دراسة ملوثات غازات العادم المنبعثة من سيارات الكازولين في الطرق العراقية

كريم خلف علي/مدرس مساعد
ميكانيك/ توليد طاقة

الخلاصة:

يهدف البحث إلى تحليل وحساب نسب الغازات الملوثة المنبعثة من عادم سيارات الكازولين ومقارنة قيمها بالقيم المسموح بها في البلدان الأخرى.ودراسة نسب استخدام منظومات معالجة غازات العادم في سيارات الكازولين وتحديد مدى صلاحيتها وتأثيرها في الحد من نسب العادم.

وهذه الغازات الملوثة هي أول اوكسيد الكاربون (CO), أكاسيدالنتروجين (NO_x), والهيدروكاربونات غير المحترقة (HC), وأكسيد الرصاص والسخام(soot).

شمل البحث نماذج من السيارات الحديثة والقديمة المستخدمة بشكل واسع في الطرق العراقية والتي تختلف في سنة الإنتاج والمسافة المقطوعة والوسائل المستخدمة لمعالجة العادم في كل نوع. وتم تحليل غازات العادم باستخدام جهاز تحليل غازات العادم الالكتروني (T156 D) إيطالي الصنع يعمل بنظام(windows).وكذلك شمل البحث فحص منظومات معالجة غازات العادم وتحديد مدى صلاحيتها لعينة واسعة من السيارات. وتشير النتائج العملية إلى اعتماد نسب الملوثات في العادم بشكل أساسي على المسافة المقطوعة للسيارة ومدى استخدام أنظمة المعالجة المباشرة وغير المباشرة للعادم.وكذلك تشير النتائج إلى انخفاض نسب الملوثات ($SOOT,HC,NO_x,CO$) المنبعثة من عادم السيارات التي لها مسافة مقطوعة قليلة (موديلات حديثة الإنتاج) والتي تستخدم بعض الأنظمة الالكترونية للسيطرة على الحقن والاشتعال (الحقن الالكتروني , الإشعال الالكتروني) وتستخدم بعض المنظومات للسيطرة على غازات العادم (نظام تسخين الهواء الداخل ,نظام أعادة تدوير غازات العادم(EGR), المحول الحفاز ,نظام السيطرة على أبخرة الوقود) .

في حين تزداد نسب الملوثات في الموديلات القديمة التي لها ساعات عمل طويلة وتفتقر إلى منظومات السيطرة على الملوثات وتعتمد السيطرة الميكانيكية على الخليط والإشعال وتعاني من قلة الصيانة وكلفتها العالية. من جانب أخر تبين النتائج أن عدد السيارات التي تستخدم منظومات معالجة غازات العادم

بشكل يلبي المتطلبات البيئية لا تتجاوز(32%) والقسم الأخر يلبي المتطلبات بشكل جزئي في حين أن القسم الأكبر (40%) لا تلبي المتطلبات البيئية والنسب المسموح فيها.

ABSTRACT

The work aims to calculate pollutants gases concentration that are emitted from gasoline engine Vehicles exhaust .These concentration are compared with emission limits in other countries. These gases are carbon monoxide (CO), unburned or partially burned hydrocarbons (HC), nitrogen oxides (NO_x), lead oxides, particulate matter and soot.

The research is carried out on a new and old cars .which are widely used in Iraqi roads .these cars are different in product year , distance travelled and in Exhaust- gas treatment techniques which used.

The analysis of exhaust gases carried out by using the electronic exhaust gas analysis system (T156D). Which is maunfactured in Italy and operate with windows system.

The results show decrease in concentration of the (CO, HC, NO_x, SOOT) emitted from Exhaust gases cars which have low travel distance (new cars model) these cars use electronic systems to controll on injection , ignition and use exhaust gas pollutant control systems such as early fuel evaporation (EFE) , exhaust gas recirculation (EGR) ,catalytic converter , positive crankcase ventilation (PCV).

the results show that there are increases in pollutants concentration emitted from old model which have long work time and not have controller systems on the mixing and ignition systems as well as have lowe maintinance.

the results show that ratio of cars which use exhaust gas treatment techniques and satisfy the emits limits is 32% only .but the larger ratio approximately 40% don't satisfy the emits limits.

-المقدمة

تعد الغازات المنبعثة من سيارات الصالون التي تعمل بمحرك الإشعال بالشرارة احد مصادر التلوث المؤثرة في البيئة. ويعد الاحتراق المتكامل للوقود داخل غرفة الاحتراق المحدد الرئيسي لتكون المواد السامة في غازات عادم المحرك. ويرتبط الاحتراق المتكامل للوقود بتصميم ومواصفات ومنظومات المحرك ومن أهم أسبابه هي عدم احتراق طبقة الوقود الملامسة لسطح المعدن البارد لغرفة الاحتراق ونسبة الخلط غير التام للهواء مع الوقود[3,7]. ولذلك في معظم الأحيان لا يمكن الحصول على احتراق متكامل . ويتولد نتيجة الاحتراق بخار الماء H_2O وثاني اوكسيد الكاربون CO_2 وبنسب مرتفعة وهي نواتج احتراق تامة . في حين تتركز وسائل معالجة غازات العادم على الملوثات الرئيسية التالية[1,2]:-

1- أول أوكسيد الكاربون CO

2- أكاسيد النيتروجين NO_x

3- الهيدروكاربونات (HC) المحترقة جزئيا أو غير محترقة

4- أكاسيد الكبريت SO_x

5- مركبات الرصاص والدخان والروائح

أن حماية البيئة من هذه الملوثات هي من أصعب المتطلبات التي فرضت على شركات تصنيع السيارات وأصدرت العديد من البلدان أنظمة لتحديد الحدود المسموح بها لنسب الملوثات المنبعثة من سيارات الكازولين. وتطبيق هذه الحدود المسموح بها والقوانين على أنتاج السيارات ويتم تطبيق هذه القوانين حسب الاعتبارات الطبية والاقتصادية والتكنولوجية والسياسية[2,7] .ويتم قياس تركيز الأنبعاثات باستخدام تقنيات وأجهزة عديدة للكشف والقياس. وبدأت شركات تصنيع السيارات باستخدام عدة منظومات للسيطرة على الملوثات وتلبية المتطلبات البيئية مع الحفاظ على أداء متميز للمحرك ويمكن تقسيم هذه المنظومات إلى:

أولا: منظومات السيطرة غير المباشرة[1,4]:

وتعتمد السيطرة الالكترونية على منظومة الحقن ومنظومة الإشعال ونقل العزم (فاصل محول العزم) وتهدف إلى جعل عملية الاحتراق أكثر كفاءة وزيادة سرعة استجابة منظومات المحرك لتغيرات الطريق والأحمال بإدخال السيطرة الالكترونية بدلا من السيطرة الميكانيكية. وتعود بفوائد تقليل استهلاك الوقود وتخفيض نسب الملوثات وتلبية المتطلبات الاقتصادية والبيئية.

ثانيا: منظومات السيطرة المباشرة [1,4]:

وتعمل هذه المنظومات على المعالجة المباشرة لغازات العادم بعد خروجها من غرفة الاحتراق. والبعض الأخر يعمل غلى أعداد خليط متجانس من الهواء وبخار الوقود قبل دخوله إلى غرفة الاحتراق. وتتركز المعالجة المباشرةعلى تحويل الغازات الضارة الناجمة عن الاحتراق الجزئي إلى مواد اقل ضرراً مثل استخدام المحول الحفاز لخفض دراجة حرارة أكسدة CO , HC وتقليل أكاسيد النيتروجين NO_x وينتج عن الأكسدة CO_2 , O_2,H_2O وهي اقل أضرار للبيئة. ومن أهم هذه الوسائل ((المحول الحفاز , تهوية عمود المرفق , التبخر المبكر للوقود)) .

ويشير[2] إلى تفاوت هذه الوسائل في مدى فعاليتها في الحد من نسب هذه الملوثات وتستخدم شركات تصنيع السيارات أكثر من منظومة في نفس السيارة لكي تلبي المتطلبات البيئية والاقتصادية.ومعظم البحوث السابقة تركزت حول دراسة فعالية كل منظومة على حدى والبحث الحالي تركز على دراسة تأثير استخدام المنظومات مجتمعة على ملوثات عادم سيارات الكازولين وفعالية استخدامها بعد فترات عمل مختلفة ولنماذج سيارات مختلفة المنشاء.

يهدف البحث الى تحليل وحساب نسب الغازات الملوثة المنبعثة من عادم سيارات الكازولين لنماذج مستخدمة بشكل واسع في الطرق العراقية وأجراء مقارنة بينها وكذلك دراسة نسب استخدام منظومات معالجة غازات العادم لعينة واسعة من السيارات وتحديد مدى فعالية وصلاحية هذه المنظومات في الحد من التلوث.

الجانب النظري:

تحليل نواتج الاحتراق في محركات الكازولين:

يستخدم الكازولين كوقود في محركات الاحتراق الداخلي بشكل واسع والكازولين خليط معقد من الهيدروكاربونات مع بعض المواد المضافة معظم هذه الهيدروكاربونات تغلي خلال المدى من درجات الحرارة (37 ^oC إلى 270 ^oC)حسب منحني التقطير لعدة عينات[5,3]. وخلال الاحتراق الكامل لوقود الكازولين مع الهواء تكون نواتج الاحتراق ثاني أوكسيد الكاربون(CO_2) وبخار الماء(H_2O) بنسب عالية بالاضافة إلى النيتروجين وهي نواتج الاحتراق التام . ولكن دائما لا يمكن الحصول على الأحتراق التام وسوف تظهر المكونات الأخرى في غازات العادم والبعض منها ملوثة للبيئة يوضح (الملحق (A) الجدول (1) القيم التقريبية للنواتج الرئيسية للملوثات) . ويمكن تحديد نواتج الاحتراق التي قد تظهر لمختلف ضر وف الاحتراق بما يلي[2,4] :

A – نواتج الأحتراق غير الكامل وتشمل:

• الهيدروكاربونات غير المحترقة.

