جامـــعة دمـــشق
كليـــــة الهندسة المدنية
قسم هندسة النقل ومواد البناء

المبادئ الأساسية لحركة تيارات المرور

المحاضرة الرابعة

أولا: تعاريف وعوامل أساسية

١- الفواصل الزمنية t[s]

الفاصل الزمني : الزمن الفاصل بين عبور عربتين متتاليتين مقطعا معينا، وتقاس بواحدة الزمن (الثانية)

مثال:

إذا كان لدينا مقطع عرضي في شارع ما، وكان هناك سيارتين متتاليتين تسيران على هذا الشارع، فإن الفاصلة الزمنية تعبر عن الزمن الذي انقضى منذ لحظة قطع السيارة الأولى للمقطع العرضي إلى لحظة وصول السيارة التالية.

يمكن أن ينتظر الإنسان دقيقة او دقيقتين أو دقيقة ونصف على إشارة المرور كأقصى حد ممكن وذلك نتيجة الدراسات النفسية والاحصائية، ثم بعد هذه الفترة من الممكن ان تبدأ الحالة العصبية ومن الممكن ان يحدث بعض الحوادث نتيجة هذه الحالة النفسية، لذلك حاولوا دائما أن يطوروا هذا الأمر بشيء اسمه أنظمة النقل الذكي والتي تعطي مؤشر على اقتراب انتهاء فترة الإشارة الحمراء (الديجتال الرقمي) والتي تساعد نفسيا بتهدئة السائق.

أنواع الفواصل الزمنية:

فاصل زمني قائم - فاصل زمني صافي

١ ـ الفاصل الزمني القائم :

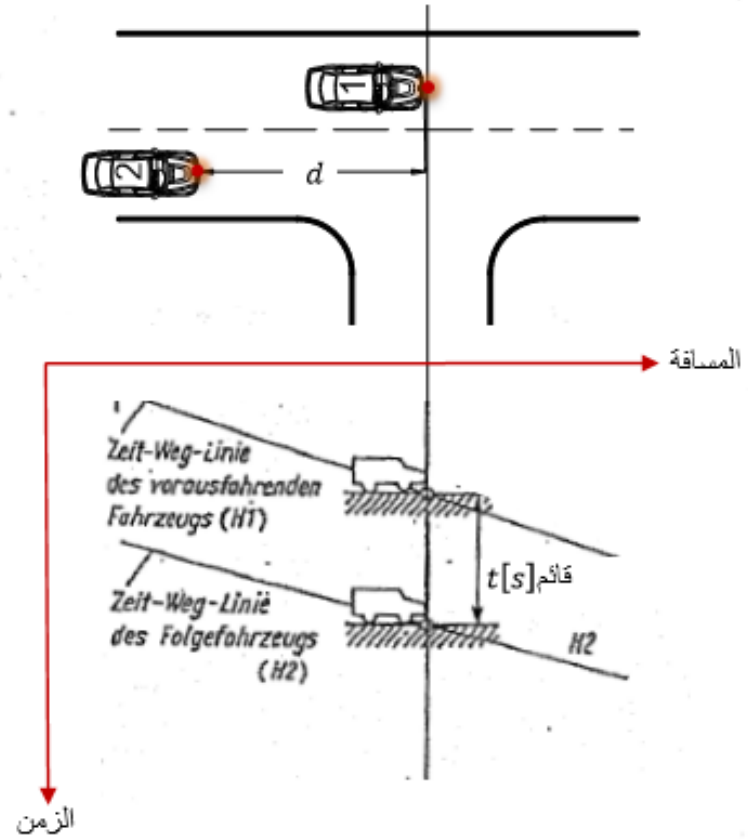
وهو الزمن الفاصل بين مرور عربتين متتاليتين مأخوذا بالنسبة لنقطة اعتبارية ثابتة ومحددة (بداية ونهاية كل من العربتين المتتاليتين).

مثال عن الفاصل الزمني القائم : الصورة اليسارية الزمن اللازم لمرور المسافة من بداية السيارة الأولى إلى بداية السيارة الثانية تبعا لمقطع معين والذي يعد اهم من الفاصل الزمني الصافي ، حيث في حال تم ذكر الفاصل الزمني فقط فإنه يقصد الفاصل الزمني القائم.

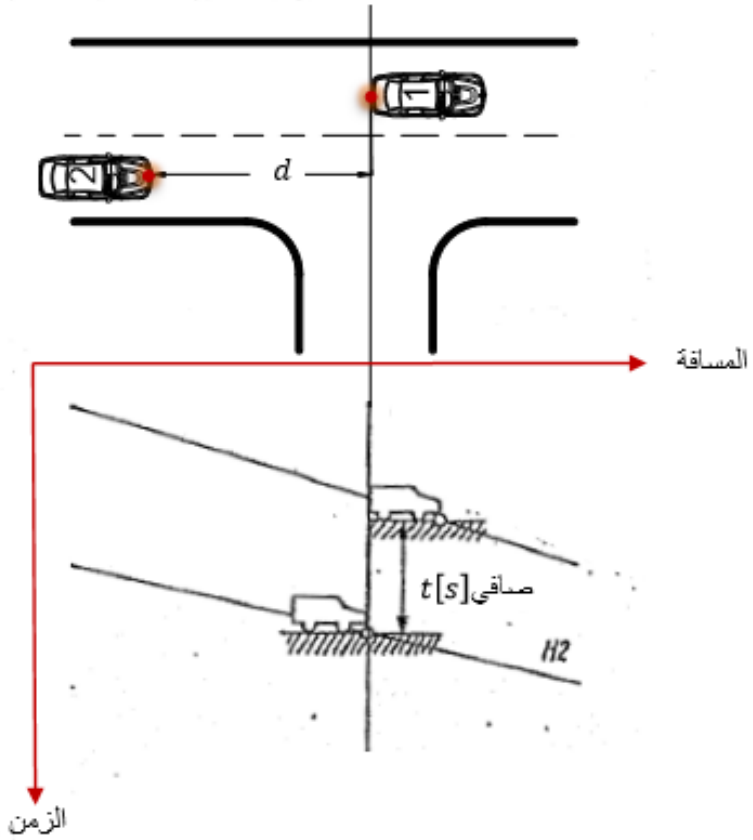
٢ ـ الفاصل الزمني الصافي:

وهو الزمن الفاصل بين مرور عربتين متتاليتين مأخوذا بين زمن مرور نهاية العربة الأولى وزمن وصول بداية العربة التالية في المقطع المدروس.

