جامـــعة دمـــشق
كليـــــة الهندسة المدنية
قسم هندسة النقل ومواد البناء

تصميم الطرق 1

المحاضرة 1

هندسة الطرق

محتوى المحاضرة:

شبكة الطرق

وسائط النقل على الطرق

خصائص الحركة على الطرق

التصنيف الفني للطريق

السرعة التصميمية للطريق

شبكة الطرق

مقدمة:

تلعب المواصلات دوراً أساسياً في حياتنا الحالية فهي تؤمن نقل البضائع والمسافرين بوسائط النقل البرية والبحرية والجوية والمائية المختلفة، ولهذا فإن منشآتها يجب أن توفر شروط الأمان والراحة.

وتشمل منشآت المواصلات: الطرق والسكك الحديدية والمطارات والمرافئ.

إلا أن الطرق تعتبر من أكثر هذه المنشآت انتشاراً فهي تؤمن ربط كافة المنشآت الأخرى ببعضها لهذا جاء التركيز الأكبر على دراسة الطرق والتعريف بعناصره في المسقط الأفقي والمقطعين الطولي والعرضي.

دور الطرق في شبكة النقل :

يتم نقل الحمولات والمسافرين في وسائط النقل المختلفة التي تتألف من السكك الحديدية والطرق والخطوط البحرية والجوية والنهرية. أما السوائل والغازات فيجري نقلها بوساطة أنابيب .

يجب أن تشكل كل وسائط النقل وحدة متكاملة وأن تعمل بشكل متناسق ومتكامل بحيث تكمل كل واحدة منها الآخرى.

فمثلاً السكك الحديدية تلعب دوراً رئيسياً في نقل الحمولات والمسافرين لمسافات بعيدة.

فهي بحد ذاتها وسيطة نقل متكاملة لهذه الوظيفة، ولكن بما أنها مرتبطة بالمحطات حيث يتم استقبال الحمولات وتفريغها من المحطات حصراً، لذلك لابد من نقل الحمولات إلى المحطات.

وهنا يأتي دور الطرق إذ لابد من تصميم الطرق التي تصل بها السيارات إلى المحطات والتي تقوم بتخديم هذه المحطات، لذلك فهما متكاملين مع بعض وينطبق الكلام نفسه على المرافئ والمطارات.

يمكن القول بشكل عام أن الطرق تشكل الشرايين التي تصل بين محطات السكك الحديدية والمرافئ والمطارات.

- كما يمكن للطرق أيضاً أن تقوم بنقل الحمولات مباشرة من أماكن تواجدها إلى أماكن الحاجة إليها دون الحاجة إلى وسيطة أخرى، لذلك يعد النقل بواسطة الطرق أكثر أنواع النقل فاعلية للحمولات والمسافرين من أجل **المسافات القصيرة نسبياً** وحسب وضع شبكة الطرق، فإن النقل لمسافة (200-400km) يعد أسرع و أكثر اقتصادية وفعالية من النقل بواسطة السكك الحديدية.

- إلا أنه بعد إنشاء شبكة الأوتوسترادات في الوقت الحاضر فقد اكتسب النقل لمسافات بعيدة بواسطة الطرق للبضائع سريعة العطب والمواد المستعجلة اهمية خاصة.

ونظراً لأن السرعة الوسطية للنقل عليها أكبر مما هي لسكك الحديدية التي تحتاج إلى ضياع وقت كبير من أجل تجهيز العربات في محطات الشحن.

- كما أن نقل المسافرين بواسطة الطرق يمكن أن يتم بواسطة رحلات ذات تواتر أكبر مما هو للسكك الحديدية.

- تعد الطرق ذات أهمية من اجل تطوير المناطق ذات الكثافة السكانية القليلة حيث يسمح بإيصال الحمولات بكلفة أقل.

شبكات الطرق :

شبكة الطرق: كل الطرق الواصلة بين المراكز (التجمعات) السكانية والصناعية والتجارية والزراعية والسياحية وبين كل الانواع الأخرى من وسائط النقل (محطات السكك الحديدية والمرافئ والمطارات).

أما الركاب والحمولات المنقولة عبر هذه الطرق فتشكل تياراً من الحمولات مختلف الشدة، ويكون في اتجاهات معينة حسب متطلبات النشاط الاقتصادي والسكاني.

وتبعاً لشدة هذا التيار نصمم الطريق.

مثلاً: ليس منطقيا أن نضع اوتوستراد (والذي يعتبر طريق من الدرجة الاولى) في ناحية أو قرية.

لذلك فإن تصميم شبكة الطرق يجب أن يتوافق بشكل أساسي مع الحمولات الرئيسية إضافة إلى حركة الركاب.

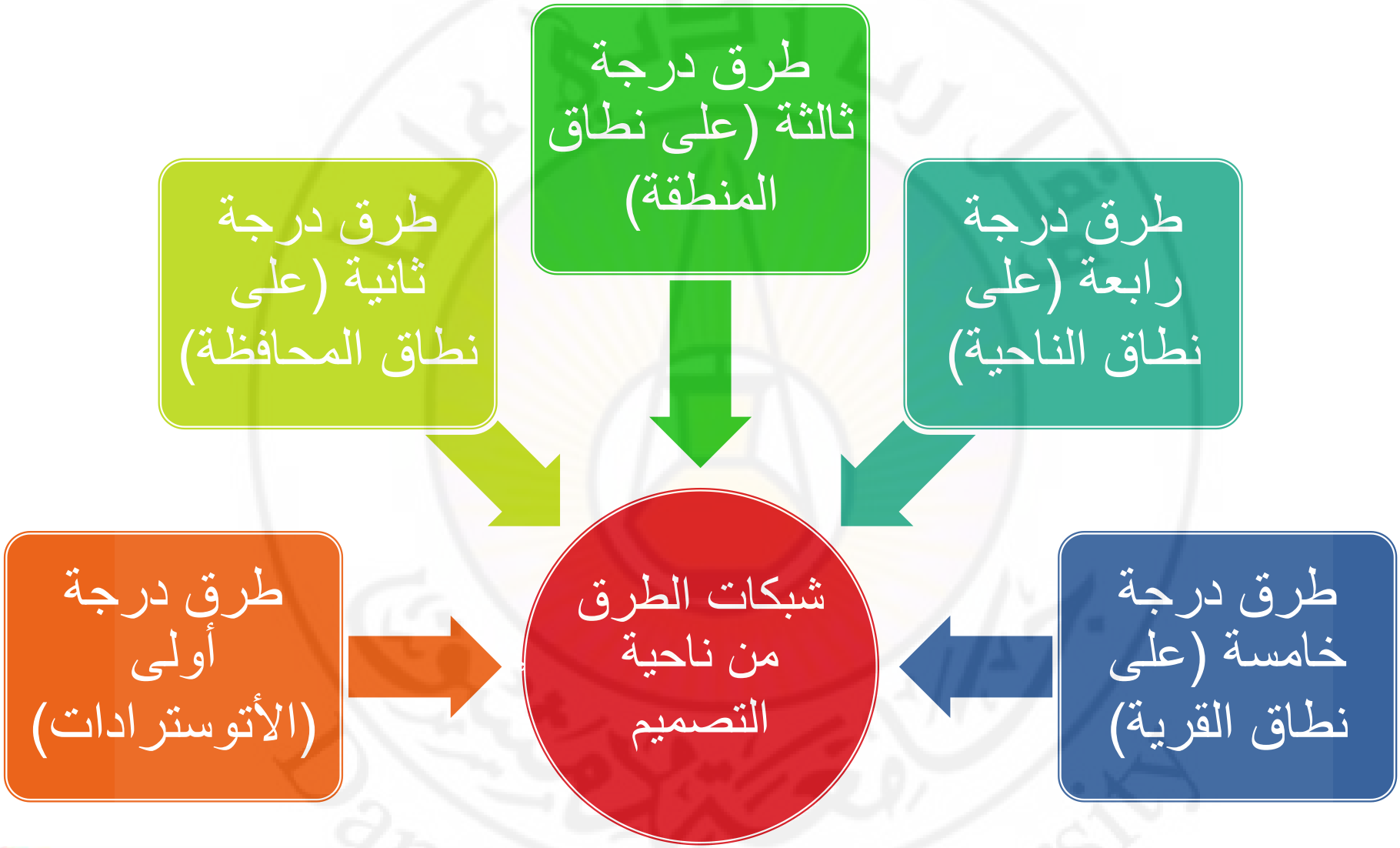
❖وعلى هذا فإن *أساس الشبكة الطرقية* هو **شبكة الأوتوستراد** (طرق الدرجة الأولى) والمخصصة للنقل السريع سواء للركاب أو الحمولات ولمسافات بعيدة.

تصل عادة الأوتوسترادات بين دول أو مراكز المحافظات ببعضها أو المناطق الاقتصادية الأساسية والمراكز المهمة في القطر.

ثم بعد تصميم الأتوستراد ننتقل إلى تصميم شبكة أخرى في الطرق الثانوية التي تلعب الدور نفسه للأوتوستراد ولكن على نطاق المحافظة.

ثم نستكمل هذه الشبكة بشبكات أخرى على نطاق المنطقة والناحية والقرية ليصبحوا **5 شبكات طرق تصميمية** مرتبة من **ناحية التصميم** من الأهم إلى الأقل أهمية.

فمثلاً: طريق دولي إذا ما صنفناه من ناحية التصميم فإن له أهمية كبيرة ويجب أن يكون ذو مواصفات فنية عالية بخواص هندسية ممتازة (عرض الطريق – عدد الحارات – أن يكون بالاتجاهين – الميول الطولية – المنحنيات بالمسقط الأفقي).


طرق درجة ثالثة (على نطاق المنطقة)
طرق درجة ثانية (على نطاق المحافظة)
طرق درجة رابعة (على نطاق الناحية)
شبكات الطرق من ناحية التصميم
طرق درجة أولى (الأتوسترادات)
طرق درجة خامسة (على نطاق القرية)

وسائط النقل على الطرق:

يجري تصميم الطرق لمرور نوع واحد من وسائط النقل ألا وهي السيارات.

اما الوسائط المتحركة على جنازير (التراكتورات)" والتي تتلف سطح الطريق" وكذلك وسائط النقل الحيواني "والتي يكاد أن تكون نسبتها معدومة الآن" فيجب أن تسير على الطرق الترابية الموازية للطرق الأساسية المعبدة.

وعلى هذا الأساس فإن وسائط النقل الأساسية على الطرق هي السيارات بأنواعها المختلفة:

السياحية والباصات والشاحنات الخفيفة منها والثقيلة، كما يسمح بمرور الدراجات النارية والجرارات والآلات الزراعية الأخرى التي تسير على دواليب مطاطية.

إن الطريق كأي منشأ هندسي آخر يمكن أن يؤمن فقط مرور الحمولات التي لا تزيد عن الحمولات التصميمية **كماً و نوعاً**.

إلا أن التطور السريع في صناعة السيارات بالسرعة والشكل وحتى الحمولة، يؤدي إلى تحسينها وتغيير نموذجها وأن مصانع السيارات تقوم بتغيير نماذج سياراتها كل سنة أو عدة سنين على الأكثر كما أن هنالك ميلاً عاماً نحو زيادة الحمولات الكلية للسيارات الشاحنة بشكل عام.

يتم تصميم الطريق وإنشاؤه عادةً لكي يخدم حركة النقل عشرات السنين (20-25 سنة) لذلك فإنه من غير الممكن أن نتنبأ سلفاً بمميزات السيارات وأبعادها وحمولاتها التي سوف تستخدم الطريق في المستقبل.

وبما أنه من غير الاقتصادي في نفس الوقت إنشاء طريق ذو عوامل أمان إنشائية إضافية على مدار عدد كبير من السنين فإنه قد جرى وضع مواصفات عالمية حدية "كود" لأبعاد السيارات وحمولاتها المحورية التي يمكن أن تسير على الطريق بحيث تتقيد بها مصانع السيارات على المدى المنظور وبحيث يقوم مهندسو الطرق بموجبها بوضع المواصفات اللازمة لتصميم عناصر الطريق.

حيث قامت الجمعية الأمريكية لمهندسي الطرق (ASHTOO) بتحديد أبعاد السيارات في الولايات المتحدة الأمريكية لستة نماذج كما هو وارد بالجدول التالي:

نوع السيارة التصميمية	كافة الأبعاد بالمتر						
	الرمز	المسافة بين المحاور	البروز الأمامي	البروز الخلفي	الطول الكلي	العرض الكلي	الارتفاع
سيارة سائحة	P	3.35	0.9	1.50	5.75	2.15	–
سيارة شاحنة	SU	6.10	1.20	1.80	9.10	2.60	4.10
باص	BUS	7.60	2.15	2.45	12.2	2.60	4.10
قاطرة نصف مقطورة متوسطة	$WB-40$	$4+8.2=12.2$	1.20	1.8	15.2	2.60	4.10
قاطرة نصف مقطورة كبيرة	$WB-50$	$6.1+9.15=15.25$	0.90	0.6	16.75	2.60	4.10
قاطرة نصف مقطورة ومقطورة.	$WB-60$	$2.95+6.1+2.85+6.4=18.3$	0.60	0.90	19.80	2.60	4.10

أما الأشكال الحسابية لهذه السيارات وأنصاف الأقطار الأصغرية لدورانها فموضحة بالأشكال من (1-1) حتى (1-6) بالكتاب

أما في روسيا فتحدد أبعاد السيارات الشاحنة والباصات وحمولاتها بما لا يزيد عن الحمل المحوري الإفرادي على 10 طن.

أما إذا كان المحور مزدوجاً فيجب ألا تزيد الحمولة الاعظمية على 18 طن.

يوضح الشكل المجاور الأبعاد الأعظمية الخارجية للسيارات الشاحنة النموذجية التي يمكن أن تسيير على الطرق بموجب المواصفات الروسية والتي تنص على ألا يزيد الارتفاع الاعظمي للسيارات عن 4m و العرض الأعظمي عن 2.5m

شكل (١-٧)

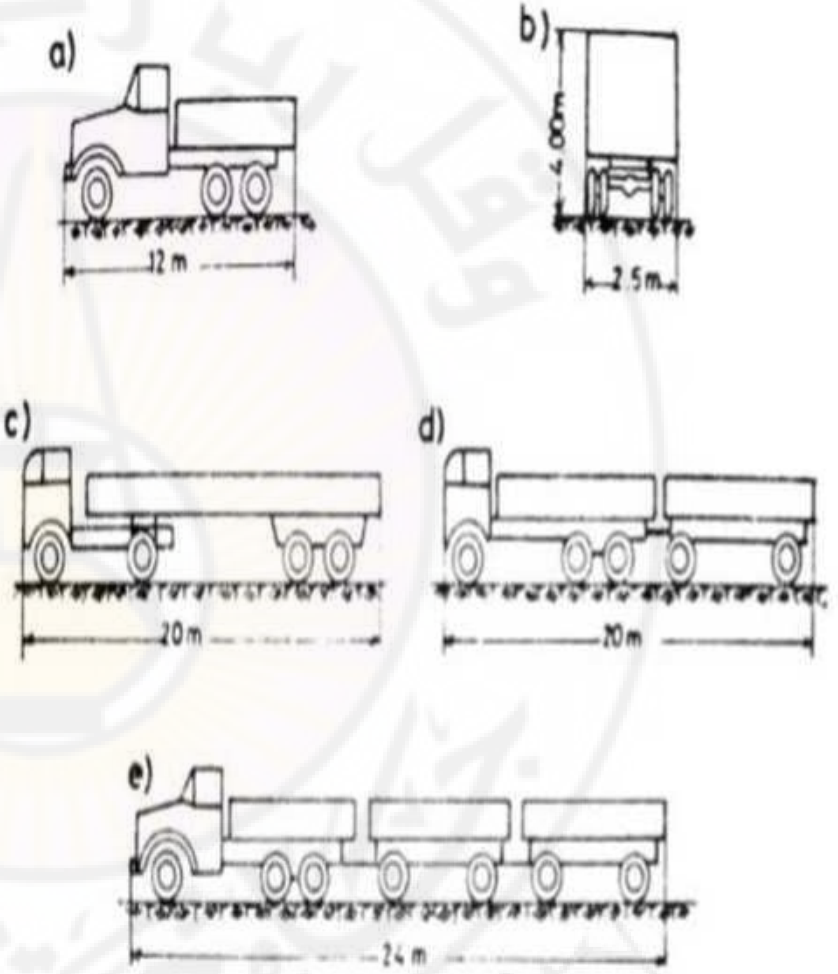
الابعاد الحدية للسيارات الشاحنة بموجب المواصفات الروسية

a, b – سيارة شاحنة ذات محورين ،

c – قاطرة ذات محورين مع نصف مقطورة ،

d – قاطرة شاحنة ذات ثلاثة محاور مع مقطورة ذات محورين ،

e – قاطرة شاحنة ذات ثلاثة محاور مع مقطورتين كل منهما ذات محورين ،



خصائص الحركة على الطرق:

تشكل مجموعة السيارات التي تختلف عن بعضها البعض في أشكالها ودرجة تحميلها و..... تياراً من حركة المرور، تزداد شدته (غزارته) بازدياد عدد السيارات ضمنه، وكما تكلمنا سابقاً أنه كلما ازداد عدد السيارات ضمن تيار حركة المرور كان من الواجب تصميم الطريق وإنشاؤه بمواصفات فنية عالية.

ولكي نتمكن من تحديد المتطلبات الأساسية لعناصر الطريق المختلفة نستخدم الخواص المتنوعة لتيار حركة المرور .

فمثلاً من أجل تحديد عدد حارات المرور أو عرض الغطاء أو الطابق الترابي نستخدم عدد السيارات المارة خلال مدة زمنية معينة على الطريق وليس حمولاتها.

لذلك يعبر عادة عن الخصائص الأساسية للحركة على الطريق بغزارة المرور.

غزارة المرور: هي عدد السيارات المارة خلال مقطع معين من الطريق في واحدة الزمن (يوم أو ساعة)

التعبير عن غزارة المرور بالعدد الفعلي للسيارات المارة بغض النظر غير دقيق تماماً لان مرور عدد قاطرات تجر ورائها مقطورات ضخمة تسير بسرعة بطيئة لا يعادل في تأثيره واستمراريته مرور العدد نفسه من السيارات السياحية الخفيفة والتي تسير بسرعة عالية.

نلجأ غالباً من أجل حساب عدد السيارات إلى تحويل غزارة المرور الفعلية إلى غزارة مرور مكافئة للسيارات السائحة الخفيفة التي تعتبر السيارة التصميمية الحسابية.
وذلك بضرب كل نوع من أنواع السيارات بعامل تحويل يمثل عدد السيارات السياحية الخفيفة والتي يمكن أن تمر على جزء من الطريق خلال الزمن الذي يستغرقه مرور سيارة شاحنة واحدة أو قاطرة أو مقطورة.

السيارة السياحية: هي وحدة قياس ونسميها بالسيارة المكافئة ولها أبعاد محدودة و وزن ثابت "يقصد بالسيارة السياحية أي السيارة الصغيرة TAXI وتعد مرجع تحول لها كل أنواع السيارات الأخرى بوساطة عامل التحويل".

عامل التحويل: وهو يمثل عدد السيارات التي يمكن أن تمر على جزء من الطريق خلال الزمن الذي يستغرقه مرور شاحنة أو قاطرة أو مقطورة

يبين الجدول التالي قيم عوامل التحويل المستخدمة في حساب غزارة المرور المكافئة:

نوع السيارات		عوامل التحويل
سيارة سياحية خفيفة		1
دراجة نارية مع عربة جانبية		0.75
دراجة نارية		0.5
سيارات شاحنة ذات حمولة ، طن	2	1.5
	6	2
	8	2.5
	14	3
	>14	3.5
ومقطورة ذات قاطرة	12	3.5
	20	4
	30	5
	>30	6

ملاحظات على الجدول:

- عامل التحويل للسيارة السياحية يساوي الواحد أي أنها المرجع.
- عوامل تحويل الباصات والمركبات ذات الاستخدام الخاص مثل "الشاحنات التي تنقل البرادات" تؤخذ معاملاتها حسب نوع السيارة الأساسية المطابقة لحمولاتها.
- عندما تقع حمولة السيارات بين القيم المعطاة يمكن حساب قيم معامل التحويل بالنسبة والتناسب.
- يجب ضرب معامل التحويل الوارد بالجدول بالنسبة للشاحنة و المقطورة والقاطرة فقط بـ 1.2 مرة وذلك في حال مرور الطريق بالمناطق الهضبية أو الجبلية.

ملاحظات:

❖لا تبقى غزارة المرور ثابتة لجميع مناطق الطريق بل تختلف من جزء إلى آخر على طول الطريق حيث تزداد بشكل واضح قرب المدن أو التجمعات السكنية ومحطات السكك الحديدية وتبلغ قيمتها الدنيا على الأجزاء المتوسط من الطريق، أي غزارة المرور تكون عالية عند مقاطع التجمعات وتصبح أقل ما يمكن في منتصف الطريق.

❖لا تبقى غزارة المرور ثابتة خلال اليوم الواحد أو السنة الواحدة بل إن غزارة المرور تقل جداً خلال ساعات الليل كما أن الغزارة لا تبقى ثابتة أيضاً خلال السنة الواحدة ففي المناطق الزراعية مثلا تزداد غزارة المرور أثناء مواسم جني المحصول، كما تقل حركة الشاحنات على الطرق كافة في أيام العطل الأسبوعية والأعياد الرسمية وتزداد حركة السيارات السائحة الخفيفة.

مما سبق يتضح ان غزارة المرور غير ثابتة مع تغير الزمن لذلك يمكننا التعبير عن هذه الغزارة وبشكل دقيق بالقيمة الوسطية لها خلال المدة الزمنية الحسابية، وتستخدم عادة غزارة المرور الوسطية في اليوم الواحد المأخوذة على مدار السنة.

حيث تسمى **بغزارة المرور اليومية الوسطية**.

أما في الدول التي يجري فيها تعداد آلي دائم أو دوري لحركة المرور على الطريق فإنه من الأدق استعمال غزارة المرور الموافقة للساعة 30 من ساعات الذروة خلال السنة.

لحساب غزارة المرور الموافقة للساعة 30 لدينا في اليوم 24 ساعة أي لدينا 24 قيمة للغزارة (لأن واحد الغزارة تكون إما باليوم أو بالساعة) نأخذ القيمة الأعظمية بينهم، حيث كل قيمة من القيم الأعظمية السابقة تمثل "غزارة مرور أعظمية في يوم واحد" وبالتالي في السنة 365 يوم بالتالي لدينا 365 غزارة يومية أعظمية.

نرتبهم من الأكبر إلى الأصغر والقيمة ذات الترتيب 30 هي قيمة الغزارة الموافقة للساعة 30.

تعريف القيمة الموافقة للساعة 30: هي القيمة التي يوجد قبلها فقط 29 ساعة في السنة تكون فيها الغزارة في كل منها أكبر من الغزارة الموافقة للساعة 30 ، عملياً يمكننا ان نعد هذه الغزارة الموافقة للساعة 30 تساوي 15% من الغزارة اليومية الوسطية المأخوذة على مدار السنة.

تعريف غزارة المرور التصميمية: هي غزارة المرور الموافقة للساعة 30 في العام الأخير للعمر التصميمي للطريق عادة (20-25سنة).

التصنيف الفني للطريق :

بعد ان حسبنا الغزارة الفعلية وحولناها إلى غزارة مكافئة ثم حسبنا الغزارة الموافقة للقيمة 30 (الغزارة التصميمية الحسابية) نقوم الآن بتحديد درجة الطريق "التصنيف الفني للطريق"

تقسم الطرق إلى 5 درجات:

تكون الدرجة الأولى هي الاهم والتي تمثل الأوتوستراد والذي يكون عادة بمواصفات فنية عالية (حيث الطريق مكون من عدة حارات لكل اتجاه وجزيرة وسطية منصفة).

ثم تليها الدرجة الثانية وهكذا وصولاً إلى الدرجة الخامسة الذي يمكن ان يكون طريقاً ترابياً أو داخل المنطقة الصناعية أو داخل المناجم.

تحديد درجة الطريق :

تتعلق اهمية الطريق في معظم الحالات بغزارة المرور التصميمة فكلما كانت غزارة المرور أكبر زادت أهمية الطريق وبالتالي زادت الدرجة الفنية.

لكن ليس الغزارة هي فقط من يحدد درجة الطريق بل إن هناك عامل آخر هو

"**الأهمية الاقتصادية والإدارية والدولية للطريق**" حيث أنه يجري عادة إنشاء بعض الطرق بمواصفات فنية عالية بغض النظر غزارة المرور قليلة نسبياً عليها، كالطرق الواصلة إلى اماكن الاصطياف التي يمكن أن تكون الغزارة فيها قليلة ولكن عندما تسير السيارة عليها يجب أن تسير مرفهة بحيث يتميز بتوفير أقصى راحة ممكنة للمصطافين وذلك تبعاً للأهمية الاقتصادية.

فمثلاً في حال كان الطريق درجة ثالثة لكنه طريق هام اقتصادياً فإننا نرجعه مرتبة ليصبح من الدرجة الثانية.

ملاحظات:

1. في حال كان الطريق من الدرجة الاولى فلا حاجة لأن نبحث عن أهمية اقتصادية وذلك لأنه سوف يصمم بأعلى المواصفات.

2. كما أن تكلفة الطريق واستثماره واهمية الطريق بالنسبة للاقتصاد القومي وكذلك دوره في شبكة النقل عامة للقطر كل تلك العوامل تلعب دوراً في تحديد درجة الطريق ولكن ليس الأهمية التي يقوم بها العاملين الاوليين.

السرعة التصميمية للطريق :

بعد تحديد درجة الطريق ذو السرعة التصميمية التي تسير على الطريق حيث انه يتبادر للذهن أن السرعة التصميمية هي مفتاح الطريق، إلا أنها تحدد بعد معرفة الأمور الأكثر أهمية.

ويتم تحديد السرعة التصميمية من معرفة درجة الطريق ومعرفة طبيعة الأرض التي تسير عليها السيارة، فالسرعة التصميمية تختلف من منطقة لأخرى.

فمثلاً تكون السرعة التصميمية في طريق درجة اولى في منطقة سهلية غير مطابق لطريق درجة أولى في منطقة هضبية أو جبلية.

ولذلك لتحديد السرعة يجب معرفة كلاً من درجة الطريق وطبيعة المنطقة.

تتوافق السرعة التصميمية الأساسية للطرق من الدرجة الاولى مع السرعة الأعظمية التي يمكن أن تحققها السيارات السائحة الخفيفة، أما السرعة التصميمية للطرق من الدرجة الخامسة فهي قريبة من السرعة الاعظمية التي يمكن أن تسير بموجبها السيارات الشاحنة.

إن نوعية السيارات التي تمر على الطريق ذات الدرجات الفنية المنخفضة هي نفسها التي تستخدم الطرق ذات الدرجات الفنية العالية.

إلا أن الطرق ذات الدرجة الفنية الثالثة والرابعة والخامسة لا تسمح بتحقيق الخواص الميكانيكية للسيارات بشكل كامل في حال اعتماد السرع التصميمية الواردة في الجدول التالي.

ولهذا ينصح دوماً بتصميم عناصر الطريق في المسقط الأفقي والمقطع الطولي بحيث تحقق سرعة تصميمية عالية، إذا سمحت بذلك الشروط المحلية، وعندما لا يؤدي ذلك إلى زيادة في حجم الأعمال وكلفة الطريق بشكل محسوس

يبين الجدول التالي السرعات التصميمية المفروضة عند حساب عناصر الطريق في المسقط الأفقي والمقطع الطولي والعرضي وغيرها من العناصر المتعلقة بالسرعة وذلك من أجل مختلف أنواع الطرق

درجة الطريق	السرعة التصميمية كم/سا		
	الأساسية	المسموحة في المناطق الصعبة	
		الهضبية	الجبلية
I-*a*	150	120	80
I-*b*	120	100	60
II	120	100	60
III	100	80	50
IV	80	60	40
V	60	40	30

جامـــعة دمـــشق
كليـــــة الهندسة المدنية
قسم هندسة النقل ومواد البناء

تصميم الطرق 2

المحاضرة 2

هندسة الطرق

محتوى المحاضرة:

عناصر الطريق

تقسم عناصر الطريق الى ثلاث أقسام وهي:

- عناصر الطريق في المسقط الأفقي.
- عناصر الطريق في المقطع الطولي.
- عناصر الطريق في المقطع العرضي.

عناصر الطريق

بعض المفاهيم الضرورية:

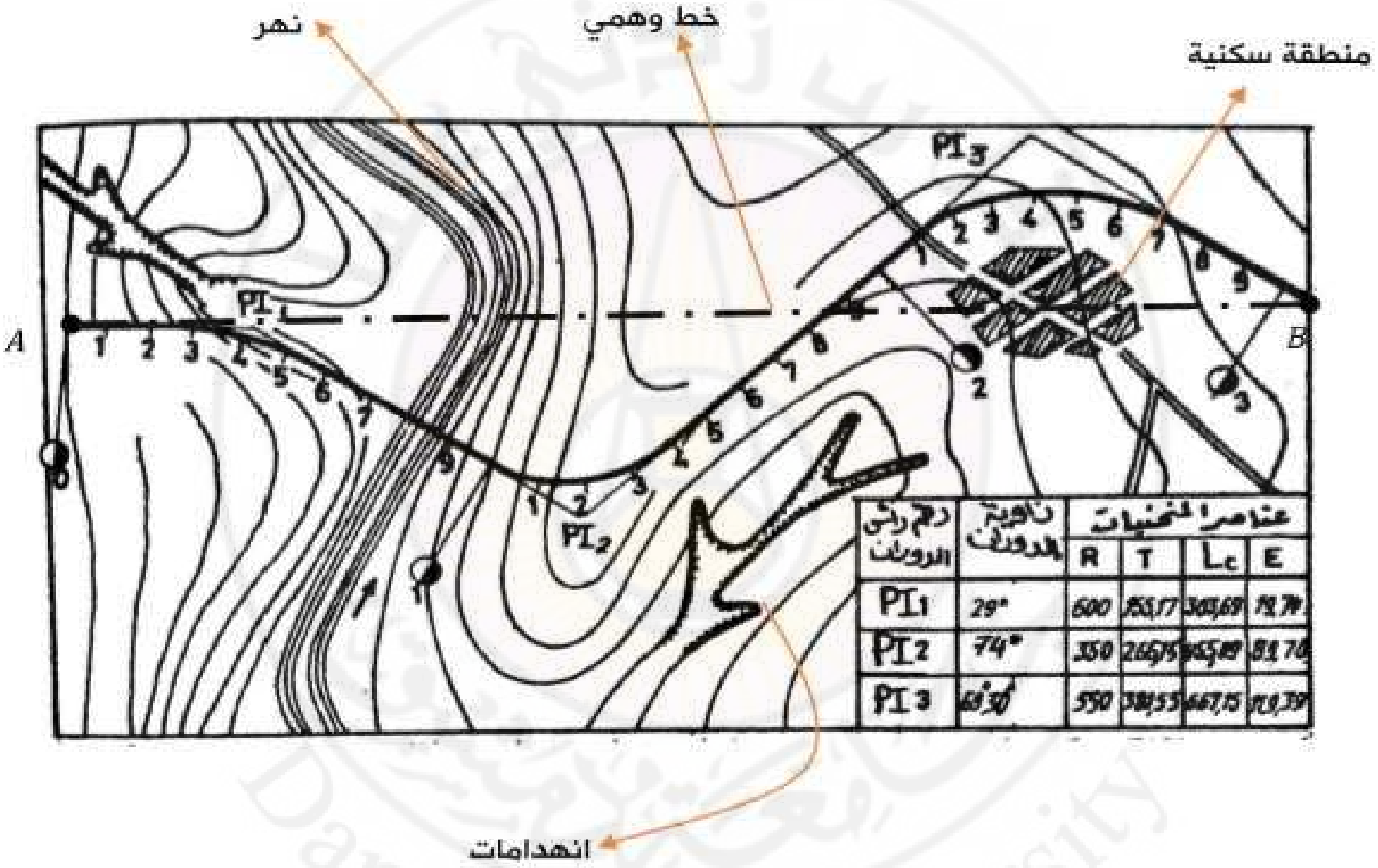
المخطط الطبوغرافي: هو مخطط لمسقط مدينة بمقياس معين، يظهر التفاصيل الأساسية في خطوط تسوية مناطق سكنية وصناعية وغيرها.

الخط الوهمي: هو الخط المستقيم الواصل بين نقطتي البداية والنهاية للطريق على المسقط الأفقي.

مضلع الطريق: هو عبارة عن مضلع منكسر يحدد بين نقطتي البداية والنهاية للطريق.

زاوية الدوران: هي الزاوية الحاصلة بين امتداد الضلع السابق والضلع اللاحق ورمزها Δ

السمت: هي الزاوية التي يصنعها المستقيم المدروس مع الشمال الجغرافي.



رقم رأس الدوران	زاوية الدوران	عناصر المنحنيات			
		R	T	Lc	E
PI1	29°	600	155,77	303,69	19,79
PI2	74°	350	266,75	452,89	81,76
PI3	68°30'	550	388,55	667,75	119,39

يتم تصميم الطرق لكي تؤمن نقل الحمولات والركاب بشكل أمن ومريح بحيث تكون الطاقة المصروفة من قبل السيارات وكلفة النقل أقل ما يمكن.

يتبادر إلى الذهن أن ذلك يمكن تحقيقه باتباع الخط المستقيم (الخط الوهمي) الواصل بين نقطتي البداية والنهاية للطريق، إلا أن إنشاء الطريق حسب الخط الوهمي للحصول على أقصر مسافة ممكنة يصطدم بعقبات كثيرة:

كالتضاريس (جبال – وديان - انهدامات)

عقبات مائية (أنهار- بحيرات - مستنقعات)

عقبات أخرى كالغابات والمناطق الزراعية عالية الخصوبة.

كما قد يكون من الضروري على الأغلب أن يمر الطريق من خلال نقاط معينة (نقاط المرور المتوسطة) كما هو الحال عند المرور بمحاذاة المناطق السكانية والمدن الصغيرة الواقعة قرب الخط الوهمي وكذلك النقاط الملائمة لتقاطع الطريق مع الانهار والسكك الحديدية والطرق الأخرى.

أولا: عناصر الطريق في المسقط الأفقي:

لرسم المسقط الأفقي نتبع الخطوات التالية:

1- نحدد نقطتي البداية والنهاية:

بعد أن حددنا درجة الطريق ننظر إلى المنطقة التي سيمر منها الطريق وذلك بهدف تحديد السرعة التصميمية له .

ثم نحضر مخطط المدينة التي عبر منها الطريق "المخطط الطبوغرافي" حيث يجب تعلم كيفية قراءته وقراءة المعلومات الموجودة فيه كخطوط التسوية والطرق الموجودة فيه، وكل ما فيه من رموز وتعاليم.

ثم نقوم باتخاذ القرار بمكان وضع الطريق .

ثم نحدد نقطتي البداية والنهاية للطريق على المخطط ونصل بينهما.

2- نرسم مضلع الطريق "المضلع المنكسر" :

شرحنا سابقا أنه يوجد عقبات تمنعنا من تنفيذ الطريق على الخط الوهمي كالتضاريس وغيرها لذلك نضطر للابتعاد عن الخط الوهمي AB واختيار محور الطريق على شكل خط منكسر.

كما هو الحال من أجل تخطي النهر فيجب أن يكون التقاطع بين الطريق والنهر بشكل زاوية قائمة وفي أقصر عرض للنهر إن أمكن وذلك لأن الطريق الذي سيمر خلال النهر سيكون عبارة عن جسر وتكلفة إنشاء الجسور عالية لذلك نحاول دائماً أن نقلل الكلفة الاقتصادية.

وكذلك الامر بالنسبة للسكك الحديدية فنحن نحاول أن يكون التقاطع بشكل زاوية قائمة وذلك للتقليل من زمن التقاطع حيث كلما كان الطريق مائلاً أكثر كلما زاد زمن التقاطع وبالتالي زاد من خطورة الاصطدام.

لو كان هنالك مناطق شجرية فيجب الابتعاد عنها.

ولو كان هنالك مناطق صناعية أو سكانية فيجب محاذاتها كي يتم تخديمها.

إذاً الوصل بين النقطتين A و B هو صعب عمليا بسبب وجود العقبات المترتبة عليها وهنا يكون دور المهندس حيث ينتقي الأفضل بين مجموعة الحلول الممكنة ليكون الطريق آمن ومريح من الناحية الإنشائية والناحية الاستثمارية.

3- حساب زاوية الدوران وقياس الأطوال وحساب السموت والإحداثيات :

<u>زاوية الدوران</u>: هي الزاوية المحصورة بين امتداد الضلع الأول والثاني فتكون بالنسبة للشكل التالي:

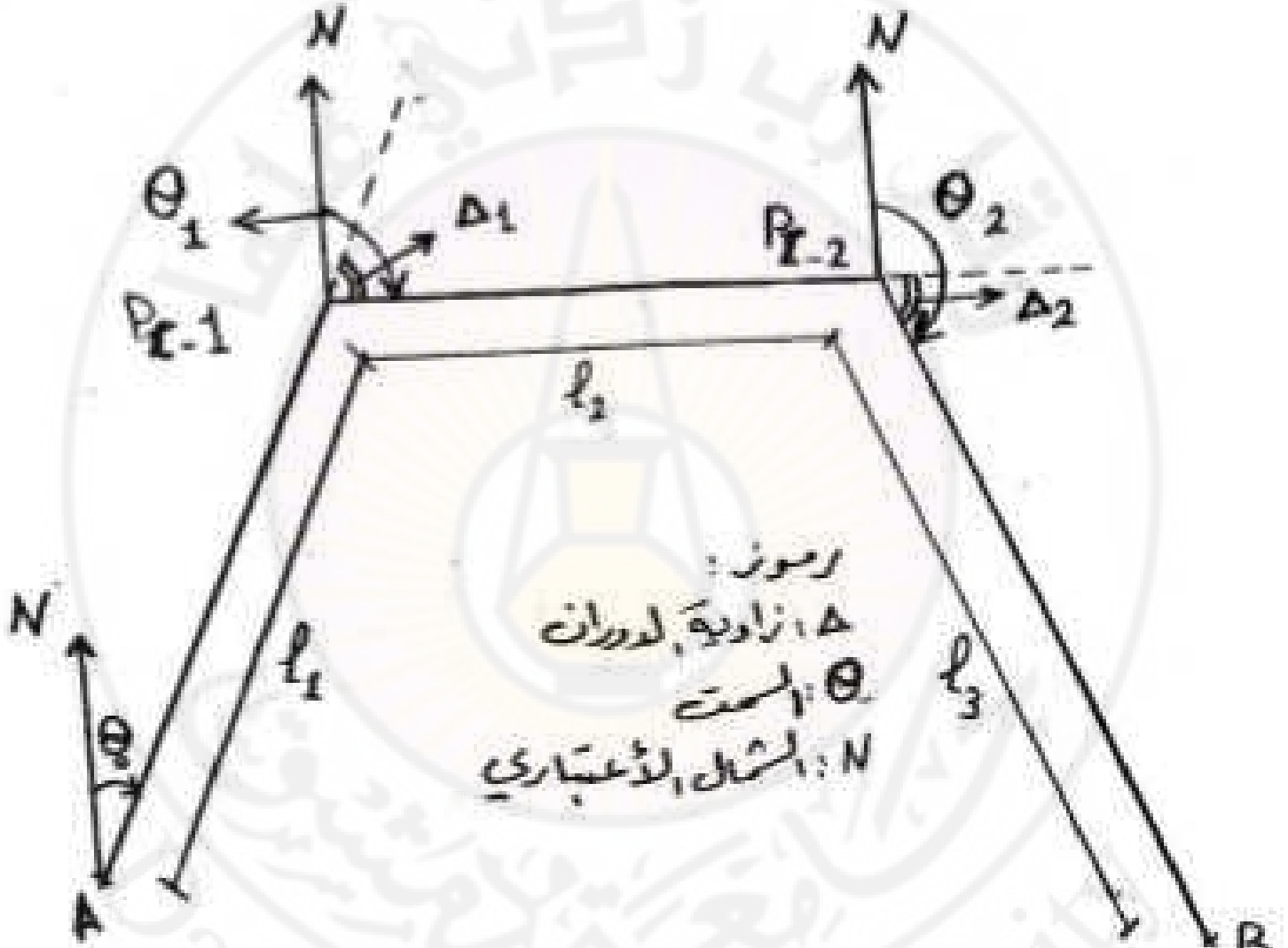
Δ_1 هي الزاوية المحصورة بين امتداد المستقيم بين النقطتين A و P_{i-1} والمستقيم الواصل بين P_{i-1} و P_{i-2} وبنفس الطريقة يكون Δ_2

حيث نسمي رؤوس المضلع المنكسر ب رؤوس الدوران ونرمز لها على الترتيب وعلى طول محور الطريق ب $(\ldots,P_{i-2},P_{i-1},)$

نقيس الأطوال بين زوايا الدوران بالقياس المباشر لنحدد أطوال الأضلاع والتي نرمز لها $(l_1,l_2,l_3\ldots)$.

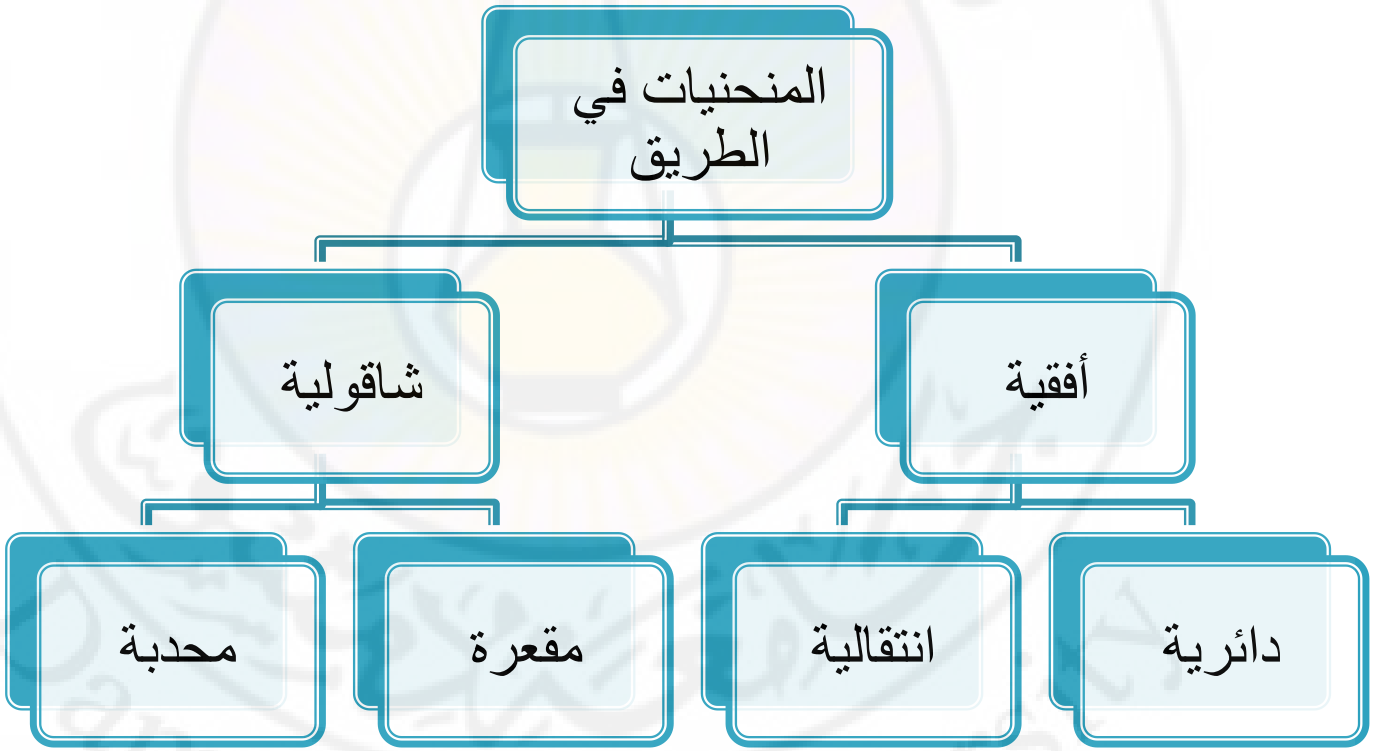
يتم حساب السمت للأضلاع حيث نحسب السمت الأول مباشرة من المخطط وذلك باستخدام المنقلة ثم لحساب السموت الأخرى نطبق العلاقة التالية:

السمت = السمت السابق $\mp$ زاوية الدوران


N
N
N
θ_1
Δ_1
P_{i-1}
P_{i-2}
θ_2
Δ_2
ℓ_2
ℓ_1
ℓ_3
θ_3
A
B
رموز :
Δ : زاوية الدوران
θ : السمت
N : الشمال الاعتباري

4- إيجاد محور الطريق وحساب عناصر المنحنيات :

من المستحيل عبور السيارات على الخط المنكسر والذي يشكل زاوية لذلك نلجأ لوضع منحنيات تسهل حركة المرور براحة أكثر و أمان أكثر. حيث يتم تقسيم المنحنيات في الطريق إلى:



المنحنيات الأفقية: والتي تكون في المسقط الأفقي فقط ويكون فيها المنحني انعطافه إما لليمين أو لليسار.

المنحنيات الشاقولية: وهذه المنحنيات تكون إما للأعلى أو للأسفل وذلك تبعاً لطبيعة تضاريس الأرض.

المنحنيات الافقية الدائرية: وهي المنحنيات التي تكون ذات قطر ثابت، ويكون لها علاقة رياضية تسمح بحساب عناصر المنحني الدائري.

المنحنيات الأفقية الانتقالية: تكون ذات قطر متغير من الاستقامة (الخط المستقيم) إلى القطر الذي نريد التصميم عليه، توضع عندما يكون هنالك منعطف حاد جدا ستتوضح فكرته لاحقا.

ملاحظات:

كلما كانت زوايا الدوران صغيرة كلما كانت أنصاف أقطار المنحنيات كبيرة.

لا يفضل تصميم الطرق باستقامات طويلة يجب أن يكون هنالك استقامات ومنحنيات بأنصاف أقطار كبيرة.

في حال كانت السرعات كبيرة ولم نستطع أن نأخذ منحنيات دائرية بأنصاف أقطار كبيرة، نأخذ المنحنيات الأفقية الانتقالية بأنصاف أقطار صغيرة.

ملاحظة: تكون المنحنيات الأفقية دائرية:

إذا كان نصف قطر المنحني: $R \geq 3000m$ الطرق من الدرجة الأولى.

وإذا كان نصف قطر المنحني: $R \geq 2000m$ الطرق من باقي الدرجات (II, III, IV, V).

تكون المنحنيات الأفقية انتقالية إذا كانت R أقل من القيم السابقة أي:

$R < 3000m$ الطرق من الدرجة الأولى.

$R < 2000m$ الطرق من باقي الدرجات (II, III, IV, V).

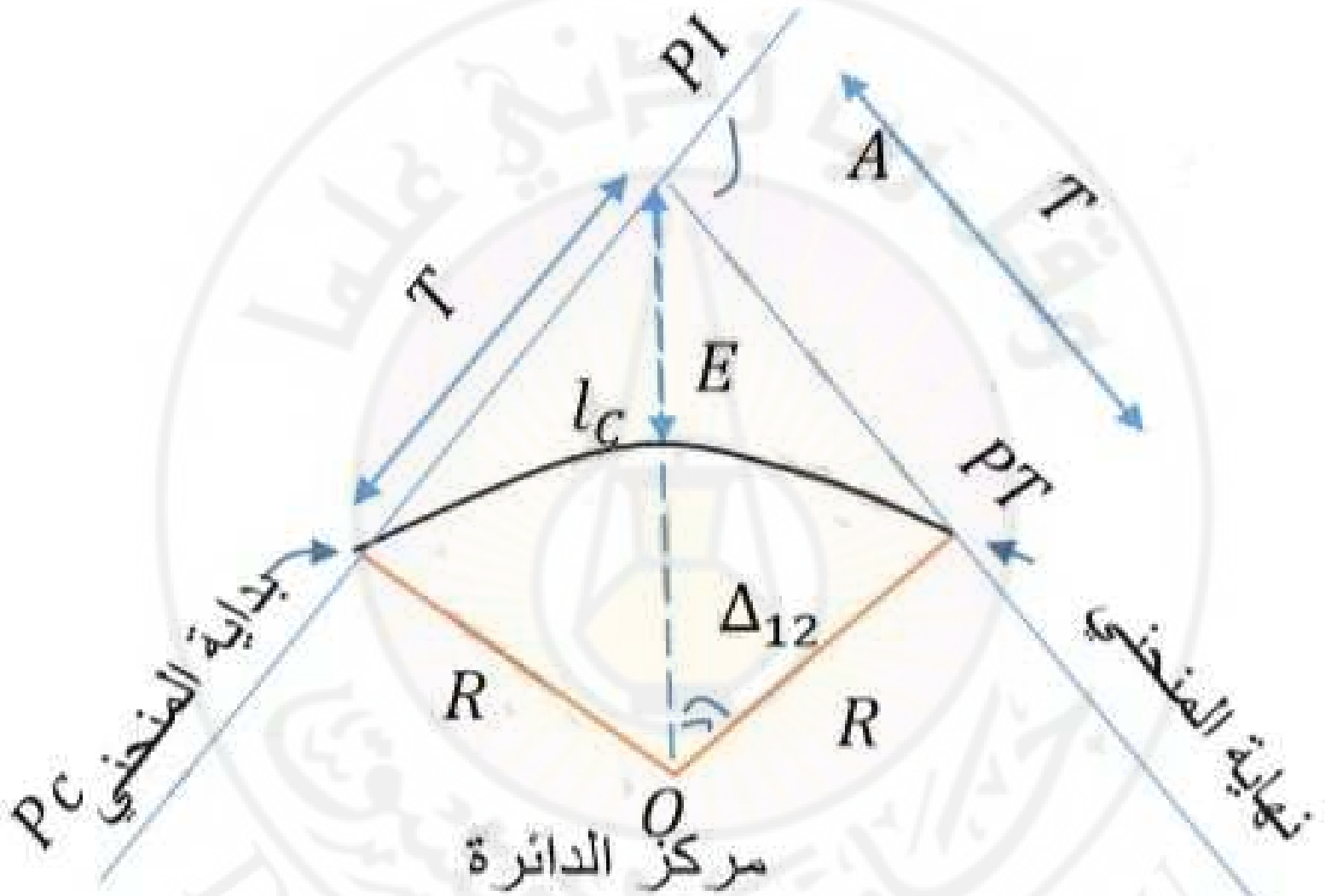
نحصل على أنصاف الأقطار في المنحنيات الدائرية والانتقالية من جداول خاصة تحدد بالاعتماد على السرعات التصميمية للطريق، تكون قيم أنصاف الأقطار الموجودة في الجدول هي القيم الدنيا.

إذاً عندما نضيف المنحنيات لمضلع الطريق يصبح اسمه محور الطريق وبالتالي فإن محور الطريق يتألف من استقامات ومنحنيات.

ملاحظة مهمة: نعبر عادة عن درجة تطويل الطريق بسبب انكسارات المحور عند رؤوس الدوران بعامل التطويل الذي يساوي نسبة الطول الفعلي للطريق على الطول الوهمي للمستقيم الواصل بين نقطتي البداية والنهاية للطريق.

عناصر المنحني الدائري :

1. Δ زاوية الدوران الخارجية والتي تساوي الزاوية المركزية للمنحني الدائري بنظرية التعامد. حيث نصل المستقيم الواصل بين النقطتين O و P_I وباعتبار أن المثلث (P_c-P_I-O) مثلث متساوي الساقين إذاً يكون الارتفاع (O-PI) منصف وبالتالي تكون الزاوية (PI-O-PT) تساوي Δ_{12}
2. R : نصف قطر الانحناء
3. T: طول المماس للمنحني الدائري.
4. L_c طول المنحني الدائري.
5. E : طول السهم أو المنصف


PI
J
A
T
T
E
l_C
PT
Δ_{12}
R
R
O
مركز الدائرة
بداية المنحني PC
نهاية المنحني

بالإضافة إلى هذه العناصر الخمسة هنالك عامل أخر يسمى **عامل التصحيح**

ويتم حسابه من أجل حساب الطول الفعلي للطريق وللتحقق من صحة العمل.

ولحساب طول الطريق الفعلي ننطلق أولاً من قياس طول المنحنيات ثم نضيف إليها طول الاستقامات بين المنحنيات أو "أن نجمع أطوال أضلاع المضلع ثم نطرح منه التصحيح" وبذلك فإن هناك تصحيح يجب إدخاله من أجل كل منحني.

أن طول المماسين أكبر من طول القوس الدائري وهذا يؤثر على الطول الفعلي بالطبع، ونسمي الفرق بين طول المماسين وطول المنحني عند كل رأس دوران بالتصحيح ويرمز له D فيكون:

$$D = 2T - L_C$$

ويكون لكل منحني تصحيحه الخاص به، إذا كان هنالك 3 منحنيات فإنه سيكون هناك 3 تصحيحات وبالتالي الطول الفعلي سيكون طول الضلع ناقصاً منه مجموع التصحيحات، أو كما ذكرنا سابقا حيث نجمع طول المنحنيات إلى طول الاستقامات.

ترتبط عنلصر المنحني الدائري مع بعضها البعض بعلاقات مثلثية بسيطة:

$$L = \frac{\pi R \cdot \Delta}{200} = \frac{\pi R \Delta}{180}$$

$$E = R\left(\frac{1}{\cos\frac{\Delta}{2}} - 1\right)$$

$$T = R \cdot \mathrm{tg}\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

بعد أن نتج الطول الحقيقي للطريق نحسب عامل التطويل عبارة عن مؤشر للحل، فكلما كان عامل التطويل صغيراً كلما كان الحل أدق.

