4- جبيرة زاوية ذات شفة ساقطة.

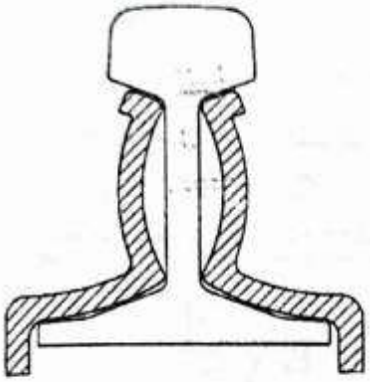
ويبين الشكل (2-18) أشكال هذه الجبائر وأبعاد جبيرة في المسقط الجبهي.



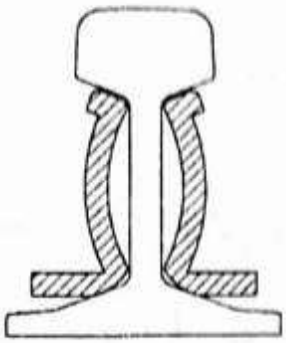
جبيرة ذات شفة كعب



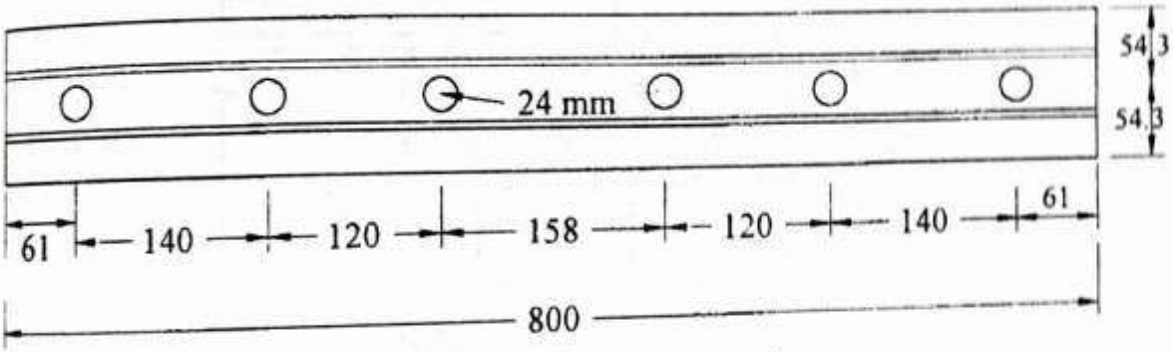
جبيرة لوحية



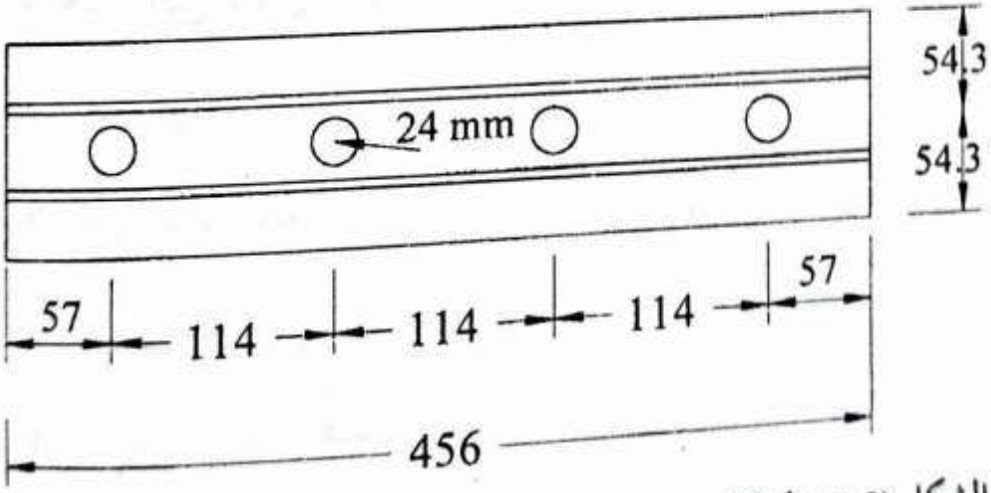
جبيرة زاوية ذات شفة ساقطة



جبيرة زاوية



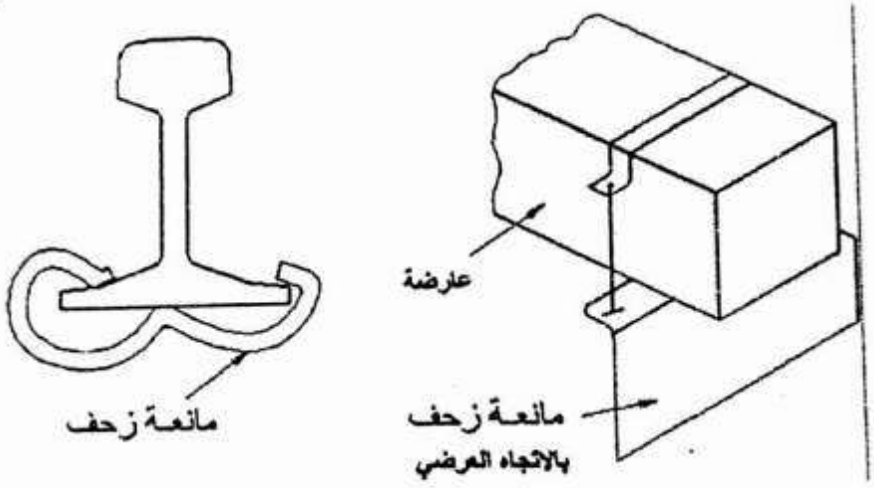
أبعاد جبيرة للقضبان uic 54



الشكل (2-18) أشكال الجبائر وأبعاد شكلين في الجبائر في المسقط الجبهي

2-6-3- مانعات الزحف:

عندما تثبت القضبان بالعوارض بطرق الربط المباشر من دون استعمال كلبسات مرنة أو ورد زمبركية فإن القضبان تزحف على العوارض في الاتجاه الطولي نتيجة لقوى الاحتكاك بين العجلات والقضبان وخصوصاً في الأساسات الرخوة، حيث تتسبب الأخيرة في اعوجاج القضبان مما يساعد العجلات على دفعها إلى الأمام. وهذا الزحف يصبح مقداره كبيراً في السكك التي تتركز عليها الحركة في اتجاه واحد فقط. ولهذا تستعمل مانعات الزحف وهي عبارة عن أربطة من الحديد الصلب تثبت في القضبان أمام العوارض بحيث تكون ملاصقة لها تماماً على السطح المواجه لاتجاه الحركة الشكل (2-19) تؤدي وظيفتها بأن تحول دون زحف القضبان نتيجة وقوف العارضة في طريقها.



الشكل (2-19) يوضح شكلين لمانعات الزحف

وبديهي أنه لا حاجة لمانعات الزحف في السكك ذات التثبيت غير المباشر أو السكك ذات التثبيت المباشر بالكلبسات المرنة أو غير المرنة مع الورد الزمبركية حيث أن مقاومة الزحف بين القضيب والعارضة أكبر منها بكثير من تلك التي بين العارضة ومادة البلاست. ولا تفيد مانعات الزحف في حالة السكك المستندة على مادة بلاست سيئة. كما أنه يوجد موانع للزحف في الاتجاه الجانبي، حيث تزود أطراف العوارض بألواح معدنية ذات سطوح مناسبة (أسفل العوارض) وبذلك تزيد من السطح المقاوم للحركة الجانبية.

