جمهورية مصر العربية

معهد التخطيط القومي

A/14

مشروعات مستقلة

مذكرة خارجية (١٤٠٥)

نحو دليل لتقييم مشروعات الطرق في المنطقة العربية

وفورات مستخدمي الطريق

اعداد

د. مهندس احمد محمد فرحات

فبراير ١٩٨٥

القاهرة

طريق صلاح سالم مدينة نصر

الفصـــــل | الصفحـــــة

مقدمـــــــــــة ١

الجزء الاول : بعض المفاهيم الاساسية والجوانب النظرية

في تقييم منفعة مستخدمي الطرق ٢

١ - سعة الطريق ٠٠ مفهومها وكيفية تقديرها ٣

١٠١ - مقدمـــــة ٣

٢٠١ - سعة الطريق : المدخل البسيط ٣

٣٠١ - سعة الطريق : المدخل الواقعي ٦

١٠٣٠١ - عـــــام ٦

٢٠٣٠١ - المنحنى الرئيسي لحركة النقل ٧

(علاقة كثافة الحركة مع الحجم والسرعة)

٤٠١ - السعة الاساسية للطريق ١١

٥٠١ - مفهوم مستوى الخدمة ١١

٦٠١ - التحديد الرياضي لسرعات التشغيل ١٥

٧٠١ - السعة المتاحة للطريق ١٦

٢ - تكلفة مستخدمي الطريق ١٩

١٠٢ - مقدمـــــة ١٩

٢٠٢ - عناصر التكلفـــة ١٩

١٠٢٠٢ - تكاليف اساسية ١٩

١٠١٠٢٠٢ - تكاليف التشغيل المتغيرة ١٩

٢٠١٠٢٠٢ - تكاليف وقت السير ٢٠

٣٠١٠٢٠٢ - تكاليف اضافيـــة ٢٠

الصفحـــة

٢٠٢٠٢ ـ تكاليف التشغيل السنوية الثابتة ٢٠

٣٠٢٠٢ ـ تكاليف الحوادث ٢٠

٣٠٢ ـ كيفية تقدير عناصر التكلفة ٢١

١٠٣٠٢ ـ طريقة الجمعية الامريكية لمسئولي النقل والطرق ٢١

٢٠٣٠٢ ـ طريقة جان دي ويل ٢٤

٣٠٣٠٢ ـ الحساب الرياضي لاهم بنود تكلفة مستخدمي الطريق ٢٦

١٠٣٠٣٠٢ ـ تكاليف التشغيل المتغيرة على الطرق المرصوفة ٢٦

٢٠٣٠٣٠٢ ـ تكلفة وقت السيـــــر ٣٠

٤٠٣٠٢ ـ اثر ازدحام الطريق على تكاليف تشغيل المركبات ٣٢

١٠٤٠٣٠٢ ـ مكافىء حجم الحركة على الطريق ٣٢

٢٠٤٠٣٠٢ ـ السعة المتاحة للطريق ٣٣

الجزء الثاني : مناهـــج تطبيقيـــــة ٣٥

٣ ـ مدخل مقترح للتعامل مع حالات تقييم مشروعات الطرق ٣٦

٤ ـ حالة عمليـــــة ٤١

١٠٤ ـ خلفية المشروع ٤١

٢٠٤ ـ حجم حركة النقل ٤١

٣٠٤ ـ تكاليف تشغيل المركبات ٤١

٤٠٤ ـ تكاليف صيانة الطريق ٤٢

٥٠٤ ـ بيانات المشروع ٤٣

٦٠٤ ـ حسابات التقييم ٥٢

٧٠٤ ـ النتائـــــج ٥٥

الصفحـــــة

المـــلاحـــــــق :

الملحق (أ) : جداول اساسية لازمة للتقييم من دراسات
سابقة في قطاع النقل ٥٩

الملحق (ب) : نماذج لجداول العمل Working tables اللازمة
لاجراء حسابات التقييم ٦٦

الملحق (جـ) : معجم Glossary باهم المصطلحات
الفنية المتداولة ٨٢

مقـــــدمـــــــة

شهدت المنطقة العربية في العقدين الاخيرين تطورا كبيرا في شبكات الطرق للاقطار المختلفة باعتبار ان تطوير هذه الشبكات يمثل احد الشروط الاساسية نحو نجاح خطط التنمية الاقتصادية والاجتماعية لهذه الاقطار •

