

جامعة تشرين
كلية الهندسة المدنية
قسم هندسة المواصلات والنقل

عناصر حركة المرور وخصائصها

مقدمة:

من المنطقي قبل دراسة المظاهر الوظيفية لهندسة المرور، التعرف على عناصر الحركة المرورية وكيفية تفاعلها لتشكيل الجريان المروري.

يمكن تحديد عناصر حركة المرور بـ:

- السائق
- العربات
- الطرق والشوارع
- البيئة العامة
- أجهزة التحكم

تتفاعل هذه العناصر مع بعضها لتشكيل نظام حركة المرور، ويؤثر كل عنصر من عناصر هذا النظام على تطبيق هندسة المرور، فـالسائق مثلاً العديد مكن الخصائص (زمن رد الفعل، حدود الرؤية، زمن السير،...) التي يجب أخذها بالاعتبار عند تصميم أنظمة فعالة وآمنة، وللعربات أيضاً بعض الخصائص التي تؤثر بشكل أساسي على التصميم الهندسي للطرق والشوارع وأساليب التحكم بالحركة وتنظيمها ، مثل نصف قطر الدوران، إمكانيات التسارع والتباطؤ، حالة الدواليب وغير ذلك من مواصفات قد تتباين بين عربة وأخرى .

أما بالنسبة لخصائص الطريق فهي حرجة أيضاً وأساسية وتشمل الميول الطولية، أنصاف أقطار المنعطفات ومواد الإكساء الطرقي وغيرها .

تأخذ البيئة المحيطة عادة مجموعة من الظروف التي تؤثر على تغير خصائص السائق والعربة والطريق، فالسطح الرطب للطريق يجعل عوامل احتكاك الدواليب أقل وبالتالي مسافات التوقف والفرملة تزداد بشكل واضح، وظروف الحرارة المرتفعة أو المنخفضة تؤثر على أداء السائق وزمن رد الفعل.

أما تجهيزات التحكم بحركة المرور مثل الشاخصات، الطلاء الطرقي والإشارات الضوئية فتستخدم للاتصال مع السائق ويجب أن يتم تصميمها بشكل ملائم ووفق أسس موحدة بحيث تعمل بشكل متكامل وشامل بهدف الاستخدام الفعال والأمن للعربة والطريق.

خصائص حركة المرور:

- يمكن تصنيف خصائص الحركة المرورية ضمن فئتين أساسيتين:
- الخصائص الماكروسكوبية التي تميز حركة المرور بشكل عام،
 - الخصائص الميكروسكوبية التي تميز السلوك المستقل للعربات في تيار الحركة وتأخذ بالاعتبار التأثير المتبادل فيما بينها.

يمكن وصف الشكل الماكروسكوبي لحركة المرور بثلاثة خصائص رئيسية:

1. الغزارة ومعدل المرور
2. السرعة
3. 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: وهو عبارة عن 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. يستخدم مفهوم معدل المرور اليومي السنوي في تحليل أعمال النقل والمرور ضمن عدة مجالات:

- تقدير العائدية لمستخدمي الطريق،
- حساب معدلات الحوادث (عدد الحوادث لكل 100 مليون عربة.كم)
- وضع توجهات تغيرات حجوم المرور،
- التقييم الاقتصادي لمشاريع الطرق،
- تطوير أنظمة الطرق الحرة والشوارع الشريانية الرئيسية،

▪ تطوير برامج تحسين وصيانة منشآت الطرق،

○ معدل المرور اليومي الأسبوعي خلال عام AAWT: 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 ADT: عبارة عن معدل حجم المرور خلال 24 ساعة وذلك لفترة قياس أقل من سنة، حيث يمكن أن تكون لسنة أشهر أو فصل معين أو شهر أو أسبوع أو عدة أيام، ويستخدم ADT في:

▪ تخطيط كافة الأنشطة المتعلقة بالطريق،

▪ قياس الطلب الحالي على الحركة المرورية،

▪ تقييم الأداء المروري.

تؤخذ واحدة قياس حجوم المرور السابقة عربة/يوم (vpd :vehicle/day) 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.

2-1 الغزارات الساعية: في حين تستخدم حجوم المرور اليومي لأغراض التخطيط فإنه لا يمكن استخدامه في أعمال التصميم الهندسي والتحليل العملياتي، تتباين الغزارات خلا ساعات النهار وتحصل فترات ذروة صباحية وذروة الظهر وحياناً على بعض الشوارع توجد ذروة مسائية، وتعبّر ساعة الذروة (peak hour) عن الفترة التي تحصل فيها غزارات أعظمية، وتعبّر ساعة الذروة عن الحركة لاتجاه معين من اتجاهي 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.