الفصل الثالث

التصميم الهندسي للخط

3-1- ضرورات التصميم الهندسي للخط الحديدي:

إنّ أغلب حوادث القطارات تنتج عن الأسباب التالية:

1- عيوب الخط.

2- عيوب العربات.

3- عيوب التشغيل.

إن المهندس المدني معني بشكل أساسي بعيوب الخط، إذ يجب عليه أن يكون مدركاً لهذه العيوب وكيفية إزالتها حتى يمنع حصول الحادثة. ويصمم الخط الحديدي وفقاً للحمولات والسرعات المطلوبة للقطارات وبحيث يوفر متطلبات السلامة والاقتصادية.

ويمكن أن يجنح القطار على الخطوط المستقيمة إذا ما واجه العيوب التالية على الخط:

1- عيوب في مناسيب المقطع العرضي.

2- عيوب الوضعية الأفقية.

3- عيوب الاتساع.

4- الوصلات المنخفضة.

بالإضافة لما سبق فإنه قد تحصل الحادثة نتيجة الأسباب التالية:

1- العلو الإضافي الغير مناسب.

2- نصف قطر المنحني الأفقي الغير مناسب.

3- السرعة الغير مناسبة.

4- عدم تساوي الحمولات على كلا القضيبين.

أما التفريعات والتقاطعات فيمكن أن تحصل عندها الحوادث نتيجة الأسباب التالية:

1- وجود فراغات أكبر من اللازم عند نقاط الوصل.

2- وجود انحرافات في إبرة المفتاح نتيجة نقص الكفاءة في التنسيق بين مكونات المفتاح.

3- التجميع الغير مناسب للتقاطع أو ضعف في ارتباط براغي التقاطع أو الأجنحة مع رأس التقاطع.

4- التآكل الزائد في المفاتيح.

5- عيوب الاتساع وعيوب الفراغات اللازمة لمرور شفة العجلة عند رأس التقاطع.

إذا تمّ تفادي جميع العيوب السابقة الذكر فإننا نستطيع تجنب إمكانية حصول حوادث ناتجة عن عيوب الخط.

في هذا الفصل سوف يكون محور الاهتمام موجهاً على العناصر الآتية:

1- الميل الطولي والميل الطولي المكافئ.

2- سرعة القطارات.

3- المنحنيات.

4- العلو الإضافي.

5- المنحنيات الانتقالية.

6- المنحني الرأسي.

7- مرتقى ومنحدر العلو الإضافي.

8- وضع المنحنيات الأفقية والرأسية بالنسبة لبعضها.

9- الزيادة في الاتساع في المنحنيات الحادة.

10- زيادة المسافة بين محاور السكك المتوازية.

11- المقاطع العرضية.

الفصل الرابع

الإجهادات Stresses

سوف نتناول في هذا الفصل الإجهادات التي تتعرض لها القضبان والعوارض والضغوط التي يتعرض لها البلاست وسطح الطابق الترابي.

4-1- الإجهادات في القضبان: Rail Stresses

تتعرض القضبان في الخط الحديدي إلى الإجهادات التالية:

1- الإجهادات العمودية: وهي عبارة عن إجهادات الانعطاف التي تسببها حمولات عجلات القطار أثناء مرورها على القضبان.

2- الإجهادات الأفقية الجانبية: وتنشأ عند مرور القطار على المنحني الأفقي نتيجة للقوى النابذة المركزية بالإضافة إلى القوى الجانبية في الاستقامات نتيجة الصدم الجانبي لعجلات القطار.

3- الإجهادات الأفقية الطولية: وهي إجهادات تولدها القوى الناشئة بين العجلات المحركة والقضبان عند الإقلاع أو القوى الممتصة من القضبان أثناء عملية التباطؤ بواسطة عملية الفرملة.

4- الإجهادات الحرارية: وهي الإجهادات الناشئة عن تغيرات درجات الحرارة. وتكون هذه الإجهادات إما شادة أو ضاغطة.

[redacted] نهتم فيما يلي بالإجهادات العمودية الناتجة عن تأثير حمولات العجلات. حيث يتم حساب هذه الإجهادات بطرق عدة، منها ما هو تقريبي ومنها ما هو دقيق.

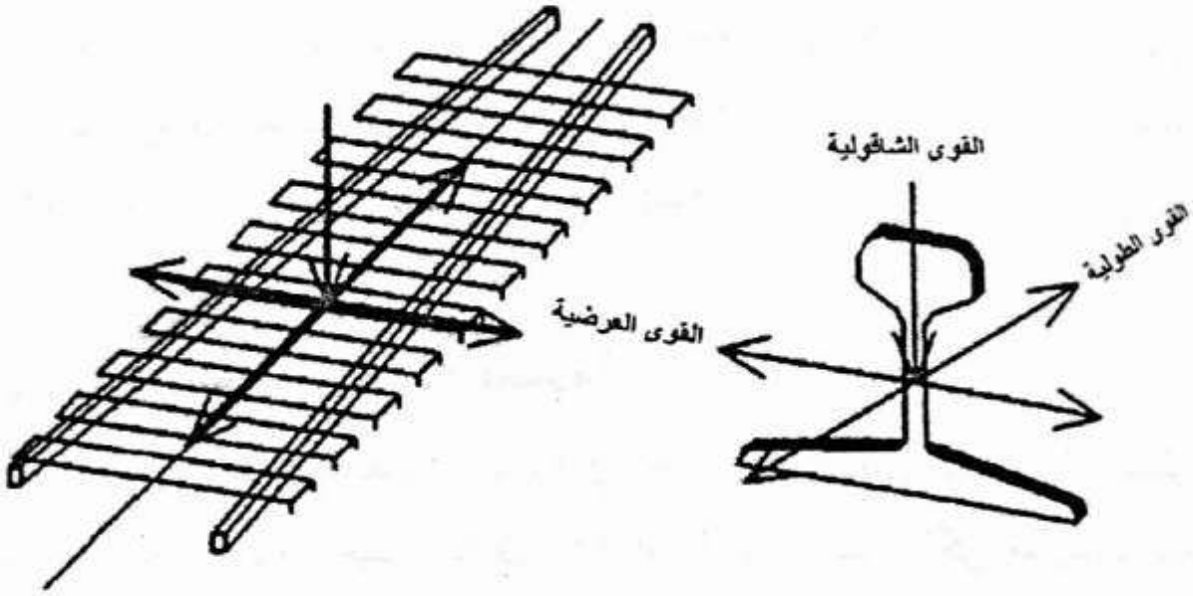
ومن الاعتبارات الهامة للتحميل العمودي: قيمة حمولات المحاور وبالتالي العجلات، عدد المحاور، التأثير الديناميكي نتيجة السرعة التي يتحرك بها القطار وكذلك عدد وتواتر تطبيق الحمولات على مقطع القضيب.