واذا كانت بعض الاقطار العربية ولا سيما البترولية منها تحت ضغط الحاجة لتنفيذ مشروعات الوصلات الاساسية في شبكة الطرق ولوضوح جدوى هذه الوصلات لم تكن لتعير الجوانب الاقتصادية لتقييم هذه المشروعات الاهتمام الكافي ، فان الظروف الحالية ومع اكتمال الجسم الاساسي لشبكات الطرق يحتم ان تولى هذه الاقطار عناية خاصة للتقييم الاقتصادى لمشروعات الطرق قبل اتخاذ قرار نهائي بادراجـها في خطط تنميتها الاقتصادية •

ولما كانت هذه العملية تتم في الغالب حاليا من خلال بيوت خبرة اجنبية ووفقا لافتراضات وظروف قد لا تناسب الظروف الموضوعية للمنطقة ، فمن ثم تصبح الحاجة ماسـة لتطوير دليل لتقييم مشروعات الطرق في المنطقة العربية اسوة بالجهود التي تمت في هـذا الصدد في البلدان المتقدمة والجهود المماثلة التي تمت على صعيد المنطقة بالنسبة لقطاعات اخرى للاقتصاد الوطني •

ويتطلب مثل هذا المشروع تضافر جهود المنظمات الاقليمية المعنية من اجل ان يخرج الى حيز الوجود في صورة مشرفة وقابلة للاستفادة بها من قبل الكوادر المحلية التي قد يقـف حاجز اللغة في احيان كثيرة عقبة كاداء امام استفادتها من دراسات بيوت الخبرة الاجنبية •

والدراسة الحالية تمثل محاولة متواضعة على هذا الطريق حيث تركز على كيفية وطرق تقدير وفورات مستخدمي الطريق Road Users' Savings التي تمثل حجر الزاويـة في تحليلات التكلفة والعائد لمشروعات الطرق •

الجـــزء الاول :

بعض المفاهيم الاساسية والجوانب النظرية في تقييم منفعة مستخدمي الطريق

الفصل (١) - سعة الطريق ... مفهومها وكيفية تقديرها

١-١ مقدمة

تمثل " سعة الطريق Road Capacity" احد المفاهيم الاساسية التي ينبغي السعي لايجادها والتعبير عنها بطريقة محددة وبوحدات كمية . فمصمم الطريق يهدف من ناحيته الى اختيار مواصفات الطريق وتحديد ابعاده بالكيفية التي توفر السعة اللازمة لاستيعاب حركة النقل المتوقعة عليه مستقبلا ، كما ان المخطط الاقتصادى يحتاج لتقدير سعة الطريق لاستخدامها في الحسابات اللازمة لتاكيد الجدوى الاقتصادية لمشروعات الطرق باى من الوسائل المتبعة في مثل هذه الاحوال كتحليل التكلفة والعائد او تحليل فعالية التكاليف cost effectiveness او ما شابه ذلك ، ولكن ما هو المقصود بمفهوم السعة ؟ وكيف يمكن قياس هذه السعة والتعبير عنها بوحدات كمية ؟

هناك مدخلان رئيسيان للاجابة على التساؤلات السابقة يمكن ان نطلق عليهما مجازا المدخل النظرى والمدخل الواقعي . يمثل المدخل الاول المعالجة النظرية المبسطة لمفهوم السعة بينما يمثل المدخل الثاني المعالجة المتعمقة للمفهوم التي تاخذ في اعتبارها الواقع الفعلي بكل التعقيدات المختزلة فيه .