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:

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

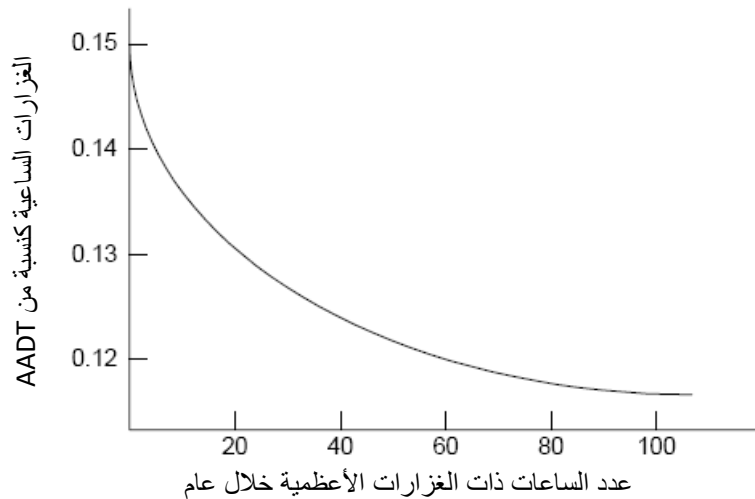
وفي حال كانت نفس المعطيات السابقة من أجل طريق في ضاحية إحدى المدن فنجد أن قيم K و D حيث تصبح قيمة K=0.15 و D=0.60 وتكون بالتالي غزارة ساعة التصميم :

$$DDHV = AADT \cdot K \cdot D = 30000 \cdot 0,15 \cdot 0,60 = 2700 \text{ vph}$$

يبين الجدول () 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

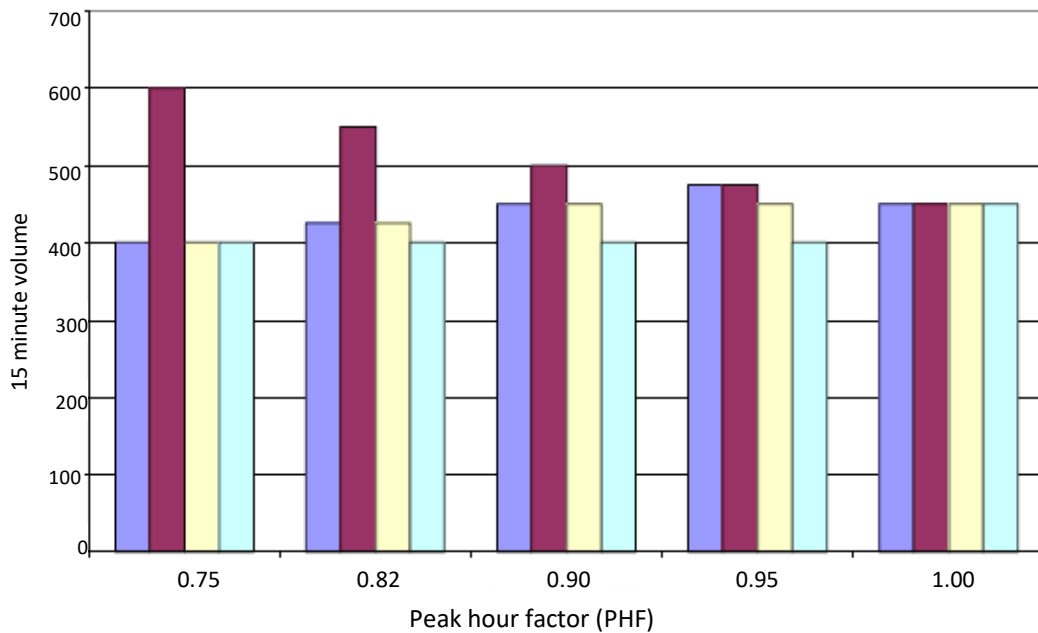
نوع المنطقة	المجال الطبيعي للعوامل	
	العامل K	العامل D
ريفية	0.15-0.25	0.65-0.80
ضواحي المدن	0.12-0.15	0.55-0.65
طريق محوري	0.07-0.12	0.60-0.55
طريق محيطي (حلقي)	0.07-0.12	0.50-0.55



الشكل () الغزارات الأعظمية لأعلى 100 ساعة خلال عام

1-3 تغيير الغزارة المرورية خلال فترة اقل من ساعة: تعتبر الغزارة الساعية للمرور هي الأساس في عمليات التصميم والتحليل، ولكن تغير قيم الغزارة خلال فترات قصيرة اقل من ساعة جديرة بالاهتمام في حالات كثيرة، حيث ترتبط نوعية المرور بشكل واضح بفترات قصيرة اقل من الساعة، ويمكن أن تكون سعة الطريق كافية لتخديم ساعة الذروة بشكل عام ولكن هناك فترات قصيرة ضمن ساعة الذروة قد تكون خلالها الغزارة أكبر من السعة حيث سيؤدي ذلك لظهور اختناقات مرورية ، من هنا تم إدخال مفهوم معدل الغزارة الساعية الذي يأخذ بالاعتبار التغيرات في قيم الغزارة خلال فترات قصيرة اقل من ساعة، وتتخذ قيم هذه الغزارة كأساس للحصول على معدل الغزارة المكافئ لها خلال ساعة.

