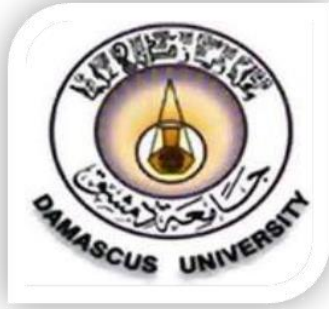




جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية
قسم هندسة النقل ومواد البناء

المبادئ الأساسية لحركة تيارات المرور

المحاضرة الثانية

خصائص حركة المرور: Traffic Stream Parameters

يمكن تصنيف خصائص الحركة المرورية إلى نوعين من الخصائص:

- **الخصائص الماكروسكوبية Macroscopic** التي تتميز حركة المرور بشكل عام، تشمل ثلاث خصائص رئيسة وهي: الغزارة، السرعة، الكثافة.

- **الخصائص الميكروسكوبية Microscopic** التي تتميز السلوك المستقل للعربات في التيار المروري وتأخذ بالاعتبار التأثير المتبادل للعربات فيما بينها. وتشمل الفواصل الزمنية headway ،

وفواصل المسافات spacing

أولاً: الخصائص الماكروسكوبية:

يمكن وصف الشكل الماكروسكوبي لحركة المرور بثلاثة خصائص رئيسية:

- ▶ الغزارة ومعدل المرور
- ▶ السرعة
- ▶ الكثافة

1- الغزارة ومعدل المرور:

تعرف الغزارة بأنها عدد العربات التي تمر عبر نقطة أو مقطع محدد من الطريق أو عبر حارة مرور أو اتجاه معين من الطريق وذلك خلال فترة زمنية محددة تؤخذ عادة الساعة.

1-1- حجم المرور اليومي واستخدامه:

عند اعتبار الفترة الزمنية لقياس غزارة المرور هي اليوم نحصل على حجم المرور اليومي الذي يستخدم بشكل متكرر في أعمال التخطيط للطرق، ويأخذ حجم المرور اليومي عدة أشكال:

- معدل المرور اليومي السنوي AADT : (Average Annual Daily Traffic)

وهو معدل حجم المرور خلال 24 ساعة في موقع محدد وذلك عبر فترة قياس تستمر لمدة 365 يوم، حيث يتم تقسيم حجم المرور خلال عام كامل من القياس على 365.

- معدل المرور اليومي الأسبوعي خلال عام AAWT : (Average Annual weekly Daily Traffic)

► وهو عبارة عن معدل حجم المرور خلال 24 ساعة من أيام العمل خلال الأسبوع، وذلك لمدة عام كامل، ونحصل على AAWT بتقسيم حجم المرور خلال عام كامل على 260 (حيث تم فقط اعتبار أيام العمل الأسبوعية).

- معدل المرور اليومي الموسمي (Seasonal Annual Daily Traffic)

► بما أن غزارة المرور تتغير من شهر لآخر فأحياناً نلاحظ ارتفاع الغزارة صيفاً (مناطق الجذب السياحي) وانخفاضها شتاء لذلك في بعض الدراسات يتم الأخذ بعين الاعتبار تغير الغزارة في مواسم الذروة (الصيف).

- معدل المرور اليومي ADT:

► عبارة عن معدل حجم المرور خلال 24 ساعة وذلك لفترة قياس أقل من سنة، حيث يمكن أن تكون لستة أشهر أو فصل معين أو شهر أو أسبوع أو عدة أيام.

► تؤخذ واحدة قياس حجوم المرور السابقة ($\frac{\text{عربة}}{\text{يوم}}$)

($\frac{\text{vehicle}}{\text{day}}$: vehicle per day or vpd) أو Pcu/h ولا يتم عادة اعتبار الحجوم

اليومية للمرور حسب اتجاه الحركة أو حسب حارات المرور وإنما تؤخذ كقيمة إجمالية في موقع محدد من طريق أو شارع.

- الغزارات الساعية:

في حين تستخدم حجوم المرور اليومي لأغراض التخطيط فإنه لا يمكن استخدامه في أعمال التصميم الهندسي والتحليل العملياتي.

▶ تتباين الغزارات خلال ساعات النهار وتحصل فترات ذروة صباحية وذروة الظهر وأحياناً على بعض الشوارع توجد ذروة مسائية، وتعتبر ساعة الذروة (peak hour) عن الفترة التي تحصل فيها غزارات أعظمية، وتعتبر ساعة الذروة عن الحركة لاتجاه معين من اتجاها الحركة على الطريق أو الشارع المدروس.