١-٢ سعة الطريق : المدخل البسيط

يتوخى هذا المدخل النظرى لمفهوم السعة السهولة والبعد عن التعقيد ، فالسعة يمكن تعريفها في ابسط صورها بانها : " الحد الاقصى لعدد المركبات المتجانسة الذى يمكن ان يمر عبر احد المقاطع العمودية على هذا الطريق خلال وحدة زمنية معينة كالساعة او اليوم "

وبطبيعة الحال فان التعريف السابق يفترض ضمنيا ان تدفق المركبات على الطريق هو عملية مستمرة ومنتظمة ، كما انه من ناحية اخرى يتضح ان سعة الطريق حسب هذا التعريف تتوقف على طول السيارة والمسافة التي تفصل بين كل منها والسيارة التي تليها وهي مسافة يتعمد كل سائق ان يحافظ عليها توخيا لاعتبارات الامان ولتلافي الاصطدام بالسيارة التي امامه اذا ما اضطر للتوقف فجأة لاى سبب كان .

وعلى ذلك يمكن التعبير عن السعة في الصورة الرياضية التالية

$$C = D \cdot V = \frac{1000 \times V}{L}$$

حيـــــــث :

C = سعة الطريق معبرا عنها بعدد المركبات في الساعة

D = كثافة حركة النقل على الطريق معبرا عنها بعدد المركبـــات المتواجدة على الكيلومتر الواحد من الطريق •

V = ســرعة ســير المركبات بالكم في الساعة

L = الطول اللازم لكل سيارة على الطريق وهو ما يساوى الطول الفعلي للسيارة بالاضافة الى المسافة التي تفصل بينها وبين السيارة التي امامهـــا •

ومن البديهي ان تتوقف مسافة الامان التي تفصل بين كل سيارة والسيارة التي امامها على سرعة السيارات حيث يحتاج سائق السيارة الى مسافة امان اكبر كلما زادت السرعة والعكس صحيح • وعلى ذلك يمكن تفصيل المسافة L ليتم التعبير عنها على النحو التالي :

$$L = L_v + L_b + L_s \qquad (1)$$

حيـــــــث :

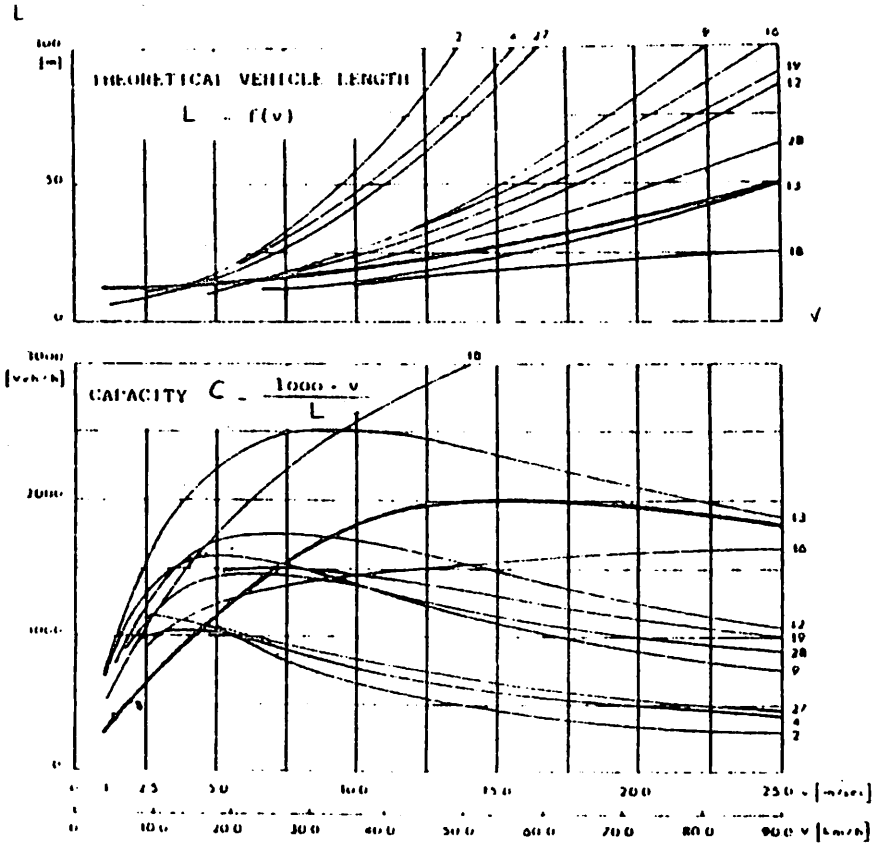
L_v = الطـول الفعلي للمركبـــة

L_b = المسافة التي يحتاجها السائق منذ لحظة اتخاذ قرار الوقوف الى التوقف الفعلي للسيارة وهي مسافة تتوقف على سرعة رد الفعل لدى السائق •