ملاحظة:

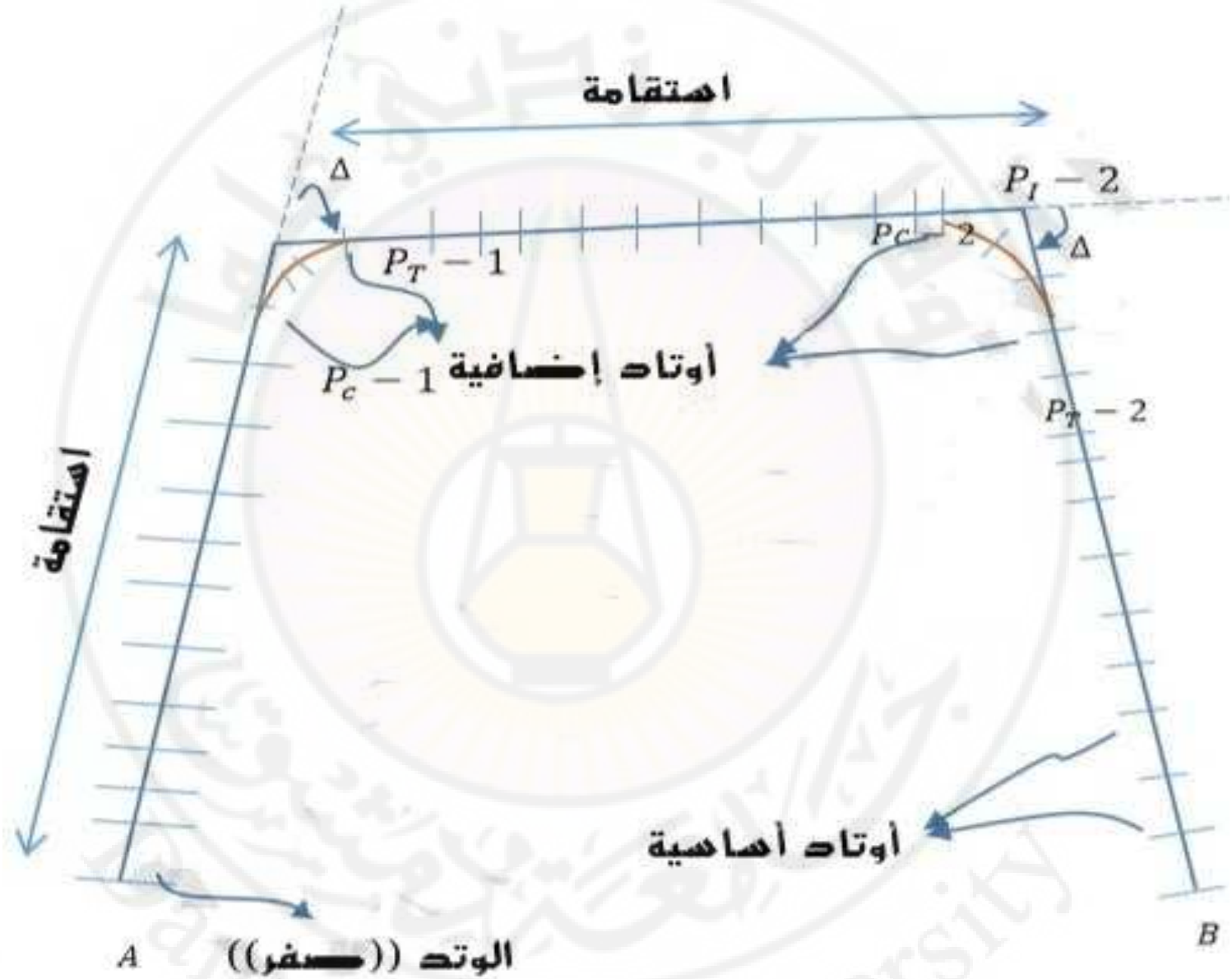
يجب الانتباه عند تكبير أنصاف الأقطار ألا يحدث تراكب للمنحنيات المتتالية فالشرط الأساسي أن يكون مجموع المماسين أصغر من طول الضلع المحصور بينهما.

5- التوتيد :

الوتد هو عبارة عن تثبيت بالأرض نضعه لكي نرى التفاصيل و للأوتاد ثلاثة أنواع:

1- **الأوتاد الأساسية:** وهي التي توضع على محور الطريق من البداية وانطلاقاً من الوتد صفر وحتى نهاية محور الطريق بقيمة ثابتة تحدد حسب المنطقة وحسب الدراسة، فإذا كانت المنطقة جبلية أو نريد دراسة تفصيلية فإننا نضع المسافات بين الوتد والأخر (50-100m) وذلك كي تظهر التفاصيل "التضاريس" للمنطقة بوضوح ودقة أكبر.

أما إذا كانت الدراسة استطلاعية أو مكانية أو المنطقة سهلية فلا حاجة لإظهار التفاصيل فيها فإننا نأخذ المسافة بين الوتد والآخر(100-500 m) ثم نرقم الأوتاد من البداية إلى النهاية.


استقامة
Δ
$P_I - 2$
$P_T - 1$
$P_C - 2$
Δ
$P_c - 1$
أوتاد إضافية
$P_T - 2$
استقامة
أوتاد أساسية
A
الوتد ((صفر))
B

2- **الأوتاد الإضافية:** توضع هذه الأوتاد من البداية ونهاية كل منحني دائري أو انتقالي حيث نرمز لبداية المنحني بpc ونهاية المنحني ب PT ومن الممكن أن نطبق الأوتاد الإضافية على الأوتاد الأساسية.

3- **الأوتاد الاستثنائية:** بعد أن وضعنا الأوتاد الأساسية والأوتاد الإضافية نضع الأوتاد الاستثنائية في حال اضطررنا لذلك وتوضع في حال وجود منطقة هضبية أو وادي أو انهدام كبير ومر الطريق من خلاله ولم يكن هناك أي أوتاد أو اذا كانت موجودة ولكن لم تظهر التفاصيل فنضع وتداً استثنائيا، فمن الممكن أن تظهر التفاصيل بالمقطع الطولي ضرورة ألا نمر على هذا الانهدام إلا بجسر أو من الممكن حتى أن نغير محور الطريق وذلك تم كشفه بالأوتاد الاستثنائية .

ملاحظة : عندما يكتب 15^{+40} أي بعد الوتد رقم 15 ب 40 متر

وتستخدم هذه الدلالة لتحديد نقطة ما على المخطط.

ثانيا: عناصر الطريق في المقطع الطولي:

نقصد بالمقطع الطولي للطريق أنه المخطط الناجم عن إسقاط محوره المنشور على مستوي شاقولي مع المحافظة على المناسيب.

ونستفيد منه بشكل أساسي في تحديد قيم الميول الطولية لمختلف أجزاء الطريق وكذلك لتحديد وضعية سطح الطريق بالنسبة للأرض الطبيعية (حفر – ردم).

وتعد قيم الميول الطولية عادة أهم العوامل التي تميز فعالية النقل على الطرق .

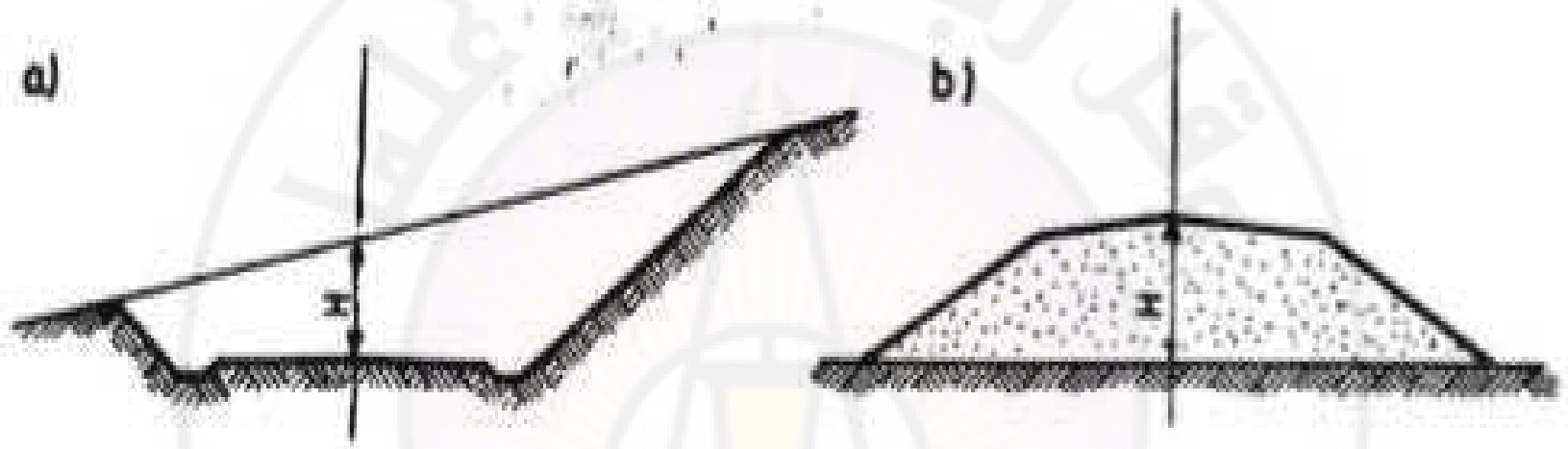
Damascus University

حيث يمثل الشكل السابق :

منظور (اكسونومتري) للطابق الترابي للطريق والذي يبين أن محور الطريق الذي تسلكه السيارات هو عبارة عن خط انسيابي فراغي نظرا لأنه يغير من اتجاهه في المقطع الطولي بسبب تجاوزه للعقبات الطبيعية والبيئية كما يغير من اتجاهه في المقطع الطولي بسبب صعوده عند المرتفعات وهبوطه عند المنخفضات .

المسقط الأفقي للطريق

المسقط الطولي للطرق والذي ينتج عن إسقاط المحور على المستوي الشاقولي.



شكل (٢ـ٥)

ارتفاع محور الطريق عن الارض الطبيعية

a ـ في الحفر b ـ في الردم

ولرسم جدول المقطع الطولي ننقل ما حصلنا عليه من المسقط الأفقي للمقطع الطولي حيث ننظم جدولا يحوي عدة خانات ونبدأ بترتيب الأوتاد من اليسار إلى اليمين وبنفس المقياس المستخدم في المسقط الأفقي حيث أن تنظيم الجدول يكون من الأسفل إلى الأعلى ومن اليسار إلى اليمين .

عندما تزيد الميول الطولية لسطوح منحدرات الأرض الطبيعية عند محور الطريق على الميول المناسبة والمسموح بها لحركة السيارات بشكل فعال نعتمد عادة إلى اختيار ميول طولية للطريق أقل من ميول سطح الأرض الطبيعية. الأمر الذي ينجم عنه حفر جزء من التربة وردم الجزء الآخر (كما هو الحال عند اجتياز المناطق المنخفضة من التضاريس).

ونسمي الأماكن التي يكون فيها سطح الطريق أخفض من الأرض الطبيعية نتيجة لقطع التربة **الحفريات** والاماكن التي يكون فيها سطح الطريق اعلى من سطح الأرض الطبيعية نتيجة لردم التربة بشكل اصطناعي **الردميات** وعندما يكون ارتفاع الردم أقل من 1 م نقول أن الطريق يمر في المستويات الصفرية ويفضل ألا يقل ارتفاع الردم عن 1 م حتى لا تتجمع المياه على الطريق .

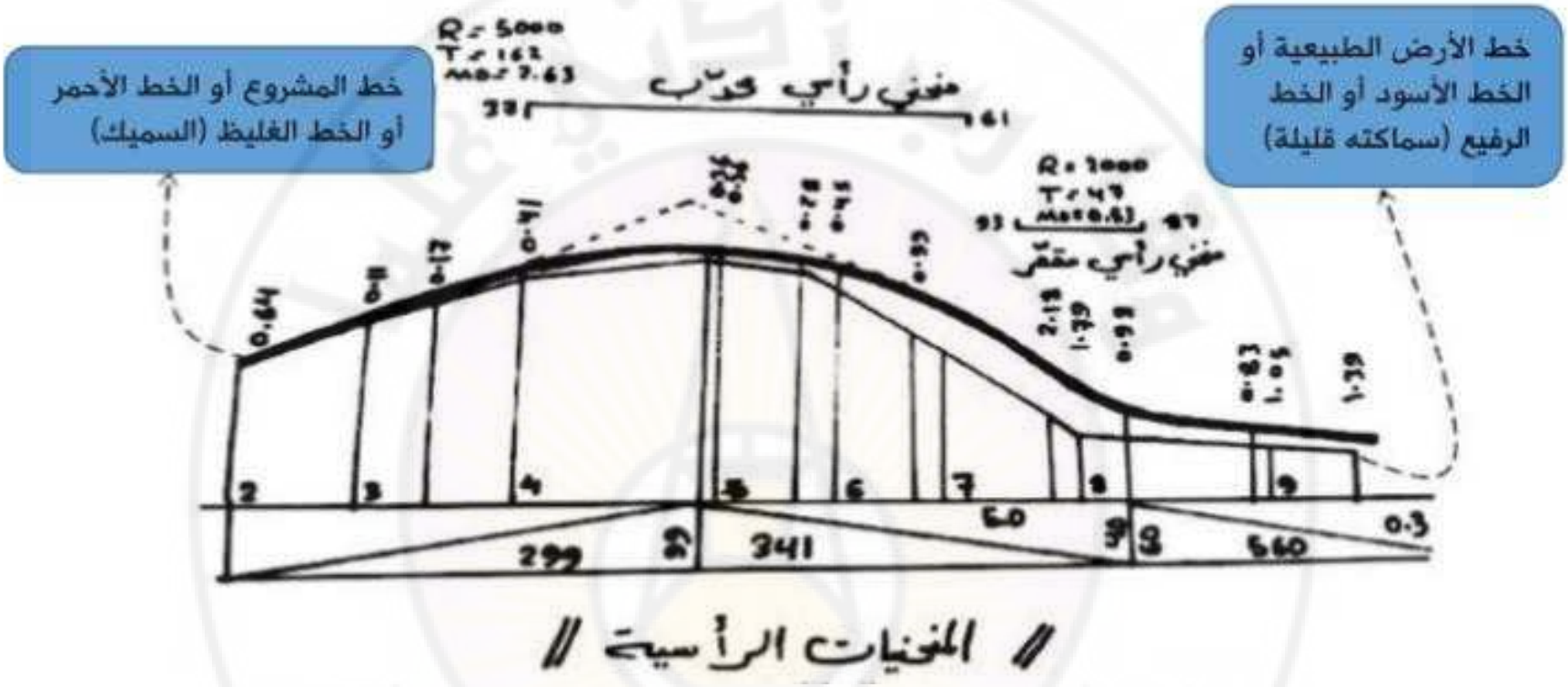
وحيث أن مناسيب سطح الطريق نتيجة تشكيل الحفريات والردميات تختلف عن مناسيب الأرض الطبيعية فإن فرق الارتفاع هو الذي يحدد ارتفاع الحفر والردم في كل نقطة من نقاط الطريق .

الطريق في الحفر
الطريق في الردم
الطريق في المنشورات الصخرية
0.30
0.18
0.80
2.60
1.60
0.90
1.08
0.43
3.50
d=1.5m
0.45
0.27
0.25
100
14
100
40
20
50
5
15
30
1
2
3
4
5
6
7

تتشكل نتيجة الانكسارات الناجمة عن تغير الميول في المقطع الطولي عدة أمور تسيء لحركة السيارات فمثلا تسوء الرؤيا في المناطق المحدبة خاصة عندما يكون الانكسار حاداً كما تتعرض السيارة التي تسير بسرعة عالية للخطر نتيجة فقدان السيطرة عليها بسبب نقصان الحمولة على المحور الأمامي.

أما في المناطق المقعرة فإن السيارة تتعرض لصدمة مفاجئة نتيجة تغير اتجاه الحركة مما يسبب شعورا سيئا للركاب كما يزيد من فقدان الحمولة التي تتعرض لها نقاط التعليق في السيارة .

وللتخلص من هذه الظواهر السلبية اوللتخفيف منها يجري تلطيف هذه الانكسارات بإدخال منحنيات رأسية على شكل قطع مكافئ حيث يبين الشكل التالي انكسارين في مضلع المقطع الطولي للطريق جرى استبدالهما بمنحنيين رأسيين ((أحدهما محدب والآخر مقعر)) كما تبين الارقام الموضوعة في الأعلى فرق الارتفاع بين الأرض الطبيعية وسطح الطريق عند المنحنيات الرأسية .



يسمى الخط الرفيع الذي يصل مناسيب الأرض الطبيعية على المقطع الطولي خط الأرض الطبيعية

أما الخط الغليظ الذي يصل مناسيب سطح الأرض عند المحور فيسمى خط المشروع .

ويرسم عادة خط المشروع أغلظ بمرتين من خط الأرض الطبيعية وذلك لإبرازه على لوحة المخطط.

ثالثا: عناصر الطريق في المقطع العرضي:

نقصد بالمقطع العرضي : المخطط المرسوم بمقياس مصغر للشكل الناجم عن قطع الطريق بمستوي شاقولي عمودي على محوره وتؤخذ المقاطع العرضية عند كل وتد (أساسي، إضافي، استثنائي) لكي يتوضح بشكل تفصيلي مناطق الحفر والردم وأخذ فكرة عن كلفة المشروع.

يتألف المقطع العرضي من العناصر التالية

الغطاء : حيث تسمى الشريحة من سطح الارض التي تسير عليها السيارات بالغطاء والذي ينشأ عادة من مواد متينة ومقاومة كما يسمى السطح العلوي من الغطاء القميص وفي حال كان الطريق من الدرجة الأولى يخصص غطاء مستقل من أجل الحركة في كل اتجاه (أحدهما ذهاب والآخر إياب) كما أنه من الممكن أن يتكون كل غطاء من حارتين أو ثلاثة أو أكثر كما يترك بين الغطاءين جزيرة فاصلة متوسطة لا يسمح بحركة السيارات عليها لزيادة الأمان.

الأكتاف الجانبية (البانكيت) :تحيط بالغطاء من كل طرف ويكون ميله 2% وتفيد عادة من أجل وقوف السيارات عليها في الحالات الاضطرارية وكذلك لوضع المواد الإنشائية اللازمة لإصلاح الطريق في حال الضرورة كما تساعد الأكتاف الجانبية على زيادة عوامل الأمان للحركة في حال اضطرار السيارة للخروج عن المسرب الذي تسير عليه لأي سبب من الأسباب وتكون عبارة عن تربة مرصوصة أو اسفلت بمواصفات متدنية.

شريحة التثبيت أو التدعيم : حيث يجري عادة تدعيم الأطراف الجانبية للغطاء ورفع مقاومتها وذلك بتعبيد جزء من الأكتاف الجانبية أو الجزيرة أو المنصفة وتقويتها بشريحة تقوية طرفية وتفيد هذه التقوية أيضا في تحقيق إضافي لحركة السيارات في حال اضطرارها للخروج عن طرف الغطاء لأي سبب من الأسباب.

الطريق الترابي والخنادق الجانبية : يجري إنشاء الطابق الترابي والخنادق الجانبية لوضع الغطاء على المستوي المطلوب بدءا من سطح الأرض الطبيعية (في حالة الردم والحفر) وذلك لصرف المياه على سطح الطريق .

وينسب إلى الطابق الترابي المآخذ الجانبية وهي حفريات غير عميقة على طول الارض المجاورة للطريق لاستخراج التربة اللازمة لتشكيل ردميات الطابق الترابي كما ينسب إليها أيضا الأماكن اللازمة لتجميع الحفريات الزائدة عن الحاجة.

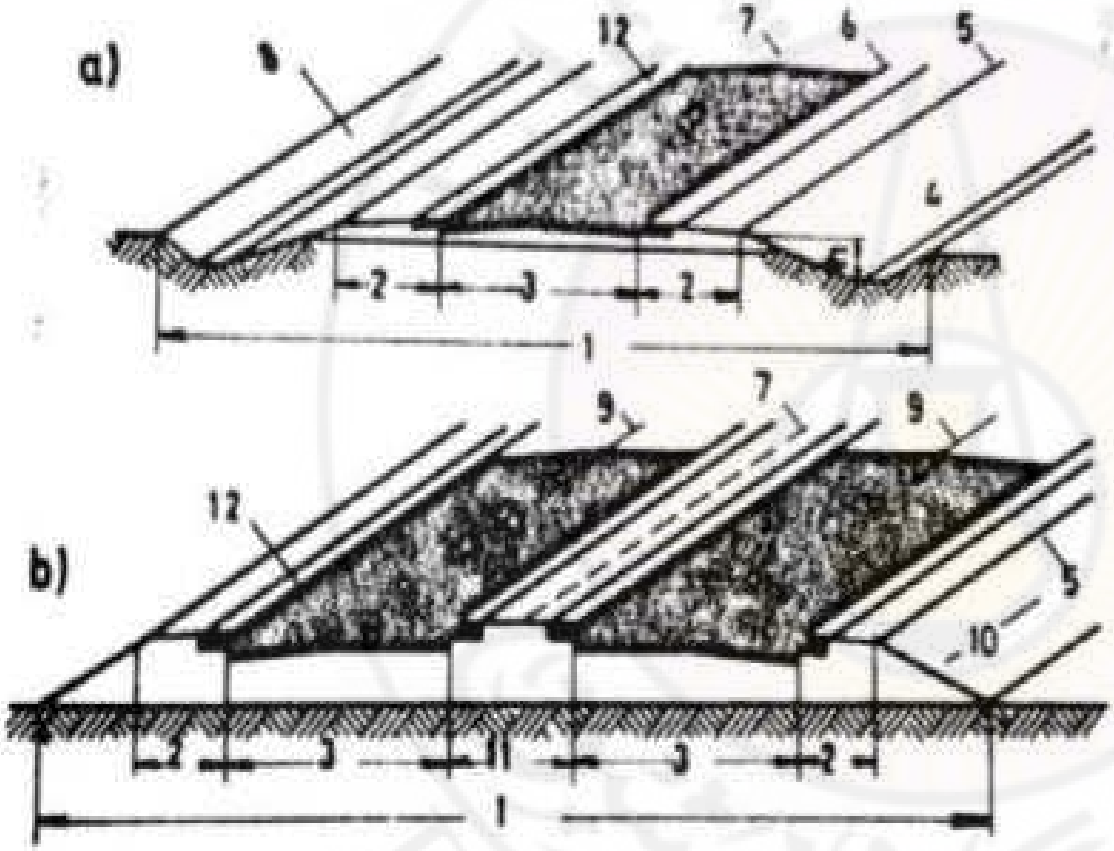
المنحدرات: والتي تفصل الغطاء والأكتاف للطريق عن الأرض الطبيعية المجاورة وهي مستويات مائلة ممهدة بشكل صحيح ودقيق وتكون في حالة الطريق في الردم منحدرات خارجية فقط ,بينما نجد في حالة الطريق في الحفر منحدرات خارجية وداخلية .

ويمثل الشكل التالي الأفكار والتعدادات السابقة للتوضيح :

الطريق ذو غطاء واحد في حالة الحفر .

حيث :

1. الطريق الترابي
2. الأكتاف الجانبية
3. الغطاء
4. المنحدر الداخلي للخندق الجانبي
5. طرف الطريق
6. طرف الغطاء
7. محور الطريق
8. المنحدر الجانبي للخندق الجانبي
9. محور الغطاء
10. محور الردم
11. الجزيرة المنصفة
12. شريحة التدعيم



طريق وغطاءان في حالة الردم .

ملاحظات :

يسمى الخط الناجم عن التقاء الأكتاف الجانبية للطريق مع منحدرات الردم أو المنحدرات الداخلية لخنادق الصرف بـ **طرف الطريق** .

كما تسمى المسافة بين طرفي الطريق عند الأعلى بـ **عرض الطريق** (الغطاء +الأكتاف).

الميل العرضي بالطريق لا يغني عن الميل الطولي بالطريق فلكلا واجباته حيث يقوم الميل العرضي بتصريف المياه إلى الجوانب.

ميل المنحدرات :

1. **في حالة الردم**:

نعبر عن ميول المنحدرات بالنسبة بين ارتفاع المنحدر إلى مسافته الأفقية و تختصر على شكل نسبته يمثل فيها الرقم (1) المسافة الشاقولية و الرقم الآخر المسافة الأفقية اللازمة لتحقيق الميل المطلوب.

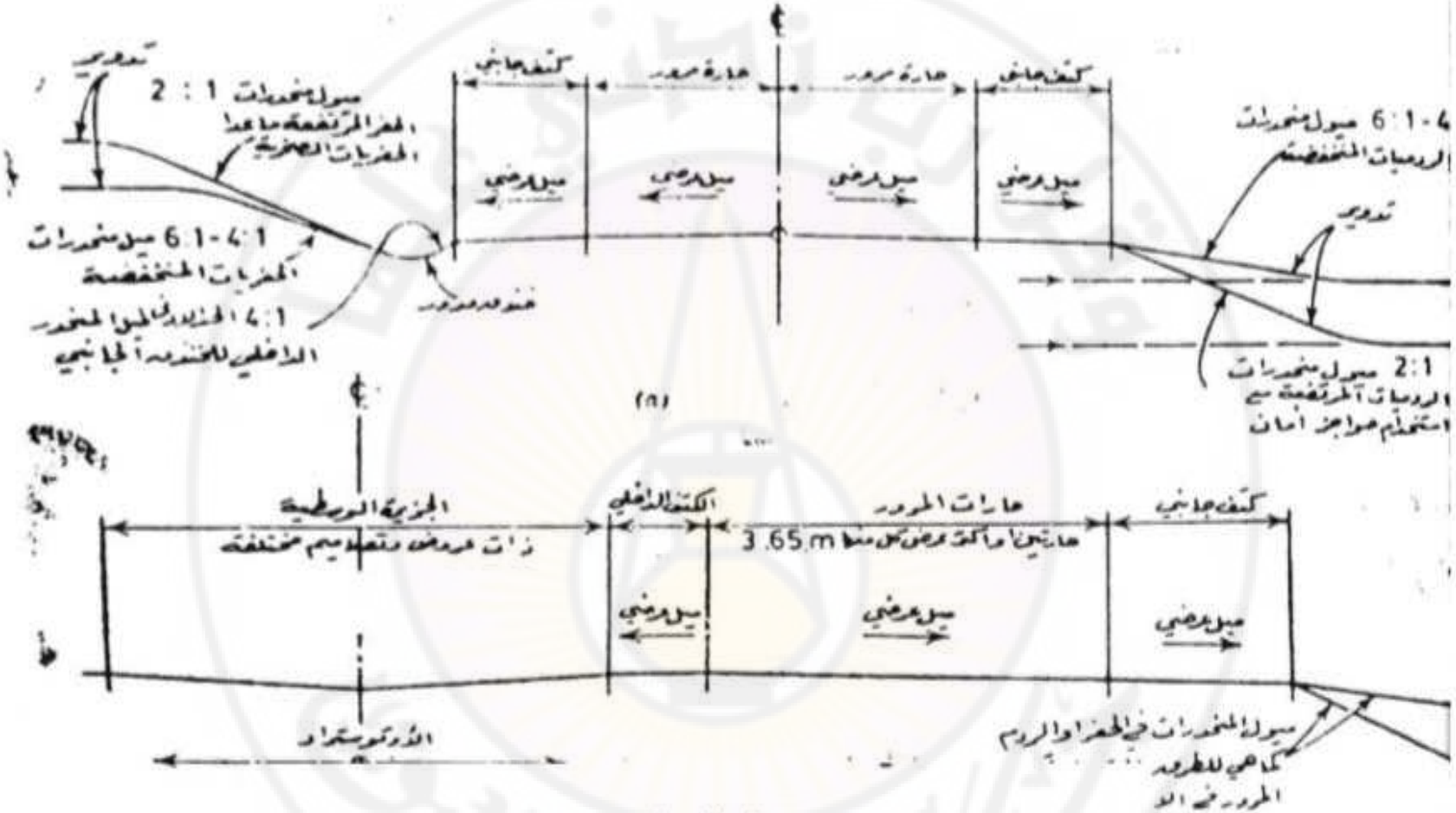
يفضل ان تؤخذ الميول في حالة الردميات قليلة الارتفاع حتى 1.2m بمقدار (1:6) وبهدف زيادة الأمان لحركة السيارات في حال اضطرارها للخروج عن الأكتاف الجانبية للطريق، دون حدوث خطر ما ، كما تساعد هذه الميول الخفيفة بعدم تراكم الثلوج على الطريق في المناطق الباردة والرمال في المناطق الصحراوية.

في حال الردميات يتراوح ارتفاعها من 1.2m حتى 6m تؤخذ هذه الميول بمقدار 1:4

في حال الردميات العالية التي يزيد ارتفاعها عن 6m حيث من غير الممكن خروج السيارة في الحالات الاضطرارية عن الأكتاف الجانبية دون حدوث خطر ما حيث تؤخذ ميول المنحدرات انطلاقا من العوامل الفنية و الاقتصادية لكلفة انشاء الطريق بمقدار (1:2) مع استعمال حواجز أمان على أطراف الأكتاف الجانبية.

كما بينت الخبرة المكتسبة من إنشاء الطرق لمدة طويلة أن الميل 1:2يسمح بإنشاء منحدرات متوازنة.

من غير الممكن أخذ ميول أكبر من ذلك لمنحدرات الردميات العالية نظرا لإمكانية انزلاقها عندما تكون التربة رطبة (بعد هطول الأمطار) تحت تأثير وزنها الذاتي او وزن الحمولات الناجمة عن حركة السيارات الاضطرارية على الأكتاف الجانبية



a ـ طريق ذو حارتي مرور في الاتجاهين .

b ـ اتوستراد ذو حارات مرور متعددة في كل اتجاه (نصف مقطع) .

2. **<u>في حالة الحفر</u>**:

أيضا نعبر عن ميول المنحدرات بالنسبة بين ارتفاع المنحدر إلى مسافته الأفقية .

في حال الحفريات فيتم انشاء الطابق الترابي بحيث يتروح ميول المنحدرات الخارجية من (1:6) حتى (1:4) للارتفاعات القليلة حتى 6m و 1:2 للارتفاعات التي تزيد عن ذلك. والمنحدرات الداخلية دوما تؤخذ ميولها 1:4.

أما قيم ميول المنحدرات الواقعة في المناطق الصخرية سهلة التفتت أو التي تتأثر مقاومتها نتيجة إشباعها بالماء فتتراوح من (1:0.2) حتى (1:2) وذلك حسب سهولة تفتتها نتيجة تعرضها للعوامل الطبيعية وخواصها الفيزيائية والميكانيكية وكذلك عمق الحفريات.

ويتم صرف مياه الأمطار عن سطح الطريق و المنحدرات الخارجية عندما يكون الطريق في حالة الحفر بواسطة خنادق جانبية ذات شكل مثلثي أو شبه منحرف ويتم تحديد أبعاد هذه الخنادق و ميولها انطلاقا من غزارة المياه الواجب تصريفها واعتبارات الأمان وتؤخذ الخنادق عادة بعمق لا يقل عن 20cm من طرف الطابق الترابي (أسفل الغطاء) أما ميول المنحدرات الداخلية للخنادق تؤخذ بمعدل 1:4

حتى لا تتجمع المواد الناجمة عن تفتت سطوح المنحدرات شديدة الميل في خنادق الطريق الجانبية للطرق التي يكون عمق الحفريات فيها يزيد عن (6m) فمن المفضل إنشاء مصطبة بعرض بين(1-2m) بين طرف الخندق الخارجي و طرف المنحدر السفلي للحفريات ، حيث يجري تنظيفها بشكل دوري أثناء استثمار الطريق .

المآخذ الجانبية :

تكون المآخذ الجانبية على جوانب الطريق (تربة) والتي تستطيع أخذ منها التربة القابلة للردم ، ولكن إن لم تكن مناسبة للردم فإننا تحضر التربة من مكان يدعى غرف الاستعارة وهي غرف يتم فيها تخزين التربة القابلة للردم لكي نستطيع استخدامها وقت الحاجة.

لا يزيد ارتفاع المآخذ الجانبية من طرف واحد أو من طرفي الطريق وذلك حسب الشروط المحلية لمنطقة الطريق ويجب الحرص قدر الإمكان على أخذ عرض المآخذ الجانبية بشكل ثابت لمسافات طويلة نسبيا.

في حال عدم التمكن لأي سبب من الأسباب من الحصول على هرم للطريق ، مما لا يترك مجالا لاستخدام المآخذ الجانبية فيتم إنشاء المقطع العرضي في هذه لحالة من تربة مجلوبة من موقع الحفريات أو غرف استعارة بعيدة .

جامـــعة دمـــشق
كليـــــــة الهندسة المدنية
قسم هندسة النقل ومواد البناء

المواد البيتومينية واختباراتها

المحاضرة ٣

هندسة الطرق

محتوى المحاضرة:

الفرق بين الإسفلت والبيتومين

أنواع المواد البيتومينية

خواص المواد البيتومينية

اختبارات المواد البيتومينية

تركيب الرابط الإسفلتي

الفرق بين الإسفلت والبيتومين

يعتبر الإسفلت مادة طبيعية أما البيتومين فهو مادة صناعية، ولكن يعتبر هذان المصطلحان مسميان لمادة واحدة وفي بعض المراجع يضعون أحد المصطلحين وذلك للتفريق بين المادة الطبيعية والصناعية، ولكن في دراستنا لا نهتم لهذا التمييز حيث نعتمد على تصنيف الآشتو الذي يستخدم مصطلح الإسفلت لكلا المادتين.

الإسفلت الطبيعي: موجود طبيعيا ضمن الصخور أو في البحيرات نتيجة الترسبات ، يتواجد في منطقة كفريا في اللاذقية، وفي دير الزور في جبل بشري وقد استعمل في الرصف الطرقي (مثل طرق زراعية أو درجة ثانية أو ثالثة).

البيتومين الصناعي: هو عبارة عن الإسفلت الناتج عن تقطير (تكرير) النفط ويعتبر العنصر الأساسي في العالم.

أنواع المواد البيتومينية

- البيتومين الصلب
- البيتومين (الإسفلت) السائل
- المستحلبات الإسفلتية
- القطران

البيتومين الصلب

صفات (مميزات) مادة البيتومين الصلب:

١) يعتبر عازل كهربائي و حراري و صوتي.

٢) له قدرة كبيرة على الالتصاق في مواد البناء (الحصويات ، الزجاج ، الخشب ....).

٣) غير قابل للانحلال بالماء ، ولكنه قادر على الانحلال بمحاليل عضوية (مواد ناتجة عن تكرير النفط مثل المازوت والغاز والبنزين... الخ).

٤) يعتبر جسم لزج مرن وذلك حسب شروط التحميل:

- إذا كان التحميل سريع: فإن الجسم يكون مرن.
- إذا كان التحميل بطيء: فإن الجسم يكون لزج.
- إذا كان التحميل متوسط : فإن الجسم يكون مزيج بين المرونة واللزوجة

٥) ذو تركيب كيميائي معقد جداً.

تصنيف البيتومين :

يتم تصنيف البيتومين بطريقتين:

حسب درجة الغرز: وتحدد وفق تجربة سندرسها في فقرة لاحقة، ونكتب القيمة عادة بجانب ماركة الإسفلت.

حسب اللزوجة: حيث يرمز للزوجة بالرمز AC – 40 .. حيث الرقم ٤٠ يتغير بتغيير لزوجة الإسفلت.

حيث يشير الرقم أمام (AC) إلى اللزوجة مقدرة بـ البواز (بعد ضربها بـ ١٠٠) مع هامش ($\pm$ 20%) .

مثلا: إذا كان لدينا إسفلت من النوع AC-10 فإن لزوجته تساوي : $(100 * 10)$
$1000 =$ بأخذ مجال الخطأ يكون$(200 = \frac{20}{100} * 1000)$ إذاً اللزوجة تكون:
1000 ± 200بواز.

البيتومين (الإسفلت) السائل أو (الكات باك):

تعريفه : هو بيتومين عادي مضافاً إليه أحد الزيوت الطيارة المشتقة من النفط (بنزين، ديزل، كازولين...الخ) بهدف زيادة سيولة الإسفلت لفترة أطول من الزمن ، و تخفيف لزوجة البيتومين.

الغاية أو الهدف من استخدام الزيوت الطيارة: إن الزيوت الطيارة تقوم بزيادة قابلية تشغيل البيتومين، وتستخدم كبديل للحرارة (تستخدم الحرارة لزيادة قابلية التشغيل ولكن الزيوت الطيارة تغني عن ذلك فهي تقوم بزيادة قابلية التشغيل تلقائياً) لذلك يمكن استخدام الإسفلت في درجات الحرارة العادية أو بعد تسخينه.

استخدامات الإسفلت (البيتومين) السائل:

١) تثبيت التربة.

٢) تهيئة سطوح طبقات الرصف لاستقبال الخلطات البيتومينية.

- إن البيتومين السائل يضاف إلى طبقات الرصف ثم ننتظر حتى تتبخر الزيوت الطيارة منه ويبقى البيتومين الذي يؤمن الالتصاق الجيد و يعمل على ربط وتلاحم العناصر مع بعضها البعض .
- إن عملية تزفيت الطريق تعتمد على رش البيتومين السائل ثم بعد فترة يوضع الاسفلت ويرص بالمداحل.

Damascus University

أقسام الإسفلت (البيتومين) السائل:

ينقسم الإسفلت السائل حسب المادة المستعملة في إنتاجه إلى:

- سريع التطاير: Rapid Curing (R.C) : نضيف للإسفلت (البيتومين) مادة شديدة التطاير مثل الفازولين.
- متوسط التطاير: Medium Curing (M.C) : نضيف للإسفلت (البيتومين) مادة مذيبة أقل تطايراً مثل الكيروسين.
- بطيء التطاير : Slow Curing (S.C) :يتم الحصول عليه من خلال دمج البيتومين (الإسفلت) بزيوت خفيفة تحتوي قليلاً أو قد لا تحتوي على مكونات طيارة.

تصنيف الإسفلت (البيتومين) السائل:

يتم تصنيف حسب اللزوجة وحسب سرعة تطاير الزيوت ويوجد تصنيفين: قديم وحديث.

التصنيف القديم: هو التصنيف الذي يعتمد على الآشتو وينص على ما يلي:

- حسب اللزوجة: يعطي أرقام من ٠ ← ٥ وذلك باختلاف هذه الزوجة ، حيث الـ ٠ يدل على اخفض درجة لزوجة أما الـ ٥ يدل على أعلى درجة لزوجة.
- حسب سرعة التطاير: حسب الفقرة السابقة " أقسام الإسفلت " مع حفظ الرمز لكل نوع .

مثال: رمز الإسفلت السائل عالي اللزوجة وسريع التطاير وفق التنصيف القديم:

الجواب: RC-5

التصنيف الحديث:

- حسب اللزوجة: يعتمد على قياس اللزوجة في درجة حرارة $60°C$ مقدرة بـ (Centistockes) وهي واحدة القياس.
- حسب سرعة التطاير: حسب الفقرة السابقة " أقسام الإسفلت " مع حفظ الرمز لكل نوع .

أمثلة:

RC-70 :إسفلت سائل سريع التطاير وذو لزوجة ٧٠ (قليل اللزوجة).

MC-3000 :إسفلت سائل متوسط سرعة التطاير عالي اللزوجة.

نوع الإسفلت	التسمية القديمة (الدارجة)	التسمية الحديثة
إسفلت سائل سريع التطاير	RC -1	RC - 70
	RC -2	RC - 250
	RC -3 , RC -4	RC - 800
	RC -5	RC - 3000
اسفلت سائل متوسط التطاير	MC -0	MC - 30
	MC -1	MC- 70
	MC-2	MC - 250
	MC -3 , MC - 4	MC - 800
	MC - 5	MC -3000

المستحلبات الإسفلتية:

تعريف المستحلب: عبارة عن سائلين غير قابلين للانحلال فيما بينهما ، وممزوجين مع بعض.

مثال: مزج الماء والزيت ، فعند وضع كمية من الماء مع كمية من الزيت والقيام بتحريكهم تحدث عملية مزج ولكن في حال ترك الماء والزيت لفترة من الزمن ف سيؤدي إلى تجمع الزيت في الأعلى وبقاء الماء في الأسفل أي لم يتم الانحلال فيما بينهم.

تعريف المستحلب الإسفلتي: هو عبارة عن دمج البيتومين + ماء + مادة رغوية (صابون) بدرجة حرارة معينة .

- دمج البيتومين مع الماء من اجل سهولة قابلية التشغيل.
- استخدام مادة رغوية (صابون) في المستحلبات الإسفلتية لزيادة تشبث البيتومين ومنع التصاقه مع بعضه (أي انفصال البيتومين عن الماء) و تخفيض الشد السطحي بين البيتومين و الماء ويقوم بتشكيل طبقة على سطح البيتومين ذات شوارد سالبة أو موجبة

أنواع المستحلبات الإسفلتية:

المستحلبات المشرسبة: تكون ذات شوارد سالبة وهي التي تستخدم لحصويات سطوحها ذات شوارد موجبة (حصويات كلسية) وذلك حتى يحدث التصاق ، ولها عدة أنواع حسب سرعة تحطم المستحلب:

- سريعة التحطم: Rapid setting (R.S) تستخدم لالتصاق طبقات الرصف فيما بينها.
- متوسطة سرعة التحطم:(M.S) Medium setting تستخدم لصيانة الطرقات.
- بطيئة سرعة التحطم: (S.S) Slow setting تستخدم لأعمال الطرق في الشتاء.

المستحلبات المشرجبة: تكون ذات شوارد موجبة و هي التي تستخدم لحصويات سطوحها ذات شوارد سالبة (حصويات سيليسية) وتقسم أيضاً حسب سرعة التحطم إلى:

سريعة - متوسطة - بطيئة

لكن استعمالها محدود في مجال أعمال الطرق

القطران:

تعريفه: هو سائل أسود اللون ناتج عن تقطير المواد الطبيعية والعضوية كالخشب والفحم الحجري.

مراحل الحصول على قطران الطرق:

١) كربنة الفحم الحجري بغياب الهواء ← نحصل على القطران الخام .

٢) تكرير القطران الخام وتقطيره.

٣) مزج رواسب التقطير مع بعض الزيوت الناتجة عن التقطير والحصول على قطران الطرق.

يقسم حسب اللزوجة إلى خمسة أقسام: RT -1 , RT-2 , RT -3 , RT- 4 , RT -5

وتكون استعمالات الأنواع السابقة كما يلي:

- **RT -1 :** يستعمل في طلاء الطبقة السطحية في ظروف مناخية باردة.
- **RT -2 , RT -3 , RT -4 :** يستعمل في عمليات الصيانة.
- **RT -5:** يستعمل في أعمال الحقن.

خواص المواد البيتومينية:

١- القوام:

يعتبر القوام من الخواص المهمة للبيتومين ، حيث تلعب الحرارة دوراً مهماً في التأثير على القوام لذلك يجب اختيار البيتومين الذي يتلائم قوامه مع مناخ المنطقة المراد العمل بها (يعني قوام البيتومين في سوريا غير قوام البيتومين في السودان وذلك بسبب اختلاف درجات الحرارة) ، بمعنى آخر يجب تصميم البيتومين بحيث لا يكون طري تحت أعلى درجة حرارة ولا هش تحت أخفض درجة حرارة للمنطقة المدروسة.

يمكن التحكم بقوام البيتومين حتى يكون ملائماً للظروف المناخية للمنطقة المدروسة عن طريق إما إضافات خاصة (مثل : مواد طيارة أو مستحلبات إسفلتية) ، أو عن طريق عملية تكرير النفط (حيث إن اختلاف طريقة التكرير يؤدي إلى اختلاف نوعية البيتومين وخواصه).

٢- الديمومة او المقاومة للعوامل الجوية:

إن العوامل الجوية لها تأثير كبير على البيتومين حيث تشكل طبقة رقيقة تحيط بالبيتومين وتضعف من لدونته شيئاً فـ شيئاً ليصبح هشاً ، لذلك يجب دراسة العوامل الجوية وتأثيرها على الخواص الفيزيائية و الكيميائية من أجل استخدام نوع الإسفلت المناسب.

٣- معدل سرعة التجمد:

يتعلق بنوع وكمية المحلول المستعمل:

- كلما كانت كمية المحلول أقل ◄◄ قلت سرعة التجمد وقلت الطرواة.
- كلما زادت كمية المحلول أكثر ◄◄ زادت سرعة التجمد وزادت الطرواة.
- كما أنها تتعلق أيضاً بالعوامل الخارجية (سرعة الرياح – درجة الحرارة – مساحة السطح المعرض للعوامل الجوية) .

٤ـ مقاومة فعل الماء:

إن ديمومة الخلائط البيتومينية تتعلق بشكل كبير باستمرارية التحام البيتومين مع الحصويات حين وجود الماء، حيث ضياع بعض أو معظم التلاحم بين البيتومين والحصويات يؤدي إلى تخريب الطريق بشكل مبكر.

حيث أنه يوجد أنواع من الحصويات كارهة أو محبة للماء وبالتالي يجب أن يكون هناك توافق بين أنواع الحصويات والمواد البيتومينية المستعملة كي لا تحصل عملية تعري الحصويات من البيتومين.

في حال كانت الحصويات شرهة للماء أو معرضة لمياه الأمطار فيجب إضافة مانع تعري للخلطة من أجل المحافظة على التلاحم بين المواد البيتومينية والحصويات.

إن الخواص السابقة مترابطة مع بعضها البعض ، بحيث عند تصميم الخلطة يجب أخذ جميع الخواص بعين الاعتبار وذلك حسب المنطقة المراد تصميم الخلطة لها وما تتعرض له من ظروف مناخية و .. الخ .

اختبارات المواد البيتومينية:

تجربة الغرز:

تعريفها: هي تجربة تجرى في المخبر وتستخدم لتحديد قساوة أوليونة البيتومين الصلب.

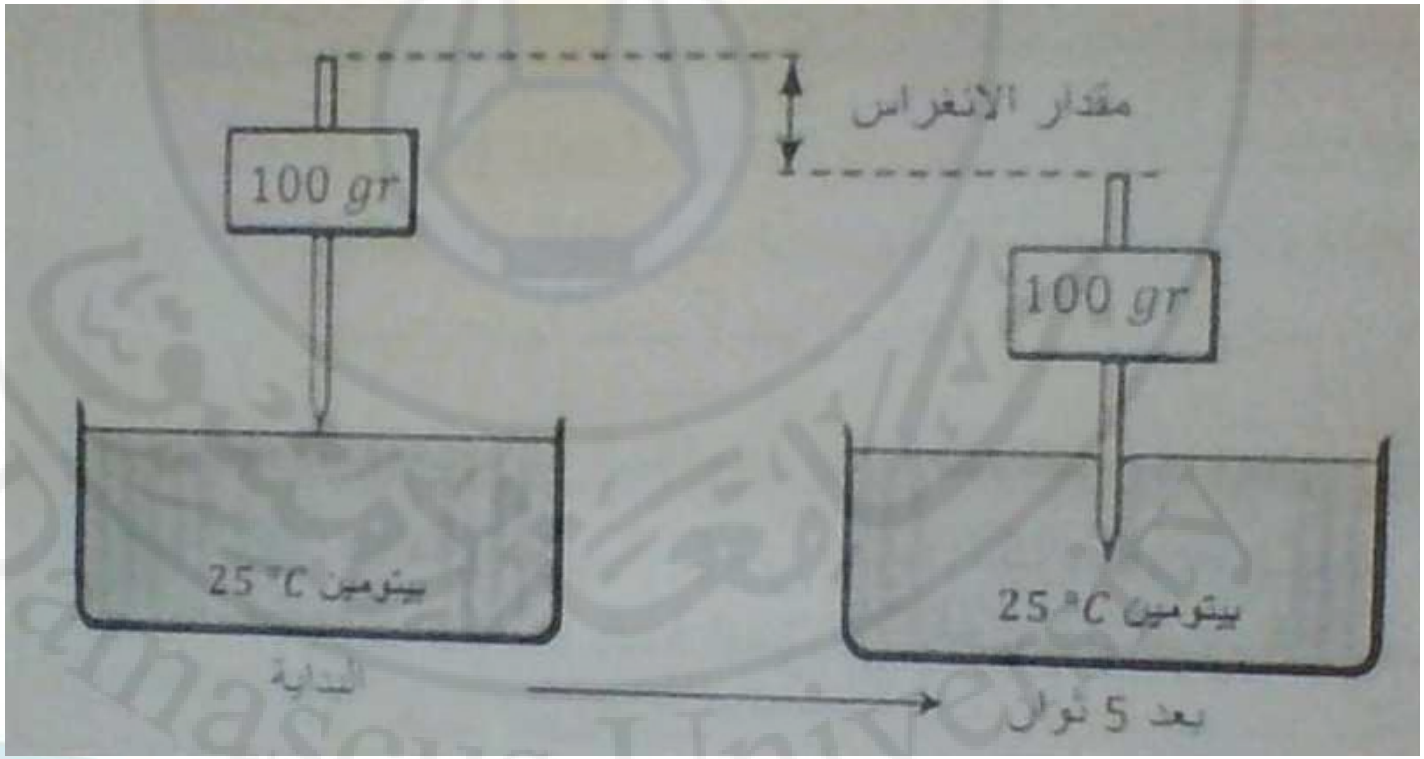
طريقة التجربة: يسمح لإبرة قطرها (1 mm) ووزنها (100 g)بالانغراس شاقولياً (أي سقوطها تحت تأثير ثقلها) ضمن عينة البيتومين الموجودة بدرجة حرارة $25°c$ ولمدة ٥ ثواني .

يقاس عمق انغراس الإبرة ضمن العينة بـ (1/100 cm) ، مثلا من أجل بيتومين يمتلك درجة غرز (٦٠) حذا يعني أن إبرة الجهاز انغرست بالعينة (0.60 cm).

نقوم بإجراء هذه التجربة ٣ مرات (أي في ثلاث مواقع) بحيث كل موقع يبعد عن الآخر مسافة (١ سم) ثم نأخذ الوسطي من أرقام التجارب الثلاث فيكون هو درجة الغرز.

يتم استخدام البيتومين الصلب فقط في هذه التجربة ولا يمكن استعمال القطران أو البيتومين السائل وذلك لأن العينة ستكون لينة جداً.

في المناطق الحارة يستخدم بيتومين ذات درجة غرز منخفضة ، وفي سوريا يستخدم صنف ذو درجة غرز ٦٠ أو ٧٠



تجربة اللزوجة:

خاصية اللزوجة لسائل: هي تأخر السائل بالسيلان بالنسبة لسائل آخر خلال فترة زمنية محددة (أي هي عكس السيلان).

تتعلق اللزوجة بـ:

١) درجة الحرارة أثناء الخلط والرصف

٢) نوعية وتدرج المواد الحصوية

٣) نوع البيتومين.

يعتمد على قياس اللزوجة النسبية وليس المطلقة .

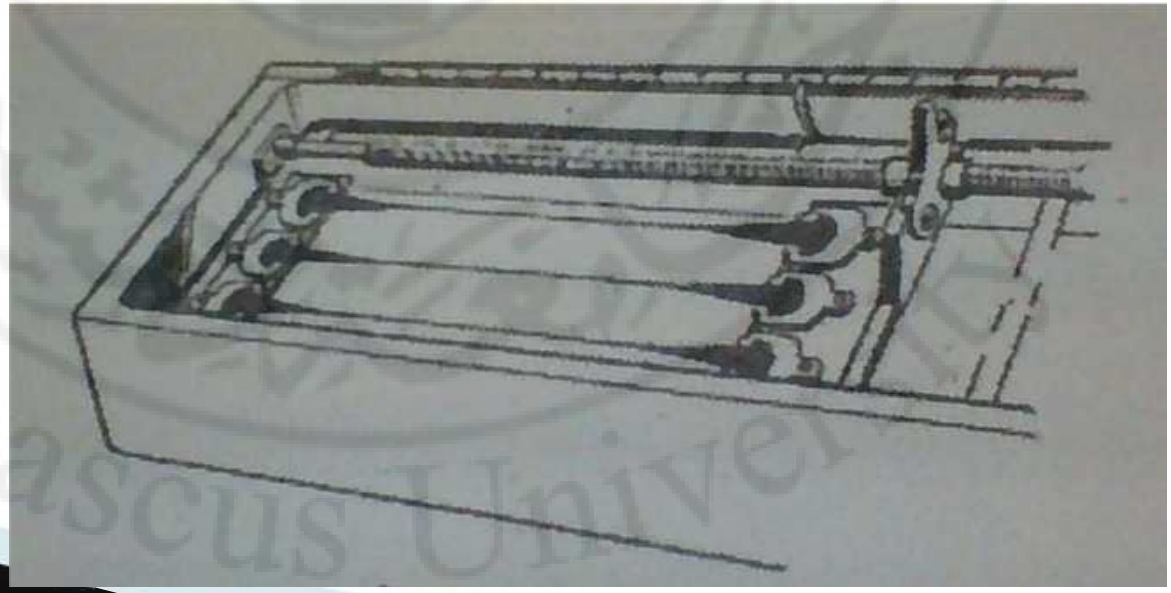
اللزوجة النسبية: هي النسبة بين الزمن اللازم لخروج حجم معين من المواد البيتومينية في درجة حرارة معينة من ثقب معين إلى الزمن اللازم لخروج نفس الحجم من الماء المقطر من نفس الثقب.

تجربة اللزوجة تستعمل بشكل خاص من أجل الإسفلت السائل والمستحلبات والقطران.

تجربة قابلية السحب أو (المطاوعة):

تعريفها: هي تجربة مخبرية وهي لقياس مقدار الاستطالة التي تتحملها العينة دون أن تنقطع.

طريقة التجربة: تتلخص التجربة بقياس المسافة التي يمكن لعينة نظامية وتحت شروط نظامية أن تتمدد دون أن تنقطع. نأخذ ٣ أو ٤ عينات حيث مقطع كل عينة يكون $1\ cm^2$ وتوضع العينة ضمن حمام مائي بدرجة حرارة ٢٥ وتبقى لمدة ٨٥ دقيقة وبعدها نقوم بإجراء التجربة حيث تكون سرعة الشد هي $5\ cm\ /min$ وتوجد قيمة قابلية السحب بأخذ المتوسط الحسابي للعينات المخبرية.



وتعتبر هذه التجربة مهمة بالنسبة للبيتومين المستعمل في صناعة خلائط الطرق لسببين:

- لأن الطبقات السطحية للطريق تتعرض لتغيرات حرارية شديدة والتي تؤدي إلى حالات تمدد وتقلص الرابط الاسفلتي.
- لأن الحركة المتكررة على الطريق تؤدي إلى حالات الشد والضغط

تجربة نقطة التميع:

تعريفها: هي النقطة التي تنتقل عندها المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة.

كما ذكرنا سابقا أن التركيب الكيميائي للبيتومين معقد جداً لذلك من الصعب تحديد نقطة تميع واضحة له فتم اللجوء إلى الطريقتين التاليتين:

طريقة الكرة والحلقة:

هي وضع كرة من الفولاذ فوق عينة من البيتومين موضوعة ضمن حلقة معدنية وتتعلق المجموعة ضمن سائل حيث يتم تسخينه بسرعة ثابتة $5°C/min$ وعندها يتم تعريف نقطة التميع حسب طريقة الكرة والحلقة بأنها درجة الحرارة التي تستطيع عندها الكرة بإحداث تشوه شاقولي محدد تحت تأثير وزنها الذاتي.

طريقة كرايمر وسارنو:

هي بنفس طريقة الكرة والحلقة حيث نضع 5gمن الزئبق فوق عينة البيتومين الموضوعة ضمن حلقة معدنية ويتم التسخين ضمن حمام مائي وبسرعة ثابتة وعندها يتم تعريف نقطة تميع حسب طريقة كرايمر وسارنو بأنها درجة الحرارة التي يصل فيها الزئبق إلى قعر الحمام المائي بعد اجتياز عينة البيتومين.

تجربة نقطتي الوميض والاشتعال:

تعريف نقطة الوميض: هي أخفض درجة تبدأ عندها أبخرة البيتومين بالالتهاب.

تعريف نقطة الاشتعال: هي أخفض نقطة يشتعل عندها البيتومين بحد ذاته.

تكمن أهمية هذه التجربة المخبرية بأنها عند خلط المواد البيتومينية مع الحصويات فإننا نقوم برفع درجة حرارة هذه المواد لكي تصبح لينة وتمتزج مع الحصويات وتغلفها، ولكن نتيجة رفع درجة الحرارة إلى حدود الوميض والاشتعال فإن ذلك سيؤدي إلى اشتعال المواد ، وبالتالي سيكون هناك خطر على الخلطة وحياة المخبري لذلك يجب أن تكون درجة حرارة المزج اقل من درجة حرارة الوميض بمقدار 25°C حتى يكون استعمال الخلطة ضمن حدود عامل الأمان.