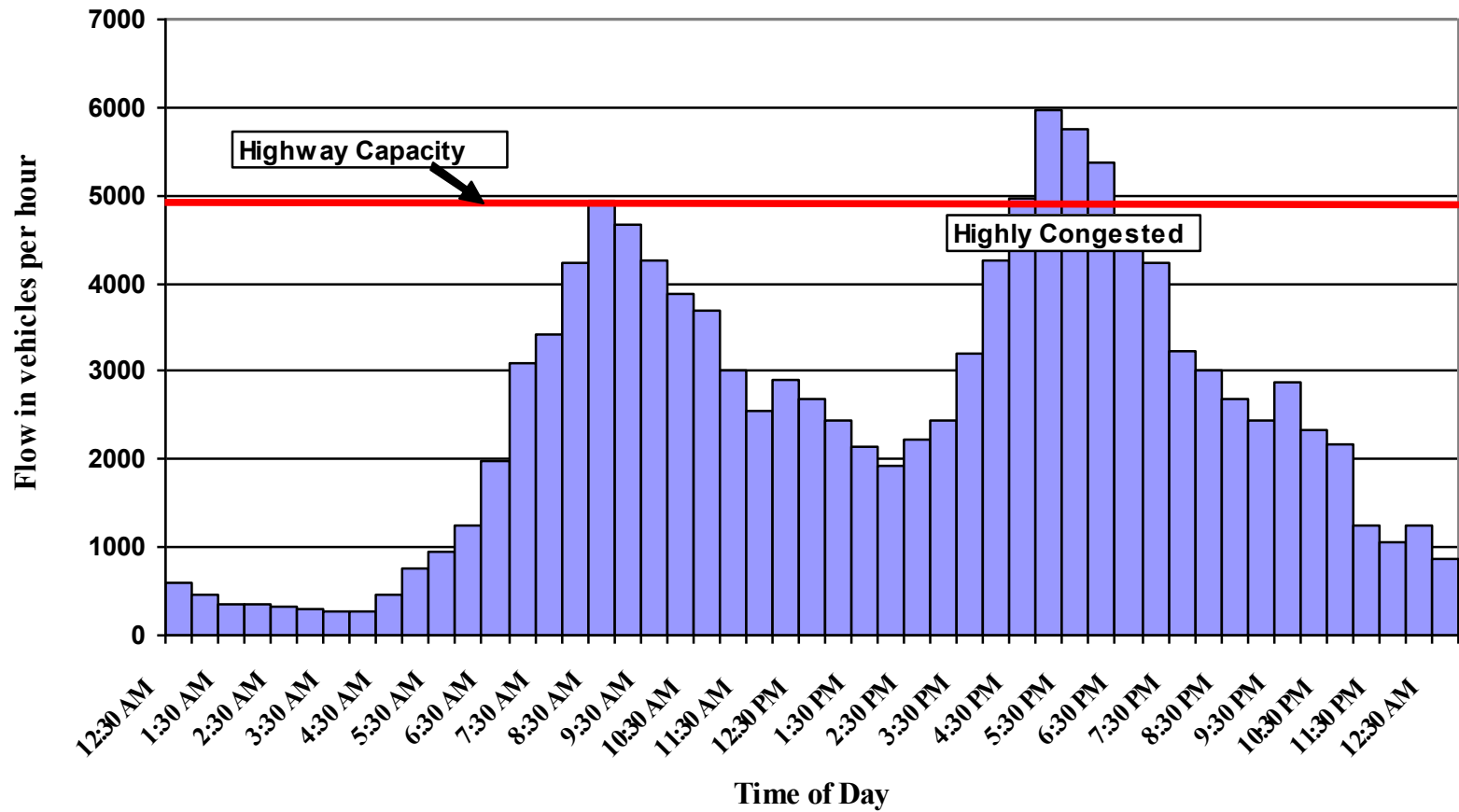
▶ تستخدم غزارة ساعة الذروة في أعمال تصميم الطريق وفي العديد من أشكال التحليل العملياتي، وتصمم الطرق عادة لتأمين تخديم الغزارات المرورية بشكل مقبول في ساعة الذروة، وذلك للاتجاه الذي تحصل عليه الغزارة الأعظمية في ساعة الذروة، كما أن غزارة ساعة الذروة تستخدم لأعمال التحليل والتقييم لأداء الشوارع والتقاطعات وفق معايير السعة والسلامة وأشكال التحكم بالحركة وضبطها.

قدرات التمرير (التصريف) (السعة المرورية):

هي الغزارة العظمى التي يمكن أن يصرفها هذا الطريق أو الشارع أو المنشأة من تيار مرور 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.



