معالم الأداء ومعدل كتلة السناج المنبعث من محرك ديزل

يسار كاظم الأنصاري
مدرس مساعد
جامعة الكوفة, كلية الهندسة, قسم الميكانيك

الخلاصة:

السناج المنبعث من عادم محركات الديزل الى الجو الخارجي يعتبر أحد الملوثات الهواء الخطرة لأنه يحمل على سـطح جـسيماته مركبات هايدروكاربونية ذات تأثير سرطاني وبسبب صغر قطر هذه الجسيمات فانها بسهولة تستنشق وتدخل الى الرئتين. لذا جـاء هذا البحث ليدرس معدل كتلة السناج المنبعث وسبل معالجته وتأثيره على معالم الأداء لمحرك ديزل رباعي الأشواط. تم اسـتخدام الطريقة المباشرة بقياس معدل كتلة السناج المنبعث والمعتمدة على ثقل السناج المتكون, بحيث تم اصطياد السناج بواسطة الـصوف الزجاجي الذي يعمل كفلتر داخل انبوبة تجميع توضع بالمراحل المتأخرة من العادم. معدل كتلة السناج المنبعث والقـدرة المكبحيـة للمحرك تم التعبير عنها بوحدات (g/kw hr). معدل كتلة السناج مع تغير الحمل تم مقارنتها بما هو مسموح به في ضـوء مقـاييس وكالة حماية البيئة الأمريكية (U. S. Environmental Protection Agency, EPA). وجد في الأحمال العالية التي تصل الـى (95%), زيادة في معدل كتلة السناج المتكون تتجاوز القيم المسموح بها لوكالة حماية البيئة في الطبقة الاولى (Tier1) كذلك زيـادة كتلـة السناج كانت سببا في النقصان الشديد لقدرة وكفاءة المحرك. السناج يحترق عادة بدرجة حرارة (600Co) تقريبا, النتائج بينـت أن كتلة السناج المنبعث تكون كبيرة في الاحمال العالية بحيث يمكن معالجتها رفع درجة حرارة العادم وإيصالها إلى درجة حرارة اكبر من (600Co). أما عند الأحمال المتوسطة (20%-70%) التي يصاحبها ارتفاع درجة حرارة العادم, وجد ان كتلة السناج المنبعث لم تتجاوز القيم المسموح بها في الطبقة الاولى (Tier1) والطبقة الثانية (Tier2).

الكلمات الرئيسية: السناج, الطريقة الوزنية, محرك ديزل, تلوث الهواء, وكالة حماية البيئة الامريكية.

Parameters and the Rate of Soot Emitted from Diesel Engine

Yassar K. Al- ansari
Kufa University
College of Engineering,

Abstract:
The soot (solid carbon particles) emitted from diesel engines into atmosphere is to consider one of dangerous pollutant because it is easy inhaled deep into the lungs and some polycyclic aromatic hydrocarbons known for their cancer properties are associated with it. The direct gravimetric method is used to measure the soot mass rate. The soot particles through the exhaust pipe are trapped using Pyrex-glass collecting piece with glass wool filter. The rate of soot mass emitted and brake power are

expressed in (g/kw hr) unit. The variation of soot mass with engine load is compared with U. S. Environmental Protection Agency (EPA) standards. It is found as the engine load is increased, the rate of soot mass increases and exceeds the (EPA) standards in the first tier. The high rate of soot mass causes strong decrease in the brake power and thermal efficiency. The soot usually burns at the temperature of 600 C^o approximately. The results show that the high soot mass in high load can be treated by raising the exhaust temperature and reached to greater than 600C^o. In the moderate load up to 70%, it is found that the soot mass emitted is not exceeding the (EPA) standards in the first and second tiers. The exhaust temperature is high and the soot mass rate is to be low and easily treated.

Key words: Soot, Gravimetric method, Diesel engine, Air pollution, U. S. EPA.

المقدمة (Introduction)

يعاني بلدنا العزيز من مشكلة تلوث الهواء الناتج من حرق أنواع مختلفة من الوقود بشكل غير نظامي وصحيح في محركات السيارات والشاحنات والمعامل والأفران وغيرها, لكن النصيب الأكبر من التلوث يعود إلى الانبعاثات الملوثة لمحركات الاحتراق الداخلي المستخدمة في السيارات خصوصا بعد استيراد السيارات المستهلكة والمستعملة وغير المطابقة للمواصفات في البلد المنتج لها من نواحي السيطرة على الملوثات والنواحي التقنية.

البحث المقدم يهتم بقياس معدلات التلوث الدخاني الصادر من محركات الديزل ومقارنته بمقاييس وكالة حماية البيئة العالمية EPA ودراسة العلاقة بينه وبين قدرة، استهلاك الوقود النوعي, متوسط الضغط الفعال وكفاءة المحرك.

عادة يتكون السناج (وهو جسيمات الكاربون الصلبة) في منظومات الاحتراق ذات اللهب الانتشاري (Diffusion flames) كما في محركات الديزل، التوربينات الغازية، المراجل البخارية في محطات القدرة، افران مصانع الاسمنت والطابوق وغيرها. في هذا النوع من اللهب يكون التماس بين الوقود والهواء قليل فان ممرات دخول الوقود الى غرفة الاحتراق تختلف عن ممر دخول الهواء لذلك تكون طبيعة هذا اللهب هو سناجي (Sooting flame) وعندما يكون معدل تكوين السناج (Soot formation) اكبر من معدل تأكسده (Soot burnout) فانه سوف يظهر بشكل دخان اسود خارج غرفة الاحتراق(Kue,2005).