طريقة التجربة: يتم إجراء هذه التجربة باستعمال وعاء كليفلاند المفتوح حيث تملأ العينة البيتومينية بالوعاء وتسخن بمعدل ($5^0C/min$) ثم نقوم بتقريب اللهب على العينة لقياس نقطتي الوميض والاشتعال.

تجربة النقص في الوزن أو تجربة التطاير:

طريقة التجربة:

تؤخذ عينة من البيتومين 50 g وتسخن مدة ٥ ساعات إلى درجة حرارة 136°C بفرن خاص ثم يعاد وزن العينة بعد التسخين. حيث نقوم بإيجاد النسبة بين الوزن الأصلي والوزن المفقود ويجب أن تكون بحدود 1% → 0.5 %

$$\frac{\text{الوزن بعد التسخين} - \text{الوزن الأصلي}}{\text{الوزن الأصلي}} = (0.5\% \rightarrow 1\%)$$

تجربة الوزن النوعي:

تعريف الوزن النوعي: هو النسبة بين كتلة محددة الحجم من البيتومين بدرجة حرارة 25°C وكتلة نفس الحجم من الماء بدرجة الحرارة 25°C

أهمية معرفة الوزن النوعي للبيتومين: من أجل تصنيف الروابط البيتومينية، ومن أجل تصميم الخلائط البيتومينية.

طريقة التجربة:

نحدد الوزن النوعي بجهاز البكنومتر أو بتهيئة عينات مكعبة الشكل من البيتومين نصف الصلب أو الصلب ووزنه بالماء والهواء أيضاً

تتراوح قيمة الوزن النوعي للبيتومين الصافي بين (1 .1 – 1.03) %

أما بالنسبة للقطران فهي بين (1.25 – 1.1)%

تركيب الرابط الإسفلتي:

ذكرنا سابقا أن البيتومين (الإسفلت) ذو تركيب كيميائي معقد جداً لذلك تم تقسيمه لثلاث أنواع من الرابط الكربوهيدرات وهي:

الإسفلتين (Asphaltens): هو العنصر الأساسي وهي مواد ناعمة سوداء اللون.

الريزين (Resins): هي مواد راتنجية (مطاطية) تحيط بالإسفلتين وتعطيها خاصتي المطاوعة والالتصاق

الزيوت الطيارة (Oile) : تكون مواد الإسفلتين والريزين معلقة في هذا الوسط الزيتي حيث تعطي الزيوت الخاصة السيلان للإسفلت.

يعتمد قوام وصلابة الإسفلت على نسب المواد السابقة، **فمثلاً** إذا كان الريزين بنسبة قليلة فإن البيتومين يكون صلب أما إذا كان الريزين بنسبة كبيرة فيكون البيتومين مرن .

ويكون سبب الشيخوخة (تعب البيتومين مع العمر) أو تصلب الإسفلت إلى تأخر أو تأكسد الزيوت الطيارة الموجودة فيه خلال عملية المزج بحرارة عالية و وصول التأكسد من الزيوت إلى المواد الراتنجية ومع مرور الوقت إلى الإسفلتين.

طرق معالجة مشكلة الشيخوخة وتصلب الروابط الإسفلتية:

١) تحديد درجة الحرارة العظمى المناسبة لنوعية الإسفلت المستخدم أثناء عملية خلط المجبول الإسفلتي من أجل تقليل تبخر المواد الخفيفة للرابط الإسفلتي.

٢) تحديد النسبة العظمى للفراغات الهوائية في الخلطة بهدف التقليل من نفوذيتها وبالتالي التقليل من معدل التأكسد.

٣) تحديد النسبة الصغرى من الفراغات في الحصويات المينرالية VMA لترك فراغ كافي للرابط الإسفلتي لكي يغلف حبيبات الحصويات بغشاء ذو سماكة كافية بحيث تبقى الخلطة مرنة وليست هشة.

٤) العمل على استخدام الروابط الإسفلتية المناسبة من حيث اللزوجة، درجة الغرز للمنطقة التي سيتم فيها التنفيذ.

جامـــعة دمـــشق
كليـــــة الهندسة المدنية
قسم هندسة النقل ومواد البناء

تصميم المنحنيات الأفقية

المحاضرة 4

هندسة الطرق

محتوى المحاضرة:

خواص حركة السيارة على المنحنيات الأفقية

عامل القوة الجانبية

تحديد قيم أنصاف أقطار المنحنيات في المسقط الأفقي

خواص حركة السيارة على المنحنيات الأفقية

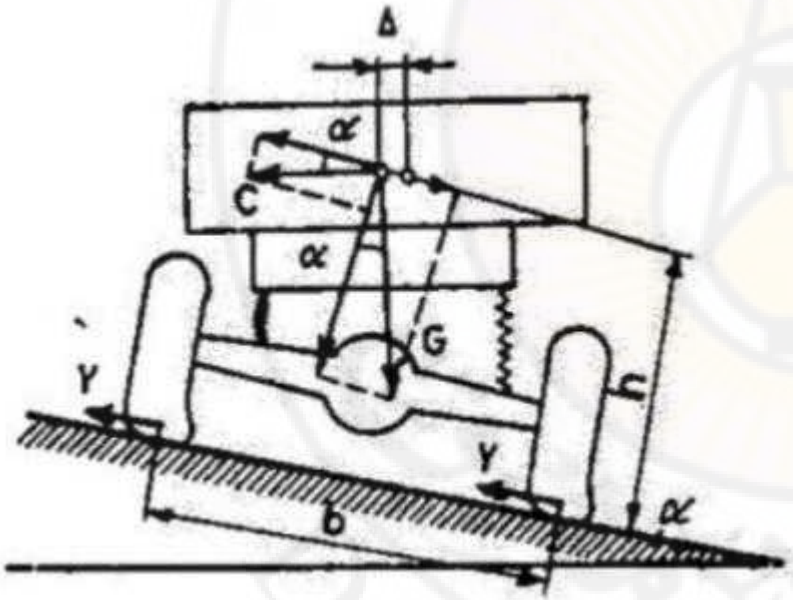
تخضع السيارة التي تتحرك على منحني أفقي من طريق، نصف قطره R

إلى قوة نابذة تدفعها إلى الخارج مقدارها :

m كتلة السيارة Kg

V سرعة السيارة m/s

$$C = \frac{m \cdot V^2}{R}$$



القوى المؤثرة في السيارة أثناء حركتها على المنحني

حيث تؤثر القوة النابذة بشكل عمودي على اتجاه الحركة محاولة قلب السيارة أو زلقها، كما أنها تجعل السيطرة عليها أكثر صعوبة .

أما من أجل المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الصغيرة ، فإن القوة النابذة تعمل على تشويه الدواليب في الاتجاه العرضي، كما تؤدي إلى زيادة نسبة استهلاك الوقود واهتراء الدواليب، وكذلك تسوء الرؤيا على الأجزاء المنحنية ليلا، لأن المصابيح تضيء مسافة من المنحني أمام السيارة أقل مما هي للأجزاء المستقيمة.

حيث تصبح العوامل السلبية المذكورة في الأعلى أكثر حدة كلما كان نصف قطر المنحني الأفقي أصغر، ولذلك فإنه من أجل تحقيق أمان وراحة واقتصاد الحركة للسيارات ضمن السرعة الحسابية المطلوبة يجب استخدام أنصاف أقطار كبيرة نسبيا للمنحنيات مع زيادة الميل العرضي للطريق باتجاه مركز المنحني .

ولكي نتمكن من وضع صيغة لتحديد أنصاف أقطار المنحنيات الدائرية في المسقط الأفقي ننطلق من الأمور التالية : تؤثر في السيارة عند حركتها على منحني أفقي قوتان مركزتان منطبقتان على مركز ثقلها هما:

1. القوة النابذة C باتجاه خارج المنحني .
2. وزن السيارة G .

وباسقاط هاتين القوتين على الاتجاه العرضي للطريق الذي يميل بزاوية α عن الأفق نحصل على العلاقة الآتية :

$$Y = C * \cos\alpha \pm G \sin\alpha$$

حيث Y هي محصلة القوى التي تعمل على إزاحة السيارة عن الطريق وتسمى القوة الجانبية،

وبتعويض قيم C,G بما يساويها نحصل على :

$$Y = \frac{m * V^2}{R} * \cos\alpha \pm mg \sin\alpha$$

وحسب اتجاه الميل العرضي للطريق فإن مسقط وزن السيارة عليه الذي يساوي (mgi) يمكن أن يأخذ اشارة (+) أو (-).

وحيث أن زاوية الميل (α) صغيرة.

ولذلك يمكننا اعتبار $\cos\alpha = 1$ وكذلك $\sin\alpha = \tan\alpha = i$ ومنه يمكن أن نكتب :

$$Y = \frac{m * V^2}{R} \pm mgi$$

ومن المعادلة الأخيرة نستنتج أن :

$$R = \frac{V^2}{g(\frac{y}{mg} \pm i)}$$

يظهر لدينا من المعادلة السابقة ان قيمة نصف القطر اللازمة لا تتعلق بالقيمة المطلقة للقوة الجانبية Y وأنما بنسبتها إلى وزن السيارة حيث نسمي النسبة μ عامل القوة الجانبية أي :

$$\mu = \frac{Y}{mg} = \frac{Y}{G}$$

وبذلك تصبح المعادلة السابقة لتحديد أنصاف أقطار المنحنيات الدائرية في المسقط الأفقي على الشكل:

$$R = \frac{V^2}{g(\mu \pm i)}$$

علما بأن السرعة V في كافة المعادلات السابقة قد جرى أخذها على أساس m/S وفي حال كانت Km/h :

$$R = \frac{V^2}{127(\mu \pm i)}$$

عامل القوة الجانبية:

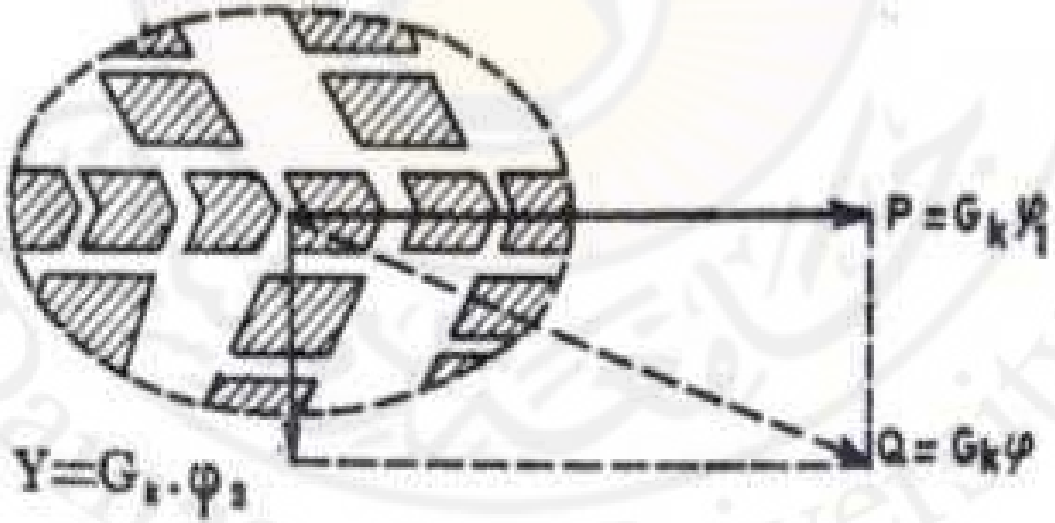
لكي نتمكن من استخدام معادلة نصف القطر بشكل عملي يجب تحديد القيم المسموحة لعامل القوة الجاذبية، حيث أنه يؤدي تاثير القوة الجانبية في السيارة أثناء تحركها على منحني ذو نصف قطر صغير إلى عدة عوامل.

فهي تحاول إخراج السيارة عن الطريق (زلقها) أو قلبها وبالتالي تجعل السيطرة عليها أكثر صعوبة، ويصبح السفر متعبا، وتؤدي كذلك إلى زيادة مقاومة الحركة للسيارة وبالتالي زيادة استهلاك الوقود واهتراء الدواليب .

لذلك يجري تحديد القيم الحدية المقبولة لعامل القوة الجانبية انطلاقا من عدة عوامل:

1- تأمين ثبات السيارة ضد الانزلاق:

ويعد من أهم الشروط اللازمة لتحقيق أمان الحركة على المنحنيات حيث أن انزلاق السيارة جانبيا تحت تأثير القوة النابذة يعاكسه احتكاك الدواليب مع غطاء الطريق ، وبما أن كل دولاب قائد يخضع إلى القوة الجانبية y وقوة الجر أو الفرملة p فإن محصلتها Q المطبقة في مستوي تماس الدولاب مع سطح الغطاء تصنع زاوية قائمة مع مسار الحركة حيث تتوضع بالشكل الآتي:



وعليه فإن الشرط اللازم لتحقيق ثبات السيارة ضد الانزلاق هو :

$$Q = \sqrt{Y^2 + P^2} \quad \leq G_K * \varphi$$

حيث:

G_K الحمولة التي ينقلها الدولاب القائد أو الخاضع للفرملة إلى غطاء الطريق.

φ عامل احتكاك الدولاب مع سطح الغطاء

ولتأمين ثبات السيارة ضد الانزلاق حين حركتها على المنحني يجب أن تتحقق العلاقة:

$$\varphi_2 . G_k > Y \quad \rightarrow \quad \varphi_2 > \frac{Y}{G_K} = \mu$$

أي أن عامل القوة الجانبية يجب ألا يزيد على عامل الاحتكاك الجانبي φ_2 ، ومن الواضح أنه كلما كان الجزء الأكبر من عامل الاحتكاك φ مستخدما للتغلب على الميول الطولية عند الفرملة، قلت المركبة العرضية المتبقية، التي يمكن أن نستفيد منها لمقاومة انزلاق السيارة حين حركتها على المنحني. ولذلك فإنه عند تحديد المعطيات اللازمة لأنصاف أقطار المنحنيات في المسقط الأفقي يجب معرفة النسبة بين العاملين φ_1 و φ_2 .

2- تأمين ثبات السيارة ضد الانقلاب:

يتحقق ثبات السيارة ضد الانقلاب عندما يكون عزم التثبيت الناجم عن وزن السيارة أكبر من عزم الانقلاب الناجم عن وجود القوة النابذة.

تكون معادلة توازن عزوم القوى المؤثرة في السيارة بالنسبة للمحور المار من مراكز مساحات تماس الدواليب الخارجية بالنسبة للمنحني:

$$Yh = mg\left(\frac{b}{2} - \Delta\right) \quad \rightarrow \quad \mu = \frac{Y}{mg} = \frac{1}{2h}(b - 2\Delta)$$

حيث Δ مسافة انتقال مركز ثقل السيارة في الاتجاه العرضي نتيجة الوضع في الحسبان تشوه النوابض ومرونة الدواليب. ومن هذه المعادلة نرى أن عامل القوة الجانبية يتعلق بأبعاد السيارة أو بالأحرى بنسبة عرض السيارة b (المسافة بين محاور الدواليب في الاتجاه العرضي) إلى ارتفاع مركز الثقل h عن سطح الطريق.

- أثبتت الدراسات أنه لتحقيق ثبات السيارة ضد الانقلاب، يجب ألا يزيد عامل القوة الجانبية على 0.6

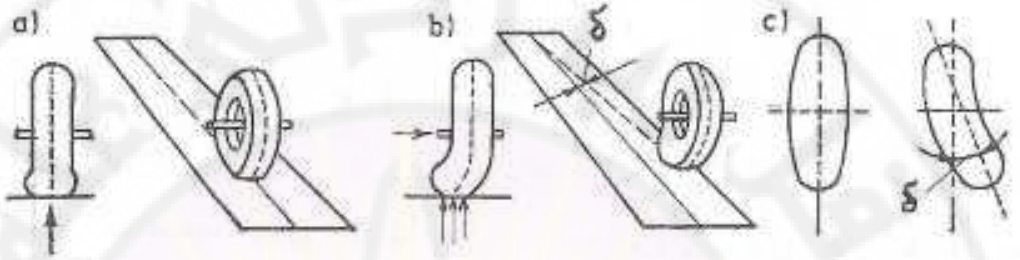
3- تأمين راحة الركاب أثناء السفر:

عند دخول السيارة على منحن يشعر السائق والركاب بتأثير القوة النابذة على شكل دفعة جانبية، لذلك يجب تحديد قيمة عامل القوة الجانبية بحيث لا يزيد على القيم التي يصبح معها المرور على المنحني مزعجا.

أثبتت الدراسات انه يجب ألا تزيد قيمة عامل القوة الجانبية μ على المنحنيات عن (0.15)، وفي الحالات الحدية على (0.2).

4- تحقيق اقتصادية حركة السيارات:

ينجم عن حركة السيارات على المنحنيات ظهور مقاومة إضافية لهذه الحركة بسبب الانحراف الجانبي للدواليب حيث يؤدي تأثير القوة الجانبية في السيارة إلى تشويه الدواليب في المقطع العرضي، الأمر الذي ينجم عنه تغير شكل مساحة تماس الدولاب مع سطح الغطاء، كما يشكل المحور الطولي لهذا السطح زاوية بسيطة بالنسبة لاتجاه الحركة (ظاهرة الانحراف الجانبي). ومع بقاء الدولاب في مستواه الشاقولي يبدأ بالدوران بالاتجاه نفسه.



الانحراف الجانبي للدولاب

a ـ حالة الحركة بدون وجود قوة جانبية ،

d ـ حالة الحركة مع وجود القوة الجانبية ،

c ـ شكل سطح تماس الدولاب مع الغطاء بدون وجود قوة جانبية ومع وجود قوة جانبية ،

δ ـ زاوية الانحراف الجانبي .

حتى لا تصبح الأجزاء المنحنية سببا لزيادة كبيرة في كلفة النقل على الطرق يجب تصميم أنصاف أقطار المنحنيات بحيث لا يزيد عامل القوة الجانبية أثناء حركة السيارات بالسرعة التصميمية على (0.1).

تحديد قيم أنصاف أقطار المنحنيات في المسقط الأفقي:

لكي نتمكن من تحقيق أمان الحركة وراحتها واقتصادها ضمن السرع التصميمية يجب تحديد أنصاف أقطار المنحنيات الأفقية انطلاقا من أقل قيمة لعامل القوة الجانبية μ.

وعندما يؤدي تكبير نصف القطر إلى زيادة كبيرة جدا في حجم الأعمال الترابية كما هو الحال في المناطق الصعبة من التضاريس، أو إلى هدم مبان سكنية ذات قيمة عالية كما هو الحال في المناطق المكتظة بالسكان، فإننا نضطر لاستخدام قيم أقل لأنصاف الأقطار شريطة أن يتحقق ثبات السيارة ضد الانزلاق عند حركتها ضمن السرعة التصميمية المفروضة عندما تكون حالة الطريق جيدة، إلا أن ذلك يؤدي إلى الاقلال من راحة واقتصاد الحركة عند المنحنيات على الطريق.

في جميع الأحوال فإن القيمة الحدية المسموحة للقوة الجانبية التي تؤثر في السيارة يجب ألا تزيد على قيمة قوة احتكاك الدواليب مع سطح الغطاء، وإلا فإن السيارة سوف تنزلق وتخرج عن سطح الطريق.

أننا أولا نصمم على أمان الحركة وفي حال كانت الظروف مناسبة نصمم على الراحة والاقتصادية على الطريق.

نوع المواصفات	القيم الحدية المسموح بها لعامل القوة الجانبية M حسب حالة الغطاء وعامل الاحتكاك		
	غطاء جاف $\varphi=0.6$	غطاء مبلل $\varphi=0.4$	غطاء مغطى بالجليد $\varphi=0.2$
تأمين ثبات السيارة ضد الانقلاب	0.6	0.6	0.6
تأمين ثبات السيارة ضد الانزلاق	0.36	0.24	0.12
تأمين راحة السعر للركاب	0.15	0.15	0.15
تأمين اقتصادية استثمار السيارة	0.1	0.1	0.1

في حال لم نحسب أنصاف أقطار المنحنيات فستكون لدينا جداول جاهزة تنص على استخدام القيم الأصغرية لأنصاف الأقطار في الشروط الصعبة لمنطقة الطريق حسب سرعة الحركة.

السرعة التصميمية للحركة، كم/سا		150	120	100	80	60	50	40	30
درجة الطريق		I	II	III	IV	V	-	-	-
أنصاف الأقطار الأصغرية في الأجزاء الصعبة من الطريق (م)	في المناطق السهلية	1200	800	600	300	150	100	60	30
	في المناطق الجبلية	4000	600	400	250	125	100	60	30

جامـــعة دمـــشق
كليـــــة الهندسة المدنية
قسم هندسة النقل ومواد البناء

مبادئ حساب حركة السيارات على الطرق

المحاضرة 5

هندسة الطرق

محتوى المحاضرة:

القوى المقاومة لحركة السيارة

معادلة حركة السيارة

احتكاك الدواليب مع سطح الطريق

فرملة السيارة

تحديد مسافة التوقف على الفرملة

القوى المقاومة لحركة السيارة

مقدمة :

كي تسير السيارة للأمام على طريق صاعد يجب أن تتغلب قوة الجر التي يعطيها المحرك للدواليب القائدة التي تحرك السيارة على القوى المقاومة لحركة السيارات التي تعاكسها.

كلما كان الفرق بين القوى التي ينتجها المحرك والقوة المقاومة للحركة أكبر كانت حركة السيارة للأمام أفضل من ناحية السرعة ،التصميم...

لذلك حتى ندرس حركة السيارة يجب دراسة القوى التي تقاومها، ولكن القوى تتغير من حالة إلى أخرى حسب ميل الطريق وتسارع السيارة أو تباطئها .

تبعاً لذلك فأننا سوف ندرس حالة واحدة فقط وهي الحالة الأكثر مصادفة في حياتنا اليومية ونعممها على الحالات الأخرى.

سندرس حالة حركة سيارة تسير بتسارع وعلى جزء صاعد من الطريق

حيث تكون في هذه الحالة القوى المقاومة لحركة السيارة كما يلي:

- مقاومة دوران دواليب P_f
- مقاومة الصعود P_i
- مقاومة الهواء P_w
- قوى العطالة للسيارة نفسها والأجزاء الدوارة فيها التي تنشأ عن تغير السرعة P_j

تكون هذه القوة واتجاهاتها لهذه الحركة فقط، بينما إذا عممنا الكلام على كامل الحالات فأنه يمكننا القول بأن السيارة المتحركة تخضع بشكل مستمر إلى كل من القوتين:

1) قوة مقاومة دوران الدواليب. 2) قوة مقاومة الهواء.

بينما قوى مقاومة الصعود وقوة العطالة فقد تظهر وقد تنعدم وذلك حسب نوع المقطع الطولي في الطريق وحسب نظام حركة السيارة، حيث في بعض الأحيان يمكن أن تأخذ هذه القوى قيمة سالبة بحيث تساعد على الحركة (في النزول أو الفرملة).

سنبدأ بدراسة القوى السابقة كلا على حدى:

قوى مقاومة دوران دواليب P_f:

عند حركة السيارة على الطريق ذات الأغطية القاسية، فأن قوة مقاومة دوران الدواليب تتناسب طرداً مع حمولات هذه الدواليب أي:

$$P_f = \sum G_{i^*} f_i$$

G_i الوزن الذاتي للسيارة (الحمولة التي نقلها كل دولاب إلى سطح الطريق).

f_i عوامل مقاومة الدوران الموافقة لكل دولاب ويتعلق عادة بالوزن الاجمالي للسيارة.

يساوي بشكل وسطي $f_m = \frac{\sum Pf}{G}$

$\sum P f$ مجموع قوى المقاومات لدواليب السيارة كافةً.

G وزن السيارة الإجمالي.

وتتعلق قوة مقاومة دوران الدواليب أيضاً باستواء سطح الغطاء وبسرعة حركة السيارة و مرونة الدواليب، إلا إنه من أجل السرعات التي أقل من 60 km/h، فان قوى مقاومة الدوران تزداد بشكل طفيف جدا، بحيث يمكن اعتبارها ثابتة عملياً.

ويبين الجدول التالي قيم عوامل مقاومة دوران الدواليب المختلفة للأغطية الطرقية ضمن هذه السرعة:

نوع الغطاء	عامل مقاومة دوران الدواليب (f)
غطاء بيتوني او اسفلتي	0.01 – 0.02
اغطية بحصية أو زلطية مقواة بالبيتومين ذات سطح مستوي	0.02 – 0.025
اغطية بحصية او زلطية غير مقواة بالبيتومين ذات سطح غير مستوي بشكل جيد	0.03 – 0.04
الاغطية المبلطة بالاحجار	0.04 – 0.05
الاغطية الترابية الجافة والمتماسكة	0.03 – 0.06
الاراضي الزراعية المفلوحة ، او الاراضي ذات الرطوبة العالية ، او الترب الرملية المفككة	0.15 – 0.30 او اكثر

Damascus University

ومن أجل حساب عامل مقاومة الدوران في حال السرع التصميمية المعتمدة من أجل الطرق ذات الدرجات الفنية العالية، تستخدم العلاقة التالية (أي في حال السرع اكبر من 60 km/h):

$$f_v = f_0(1 + 4.5 * 10^{-5} * v^2)$$

حيث:

V السرعة الحسابية Km/h

f_0 عامل مقاومة الدوران من أجل السرع التي تقل عن 60 km/h

f_v عامل مقاومة الدوران من أجل السرع التي تتراوح من 60-150 km/h

قوى مقاومة الهواء P_w:

تنجم المقاومة الأيروديناميكية للوسط الهوائي المعاكس لحركة السيارة عن العوامل التالية:

1) المقاومة الجبهية الناجمة عن فرق ضغط الهواء بين مقدمة السيارة ومؤخرتها وهي في حالة حركة.
2) احتكاك الهواء مع السطوح الجانبية للسيارة وكذلك المقاومة الناجمة عن بروز بعض أجزاء السيارة عن السطح الانسيابي لها، من مرايا ورفاريف وغيرها.
3) الاستطاعة الضائعة نتيجة اضطراب التيارات الهوائية خلف السيارة وحول العجلات وتحت الهيكل.
4) مقاومة الهواء المارة من خلال مبرد السيارة (الراديياتور) والفراغ تحت غطاء المحرك.

ويمكن استنتاج مجموع قوى مقاومة الهواء لحركة السيارة من العلاقة الايروديناميكية التالية:

$$P_w = \frac{C * \rho * w * v^2}{3.6^2} \approx \frac{C * \rho * w * v^2}{13}$$

C عامل مقاومة الوسط الهوائي (بدون واحدة)، ويتعلق بشكل الجسم المتحرك خلال الهواء ونعومة سطحه.

ρ كثافة الهواء وهي تساوي على سطح البحر $0.125\ N\,S^2/m^4$

W مساحة مسقط السيارة على مستوى عمودي على اتجاه حركة السيارة (المساحة الجبهية) m^2

V سرعة حركة السيارة بالنسبة للوسط الهوائي Km/h

حيث تأخذ السرعة تبعاً لحركة الرياح:

أي عندما تكون الرياح باتجاه السيارة فإن:

V= سرعة حركة السيارة – سرعة حركة الرياح

عندما تكون الرياح معاكسة لاتجاه السيارة فأن:

V= سرعة حركة السيارة + سرعة حركة الرياح

وعند إجراء حسابات الجر للسيارات نقوم بتبديل الجداء $\rho * C$ بـ k_a وهو عامل مقاومة الهواء والذي يحدد تجريبياً أي :

$$P_w = \frac{k_a * w * v^2}{13}$$

حيث:

W المساحة الجبهية للسيارة k_a عامل مقاومة الهواء

أما المساحة الجبهية للسيارة فتحسب بموجب العلاقة التالية:

W=0.8 BH وذلك من أجل السيارات الخفيفة.

W=0.9 BH وذلك من أجل السيارات الشاحنة والباصات.

B العرض الكلي للسيارة H الارتفاع الكلي للسيارة

يوضح الجدول التالي قيم عامل مقاومة الهواء والمساحة الجبهية لمختلف أنواع السيارات:

نوع السيارة	عامل مقاومة الهواء $K_a = C.\rho$ نيوتن . ث^2/م^4	المساحة الجبهية A م^2
شاحنة	0,5 – 0,7	3 – 7
باص	0,25 – 0,5	4.5 – 7.0
سياحية خفيفة	0,15 – 0,3	1.4 – 2.6
سيارة سباق انسيابية	0,10–0,15	1.0 – 1.5

مقاومة الصعود P_i :

يمكننا حساب مقاومة الحركة عل الصعود في وحدة الطول من الطريق بالعلاقة التالية:

$$P_i = \frac{F}{L} = \frac{G * H}{L} = G * i$$

تخضع السيارة المتحركة على منحدر صاعد ميله i إلى مقاومة صعود، بحيث ينبغي صرف قدرة إضافية لكي تصعد السيارة على السطح المائل إلى ارتفاع معين H.

حيث يلزمنا بالعادة كمية من العمل مقدارها F=G*H لكي تتحرك السيارة على المنحدر الصاعد من الطريق الذي طوله L وارتفاعه H, أما G فهو وزن السيارة

مقاومة قوى العطالة للسيارة P_j

قد تظهر قوى المقاومة هذه عن تغير سرعة الحركة للسيارة، الأمر الذي يجعلها مؤلفة من قوى العطالة للحركة التقدمية إلى الأمام للسيارة وعزوم العطالة للأجزاء الدوارة فيها.

وبالنسبة للحركة التقدمية للأمام فأنه عندما تكون كتلة السيارة m=G/g وسرعة السيارة V(m/s) فأن قوى العطالة للحركة التقدمية إلى الأمام هي:

$$P_j = m * \frac{dv}{dt} = \frac{G}{g} * \frac{dv}{dt} = G * J$$

حيث :

$\frac{dv}{dt}$ تسارع السيارة.

$J = \frac{1}{g} * \frac{dv}{dt}$ التسارع النسبي.

بالنسبة للعطالة الناتجة عن الأجزاء الدوارة (العجلات ، جهاز تعشيق المسننات، أجهزة نقل الحركة) فإنه عند تصميم السيارة يجري عادة حسابيا تحديد قيمة العطالة للأجزاء الدوارة فيها بدقة بعد معرفة كتلتها وأبعادها.

ولكي نتمكن من الناحية العملية أن نضع بالحسبان تأثير الأجزاء الدوارة نضرب عطالة الحركة التقدمية بعامل التصحيح (δ) والذي هو النسبة بين القوة الكاملة اللازمة لتحقيق الحركة التقدمية $P_j\ (P_{rog})$ وحركة الأجزاء الدوارة $P_j\ (P_{rot})$ إلى القوى اللازمة إلى لتحقيق الحركة التقدمية فقط $P_j\ (P_{rog})$

$$\delta = \frac{P_j(P_{rog}) + P_j(P_{rot})}{P_j(P_{rog})}$$

وبالتالي فأن قوى العطالة للسيارة يمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$P_j = \delta * G * J$$

معادلة حركة السيارة:

تؤدي الطاقة التي يولدها المحرك إلى دوران الدواليب للأمام والتي ينجم عنها دفع للأمام، هذه القوة تعاكسها القوى السابقة عند سطح التماس (القوى التي درسناها) حيث يمكننا التعبير عن شروط المساواة بين القوى الداخلية والخارجية بواسطة العلاقة التالية:

$$P_P = P_f + P_w \pm P_i \pm P_j$$

حيث: P_P قوة الجر التي يولدها المحرك.

- مقاومة الحركة حسب الميل (Pi): تأخذ الاشارة (+) إذا كان صاعد، والاشارة (-) إذا كان هابط.
- مقاومة قوى العطالة (Pj): تكون (+) إذا كانت عطالة السيارة تساعد على الحركة و (-) إذا كانت تعاكس الحركة.
- وحسب نسب المقاومات الخارجية يمكن أن تسير السيارة بسرعة ثابتة أو بتسارع (أثناء الإقلاع أو زيادة السرعة) أو بتباطؤ (أثناء الفرملة أو إنقاص السرعة).

وبنقل قيمة الوسط الهوائي الذي يتعلق بسرعة الحركة إلى الجانب الأيسر من معادلة حركة السيارة وبتعويض قيم المقاومات بما تساويها في الطرف الأيمن نجد:

$$P_P - P_w = G * f \pm G * i \pm G * j$$

وبتقسيم الطرفين من العلاقة على G وزن السيارة فأنه سينتج لدينا ما يسمى

بالعامل الديناميكي D

$$D = \frac{P_P - P_w}{G} = \frac{G * f \pm G * i \pm G * j}{G}$$

$$D = f \pm i \pm j$$

العامل الديناميكي D:

هو العامل الذي يعبر عن الاحتكاك الأدنى اللازم توفيره على الطريق لتقلع السيارة .

وهذا يتعلق بسطح الطريق كأن يكون فيه بروزات تؤثر على الاحتكاك كما يتعلق بالرسومات الموجودة على دواليب السيارة.

احتكاك الدواليب مع سطح الطريق

إن قوة الجر على دواليب السيارة والناجمة عن الاستطاعة التي يقدمها المحرك يمكن الاستفادة منها فقط في حال وجود احتكاك كاف بين الدواليب القائدة وسطح الطريق، لأنه إذا كان الاحتكاك غير كافي بينهما فإن ذلك سوف يسبب انزلاق للسيارة أثناء دخولها بمنحنيات أفقية عند وجود الماء أوعدم إقلاع السيارة من مكانها.

وتسمى النسبة بين قوة الجر الأعظمية إلى حمولة الدواليب الشاقولية **بعامل الاحتكاك** ونرمز لعامل الاحتكاك بالرمز φ.

وحسب اتجاه القوى المؤثرة في سطح تماس الدواليب مع الطريق نميز نوعين من عامل الاحتكاك:

1. عامل الاحتكاك الطولي
2. عامل الاحتكاك العرضي

عامل الاحتكاك الطولي φ_1 :

وهو العامل الموافق لبداية انزلاق الدولاب الخاضع للفرملة أو بداية دورانه في مكانه أثناء الإقلاع دون أن يكون واقعاً تحت تأثير قوة جانبية ، ويستخدم هذا العامل عند حساب المسافة التي تقطعها السيارة أثناء الفرملة الحدية أو عند تقويم أمكانية اقلاع السيارة من مكانها.

عامل الاحتكاك العرضي φ_2:

هو المركبة العرضية لكامل عامل الاحتكاك بسبب ازاحه الدولاب القائد وتشكيله زاويه مع مستوي الحركة بسبب تأثير القوى العرضية (الجاذبية) حيث يقوم الدولاب بالدوران والتزحلق جانبيا في آن واحد، ويستخدم عامل الاحتكاك العرضي في تقويم ثبات السيارة عند مرورها على المنحنيات ذات انصاف الاقطار الصغيرة.

- اثبتت التجارب والابحاث العديدة التي أجريت على عامل الاحتكاك أن لحالة سطح الطريق وخشونته تأثيرا كبيرا في قيمة هذا العامل، وذلك بالجزيئات المينيرالية الصلبة التي تبرز على سطح الغطاء على شكل نتوءات صغيرة هي التي تجعل منه سطحا خشنا وهي التي تنغرز في رسومات مطاط الدولاب حين حركته على سطح الطريق، وحسب درجه اهتراء هذه البروزات تقل خشونة السطح بالتالي يقل احتكاكه مع الدواليب.

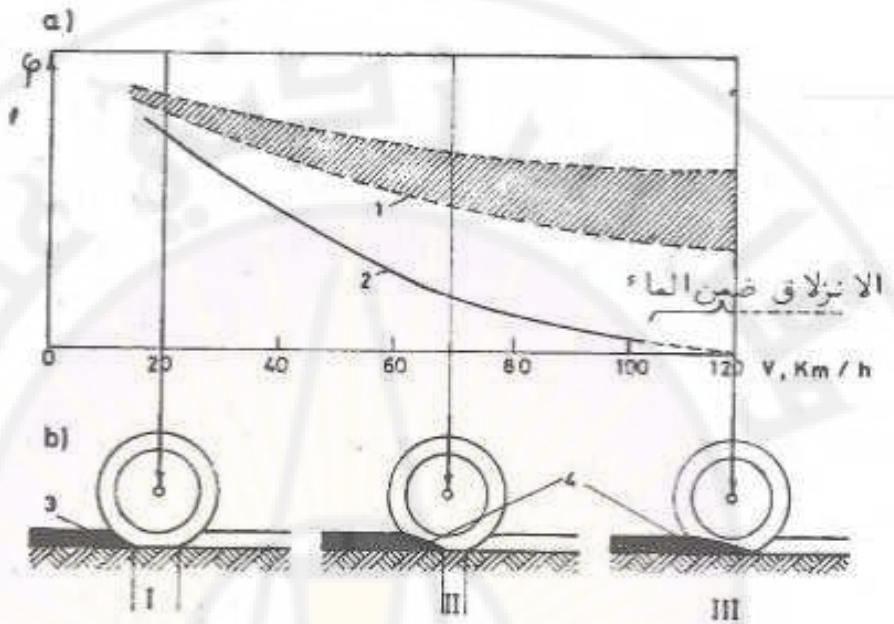
- كما يوجد اسباب اخرى تقلل احتكاك سطح الطريق مع الدواليب مثل: تبلل سطح الطريق أو امتلاء النتوءات بالأوساخ.

- حيث تعمل طبقة الماء التي تبلل منطقة التماس بين الدولاب وسطح الطريق على تشكيل طبقة زيتية تفصل بينهما مما يؤدي بدوره إلى تقليل عامل الاحتكاك وتحدث ظاهرة تسمى **الانزلاق** ضمن الماء، في حال كان سطح الطريق قد تعرض للاهتراء بشدة (فقد خشونته) أو أن الرسومات على الدواليب اختفت نتيجة **الاهتراء.**

حدوث ظاهرة الانزلاق ضمن الماء

يتجمع الماء الذي **لا** يمكن طرده جانبياً في بداية التماس للدولاب مع الطريق ونتيجة لذلك يتشكل أسفين مائي تحت الدولاب مما يعطي قوة دفع هيدروديناميكية **تقلل** من ضغط الدولاب على الطريق بالتالي يقل عامل الاحتكاك.

وتتوضح هذه الحادثة بالشكل التالي:



نشوء حادثة الانزلاق ضمن الماء

a ـ العلاقة بين عامل الاحتكاك للدواليب مع سطح الغطاء المبلل بالماء وبين السرعة

b ـ مخطط تناقص مساحة منطقة تماس الدولاب مع سطح الغطاء المبلل بالماء عند تزايد السرعة .

1 ـ دواليب جديدة ، 2 ـ دواليب ذات سطح ممسوح (قديمة)

3 ـ سماكة طبقة الماء أكبر من 1 مم

4 ـ الاسفين المائي المتشكل تحت الدولاب .

I ـ منطقة تماس كاملة للدولاب مع سطح الغطاء ، II ـ منطقة تماس جزئية ،

III ـ منطقة تماس معدومة .

ومن الشكل السابق نلاحظ أنه عند وجود طبقة مائية على الطريق ذات سماكة تبلغ عدة ميليمترات تؤدي إلى تقليل الاحتكاك بين الدواليب الأمامية مع سطح الغطاء إلى حد كبير مما يؤدي بدوره إلى فقدان السيطرة على السيارة في حال كانت السرعة 80-100 km/h.

ومن الأسباب الأخرى التي تؤدي إلى تقليل عامل الاحتكاك **السرعة العالية**، ففي حال كانت السرعة عالية فأن الدولاب **لا يتمكن** من التشوه بشكل كاف، بسبب قصر المدة الزمنية لتماسه مع سطح الغطاء، مما يسبب بدوره انغراز النتوءات إلى عمق أقل مما هو متاح وبالتالي نستنتج أن :

زيادة السرعة تعمل على تخفيض قيمة عامل الاحتكاك .

انخفاض عامل الاحتكاك في حال زيادة السرعة على أغطية الطريق الجافة هو أقل بكثير من انخفاضه في حالة الحركة على الأغطية المبللة بالماء.

ومن أجل تحسين شروط التماسك مع الطريق وجعل إمكانية طرد المياه أكثر فعالية من منطقة التماس للدولاب مع الطريق في حال حركته على سطح غطاء مبلل بالماء فأننا نعتمد على:

تخشين سطح الدولاب وذلك بعمل رسومات مموجة محدبة مختلفة الأشكال عليه.

إن شروط احتكاك الدواليب المطاطية مع سطح الطريق لها علاقة وثيقة بحالة الطقس، وتتغير تبعاً لذلك قيم عامل الاحتكاك حسب فصول السنة في حدود كبيرة جدا، حيث ترتفع قيم عوامل الاحتكاك صيفاً بسبب جفاف السطح وتقل شتاء حين هطول الأمطار وتبلل السطح بالماء، كما تنخفض بشدة حين يتشكل الجليد على سطح الطريق.

فرملة السيارة:

يجري عادة استخدام الفرملة في الحالات الحدية التي تستدعي إيقاف السيارة كلياً أو التخفيف من سرعتها، حيث يقوم السائق عادة أثناء عملية الفرملة بالضغط على دعسة الفرامل ، مما يؤدي عن طريق أجهزة توصيل الفرامل إلى خلق قوة احتكاك بين نعل الفرامل (الكولييه) وطنبور الدولاب.

وتسمح أجهزة الفرملة الحديثة بتطبيق قوة فرملة أكبر من قوة الاحتكاك الممكنة للدواليب مع سطح الغطاء.

ويمكننا تحديد شدة التباطؤ في حال فصل المحرك عن الدواليب القائدة أثناء الفرملة، حيث تكون عندها القوة المحركة للسيارة هي عطالتها فقط وذلك باستخدام معادلة حركة السيارة على الشكل التالي:

$$\delta * G * J = P_T + P_w \pm P_i \pm P_f$$

حيث :

P_w , P_i , P_f هي قوى مقاومة الحركة.

P_T قوى مقاومة الفرملة، وتساوي $P_T = \gamma_T * G$

G وزن السيارة.

γ_T عامل قوة الفرملة (شدة الفرملة) والذي يساوي نسبة مجموع قوى الفرملة المطبقة على كافة الدواليب إلى وزن السيارة.

إذا بدلنا في المعدلة السابقة بما يساوي قيم مقاومة الحركة وقسمنا الطرفين على G نرى أن التسارع السلبي في حالة الفرملة الذي يحدد شدة التباطؤ يصبح مساوياً:

$$\delta * J = \gamma_T + \frac{P_w}{G} \pm i \pm f$$

ملاحظة: تتعلق قيمة γ_T بـ :

1. الخواص التصميمية لأجهزة فرامل السيارة وحالتها.
2. شدة تطبيق الفرملة من قبل السائق بدءاً من الفرملة الخفيفة وحتى الإيقاف الكامل للعجلات مع الحركة بشكل عشوائي تجنباً للوقوع في حادث ما.
3. استواء سطح الغطاء للطريق.

وبما ان سرعة حركة السيارة تنخفض بشدة أثناء الفرملة وحيث أن مقاومة الهواء في السرع الأقل من 30 km/h قليلة جداً، مما يجعل بالإمكان اهمالها أثناء عملية الفرملة ، أي $\frac{P_W}{G} = 0$

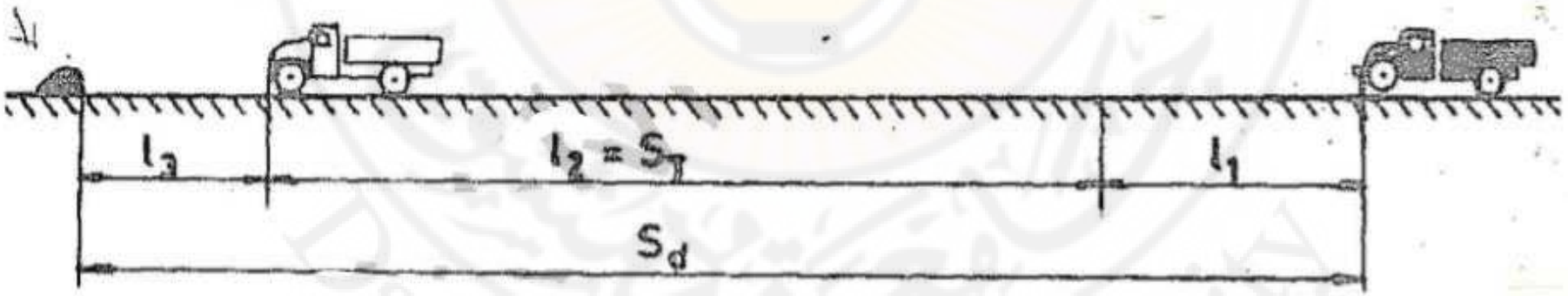
الأمر الذي يؤثر في نتائج الحساب بخطأ لا يتعدى نسبته 5%, وعليه تصبح المعادلة بالشكل التالي:

$$\delta * J = \gamma_T \pm i \pm f$$

تحديد مسافة التوقف على الفرملة:

مثلا لدينا السيارة في الأسفل تسير بشكل مستقيم على طريق ما، وفجأة لاحظ السائق وجود عائق ما أمامه بمسافة ، فأنه سوف يقوم بالفرملة كي يتجنب الاصطدام به.

وما سندرسه في هذه الفقرة هو كيفية تحديد هذه المسافة أو بطريقة عكسية حيث نريد أن نصمم هذه المسافة كي نتجنب الاصطدام قدر الإمكان.



تقسم المسافة الكلية s_d إلى ثلاث مسافات:

$$s_d = L_1 + L_2 + L_3$$

- L_1 المسافة المقطوعة خلال زمن رد فعل السائق أي المسافة المقطوعة من لحظة تنبه السائق لوجود العائق إلى لحظة ضغطه على الفرامل.

- L_2 مسافة الفرملة الفعلية وهي في لحظة أن يدعس السائق على الفرامل إلى لحظة توقف السيارة وتكون السرعة فيها متباطئة.

- L_3 مسافة أمان.

جامـــعة دمـــشق
كليـــــة الهندسة المدنية
قسم هندسة النقل ومواد البناء

المنحنيات الانتقالية

المحاضرة 6

هندسة الطرق

Damascus University

محتوى المحاضرة:

مقدمة

معادلة المنحني الانتقالي

استخراج معادلة نصف قطر المنحني الانتقالي

معادلة الكلوتوئيد

معادلات حساب العناصر الأساسية في الكلوتوئيد

مسألة

مقدمة

- تتغير شروط حركة السيارة لحظة دخولها من الجزء المستقيم إلى المنحني في المسقط الأفقي بسبب تعرضها للقوة النابذة ويعمد السائق عادة إلى تقليل السرعة عند دخوله على المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الصغيرة $R<600m$ كونها تحقق درجة أمان أقل لسرعة الحركة.
- وحتى لا تتغير شروط الحركة بشكل فجائي الأمر الذي يترك شعوراً بعد الارتياح لدى الركاب أو قد يؤدي إلى إمكانية انزلاق السيارة فأننا نُدخل بين الاستقامة والمنحني الدائري ذي نصف القطر الصغير ما يسمى **المنحنى الانتقالي**.
- أي لدى تحرك المركبات على الطرق فأن أهم متطلبات السلامة التي يجب توفرها بالإضافة إلى عنصر الراحة هو تأمين المسار الذي يوفر مرور المركبات بسرعة ثابتة.

هذا الوضع تحققه المسارات الكلوتوئيدية.

المنحنيات الانتقالية:

كل منحني يتغير نصف قطره باستمرار وانتظام بشكل يتوافق مع قيم تزايد عامل القوة الكامنة وتغير سرعة المركبة.

- للمنحني الانتقالي أنواع عدة سندرس منها نوعين فقط:

1. منحني الفرملة.
2. ومنحني الكلوتوئيد.

- إن الكلوتوئيد بالذات هو أكثر المنحنيات الانتقالية انتشاراً في تصميم الطرق لتحقيق الميزات الحركية والهندسية.
- في الوقت الحاضر إزداد تصميم الكلوتوئيد انتشاراً ليس فقط كمسقط أفقي ولكن أيضاً كمقطع طولي.

معادلة المنحني الانتقالي:

- لاستخراج معادلة المنحني الانتقالي نأخذ الشرطين التاليين اللذان يحققان أمان الحركة وراحتها.

الشرط الأول: تنخفض سرعة السيارة من v_s على الاستقامة حتى v_c حين وصولها إلى المنحني الدائري، بشكل منتظم تتناسب طرداً مع الزمن اللازم على المنحني الانتقالي وبقيمة ثابتة مقبولة للتسارع السالب (التباطؤ) مقدارها a.

$$a = \frac{v_s - v_c}{T}$$

v_s السرعة على الاستقامة.

v_c السرعة على المنحني الدائري.

T الزمن اللازم لقطع المسافة على المنحني الانتقالي

الشرط الثاني: يتزايد التسارع النابذي بشكل نتظم يتناسب طرداً مع الزمن اللازم لقطع المسافة على المنحني الانتقالي أي:

$$\frac{V_r^2}{r} = J * t$$

r نصف قطر المنحني الانتقالي في النقطة التي تمر من خلالها السيارة يعد t ثانية من دخولها عليه والتي تقع على بعد L من بدايته.

J تزايد التسارع النابذي.

- نعين أولا قيمة العاملين a و J:
- يمكننا أن نكتب من شروط حركة التباطؤ المنتظم أن الزمن اللازم لقطع المنحني الانتقالي الذي طوله يساوي L:

$$T = \frac{L}{\frac{v_s + v_c}{2}} = \frac{2L}{v_s + v_c}$$

- بتعويض قيمة T بما يساويها في علاقة a نحصل على :

$$a = \frac{\frac{v_s - v_c}{2L}}{\frac{v_s + v_c}{}} = \frac{v_s^2 - v_c^2}{2L}$$

ومن أجل شروط نهاية المنحني الانتقالي أي:

$$V_r = v_c \quad , R = r \, , T = t$$

$$\frac{v_C^2}{R} = J * T = J * \frac{2L}{v_s + v_C}$$

$$J = \frac{v_c^2 (v_s + v_c)}{2RL}$$

استخراج معادلة نصف قطر المنحني الانتقالي :

- بالتشابه مع معادلة ال a يمكن أن نستنتج أن الزمن t اللازم للوصول إلى نقطة ما من المنحني الانتقالي يساوي:

$$t = \frac{v_s - v_r}{a}$$

وبما أن $\frac{Vr^2}{r} = J * t$ بالتالي:

$$\frac{V_r^2}{r} = J * t = J * \frac{v_s - v_r}{a}$$

$$r = \frac{a * v_r^2}{J(v_s - v_r)}$$

وبالتعويض في المعادلة السابقة بقيم J,a بما يساويها بالعلاقات نحصل على:

$$r = \frac{R * (v_s - v_c) * \left(v_s^2 - \frac{l}{L}(v_s^2 - v_c^2)\right)}{v_c^2 * \left(v_S - \sqrt{v_s^2 - \frac{l}{L}(v_s^2 - v_c^2)}\right)}$$

وبفرض أن: $\frac{l}{L} = x$ و $\frac{r}{R} = y$ و $\frac{v_s}{v_c} = n$

$$y = \frac{(n-1)\left(n^2 - x(n^2-1)\right)}{n - \sqrt{n^2 - x(n^2-1)}}$$

- ونسمي هذا المنحني **بمنحنى الفرملة** ومن المفيد جداً استخدام هذا المنحني عند التحام الطرق في التقطاعات على مستوى واحد أو في مستويات مختلفة وعلى المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الصغيرة في المناطق الجبلية.

- أما على الطرق ذات الدرجات العالية (I,II,III) فأن السيارات يجب أن تسير بدون تخفيض للسرعة لذلك نستخدم منحنيات انتقالية تختلف نوعاً ما عن منحني الفرملة، وعندها يمكن الحصول على معادلة المنحني الانتقالي المطلوب إذا بدلنا في المعادلة الأخيرة بـ n=1 أي أصبح $v_s = v_c$ و أزلنا حالة عدم التعيين للمعادلة أي:

$$r = \frac{R * L}{l} = \frac{C}{l} \rightarrow C = r * l$$

حيث تمثل المعادلة السابقة معادلة الكوتوئيد (الراديوئيد أو حلزون كورينو) الذي يعد المنحني الانتقالي الأساسي المستخدم على الطرق في الوقت الحاضر، وكما نرى من المعادلة فأن أنصاف أقطار الانحناء يتناسب عكساً مع طوله l ، ويجري تحديد طول المنحني الانتقالي بحيث تتزايد القوة النابذة خلال قطع المنحني ببطْ شديد يجب أن تكون J أي سرعة تزايد التسارع النابذي أقل من القيمة التي تسبب شعوراً مزعجاً للركاب و تتراوح قيمة ال J المأخوذة من $(1 - 0.3\, m/S^3)$ ونعتمد نحنا على قيمة $j = 0.8\, m/S^3$.