C_nH_m-------- --((Paraffins,Olefins ,Aromatics))

• الهيدروكاربونات المحترقة جزئيا:

$C_nH_m.CHO$----------((Aldehyds))

$C_nH_m.CO$ ---------- -------- ((ketons))

C_nH_mCOOH ---------- ((Carboxylic acids))

CO ----------((Carbon monoxide))

B– نواتج التكسير الحراري[2,4] :

C_2H_2,C_2H_4,H_2 --etc---------((Acetylene,ethylene,hydrogen,Soot))

C – النواتج الثانوية للاحتراق وتشمل:

• اكاسيد النتروجين: $NO,\ NO_2$----------((Oxides of nitrogen))

وتنتج من تفاعل النتروجين N_2 مع الأوكسجين O_2 نتيجة ارتفاع درجات الحرارة العالية داخل غرفة الاحتراق أثناء عملية ألاحتراق.

• أوكسيد الرصاص (PbO_2 Lead oxides)

وينتج من إضافة رابع اثيل الرصاص (Tetra-ethyl lead TEL) إلى وقود الكازولين لغرض زيادة رقم الاوكتان للوقود وتقود التفاعلات الى التالي[3,4]:

$Pb(C_2H_5)+O_2 \rightarrow PbO+C_2H_3+H_2O$

$PbO+OH \rightarrow PbO(OH)$

$PbO(OH)+OH \rightarrow PbO_2+H_2O$

• أكاسيد الكبريت SO_x (sulfur oxides)

وينتج من شوائب الوقود وتختلف شوائب الكبريت في الوقود حسب منشأ الوقود.

2-2 مصادر المواد الملوثة من السيارات:

بعض مكونات العادم يتم السيطرة عليها من خلال تحسين ظروف الاحتراق والبعض الأخر تكون نسبها قليلة ولكن تبقى هذه النسب القليلة نسبيا للملوثات الرئيسية وهي (SO_x,HC ,NO_x, CO , اكاسيد الرصاص) ذات أهمية عالية وتتركز معظم البحوث حول مصادرها وطرق قياسها والعمل على الحد منها ويمكن تحديد مصدر كل ملوث لسيارات البنزين كما يلي[5,6]:-

A-الهيدروكاربونات (HC) المحترقة جزئيا والغير محترقة[3,7]:

الهيدروكاربونات وهي جزيئات الوقود الغير محترقة أو المحترقة جزئيا واهم مصادرها التبخر من المبخرة وخزان الوقود وكذلك من التسرب إلى حوض عمود المرفق عبر حلقات المكبس (هذه المصادر استخدمت تصاميم للسيطرة عليها). ولكن المصدر الرئيسي لها غازات العادم للسيارات وهي ناتجة من عدم الاحتراق المتكامل للوقود وكذلك عمل المحرك بخليط غني وتزداد في السرعة البطيئة والتباطؤ وكذلك تأثير متغيرات العمل للمحرك (نسبة الهواء والوقود, حمل المحرك ,نمط العمل ,الصيانة الدورية). ويشير[7] إلى ازدياد انبعاث (HC) مع زيادة استهلاك حلقات المكبس وزيادة سمك الطبقة المتاحة الملاصقة لسطح المعدن البارد في غرفة الاحتراق ويتم قياس الهيدروكاربونات بأجهزة القياس وبوحدات (Part Per Million) PPMعدد الأجزاء من المليون .

B- أول اوكسيد الكاربون CO ((Carbon monoxide))[3,7]

وهو غاز سام وينتج في غازات العادم من عمل محرك الاحتراق بخليط غني وعدم توفرالاوكسجين الكافي خلال الاحتراق وتزداد نسبة CO عند عدم ضبط خليط الهواء والوقود أو سرعة بطيئة وكذلك في حالة عدم توفر الوقت الكافي لإكمال عملية الاحتراق وتنخفض نسبة أول اوكسيد الكاربون CO بشكل كبير عند عمل محرك البنزين بخليط فقير (lean mixture) نسبة (هواء \ وقود) أكثر من (16) وكذلك يقل مع زيادة سرعة المحرك ويقاس كنسبة مؤوية من غازات العادم .

C- أكاسيد النتروجين (NO_x) (Oxides of nitrogen)[3 ,9]:

ويشمل NO وNO_2 ويتكون في درجات الحرارة العالية لغرفة الاحتراق أعلى من (1370 ºC) حيث يتفاعل الأوكسجين مع النتروجين وقد يتكون أول اوكسيد النتروجين (NO) عند وجود الأوكسجين (خليط فقير) ودرجة حرارة الاحتراق عالية . ويشير[6] إلى تأثر تكون (NO_x) بعدة عوامل أهمها نسبة الهواء إلى الوقود (F\A) وزيادة تقديم الشرارة الذي يودي إلى زيادة في الضغط وترتفع درجة الحرارة داخل غرفة الاحتراق وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة تركيز NO_x في غازات العادم وبالرغم من عدم تأثيره المباشر على كفاءة المحرك ولكنها المسؤولة عن تكون السخام عندما تتحد مع الهيدروكاربونات(HC) [9,10].

D- أكاسيد الرصاص والمواد المتأكسدة جزئيا[9 ,8] :

وتنتج مع العادم بعض المركبات العضوية وغير العضوية ذات الأوزان الجزئية العالية ومركبات الرصاص. حيث يضاف رابع اثيل الرصاص (Tetra Ethel Lead TEL) إلى وقود محركات البنزين لزيادة مقاومة الصفع (رفع عدد الاوكتان للوقود) .ويبين[9] إلى أن رابع أثيل الرصاص مادة ثقيلة . آذ تبلغ كثافتها 1.7 كغم لتر ودرجة غليانها $200^{o}C$ وتذوب بسهولة في الوقود(الكازولين) وترفع العدد الاوكتاني له من 80 الى 95 ويحترق حوالي 75% من الرصاص داخل المحرك وينتج على شكل جسيمات صغيرة مع غازات العادم. أما الباقي فيترسب على أجزاء المحرك الداخلية ولقد تم التغلب على مشكلة الترسبات الرصاصية على شمعات القدح وصمامات العادم وما لذلك من أضرار بإضافة مادة ثاني برميد الاثلين لتكوين مركب برميد الرصاص السريع التبخر . وهناك نواتج أخرى السخام (Soot) والروائح (Odor)

2-3 التقنيات المستخدمة في السيطرة على غازات العادم[2 ,7]:

استخدمت الشركات عدة منظومات في السيارات الحديثة (العقدين الآخرين) للسيطرة وتقليل الغازات الملوثة (SO_x,HC,NO_x,CO) وفي نفس الوقت الحفاظ على أداء متميز للمحرك وذلك لكي تلبي متطلبات المقاييس العالمية للبيئة.وسنركز هنا على عمل وأهمية كل منظومة من منظومات معالجة غازات العادم فقط وليس على الجانب التركيبي للمنظومات.ويمكن تقسيم منظومات السيطرة إلى قسمين[4,2]:

*** منظومات تقليل التلوث غير المباشر وتشمل:**

• منظومة السيطرة على الوقود (FDS) ((Fuel Delivery system))

استخدمت منظومات الحقن الالكترونية بدلا من المكربن(Carburetor) وذلك لعدم تمكن الأخير من الإيفاء بمتطلبات حدود نسب التلوث وتقليل صرفيات الوقود وظهرت منظومات الحقن الألمانية والأمريكية واليا بانية والفرنسية . والتي تستخدم الجيل الرابع من الحاسوب[2,3] .

• منظومة الإشعال الالكترونية ((Electronic spark Timing))

يتم السيطرة على توقيت الإشعال بطريقة الكترونية بواسطة الحاسوب وهذه المنظومة توفر توقيت صحيح لبدء الشرارة وتكون الشرارة قوية وبواسطتها يتم الحصول على أفضل تقديم للشرارة يودي الى احتراق عالي الكفاءة[2,3]. والذي يقلل استهلاك الوقود ويحد من نسب التلوث.

• منظومة فاصل محول العزم ((Transmission Converter))

أن تصميم فاصل محول العزم هو لربط الأجزاء الداخلية لمحولة العزم ميكانيكيا لتقليل الخسارة في القدرة في مرحلة تحويل العزم عندما يكون تغير السرعة بمعدل ثابت تقريبا وان هذا يزيد من عمر ناقل الحركة الأوتوماتيكي ويقلل نسب التلوث. أن الحاسوب يستلم الإشارة بعد التعشيق على السرعة الثالثة

لناقل الحركة الأوتوماتيكي بواسطة مفتاح السرعة وبعد ذلك يكمل الدائرة الكهربائية للملف اللولبي (Solenoid) لفاصل محول العزم الذي يفتح مجرى الزيت الذي بدوره يقوم بتعشيق فاصل محول العزم.

*** منظومات تقليل التلوث المباشرة وتشمل [4,8]:**

• منظومة تهوية عمود المرفق ((Positive crankcase ventilation))

وهو نظام قديم في السيارات ويقوم بجمع الغازات المتسربة من حلقات المكبس وأبخرة الزيوت المستعملة في تزيت المحرك وتوجيهها عن طريق صمام يدعى بصمام(PCV)إلى مجمع السحب وإعادته إلى غرفة الاحتراق عن طريق مرشح الهواء وبهذه المنظومة يتم التخلص من بعض الملوثات الهيدروكاربونية .

