مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (31) العدد (3) 2009
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (31) No. (3) 2009

دراسة وحساب الضجيج الناتج في المدن عن حركة وسائل النقل

الدكتور عارف علي*
مها رجب**

(تاريخ الإيداع 14 / 4 / 2009. قُبِل للنشر في 2009/8/16)

□ ملخّص □

يعتبر الضجيج واحدا من العوامل التي تؤثر بشكل سلبي على السكان في المدن الكبيرة ، حيث يزيد تأثير الضجيج على مدار الوقت،من توتر الأعصاب ويقلل من المقدرة على العمل والإنتاجية ، كما تشير الدراسات الحديثة إلى أن الضجيج يعتبر سبباً لكثير من أمراض القلب والأوعية الدموية والأعصاب، وكذلك الأمراض المعدية ولهذا السبب فإن كثير من بلدان العالم تضع حدوداً ومعايير للضجيج المسموح به، كما تقوم بتنظيم المدن بطريقة تقاوم فيها التأثيرات الضجيجية .

تلعب وسائل النقل والمواصلات الدور الأساسي في الضجيج الحاصل ضمن المدن، إذ يشكل الضجيج الناتج عنها حوالي 80%من الضجيج الكلي . ومع التزايد السريع لعدد السيارات في المدن الحديثة تصبح دراسة وحساب الضجيج الناتج عن حركة وسائل النقل ذات أهمية خاصة ، وبناء عليه تضمن البحث دراسة وتحليلا للضجيج الناتج عن رتل وسائل النقل في المدن ، ووضع طريقة لحسابه واقتراح الحلول والوسائل الممكنة للتخفيف من إصداره ومحاولة إخماده وامتصاصه والتقليل قدر الإمكان من آثاره السلبية .

الكلمات المفتاحية : الضجيج – شدة الضجيج – الحقل الصوتي – رتل النقل – مستوى الضجيج المكافئ – الطاقة الصوتية– الضغط الصوتي – الطيف الصوتي .

* أستاذ مساعد – قسم هندسة القوى الميكانيكية–كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية–جامعة تشرين– اللاذقية–سورية.
**مشرفة على الأعمال – قسم هندسة القوى الميكانيكية –كلية الهندسة لميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية–سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (31) العدد (3) 2009
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (31) No. (3) 2009

A Study about The Noise Produced by The Traffic Motion in big Cities

Dr. Aref Ali*
Maha Rajab**

(Received 14 / 4 / 2009. Accepted 16 / 8 / 2009)

□ ABSTRACT □

Noise could be considered one of the source that negatively affects the population in the big cities . These effects increase with time on the human nerves system, while decrease the work ability the noise could be the cause of many heart attack , nerves and stomach problems . Therefore , many countries , suggested limits and standards to face (meet) the noise problems.

The transportations play the main reason of noise-production problems in the cities reached to about (80%) of the total problems.

Therefore , our present work includes studying and analyzing the noise produced by these vehicles in the cities . also we suggest a special method for its calculation and solution to reduce its effects and harm full as much as possible …

Keywords : noise , sound intensity , sound region (field) , the sound power, the noise level , the sound pressure .

* **Associate professor, Department of Mechanical powers ,faculty of Mechanical and Electrical Engineering,Tishreen University,Lattakia, Syria.**
** **Work Supervisor, Department of Mechanical powers, faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

يترافق تحول الطاقة في أية آلية ومن بينها السيارات المتحركة مع انتشار لهذه الطاقة في الوسط المحيط، حيث تعتبر الموجات الصوتية the sound waves أحد أشكال هذا الانتشار وهي عبارة عن حركات اهتزازية لجزيئات وسط مرن والمتشكلة نتيجة لاهتزاز سطوح مصدر الضجيج أو نتيجة لأية عملية أيروديناميكية .

يكون مصدر الضجيج عادة في السيارات المتحركة : سطوح مصدر قدرتها (المحرك)،أنظمة السحب والإفلات، سطوح أجهزة نقل الحركة ، كما ينتج الضجيج عن احتكاك جسم السيارة مع الهواء عند حركتها، وكذلك عن التأثير المتبادل بين العجلات والأرض ، واهتزاز أجهزة التعليق وهيكل السيارة نتيجة لعدم سوية الطريق .يدعى المجال الذي تنتشر فيه الموجة الصوتية بالحقل الصوتي، ويكون تغير الحالة الفيزيائية للوسط في الحقل الصوتي مرتبطا بوجود الموجات الصوتية والتي تتميز عادة بالضغط الصوتي p أي الفرق بين قيم الضغط الكلي والضغط الوسطي الذي يلاحظ في الوسط المحيط بغياب الموجات الصوتية .

تتميز الاهتزازات الصوتية بالتردد f والذي يحدد من خلال سرعة انتشار الصوت c وطول الموجة الصوتية λ بحيث :

$$\lambda = {}^{c}/_{f}$$

عند انتشار الموجات الصوتية تنتشر بنفس الوقت الطاقة الصوتية the sound power وتكون الطاقة التي تحملها الموجة الصوتية مميزة لشدة الصوت I التي يمكن قياسها في أي نقطة من الحقل الصوتي كتيار من الطاقة يصيب واحدة المساحة

$$I = \frac{\bar{P}^2}{\varrho.c}$$

حيث : $\bar{P}^2$: وسطي مربع قيم الضغط الصوتي في الموجة الصوتية N/m^2

ϱ : كثافة الوسط الذي ينتشر فيه الصوت kg/m^3

c : سرعة انتشار الصوت m/sec

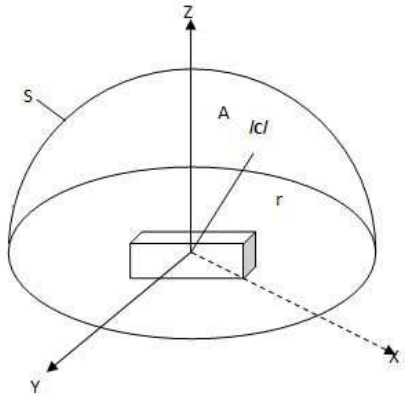
يستخدم من أجل تقييم منبع الإصدار الصوتي مفهوم الاستطاعة الصوتية الكلية W المنبعثة في نصف الفراغ الكروي المحيط بالمنبع، كما الشكل(1) :

$$W = I.2\pi.r^2 = 2\pi \,.\, r^2 \,.\frac{\bar{P}_y^2}{\varrho.c} \quad (1)$$

حيث : $\bar{P}_y^2$: القيمة الوسطية لمربع قيم الضغط الصوتي the sound pressure في قبة الانتشار S N/m^2

r : نصف قطر القبة الكروية في النقطة التي يجري فيها قياس الضغط الصوتي m

تكون الاستطاعة الصوتية الناتجة عن السيارات ضئيلة نسبيا عند حركتها بسرعات حتى 60 Km /Sec فهي لاتزيد عن 1 W ÷ 0.8 لهذا السبب فإنه توجد صعوبة في معالجة الضجيج الناتج عن السيارات بالوسائل التصميمية في هذا المجال [1].



الشكل (1): عبور الصوت خلال واحدة المساحة المحيطة بمصدر الضجيج

يمكن تقييم الضجيج نسبيا بمؤشرات مثل:مستوى الضغط الصوتي ، مستوى شدة الصوت،أو مستوى الاستطاعة الصوتية، وفقاً لوحدات مقارنة محددة ، غير أن الضجيج كمجموع لأصوات مختلفة يمكن تقييمه بشكل كمي ونوعي وفقاً لمؤشرين، أحدهما مستوى الضغط الصوتي، والثاني مستوى شدة الصوت(الطيف الصوتي the spectrum sound) والذي يعبر عن توافق ترددات الأصوات المكونة للضجيج ، حيث نميز وفقا للترددات :

a. الضجيج المتناغم*the harmony noise* : والذي يكون الفرق بين ترددات الأصوات فيه اقل من عشرة.

b. الطيف العريض *the wide spectrum* : يكون ذا ترددات متداخلة وهو ما يطابق الضجيج الناتج عن السيارات في رتل آليات النقل .كما يمكن تقسيم الضجيج حسب تغير مستوى الصوت في فترته إلى ضجيج دائم عندما يتغير مستوى الضغط الصوتي مع الزمن بحدود 5 db ، وضجيج غير دائم، عندما يكون هذا التغير أكبر من 5 db .

ينتمي ضجيج رتل آليات النقل إلى الضجيج الطويل (غير دائم)،و تعتبر عملية تقييمه مسألة معقدة فيما لو تم اعتبار الخصائص الذاتية واستجابة الإنسان للتأثيرات الجانبية ولهذا يستخدم مفهوم مستوى الضجيج المكافئ وهو يعبر عن مستوى الضجيج الدائم Lt الذي يعطي خلال فترة زمنية محددة T نفس الطاقة الصوتية التي يعطيها الضجيج غير الدائم خلالها :

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{4} \int_0^T 10^{0.1L_t} \ (dt) \right] \qquad (2)$$

ويعتمد هذا المفهوم من قبل المنظمات التي تهتم بتقييم الضجيج ووضع معايير وحدود له حيث يؤدي تأثير الضجيج لفترات طويلة إلى تغيرات وخلل في عمل وظائف الجسم، ولهذا فالضجيج يعد أحد العوامل الملوثة للبيئة، تحظى مسألة دراسته باهتمام الاختصاصيين العاملين في مجال صناعة واستثمار آليات النقل، وكذلك كل المهتمين بتنظيم حركة النقل والمواصلات عند تخطيط المدن وبنائها.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في التعرف على نشأة الضجيج المرتبط بحركة وسائل النقل في المدن ووضع طريقة لحسابه من أجل مقارنته مع الحدود المسموح بها ودراسة الحلول التصميمية والتنظيمية الممكنة للتقليل من ضجيج آليات النقل.

