

## The Emitted Emissions of Compression Ignition Engine Fueled with Iraqi Diesel Fuel during Idle Time

2<sup>nd</sup> Conference on Environment and Sustainable Development 28-29-Oct.-2015

**Miqdam Tariq Chaichan**

Energy and Renewable Energy Technology Center, University of Technology, Baghdad, Iraq

Email: 20185@uotechnology.edu.iq

### Abstract

Idle emissions of unburnt hydrocarbon (HC), CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, particulate matter (PM) and noise were measured from multi cylinder direct injection diesel-fueled engine. The purpose was to evaluate the hazards collateral to operate the engine at idle speed for long periods of time. Experiments were conducted at various speeds (900, 1000, 1200 and 1500 RPM) and for a 20 min period of time. The measurements were taken each 5 min. The results indicate that increasing idle time increased CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM and noise, in the same time reduced CO<sub>2</sub> concentration. Increasing idle time deteriorated combustion causing lower CO<sub>2</sub> while the other emissions increased highly. Increasing idle speed improved the combustion and reduced CO, HC, PM and noise while increasing CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub>. Increasing engine speed enhanced combustion resulting in higher CO<sub>2</sub> concentration, but it also increases combustion temperatures which resulted in higher NO<sub>x</sub>.

**Keywords:** idling time, idle speed, NO<sub>x</sub>, HC, PM, CO, CO<sub>2</sub>, noise.

الملوثة المنبعثة من محرك اشتعال بالانضغاط يعمل بوقود ديزل عراقي خلال فترة الحيايد

### الخلاصة

تم قياس ملوثات الهيدروكربونات غير المحترق (HC) وأول أكسيد الكربون (CO) وثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) وأكاسيد النيتروجين (NO<sub>x</sub>) والجزيئات الهبابية (PM) والضجيج الناتجة عن محرك متعدد الاسطوانات بحقن مباشر يعمل بوقود الديزل. وكانت الهدف من الدراسة تقييم الخطر المصاحب لتشغيل المحرك بسرعة الحيايد لفترات زمنية طويلة. وتمت التجارب على سرع حيايد مختلفة (900، 1000، 1250، 1500 دورة/دقيقة) ولمدة 20 دقيقة، وكانت القياسات تتم كل 5 دقائق. بينت النتائج أن زيادة زمن العمل بالحيايد يزيد من انبعاث CO و HC و NO<sub>x</sub> و PM والضجيج، وفي نفس الوقت يقلل من تراكيز CO<sub>2</sub> المنبعثة. إن زيادة زمن الحيايد يفسد الاحتراق مسبباً تراكيز CO<sub>2</sub> أقل بينما تزداد تراكيز بقية الملوثات بشكل كبير. كما تحسن زيادة سرعة الحيايد من الاحتراق وتقلل تراكيز CO و HC و PM والضجيج بينما تزيد من تراكيز CO<sub>2</sub> و NO<sub>x</sub>. تحسن زيادة سرعة الحيايد من نوعية الاحتراق مسببة زيادة تراكيز CO<sub>2</sub> ولكنها تزيد درجات حرارة الاحتراق مما يسبب ازدياد تراكيز NO<sub>x</sub>.

**الكلمات المرشدة:** زمن الحيايد، سرعة الحيايد، NO<sub>x</sub>، HC، PM، CO، CO<sub>2</sub>، الضوضاء

## المقدمة

يعتبر التغير المناخي مشكلة حقيقية منذ فترة من الزمن، والرابط بين هذه المسألة والطاقة أصبح معروفا للجميع ويمكن القول ان الأهتمام اليوم بتوليد طاقة أكثر كفاءة مع تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون [1]. تستهلك مركبات الديزل للأعمال الثقيلة خلال فترة الحياض الكثير من الوقود وتؤثر على البيئة المحيطة، ولا يمكن تقييد هذه الانبعاثات بسهولة، لان تسخين كابينه المشغل أو تبريد الهواء بها يعتبر من الأمور الضرورية لراحته. ولا توجد الى الآن قاعدة بيانات محددة للملوثات المنبعثة من عادم المركبات تصف تأثير فترة الحياض [2].