L_s = مسافة امان اضافية ، فبعد التوقف الفجائي للسيارة يجب ان تبقى هناك مسافة تفصلها عن السيارة المتوقفة امامها لتلافي الاصطدام بها •

يتضح من المعادلة (١) ان السعة تتوقف على كلا من السرعة (V) والمسافة (L) بينما تتوقف المسافة (L) بدورها على السرعة (V) • اى ان السرعة (V) هي المحدد الاساسي والمســتقل لكل من المســافة (L) والســعة (C) •

ولقد تم افتراض صور عديدة للعلاقة ما بين (V) و (L) معظمها علـــى شـــكل معادلة من الدرجة الثانية وتم بناء على ذلك ايجاد العلاقة ما بـين (C) ، (V) وتوقيعها على شـــكل منحنيات كتلك المبينة في شكل (١-١) ومنها يتضح ان السعة ترداد تدريجيا بازدياد (V) حتى تصـــل الى قيمة عظمى تبـدأ بعدها في الانخفاض التدريجي مع استمرار ازدياد الســـرعة •



$$L = l_0 + l_s + l_v$$

2	L	$= 0.510\ v^2 + 4.50$
4	L	$= 0.330\ v^2 + 1.00\ v + 4.50$
9	L	$= 0.166\ v^2 + 0.50\ v + 4.50$
12	L	$= 0.109\ v^2 + 0.50\ v + 4.60$
13	L	$= 0.0508\ v^2 + 0.50\ v + 4.30$
16	L	$= 0.0382\ v^2 + 1.00\ v + 6.10$
18	L	$= 0.75\ v + 6.40$
19	L	$= 0.0961\ v^2 + 1.00\ v + 5.00$
27	L	$= 0.288\ v^2 + 1.00\ v + 4.50$
28	L	$= 0.0945\ v^2 + 1.50\ v + 4.50$

شكل (١ ـ ١) : العلاقة النظرية بين سعة الطريق وطول المركبة

١-٣ سعة الطريق : المدخل الواقعي

١-٣-١ عام

يمثل المنهج السابق مدخلا نظريا لتقدير قيم (١.) في ضوء وبمعلومية السرعة (٧) ، الا انه عند الخروج الى ميدان الواقع العملي واجراء قياسات فعلية ثبت بالدليل العملي ان المسافات التي تفصل بين السيارات على الطرق تكون عادة اقل من تلك القيم التي يتم التوصل اليها نظريا من خلال المعادلات السابقة وذلك بطبيعة الحال على حساب عنصر الامان المرجو •

ومن هنا فلقد تم التخلي عن الطريقة السابقة لحساب سعة الطريق والتحول الى افكار اخرى ادت الى استنباط مفاهيم جديدة تتوقف عليها السعة مثل مفهوم "مستوى الخدمة Level of Service "، وهذا يمثل في الواقع تحولا في منهجية معالجة تدفقات حركة النقل على الطرق باعتماد مدخل جديد لا يعتمد على التحليل النظرى على مستوى المركبة الواحدة بل يتجه الى تحليل المجاميع الكلية للمركبات على الطريق ، ويتطلب ذلك القاء نظرة متفحصة على المنحنى الذى تسلكه سرعة المركبات مع ازدياد الحركة والعلاقة التي تربط ما بين هذين المتغيرين •

انتظام السرعة مع زيادة حجم حركة النقل :

