

التوزيع : محدود

E/ECWA/TCT/84/8/Supp.1

٢٣

١٩٨٤ سبتمبر / ايلول ٢٣

الاصل : بالعربية

Arabic

الامم المتحدة

اللجنة الاقتصادية لغربي آسيا

بغداد - العراق

دعم القدرات الوطنية للقيام  
بدراسات الجدوى الاقتصادية لمشروعات الطرق

بعض المفاهيم الاساسية والجوانب النظرية

في تقييم منفعة مستخدمي الطريق

اعداد

د . مهندس احمد محمد فرحات  
المستشار الاقليمي للنقل والمواصلات

---

\* كافة الاراء والمقترنات الواردة في هذا التقرير تعبر عن وجهة نظر المستشار الاقليمي  
ولا تمثل بالضرورة رأى اللجنة الاقتصادية لغربي آسيا \*



## جدول المحتويات

الصفحة

الفصل

١	١ - سعة الطريق ٠٠٠ مفهومها وكيفية تقديرها
١	١٠١ - مقدمة
١	٢٠١ - سعة الطريق : المدخل البسيط
٤	٣٠١ - سعة الطريق : المدخل الواقعي
٤	٤٠١ - عـام
٥	٥٠١ - المنحنى الرئيسي لحركة النقل (علاقة كثافة الحركة مع الحجم والسرعة)
٩	٩٠١ - السعة الأساسية للطريق
٩	٩٠١ - مفهوم مستوى الخدمة
١٣	١٣٠١ - التحديد الرياضي لسرعات التشغيل
١٤	١٤٠١ - السعة المتاحة للطريق
١٧	٢ - تكلفة مستخدمي الطريق
١٧	١٧٠٢ - مقدمة
١٧	٢٠٢ - عناصر التكلفة
١٧	٢٠٢٠٢ - تكاليف اساسية
١٧	٢٠٢٠٢ - تكاليف التشغيل المتغيرة
١٨	٢٠٢٠٢ - تكاليف وقت السير
١٨	٢٠٢٠٢ - تكاليف اضافية
١٨	٢٠٢٠٢ - تكاليف التشغيل السنوية الثابتة
١٨	٢٠٢٠٢ - تكاليف الحوادث
١٩	٣٠٢ - كيفية تقدير عناصر التكلفة
١٩	٣٠٢ - طريقة الجمعية الامريكية لمسؤولي النقل والطرق
٢٢	٢٢٠٢ - طريقة جان دى ويل
٢٤	٣٠٢ - الحساب الرياضي لاهم بنود تكلفة مستخدمي الطريق

## الصفحة

- |    |   |
|----|---|
| ٤٤ | ١٠٣٠٣٠٢ - تكاليف التشغيل المتغيرة على الطرق<br>المرصوفة |
| ٤٨ | ٤٠٣٠٣٠٢ - تكلفة وقت السير                               |
| ٣٠ | ٤٠٣٠٢ - اثر ازدحام الطريق على تكاليف تشغيل المركبات     |
| ٣٠ | ١٠٤٠٣٠٢ - مكافئ حجم الحركة على الطريق                   |
| ٣١ | ٤٠٤٠٣٠٢ - السعة المتاحة للطريق                          |

## ١ - سعة الطريق ٠٠٠ مفهومها وكيفية تقاديرها

١-١ مقدمة

تمثل "سعة الطريق" أحد المفاهيم الأساسية 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 الاقتصادي يحتاج لتقدير سعة الطريق لاستخدامها في الحسابات الالزامية لتأكيد 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 عليهم مجازا المدخل النظري والمدخل الواقعي . يمثل المدخل الاول المعالجة النظرية البسيطة لمفهوم السعة بينما يمثل المدخل الثاني المعالجة المتمحمة للفهوم الذي تأخذ في اعتبارها الواقع الفعلي بكل التعقيدات المختزلة فيه .

### ٢-١ سعة الطريق : المدخل البسيط

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

وبطبيعة الحال فان التعريف السابق يفترض صمنيا 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 لاي سبب كان .

وعلى ذلك يمكن التعبير عن السعة في الصورة الرياضية التالية

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

حيث :

- $C = \text{سعة الطريق معبرا عنها بعدد المركبات في الساعة}$
- $D = \text{كثافة حركة النقل على الطريق معبرا عنها بعدد المركبات المتواجدة على الكيلومتر الواحد من الطريق}$
- $V = \text{سرعة سير المركبات بالكم في الساعة}$
- $L = \text{الطول اللازم لكل سيارة على الطريق وهو ما يساوى الطول الفعلي للسيارة بالإضافة إلى المسافة التي تفصل بينها وبين السيارة التي امامها} \cdot$

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 :

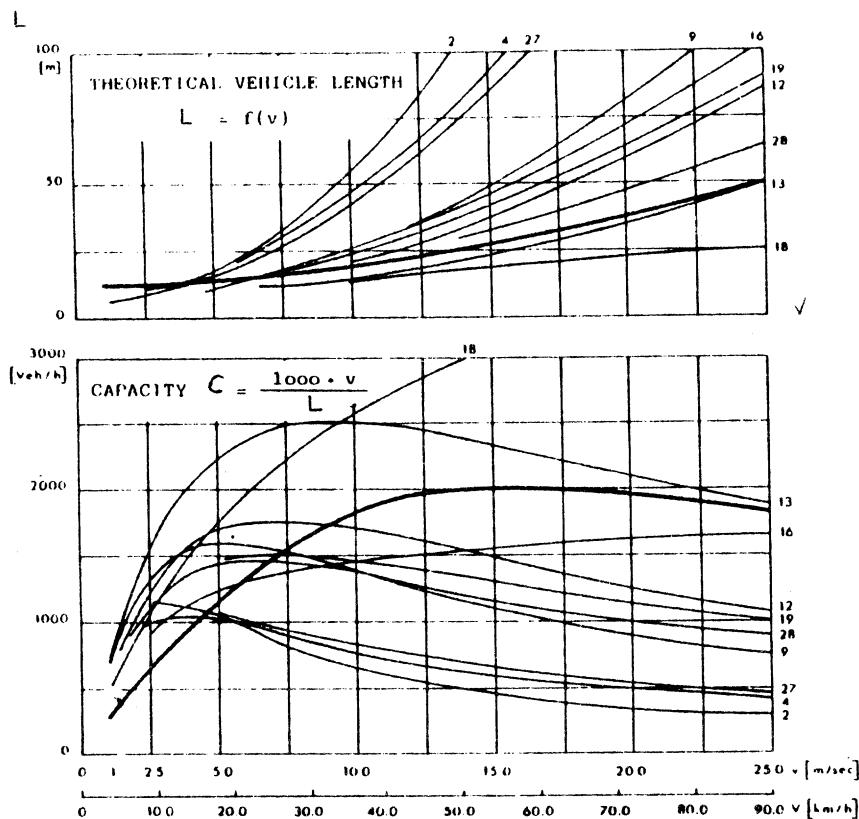
$$L = L_v + L_b + L_s$$

حيث :

- $L_v = \text{الطول الفعلي للمركبة}$
- $L_b = \text{المسافة التي يحتاجها السائق منذ لحظة اتخاذ قرار الوقوف الى التوقف الفعلي للسيارة وهي مسافة تتوقف على سرعة رد الفعل لدى السائق} \cdot$
- $L_s = \text{مسافة امان اضافية ، وبعد التوقف الفجائي للسيارة يجب ان تبقى هناك مسافة تفصلها عن السيارة المتوقفة امامها لتلافي الاصطدام بها} \cdot$

يتضح من المعادلة ( ١ ) ان السعة تتوقف على كلا من السرعة (  $V$  ) والمسافة (  $L$  ) بينما تتوقف المسافة (  $L$  ) بدورها على السرعة (  $V$  ) . اي ان السرعة (  $V$  ) هي المحدد الاساسي والمستقل لكل من المسافة (  $L$  ) والسعنة (  $C$  ) .

ولقد تم افتراض صور عديدة للعلاقة ما بين (  $V$  ) و (  $L$  ) معظمها على شكل معادلة من الدرجة الثانية وتم بناء على ذلك ايجاد العلاقة ما بين (  $C$  ) ، (  $V$  ) و تقييعها على شكل منحنيات كتلك المبينة في شكل ( ١-١ ) ومنها يتضح ان السعة تزداد تدريجيا بازدياد (  $V$  ) حتى تصل الى قيمة عظمى تبدأ بعدها في الانخفاض التدريجي مع استمرار ازدياد السرعة .



$$L = l_b + l_s + l_v$$

$$2 \quad L = 0.510 \cdot v^2 + 4.50$$

$$4 \quad L = 0.330 \cdot v^2 + 1.00 \cdot v + 4.50$$

$$9 \quad L = 0.166 \cdot v^2 + 0.50 \cdot v + 4.50$$

$$12 \quad L = 0.109 \cdot v^2 + 0.50 \cdot v + 4.60$$

$$13 \quad L = 0.0508 \cdot v^2 + 0.50 \cdot v + 4.30$$

$$16 \quad L = 0.0382 \cdot v^2 + 1.00 \cdot v + 6.10$$

$$18 \quad L = 0.75 \cdot v + 6.40$$

$$19 \quad L = 0.0961 \cdot v^2 + 1.00 \cdot v + 5.00$$

$$27 \quad L = 0.288 \cdot v^2 + 1.00 \cdot v + 4.50$$

$$28 \quad L = 0.0945 \cdot v^2 + 1.50 \cdot v + 4.50$$

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

### ٣-١ سعة الطريق : المدخل الواقعي

#### ١-٣-١ ام

يمثل المنهج السابق مدخلاً نظرياً لتقدير قيم ( $L$ ) في ضوء وبمعلومات السرعة (٧)، إلا أنه عند الخروج إلى ميدان الواقع العملي واجراء قياسات فعلية ثبت بالدليل العملي أن المسافات التي تفصل بين السيارات على الطرق تكون عادة أقل من تلك القيم التي يتم اكتشافها نظرياً من خلال المعادلات السابقة وذلك بطبيعة الحال على حساب عنصر الأمان المرجو.