تخضع المركبات المستخدمة للأغراض الثقيلة وبالرغم من كفاءتها العالية الى فحص وتدقيق كبيرين بسبب كثافة الطاقة العالية لنقل الحمولات بواسطة الشاحنات وبسبب الفرص المتوفرة لتقليل استهلاك الوقود ضمن أشكال القاطرات والمقطورات [2 - 6].

قامت عدة دراسات بقياس الملوثات المنبعثة من مركبات العمال الثقيلة العاملة بوقود الديزل خلال فترة الحياض بالخصوص من قاطرات السحب، وذلك لفهم تأثير سرعة المحرك وحمل الملحقات على الملوثات المنبعثة من هذه المركبات خلال فترة الحياض ولتحديد أداء تقنيات تقليل هذه الفترة. قاس ماكورمك [7] الملوثات المنبعثة خلال فترة الحياض لاربعة وعشرين مركبة خدمة ثقيلة تجهز بوقود الديزل وأربعة مركبات خدمة ثقيلة تجهز بوقود الغاز الطبيعي المسال. تبعث مركبات الديزل 10.2 g/hr من الهيدروكربونات غير المحترقة كمعدل، و70.98 g/hr من أول أكسيد الكربون، و84.96 g/hr من أكاسيد النيتروجين و1.8 g/hr من الجزيئات الهابية خلال فترة الحياض، بينما ينبعث من المحركات المجهزة بوقود غاز طبيعي مسال كمعدل 86.1 g/hr من الهيدروكربونات غير المحترقة، و67.14 g/hr من غاز أول أكسيد الكربون، و16.02g/hr من أكاسيد النيتروجين و0.18g/hr من الجزيئات الهابية. أختبر برديج [8] تأثير سرعة المحرك وحمل التجهيزات الملحقة على الملوثات المنبعثة من مركبة فلايتلينر مجهزة بمحرك ديزل ذي قدرة حصانية 450 حصان موديل 1999. وجد الباحث أن زيادة سرعة المحرك من 600 rpm الى 1500 rpm مع تشغيل مكيف الهواء في المقصورة في كلتا الحالتين نتج عنه زيادة في ملوثات أول أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكربون بنسب تراوحت بحدود 460% و53% و90% على التوالي، كما أن تغيير السرعة هذا أثر على استهلاك الوقود فسبب زيادته بحدود 70%.

قاس جيجان [9] ملوثات CO والهيدروكربونات غير المحترقة HC وأكاسيد النيتروجين NOx والجزيئات الهابية PM وثاني أكسيد الكربون CO<sub>2</sub>. تزداد تراكيز NOx المنبعثة من المحرك مع زيادة زمن الحياض. كما لم يظهر التحكم بتوقيت الحقن أي تأثير على ملوثات CO<sub>2</sub> المنبعثة خلال فترة الحياض، إن استخدام مكيف هواء المقصورة بدون زيادة سرعة المحرك يتسبب بزيادة ملوثات CO<sub>2</sub> وNOx وPM وHC المنبعثة خلال هذه الفترة. تزداد تراكيز CO<sub>2</sub> وNOx المنبعثة خلال فترة الحياض بحدود 150% بزيادة سرعة المحرك من 600 الى 1100 دورة/دقيقة، بينما ازدادت تراكيز PM وHC بحدود 100% و70% على التوالي.

وبالإضافة الى التأثيرات الصحية التي يختبرها العامة فإن قادة هذه المركبات يتعرضون لخطر كبير. إذ من المعروف أن التعرض لمدة طويلة الى عادم محركات الديزل يزيد من احتمال الإصابة بسرطان الرئة [10]. لقد بينت الدراسات العملية لقياس معدلات التلوث داخل وخارج مقصورة المشغل خلال فترة الحياض في مواقف الأنتظار للشاحنات والمركبات بزيادة كبيرة في معدلات الجزيئات الهابية الدقيقة [11-13]. وبينت الدراسات أن الأسترحة والنوم في المقصورة خلال عمل المحرك بسرعة الحياض يسبب عدم الراحة وتقطع النوم مما ينتج عنه آثار سلبية على راحة وسلوك المشغل خلال ساعات العمل [14].