مثال عن الفاصل الزمني الصافي : الصورة اليمنى، يعتبر الفاصل الزمني الصافي هو الزمن اللازم لمرور المسافة من نهاية السيارة الأولى إلى بداية السيارة التالية



الفاصل الزمني القائم



الفاصل الزمني الصافي

هذه الفواصل الزمنية ليست ثابتة ، أي ليس كل المركبات تتبع هذه الفواصل ، لذلك نقول أن هنالك توزع يسمى توزع بواسون.

توزع بواسون

هو تابع أسي سالب، أي أسي مرفوع إلى أس سالب، يعبرعن توزع الفواصل الزمنية أو التدفقات التي تمر عبر الطريق. نلاحظ أن الفرق بين الفاصل الزمني القائم والفاصل الزمني الصافي هو زمن المسافة التي يبلغ طول المركبة (عادة ٦ متر وسطيا).

الفواصل الفراغية (فواصل المسافات) s[m]

هي المسافة الفاصلة بين مرور نقطتين اعتباريتين محددتين لمركبتين متتابعتين من تيار مرور معين أثناء عبورها مقطع عرضي مدروس وهنا لدينا ما يسمى :

١) المسافة الفاصلة القائمة

٢) المسافة الفاصلة الصافية

٢- غزارة المرور $Q[kfs/h]$ $M[kfs/h]$ $q[kfs/s]$

غزارة المرور : هي التي تعبر عن الحمولات وتُقدر بعدد المركبات من تيار مروري يجتاز مقطعاً عرضيّا محدّداً خلال واحدة الزمن:

$$Q\,[kfz\,/\,h] = \frac{N\,[k\,/\,z]}{T\,[h]} \quad \text{أو} \quad M = \frac{N}{T} \quad \text{أو} \quad q = \frac{N}{3600}$$

الغزارة هي الأساس التي تتركز عليه عملية تصميم الطريق لأنها تعطينا درجة تصميم الطريق وبالتالي يمكننا معرفة السرعة التصميمية والتي من خلالها نستطيع تصميم الطريق.

٣- كثافة المرور $k[kfz/m]$ $k[kfz/m]$ $D[kfz/km]$

كثافة المرور : هي عدد العربات في تيار مروري الموجودة في واحدة المسافة $[m]$ أو $[km]$ في زمن محدد.

يتم حساب الكثافة :

بأخذ صورة بـ كميرة ونعد السيارات في مسافة محددة (ولتكن ١٠٠ m مثلا) وذلك ضمن فترة معينة (فترة الظهر مثلا).

٤- السرعة $V[km/h]$ $V[m/s]$

v : السرعة $[m/s]$ OR $[km/h]$

S : المسافة $[m]$ OR $[km]$

T : الزمن $[munite]$ OR $[hour]$

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta T}$$

منحني السرعة أو مخطط السرعة لعربة ما : هو عبارة عن تغير سرعة هذه العربة مع الزمن (تغير السرعة مع الزمن)

بروفايل السرعة لعربة ما : وهو تغير السرعة على الطريق المدروس (أي تغير السرعة مع المسافة).

أنواع السرعات:

السرعة الموضعية (المحلية): أي ان المسافة ثابتة وخلال زمن محدد فإنه يمكننا قياس الفواصل الزمنية للعربات المتتالية ، فإذا أجرينا القياس في مقطع اخر يبعد عن المقطع الأول بمسافة قدرها (ΔS) فيمكن عندئذ قياس ما يسمى بالسرعة الموضعية أو المحلية بين هذين المقطعين حسب العلاقة : $Vi=\Delta S/\Delta ti$

السرعة الآنية (اللحظية):

حيث الزمن ثابت على مسافة محددة فيمكن قياس كثافة السير وبالتالي حساب الفواصل المسافية (فواصل المسافات) ، فإذا تم القياس بعد زمن قدره $[\Delta t]$ من الزمن الأول عندئذ قياس ما يسمى بالسرعة الآنية للعربات خلال الفترة الزمنية $(t0 , t0 + \Delta t)$ حسب العلاقة : $Vi=\Delta Si/\Delta t$

٢- السرعات وتوابع توزعها

إن كل سائق عربة يحاول ان يسير بالسرعة المرغوبة التي يضع حدها الأعلى الحد الممكن والتي تتعلق بعوامل عديدة منها: صفات ومميزات العربة، شروط الطريق أو المسار (مثل سطح الطريق، الطقس).

فإذا توافرت الشروط هذه يمكن لكل سائق أن يختار سرعته بشكل حر إن لم يكن هناك تأثير متبادل أو إعاقة من قبل السائقين الآخرين.