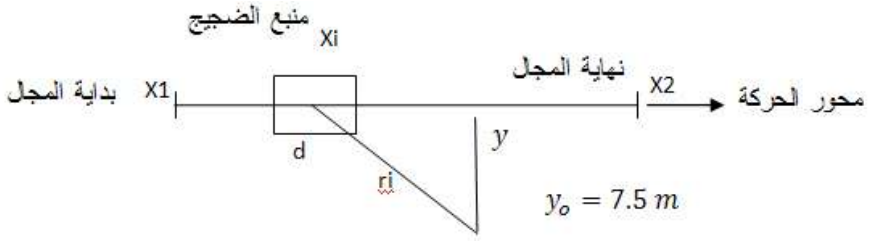
طرائق البحث ومواده:

يعتمد البحث طريقة التحليل العلمي لانتشار الموجات الصوتية عن عمل آليات النقل، وبالتالي حدوث الضجيج الإجمالي في المدن ومن خلال الدراسة والمقارنة واعتماد طريقة الحساب المقترحة يتم التوصل إلى اقتراحات و حلول لتخفيف إصدار الضجيج وتجنب آثاره السلبية.

دراسة وتحليل الضجيج الناتج عن حركة وسائل النقل :

الضجيج الناتج عن السيارة المفردة :

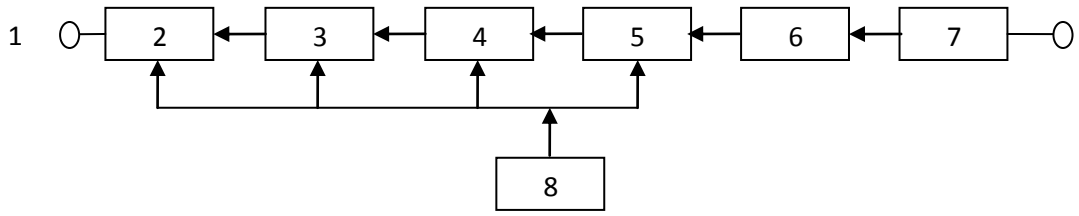
تعتبر السيارة مصدراً معقداً للضجيج، يصعب وصفه بشكل دقيق، لان حقل الضجيج الناتج عنها يتشكل من مجموعة منابع مختلفة لذلك فإنه ينظر إلى السيارة كمنبع واحد Xi في نقطة محددة الشكل (2) حيث تتحد خواصه الصوتية بشكل تجريبي ،يكون القياس الموثوق لمستوى الضجيج أكثر دقة على مسافة من المنبع Xi (السيارة) حيث تكون قد تشكلت عندها الموجة الصوتية الموحدة من المصادر المختلفة ، كما تكون قياسات مميزات الضجيج الحاصل أكثر دقة عندما تكون مسافة القياس y أكبر من أكبر بعد d للمنبع الصوتي، بحيث يرتبط طول الموجة الصوتية λ مع تلك الأبعاد بالعلاقة : $y \geq \pi . d^2/\lambda$



الشكل رقم (2) المخطط الحسابي لتحديد مسافة نقطة قياس الضجيج

ولهذا فقد جرت العادة في الدراسات التجريبية قياس الضجيج الناتج عن وسائل النقل على بعد 7.5 m عن حارة المرور(طرف الطريق) وفي كل الأحوال فإن اعتبار السيارة كمنبع محدد في نقطة وذي جهة غير محددة لمصدر الصوت تعتبر عملية تقريبية لأن المحور الصوتي للسيارة عن اللاقط الصوتي للقياس يتغير عمليا عند الحركة من $180^o \div 0^o$.

تجدر الإشارة إلى أنه تستخدم في الوقت الحاضر، ومن أجل قياسات الضجيج أجهزة متنوعة، وجميعها تقوم بتحويل شدة الطاقة الصوتية إلى إشارة كهربائية لكن أكثرها انتشاراً مقياس الضجيج الرقمي التكاملي، الذي بإمكانه قياس مستوى الضجيج المكافئ، ليس في لحظة معينة فحسب، وإنما خلال فترة زمنية محددة، والشكل التالي يبين مبدأ عمل هذا الجهاز:



الشكل رقم (3) مخطط تركيب جهاز مقياس الضجيج الرقمي التكاملي

1–مخرج 4–وحدة ذاكرة 7– مقياس ضجيج عادي(لاقط صوتي)
2– وحدة خرج الذاكرة 5–مؤقت 8–برنامج التوجيه والتحكم
3–معالج 6–مبدل تحليلي رقمي

حيث تعطى الإشارة الرقمية من المبدل التحليلي الرقمي إلى المؤقت الذي يتم توجيهه من مفتاح زمن القياس والذي يمكن اختياره لبضع دقائق أو لعدة ساعات، حيث تفتح وحدة المؤقت خلال الزمن المختار أكثر من ألف مرة، يتم في كل منها تسجيل المستوى اللحظي للضجيج وإيصاله إلى وحدة الذاكرة، وفي نهاية زمن القياس يقوم المعالج بحساب مستوى الضجيج المكافئ خلال الفترة الكاملة L_{eq} .وتصل القيمة إلى وحدة الذاكرة على المخرج، بحيث يمكن إظهارها بشكل رقمي على شاشة أو تثبيتها من خلال وحدة طباعة على الورق .

إن إيجاد الموديل الرياضي لتأثير ضجيج سيارة واحدة يفترض أيضا، أن الوسط الذي تنتشر فيه الموجات الصوتية مثالي، والحقيقة أن تحديد مؤشرات انتشار الموجات الصوتية الضجيجية في الفراغ مهمة صعبة ، ويعود ذلك إلى أن الوسط المحيط بطبيعته متغير البارومترات ، فكثافة الهواء وحرارته ورطوبته لا تكون ثابتة في الفراغ المعطى وتتغير مع الزمن ، ولذلك فإن الموجات الصوتية تخضع لتأثير تلك العوامل وتغيراتها لكن تأثير هذه العوامل على انتشار الضجيج يكون عمليا غير كبير، خصوصا عندما يكون مجال انتشار الموجات الصوتية قصيراً.

يعبر عن مستوى الضجيج the noise level الناتج عن السيارة L وفق العلاقة التالية : (3)

$$L = 10\ loq\frac{I}{I_0}$$

حيث: L : تقدر بواحدات db .

I : هي شدة الطاقة الصوتية في نقطة القياس وتقدر بـ W / m^2

I_0 : هي القيمة المعيارية للشدة وقيمتها : $I_0 = 10^{-12}$ وتقدر بـ W / m^2 ، وهي توافق شدة الصوت الأكثر هدوءا والذي يسمعه الإنسان حاد السمع .

ومع اعتبار قيمة I_0 نحصل على :

$$L = 10loqI - 10loqI_0 \ = 10loqI + 120$$

ويمكن حساب شدة الطاقة الصوتية I في نقطة القياس بدلالة مستوى الصوت المقاس L بالعلاقة:

$$I = 10^{0.1L-12} \qquad (4)$$

وبشكل عام تنتج الشدة الصوتية المكافئة the equivalent sound power للسيارة المفردة $I_{eq.i}$ بتقسيم تكامل الشدة الصوتية I ضمن الحدود من $X_2 \div X_1$ على الزمن اللازم لعبور هذه المسافة :

$$I_{eq.i} = \frac{\int_{x_1}^{x_2} I}{T_{x_1 x_2}} \quad \ldots\ldots \qquad (5)$$

أما مستوى الضجيج المكافئ the equivalent noise level للسيارة $L_{eq.i}$ خلال عبورها المسافة من $X_2 \div X_1$ فيحدد بالعلاقة :

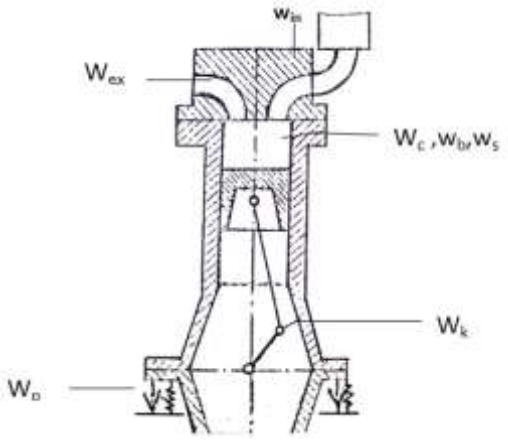
$$L_{eq.i} = 10loq\ I_{eq.i} + 120 \qquad (6)$$

تعكس هذه العبارات بشكل أبسط وأسهل المفهوم الفيزيائي للضجيج الناتج عن السيارة أو آلية النقل، والذي يعتبر مصدره الرئيسي محرك السيارة أو الآلية .

المحرك كمصدر أساسي للضجيج في آليات النقل :

تعتبر محركات وسائل النقل أهم مصدر للضجيج الناتج عن حركتها في المدن ، وخصوصا وأن عمل هذه المحركات على وسائل النقل يترافق مع تغير كبير في أنظمة عملها من سرعة وحمولة ، لندرس الإصدار الصوتي الناتج عن المحركات المكبسية. الشكل(4).