يتضمن تقليل فترة الحياض عدة طرق وتقنيات يجب تجهيزها في المركبة. يجب الوضع بالحسبان إيجاد بدائل لتدفئة وتبريد هواء المقصورة. وتعتبر صيانة المحرك وتقليل كمية الكبريت في الوقود وتحسين تدفئة النظام لبداية تشغيل سلسلة بالإضافة الى تجهيز الكهرباء للملحقات التي تحتاجها خلال فترة الحياض من ضمن هذه التقنيات، تتضمن تقنيات تقليل تأثيرات فترة الحياض اضافة وحدات ملحقة داخل المقصورة مثل مسخنات

تعمل بوقود طبخ، ووحدات قدرة ملحقة، وجهاز لاطفاء اجهزة الكهرباء عند توقف المركبة، وهي تلك التي تجهز القدرة الكهربائية لاغراض التسخين والتهويه وتبريد الهواء [15].  
تهدف الدراسة الحالية لقياس كميات الملوثات المنبعثة من محرك ديزل يجهز بوقود ديزل عراقي خلال فترة الحيد، ودراسة تأثير تغير سرعة المحرك وزمن هذه الفترة على الملوثات المنبعثة.

### الجانب العملي الأجهزة المستخدمة

استخدم في هذه الدراسة محرك ديزل نوع فيات ذي حقن مباشر ويبرد بالماء وهو رباعي الأسطوانات مرتبة بخط واحد، ويسحب الهواء طبيعياً (بدون شاحن جبري)، ويبين جدول 1 المواصفات المهمة للمحرك. إن المحرك المستخدم بالدراسة مرتبط بديناموميتر هيدروليكي للتحكم بالأحمال المسلطة عليه بزيادة العزم. كما استخدم جهاز قياس الملوثات نوع Multigas mode 4880 لقياس تراكيز أكاسيد النيتروجين (NOx) والهيدروكربونات غير المحترقة (HC) وأول وثاني أكسيد الكربون (CO و CO<sub>2</sub>) ويبين شكل 1 صورة فوتوغرافية للمحرك المستخدم بالبحث مع كافة ملحقاته.  
استخدم في هذه الدراسة جامع عينات نوع Sniffer L-30 (شكل 2) لجمع الجزيئات الهبابية المنبعثة من المحرك، واستخدمت فلتر مايكرويه نوع Whatmann-glass لجمع عينات الجزيئات الهبابية، وكانت هذه الفلاتر توزن قبل وبعد عملية الجمع والتي تمتد لمدة نصف ساعة. ويوضع كل فلتر في كيس بلاستيكي مؤقتاً بعد انتهاء عملية جمع العينة ولحين وزنها وتحليل النتائج. وتقدر تراكيز الجزيئات الهبابية باستخدام المعادلة:

$$PM \text{ in } (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{w_2 - w_1}{V_t} \times 10^6 \quad (1)$$

إذ أن: PM = تركيز الجزيئات الهبابية بوحدات (μg/m<sup>3</sup>).

w<sub>1</sub> = وزن المصفي قبل عملية جمع العينة بوحد (g).

w<sub>2</sub> = وزن المصفي بعد عملية جمع العينة بوحد (g).

V<sub>t</sub> = الحجم الكلي للهواء المسحوب (m<sup>3</sup>). ويمكن إيجاد V<sub>t</sub> باستخدام المعادلة:

$$V_t = Q_t \cdot t \quad (2)$$

إذ أن: Q<sub>t</sub> = معدل تدفق الهواء الأبتدائي والنهائي عبر الجهاز بوحدات (m<sup>3</sup>/sec).  
t = زمن جمع العينة (بالدقائق)

تم استخدام جهاز مقياس شدة الصوت لقياس ضغط الصوت الكلي مجهز بحاكية نوع 4615، وتمت معايرة الجهاز باستخدام جهاز معايرة نوع بستوفون 4220.