يتم ذلك باستخدام معامل ساعة الذروة (PHF) الذي يعبر عن قياس لتغير الغزارة خلال ساعة ويحسب وفق العلاقة: $PHF = \text{Hourly Volume} / (4 \times \text{Peak 15 Minute Volume})$ أي حاصل قسمة الغزارة الساعية على غزارة الـ 15 دقيقة الأعظمية خلال ساعة القياس أو الإحصاء، وتكون قيمة PHF دائماً أقل من 1.0، وتعتبر القيمة 1.0 عن توزيع منتظم تماماً للغزارة خلال ساعة.



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

مثال:

احسب الغزارة الساعية ومعدل الغزارة للعربات من أجل البيانات التالية التي تم إحصاءها :

الفترة الزمنية	الغزارة (veh)
4:00-4:15	700
4:30-4:16	900
4:45-4:31	850
5:00-4:46	785

$$\begin{aligned} \text{الغزارة الساعية} &= 3235 \text{ عربة/سا (veh/h)} \\ \text{معامل ساعة الذروة} &= 0.898 = 3235/4 \times 900 \\ \text{معدل الغزارة} &= 3600 = 3235/0.898 \text{ عربة/ساعة} \end{aligned}$$

1-4 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):

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

1-5 عربة الركاب المكافئة مكانياً (passenger car space equivalents pcse)

وتختلف عن pcu بأنها تعتمد على أساس المساحة التي تشغلها العربة، وتستخدم في التحليل الاقتصادي، ويعتمد مفهوم المكافئ المكاني للعربة على أن للعربة طول محدد إضافة إلى مسافة فاصل قبل وبعد العربة الموجودة في حالة الحركة على الطريق، يبين الجدول التالي الذي أعده Hoban, et al على أساس سرعة وسطية 72 km/h، المسافة الطولية المشغولة من قبل العربات، وإضافة لذلك فإن للعربات الكبيرة تأثير على الحارات المجاورة، ويكون هذا التأثير أكبر من أجل كلما كبر حجم العربة وكلما كانت حارة المرور ضيقة (قليلة العرض)، ولذلك يتضمن الجدول قيم العربات المكافئة مكانياً وتغيرها حسب العرض:

تأثيرات حارة المرور			Basic PCSE	Total space (m)	Space headway (m)	Time headway (s)	الطول الوسطي (m)	نوع العربة
One lane	Narrow two-lane	Two-lane Four-lane						
1.0	1.0	1.0	1.0	36.0	32	1.6	4.0	عربة سياحية
1.0	1.0	1.0	1.1	40.5	36	1.8	4.5	بيك آب
2.2	2.0	1.8	1.6	58.0	44	2.2	14.0	باص ثقيل
1.5	1.4	1.3	1.3	45.0	40	2.0	5.0	شاحنة خفيفة
1.8	1.6	1.5	1.4	51.0	44	2.2	7.0	شاحنة متوسطة

2.4	2.0	1.8	1.6	57.0	48	2.4	9.0	شاحنة ثقيلة
3.0	2.6	2.2	1.8	65.0	50	2.5	15.0	شاحنة مع مقطورة

2- السرعة :

بشكل أساسي السرعة عبارة عن إجمالي المسافة المقطوعة مقسومة على زمن الرحلة $v=d/t$ ، يعبر عن السرعة عادة بـ Km/h أو mi/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 وشاقولية، 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 العربة خلالها في حالة سير مستمر، ونحصل عليها بتقسيم المسافة على الزمن الذي تكون خلاله العربة في حالة حركة.

