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 :

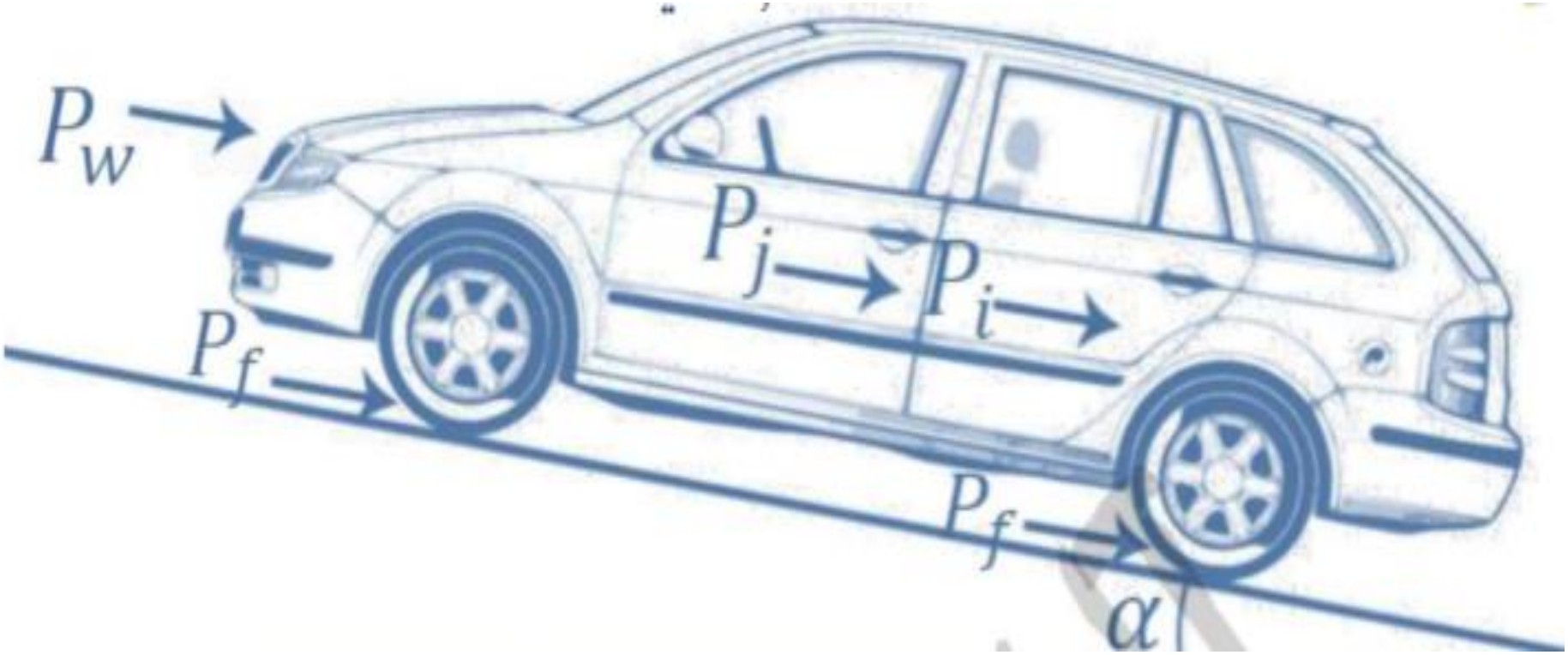
كي تسير السيارة للأمام على طريق صاعد يجب أن تتغلب قوة الجر التي يعطيها المحرك للدواليب القائدة التي تحرك السيارة على القوى المقاومة لحركة السيارات التي تعاكسها.

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:

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

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 $K_d = C.\rho$ نيوتن . ث^2/م^4	المساحة الجبهية ω 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.

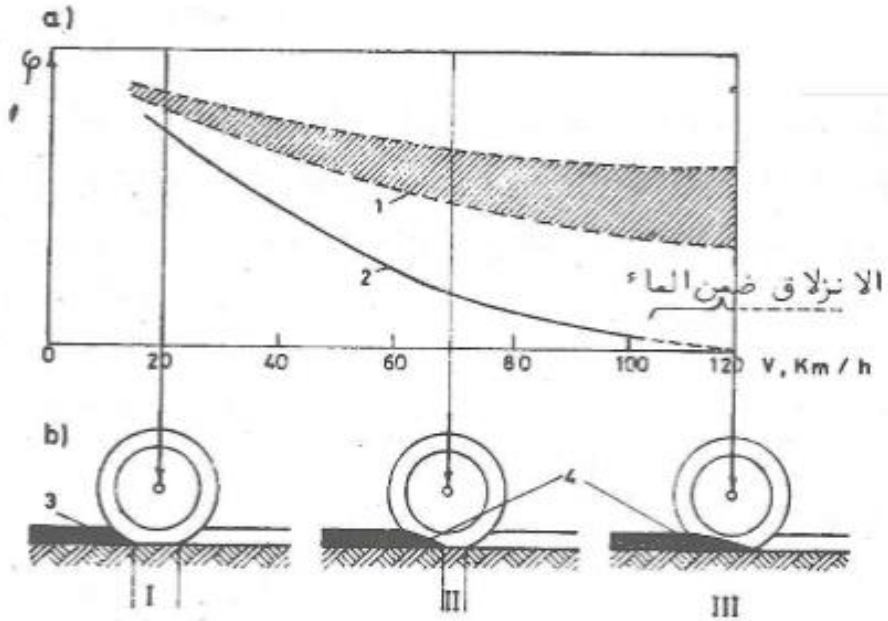
- كما يوجد اسباب اخرى تقلل احتكاك سطح الطريق مع الدواليب مثل: تبلل سطح الطريق أو امتلاء النتوءات بالأوساخ.

- 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 اكبر 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 $\frac{P_W}{G} = 0$

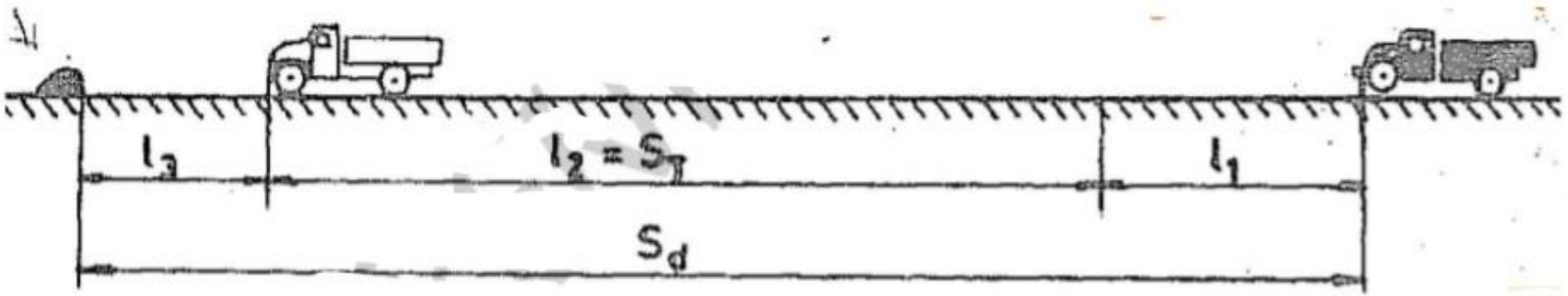
الأمر الذي يؤثر في نتائج الحساب بخطأ لا يتعدى نسبته 5%, وعليه تصبح المعادلة بالشكل التالي:

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

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.