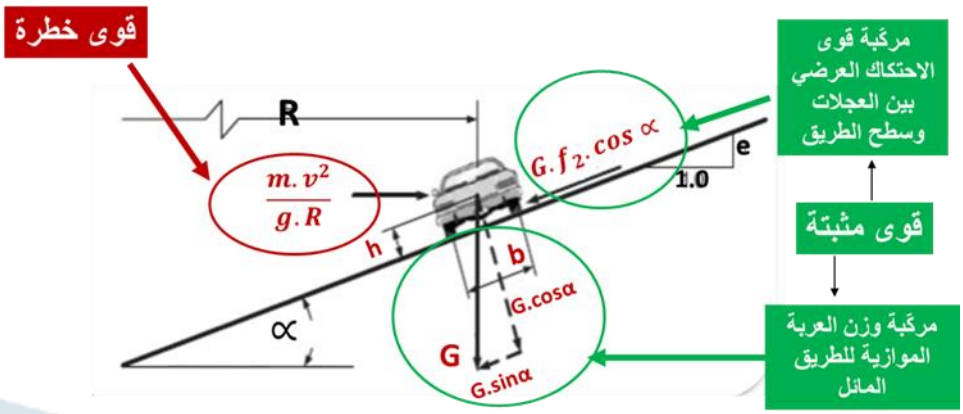
الأخطار الناتجة عن عدم توازن العربة أثناء الحركة

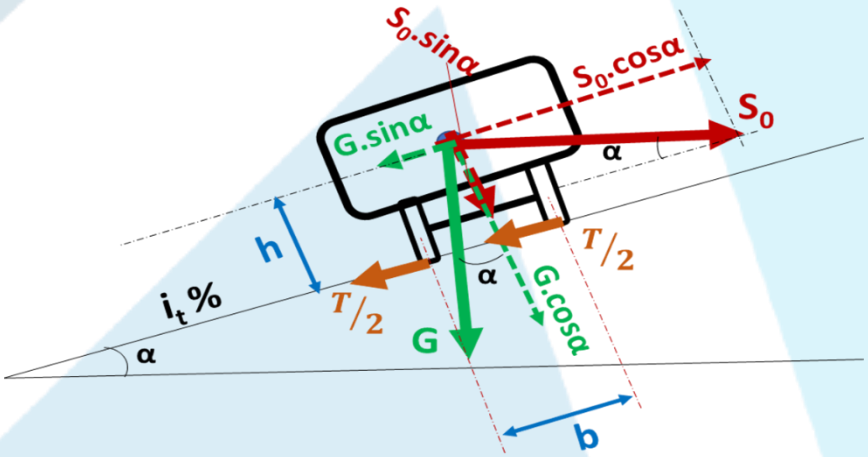
- خطر الانزلاق إلى خارج المنعطف وإلى داخل المنعطف
- خطر الانقلاب
- عطل مفاجئ في العربة
- تغيير مفاجئ في وضع الحمولات
- تأثير لبعض القوى الجانبية المفاجئة من رياح وغيرها.

تؤثر في توازن المركبات عند دخولها في المنعطفات نوعان من القوى:



1- خطر الانزلاق إلى خارج المنعطف:

وهو الخطر الأكبر على العربة عند تحركها على منعطفات بأنصاف أقطار صغيرة، وبتحليل القوى المؤثرة على حركة العربة وفق محورين، الأول هو المحور الموازي للميل العرضي، والمحور الثاني هو المحور العمودي عليه، نستنتج المعادلة التالية:



(مركبة قوى الاحتكاك المماسية + مركبة وزن المركبة على سطح الطريق) ≤ مركبة القوة النابذة

$$S_o.\cos\alpha - G.\sin\alpha \le f_2.(S_o.\sin\alpha + G.\cos\alpha)$$

$$S_o = \frac{G.v^2}{g.R}$$

عامل الإحتكاك العرضاني ويؤخذ من جدول خاص

وزن العربة

بتفسيم طرفي المعادلة على **cos α** واستبدال **tg α=i_t%** مع إهمال الجداء **f_2.G** لأن قيمته صغيرة، واعتبار **i_t**- الميل العرضي للطريق، نحصل على المعادلة التي تعتبر الأهم بالنسبة لتوازن العربات عند حركتها على المنعطفات بسرعات معينة:

$$v \le 11.27\sqrt{\frac{i_t + f_2}{1 - f_2.i_t}R}$$

السرعة العظمى ، كم / سا

نصف قطر المنعطف بالأمتار

عامل الإحتكاك العرضاني ويؤخذ من الجداول

الميل العرضي في المنعطف وتساوي قيمته 0.1-0.06

حيث:

v – السرعة العظمى بالـ km/h ، فإذا كانت 100km/h فما فوق أخذنا قيمة السرعة 3/4 من قيمة السرعة في الاستقامة، أما إذا كانت أقل من 100km/h فإننا نأخذ نفس السرعة في المنعطف.

i_t - الميل العرضاني في المنعطف و تتراوح قيمته بين 0.06 وبين 0.10 بصورة عامة.