3-2 سرعة الرحلة (Journey speed)

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

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

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

$$TMS = \frac{\sum \frac{d}{t_i}}{n} = \frac{1}{n} \sum_1^n v_i$$

حيث v_i السرعة اللحظية للعربة i ، d المسافة المقطوعة ، t_i زمن قطع المسافة d ، و n عدد العربات التي يتم قياس سرعاتها اللحظية،

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

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

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

$$SMS = \frac{d}{\sum \frac{t_i}{n}} = \frac{nd}{\sum t_i}$$

3- الكثافة Density:

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

$$v = \frac{S}{D}$$

$$D = \frac{v}{S}$$

حيث: v = معدل الغزارة (vph)

S = وسطي السرعة المكانية SMS (km/h)

D = الكثافة (veh/km)

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

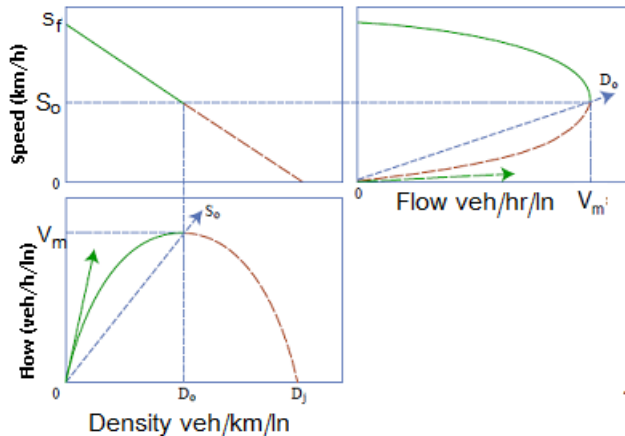
$$D = \frac{1000 \text{ veh/h}}{80 \text{ km/h}} = 25 \text{ veh/km}$$

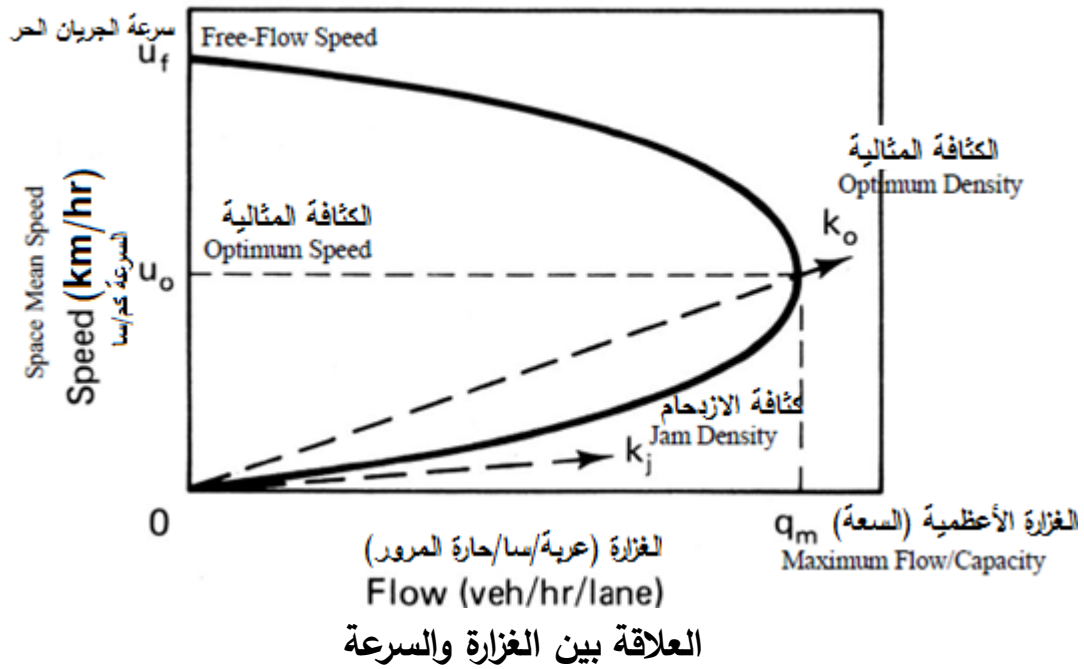
تعتبر الكثافة من أكثر معايير حركة المرور أهمية حيث ترتبط مباشرة بالطلب على الحركة، إن الطلب على الحركة يحصل من التباين في استعمالات الأراضي الذي يولد حركة انتقال (trips) تشكل بدورها كثافة مرور للعربات على الطرق، والتي بدورها تعطي معدل لحركة المرور وللسرعة، كما أن الكثافة تعتبر معيار هام لقياس كفاءة حركة المرور من حيث راحة وسهولة الحركة والقدرة على المناورة واختيار السرعة.