ورد في الاجزاء السابقة الحديث عن السرعة بطريقة يفهم منها ان هذه السرعة منتظمة ومن ثم فان تدفق المركبات على الطريق قد يشبه الى حد ما تدفق السوائل في الانابيب وهو افتراض غير واقعي وغير سليم ، فما هو السلوك الذى تسلكه السرعة مع ارتفاع حجم النقل وما مدى صحة افتراض انتظام هذه السرعة ؟

اذا تصورنا جدلا اننا قمنا بتجربة فعلية على احد مقاطع Cross Section طريق ما حيث قمنا خلال وحدة زمنية معينة ولتكن الساعة مثلا بقياس كل من :

١ - عدد المركبات التي مرت عبر هذا المقطع خلال الساعة اى حجم حركة النقل Traffic Volume

٢ - سرعة كل مركبة على حدة •

ان هذه البيانات تمكنا من حساب السرعة المتوسطة للمركبات عبر هذا المقطع ورسم منحني التوزيع التكراري Frequency distribution لسرعة المركبات حول السرعة المتوسطة وهو توزيع ياخذ شكل المنحني الطبيعي Normal distribution

كما هو مبين في شكل (١-٢) • حيث تتوزع قيم السرعات حول قيمة متوسطة بتشتت Dispersion معين يعبر عنه بمقدار الانحراف المعياري Standard deviation لهذا التوزيـــــــع •

اذا ما تكررت التجربـة السابقة لاحجام نقل مختلفة فسوف يمكننا حينئذ ملاحظة ان تشتت سرعات السيارات حول السرعة المتوسطة سوف يقل تدريجيا بازدياد حجم حركة النقل على الطريق على النحو المبين في شكل (١-٣) ، وبالتالي تصبح السرعة اكثر انتظامـــا • وتفسير ذلك واضح وبسيط وهو ان قائد اى مركبة نقل له حريته في اختيار سرعة القياده كلما ازداد الازدحام على الطريق حيث يكون مطالبا حينئذ بالقيادة بسرعة تعتمد على سـرعة السيارات التي امامه وتلك التي خلفه •