السناج المنبعث من منظومات الاحتراق ذات الوقود الهايدروكاربوني له دوريين مهميين جدا في الجانب البحثي. الاول انه يمتلك أنبعاثية عالية (High emissivity) تساعد كثيرا في انتقال الحرارة بالاشعاع لذا فان تكوين السناج في منظومات الاحتراق لمحركات الديزل والتوربينات الغازية أمر غير مرغوب فيه لانه يساعد في أنتقال جزء كبير من الطاقة المتحررة عن طريق جدران غرفة الاحتراق الى الخارج. الثاني يساهم في تلوث الهواء عند خروجه مع غازات العادم الى الجو الخارجي وذلك لان عملية الاحتراق في اللهب الانتشاري لايوجد فيها خلط مسبق للوقود مع الهواء والتماس بينهما يكون قليل، هذا يؤدي الى تحلل الوقود حراريا (Thermal pyrolsis) وبالتالي تنتج عنه انواع كثيرة جدا من المركبات الهايدروكاربونية التي لها القابلية ان تتكثف على سطح جسيمات السناج خلال طور النمو (growth phase) لنواة السناج المتكونة وخاصة المركبات الهايدروكاربونية الاروماتية (AH) المعروفة بتأثيرها السرطاني الخطر (Roger,2005) وبسبب صغر قطر هذه الجسيمات حيث يصل الى (200nm) فانها بسهولة تستنشق وتدخل الى الجهاز التنفسي للانسان. وكالة حماية البيئة EPA في عام ٢٠٠٢ طبقت وثيقة الضريبة الصحية [٣] على عادم محركات الديزل, هذه الوثيقة تقول ان العادم الصادر من محركات الديزل سام يفسد الهواء ويتسبب في آثار صحية على المدى القصير مثل (تهيج الرئتين والعيون, السعال, دوار وغثيان). أما على المدى البعيد فأن عادم الديزل يتسبب في أمراض الجهاز التنفسي المزمنة وما يتصل بها من خطر السرطان.

الطريقة التي أستخدمت في هذا البحث لقياس معدل كتلة السناج المنبعث (g/min) هي طريقة مباشرة (Direct gravimetric method) حيث تم اصطياد جسيمات السناج المنبعث في المراحل المتاخرة من العادم بواسطة الصوف الزجاجي (Glass wool filter) الذي يعمل كفلتر داخل انبوبة زجاجية مصنوعة من الزجاج المقاوم للحرارة (Pyrex glass)، ويأخذ وزن السناج خلال فترة زمنية محددة عندما يصل المحرك الى حالة الاستقرار (Steady state) في الظرف التشغيلي الخاص، علما ان هذا الطريق في الحصول على المجاهيل هو مفضل عند اكثر الباحثين (Eastwood,2000) لانه طريق مباشر لاتوجد فيه عمليات حسابية او تقريبية في قبال التقنية البصرية (Optical extinction methods) حيث توجد فيها صعوبة بالغة في الحصول على الثوابت الفيزياوية مثل انبعاثية السناج ومعامل الانكسار (Referactive index) وغيرها لذلك فهي تعطي نظرة كلية (Integral view) كما في طريقة هارترج (Hartridge) وطريقة (Bosh) التي يتم الحصول فيها على كثافة السناج (g/m3). وجد الباحثين (Dyer,1981) ان نتائج كتلة السناج المقاسة بالتقنية البصرية (Light extinction method) هي اكبر بمرتين او ثلاث مرات من الكتلة المقاسة بالطريقة المباشرة الوزنية (Gravimetric method)، حيث درس الباحثين تكوين السناج عند احتراق حجم ثابت لخليط غني بالبروبان مع الهواء عند درجة حرارة وضغط ابتدائين 420 C0 و 4.4 atm. على الترتيب. ولكن مع ذلك فان الطريقة

البصرية هي طريقة معتمدة في قياس سرعة السناج المتكون في مناطق اللهب وبتالي الحصول على زمن بقـاء السناج في كل منطقة من اللهب (Leylegian,2008).

الجزء العملي (Experimental part):

الجزء العملي يتألف من جزئين رئيسيين, الاول هو جهاز اختبار محرك الديزل والثاني هو منظومـة اصـطياد وتجميع السناج المنبعث من المحرك. اختبار المحرك تم عندما كان الحامل (Rack) مفتوح تماما للوصول الى اكبر سرعة للمحرك ثم ان زيادة الحمل المسلط على المحرك بشكل تدريجي نحصل منه على تغيـر بالـسرعة وصولا الى اقل سرعة بحيث تم تسجيل ستة قراءات للمتغيرات المطلوبة, بين اكبر سرعة واقل سرعة للمحرك, وهي (العزم, السرعة, استهلاك الوقود والهواء, درجة حرارة العادم ومعدل كتلة السناج بالعادم) ومن ثم يخفض الحمل تدريجيا للوصول الى اكبر سرعة سابقة بحيث يتم في هذه المرحلة أعادة تسجيل القراءات الستة الـسابقة للمتغيرات بعدها يأخذ متوسط القراءات لكي تكون النتائج المحصل عليها اكثر دقة ووثوقا. بعدها يتم أدخال هذه المتغيرات المقاسة من الجهاز في المعادلات الخاصة بايجاد بعض معالم الأداء المهمة للمحـرك مثـل القـدرة المكبحية, نسبة الهواء\ الوقود, استهلاك القود النوعي, متوسط الضغط الفعال والكفاءة الحرارية.

(١) جهاز الاختبار (Rig test)

التركيب الأساسي للجهاز المعد للاختبار يتكون من ثلاث أجزاء رئيسية, محرك ديزل رباعي الاشـواط, وحـدة الداينمومتر الهيدروليكي ووحدة القياس. الجهاز مصنع من قبل شركة (TQ Education and Triaing Ltd.) الانكليزية, موديل (Model TD115).

(١-١) محرك الديزل (Diesel engine)

المحرك الذي تم اختباره نوع ديزل رباعي الأشواط ذو اسطوانة واحدة, المصنع من قبل نفس الـشركة موديـل (Model TD111) أما مميزات المحرك الفنية فهي كما في **الجدول رقم (١)**.