ففي شوط السحب يتم جريان الشحنة في أنبوبة السحب إلى القناة قبل الصمام، ويحصل خلال ذلك تماس لهذه الشحنة مع جدران القنوات ، ومع صمام السحب، فينشأ إشعاع صوتي نسميه ضجيج السحب ، نرمز إلى الطاقة الصوتية الناتجة عن ذلك Win ، أما عند الانضغاط والاحتراق والتمدد فإنه يحصل تشوه لجدران حجرة الاحتراق، الأمر الذي يؤدي إلى اهتزاز السطوح الخارجية للمحرك، وتنطلق طاقة اهتزاز الجدران بشكل صوتي WC في الجو المحيط ، وكذلك فإن عملية إعطاء الحرارة للجسم العامل في الأسطوانة تترافق مع ظهور إصدار صوتي عند الاحتراق WB . كما إنه أثناء عمل المحرك تنشأ اهتزازات على مسانده مع الهيكل، فينطلق قسم من طاقتها WP بشكل صوتي في الوسط المحيط .يمكن أن تنشأ أيضا في المحرك أثناء عمله أصوات صدمات في آلياته بين العناصر المتزاوجة (الصمام ومقعده مثلا) وهذا ما يؤدي إلى إصدار ضجيج W_K وتصدر التجهيزات المركبة على المحرك (المروحة – مضخةحقن االوقود–وغيرها)



الشكل رقم (4) شكل تخطيطي للمحرك ونشوء الإصدارات الصوتية فيه

ضجيجاً عند عمل المحرك W_S ، أما عند إفلات وطرد الغازات المحترقة ينطلق جزء من الطاقة بشكل ضجيج عن أنبوبة العادم نسميه ضجيج الطرد W_{ex}

نحصل إذا قمنا بجمع القدرات الصوتية المذكورة سابقا على علاقة التوازن الصوتي للمحرك وفقا لدورة عمله :

$$W_E = W_{in} + W_{ex} + W_c + W_B + W_P + W_K + W_S \quad (7)$$

ويمكن التعبير عن التوازن الصوتي للمحرك وفقا للسطوح المصدرة للضجيج، والتي تعتبر سطوح قنوات السحب والطرد وكل سطوح المحرك الأخرى :

$$W_E = W_{in} + W_{ex} + \sum_{i=1}^{n} W_i \quad (8)$$

حيث W_i الإصدار الصوتي عن العنصر i من سطح المحرك n عدد العناصرالمقسم إليها سطح المحرك بالكامل.

تبلغ الاستطاعة الصوتية النوعية الصادرة عن سطوح المحركات الحديثة بحدود

$$90 \div 115 \text{ db/ } m^2$$

يمكن مقاربة الإصدارات الصوتية الناتجة عن سطوح قنوات السحب والطرد مع تأثير المصدرات البسيطة من الدرجة 0 والدرجة الأولى (يهمل تأثير الإصدارات ذات المراتب العليا بسبب صغرها) ومن هنا فإن الشكل الثالث لمعادلة التوازن الصوتي للضجيج الناتج عن المحرك حسب المصدرات الصوتية :

$$W_e = \sum_{l}^{K} W_o + \sum_{i=l}^{K} W_i \quad (9)$$

حيث W_0 الإصدارات الصوتية من الدرجة 0 و K، l عدد المصدرات الصوتية من الدرجة 0و1على التوالي.

إن وضع التوازن الصوتي للمحرك بالعلاقات السابقة (7)،(8)،(9)، يعطي إمكانية تحديد أكثر المكونات الضجيجية تأثيراً، وتبيان أسباب صدورها، ودراسة عملية تشكلها وإيجاد الوسائل والطرق الممكنة لامتصاصها[2]

الضجيج الناتج عن رتل آليات النقل :

يتم تحديد الضجيج الناتج عن حركة السيارات والآليات في رتل ضمن المدن من خلال معرفة مؤشرات الضجيج لجميع تلك السيارات المشتركة في الحركة،ومن بين الطرق المعروفة لدراسة انتشار الضجيج من رتل النقل transmission queue هي جمع الطاقات الصوتية،وتتوقف إمكانية الجمع على مميزات وتردد المنابع الصوتية ويمكن أن تتم بطريقتين :

أولاً : أنه في لحظة زمنية معينة وفي أي نقطة من نقاط الفراغ يتم تجميع القدرات الصوتية the sound cababilty عند تلك النقطة من جميع المصادر الصوتية n ونحصل بذلك على القيم اللحظية لمجموع مستويات الضجيج للنظام المدروس :

$$L_{t.tr} = 10\, loq \sum_{i=1}^{n} 10^{0.1L_i - 12} + 120 \quad (10)$$

بعد ذلك يمكن بالعلاقة (2) حساب المستوى المكافئ للضجيج L_{eq} وقد عرفت هذه الطريقة في أعمال كثير من الباحثين [3]

ثانياً: تجميع قيم الشدات المكافئة للطاقة الصوتية I_{eq} خلال زمن T من المصادر المختلفة i لنحصل على الشدة المكافئة لطاقة الصوت الصادرة عن رتل النقل خلاص T:

$$I_{eq.Tr} = \sum_{i=1}^{n} I_{eq.i} \quad (11)$$

أما عندما تكون شدة الحركة للسيارات N (عدد السيارات المارة خلال ساعة من الزمن) فإن قيمة المستوي المكافئ للضجيج من رتل للنقل مؤلف من n آلية تحسب تجريبياً بالعلاقة :

$$L_{eq.Tr} = loq \sum_{i=1}^{n} I_{eq.i} + 120 \qquad (12)$$

عند عبور مسافة معينة للسيارة بين X_1 - X_2 في رتل النقل يحسب المستوى المكافئ للضجيج من وضع قيمة الشدة المكافئة للصوت $I_{eq.i}$ في العلاقة (3).

بهذا الشكل ومن أجل تحديد المستوى المكافئ للضجيج الناتج عن سيارة واحدة متحركة خلال زمن معين على قسم من الطريق ضمن الرتل يلزم معرفة القوانين التي تصف أنظمة حركة السيارة وتغير المستويات الحسابية للضجيج خلال تلك الأنظمة .

وضع طريقة لحساب الضجيج الناتج عن رتل آليات النقل :

يتحدد نظام حركة السيارات في الرتل تبعا لتركيبة الرتل ولشبكة الطرقات وتنظيم حركة المرور ، يتم عادة تحديد مستوى الضجيج الحسابي أي ضجيج السيارة كمصدر محدد مركز يلتقطه لاقط صوتي متوضع على بعد 7.5 m عن محور الطريق بشكل تجريبي ، زد على ذلك فإن أنظمة حركة السيارات التي يلزم عندها تحديد مميزات الضجيج، يمليها خصائص الاستثمار في ظروف الحركة المزدحمة في المدينة وفي مناطق التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية ، ولهذا فإن خصائص الضجيج يتم دراستها للسيارات ليس فقط عند حركتها على وضعية النقل المباشرة، ولكن عند الوضعيات المرحلية لنقل الحركة وعند سرعات قليلة .

فمن أجل حساب الضجيج الناتج عن حركة السيارات في الرتل يلزم معرفة الخصائص الضجيجية للسيارة عند عملها في الحالات غير المستقرة مثلا : الإقلاع ، الاندفاع والتسارع وكذلك الفرملة والتباطؤ . دلت الأبحاث [4] على أن تغيّر مستوى الضجيج لكل نوع من السيارات يتعلق بنظام الحركة، ويتم تحديد علاقة هذا التغيّر عند الحركة بسرعة مستقرة : $L = K_1 . \ loqv + K_2$ حيث أن : K_2،K_1 عوامل التغيّر في السرعة.

يتأثر الضجيج عند الحركة بسرعة مستقرة v ، بوضعية نقل الحركة في علبة السرعة بحيث أنه يمكن حساب مستوى الضجيج تبعاً لوضعية السرعة بالعلاقات :

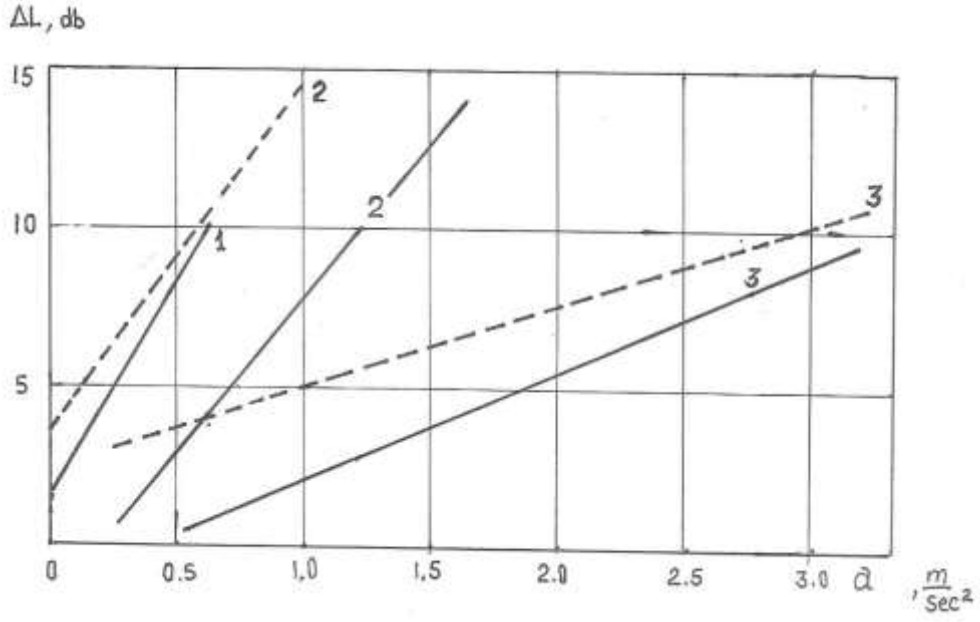
للسيارات الخفيفة على السرعة :		للسيارات الشاحنة على السرعة :	
الأولى :	$L = 28.2 .loqv + 32.8$	الثانية :	$L = 14.8 .loqv + 63.3$
الثانية :	$L = 38.61 .loqv + 13.1$	الثالثة :	$L = 22.2 .loqv + 47.1$
الثالثة :	$L = 31.8 .loqv + 20.4$	الرابعة :	$L = 31.8 .loqv + 29.5$
الرابعة :	$L = 37.1 .loqv + 8.7$	الخامسة :	$L = 31.0.loqv + 26.9$