### جدول (1). مواصفات المحرك المستخدم بالدراسة

Engine type	4cyl., 4-stroke
Engine model	TD 313 Diesel engine rig
Combustion type	DI, water cooled, natural aspirated
Displacement	3.666 L
Valve per cylinder	two
Bore	100 mm
Stroke	110 mm
Compression ratio	17
Fuel injection pump	Unit pump 26 mm diameter plunger
Fuel injection nozzle	Hole nozzle 10 nozzle holes Nozzle hole dia. (0.48mm) Spray angle= 160° Nozzle opening pressure=40 MPa



شكل(1). جهاز جمع سحب الهواء نوع سنفر  
لجمع عينات PM (PM type Sniffer)

شكل (1). الجهاز المستخدم بالتجارب وملحقاته

#### الوقود المستخدم

تم استخدام وقود ديزل عراقي تجاري في هذه الدراسة، يتسم الديزل العراقي بارتفاع تراكيز الكبريت به ( تصل لغاية 10000 جزء بالمليون كما هو هنا للوقود المستخدم)، كما أن الرقم السيتاني له متوسط (49) للوقود المستخدم في هذه الدراسة).

#### تحليل الخطأ

تغطي دقة القياس واقعية أكبر لنتائج الدراسة ويعرف مصدر الخطأ من خلال عملية المعايرة الصحيحة للأجهزة المستخدمة في القياس. يبين جدول 3 اجهزة القياس المستخدمة في الدراسة ودقتها عبر المعايرة، وتعرف الموثوقية كما في (ASHREA, 1986) بالمعادلة التالية:

$$e_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial V_1} e_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial V_2} e_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial V_n} e_n \right)^2 \right]^{0.5} \quad (3)$$

إذ أن:  $e_R$  = عدم الموثوقية في النتائج

$R$  = داله مكونة من متغيرات أو  $R = R(V_1, V_2, \dots, V_n)$ .

$e_i$  = مجال عدم الموثوقية للمتغير.

ويمثل التفاضل الجزئي  $\frac{\partial R}{\partial V_1}$  حساسية النتائج لمتغير واحد، وبهذا تكون عدم الموثوقية لنتائج الدراسة

الحالية كما يلي:

$$e_R = \left[ (0.045)^2 + (1)^2 + (0.07)^2 + (0.95)^2 + (0.98)^2 + (1.24)^2 + (0.7)^2 + (0.022)^2 + (1.09)^2 \right]^{0.5} \\ = \bar{\pm} 2.366 \% \quad (4)$$

توضح هذه النتيجة أنه أمكن الوصول لعدم موثوقية في القياسات أقل من 5% للدراسة الحالية. تم إجراء ثلاث اختبارات لكل حاله لتقليل الأخطاء العشوائية في التجارب، وتم أخذ المتوسط الحسابي لنتائج هذه التجارب لكل حاله مع ثقة بحدود أعلى من 95%.

### أسلوب التجارب

تمت التجارب بترك المحرك يعمل لمدة 10 دقائق في بداية كل يوم بدون حمل ولحين ارتفاع درجة حرارة ماء تبريد المحرك وزيت التزييت لدرجة حرارة أعلى من  $75^\circ\text{C}$ . وبعد هذه المرحلة يعمل المحرك بسرعة ثابتة بدءاً بـ 800، 1000، 1200 و 1500 دورة/دقيقة. ويتم خلال هذه التجارب قياس تراكيز غاز العادم  $\text{CO}_2$ ،  $\text{CO}$ ،  $\text{HC}$ ،  $\text{NO}_x$ ،  $\text{PM}$  ومنها 5 دقائق. وتؤخذ القراءات لعشرين دقيقة لكل اختبار. وتم اختيار هذا الوقت اعتماداً على حقيقة أن وقت الحياض هذا ممكن حدوثه عملياً في الحياة العملية في مدينة بغداد وبقيّة محافظات العراق عند نقاط التقنيش والأشارات المرورية المزدحمة.