ومن هنا فلقد تم التخلص من الطريقة السابقة لحساب سعة الطريق والتحول إلى أفكار أخرى ادت إلى استنباط مفاهيم جديدة تتوقف عليها السعة مثل مفهوم "مستوى الخدمة Level of Service" ، وهذا يمثل في الواقع تحولاً في منهجية معالجة تدفقات حركة النقل على الطرق باعتماد مدخل جديد لا يعتمد على التحليل النظري على مستوى المركبة الواحدة بل يتجه إلى تحليل المجاميع الكلية للمركبات على الطريق ، ويطلب ذلك القاء نظرة متفرعة على المنحنى الذي تسلكه سرعة المركبات مع ارتفاع الحركة والعلاقة التي تربط ما بين هذين المتغيرين.

#### انتظام السرعة مع زيادة حجم حركة النقل :

ورد في الأجزاء السابقة الحديث عن السرعة بطريقة يفهم منها أن هذه السرعة منتظمة ومن ثم فإن تدفق المركبات على الطريق قد يشبه إلى حد ما تدفق السوائل في الانابيب وهو افتراض غير واقعي وغير سليم ، مما هو سلوك الذي تسلكه السرعة مع ارتفاع حجم النقل وما مدى صحة افتراض انتظام هذه السرعة ؟

إذا تصورنا جدلاً إننا قمنا بتجربة فعلية على أحد مقاطع طريق ما حيث قمنا خلال وحدة زمنية معينة ولتكن الساعة مثلاً بقياس كل من :

١ - عدد المركبات التي مررت عبر هذا المقطع خلال الساعة أي حجم حركة

Traffic Volume النقل

٢ - سرعة كل مركبة على حدة .

إن هذه البيانات تمكنا من حساب السرعة المتوسطة للمركبات عبر هذا المقطع ورسم منحنى التوزيع التكراري Frequency distribution لسرعة المركبات حول السرعة المتوسطة وهو توزيع يأخذ شكل المنحنى الطبيعي Normal distribution

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

اذا ما تكررت التجربة السابقة لاحجام نقل مختلفة فسوف يمكننا حينئذ ملاحظة ان تشتمل سرعات السيارات حول السرعة المتوسطة سوف يقل تدريجيا بازدياد حجم حركة النقل على الطريق على المحو المبين في شكل ( ٣-١ ) ، وبالتالي تصبح السرعة اكبر انتظاما . وتفسیر ذلك واضح وببساط وهو ان قائد اي مركبة نقل حريته في اختيار سرعة القيادة كلما ازداد الازدحام على الطريق حيث يكون مطالبها حينئذ بالقيادة بسرعة تعتمد على سرعة السيارات التي امامه وتلك التي خلفه .

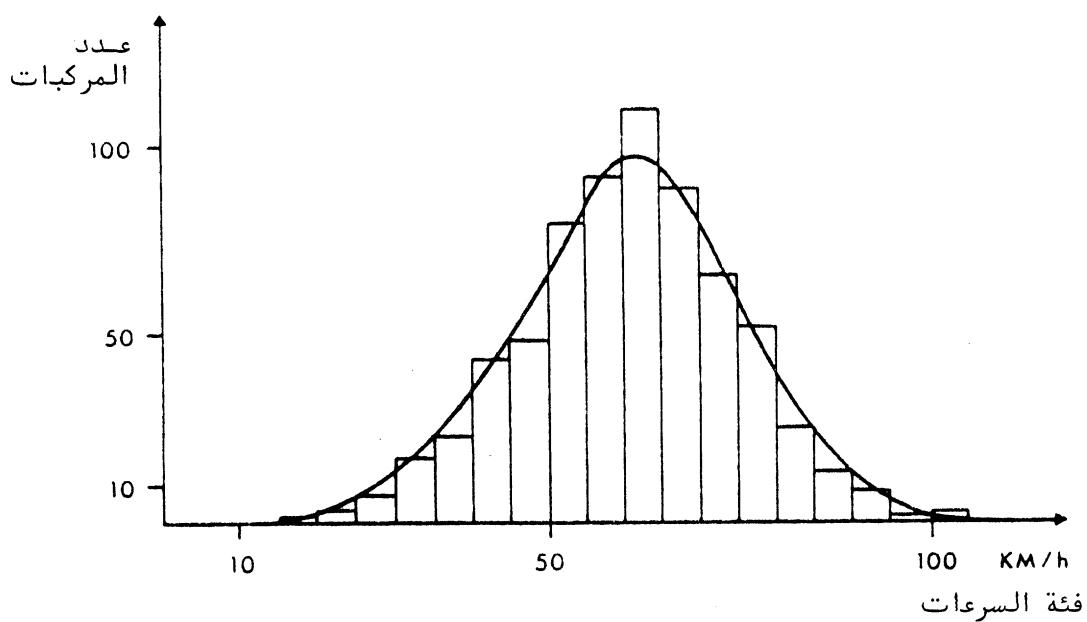
### ٢-٣-٢ المنحني الرئيسي لحركة النقل علاقة الكثافة والحجم والسرعة

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 ( ٤-١ ) ، ( ٥-١ ) .

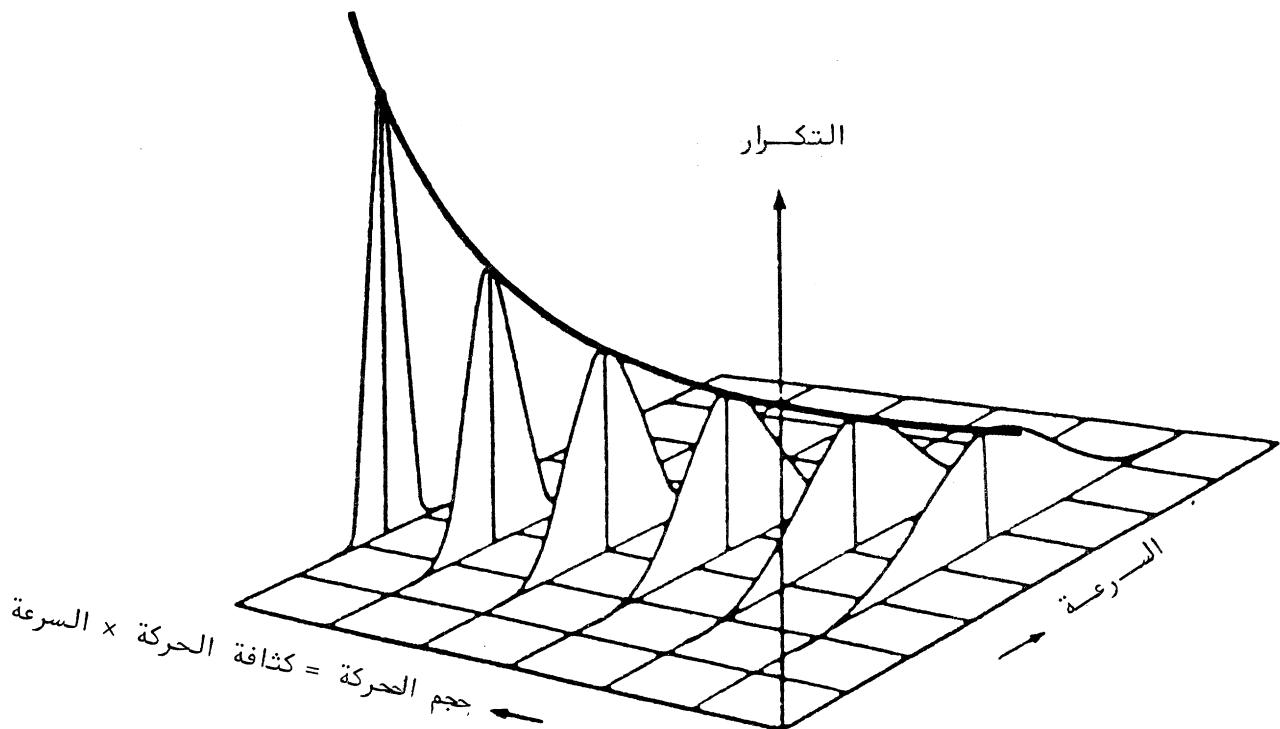
فإذا بدأنا بسيارة واحدة على طريق خال فان قائد هذه السيارة يكون حرا في الانطلاق باقصى سرعة على هذا الطريق دون اي اعتبار لمركبات اخرى تزاحمه ويمكن حينئذ اعتبار كلا من كثافة وحجم الحركة على الطريق مساوية تقريبا للاصغر ، هذا هو الحال الذي تمثله النقطة ( أ ) على المنحنيات المعينة حيث يطلق على هذه السرعة " السرعة الحرة المتوسطة " MeanFree Speed .

فإذا ما ازدادت كثافة الحركة على الطريق اي 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 الذي تضطر معه الى التوقف تماما عن السير وهو الوضع الذي 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 اكبر بكثير من معدلات



شكل (١-٢) : التوزيع التکاري للسرعة



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

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

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

يتميز المنحنى الموجود في الشكل ( ٤-١ ) عن المنحنى الموجود في شكل  
( ٤-٢ ) بانه يعطي قيم المتغيرات الثلاثة : حجم حركة النقل ، كثافة الحركة ، سرعة  
السير المتوسطة دفعه واحدة ومن منحنى واحد عند اي نقطة ، فإذا اعتبرنا النقطة ( ج ) مثلا  
وهي تمثل حالة ما على الطريق فان احداثيات النقطة ( ج ) تعطينا مباشرة كثافة وحجم حركة  
النقل المعاذرة 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  $\frac{1}{J}$  وعلى هذا يمكن  
الحصول على قيم للكميات الثلاثة من منحنى واحد في حين يصعب الحصول على قيم لكتافة الحركة  
مثلا من المنحنى شكل ( ٤-١ ) .