أما من أجل حساب قوى الاحتكاك الانزلاقية بين عجلات العربة وسطح الطريق في الاتجاه العرضاني، فإنه لابد من تحقيق المعادلة التالية:

$$T \ge S_0.\cos\propto - G.\sin\propto \Rightarrow T$$

قوى الاحتكاك الانزلاقية بين عجلات العربة وسطح الطريق في الاتجاه العرضاني وتقدر بالنيوتن

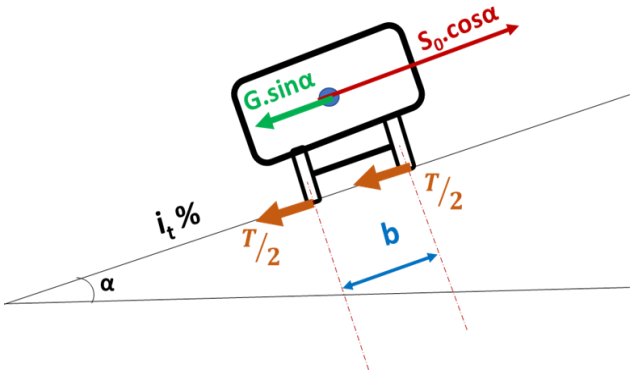
$$G.f_2 \ge \frac{G}{g}.\frac{v^2}{R}.\cos\alpha - G.\sin\alpha$$

السرعة، م/ثا

$$R_{min} \geq \frac{v^2}{g(f_2 + i_t)}$$

السرعة، كم/سا

$$R_{min} \geq \frac{v^2}{127(f_2 + i_t)}$$



R_{min} – نصف القطر الأصغري للمنعطف ، m

g – تسارع الجاذبية الأرضية.

f_2 - عامل الإحتكاك العرضاني

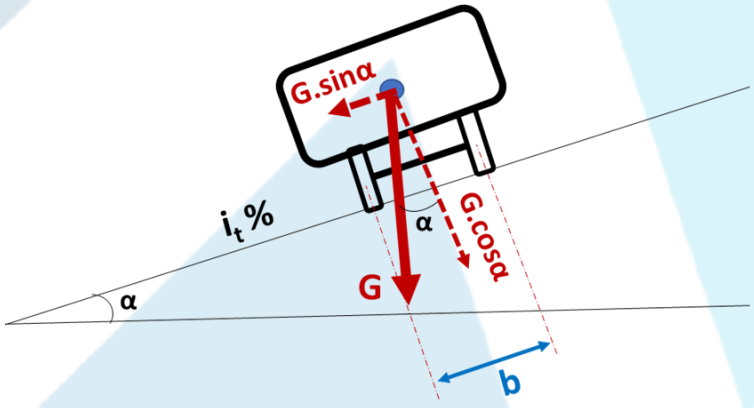
i_t – الميل العرضي للطريق في المنعطف

2- خطر الانزلاق إلى داخل المنعطف:

يجب أن تتحقق المعادلة التالية للمحافظة على توازن العربة:

$$G.\sin\alpha \leq f_2.G.\cos\alpha$$

$$tg\alpha = i_t \leq f_2$$

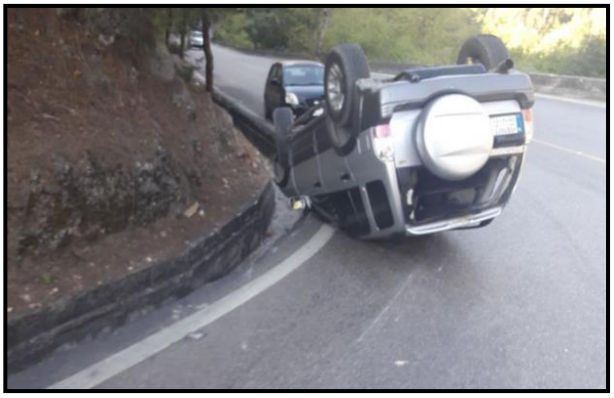


أي أن الميل العرضي الأعظمي للطريق يجب أن يكون أصغر أو يساوي من قيمة عامل الاحتكاك العرضاني، وإذا اعتبرنا أن الحالة الخطيرة هي حالة الحركة على الجليد، حيث أن عامل الاحتكاك العرضاني يساوي 0.1 وبالتالي فإن:

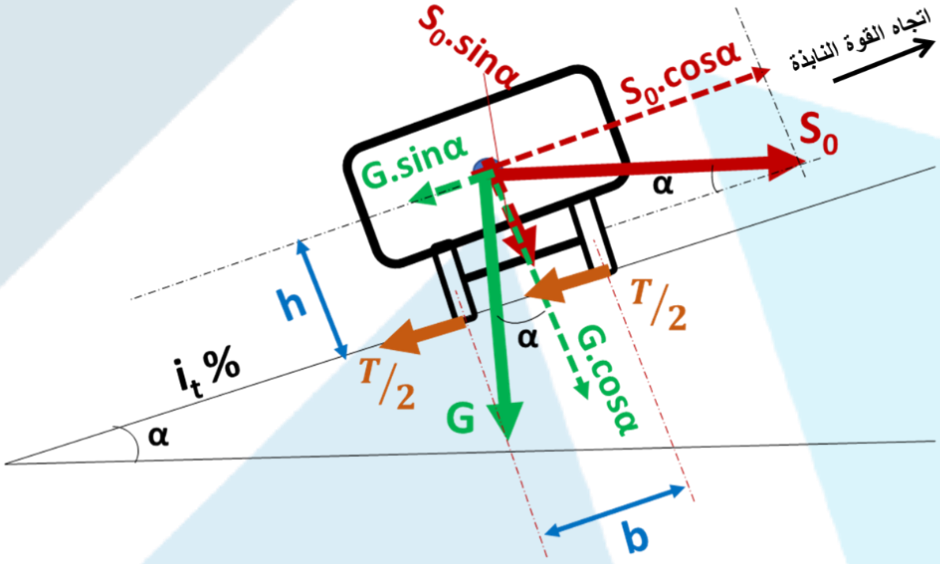
$$i_{t\max} \leq 10\%$$

3- خطر الانقلاب

لحساب ثبات العربة ضد الانقلاب عند سيرها في المنعطف، أي عندما تخضع لقوى نابذة، فإننا ننطلق من شروط توازن عزوم القوى المؤثرة في مراكز سطح التماس بين العجلات (الداخلية والخارجية بالنسبة للمنعطف) وسطح الطريق.