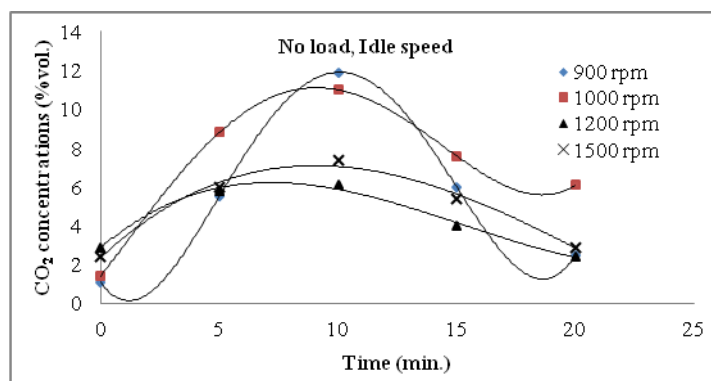
### مناقشة النتائج

تمت دراسة تأثير زمن اشتغال المحرك على الحياض عند سرع مختلفة على الملوثات المنبعثة منه. وتمت دراسة تراكيز الملوثات  $\text{CO}$ ،  $\text{CO}_2$ ،  $\text{HC}$ ،  $\text{NO}_x$ ،  $\text{PM}$  والوضوء المنبعثة من المحرك. يبين شكل 3 تأثير زمن الحياض على تراكيز  $\text{CO}_2$  للسرع المختبرة. تزداد تراكيز ثاني أكسيد الكربون للفترة من بداية القياس ولغاية 10 دقائق وتنخفض بعدها لغاية 20 دقيقة. تزداد تراكيز  $\text{CO}_2$  عند سرعة 1000 دورة/دقيقة تدريجياً لتصل أعلى قيمها بعد مضي 10 دقائق ثم تنخفض. تبين النتائج المدرجة في الشكل أن عمل المحرك بسرعة الحياض لمدة أطول من 10 دقائق يسبب انخفاض في نوعية الأحتراق، فانخفاض تراكيز  $\text{CO}_2$  يعني تراكيز أعلى من  $\text{CO}$  و  $\text{HC}$  بسبب سوء نوعية الأحتراق هذا.

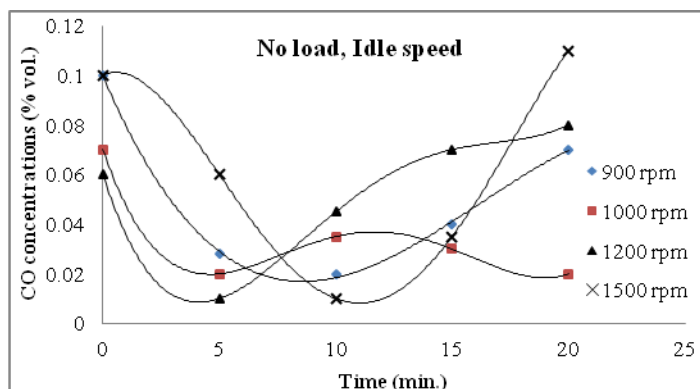
يبين شكل 4 تأثير كل من سرعة المحرك وزمن الحياض على تراكيز  $\text{CO}$  المنبعثة منه. إن تراكيز أول أكسيد الكربون المنبعثة من محرك ديزل عادة هي منخفضة خلال التشغيل الأعتيادي ولكن يتغير تصرفها في حاله الحياض. فعند 800 دورة/دقيقة بدأت تراكيز  $\text{CO}$  بمستويات عالية وانخفضت مع الوقت حتى وصلت لأدنى قيمة لها بعد مضي 10 دقائق تقريباً. وبدأت هذه التراكيز ترتفع بعد مرحلة العشرة دقائق هذه.

أما عند سرعة حياض 1000 و 1200 دورة/دقيقة انخفضت تراكيز CO لتصل أدنى قيمها بعد خمسة دقائق من فترة الحياض ثم بدأت بالأزدياد لغاية 20 دقيقة تشغيل. وصلت تراكيز CO لأدنى قيمها بعد مضي 20 دقيقة من عمل المحرك بسرعة حياض 1500 دورة/دقيقة. إن ارتفاع تراكيز CO يعني رداءة الاحتراق داخل أسطوانات المحرك، بمعنى أنه بدلا من اكتمال الاحتراق وبدون ظهور تراكيز CO فإن هذه التراكيز تزداد. وتزداد تراكيز CO للأسباب التالية:

- 1- تكون غرفة الاحتراق باردة عند بداية الاحتراق مسببة تبخر جزئي للوقود واحتراق غير كامل.
- 2- تزداد درجة حرارة غرفة الاحتراق مع المضي قدما بفترة الحياض ويمكن الوصول الى احتراق أفضل. تزداد كمية الوقود المحترق جزئيا مع استمرار فترة الحياض وحقق الوقود مسببة تراكيز أعلى من اول اكسيد الكربون.