مع ازدياد الغزارة تزداد الإعاقة أو التأثير المتبادل بين العربات

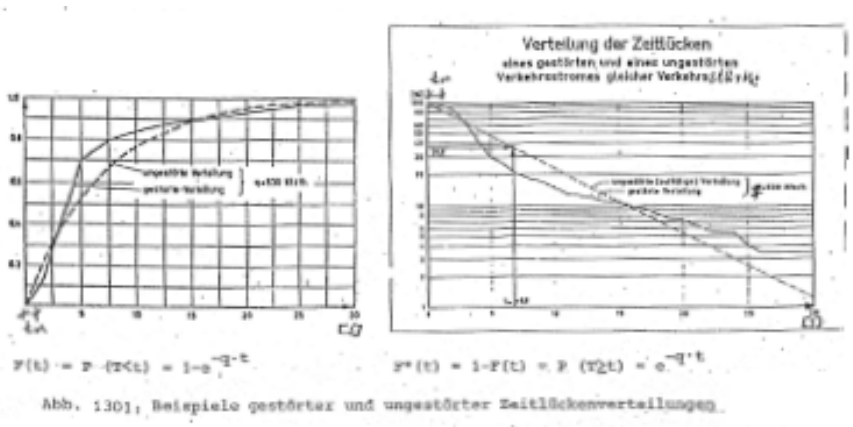
حالات حركة المركبات :

١) الحركة (المرور) الحرة كليا: تتحرك العربات بشكل حر حيث لا توجد إعاقة متبادلة فيما بينها، ومناورات التجاوز نادرة جدا، ولا نلاحظ تيارات أو مجموعات سيارات، وإنما تتحرك السيارات خلف بعضها بشكل منفرد ويختار السائقون سرعات الحركة بحرية ويكون السفر مريحا بالنسبة للمسافرين والسائقين.

٢) الحركة (المرور) المقيد جزئيا: في كل زمن وفي كل موقع يوجد جزء من السائقين مرغم باختيار السرعة التي تحددها سرعة العربة التي تسبقه، ويصبح التجاوز صعبا والحركة غير مريحة.

٣) الحركة (المرور) المقيد كليا: ارغام كل سائق بقبول السرعة المحددة من العربة التي تسير أمامه ويصبح التجاوز مستحيلا ويسير تيار المرور كرتل أو كقافلة واحدة.

٣- الفواصل الزمنية وتوابع توزعها :



يمكن أن نمثّل الفواصل الزمنيّة أيضاً بتوابع توزيع، وتمتاز الفواصل الزمنية القائمة بالأهميّة الكبيرة بالمقارنة مع الفواصل الزمنية الصافية، وفيما بعد عندما نقول فواصل زمنيّة فإنّنا نقصد بها الفواصل الزمنيّة القائمة (أي اختصاراً).

وبالتالي اذا اعتمدنا علاقة بواسون "في تدفّق العربات خلال توزّع فواصل زمنيّة محدّدة"

علاقة بواسون .... $P(x=k) = e^{-m} * \frac{m^k}{k!}$

حيث أنّ m: غزارة المرور الوافدة خلال واحدة الزمن $[t]$. $m = \frac{m*t}{3600} = q*t$

q: غزارة المرور الوافدة في الثانية.

t: الفاصل الزمني الوسطي. $t = \frac{3600}{M}$

M أو Q: هي الغزارة الكلّية في ساعة واحدة.

وبالتالي فإنّ تابع توزّع الفواصل الزمنيّة يأخذ الشكل التالي: $F(t) = P(T < t) = 1 - e^{-q}$

إنّ هذا التابع يمثّل احتمال الحصول على فاصل زمني قدره $(T < t)$ وهو تابع أسّي سالب ويمكن أن نميّز بين التوابع المضّطربة (المخلخلة) والتوابع العاديّة غير المشوّهة وذلك كما نرى في الشكل للحالتين $(T < t)$ وَ $(T \geq t)$.

٤- غزارة المرور، كثافة المرور، السرعات وقدرات التمرير والعلاقات التي تربطها:

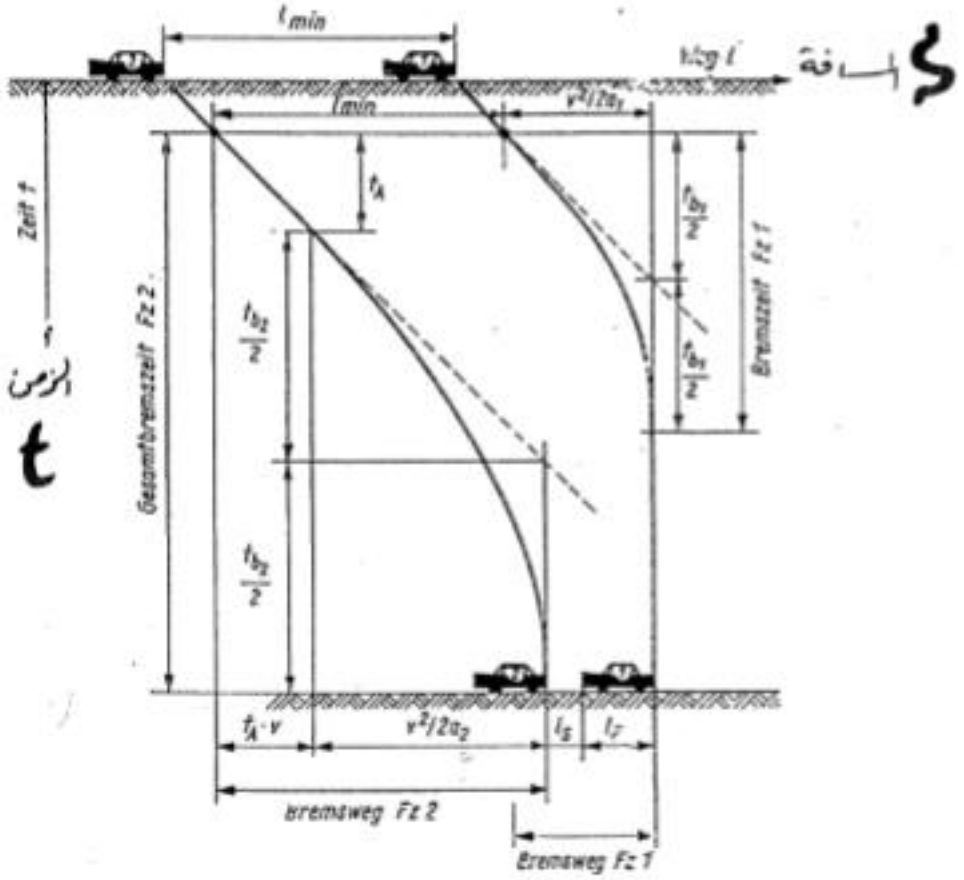
أولا- قدرات التمرير (التصريف) :

هي الغزارة العظمى التي يمكن أن يصرفها هذا الطريق أو الشارع أو المنشأة من تيارمرور وفق شروط معينة من سطح الطريق وشروط مرور محيطية معينة

شروط سطح الطريق : عدد المسارب - الميل الطولي - أسلوب التحكم بالمرور (إشارات مرور ضوئية أو غيرها).