تؤثر مؤشرات نشوء الضجيج في حالات العمل غير المستقرة، على مستوى الضجيج بشكل عام ، فمثلا عند الفرملة بواسطة المحرك لسيارة على مسافة من الطريق حتى التوقف الكامل يؤخذ مستوى الضجيج عند تلك السرعة مساويا لمستوى الضجيج عند الحركة بالتدحرج، ولا يتوقف على التباطؤ الحاصل ،وتكون العلاقات التي تحدد مستوى الضجيج الناتج عن حركة السيارات الخفيفة والشاحنة وعلاقته بسرعتها اللحظية عند التباطؤ والمعطاة على أساس تجريبي، بالشكل:

بالشكل / أ / للسيارات الخفيفة $L_s = 0.0042 .v^2 + 56$

بالشكل /ب / للسيارات الشاحنة $L_T = 0.0046 .v^2 + 68$

لاحظنا أنه عند الحركة المتسارعة للسيارات يظهر مركب إضافي إلى مستوى الضجيج ΔL والناتج عن الحمولة الإضافية المطبقة على المحرك، أي أن مستوى الضجيج عند التسارع L_a يتحدد من مستوى الضجيج عند الحركة المستقرة L_{St} مضافا إليه الضجيج ΔL الإضافي الناتج عن تسارع الحركة : $L_a = L_{st} + \Delta L$ بعد تحديد قيمة ΔL تجريبياً بالقياس نرسم منحيات علاقة ΔL مع التسارع a كما في الشكل(5):



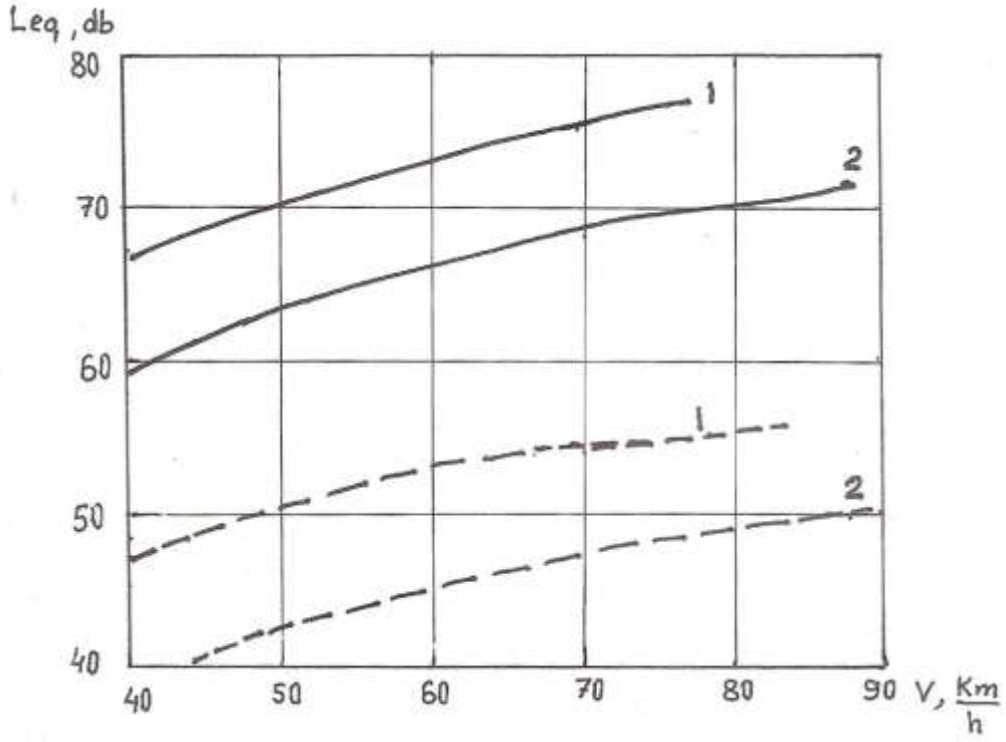
الشكل رقم (5) تغير مستوى الضجيج ΔL وعلاقته بالتسارع a عند الحركة المتسارعة
ـ للسيارات الخفيفة عند السرعات 1،2،3 ... للسيارات الشاحنة عند السرعات 2،3

أو من خلال العلاقات التجريبية التالية :

1. للسيارات الخفيفة: عندما : $0 < a < 1 \ m/sec^2$ $\Delta L = 11.7a + 0.4$
   عندما : $a > 1 \ m/sec^2$ $\Delta L = 1.9a + 3.2$

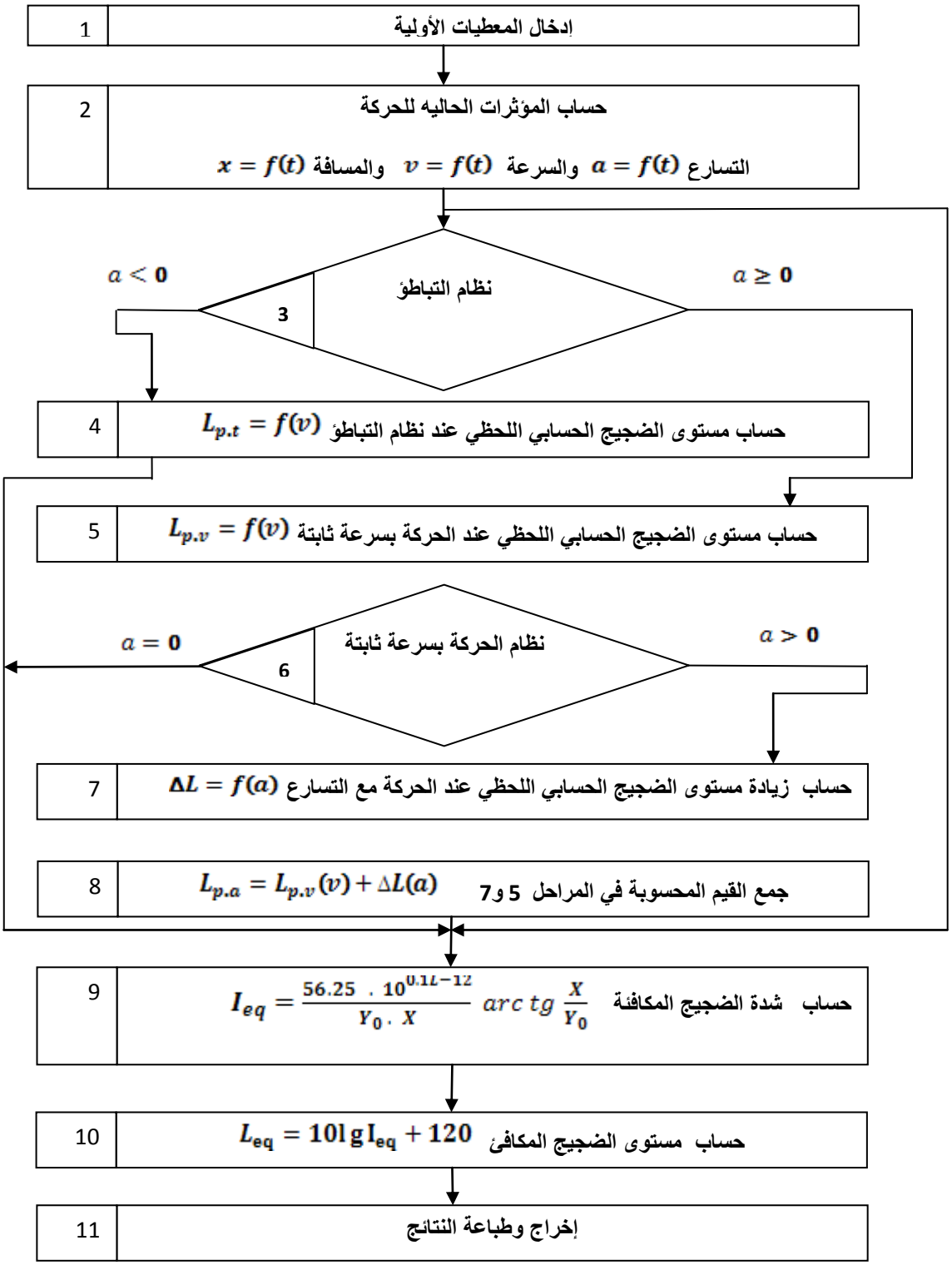
2. للسيارات الشاحنة: عندما : $0 < a \leq 0.6 \ m/sec^2$ $\Delta L = 13.7a + 1.6$
   عندما : $0.6 < a \leq 1.2 \ m/sec^2$ $\Delta L = 10.1a + 2.4$
   عندما : $a \geq 1.2 \ m/sec^2$ $\Delta L = 3.1a - 1.3$

يتم حساب الشدة المكافئة للطاقة الصوتية للسيارات و اللازمة من أجل حساب المستوى المكافئ للضجيج الناتج عن رتل السيارات بالعلاقة (5) أما من أجل السيارة المفردة فتحسب بالعلاقة (6). نبين على الشكل (6) علاقة مستوى الضجيج المكافئ الناتج عن السيارات الخفيفة والشاحنة مع سرعة الحركة في حالتين : على قسم من الطريق طوله 200 م ،وكذلك خلال نصف ساعة من الحركة بسرعة ثابتة (حركة مستقرة)



الشكل(6):علاقة المستوى المكافئ لضجيج السيارة الشاحنة / 1 / والخفيفة / 2 / مع سرعة الحركة ـ على مسافة 200 م . ... خلال نصف ساعة من الحركة بسرعة ثابتة

وبشكل عام عندما يكون مستوى الضجيج اللحظي الناتج عن السيارة /L_{ps}/ تابعا للزمن ولموقع السيارة في كل لحظة(الحركة في ظروف غير مستقرة) فإن المستوى المكافئ للضجيج يحسب باستخدام الآلات الحاسبة الالكترونية وفقا للمخطط الصندوقي المبين بالشكل (7) .