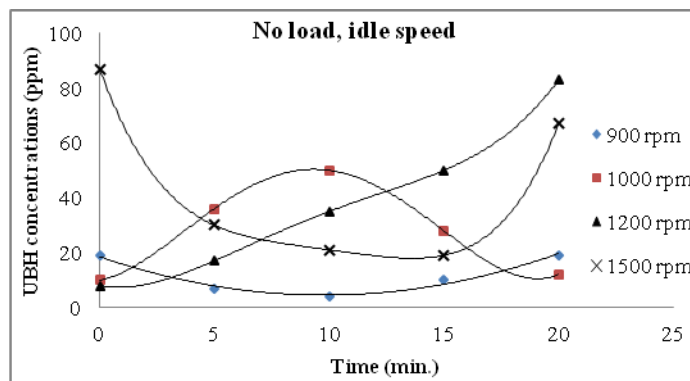
شكل (3). تأثير زمن وسرعة الحياض للمحرك على ملوثات CO<sub>2</sub> المنبعثة منه



شكل (4). تأثير الزمن وسرعة حياض المحرك على ملوثات CO المنبعثة منه

يوضح شكل 5 تأثير زمن وسرعة الحياض للمحرك على تراكيز ملوث الهيدروكربونات غير المحترقة. إن تراكيز HC المنبعثة من محرك الديزل خلال فترة الحياض منخفضة مقارنة بمثلاتها المنبعثة من محرك جازولين بسبب الكفاءة العالية لمحرك الديزل. لقد كانت تراكيز HC خلال فترة الحياض منخفضة جدا بحيث لا يمكن استنباطها أو كشفها وقياسها عمليا. قلت تراكيز HC مع تقدم زمن الحياض عند عمل المحرك بسرعة

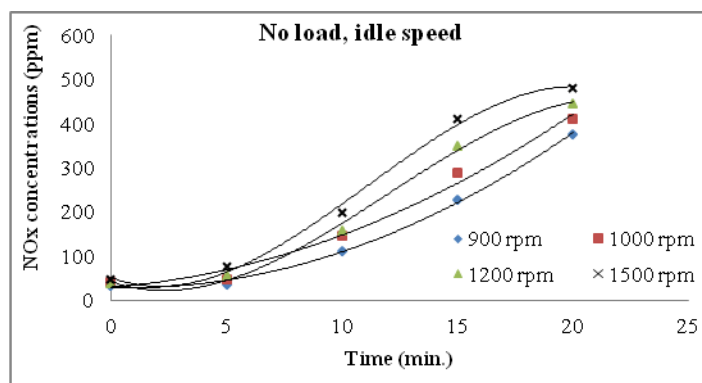
800 دورة/دقيقة ولغاية 10 دقائق من التشغيل ثم بدأت بالازدياد تدريجياً. أما عند سرعة محرك 1000 دورة/دقيقة فقد ازدادت تراكيز HC لغاية عمل المحرك بسرعة الحياض مدة عشر دقائق ثم بدأت بالانخفاض.



شكل (5). تأثير الزمن وسرعة حياض المحرك على ملوثات HC المنبعثة منه

أما عند سرعة محرك 1200 دورة/دقيقة فإن هذه التراكيز ازدادت طوال فترة التشغيل بسرعة الحياض المذكورة. كما ازدادت تراكيز HC عند العمل بسرعة حياض 1500 دورة/دقيقة لغاية 15 دقيقة تشغيل ثم بدأت بالارتفاع بمعدلات عالية. عند توقف المركبة وعدم وجود حمل مسلط على المحرك تبرد غرفة الاحتراق وتحصل عملية احتراق غير تام مسببة ازدياد تراكيز الهيدروكربونات غير المحترقة. ومع استمرار تشغيل المحرك على الحياض يصبح ساخناً مما يقلل تراكيز HC.