شروط مرور : وضع تيار المرور (مستقر أو مضطرب)، تركيبة تيار المرور (سيارات شاحنة - سيارات سياحية - باصات) وسلوكية السائقين.

تبلغ قيمتها العظمى عندما تسير المركبات ذات المسرب الواحد بسرعة واحدة، وبالتالي فإن المسافات بين سيارتين متتاليتين (فواصل المسافات) ستكون ثابتة ويجب ألا تقل عن مسافة الأمان (المسافة بين سيارتين) والتي هي: طول السيارة + المسافة المقطوعة الموافقة لرد فعل السائق حسب سرعته + طول الفرملة).



ثانيا- علاقة الاستمرار:

كما في الهيدروليك يوجد قانون التدفق الذي يحسب تصريف السوائل أو الغازات من خلال علاقة الاستمرار، يتم تطبيق علاقة التصريف بالنسبة للطرق أو الشوارع الحرة (أي بدون تقاطعات) بقانون مشابه لما هو في الهيدروليك.

لا يمكن تطبيق علاقة الاستمرار بشكل مباشر في هندسة المرور لأن سرعة العربات تتغير مع الزمن وكذاك الحال مع المسافة لذلك يجب توافر شروط معينة لتطبيق العلاقة.

الشروط الواجب توفرها لتطبيق علاقة الاستمرار في هندسة النقل والمواصلات:

١) يجب أن تكون كمية العربات المعدودة أو المراقبة كبيرة بشكل كاف (من وجهة نظر احصائية) كي نتمكن من تطبيق قواعد الاحصاء.

٢) يجب أن تكون تيارات المرور (الحركة) بها صفة الاستقرار (الثبات) وهذا يعني أن تقرير الثوابت والمتغيرات الاحصائية المتعلقة بكثافة المرور وغزارة المرور والسرعة أمر غير متعلق بالزمن.

$$Q = M = \bar{V} * D$$

M و Q : الغزارة $\bar{V}$: السرعة الوسطية D : الكثافة

ثالثا- علاقة كثافة المرور D بالسرعة V:

١- إذا كانت كثافة المرور تنتهي إلى الصفر (أي لا يوجد سيارات كثيرة خلال مسافة محددة) فإنه يمكن للسائقين اختيار سرعتهم بشكل حر تماما وعندئذ تصبح العلاقة:

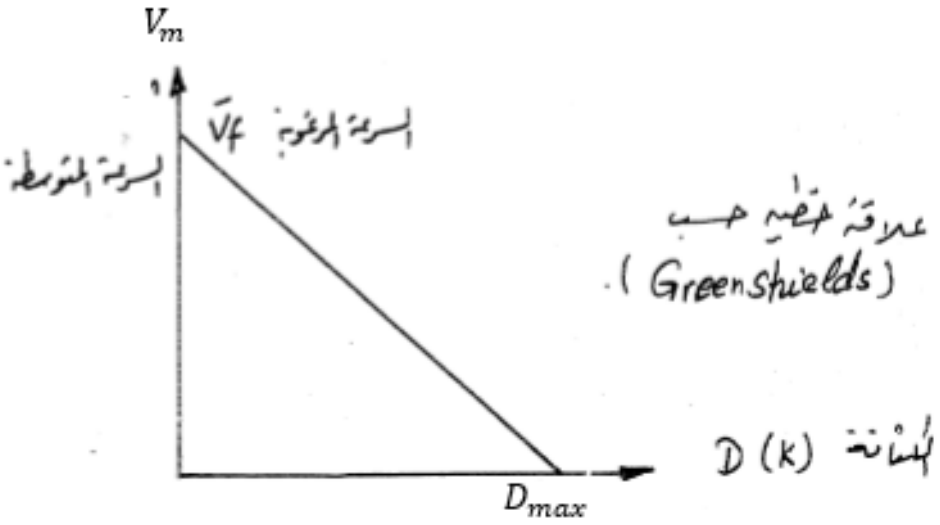
$$\bar{V}_m = \bar{V}_f = \bar{V}_w$$

$\bar{V}_m$: السرعة الأنية

$\bar{V}_w$: $\bar{V}_f$: السرعة المرغوبة للسائقين التي تتعلق بدرجة الشارع (الطريق) وحالته .

٢- بزيادة كثافة المرور (زيادة عدد السيارات خلال مسافة محددة) تتناقص السرعة

٣- عندما تسعى الكثافة إلى الحالة العظمى فإن السرعة تسعى إلى الصفر



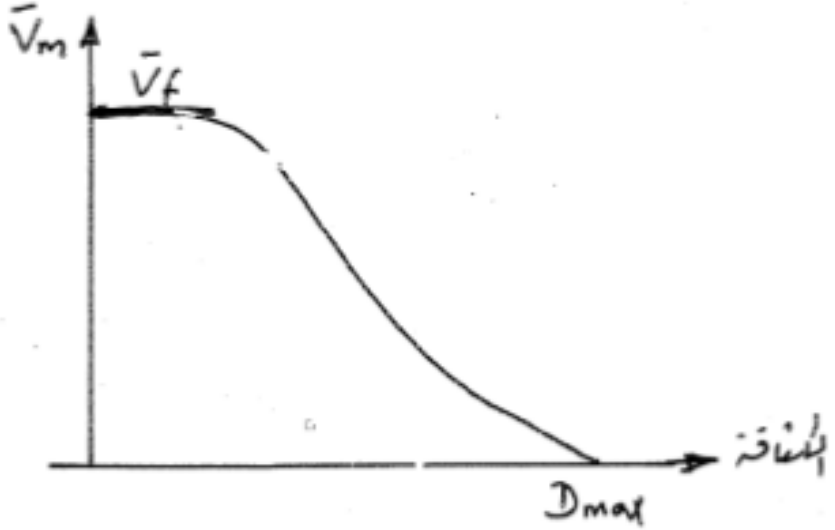
للرسم:

الكثافة تساوي الصفر فتكون السرعة عظمى.