الشكل (7):المخطط الصندوقي لحساب المستوى المكافئ لضجيج السيارة عند الحركة بسرعة ثابتة وفي حال التباطؤ والتسارع.

فعلى سبيل المثال: إذا كان لدينا سيارة تتحرك على مسافة قدرها 1 km (المسافة بين تقاطعين في شوارع المدينة مثلاً) خلال زمن قدره دقيقتان وكانت سرعتها في اللحظة الآنية المدروسة 60 km/h فإن البرنامج الحسابي يتعامل مع الحركة المركبة بكل تفاصيلها من تسارع وحركة مستقرة وتباطؤ بحيث أنه في الحركة المستقرة يكون مستوى الضجيج :

$$L_{st} = 37.1 \ log60 + 8.7 = 74.66 \ \ d_b$$

يضاف في حالة التسارع المفروض $0.5\ m/sec^2$ مركب إضافي لمستوى الضجيج ΔL :

$$\Delta L = 11.7 \times 0.5 + 0.4 = 6.25 \ \ d_b$$

ويكون المستوى العام للضجيج مع التسارع:

$$L = L_{st} + \Delta L = 74.66 + 6.25 \approx 81 \ d_b$$

أما عند التباطؤ والقرب من الإشارة الضوئية فيكون الضجيج الناتج :

$$L_P = 0.0042 \ V^2 + 56 = 0.0042(60)^2 + 56 = 71.12 \ d_b$$

وهكذا فالمستوى العام للضجيج الكلي L على المسافة المقطوعة x هو :

$$L = 81 + 71.12 = 152.12 d_b$$

وتكون الشدة المكافئة وفق علاقة حسابها I_{eq} في البرنامج :

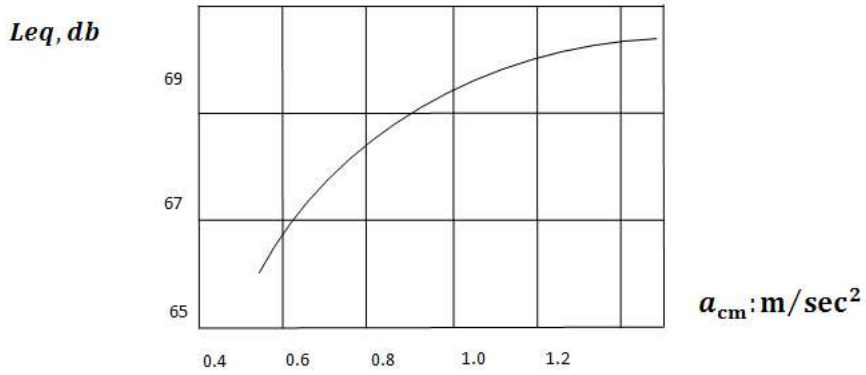
$$I_{eq} = \frac{56.25 \times 10^{0.1(152.12)-12}}{7.3 \times 1000} \quad arc\ tg \frac{1000}{7.5} = 1094.5 \ w/m^2$$

أما مستوى الضجيج المكافئ L_{eq} فيكون

$$L_{eq} = 10 \log 1094.5 + 120 = 150.39 \ d_b$$

كما نبين على الشكل (8) علاقة المستوى المكافئ للضجيج L_{eq} الناتج عن السيارة المفردة الخفيفة والمحسوب وفق الطريقة السابقة مع وسطي التسارع اعتبارا من خط التوقف على طريق إسفلتية متوسطة الخشونة، وقد تبين أن زيادة التسارع من $0.5 \div 1.2\ m/sec^2$ ترافقت مع زيادة في L_{eq} بمقدار 0.9% بينما تكون الزيادة اللاحقة للتسارع مترافقة مع زيادة قليلة جداً لـ L_{eq}.

بشكل عام يعتبر المستوى المكافئ للضجيج الناتج عن رتل آليات النقل في حارة مرورية passage way معينة من الطريق ، كمجموع للمستويات المكافئة للضجيج الناتج عن جميع السيارات المكونة للرتل . أما حسابه فيتم مع اعتبار : الموديلات الرياضية التي تصف عمليات حركة السيارات على حارات الطرق. وتوفر المعطيات عن مستوى الضجيج الناتج عن السيارات الخفيفة والشاحنة في الرتل عند الأنظمة المختلفة لحركتها من تسارع وحركة مستقرة وتباطؤ وتوقف . وقد تبين أن الموديل المقترح لحسابات الضجيج مع الاعتبارات المذكورة وعند نفس الشروط والظروف الموافقة للحالة العملية يعطى توافقا مع النتائج التجريبية لقياس الضجيج [4].



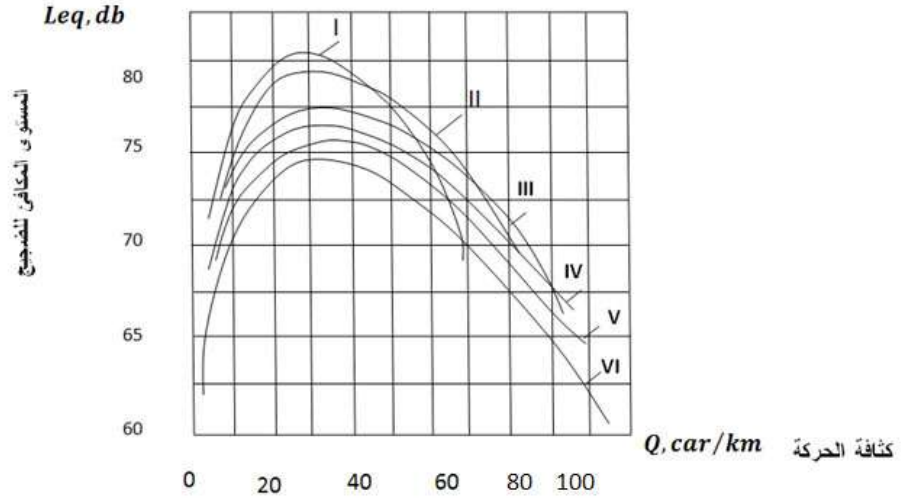
الشكل (8) : تأثير شدة تسارع السيارة على مستوى الضجيج الناتج عنها

النتائج والمناقشة :

استطعنا من خلال الدراسة والحساب التوقف عند أهم العوامل المؤثرة على مستوى الضجيج والمرتبطة بحركة رتل آليات النقل ضمن المدن منها :

- **تأثير كثافة الحركة ونسبة السيارات الشاحنة :**

من خلال حساب مستوى الضجيج المكافئ لرتل آليات النقل المكون من سيارات خفيفة وشاحنة يمكن إنشاء مخططات ضجيج رتل آليات النقل ، وهي تعطي علاقة المستوى المكافئ للضجيج الحسابي مع عدد السيارات المشاركة في الانبعاث الضجيجي، وتبعا لسرعتها ونسبة السيارات الشاحنة في الرتل كما في الشكل(9).



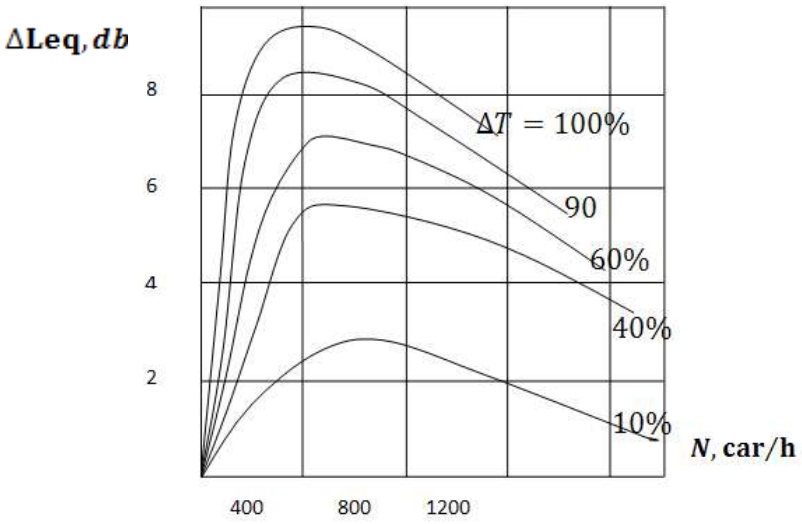
الشكل (9): مخطط الضجيج الناتج عن رتل آليات النقل في حارة واحدة من الطريق مع كثافة الحركة ونسبة السيارات الشاحنة في الرتل:VI-0% V-10% IV-40% III-60% II-90% I-100%

يلاحظ أنه في منطقة الحركة الحرة والجماعية وعندما كثافة الحركة density of motion (عدد السيارات في وحدة المسافة) $Q = 0 \div 30\ car/km$ تكون سرعة السيارات كبيرة نسبيا وبالتالي فإن كثير من السيارات تملك مستوى عالياً من الضجيج، لذا مع زيادة كثافة الحركة يزداد ضجيج الرتل بشكل حاد ويصل إلى قيمته الأعظمية حتى الكثافة القريبة من الكثافة التي يمكن أن تمررها الطرقات أو الشوارع.