يتم أحياناً تقدير ساعة الذروة بناء على معدل المرور اليومي السنوي وذلك باستخدام العلاقة التالية:

$$DDHV = AADT \cdot K \cdot D$$

حيث: AADT : معدل المرور اليومي السنوي (vpd)

DDHV : غزارة التصميم الساعية الاتجاهية (vph)

K : نسبة من معدل المرور اليومي السنوي تحدث خلال ساعة الذروة

D : نسبة من غزارة ساعة الذروة في الاتجاه ذو الغزارة الأعظمية،

لأغراض التصميم تؤخذ قيمة K كنسبة من معدل المرور اليومي التي تحصل في الساعة رقم 30 الأكثر غزارة خلال عام، وذلك من أجل الطرق الريفية، أما من أجل الطرق والشوارع ضمن المدن فتؤخذ النسبة الموافقة لساعة الذروة رقم 50 . فعلى سبيل المثال لنعتبر طريق ريفي تم تصميمه من أجل معدل مرور يومي سنوي AADT خلال عشرين سنة قيمته 30000 vpd ومن المعروف أن غزارة ساعة التصميم لهذا النوع من الطرق تؤخذ 20% من AADT ، ويتعرض الاتجاه الذي تمر عليه الغزارة الأكبر لـ 70% من غزارة ساعة الذروة، أي يكون:

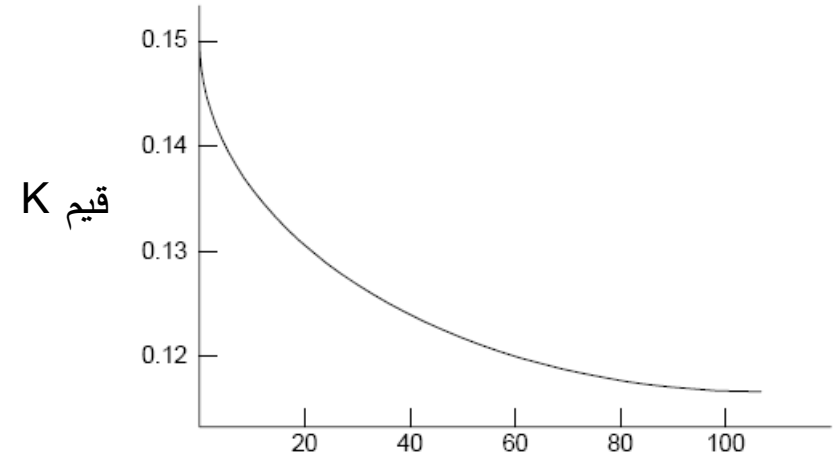
$$DDHV = AADT \cdot K \cdot D = 30000 \cdot 0,2 \cdot 0,7 = 4200 \text{ vph}$$

وفي حال كانت نفس المعطيات السابقة من أجل طريق في ضاحية إحدى المدن فنجد أن قيم K و D حيث تصبح قيمة $K=0.15$ و $D=0.60$ وتكون بالتالي غزارة ساعة التصميم :

$$DDHV = AADT \cdot K \cdot D = 30000 \cdot 0.15 \cdot 0.60 = 2700 \text{ vph}$$

يبين الجدول التالي قيم K و D من أجل مواقع مختلفة، كما يبين الشكل العلاقة بين قيم K والغزارات الساعية الأعظمية المتسلسلة خلال عام:

الجدول () قيم K و D حسب منطقة الطريق		
نوع المنطقة	المجال الطبيعي للعوامل	
	العامل K	العامل D
ريفية	0.15-0.25	0.65-0.80
ضواحي المدن	0.12-0.15	0.55-0.65
طريق محوري	0.07-0.12	0.60-0.55
طريق محيطي (حلقي)	0.07-0.12	0.50-0.55