الكثافة عظمى فالسرعة صفر

ونوصل خط بين الحالتين فينتج المخطط

٤ـ اذا اسقطنا هذه النظرية واالكلام السابق على الواقع : ففي حال كانت الكثافة قليلة فإنه يمكن لأي مركبة حتى كثافة معينة أن تسير بشكل حر دون سرعة محددة وبالتالي ينتج لدينا المخطط .



سيستمر المنحني أولا بشكل افقي لحد كثافة معينة قليلة ومن ثم سيبدأ بالانحدار

يمكننا استنتاج القانون التالي من المخططات السابقة :

$$\frac{D}{D_{max}} + \frac{\bar{V}_m}{\bar{V}_f} = 1 \quad \Rightarrow \quad \underbrace{\bar{V}_m}_{\text{الانية}} = \underbrace{\bar{V}_f}_{\text{المرغوبة}} \left(1 - \frac{D}{D_{max}}\right)$$

أوجد الباحث $Kladek$ علاقة تربط بين الكثافة D والسرعة الانية $\bar{V}_{\mathrm{m}}$ حسب الشكل :

$$\overline{V_m} = \bar{V}_f * \left(1 - e^{-\gamma * \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{D_{max}}\right)}\right)$$

حيث أنّ : γ : قيمة عددية لها علاقة بنوع الشارع أو الطريق .

ومن أجل D_{max} على الطريق وفي الشوارع يعطى قيماً لها علاقة بنسبة السيارات الشاحنة في تيار المرور فمثلاً :

- عندما تكون نسبة السيارات الشاحنة بين $0 - 10$ $\Leftarrow$ $D_{max} = 180\ Kfz/Km$
- عندما تكون نسبة السيارات الشاحنة بين $10 - 20$ $\Leftarrow$ $D_{max} = 180\ Kfz/Km$
- عندما تكون نسبة السيارات الشاحنة بين $20 - 30$ $\Leftarrow$ $D_{max} = 120\ Kfz/Km$

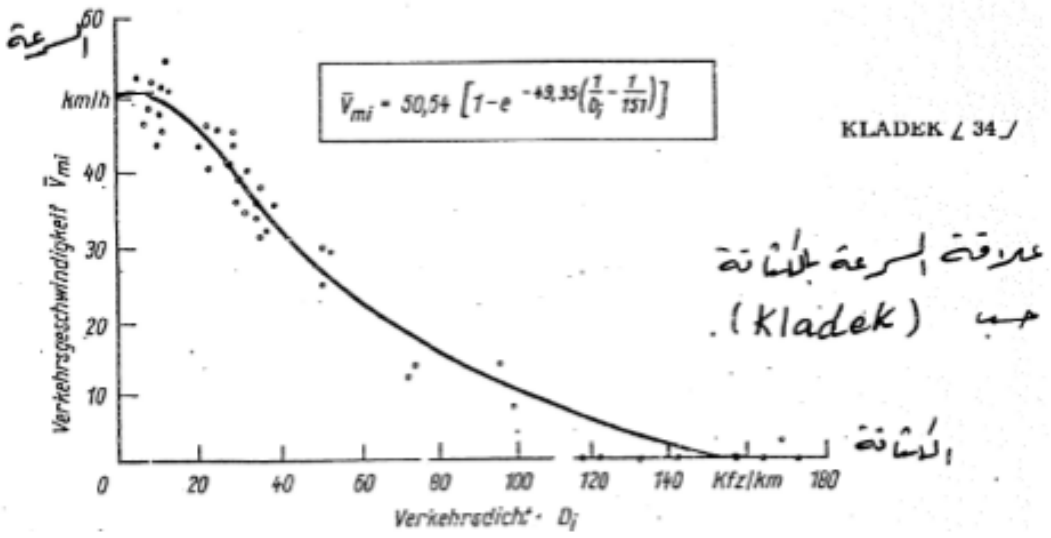
$$\Rightarrow V_m = V_f * e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{D}{D_{max}}\right)^2}$$

أيضاً يوجد علاقتين لحساب السرعة الأنية :

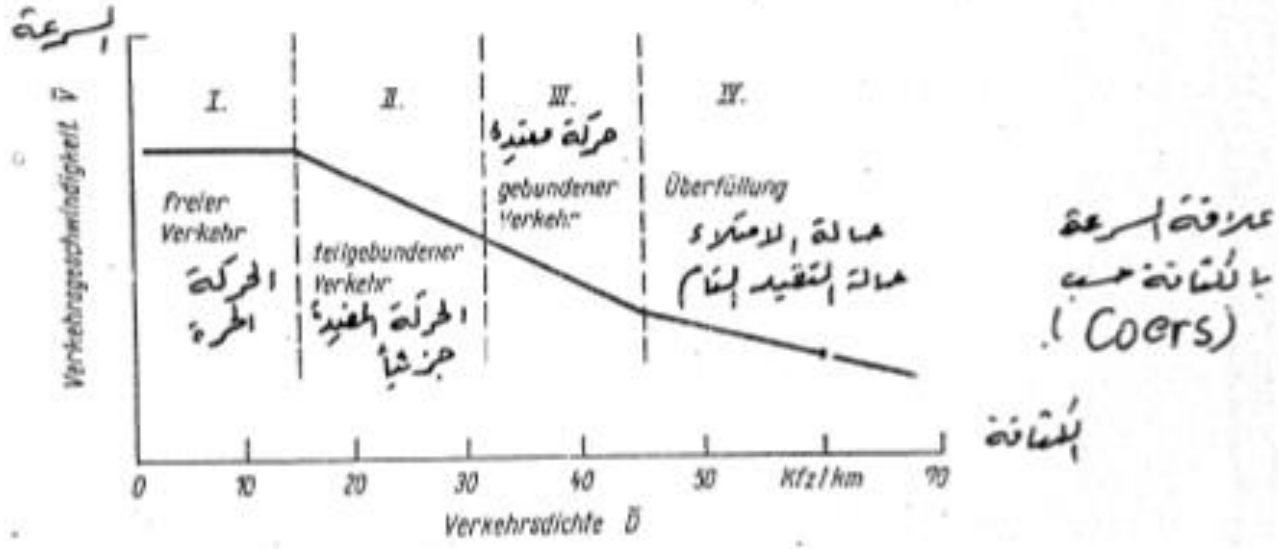
$$V_m = V_{m(M_{max})} * \ln\left(\frac{D_{max}}{D}\right)$$