MIT Speed-Flow-Density Relationship

- S_f = Free flow speed
سرعة الجريان الحر
- S_o = Optimum speed
السرعة المثالية
- D_o = Optimum density
الكثافة المثالية
- D_j = Jam density
كثافة الازدحام
- V_m = Maximum Flow
الغزارة الأعظمية

$$D = v/S$$





MIT Speed-Flow Curves

Massachusetts Institute of Technology

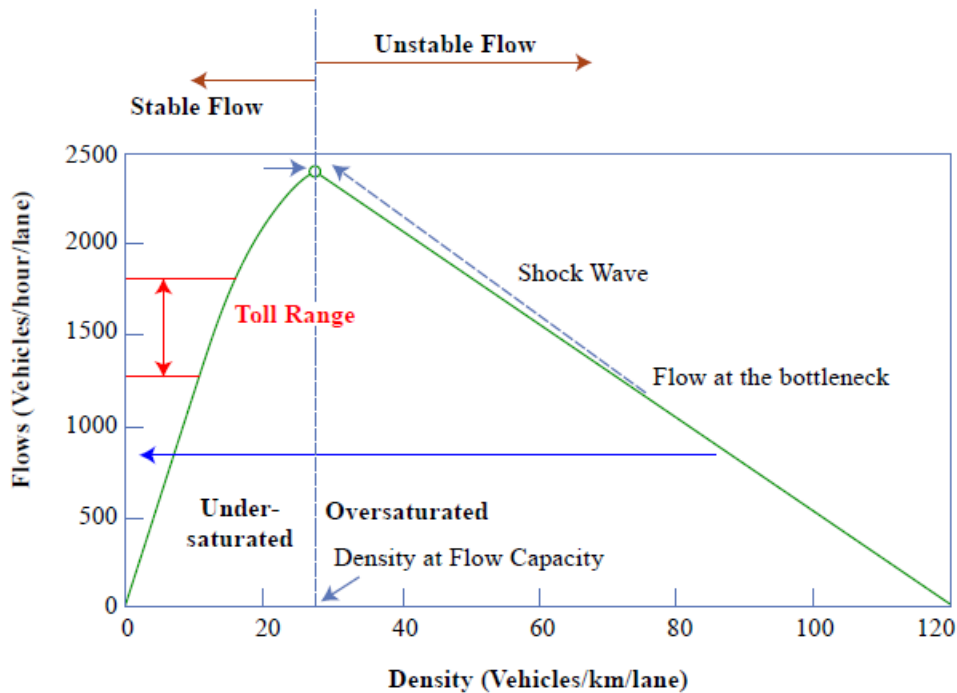
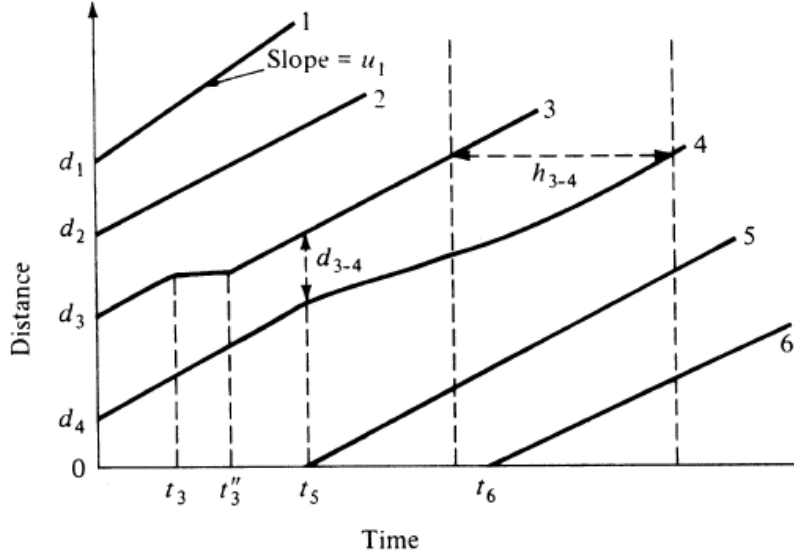


Figure by MIT OCW, adapted from the Transportation Research Board, "Highway Capacity Manual 2000".

الخصائص الميكروسكوبية:

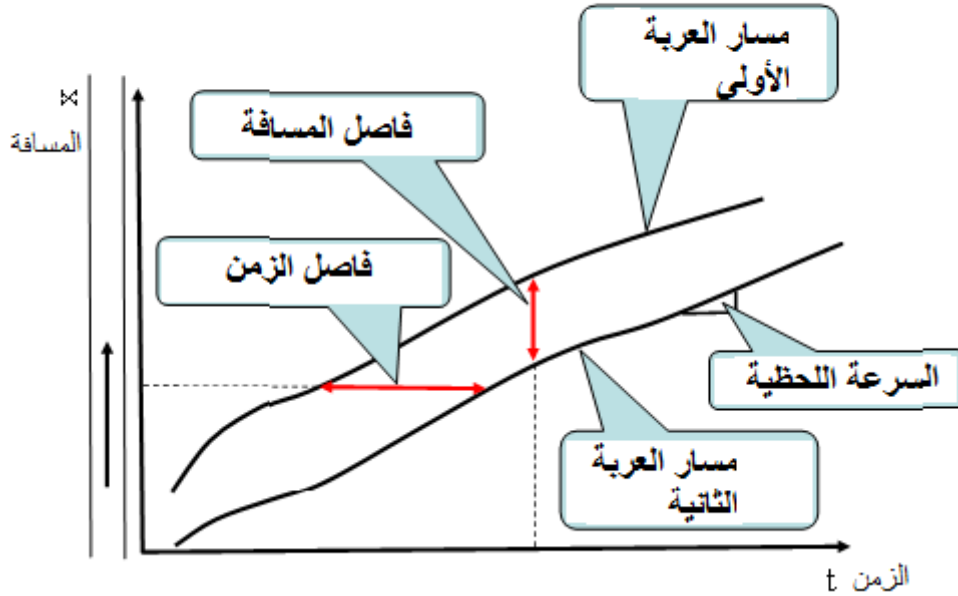
الفاصل الزمني h Time headway: وهو الفاصل الزمني بين عبور عربتين متتاليتين لنقطة معينة،

فاصل المسافة s Space headway: المسافة بين عربتين متتاليتين في لحظة محددة،



مخطط المسافة - الزمن Time - space diagram

الخصائص الميكروسكوبية لحركة المرور



N = number of vehicles counted instantaneously along segment of L m •

$D = N/L$, traffic density (veh/m) •

Average space headway $s = L/N$ (m), $1/s = N/L$

$$D = \frac{1}{s} \text{ (veh/m)} \text{ or } D = \frac{1000}{\bar{s}} \text{ (veh/km)}$$

Headway. Headway is a measure of the temporal space between two vehicles, or, more specifically, the time that elapses between the arrival of the leading vehicle and the following vehicle at the designated test point along the lane. Headway between two vehicles is measured by starting a chronograph when the front bumper of the first vehicle crosses the selected point and subsequently recording the time that the second vehicle's front bumper crosses over the designated point. Headway is usually reported in units of seconds.

Average value of headway is related to macroscopic parameters as follows:

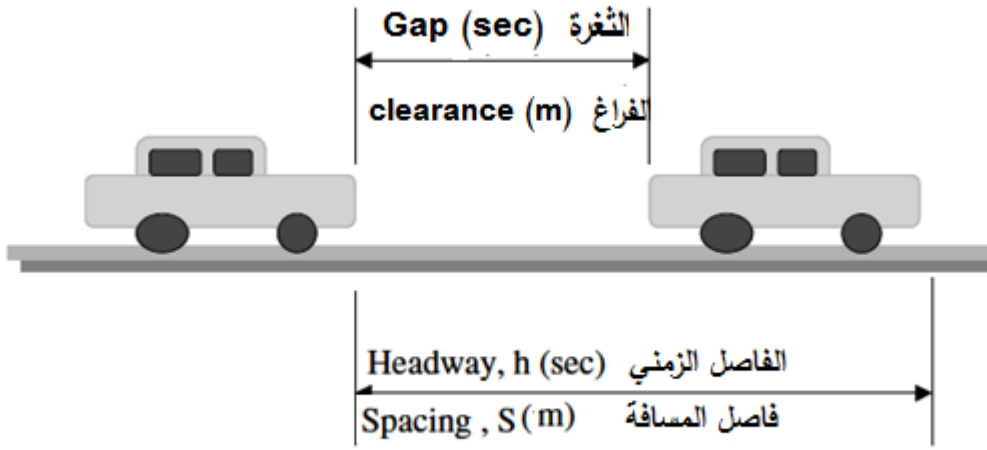
$$\text{Average headway} = 1/\text{flow} \quad \text{or} \quad v = \frac{3600}{h_a}$$

where v = rate of flow

h_a = average headway

Gap. Gap is very similar to headway, except that it is a measure of the time that elapses between the departure of the first vehicle and the arrival of the second at the designated test point. Gap is a measure of the time between the rear bumper of the first vehicle and the front bumper of the second vehicle, where headway focuses on front-to-front times. Gap is also reported in units of seconds. Figure 6.3 illustrates the difference between gap and headway.