الغزارات الساعية الأعظمية المتسلسلة خلال عام

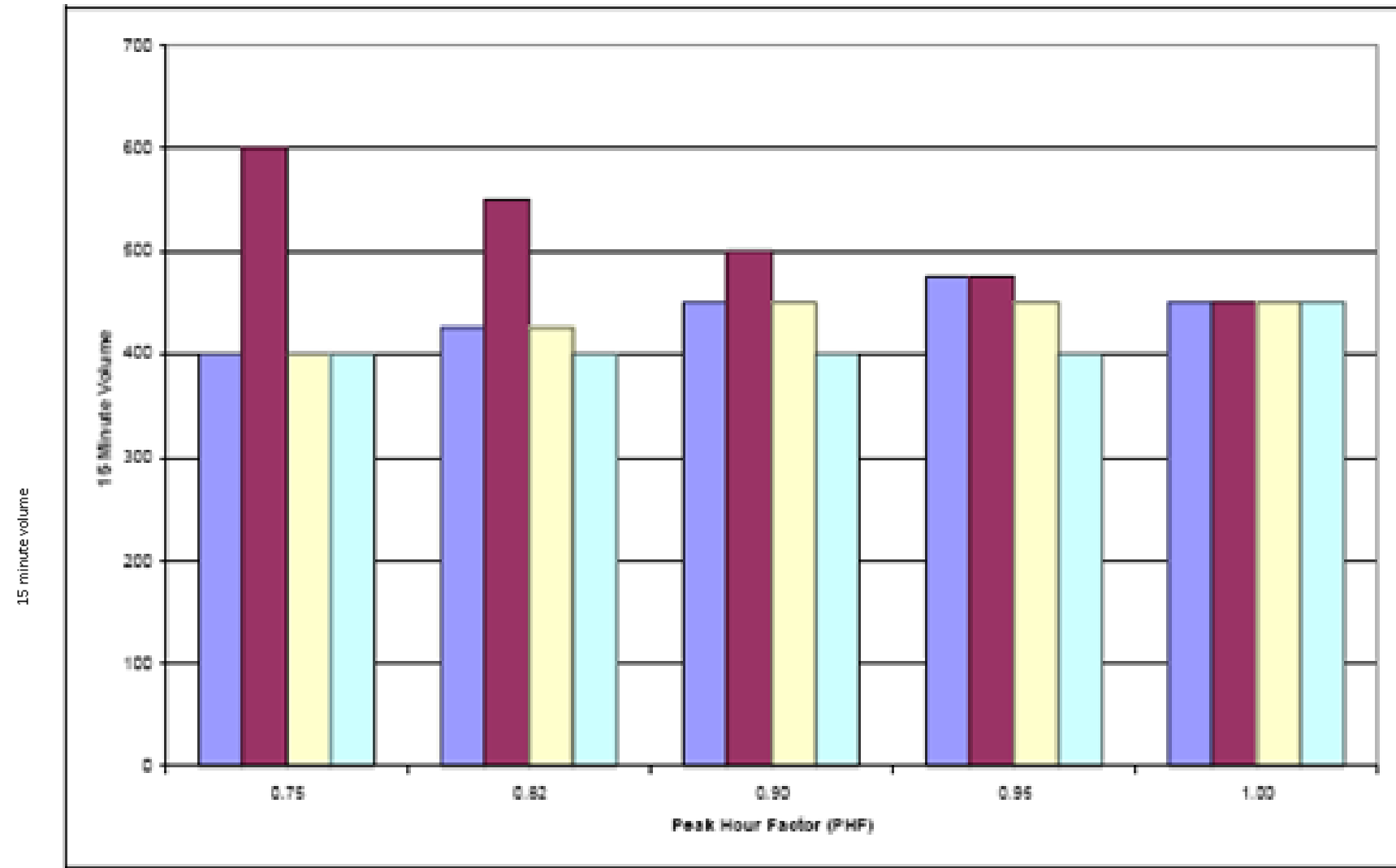
- تغير الغزارة المرورية خلال فترة أقل من ساعة:

- ▶ يمكن أن تكون سعة الطريق كافية لتخديم ساعة الذروة بشكل عام ولكن هناك فترات قصيرة ضمن ساعة الذروة قد تكون خلالها الغزارة أكبر من السعة ويمكن أن تؤدي إلى حدوث اختناقات مرورية، من هنا تم إدخال مفهوم معدل الغزارة الساعية الذي يأخذ بالاعتبار التغيرات في قيم الغزارة خلال فترات قصيرة اقل من ساعة (تؤخذ عادة ربع ساعة)، وتؤخذ قيم هذه الغزارة كأساس للحصول على معدل الغزارة المكافئ لها خلال ساعة.
- ▶ يتم ذلك باستخدام معامل ساعة الذروة (PHF) peak hour factor الذي يعبر عن قياس لتغير الغزارة خلال ساعة الذروة ويحسب وفق العلاقة:

$$PHF = \frac{\text{Hourly Volume}}{(4 \times \text{Peak 15 Minute Volume})}$$

$$\rightarrow \text{معامل ساعة الذروة} = \frac{\text{الغزارة الساعية}}{(\text{غزارة الـ 15 دقيقة الأعظمية} \times 4)}$$

وتكون قيمة PHF دائماً أقل من 1.0، وتعتبر القيمة 1.0 عن توزع منتظم تماماً للغزارة خلال ساعة.