(١-٢) وحدة الداينمومتر الهيدروليكي (Hydraulic Dynamometer Unit)

الشكل رقم (١) يوضح مخطط الداينمومتر الهيدروليكي المستخدم, الجهاز يتكون من جزئيين رئيسين هما الجزء الدوار (rotor D) والجزء الثابت (stator B). يستخدم صمام ابري (needle valve A) للـسيطرة علـى الماء الداخل للداينمومتر وبالتالي التحكم بالحمل المسلط على المحرك. عمود المرفق (crank shaft) للمحرك

يربط بواسطة مزدوج (coupling) مع الجزء الدوار للداينموميتر وبهذا تنتقل طاقة المحرك من الجزء الـدوار إلى المائع الموجود بين الجزء الدوار والجزء الثابت ومن المائع إلى الجزء الثابت الخارجي (stator B), يوجـد هناك حبل (Cable E) مثبت على الجزء الخارجي ينقل حركة الجزء الثابـت (stator B) إلـى المقاومـة المتغيرة (H) والتي بدورها تعطي مقدار من الفولتية تترجم وتعاير للحصول على العزم المكبحي. النوابض (F) مثبتة على السطح الخارجي للجزء الثابت (stator B) وهي في وضع شد دائـم. الـصمام (C) يـساعد فـي السيطرة على كمية الماء الخارجة من الداينموميتر فهو بالتالي يساعد في تنظيم حمل المحرك.

(١-٣) وحدة القياس (Instrumentation Unit)

الشكل (٢) يوضح لوحة القياس موديل (Model TD114) تستخدم هذه الوحدة مع جميع أنواع المحركـات المراد اختبارها على الجهاز.

(١-٤) قياس استهلاك الوقود (Measurement of fuel consumption)

الشكل (٣) يوضح المنظومة المستخدمة لقياس معدل استهلاك الوقود, اعتمد في قياس استهلاك الوقود على مبدأ أساسي وهو قياس حجم ثابت للوقود المستهلك مع الزمن.

(١-٥) قياس استهلاك الهواء (Measurement of air consumption)

يوضح **الشكل (٤)** الجهاز المستخدم في قياس استهلاك الهواء. تم الاعتماد على معادلة (Hagen- Poiseuille) للجريان الطباقي واستخدام الأنبوب الشعري (Capillary tube) الذي نضمن فيه جريان طباقي داخل الأنبوب.

(٢) منظومة تجميع السناج المنبعث (Collecting soot mass system)

قياس كتلة السناج المنبعث من المحرك في المراحل المتأخرة من العادم (Post exhaust) هي الخطوة المهمة في أنجاز البحث حيث تم قياس كتل مختلفة من السناج المنبعث من المحرك عند أحمال متغيرة. جسيمات السناج تم اصطيادها باستخدام فلتر الصوف زجاجي (Glass wool filter) موضوع داخل أنبوبـة تجميـع الـسناج (Soot collecting piece) مصنعة من زجاج مقاوم للحرارة (Pyrex glass) والتي تحتوي فـي مقـدمتها على سبعة ثقوب بقطر (d=7mm) موزعة بالتساوي لدخول غازات العادم لاحظ **الشكل (٥)**. حصلنا على كتلة السناج بواسطة أخذ وزن أنبوبة التجميع قبل وبعد الاصطياد للسناج.

٢-١ قياس كتلة السناج (Soot mass measurement)

تم تحضير عدد (٦) أنبوبة تجميع مصنعة من زجاج مقاوم للحرارة (Pyrex glass) وتعبئتها بفلتر الصوف الزجاجي (Glass wool filter)، بعد ذلك تم تسخينها عند درجة حرارة ($200\ C^o$) لمدة ساعة داخل فرن كهربائي لازالة اي رطوبة موجودة بالصوف الزجاجي ثم تحفظ داخل حافظة (Desiccator) حتى تصل إلى درجة حرارة الغرفة.

قياس الوزن الابتدائي لأنبوبة التجميع باستخدام ميزان حساس نوع (Wiggen Hauser).

عند تحميل المحرك والوصول إلى حالة الاستقرار التي يؤخذ عندها القراءة لمعاملات أداء المحرك, توضع أنبوبة التجميع داخل المكان المخصص لها بالمراحل المتأخرة من العادم.

حالما تنتهي الفترة المخصصة لتجميع السناج وهي ١٠ دقائق تُستخرج العينة من أنبوب العادم وتوضع في الحافظة (Desiccator).

أخذ أنبوبة تجميع اخرى وإعد الخطوات من (٢) إلى (٤) لكل أنبوبة تجميع.

قياس الوزن النهائي لكل أنبوبة تجميع مع الصوف الزجاجي باستخدام نفس الميزان وبهذا يتم حساب كتلة السناج عن طريق اخذ فرق الوزن قبل وبعد وضع انبوبة التجميع في المكان المخصص لها في منظومة العادم. وهكذا بين اقل حمل واقصى حمل مسلط على المحرك تم تسجيل ستة قراءات لاداء المحرك وستة قراءات لمعدل كتلة السناج حيث توضع أنبوبة التجميع في كل مرة بالمكان المخصص لها في المراحل المتأخرة من العادم هذا في حالة الصعود مع الحمل أما في حالة النزول مع الحمل ايضا يتم أعادة تسجيل القراءات الستة لأداء المحرك ومعدل كتلة السناج وبعدها يتم أخذ متوسط كل قراءة لأداء المحرك ومعدل كتلة السناج. اذن القدرة الخارجية لاداء المحرك يمكن الحصول عليها مع تغير الحمل وبهذا سوف نعبر عن معدل كتلة السناج بالوحدات (g/kW hr).

٤-النتائج والمناقشة (Result and Discussion)

تم أختبار محرك الديزل عندما كان الحامل (Rack) مفتوح بالكامل والمحرك في اعلى سرعة له فان زيادة الحمل تدريجياً, بواسطة التحكم بكمية الماء الداخلة للداينموميتر, ينتج عنه نقصان بالسرعة تدريجي ايضا وصولا لأقل سرعة للمحرك عند اعلى حمل. الشكل (6a) و (6b) يعطي نضرة عامة عن معالم الاداء المهمة (متوسط

الضغط الفعال بال (kpa), استهلاك الوقود النوعي بال (kg/kW hr), نسبة الوقود\ الهواء (A/F ratio), الكفاءة الحرارية (ŋ%) والقدرة المكبحية للمحرك لكل (cm2) من مساحة المكبس) لمحرك الديزل المراد قياس تركيز كتلة السناج المنبعث منه بالاعتماد على تغير سرعة المكبس للمحرك. الشكل (6a) يوضح ان نسبة الهواء: الوقود تتغير من (28:1) عند اقل حمل للمحرك الى (3:1) عند اقصى حمل. أعلى قدرة مكبحية للمحرك (113.4 W/cm2) واعلى كفاءة حرارية (45%) عند نسبة هواء: وقود تتراوح من (22:1 -15:1). كذلك ان موقع أعلى قدرة للمحرك يكون عند أعلى كفاءة حجمية او بمعنى اخر عند أعلى كتلة هواء داخلة له. الشكل (6b) نستنتج منه ان موقع أعلى كفاءة يكون عند أقل استهلاك للوقود النوعي يصل الى (204.6 kg/kw hr), حيث يتميز محرك الديزل بأنه أقتصادي في كمية الوقود المستهلك.