الفصل الخامس

الخطوط الحديدية الملحومة

5-1- أنواع القوى المؤثرة على الخط الحديدي:

نعلم أنه تؤثر على الخط الحديدي مجموعة من القوى: شاقولية وعرضية وطولية كما في الشكل (5-1).



الشكل (5-1)

ومن أهم القوى الطولية القوى الناتجة عن التغيرات الحرارية. حيث أن تثبيت القضبان على العوارض بروابط متينة (الجبائر والوسائد) يمنع حركة تمددها ويتحول فرق الطول نتيجة التغير الحراري إلى قوى تنشأ داخل القضبان (ضغط أو شد).

5-2- الفواصل:

هي عبارة عن الفراغات التي تترك بين قضبان الخط الحديدي المتتابعة والتي تتناسب مع أطوال القضبان المستعملة ودرجات الحرارة العظمى والصغرى التي يمكن أن تصل إليها القضبان.

إن زيادة عدد الفواصل في الخط الحديدي يؤدي إلى:

-إزعاج راحة المسافرين بسبب الضجيج.

-إجهاد أو تعب القاطرات والعربات عند المرور فوقها.

-زيادة عدد الوصلات وبالتالي زيادة تكاليف التركيب والصيانة.

-الصدم لرؤوس القضبان وتشوهها.

-زحف القضبان الطولي.

-انهيار البالاست أو تشوهه في منطقة الفاصل.

لتخفيف الصدم في الفواصل ولمقاومة التشوهات في الخط الحديدي عند الفواصل (زحف القضبان - انهيار البالاست) نلجأ إلى وضع **جبائر** تحقق استمرارية القضبان وتحمي رؤوسها، ونراعي تقريب العوارض الطرفية عند طرفي القضيبين المتصلين لإقلال عزوم الانحناء المتولدة في منطقة الفاصل. وقد تمَّ التطرق للجبائر في الفصل الثاني من هذا الكتاب.

3-5- ميزات الخطوط الطويلة الملحومة:

نعلم أن نقاط الضعف الأساسية في الخط الحديدي هي الفواصل التي تشكل سلبيات كبيرة سواء من حيث تكاليف إنشاء أو تكاليف الصيانة ولكن بعد إثبات نظرية الخطوط الملحومة وتطور تقنيات اللحام أمكن إنتاج قضبان طويلة.

بدأت الخطوط الحديدية الملحومة بالانتشار عالمياً ومن أهم ميزاتها:

١. زيادة في أمان سير القطارات بانسيابية في الحركة وتوفير الراحة للمسافرين والإقلال من الضجيج.

٢. تخفيض تكاليف صيانة الخطوط خصوصاً في أماكن الفواصل والوصلات.

٣. توفير في تكاليف صيانة الأدوات المحركة والمتحركة (نتيجة اهترائها عند نقاط الصدم بالفواصل).

٤. زيادة مقدرة الخطوط الحديدية وزيادة معدلات النقل (للركاب والبضائع).

٥. تجنب كسور القضبان والإقلال من الاهتراء والزحف بسبب الإقلال من الفواصل.

٦. التوفير الاقتصادي من خلال اختصار العديد من القطع المعدنية مثل البراغي والجبائر والسنادات ....

٧. تخفيض الإجهادات الناجمة عن القوى الديناميكية وبالتالي زيادة عمر عناصر القسم العلوي نحو %(25-10) وبالتالي ازدياد مدة خدمة القضيب الطويل الملحوم وإنقاص كلف الصيانة بمقدار %(40 -20) خصوصاً في منطقة الفواصل وإطالة الفترة الفاصلة بين دورات الصيانة.

٨. عدم وجود الفواصل يعني غياب الإجهادات الديناميكية الإضافية المطبقة على القسم السفلي حيث أن القضبان الطويلة تخمد شدة تواتر الاهتزازات وبالتالي المحافظة على ثبات الخط وكفاءته.

٩. تخفيض مقاومة حركة القطارات وزيادة السرعات والاستفادة أكبر من الطاقة الجرية للقاطرات.

١٠. ينقص تأثير التمدد الناتج عن ارتفاع الحرارة مما يؤدي إلى نقصان الزحف كما ينقص الزحف بسبب زيادة طول القضيب، إضافةً إلى وقاية أكثر من خطر تحنيب القضبان.

١١. إمكانية لحام المناطق المتآكلة من القضبان.

١٢. يسهل اللحام اتحاد دارات الخط في الخطوط المكهربة.

١٣. إمكانية لحام القضبان في الاستقامات والمنحنيات ذات أنصاف الأقطار الكبيرة.

١٤. تعتبر القضبان الملحومة على الجسور الضخمة مفيدة من أجل أطوال الفتحات حيث تؤمن أداء أفضل.

[redacted]

الفصل السادس

التفريعات Turnouts

6-1- تعاريف:

التفريعة: هي مجموعة الترتيبات التي تؤمن انتقال القطار من خط إلى آخر.

التقاطع: هو مجموعة الترتيبات التي بواسطتها يتجاوز خط لخط آخر على نفس المستوي.

6-2- أنواع التفريعات :

1) المفتاح بأنواعه.

2) التخطية.

3) التحويلة.

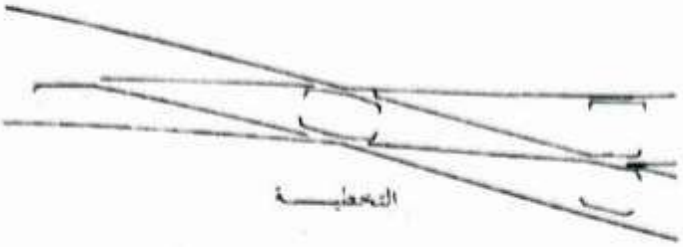
4) المفصلة المفردة والمفصلة المزدوجة.

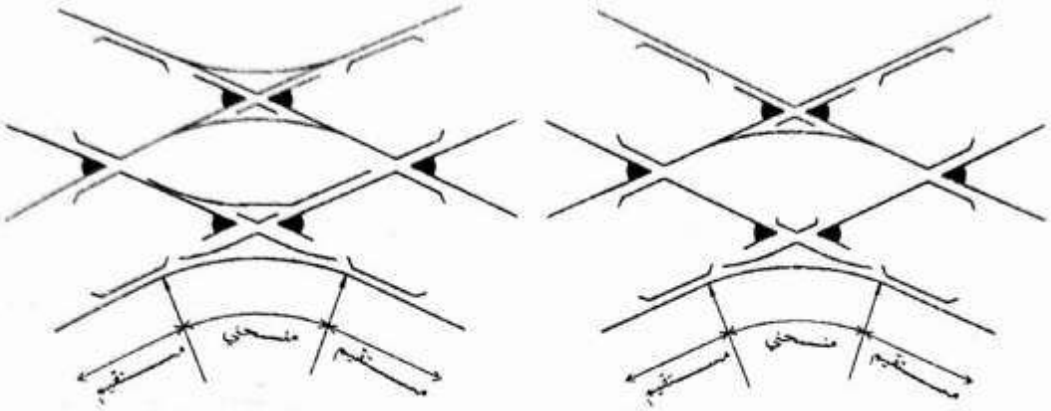
5) المقص.