Peak hour factor (PHF)

وباستخدام معامل ساعة الذروة يمكن أن نحصل على معدل المرور في ساعة الذروة (rate of flow)
 بالشكل التالي: (rate of flow $v = \text{hourly volume } V_h / \text{PHF}$)

عربة الركاب الحسابية (passenger car Unit (pcu):

تعتبر pcu عبارة عن قياس خاص بتحويل كافة العربات إلى عربات ركاب مكافئة، حيث يكون للعربات الكبيرة تأثير سلبي واضح على الجريان المروري، وتختلف قيم معاملات تحويل العربات إلى عربات ركاب مكافئة بين الدول وتتغير حسب حجم العربة، وزنها واستطاعة محركها، يبين الجدول التالي بعض القيم النموذجية لمعاملات التحويل حسب مختبر أبحاث النقل البريطاني (TRL):

العربة	معامل التحويل
دراجة عادية (Bicycle)	0.3
دراجة نارية (motorcycle)	0.4
عربة سياحية أو فان (car , van)	1.0
باص صغير 4 دواليب (mini bus)	1.1
باص ثقيل أكثر من 4 دواليب (heavy bus)	2.3
شاحنة ثقيلة (أكثر من 4 دواليب) (truck)	2.1
ترام (tram)	6.0

2- السرعة

► بشكل أساسي السرعة عبارة عن إجمالي المسافة المقطوعة مقسومة على زمن الرحلة $V=d/t$ ، يعبر عن السرعة عادة بـ km/h. وهناك ثلاثة قياسات رئيسية للسرعة:

► 1-2 السرعة اللحظية spot speed

وهي عبارة عن السرعة في لحظة محددة وموقع محدد، وتستخدم عادة في تصميم العناصر الهندسية للطريق (منحنيات أفقية وشاقوليه، رفع عرضاني ...)، توضع وحجم الشاخصات، تصميم الإشارات الضوئية، السرعة الآمنة، وتحديد مناطق السرعات المختلفة وكافة البيانات التي لها علاقة بالسرعة.

► 2-2 سرعة الحركة running speed

وهي عبارة عن معدل السرعة عبر مسافة معينة تكون العربدة خلالها في حالة سير مستمر، ونحصل عليها بتقسيم المسافة على الزمن الذي تكون العربدة خلالها في حالة حركة.

► 3-2 سرعة الرحلة (Journey Speed)

سرعة الرحلة هي عبارة عن السرعة الفعلية لحركة العربدة خلال اجتيازها مرحلة معينة من الطريق بين نقطتين، وتأخذ بالاعتبار المسافة بين النقطتين والزمن الكلي الذي تستغرقه العربدة لاجتياز هذه المسافة (بما فيه أزمدة التوقف مهما كانت مسبباتها).

4-2 السرعة الوسطية (زمانياً) time mean speed TMS

وهي عبارة عن معدل السرعة لكافة العربات التي تعبر نقطة معينة خلال فترة من الزمن، وتعطى بالعلاقة:

$$TMS = avg.speed = \frac{\sum_1^n v_i}{n} = \frac{\sum \frac{d}{t_i}}{n}$$

حيث v_i السرعة اللحظية للعربة i

d المسافة المقطوعة

t_i زمن قطع المسافة d

n عدد العربات التي يتم قياس سرعاتها اللحظية

5-2 السرعة الوسطية (مكانياً) space mean speed SMS

وهي عبارة عن معدل السرعة لكافة العربات التي تشغل قطاعاً محدداً من الطريق خلال فترة زمنية محددة.

في الواقع السرعة الوسطية زمانياً هي سرعة في نقطة بينما السرعة الوسطية مكانياً هي السرعة عبر مسافة محددة من الطريق أو حارة المرور، ويعبر عن SMS بالعلاقة:

$$SMS = \frac{\text{المسافة المقطوعة}}{\text{معدل زمن الرحلة}} = \frac{d}{\sum \frac{t_i}{n}} = \frac{nd}{\sum t_i}$$

3- الكثافة المرورية Density

تعرف الكثافة بأنها عدد العربات التي تشغل قطاع محدد من طريق أو حارة مرور ويعبر عنها عادة بـ
عربة/كم (veh/km) أو vpkmpl (عربة في الكم في حارة المرور)، من الصعب قياس الكثافة وتحسب
عادة انطلاقاً من السرعة والغازة ويعبر عن العلاقة بين هذه المتحولات الثلاثة بالشكل التالي:

$$Q = V * D$$

$$D = \frac{Q}{V}$$

$$Q = \text{معدل الغازة (vph)}$$

$$V = \text{وسطي السرعة المكانية SMS } \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right)$$

$$D = \text{الكثافة (veh/km)}$$

وهكذا نجد أنه من أجل معدل غازة لحركة المرور 1000 vph وسرعة 80 km/h فإن قيمة الكثافة تكون :

$$D = \frac{1000 \text{ veh/h}}{80 \text{ km/h}} = 25 \text{ veh/km}$$

يتم حساب الكثافة :

بأخذ صورة بكاميرة ونعد السيارات في مسافة محددة (ولتكن 100 m مثلاً)

وذلك ضمن فترة معينة (فترة الظهر مثلاً).