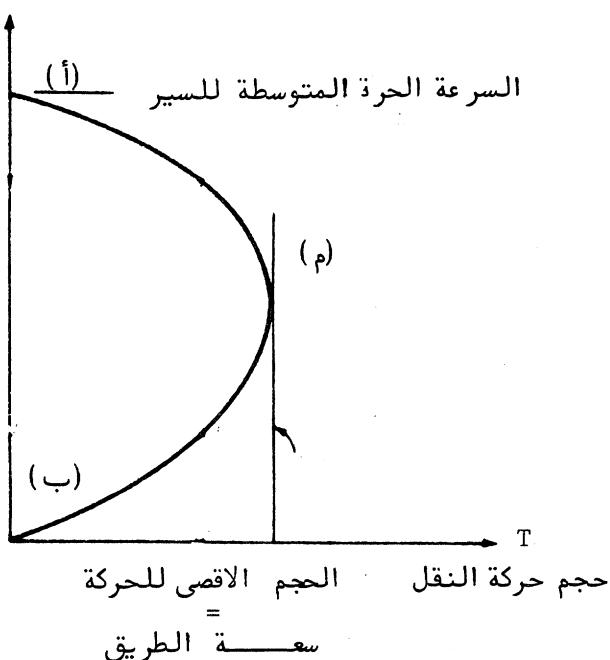
يطلق على المنحنى الموجود في شكل ( ٤-١ ) اسم المنحنى الرئيسي لحركة

Fundamental diagram of road traffic .

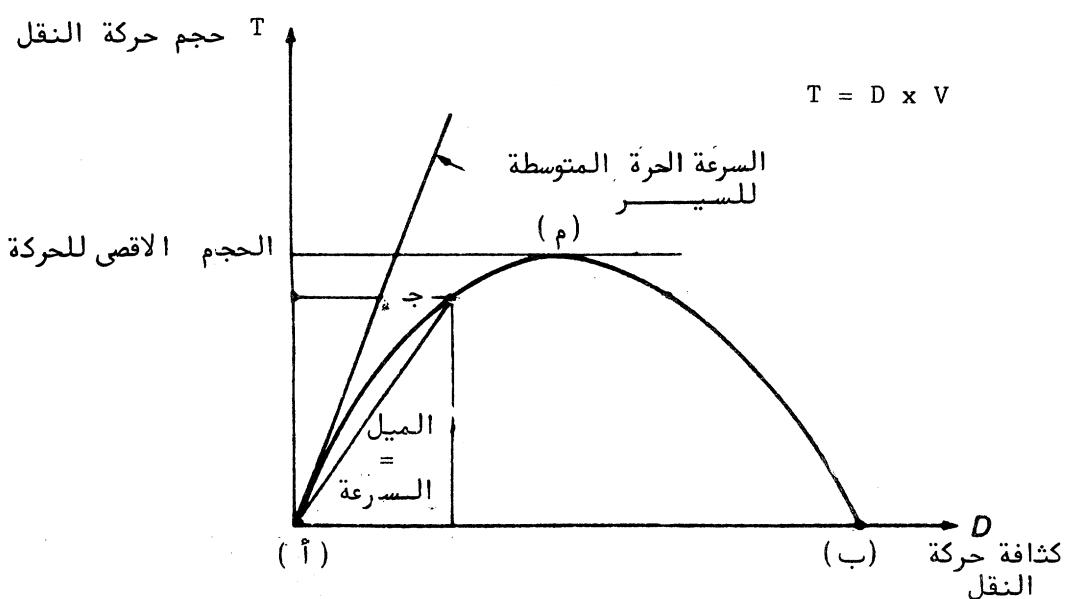
---

$$\text{١) حجم الحركة} = \text{كتافة الحركة} \times \text{السرعة}$$

٧ السرعة المتوسطة



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



شكل (١ - ٥) : المدحني الرئيسي لحركة النقل

## ٤- السعة الاساسية للطريق

يطلق على الحجم الاقصى لعدد المركبات الذي يمر في الوحدة الزمنية عبر مقطع الطريق والذى تمثله النقطة (م) على المنحنيات (٤-١)، (٥-١) تعبير السعة الاساسية Basic capacity للطريق ، ولمعرفة مقدار هذه الساعات اجريت ميدانيا بالفعل قياسات عملية لتقدير هذه الساعات اسفرت عن قيمها عملية Emperical values الاساسية تساوى بالتقريب ٢٠٠٠ (الفي) مركبة خفيفة في الساعة للمسار lane الواحد والاتجاه الواحد وذلك للطرق المكونة من اكثرب من مسارين والفين مركبة في الساعة لطريق ذات مسارات اذا كانت الحركة في كلا الاتجاهين .

وهذه القيم العملية هي الحدود القصوى التي يمكن الحصول عليها في ظل توفر شروط قياسية مناسبة اهمها :

- ١ - التدفق والانسياب المستمر لحركة النقل بلا عوائق او تقاطعات او عبور مشاة او انتظار سيارات على جانب الطريق .
- ٢ - عدم وجود مركبات للسير البطيء وسط السيارات تعوق حركة المرور .
- ٣ - عرض المسار الواحد يساوى ١٢ قدما (٣٦ متر)
- ٤ - اي عائق obstruction تكون على بعد لا يقل عن ٦ أقدام (١٨ متر) من حافة المسار الموجود على جانب الطريق .
- ٥ - مواصفات الطريق ونوعية الرصيف تصمم بسرعة تصميمية design speed في حدود ٧٠ ميل / ساعة (١١٠ كم / ساعة ) .
- ٦ - توفر مدى كاف للروعية ( اكبر من ١٥٠٠ قدم ) .

## ٥- مفهوم "مستوى الخدمة "

تم استخدام مفهوم "مستوى الخدمة" Level of service في الولايات المتحدة الامريكية وهو يقوم على اساس منهج التحليل السابق الذى يعرض للعلاقة ما بين المتغيرات الرئيسية الثلاث : كثافة الحركة ، حجم الحركة ، السرعة . ففي شكل (٤-١) يمثل المنحني الشروط الحدية للعلاقة ما بين المتغيرات الثلاث السابقة كما تمثل المساحة المحصورة ما بين هذا المنحني والمحور الرأس توليفات مختلفة لهذه المتغيرات الثلاث جميعها ممكنة الا ان مستوى الخدمة التي يمكن الحصول عليها من الطريق يرتفع كلما قل الازدحام عليه وارتقت سرعة السير عليه ، وعلى هذا تم توصيف ٦ مستويات مختلفة للخدمة تتدرج هبوطا من المستوى (A) حيث حجم الحركة صغير وسرعة السير كبيرة الى المستوى (F) حيث يصبح

تدفق المركبات غير مستقر Unstable ومتقطع مما تضطر معه المركبات الى التوقف المتكرر على الطريق متى يصل الى حالة السكون التام . ويتم توصيف المستويات الستة السابقة على منحني مشابه للمنحني الموجود في شكل ( ٤-١ ) بعد اجراء تعديلات بسيطة عليه بحيث يمثل المحور الافقى النسبة ما بين حجم الحركة الى سعة الطريق ( النسبة  $\frac{v}{c}$  ) بدلا من حجم الحركة فقط والسبب في ذلك يرجع الى الرغبة في جعل جميع القيم الممكنة على هذا المحور الافقى محصورة ما بين الصفر والواحد الصحيح، ويتوقف مستوى الخدمة في كل منطقة على عاملين اثنين : الاول هو عامل السرعة التي يطلق عليها عادة في مثل هذه المنحنيات سرعة التشغيل Operating speed والثاني هو مقدار النسبة (  $\frac{v}{c}$  ) ، وعلى هذا تتحدد المناطق الخاصة بكل مستوى من مستويات الخدمة السابق الاشارة اليها بالخطوط الافقية التي تمثل الحدود الدنيا للسرعة والخطوط الرئيسية التي تمثل الحدود العليا للنسبة (  $\frac{v}{c}$  ) المسموح بها داخل كل مستوى وذلك بالكيفية المبينة في الشكل رقم ( ٦ - ١ ) .

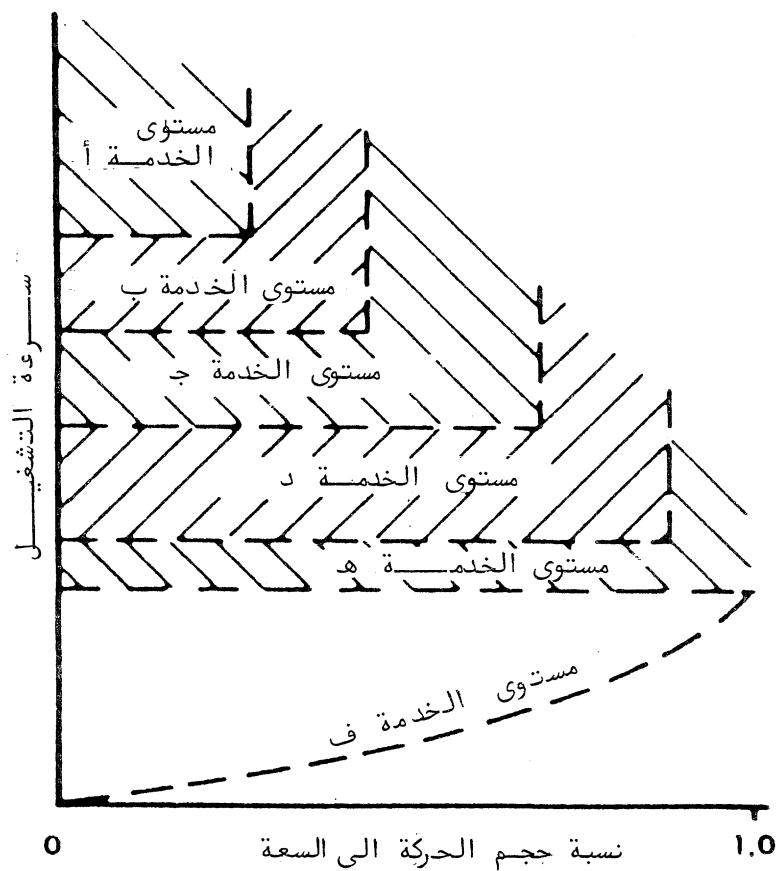
ويتم تحديد مستوى الخدمة لطريق ما واقصى حجم لحركة النقل يمكن السماح به مع الحفاظ على نفس المستوى من الخدمة باستعانت بمنحنيات وجداول كالالمبينة في شكل ( ١ - ٧ ، ١ - ٨ ) ولتوضيح ذلك نعتبر المثال التالي :

مثال :