$$(S_o.\cos\ \alpha - G.\sin\ \alpha).h \leq (G.\cos\ \alpha + S_o.\sin\ \alpha).\frac{b}{2}$$



قيمة نصف القطر الموافقة لعدم حصول انقلاب أثناء الحركة على المنعطفات:

$$R \geq \frac{v^2(2h - i_t.b)}{g(b + 2i_t.h)}$$

$$\frac{b}{2} \geq i_t.h$$

وتتراوح النسبة b /h 1.8 -2.5

الميل العرضي للمنعطف

عندما يكون الميل العرضي للمنعطف كبيراً وسرعة العربات في المنعطف صغيرة وخاصةً للعربات الشاحنة ذات الحمولات العالية..... يحدث الانقلاب.

مثال (1):

احسب قوة الجر اللازمة لتسير عربة على طريق يبلغ وزنها 1250 kg ، واحسب السرعة النظرية لهذه العربة، إذا علمت أن استطاعة محرك العربة 140 حصان بخاري، عند عـــــــدد دورات الكرنك 4300 دورة / دقيقة، وأن نصف قطر دولاب العربة r_0 = 38 cm، اما نسبة التخفيض في علبة السرعة وفي جهاز نقل الحركة الرئيسي فهي 0.9، وعامل التأثير الديناميكي في العربة 0.85.

$$r_k = \lambda . r_0 = 0.93 * 0.38 = 0.35m$$

قوة الجر اللازمة:

$$Pp = 716.2 * \frac{N_e * i_k * i_0 * \eta}{n_e * r_k} = 716.2 * \frac{140 * 0.9 * 0.9 * 0.85}{4300 * 0.35} = 45.87\ kg.f$$

$$M_k = p_p * r_k = 45.87 * 0.35 = 16.05\ kg.m$$

سرعة دوران الدولاب:

$$n_k = n_e * i_0 * i_k = 4300 * 0.9 * 0.9 = 3483 \text{ دقيقة/دورة}$$

سرعة العربة هي المسافة التي يقطعها الدولاب في واحدة الزمن:

$$v = \frac{2\pi * r_k * n_k}{60} == \frac{2 * 3.14 * 0.35 * 3483}{60} = 127.6\ m/sec$$

قوة الجر اللازمة:

$$f_t = \frac{75 * N_i * Z}{v} = \frac{75 * N_e * \eta * Z}{\frac{2\pi * r_k * n_k}{60}} = \frac{75 * 140 * 0.85 * 0.9}{\frac{2\pi * 0.35 * 4300}{60}} = 51\ kg.f$$

مثال (2):

ماهو مقدار عزم الدوران المطبق على دولاب عربة يبلغ وزنها 1500 kg_f، وماهي قيمة السرعة التي تسير بها العربة نظرياً، إذا علمت أن استطاعة محركها 200 حصان بخاري، وعدد دورات الكرنك فيها 3000 دورة / دقيقة، أما نصف قطر الدولاب فهو r_0=40 cm، وأن نسب التخفيض تساوي 0.85، ومعامل المردود الميكانيكي 0.9.

$$r_k = \lambda * r_0 = 0.9 * 0.40 = 0.37\ m$$

قوة الجر اللازمة:

$$p_p = 716.2 * \frac{N_e * i_k * i_0 * \eta}{n_e * r_k} = 716.2 * \frac{200 * 0.85 * 0.85 * 0.90}{3000 * 0.37} = 83.9\ kg.f$$

عزم الدوران المطبق على الدولاب:

$$M_k = p_p * r_k = 83.9 * 0.37 = 31.04\ kg.m$$

عزم الدوران النظري على الدولاب:

$$M_e = \frac{M_k}{i_0 * i_k * \eta} = \frac{31.04}{0.85 * 0.85 * 0.9} = 47.7\ kg.m$$

السرعة التي تسير بها العربة نظرياً:

$$v = 0.377 * r_k * n_e * i_k * i_0 = 0.377 * 0.37 * 3000 * 0.85 * 0.85 = 302.3 km/h$$

مثال (3):

تسير عربة على منعطف يبلغ نصف قطره 150 m وبسرعة تصميمية مقدارها 60 Km/h ، فإذا علمت أن وزن العربة 1500 Kg_f، احسب ما يلي:

1- قيمة القوة النابذة المؤثرة على العربة عند تحركها على المنعطف بالنيوتن.
2- قيمة نصف القطر الأصغري المطلوب لتأمين الرؤية الكافية خلال سيرها ليلاً، إذا علمت أن مسافة الرؤية للتوقف 85m.

قيمة القوة النابذة المؤثرة على المنعطف:

$$s_0 = m * \frac{v^2}{R} = \frac{G}{g} * \frac{v^2}{R} = \frac{1500 * 9{,}81}{9{,}81} * \frac{16{,}67^2}{150} = 2778{,}89N$$

نصف القطر الأصغري:

$$R_{min} = 15 * L_3 = 15 * 85 = 1275m > 150m$$

أي أن نصف القطر المذكور للمنعطف لا يحقق مسافة الرؤية للتوقف ليلاً.