الشكل (٧) يوضح العلاقة بين تركيز كتلة السناج المنبعث من المحرك مقاسة (g/kw hr) مع تغير الحمل المسلط على المحرك. نلاحظ فيه ان معدل كتلة السناج قليل جدا عندما يعمل المحرك من دون حمل ويزداد معدل كتلة السناج تدريجيا مع زيادة الحمل حتى يصل الى أعلى كتلة في الاحمال العالية جدا التي تصل الى (95%), نحصل عليها عندما يكون الصمام الابري (Needle valve) المسيطر على كمية الماء الداخلة للداينموميتر مفتوح كليا لاحظ **الشكل (1)**, ويعود سبب زيادة كتلة السناج بالاحمال العالية (95%-70%) التي تقابل سرعة محرك (2000-1750) دورة\دقيقة(rpm) الى أمرين؛

الاول يمكن تفسيره بالاستعانة بالشكل (٨) الذي يوضح العلاقة بين نسبة الهواء\ الوقود ومعدل كتلة السناج مع تغير الحمل على المحرك والشكل (٩) الذي يوضح العلاقة بين استهلاك الوقود النوعي ومعدل كتلة السناج مع تغير الحمل. حيث نلاحظ من الشكل (٨) النقص الكبير الذي يحدث في كتلة الهواء الداخل للمحرك في الاحمال العالية والشكل (٩) يشير في نفس الوقت الى زيادة كبيرة في استهلاك الوقود النوعي نستنتج من ذلك ان جزء كبير من وقود الديزل لايحترق وأنما يعاني من عملية تكسير حراري (Thermal) داخل غرفة الاحتراق وتحوله الى انواع كثيرة ومختلفة من المركبات الهايدروكاربونية والتي تكون سببا في تكوين السناج (Soot formation) وبمعدلات اكبر من معدلات تأكسده (Soot burnout) لذلك يكون معدل الكتلة المقاسة للسناج في العادم كبير الشكل (٧).

الثاني انخفاض درجة حرارة العادم حيث تصل الى (400C) في الأحمال العالية فتكون غير كافية لأكسدة السناج الخارج وبهذا فان انخفاض درجة الحرارة سوف يكون سببا في تجمع جسيمات السناج والتصاقها مع بعض وكبر حجمها لاحظ الشكل (١٠) الذي يوضح علاقة كل من درجة حرارة العادم ومعدل كتلة السناج المنبعث من العادم مع تغير الحمل على المحرك. المخطط كذلك يبين ان معدل كتلة السناج في الاحمل المتوسطة

وعند درجة حرارة (700Co) تقريبا يكون اقل حيث تساعد هذه الدرجة الحرارية مع توفر كمية اوكسجين قليلة في العادم على حرق السناج وأنخفاض كتلته وهذا ماتوصل اليه الباحث [٧] عندما قام بتجهيز كتلة معينة من سناج الديزل وكتلة اخرى من أسود الكاربون* ووضعها داخل فرن كهربائي ودرس تاثير معدلات درجة الحرارة عليها حيث وجد ان سناج الديزل يبدأ يحترق عند درجة حرارة (580Co).

ان ارتفاع معدل كتلة السناج المنبعث من المحرك في الاحمال العالية قد انعكس سلبا على قدرة وكفاءة المحرك كما هو الملاحظ في **الشكل (١١)** الذي يوضح العلاقة بين القدرة المكبحية ومعدل كتلة السناج مع تغير الحمل **والشكل (١٢)** الذي يوضح العلاقة بين كفاءة المحرك ومعدل كتلة السناج مع الحمل حيث نلاحظ من كلا الشكلين الأنخفاض الكبير في قدرة وكفاءة المحرك.

اما في الاحمال المتوسطة (69% -20%) للمحرك فان قدرة المحرك تصل الى اعلى قيمة لها (4.36 kW), لاحظ **الشكل (١١)** وكذلك فان كفاءة المحرك تصل الى (45%) كما في **الشكل (١٢)** وهذا يكون مصحوبا بانخفاض كتلة السناج المنبعث بحيث يصل تقريبا الى (0.924 g/kW hr) والسبب في هذا ان معدلات تكوين السناج في هذه الاحمال أقل من الاحمال العالية خصوصا مع انخفاض استهلاك الوقود النوعي **الشكل (٩)** كذلك فأن معدلات الاكسدة والاحتراق للسناج المتكون تكون اكبر من معدلات الاكسدة في الاحمال العالية. اما ارتفاع درجة حرارة العادم في الاحمال المتوسطة حيث تصل الى (700 Co) يساعد كثيرا في اكسدة السناج في العادم مع وجود كمية اوكسجين قليلة, لاحظ **الشكل (١٠)**.

* يدخل أسود الكاربون (Carbon black) في صناعات عديدة منها صناعة الاصباغ والاحبار والاطارات وكافة الصناعات المطاطية, توجد هناك طرق مختلفة لانتاجه عن طريق حرق وقود هايدروكاربوني ثقيل يوجد في بلدنا العراق أكثر معمل لأنتاجه.