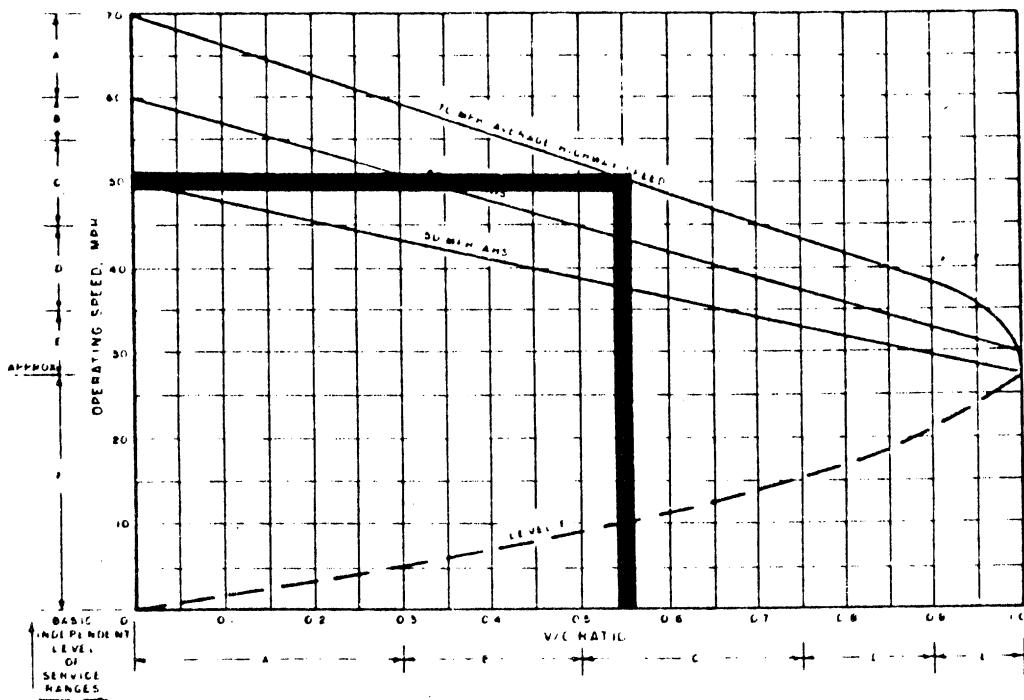
نفترض ان الطريق موضع الاعتبار يتميز بالمواصفات التالية :

- طول الطريق ٢٣ كم
- المقطع يتكون من "مضمارين" 2 Carriageways "٢" احدهما لاتجاه الذهاب والآخر لاتجاه الاياب .
- يتكون كل "مضمار" من مسارات 2 Lanes كل منها عرضه ١٦ قدما ( ٦٣ متر ) .
- توجد اكتاف Shoulders للطريق .
- لا توجد عوائق او معوقات على بعد اقل من ٦ قدم ( ١٨ متر ) على جانب الطريق .
- السرعة التصميمية هي ٧٠ ميل / ساعة ( ١١٠ كم / ساعة )
- حجم حركة النقل المتوقعة = ٢٠٠٠ مركبة / ساعة

يتضح من المثال السابق ان مواصفات الطريق هي المواصفات القياسية او المثالية ، ولمعالجته نبدأ بحساب النسبة  $\frac{v}{c}$  فتكون :



شكل (١ - ٦) : الشكل العام للعلاقة ما بين مستوى الخدمة وسرعات التشغيل ونسبة الحجم الى السعة



شكل (١-٧) : منحنى العلاقة ما بين نسبة الحجم الى السعة وسرعة التشغيل للسير في اتجاه واحد على طريق متعدد المسارات

LEVEL OF SERVICE	TRAFFIC FLOW CONDITIONS		SERVICE VOLUME CAPACITY (V/C) RATIO		MAXIMUM SERVICE VOLUME UNDER IDEAL CONDITIONS, INCLUDING 70-MPH AHS (TOTAL PASSENGER CARS PER HOUR, ONE DIRECTION)			
	DESCRIPTION	OPERATING SPEED <sup>a</sup> (MPH)	BASIC LIMITING VALUE <sup>b</sup> FOR AHS OF 70 MPH	APPROXIMATE WORKING VALUE FOR RESTRICTED AHS OF		4-LANE HWY (2 LANES ONE DIRECTION)	6-LANE HWY (3 LANES ONE DIRECTION)	EACH ADDITIONAL LANE
				60 MPH	50 MPH			
A	Free flow	≥ 60	≥ 0.30	→	→	1200	1800	600
B	Stable flow (upper speed range)	≤ 55	≤ 0.50	≤ 0.20	→	2000	3000	1000
C	Stable flow	≤ 45	≤ 0.75	≤ 0.50	≤ 0.25	3000	4500	1500
D	Approaching unstable flow	≤ 35	≤ 0.90	≤ 0.85	≤ 0.70	3600	5400	1800
E	Unstable flow	30 <sup>c</sup>		≥ 1.00		4000	6000	2000
F	Forced flow	< 30 <sup>c</sup>		Not Meaningful		Widely variable (0 to capacity)		

<sup>a</sup> Operating speed and basic v/c ratio are independent measures of level of service, both limits must be satisfied in any determination of level of service.  
<sup>b</sup> Operating speed required for this level is not attainable even at low volumes.  
<sup>c</sup> Capacity.  
<sup>d</sup> Approximately.  
<sup>e</sup> Demand volume capacity ratio may well exceed 1.00 indicating overloading.

شكل (١-٨) : مستويات الخدمة واقصى حجم نقل على الطرق المتعددة المسارات

$$55 \text{ ميل} = \frac{2200}{2 \times 4000} = \frac{V}{C}$$

وبالرجوع للمنحنى شكل ( ٧-١ ) مقابل  $55 \text{ ميل} = \frac{V}{C}$  والسرعة التصميمية  $50 \text{ ميل / ساعة}$  نجد ان اقصى سرعة تشغيل يمكن تحقيقها على الطريق هي  $50 \text{ ميل / ساعة}$  ، وان مستوى الخدمة المقابل لهذه الظروف هو المستوى ( C ) ، وبالرجوع الى الجدول الموجود في شكل ( ١ - ٨ ) تتأكد النتائج السابقة ويتبين ان حجم الحركة على هذا الطريق يمكن ان يرتفع الى  $3000$  مركبة في الساعة قبل ان ينتقل مستوى الخدمة الى المستوى الاقل وهو المستوى ( D ) .

#### ٦-١ التحديد الرياضي لسرعة التشغيل

في حالة عدم توفر منحنيات كالالمينة في شكل ( ٧-١ ) ، فيمكن اللجوء الى تحديد سرعات التشغيل بطرق رياضية بالاستعارة بالمعادلات التالية ، ويجد هنا التفرقة بين سرعة التشغيل للمركبات الخفيفة ولتكن  $S_0$  وتلك السرعة للمركبات الثقيلة او اللوارى  $S_t$  .

اولا ، بالنسبة للمركبات الخفيفة :

( أ ) طريقة ذات مسارين او ثلاثة

$S_0 = \min\{S, S_{MIN}\}$  ، اكبر القيمتين ( SD ) حيث

$$\begin{aligned} \text{السرعة التصميمية للطريق} &= SD \\ SD \times 21 + 6 &= S_{MIN} \end{aligned}$$

وحيث

$$S = 28.7755 + 0.0663 H + 0.41025 SD - 30.08 \frac{V}{C}$$

$H = \text{مدى الروعيـة}$

( ب ) طريقة ذات اربع مسارات

divided طريقة مقسم ( i )

$$S_0 = - \frac{(15 + SD)}{3} \frac{V}{C} + SD$$

$$S_o = \left( \frac{15 - SD}{1.5} \right) \frac{V}{C} + SD \quad (ii)$$

ثانياً ، بالنسبة للمركبات الثقيلة

$S_o$ km/hr	ST km/hr
100	80
90	68
80	60
70	54
60	49
50	45

امكن استنباط العلاقة المبينة بناء على المشاهدات ثم تجميعها من الميدان وتحليلاتها في المعاهد المعنية بشئون النقل وهذه العلاقة يمكن وضعها في صورة المعادلة التالية :

$$S_T = 57.85714 - 0.71286 S_o + 0.00929 S_o^2$$

## ٧-١ السعة المتاحة للطريق

سبق واوضحنا في قسم سابق ان السعة الاساسية للطريق Basic capacity lane width ينبغي لها توفير شروط قياسية لتحققها اهمها ما يتعلق بعرض المسار والسرعة التصميمية وبعد العوائق عن جانب الطريق ، فإذا ما اختلفت الظروف الفعلية عن الشروط القياسية ، انخفضت السعة الاساسية الى ما يطلق عليه السعة المتاحة available capacity على النحو التالي

$$C = C_o (P_w \times P_c \times P_s)$$

حيث

$C$  = السعة المتاحة للطريق

$C_o$  = السعة الاساسية او القياسية

$P_w$  = معامل اقل من الواحد الصحيح لاثر اختلاف عرض المسار عن العرض القياسي ( ١٦ قدم )

$P_c$  = معامل اقل من الواحد الصحيح لاثر انخفاض بعد العوائق على جانب الطريق عن البعد القياسي ( ٦ قدم )

$P_s$  = معامل لاثر انخفاض السرعة التصميمية عن السرعة القياسية ( ٧٠ ميل/ساعة )

هذا ويبين الجدول ( ١-١ ) المعادلات الرياضية المستخدمة لتقدير قيم هذه المعادلات السابقة كما يبين الجدول ( ٢-١ ) بعض قيم هذه المعادلات .