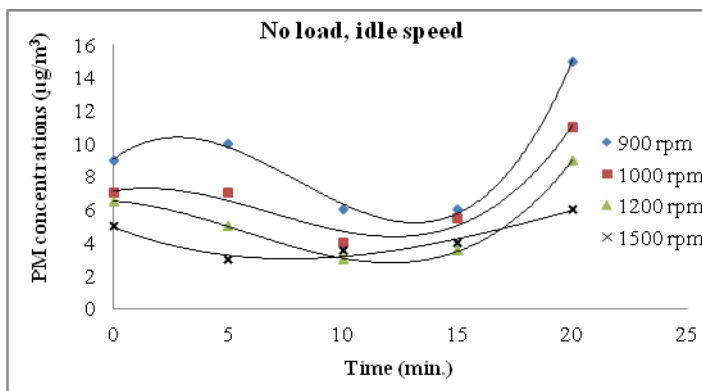
تتصرف تراكيز ملوث أكاسيد النيتروجين بشكل مغاير لملوثات CO و HC. إذ تزداد تراكيز NOx مع تقدم زمن الحياض كما يبين شكل 6، وتكون هذه التراكيز عند أدنى قيمها خلال عمل المحرك بسرعة حياض 800 دورة/دقيقة. إن زيادة سرعة دوران المحرك تعني زيادة درجة حرارة غرفة الاحتراق والتي ينتج عنها ازدياد تراكيز NOx. لقد كانت التراكيز المقاسة في هذه الدراسة أعلى من كل محددات التلوث المقبولة في تشريعات ايرود 3 و 4 و 5 (Euro 3, 4 & 5) او التشريعات الأمريكية تير 3 أو 4 (Tier 3 & 4).



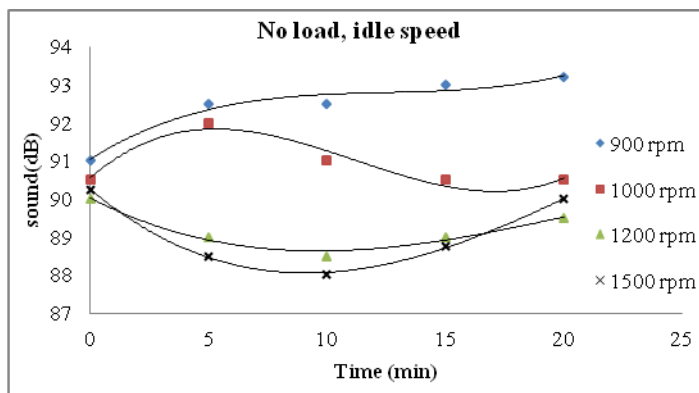
شكل (6). تأثير الزمن وسرعة حياض المحرك على تراكيز ملوثات NOx المنبعثة منه

إن الجزيئات الهبابية المنبعثة من محرك ديزل هي منخفضة للغاية، خصوصاً للطرازات الحديثة جداً. يوضح شكل 7 تأثير زمن الحياض وسرعته على تراكيز الجزيئات الهبابية. تزداد تراكيز PM عند سرع

منخفضة بسبب انخفاض درجة حرارة غرف الاحتراق عند هذه السرعة. تزداد درجة حرارة غرف الاحتراق بزيادة سرعة الحيايد مسببة نقصان تراكيز PM. وتزداد هذه التراكيز لزمن حيايد من 10 الى 20 دقيقة لكل سرعة الحيايد المختبرة في هذه الدراسة مبينه تدهور نوعية الاحتراق. كانت اعلى تراكيز PM المقاسة عند سرعة حيايد 800 دورة/دقيقة مما يعني خطورة تشغيل المحرك عند سرعة حيايد منخفضة كهذه السرعة. تزداد ضوضاء المحرك عند سرعة حيايد منخفضة وتقل للسرعة الاعلى كما يبين شكل 8، إذ يزداد اهتزاز المحرك عند السرعة المنخفضة مسببا ضوضاء أعلى مصاحبا بنقصان تزييت الاجزاء الدوارة. اما عند سرعة حيايد اعلى فإن اهتزاز كتله المحرك تقل ويزداد تزييت الاجزاء الدوارة فية.