• منظومة السيطرة على أبخرة الوقود((Evaporative emission control))

أن أفضل طريقة للتخلص من بخار الكازولين المتجمع في خزان الوقود هو جمعه وحرقه داخل غرفة الاحتراق. في هذه المنظومة يتصل المرشح الفحمي بخزان الوقود عن طريق أنبوب يقوم بنقل الأبخرة من خزان الوقود إلى المرشح الفحمي والتي تخزن فيه بامتصاصها من قبل الفحم المنشط (كاربون منشط) لمنع تلوث الجو وتتم السيطرة على هذه العملية بواسطة الحاسوب(ECM)والحاسوب يراقب المعلومات التي لديه ويقرر متى يسمح للأبخرة بالخروج من الحاوية إلى أنابيب السحب.

• منظومة تدوير غازات العادم((Exhaust gas Recirculation))

أن هذه المنظومة تستعمل لتقليل نسب اكاسيد النتروجين (NO_x) المنبعثة من غازات العادم والناتجة من الارتفاع الشديد في درجات الحرارة أثناء احتراق الوقود وتقوم هذه المنظومة بتقليل حرارة الاحتراق عن طريق صمام يدعى(EGR) وهو صمام يسمح بمرور نسبة من غازات العادم إلى نظام السحب ويودي إلى خفض درجة حرارة غرفة الاحتراق بشكل كبير وينخفض تكون أكاسيد النيتروجين(NO_x) .

• منظومة إدارة الهواء ((Air management system))

وتقوم هذه المنظومة بتقليل التلوث المنبعث من العادم من خلال تقليل نسبة أول اوكسيد الكاربون CO والهيدروكاربونات HC ومبدأ العمل تقوم هذه المنظومة وتحت ظرف معين بضخ الهواء (الأوكسجين) إلى مجمع أنابيب العادم لأجل أتمام احتراق الوقود الذي غادر غرفة الاحتراق وهذه العملية تساعد أيظا في تسهيل مهمة عمل (catalytic converter) الموجودة في أنابيب العادم.

• منظومة التبخر المبكر للوقود (EFE) ((Early fuel Evaporation))

وتستخدم في السيارات في المناطق الباردة وتقوم بتسخين سريع لأنابيب السحب وهذا التسخين يؤدي إلى تبخر مبكر للوقود والحصول على خليط متجانس(homogenous mixture) وذلك لجعل الاحتراق أفضل وزيادة سرعة انتشار جبهة اللهب في الخليط أثناء الاحتراق وتقليل انبعاث الملوثات من غازات العادم[3,7].

•منظومة مرشح الهواء الحراري ((Thermostatic Air cleaner))

أن السيطرة على درجة حرارة الهواء الداخل إلى المحرك (غرفة الاحتراق) من خلال مرشح الهواء له أهميته الكبيرة في احتراق مزيج الهواء والوقود وكذلك تقليل نسبة الملوثات في غازات العادم لذا صممت مرشحات الهواء الحديثة بحيث يتم التحكم ببوابات سحب الهواء اوتوماتيكيا تبعا لظروف عمل السيارة ففي ظروف انخفاض درجات الحرارة والرطوبة العالية تغلق فتحة الهواء التي تسحب الهواء مباشرة من الجو وتفتح الفتحة الأخرى والتي تسحب الهواء بعد مروره على أنابيب العادم (أي هواء ساخن) [5].

• منظومة المحولة الحفازة ((Catalytic converter))

يعتبر المحول الحفاز الجهاز الأكثر فعالية في السيطرة على انبعاثات العادم (وهو شائع الاستخدام) . فعند استخدامها في منظومة العادم تعمل العوامل الحفازة على خفض درجة حرارة أكسدة CO,HC وتقليل اكاسيد النتروجين (NO_x) . وينتج عن الأكسدة N_2,O_2,CO_2,H_2O وتوضع المحول الحفار في وسط أو مؤخرة منظومة العادم. أغلب المحفزات استخداما هي التي تستخدم البلاتنيوم (platinum) والبلاد يوم (palladium) للاكسدة وتستخدم الريديوم (Rhodium) لتقليل أكاسيد النتروجين حيث يتم طلاءها على مادة مسامية عادة ما تكون على شكل حبيبات من اوكسيد الألمنيوم (Oxides Aluminum) آوعلى شكل خلايا النحل من اوكسيد الألمنيوم [4,9]. أن مسامية أوكسيد الألمنيوم توفر مساحة سطحية كبيرة جدا يمكن طلاءها بالمادة الحفازة لأعطاء أقصى تعريض من المادة الحفازة إلى الغازات.

- تقنيات قياس وتحليل غازات العادم ((Exhaust Gas analysis techniques))

في جميع البلدان ذات القيود العالمية على الانبعاثية مثل اليابان Japan والدول الأوربية Europe و U.S.A تم تطوير أنظمة الاختبار للأنبعاثية وغازات العادم (الملحقA الجدول2) بعض البلدان أخذت إجراءات وتقنيات أكثر تعقيدا. وبشكل عام يعتمد الاختبار على نوع السيارة والغرض من الاختبار[6, 2] . وهناك ثلاثة اختبارات رئيسية دولية وهي:-

• أختبار نوع (homologation) للحصول على شهادة عامة للسيارة.

• أختبارات لعينات عشوائية لفحص المنتج وحسب ساعات العمل .

• أختبار الفحص و التنبه حيث يتم فحص مكونات غازات العادم خلال العمل الحقيقي للمركبة .

وفي معظم البلدان يتم تصنيف وتخصيص السيارات الى ثلاث مجاميع رئيسية وإصدار الحدود المسموح بها للملوثات بناء على هذا التصنيف ويتضمن المجاميع التالية[6] :-

- سيارة خفيفة وهي تزن اقل من 3.8 ton
- سيارة تجارية ثقيلة وهي تزن أكثر من 3.8 ton
- سيارة مسافرين.

وتتم هذه الاختبارات أما عند عمل السيارة في الطريق أو يتم تشغيل السيارة على منصة الاختبار النوع المتدحرج (roller –type test stand) وبعد الاختبار ومقارنة نسب الملوثات يتم إعطاء المركبة ترخيص الإنتاج بعد اجتياز الاختبارات وهذه الاختبارات تتركزحول أختبار المحرك تحت مختلف الظروف والأحمال ويتم حساب قيم الملوثات ومقارنتها مع قيم الحدود المسموح بها للانبعاثات وإعطاء المنتج احد الرتب التالية[4, 2]:-

- سيارة قليلة الأنبعاثية (LEV) Low –Emissions Vehicle
- سيارة نقل قليلة الأنبعاثية (TLEV) Transitional –Low-Emission Vehicle
- سيارة ذات أنبعاثية قليلة جدا (ULEV) Ultra-Low-Emission Vehicle
- سيارة متميزة جدا بقلة الأنبعاثية(SULEV) Super-Ultra-Low-Emission Vehicle
- سيارة ذات الأنبعاثية الصفرية (ZEV) Zero-Emission Vehicle

*الجانب العملي والأجهزة المستخدمة :-

تم استخدام الأجهزة التالية في الاختبارات:

أولا: جهاز تحليل غازات العادم (Exhaust Gas analysis) حديث الصنع نوع (T156D) إيطالي الصنع من شركة (Pigas Expander) ويعمل بنظام Windows . وتم استخدام الجهاز بربط المتحسس الخاص بالجهاز إلى أنبوب عادم المحرك ولمسافة 30 cm من نهاية أنبوب العادم وذلك بربط المتحسس إلى أنبوبة عادم السيارة ويعمل هذا الجهاز بحاسبة الكترونية وله القابلية على قياس كل من نسبة الهواء إلى الوقود(F \A) ونسب مكونات غازات العادم HC,O_2,NO_x,CO,CO_2

ثانيا :السيارات المستخدمة في الاختبارات شائعة الاستخدام في الطرق العراقية .تعمل بوقود الكازولين وبموديلات مختلفة وتم الاختبار حسب المنشأ والموديل وعدد ساعات العمل وكما يلي:-

- سيارة (Hyundai) موديل 2003 ولها ساعات عمل أقل من 50, 000 km
- سيارة (KIA Sportage) موديل 2000 ولها ساعات عمل أقل من 100,000 km
- سيارة (Opel) موديل 1995 ولها ساعات عمل أقل من 150, 000 km
- سيارة (Volkswagen) موديل 1985 ولها ساعات عمل أكثر من 200, 000 km

تم تحليل غازات العادم للسيارات المستخدمة لمدى واسع للسرعة الدورانية وتشمل السرعة البطيئة والعالية خلال المدى من 1000 r.p.m إلى 5500 r.p.m وتحت ظروف حمل الطريق وباستخدام منصة اختبار متدحرجة (roller-type test stand) وتم تحليل هذه الظروف وفق الطرق المستخدمة عالميا في فحص عينات من السيارات المستخدمة في الطرق .