وتعتبر الكثافة معيار هام لقياس كفاءة حركة المرور من حيث راحة وسهولة الحركة والقدرة على المناورة واختيار السرعة. وهي تعطي مؤشر للازدحام المروري للطريق.

- كما يمكن قياس الازدحام المروري من خلال نسبة الغزارة إلى السعة (حسب HCM2010 دليل السعة الأمريكي)

$$\frac{v}{c} < 1$$

القيمة المثالية 0.85

$$\frac{v}{c} = 1$$

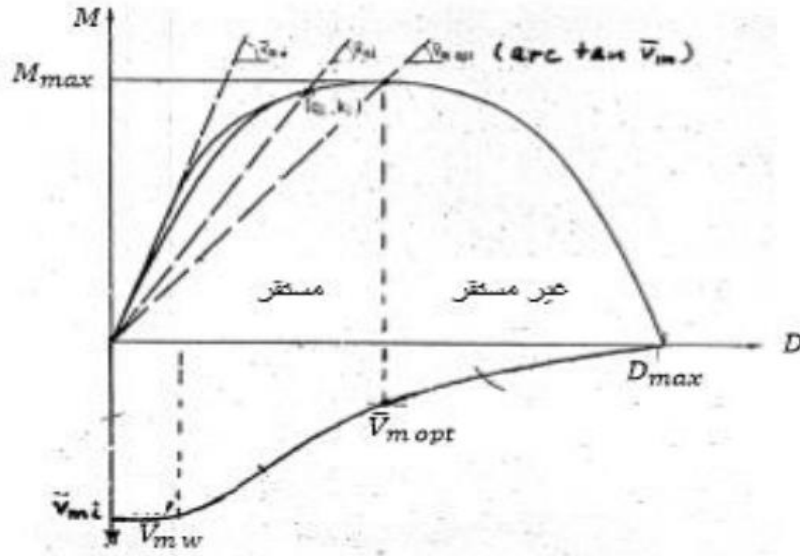
ازدحام مروري

$$\frac{v}{c} > 1$$

اختناق مروري

مخطط المرور الأساسي

رسم علاقة الغزارة والكثافة والسرعة :



السرعة العظمى لا تعطي غزارة عظمى وذلك طبيعي. إذ أنه 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).

ثانياً: الخصائص الميكروسكوبية

1- الفواصل الزمنية $t[s]$

الفاصل الزمني : الزمن الفاصل بين عبور عربتين متتاليتين مقطعاً معيناً، وتقاس بوحدة 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 بتهدة السائق.

أنواع الفواصل الزمنية:

فاصل زمني قائم - فاصل زمني صافي

1- الفاصل الزمني القائم :

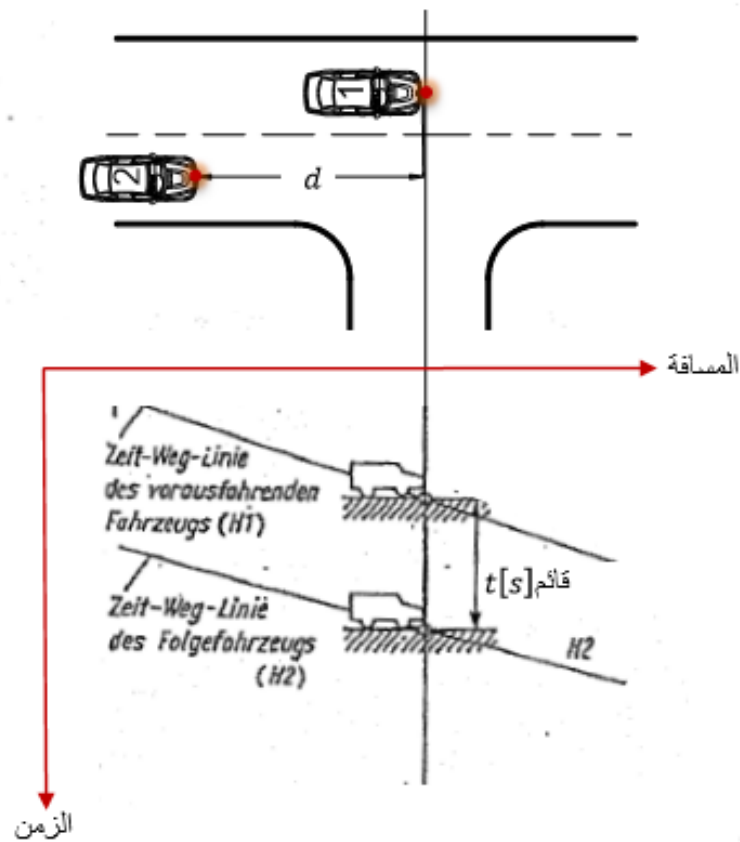
وهو الزمن الفاصل بين مرور عربتين متتاليتين مأخوذاً بالنسبة لنقطة اعتبارية ثابتة ومحددة (بداية ونهاية كل من العربتين المتتاليتين).