جدول ( ١\_١ ) : المصياغات الرياضية للمعاملات التي تؤثر على المسارات الأساسية للطرق

معامل تأثير مسافة المواقف عن جانب الطريق	معامل تأثير السرعة التصميمية	معامل تأثير عرض المسار
$P_C$	$P_S$	$P_W =$
$0.7205 + 0.05775D - 0.00187D^2$	$0.881 + 0.0017 SD \text{ for } 0 \leq SD \leq 70$ $2 \text{ for } SD > 70, P_S = 1$	$1.9405 - 0.2885 w + 0.0175 w^2$
$0.881 + 0.0017 SD_0 \leq SD \leq 555$ and for $SD > 555, P_S = 1$	$0.82 + 0.03D \text{ for } P_C = 1$ otherwise $P_C = 1$	$0.04 + 0.08 w$
$0.8815 + 0.03825D - 0.00313D^2$	$-1.7925 + 0.4425 w - 0.0175 w^2$	$-1.6465 - 0.4305 w + 0.0175 w^2$
$D = \text{المسافة بالقدم مبين العائق}$ و $SD = \text{السرعة التصميمية بالميل في الساعة}$	$w = \text{عرض المسار بالقدم}$	

جدول (١-٢) بعض القيم العملية للمعاملات التي تؤثر على السعارات الأساسية للطرق

طريق ذو اربعه مسارات مقياس م	طريق ذو اربعه مسارات غير مقياس م	طريق ذو اربعه مسارات غير مقياس م	المسافة بالقدم بين العائق وحده المسار بالقدم $P_C$	السرعة التصميمية (ميل/ساعة) اكبر من ارشاري ارلين $P_S$	المسافة بالقدم بين العائق وحده المسار بالقدم $P_W$ عرض المسار $P_W$
-	-	-	٦٠	٧٠	-
١٠	١١	١٢	٣٠	٤٠	٥٠
٩	١٠	١١	٦	٧	٨
٨	٩	١٠	٣٠	٤٠	٥٠
٧	٨	٩	٦٠	٧٠	٨٠
٦	٧	٨	٣٠	٤٠	٥٠
٥	٦	٧	٢٠	٢٩	٣٨
٤	٥	٦	١٠	١٩	٢٨
٣	٤	٥	٠	٩	١٨
٢	٣	٤	-	-	-
١	٢	٣	-	-	-
٠	١	٢	-	-	-
٠٩٧	٠٩٨	٠٩٩	-	-	-
٠٩١	٠٩٢	٠٩٣	-	-	-
٠٩٤	٠٩٥	٠٩٦	-	-	-
٠٩٨	٠٩٩	٠٩٧	-	-	-
٠٩٠	٠٩١	٠٩٢	-	-	-
٠٨٩	٠٩٠	٠٩١	-	-	-
٠٨٦	٠٨٧	٠٨٨	-	-	-
٠٨٣	٠٨٤	٠٨٥	-	-	-
٠٨٠	٠٨١	٠٨٢	-	-	-
٠٧٦	٠٧٧	٠٧٨	-	-	-
٠٧٣	٠٧٤	٠٧٥	-	-	-
٠٧٠	٠٧١	٠٧٢	-	-	-
٠٦٣	٠٦٤	٠٦٥	-	-	-
٠٦٠	٠٦١	٠٦٢	-	-	-
٠٥٤	٠٥٥	٠٥٦	-	-	-
٠٤٣	٠٤٤	٠٤٥	-	-	-
٠٣٠	٠٣١	٠٣٢	-	-	-
٠٢٠	٠٢١	٠٢٢	-	-	-
٠١٠	٠١١	٠١٢	-	-	-
٠٠٨	٠٠٩	٠٠١٠	-	-	-
٠٠٤	٠٠٥	٠٠٦	-	-	-
٠٠١	٠٠٢	٠٠٣	-	-	-

## ٦ - تكلفة مستخدمي الطريق

١-٢

مقدمة

تمثل حسابات عناصر التكلفة التي يتحملها مستخدمي الطريق من جراء استعماله في تنقلاتهم احد المكونات الاساسية الالازمة لتقدير منفعة هذا الطريق بالنسبة اليهم فاجراء حسابات تكلفة مستخدمي الطريق لبدائل المشروع المطروحة للاختيار فيما بينهما (بما فيها البديل الذي يمثل الوضع الحالي) والمقارنة بينها يساعد على تقييم منفعة الطريق وهو ما يمثل احد جانبي تحليل المنفعة والعائد الذي يمثل حجر الزاوية في دراسة جدوى مشروعات الطرق ، وفي هذه الدراسة سنحاول تبويب عناصر التكلفة هذه والبحث في كيفية تقدير كل منها كميا بالوحدات النقدية .

### ٢-٢ عناصر التكلفة :

هناك عدة وسائل لتبويب عناصر تكلفة مستخدمي الطريق تختلف فيما بينها اختلافات بسيطة ، ويمثل التبويب الذي نعرضه له هنا الصورة الشاملة لكافة بنود التكلفة المتداولة في هذه الاحوال والتي قد تختلف في بعض جزئياتها عن المناهج الشائعة المتبعة في هذا الصدد ، كما سيتبين في الاجزاء اللاحقة . وقبل البدء في عملية تقدير التكلفة يجب اولاً تقسيم الطريق الى اقسام Sections متتجانسة وتقسم انواع المركبات المتداولة الى مجموعات متماثلة ثم يصار الى تقدير العناصر التالية لكل قسم من اقسام الطريق بمعلومية نوعية سطحة ، وذلك بالنسبة الى كل نوعية من انواع المركبات .

### ٢-٣ تكاليف اساسية

يطلق تعبير التكاليف الاساسية لكل قسم من الطريق Basic section cost

على عنصرين اساسيين هما تكاليف تسغيل المركبات المتداولة على هذا القسم بالإضافة الى تكلفة وقت السير Travel time التي يتحملها مستخدمو هذه المركبات وذلك في ظل توفر ظروف مثالية للتشغيل من حيث الانحدارات وتغير السرعات اي ان التكلفة الاساسية تتكون من العناصر التالية :

#### ٢-٤-١ تكاليف التشغيل المتغيرة :

وهي تتوقف على عوامل عديدة وتعتبر متغيرة لانها تعتمد على المسافة المقطوعة وت تكون مما يلي :

- |        |                       |
|--------|-----------------------|
| لكل كم | - تكلفة الوقود        |
| "      | - تكلفة اهلاك المركبة |
| "      | - تكلفة زيت المحرك    |

لكل كم

"

- تكلفة اهلاك الاطارات
- تكلفة الصيانة والاصلاح

### ٢-١-٢-٢ تكلفة وقت السير

لكل ساعة للمركبة

"

- تكلفة وقت سائق وركاب سيارات الركوب في رحلات العمل
- تكلفة وقت المركب ذاتها في حالة اللوارى
- تكلفة وقت السلعة المنقولة في حالة اللوارى باعتبار ان السلعة تكون رأسمالا عاطلا خلال وقت الرحلة .

### ٣-١-٢-٢ تكاليف اضافية

وهي الزيادات التي تطرأ على بنود التكلفة الاساسية نتيجة لاختلاف ظروف التشغيل عن الظروف المثالية مثل :

- الزيادة في التكلفة الاساسية نتيجة للمنحنيات curves على الطريق
- الزيادة في التكلفة الاساسية نتيجة لتغيير السرعات speed change على الطريق
- الزيادة في التكلفة الاساسية في حالات الازدحام congestion التي نتج عنها توقف اضطرارى للمركبات على الطريق (كما هو الحال عند التقاطعات والاشارات) اي عند مستويات الخدمة التي يطلق عليها مستوى F مما تنتج عنه تكلفة اعطال اضافية delay cost

### ٢-٢-٢ تكاليف التشغيل السنوية الثابتة :

- تراخيص ، ضرائب ، اجازات
- تأمين وزيوت تشحيم
- أجور عمالة (للمركبات التجارية فقط)
- تكاليف ادارية (للمركبات التجارية فقط)
- المكونة الثابتة للاهلاك

### ٣-٢-٢ تكاليف الحوادث Accident cost

واحيانا ما يعبر عنها بوحدات نقدية لكل كم طولي للطريق .

هذا ويعطي شكل ( ١-٦ ) لوحة توضيحية تبين المكونات الاساسية لتكلفة مستخدمي الطريق والمدخلات الالازمة لحساب كل منها ، ويوضح منها ان حساب السرعة المتوسطة للتشغيل على المسارات الافقية والمستقيمة يمثل حجر الزاوية الذى يتطلب حسابه اولاً للوصول الى عناصر التكلفة المتغيرة للتشغيل وعناصر التكاليف الاضافية للتشغيل نتيجة لوجود منحنيات على الطريق او تغيير السرعات اثناء السير . ويتم حساب هذه السرعة في احوال وجود ازدحام على الطريق او عدم وجوده وفقاً للمعطيات الاولى للمشروع ( بند ٤ : هل مستوى الخدمة هو المستوى  $F^0$  ؟ ) كما ان تكاليف التشغيل المتغيرة يتم حسابها اما على السطوح الافقية او السطوح المائلة وفقاً ايضاً للمعطيات الاساسية للمشروع ( بند ٥ : درجة الميل ) .