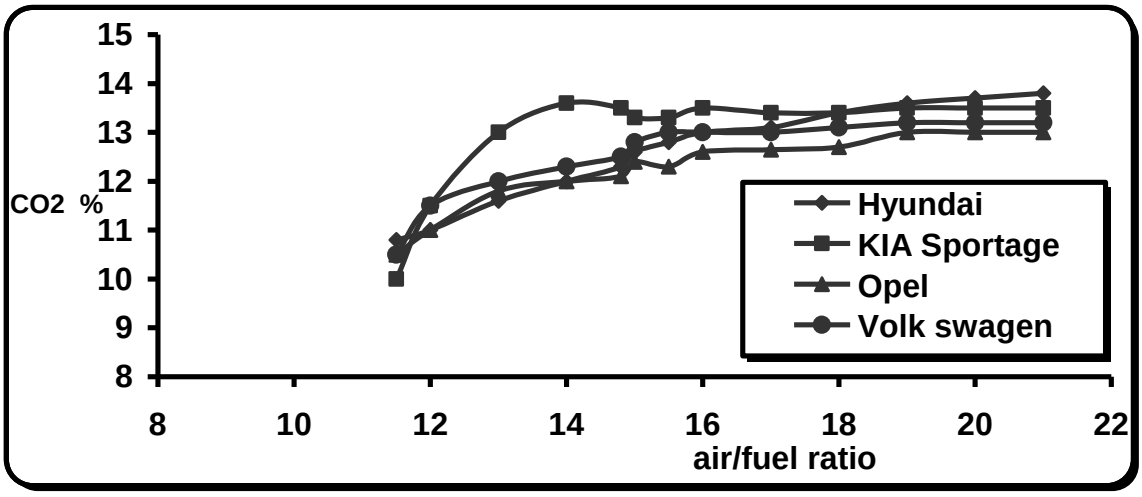
أما فحص عمل وصلاحية منظومات تقليل التلوث المباشرة وغير المباشرة المستخدمة لعينة واسعة من السيارات فتم بالاعتماد على ورشتين متخصصة في صيانة السيارات وشمل كافة منظومات التلوث للسيارة وتم فحص تركيبها وتوصيلاتها إلى أجزاء المحرك وباعتماد استمارة فحص لكل سيارة الملحقِ(A) يوضح استمارة الفحص المعتمدة.

*-النتائج والمناقشة:

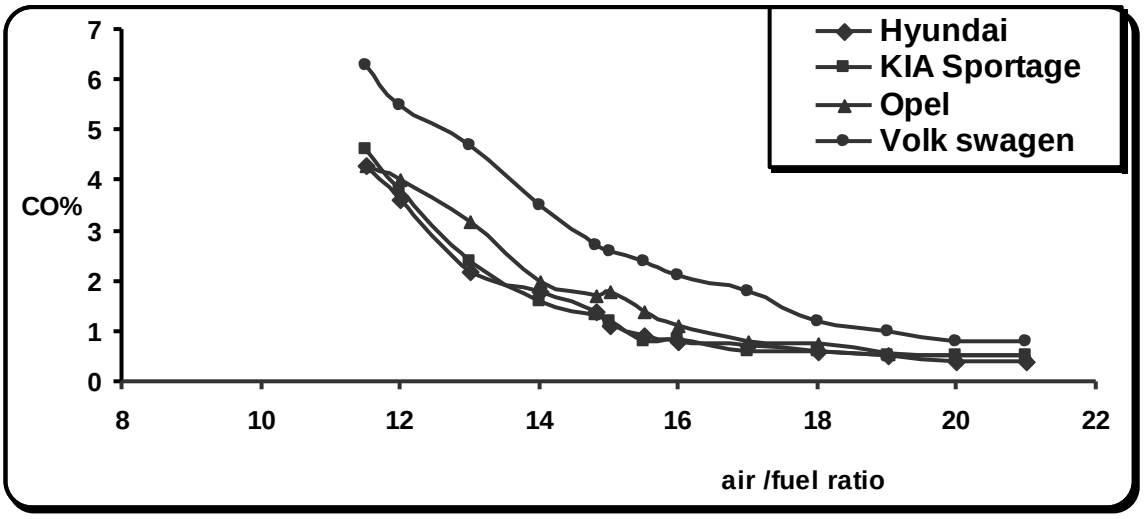
نتائج نسب التلوث:

توضح الأشكال (5,4,3,2,1) العلاقة بين نسب غازات العادم(CO_2 , CO , NO_x , HC , O_2,)مع نسبت الهواء إلى الوقود (A \F)على التوالي
للسيارات(Volk Swagen 1985, Opel 1995, KIA Sportage 2000, Hyundai2003)
من الشكل(1)نلاحظ أن أعلى نسبة لغاز CO_2 هي تنبعث من سيارة KIA Sportage ومن ثم Hyundai وارتفاع نسبة CO_2 يعني احتراق عالي الكفاءة في المحركات لأنCO_2 من نواتج الاحتراق التام في حين تنخفض في النوعين الأخريين مما يعني أنها أقل كفاءة احتراق.ومن خلال الشكل(2)نلاحظ إن اقل نسبة للملوث CO هي في سيارة KIA Sportage ويعود السبب إلى كفاءة الاحتراق وفعالية المحول الحفاز(Catalytic converter) المستخدم والذي يعالج غازات العادم بزيادة أكسدة HC,CO إلىH_2O,CO_2 والمسافة المقطوعة أقل نسبيا. وتأتي بعدهاHyundai في حين تكون عالية في سيارة Volkswagen1985 لعدم استخدامها المحول الحفازوزيادة الاستهلاك للمحرك والمسافة المقطوعة طويلة وتفتقر إلى وسائل معالجة العادم.
من خلال الشكل (4)يمكن ملاحظة الانخفاض الكبير في نسب الهيدروكاربونات (HC) في عادم سياراتHyundai و Opel ومن بعد تأتي KIA Sportage وهذا الملوث يعتمد بشكل رئيسي على تصميم غرفة الاحتراق ووسائل معالجة غازات العادم وخاصة(Catalytic converter) والمسافة المقطوعة للسيارة واستهلاك حلقات المكبس مما يعني المحافظة على نسبة الانظغاط للمحرك وكذلك يزداد تركيز HC عند زيادة نسبة الخلط أعلى من A/F=19 الخليط فقير جدا وذلك لبطء عملية الحرق وانخفاض درجة الحرارة ولجميع السيارات. أما من الشكل(5) فنلاحظ أن فائض الأوكسجين في غازات العادم يكون أعلى تركيزا في سيارة Opel ومن ثم Hyundai لعمل هذه السيارات بخليط فقير نتيجة استخدامها منظومة الحقن والإشعال الالكترونية .
أما ظروف العمل الأفضل للمحركات نلاحظه من الأشكال(5,4,3,2,1) يظهر لنا بشكل واضح الانخفاض الكبير في نسب الملوثات عند عمل المحركات ولجميع السيارات في نسب الخلط الفقير (lean mixture) وخاصة أول اوكسيد الكاربون (CO)وتصل أدنى مستوى لها عند نسبة خلط

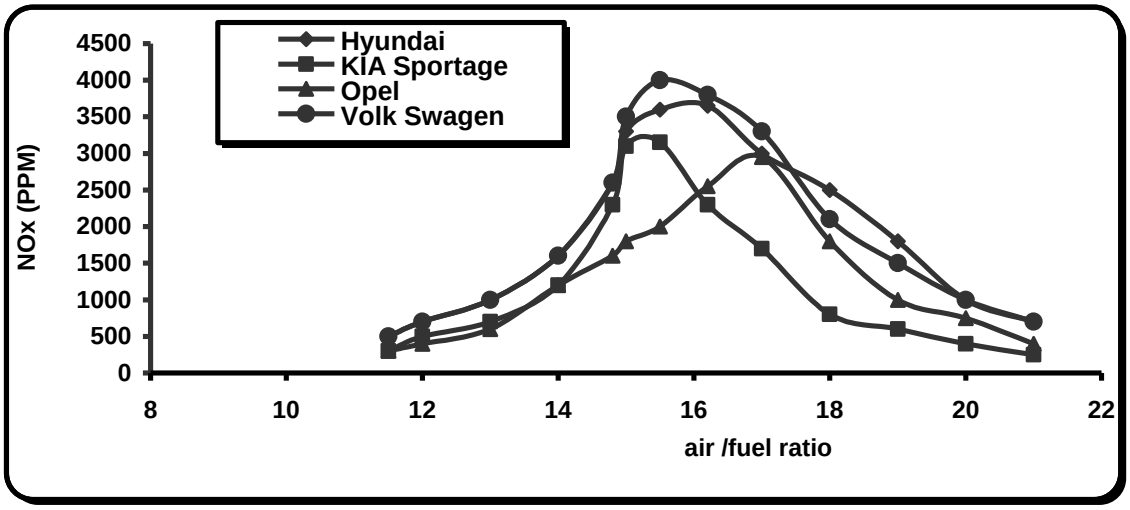
18الى20 . أما الهيدروكاربونات غير المحترقة (HC) فتكون في أدنى مستوى لها عند نسب خلط بين 15 الى18 . وكذلك تنخفض نسب (NO_x) بشكل واضح عند نسب الخلط أكثر من (16.5) ويعود السبب إلى توفر الأوكسجين الكافي لجعل الاحتراق أكثر تكامل في غرفة الاحتراق . وكذلك نلاحظ أن أعلى نسب لاكاسيد النتروجين NO_x يكون عند نسب خلط(هواء\ وقود) تتراوح بين 15 إلى 16 وفي جميع السيارات أيظا . ونستنتج من خلال النتائج أن من المفضل عمل السيارة بنسبة خلط أعلى من 15 وذلك للانخفاض العالي الذي يحصل في نسب الملوثات . أما ناحية نوعية السيارة نلاحظ انخفاض في نسب الملوثات في سيارات(KIA Sportage وHyundai) اقل من الأنواع الأخرى للسيارات وخاصة نسب HC, CO وكذلك NO_X وذلك يعود لاستخدام وسائل فعالة لمعالجة غازات العادم . كذلك نلاحظ ارتفاع في نسب التلوث في السيارات التي لها ساعات عمل أكثر من 150000 KM وبشكل واضح ومن خلال النتائج هناك ارتفاع ملحوض في نسب الهيدروكاربونات غير المحترقة (HC) في غازات العادم للسيارات ذات ساعات العمل الطويلة والتي تعاني من استهلاك جزئي في حلقات المكبس وأجزاء المحرك بشكل عام كما نلاحظه في سيارةVolk Swagen. ويضهر الانخفاض العالي في سيارة Hyundai وذلك لفعالية أجهزة الحد من الملوثات وخاصة المحول الحفازالمستخدم في حين نلاحظ ارتفاعها فيVolk Swagen وذلك لاستخدامها منظومة عادم تقليدية ولا تحتوي على المحول الحفاز.