إن المدة الزمنية اللازمة لقطع المنحني الانتقالي التي تتزايد خلالها قيمة الستارع النابذي بشكل منتظم من الصفر حتى v^2/R يمكن استنتاجها من المعادلة $\frac{vr^2}{r} = J * t$ من أجل شروط نهاية المنحني الانتقالي:

$$T = \frac{v^2}{J * R}$$

حيث V سرعة السيارة وتقدر ب (m/s)

وعليه فأن طول المنحني الانتقالي يساوي :

$$L_s = v * T = \frac{v^3}{R * J}$$

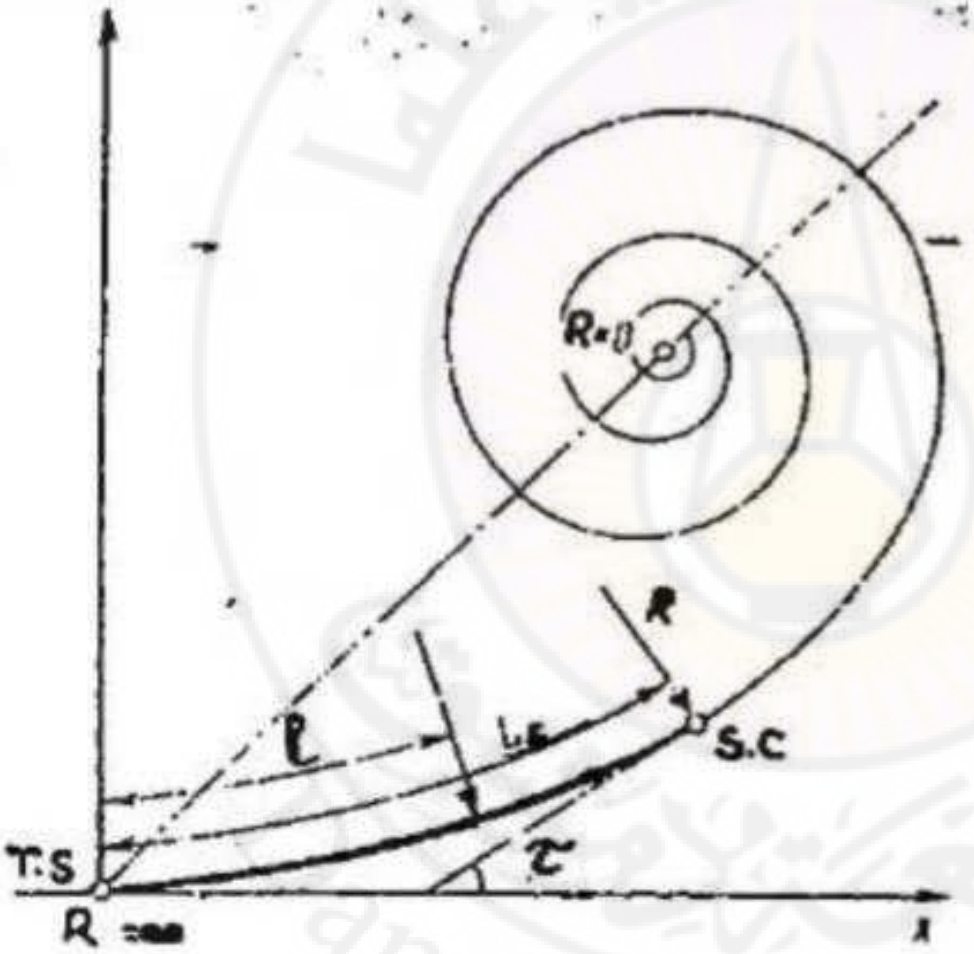
ويصبح شكل المعادلة إذا كانت V(km/h):

$$L_s = \frac{v^3}{47 * R * J}$$

يجري عادة إدخال المنحنيات الانتقالية على الطرق ذات أنصاف الأقطار الأقل من 2000m

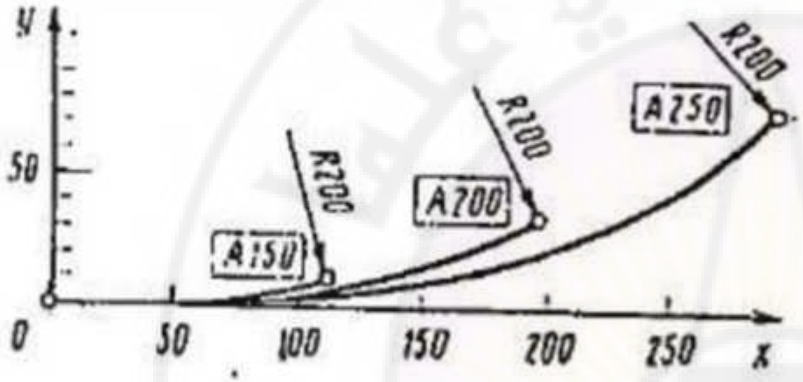
معادلة الكلوتوئيد:

إن الكلوتوئيد هو حلزون يتغير نصف قطره بشكل تدريجي من $R = \infty$ في نقطة بدايته عند النقطة 0 حتى $R = 0$ في نهايته.



شكل (٤-٧)
المنحنى الانتقالى (الكلوتوئيد)

ونستخدم عادة أثناء التصميم الجزء الأول من الكلوتوئيد كمنحني انتقال أو كانحناء مستقل بدءاً من نقطة البداية $R = \infty$ وحتى قيمة معينة R على مسافة L_s من بداية الكلوتوئيد.



الشكل (٤ــ٨)

تغير انحناء الكلوتوئيد مع تغير العامل A

- وكما رأينا سابقاً يمكن التعبير عن الكلوتوئيد رياضياً بالمعادلة التالية:

$$r = \frac{c}{l}$$

حيث:

r نصف قطر الانحناء لنقطة ما من المنحني الانتقالي تبعد عن بدايته مسافة l.

C ثابت يسمى ثابت الكلوتوئيد ويساوي من أجل نهاية الجزء المستخدم من الكلوتوئيد:

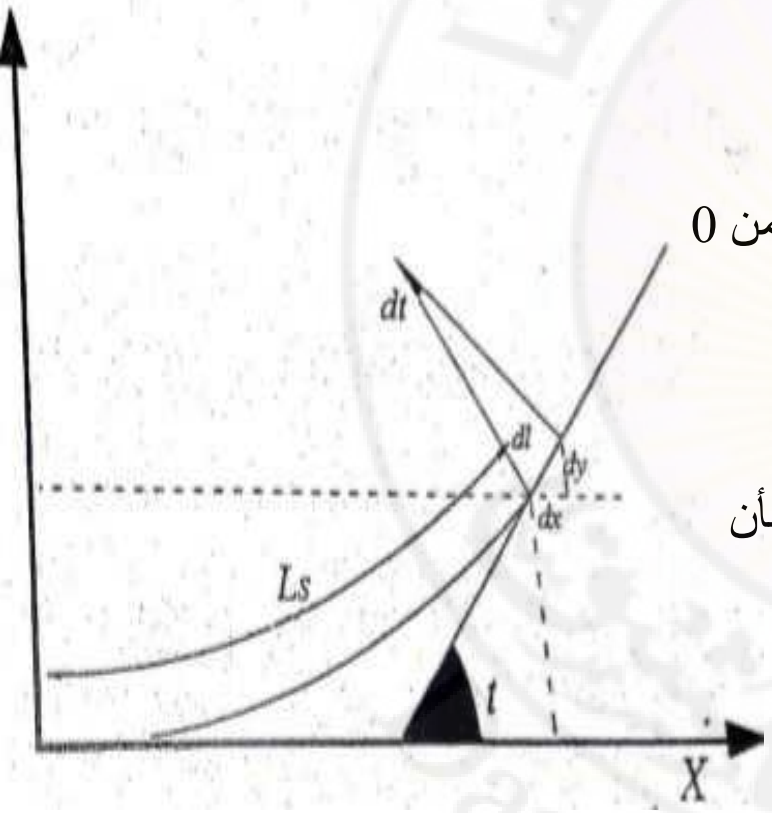
$$C = R * L_s = A^2$$

R نصف قطر الانحناء في نهاية الجزء المستخدم منه.

L_s طول الجزء الميتخدم منن الكلوتوئيد.

ويعبر العامل A عن درجة تغير انحناء الكلوتوئيد، بمعني أنه لو كان لدي منحني نصف قطره 200 سيكون له عامل A قيمته 150m ، وعندما كان لدي منحني بنفس نصف القطر 200, وكان اسيابته أكبر فأن قيمة A ستكون أكبر من 200m وهكذا.....

ويتم التعبير عن الكلوتوئيد في الإحداثيات (X,Y) و زاويته τ (الزاوية المحصورة بين مماس نهاية الجزء المستقيم من الكلوتوئيد و محور الفواصل) انطلاقاً من الشكل الحسابي التالي:



$$dl = r\,d\tau \rightarrow \frac{dl}{d\tau} = r = \frac{c}{l} \rightarrow l \cdot \mathrm{d}l = c \cdot \mathrm{d}\tau$$

وبأخذ تكامل الطرفين من مجال 0 وحتى 1 للطرف الأيسر و من 0 وحتى τ للطرف الأيمن نجد :

$$\int_0^1 l\,dl = \int_0^\tau C\,d\tau \rightarrow \frac{l^2}{2} = C * \tau + \mathrm{const}$$

وبما أن شروط البداية هي عندما تكون $l = 0$ فأن $\tau = 0$ فأن ثابت التكامل يساوي الصفر ومنه:

$$l^2 = 2C\tau \rightarrow \tau = \frac{l^2}{2C}$$

وبعويض قيمة عامل الكلوتوئيد من العلاقة $C = R * L_s$

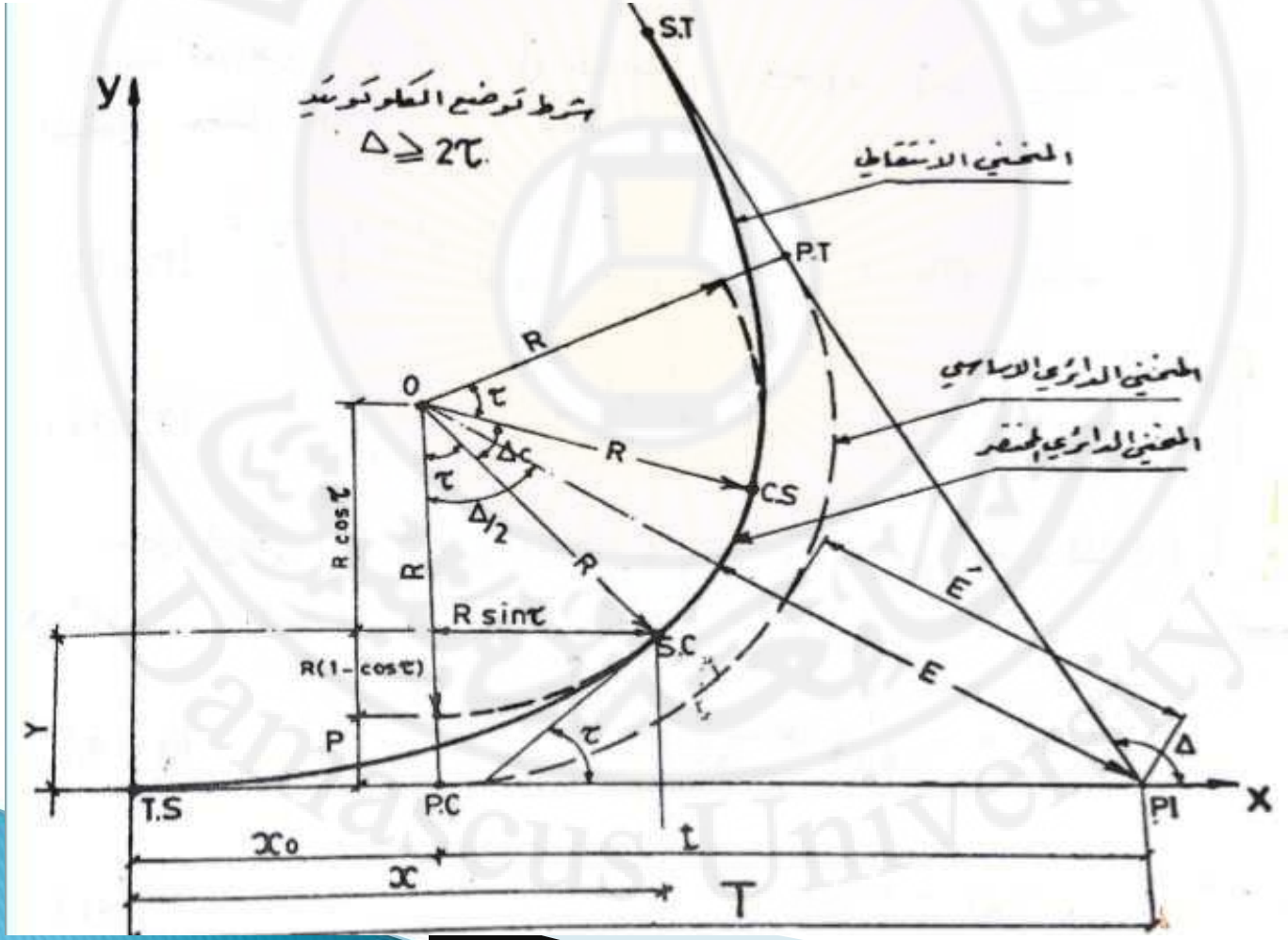
$$\tau = \frac{l^2}{2RL_s} = \frac{L_s}{2R}$$

إذاً:

- عندما تكون السرعة متناقصة من v_S "على الاستقامة" إلى v_C "على المنحني الدائري" فأننا نستخدم منحني الفرملة وذلك في الطرق ذات الدرجات المنخفضة حيث يكون تناقص السرعة مسموح.
- عندما تكون السرعة ثابتة حيث $v_S = v_c$ فأننا نستخدم منحني الكلوتوئيد "المنحني الحلزوني" وذلك عندما يكون تناقص السرع غير مسموح به "طرق درجات أولى وثانية وثالثة"

معادلات حساب العناصر الأساسية في الكلوتوئيد:

نستخدم الحالة الأكثر شيوعاً وهي حالة الانحناء المكون من منحنيين انتقاليين (كلوتوئيدين) متناظرين يحصران بينهما قوساً دائرياً.



شرح المخطط:

- ليكن لدينا مضلع ما ونريد أن ننشأ عليه منحني أفقي انتقالي، نبدأ بداية بالمنحني الدائري. حيث نحدد النقاط P.C و P.T ثم نرسم منهما عمودين لنحدد مركز المنحني الدائري الأساسي وهي نقطة تقاطعهما، ندخل المنحنيين الانتقاليين المتناظرين ليشكلا مع المنحني الدائري المختصر الانحناء الأفقي كاملاً (انتقالي , دائري , انتقالي) وليتشكل نتيجة لذلك الزاويتين τ_1 و τ_2

ولكن هنا $\tau_1 = \tau_2$ وليتشكل أيضاً الزاوية ΔC

- نأخذ الآن المنحني الانتقالي ونحدد عليه العناصر:

<u>المعطيات لدينا:</u>

1. زاوية الدوران Δ وتكون إما بالراديان أو الدرجات أو الغراد.
2. نصف قطر المنحني الدائري R.
3. طول المنحني الانتقالي L_S

يتم حساب العناصر الرئيسية للانحناء وفق ما يلي:

- نحسب زاوية الكلوتوئيد بالراديان (الزاوية التي يصنعها المماس لنهاية الكلوتوئيد مع محور الفواصل)

$$\tau = \frac{L_s}{2R}$$

- نتحقق من إمكانية توضع الكلوتوئيد بواسطة العلاقة التالية : $\Delta \geq 2\tau$

1. نحسب عامل الكلوتوئيد: $C = R * L_s = A^2$
2. نحسب إحداثيات نهاية المنحني الانتقالي من المعادلتين:

$$X = L_s - \frac{L_s^5}{40C^2}$$

$$Y = \frac{L_s^3}{6c}$$

حيث $C = R * L_s$ و L_s طول الجزء المنحني الذي إحداثيات نهايته X,Y

3. نحسب مقدار إزاحة المنحني الدائري الأساسي P:

$$P = Y - R(1 - \cos\tau)$$

4. نحسب فاصلة مركز الدائرة:

$$X_0 = X - R\sin\tau$$

5. نحسب طول مماس المنحني الدائري الأساسي:

$$t = (R + P)\tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

6. نحسب طول مماس الانحناء:

$$T = X_0 + t$$

7. نحسب زاوية المنحني الدائري المختصر:

$$\Delta c = \Delta - 2\tau \qquad "Rad"$$

Damascus University

8. نحسب طول المنحني الدائري المختصر:

$$L_c = \frac{\pi R \Delta C}{200} \quad \text{"grad"} = \frac{\pi R \Delta C}{100} \quad "rad"$$

9. نحسب السهم:

$$E = (R + P)\left(\frac{1}{\cos\frac{\Delta}{2}} - 1\right) + P$$

10. نحسب التصحيح:

$$D = 2T - (2L_s + L_C)$$

ملاحظة: نسمي الانحناء المكون من منحنيين كلوتوئيديين متناظرين ومتماسين (أي لا يوجد منحني دائري مختصر) بالمنحني الكلوتوئيدي المضاعف حيث في هذه الحالة يكون:

$$\Delta c = 0 \quad , \quad L_c = 0 \quad , \quad \tau = \frac{\Delta}{2}$$

لماذا حسبنا τ في البداية؟

لأن هناك شرط لتوضع زاوية الكلوتوئيد فإذا تحقق الشرط نكمل، وإذا لم يتحقق الشرط نتوقف عندها ويكون لدينا حلين أما نغير من قيمة نصف القطر أو أن نغير من قيمة طول المنحني فالشرط هو أن تكون قيمة ضعف الزاوية الكلوتوئيدية 2τ يجب أن تكون أصغر أو تساوي من قيمة زاوية الدوران Δ أي $\Delta \geq 2\tau$.

وفي هذه الحالة الخاصة للتناظر حيث نعلم أن الانحناء هو عبارة عن منحني انتقالي أول ثم منحني دائري مختصر ثم منحني انتقالي ثاني، فعندما يكون المنحنيين الانتقاليين منطبقين تماماً يكون الشرط كما ذكرنا سابقاً.

مسألة

احسب عناصر منحني أفقي مكون من منحنيين انتقاليين متناظرين ومنحني دائري مختصر بفرض أن:

$$\mathbf{R=1000m} \qquad \boldsymbol{L_s = 150m} \qquad \boldsymbol{\Delta = 120^0}$$

الحل:

نحول زاوية الدوران إلى راديان حتى نستطيع استخدامها في حساب عناصر المنحني:

$$\Delta = 120^0 = \frac{\pi * 120}{180} = 2.094 \ rad$$

تحسب زاوية الكلوتوئيد بالراديان:

$$\tau = \frac{L_s}{2R} = 0.075 \quad rad$$

نجد فيما إذا كان الشرط محقق: $\Delta \geq 2\tau \rightarrow 2.094 > 0.15$ فالشرط محقق.

نحسب عامل الكلوتوئيد:

$$C = R * L_s = 150000m^2$$

$$A = \sqrt{C} = \sqrt{150000} = 387.298m$$

نحسب إحداثيات نهاية المنحني:

$$X = L_s - \frac{L_s^5}{40C^2} = 149.91\ m$$

$$Y = \frac{L_s^3}{6C} = 3.75m$$

نحسب مقدار إزاحة المنحني الدائري الأساسي:

$$P = Y - R(1 - \cos\tau) = 2.44m$$

نحسب فاصلة مركز الدائرة:

$$X_0 = X - R\sin\tau = 148.61\ m$$

نحسب طول مماس المنحني الدائري الأساسي:

$$t = (R + P)\tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) = 18.32m$$

نحسب طول مماس الانحناء:

$$T = X_0 + t = 166.93m$$

نحسب طول المنحني الدائري المختصر:

$$L_C = \frac{\pi * R * \Delta C}{180} = 36.55m$$

نحسب السهم:

$$E = (R + P)\left(\frac{1}{\cos\frac{\Delta}{2}} - 1\right) + P = 2.60m$$

نحسب التصحيح:

$$D = 2T - (2L_s + L_C) = -2.69\ m$$

جامـــعة دمـــشق
كليـــــة الهندسة المدنية
قسم هندسة النقل ومواد البناء

إنتاج الخرسانة الإسفلتية وتدقيق النوعية

المحاضرة 7

هندسة الطرق

محتوى المحاضرة:

المجابل الكلاسيكية

مسألة عن المجابل

المجابل من النوع المختزل

المراقبة وضبط الجودة

بعد أن يتم تصميم الخلطة الإسفلتية و الحصول على خلطة تحقق المتطلبات كافة بشكل متوازن، يتم اعتمادها ويطلق عليها اسم خلطة العمل.

يجب أن يتم إنتاج الخلطة الإسفلتية في المجابل ليتم بعد ذلك نقلها إلى موقع العمل من أجل فردها و رصها للحصول على طبقات إسفلتية تحقق المواصفات المطلوبة .

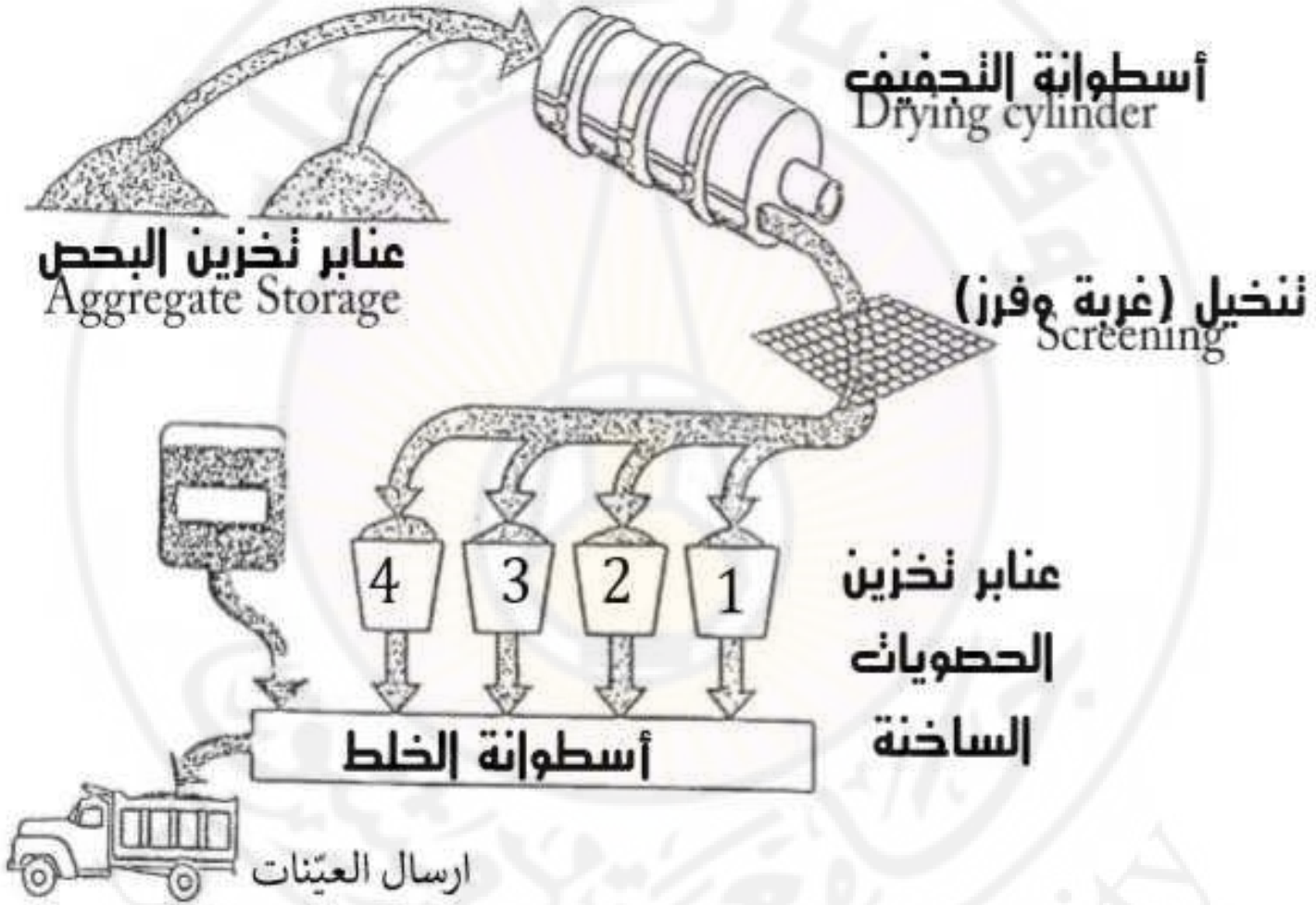
ويجب ان يتم التحقق من نوعية الإنتاج والفرد والرص بإجراء الاختبارات اللازمة حسب كل مرحلة.

المجابل الكلاسيكية:

- النوع الأول: المجابل المستمرة
- النوع الثاني: المجابل المتقطعة

وتتألف المجابل الكلاسيكية من:

1. عنابر تكويم (تجميع) الحصويات الباردة.
2. أسطوانة التجفيف والتخزين مع تجهيزات البخار.
3. وحدة الغربلة والفرز للبحص.
4. عنابر تخزين الحصويات الساخنة.
5. أسطوانة الخلط.


أسطوانة التجفيف
Drying cylinder
عنابر تخزين البحص
Aggregate Storage
تنخيل (غربلة وفرز)
Screening
4
3
2
1
عنابر تخزين
الحصويات
الساخنة
أسطوانة الخلط
ارسال العيّنات

عادة يضاف عنبر لتخزين الخلطة الإسفلتية المنتجة حتى تحميلها في السيارة، وتستخدم كذلك في بعض الحالات صوامع .

وظيفة الصوامع: تخزين كميات كبيرة من البيتون الإسفلتي لعدة أيام دون أن تتأثر خواص الخلطة بشكل كبير، ولهذا الغرض يتم الحفاظ على الحرارة بتسخين الصومعة، ولكن يجب سحب الأوكسجين منها واستبداله بغاز محايد لمنع تأكسد الرابط الإسفلتي.

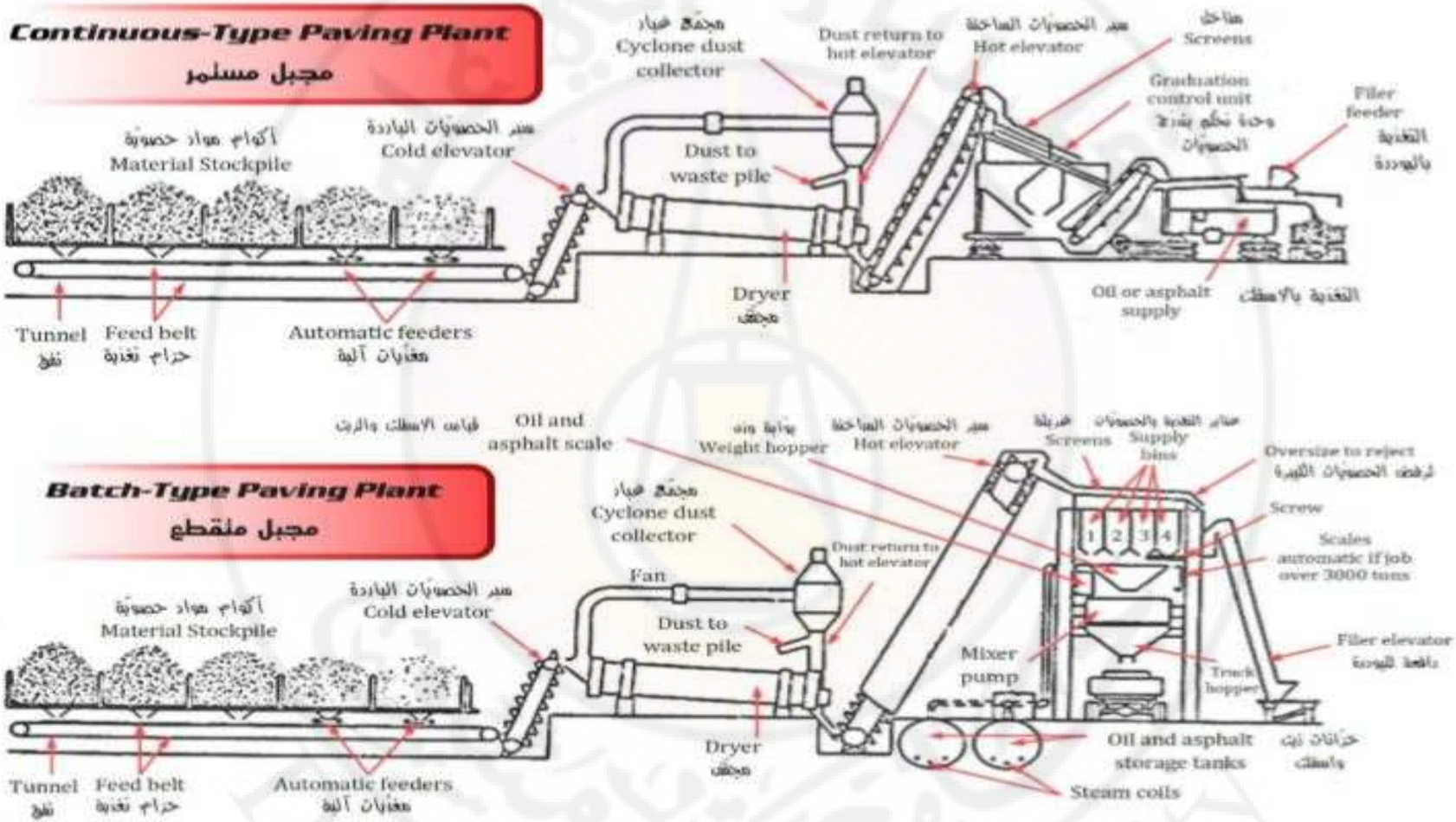
تستخدم في مثل هذه المجابل طريقتان لقياس وزن المواد عند دخولها إلى الخلاط : مستمرة - متقطعة.

آلية عمل المجابل المستمرة والمتقطعة:

المجابل المستمرة: هي مجابل قديمة، يتم إدخال المواد الحصوية بشكل مستمر إلى الخلاط وبخها بـ الإسفلت مع الخلط، ومن ثم تفريغها إلى ظهر السيارات، ويتم التحكم بكمية الحصويات الداخلة إلى الخلائط من كل عنبر للحصويات الخشنة بالتحكم بفتحة بوابة العنبر كما يتم ضخ الإسفلت بمعدل يتناسب مع كميات الحصويات التي تدخل الخلاط.

المجابل المتقطعة: في مثل هذه المجابل يتم وزن الرابط الإسفلتي والحصويات الخارجة من كل عنبر للحصويات الخشنة باتجاه الخلاط من أجل إنتاج دفعة واحدة من الخلطة، حيث يتم خلط الدفعة وتفريغها وهكذا....

ولما كانت الحصويات قد تم خلطها في المجفف مرة حسب المقاسات في وحدة الفصل فوق عنابر الحصويات الساخنة لذلك لابد من تحديد الكمية الواجب استجرارها من كل عنبر ساخن.


Continuous-Type Paving Plant
مجبل مستمر
مجمّع غبار
Cyclone dust collector
Dust return to hot elevator
سير الحصويات الساخنة
Hot elevator
مناخل
Screens
Graduation control unit
وحدة تحكم بتدرج الحصويات
Filler feeder
المغذية بالمودة
أكوام مواد حصوية
Material Stockpile
سير الحصويات الباردة
Cold elevator
Dust to waste pile
Dryer
مجفف
Oil or asphalt supply
المغذية بالاسفلت
Tunnel
نفق
Feed belt
حزام تغذية
Automatic feeders
مغذيات آلية
Batch-Type Paving Plant
مجبل منقطع
قياس الاسفلت والرمل
Oil and asphalt scale
وعاء وزن
Weight hopper
سير الحصويات الساخنة
Hot elevator
مناخل
Screens
صناديق التغذية بالحصويات
Supply bins
Oversize to reject
لرفض الحصويات الكبيرة
Screw
Scales automatic if job over 3000 tons
مجمّع غبار
Cyclone dust collector
Dust return to hot elevator
Fan
سير الحصويات الباردة
Cold elevator
أكوام مواد حصوية
Material Stockpile
Dust to waste pile
Filler elevator
رافعة المودة
Mixer pump
Truck hopper
Dryer
مجفف
Oil and asphalt storage tanks
خزانات زيت واسفلت
Steam coils
Tunnel
نفق
Feed belt
حزام تغذية
Automatic feeders
مغذيات آلية

مسألة:

بينت نتيجة تصميم الخلطة أن خلطة العمل كالتالي:

50% حصويات خشنة (A) 35% حسويات متوسطة(B) 15% حصويات ناعمة (C)

وخصائص الخلطة هي:

الكثافة الكلية $2380k\,g/m^3$ - الفراغات بين الحصويات $V_{MA} = 15.5\%$

الفراغات الهوائية $V_a = 3.8\%$ - الفراغات المملوءة بالإسفلت $V_F = 75.5\%$

السيلان 12 وحدة 0.25 mm - درجة حرارة الخلط $135°C \rightarrow 145°C$ - الثبات N5300

فإذا علمت أن المجبل المقرر استخدامه من النوع الكلاسيكي المتقطع وينتج كل دقيقة 1360 kg من الخلطة ونسبة الإسفلت في الخلطة 6.2%

يتم تخزين الصحويات في ثلاث عنابر ساخنة وتم إجراء التحليل الحبي لكل عنبر فحصلنا على الجداول الموضحة بالشكل:

A 50%		B 35%		C 15%	
عنبر الحصويات الخشنة		عنبر الحصويات المتوسطة		عنبر الحصويات الناعمة	
المنخل	نسبة المار %	المنخل	نسبة المار %	المنخل	نسبة المار %
(1 inch)25 mm	100	(3/8inch)9.5 mm	100	(No. 8)2.36 mm	100
(0.5 inch)12.5 mm	73	(No. 4)4.75 mm	75	(No. 16)1.18 mm	73
(3/8 inch)9.5 mm	18	(No. 8)2.36 mm	33	(No. 30)600 μm	52
(No 8)2.36 mm	1	(No. 16)1.18 mm	11	(No. 50)300 μm	33

منحني التدرج الحبي المطلوب دراسته هو ..

المنخل	25 mm	9.5 mm	2.36 mm
نسبة المار %	100	63	41

المطلوب: أوجد وبشكل مفصل الكميات النهائية من الحصويات اللازمة لتصميم الخلطة السابقة

الحل:

حساب وزن الحصويات:

نطرح نسبة الإسفلت من وزن الخلطة.

وزن الحصويات 1360 – 6.2% *1360 =1275.68 =1276 kg

ننتقل إلى التدرج الحبي، نسبة المار من المنخل 25mm هي 100% ونسبة المار من المنخل 9.5 mm هي 63% "نسبة الحصويات الاخشن من 9.5mm هي 100-63 %"

الحصويات الأخشن من 9.5 mm هي:

$$\{100 - 63)\% * 1276 = 472kg$$

الحصويات المحصورة من $9.5mm \rightarrow 2.36mm$ هي:

$$\{63 - 41)\% * 1276 = 281kg$$

الحصويات الأنعم من 2.36 mm هي:

$$\{41)\% * 1276 = 523kg$$

العمل على العنبر A:

1. نحدد كمية الحصويات الموجدة بهذا العنبر.
2. نحسب كمية الحصوبات الأخشن من 9.5 mm الموجودة في العنبر.
3. نحسب كمية الحصويات المحصورة $9.5mm \rightarrow 2.36mm$ الموجودة في هذا العنبر.
4. نحسب كمية الحصويات الانعم من 2.36 mm الموجودة في العنبر.
5. ثم نطبق نفس العملية على العنابر الباقية B&C

الحسابات ضمن العنبر A:

بما ان 100-18=82% من الحصويات في العنبر الخشن أكبر من 9.5 mm فإن المطلوب من هذا العنبر هو x

$$(100-18)\% * x = 472$$

$$x = 576kg$$

منها:

الحصويات الأخشن من 9.5 mm هي:

$$\{100-18)\% * 576 = 472kg$$

الحصويات المحصورة من $9.5mm \rightarrow 2.36mm$ هي:

$$\{18-1)\% * 576 = 98kg$$

الحصويات الأنعم من 2.36 mm هي:

$$\{1)\% * 576 = 6kg$$

للتاكد : 472+98+6=576 kg

في هذه الخطوة حصلت على الحصويات:

1) حصويات أخشن من 9.5 mm: 472 kg من العنبر A أي كامل الحصويات المطلوبة.

2) حصويات بين ($9.5mm \rightarrow 2.36mm$) : 98kg من العنبر A ... بالأساس نريد 281kg من العنابر كاملة وبالتالي نطرح الكمية التي حصلنا عليها من العنبر A ← 281-98=183 kg وهي كمية الحصويات ($9.5mm \rightarrow 2.36mm$) من العنابر C&B

3) حصويات أنعم من 2.36mm: 6kg من العنبر A وبالأساس نريد 523kg من كامل العنابر وبالتالي نطرح الكمية التي حصلنا عليها من العنبر A

←523-6=517kg وهي كمية الحصويات الأنعم من 2.36 mm التي نريدها من C&B

الحسابات ضمن العنبر B:

$$(100-33)\% * x = 183$$

$$x = 273kg$$

منها:

الحصويات المحصورة من $9.5mm \rightarrow 2.36mm$ هي:

$$\{100-33)\% * 273 = 183kg$$

الحصويات الأنعم من 2.36 mm هي:

$$\{33)\% * 273 = 90kg$$

183+90=273 kg

لهذه الخطوة حصلت على الحصويات:

1) حصويات بين ($9.5mm \rightarrow 2.36mm$) : 183 kg من العنبر B أي كامل الحصويات المطلوبة.

2) حصويات أنعم من 2.36mm: 90 kg وبالأساس نريد 517 kg من العنابر C&B وبالتالي نطرح الكمية التي حصلنا عليها من العنبر B ← 517-90=427 kg وهي كمية الحصويات الأنعم من 2.36 mm التي نريدها من العبر C.

الحسابات ضمن العنبر C:

حصويات أنعم من 2.36 mm : 427kg

نلاحظ إذا جمعنا الحصويات في العنبر A,B,C نحصل على وزن البحص للمشروع كما حسبناه في أول خطوة

للتحقق:

576+273+427=1276 kg

العنبر	الكمية من كل عنبر x	أنعم من $2.36\ mm$	$9.5\ mm \rightarrow 2.36\ mm$	أخشن من $9.5\ mm$
الخشن	576	6	98	472
المتوسط	273	90	183	–
الناعم	427	427	–	–
المجموع	1276	523	281	472

Damascus University

المجابل من النوع المختزل:

يعتبر هذا النوع من المجابل الأكثر اقتصادية لأنتاج الخرسانة الإسفلتية، حيث تستخدم فيه خلاطة على شكل طبلة، لتجفيف الحصويات وخلطها مع الإسفلت في آن واحد، وقد بدأ هذا النوع من المجابل بالانتشار لميزاته الاقتصادية، ويمكن بواسطة هذا النوع اختصار عملية الإنتاج من أربعة مراحل في الطرق التقليدية (الكلاسيكية) إلى مرحلتين في النوع المختزل.

الطريقة التقليدية	الطريقة المختزلة
1- تغذية الحصويات على البارد	1- تغذية الحصويات على البارد
2- تجفيف الحصويات و تسخينها	
3- فرز الحصويات الساخنة	2- التجفيف والتسخين والخلط في آن معاً
4- الخلط مع الأسفلت	

مراحل الطريقة المختزلة:

1. يتم تغذية عنابر الحصويات الباردة مع مقياس تحكم بكمية الحصويات من كل عنبر للتحقق من آن النسب تخرج وفق الكميات المطلوبة لتحقيق التدرج المعتمد.
2. تدرخل الحصويات إلى الخلاط، حيث يتوضع الحزاق (جهاز تسخين) في هذه المجابل عند مدخل الخلاط "ليس في نهايته كما في المجابل الآخرى" ومع دخول الحصويات وتقدمها في الخلاط يحدث ما يلي:

a) تتبخر الرطوبة الحرة والسطحية من الحصويات.

b) ترتفع درجة حرارة الحصويات حتى $75°C \rightarrow 80°C$

c) تتم إضافة الإسفلت وقد بلغت درجة حرارة الحصويات $80°C \rightarrow 90°C$,وتقوم الرطوبة المطلقة (المتبخرة) من الحصويات بتفوير الإسفلت مشكلة رغوة تلتقط الغبار والبودرة وتغلف الحصويات.

d) مع تقدم عملية الخلط، وتقدم الخليط باتجاه المخرج، ترفع درجة حرارة حتى حرارة الخلط المطلوبة، ونحصل على كامل الخلطة.

لتبسيط عملية تدقيق الخلطة يتم تجهيز معظم المجابل من هذا النوع بآجهزة قياس آلية تعمل باستمرار على ضبط نسب المواد الحصوية الداخلة إلى الخلاط،

ويتم كذلك ضبط نسب الإسفلت المبخوخ بشكل آلي يتناسب مع كمية الحصويات المدخلة إلى الخلاط،

ويصل إنتاج مثل هذه المجابل إلى $5000ton \rightarrow 5500ton$ يومياً

المراقبة وضبط الجودة:

تتم مراقبة وضبط جودة الإنتاج ت توريد و تنفيذ الخلطات الإسفلتية من خلال المراقبة في المجابل وفي موقع العمل.

حيث يقوم المراقب في المجبل بالتعرف على مكونات المجبل وعمليات الإنتاج و أدوات التحكم بنسب المواد ودرجات الحرارة، حيث يجب التحقق يومياً مما يلي:

داخل المجبل وقبل إرسالها للموقع:

1. عنابر تخزين الخصويات الباردة وتدقيق التغذية فيها (المواد الداخلة إلى المجفف)
2. التدرج الحبي في كل عنبر حصويات ساخنة، ومنظومة ضبط إدخالها إلى الخلاط بالنسب المطلوبة.
3. درجات حرارة الحصويات والإسفلت والخلطة المنتجة.
4. تشغيل المجفف والخلاط بالشكل اللازم.
5. التحقق من جودة الخلطة في سيارات التوريد إلى الموقع.

يتم يوميا اخذ العينات من حصويات العنابر الباردة على الأقل، حيث يتم التأكد من أن التدرج أصبح متجانساً.

يجب التحقق كذلك من فتحات بوابات العنابر من أجل التأكد من الكمية الخارجة من كل عنبر بحيث تصل الحصويات إلى المجفف بالتدرج المطلوب.

يتم كذلك تسجيل حرارة الحصويات والإسفلت والخلطة المنتجة بشكل مستمر.. عادة تخرج الحصويات من المجفف بحرارة أعلى من حرارة الخلطة بحوالي $10°C$ $\rightarrow 12°C$, ويجب كذلك اخذ العينات من الحصويات في المجفف للتحقق من التجفيف الكامل.

كما يتم أخذ عينات من الخلطة المنتجة من أجل تحضير عينات لاختبار الثبات والسيلان وتجربة استخلاص الإسفلت والتحقق من نسبته نتيجة لذلك،

وكذلك التحقق من التدرج الحبي للحصويات.

أما في موقع العمل فيجب:

1. التحقق من إعداد السطوح للطبقة التي سيتم وضع الخلطة عليها بالشكل المناسب من حيث الاستواء والتخلص من الشوائب، وجودة تنفيذ طبقة التشرب أو الالتصاق (حسب الحالة)
2. التحقق من درجة حرارة الخلطة الموردة إلى الموقع للتحقق من وقوعها ضمن درجات الحرارة المطلوبة للفرد والرص.

جامـــعة دمـــشق
كليـــــة الهندسة المدنية
قسم هندسة النقل ومواد البناء

عيوب الرصف المرن وصفها و أسبابها

المحاضرة 8

هندسة الطرق

Damascus University

محتوى المحاضرة:

مقدمة عامة

أنواع عيوب الرصف المرن

أنواع انهيار الطرق

عيوب الرصف الأسفلتي

مقدمة عامة:

تعتبر عملية جرد عيوب الأغطية الطرقية ومن ثم دراستها كمًا ونوعًا بغية محاولة التعرف على أسبابها هي عملية في غاية الأهمية بالنسية للمهندس المصمم، والمنفذ، والمشرف.

وبالتالي تمكنهم من تحديد طرائق لصيانتها وإصلاحها، مما يعمل على تأمين السلامة المرورية والراحة عند استخدام الطريق، و يساعد أيضا في زيادة العمر التصميمى له.

الأهداف والمفهوم:

يعتمد تبني المعالجة الصحيحة والفعالة لعيوب الرصف على التعريف الصحيح والموحد لهذه العيوب، وهو يشبهه التشخيص الصحيح للمرض الذي يتبعه معالجة صحيحة وفعالة.

يتم تقييم حالة الرصف بالملاحظة البصرية، وتسجيل أنواع العيوب الموجودة على سطح طبقة الرصف، من قبل أشخاص فاحصين لحالة الطريق، حيث توجد مرحلتين لتنفيذ المسح البصري للعيوب:

1. بقيادة سيارة
2. بالسير على الاقدام.

أثناء المرحلة الأولى:

يقود فريق المسح السيارة بسرعة بطيئة على كامل منطقة الرصف، ويتم تسجيل المناطق المتأثرة من الرصف بشكل تقريبي، وعمل رسومات توضيحية، كما يتم تقدير جودة القيادة على هذا الرصف وذلك بقيادة السيارة بسرعة مناسبة تمثل سرعة السيارات في الحركة المحلية المستخدمة للطريق المراد فحصه .

تعتبر هذه المرحلة نوع من التعرف على المنطقة المدروسة.

أثناء المرحلة الثانية:

هي مرحلة السير على الأقدام فى المنطقة المدروسة.

تهدف: التعرف عن قرب وتسجيل الملاحظات، وقياس المساحة المتأثرة لكل عيب.

الأدوات اللازمة لإجراء عملية الفحص البصري :

1. شريط قياس
2. عجلة قياس
3. قدة مستقيمة بطول 3 إلى 4 متر
4. مسطرة قياس
5. آلة تصوير عادية أو رقمية
6. مفكرة لتسجيل الملاحظات والمراجعة
7. معدات السلامة مثل: مخاريط لتوجيه حركة السير، أعلام، لوحات السلامة المرورية وحقيبة إسعافات أولية، وأشياء أخرى(مياه للشرب، أغطية للرأس....).
8. استمارة جرد عيوب الطرق
9. الدليل المختصر لعيوب الطرق

أنواع عيوب الرصف المرن:

تقسم عيوب الرصف المرن حسب أنواعها إلى الأنواع التالية:

❖ **عيوب ناتجة من تشقق الرصف:**

1) الشقوق التمساحية (الكلل)
2) الشقوق البلوكية (الشبكية)
3) الشقوق الطولية و العرضية
4) الشقوق الانزلاقية
5) الشقوق الجانبية (حواف الرصف)

❖ **عيوب ناتجة عن عدم استيواء سطح الرصف:**

1) التخدد
2) التموجات
3) الهبوط
4) تحدبات وتقعرات
5) الانتفاخ
6) الزحف
7) هبوط الكتف عن المسار.

❖ **عيوب ناتجة عن سطح رصف زلقي:**

1) نزف أو طفح الأسفلت.
2) بري أو صقل الحصويات.

❖ **عيوب ناتجة من تفكك سطح الرصف:**

1) تآكل وتطاير حصويات سطح الرصف.
2) الحفر.

❖ **عيوب ناتجة من أعمال صيانة الطرق أو أعمال المرافق:**

1) رقع أعمال المرافق
2) رقع صيانة الطرق.

أنواع انهيار الطرق:

يمكن تصنيف انهيار الطريق إلى صنفين أساسيين :

الانهيار الوظيفي: وهو ينشأ من الحالات التي تؤثر بشكل سيء على مستخدمي الطريق، ولا تلبث هذه الحالات أن تتطور ليصبح الطريق بعدها غير قادر على أداء الوظيفة المطلوبة منه.

الانهيار الإنشائي: وهو ينشأ من الحالات التي تؤثر بشكل سيء على قدرة بنية الغطاء الطرقي في تحمل الحمولات، والتي تؤدي إلى انهيار طبقة أو أكثر من طبقات الرصف الإنشائية. أويندرج ضمن هذه الحالات النقص في سماكة الطبقة، سوء التنفيذ، والتشققات الحرارية.

ومن الجدير بالذكر أنه ليس من الضروري أن يترافق الانهيار الوظيفي مع الانهيار الإنشائي، بمعنى أنه قد يكون الغطاء - سليمًا تمامًا من الناحية الإنشائية إلا أنه خارج الخدمة من الناحية الوظيفية.

عيوب الرصف الاسفلتي:

فهرست:

1-الشقوق التمساحية أو شقوق الكلل

2- الشقوق الشبكية

3- الشقوق الطولية والعرضي

4-الرقع

5- الحفر

6-الهبوطات

7-الزحف أو الإزاحة

8-التخدر

9-النزيف أو طفح الإسفلت

10-التطاير و التآكل

11- بري أو صقل الحصى

12-التحدبات والتقعرات

13- التموجات

14- الشقوق الجاذبية

15- الشقوق الانعكاسية

16-هبوط الأكتاف

17- الشقوق الانزلاقية

18-الانتفاخ

19-تقاطع سكك الحديد

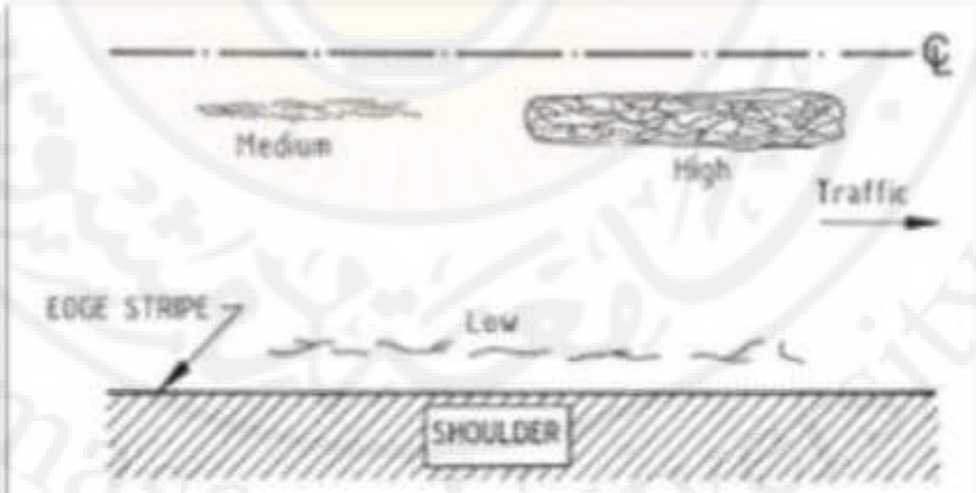
20-رقع حفريات الخدمات

1- الشقوق التمساحية (الكلل) :

الوصف: هي عبارة عن شقوق متداخلة متوالية حدثت نتيجة انهيار الكلل للخرسانة الإسفلتية تحت تأثير الأحمال المتكررة. تبدأ هذه الشقوق تحت سطح الإسفلت حيث إجهاد وانفعال الشد عالي تحت الإطار، ثم تنتشر إلى السطح بشكل شقوق طولية متوازية .

وبنتيجة تأثير أحمال الحركة المتكررة تبدأ هذه التشققات في التواصل في كل الاتجاهات وفي شكل زوايا حادة مكونة شكلا يشبه جلد التمساح ومن هنا جاءت تسميتها بالشقوق التمساحية.

تحدث هذه الشقوق دائمًا في المواقع التي تكون فيها أحمال الحركة متكررة وخاصة في مسارات الإطارات.



الشكل رقم (1) الشقوق التمساحية

الأسباب المحتملة:

تتضمن الأسباب المتوقعة للشقوق التمساحية سبب أو أكثر من الأسباب التالية:

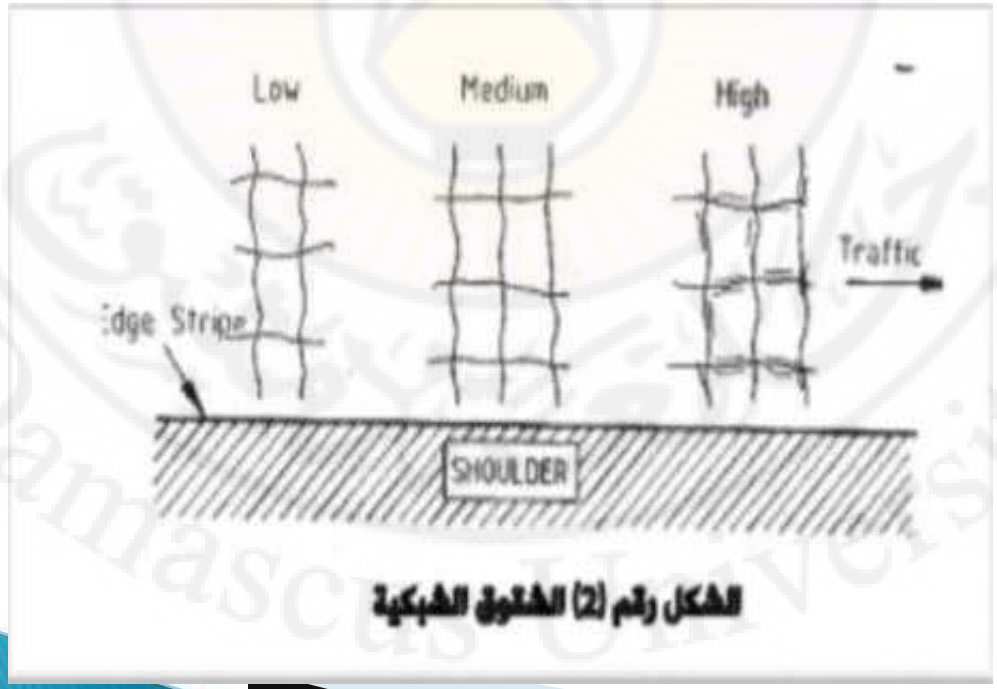
1. تلف طبقة الخرسانة الإسفلتية نتيجة لتلف الطبقة السفلية بسبب الأحمال المرورية المتكررة.
2. عدم ثبات حالة طبقة الأساس الإسفلتى أو طبقة تحت الأساس بسبب هبوط زائد للسطح.
3. ضعف طبقة الأساس الحصوي مما جعلها غير قادرة على مقاومة الهبوط الزائد الناتج من الأحمال المرورية.
4. تقادم المواد الإسفلتية بفعل الزمن.
5. عدم كفاية سماكة طبقات الرصف.
6. ضعف تصريف المياه في طبقتي القاعدة وتحت الأساس.

في حالة تبين أن سبب الشقوق التمساحية هو ارتفاع منسوب المياه الجوفية، فإنه يجب إصلاح الطبقات الترابية (الأساس وما تحت الأساس) كما يجب عمل تصريف جيد للمياه حتى لا تصل إلى طبقات الرصف.

2- الشقوق الشبكية (البلوكية) :

الوصف: هي شقوق متداخلة تقسم الطبقة إلى قطع مربعة بأبعاد حوالي 30*30cm إلى 3*3m وتختلف الشقوق الشبكية عن الشقوق التمساحية بأن الأخيرة تكون بشكل قطع صغيرة وبعدة أضلاع وزوايا حادة وتوجد في مسارات الإطارات، بينما توجد الشقوق الشبكية في كل مكان على سطح الرصف.

وتكثر الشقوق الشبكية في الطرق والشوارع ذات الأحجام المرورية المتدنية وفي ساحات مواقف السيارات.



الشكل رقم (2) الشقوق الشبكية

الأسباب المحتملة:

تعتبر الشقوق الشبكية من العيوب الوظيفية والإنشائية والسبب الأساسي لهذه الشقوق هو: الانكماش الحراري للمواد الإسفلتية الرابطة نتيجة للانفعال والإجهاد الدوري.

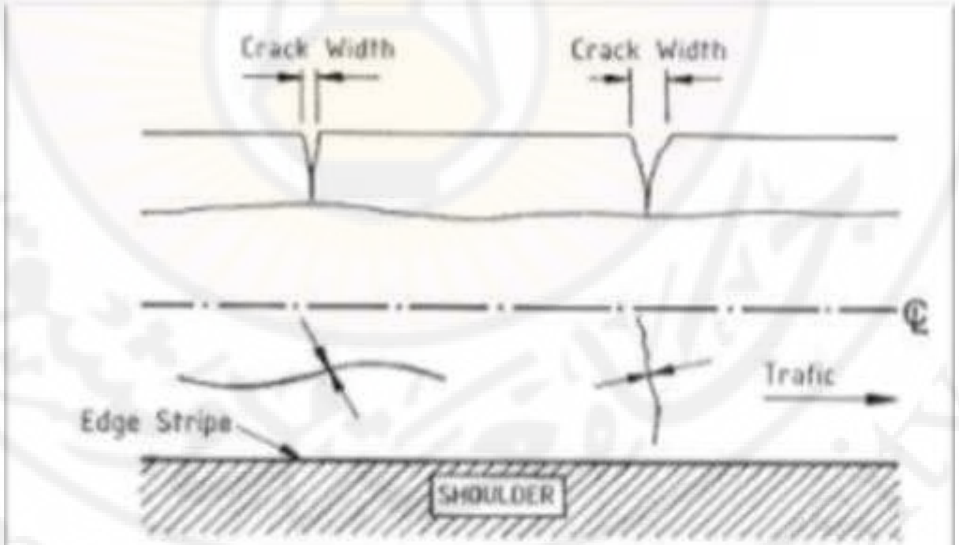
كما يشير ظهور هذه الشقوق إلى تصلب الإسفلت بدرجة كبيرة.