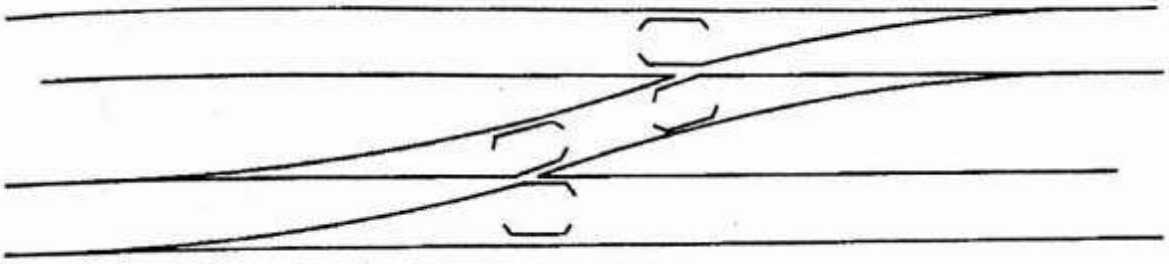
6) التفريعة المزدوجة.

والأنواع الثلاثة الأخيرة الأساس فيها المفتاح والتخطية. والشكل (6-1) يبين كروكيات لبعض أنواع التفريعات.

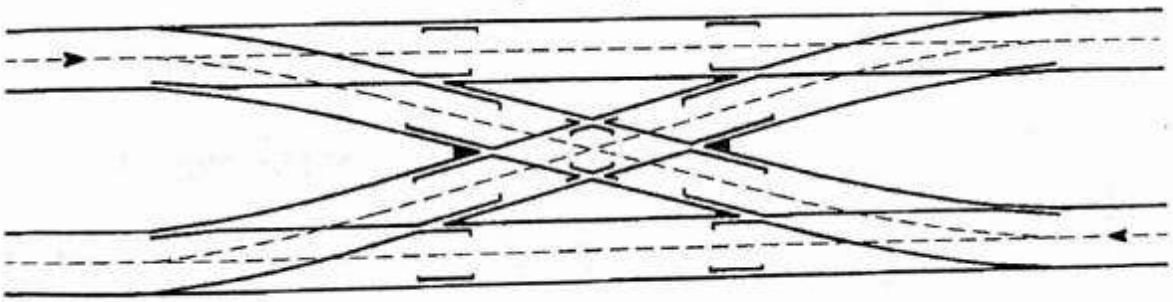
يسمى الخط الذي يراد التفريع منه بالخط الأصلي. والأصل في التفريعات هو المفتاح Switch. ويسمى المفتاح عادي إذا كان يخرج من الاستقامة أي أن الخط الأصلي مستقيم. ويسمى المفتاح بالمفتاح المنحني إذا كان يخرج من المنحني أي أن الخط الأصلي منحني. وعليه ففي حالة المفتاح العادي يسمى الخط المستقيم بالخط الأصلي والخط المنحني بالخط الفرعي. أما حالة المفتاح المنحني فيكون الخط الأصلي هو الخط ذو الانحناء الأقل والخط الفرعي هو الخط ذو الانحناء الأكبر.



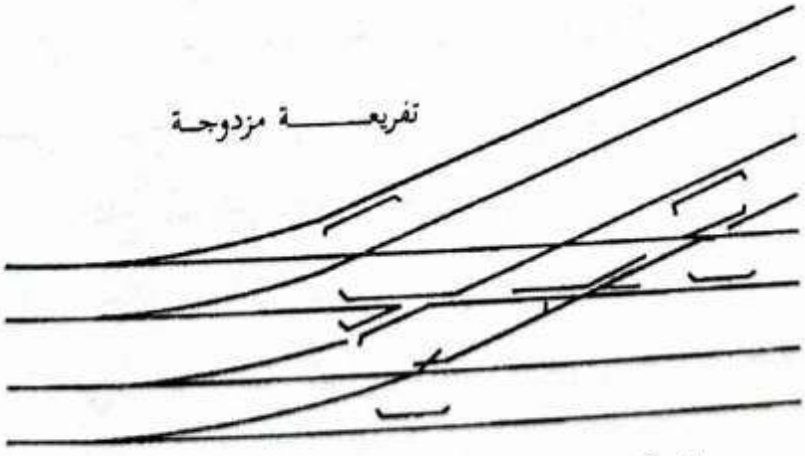




التحويلة المفردة

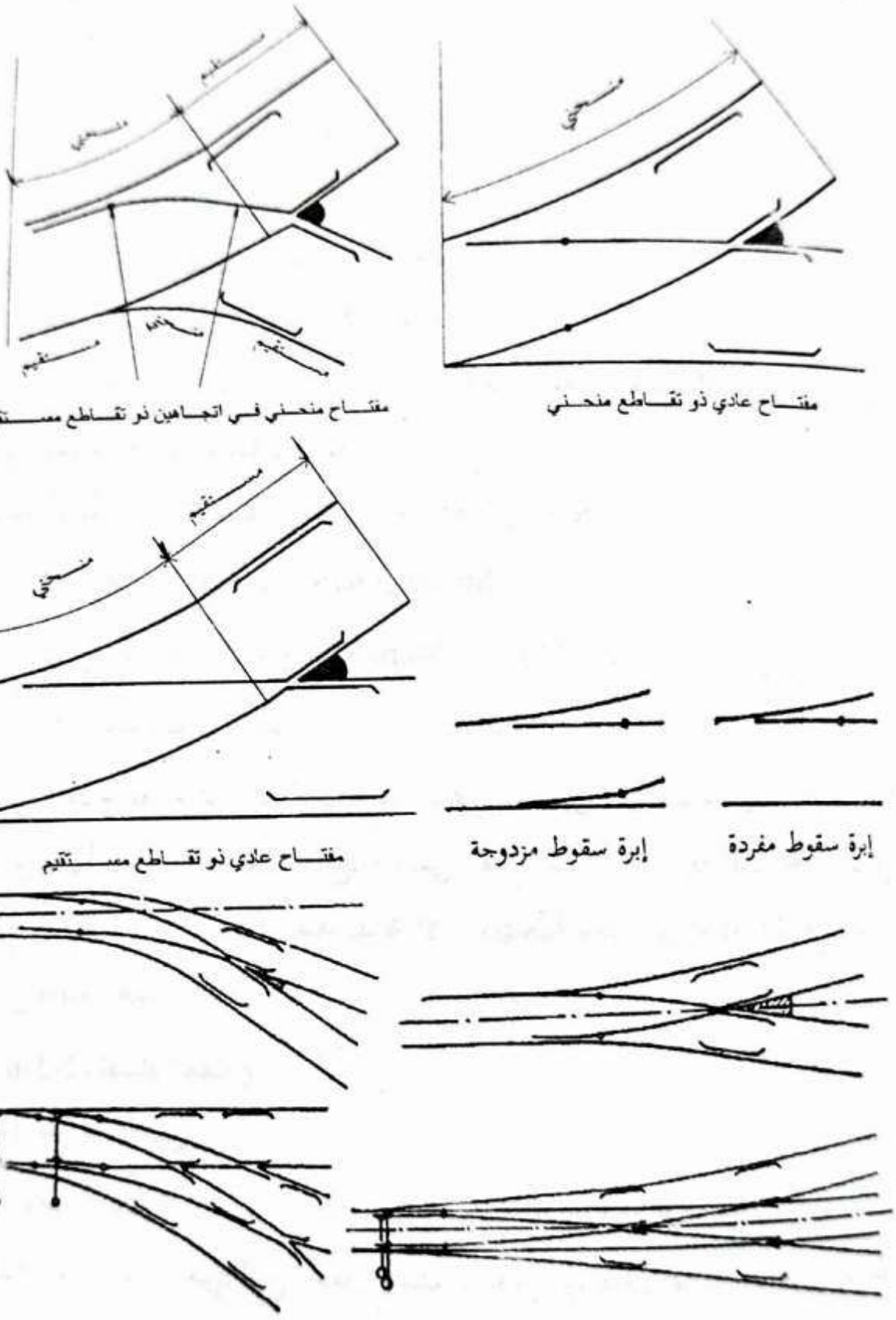


التحويلة المزدوجة (المقص)