### ٣-٢ كيفية تقدير عناصر التكلفة

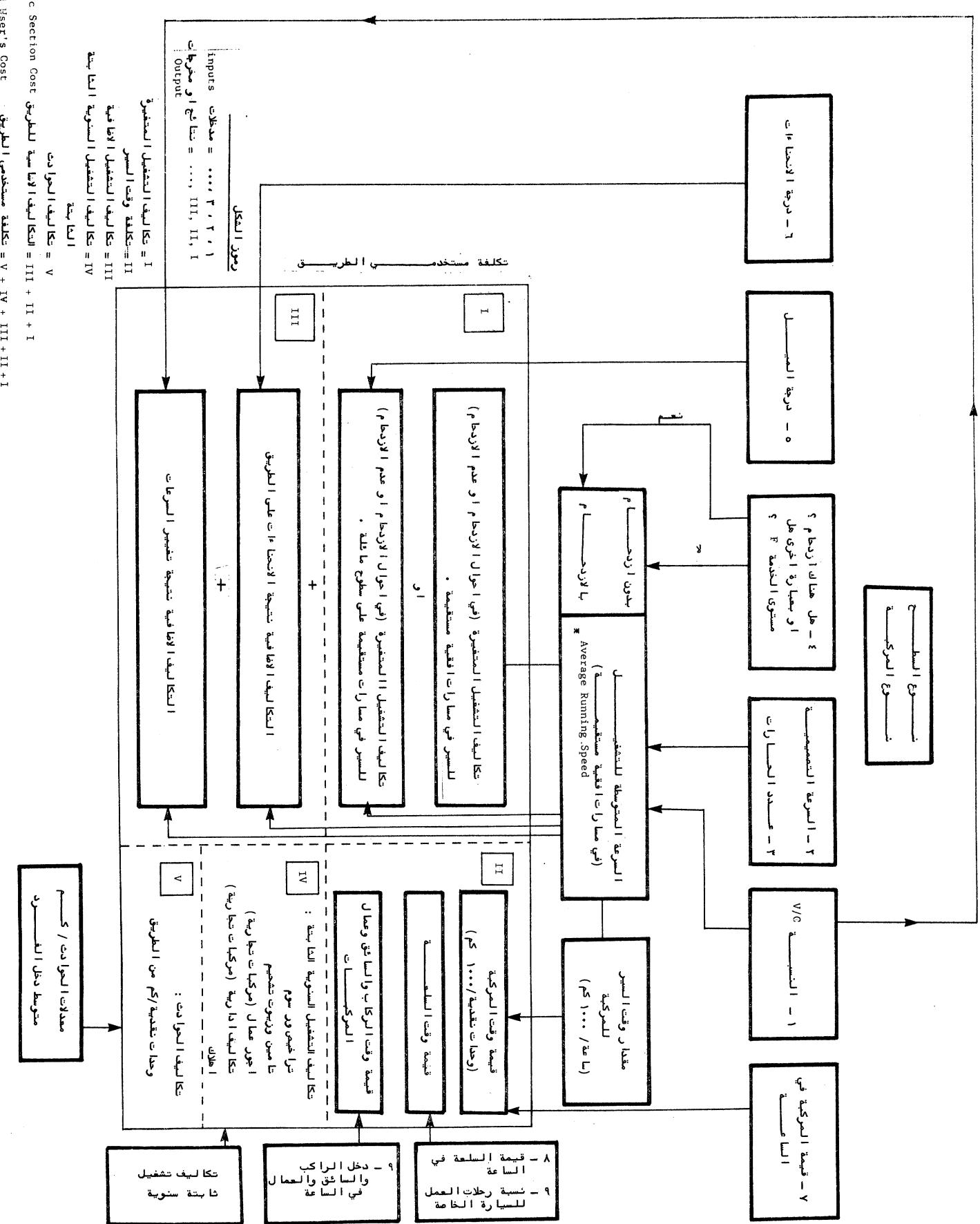
#### ٣-٢-١ طريقة الجمعية الامريكية لمسؤولي النقل والطرق

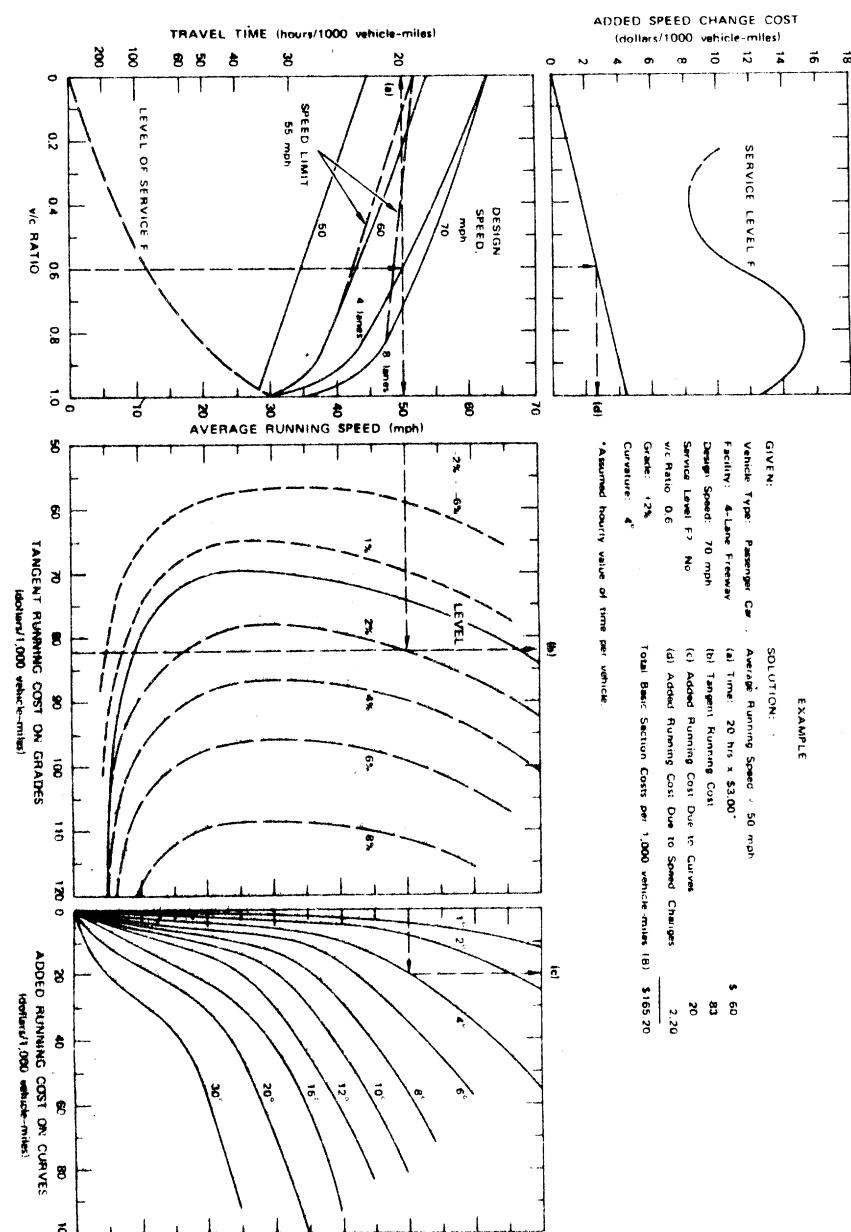
قدمت الجمعية الامريكية لمسؤولي النقل والطرق AASHTO في دليلها عن تحليل منافع مستخدمي الطرق<sup>١</sup> مجموعة من المنحنيات التي يمكن استخراج البنود المتعلقة بالتكاليف الاساسية والتكاليف الاضافية ( البنود ١ ، ٢ ) لاي قسم من اقسام الطريق وذلك بمعلومية المدخلات او المعطيات التالية :

نوع وطراز المركبة	-
نوع الطريق وطبيعة سطحه	-
النسبة $\frac{V}{C}$ لحركة النقل عليه او السرعة المتوسطة للسير	-
ميل الطريق على هذا القسم grade	-
السرعة التصميمية design speed	-
مقدار الانحناء curvature	-
قيمة الوقت للمركبة في الساعة	-
هل مستوى الخدمة هو المستوى ( F ) ؟	-

ويمثل شكل ( ٢-٦ ) نموذجاً لهذه المنحنيات كما يقدم مثالاً عن كيفية استخدامها في التطبيق .

(1) "A Manual on User Benefit Analysis of Highway and Bus Transit Improvements 1977", AASHTO.





شكل (٢-٢) : نموذج لمنحنيات الجمعية الأمريكية المسئولي النقل والطرق لتقدير منافع مسندمي الطريق

ويجدر هنا ان نبدي الملاحظات التالية على الطريق السابقة :

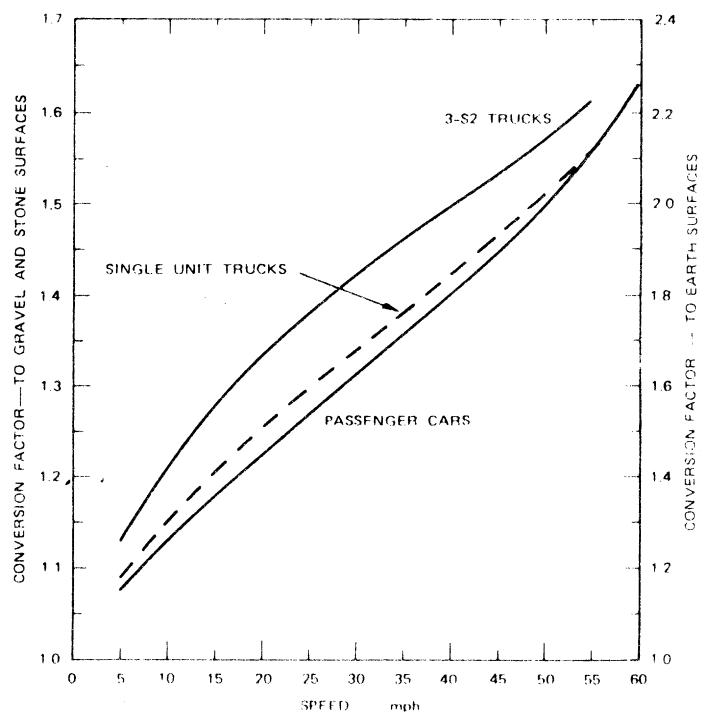
- ١ - ان تكاليف التشغيل المتغيرة التي استخدمت في وضع المنحنيات السابقة افترضت سطحها مرصوفة paved surface فاذا كان الطريق حصريا gravel أو ترابيا earth فان مجموع العناصر الخمسة التي تكون مجتمعة تكاليف التشغيل المتغيرة يجب ضربها في معامل اكبر من الواحد الصحيح يمكن الحصول عليه من المنحنى الموجود في شكل (٣-٢) .
- ٢ - ان تكلفة الوقود في المنحنيات السابقة لا يدخل فيها الضرائب .
- ٣ - ان المنحنيات المعنية قد استعمل في الحصول عليها مستويات الاسعار التي كانت سائدة في الولايات المتحدة الامريكية في يناير ١٩٧٥ ومن ثم يجب تعديلها لتلائم الاسعار السائدة وقت استخدام هذه المنحنيات ، ويقدم الملحق (B) من الدليل طريقة اجراء هذا التعديل .

يتضح من النقطة الاخيرة ان هذه المنحنيات قابلة للتطبيق فقط في الولايات المتحدة الامريكية ومن ثم لا تصلح للتطبيق في أي من الدول النامية الاخرى ، ومع ذلك فتظل قيمتها بالنسبة لهذه الدول الاخيرة تنحصر في كونها تمثل نموذجا لما يمكن اتباعه في هذه الدول من اجل تطوير المنحنيات الخاصة بها ومن ثم تكون قد خطت خطوة كبيرة في سبيل توفير اطار موحد يمكن الرجوع اليه عند دراسة وتقدير جدوى مشروعات الطرق في هذه البلدان ، والا ان يتم مثل هذا المشروع الطموح فلن يبقى امام هذه الدول من بد سوى اللجوء الى الحسابات التقليدية وهو ما نعرض له في الاجزاء التالية .