مثال (4):

تسير عربة بوزن 1500 كغ ثقلي على أغطية بحصية مقواة بالبيتومين ذات سطح مستوي وعلى ميل صاعد تبلغ قيم ميوله 4% وبسرعة تساوي 80Km/h في منطقة تبلغ سرعة الرياح فيها 40 Km/h وبعكس اتجاه الحركة، فإذا علمت أن قيمة التسارع النسبي للعربة j=0.013 ، ماهي قيمة العامل الديناميكي للعربة المتحركة بهذه السرعة، وماهي قيمة قوة الجر التي يجب صرفها للتغلب على مقاومات الحركة المذكورة، (كثافة الهواء تساوي 1.2 كغ/ $م^3$ ، عامل مقاومة الوسط الهوائي C=0.5، المساحة الجبهية للعربة 2 متر مربع.

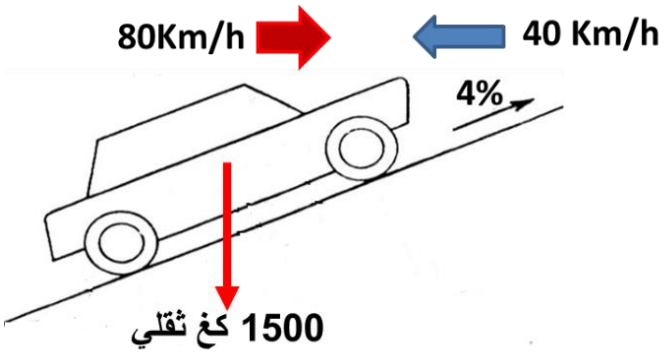
1- المقاومة الناتجة عن دوران الدواليب:

$$p_F = G.f$$

نستنتج قيمة العامل f عامل مقاومة دوران الدواليب **0.02**

$$p_F = 1500 * 0.02 = 30\ Kgf$$

نوع الغطاء	عامل مقاومة دوران الدواليب f
غطاء بيتوني أو إسفلتي	0.01 – 0.02
أغطية بحصية أو زلطية مقواة بالبيتومين ذات سطح مستوي	0.02 – 0.025

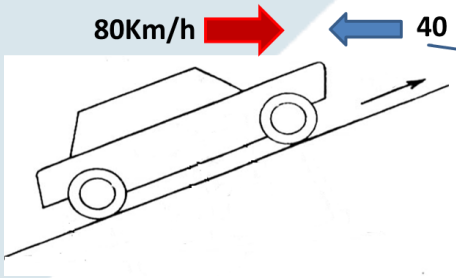


2- المقاومة الناتجة عن الصعود إلى مرتقى:

$$p_i = G.i$$

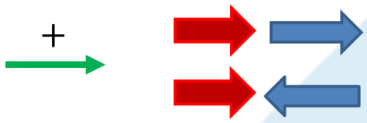
$$p_i = 1500 * 0.04 = 60\ Kgf$$

3- المقاومة الناتجة عن حركة الهواء:



$$W = (\frac{p}{2*9.81} * C * v^2)* T$$

سرعة حركة العربة بالنسبة للوسط الهوائي، م/ثا



v = سرعة حركة العربة - سرعة حركة الرياح، م/ثا

v = سرعة حركة العربة – (– سرعة حركة الرياح)، م/ثا

80 – (-40) = 80 + 40 = 120Km/h

$$W = \left(\frac{1.2}{2 * 9.81} * 0.5 * 33.33^2\right) * 2 = 67.94Kgf = 67.94 * 9.81 = 666.5N$$

4- المقاومة الناتجة عن العطالة:

$$p_j = G.j = 1500 * 0.013 = 19.5\ Kgf$$

العامل الديناميكي للعربة:

$$D = F + i + j = 0.02 + 0.04 + 0.013 = 0.073$$

قوة الجر اللازمة:

$$D = \frac{P_p - P_W}{G} = f + i + j = 0.073$$

$$D = \frac{P_p - 67.94}{1500} = 0.073$$

$$P_p - 67.94 = 109.5$$

$$P_p = 109.5 + 67.94 = 177.44\ Kgf$$

مثال (5):

احسب قيمة نصف القطر الأصغري بالأمتار لمنعطف تسير عليه عربة بسرعة 80 km/h، إذا علمت أن الميل العرضي عليه 0.08، وبأن عامل الاحتكاك العرضي يساوي 0.13، على أن يتحقق توازن هذه العربة ضد الانزلاق إلى خارج المنعطف.

$$R_{min} \geq \frac{v^2}{127(f_2 + i_t)} = \frac{80^2}{127(0.13 + 0.08)} = 239.97m \simeq 250m$$

مثال (6):

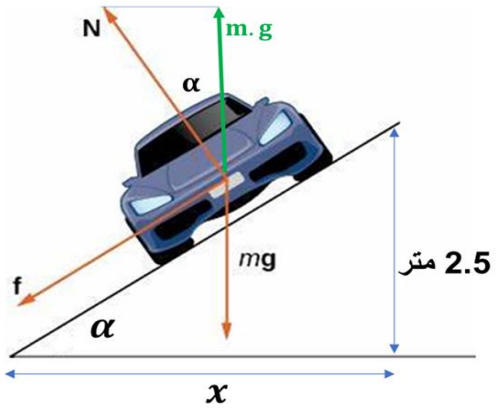
ماهي أقل قيمة نصف قطر منحني لطريق تسير عليه العربة الشاحنة لتحقيق توازنها ضد الانقلاب خلال سيرها عليه، إذا علمت أن السرعة التصميمية 80 km/h والقيمة الأعظمية للميل العرضي هي 6% والمسافة بين محاور عجلاتها 2.5m وارتفاع مركز ثقل الشاحنة عن سطح الطريق هو 1.8m.

$$R \geq \frac{v^2(2h - i_t * b)}{g(b + 2 * i_t * h)}$$

$$R \geq \frac{22.22^2(2 * 1.8 - 0.06 * 2.5)}{9.81(2.5 + 2 * 0.06 * 1.8)} = \mathbf{63.9m}$$

مثال (7):

ماهي قيمة أكبر سرعة لانطلاق عربة تجتاز منعطف أفقي مائل بنصف قطر قدره 150 متر، إذا كان عرض الطريق 6.5 متر، وارتفاع الحافة الخارجية عن الداخلية 2.5 متر، علماً أن كتلة العربة 1800 كغ، وإهمال قيمة الاحتكاك، ثم احسب مقدار قيمة التسارع المركزي وقيمة رد فعل الطريق العمودي عليه.