حيث : $V_{m(Max)}$: السرعة الموافقة لغزارة المرور الأعظمية

مخطط يوضح العلاقة بين الكثافة والسرعة حسب Kladek وذلك بالاعتماد على قيم إحصائية مدروسة سابقاً :



عندما تكون الكثافة قليلة هناك توزع للسرعة وذلك بسبب أن كل سائق يسير بسرعة حسب مركبته، وحالته النفسية ... الخ دون أن يكون هناك أي خطر أو حدوث حادث.



علاقة السرعة بالكثافة حسب (Coers)

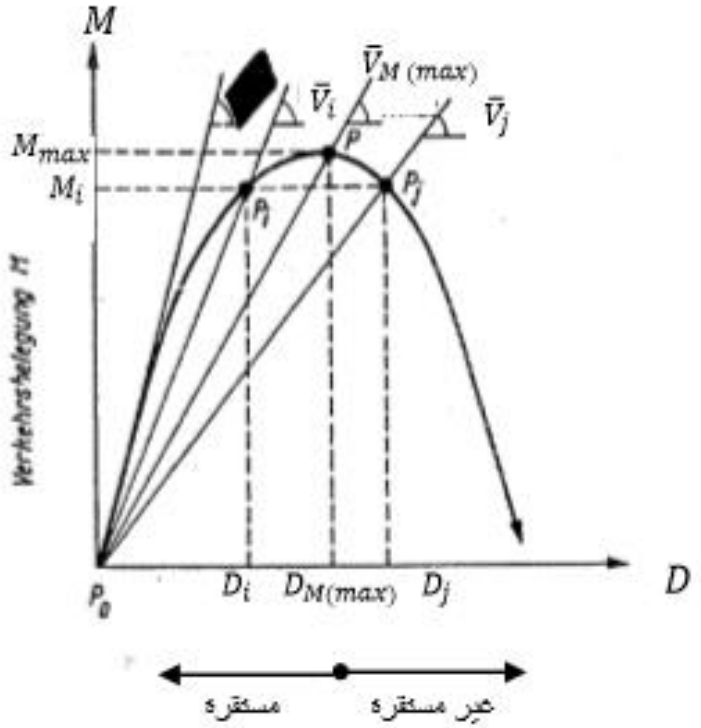
Bereich المجال	Zustandsform شكل الحركة	Dichte in Kfz/km الكثافة سيارة/كم	Geschwindigkeit in km/h السرعة كم/سا
I	freier Verkehr حرة	0 bis 5 ... 15	≥60 km/h
II	teilgebundener Verkehr مقيدة جزئياً	5 ... 15 bis 25 ... 35	65 ... 40
III	gebundener Verkehr مقيدة	25 ... 35 bis 40 ... 50	45 ... 25
IV	Überfüllung مقيدة تماماً	>40 ... 50	30 ... 0

المنحني الخطي يتحول إلى نوع آخر نتيجة القدرة العملية ونتيجة الإحصاءات.

حيث من الممكن تقسيم أنواع الحركة إلى أربعة أقسام (حركة حرة - حركة مقيدة جزئيا – حركة مقيدة - حركة مقيدة بشكل تام) ناتجة عن تحويل علاقة المنحني إلى علاقة خطية (كما يمكننا أن نلبس القوس بالمماس في حال كانت الزاوية صغيرة جدا، أو نعوض sin الزاوية بالزاوية نفسها في حال كانت الزاوية صغيرة جدا) .

رابعا- علاقة كثافة المرور D بالغزارة Mأو Q : مخطط المرور الأساسي

هي العلاقة التي تربط الكثافة مع الغزارة ويكون له شكل قطع مكافئ مفتوح .