الثغرة: وهي مشابهة جداً للفاصل الزمني ، باستثناء أنه يتم قياس الزمن بين عبور نهاية العربة الأولى وبداية العربة التالية، بينما يركز الفاصل الزمني على الزمن بين بدايات (مقدمة) العربات المتتالية، يوضح الشكل مفاهيم الفاصل والثغرة والفراغ



توضيح مفهوم الثغرة والفاصل

Occupancy. Occupancy denotes the proportion or percentage of time a point on the road is occupied by vehicles. It is measured, using loop detectors, as the fraction of time that vehicles are on the detector. Therefore, for a specific time interval T , occupancy is the sum

of the time that vehicles cover the detector, divided by T . For each individual vehicle, the time spent on the detector is determined as function of the vehicle's speed, its headway, its length L , plus the length of the detector itself C . That is, the detector is affected by the vehicle from the time the front bumper crosses the start of the detection zone until the time the rear bumper clears the end of the detection zone. Occupancy is computed as follows:

الإشغالية: تعبر الإشغالية عن النسبة المئوية للزمن التي تكون خلالها نقطة معينة من الطريق مشغولة من قبل العربات، ويتم القياس باستخدام كواشف حلقيه تحدد نسبة الزمن الذي تكون خلاله العربات فوق الكاشف، وبذلك من أجل فترة زمنية T تكون درجة الإشغالية عبارة عن مجموع الأزمنة التي تكون خلالها العربات فوق الكاشف مقسومة على الزمن T . لكل عربة يحدد الزمن الذي تكون خلاله فوق الكاشف كتابع لسرعة العربة والفاصل الزمني وطول العربة إضافة إلى طول الكاشف نفسه، ويتأثر الكاشف بالعربة من لحظة عبور مقدمتها لبداية منطقة الكشف حتى لحظة مرور نهايتها لنهاية منطقة الكشف، وتحسب الإشغالية من العلاقة:

$$LO = \frac{(L + C)/\text{speed}}{\text{headway}} = (L + C) \times \text{density} = k \times (L + C)$$

Assuming flow = density \times speed

where LO = lane occupancy, i.e., percentage of time a lane is occupied with vehicles divided by total study time

K = density of flow

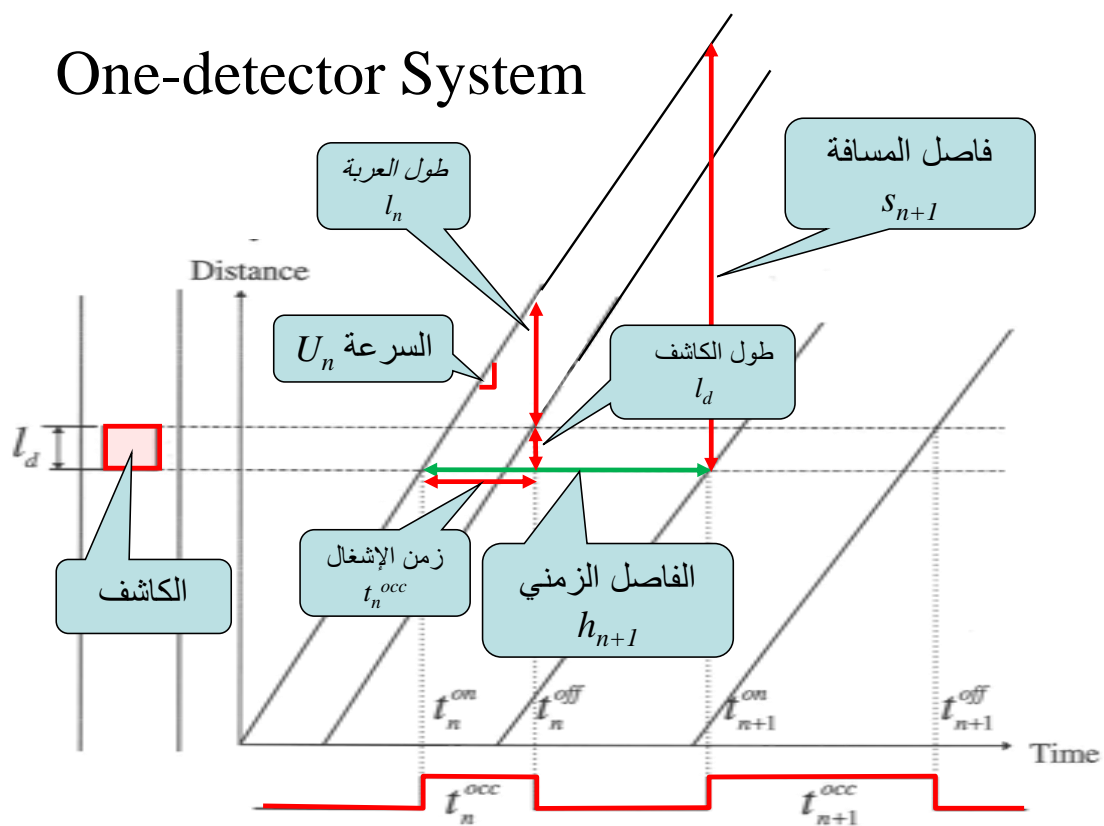
L = average vehicle length

C = length of detector

Therefore, if occupancy is measured as above, density can be estimated as:

$$k = \frac{LO}{(L + C)}$$

One-detector System



Traffic Flow Models

Microscopic traffic flow modeling is concerned with individual time and space headway between vehicles, while macroscopic modeling is concerned with macroscopic flow characteristics. The latter are expressed as flow rates with attention given to temporal, spatial, and modal flows (May 1990). This section describes the best-known macroscopic, mesoscopic, and microscopic traffic flow models.