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

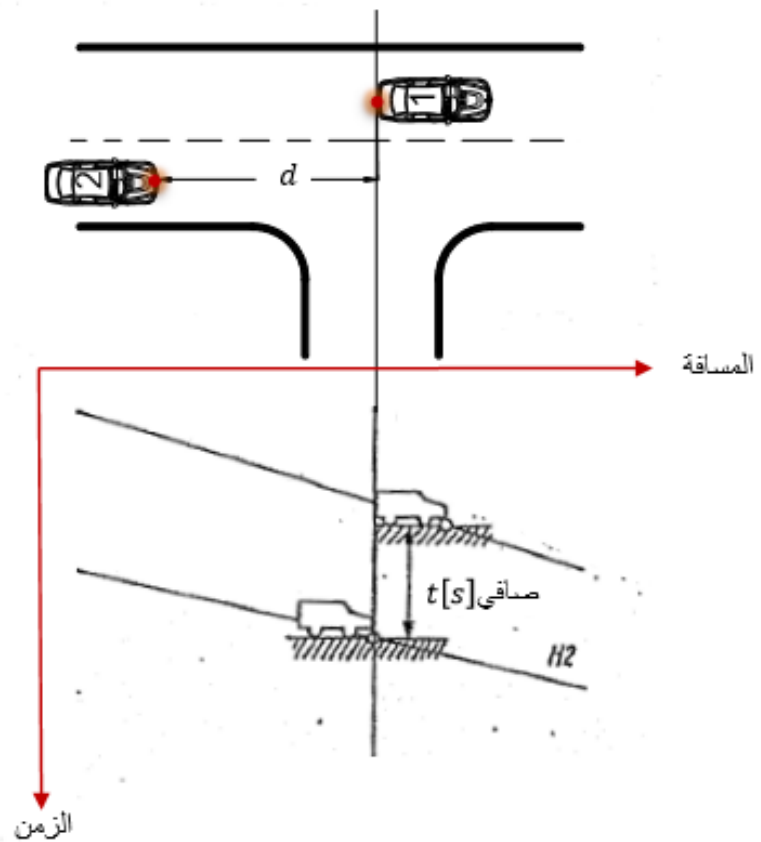
2- الفاصل الزمني الصافي:

وهو الزمن الفاصل بين مرور عربتين متتاليتين مأخوذاً 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

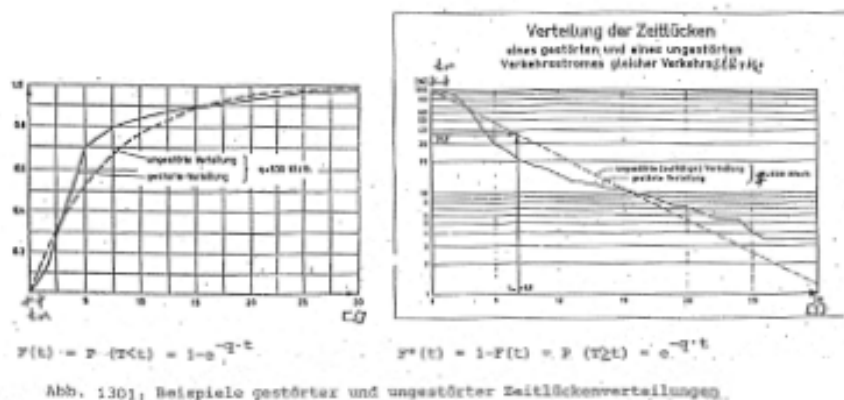


الفاصل الزمني القائم



الفاصل الزمني الصافي

الفواصل الزمنية وتوابع توزعها :



يمكن أن تمثل الفواصل الزمنية أيضاً بتوابع توزيع، وتمتاز الفواصل الزمنية القائمة بالأهمية الكبيرة بالمقارنة مع الفواصل الزمنية الصافية، وفيما بعد عندما نقول فواصل زمنية فإننا نقصد بها الفواصل الزمنية القائمة (أي اختصاراً).