بينما تترافق الزيادة اللاحقة في كثافة الحركة Q بنشوء رتل تسوء فيه ظروف الحركة أي تقل شدة حركة رتل النقل وسرعة هذه الحركة، وهذا ما يؤدي بالتدريج إلى انخفاض مستوى الضجيج الحاصل حتى المستوى الذي يعبر عن حالة الازدحام و التوقف.

يمكن أيضاً إنشاء علاقة مشابهة للمستوى المكافئ للضجيج مع شدة الحركة N(عدد السيارات المارة خلال وحدة الزمن) و تسمح مثل هذه العلاقة مع سابقتها بإعادة توزيع الرتل في شبكات الطرق وفق الأزمنة المختلفة وذلك كإحدى الوسائل من أجل تخفيف الإصدار الصوتي في الوسط المحيط،غير أن عملية التحديد الجزئي أو المنع الكامل للحركة يجب أن ترتكز على الحدود المسموح بها لمستوى الضجيج في المناطق المختلفة من المدينة، حيث يعتبر التحديد ضروريا وبحيث يؤخذ بعين الاعتبار المؤشرات الاقتصادية و الاجتماعية من جراء تحديد الحركة .

تبيّن أن زيادة شدة حركة رتل النقل من 400 car/h إلى 1200 car/h يترافق مع زيادة في مستوي الضجيج المكافئ بمعدل $10 \div 15$ % وتكون قيمة هذه الزيادة أكبر، كلما زادت نسبة السيارات الشاحنة في الرتل والتي تبدي بدورها تأثيراً كبيراً على مستوي الضجيج ويرتبط ذلك بأن مستوى الضجيج الحسابي L الناتج عن السيارة الشاحنة المفردة أكبر بـ $8 \div 10$ db مما هو عليه للسيارة الخفيفة . تسمح المعطيات التي نبينها على الشكل (10) بتحديد فعالية الطرق المستخدمة من أجل اقتراح تركيب مثالي للرتل في تلك الحالات عندما توفر حارات المرور على الطرق سماحية كافية للعبور(تصريف كافٍ).



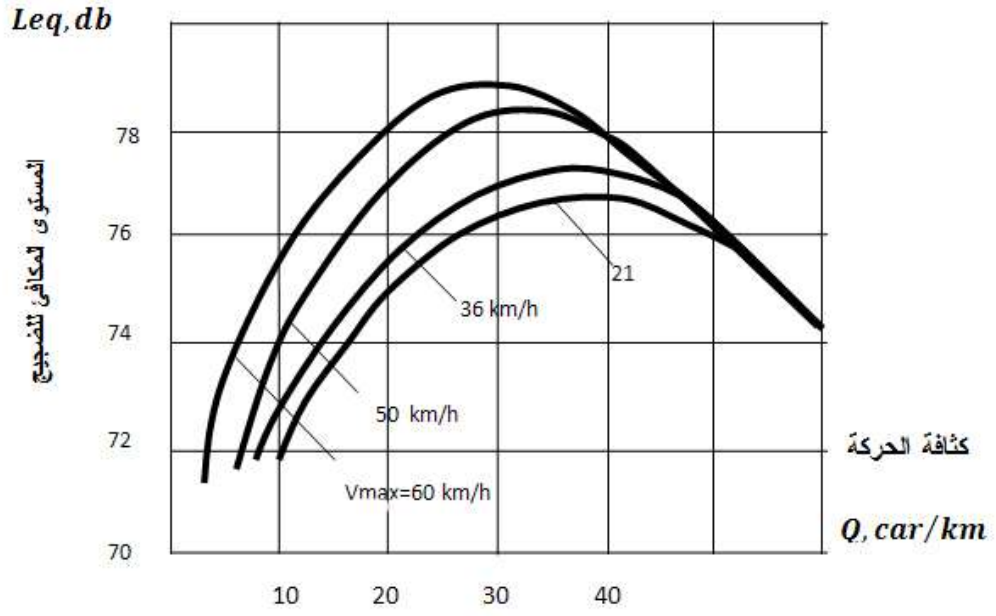
الشكل (10):علاقة الزيادة في المستوى المكافئ للضجيج الناتج عن حركة رتل النقل مع شدة الحركة وعند نسب مختلفة للسيارات الشاحنة في الرتل.

في حالات الحركة ضمن رتل مكتظ يكون متوسط الزيادة في مستوى الضجيج على حارات المرور المختلفة مرتبطا بتركيب الرتل بالعلاقة $\Delta Leq = 8\ log.\frac{\Delta T}{4.2}$ حيث ΔT نسبة السيارات الشاحنة في الرتل، وهكذا فإن متوسط الزيادة ΔLeq لرتل تغلب فيه السيارات الشاحنة ($\Delta T = 90\%$) يزيد بثلاث مرات عن تلك القيمة لرتل تغلب فيه السيارات الخفيفة ($\Delta T = 10\%$) وذلك عند نفس القيمة لشدة الحركة N .

- **تأثير سرعة حركة رتل آليات النقل:**

تتعلق سرعة حركة السيارات بكثافتها وتركيب الرتل ، لكنه توجد إمكانيات اصطناعية لتحديد قيمها العظمى المسموح به من خلال قواعد محددة أو وضع المؤشرات الطرقية المحددة لسرعة الحركة .

نبيّن على الشكل (11) تأثير تحديد سرعة الحركة على المستوى المكافئ للضجيج الناتج عن رتل النقل في حارة مرورية واحدة. ويبدو أن تأثير مثل هده الحدود يكون في مجالات كثافة قليلة للسيارات ، حيث تزيد سرعة حركة السيارات في الواقع عن تلك الحدود المبينة على الشكل ، أما عند الحركة في رتل مكتظ بالسيارات فإن سرعة الحركة التي تتحدد بشكل أساسي من التأثير المتبادل بين السيارات تكون قليلة.

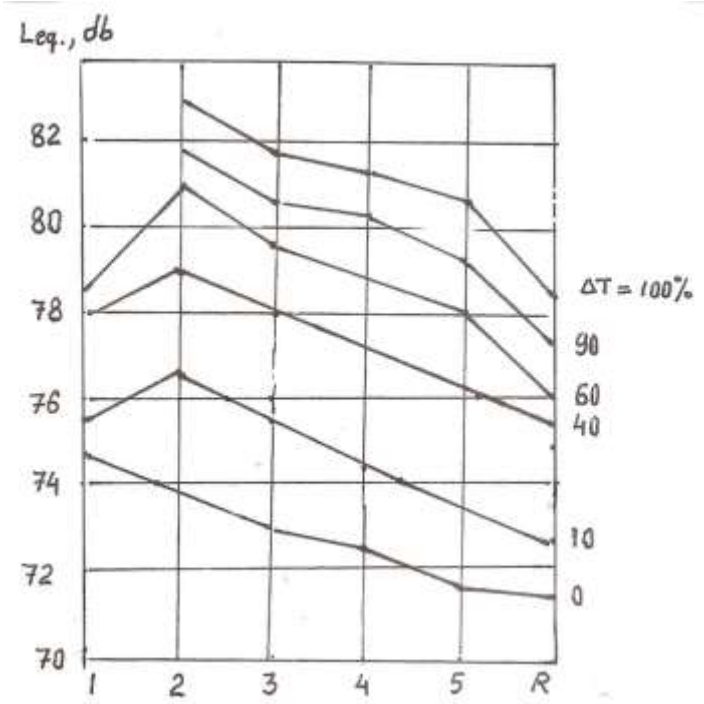


الشكل(11): تأثير تحديد سرعة الحركة على المستوى المكافئ لضجيج رتل النقل في حارة مرورية واحدة.

يتحقق انخفاض ملحوظ في مستوى الضجيج لرتل آليات النقل ذي التركيب المختلف عن وضع حدود لقيم السرعة العظمى حتى حدود $40-45\ km/h$.أما التخفيض اللاحق للسرعة المسموح بها لا يؤدي إلى تخفيض مستوى الضجيج الناتج عن رتل الآليات المتحركة ، ويفسر ذلك بأنه عند الحركة بسرعات أقل من$40-50\ km/h$ يلجأ الكثير من السائقين إلى استخدام السرعات الجزئية (المرحلية) في علبة السرعة وهذا ما يزيد من ضجيج السيارة المفردة والضجيج الناتج عن الرتل بشكل كامل .