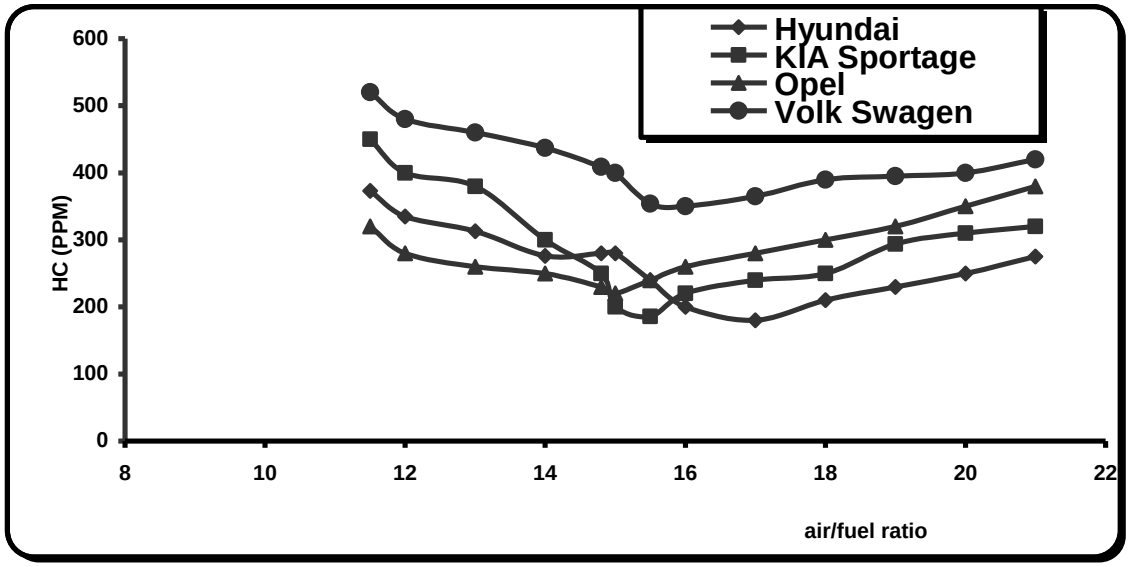
شكل (1) يمثل نسبة تركيز CO_2 في غازات العادم مع نسبة خلط الهواء\ الوقود (F\A) لنماذج السيارات



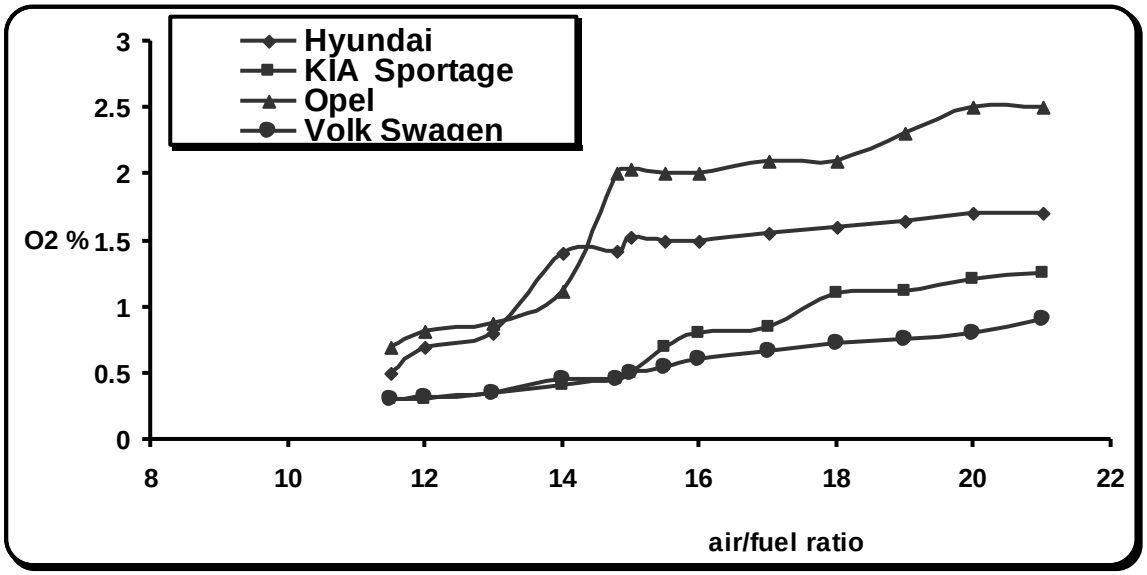
شكل (2) يمثل نسبة تركيز CO في غازات العادم مع نسبة خلط الهواء\ الوقود (F\A) لنماذج السيارات



شكل (3) يمثل نسبة تركيز NO_x في غازات العادم مع نسبة خلط الهواء \ الوقود (F\A) لنماذج السيارات



شكل(4) يمثل نسبة ملوثاتHC في غازات العادم مع نسبة خلط الهواء\الوقود (F\A) لنماذج السيارات



شكل (5) يمثل نسبة تركيزO_2 في غازات العادم مع نسبة خلط الهواء\الوقود (F\A) لنماذج السيارات

من خلال الأشكال (9,8,7,6) نلاحظ محصلة النتائج الرئيسية لتغييرنسب غازات العادمCO, CO_2 , HC,NO_x مع تغيير سرعة المحرك ولنفس النماذج من السيارات

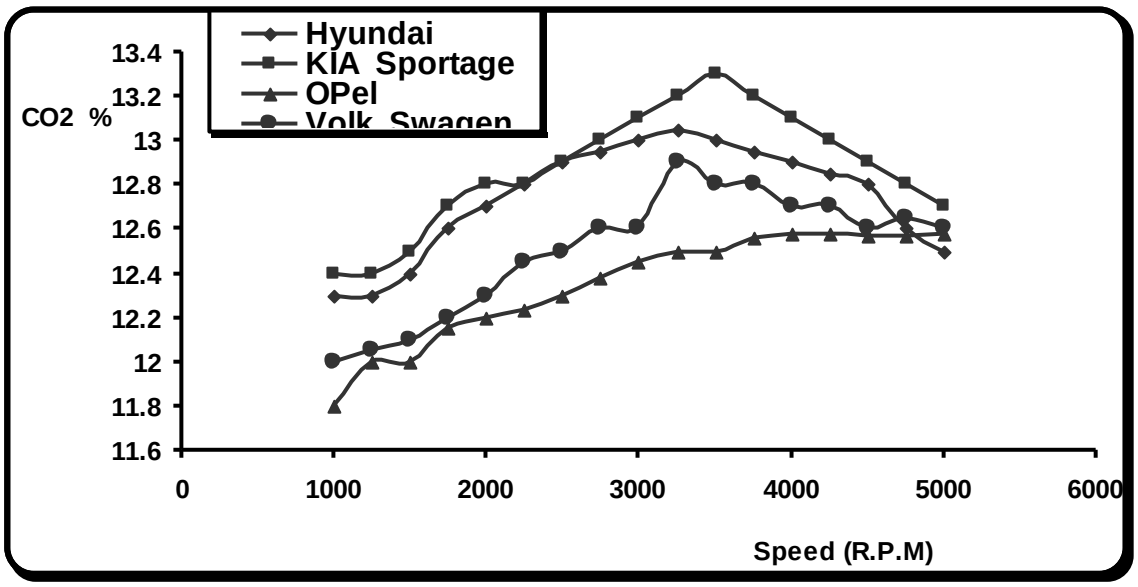
(Volkswagen 1985, OPEL 1995, KIA Sportage 2000, Hyundai2003) على التوالي .من خلال الشكل (6)نلاحظ أن أعلى نسبة لغازCO_2 هي تنبعث من سيارةKIA Sportage ومن ثم Hyundaiعلى طول مدى السرعة المستخدم في الاختبار ولنفس الأسباب السابقة كفاءة الاحتراق وفعالية وسائل معالجة العادم المستخدمة فيها . و من الشكل(7) نلاحظ انخفاض نسبة CO في عادم سيارات KIA Sportageو Hyundai على طول مدى السرعة المستخدم في الاختبار مقارنتا بالأنواع الأخرى

.ومن الشكل (9) نلاحظ الهبوط الكبير في تركيز HC مع زيادة سرعة المحرك وعلى طول مدى السرعة المستخدم وذلك لارتفاع درجة حرارة غرفة الاحتراق وتتميز سيارةHyundai2003 بمستوى واطي لتركيزHC وذلك لفعالية أنظمة معالجة العادم المستخدمة .