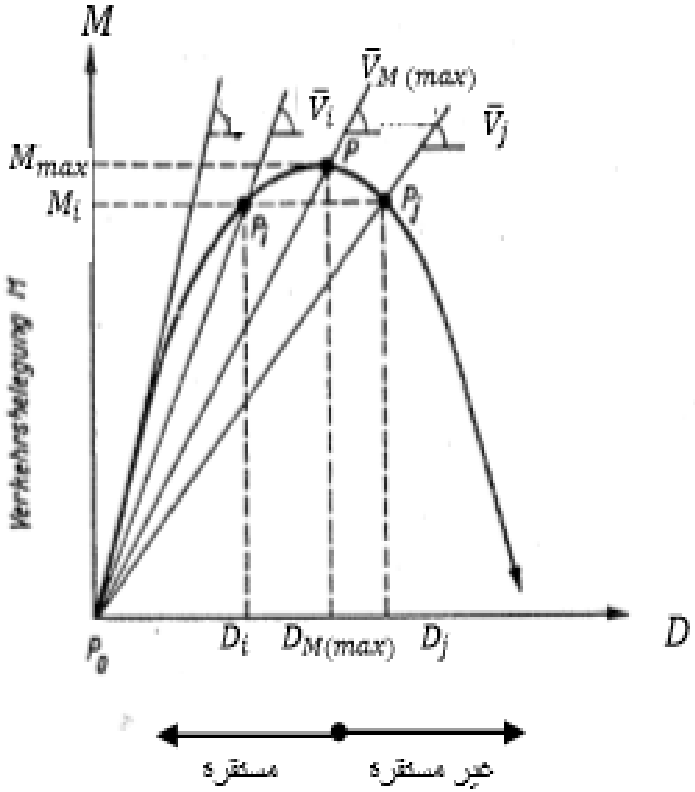


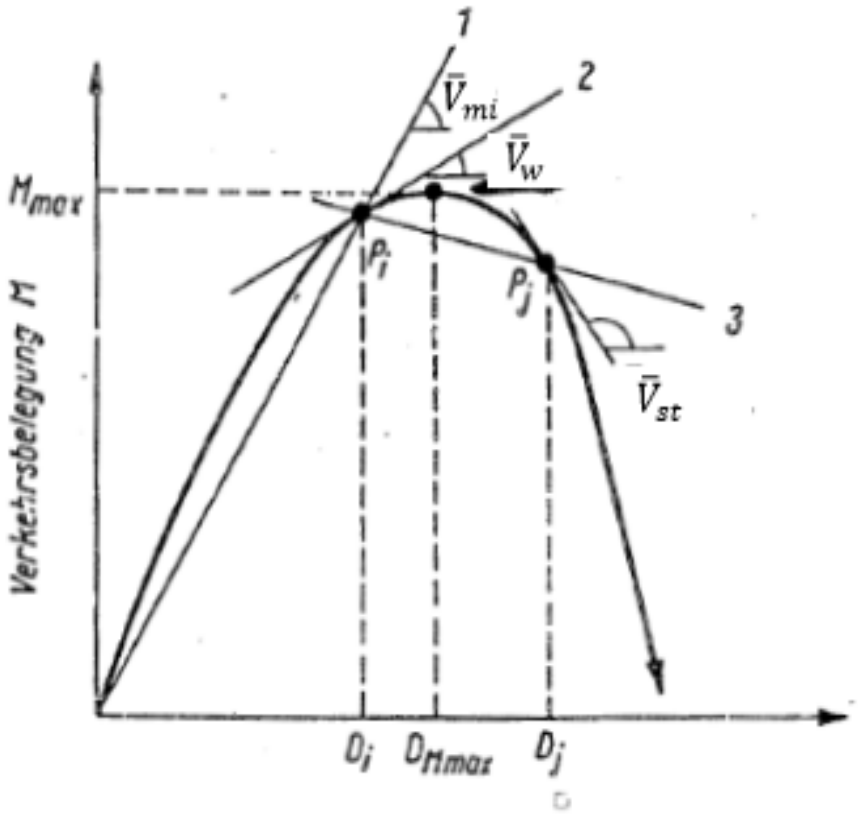
1- إن تدرج الشعاع (ميل الشعاع) يعطي السرعة الأنية المتوسطة V_m لتيار المرور وذلك حسب العلاقة :

$$\tan\alpha = \frac{M_i}{D_i} = \overline{V_{mi}}$$

2- كل نقطة من المنحني تمثل حالة معينة للحركة فالنقطة P ذات الاحداثيات $P(D_{M\,(max)}\,,M_{max})$ تمثل ميل الشعاع $V_{m(max)}$ الذي يعطي السرعة الموافقة لغزارة المرور الأعظمية

3- ان ميل المماس للمنحني في مبدأ الاحداثيات يعطي السرعة المرغوبة (الحرة) $\overline{V_f}$





4- إن ميل المماس للمنحني في نقطة ما في منحني المرور الأساسي يعطي ما يسمى **بسرعة الموجة** $\bar{V}_w$ التي تتغير بها كثافة المرور في تيار المرور ويعطى حسب العلاقة

$$\bar{V}_w = \frac{dM}{dD}$$

5- ان الميل القاطع بين نقطتين على من مخطط المرور الأساسي P_j & P_i مثلاً يعطي ما يسمى **سرعة الصدم ورمزها** V_{st} وهي السرعة الناجمة عن اختلاف في الكثافات المرورية في تيار المرور ويعطى بالعلاقة

$$\bar{V}_{st} = \frac{DM}{DD}$$

نلاحظ في مخطّط المرور الأساسي أن الغزارة (M) تزداد بازدياد الكثافة (D) حتى تبلغ الغزارة قيمة أعظميّة $M_{M(max)}$ (غزارة التصريف الأعظميّة الممكنة) بعدها تتناقص الغزارة مع ازدياد الكثافة كما في الشكل السابق رقم 1، ونقول قدرة التصريف الأعظميّة عادةً ولا نقول قدرة التصريف الأعظميّة الممكنة علماً أنّ لها نفس المعنى هنا، وهي تمثل أكبر غزارة ممكنة تجتاز مقطعاً عرضيّاً معيّناً (أو مسرب معيّن) أو عقدة معيّنة ... الخ.