غير أن الشقوق الشبكية تعتبر من العيوب الغير متعلقة بالأحمال بالرغم من زيادة مستوى شدتها نتيجة لتأثير الأحمال، كما أن الخرسانة الإسفلتية الضعيفة تعجل من بداية ظهور هذه الشقوق.

3- الشقوق الطولية والعرضية :

الوصف: الشقوق الطولية هي شقوق تمتد موازية لمحور الطريق أما الشقوق العرضية فهى تمتد بعرض الرصف تقريبًا متعامدة مع محور الطريق.

تعتبر هذه الشقوق عيوب إنشائية (ضعف طبقة الرصف) وعيوب وظيفية (خشونة سطح الرصف)، لذلك فهي من العيوب التي لا تتعلق بالأحمال المرورية، لكن الأحمال والرطوبة تعجل بتدهور هذه الشقوق.



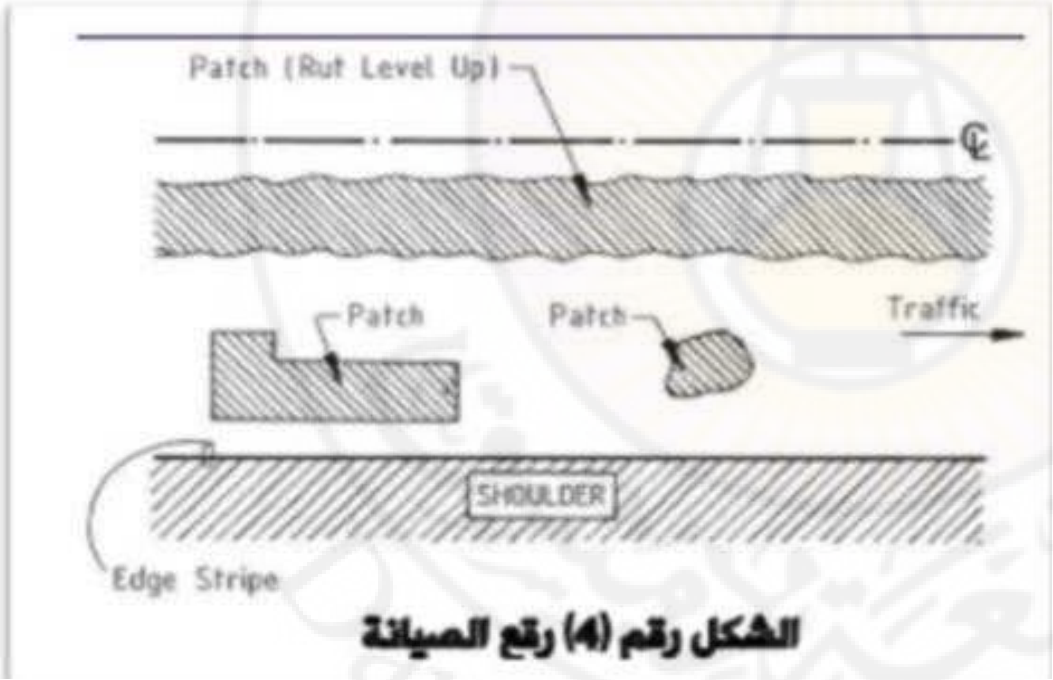
الشكل رقم (3) الشقوق الطولية والعرضية

الأسباب المحتملة:

1. عدم جودة تنفيذ فواصل المسارات في حالة الشقوق الطولية.
2. انكماش سطح الخرسانة الإسفلتية نتيجة لانخفاض درجة الحرارة أو تصلب الإسفلت .
3. الشقوق الانعكاسية الناتجة عن الشقوق السفلية تحت الطبقة السطحية مثل شقوق البلاطات الخرسانية الأسمنتية (لكن لا تتضمن فواصل البلاطات الخرسانية).

4- الرقع :

الوصف: يتضمن هذا النوع من العيوب انهيار مواقع صيانة وإصلاح طبقات الرصف الموجودة. وفى الحقيقة يعتبر الترقيع عيبًا بحد ذاته حتى لو كان أداؤه جيدًا، وبشكل عام تتعلق بعض خشونة سطح الرصف بهذا العيب.



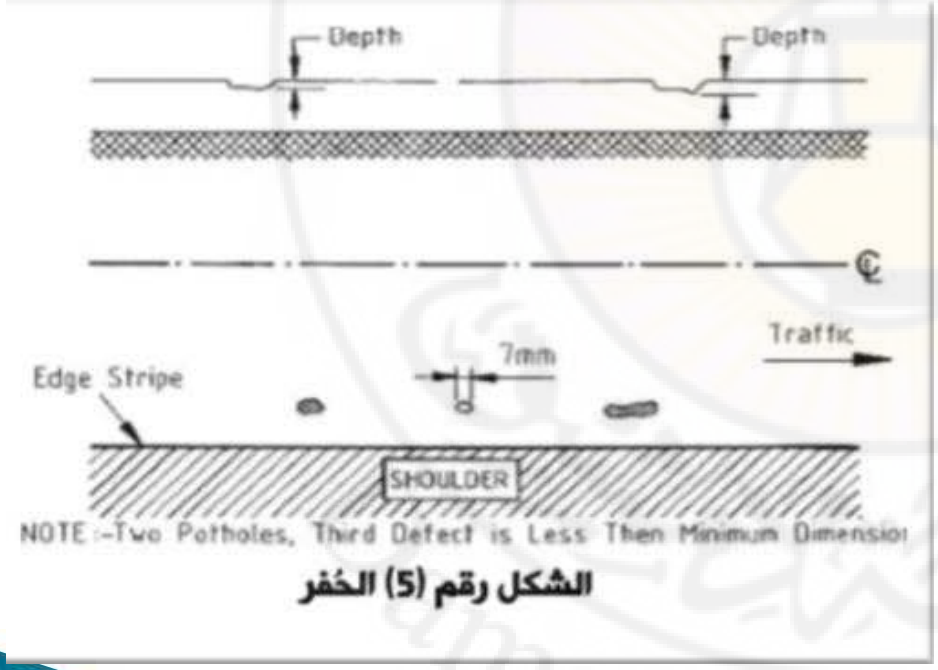
الشكل رقم (4) رقع الصيانة

الأسباب المحتملة:

تتضمن الأسباب المحتملة لعيب الترقيع الأحمال المرورية، عدم ضبط جودة المواد أو سوء التنفيذ إعادة الردم وسوء تشغيل الإسفلت

5- الحفر :

الوصف: تكون الحفُر عادة بشكل حوض قطره حوالي 75cm يكون له أوجه رأسية بالقرب من أعلى الحفرة ، وهي تحدث على سطح الطريق وتختلف على العمق والاتساع، فإذا حدثت الحفُر بسبب الشقوق التمساحية عالية الشدة فيجب تعريفها كحفر وليس تطاير ويطلق على هذه الحفر أيضا اسم أعشاش الدجاج .



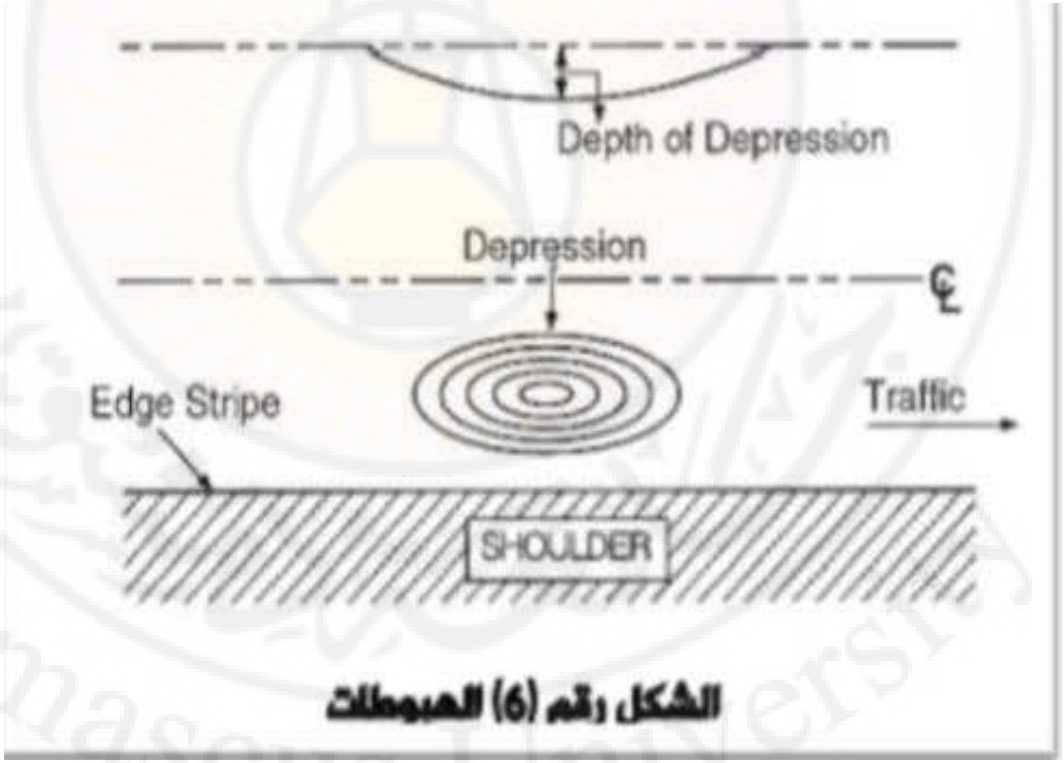
الشكل رقم (5) الحُفر

الأسباب المحتملة:

1. تكسر سطح طبقة الرصف نتيجة للشقوق التمساحية.
2. التفتت الموضعي لسطح طبقة الرصف.
3. وجود الرطوبة وفعل الحركة يعجل من نشوء الحُفر.

6- الهبوطات :

الوصف: الهبوط هو انخفاض قليل في منطقة من سطح الرصف، وفي معظم الأحيان تلاحظ الهبوطات الخفيفة بعد هطول الأمطار، كما تلاحظ فى مواقع وجود بقع الزيوت المتساقطة من المركبات، وتعتبر الهبوطات من العيوب الوظيفية.



الشكل رقم (6) الهبوطات

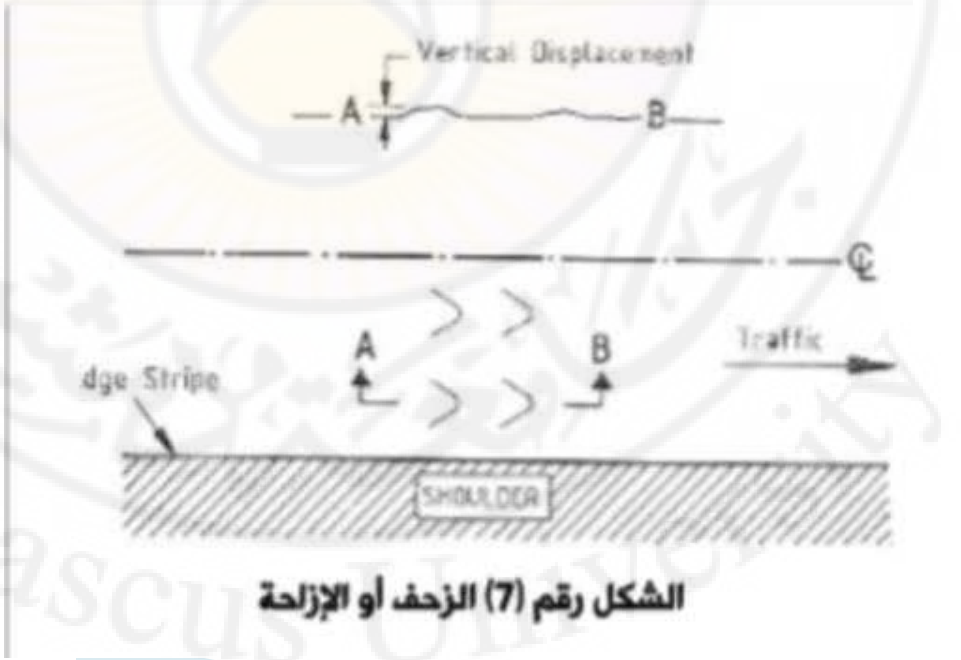
الأسباب المحتملة:

يمكن تلخيص الأسباب المحتملة للهبوطات بالنقاط التالية:

1. نتيجة لهبوط طبقات الأساس الترابي أو ينشأ أثناء الإنشاء.
2. بسبب هبوط الأساس الترابي نتيجة للأحمال الزائدة التي تضغط الأساس فتهشمه أو بسبب الهبوط الفوري الذي يحدث أثناء التنفيذ نسبة للحركة العليا علي الطبقات الدنيا. كما أن عدم كفاية الدمك للردميات وعدم مقدرة طبقة القاعدة على تحمل الأحمال من أسباب الهبوطات.
3. نتيجة الأحمال المرورية، الحرارة، المواد وعيوب التنفيذ كلها عوامل تسهم في نشوء الهبوطات وتعجل في انتشارها.

7- الزحف والازاحة :

الوصف: الزحف أو الإزاحة هو حركة طولية لمساحة موضعية من سطح الطريق باتجاه حركة السير وينشأ نتيجة للأحمال الحركية المرورية، فعندما تدفع الحركة طبقة الرصف، فإنها تولد أمواج قصيرة ومرتفعة على سطح طبقة الرصف . يحدث هذا العيب في مواقع التقاطعات وقبل الإشارات المرورية حيث التوقف وبداية الحركة أو في مناطق تلاصق الطبقة الخرسانية الأسمنتية مع الطبقة الإسفلتية المرنة.



الشكل رقم (7) الزحف أو الإزاحة

الأسباب المحتملة:

1. إجهادات القص المتولدة من حركة المركبات في المواقع ذات الانحدار الحاد أو عند تقاطعات الإشارات المرورية .
2. ضعف ثبات طبقات الرصف السطحية بسبب زيادة نسبة الإسفلت أو زيادة نسبة المواد الناعمة في الخلطة أو استعمال الركام الدائري الشكل .
3. ضعف ثبات طبقات الأساس وما تحت الأساس ينعكس على سطح الرصف .

8- التخدد :

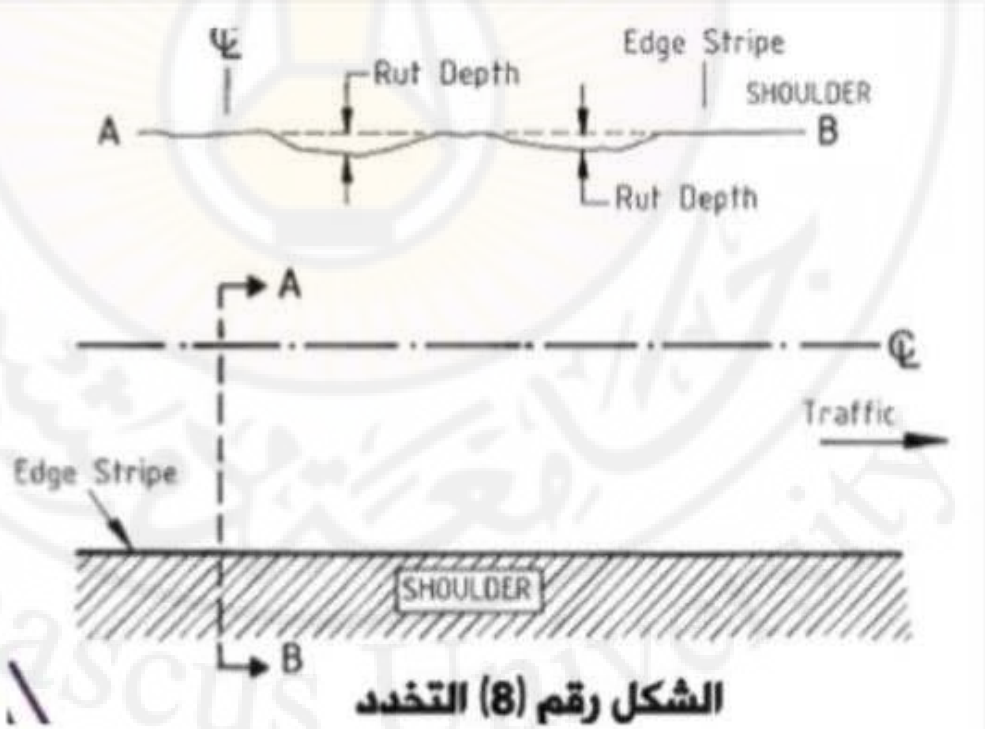
الوصف: التخدد هو هبوط في سطح الطريق (بشكل قنوات) في منطقة مسار إطارات السيارات، ونعتبر التخدد من العيوب الوظيفية ولكن يدخل ضمن العيوب الإنشائية في حالة مستوى التخدد عالي الشدة.

ويتعلق التخدد بالأحمال الزائدة عن قدرة تحمل الطريق أو وقوف السيارات لمدة طويلة (مثل الوقوف على الحواجز)، وسماكات الرصف والمواد ويحدث نتيجة الدك والحركة المرنة العرضية لطبقة ما، أو لكل طبقات الرصف بما فيها طبقة القاعدة.

ويظهر التخدد بعد هطول الأمطار عندما تمتلىء مسارات الإطارات بالماء مما تسبب خطورة على الحركة، كما تنشأ خطورة أخرى عندما يكون التخدد عميق ويصعب التحكم في توجيه السيارة.

الأسباب المحتملة:

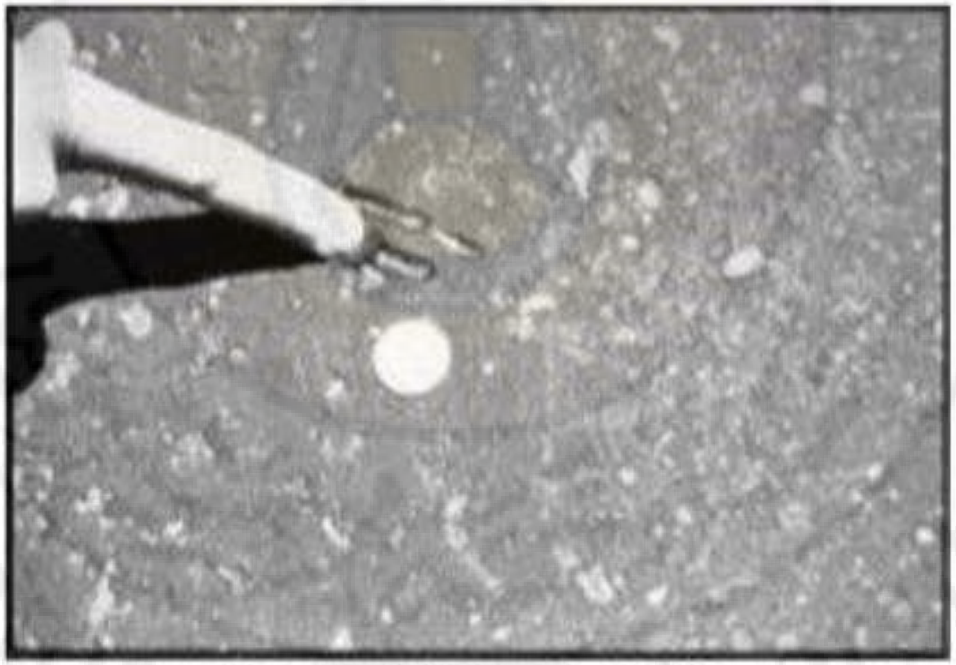
1. ضعف المواد أو ضعف مواد تصميم الخلطة في انضغاط الطبقات.
2. عدم كفاية الدك أثناء التنفيذ.
3. نعومة الخلطة الإسفلتية.
4. ليونة مواد الطبقات السفلية نتيجة لتسرب المياه أو الزيوت التي تسربها السيارات.



الشكل رقم (8) التخدد

9- النزيف أو طفح الإسفلت :

الوصف: النزيف هو انتقال علوي للمواد الإسفلتية (البيتومين) إلى سطح طبقات الرصف. وتشكل هذه المواد على السطح طبقة زجاجية رقيقة عاكسة وهي عادة ما تجعله لامعًا ولزجًا في الصيف، وزلقا في الشتاء.



الشكل رقم (9) نزف الاسفلت

الأسباب المحتملة:

1. زيادة كميات مواد الربط الإسفلتية أو زيادة الإسفلت في الخلطة الإسفلتية.
2. زيادة رش المواد الإسفلتية (طبقة الدهان والطبقة اللاصقة).
3. قلة الفراغات الهوائية يؤدي في الأجواء الحارة إلي تمدد الإسفلت وتعبئة الفراغات ومن ثم يتمدد إلي خارج السطح. ويتم تجمع الإسفلت علي السطح.

10- التطاير والتآكل :

الوصف: التطاير هو تفتت تدريجي لطبقة الرصف السطحية، يعقبه طرد للحصى من مكانها، وتتحول مواد الخلطة إلى مواد مفككة تشبه المواد الحجرية المفككة.

أما التآكل فهو فقدان المواد (القشرة) الإسفلتية المغطية لسطح الطريق.

الشكل رقم (10) التطاير

الأسباب المحتملة:

1. إجهاد القص الأفقي نتيجة الحركة المرورية.
2. تأكسد أو تقادم المواد الاسفلتية الرابطة وانفصال الحصى ونقص المواد والحرارة الزائدة للخلطة وقلة المحتوى الإسفلتي وعدم كفاية الدمك واستخدام حصويات ضعيفة في الخلطة الإسفلتية.
3. وجود الماء (الذي تخلل إلى داخل الطبقة عن طريق الفراغات) والذي يؤدي إلى ضغط هيدروستاتيكي أثناء حركة السيارات .
4. انبعاث المواد الهيدروكربونية لفترة طويلة من محركات السيارات (تعمل هذه المواد كمذيب للمواد الاسفلتية).

11- بري أو صقل الحصى :

الوصف: هو تعري الحصى من المادة الإسفلتية وزيادة نعومتها بسبب احتكاك عجلات السيارات، مما يؤدي إلى صقل الحصي وتناقص حجمها وبالتالي ضعف مقاومة الانزلاق.

و يعتبر صقل الحصى من العيوب الوظيفية.

الشكل رقم (11) صقل أو بري الحصى

الأسباب المحتملة:

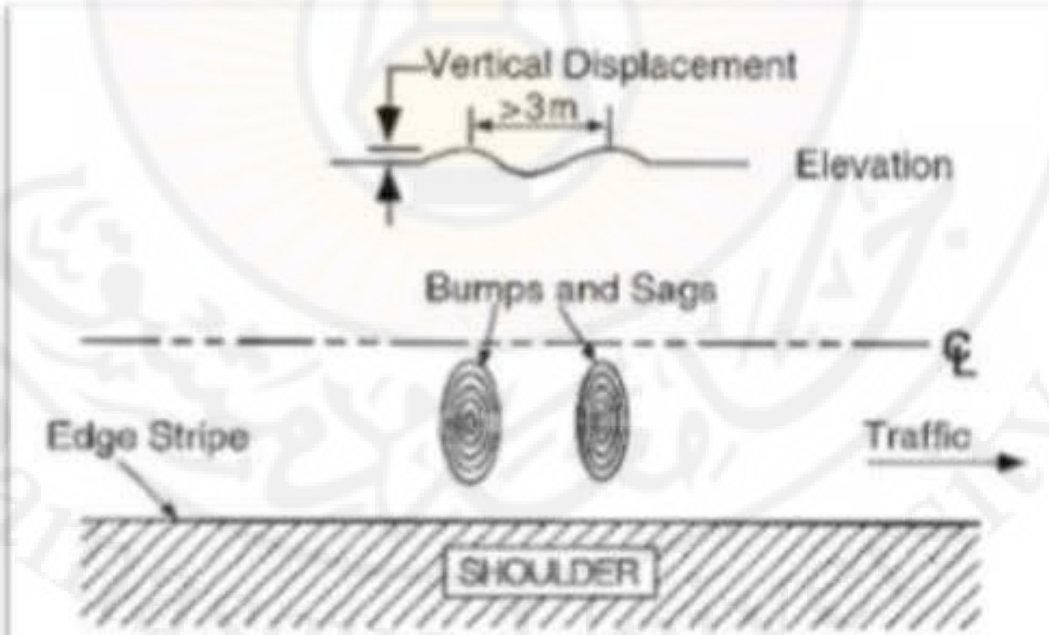
1. الأحمال المرورية المتكررة .
2. تعرية الحصى من الطبقة الإسفلتية المغطية لها.
3. ضعف المواصفات الفنية لحصويات الخلطة الإسفلتية من حيث مقاومتها للصقل، بالإضافة إلي صغر حجمها وقلة خشونة سطحها، وانعدام الزوايا الحادة فيها، كل ذلك يضعف من مقاومتها للانزلاق.

12- التحدبات والتقعرات:

الوصف: هي عبارة عن انخفاضات وارتفاعات صغيرة تظهر على سطح الطريق وبمسافات أكبر من 3m تون عمودية على اتجاه الحركة.

التحدبات: هي انحرافات السطح نحو الأعلى عادة صغيرة وتحدث نتيجة إزاحة طبقات الرصف العلوية.

التقعرات صغيرة وتحدث نتيجة للإزاحة السفلية لطبقة الرصف.



الشكل رقم (12) التحدبات والتقعرات

الأسباب المحتملة:

1. انتفاخ أو انبعاج بلاطات الخرسانة الإسمنتية تحت السطح الإسفلتي.
2. تسرب وارتفاع المواد في الشقوق بسبب الأحمال المرورية.
3. وجود ما يسمى عدسات جليدية في التربة.

العدسات الجليدية: هي عبارة عن مكان من التربة يحوي ماء، حيث في فصل الشتاء يتجمد الماء ويزداد حجمه مما يؤدي إلى انتفاخ التربة مما يؤثر على الطريق، أما في فصل الربيع فإن الماء المتجمد في العدسات الجليدية سيذوب مما يؤدي إلى حدوث هبوط.

تكرار هذه العملية مع تقلبات في الفصول سيؤدي إلى حدوث التحدبات والتقعرات.

13- التموجات :

الوصف: هي انخفاضات وارتفاعات متتالية ومتقاربة تحدث بمسافات منتظمة على طول الرصف عادة ما تكون أقل من 3m ، وتكون الارتفاعات عمودية على اتجاه الحركة.

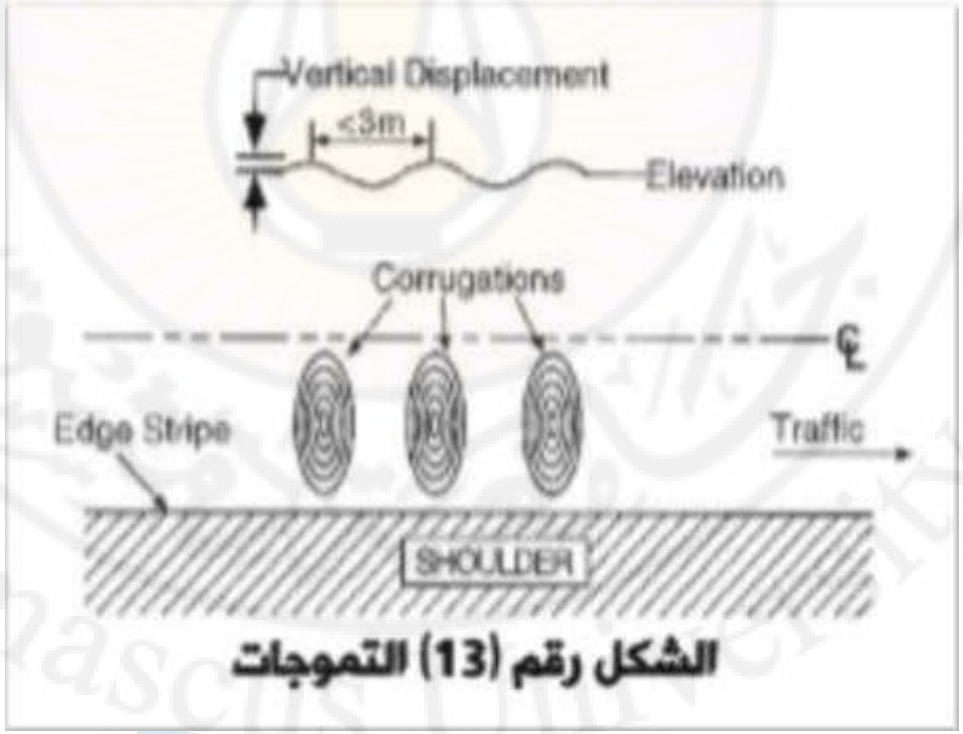
تعتبر التموجات من العيوب الوظيفية لأنها تسبب خشونة للسطح مما يؤثر على جودة القيادة.

ويمكن أن تحدث التموجات نتيجة لفعل القص على طبقة أو بين الطبقات السطحية وطبقة الأساس نتيجة للحركة.

وعادة تكون التموجات فى المواقع التى يحدث فيها تسارع للحركة (عند بداية السير) أو تباطؤ للحركة (عند التوقف).

الأسباب المحتملة:

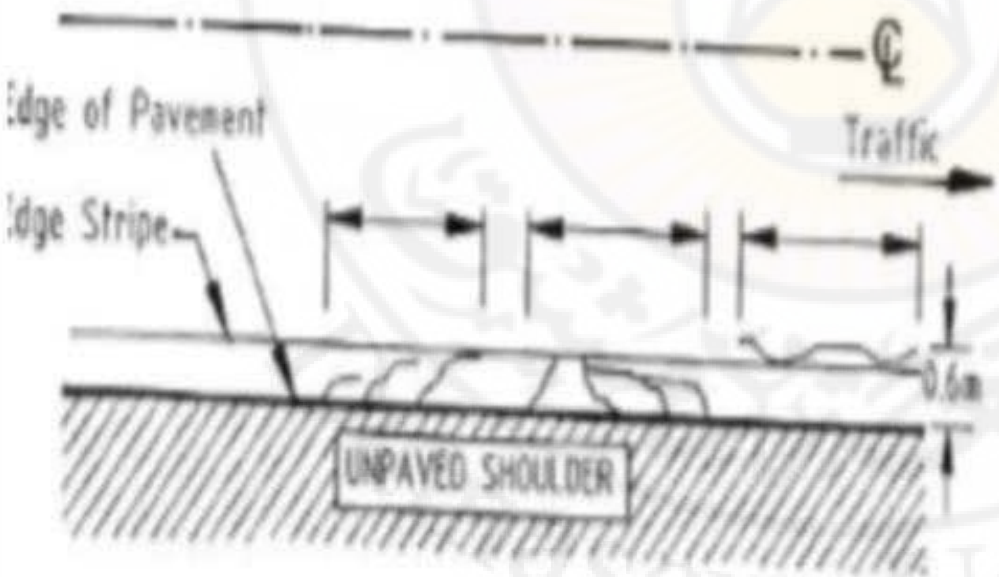
1. ضعف ثبات الخلطة الخرسانية الإسفلتية أو ضعف الأساس.
2. الرطوبة الزائدة فى طبقات التربة السفلية.
3. زيادة الإسفلت و/أو زيادة المواد الناعمة في الخلطة أو استخدام خلطة بحصى مستديرة.
4. .تلوث الخلطة



الشكل رقم (13) التموجات

14- الشقوق الجانبية:

الوصف: تكون الشقوق الجانبية بشكل عام موازية لحافة الرصف ، وتبعد بمسافة تتراوح من 0.3-0.5 متر من الحافة ، وتمتد هذه الشقوق بالاتجاه الطولي والعرضي وتتقرع نحو الأكتاف. وتزداد الشقوق الجانبية نتيجة للأحمال المرورية، وتصنف المساحة المحصورة بين الشق وحافة الرصف بأنها متطايرة إذا حدث فيها تكسر. واذا لم تعالج فإنها تؤدي إلى انهيار جوانب الطريق.



الشكل رقم (14) الشقوق الجانبية

الأسباب المحتملة:

تظهر الشقوق الجانبية بسبب ضعف طبقتي الأساس والقاعدة بالقرب من حافة الرصف. (حافة الطريق)

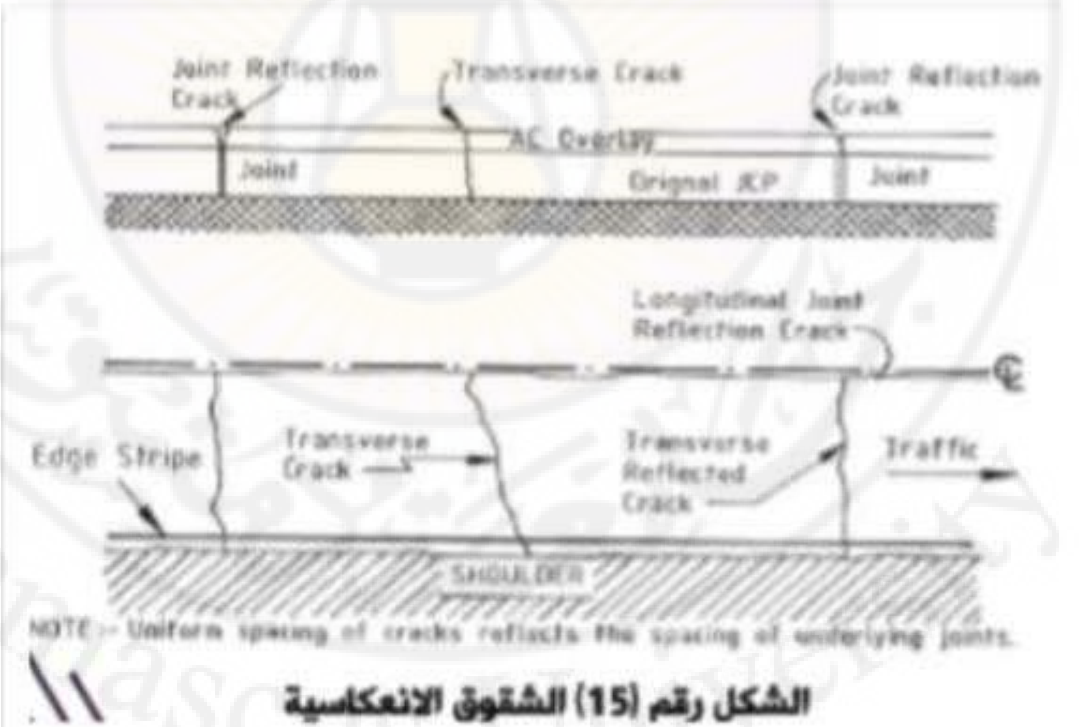
15- الشقوق الانعكاسية:

الوصف: تظهر هذه الشقوق فقط على السطوح الإسفلتية التي تنفذ على بلاطات خرسانة أسمنتية. وتنشأ هذه الشقوق نتيجة للحركة المتولدة بالحرارة والرطوبة بين البلاطة الخرسانية الأسمنتية السفلية والسطح الإسفلتي، ولا يتعلق هذا العيب بالأحمال المرورية غير أنهذه الأحمال يمكن أن تسبب تكسر السطح الإسفلتي قرب الشقوق مما يتلفها.

فإذا علمت أبعاد البلاطة الخرسانية السفلية فهذا يمساعد على معرفة هذا العيب.

الأسباب المحتملة:

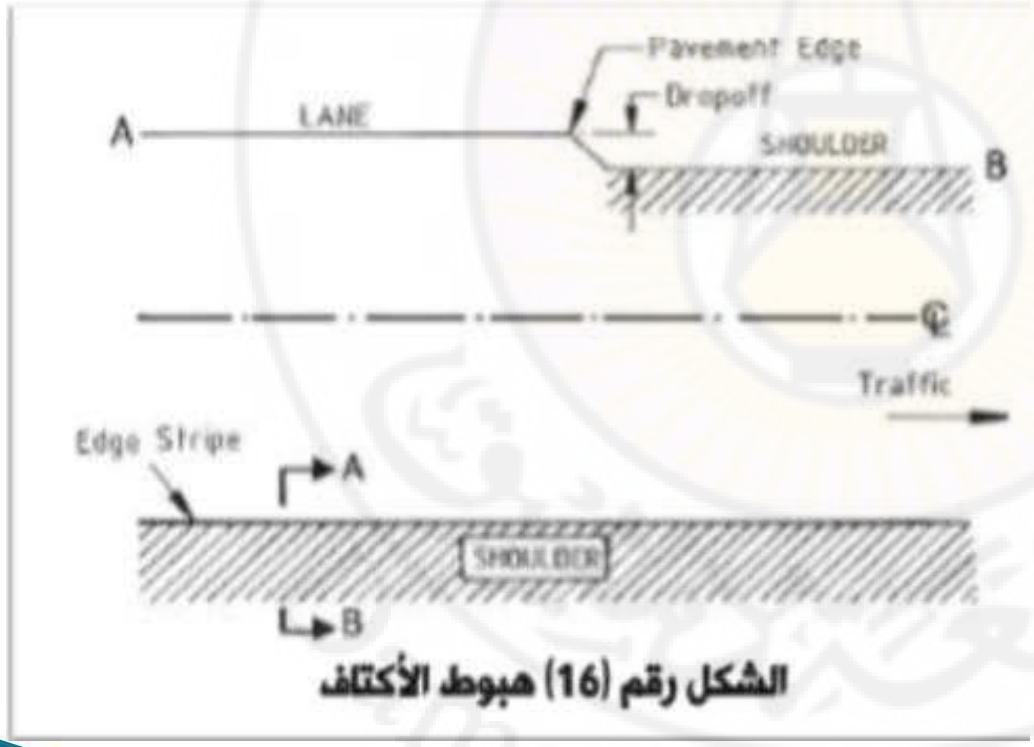
تعتبر حركة البلاطة الخرسانية الأسمنتية الناتجة عن الحرارة والرطوبة والتي بدورها تنعكس على سطح الرصف الإسفلتي هي السبب الرئيس لحدوث شقوق الفواصل الانعكاسية.



الشكل رقم (15) الشقوق الانعكاسية

16- هبوط الأكتاف (في حال وجود هذه الأكتاف):

الوصف: هي اختلاف بين مستوى حافة الرصف وسطح الاكتاف مما يؤدي إلى ظهور شقوق وإذا لم تعالج فإنها تؤدي إلى انهيار الكتف، وعادة يكون مستوى الأكتاف أقل من مستوى المسار المجاور.



الشكل رقم (16) هبوط الأكتاف

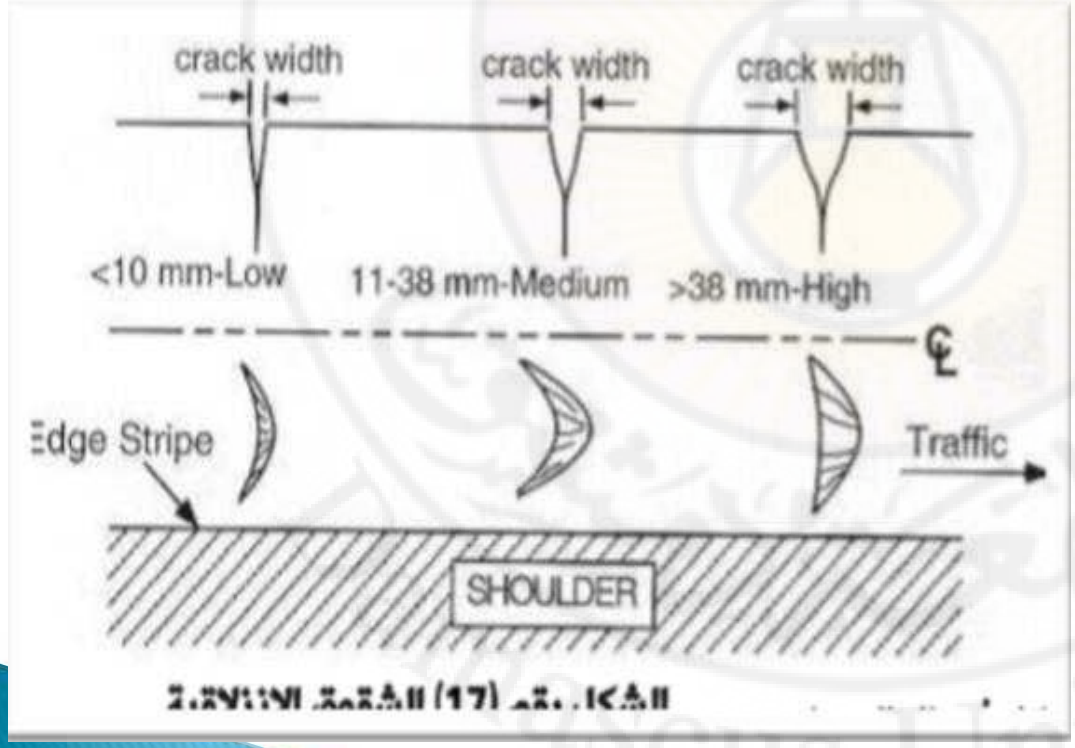
الأسباب المحتملة:

تتضمن أسباب هبوط الأكتاف تعري وهبوط الأكتاف، أو تنفيذ المسارات الحاملة بدون ضبط مستوى الأكتاف.

17- الشقوق الانزلاقية:

الوصف: هذه الشقوق لها شكل نصف هلال وتنتقل عادة باتجاه الحركة.

وتظهر الشقوق الإنزلاقية في مواقع استعمال مكابح السيارات أو الدورانات حيث تسبب إنزلاق أو انهيار لطبقة الرصف.

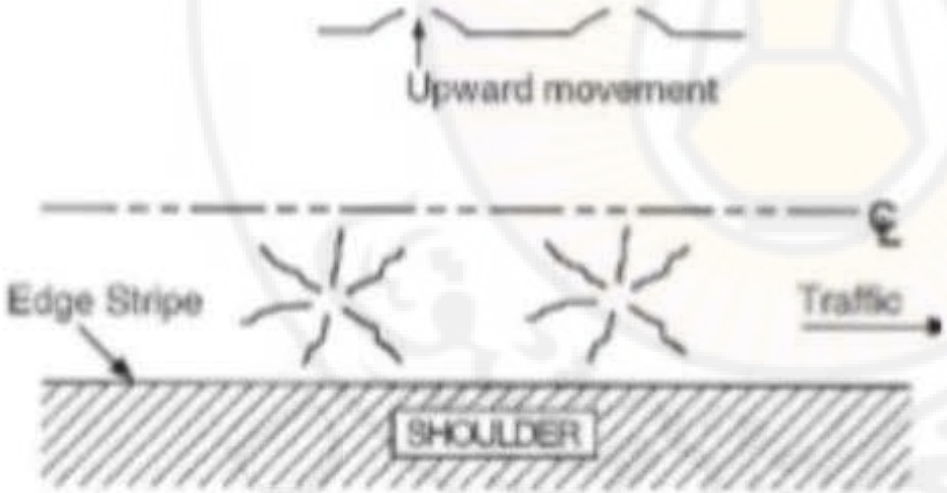


الأسباب المحتملة:

1. ضعف الربط بين طبقة السطح والطبقات المتتالية لهيكل أو بناء الرصف.
2. انخفاض مقاومة الخلطة الأسفلتية.

18- الانتفاخ:

الوصف: هو بروز علوي على سطح الطريق بشكل تموج متدرج بطول 3m ويمكن أن يترافق مع الانتفاخ شقوق سطحية.



الشكل رقم (18) الانتفاخ

الأسباب المحتملة:

1. تجمد طبقة القاعدة أو انتفاخ التربة أو سوء تصريف المياه تحت السطحية.
2. ارتفاع البلاطة الخرسانية الأسمنتية السفلية إذا وجدت.

19- تقاطع سكة الحديد:

الوصف: يتضمن هذا النوع من عيوب الرصف الهبوط والارتفاع حول أو بين خطوط السكك الحديدية.

الأسباب المحتملة:

1. عدم جودة تركيب خطوط سكة الحديد.
2. تقادم الخطوط وتأثير حركة المرور عليها.

20- رقع حفريات الخدمات:

الوصف: تعتبر ترقيعات الخدمات منتشرة في كافة طرق المدن والمحافظات السورية، والتي تشمل خدمات الهاتف والكهرباء والماء والصرف الصحي والتي تتميز بامتداد الطول الذي قد يصل إلى طول الطريق نفسه، إضافة إلى ترقيعات غرف تفتيش المجاري التي تكون موضعية ومنتشرة في أي مكان في سطح الطريق. وتؤثر عيوب هذه الترقيعات على مستوى جودة القيادة.

وتشمل هذه العيوب ما يلي:

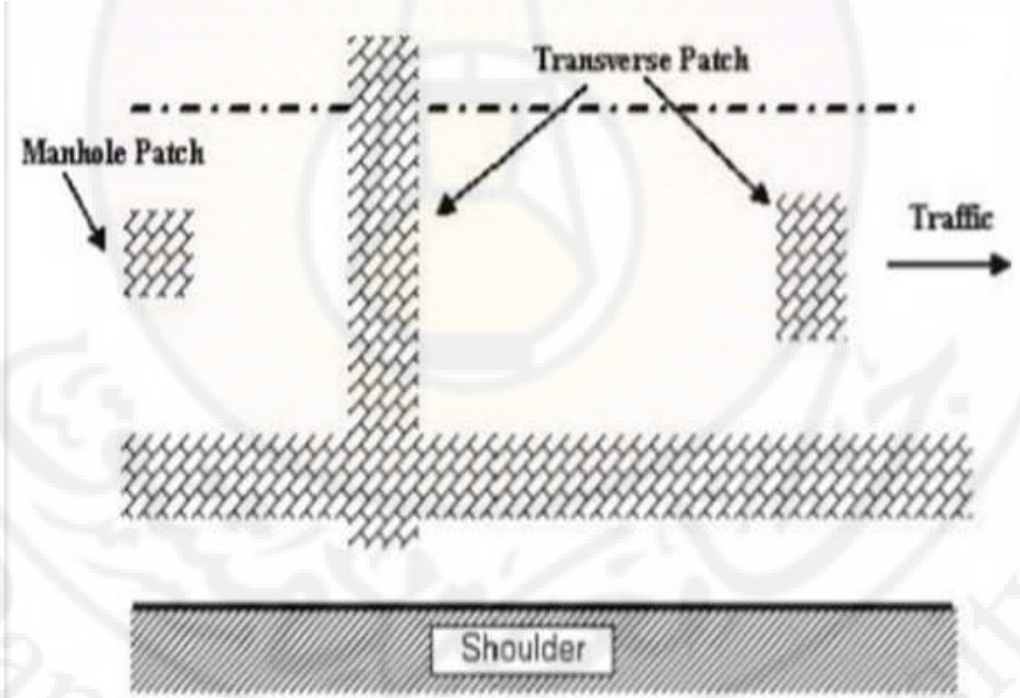
1) الشقوق الطولية والعرضية 2) الهبوطات 3) الحُفر

4) التآكل والتطاير

Damascus University

الأسباب المحتملة:

1. الأحمال المرورية.
2. عدم ضبط جودة المواد أو سوء تنفيذ إعادة الردم والسفلتة.



الشكل رقم (20) رقع حفريات الخدمات

جامـــعة دمـــشق
كليـــــة الهندسة المدنية
قسم هندسة النقل ومواد البناء

تصميم المقطع الطولي

المحاضرة 9

هندسة الطرق

محتوى المحاضرة:

تصميم المقطع الطولي

حساب عناصر المقطع الطولي

تحديد نقاط المرور الإجبارية عند وضع خط المشروع

مسألة

تصميم المقطع الطولي:

يتألف المقطع الطولي من سلسلة من الخطوط المنكسرة المائلة أوالأفقية ويصل فيما بينها منحنيات شاقولية أو رأسية وتكون محدبة أو مقعرة.

ويعبر عن المقطع الطولي بخط المشروع والذي هو عبارة عن إسقاط محور المشروع الأفقي على مستوى شاقولي مع المحافظة على المناسيب وهو الذي يحدد قيم الميول الطولية لمختلف أجزاء الطريق.

المقطع الطولي : هو الشكل الناتج عن قطع محور بمجموعة من مستويات رأسية متلاحقة ومماسة للمحور.

خط المشروع: هو المسار الفعلي للطريق في المستوي الرأسي و المؤلف من مجموعة من الاستقامات والمنحنيات الشاقولية

بعد أن حصلنا على سطح أفقي واخترنا المنحنيات الأفقية ثم حسبنا عناصرها في المسقط الأفقي نبدأ بتصميم المقطع الطولي:

المقطع الطولي هو الشكل ((المرتسم)) الناتج عن قطع محور الطريق بمجموعة مستويات رأسية متلاحقة مماسة للمحور بعد الفرد، أي نستطيع أن نستعيض عن كافة أجزاء المنحني في المسقط الأفقي باستقامات تساويها بالطول.

فعند بداية دراسة مشروع لطريق ما، يجب ان نحدد مسبقاً الميل الأعظمي الذي يمكن أن نعطيه للطريق في المقطع الطولي ، و يتبع هذا الميل إلى عوامل عديدة وهي:

- تكاليف المشروع والتي تتناقص عندما لا تتجاوز الميل الأعظمي.
- سهولة السير اقل من الميل الأعظمي.
- طبقية وشكل الأرض الطبيعية (متعرجة ، سطحية)
- طبيعة القوافل ونوع السيارات (سياحية ، ثقيلة) .
- نوعية التربة الطريق (تؤثر من الناحية الاقتصادية) .

إذاً تصميم المقطع الطولي يعني اختيار مسار سطوح الطريق في المستوي الشاقولي (الرأسي) .

الشروط الواجب مراعاتها أثناء وضع خط المشروع أو عند اختيار المقاطع الطولية:

1. انسيابية المقطع الطولي للطريق والقيم المسموحة للميول الطولية إضافةً إلى تأمين مسافة رؤيا كافية تسمح بتحقيق سرعات عالية لحركة السيارات.
2. عدم اللجوء إلى مقطع طولي على شكل أسنان المنشار (زكزاك) أي هبوط يتبعه صعود على مسافات قريبة بشكل متتالي مما يؤدي إلى قيام محركات السيارات بعمل ضائع.
3. مرور الطريق في نقاط ذات منسوب محدد مسبقاً، حيث يوجد بالمقطع الطولي بعض النقاط المحددة المنسوب مسبقاً والتي يجب أن يمر بها ، مثلاً الالتحام مع الطريق الموجود في بداية ونهاية الطريق والتقاطعات مع السكك الحديدية ومنسوب سطح الجسور " ممر علوي" والأنفاق "ممر سفلي"
4. صرف المياه عن الطابق الترابي.
5. إمكانية مكننة تنفيذ الأعمال الترابية أي أن يكون حجم التربة مساوياً لحجم التربة اللازمة للردم في المناطق المجاورة بحيث تستخدم التربة نفسها (على أن تكون هذه التربة مقبولة فنياً للردم)

إذاً أثناء تصميم المقطع الطولي يجب الالتزام بالمبادئ لتأمين شروط حركة مريحة للركاب و آمنة للعربات , يجب أن تحقق الشروط التالية:

1. يفضل استخدام ميول طولية أعظمية لا تزيد عن 3% على ان يكون مبرراً من الناحية الاقتصادية.
2. مسافة رؤيا لسطح الطريق لا تقل عن 450 m
3. يفضل استخدام أنصاف أقطار مقعرة ومحدبة تبعاً للجدول.
4. ألا يقل طول المنحني الشاقولي عن 300 m للمحدبة , و 100 m للمقعرة.
5. إذا كان الفرق الجبري بين القيم المتجاورة للميول الطولية يزيد عن 0.5 % للطرق ذات الدرجة *II, I* و 1% للطريق ذات الدرجة *III* و 2% للطرق ذات الدرجتين *VI, V*

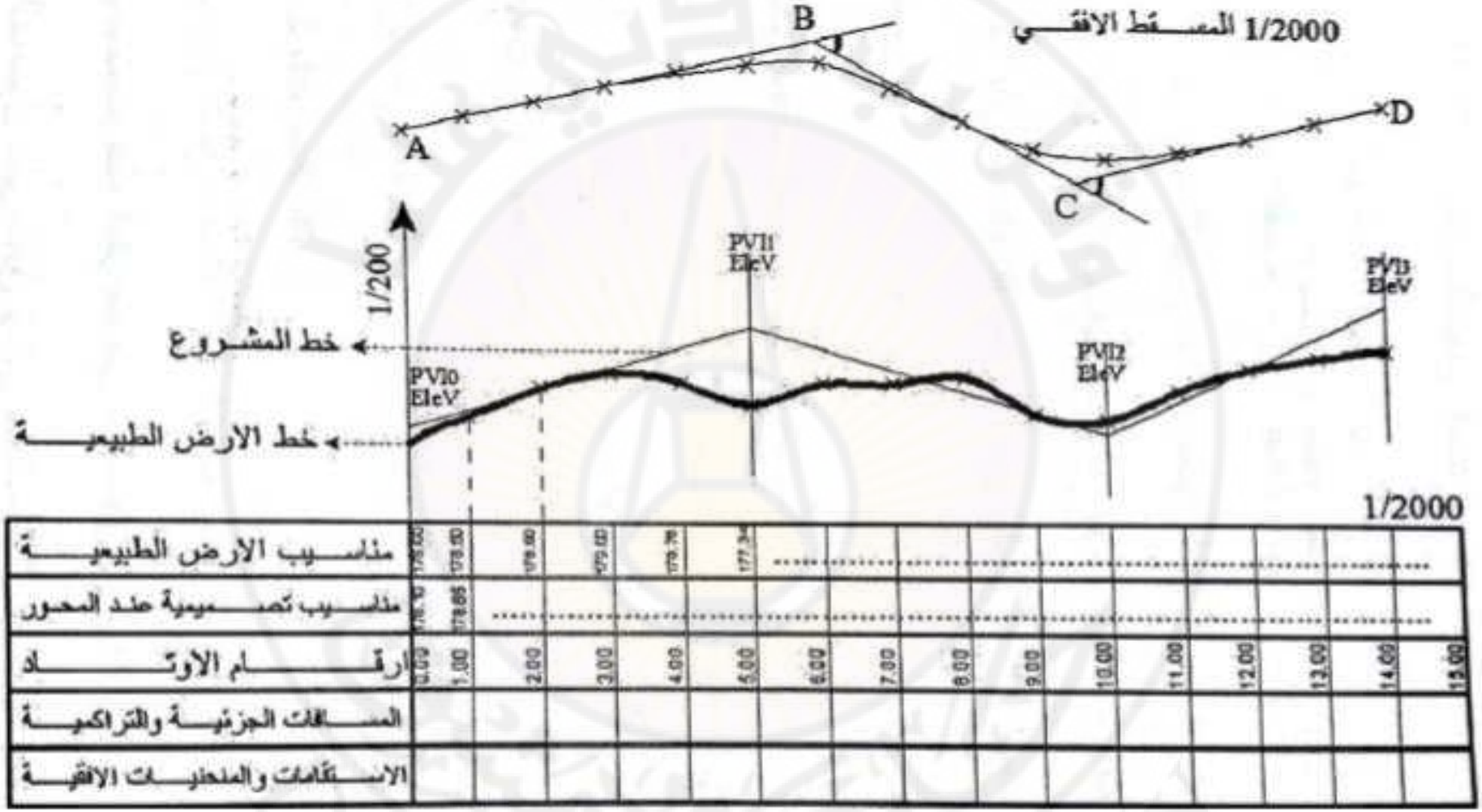
فإن انكسارات خط المشروع يجب أن تغلف بمنحنيات شاقولية.