شكل (7). تأثير الزمن وسرعة حيايد المحرك على تراكيز ملوثات PM المنبعثة منه



شكل (8). تأثير الزمن وسرعة حيايد المحرك على الضوضاء المنبعثة منه

#### الاستنتاجات

تم اختبار تأثير زمن الحيايد وسرعته على محرك ديزل متعدد الأسطوانات ذي حقن مباشر. بينت النتائج أن زيادة زمن الحيايد تسبب زيادة تراكيز ملوثات CO، HC، NO<sub>x</sub>، PM والضوضاء المنبعثة من المحرك، وتقلل تراكيز CO<sub>2</sub> في الوقت عينه. كما تحسن زيادة سرعة الحيايد من الاحتراق مسببة تراكيز أعلى من CO<sub>2</sub> ولكنها ايضا تزيد من درجة حرارة الاحتراق التي تسبب زيادة اكبر لتراكيز NO<sub>x</sub>.



## References

- [1] Downing, K. & Matthews, S. "Improving truck efficiency and reducing idling," submitted to: House Interim Committee on Environment and Water, October 1, 2010.
- [2] Khan, A.S., Clark, N.N., Thompson, G.J., Wayne, W.S., Gautam, M., Lyons, D.W. & Hawelti, D. "Idle emissions from heavy-duty diesel vehicles: review and recent Data," J. Air & Waste Manage. Assoc., 56, 1404-141, 2006.
- [3] National Academy of Sciences (NAS), "Technologies and approaches to reducing the fuel consumption of medium and heavy-duty vehicles," Washington D.C., The National Academies Press, 2010.
- [4] Denning, C. & Kustin, C. "The good haul: innovations that improve freight transportation and improve the environment," Environmental Defense Fund, New York, NY 2010.
- [5] Cooper, C., Kamakaté, F., Reinhart, T., Kromer, M. & Wilson, R. "Reducing heavy-duty long haul combination truck fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions," Northeast States Center for a Clean Air Future, October 2009.
- [6] Rocky Mountain Institute, "Transformational trucking initiative report," 2009.
- [7] McCormick, R.L., Graboski, M.S., Alleman, T.L., Yanowitz, J. "Idling emissions from heavy-duty diesel and natural gas vehicles at high altitude," J. Air & Waste Manage. Assoc., 50, 1992-1998, 2000.
- [8] Brodrick, C.J., Dwyer, H.A., Farshchi, M., Harris, D.B., King, F.G. "Effects of engine speed and accessory load on idling emissions from heavy-duty diesel truck engines," J. Air & Waste Manage. Assoc. 52, 1026-1031, 2002.
- [9] Chaichan, M.T. "Exhaust gas recirculation (EGR) and injection timing effect on emitted emissions at idle period," Al-Khwarizmi Engineering Journal, 10(4), 33-44, 2014.
- [10] Garshick, E., Laden, F., Hart, J. E., Rosner, B., Davis, M. E., Eisen, E. A., Smith, T. J. "Lung cancer and vehicle exhaust in trucking industry workers," Environmental Health Perspectives, 116, 1327-1332, 2008.
- [11] Miller, T.L., Fu, J., Storey, J. & Parks, J. "Diesel truck idling emissions: measurements at a PM<sub>2.5</sub> hot spot," Paper No. 07-2609 presented at the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC, 2007.
- [12] Doraiswamy, P., Davis, W.T., Miller, T.L., Fu, J.S., Lam, Y. "Measuring air pollution inside and outside of diesel truck cabs," Prepared for the U.S. Environmental Protection Agency by Department of Civil and Environmental Engineering, University of Tennessee, 2005.
- [13] Doraiswamy, P., Davis, W.T., Miller, T., Lam, N., Bubbosh, P. "Air quality measurements inside diesel truck cabs during long-term idling," Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Issue Number: 1987, 2006.
- [14] Gaines, L.L. & Hartman, C.B., "Energy use and emissions comparison of idling reduction options for heavy-duty diesel trucks," 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board Washington, D.C., Paper No. 09-3395, January 11-15, 2009.
- [15] Proc, K., Nitschke, B., Wagner, F., Anderson, M., Slezak, L. "Idle reduction technology demonstration plan," National Renewable Energy Laboratory Report No. NREL/TP-540-34872, September, 2003.