١-٣-٢ المنحني الرئيسي لحركة النقـــل

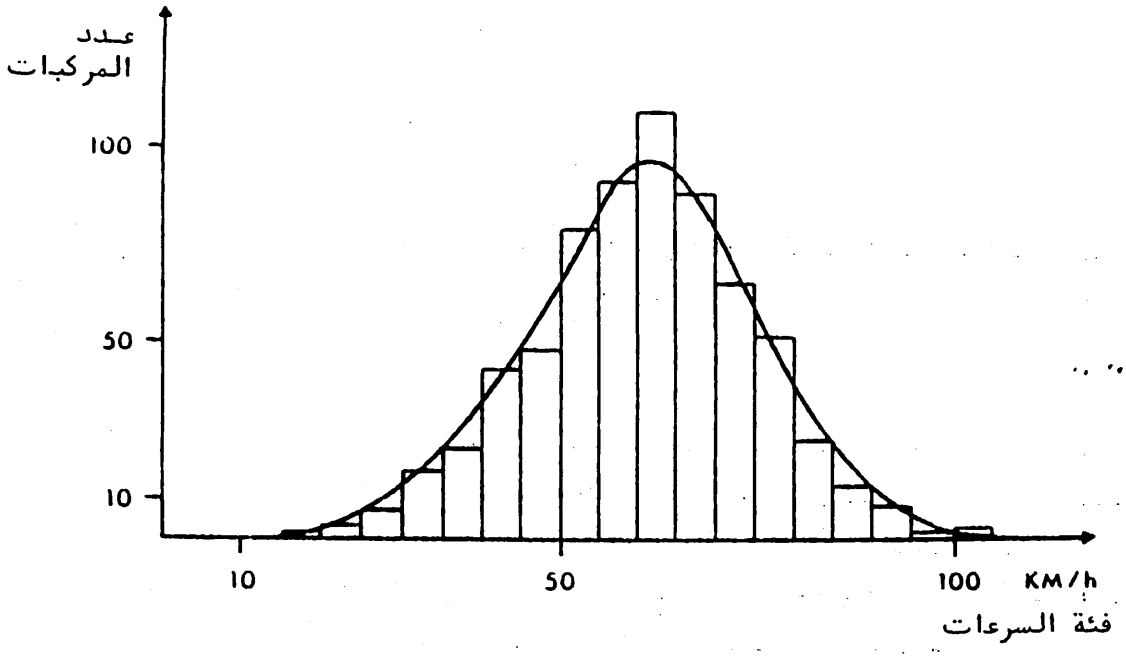
علاقـة الكثافة والحجم والسرعة

خلافا لمفهوم انتظام السرعة ، دعنا الان نعيد التجربة السابقة بتسليط الضوء والتركيز على شكل العلاقة ما بين حجم حركة النقل والسرعة المتوسطة من جهة وما بين حجم الحركة وكثافتها من جهة اخرى بالاستعانة بالمنحنيات المبينة في الشكلين (١-٤) ، (١-٥)•

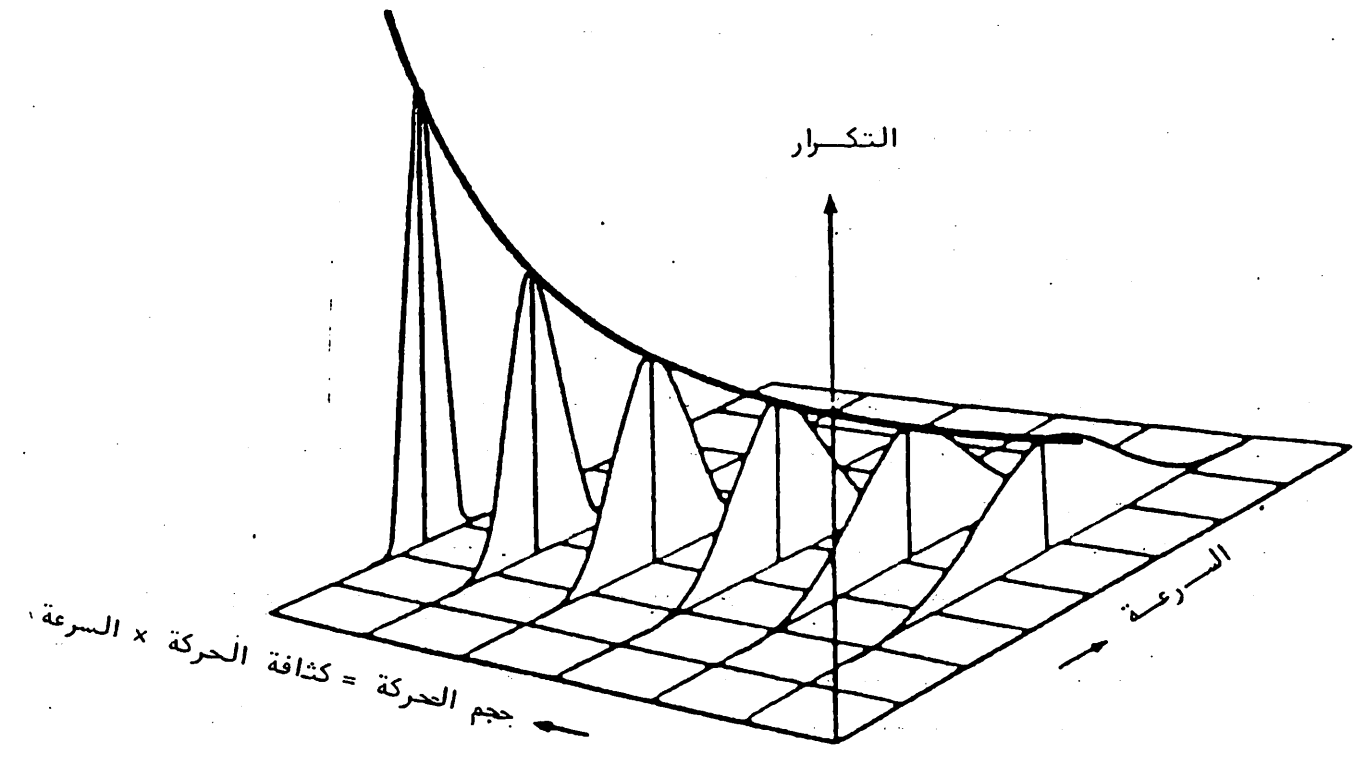
فاذا بدأنا بسيارة واحدة على طريق خال فان قائـد هذه السيارة يكون حرا في الانطلاق باقصى سرعة على هذا الطريق دون اى اعتبار لمركبات اخرى تزاحمه ويمكن حينئـذ اعتبـار كلا من كثافة وحجم الحركة على الطريق مساوية تقريبا للصفـــر ، هذا هو الحال الـذى تمثله النقطة (أ) على المنحنيات المعينة حيث يطلق على هذه السرعة " السرعة الحـــرة المتوسطة MeanFree Speed "•