في الاحمال العالية, عند مقارنة معدل كتلة السناج المنبعث من المحرك مع مقاييس وكالة حماية البيئة (Environmental Protection Agency, EPA) للمحركات التي قدرتها اقل من (8 kW) [٨], نجد ان المحرك قد تجاوز المقاييس المسموح بها بعشرة اضعاف تقريبا, اما في الاحمال المتوسطة نجد ان المحرك لم يتجاوز الحدود المسموح بها في الطبقة الاولى (Tier1) والطبقة الثانية (Tier2) ولكنه قد تجاوز الحدود المسموح بها في الطبقة الثالثة (Tier3) والطبقة الرابعة (Tier4). المقصود بالمقياس في الطبقة الاولى (Tier1) هو المقياس المضوع من قبل EPA من عام (2000-2005) واما الطبقة الثانية (Tier2) فهي تمتد من عام (2005-2008), لاحظ الملحق (١).

اما في الاحمال القليلة التي تتراوح بين (5%-19%) والتي تقابل سرعة محرك (3600 -3000) دورة\دقيقة(rpm) نلاحظ انخفاض الكفاءة والقدرة الخارجة من المحرك والسبب في هذا أن كتلة الوقود قليلة مقارنة مع كتلة الهواء المتوفر لاحظ الشكل (٩،١٠) وبالتالي انخفاض الطاقة المتحررة من عملية الاحتراق وهذا يفسر انخفاض كتلة السناج عند الأحمال القليلة بحيث نسبة (الهواء/الوقود) العالية توفر كمية هواء ودرجة حرارة ملائمة لاحتراق السناج المتكون.

٥- الاستنتاجات (Conclusion)

- ارتفاع معدل كتلة السناج المنبعث في الاحمال العالية يشير الى ان معدلات تكوين السناج اكبر من معدلات التاكسد وهذا يكون سببا في نقصان قدرة المحرك وكفاءته.
- يجب تشغيل المحرك عند حمل متوسط من (٢٠% إلى ٦٩ %) تقريبا لأنه يكون مصحوب بارتفاع الكفاءة والقدرة الخارجة وانخفاض معدل كتلة السناج المنبعث بحيث لاتتجاوز مقياس وكالة حماية البيئة EPA المسموح به وهو (1 g/kw hr) في الطبقة الاولى (Tier 1).
- رفع درجة العادم, في الأحمال العالية, من (٤٠٠C) إلى (٧٠٠C) يساعد كثيرا في اكسدة السناج وبالتالي تقليل كتلته.

٦- المصادر (References)

1- Kue, K-Y., *Principles of combustion*, Copyright by Wiley- Interscience, 2005.

2- Roger, A. H., and Merlin h. K., *Energy: Its use and the Environment*, Copyright by John Wiley and Sons, Inc., 2005.

3- U. S. Environmental Protection Agency (EPA), *Health assessment document for diesel engine exhaust*, Prepared by National Center Environmental Assessment, Washington, DC, for the Office of Transportation and Air Quality; EPA/600/8-90/057F, 2002.

4- Eastwood, P., *Critical topics in exhaust gas after– treatment*, Research Studies press., 2000.

5- Dyer, T.M., and Flower, W.L., *Aphenomenological description of particulate formation during constant volume combustion*, Particulate Carbon Formation During Combustion, An inter. Symp. Sponsored by G.M. Research Lab., Edited by Siegla, D.C. and Smith, G.W., Plenum Press, New York, pp. 363, 1981.

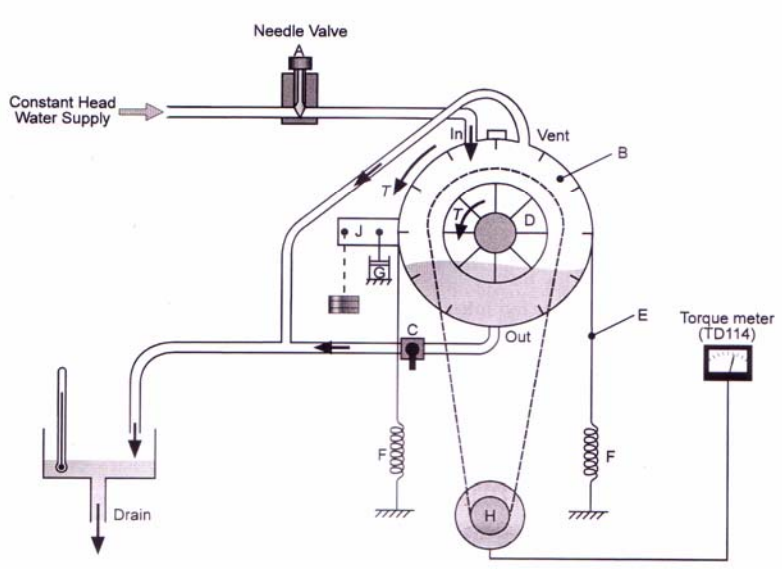
6- Leylegian, J.C., *Soot formation in aerodynamically strained methane–air and ethylene–air diffusion flames with chloromethane addition*, Combustion and Flames, vol. 152, pp. 144-153, 2008.

7- Noirot, R., Gilot, P., Gadiou, R., and Prado G., *Control of Soot Emission by Filtration and Post Combustion,* Combustion Science and Technology, Vol. 95, PP. 139-160, 1994.

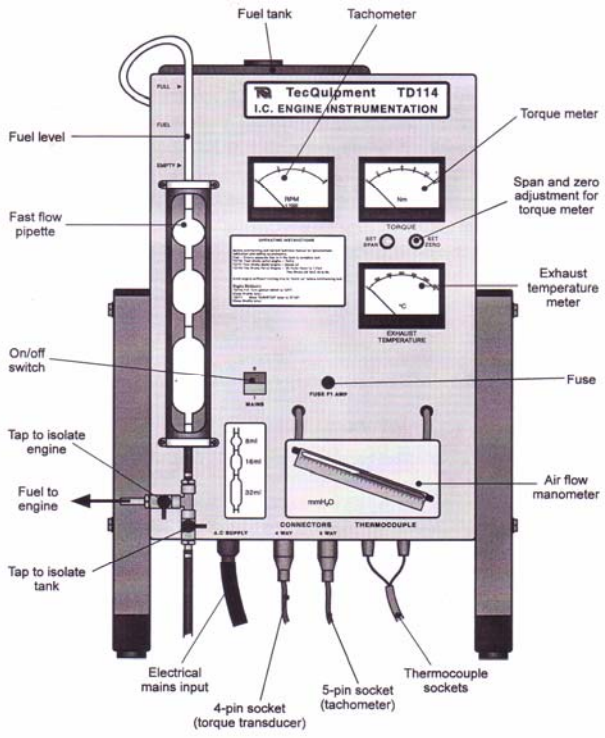
8- The web address for the EPA Green Vehicle Guide is www. epa. gov/ emissweb/.