حصلنا على مضلع أفقي المبين في الشكل وحسبنا العناصر لنبدأ برسم المقطع الطولي وتمثيل المسقط الأفقي وأرقام الأوتاد والنقاط المميزة ومناسيب الأرض الطبيعية ثم نقوم بوضع خط المشروع والتأكد من تحقق الشروط المذكورة سابقاً ومن ثم حساب عناصر المنحنيات الشاقولية والمناسيب التصميمية عند كافة الأوتاد والنقاط المميزة

يمكن وضع خط المشروع بإحدى الطريقتين:

الطريقة الأولى: طريقة التغليف : يتم وضع خط المشروع بشكل مواز تقريباً لسطح الأرض الطبيعية وتستخدم هذه الطريقة في المناطق السهلية والهضبية الخفيفة حيث يمكن الحصول على طابق ترابي مخفف بشكل جيد.

الطريقة الثانية: طريقة القطع : أي حفر الأماكن واستخدام التربة عند ذلك لتنفيذ الردميات في الأماكن المنخفضة ويجب أن يحقق ذلك (خط المشروع) التوازن الممكن بين حجوم الحفر والردم (أي استخدام النقل الطولي لتربة الحفر لتنفيذ الردميات) وتستخدم هذه الطريقة عادة عند تصميم طرق الدرجات العالية والسكك الحديدية.


المقطع الافقي 1/2000
A
B
C
D
1/200
خط المشروع
خط الارض الطبيعية
PVI0 ElcV
PVI1 ElcV
PVI2 ElcV
PVI3 ElcV
1/2000
مناسيب الارض الطبيعية
مناسيب تصميمية عند المحور
ارقام الاوتاد
المسافات الجزئية والتراكمية
الاستقامات والمنحنيات الافقية
0.00
1.00
2.00
3.00
4.00
5.00
6.00
7.00
8.00
9.00
10.00
11.00
12.00
13.00
14.00
15.00

بعد وضع خط المشروع الأول يتم اختيار المناسيب لانكسارات المضلع الشاقولي وحساب الميول الطولية (بنسبة مئوية وبدقة ثلاثة أرقام بعد الفاصلة) ومن ثم حساب المناسيب عند كل وتد وإدخال المنحنيات الشاقولية المناسبة.

وبعد تحديد نقاط المرور الإجبارية، نضع خط المشروع بحيث يحقق خط المشروع كافة المناسيب المذكورة سابقاً.

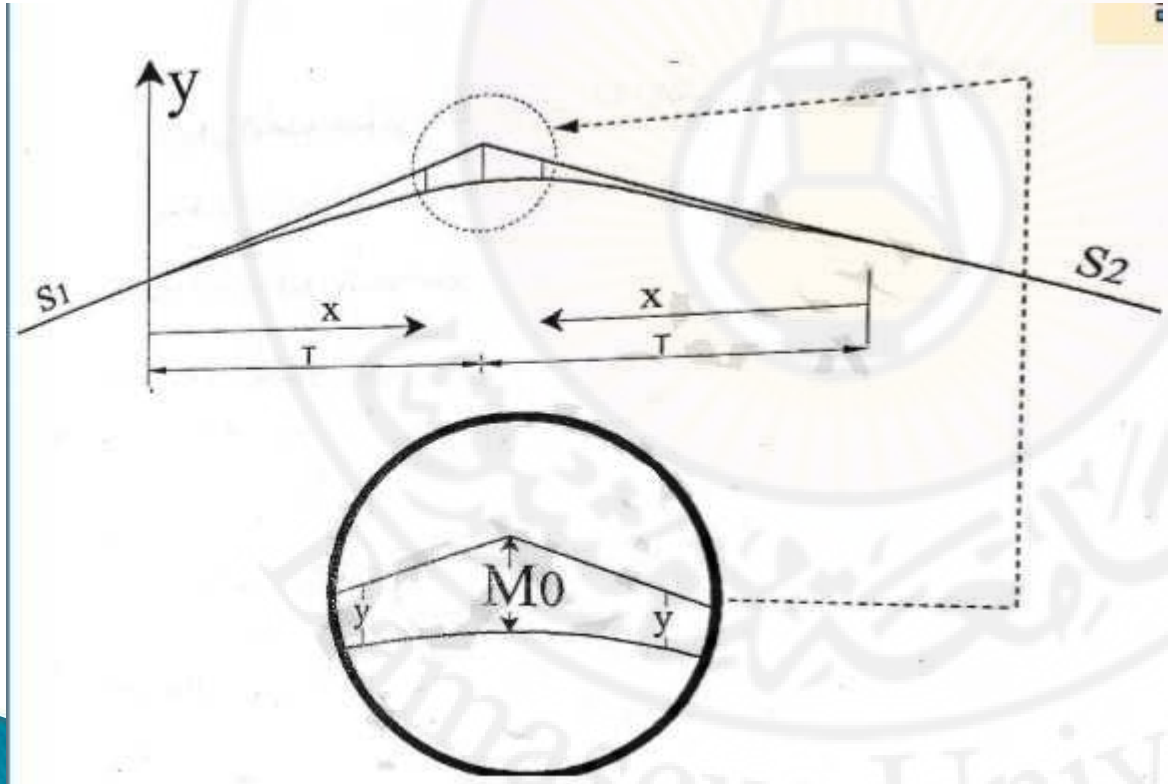
ليكن لدينا المضلع الشاقولي التالي:

PVI المسافة التراكمية لنقطة تغير الميل.

Elev المنسوب عند رأس الانكسار، وعند كل رأس انكسار بين كل ميلين متجاورين

ندخل منحنيات شاقولية رأسية (محدبة أو مقعرة).

R نصف القطر.



T المماس.

M_0 السهم.

S الميل ويعطي بالعلاقة:

$$s = \mp \frac{D}{L}$$

حساب عناصر المقطع الطولي:

1) **حساب الميل الطولي S:**

$$s = \mp \frac{D}{L}$$

إذا كان الميل صاعد إشارته تكون +, إذا كان الميل هابط فأشارته –

يجب أن يكون الفرق بين الميلين المتتاليين $\leq 1\ ^0/_0$

L المسافة $L = PVI_n - PVI_{n-1}$

D فرق المنسوب $D = Elev_n - Elev_{n-1}$

2) لحساب عناصر المنحنيات الشاقولية (الرأسية) "R,T,L,M_0"

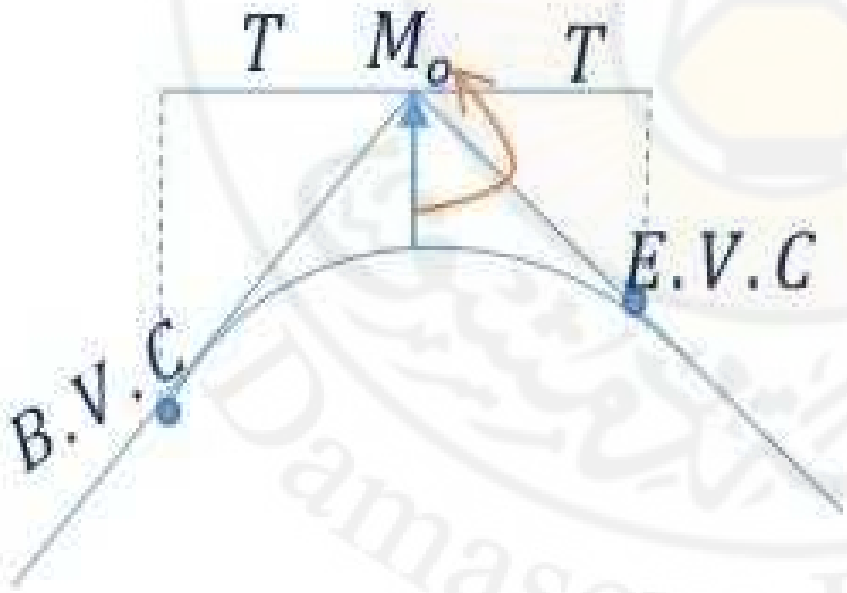
Rنصف قطر المنحني الشاقولي ويكون معطى بنص المسألة

T طول مماس المنحني الشاقولي:

$$T = R * \frac{|s_1 - s_2|}{2}$$

نعتبر المسافة الأفقية T هي نفسها المسافة المائلة لأن الميول الطولية صغيرة.

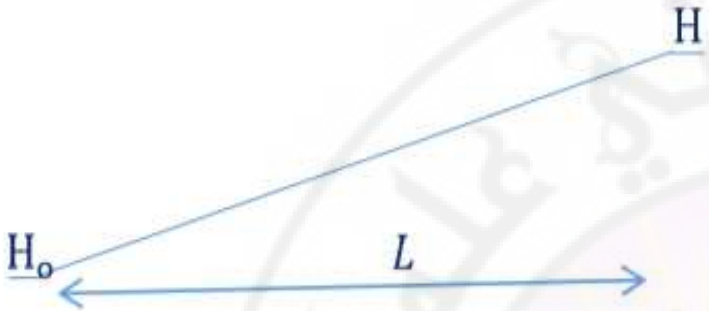
M_0 السهم أو المسافة الرأسية:



$$M_0 = \frac{T^2}{2R}$$

L طول المنحني الشاقولي:

$$L \approx 2T$$



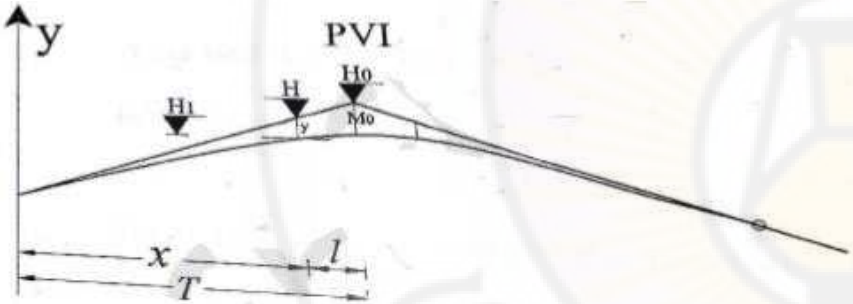
3) لحساب المناسيب التصميمية:

A) على الاستقامة: $H = H_0 \mp S * L$

L المسافة بين رأس مضلع الشاقولي و الوتد.

S الميل الطولي.

B) على المنحنيات: في حالة وقوع وتد ضمن منحني شاقولي.



المنسوب التصميمي يحسب كما يلي:

$$H = H_0 \mp S * L$$

$$H_1 = H \mp Y; \quad Y = \frac{X^2}{2R}$$

حيث Y التصحيح الناتج عن إدخال المنحني الشاقولي ويأخذ إشارة + في المنحنيات المقعرة وإشارة – في المحدبة.

حيث تؤخذ x من بداية المنحني حنى الوتد أو من نهاية المنحني حتى الوتد وذلك حسب مكان وقوع الوتد.

تحديد نقاط المرور الإجبارية عند وضع خط المشروع :

يجب تحديد منسوب خط المشروع عند نقاط المرور الإجبارية من أجل البدء بتصميم المقطع الطولي.

عند وجود تقاطع نختار شكل التقاطع (بمستو واحد أو أكثر).

يتم بمستوي واحد عند تقاطع طرق من درجات متدنية وغزارات مرور ليست كبيرة وبالتالي يمكن تنظيم الحركة على مستو واحد.

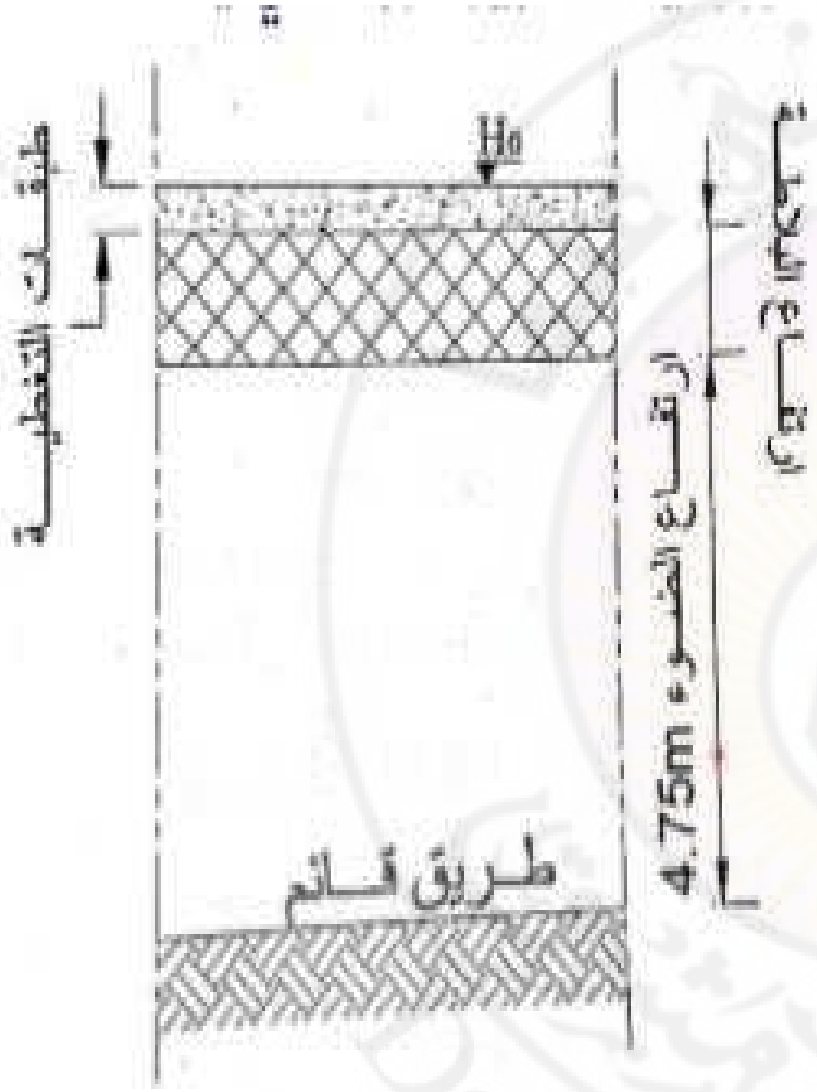
لو كان لدينا تقاطع بمستويين فلدينا مثلاً:

1) **<u>الطريق الذي نصممه سيمر على جسر (مرور علوي)</u>**

يجب تحقيق ارتفاع كاف بين أسفل الجسر وسطح الطريق القائم ويسمى ارتفاع الضوء ويكون 4.75 m وفي بعض البلدان 5.25 m

ارتفاع الضوء: هو فرق الارتفاع بين أسفل بلاطة الجسر وأعلى نقطة في المقطع العرضي الطريق السفلي.

ولذلك لدينا ارتفاع بلاطة بجسر $1m \approx$ 1.5 ثم طبقات التغطية فوق الجسر حوالي 10 سم وبالتالي يجب أن يمر الطريق عند منسوب لا يقل عن المنسوب الذي حصلنا عليه عند إضافة (ارتفاع الضوء + ارتفاع البلاطة + سماكة التغطية)



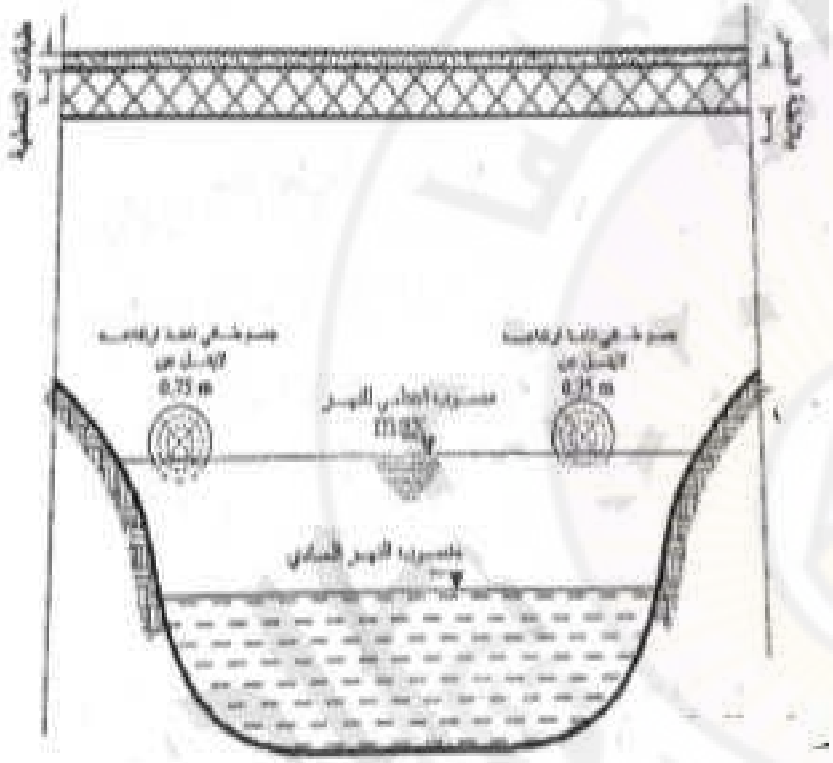
ملاحظة (1) : عن التقاطع مع السكك الحديدية " نناقش بالأسلوب السابق نفسه" مع اختلاف ارتفاع الضوء بحسب السكك الحديدية 6 – 7 m كما يجب تمييز بين قطارات عادية وقطارات كهربائية (التغذية كهربائية بالأعلى)

ملاحظة (2) : إذا كان الجسر فوق الطريق الذي نصممه وبالتالي يجب أن يمر فوق منسوب لا يزيد عن H_0 (مرور سفلي) وبالتالي في حالة المرور العلوي لا يقل المنسوب عن منسوب معين أما في حال المرور السفلي لا يزيد عن المنسوب H_0

2) **لو كان لدينا عبور فوق نهر**:

لدينا منسوب عادي للنهر ولدينا منسوب أعظمي يتوافق مع فترة الفيضان وهو الذي نصمم عليه وبالتالي يجب أن يكون لدينا مقاسات للغزارة لسنوات عديدة .

لمعرفة الغزارة الأعظمية (التي تحدث كل مئة عام مرة واحدة) وبالتالي نحدد المنسوب الأعظمي للمياه ونضيفه إلى منسوب قاع النهر، ثم نأخذ مسافة أمان إضافية فوق المنسوب الأعظمي للمياه وذلك لبعض الأجسام الطافية (لا تقل عن 0.75 m).



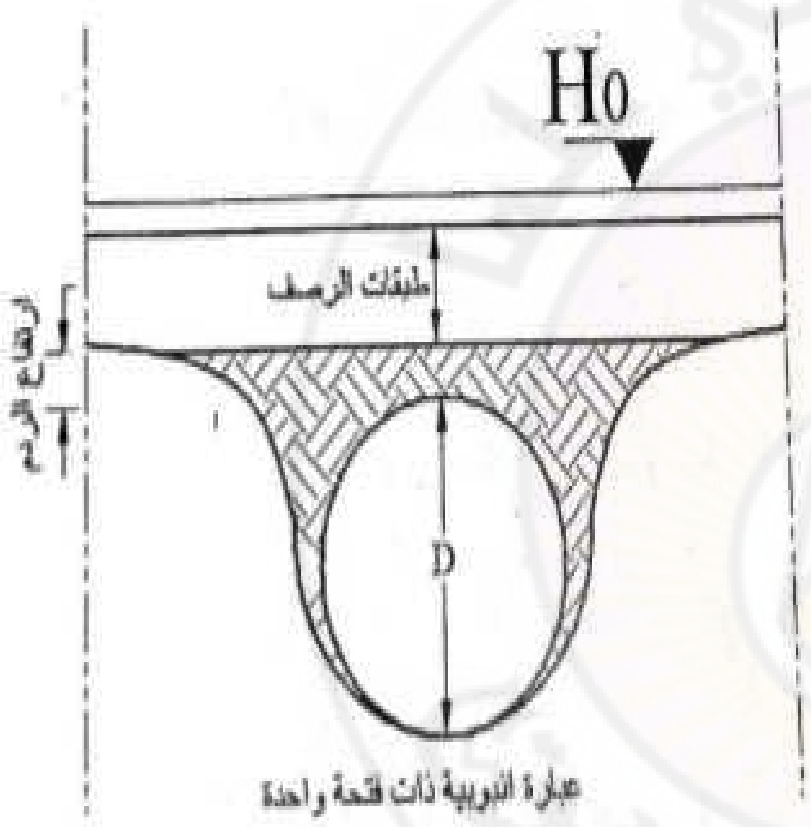
ثم نأخذ ارتفاع بلاطة الجسر " حسب تصميم الجسر" ثم سماكات طبقات التغطية لسطح الجسر.

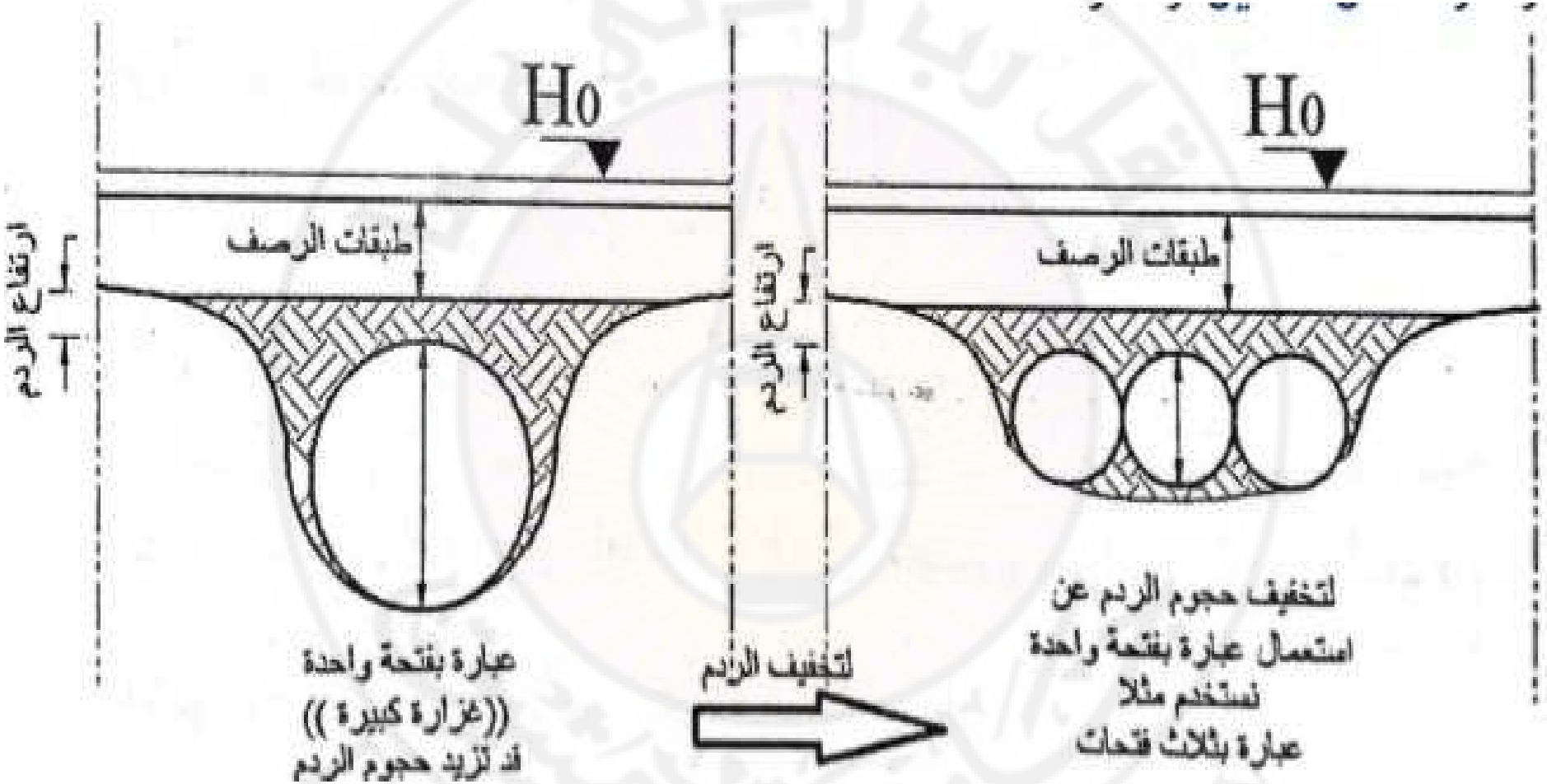
وبالتالي نجمع القيم السابقة فنحصل على المنسوب المطلوب لسطح الطريق لذلك يجب أن يمر خط المشروع أعلى من المنسوب الذي حصلنا عليه

العبارات :

يتم انشاؤها بالمناطق المنخفضة لتمرير مياه الجريان الموسمي من جهة إلى جهة أخرى . وهي عبارة عن أنبوب دائري أو مربع أو مستطيل . يجب تحديد الفتحة اللازمة (قطر العبارة) لتمرير غزارة المياه التصميمة . وعادة نطلب ارتفاع سماكة ردم لا تقل عن 50 cm ثم سماكة طبقات جسم الطريق نفسه.

ملاحظة: لو كان لدينا تصميم عبارة في منطقة سهلية أذا استخدمنا فتحة كبيرة واحدة (الغزارة كبيرة) مما يؤدي الى زيادة حجوم الردم و لتخفيض ذلك نستخدم عبارة مؤلفة من فتحتين أو أكثر .




H0
طبقات الرصف
ارتفاع الردم
عبارة بفتحة واحدة
((عزارة كبيرة))
قد تزيد حجوم الردم
لتخفيف الردم
H0
طبقات الرصف
ارتفاع الردم
لتخفيف حجوم الردم عن
استعمال عبارة بفتحة واحدة
نستخدم مثلا
عبارة بثلاث فتحات

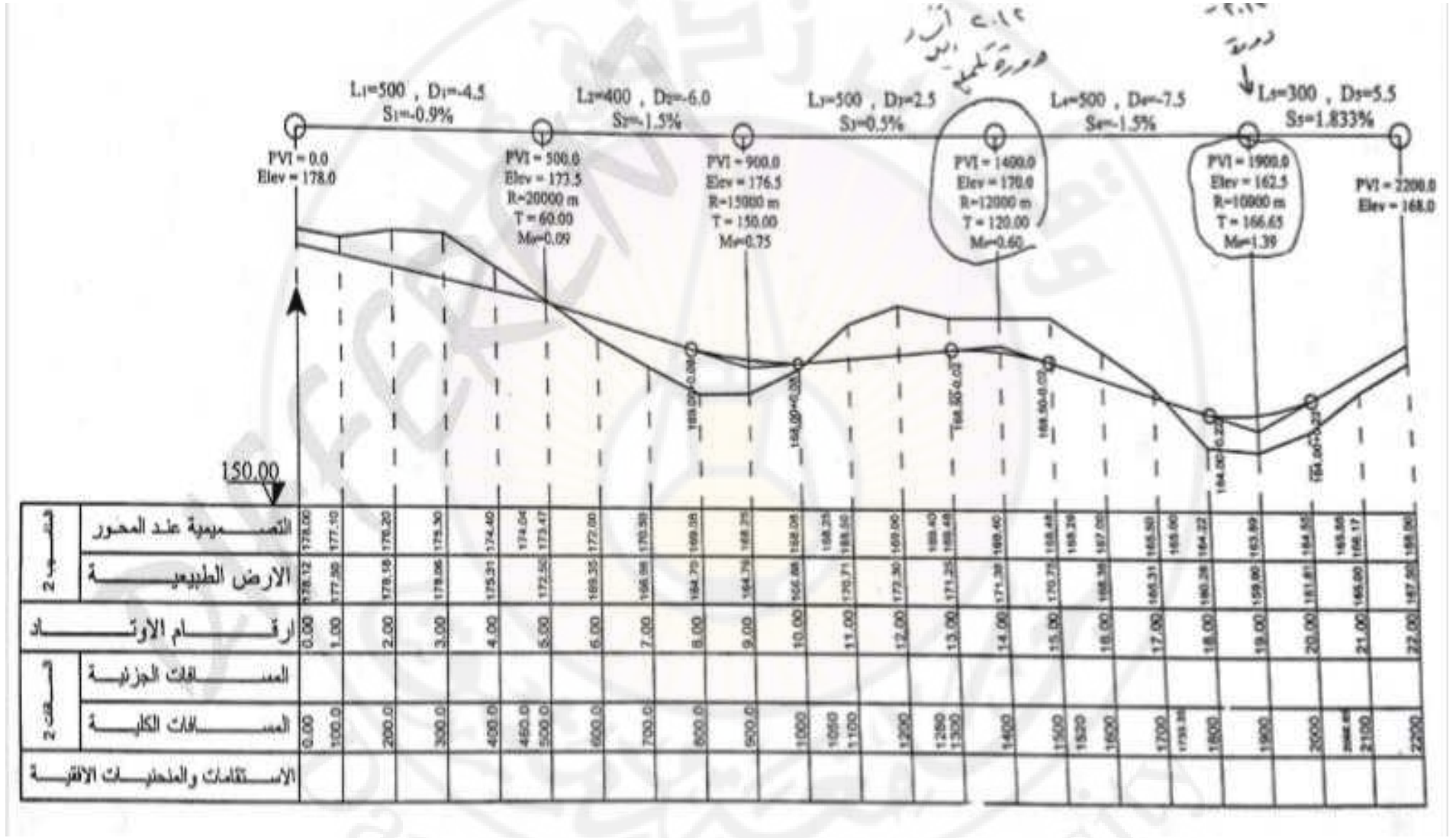
مثال:

وضع خط مشروع لطريق وتم تحديد انكسارات المقطع الطولي . و المطلوب حساب عناصر المنحنيات الشاقولية وحساب المناسب التصميمة عند الأوتاد المطلوبة ؟

الحل:

نحسب الميول الطولية للمضلع الشاقولي ونبدأ بحساب المسافات بين رؤوس المضلع وذلك بأخذ الفرق بين المسافات الكلية للرؤوس المتتالية ومن ثم أخذ فرق المنسوب بينهما ومن ثم تقسيم فرق المنسوب على المسافة لنحصل على الميل .

تأخذ الميول إشارة سالبة إذا كان الطريق هابطا و إشارة موجبة إذا كان الطريق صاعدا.


L1=500 , D1=-4.5
S1=-0.9%
L2=400 , D2=-6.0
S2=-1.5%
L3=500 , D3=2.5
S3=0.5%
L4=500 , D4=-7.5
S4=-1.5%
L5=300 , D5=5.5
S5=1.833%
PVI = 0.0
Elev = 178.0
PVI = 500.0
Elev = 173.5
R=20000 m
T = 60.00
M=0.09
PVI = 900.0
Elev = 176.5
R=15000 m
T = 150.00
M=0.75
PVI = 1400.0
Elev = 170.0
R=12000 m
T = 120.00
M=0.60
PVI = 1900.0
Elev = 162.5
R=10000 m
T = 166.65
M=1.39
PVI = 2200.0
Elev = 168.0
150.00
التصميمية عند المحور
الارض الطبيعية
ارقام الاوتاد
المسافات الجزئية
المسافات الكلية
الاستقامات والمنحنيات الافقية

$$L_1 = 500.0 - 0.0 = 500.0\ m$$
$$D_1 = 173.5 - 178 = -4.50\ m$$
$$S_1 = -\frac{4.50}{500} = -0.9\%$$

$$L_2 = 900.0 - 500.0 = 400.0m$$
$$D_2 = 167.5 - 173.5 = -6.00m$$
$$S_2 = -\frac{6.00}{400} = -0.015 = -1.5\%$$

$$L_3 = 1400 - 900 = 500\ m$$
$$D_3 = 170 - 167.5 = +2.5\ m$$
$$S_3 = +\frac{2.50}{500} = +0.005 = +0.5\%$$

$$L_4 = 1900 - 1400 = 500.0\ m$$
$$D_4 = 162.5 - 170 = -7.5\ m$$
$$S_4 = -\frac{7.50}{500} = -0.015 = -1.5\%$$

Damascus University

$$L_5 = 2200 - 1900 = 300.0\ m$$
$$D_5 = 168 - 162.5 = 5.50\ m$$
$$S_5 = +\frac{5.50}{300} = +0,01833 = +1,833\%$$

ومن ثم نحسب عناصر المنحنيات الشاقولية ::

$$T_1 = R * \frac{|S_1 - S_2|}{2} = 20000 * \frac{|-0.009 - 0.015|}{2} = 60\ m$$
$$M_{o1} = \frac{T^2}{2R} = \frac{60^2}{2 * 20000} = 0.09\ m$$

وبنفس الطريقة والقوانين ::

$$T_2 = 150m\ , M_{o2} = 0.75\ m,$$
$$T_3 = 120\ m\ , M_{O3} = 0.60m\ ,$$
$$T_4 = 166.5m\ , M_{o4} = 1.39m$$

Damascus University

حساب مناسيب الأوتاد:

A) على الاستقامة: $H = H_0 \mp S * L$

L المسافة بين رأس مضلع الشاقولي و الوتد.

S الميل الطولي.

B) على المنحنيات: في حالة وقوع وتد ضمن منحني شاقولي. يحسب كما يلي:

$$H = H_0 \mp S * L$$

$$H_1 = H \mp Y; \quad Y = \frac{X^2}{2R}$$

حيث Y التصحيح الناتج عن إدخال المنحني الشاقولي ويأخذ إشارة + في المنحنيات المقعرة وإشارة – في المحدبة.

حيث تؤخذ x من بداية المنحني حنى الرأس ومن النهاية حتى الرأس.

مسألة:

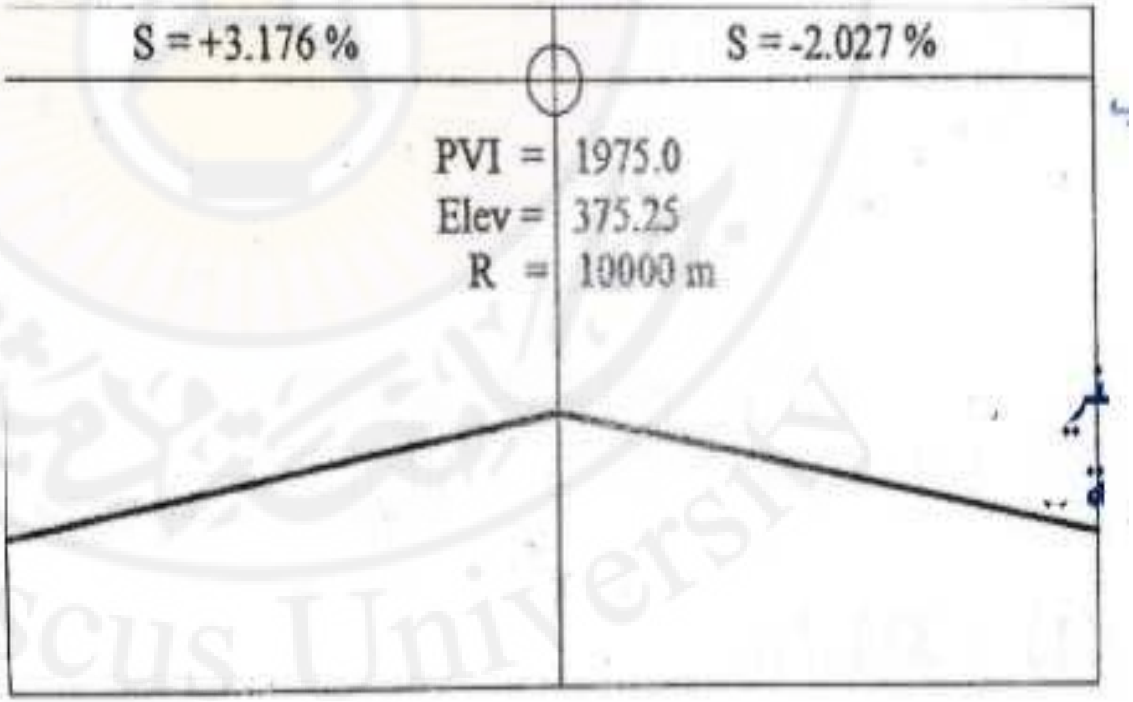
أثناء تصميم المقطع الطولي لدينا المنحني الراسي المبين بالشكل و المطلوب:

١ حساب عناصر المنحني الرأسي؟

٢ حساب المسافة الكلية لبداية المنحني و نهاية المنحني الراسي ؟

٣ حساب المناسب التصميمة عند المسافة التراكمية التالية :

2100 ، 1975 ، 1800 ، 1714.7



من الشكل نكتب المعطيات ::

$$R = 10000\,m\ ,\quad S_1 = +3.178\%\ ,\quad S_2 = -2.027\%\ ,\ Elve = 375.25m\ ,\ PVI = 1975m$$

$$T = R * \frac{|S_1 - S_2|}{2} = 10000 * \frac{|+3.178 - (-2.027)|}{2 * 100} = 260.25\,m$$

$$M_o = \frac{T^2}{2R} = \frac{260.25^2}{2 * 10000} = 3.38\,m$$

المسافة الكلية لبداية المنحني الباسي ::

$$sta(PVC) = PVI - T = 1975 - 260.25 = 1714.75\,m$$

المسافة الكلية لنهاية المنحني الباسي ::

$$Sta(PVT) = PVI + T = 1975 + 260.25 = 2235.25\,m$$

$$Sta(1) = 2100$$

$$Elev(1) = 375.25 - (2100 - 1975) * \frac{2.027}{100} - \frac{(2235.25 - 2100)^2}{2 * 10000} = 371.8\,m$$

$$Sta(2) = 1975 = Sta(PVI)$$

$$Elve(2) = 375,25 - 3.38 = 371.87\,m$$

$$Sta(3) = 1800$$

Damascus University

$$Elve(3) = 375.25 - (1975 - 1800) * \frac{3.176}{100} - \frac{(1800 - 1714.75)^2}{2 * 10000} = 369.33\ m$$

$$Sta(4) = 1714.7\ m$$

$1714.7 < 1714.75$ وبالتالي النقطة الرابعة تقع خارج المنحني الراسي ولا داعي للتصحيح y .

$$Elve(4) = 375.25 - (1975 - 1714.7) * \frac{3.176}{100} = 366.99\ m$$

انتهت المسألة ☺

جامـــعة دمـــشق
كليـــــة الهندسة المدنية
قسم هندسة النقل ومواد البناء

طرائق الرصف الإنشائي للرصف المرن

المحاضرة ١٠ هندسة الطرق

Damascus University

محتوى المحاضرة:

طرائق تصميم الرصف الإنشائي

عوامل التصميم

خوارزمية حل المسائل

طرائق تصميم الرصف الإنشائي:

هناك عدة طرق للتصميم نذكر منها على سبيل المثال:

١. طريقة نسبة تحميل كاليفورنيا C.B.R

٢. طريقة قرينة المجموعات GI

٣. طريقة معهد الإسفلت.

٤. طريقة الآشتو.

٥. طريقة تجريبية ميكانيكية.

عوامل التصميم:

يقسم التصميم الإنشائي للرصف الطرقي إلى قسمين:

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

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

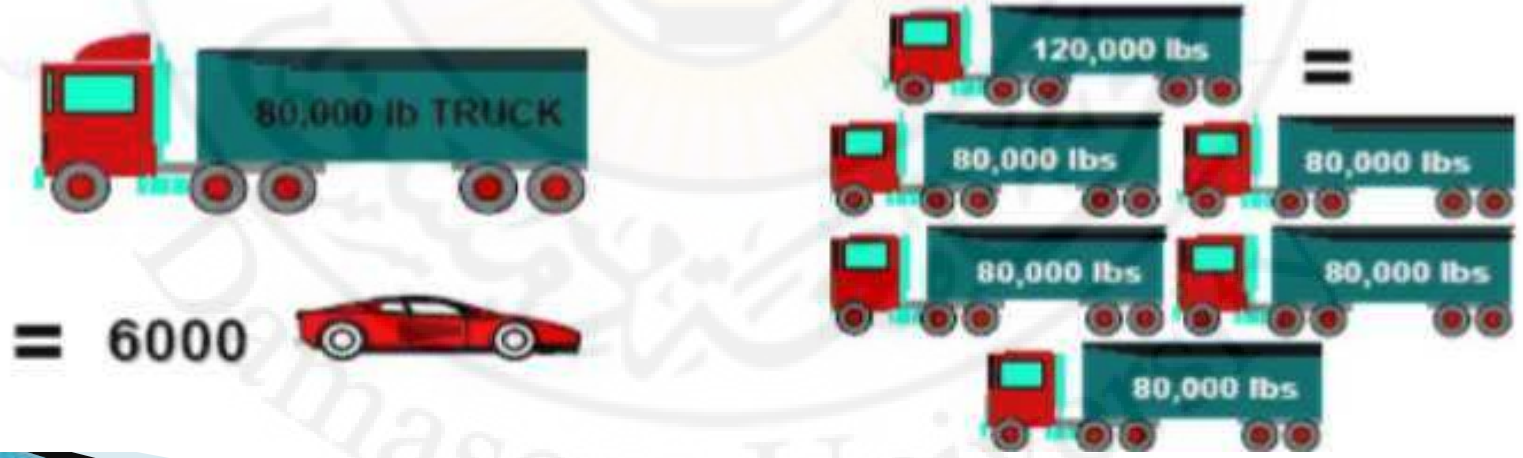
العوامل التي تؤثر في تصميم طبقات الرصف:

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

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

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

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



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

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

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

وهذا يطبق أيضاً في القطر العربي السوري.

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

من أجل تحديد الحمولة التصميمية فإننا نعتمد على الاعتبارات التالية:

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

١- تكافؤ حمولات المحاور (ESAL):

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

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

كل 1 kips تقابل 0.454 ton

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

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

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

مسألة (1)

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

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

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

Damascus University

• **الحل :**

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

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

2- العمود الثاني : نحسب العامل FL بالاعتماد على الحمولة

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ESAL = 1522.89 + 108.34 = 1631.23 محور مكافئ

٢- تأثير تكرار تطبيق الحمولات :

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

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

٣- نمو الحركة:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

٤- حركة المرور التصميمية:

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

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

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

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

حيث تؤخذ قيمة عامل الحارة التصميمية كما في الجدول بالأسفل.

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

وتكون مساوية للنصف إذا كانت الحركة عليه باتجاهين.

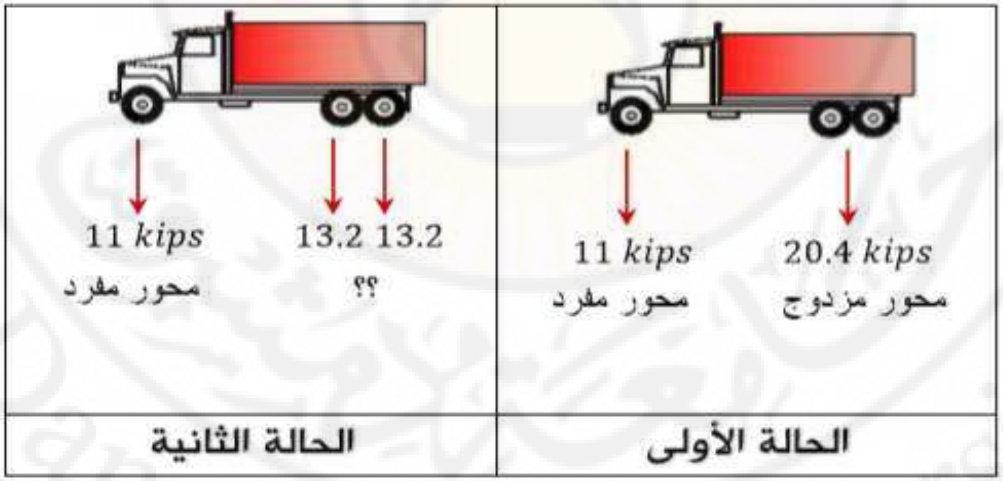
عدد حارات المرور باتجاه اواحد	١	٢	٣	٤
عامل الحارة المرورية التصميمية %	١٠٠	٨٠	٧٠	٦٠

خوارزمية حل المسائل:

أولا : يجب معرفة المحاور المزدوجة والمحاور المفردة

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

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



ثانياً : دوماً نحول الحمولات للـ $Kips$

حفظ

كل $1\ Kips$ تقابل $0.454\ ton$

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

حفظ

عامل تحويل المحاور المفردة

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

$*_1$

حفظ

عامل تحويل المحاور المزدوجة

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

$*_2$

ومن ثم تحسب عدد المحاور المكافئة الكلي $ESAL$

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

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

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

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

حفظ

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

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

حفظ

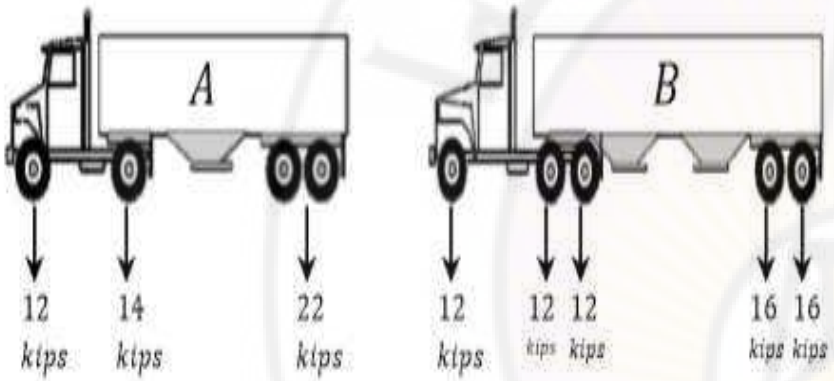
$$ESAL_n = ESAL_1 * \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

Damascus University

مسألة (2)

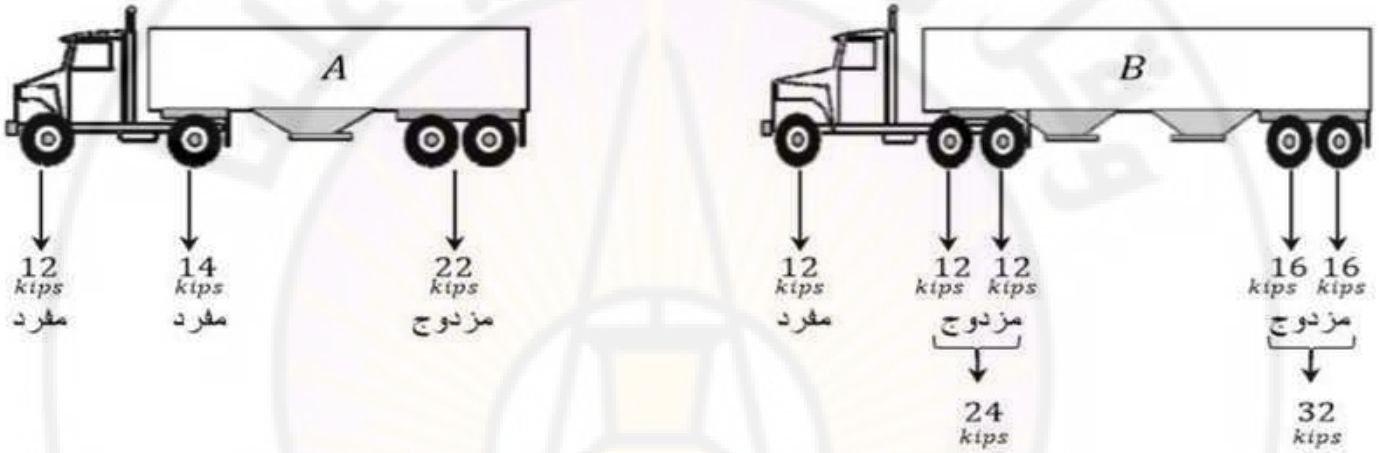
دورة 2017

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



• **الحل :**

أولاً : نقوم بمعرفة المحاور المفردة والمزدوجة



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

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

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

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

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

$$ESAL_0 = 541.3$$

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

من نص السؤال (بالاتجاهين) ⇦ عامل الاتجاه 0.5

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

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

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

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

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

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

جامـــعة دمـــشق
كليـــــة الهندسة المدنية
قسم هندسة النقل ومواد البناء

تصميم طبقات الرصف

المحاضرة ١١

هندسة الطرق

Damascus University

محتوى المحاضرة:

مقدمة

طريقة الآشتو ١٩٧٢

طريقة الآشتو ١٩٩٣

تحديد سماكات طبقات الرصف

مقدمة:

إن أول طريقة لتصميم الرصف كانت عام ١٩٦١ ونُشرت من قبل لجنة الآشتو وبما أن هندسة الطرق تعتمد في مجالها على الجانب التجريبي ، فقد تم تعديل هذه الطريقة عدة مرات لجعلها أكثر شمولية ومنها نتجت طريقة الآشتو ٧٢ و ٩٣ .

إن الطريقة المعتمدة في بلدنا هي ٩٣ لأنها الأفضل حتى الآن ، ولكن سندرس أيضاً طريقة ٧٢ التي كانت تستخدم سابقاً.

طريقة الآشتو ١٩٧٢:

تعتمد طريقة الآشتو ٧٢ على مفهوم الأداء في الخدمة ويعرف بـ :

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

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

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

تعتمد المخططات على المفاهيم التالية:

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

١- دليل الخدمة (Pt):

تتراوح قيمة Pt بين (٠ - ٥)

تمثل القيمة ٥ الحالة الممتازة جداً لطبقات الرصف (أي في بداية وضع الطريق بالخدمة) حيث تكون الطبقات خالية من أي تشوهات أو تشققات.

تمثل القيمة ٠ الحالة السيئة جداً حيث لا يمكن استخدام الطريق نهائياً .

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

٢- مقاومة التربة (S):

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

وكلما زادت S زادت مقاومة التربة.

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

٣- عامل الموقع (العامل الإقليمي R):

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

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

٤- الرقم الإنشائي (SN):

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

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

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

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

D_1 : سماكة الطبقة السطحية (الاهتراء والأساس الاسفلتي معا)

D_2 : سماكة طبقة الأساس الحصوية (بحص مكسر)

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

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

٥- عوامل الطبقات (α_i):

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

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

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

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

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

بالنسبة للأشتو ٧٢ : لإيجاد a_1 تعتمد على تجربة ثبات مارشال .

a_2 ,a_3 تعتمد على $C.B.R$

بالنسبة للأشتو ٩٣ : لإيجاد a_1 تعتمد على تجربة مارشال .

a_2 ,a_3 تعتمد على $C.B.R$

طريقة استخدم مخططات التصميم وفق آشتو ٧٢:

١. نحدد مستوى الخدمة Pt حسب نوع الطريق (رئيسي أو ثانوي) وبناءً عليه نختار المخطط المناسب للتصميم (يذكر لنا بالمسألة نوع الطريق)

٢. نحدد قيمة $C.B.R$ الديناميكي على المخطط الذي يحتوي كلاً من القيم $C.B.R$ و (S) قيمة تحمل التربة ثم نرسم منها خطاً أفقياً يقطع محور قيمة تحمل التربة S في نقطة منه فنحصل على قيمة (S)

٣. نوقع قيمة مقاومة تربة المسار (S) على المحور الأول في مخطط التصميم المتعمد في الدراسة.

٤. نوقع على المحور الثاني في المخطط المعتمد في التصميم ، عدد المحاور المكافئة الكلي على الحارة التصميمية خلال العمر التصميمي للطريق $ESAL_n$

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

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

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

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

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

أما سماكة طبقة ما تحت الأساس فتحسب قيمتها من العلاقة (١) السابقة ، علماً أن قيم السماكات في هذه العلاقة تؤخذ بالانش.

وحسب المواصفات الفنية السورية فإن القيم الدنيا للسماكات:

الطبقات الإسفلتية هي ٣ - ٦ سم لطبقة الاهتراء و ٥ - ٨ لطبقة الأساس الاسفلتي

وعادة تؤخذ قيمة D_2 ضعف قيمة D_1 .

نقرب السماكات بالانش إلى أقرب أكبر ربع إنش.

نقرب السماكات بالسنتيمتر إلى أقرب أكبر ١ سم للطبقات الحصوية وإلى أكبر ٠,٥ سم للطبقات الإسفلتية.