### ٤-٣ طريقة جان دى ويل :

يعتبر المرجع الذى وضعه جان دى ويل Jan De Weille في اوائل السبعينيات احد الملامح الهامة على هذا الطريق الذى ما زالت تتجأ اليه بيوت الخبرة الاستشارية كلما تعرضت لحسابات تكاليف مستخدمي الطريق في قطر من اقطار الدول النامية . ويقدم هذا المرجع جداول اساسية تمثل ارقام الاستهلاك الفعلية للبنود الستة التالية من تكاليف التشغيل

- استهلاك الوقود
- استهلاك زيوت المحرك
- استهلاك الاطارات
- اهلاك المركبات
- الصيانة
- قيمة وقت سائق المركبة



Source: R. Winfrey, Economic Analysis for Highways,  
International Textbook Company (1968).

شكل (٢ - ٣) : معاملات تحويل تكاليف تشغيل المركبات على السطوح المرصوفة  
إلى ما يعادلها على السطوح الترابية والحمصوية

وتعطي جداول هذا المرجع ارقام استهلاك العناصر السابقة وفقا للظروف التفصيلية التالية :

أ - نوعية السطح

مرصوف ، حصوى ، ترابي

ب - سبعة انواع من المركبات

٣ سيارات ، ٤ لوبيات

ج - اربعة قيم مختلفة للسرعة منها سرعة التشغيل المتوسطة Bench-mark speed

ويجدر هنا ملاحظة النقاط التالية للمنهجية التي اتبعها المرجع السابق والتي يجب أن توعز في السحبان قبل الشروع في محاولة تطبيقها على مشروععينة وهذه الملاحظات هي :

١ - ان الجداول التي يقدمها هذا المرجع لا تأخذ في الاعتبار أثر الازدحام في الطريق على تكاليف التشغيل وعلى هذا فان جداول هذا المرجع لا تفي في الاحوال التي يكون من اهداف ومنافع المشروع تحت التقييم التخلص من ازدحام الحركة على الطريق الحالي ، وهذه على أي الاحوال حالات نادرة لا تظهر عادة في مشروعات الطرق التي تربط المدن في الدول النامية .

٢ - ان منهجية دى ويل وان كانت قد اخذت بعين الاعتبار تكلفة وقت سائق المركبة على انها احد مكونات كالف التشغيل الا انها لم تعتبر وقت الركاب ووقت السلعة ذاتها ولم بعطي اية تقديرات لها على اساس انها تخرج عن اطار تكاليف التشغيل وان كان المرجع يعترف بأهميتها من حيث كونها جزءا اصيلا في منفعة الطريق .

٣ - كما ان المرجع ايضا لم يدرج ايضا في حساباته اثر المشروع على انخفاض معدلات الحوادث للصعوبة المنهجية في تقدير قيمة "الحياة البشرية" الا ان هذا البند جرت العادة ايضا على ان توضع قيم كمية له وفقا لمحاولات واجتهادات مختلفة يتم اعتبارها احد منافع المشروع .

٣-٣-٦ ٣-٣-٦ الحساب الرياضي لاهم بنود تكلفة مستخدمي الطرق

٣-٣-٦-١ تكاليف التشغيل المتغيرة على الطرق المرصوفة

ومقصود بالتكاليف المتغيرة هنا هو ذلك الجزء من تكاليف تشغيل المركبات

الذى يعتمد مباشرة على المسافة المقطوعة اى انه لا يدخل في الاعتبار هنا التكاليف السنوية الثابتة لتشغيل المركبات مثل التأمين والتراخيص السنوية وما الى ذلك . و تتكون عناصر التكاليف المتغيرة من مجموع تكاليف الوقود والاهلاك وزيوت المحرك والاطارات وذلك الجزء المتغير من تكاليف الصيانة والاصلاح وفيما يلي النماذج الرياضية المستخدمة في تقدير كل عنصر من العناصر السابقة .

### ١ - تكاليف الوقود

يمكن استنباط استهلاك المركبة من الوقود من خلال الدالتين الرياضيتين التاليتين لكل من المركبات الخفيفة كسيارات الركوب والمركبات الثقيلة كاللوارى بمعلومة سرعة التشغيل المتوسطة وذلك على النحو التالي :

المركبات الخفيفة :

$$F(V) = 20.8304 - 0.5841 V + 0.00712 V^2 - 0.00002 V^3$$

المركبات الثقيلة

$$F(V) = 59.3667 - 2.071 V + 0.3152 V^2 - 0.00013 V^3$$

حيث :

$V$  = سرعة التشغيل المتوسطة بالكلم / ساعة

$F(V)$  = استهلاك الوقود باللتر / ١٠٠ كم

والدوال السابقة تعطي فقط العلاقة بين كل من  $V$  ،  $F(V)$  ولا تصلح للاستخدام بطريقة مطلقة في هذه الصورة بل يجب أن يسبق استخدامها تعديل معاملاتها وذلك بمعرفة استهلاك المركبة من الوقود  $F_0$  عند سرعة أساسية  $V_0$  وهو ما يمكن الحصول عليه مباشرة من كاتالوجات وجداول مواصفات المركبة المعنية فعند هذه السرعة فان  $F_0$  يمكن ان تساوى  $(V_0) F$  فقط عند ضرب معاملات الدالة في المقدار  $(V_0) F_0 / F(V_0)$  فإذا ما تم هذا فيمكن حينئذ استخدام المعاملات الجديدة للمعادلة مع سرعة التشغيل المتوسطة على هذا القسم من الطريق لتحديد القيم المطلقة لاستهلاك الوقود باللتر / ١٠٠ كم .

### ٢ - تكاليف الاهلاك

نظراً لأن عناصر تكاليف التشغيل هنا يتم حسابها بالنسبة لوحدة المسافة المقطوعة سواء أكانت كيلومتر أو ميل فمن هنا يصبح من الضروري أولاً حساب المسافة المقطوعة بهذه المركبة سنوياً . ولنبدأ لهذا الغرض من البيانات المتعلقة بالسير

الحر لهذه المركبة Free flow اي بدون ازدحام على هذا الطريق . فاذا كانت:

$$V_0 = \text{سرعة السير الحر للمركبة على الطريق}$$

$$A_0 = \text{المسافة المقطوعة سنويا بافتراض سير السيارة بالسرعة}$$

$$Y_0 = \text{العمر الاقتصادي للسيارة في الظروف السابقة}$$

فاذا اختلفت الظروف الفعلية للتشغيل عن الظروف السابقة وكان هناك ازدحام على الطريق بحيث كانت سرعة التشغيل  $v$  اقل من سرعة السير الحر  $V_0$  وبافتراض تساوى عدد ساعات التشغيل تكون المسافة  $A$  المقطوعة حينئذ اقل من المسافة  $A_0$  وتتحدد بالمعادلة التالية :

$$(1) \quad A = A_0 - \frac{V}{V_0} , \quad V < V_0$$

اما اذا افترضنا جدلا ان السرعة  $v$  اكبر من سرعة السير الحر  $V_0$  وبالتعريض في المعادلة السابقة تكون  $A$  اكبر من  $A_0$  ولكن نظرا لان سير المركبة بسرعات اكبر من سرعة السير الحر هو افتراض غير واقعي لجميع اوقات السير بل قد يكون صحيحا فقط في جزء ( $P$ ) من الوقت بينما تسير المركبة بسرعتها الحرة  $V_0$  في الجزء المتبقى من الوقت ( $1-P$ ) حيث يتم تحديد مقدار الكسر ( $P$ ) بواسطة الشخص الذي يدرس ويحلل النظام فتتحدد حينئذ المسافة المقطوعة  $A$  على النحو التالي :

$$(2) \quad A = A_0 (1-P + P \frac{V}{V_0}) , \quad V > V_0$$

ومن هاتين المعادلتين وحسب الظروف السائدة يمكن حساب العمر الاقتصادي  $Y$  المناظر للمسافة المقطوعة  $A$  كما يلي :

$$(3) \quad Y = Y_0 - \frac{A_0}{A}$$

وتكون تكاليف الاعمال السنوية  $D$  كما يلي :

$$(4) \quad D = C \frac{r}{(1+r)^Y - 1} \quad \text{حيث :}$$

$C$  = تكاليف احالة المركبة عند انقضاء عمرها الاقتصادي

$r$  = نفقة الفرصة البديلة opportunity cost او سعر رأس المال السائد .

واذا ما ادخلنا في تكلفة الاعمال السنوية تكلفة رأس المال ايضا فيكون القسط النهائي للاهالك في اطار هذا المفهوم (احالة + تكلفة رأس المال) بالنسبة للكيلومتر أو الميل الواحد هي  $R$  حيث تتحدد  $R$  على النحو التالي :

$$(5) \quad R = (D + Cr) - \frac{1}{A}$$

### ٣ - تكاليف زيت المحرك :

على الرغم من ان تكاليف استهلاك زيت المحرك تعتمد نظريا على السرعة ومن ثم المسافة المقطوعة وهو المنهج الذى اتبعته الجمعية الامريكية لمسئولي النقل والطرق AASHTO في الدليل الذى اعدته عن منافع مستخدمي الطريق<sup>(١)</sup> ، الا ان تأثير السرعة على استهلاك السيارة من زيت المحرك يعتبر تأثيرا بسيطا الامر الذى يمكن معه ادراج هذا البند ضمن بنود التكلفة السنوية الثابتة بدون الوقوع في خطأ كبير نتيجة لهذا الافتراض أو هذا التقرير .