جدول رقم (١) خصائص المحرك الفنية

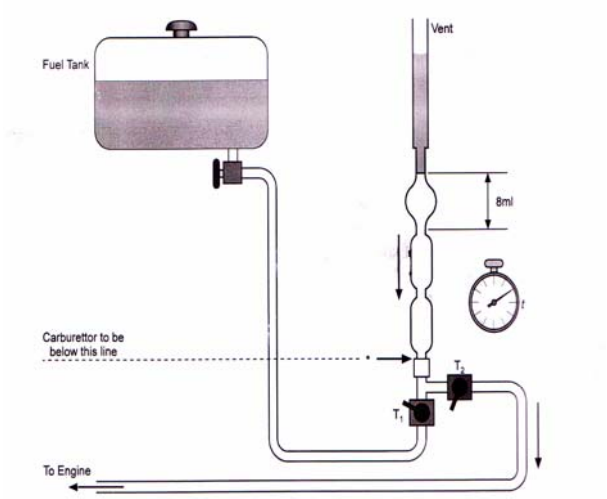
Manufacturer	**TQ Education and Triaing Ltd.**
Cycle	**Diesel, four strokes**
Number of cylinder	**1 vertical**
Bore	**70 mm**
Stroke	**65 mm**
Compression ratio	**15**
Swept volume	**250 cm^3**
Charging	**Natural aspiration**



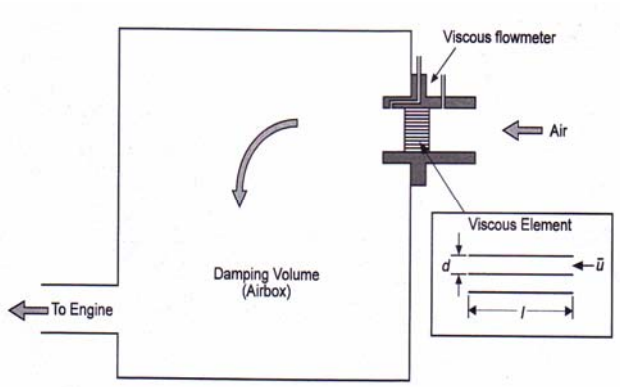
الشكل (١) يوضح مخطط وحدة الدابنموميتر الهايدروليكي.



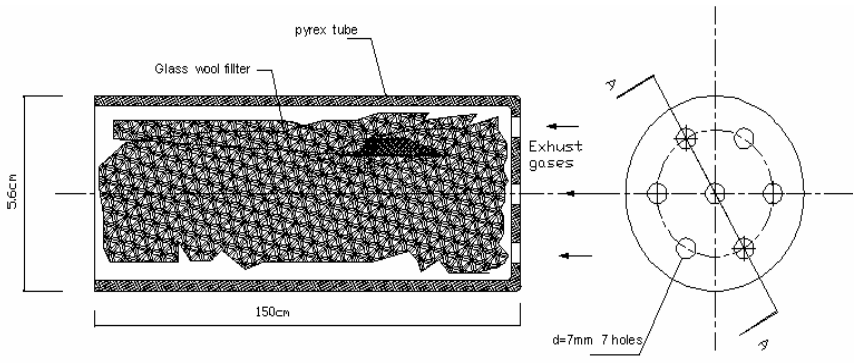
الشكل (2) يوضح جهاز وحدة القياس موديل (Model- TD114)



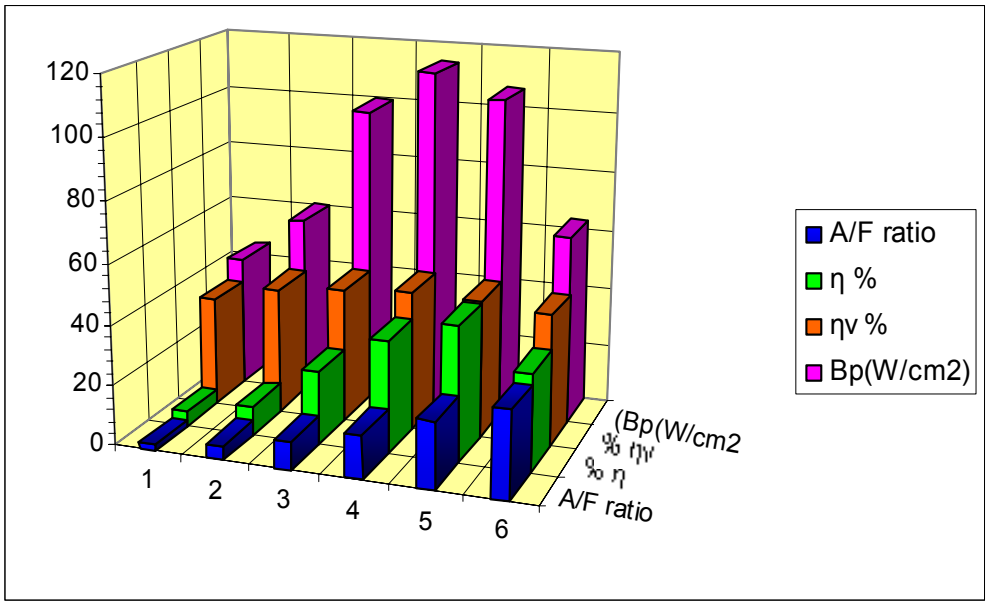
الشكل (٣) يوضح المنظومة المستخدمة لقياس معدل استهلاك الوقود.