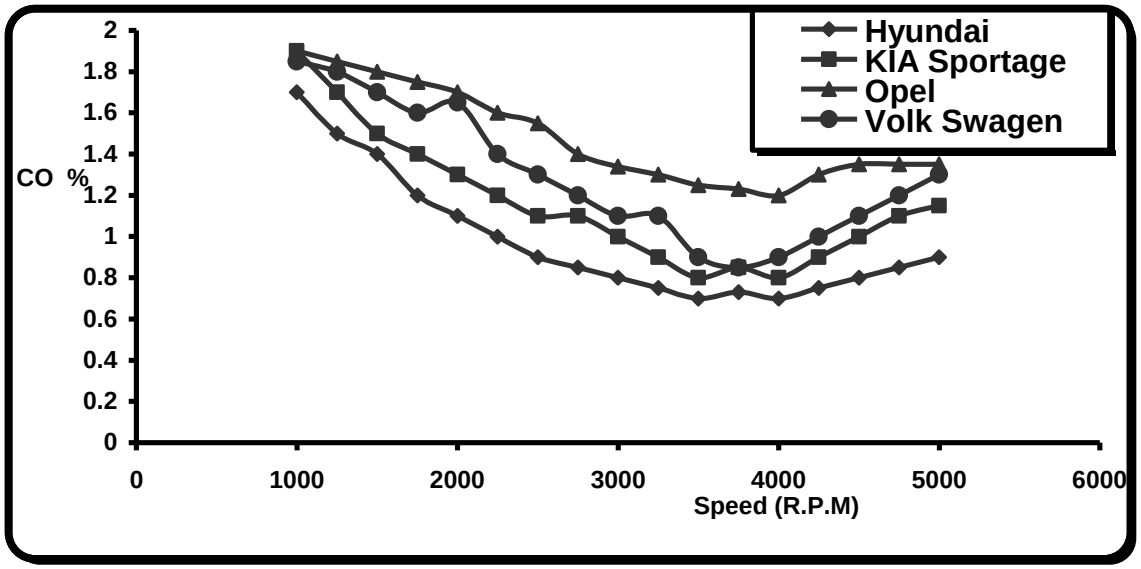
ومن خلال الإشكال(9,8,7,6) نلاحظ انخفاض نسب الملوثات الرئيسية HC ,NO_x, CO في غازات العادم للسيارات ذات ساعات العمل اقل من 100000 km في حين تزداد هذه النسب في الموديلات التي لها ساعات عمل أكثر من100000 km . وكذلك نلاحظ انخفاض نسب الهيدروكاربوناتHC في السيارات الجديدة والتي لها ساعات عمل قليلة وبشكل واضح ويعود السبب إلى محافظة المحرك على نسبة الأنضغاط وحصول عملية الاحتراق بشكل أكثر تكامل. وهذا واضح في سيارة Hyundai 2003 KIA Sportage 2000 بالاظافة إلى استخدام هذه السيارات نظام الحقن للوقود (fuel injection) وهذا النظام يوفر زيادة الكفاءة الحجمية للمحرك وتحسن في تقليل استهلاك الوقود النوعي المكبحي (B.S.F.C) وبنسبة 30% عن المبخرة الاعتيادية كما أشارة البحوث السابقة.

وتستخدم نظام أعادة تدوير غازات العادم(EGR) وبنسب عالية وكذلك تستخدم المحول الحفازالثلاثي(3-way compromised) في الحمل الجزئي لمعالجة غازات العادم وهذه الوسائل تستخدم للحد من NO_x ونسبة الهيدروكاربونات (HC) غير المحترقة لان الخليط المستخدم فقير جدا.

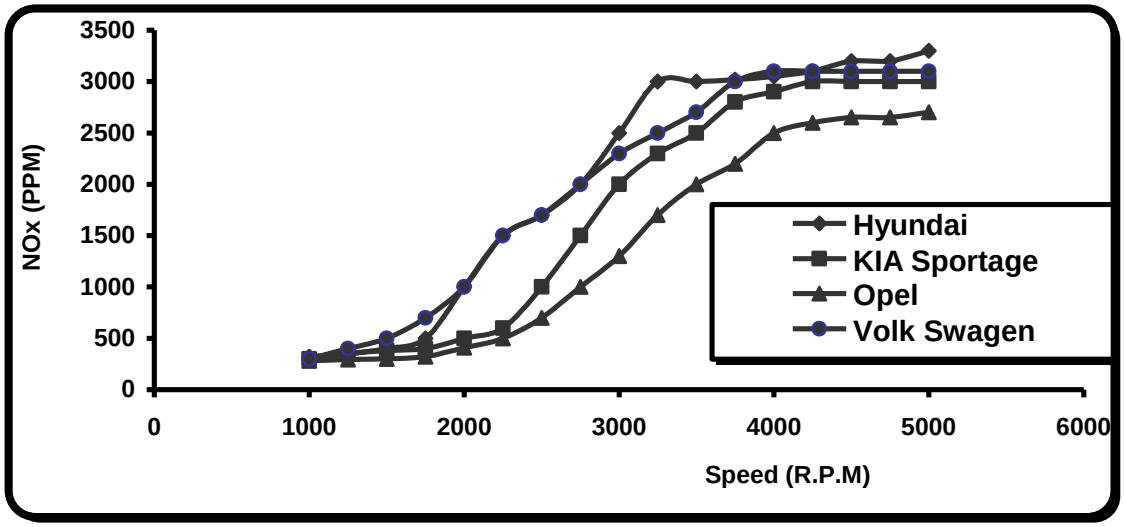
نلاحظ من نفس الأشكال(9,8,7,6)التغيير العام لتركيز الملوثات مع تغيير السرعة حيث نلاحظ انخفاض كبير في نسب ملوثات HC, CO مع زيادة سرعة المحرك في حين تزداد نسب اكاسيد النتروجين NO_x وبشكل كبير في غازات العادم مع زيادة سرعة المحرك ولجميع السيارات . وتعود الزيادة في NO_x إلى ارتفاع درجة الحرارة في غرفة الاحتراق عند زيادة السرعة وبذلك يزداد تفاعل النتروجين مع الأوكسجين .



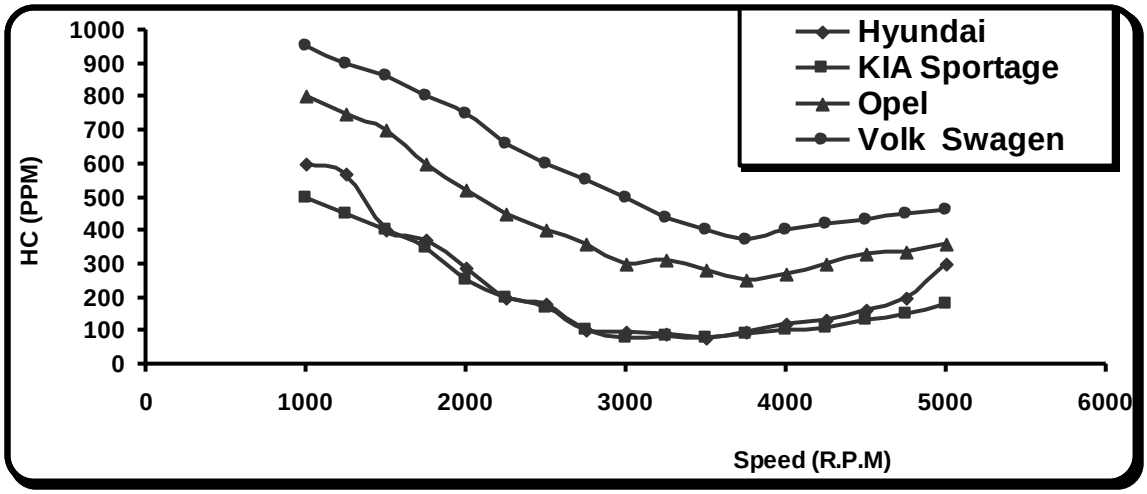
شكل (6) يمثل نسبة CO_2 في غازات العادم لمدى واسع للسرعة لنماذج السيارات



شكل (7) يمثل نسبة CO في غازات العادم لمدى واسع للسرعة لنماذج السيارات



شكل(8) يمثل نسبة NO_x في غازات العادم لمدى واسع للسرعة لنماذج السيارات



الشكل (9) يمثل نسبةHC في غازات العادم لمدى واسع للسرعة لنماذج السيارة

وباستخدام المعادلات في الملحق(A) تم حساب نسب الملوثات في غازات عادم نماذج السيارات السابقة وأجراء المقارنة مع القيم في الجداول (2,3) في الملحق وتبين نتائج المقارنة أن السيارات ذات المسافة المقطوعة أقل من100000 km تلبي المتطلبات البيئية (ضمن الحدود المسموح بها للملوثات) ولطول مدى السرعة المستخدم في الاختبار .أما السيارات ذات المسافة المقطوعة 150000 km فتلبي المتطلبات في مدى السرعة المتوسطة والعالية فقط .في حين أن السيارات ذات مسافة 200000 km فلا تلبي المتطلبات البيئية على طول نقاط مدى السرعة المستخدم في الاختبارات ونسب التلوث مرتفعة فيها .