### ٤ - تكاليف استهلاك الاطارات :

اذا ففترضنا ان المركبة تسير بسرعة السير الحرة  $v_0$  وان عمرها الاقتصادي عند هذه السرعة هو  $y_0$  فيمكن حينئذ حساب قسط استهلاك الاطار الواحد  $TC$  بمعلومية تكلفة احلال هذا الاطار  $CT$  بنفس الطريقة التي تم اتباعها عند حساب قسط الاستهلاك للسيارة كما في المعادلة التالية :

$$(٦) \quad TC = CT \cdot \frac{r}{(1+r)^{y_0} - 1}$$

حيث :

$$\begin{aligned} TC &= \text{تكلفة السنوية للاطار الواحد} \\ CT &= \text{تكلفة احلال الاطار} \\ r &= \text{سعر رأس المال} \\ y_0 &= \text{العمر الافتراضي للاطار عند السرعة} \end{aligned}$$

اما اذا كانت السرعة  $v = v_0$  وليس  $v_0$  نتيجة لازدحام على الطريق مثلا فينتج عن ذلك ان المسافة المقطوعة سنويا  $A$  سوف تختلف عن تلك المسافة  $A_0$  التي يقطعها الاطار عن السرعة  $v_0$  ويكون العمر الافتراضي للاطار حينئذ هو  $y$  حيث :

$$(٧) \quad Y = Y_0 \cdot \frac{A_0}{A}$$

وعلى ذلك تكون تكلفة استهلاك الاطارات  $T$  لكل ميل او كم على النحو التالي :

---

(١) المرجع السابق .

$$(8) \quad T = \frac{CT \times T \times N}{A (1+T) - 1} e^{x(V-V_0)}$$

حيث :

$T$  = تكلفة استهلاك الاطارات لكل وحدة من وحدات المسافة  
 $N$  = عدد الاطارات في المركبة الواحدة  
 $x$  = معامل يتوقف على نوعية السطح وتتحدد قيمته من الجدول التالي

مركبات خفيفة	مركبات ثقيلة	
٠٤٦٥ ر	٠٤٤٥ ر	طريق مرصوف
٠٠٨٧ ر	٠٠٨٠ ر	طريق حصوى
٠٠٣٣ ر	٠٠٣٦ ر	طريق ترابي

#### ٥ - تكاليف الصيانة والاصلاح :

على الرغم من اهمية هذا العنصر من عناصر تكلفة التشغيل الا انه لا توجد حتى الان صياغة رياضية دقيقة له تبين مقدار هذا البند كدالة لعمر المركبة وكل ما هو متاح الان هو تقدير هذه المكونة اعتمادا على الخبرة على ان يتم الفصل ما بين الجزء الخاص بتكلفة قطع الغيار وذلك الخاص بالعمالة كي يتتسنى استخدام اسعار الظل الخاصة بالعمالة أى أن :

$$(9) \quad M = M_p + M_1 \times S_1$$

حيث :

$M$  = تكلفة الصيانة للسيارة لكل ميل أو كم  
 $M_p$  = تكلفة قطع الغيار لكل ميل أو كم  
 $M_1$  = تكلفة العمالة لكل ميل أو كم  
 $S_1$  = سعر الظل بالنسبة لعنصر العمل

#### ٢-٣-٣-٢ تكلفة وقت السيارة :

تتطلب معالجة هذا البند من بنود التكلفة التفرقة بين سيارات الركوب

والمركبات التجارية او اللوريات بعبارة اخرى \*

### ١ - تكلفة وقت سائق وركاب المركبة في رحلات العمل لسيارات الركوب :

وفي حالة سيارات الركوب يقتضي الامر مرة اخرى التفرقة بين الرحلات المنتجة لهذه السيارات او الرحلات لاغراض العمل والرحلات التي تتم لاغراض غير منتجة (غير العمل) كالترفيه على سبيل المثال فهذه الرحلات الاخيرة لا تمثل اي نفقة من الوجهة الاقتصادية القومية \*

ويمكن التعبير عن تكلفة وقت سائق وركاب سيارة الركوب في رحلات العمل بالمعادلة التالية :

$$T_p = (D_{IP} \quad S_{DIP} \quad P_{DI} + I N_p \quad S_p \quad P_p) / V$$

حيث :

$T_p$  = تكلفة وقت سائق وركاب السيارة

$D_{IP}$  = دخل سائق السيارة في الساعة

$S_{DIP}$  = معامل سعر الظل لاجر سائق السيارة

$P_{DI}$  = نسبة السائقين الذين يقودون سياراتهم في رحلات متعلقة بالعمل

$I$  = متوسط دخل راكب السيارة في الساعة

$N_p$  = متوسط عدد ركاب السيارة الواحدة

$S_p$  = معامل سعر الظل لاجر ركاب السيارة

$P_p$  = نسبة الركاب الذين يستخدمون السيارة في رحلات متصلة بالعمل

### ٢ - تكلفة وقت السائق والعمال في الرحلات المنتجة للمركبات التجارية (اللوارى) (١)

عادة ما يتم ادراج تكلفة اجور سائق اللوري والحماليين ضمن بنود التكاليف السنوية الثابتة للمركبة التجارية حيث يتلقى هؤلاء اجرهم عادة على اساس شهري ثابت قد لا يعتمد مباشرة على المسافة المقطوعة وسواء كانت المركبة مشغولة بالفعل في عملية منتجة أم متوقفة عن العمل \*

### ٣ - تكلفة وقت المركبة التجارية ذاتها :

وهو ما يعبر عنه بتكلفة الفرصة البديلة ، فاذا لم تكن المركبة قد استخدمت في عملية النقل الراهنة فلربما كانت قد استخدمت خلال نفس الوقت في عملية اخرى مربحة وكانت قد حققت عائدا يمكن اعتباره هو تكلفة الفرصة البديلة \*

#### ٤ - تكلفة وقت السلعة المنقولة :

تعتبر قيمة السلعة الموجودة في المركبة التجارية او اللوري اثناء النقل رأس مال عاطل عن الدوران خلال الوقت التي تستغرقه عملية النقل فاذا كانت القيمة المتوسطة للسلعة المنقولة هي  $V_C$  فان تكلفة وقت النقل بالنسبة للسلعة  $V_{TC}$  تتحدد على النحو التالي باستخدام معامل استرجاع رأس المال :

$$V_{TC} = \frac{\frac{r}{(1+r)}^Y}{\frac{(1+r)^Y - 1}{A}} \times V_C$$

#### ٤-٣-٢ أثر ازدحام الطريق على تكاليف تشغيل المركبات:

يوعدى ازدياد الازدحام على الطريق الى تقليل سرعة تشغيل المركبات وتدخلها مما يوعدى الى زيادة تكاليف التشغيل ، فاذا ما زاد الازدحام الى الدرجة التي توعدى الى التوقف للسيارات بين الحين والآخر فهنا يكون ارتفاع التكاليف ملحوظا بدرجة كبيرة .

وهناك عدة مناهج للتقييم الكمي لاثر الازدحام على تكاليف التشغيل من اهمها ذلك المنهج المتبعة في "دليل سعة الطرق Highway Capacity Manual" في الولايات المتحدة الامريكية وهو المنهج الذى سنعرض لخطوته العريضة في الاجزاء التالية .

يعتمد المنهج المذكور في تقدير اثر الازدحام على تكلفة التشغيل على حساب قيمة كمية لهذا الازدحام تأخذ كما هو متبع في مثل هذه الاحوال صورة النسبة  $\frac{V}{C}$  حيث  $V$  هي حجم حركة النقل على الطريق و  $C$  هي سعته ويبرز هنا على الفور نقطتان يجب التغلب عليهما هما :

- عدم تجانس المركبات المتداقة على الطريق
- وجود عوامل عديدة توثر سلبا على سعة الطريق

ويقدم الدليل المذكور انما الوسائل المناسبة للتغلب على هذه العقبات ، فعدم تجانس المركبات يتم التغلب عليه بحساب مكافئ حجم الحركة على الطريق كما ان العوامل التي توثر سلبا على سعة الطريق توعزد هي الاخرى في الحساب لحساب السعة المتاحة للطريق .

#### ٤-٣-١ مكافئ حجم الحركة على الطريق Equivalent Traffic Volume

يتم في هذه الطريقة التعويض عن اعداد المركبات الثقيلة (لواري واتوبصات) بما يكافئها من اعداد المركبات الخفيفة (سيارات الركوب) بحيث يمكن اعتبار الحجم الذى يتم

الحصول عليه مكافئاً لحجم حركة مكونة من مركبات خفيفة متتجانسة ولها نفس التأثير على الطريق كما للحجم الاصلي الغير متتجانس وتنوقف قيم هذا المكافئ  $E_C$  على نوع الطريق وطبيعة الارض كما موضح بالجدول التالي :

٢	٥	level	ارض مستوية
٤	٥	rolling	ارض منحدرة
٨	١٠	mountaineous	ارض جبلية

ويتطلب تقييم اثر الازدحام التعبير عن حجم الحركة بالساعة وليس حجم الحركة اليومية المتوسطة ADT والتي تكون عادة متاحة من تعدادات المرور Traffic counts

فاما كانَتْ:

$$\begin{aligned} \text{حجم حركة النقل في الساعة} &= V \\ \text{حجم حركة النقل اليومي المتوسط} &= ADT \end{aligned}$$

فان :

$$V = -\frac{ADT}{15.4}$$

وهذه المعادلة تنتج مباشرةً من المعادلة التالية:

$$V = V_0 \left( 1 + \frac{T^2}{\frac{V_0^2}{V}} \right)$$

بـالتعويض التالـي :

$$T = 0.75 V_o$$

حیات :

- = حجم الحركة المتوسط في الساعة  $V_0$
- = الانحراف المعياري لحجم الحركة في الساعة  $T$
- = حجم الحركة في الساعة  $V$

## ٢-٣-٤-٥ السعة المتاحة للطريق :

وهي ما تم تناولها في البند ٧ من الفصل السابق عن سعة الطريق ٠٠٠ مفهومها وكيفية تحديدها .

وبحساب كل من مكافئ حجم الحركة والمسافة المتاحة له يمكن حساب قيمة جديدة للنسبة  $\frac{V}{C}$  فإذا ما استخدمت هذه النسبة لحساب سرعات التشغيل المتوسطة  $S_T$  ،  $S_0$  للمركبات الخفيفة والثقيلة على التوالي على النحو الموضح في البند ٦ من الفصل الخاص بمفهوم سعة الطريق ، وكانت هذه السرعات المتوسطة انعكاساً صادقاً لائر الازدحام على الطريق فإذا ما استخدمت هذه السرعات في حسابات تكاليف التشغيل (البند ١-٢-٣) لنتجت لنا قيمة هذه التكاليف في احوال الازدحام على الطريق .