فاذا ما ازدادت كثافة الحركة على الطريق اى اذا ما ازداد عدد السيارات او المركبات الموجودة في لحظة ما على الكيلومتر الواحد من الطريق فسوف يزداد ويشتد الازدحام تدريجيا حتى يصل الطريق الى مرحلة التكدس التام Jam الذى تضطر معه الى التوقف تماما عن السير وهو الوضع الذى تمثله النقطة (ب) على المنحنيات المعينة حيث الكثافة اكبر ما يمكن في حين ان سرعة السير وحجم الحركة كلاهما يقترب تماما من الصفر •

ولما كان حجم حركة النقل يساوى حاصل ضرب كلا من الكثافة والسرعة فان الانتقال من النقطة (أ) الى النقطة (ب) يمثل الارتفاع التدريجي للكثافة والانخفاض التدريجي للسرعة ، وفي المراحل الاولى تكون معدلات ارتفاع الكثافة اكـبر بكثـير من معدلات



شكل (١-٢) : التوزيع التكرارى للسرعة



شكل (١ - ٣) : التوزيع التكرارىللسرعة عند احجام مرور مختلفة

انخفاض السرعة الامر الذى يسفر في النهاية عن ازدياد حجم حركة النقل حتى تصل الى قيمة قصوى عند النقطة (م) يبدأ بعدها حجم الحركة (T) في الانخفاض تدريجيا نظرا لارتفاع معدلات انخفاض السرعة عن معدلات زيادة الكثافة .

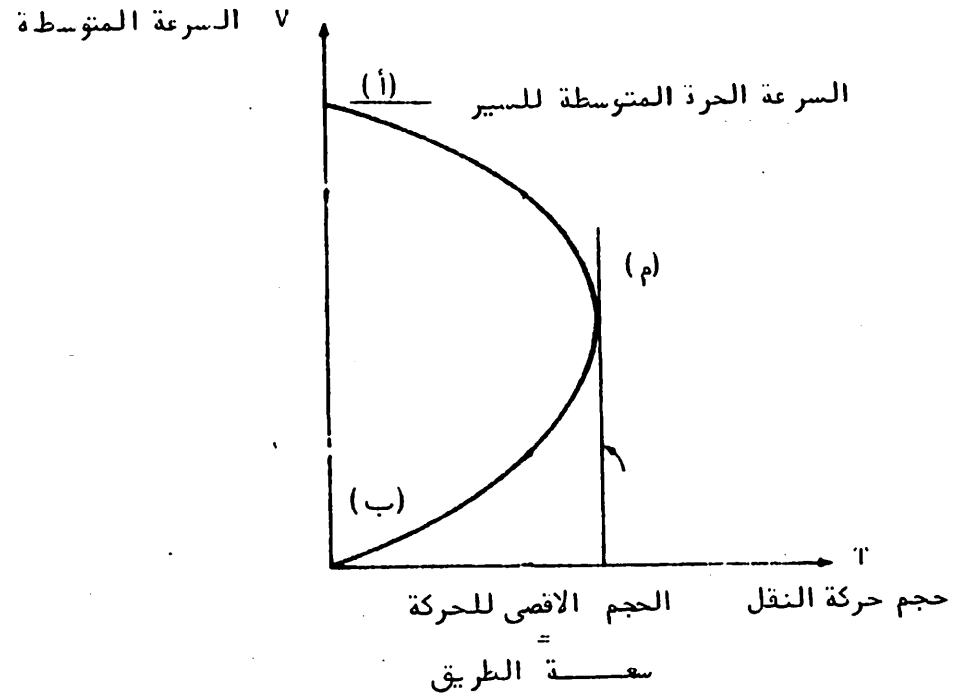
يمثل حجم حركة النقل المناظر للنقطة (م) اقصى حركة يمكن ان يستوعبها الطريق وعلى هذا يمكن اعتبارها مساوية لسعة الطريق Road capacity في هذه الحالة .