وبالتالي إذا اعتمدنا علاقة بواسون "في تدفق العربات خلال توزع فواصل زمنية محددة"

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

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

q : غزارة المرور الوافدة في الثانية.

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

M أو Q : هي الغزارة الكلية في ساعة واحدة.

وبالتالي فإن تابع توزع الفواصل الزمنية يأخذ الشكل التالي: $F(t) = P(T < t) = 1 - e^{-q}$

إن هذا التابع يمثل احتمال الحصول على فاصل زمني قدره $(T < t)$ وهو تابع أسّي سالب ويمكن أن نميز بين التوابع المضطربة (المخلخلة) والتوابع العادية غير المشوّهة وذلك كما نرى في الشكل للحالتين $(T < t)$ و $(T \geq t)$.

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

توزيع بواسون

هو تابع أسّي سالب، أي أسّي مرفوع إلى أس سالب، يعبر عن توزيع 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 6 متر وسطيا).

الفواصل الفراغية (فواصل المسافات) $d[m]$

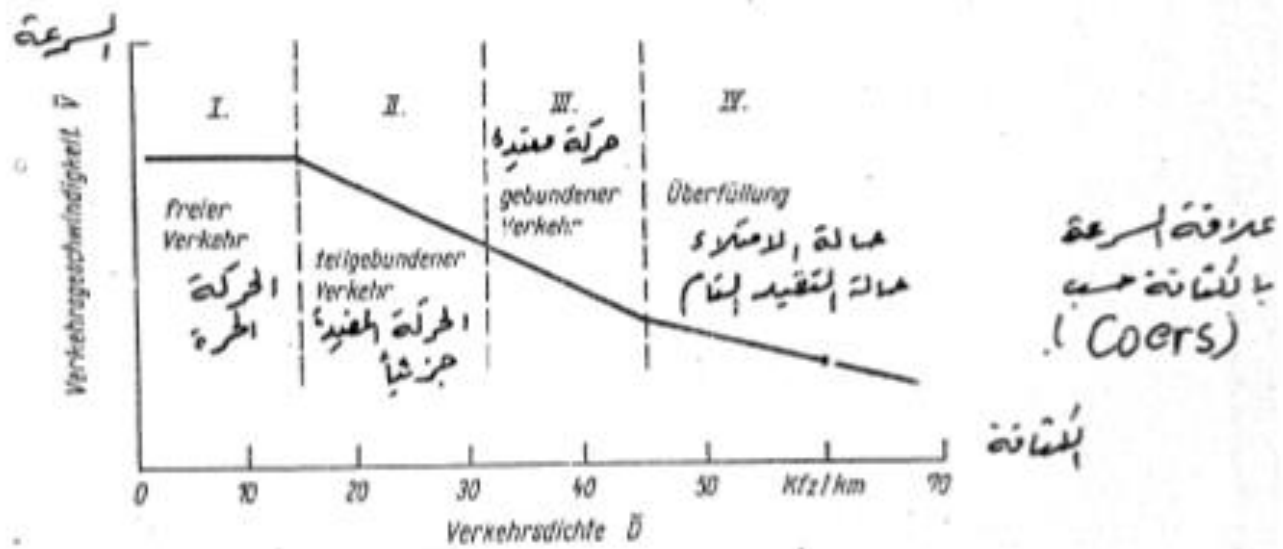
هي المسافة الفاصلة بين مرور نقطتين اعتباريتين محددتين لمركبتين متتابعتين من تيار مرور معين أثناء عبورها مقطع عرضي مدروس وهنا لدينا ما يسمى :

(1) المسافة الفاصلة القائمة

(2) المسافة الفاصلة الصافية

حالات حركة المركبات :

- (1) **الحركة (المرور) الحرة كلياً:** تتحرك العربات بشكل حر حيث لا توجد إعاقة متبادلة فيما بينها، ومناورات التجاوز نادرة جداً، ولا نلاحظ تيارات أو مجموعات سيارات، وإنما تتحرك السيارات خلف بعضها بشكل منفرد ويختار السائقون سرعات الحركة بحرية ويكون السفر مريحاً بالنسبة للمسافرين والسائقين.
- (2) **الحركة (المرور) المقيد جزئياً:** في كل زمن وفي كل موقع يوجد جزء من السائقين مرغم باختيار السرعة التي تحددها سرعة العربة التي تسبقه، ويصبح التجاوز صعباً والحركة غير مريحة.
- (3) **الحركة (المرور) المقيد كلياً:** ارغام كل سائق بقبول السرعة المحددة من العربة التي تسير أمامه ويصبح التجاوز مستحيلاً ويسير تيار المرور كرتل أو كقافلة واحدة.



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

انتهت المحاضرة