- **تأثير عدد حارات المرور لرتل النقل :**

تؤثر زيادة عدد حارات المرور في الطرق على مستوى الضجيج الناتج عن حركة رتل النقل ويرتبط ذلك بتحسن ظروف الحركة بشكل عام وزيادة إمكانية التصريف عبر الطريق من خلال زيادة عدد القنوات التي تخدم رتل السيارات المتقدم ، كما يؤدي توزيع السيارات وفق الحارات إلى تخفيض كثافة الرتل في كل حارة، وبهذا الشكل يخفض مستوى الضجيج لكل الحارات، زد على ذلك فإن المستوى الحسابي للضجيج (المقاس) لحارات حركة السيارات في الصف الثاني تبتعد عن نقطة القياس بمقدار عرض هذه الحارات . نبين على الشكل (12) تأثير حارات المرور R على مستوى الضجيج المقاس عند 7.5m عن حافة الطريق وعند شدة للحركة قدرها 1600 car/h:



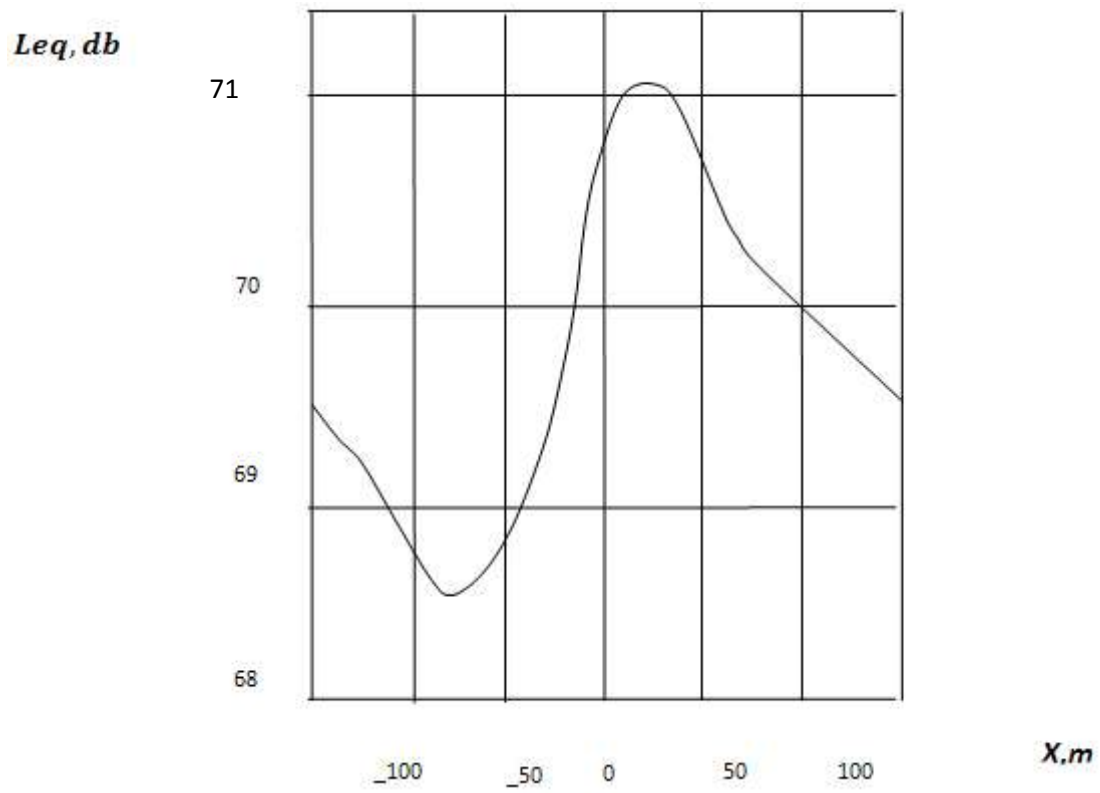
الشكل (12) تأثير عدد حارات المرور R على مستوى الضجيج Leq للرتل عند مسافة القياس الحسابية ونسب مختلفة لعدد السيارات الشاحنة في الرتل ΔT.

نلاحظ بشكل عام أن زيادة عدد حارات المرور من 1 إلى 5 تحقق انخفاضاً في مستوي الضجيج بنسب قد تصل إلى% $3 \div 5$ وذلك حسب تركيب الرتل ΔT . زد على ذلك فإنه مع زيادة شدة الحركة تبقى نسب الانخفاض في مستوى الضجيج قريبة من المذكورة إلا أن قيم مستوي الضجيج الحاصل تكون أعلى نسبياً.

تجدر الإشارة إلى أن العلاقات التي عرضناها كانت من أجل حساب مستوى الضجيج لرتل السيارات المتحركة على الطرقات بحركة مستمرة وعلى أجزاء من الطريق ذات التأثير الضعيف لوسائل تنظيم حركة المرور عليها.

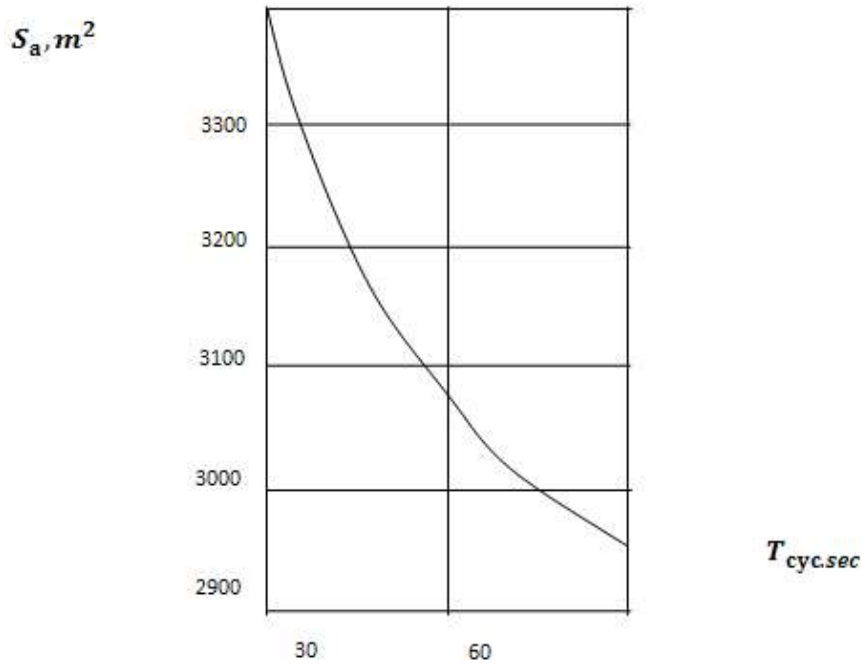
- **تأثير تنظيم الحركة بالإشارات الضوئية ضمن المدن :**

أما عند تنظيم الحركة بإشارات ضوئية فإن المستوى المكافئ للضجيج الناتج عن رتل النقل يتعلق بموقع نقطة القياس بالنسبة إلى خط التوقف قبل الإشارة. نبين على الشكل (13) علاقة الضجيج بالمسافة عن خط التوقفx. ومن الملاحظ أن مستوى الضجيج يتناقص حتى الوصول إلى خط التوقف stop line (حالة الفرملة للسيارات) بينما يزداد بحدة بعد خط التوقف (حالة التسارع للسيارات) والحقيقة أن إشارات المرور التي تعتبر هامة لتنظيم الحركة في المدن تؤثر بشكل كبير على مستوى الضجيج و يلعب عدد السيارات المتوقفة قبل الإشارة والطول الوسطي لكامل الرتل على الطريق، وكذلك امتداد زمن الفتح والإغلاق للإشارة دورا هاما أيضا [4] .



الشكل (13) تغير مستوى الضجيج للرتل في منطقة التقاطع مع البعد الحسابي X عن خط التوقف وعند كثافة $Q = 10\ car/km$

دلت التجارب على أن زيادة زمن دورة تنظيم الحركة the time cycle of movement arragement بالإشارة الضوئية يؤدي إلى التناقص التدريجي لمساحة التأثير الصوتي المزعج أي تحسين مميزات الضجيج في منطقة التقاطع المنظم بإشارة مرور. نبين على الشكل (14) تأثير هذا العامل الذي يفسر من خلال خصائص الحركة والتسارع للسيارات بعد خط التوقف حيث يلعب موقع كل سيارة في الرتل المتوقف دورا أساسياً،إذ يكون تسارع السيارات القريبة أكثر حدة مما يترافق مع صدور طاقة صوتية أكبر في منطقة التقاطع بينما يكون تسارع السيارات التالية أقل حدة، والإصدار الصوتي أقل شدة وهكذا. بالرغم من ذلك فان إنقاص فترة الإغلاق من عمل إشارة المرور لدرجة الوصول إلى الحركة دون توقف . إن أمكن . يؤدي إلى تخفيف تأثير رتل النقل على الوسط المحيط ليس فقط من ناحية الضجيج إنما أيضا من ناحية طرح المواد الملوثة. لا بد من الإشارة إلى أنه من بين العوامل التي تلعب دوراً في رفع مستوى الضجيج المكافئ طبيعة الطريق من ناحية الميل ومن ناحية تركيب سطحها ، إذ تساهم هذه العوامل في رفع مستوى الضجيج بحدود 1 ÷ 5 % .



الشكل (14): تأثير امتداد زمن تنظيم الحركة بواسطة إشارة المرور على مساحة منطقة التأثير الصوتي.