يتميز المنحني الموجود في الشكل (١-٥) عن المنحني الموجود في شكل (١-٤) بانه يعطي قيماللمتغيرات الثلاثة : حجم حركة النقل ، كثافة الحركة ، سرعة السير المتوسطة دفعة واحدة ومن منحني واحد عند اى نقطة ، فاذا اعتبرنا النقطة (ج) مثلا وهي تمثل حالة ما على الطريق فان احداثيات النقطة (ج) تعطينا مباشرة كثافة وحجم حركة النقل المناظرة لها ، كما ان ميل الخط المستقيم الواصل ما بين (ج) ونقطة الاصل يعطينا سرعة السير المتوسطة حيث ان الميل يساوى خارج قسمة حجم الحركة على الكثافة [١] وعلى هذا يمكن الحصول على قيم للكميات الثلاثة من منحني واحد في حين يصعب الحصول على قيم لكثافة الحركة مثلا من المنحني شكل (١-٤) .

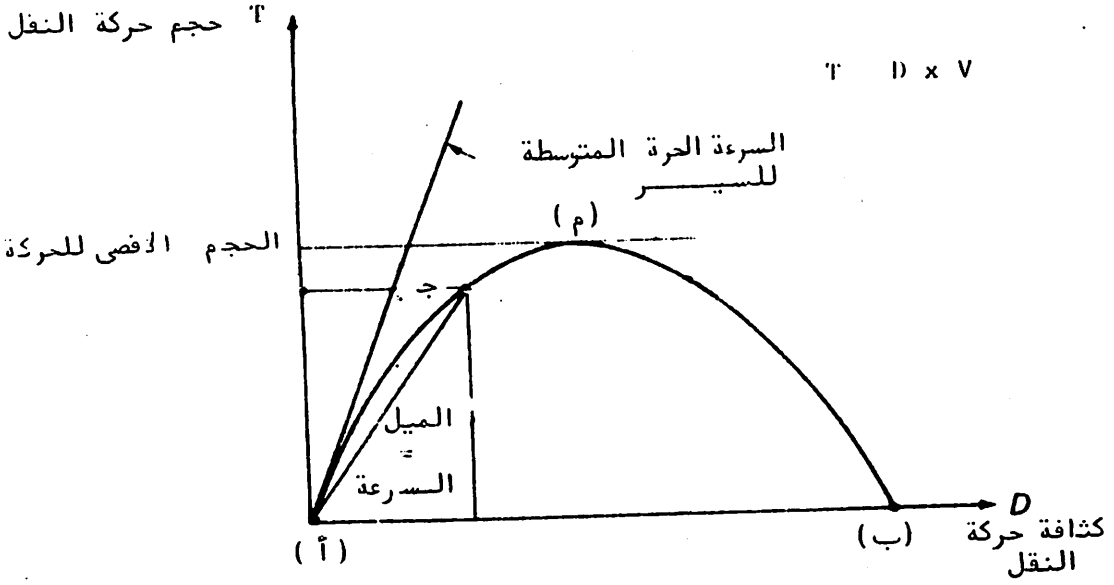
يطلق على المنحني الموجود في شكل (١-٥) اسم المنحني الرئيسي لحركة النقل . Fundamental diagram of road traffic.

---

[١] حجم الحركة = كثافة الحركة × السرعة



شكل (١ ـ ٤) : العلاقة ما بين حجم حركة النقل والسرعة



شكل (١ ـ ٥) : المنحنى الرئيسي لحركة النقل