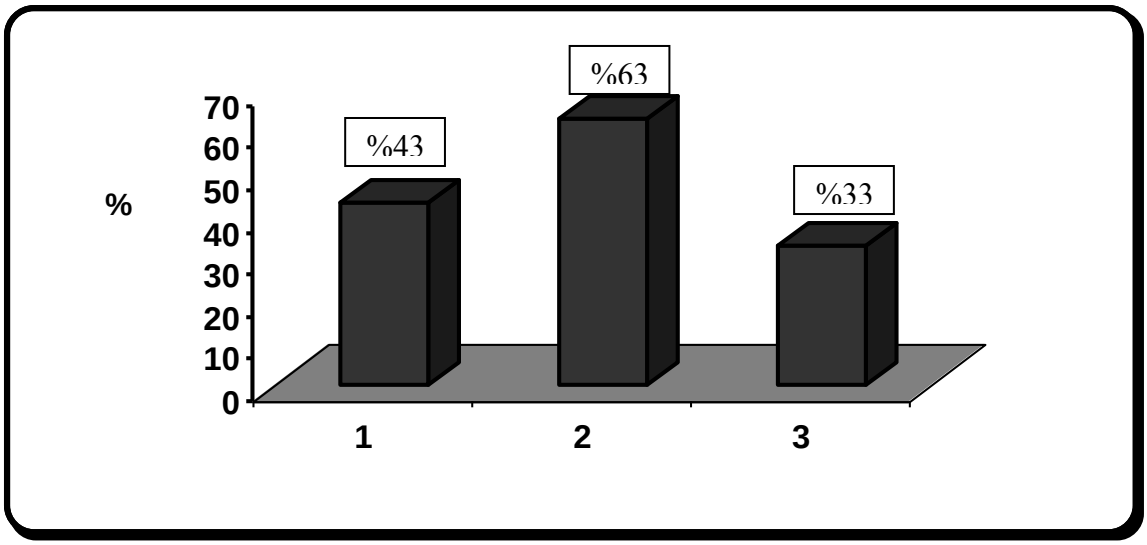
مناقشة نتائج فحص منظومات تقليل التلوث المستخدمة في السيارات:

تم أجراء إحصائية على عينات من السيارات المستخدمة في الطرق العراقية لمعرفة نسبة السيارات التي تستخدم كل منظومة من منظومات معالجة غازات العادم المباشرة وغير المباشرة وتحويلها الى نسبة مئوية وشمل الفحص عينة مؤلفة من 400 سيارة تعمل بوقود الكازولين.وإيجاد نسب مئوية لاستخدام كل منظومة وباستخدام استمارة الفحص المعدة لكل سيارة . الملحق(A) يوضح نموذج من استمارة الفحص المستخدمة واجري الفحص بورشتي تصليح متخصصة لصيانة السيارات وشمل كافة منظومات التلوث للسيارة. وتبداء بفحص تركيبها وتوصيلاتها إلى أجزاء المحرك وتحديد صلاحية المنظومات من خلال فحص مدى تأثيرها على عمل وتركيز أنبعاثات العادم لمختلف ظروف العمل. إن بعض المنظومات موجودة في السيارة ولكنها غير مربوطة بشكل صحيح إلى أجزاء المحرك أثناء الصيانة غير الجيدة لها. علما أن بعض السيارات تستخدم قسم من هذه الوسائل والبعض الأخر يستخدم معظم هذه الوسائل على نفس السيارة والأشكال(11,10) تعطي محصلة النتائج للفحوصات العملية للسيارات

أولا: نسبة السيارات التي تستخدم منظومات معالجة العادم غير المباشرة:

النتائج التالية هي النسب المؤية للسيارات التي تستخدم منظومات التلوث غير المباشرة في عينة السيارات التي شملها الفحص والشكل (10) يوضح هذه النسب

ت	أسم المنظومة	النسبة المئوية للسيارات
1-	منظومة السيطرة على الوقود الالكترونية	% 43
2-	منظومة السيطرة على الإشعال الالكترونية	% 63
3-	منظومة فاصل محول العزم الأوتوماتيكي	% 33

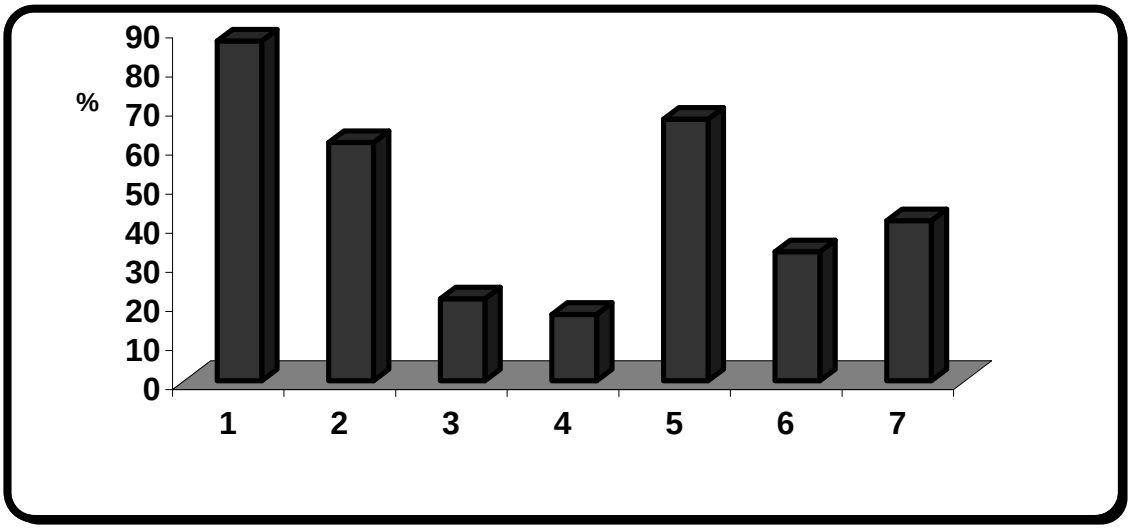


الشكل (10)مخطط لنسب منظومات معالجة العادم غير المباشرة المستخدمة في السيارات

ثانيا: نسبة السيارات التي تستخدم منظومات تقليل التلوث المباشرة:

النتائج التالية هي النسب المؤية للسيارات التي تستخدم منظومات تقليل التلوث المباشرة في عينة السيارات التي شملها الفحص والشكل(11) يوضح هذه النسب.

ت	اسم المنظومة	النسبة المئوية للسيارات
1-	منظومة تهوية عمود المرفق	% 87
2-	منظومة السيطرة على أبخرة الوقود	% 61
3-	منظومة تدوير غازات العادم	% 21
4-	منظومة إدارة الهواء	% 17
5-	منظومة التبخر المبكر للوقود	% 67
6-	منظومة مرشح الهواء الحراري	% 33
7-	منظومة المحول الحفاز	% 41

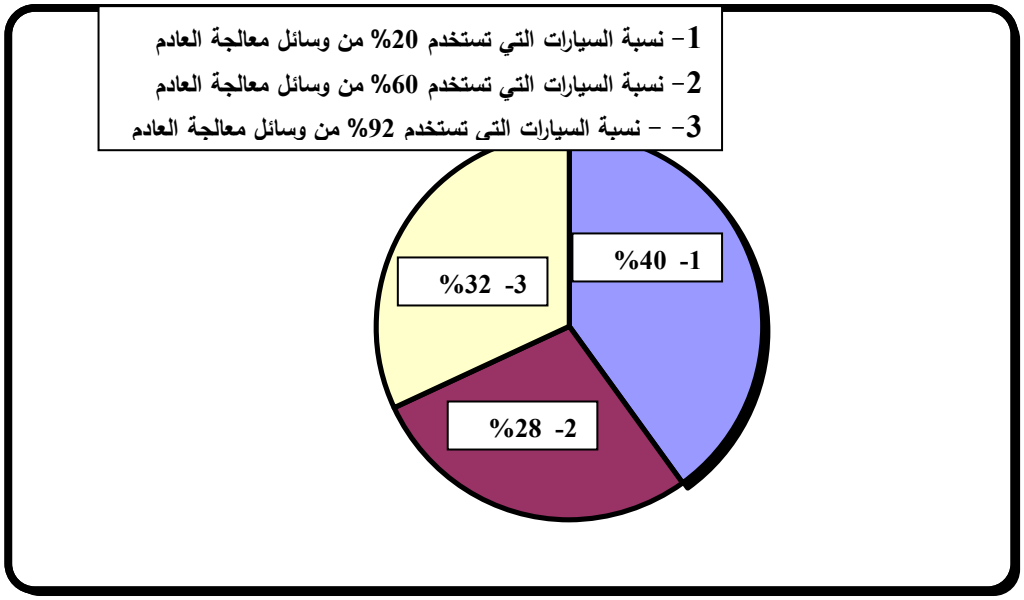


الشكل(11)مخطط لنسب منظومات تقليل التلوث المباشرة المستخدمة في السيارات

من خلال الفحوصات السابقة يمكن ملاحظة ما يلي :

- نلاحظ أن 40 % من هذه السيارات تستخدم 20 % من وسائل معالجة غازات العادم.
- نلاحظ أن 28 % من هذه السيارات تستخدم 60 % من وسائل معالجة غازات العادم.
- في حين أن 32 % فقط من هذه السيارات تستخدم معظم هذه الوسائل وبنسبة 92 % .

وهذه النسب تشير إلى أن عدد كبير من السيارات يكون نسب الملوثة الخارجة منه لا تكون ضمن النسب المسموح بها . ونلاحظ أيظا وجود هذه المنظومات في بعض السيارات معطلة عن العمل ولا تؤدي عملها المطلوب لقلة الصيانة وإهمال توصيلاتها إلى أجزاء المحرك والشكل(12) يوضح ملخص لنسب استخدام وسائل معالجة غازات العادم الكلية (المباشرة وغير المباشرة) في السيارات التي شملها الفحص.



شكل(12)مخطط النسب المؤية للاستخدام الفعلي لمنظومات معالجة العادم للسيارات

*** الاستنتاجات:**

* أن ارتفاع نسبةCO_2 في عادم سيارات Hyundai و KIA Sportage يعني إن الاحتراق عالي الكفاءة في هذه السيارات. وانخفاض نسب HC, NO_x, CO لنفس السيارات يشيرالى فعالية منظومات معالجة غازات العادم المستخدمة فيها وقلة استهلاك المحرك .

* نلاحظ بشكل واضح الانخفاض في نسب الملوثات HC, CO عند عمل المحرك بخليط فقير وكذلك تنخفض نسبة NO_x عند نسب خلط (هواء/وقود) أكثر من 16.5 .

* أن انخفاض كبير في نسب الملوثات CO, HC مع زيادة سرعة المحرك في حين تزداد نسب اكاسيد النتروجين NO_x وبشك كبير ولجميع السيارات .