Macro Models. In a macroscopic approach, the variables to be determined are:

- The flow $q(x,t)$ (or volume) corresponding to the number of vehicles passing a specific location x in a time unit and at time period t
- The space mean speed $v(x,t)$ corresponding to the instantaneous average speed of vehicles in a length increment
- The traffic density $k(x,t)$ corresponding to the number of vehicles per length unit

These macroscopic variables are defined by the well-known equation:

$$q(x,t) = k(x,t) \times v(x,t)$$

The static characteristics of the flow are completely defined by a fundamental diagram (as shown in Figure 6.5). The macroscopic approach considers traffic stream parameters and develops algorithms that relate flow to density and space mean speed. Various speed-density models have been developed and are shown also to fit experimental data. These models are explained below.

Greenshields Model. The first steady-state speed-density model was introduced by Greenshields, who proposed a linear relationship between speed and density as follows:

$$u = u_f - \left(\frac{u_f}{k_j} \right) \times k$$

where u = velocity at any time
 u_f = free-flow speed
 k = density at that instant
 k_j = maximum density

As mentioned above, in these equations, as the flow increases, density increases and the speed decreases. At optimum density, flow becomes maximum (q_m) at $u = u_f/2$ and $k = k_j/2$.

Greenberg Model. A second early model was suggested by Greenberg (1959), showing a logarithmic relationship as follows:

$$u = c \ln (k/k_j)$$

where u = velocity at any time
 c = a constant (optimum speed)
 k = density at that instant
 k_j = maximum density

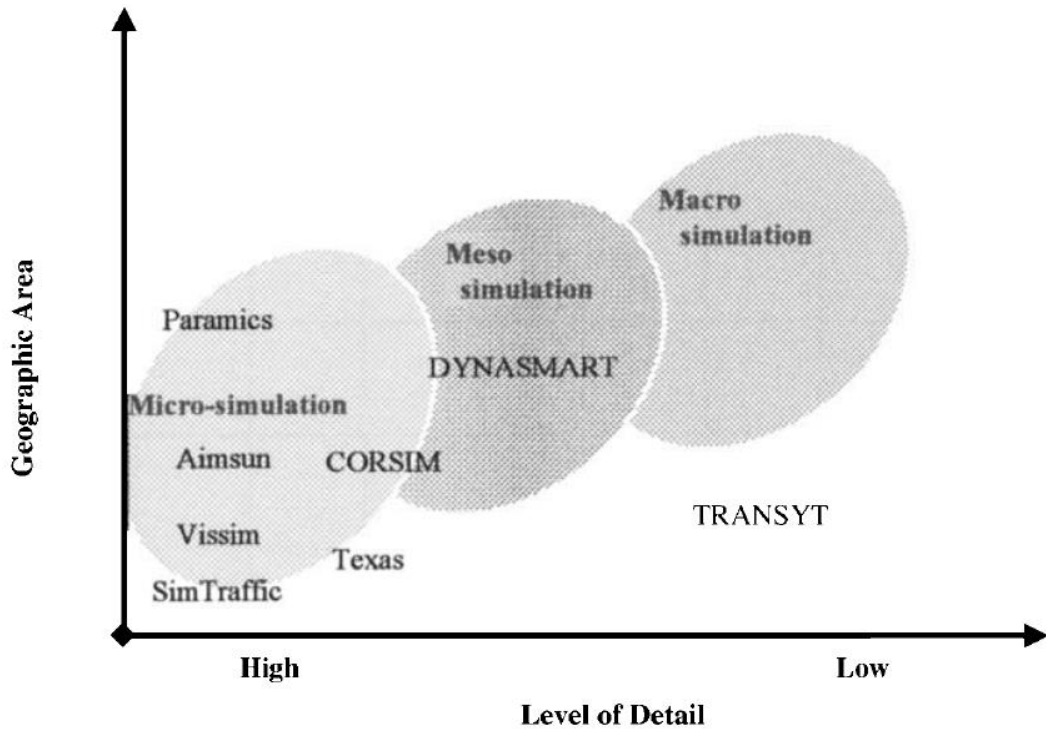


FIGURE 6.12 Scale and level of detail of simulation models. (Source: Institute of Transportation Studies, University of California, Irvine).

الدكتور المهندس أكرم رستم