$x^2 = 6.5^2 - 2.5^2 = 42.25 - 6.25 = 36$

X= 6m

Tg$\alpha = i_t$ =2.5/6=0.417

$$v = \sqrt{i_t . R . g} = \sqrt{0.417 . 150 . 9.81} = 24.77 m/sec =$$ 89.17 km/h

يجب ألا تزيد السرعة عن 25 م/ثا.

$$a_c = \frac{v^2}{R} = \frac{613.55}{150} = 4.09\ m/sec^2$$

$$N = \frac{m.g}{cos\alpha} = \frac{1800 * 9.81}{\frac{6}{6.5}} = 19129.5\ N$$

السرعة، م/ثا

$$R_{min} \geq \frac{v^2}{g(f_2 + i_t)}$$

مثال (8):

تسير عربة بسرعة انطلاق 108 كم/سا وأمامها منعطف أفقي بنصف قطر 80 متر، فإذا كان معامل الاحتكاك العرضاني بين العجلة والطريق 0.5 هل بالإمكان لهذه المركبة أن تجتاز المنعطف بهذا الانطلاق وبأمان

---.

$$v^2 \leq f_2 . R . g = 0.5 * 80 * 9.81 = 392.4$$

$$v \leq 19.81\ m/sec = 71.31\ Km/h$$

وبالتالي لا تستطيع العربة اجتياز المنعطف بهذا الانطلاق وبأمان لأن سرعتها تتجاوز السرعة المسموحة لها.

السرعة، م/ثا

$$R_{min} \geq \frac{v^2}{g(f_2 + i_t)}$$

مسافات الرؤية

للمحافظة على حركة العربة بشكل آمن ومريح، يتوجب على السائق في كل لحظة أن يرى أمامه كافة أجزاء الطريق، ولمسافة تسمح باتخاذ القرار الملائم لمتابعة السير أو التوقف، أو المناورة، أو التجاوز، أو الوقوف على جانب الطريق، أو تخطي التقاطع.

مسافة الرؤية: هي طول الجزء من الطريق الذي تتوفر فيه الرؤية الملائمة للسائق، أو هي الطول المستمر المرئي من الطريق العام أمام العربة من قبل مستعملي الطريق.

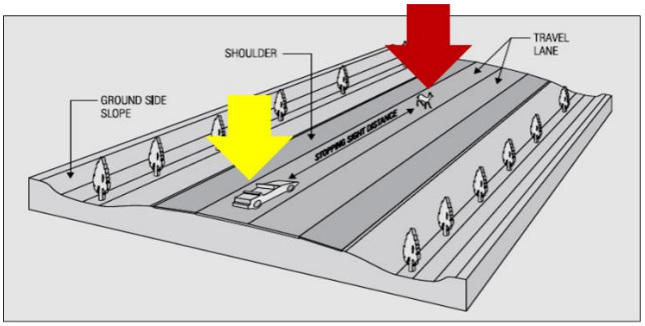
- ✓ مسافة الرؤية للتوقف
- ✓ مسافة الرؤية للتجاوز
- ✓ مسافة الرؤية على المنعطفات الأفقية
- ✓ مسافة الرؤية عند المفارق
- ✓ مسافة الرؤية الجانبية

مسافة الرؤية للتوقف Stopping Sight Distance: مسافة الرؤية للوقوف هي مسافة من طول الطريق أمام العربة التي يحتاجها سائق المركبة أثناء تحركها بسرعة معينة أو بالسرعة التصميمية للطريق، ليتمكن من إيقاف المركبة بالوقت المناسب قبل الاصطدام بالعائق الثابت (الرؤية في حال التوقف) أو العائق المتحرك (الرؤية في حال التجاوز).

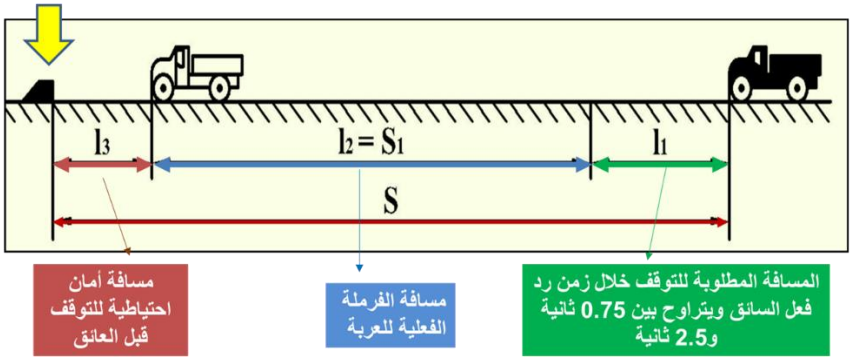
تتعلق مسافة الرؤية الأصغرية للتوقف في حالة العائق الثابت بـ:

- السرعة التصميمية
- الأحوال الجوية
- زمن الإدراك أو زمن رد الفعل الانعكاسي للسائق
- عامل الاحتكاك بين العجلات وسطح الطريق.