الشكل (6-1) كروكيات لبعض أنواع التفريعات

ويبين الشكل (6-2) أنواع مختلفة من المفاتيح.



الشكل (6-2) أنواع مختلفة من المفاتيح

الفصل السابع

المحطات Stations

7-1- مقدمة :

يمكن تصنيف المحطات في السكك الحديدية كما يلي:

1- المحطات التي لها صلة بالمواطنين: وهي محطات الركاب ومحطات البضاعة.

2- المحطات التي ليست لها صلة بالمواطنين: وهي محطات الفرز والترتيب ومرآب القاطرات ومرآب تجهيز قطارات الركاب.

الدور الرئيسي لمحطات الركاب هو نقل الركاب بالإضافة إلى بعض الوظائف الأخرى حيث ينقل عن طريقها الطرود المستعجلة ومتعلقات الركاب ورسائل البريد.

أما في محطات البضائع فيتم استقبال البضائع الواردة والتي تكون إما سائبة أو على شكل طرود لتوزيعها على مالكيها. كما يتم استقبال البضائع الصادرة ليتم شحنها على عربات الخطوط الحديدية (تنقل ضمن البلد أو إلى خارجه أو إلى منافذ التصدير).

وفي حال كون حركة الركاب وكميات البضاعة المنقولة قليلة يمكن أن تنشأ محطة مشتركة تقوم بكلتا الخدمتين في آن واحد.

في محطات الفرز والترتيب يتم استقبال قطارات البضائع الواردة من الجهات المختلفة وتفرز وترتب من جديد حسب الجهات والمحطات التي سوف تقصدها.

في مرائيب القاطرات يتم تجهيز القاطرات للرحلات المختلفة. ويمكن أن تتم عمليات صيانة في بعض منها وقد تكون الصيانة خفيفة أو جسيمة. أما في مرائيب تجهيز قطارات الركاب فيتم تكوين وتجهيز قطارات الركاب للرحلات المختلفة قبل جرّها إلى الخطوط المجاورة للأرصفة في محطة بداية الرحلة وتتم في بعض منها إجراء صيانة لعربات الركاب.

وتتعلق طريقة تخطيط المحطات وحجم منشآتها بنوع وكمية الحركة الواجب إنجازها بها. ويتوقف ذلك على موقع المحطة بالنسبة للمراكز السكنية والاقتصادية وكذلك موقعها

الفصل الثامن

الإشارات

8-1- مقدمة:

تعد الإشارات عاملاً هاماً في السكك الحديدية، حيث ترتكز عليها أهم ضمانات السلامة في السير على الشبكة. وبما أن سائق القطار لا يمكنه تغيير اتجاه الحركة خصوصاً عند نقط التفرع لذا توجَّب وجود شخص آخر يحول اتجاه السير ويشارك السائق مسؤولية هذا التحويل. ونظراً للسرعة التي يسير بها القطار وحمولته، فمن الصعوبة بمكان إيقافه دفعة واحدة. إذ يجب تحذير السائق قبل نقطة التفرع أو المقابلة.

في بدايات عصر الخطوط الحديدية كان يكلف عامل مختص برفع راية قبل المكان المرغوب وقوف القطار به بمسافة معينة تنبه سائق القطار إلى إيقاف قطاره. ولما زادت الحركة وأصبح على العامل الواقف عند نقط التفرع أن يقابل أكثر من قطار في وقت واحد، استنبطت الإشارات الثابتة والتي كانت عبارة عن راية (أعلام) تنفرد في حالة الخطر وتطوي للدلالة على السلامة. وبعد ذلك ظهرت السيمافورات وكذلك وجدت وظيفة عامل الإشارة الذي تقع على عاتقه مسؤولية التحقق من خط سير القطار إلى المكان المحدد بدون وجود عوائق تعترض طريقه.

8-2- الغرض من الإشارات:

أ- تنظيم تتابع القطارات على الخطوط الحديدية الرئيسية مابين المحطات ونقط قسم الخط، وذلك بعدم السماح بتواجد أكثر من قطار واحد في قسم الخط الشكل (8-1). ويتم هذا إما بإشارات ميكانيكية تشغل باليد، أو أوتوماتيكياً حيث تقفل أو تفتح عن طريق دوائر كهربائية يعمل على تشغيلها محور القطار المتحرك على السكة. ويتم هذا عن طريق:

1- تحذير القطار القادم من الخط الرئيسي بأن يهدئ سرعته إذا كان سيقف في مكان معين.

2- إيقاف القطار في المكان المطلوب إيقافه فيه.

3- للدلالة على الاتجاه الذي سيسلكه القطار إذا تعددت أمامه السكك.

ب- تأمين سير القطارات وعمليات المناورة ضد:

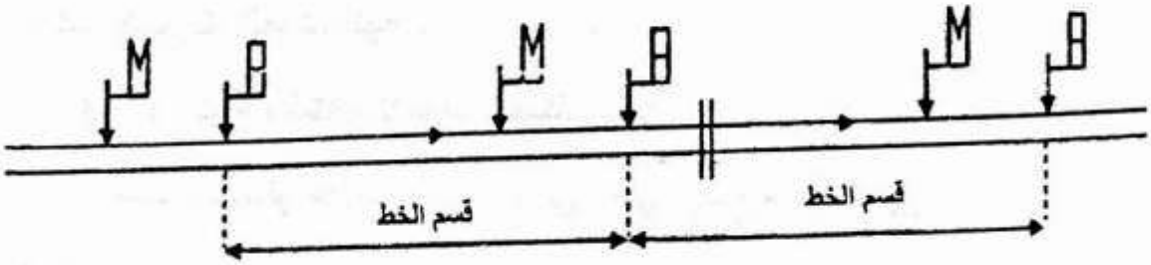
1- اصطدام قطارين أو وحدتين عند نقط التفرع.

2- وجود فرق بين سن الإبرة وقضيب الجنب للإبرة المقابلة وعدم تحريك الإبر تحت القطار أثناء مروره عليها.

3- حظر سير القطارات على الجسور المتحركة بدون قفل الأخيرة طالما القطار متواجد على الجسر.

4- حظر التصادم على المعابر السطحية.