Table C.2-1

Traffic Equivalence Factors, Flexible Pavement

Single Axles, $p_t = 2.0$

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

Table C.2-2

Traffic Equivalence Factors, Flexible Pavement

Tandem Axles, $p_t = 2.0$

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

Traffic Equivalence Factors, Flexible Pavement

Single Axles, $p_t = 2.5$

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

Table C.2-4

Traffic Equivalence Factors, Flexible Pavement

Tandem Axles, $p_t = 2.5$

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

Damascus University

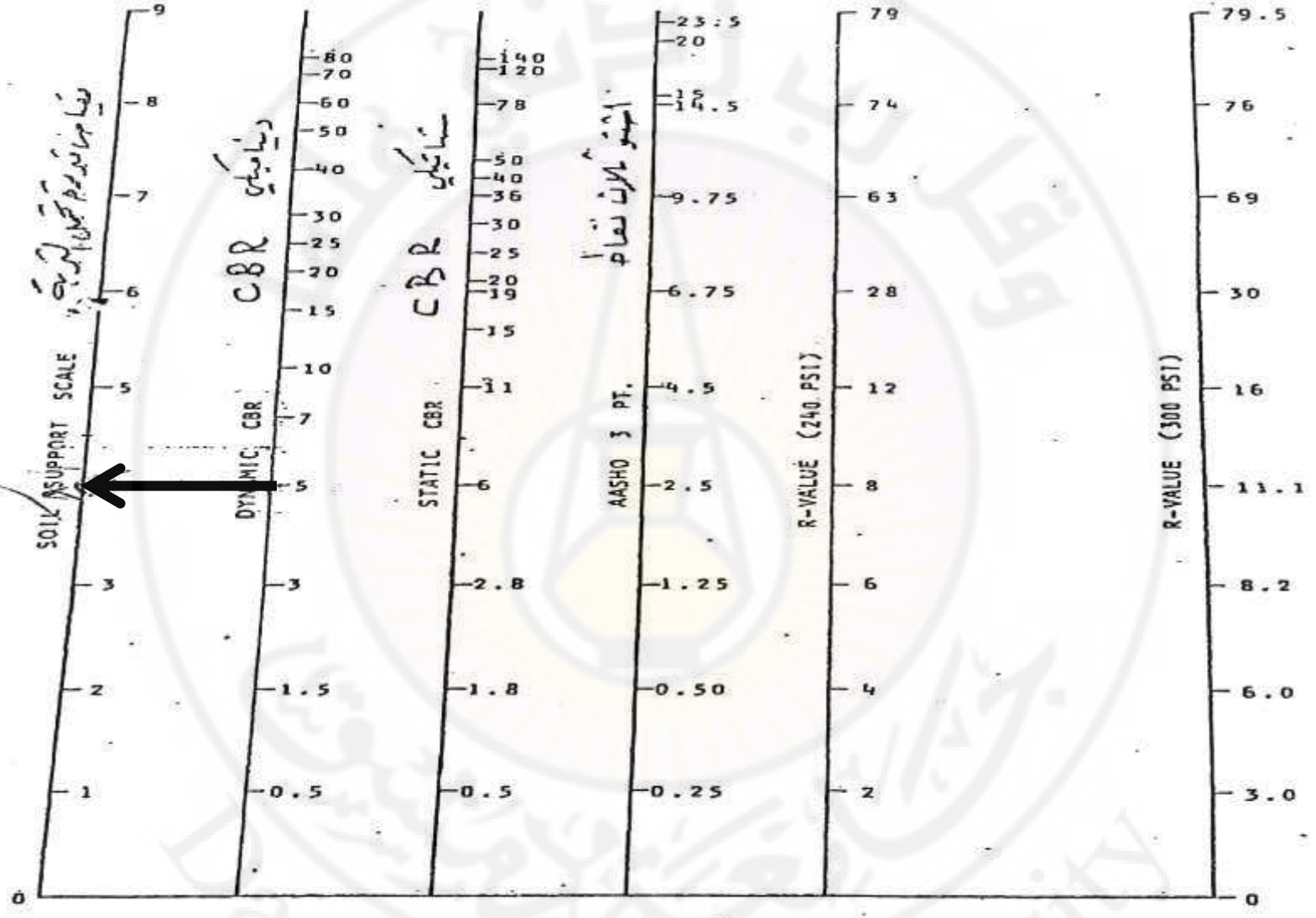


Figure C.3-6 Test Values as Determined from the Graphs in Figures C.3-2 through C.3-5

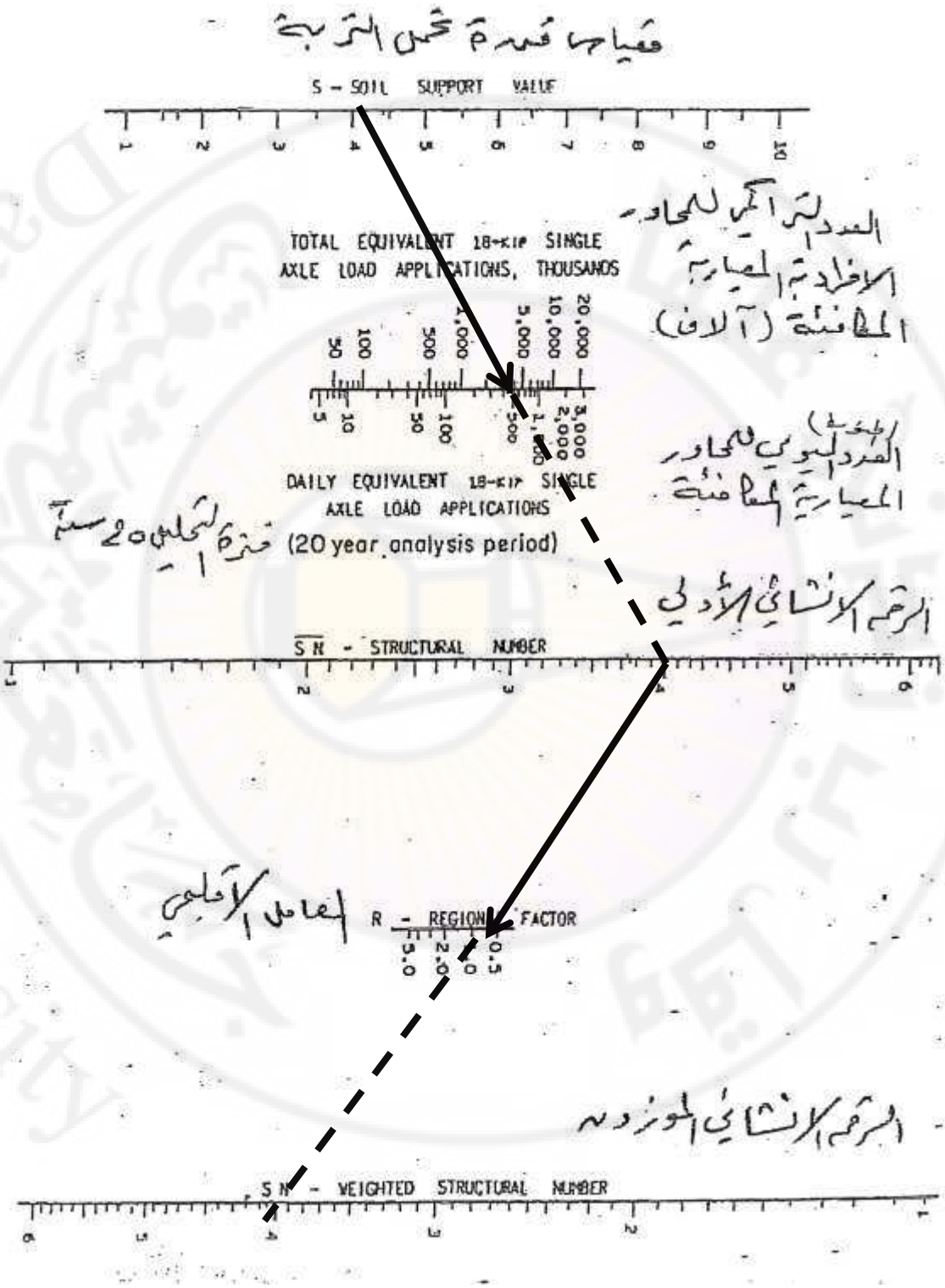


Figure II-2 Design Chart for Flexible Pavements, p_t = 2.0

طريقة الآشتو ١٩٩٣:

قام اتحاد جمعية النقل والطرق الأمريكي أشتو في عام ١٩٩٣ بوضع طريقة معدلة لتصميم طبقات الرصف المرن ، وكان التعديل عن طريق إدخال تأثير مجموعة جديدة من عوامل التصميم وهي:

درجة الثقة R والانحراف المعياري S_0

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

الأول هو درجة الثقة R والثاني هو الإنحراف المعياري الكلي S_0

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

مثلاً عند اعتبار $R= 95\ \%$ فهذا يعني إن المصمم يقبل أن هناك 5% احتمال انهيار مبكر للمقاومة الإنشائية لطبقات الرصف أي أن الطريق سيستطيع أداء وظيفته بشكل جيد خلال عمره التصميمي بنسبة ٩٥% وقد ينهار وظيفياً (يصبح بحاجة لصيانة) ويفشل بأداء وظيفته خلال العمر التصميمي المقدر له بنسبة ٥%

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

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

مثلاً : $R = 90\%$ $= ٠,٩٥ =$ $R = \sqrt{0.90}$

مقدار التغيير في مستوي الخدمة ΔPSI :

كما أوضحنا سابقاً أن القيمة النهائية لدليل الخدمة هي أقل مستوى خدمة يسمح به في نهاية العمر التصميمي وذلك قبل اللجوء لوضع قميص اسفلتي جديد أو إعادة إنشاء وعادة تؤخذ (٢) للطرق الثانوية و ٢,٥ لطرق الرئيسية

وأما القيمة المبدئية لدليل الخدمة Pt_1 فتحدد مباشرة بعد الانتهاء من التنفيذ (أي نحدد كم يكون مستوى الخدمة له وهو جديد) ولن تصل هذه القيمة لمستوى الخدمة إلى حدها الأقصى وهو ٥ لذلك ناخذ قيمته $Pt_1 = 4.2$ في الرصف المرن، و $Pt_1 = 4.5$ في الرصف الصلب : طبعاً في دراستنا نصمم رصف مرن لذلك ناخذ القيمة ٤,٢ فتكون ΔPSI (الفرق بين دليل الخدمة الابتدائي والنهائي) :

عامل مرونة التربة الارتجاعي M_R:

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

منها دائمة ومنها مسترجعة

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

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

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

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

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

الرقم الإنشائي SN:

يمكن إيجاد قيمة الرقم الإنشائي SN باستخدام مخطط التصميم ، حيث تم إيجاد قيمة SN لكل طبقة من طبقات الرصف على حدى (وليس لطبقة واحدة كما في آشتو ٧٢) .

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

ويتم استخدام المخطط كما يلي:

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

ملاحظة:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

تحديد سماكات طبقات الرصف:

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

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

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

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

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

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

٢) حساب سماكة طبقة الأساس الحصوي:

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

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

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

$$SN_2^* = \ a_2 * m_2 * \ D_2^*$$

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

٣) حساب سماكة طبقة ما تحت الأساس :

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

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

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

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

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

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

ملاحظات:

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

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

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

..

قيمة SN_1^* : المحسوبة من العلاقة

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

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

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

يمكن في النهاية حساب سماكات الطبقات بواحدة سم ونقرب D_1 لأكبر نصف سم ونقرب D_2, D_3 لاكبر ١ سم لطبقة الأساس الحصوية وما تحت الأساس الحصوية، أما لطبقة القميص فنقرب إلى أقرب ٠,٥

جامـــعة دمـــشق
كليـــــة الهندسة المدنية
قسم هندسة النقل ومواد البناء

رص التربة – دور طبقات الرصف

المحاضرة 12

هندسة الطرق

محتوى المحاضرة:

الرص و أهدافه

تجربة بروكتور

دور طبقات الرصف – أنواع المواد الحصوية

الرص و أهدافه:

تعرف 1: هو تطبيق قدرة ميكانيكية على التربة مما يؤدي إلى إنقاص الفراغات الهوائية دون خروج الماء (أي نسبة الرطوبة ثابتة w%)

تعرف 2 : هو زيادة الكثافة الحجمية (زيادة واحدة الوزن الحجمي) عن طريق إنقاص الفراغات الهوائية وزيادة التشابك والارتباط بين الجزيئات الصلبة.

أهداف الرص:

1. زيادة مقاومة التربة على القص.
2. تقليل إمكانية تسرب مياه الأمطار إلى جسم الطابق الترابي.
3. إنقاص الهبوطات في جسم الطريق الناجمة عن الحمولات.
4. إنقاص التغيرات الحجمية من انكماش وانتفاخ التربة تبعاً لفصول السنة.

فعالية رص التربة تتعلق بـ :

1. طبيعة التربة
2. الطريقة التي يتم بها الرص.

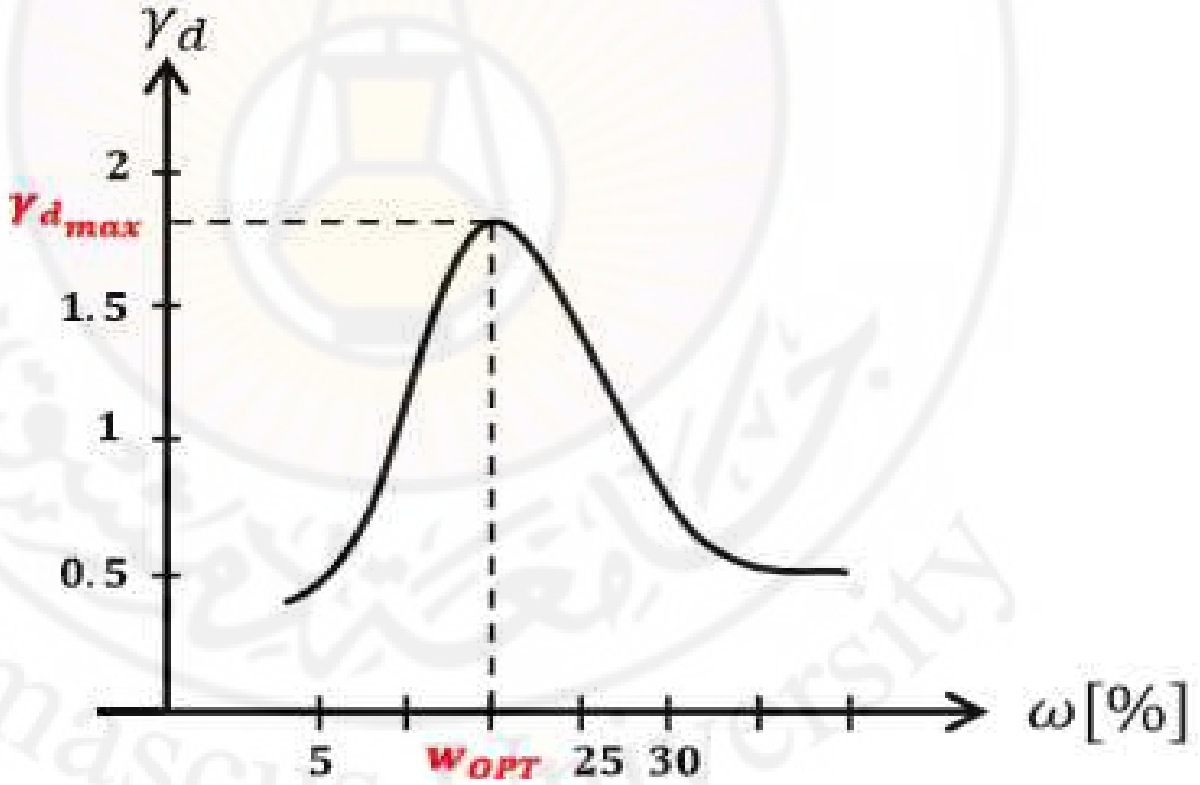
الكثافة الحجمية تتوقف على:

1. نوعية التربة (غضارية – سيليتية....)
2. نسبة الرطوبة W%
3. الأدوات المستخدمة في عملية الرص.

يتم زيداة فعالية الرص: بإضافة الماء إلى التربة لأنه يعمل على تخفيف الاحتكاك بين الجزيئات الصلبة أثناء عملية الرص أي نزيد نسبة الماء لنحصل على الرطوبة المثالية ω_{opt} التي تتوقف على الكثافة الجافة الاعظمية، ويتم تحديد ذلك من خلال تجربة بروكتور.

تجربة بروكتور:

الهدف: تحديد الرطوبة المثالية (الأصولية) ω_{opt} الموافقة للكثافة الجافة $\gamma_{d_{max}}$ الأعظمية تحت تأثير طاقة رص محددة وذلك من أجل مراقبة درجة الرص في الحقل.



منحني بروكتور: نلاحظ عند إضافة الماء تدريجياً (زيادة الرطوبة) ← تزداد الكثافة الجافة γ_d ,وذلك حتى الوصول إلى نقطة معينة $\gamma_{d_{max}}$ ثم تعود بالانعكاس، فعند إضافة الماء إلى التربة فإنه يقوم بتغليف حبات التربة بطبقة رقيقة حيث يكون هناك شد سطحي بين حبات التربة يعيق انزلاقها على بعضها تحت تأثير طاقة الرص، ولكن بزيادة الماء تدريجياً فإن سماكة الطبقة المائية المحيطة بالحبات تزداد، وبالتالي يؤدي ذلك إلى انخفاض الشد السطحي من جهة وسهولة انزلاق الحبات من جهة آخرى.

بالتالي يكون هناك توضع للحبات فيعطي حجماً أقل (كثافة أكبر) $\gamma = \frac{M}{V}$ وهكذا حتى الوصول إلى نسبة الرطوبة المثالية (الأصولية) وبعدها يلعب الماء دوراً عكسياً.

كما نعلم أن الماء غير قابل للانضغاط بالتالي يحصل تباعد بين حبات التربة أي تقل الكثافة.

تجربة بروكتور النظامية والمعدلة:

تجربة بروكتور النظامية: تعتمد طاقة رص معتدلة وتطبق في حال بناء السدود المائية والمنشآت التي لا تحتاج لقدرة رص كبيرة بشكل عام.

تجربة بروكتور المعدلة: تعتمد طاقة رص كبيرة وتستخدم في أساسات الطرق ومدرجات المطارات وكافة المشاريع التي تحتاج إلى طاقة رص كبيرة (المنشآت التي تتعرض لحمولات ديناميكية كبيرة).

الجدول التالي يوضح الاختلاف بين تجربة بروكتور النظامية والمعدلة

$1\ Pounds\ (lb) = 0.454\ (kg)$

	عدد الطبقات	عدد الضربات	ارتفاع السقوط	وزن المطرقة	الحاجة للرص	الاستخدامات
بروكتور النظامية	3	25 ضربة لكل طبقة	12 *Inch*	5.5 *Lb*	طاقة رص معتدلة	السدود والمنشآت التي لا تحتاج لرص كبير
بروكتور المعدلة	5	56 طربة لكل طبقة	18 *Inch*	10 *Lb*	طاقة رص كبيرة	المنشآت التي تتعرض لحمولات كبيرة

طاقة الرص الأصغرية وطاقة الرص الأعظمية:

طاقة الرص الأصغرية: هي الطاقة التي تكون أقل بقليل من الطاقة التي تعطيها تجربة بروكتور النظامية وهي أصغر طاقة رص يمكن تطبيقها على جسم طابق ترابي حتى لا يتعرض لهبوطات أثناء الاستثمار.

طاقة الرص الأعظمية: هي الطاقة التي تكون أعلى بقليل من الطاقة التي تعطيها تجربة بروكتور المعدلة وهي أعظم طاقة رص يمكن تطبيقها حتى لا يحدث انكماشات خلال فصول السنة.

الترب الغضارية: يجب أن لا تقل درجة الرص عن 90%

الترب الرملية: يجب أن لا تقل درجة الرص عن 95%

Damascus University

المقصود بدرجة الرص (الرص النسبي) هي حاصل قسمة الكثافة الجافة الحقلية γ_{d_f} على الكثافة الجافة الأعظمية الموافقة لتجربة بروكتور (النظامية أو المعدلة):

$$D = \frac{\gamma_{d_f \text{حقلية}}}{\gamma_{d_{max}} \text{بروكتور}}$$

D درجة الرص

γ_{d_f} الكثافة الجافة الحقلية

$\gamma_{d_{max}} = \gamma_{d_{proc}}$ الكثافة الجافة الأعظمية حسب تجربة بروكتور (النظامية أو المعدلة)

خطوات تجربة بروكتور:

1) نحسب الكثافة الرطبة للعينة والتي تساوي وزن العينة الرطبة مقسوماً على حجمها.

$$\gamma = \frac{M_{total}}{V_{total}}$$

2) نحسب وزن الماء: وزن العينة الرطبة مطرحاً منها وزن العينة الجافة.

$$w_{water} = w_{wet} - w_{dry}$$

3) نحسب وزن العينة وهي جافة: وهي عبارة عن وزن العينة جافة مع العلبة ناقص وزن العلبة.

4) نجسب الرطوبة W% وهي وزن الماء مقسوماً على وزن العينة الجافة

$$\omega = \frac{\text{وزن ماء}}{\text{الوزن الجاف}}$$

5) نحسب الكثافة الجافة:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+\omega}$$

كي تكون النتائج واقعية يجب مراعاة ما يلي:

1. يفضل ألا تزيد نسبة العناصر الخشنة (البحص) (التي أبعادها أكبر من 20mm) عن 30%.
2. يفضل استبدال العناصر الخشنة بوزن مكافئ من التربة نفسها أبعادها بين

5 ← 20 mm وفي حال عدم الاستبدال يجب تصحيح النتائج باستخدام العلاقتين:

$$\gamma_{d_{1max}} = \frac{\gamma_{dmax}}{1 - X\%\left(\frac{1-\gamma_{d_{max}}}{G * \gamma_w}\right)}$$

$$\omega_1 = (1 - X\%)\omega\%$$

$\gamma_{d_{1max}}$ الكثافة الجافة الأعظمية المصححة. G الوزن النوعي

ω_1 الرطوبة المصححة X نسبة العناصر الخشنة γ_w الوزن الحجمي للماء

مسألة:

أجريت تجربة بروكتور على تربة ما وأعطت النتائج التالية:

الرطوبة المثالية: $\omega_{opt}= 14\%$ الكثافة الجافة الأعظمية: $\gamma_{d_{max}} = 1.85\ g/C\ m^3$

نسبة العناصر الخشنة: x=12% الكثافة الجافة الحقلية: $\gamma_{d_f} = 1.7\ g/C\ m^3$

الوزن النوعي للتربة $G = 2.7\ g/C\ m^3$

والمطلوب:

1. الكثافة الجافة الاعظمية المصححة.
2. الرطوبة المصححة.
3. إيجاد درجة الرص ومقارنتها مع المواصفات.

الحل:

$$\gamma_{d_{1max}} = \frac{\gamma_{dmax}}{1 - X\%\left(\frac{1 - \gamma_{d_{max}}}{G * \gamma_w}\right)} = \frac{1.85}{1 - 12\%\left(\frac{1 - 1.85}{2.7 * 1}\right)}$$

$$= 1.783 \ g/c\,m^3$$

$$\omega_1 = (1 - X\%)\omega\% = (1 - 12\%)14\% = 0.1232 = 12.32\%$$

$$D = \frac{\gamma_{d_f \text{حقلية}}}{\gamma_{d_{max}} \text{بروكتور}} = \frac{1.7}{1.783} = 0.953 = 95.3\%$$

بما انه لم يذكر نوع التربة نفرضها رملية.. بوالتالي نجد أن درجة الرص مطابقة مع المواصفات لأن الترب الرملية كما تعلمنا سابقاً لا يجب أن تقل درجة الرص عن 95%

العوامل المؤثرة على درجة الرص في المخبر:

1. **طاقة الرص** : إن طاقة الرص تؤثر على منحني الرص حيث إن منحني بروكتور المعدل يعطي قيم أعلى من منحني بروكتور النظامي وذلك لأن طاقة الرص أكبر وكذلك وزن المطرقة وارتفاع السقوط وعدد الضربات أيضاً تكون اكبر.
2. **نوعية التربة** : الترب الرملية تعطي كثافة جافة عالية فنلاحظ وجود ذروات عالية في المنحنيات، أما الترب الغضارية فتعطي منحنيات أكثر تفلطحاً من منحني رص الترب الرملية والترب السيليتية.
3. **تأثير العناصر الخشنة**: لتكون نتائج بروكتور واقعية يجب ألا تزيد نسبة المواد الخشنة على 30 % وفي حال كانت أكبر من 30 % يفضل استبدالها بوزن مكافئ أو تصحيح نتائج التجربة من كثافة أعظمية ونسبة الرطوبة (العناصر الخشنة لها تأثير كبير على درجة الرص).

يجب ألا تؤدي طاقة الرص إلى حدوث تشوهات (انتفاخ أو انكماش) خلال فترة الاستثمار .

يجب رص الردميات على طبقات بحيث لا تزيد سماكة كل طبقة على 30 سم .

مثال: أي في حال كانت طبقة ما تحت الأساس بسماكة 70 سم فإننا نفرد هذه الطبقة على ثلاث مراحل حيث نفرد الطبقة الأولى 30 سم ونقوم برصها ومن ثم نفرد فوقها الطبقة الثانية 30 سم ونقوم برصها ومن ثم نفرد فوقها الطبقة الأخيرة ونرص الثلاثة معاً (في حال كانت السماكة 60 سم فإننا نرص الطبقة على مرحلتين).

فعالية الرص تكون جيدة في الترب ذات التدرج الحبي الجيد وينصح ألا تقل قرينة اللدونة عن 6 $(PI \geq 6)$

آلات الرص المستخدمة في مشاريع الطرق :

1. **مداحل بدواليب ملساء**: هي الأكثر استخدام وزنها يتراوح بين $(4 \rightarrow 18\ Ton)$ وينصح ألا تتجاوز سماكة الطبقة 15 سم عند الرص , وعدد الأشواط اللازمة بين 8 لـ 4 " الشوط ذهاباً وإياباً "
2. **مداحل بدواليب مطاطية**: فعالة في الترب اللدنة وغير فعالة في الترب الرملية وزنها يصل على 20 tonوسماكة الطبقة 30 سم وعدد الأشواط بين 8 ل 12
3. **مداحل أرجل الغنم**: تستخدم بشكل أساسي للترب الغضارية المتماسكة وسماكة الطبقة من 15 ل 20 سم وعدد الأشواط يصل إلى 24 شوط
4. **المداحل الرجاجة الثابتة**: مبدؤها يعتمد على تطبيق الضغط مع الرج في عملية الرص وتصلح للترب المفككة وسماكة الطبقة لا تتجاوز 15 سم وتوتر الآلات العملي بين 1000 – 4000 دورة في الدقيقة.

في الترب البحصية بعد استخدام المداحل المطاطية لا بد من استخدام المدال الملساء للحصول على رص جيد على كامل عرض الطبقة.

بعد استخدام المداحل الرجاجة يجب استخدام المداخل ذات الدواليب الملساء كي يكون الرص منتظماً على كامل عمق الطبقة.

في الترب الغضارية بعد استخدام مدال أرجل الغنم يجب استخدام المداحل الملساء للحصول على سطح مستو.

العوامل المؤثرة على الرص في الحقل (الورشة) :

يوجد أربع عوامل وهي:

1. نسبة الرطوبة في التربة.
2. عدد الأشواط اللازمة لإتمام عملية الرص.
3. ضغط التماس σ_z .
4. تشوه الطبقة الحاملة.

نسبة الرطوبة في التربة:

وتؤثر بشكل مشابه لتجربة بروكتور.

عدد الأشواط اللازمة لإتمام عملية الرص.

ويعطى قانونها بالعلاقة:

$$N = \frac{C * E}{A * Q * \alpha}$$

N عدد الأشواط C طاقة الرص بالمخبر. E سماكة الطبقة المرصوصة.

Q الضغط المطبق في جهاز الرص. A مقدار الهبوط نتيجة الرص

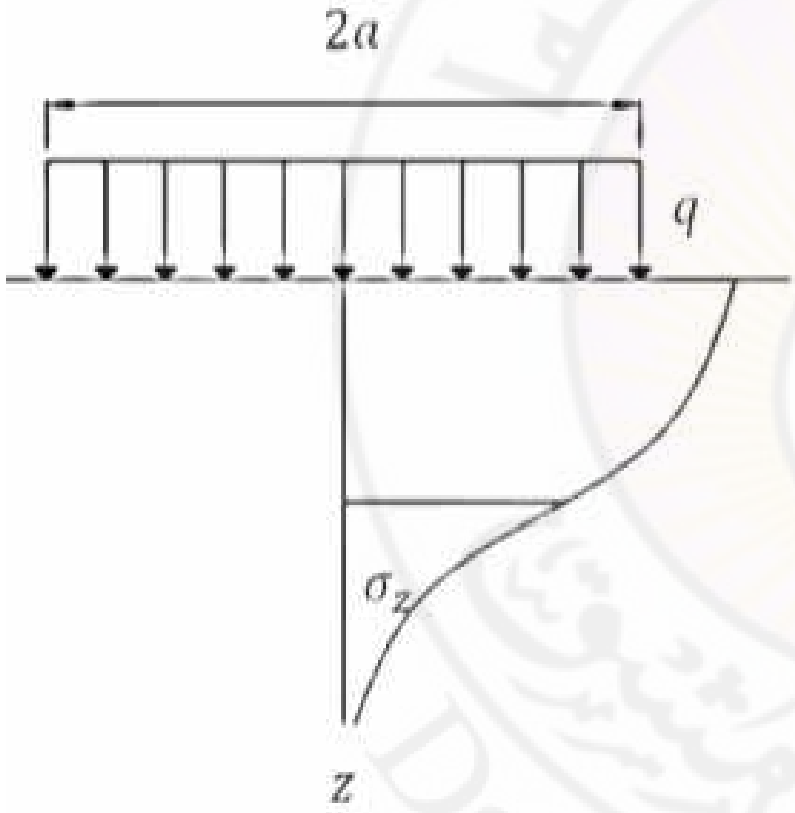
α يتعلق بنوع التربة ويساوي ← 0.5 في حال كانت الترب غضارية

← 1 في حال كانت التربة حجر مكسر

ضغط التماس :

هو حاصل قسمة وزن المدحلة على سطوح التماس:

$$\sigma_z = q * \left(1 - \frac{z^3}{(a^2 + z^2)^{3/2}}\right)$$



σ_z ضغط التماس q القوة الموزعة الناتجة عن وزن المدحلة.

Z بعد النقطة المدروسة a مساحة سطح التماس.

من القانون نلاحظ:

تزايد مساحة سطحالتماس a مع ثبات q

تزايد فعالية الرص بزيادة q مع بقاء a ثابتة

تتناقص فعالية الرص مع العمق.

تشوه الطبقة الحاملة

يكون الرص أكثر فقالية كلما كانت الطبقة الحاملة أكثر صلابة، وعلمياً يصعب رص طبقة تستند على طبقة سلتية من النوع (A-4) والتي تعطي تشوهات مرنة أثناء مرور المدحلة وبعد مغادرتها تعود إلى وشعها الطبيعي.

مراقبة الرص في الحقل

لمراقبة الرص يحب معرفة درجة الرص (الرص النسبي) $D = \gamma_d / \gamma_{dmax}$

لمعرفة الكثافة الحقلية γ_{dt} نأخذ عينات من التربة المتماسكة المرصوصة من اجل تحديد وزن و حجم و رطوبة كل عينة ، اما بالنسبة للترب الرملية المفككة فيتم قياس حجم العينة بطريقة استبدال الحفرة برمل معروف الوزن الكثافة النوعية (جهاز المخروط الرملي) حيث يتم حفر حفرة وملؤها بالرمل بواسطة قمع مخروطي ، وبمعرفة كثافة الرمل و المسامية نستطيع إيجاد حجم الرمل الذي ملأ الحفرة وبالتالي حجم الأسطوانة وحساب γ_{dt}

القياس بواسطة الإشعاع النووي

مبدأ العمل:

يعتمد على وجود مصدر للطاقة النووية الذي يسمح بإصدار فوتونات (أشعة غاما) ونترونات عالية السرعة ويتم استقبالها بشكل منفصل بواسطة عداد حيث:

- يدل عدد الفوتونات الملتقطة خلال مدة زمنية محددة على الكثافة الرطبة γ_d
- يدل عدد النترونات خلال مدة زمنية محددة على نسبة الرطوبة.
- وأخيراً ثم نحسب الكثافة $\gamma_d = \frac{\gamma}{1+\omega\%}$
- مدة القياس من 5 ل 3 دقيقة وتسمح بالتحقيق من درجة الرص لعدد كبير من النقاط وعملها سريع لا يعيق عمل الورشة.

تجربة نسبة تحمل كالفيورنيا C.B.R

تعريف : هي تجربة ليس لها أساس نظري وتجرى باستخدام جهاز C.B.R على عينة مرصوصة معلومة الكثافة والمحتوى وتعرف بأنها حاصل قسمة نسبة تحمل التربة المدروسة إلى نسبة تحمل المقالع الكالفورنية

ينصح بإجراء هذه التجربة حقلية على الترب غير المتجانسة ، اما في حال التجانس فيفضل إجراؤها في المخبر.

عندما تقول أن لدينا تربة نسبة تحملها 45% فإننا نقصد أن نسبة تحملها هي 45% من نسبة تحمل كاليفورنيا.

دور طبقات الرصف – أنواع المواد الحصوية:

إن تصميم منشأة طرقية يعني تحديد أمرين وهما:

1. سماكة طبقات الرصف.
2. الخلائط الحصوية المستخدمة في طبقات الرصف وذلك تبعاً للمواصفات المطلوبة حيث أن التصميم يعتمد على قيمة الحمولات المحورية ESAL وقدرة تحمل كاليفورنيا CBR والشروط المناخية والشروط الهيدرولوجية و أماكن تواجد الخلائط الحصوية.

اولاً: عناصر طبقات الرص و دور كل منها

1) طبقة المجبول الإسفلتي أو الطبقة السطحية (القميص) وتنقسم لقسمين:

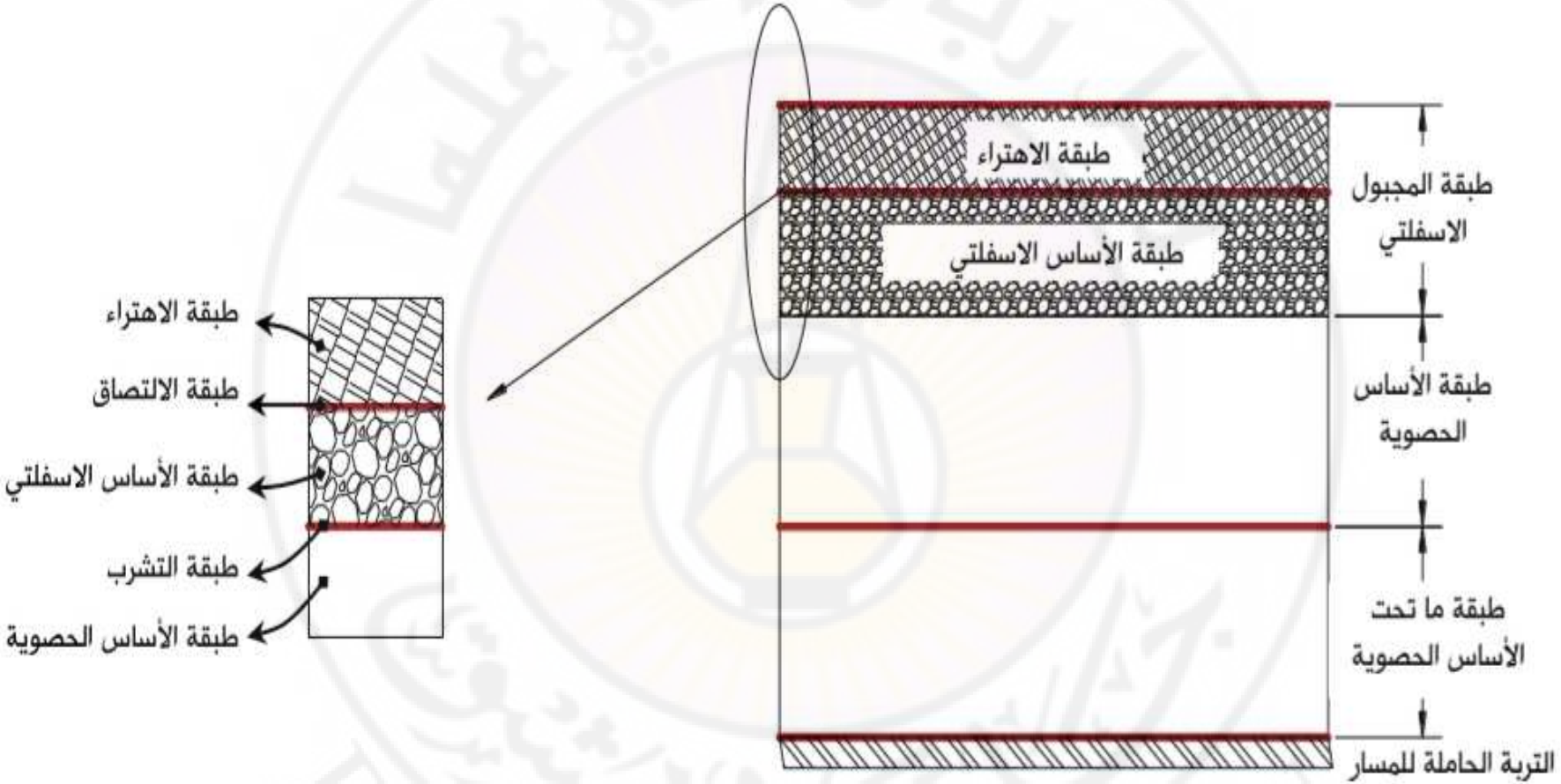
- طبقة الاهتراء
- طبقة الأساس الإسفلتي (المجبول الإسفلتي الأساسية).

يربط بين طبقة (الاهتراء و الأساس الإسفلتي الاساسية) طبقة الالتصاق.

2) طبقة الأساس الحصوية.

3) طبقة ما تحت الأساس الحصوية.

4) طبقة التربة الحاملة للمسار


طبقة الاهتراء
طبقة الالتصاق
طبقة الأساس الاسفلتي
طبقة التشرب
طبقة الأساس الحصوية
طبقة الاهتراء
طبقة الأساس الاسفلتي
طبقة المجبول الاسفلتي
طبقة الأساس الحصوية
طبقة ما تحت الأساس الحصوية
التربة الحاملة للمسار

- بين طبقة الاهتراء وطبقة الأساس الإسفلتية يوجد طبقة تسمى بطبقة الالتصاق حيث ترش كطبقة من البيتومين السائل للربط بين الطبقتين حسب المواصفات ونسميها أيضاً الطبقة اللاصقة الإسفلتية (البيتومينية) فهي تؤمن الالتصاق بين طبقة الأساس الإسفلتية وطبقة الاهتراء.
- بين الطبقة السطحية (الاهتراء والمجبول الإسفلتية) وطبقة الأساس الحصوية توجد طبقة تسمى طبقة التشرب حيث ترش كطبقة من البيتومين السائل على طبقة الأساس الحصوية ومهمتها:

1. توفير العزل بين الطبقتين وذلك بسد المسامات في الطبقة السطحية.
2. تأمين الالتصاق بين الطبقة السطيحة وطبقة الأساس الحصوية.

طبقة المجبول الأساسية أو السطحية أو القميص:

تقسم الطبقة السطحية إلى طبقتين (طبقة الاهتراء + طبقة المجبول الإسفلتي الأساسية) وهي أجود الطبقات من حيث التنفيذ ويتم تنفيذها وفقاً للحالتين:

- **حالة الرصف المرن**: يتم تنفيذها من خلائط الحصوية تتكون من البيتون البيتومني الاسفتلي.
- **حالة الرصف الصلب**: يتم تنفيذها من خلائط الحصوية تتكون من البيتون الاسمنتي.

تقسم الطبقة السطحية إلى طبقتين بسبب الصيانة ، حيث نفرش:

أولاً: طبقة الأساس الاسفلتي الأساسية .

ثانياً: ثم نفرض طبقة الالتصاق التي تساعد على تماسك الطبقة العلوية والسفلية.

ثالثاً: ثم نفرش طبقة الاهتراء.

وعندما نريد الصيانة نقوم بإزالة طبقة الاهتراء أو نعيد ترميمها.

خواص الطبقة السطحية:

1. **مقاومتها على عزم الانعطاف ضعيفة**: لذلك يجب أن تكون الإجهادات المنقولة إلى تربة المسار لا تتجاوز قيمة نسبة تحمل CBR المستخدمة في تصميم طبقات الرصف.
2. **تتعرض للحمولات والعوامل الجوية** : لذلك يجب أن تكون مواصفات تصميمها تتناسب مع ما تتعرض له أي يجب أن تكون اجود الطبقات المصممة.

دور الطبقة السطحية أو القميص أو طبقة المجبول الاسفلتي :

1. يجب أن تقاوم الإجهادات الناظمية الناجمة عن حركة المرور والتي تقدر بـ
   ($700 \rightarrow 1500 \frac{KN}{M^2}$) و الذي هو ضغط إطار السيارات عند سطح التماس a
2. يجب ان تقاوم العوامل الجوية والاهتراء والصدم والزحف الناتج عن الحمولات .
3. تأمين الراحة و الأمان لمستخدمي الطريق من ركاب وسائقين .
4. تأمين الكثافة لمنع تسرب المياه السطحية إلى جسم الطابق الترابي (جسم الطريق).

طبقة الأساس الحصوية :

- هي الطبقة التي تأتي مباشرة تحت الطبقة السطحية وتمثل الجزء المقاوم والحامل من الغطاء ويتم فيها تخامد الإجهادات الشاقولية.
- ويتم تنفيذها من الخلائط الحصوية (حجر مكسر أو المواد المعالجة بروابط كيميائية مثل الإسمنت أو الكلس أو البيتومين).
- مواصفاتها أقل جودة من مواصفات الطبقة السطحية.

دور طبقة الأساس الحصوية :

1. تأمين مقاومة وحمل جيد للطبقة السطحية.
2. تخفيض الإجهادات الشاقولية الناجمة عن حمولات إلى تربة المسار.
3. مقاومة الإجهادات الحرارية اليومية أو السنوية تبعاً لتغير فصول السنة.
4. حماية تربة المسار من فعل الصقيع في حالة الرصف الصلب.

طبقة ما تحت الأساس الحصوية :

- يتم إنشاؤها من مواد لا تتأثر مقاومتها بالرطوبة.
- موادها الحبيبية ذات تدرج مفتوح بحيث تسمح بمرور المياه من الأعلى إلى الأسفل فقط.
- في حال كانت تربة المسار ذات مواصفات جيدة او كان الطريق من الدرجة غير الدرجة الأولى (أي لا يمر عدد كبير من المركبات فوقها وبالتالي لا يتجمل إجهادات كبيرة بشكل مستمر) فيمكن الاستغناء عن طبقة ما تحت الأساس عدا عن هذه الحالة فإن وجود هذه الطبقة يكون ضرورياً.

دور طبقة ما تحت الأساس الحصوية:

1. الاقتصاد في طبقة الأساس أي عند استخدام طبقة ما تحت الأساس فإننا نقتصد في سماكة طبقة الأساس ولا تكون بالجودة المستخدمة في حال عدم وجود طبقة ما تحت الأساس.
2. معالجة تسرب المياه الجوفية ومياه الأمطار.
3. تعتبر طبقة استناد جيدة لطبقة الأساس الحصوية...فمثلاً من الصعب تنفيذ طبقة أساس حصوية بسماكة 20cm على قاعدة ذات صلابة ضعيفة (تربة المسار)
4. إعطاء رص متجانس بأسفل طبقة الأساس الحصوية.
5. المساعدة على تخفيف الإجهادات مع زيادة العمق.

طبقة تربة المسار:

هي الطبقة الاخيرة التي تستقبل الإجهادات وتتألف من التربة الطبيعية ثم تسويتها من (20➔ 25 cm) لاستقبال طبقات الرصف التي ستتوضع فوقها ويجب ألا تزيد الإجهادات المنقولة لها عن قيمة CBR المطلوبة أثناء التصميم.

دور طبقة تربة المسار:

1. إعطاء سطح متجانس لطبقة ما تحت الأساس الحصوية مما يساعد في عملية الرص.
2. التخفيف من توقف ورشة العمل في فصل الشتاء.
3. السماح لآلات الورشة بالحركة بشكل مريح.

ثانيا: انواع الخلائط الحصوية المستخدمة في طبقات الرصف

حسب المنشأ:

1. **طبيعية**: ناتجة عن عمليات الحت والتعرية (بقايا المقالع) وتميز بأن حوافها مستديرة تحتوي مختلف الحجوم كما في مجاري الأنهار والسيول.
2. **صناعية**: ناتجة عن تكسير الكتل الصخرية بالكسارات في المقالع كما تسمى (بالحجر المكسر) وتكون حوافها حادة وحجومها حسب الطلب.

أنواعها:

1) خلائط حصوية تحوي **قليل من المواد الناعمة**:

نفوذيتها: عالية بسبب وجود الفراغات الكبيرة

ثباتها: ضعيف

حساسيتها نحو الصقيع: شبه معدومة.

2) خلائط حصوية تحوي **مواد ناعمة كافية لملأ الفراغات بين الحبات الحصوية الخشنة**:

نفوذيتها: ضعيفة ثباتها: أعلى من الخلطة الحصوية السابقة

حساسيتها نحو الصقيع: موجودة كثافتها: عالية

3) خلائط حصوية تحوي **نسب عالية من المواد الناعمة** وبالتالي التماس بين الحبات الخشنة معدوم وبالتالي لثباتها فهي تعتمد على خاصية حساسية المياه (الخاصة الشعرية)

نفوذيتها: منخفضة حساسيتها نحو الصقيع: موجودة كثافتها: منخفضة

معادلة منحني التوزيع الحبي لخليط :

$$P = 100 * (d/D)^{0.5}$$

P: نسبة المار من المنخل ذو الفتحة d

d قطر الحبة المدروسة.

D قطر أكبر حبة في الخليط

عامل الانتظام (التجانس):

وهو يعبر عن انتظام الحبات:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{30}}$$

D_{60} قطر المنخل التي تمرر 60%

D_{30} قطر المنخل التي تمرر 30%

ولدينا الشرط $4 < C_u$

عامل الانحناء (الارتباط):

وهو يعبر عن انحناء منحني التوزيع الحبي

$$C_z = \frac{D_{30}}{D_{60} * D_{10}}$$

D_{10} قطر المنخل التي تمرر 10%

ولدينا الشرط: $1 < C_z < 3$

في حال تحقق الشرطين السابقين ($4 < C_u, 1 < C_z < 3$) نقول أن التربة ذات **تدرج حبي جيد**.

في أعمال الطرق تستخدم الترب الخشنة ذات التدرج الحبي الجيد ونستبعد الناعمة:

لأن الترب الناعمة تكون شرهة للماء وحساسة للصقيع وسطحها النوعي كبير.

الشروط المطلوبة للخلائط الحصوية والمواد الناعمة حسب ASTM:

1) المراد الناعمة من المنخل رقم N.200 (0.075mm)

لا تزيد عن 60% من المواد المارة من المنخل رقم N.30 (0.6mm)

لا تتجاوز 12%

المكافئ الرملي أكبر من 55%

2)المواد المارة من المنخل رقم N.40 (0.425mm)

حد السيولة لها لا يزيد عن 25

قرينة اللدونة أقل من 4

المكافئ الرملي لا يقل عن 35%

3) الطبقة السطحية (القميص) (طبقة المجبول الإسفلتي) يجب ألا يتجاوز القطر الأعظمي للحبات الحصوية المستخدمة في الخلطة 1/3 من سماكة الطبقة الحصوية.

التجارب المطلوبة أثناء تصميم الخلطة الخرسانية

المقاومة (تجربة التفتت):

يجب أن تكون الحصويات ذات مقاومة كافية للإجهادات الناجمة عن الحمولات والتجربة التي تدرس مقاومة الحصويات, وتسمى تجربة التفتت.

تجربة التفتت:

توضع عينة من المواد الحضوية(12.5 mm➔10) ضمن قالب معدني, وليكن وزنها W1 وترض على ثلاثة طبقات حيث ترص كل طبقة ب 25 ضربة تحت مكبس هيدروليكي بحمولة 40 ton وبمعدل 4ton لكل دقيقة, بعد 10 دقائق ترفع العينة وتمرر على المنخل ذو القطر 2.36 mm ونحسب وزن العينة وليكن W2 , عندها يمكن حساب عامل التفتت من خلال العلاقة:

$$f_c = w_2/w_1$$

كلما كانت قيمة عامل التفتت صغير➔ المقاومة كبيرة, ولأعمال الطرق يشترط للطبقة السطحية $f_c \leq 30\%$ ولطبقة الأساس الحصوية $f_c \leq 45\%$ ونسبة أكبر لطبقة ما تحت الأساس

الصلابة (تجربة لوس أنجلوس):

تتعرض الحصويات إلى احتكاك مستمر نتيجة حركة المرور والذي بدوره يؤدي إلى تآكل جزء من الحصويات لذلك يجب أن تكون صلابة هذه الحصويات كافية لمقاومة الأفعال.

تجربة لوس أنجلوس:

أسطوانة قطرها الداخلي 70cm وطولها 50cm وتدور حول محور أفقي بعدد دورات ثابت و يوجد فيها كرات (445 g ➔ 390), نختار وزنها و عددها تبعاً للتركيب الحبي المطلوب, ومزودة بفتحة يتم فتحها و إغلاقها ببراغي ليتم إدخال العينة إلى داخل الأسطوانة

طريقة العمل:

توضع العينة المحجوزة على المنخل رقم N.8 مع الكرات الفولاذية في الجهاز ونشغل الجهاز وبعدها نخرج العينة من الجهاز وتمرر على المنخل رقم (1.7 mm) N.12 ثم نقوم بوزن العينة المارة من هذا المنخل ونرمز له ب W1 وبعدها يمكننا حساب عامل لوس أنجلوس:

$$f = \frac{w - w_1}{w}$$

كلما كانت قيمة معامل لوس أنجلوس f صغيرة ← صلابة الحصويات كبيرة

تختلف قيمة المعامل تبعاً لطبقات الرصف:

الطبقة السطحية: يشترط أن تكون $f \leq 30\%$

طبقة الأساس الحصوية: يشترط أن تكون القيمة $f \leq 40\%$

طبقة ما تحت الأساس الحصوية: يشترط أن تكون القيمة $f \leq 5\%$

المتانة (تجربة الصدم):

نتيجة حركة المرور تتعرض الحصويات لفعل الصدم بين بعضها البعض فنجري عليها تجربة الصدم.

تجربة الصدم:

مكونات الجهاز: يتألف الجهاز من أسطوانة لوضع العينة ومطرقة شاقولية تنزلق بتأثير وزنها الذاتي.

طريقة العمل:

1. نرص العينة المارة من المنخل ذو القطر 12.5mm والمحجوز على المنخل ذو الفتحة 10mm على ثلاث طبقات لكل طبقة 25 ضربة.
2. تنقل العينة إلى جهاز الصدم حيث تطرق 15 طرقة بمطرقة جهاز الصدم.
3. نمرر العينة على المنخل ذو الفتحة 2.36mm.
4. نحسب معامل الصدم وهو يساوي وزن المواد المارة من المنخل السابق

كلما كانت قيمة معامل الصدم قليلة ← متانة الحصويات جيدة, وبالتالي نميز الحالات التالية:

1. قيمة معامل الصدم أقل من 10% ← الحصويات ذات مقاومة عالية.
2. قيمة معامل الصدم في المجال %(10~20)← ذات مواصفات عالية أو مقبولة.

فكرة:

الطبقة السطحية هي الاهم كونها تتعرض للاحتكاك والعوامل الجوية فيجب أن يكون معامل الصدم لها أقل من 20%

عوامل الشكل(دليل التطاول – دليل التسطح –الرقم الزاوي)

يوجد عدة أشكال للحصويات وهي "كروية – مكعبية – متطاولة – مستديرة – زاوية"

وفي أعمال الطرق نستبعد الحبات الرقيقة أو المتطاولة بسبب ضعف مقاومتها ونستخدم عوضاً عنها:

الحصويات المستديرة: في خلطات البيتون في طبقات الرصف الصلب.

الحصويات الزاوية: في الخلطات الإسفلتية في الرصف المرن.

الحصويات المكعبية: في أعمال البيتون البيتوميني في طبقات الرصف المرن.

دليل التطاول:

هو النسبة المئوية وزناً للحبات المتطاولة والتي تكون فيها أكبر بعد على الأقل أعلى ب 1ز8 مرة من البعد الوسطي، ويتم تطبيق هذا الاختبار على حبات أكبر من 6.3 mm، كما يجب ألا يتجاوز دليل التطاول 15%، حيث تؤخذ عينة من الحصويات وتمرر على مجموعة من المناخل ثم يتم توزيعها على مجموعات، ويحدد البعد الوسطي لحبات كل مجموعة وبالتالي يتم تحديد الحبات المتطاولة لكل مجموعة عندها يكون دليل التطاول:

$$E_1 = \frac{w_1}{w} * 100\%$$

E_1 دليل التطاول W وزن العينة الكلي

w_1 مجموع اوزان الحبات المتطاولة لكل مجموعة

دليل التسطح:

النسبة النئوية وزناً للحبيبات الرقيقة والتي سماكتها أقل من 0.6mm من البعد الوسطي

ويجب ألا يتجاوز دليل التسطح 15%

$$E_2 = \frac{w_2}{w} * 100\%$$

E_2 دليل التسطح W وزن العينة الكلي

w_2 مجموع اوزان الحبات المسطحة لكل مجموعة

الرقم الزاوي:

في الحبات المستديرة يكون حجم المواد الحصوية 67& وحجم الفراغات 33% ويحسب الرقم الزاوي من:

$$AN = \left(\frac{100 * w}{w_{1^*} G} - 67\right)^* 100\%$$

AN الرقم الزاوي W وزن العينة W1 وزن الماء المستعمل لاملاء الإسطوانة

G الوزن النوعي لحبيبات التربة.

كلما زاد الرقم الزاوي يدل على ان الحبات تكون بشكل حاد (مستديرة ←حادة)

الحبات المستديرة يكون لها الرقم الزاوي (0)

في أعمال الطرق يتراوح الرقم الزاوي 1←0

طريقة التجربة للرقم الزاوي

1. نمرر العينة على سلسلة من المناخل ثم تملأ ضمن أسطوانة و ترص على ثلاث طبقات.
2. كل طبقة ترص ب 100 ضربة بواسطة قضيب معدني.
3. نحسب وزن العينة.
4. يتم ملأ الأسطوانة بالما وليكن وزن الماء W1 ويكون G الوزن النوعي للحصويات.
5. نحسب الرقم الزاوي

بعض متطلبات الجودة لطبقتي الأساس الحصوية وما تحت الأساس الحصوية

متطلبات الجدوة لطبقة الأساس الحصوية

1. يجب أن تكون الحصويات المستخدمة في هذه الطبقة مكونة من حبات شديدة التحمل ويمكن ان تكون من حجر مكسر او حجر طبيعي.
2. يجب مطابقة الحصويات للشروط والمواصفات الفنية الخاصة لاحد متطلبات التدرج الحبي.
3. متطلبات الجودة لطبقة الأساس الحصوية: اختبار الأصالة او الديمومة, النقص بالوزن باستخدام كبريتات الصوديوم, 12 كحد أقصى.
4. عامل لوس أنجلوس أصغر أو يساوي 12% , حد السيولة أصغر أو يساوي 25% ، المكافئ الرملي أكبر تماماً من 45% , قرينة اللدونة تساوي 6.
5. نسبة تحمل كاليفورنيا CBR : تدرج حبي عالي الجودة 100% - تدرج حبي ثاني 80% - تدرج حبي ثالث 60%

متطلبات الجدوة لطبقة ما تحت الأساس الحصوية

1. يشمل هذا العمل تقديم وفرش ورص طبقات ما تحت الاساس الحصوية طبقاً للأبعاد والمناسيب حسب المخططات.
2. يجب ألا يزيد الحد الأقصى لحجم الحصويات 2/3 من سماكة الطبقة المراد إنشاؤها.
3. يجب أن تكون الحصويات مطابقة لأحد متطلبات التدرج الحبي المذكور في المتطلبات السابقة.
4. المكافئ الرملي أكبر أو يساوي 25% - قرينة اللدونة أصغر أو تساوي 60% - عامل لوس انجلوس أصغر أو يساوي 50% - عامل نسبة تحمل كاليفورنيا أكبر أو يساوي 50%.

جامـــعة دمـــشق
كليـــــة الهندسة المدنية
قسم هندسة النقل ومواد البناء

العلو الاضافي

المحاضرة 13

هندسة الطرق

محتوى المحاضرة:

مفهوم العلو الإضافي

تنفيذ العلو الإضافي

فوائد العلو الإضافي

أمثلة

مفهوم العلو الإضافي:

إن عرض الطريق يبقى ثابتاً في الاستقامة وكذلك ميله العرضي i أما في المنعطفات الدائرية والمنحنيات الانتقالية فأن الطريق يزداد عرضه ويزداد ميله العرضي وقد درسنا سابقاً زيادة عرض الطريق في هذين النوعين من المنعطفات أما العلو الإضافي في المقطع العرضي فسندرسه الآن.

إذا بقيت الميول العرضية للغطاء عند المنحنيات بالقيمة نفسها والاتجاه نفسه كما هو الحال عند الاستقامات فأن حركة السيارة على المسرب الخارجي من الغطاء تصبح أقل ثباتاً من حركة السيارة على المسرب المجاور (الداخلي) وذلك لأن مركبة وزن السيارة على المحور الموازي للغطاء سوف تضاف إلى المركبة الموافقة للقوة النابذة كما تصبح قيادة السيارة أكثر صعوبة بسبب زيادة قيمة الانحراف الجانبي للدواليب بنسبة أكبر مما هي للسيارات التي تسير على المسرب الداخلي للمجاور.