وهي ذات أهمية كبيرة لتحديد عدد من مواصفات الطريق التصميمية.



مسافة الرؤية للتوقف "حالة استقامة"



المسافة التصميمية للتوقف في الاستقامات

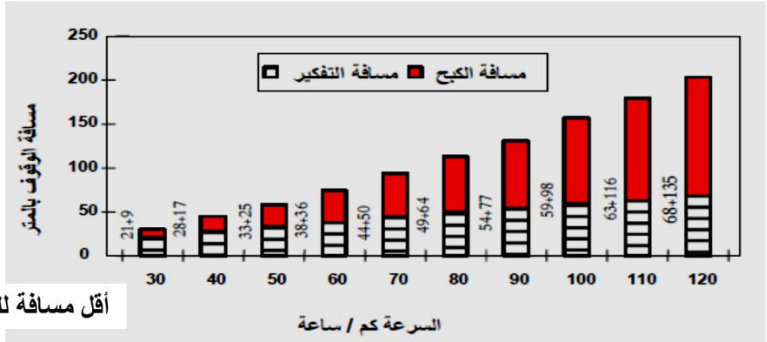
$$S = t * \frac{v}{3.6} + \frac{v^2}{254(f \mp i)} + \frac{v}{10}$$

l_1 l_2 l_3

v : السرعة التصميمية كم/سا

f : عامل الاحتكاك الطولي

i : الميل الطولي



أقل مسافة للتوقف الآمن وعلاقتها بالسرعة

السرعة التصميمية (m)	مسافة رد فعل الفرملة (m)	مسافة الفرملة (m)	مسافة الرؤية للتوقف	
			المجموع (m)	التصميمية (m)
20	13.9	4.6	18.5	20
30	20.9	10.3	31.2	35
40	27.8	18.4	46.2	50
50	34.8	28.7	63.5	65
60	41.7	41.3	83.0	85
70	48.7	56.2	104.9	105
80	55.6	73.4	129.0	130
90	62.6	92.9	155.5	160
100	69.5	114.7	184.2	185
110	76.5	138.8	215.3	220
120	83.4	165.2	248.6	250
130	90.4	193.8	284.2	285

تأثير الميول على التوقف Effect of Grade on stopping :

عندما يكون الطريق ذات ميل صاعد أو هابط، فإن المعادلة الخاصة بالمسافة اللازمة للتوقف عند استخدام المكابح يجب تعديلها لتتوافق مع تأثير الميل الصاعد أوالهابط حسب العلاقة التالية :

$$S = \frac{V^2}{254(f \pm i)}$$

عامل الاحتكاك

قيمة الميل مقسوم على 100
+ للميل الصاعد
– للميل الهابط

الميل الهابط يحتاج إلى مسافة توقف أكبر من الميل الصاعد.

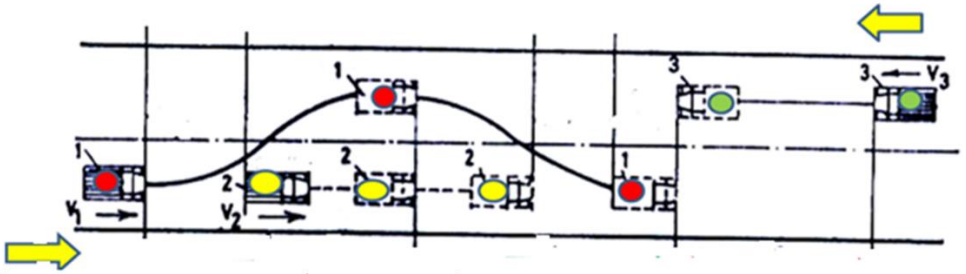
السرعة التصميمية (Km/h)	مسافة الرؤية للتوقف (m)					
	الميل الهابط			الميل الصاعد		
	3%	6%	9%	3%	6%	9%
20	20	20	20	19	18	18
30	32	35	35	31	30	29
40	50	50	53	45	44	43
50	66	70	74	61	59	58
60	87	92	97	80	77	75
70	110	116	124	100	97	93
80	136	144	154	123	118	114
90	164	174	187	148	141	136
100	194	207	223	174	167	160
110	227	243	262	203	194	186
120	263	281	304	234	223	214
130	302	323	350	267	254	243

(قيم التصحيح الناتجة عن وجود ميل هابط، والتي يجب إضافتها إلى مسافة الرؤية في حالة التوقف الواردة في الجدول السابق).

السرعة التصميمية كم/ساعة	زيادة مسافة الرؤية للتوقف في حالة الميول لأسفل (م)		
	-3%	-6%	-9%
40	2	4	6
50	3	6	10
60	5	10	18
70	7	15	26
80	9	21	حسب شروط التصميم
90	12	29	حسب شروط التصميم
100	16	38	حسب شروط التصميم

