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

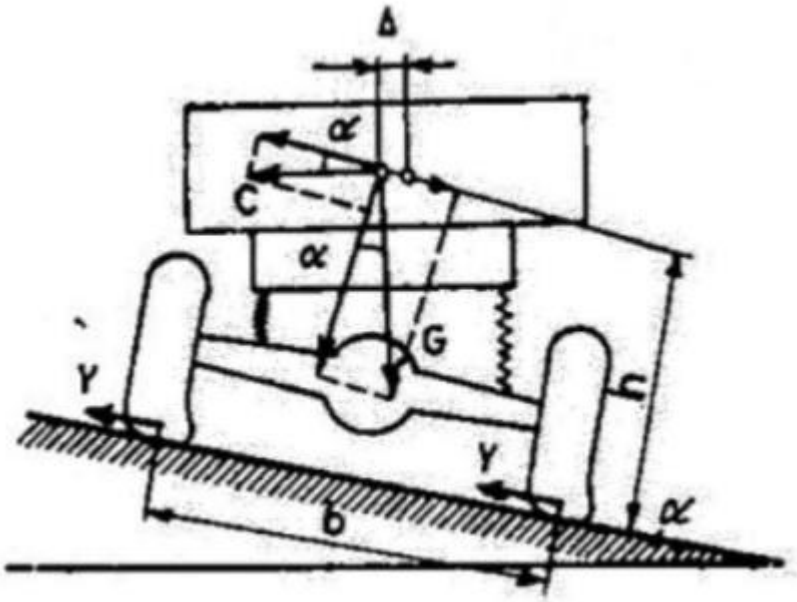
تخضع السيارة التي تتحرك على منحني أفقي من طريق، نصف قطره R

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 السليبة 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:

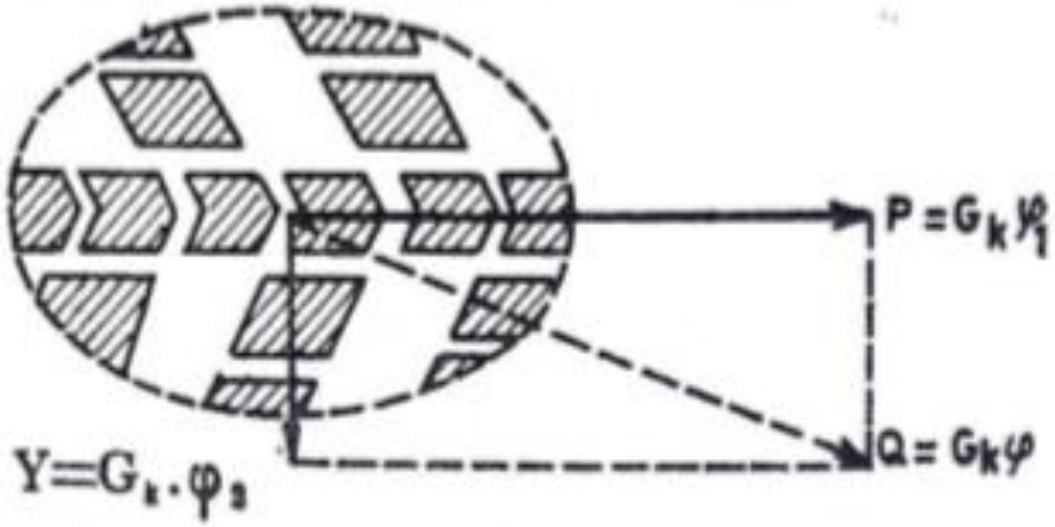
لكي نتمكن من استخدام معادلة نصف القطر بشكل عملي يجب تحديد القيم المسموحة لعامل القوة الجاذبية، حيث أنه يؤدي تاثير القوة الجانبية في السيارة أثناء تحركها على منحني ذو نصف قطر صغير إلى عدة عوامل.

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

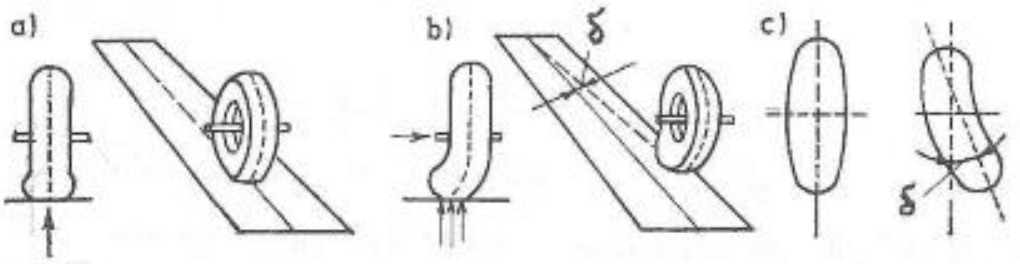
3- تأمين راحة الركاب أثناء السفر:

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	-	-	-
انصاف الأقطار الاصغرية في الاجزاء الصعبة من الطريق (م)	في المناطق السهلية	1200	800	600	300	150	100	60	30
	في المناطق الجبلية	1000	600	400	250	125	100	60	30