الطرق المقترحة للتقليل من التأثيرات الضجيجية :

إن تقليل الضجيج الناتج في المدن من جراء حركة آليات النقل يقتضي العمل في اتجاهات متعددة :

تقنية وتنظيمية و إنشائية، ففي الاتجاه الأول تتلخص الخطوات بتخفيف إصدار الصوت من وسائل النقل تصميميا من خلال:

- تصميم محركات باستخدام معادن ومواد تساهم في امتصاص الموجات الصوتية قدر الإمكان .
- التقليل من الضجيج الناتج عن عمل المعدات المساعدة المركبة على المحركات .
- إجراء الفحوصات و الصيانة الدورية وإجراء المعايرات اللازمة لأنظمة المحرك المختلفة .
- تحسين دورة عمل المحركات وأدائها على الأنظمة المختلفة لعملها من سرعة وحمولة .
- تخفيف الضجيج الناتج عن عمليات طرد الغازات باستخدام كواتم فعالة للضجيج في أنبوب العادم والتي تعتبر عملية دراستها وحسابها واختيار الأمثل منها موضوع بحث مستقل له أهميته الكبيرة في تخفيف الضجيج من مصدره وهي عملية إفلات الغازات الناتجة عن الاحتراق في المحركات .
- تحسين عمل أجهزة التعليق في الآليات وتخفيف الاهتزازات المنتقلة من المحرك والطريق إلى هياكلها وخصوصا للسيارات الشاحنة وصناديقها حيث يمكن استخدام مواد طلاء خاصة تساعد على امتصاص الصوت.

أما من الناحية التنظيمية فتتضمن الإجراءات الممكن اتخاذها مايلي :

- زيادة عدد حارات المرور في الطرق وتوزيع حركة وسائل النقل المختلفة عليها .
- تخفيض سرعة حركة السيارات في الرتل ضمن المدن.
- تنظيم حركة وسائل النقل وتحديد أنواع منها للحركة في أماكن محددة من المدينة وأوقات محددة من اليوم.
- التقليل من التقاطعات الطرقية و الاختيار المثالي لدورة التنظيم بواسطة الإشارات الضوئية.

ومحاولة الوصول بتنظيم الحركة إلى حركة مستقرة steady movement منتظمة للرتل دون توقفات

ومن الناحية الإنشائية وتنظيم المدن فيتطلب الأمر:

– تحييد حركة الشاحنات وخصوصا العابرة عن المدن باستخدام طرق خارجية بعيدة عن الأماكن السكنية والمنشات الخاصة المميزة مثل المشافي ، المدارس وغيرها.

– توزيع المباني بجانب الطرقات الرئيسية بحيث يقع في النسق الأول مباني قليلة الطابقية ذات خدمات عامة وبعدها مباني أعلى قليلا للسكن، وفي النسق الأخير فتتوضع المباني ذات الاعتبارات الخاصة من ناحية الضجيج مثل روض الأطفال و المشافي والمدارس والمصحات وغيرها ، أضف إلى ذلك، فإنه باستخدام المواد والطرق الحديثة في إنشاء المباني وجدرانها ونوافذها يخفف بشكل كبير من وصول الموجات الصوتية إلى داخلها .

– تشكيل حاجز أخضر من الأشجار بين طريق عبور السيارات والمباني المجاورة للطريق، ذلك أن نسقين من الأشجار أو ثلاثة يمكن أن يخففوا الضجيج المنتقل إلى المباني بحدود من db 18 - 15.

– استخدام المصدات والحواجز barricades المانعة لانتشار الموجات الصوتية بجانب الطرقات في الأماكن التي تحتاج إلى حماية من الضجيج، وهنا تلعب دوراً هاماً طريقة توضّع هذه الحواجز على جانبي الطريق بحيث لا تقل المسافة بينها عن عشرة أمثال ارتفاعها، وأن لا تكون متوازية تماما (الفرق بحدود 10 – 7 درجة) وأن تستخدم على سطوحها الداخلية مواد ماصة absorbent materials للموجات الصوتية [5].

– من اجل الطرقات ذات الحركة المستمرة لوسائل النقل والمواصلات خارج المدن وبالقرب من المناطق السكنية يجب الاستفادة من التضاريس الطبيعية وتمرير الطرق في مستويات مغايرة لتوضع المباني السكنية (مرتفع أو منخفض مع ميول) أو بتشكيل حواجز تضاريسية اصطناعية (أشجار ، تل اصطناعي).

–من أجل تخفيف الضجيج الناتج عن احتكاك إطارات السيارات بسطح الطريق، يضاف إلى الاختيار الصحيح لمادة الإطارات وشكل مداس الإطارات ، استخدام مواد خاصة لاصقة إضافة إلى المطاط مع الإسفلت المستخدم لتغطية الطريق خصوصا على مسافات محددة نظراً لكلفة مثل هذا الإجراء .

تجدر الإشارة إلى أنه، وكما تلعب كفاءة السائق وقدرته على القيادة دوراً هاما في استهلاك الوقود وطرح المواد الملوثة في الوسط المحيط، فإنها تلعب دوراً مماثلا في مستوى الضجيج الناتج عن حركة الآلية ، فالمعروف أن ضجيج المحرك يزداد بشكل حاد لحظة إقلاعه وإحمائه حتى db 10 وتكون حركة الآلية على السرعة الأولى وحتى حدود km/h 40 مترافقة مع زيادة في استهلاك الوقود وإصدار للضجيج بشكل أكبر بمرتين مما هو عليه عند الانتقال إلى السرعة الأعلى ، زد على ذلك فإن طريقة الفرملة التي يستخدمها السائق واقترابه من خط التوقف عند إشارة المرور تؤثر على الضجيج الناتج، إذ إن مستوى الضجيج يتناقص بشكل واضح فيما إذا تم استخدام الفرملة بواسطة علبة السرعة والمحرك قبل أن يستخدم الفرامل بشكل مفاجئ من الحركة بسرعة عالية .

الاستنتاجات والتوصيات:

يتعلق مستوى الضجيج الناتج عن حركة وسائل النقل في المدن بشكل أساسي بظروف الحركة وتركيب الرتل ويكون الإصدار الصوتي the sound emanation من تلك الآليات أعظم ما يكون في حالات الإقلاع، التسارع ، أما التخفيف من مستوى الضجيج فيتم من خلال إجراءات متعددة تتضمن تحسين مميزات منبع الضجيج التصميمية وظروف استثماره ، تنظيم الحركة وتحديدها وتحسين شروط الوسط المحيط لاستقبال الموجات الصوتية وإخمادها ومنع

انتشارها على مسافات أكبر وتؤثر هذه الإجراءات مع بعضها بشكل متكامل لجعل الضجيج ضمن الحدود المسموح بها .

نتيجة للدراسة ومراجعة كثير من الأبحاث حول الموضوع المطروح توصلنا إلى :

–تخفف الإجراءات المستخدمة في تحسين تصميم المحرك وخصوصا مجموعتي السحب والطرد فيه من مستوى الضجيج بحدود db 20 – 10 .

– تعتبر عملية تنظيم حركة وسائل النقل ضمن المدن، وبحيث نحصل على حركة مستقرة مستمرة وبسرعات في حدود km / h 60 – 50 من أفضل الطرق لتقليل مستوى الضجيج الناتج عن الحركة، إذ إنه في مثل هذه الظروف تعمل المحركات على أنظمة مستقرة بدلا من التغيّر في السرعة والحمولة حيث يترافق التغيّر في سرعة دوران المحرك من الأدنى إلى الأعلى بزيادة لمستوى الضجيج بحدود db 18 – 12 وأما تغير الحمولة لمحركات الديزل فيزيد من ضجيجها العام بحدود db 3 – 2 ولمحركات البنزين حتى db 10.

– تخفف عملية تحسين الطرق و استخدام إطارات ملائمة مع فرضات جانبية متوضعة بشكل غير منتظم من الضجيج الناتج عن احتكاك الإطارات بالطريق في حدود حتى db 18.

– تؤمن المصدات الصوتية عندما يتم توضعها بشكل ملائم على جانبي الطريق مع بعض التدلي فوق خط حدود الحركة على الطريق، تخفيض الضجيج الحاصل بمقدار db 10 أما المصدات التضاريسية الاصطناعية على جانب الطرقات خارج المدن فتخفضه بحدود db 8 – 6 .

– يساهم تطوير المواد الداخلة في تركيب إسفلت الطرقات في امتصاص الموجات الصوتية الصادرة بنسب تزيد عن % 70 لكن استخدامها يبقى محدودا وفي أماكن خاصة .

– تؤمن الحواجز المشكلة من الأشجار تخفيف الضجيج بشكل كبير حتى db 15 وسطيا بالرغم من أن فعاليتها تقل في فصل الشتاء بمقدار 3 – 4 مرات عما هي عليه في فصل الصيف.

– تعتبر عملية تنظيم تركيب الرتل أحد الوسائل الاحتياطية الممكنة لتخفيف مستوى الضجيج الناتج عن حركة الرتل وخصوصا عند كثافة الحركة حتى 1000car/h ويكون هنا الإجراء الفعال من خلال فصل رتل السيارات الخفيفة عن الشاحنة، ومحاولة تحويل طرق الشاحنات إلى تلك المناطق التي تكون الحدود المسموح بها للضجيج أعلى.

المراجع:

1 – LUKANIN, B. H.; GUDTSOV , B. H.; BOCHAROV, H. F. *reduction Noise of cars* – Moscow: Mashinostroenie, 1981 , 154.

2 – LUKANIN, V. N.; TROFIMENKO, U.V. " *industrial transport ecology* ", Moscow: Veshi. Shk., 2001, 273.

3 – CRUZ, A. O.; CRUZ, O. O. *static evaluation of noise Car / road transport organization and road safety*, M.: MADI. 1981,28-34.

4 – DYAKOV, A. B.; IGNATIUS, Y.U. B.; KONSHIN, E. P. *ecological - safety of traffic:* M. - transport. 1989 , 128.

5 – TROFIMENKO, Y. U.; EUGENE, G. U. "*Ecology: transport facilities and the environment* " M. - Publishing Center "Academy", 2006 , 400.