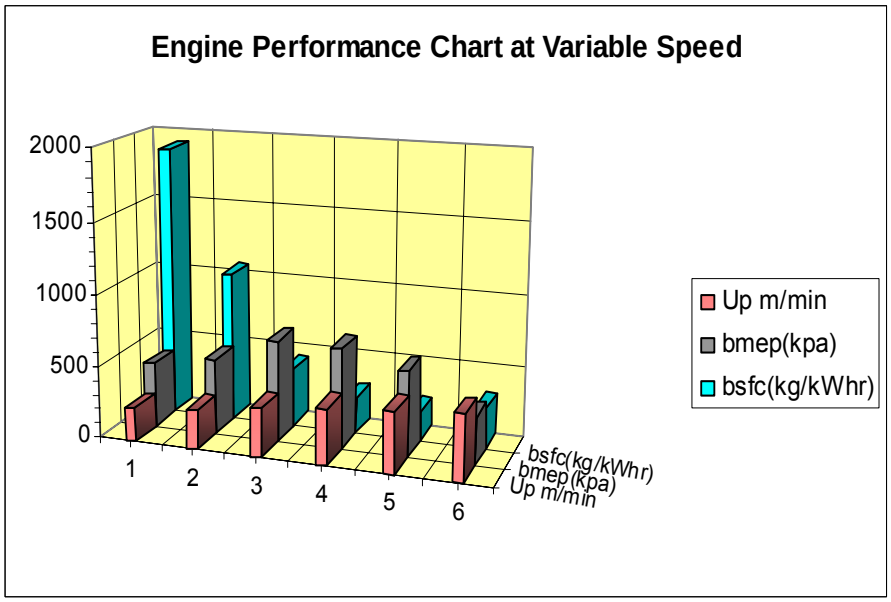
الشكل (٤) يوضح الجهاز المستخدم في قياس استهلاك الهواء.



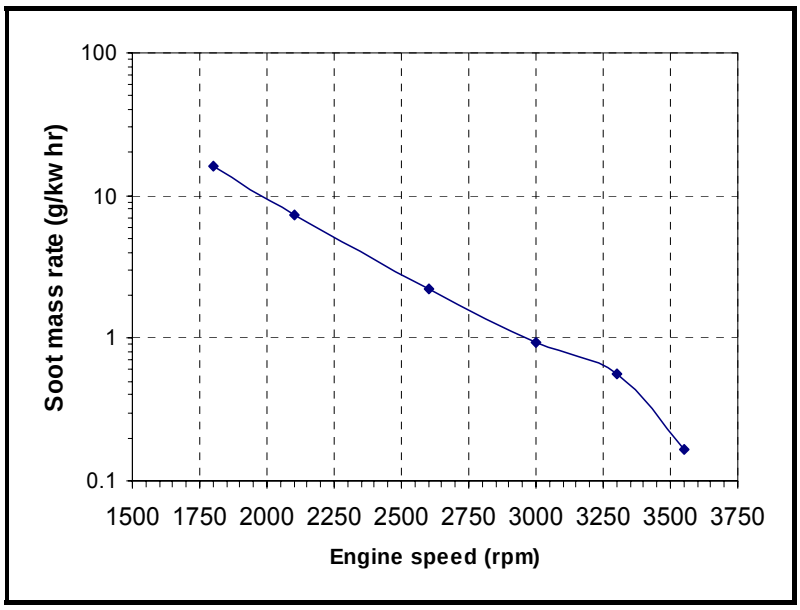
الشكل (٥) يوضح أنبوب تجميع السناج.



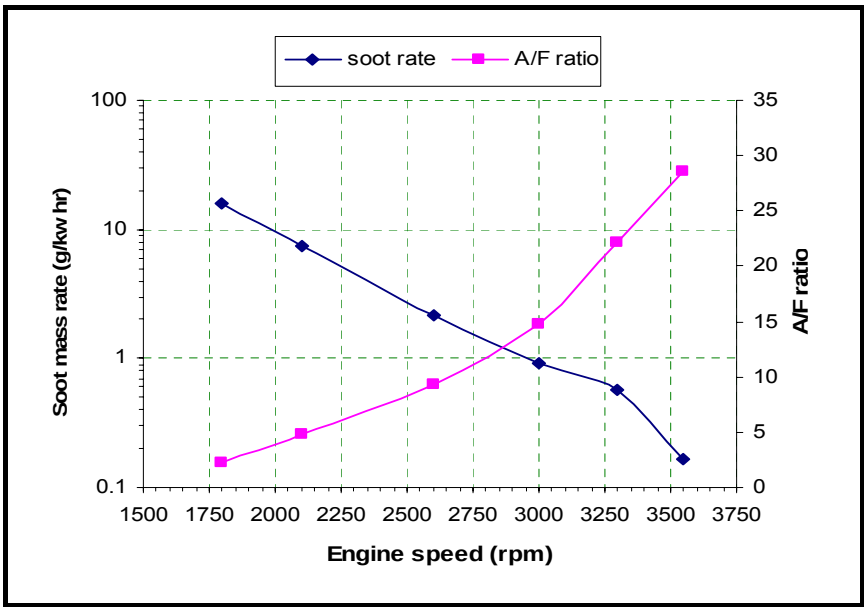
(٦a) يوضح معاملات الاداء للمحرك عند تغير السرعة.



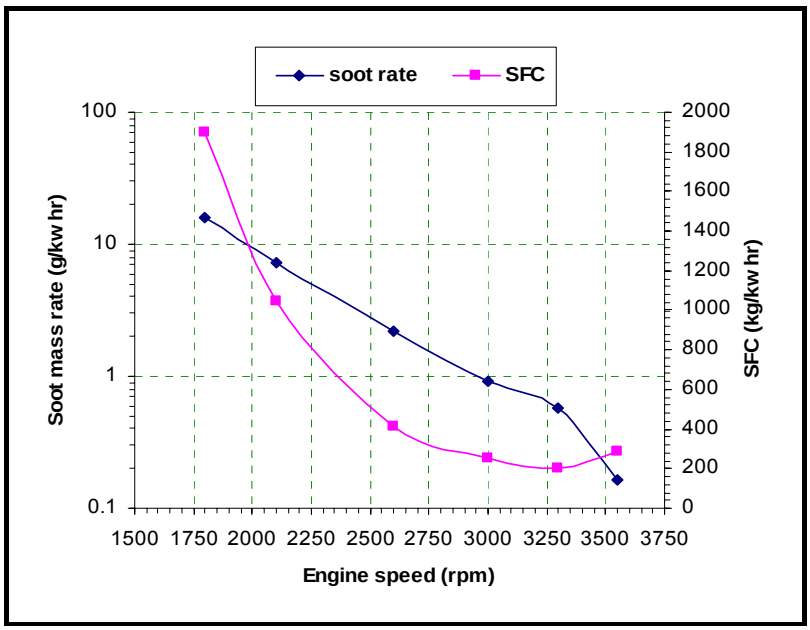
الشكل (٦b) يوضح معاملات الاداء للمحرك عند تغير السرعة.