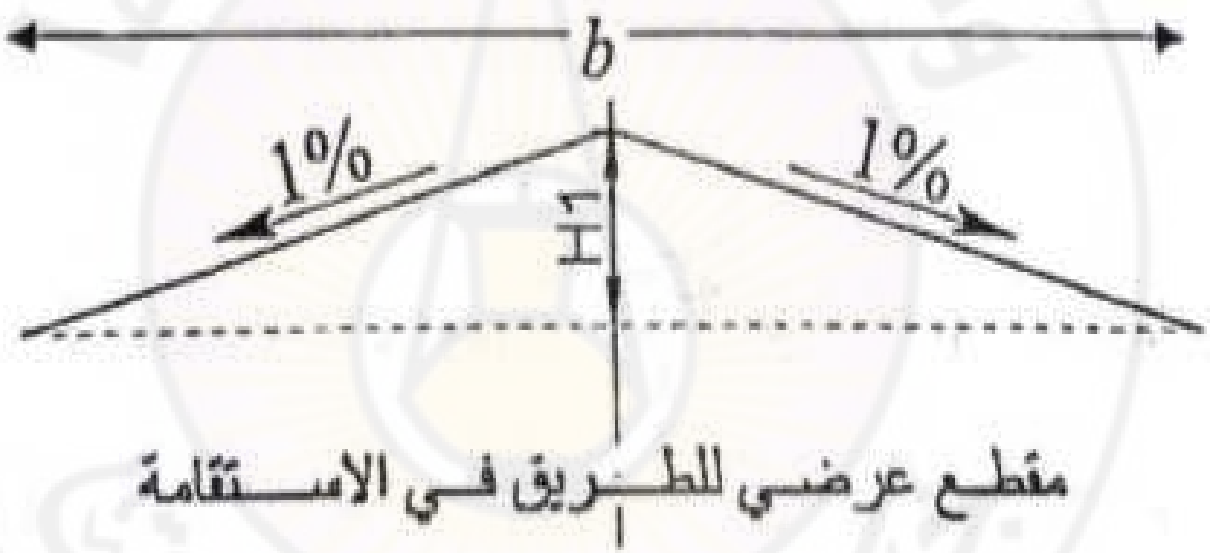
ولكي نتمكن من زيادة ثبات حركة السيارة وجعل السائق أكثر ثقة عند القيادة على المنحنيات نعمد إلى رفع الطرف الخارجي للطريق بحيث يصبح الغطاء والأكتاف الجانبية ذو ميل واحد باتجاه مركز المنحني أو ما يسمى العلو الإضافي.

اعتبر العلو الإضافي في الماضي على أنه عنصر إضافي مساعد للطريق عند المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الصغيرة من أجل تأمين أمان لحركة السيارات إلا أن الخبرة المكتسبة من استثمار الطرق الرئيسية أظهرت أن العلو الإضافي له تأثير نفسي إيجابي على السائقين يجعلهم أكثر ثقة في القيادة على المنحنيات بالسرعة نفسها التي كانوا يسيرون فيها على الأجزاء المستقيمة وتنخفض السرعة عادة عند عدم وجود العلو الإضافي لذلك يُعمد إنشائه على كافة المنحنيات التي تقل أنصاف أقطارها عن 3000m للطرق من الدرجة الأولى و 2000 للطرق الأخرى.

يبين الشكل التالي منظور تغير الميول العرضية على الطريق عند المنحنيات من ميلين متعاكسين عند الاستقامة إلى ميل أعظمي "باتجاه واحد" عند المنحني الدائري.

شكل(١٢)- منظور تغير الميول العرضيه على الطريق عند المنحنيات

إن المقطع العرضي لطريق ما في استقامة ما هو عبارة عن ثنائية محدبة للأعلى لها ميلان ينحدران بمقدار يتراوح بين 1-2% وبصورة استثنائية 3% كما في الشكل:

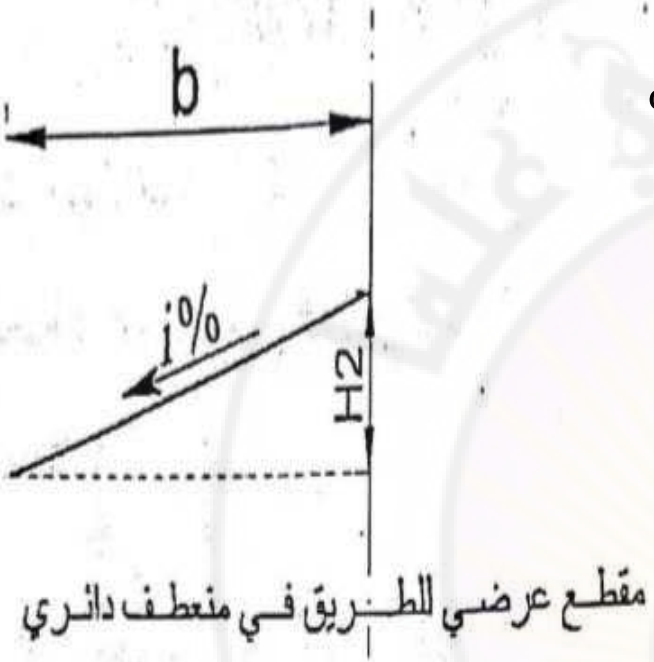


مقطع عرضي للطريق في الاستقامة

$$H_1 = \frac{b}{2} * \frac{i}{100}$$

أما المقطع العرضي في منعطف هو عبارة عن مقطع مستوي له ميل واحد يتجه نحو الداخل ويتراوح هذا الميل بين 2% إلى 10%

نرى من الشكل السابق أن:



مقطع عرضي للطريق في منعطف دائري

$$i = \tan(\alpha) = \frac{H}{b} = \frac{c}{\rho} = \frac{c}{m * g} = \frac{\frac{m * v^2}{R}}{m * g} = \frac{v^2}{R * g}$$

$$H = \frac{b * v^2}{R * g}$$

وبما أن V(m/sec)=V(km/h)/3.6 و g=9.8 m/sec^2 فتصبح العلاقة السابقة:

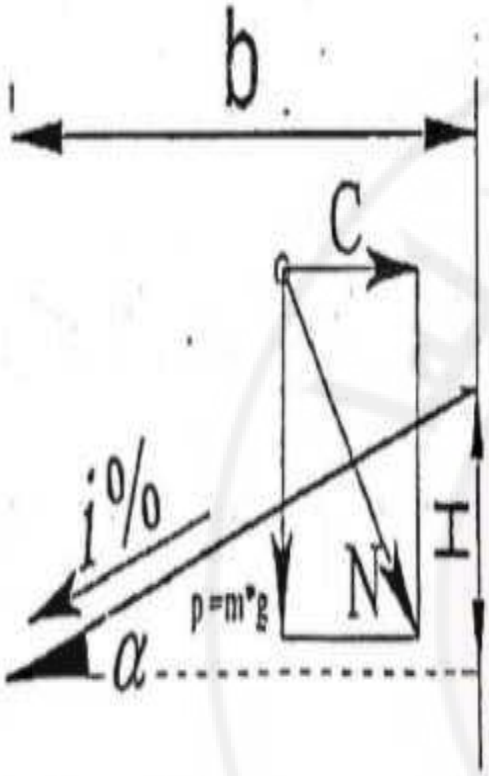
$$H = \frac{b * v^2}{127R}$$

$$H_2 = b * \frac{i}{100}$$

حيث: V السرعة ب km/h R نصف قطر المنحني الدائري

ب m

H مقدار العلو الإضافي ب m



مقطع عرضي للطريق
في منعطف دائري

من هنا نستطيع حساب الميل العرضي للطريق في المنعطف الدائري وعلى طول المنحني الانتقالي ، فإذا أخذنا بعين الاعتبار الاحتكاك العرضي بين الدولاب والطريق "عامل المقاومة الجانبية" فأن العلاقة السابقة كما يلي:

$$\tan(\varphi) = \mu$$

$\varphi = \mu$ الاحتكاك العرضي بين الدولاب والطريق.

α الميل العرضي للطريق, وبما أن α وμ قيم صغيرة يمكن كتابة العلاقة السابقة:

$$\tan(\alpha + \varphi) = \tan\alpha + \tan\varphi = \frac{v^2}{127R}$$

Damascus University

عادة $\mu = \tan\varphi = 0.15$

$i \approx 6\%; \tan\alpha = \frac{1}{15}$ وبالتعويض:

$$\frac{1}{15} + 0.15 = \frac{v^2}{127R} \rightarrow R_{min} = 0.036 * v^2$$

أي يمكن حساب نصف قطر الانحناء الأصغري في المنعطف الدائري بعد معرفة السرعة التصميمية v(km/h)

وكما مر معنا سابقاً العلاقة التالية:

$$R = \frac{v^2}{g(\mu + i)} \rightarrow R * g(\mu + i) = v^2$$

$$(\mu + i) = \frac{v^2}{R * g} \rightarrow i = \frac{v^2}{R * g} - \mu$$

وبما أن V(m/sec)=V(km/h)/3.6 و $g=9.8\ m/sec^2$ فتصبح العلاقة السابقة:

$$i = \frac{v^2}{127R} - \mu$$

μ عامل القوة الجانبية (0.15-0.05) i الميل العرضي.

تنفيذ العلو الإضافي:

1. نبدأ برفع النصف الخارجي من الغطاء لأعلى حول محور الطريق حتى الوصول إلى مقطع عرضي بميل واحد ولكامل الغطاء باتجاه مركز المنحني ثم نقوم بتدوير كامل الغطاء حول محوره حتى الوصول إلى الميل العرضي المطلوب.
2. يجب ألا يتجاوز الميل العرضي نتيجة العلو الإضافي عند المنحنيات عن 4% في المناطق التي يتشكل فيها الضباب بكثرة أو التي يتشكل فيها الجليد شتاء.
3. يجري الانتقال من الميل باتجاهين متعاكسين للمقطع العرضي عند الاستقامات إلى الميل باتجاه واحد نتيجة العلو الإضافي عند المنحنيات بشكل انسيابي ضمن مسافة تسمى المسافة الانتقالية تكون عادة هو طول المنحني الانتقالي.
4. يجب أن تتم عملية التدوير "الرفع الإضافي" على كامل طول المنحني الانتقالي في حالة المنحني الانتقالي.
5. أما في حالة عدم وجود منحني انتقالي "منحني دائري فقط" فأن عملية التدوير يجب أن تتم:

تحقق ثلثي قيمة العلو الإضافي اللازمة على الاستقامة التي تسبق المنحني الدائري.

والثلث المتبقي ضمن المنحني الدائري.

نعتمد طول مسافة التدوير "التدريج" في هذه الحالة مساوية لطول المنحني الانتقالي الموافق لنصف قطر المنحني الدائري الذي يحسب بالعلاقة:

$$L = \frac{v^3}{47 * R_m * J}$$

J=0.8 m/sec^2 التسارع الجانبي

عامل القوة الجانبية $\varphi = \mu$ يتراوح بينن 0.05-0.15 وأثناء حساب القيمة الدنيا لنصف القطر وكلما كانت السرعة التصميمية أكبر اعتمدنا قيمة أقل لعامل القوة الجانبية، فعلى سبيل المثال في المواصفات الروسية جرى تحديد R_{min} على أساس $\mu = 0.12$ من أجل السرعات 120-150 km/h

فوائد العلو الإضافي:

- الإقلال من مخاطر انقلاب أو انزلاق السيارة خارج المنعطف بسبب القوة النابذة.
- زيادة ارتفاع المقطع العرضي في المنعطف يسمح بزيادة سرعة السيارة دون خوف، الذي يؤدي إلى تصريف جيد للسيارات.
- اقتصاد في نفقات الصيانة وذلك لأنه لولا وجود العلو الإضافي للمنعطف لزادت حمولة الدولاب الداخلي (بالنسبة للدولاب الخارجي) الأمر الذي يؤدي إلى تخريب الطريق تحت الدولاب الداخلي أسرع من الجزء الذي يمر فوقه الدولاب الخارجي وبالتالي يزداد التخريب على الطريق.

مثال 1:

طريق من الدرجة الثانية بعرض إجمالي 7.50 m ونصف قطر المنعطف R=1500m

والسرعة التصميمية v=120 km/h والمطلوب:

1. إيجاد الميل العرضي المطلوب في المنعطف؟
2. واصل تدريج العلو الإضافي من الميل 3% حتى الميل المطلوب؟
3. تغير مناسيب أطراف الغطاء بالنسبة للمحور؟

علما أن القوة الجاذبية $\varphi = 0.15$

الحل:

لحساب قيمة الميل العرضي الأعظمي من العلاقة:

$$i = \frac{v^2}{127R} - \mu = \frac{120^2}{127 * 1500} - 0.15 = 0.08$$

يحسب فرق الارتفاع بين الحافة الداخلية أو الخارجية بالنسبة لمحور الطريق:

$$H_1 = \frac{b}{2} * i = \frac{7.50}{2} * 3\% = 11.25\ cm$$

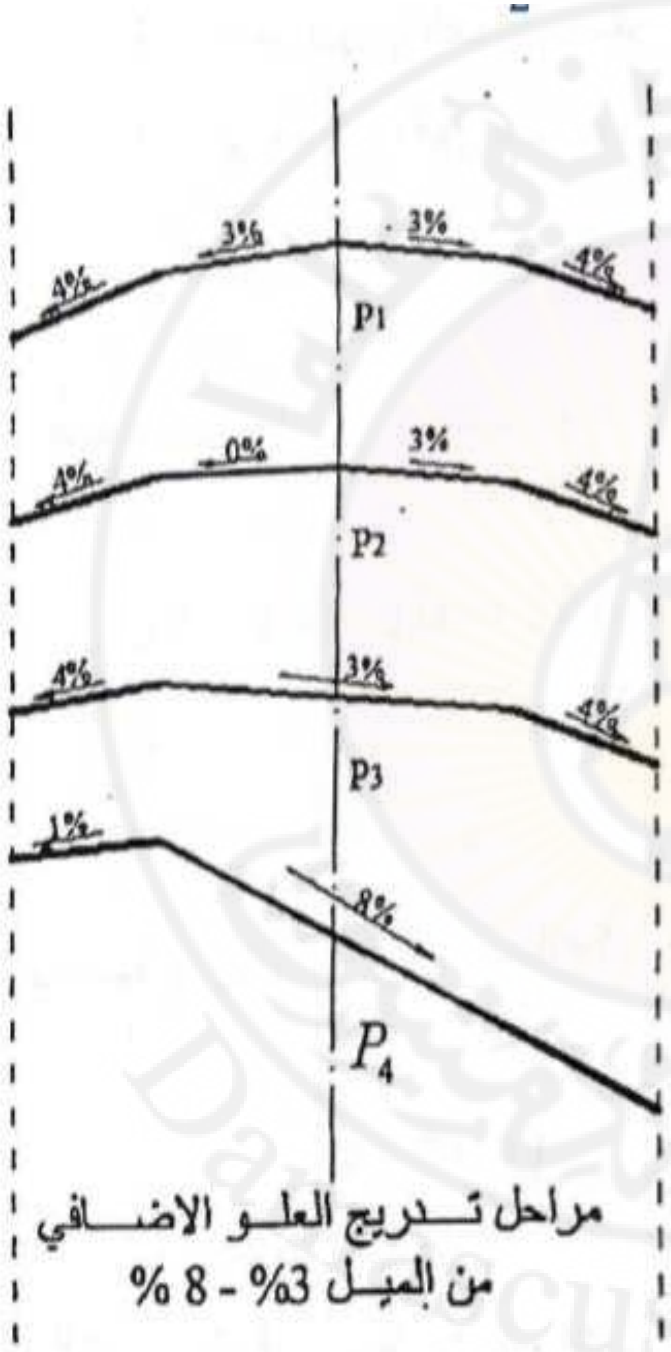
يمثل الرقم السابق فرق الارتفاع بين المحور والحافة الداخلية بينما تنطبق الحافة الداخلية للمسار الداخلي مع الحافة الخارجية للمسار الخارجي (المقطع P1-P2) هو نفسه عند المقطع P1.

عند المنعطف P3:

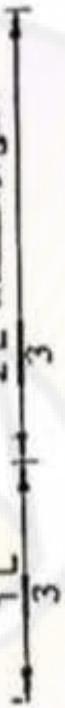
$$H_2 = b * i = 7.50 * 3\% = 22.50cm$$

عند المنعطف P4:

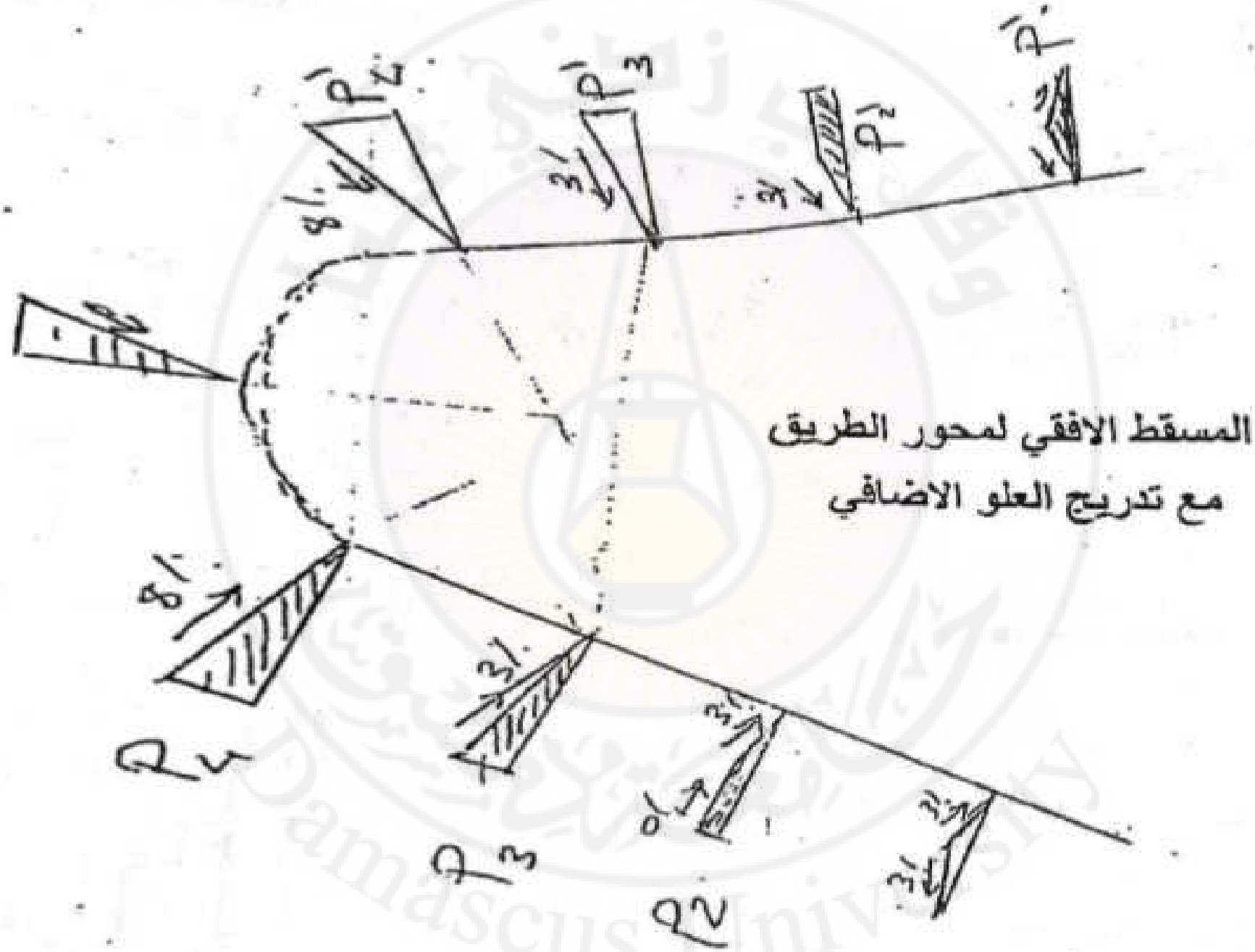
$$H_3 = \frac{b}{2} * i_T = \frac{7.50}{2} * 8\% = 30cm$$



مراحل تـــدريج العلـــو الاضـــافي
من الميـل 3% - 8 %



تغـــير مناســـيب اطراف
الغطـاء بالنســـبة للمحـور



المسقط الافقي لمحور الطريق
مع تدريج العلو الاضافي

مثال 2:

طريق من الدرجة الثانية بحارتي مرور 2*3.75m وبميل عرضي 2%، تم استخدام نصف قطر منحني دائري R=2000m والسرعة التصميمية v=120 km/h وعامل القوة الجانبية $\varphi = \mu = 0.12$ والمطلوب:

1. إيجاد قيمة الميل الأعظمي عند العلو الإضافي؟؟
2. تغير مناسيب أطراف الغطاء وتدرج العلو الإضافي من 2% حتى الميل الأعظمي؟

الحل:

لحساب قيمة الميل الأعظمي من العلاقة:

$$i = \frac{v^2}{127R} - \mu = \frac{120^2}{127 * 2000} - 0.12 = 0.06$$

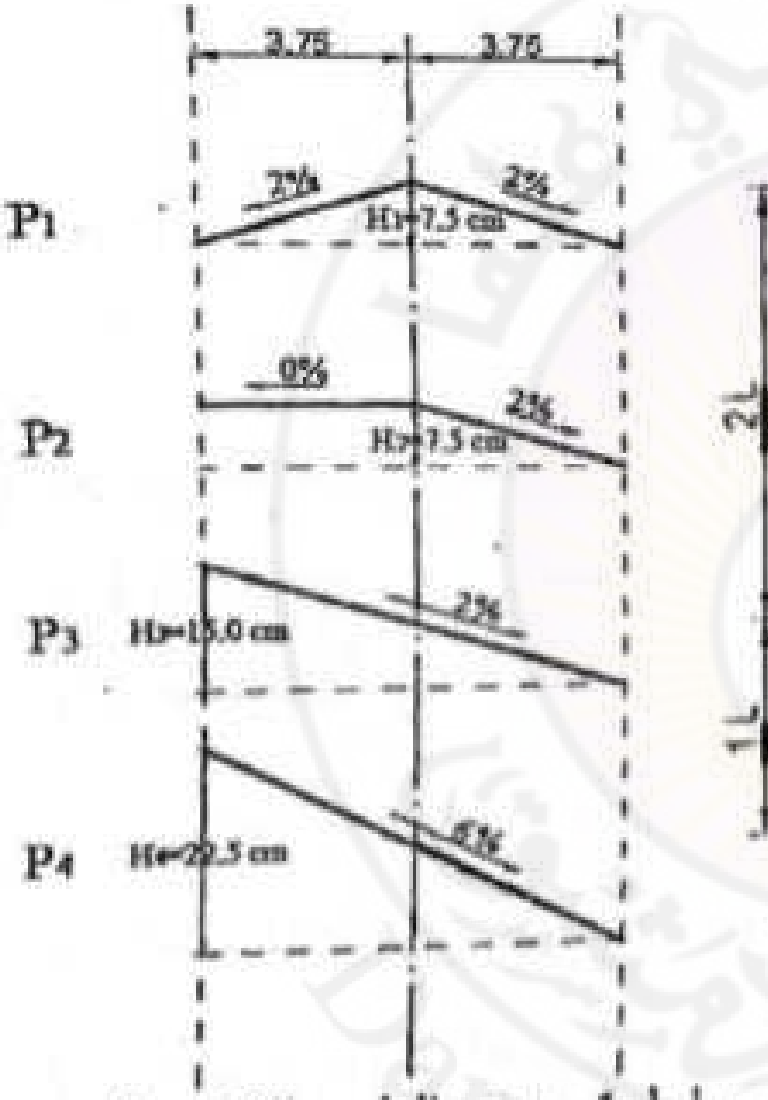
تغير مناسيب الأطراف:

المقطع P1: $H_1 = \frac{b}{2} * i = \frac{7.50}{2} * 2\% = 7.5\ cm$

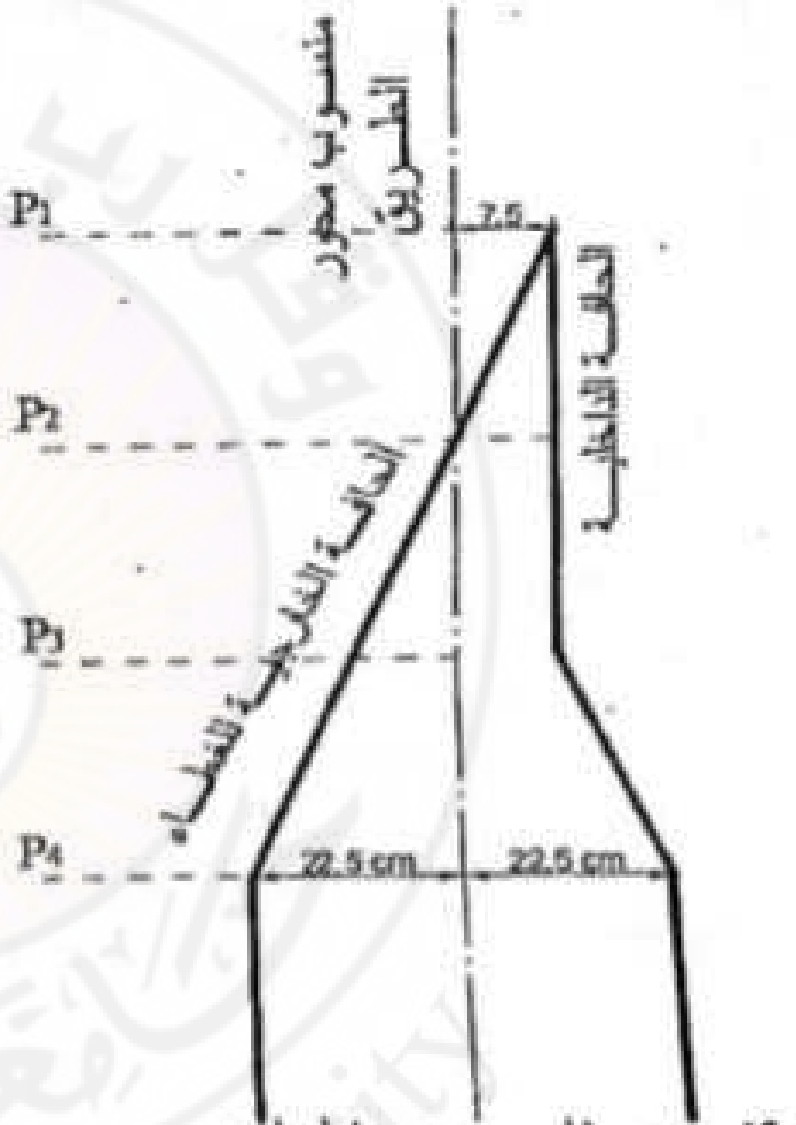
المقطع P2: $H_2 = \frac{b}{2} * i = \frac{7.50}{2} * 2\% = 7.5\ cm$

المقطع P3: $H_3 = b * i = 7.50 * 2\% = 15\ cm$

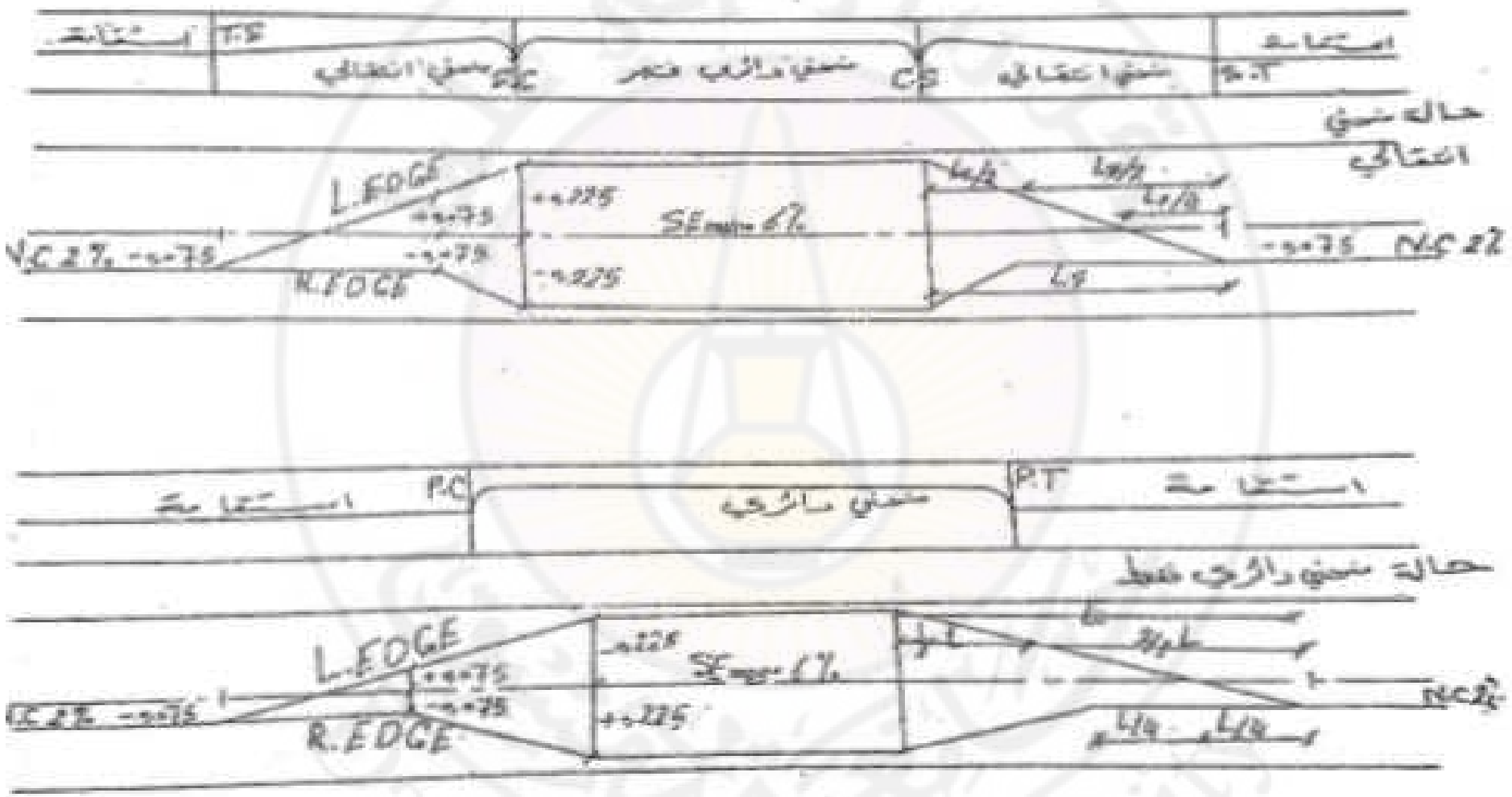
المقطع P4: $H_3 = \frac{b}{2} * i_T = \frac{7.50}{2} * 6\% = 22.50 cm$



مراحل تدريج العلو الاضافي من الميل 2% - 6 %



تغير مناسيب اطراف الغطاء بالنسبة للمحور


T.S
S.C
C.S
حالة منحنى دائري فقط
L.EDGE
R.EDGE
P.C
P.T

جامـــعة دمـــشق
كليـــــة الهندسة المدنية
قسم هندسة النقل ومواد البناء

تصميم المقطع العرضي

المحاضرة 14

هندسة الطرق

محتوى المحاضرة:

اصطلاحات وتعاريف

خطوات رسم المقطع العرضي

اصطلاحات وتعاريف:

المقطع العرضي للطريق: هو المخطط المرسوم بتصغير معين للشكل الناتج عن قطع الطريق بمستوي شاقولي عمودي على محور الطريق.

تسمى الشريحة من الطريق والتي تسير عليها السيارات **بغطاء الطريق** ويجاوره من كل طرف **الأكتاف الجانبية** "بانكيت"

يتبع شكل المقطع العرضي لغزارة المرور على الطريق في الحاضر والمستقبل وهنا يأتي دور المهندس الذي يقدر غزارة المرور من أجل المستقبل، فيقوم بتنفيذ الجزء الضروري واللازم من عرض الطريق لاستقبال الغزارة الحالية ومن ثم يستطيع التوسع كلما ازدادت الغزارة مع الزمن.

ويمكننا القول بأن المقطع العرضي تابع لمتحولين اثنين:

1. تكاليف المقطع العرضي.
2. تكاليف الاستثمار.

لذلك عند دراسة المقطع العرضي يجب أن تحقق الدراسة الشروط التالية:

1. إعطاء العرض الكافي لتصريف القوافل بأسرع ما يمكن.
2. أن يكون هناك استمرارية في شكل المقطع العرضي حتى لا يتعرض السائق لتغير سرعته بشكل مفاجئ
3. أن يكون المقطع العرضي للطريق مقارباً بجميع الأحوال الطبيعية "تبع لاختلاف الطقس"
4. الجدول التالي يبين عناصر المقطع العرضي تبعاً لدرجة الطريق:

عناصر الطريق في المقطع العرضي	درجة الطريق				
	1	2	3	4	5
عدد حارات المرور	4	2	2	2	1
عرض الحارة الواحد m	3.75	3.75	3.50	3.00	
عرض الغطاء ((الشوسيبه))	15	7.5	7	6.0	4.5
عرض الكتف ((البانكيت))	3.75	3.75	2.5	2.0	1.75
عرض الجزيرة المنصفة	5				
عرض الطابق الترابي الأدنى	27.5	15	12	10	8

يتم إنشاء الطابق الترابي في حالتي الحفر والردم مع الخنادق الجانبية التي تقوم بتصريف مياه الأمطار عن سطح الطريق لأن المياه تؤثر على الطابق الترابي إذ يضعف مقاومة التربة.

كما ويتم إعطاء غطاء الطريق ميول جانبية لتصريف مياه الأمطار وهي تتبع لعرض الغطاء نوع مادة الطريق وحالة المنطقة وعادة بين 2-3% ، أما البانكيت فيعطي ميلاً جانبية تتراوح بين 3-4% وذلك لتصريف مياه الأمطار إلى الخنادق الجانبية.

وسنحدد عناصر المقطع العرضي الرئيسية:

مقطع عرضي نموذجي لطريق من الدرجة I

مقطع عرضي نموذجي لطريق من الدرجة II, V

بعد رسم المقطع الطولي "خط المشروع" حيث موضح عليه الحفر و الردم حيث نعتمد على منسوب سطح الإسفلت عند محور الطريق لرسم محور المقطع العرضي بعد معرفة ميول الحفر والردم كما يلي:

حالة الردم:

حالة الردم :

ارتفاع الردم (m)	الميل الجانبي
$1.25 - 1$	$1:6 \rightarrow 1:4$
$3.0 > H > 1.25$	$1:3 \rightarrow 1:2$
$H > 3 - 7$	$1:1.5$

حالة الحفر:

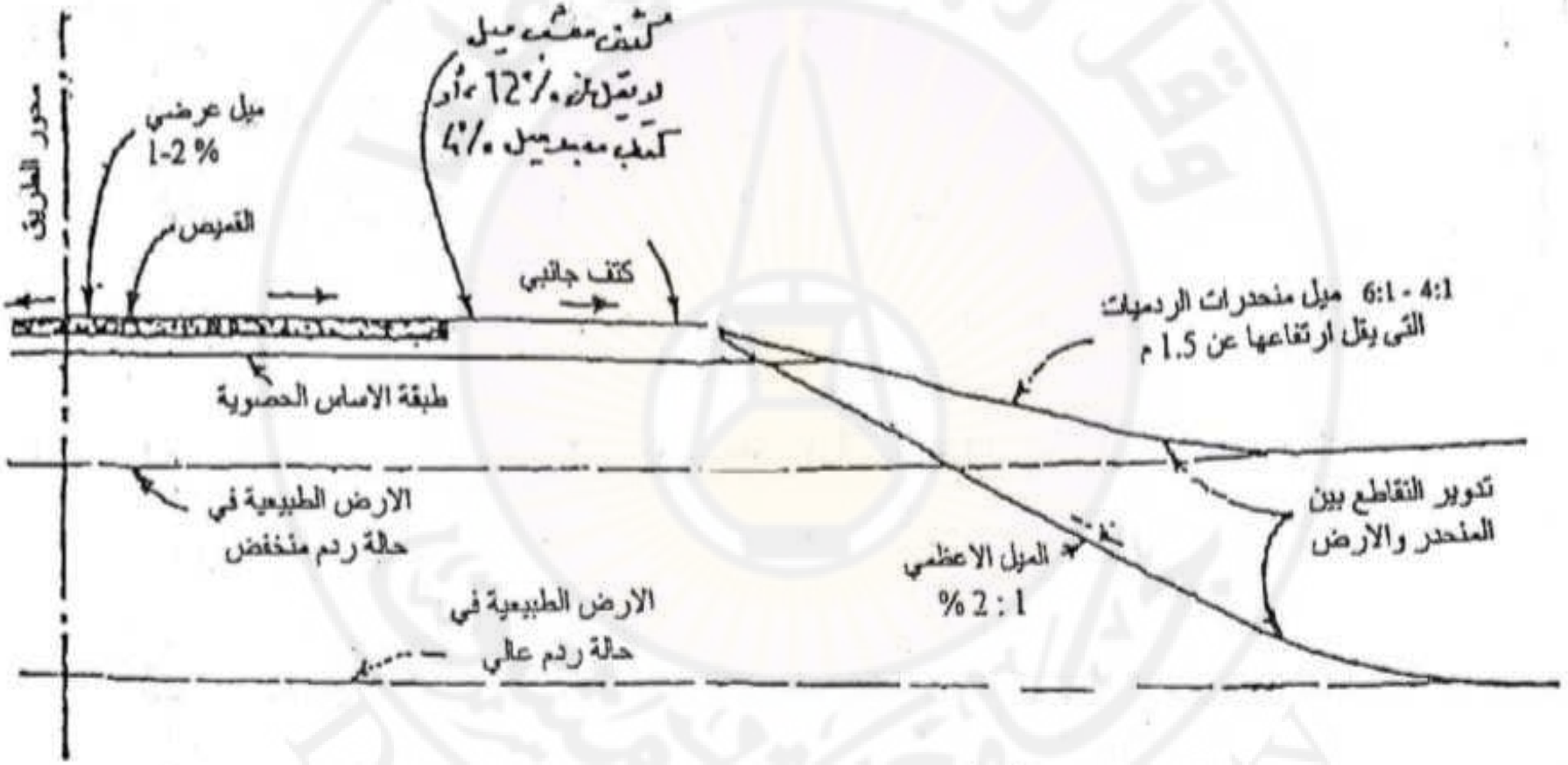
1. يجب مراعاة التربة التي ستحفر بها، وغالباً الحفر في المناطق الجبلية (التربة الصخرية)
2. يمكن أن تكون ميول المنحدرات نفس الميول التي في حالة الردم إذا كانت التربة عادية.
3. أما في حالة التربة الصخرية فتبعاً لنوع الصخور:

1:1 أو 1:0.5 وقد تصل إلى 1:0.3

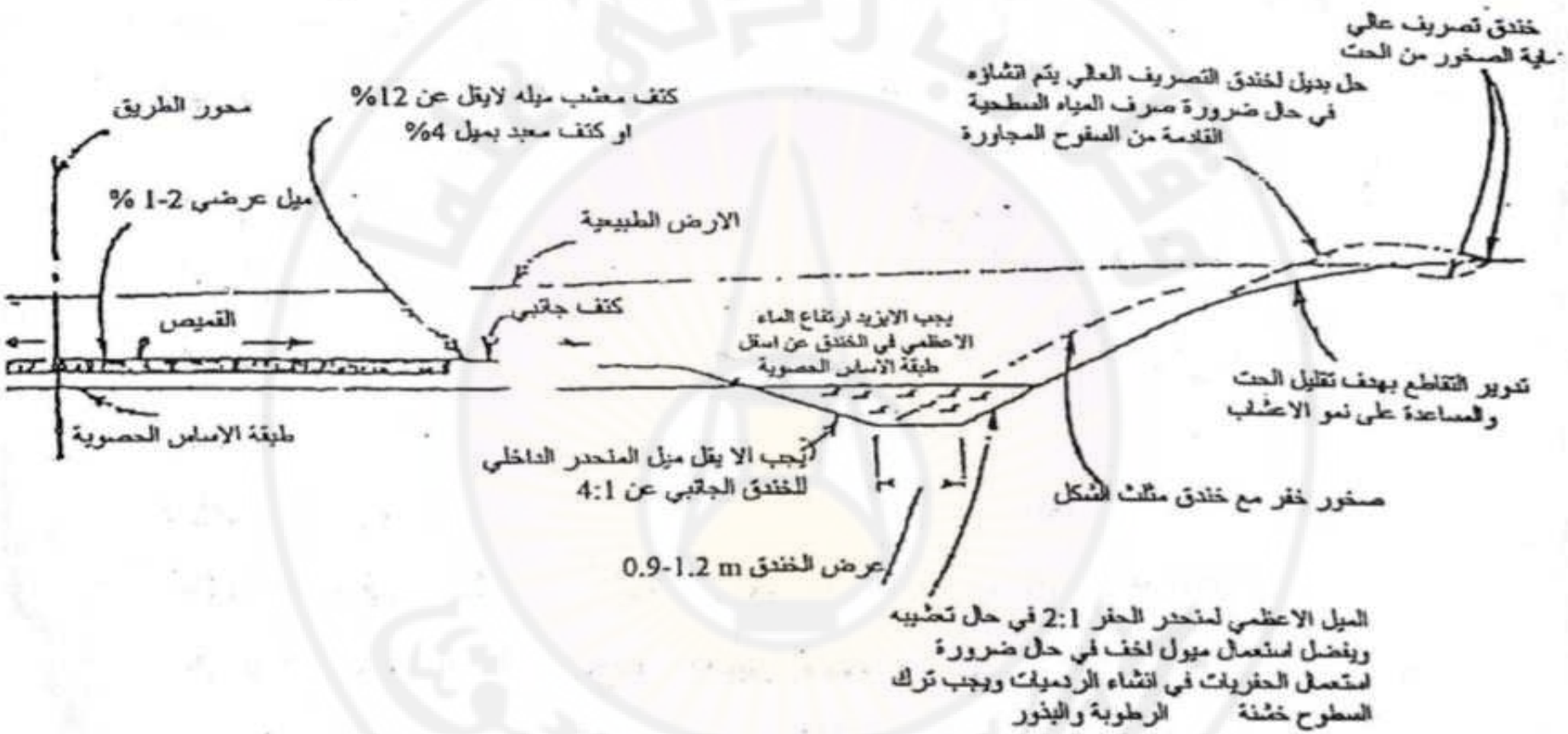
4. أما إذا زادت الارتفاعات عن 7m فيجب حساب توازن المنحدرات حسب ميكانيكية التربة.

وفي كلا الحالتين (الحفر و الردم) يجب تنفيذ خنادق جانبية لتصريف مياه الأمطار طولياً، إن عمق هذه الخنادق في مناطق الحفر يجب ألا يزيد عن 0.5 m من أسفل طبقات الرصف وإن الميول الجانبية لتلك الخنادق بصورة عامة 1:6.

يبين الشكل التالي المقاطع العرضية النموذجية ذات التصريف الجيد:



الشكل 1-8 المقاطع العرضية النموذجية للطرق
ذات التصريف الجيد _ حالة الردم



الشكل 1-8 المقاطع العرضية النموذجية للطرق ذات
التصريف الجيد _ حال الحفر

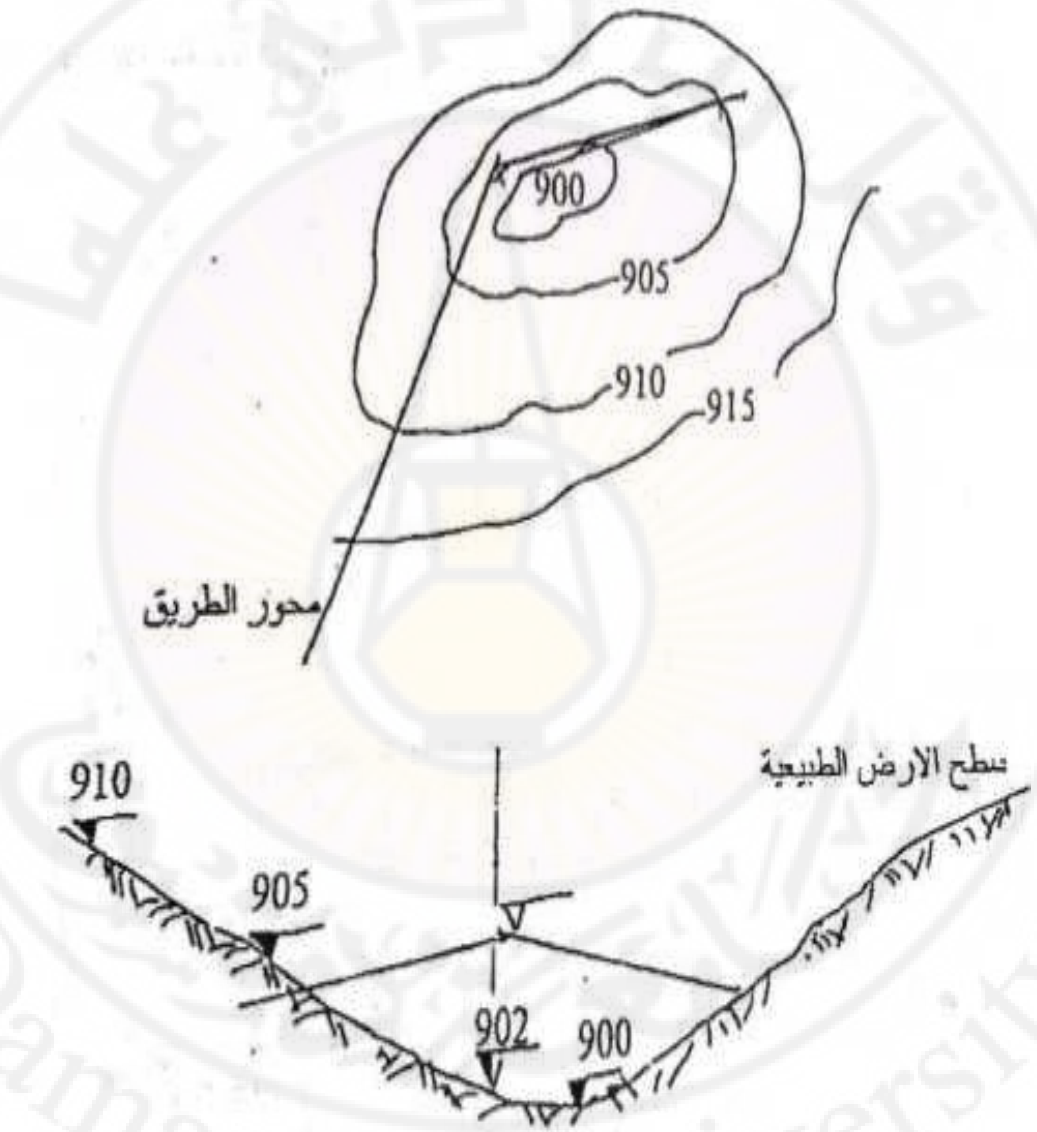
خطوات رسم المقطع العرضي:

إن رسم المقطع العرضي للطريق لا يكون لكل الطريق "كالمسقط الأفقي أو المقطع الطولي" وإنما يكون لكل مقطع من الطريق مختلف عن المقاطع الأخرى، ولتحديد هذه المقاطع وللسهولة نرسمها عند كل وتد..

رسم محور الطريق على المسقط الأفقي وذلك لمعرفة منسوب الطريق وتحديد مساره بين خطوط التسوية.

فإذا طلب المنسوب عند النقطة المبينة بالشكل جانباً فيمكننا حساب المنسوب عندها مع منسوب الأرض الطبيعية مع منسوب محور الطريق فيصبح شكل المقطع العرضي كالتالي:

نرمز للوتد الذي يبعد عن بداية الطريق مثلاً بـ 50m بالوتد ST_{50} وللوتد الذي يبعد مسافة 30m بالرمز ST_{27+30} ST_{27}


900
905
910
915
محور الطريق
910
905
902
900
سطح الارض الطبيعية

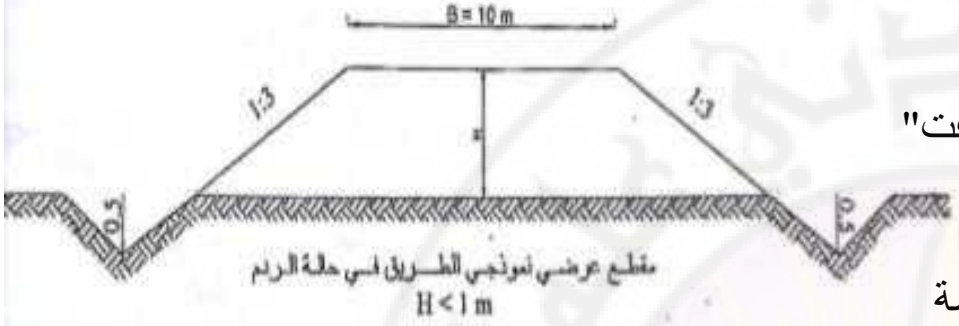
ملاحظات:

منسوب محور الطريق نجده من المقطع الطولي "منسوب الزفت"

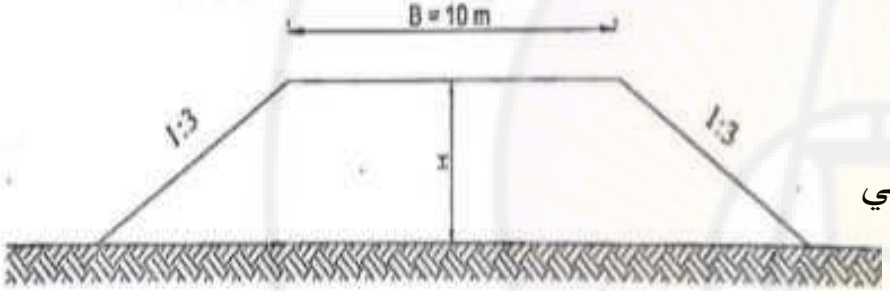
الأكتاف الجانبية تستخدم لتمكين السيارات من إجراء عمليات الانعطاف والدوران كما تستخدم لوضع المواد الإنشائية اللازمة لإصلاح الغطاء.

الميول الجانبية تستخدم للوصل بين المنسوب الجديد للطريق ومنسوب الأرض الطبيعية وذلك لمنع انحدار التربة على جانبي الطرق نتيجة الحفر أو الردم.

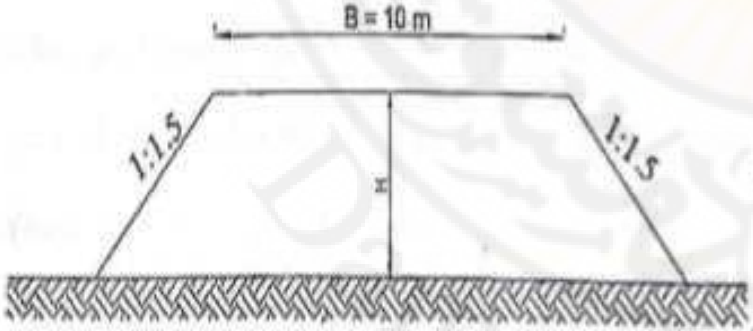
خنادق التصريف تستخدم لتصريف المياه عن الطريق بشكل طولي بعد هطول الأمطار فمثلاً يراد تصميم طريق من الدرجة الرابعة لذلك فأن عدد المسارات هو 2 وعرض المسار الواحد هو 3m وعرض الغطاء 3m وعرض البانكيت 2m بالتالي عرض الطابق الترابي 10m, i=2% وتبين الأشكال المقاطع النموذجية العرضية في حالتي الحفر و الردم.



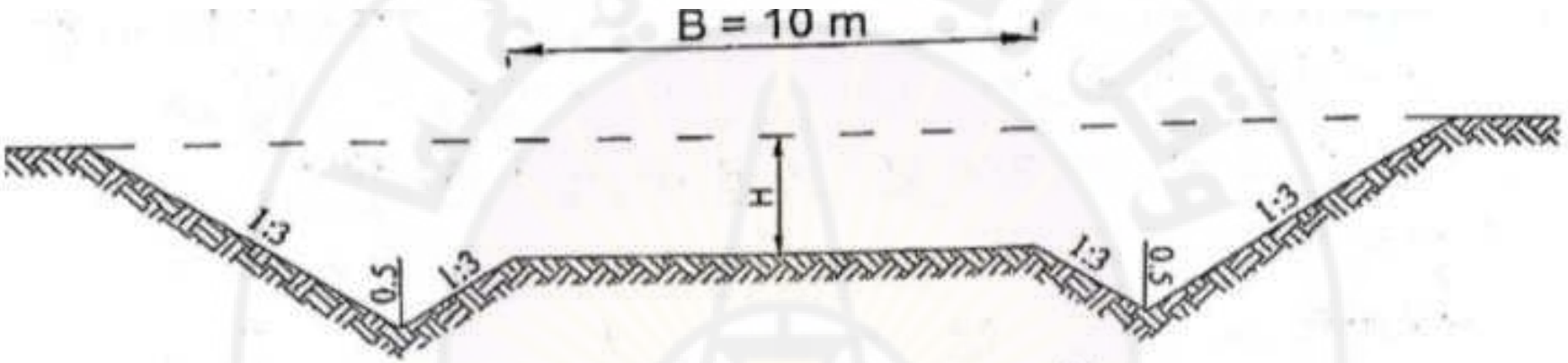
مقطع عرضي نموذجي للطريق في حالة الردم
H < 1 m



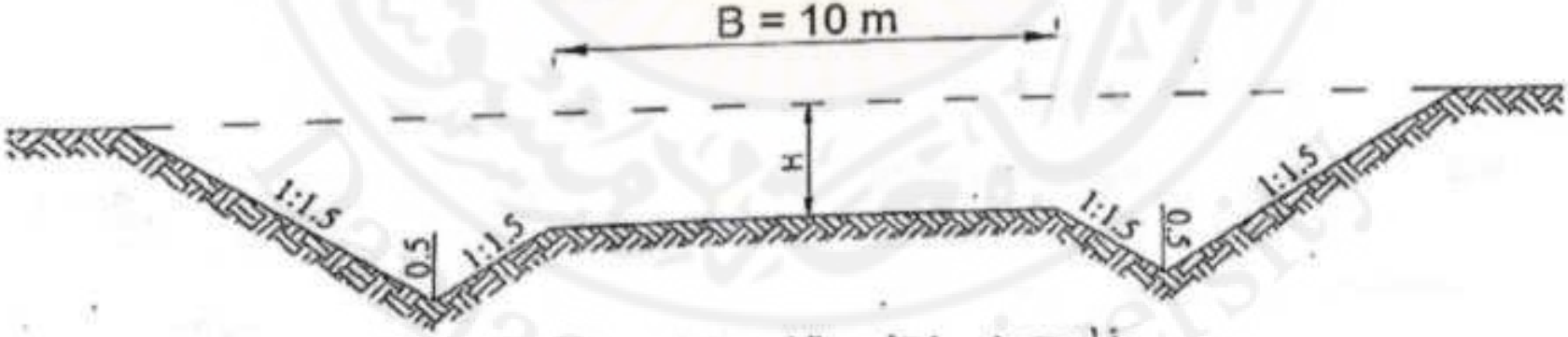
مقطع عرضي نموذجي للطريق في حالة الردم
1 < H < 3 m



مقطع عرضي نموذجي للطريق في حالة الردم
3 < H < 7 m



مقطع عرضي نموذجي للطـــريق فـــي حالة الحفـــر
$H \leq 1$ m



مقطع عرضي نموذجي للطـــريق فـــي حالة الحفـــر
$7m > H > 1m$