5- حظر خروج قطار أو تدحرج العربات من مخزن إلى سكة الخط الرئيسي أثناء سير قطار عليها.



الشكل (8-1) رموز الإشارات على الخط

8-3- أنواع الإشارات:

تنقسم الإشارات في السكك الحديدية إلى قسمين:

أولاً : الإشارات غير الثابتة:

أ- إشارات التلويح:

ويقوم بأداء هذه الإشارات عمال يسمون عمال المناورة يلوّحون بها لسائقي القطارات

حسب الحالة ليرشدوه على الطريق الواجب اتباعه.

وتتم الإشارات بواسطة الرايات الحمراء أو الخضراء نهاراً أو فوانيس الإشارات التي تعطي ضوءاً أحمر أو أخضر أو أبيض ليلاً.

ب- إشارات صوتية:

مثل استخدام صافرة الجرار عند الممرات السطحية أو استخدام الكبسولات في حالة الخطر ووضعها على الخط حتى إذا ما مرَّ عليها القطار يتنبه سائق القطار إلى الخطر.

ثانياً : الإشارات الثابتة:

وهي الإشارات المقامة في مواضع معينة لإرشاد سائقي القطارات. وهي تتحرك على قوائم من برج الإشارات المسماة بأبراج التحكم إذا كانت إشارات ميكانيكية، أو تضاء باستخدام دوائر كهربائية خاصة إذا كانت إشارات كهربائية. وتتخذ هذه الإشارات شكل السيمافورات العالية للخطوط الرئيسية وهي ما يعرف باسم السيمافورات الأساسية والسيمافورات القصيرة والديسكات لخطوط التخزين وتعرف باسم السيمافورات الثانوية، وسوف نتناول بالشرح الإشارات الميكانيكية ثم الإشارات الكهربائية للنوع الثاني.

8-4- الإشارات الميكانيكية :

8-4-1- أنواع وأشكال الإشارات الميكانيكية:

تقسم السيمافورات من ناحية الغرض الذي توضع من أجله إلى:

1- السيمافورات الأساسية Main Signals:

1-1- سيمافور التحذير: (المسافة) Distance Signal

1-2- سيمافورات الوقوف:

أ- سيمافورات الوسط (الوسط – الوسط الخارجي)

ب- سيمافورات القيام (القيام- القيام الأمامي)

2- السيمافورات الثانوية Secondary Signals

أ- ذراع المناورة

ب- ذراع النداء Calling on arm

جـ- السيمافورات الأرضية (الديسكات) Discs

وتركب ذراع السيمافور على قائم ويوضح الشكل (8-2) سيمافور الوقوف لإعطاء الإشارة نهاراً (حسب وضع الريشة أفقياً أم مائلاً) وتزوَّد بمصدر ضوئي لإعطائها ليلاً (تبعاً للون الضوء).

وتركب هذه القوائم في الجهة اليسرى بالنسبة لاتجاه سير القطارات، كما تركب الأذرع في الجهة اليسرى للقائم بالنسبة لاتجاه سير القطارات.

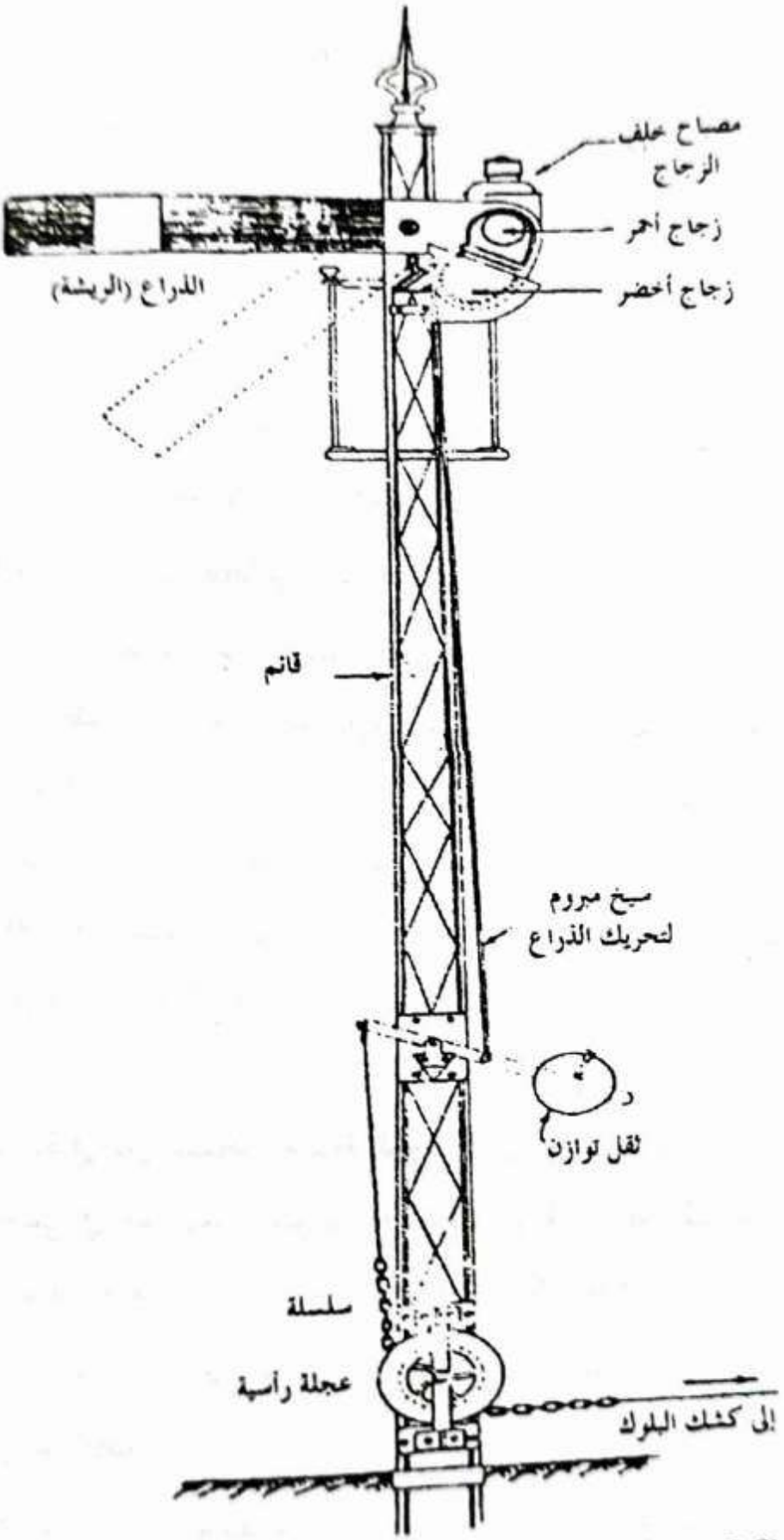
8-4-1-1- سيمافورات التحذير (المسافة):

وهو أول سيمافور يقابل القطار عند دخوله إلى منطقة برج الإشارات ويفتح للخط الرئيسي فقط ولا يفتح للخط الفرعي. ويوضع على مسافة مناسبة قبل السيمافور التالي له (الوسط)، ويجب أن تكون هذه المسافة بالقدر الذي يُمكِّن السائق عند رؤية السيمافور مقفلاً بأن يبدأ الرباط ليقف تماماً عند أول سيمافور يقابله، وغالباً ما تكون المسافة 800 m قبل سيمافور الوسط وذلك على الخطوط التي تمر عليها قطارات بسرعة أقل من 100 Km/h الشكل (8-3). أما القطارات التي تسير بسرعة 120 Km/h يلزمها مسافة 1000 m. وفي بعض الحالات عندما تقترب أبراج الإشارات من بعضها، قد لا يوجد البعد الكافي بين سيمافور مسافة البرج الأمامي ووسطه بحيث يتداخل سيمافور قيام البرج الخلفي في هذا البعد المطلوب، وهنا تركب ريشة سيمافور المسافة للبرج الأمامي على قائم سيمافور قيام البرج الخلفي وتحت ريشته، الشكل (8-4).