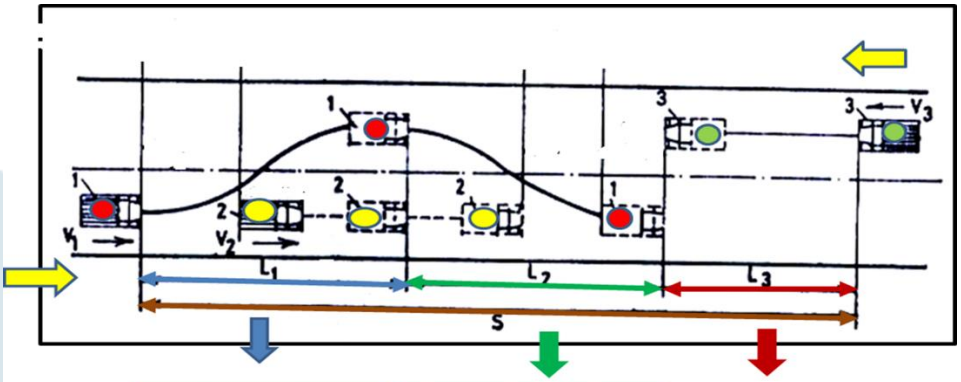
مسافة الرؤية للتجاوز Passing Sight Distance

هي المسافة المطلوبة التي يحتاجها سائق المركبة لكي يتمكن من القيام بمناورات التوجيه للعربة على الطريق، عند اكتشاف وضع غير متوقع في بيئة الطريق، ومن ثم اختيار السرعة المناسبة لتفادي هذا الوضع واختيار المسار الصحيح للبدء بالمناورة اللازمة وإكمالها بكفاءة وأمان.



لكي تنجز عملية التجاوز بشكل آمن يجب على السائق أن يكون قادراً على الرؤية لمسافة كافية أمامه خالية من حركة المرور بالاتجاه المعاكس وإكمال مناورة التجاوز، قبل أن يتقابل مع العربة بالاتجاه الآخر التي تظهر خلال عملية المناورة.

وتعتبر مواقع التقاطعات والتبادلات ومناطق تغير المقاطع العرضية من المواقع التي تحتاج لمسافة كافية للمناورة.



المسافة المقطوعة من العربة الأولى لتصبح بمحاذاة العربة الثانية في الحارة المقابلة
(مسافة اتخاذ القرار بحدود 3 ثواني + مسافة التجاوز)

المسافة المقطوعة من العربة الأولى بعد محاذاتها للعربة الثانية وحتى دخولها إلى حارتها
(مسافة الأمان عند منطقة التجاوز)

المسافة التي تقطعها العربة الثالثة القادمة من الجهة المعاكسة خلال زمن التجاوز

$$S = 0.278Vt$$

القيمة الأصغرية لمسافة الرؤية للمناورة أو للتجاوز

السرعة التصميمية، كم / سا

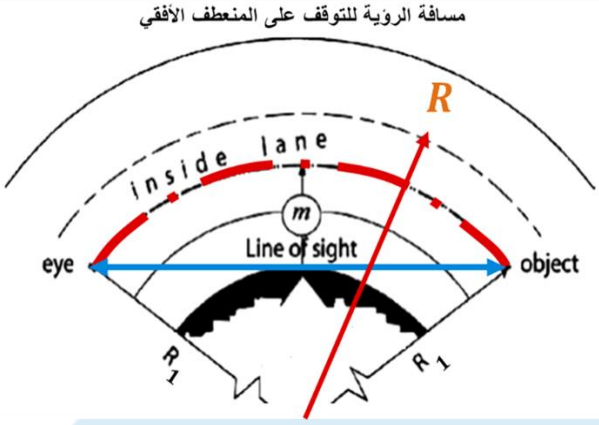
مجموع زمن رد الفعل للمناورة وزمن المناورة ، sec

- في الطرق الريفية تؤخذ قيمة t بين (10.2-11.2 s)
- في طرق الضواحي تؤخذ قيمة t بين (12.1-12.9 s)
- في الطرق الحضرية تؤخذ قيمة t بين (14-14.5 s)

السرعة التصميمية (Km/h)	مسافة الرؤية للمناورة أو للتجاوز حسب صنف الطريق		
	الطرق الريفية rural	طرق الضواحيsuburban	الطرق الحضرية urban
50	145	170	195
60	170	205	235
70	200	235	275
80	230	270	315
90	270	315	360
100	315	355	400
110	330	380	430
120	360	415	470
130	390	450	510

مسافة الرؤية الأصغرية في المنعطفات والخلوص الأفقي:

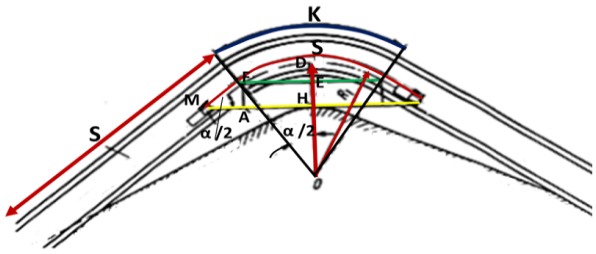
مسافة الرؤية الأفقية في المنعطفات هي من عناصر التخطيط الأفقي، وهي عبارة عن طول خط نظر السائق الجانبي في المنعطفات (وتر المنحني)، والذي يؤمن للسائق أمان الانتقال ومسافة الرؤية الكافية للوقوف في حال وجود عوائق على الطريق.



الخلوص الأفقي **m** (الفتحة الضوئية الأفقية): هو المسافة بين محور الحارة الجانبية والنقطة التي يجب رفع الحاجز (العائق) للوصول إليها، ويكون قياس مسافة الرؤية للوقوف عبر محور الحارة الداخلية للمنحني.