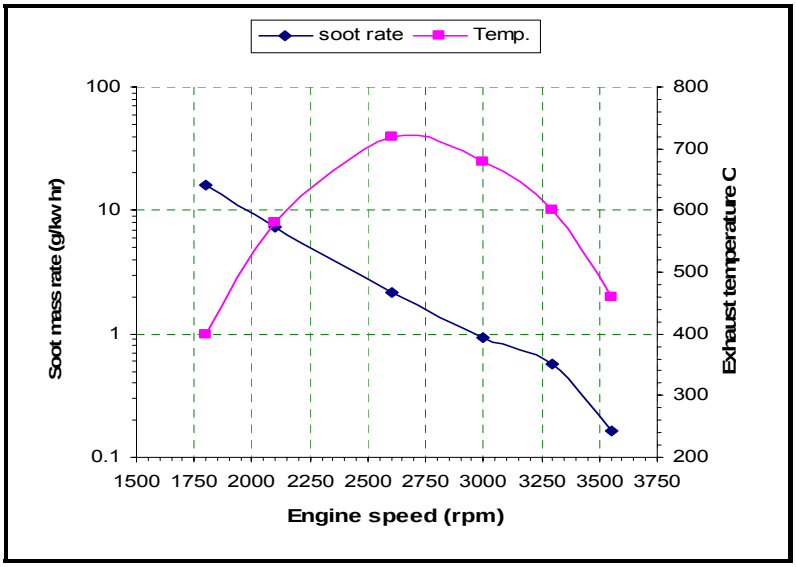
الشكل (٧) علاقة معدل كتلة السناج المنبعث مع تغير الحمل.



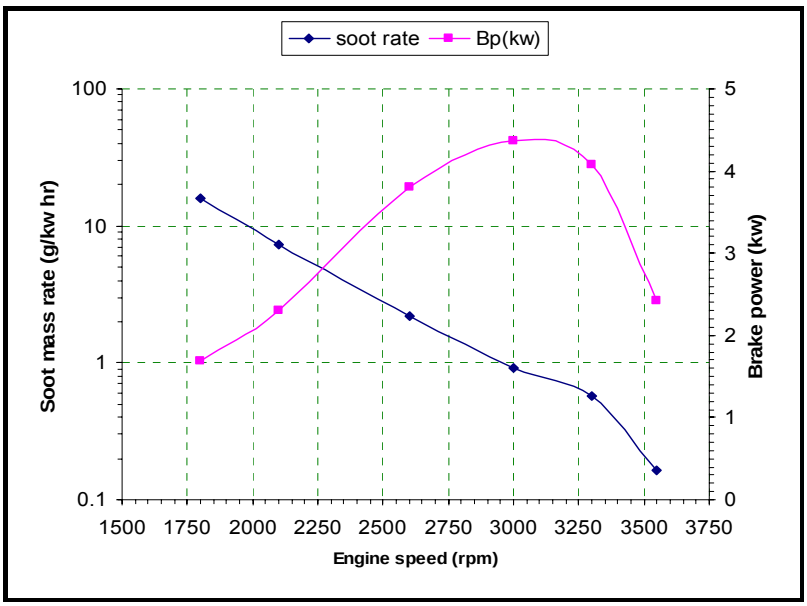
الشكل (٨) العلاقة بين نسبة الهواء\الوقود وكتلة السناج مع تغير الحمل.



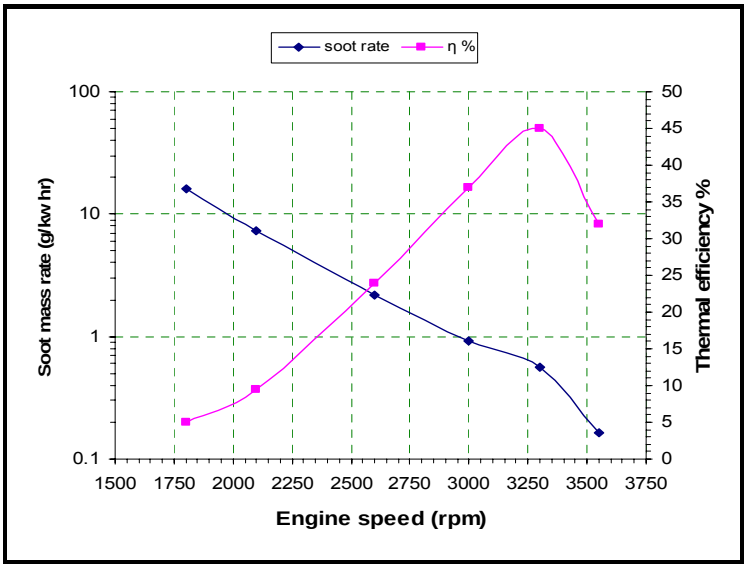
الشكل (٩) العلاقة بين **استهلاك الوقود النوعي وكتلة السناج مع تغير الحمل.**



الشكل (١٠) العلاقة بين **درجة حرارة العادم وكتلة السناج مع تغير الحمل.**



الشكل (١١) العلاقة بين القدرة المكبحية وكتلة السناج مع تغير الحمل.



الشكل (١٢) العلاقة بين كفاءة المحرك وكتلة السناج مع تغير الحمل

Appendix1: Past and current pollutants emissions according to U S