وقد يضطر إلى تكرار سيمافور المسافة إذا كان البعد بين موقع ريشة المسافة وسيمافور الوسط التالي غير كافية.

وفي بعض الحالات حيث يوجد منحني حاد يلزم السير عليه بسرعة بطيئة لأي سبب لتقليل السرعة بصفة مستديمة كالمحطات النهائية فإن ريشة سيمافور المسافة تثبت في

وضع أفقي بصفة دائمة ويظهر الضوء الأصفر ليلاً.



الشكل (8-2) سيمافور الوقوف لإعطاء الإشارة نهارا حسب وضع الريشة أفقياً أو مائلاً

8-5- الإشارات الكهربائية :

لكي ترفع كفاءة الخطوط الحديدية تلجأ معظم مؤسسات الخطوط الحديدية إلى استخدام نظم الإشارات الكهربائية في تشغيل شبكاتها الأمر الذي يؤدي إلى زيادة طاقة الخطوط وتسيير أعداد أكبر من القطارات يومياً.

وقد تطورت نظم الإشارات الكهربائية في الفترة الأخيرة تطوراً ملموساً وكذلك تغيرت الأنظمة المتبعة لتشغيل الخطوط الحديدية سواء باستخدام نظام البلوك الأوتوماتيكي والكهربائي أو باستخدام نظام التحكم في الحركة المركزي CTC أو إدخال نظام التحكم الآلي في القطارات ATC.

ويعتمد نظام الإشارات الكهربائية على تكوين دوائر كهربائية من أجزاء الخط التي تسير عليها القطارات وذلك بعزل جزء من القضبان وتكوين دارة كهربائية يعمل محور القطار على تشغيلها وبالتالي تشغيل ريلاي كهربائي يعمل على توليد مجال مغناطيسي يجذب ذراعاً متحركاً يغلق دارة أخرى فتضيء الإشارة.

وتستخدم الدارات الكهربائية في الخط للأغراض التالية:

1- تشغيل البلوك الأوتوماتيكي.

2- تشغيل الإشارات الكهربائية.

3- ربط عدد البلوك بالسيمافورات وبحركة سير القطارات مع بيان مشغولية الخطوط والمحطات.

8-5-1- عناصر الدارة الكهربائية:

وتتكون الدارة الكهربائية للقضبان من العناصر التالية:

1- قضبان الخط المرغوب إنشاء دارة كهربائية فيها.

2- أساس الخط من عوارض وبلاست.

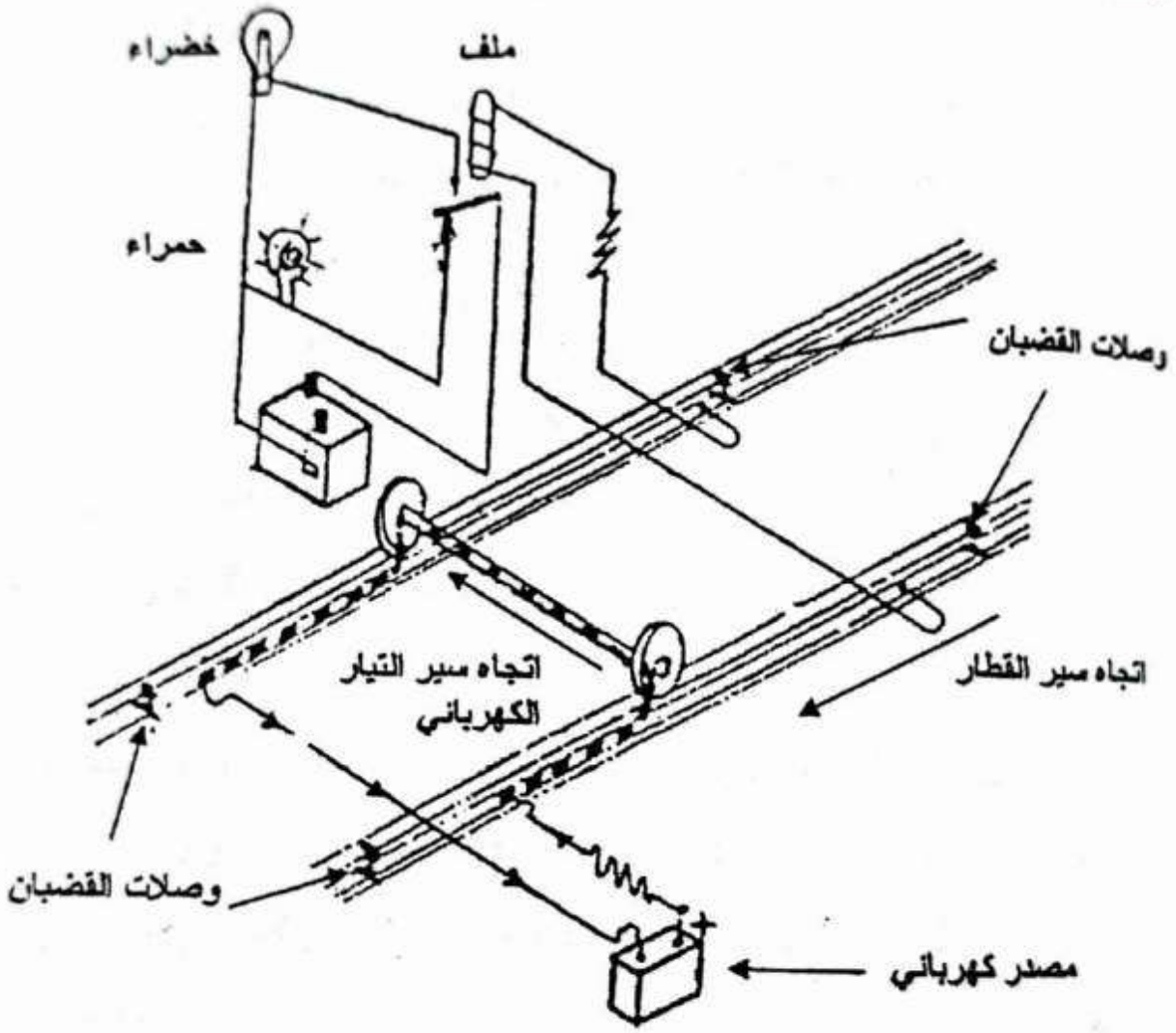
3- وصلات القضبان.