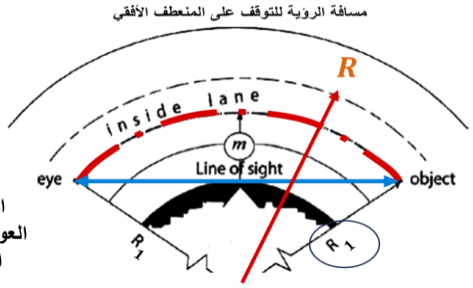
العوائق والحواجز المانعة للرؤية في المنعطفات هي كتل الجسور، الركائز ، الإشارات ، اللوحات الإعلانية، الأبنية، الأسيجة، الأسوار، النباتات الطبيعية النامية، ومقاطع الحفر خاصةً في المناطق الجبلية.

شروط الرؤية يجب تحقيقها بشكل كامل في المنعطفات ويجب اتخاذ الاحتياطات اللازمة عند تخطيط الطريق كي تحافظ المركبة على سرعتها المسموحة بشكل آمن.



$$S = \frac{R_1}{28.65}\left[cos^{-1}\left(\frac{R_1 - m}{R_1}\right)\right]$$

مسافة الرؤية للتوقف، م



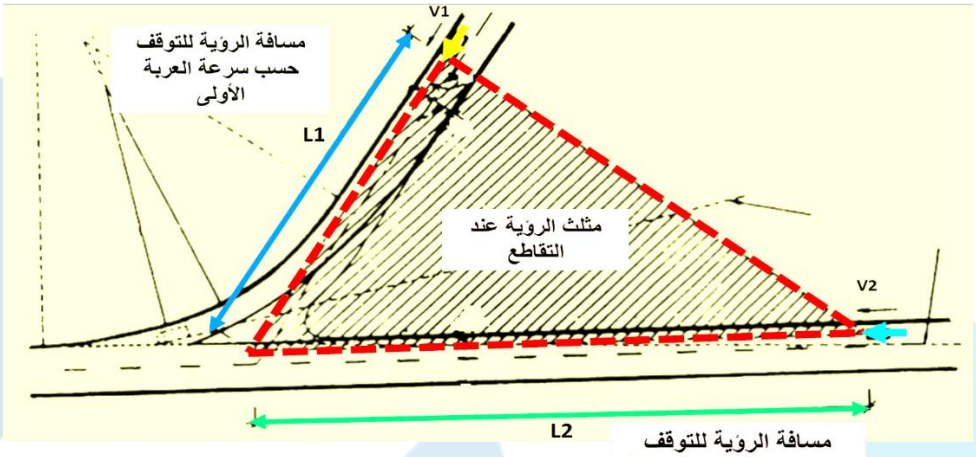
المسافة الخالية من العوائق من محور الحارة الداخلية الى مكان الحاجز،م

$$m = R_1\left[1 - cos\left(\frac{28.65 * S}{R_1}\right)\right]$$

تكون الزاوية بالدرجات

نصف قطر المنحنى الموجود لمحور الحارة الداخلية، م

مسافة الرؤية عند المفارق



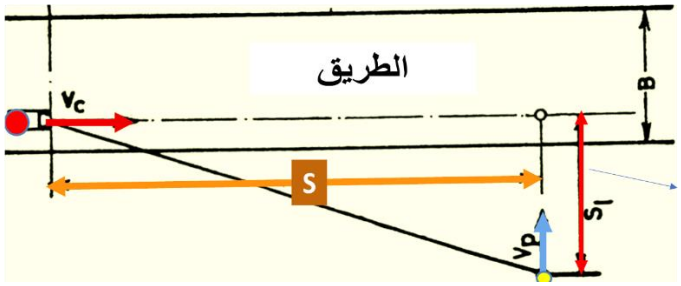
مسافة الرؤية الجانبية

سرعة المشاة أو سرعة عربة عند التقاطع

$$S_1 = \frac{V_p}{V_c}.S$$

السرعة التصميمية للعربة

مسافة الرؤية التصميمية للتوقف



مسافة الرؤية الجانبية

مسافة الرؤية للتوقف

طول العربة

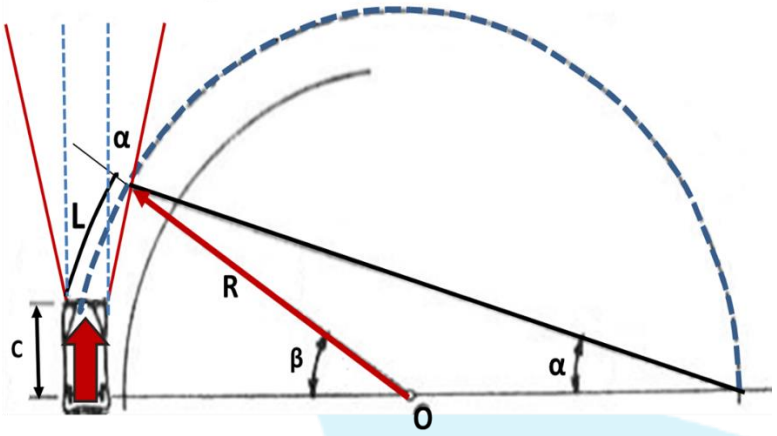
$$C + L = R.\beta = \frac{\pi.\beta.R}{180^0}$$

$$\Rightarrow \beta = \frac{180^0(C+L)}{\pi.R}$$

بإهمال قيمة c مقارنةً بطول مسافة الرؤية وباعتبار أن الزاوية المركزية تساوي ضعف الزاوية المحيطية ينتج لدينا ما يلي:

$$2\alpha = \frac{180.L}{\pi.R} \Rightarrow R = \frac{180.L}{2.\pi\alpha} = \frac{30.L}{\alpha}$$

حساب قيمة نصف قطر المنعطف استناداً إلى سير العربات في الليل



نصف القطر الأصغري

$$R_{min} = 15.L$$

$\alpha = 2^0$