* انخفاض نسب الملوثات المنبعثة HC, NO_x, CO وبنسب 45 % و 65 % و 35 % على التوالي في السيارات التي تستخدم وسائل السيطرة الالكترونية وأنظمة تقليل التلوث مقارنتا في السيارات التي لا تستخدم هذه الأنظمة .

* من خلال المقارنة مع قيم الجداول نلاحظ أن نسب أنبعاثية السيارات تعتمد بشكل مباشر على ساعات العمل للمحرك (المسافة المقطوعة) ووسائل المعالجة المباشرة وغير المباشرة للعادم.

* نلاحظ فعالية المحول الحفاز (Catalytic Converter) في الحد من الملوثات وخاصة في سيارة Hyundai 2003 حيث يقوم بخفض درجة الحرارة وأكسدة كلا من الملوثات الرئيسية HC, CO وينتج عن الأكسدة H_2O, CO_2, O_2, H_2 وهذه النواتج تعتبر غير ملوثة واقل ضررا على البيئة .

* وجود نسبة كبيرة من السيارات لا تلبي المتطلبات البيئية وخاصة السيارات ذات ساعات العمل أكثر من 150000 KM تعاني من قلة الصيانة لمنظوماتها وذات انبعاثية عالية جدا وذلك لان معظمها لا يستخدم وسائل معالجة غازات العادم وتستخدم السيطرة الميكانيكية على الإشعال وتغذية المحرك (carburater) وكذلك توقف بعض المنظومات عن العمل .

* تحسين منظومات تجهيز الخليط إلى المحرك واستخدام نظام تسخين الهواء الداخل للمحرك باستغلال ماء تبريد المحرك وتدويره حول مجرى الدخول له دور كبير في الحصول على خليط متجانس واكتمال الاحتراق والحد من نسب الملوثات والنظام مستخدم بشكل واسع في السيارات.

* تشير النتائج العملية إلى أن السيارات التي تستخدم نظام تدوير غازات العادم (EGR) والمحول الحفاز (Catalytic Converter) من أفضل السيارات في الحد من نسب غازات العادم((HC,NO_x,CO)) مثل Hyundai2003 وبعض الشركات تستخدم جميع المنظومات على نفس السيارة .

* من خلال أجراء إحصائية على عينة من السيارات في الطرق العراقية تبين أن 60 % من هذه السيارات لا تحتوي على منظومات حماية البيئة وبالأخص المحول الحفار وتفتقر إلى الصيانة وبعض المنظومات فيها معطلة عن العمل .

* بينت نتائج الفحص والمقاربة استخدام بعض السيارات لمحركات تجاوزت ساعات العمل المقررة لها وبحاجة إلى صيانة شاملة ووجود نسبة من السيارات تعمل بمحركات محورة أثناء الصيانة وعدم كفاءة الاحتراق داخل غرفة الاحتراق وتجاوزت نسب التلوث بمدى كبير .

* بينت نتائج الفحوصات أن 32 % فقط من السيارات تحتوي على معظم وسائل المعالجة لغازات العادم وهذه الوسائل تعمل بشكل صحيح في حين أن 28% يلبي المتطلبات بشكل جزئي أما القسم الأكبر 40% لا تلبي المتطلبات البيئية والنسب المسموح بها.

* أن أحد الأسباب الرئيسية لارتفاع نسبة الملوثات المنبعثة من السيارات في الطرق العراقية هو عملية ضبط موزع الإشعال (توقيت الشرارة)على توقيت متأخر قليلا وذلك لكون عملية الضبط ميكانيكية لمعظم السيارات التي لا تستخدم الحقن الالكتروني ولعدم جودت الوقود المستخدم ولتجنب ظهور الصفع (Knock) وهذا بدوره يودي إلى احتراق جزئي للوقود .

REFERENCES

* Benjamin Baird and S.R Gallahalli ((Emissions and Effeciency of a spark – Ignition Engine fueled with a natural Gas and Propane mixture)) power generation conference Miami Beach Florida, July 23-26-2000
* Robert Bosch …etall ((Gasoline engine management))1999.
* Markatos N.C. ((computer simulation for fluid flow, heat and combustion in reciprocating engines))1989.
* Sobiesiak.A((internal combustion engines))2005.
* Alkidas A.K, drews R.J((effect of mixture preparation on HC Emission of S.I Engine operating under steady state cold conditions)) SAE paper 961956.
* Sendyka B.,DacyL.L ((the mathematical Model describing the energy process in the area of exhaust Gas after-Burning)) international scientific conference on Internal combustion Engines ,KoNES 2001,Poland
* Mathur .M.L and R.P.Sharma((A course in internal combustion Engines)) 1985.
* Tomomi Kaneko----etall ((NO_x Redution in Diesel combustion by Enhanced mixing of Spray Tip Region)) 2003
* Taylor ,C.((Internal combustion engine and air pollution))—1986.
* Kuo,K.K,((principles of combustion)) New York,1986,pp.589-591.
* Sorenon.((simple computer simulation for internal combustion engine))Int.J.of mech. vol ,NO.39.1981
* Bronislaw Sendyka,Jacek ((Recovery of exhaust energy by means of turbo compound))---2002

الملحق (A):

استمارة فحص سيارة

نوع السيارة : تاريخ أجراء الفحص

المنشاء: المسافة المقطوعة للسيارة / / /

Km ( ) الموديل:

ت	اسم المنظومة	المنظومة صالحة للعمل	تعمل بشكل غير جيد	غير صالحة للعمل
1	منظومة السيطرة على الوقود الالكترونية			
2	منظومة السيطرة على الإشعال الالكترونية			
3	منظومة فاصل محول العزم الأوتوماتيكي			
4	منظومة تهوية عمود المرفق			
5	منظومة السيطرة على أبخرة الوقود			
6	منظومة تدوير غازات العادم			
7	منظومة إدارة الهواء			
8	منظومة التبخر المبكر للوقود			
9	منظومة المحول الحفاز			
10	منظومة مرشح الهواء الحراري			
11	إلية تقديم وضبط التوقيت			

المعادلات المستخدمة في الحسابات

- نسبة الهواء إلى الوقود (A/F) وحساب كتلة غازات العادم [3,7]

للجهاز المستخدم في البحث القابلية على حساب نسبة الهواء إلى الوقود(A/F) بصورة مباشرة من شاشة الجهاز وبشكل مستمر ولمختلف ظروف العمل للسيارة.

$$A/F = m_a/m_f \text{ ----------(1)}$$

$$m_a=(A/F) * m_f$$

حيث m_a = كتلة الهواء, m_f = كتلة الوقود

ـ تم حساب استهلاك السيارة من الوقود باستخدام المعادلة التالية [3,7]:

$$S=m_f/x \quad \text{----------(2)}$$

حيث **S**= استهلاك السيارة للوقود (litter/km), **x**= المسافة المقطوعة (km)

- تم حساب وتحويل ألاستهلاك من النسبة الحجمية إلى استهلاك الكتلة

$$\rho=m/v \quad \text{----------(3)}$$

حيث **ρ** =كثافة **وقود الكازولين** $0.77\ kg/m^3$ **,v= الحجم**

– تم أستخدم المعادلة التالية لحساب كتلة غازات العادم [12]

$$m_{ex}=\beta * m_a \quad \text{----------(4)}$$

حيث **β** = معامل التغيير ألجزيئي لمحركات الكازولين 1.03– 1.05 , m_{ex}= كتلة غازات العادم

- تحويل النسب المؤوية لكل مكون للعادم إلى قيم وزنية باستخدام المعادلة ومن ثم المقارنة مع القيم القياسية المسموح بها. **(5)**

$$CO=\%CO*m_{ex} \quad \text{----------}$$

حيث **%CO** =النسبة المؤوية لغاز أول أوكسيد الكاربون .

جدول (1) أوزان النواتج الرئيسة للتلوث الناتجة من أشعال وقود البنزين بمقدار 100 لتر.وتحت الظروف القياسية لمحركات الاحتراق الداخلي التي تعطي أعلى كفاءة واقل تلوث واستهلاك للوقود (ظروف المثالية).

NO	المكون	الوزن
1-	Carbon monoxide CO	10— 15 kg
2-	Unburned Hydrocarbons HC	0.3— 0.6 kg
3-	Nitrogn oxides NO_x	0.3— 1.5 kg
4-	Aldehydes acids Cn Hm .CHO	60g
5-	Carboxylic acids CnHm COOH	24g
6-	Sulfur oxides	30g
7-	Ammonia	24g
8-	Inorganic solids	30—60g

جدول (2) حدود الانبعاثية المسموح فيها في سيارات السفر للأعوام من 1980 إلى 2005 في السيارات الأوربية :

Year	CO(g/mile)	Nox(g/mile)	HC (g/mile)
1980	5.40	1.2	0.41
1981- 1982	5.40	1.2	0.41
1983- 1985	4.20	1.0	0.41
1986-1990	3.40	0.60	0.40
1991	3.40	0.60	0.40
1992	3.40	0.60	0.40
1993	3.1	0.40	0.37
1994	3.1	0.40	0.37
1995	3.1	0.40	0.37
1996	2.70	0.25	0.341
1997	2.70	0.25	0.341
1998	2.50	0.20	0.31
1999	2.50	0.20	0.31
2000	2.30	0.15	0.20
2001	2.10	0.15	0.20
2002	2.10	0.15	0.125
2003	1.50	0.10	0.125
2004	1.50	0.10	0.125
2005	1.00	0.08	0.10

جدول (3) المدى المعتمد في الانبعاثية لسيارات السفر لعام 2005

	CO (g/ km)	NO_x (g/km)	HC(g/km)
MAX	2.7	0.55	0.62
MEAN	2.1	0.4	0.4