4- عوازل القضبان وعوازل أذرع التحاويل وتوصيلاتها.

5- التغذية الكهربائية.

6- الريلاي.

ويعطي الشكل (8-30) فكرة عن عناصر الدارة الكهربائية.



الشكل (8-30) عناصر دارة كهربائية للإشارات الضوئية.

[redacted]

الفصل التاسع

الحسابات الجرية
Traction Calculations

9-1- الغاية من الحسابات الجرية:

تستخدم الحسابات الجرية لحل عدد كبير من المسائل المتعلقة بحركة القطارات ولحل الكثير من الأمور الفنية التي تظهر أثناء تصميم الخطوط الحديدية وحين استثمارها، علماً بأن هذه الحسابات يمكن تنفيذها بدقة كبيرة حتى قبل إنشاء الخط. وأهم المسائل التي يمكن حلها اعتماداً على المعلومات التي تعطيها الحسابات الجرية هي:

- وضع مخططات سير القطارات ونهج السير (الجدول الزمني لسير القطارات).
- تحديد القدرة التمريرية للخطوط (عدد القطارات التي يمكن تمريرها على الخط بكل اتجاه).
- تحديد أماكن توضع المحطات على الخطوط الجديدة.
- مقارنة المسارات المقترحة بين نقطتين من حيث الجهد اللازم لانتقال القطار بين هاتين النقطتين، وهذا يعني مقارنة هذه المسارات من حيث كمية الوقود اللازمة للقطار للانتقال بين النقطتين المحددتين في مرحلة الاستثمار.
- تحديد قيمة الميل الحسابي للخطوط الجديدة، أو تحديد الوزن الأعظمي للقطار الذي تستطيع قاطرة معينة أن تجره على خط ذو ميل حسابي معلوم.

9-2- المعادلة الأساسية للجر:

تؤثر في القطار أثناء مسيره قوى تختلف باختلاف قيمها، اتجاهها ومدة تأثيرها. ولتسهيل إجراء الحسابات الجرية يتم تصنيف جميع القوى المؤثرة في حركة القطارات في ثلاث مجموعات:

- قوى الجر.

- القوى المقاومة لحركة القطار.

- قوى الإلجام.

ويُعبَّر عن هذه القوى إما بقيمتها الكلية بالكيلوغرامات أو بقيمتها النوعية أي بالكيلوغرام لكل طن من وزن القطار. وفي كل الأحوال تعتبر قوى الإلجام إحدى القوى المقاومة لحركة القطار، إلاّ أنها تختلف عن غيرها من المقاومات بأنها قوى خارجية مصطنعة ويستطيع السائق التحكم بها.

يسير القطار تحت تأثير هذه القوى، ويستطيع السائق التحكم باثنتين منها وهما قوة الجر وقوة الإلجام، وبذلك يتمكن من ضبط حركة القطار بالسرعة المناسبة له.

إن المعادلة الأساسية للجر هي عبارة عن محصلة القوى الثلاث (ممثلةً بقيمها واتجاهاتها) والمؤثرة في القطار، وتأخذ هذه المعادلة الشكل العام التالي:

$$F = T \pm R - Q$$

حيث: T- قوى الجر.

R- القوى المقاومة لحركة القطار.

Q- قوى الإلجام.

إن قيمة محصلة القوى الثلاث F هي التي تحدد نمط حركة القطار، حيث نميز تبعاً لقيمة هذه المحصلة ثلاثة أنماط لحركة القطار:

1) النمط الأول (نمط الجر):

يحدث هذا النمط عندما يسير القطار تحت تأثير قوة الجر وقوى المقاومة وبدون أي تأثير لقوى الإلجام وتكون محصلة القوى في هذه الحالة هي:

$$F = T \pm R$$

وهنا نميز عدة حالات تبعاً لقيمة واتجاه هذه المحصلة : فإذا كانت محصلة القوى موجبة تكون حركة القطار متسارعة، وإذا كانت سالبة تكون حركة القطار متباطئة، [redacted]

الفصل العاشر

صيانة الخطوط الحديدية

10-1- الصيانة اليدوية للسكك الحديدية:

10-1-1- الصيانة الدورية للسكك الحديدية:

عند القول أن هناك صيانة دورية يدوية لخط السكة الحديدية فهذا يعني بالضرورة القيام بأحد الأعمال التالية والتي توضع بشكل علمي ومدروس على طول أيام السنة وضمن برنامج الصيانة وهي:

- تحشية خط السكة.
- تجديد مكونات الخط.
- شد مثبتات الخط.

10-1-1-1- تحشية خط السكة:

وتتضمن هذه العملية ما يلي:

أ) **إزالة طبقة البالاست:** من جانبي منطقة الوسائد وعند نهاياتها لعمق 50 mm أسفل العارضة .

ب) **فحص القضبان، العوارض ومثبتات الخط:** حيث يجب فحصها بصورة جيدة وضرورة استبدال العوارض المتضررة بأخرى جديدة وشد مثبتات الخط المرتخية. كما يجب تعديل استقامة قضبان السكة.

ج) **تعامد العوارض مع قضبان السكة:** يجب تعديل العوارض المنحرفة والغير متعامدة مع قضيب السكة وتصحيح المسافات بين العوارض.

د) **استقامة الخط:** يتم فحص استقامة الخط بواسطة العين [redacted]

[redacted]

10-2- الصيانة الميكانيكية للسكك الحديدية:

من أجل صيانة خط السكة الحديدية بدقة متناهية وبأقل عدد من الأيدي العاملة وبوقت قصير تستخدم آليات خاصة تسمى بآليات الصيانة.

10-2-1- مدى الحاجة إلى الصيانة الميكانيكية:

يحتاج خط السكة الحديدية للصيانة الميكانيكية للأسباب التالية:

1- إن التحشية اليدوية عملية صعبة ومضنية بالنسبة لعمال صيانة السكك الحديدية.

2- صعوبة الحصول على تحشية ذات نوعية منتظمة أسفل العوارض عند صيانة الخط بالصيانة اليدوية وذلك نتيجة عدم تساوي قوة عمال الصيانة وصحتهم وتعبهم نتيجة العمل المستمر بالإضافة إلى حالة الجو وغيرها من العوامل الأخرى.

3- إن شدة الضغط والصدمة المتأتية من الضربات اليدوية على مادة البالاست قد تفوق أحياناً مقاومة الكسر لمادة البالاست وهذا ما يؤدي إلى تكسرها.

4- بطء عملية الصيانة اليدوية وعدم تلبية متطلبات الخط من حيث كثافة مرور القطارات والأحمال والسرعات.

5- عدم الحفاظ على التحشية للخط مدة طويلة في حالة الصيانة اليدوية وعودة الخط للانخفاض مرة أخرى نتيجة مرور القطارات السريعة.

6- عدم ملائمة الصيانة اليدوية لخطوط السكك الحديثة كالخطوط الملحومة والخطوط ذات العوارض البيتونية.

7- عدم تكملة صيانة الخط كلياً يؤدي إلى طول فترة تحديد السرعة في هذا الخط لحين تكملة الصيانة.

[redacted]