بشكل مختصر : $M \neq M_{M(max)} \Leftarrow$ مختلفتين $D_i , D_j \Leftarrow$ مختلفتين $\bar{V}_i , \bar{V}_j$

$M = M_{M(max)} \Leftarrow$ فقط واحدة كثافة $D \Leftarrow$ سرعة واحدة فقط $\bar{V}$

بسبب هذه الاختلافات الموجودة في الكثافة والسرعة ينتج لدينا حالتين مختلفتين لحركة المرور:

حالة الجريان المستقر (حركة مستقرة)

حالة الجريان غير المستقر (حركة مضطربة أو غير مستقرة)

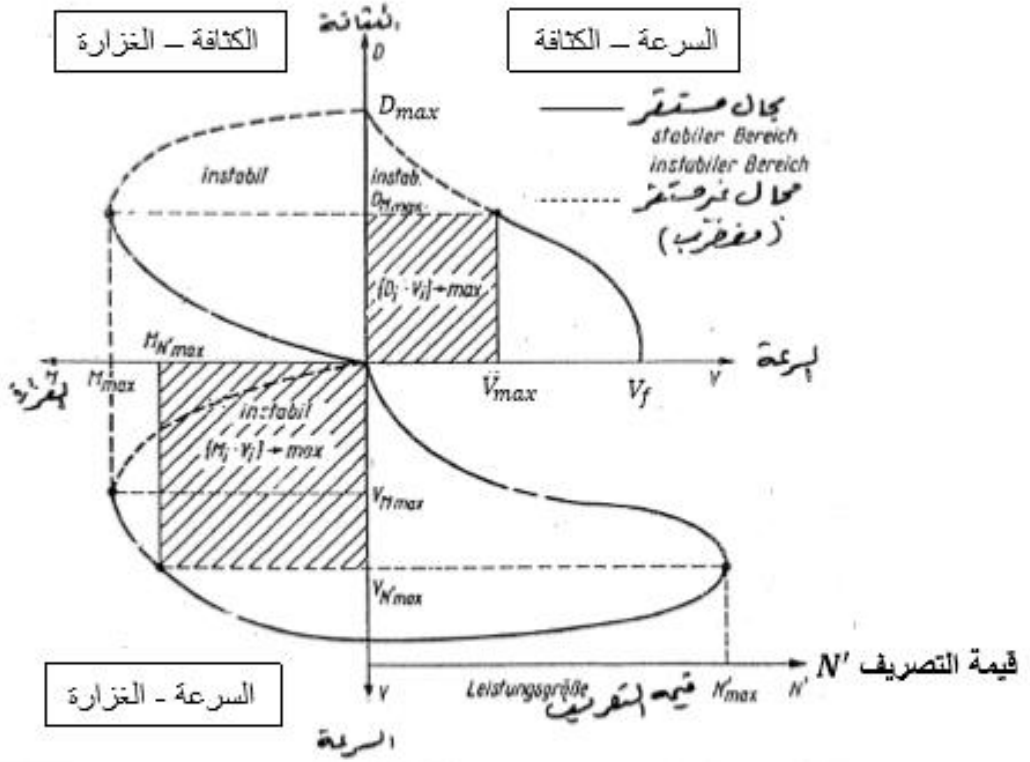
⇦ جريان مستقر تكون الكثافة محصورة بين $0 < D < D_{M(max)}$

⇦ جريان غير مستقر (قلق) تكون الكثافة محصورة بين $D_{M(max)} < D < D_{max}$

إن أي اضطراب في علاقة (السرعة - مسافة) الذي يسببه سائق العربة يؤدي إلى جريان قلق وعدم استقرار

خامسا- علاقة كثافة المرور D بالغزارة M والسرعة الآنية Vm

المخطط الموضح بالشكل يوضع العلاقة بين (الكثافة-الغزارة-السرعة)



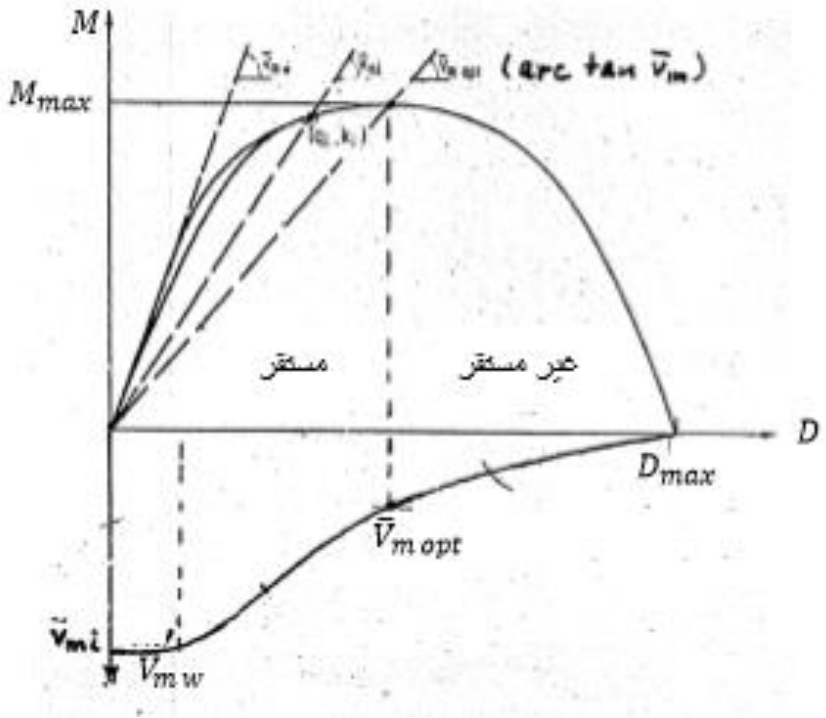
⇦ جريان مستقر تكون السرعة الانية محصورة بين $0 < \overline{V_m} < \bar{V}_{mM(max)}$

⇦ جريان غير مستقر (قلق) تكون السرعة الأنية محصورة بين $\bar{V}_{mM(max)} < \overline{V_m} < \bar{V}_f$

ويمكن ممن المخطط السابق الحصول على قيمة التصريف لكل km/h من طول الشارع أو الطريق المدروس .

$$N' = M * \bar{V}_m$$

رسم علاقة الغزارة والكثافة والسرعة :



السرعة العظمى لا تعطي غزارة عظمى وذلك طبيعي.

إذ نه عندما تكون السرعات عالية ستكون الكثافة قليلة أي عدد السيارات سيكون قليل وبالتالي كل سائق سيختار السرعة المرغوبة الخاصة به، أي أن التصريف سيكون قليل (لأن عدد السيارات خلال مسافة معينة سيكون قليل).