مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (6) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (6) 2016

إنشاء موديل رياضي لتحديد أكاسيد النتروجين المنبعثة من نواتج الاحتراق في محركات الاحتراق الداخلي

د. محمد صقر ديوب*

(تاريخ الإيداع 10 / 9 / 2016. قُبِل للنشر في 17/ 11 / 2016)

□ ملخّص □

تركز البحث على استنتاج نموذج رياضي لتحديد نسبة أكاسيد النتروجين المنبعثة عن محركات الاحتراق الداخلي استناداً إلى معادلات التفاعل الكيميائية المباشرة والعكسية للوقود التقليدي مع استخدام للعديد من معاملات التصحيح، بالإضافة إلى إمكانية تطوير هذا النموذج. اعتمد البحث على معرفة تغيرات تراكيز أكاسيد النتروجين NO_X الناتجة عن احتراق الوقود في محركات الاحتراق الداخلي التي تعمل على المازوت والبنزين، خلال زمن العمل، ومن ثم تحويل هذه العلاقة لحساب نسبة التراكيز وفقاً لزاوية دوران عمود المرفق في المحرك.

تم خلال البحث استنتاج العلاقة بين تراكيز أكاسيد الآزوت الموجودة في الملوثات الغازية وزاوية دوران عمود المرفق، أي: $R_{NO} = f(\varphi)$، من خلال إجراء تحليل رياضي للمعطيات عند نظام عمل محدد للمحرك، واستناداً لذلك تمّ بناء العلاقة بين درجة الحرارة وزاوية الدوران. $T = f(\varphi)$. تمّ مقارنة النتائج النظرية للموديل مع النتائج المعملية (المخبرية) الخاصة.

من أجل اختبار صلاحية ووثوقيه الموديل الرياضي تمت المقارنة مع المخطط الدليلي الفعلي لمحرك ديزل $D-3900$ عند زوايا دوران مختلفة لعمود المرفق. كانت القيم الناتجة عن النموذج الرياضي متقاربة مع قيم النتائج المخبرية، حيث لم تتجاوز نسبة الاختلاف بين القيم المخبرية وقيم النموذج الرياضي عن 6.5%.

الكلمات المفتاحية: التلوث –محرك احتراق داخلي – أكاسيد النتروجين – الموديل الرياضي.

---

* أستاذ مساعد – قسم هندسة الميكاترونيك – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية –جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (6) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (6) 2016

Create mathematical model to determine the Nitrogen Oxides released from the combustion products In Internal Combustion Engines

Dr. Mohammad Saker Dayoub*

(Received 10 / 9 / 2016. Accepted 17 / 11 / 2016)

☐ ABSTRACT ☐

The research focused on the conclusion of a mathematical model to determine the proportion of nitrogen oxides emitted from the internal combustion engine based on the equations of chemical interaction of direct and reverse the conventional fuel with the use of many of the correction coefficients, as well as the possibility of developing this model. Search to find out the concentration of nitrogen oxides NO changes resulting from the combustion of fuel in internal combustion engines that run on diesel fuel and gasoline adopted, during work time, and then transform this relationship to calculate the ratio of the concentrations according to the angle of rotation of the engine crankshaft.

During the search it was concluded the relationship between the concentration of nitrogen oxides in the gaseous pollutants and the angle of rotation of crankshaft, $R_{NO} = f(\varphi)$ through a mathematical analysis of the data at the specific work of the engine system, and it is based on the construction of the relationship between temperature and angle of rotation, $T = f(\varphi)$.

In order to test the validity and reliability of the model athlete it was compared with the actual hand-made diesel engine planned $D-3900$ at different angles of rotation of the shaft attachment. The resulting model sports convergent values with the values of laboratory results, which did not exceed the difference between the laboratory values and the values of the mathematical model for 6.5% .

Key words: Pollution, Internal Combustion Engine, Nitrogen Oxides, mathematical model

***Associate Professor, Mechatronics Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

تعدّ العمليات الفيزيائية – الكيميائية التي تحدث أثناء عملية الاحتراق في محركات الاحتراق الداخلي الأساس التي يتمّ بموجبها تشكل نواتج الاحتراق في محركات الاحتراق الداخلي البنزينية والديزليية على حدّ سواء.

إنّ انشاء الموديل الرياضي لتحديد تراكيز نواتج الاحتراق أمراً في غاية الصعوبة وذلك بسبب العدد الهائل من التفاعلات الكيميائية التي تجري خلال عملية الاحتراق، والتي تتم بسرعات مختلفة. وهذا يتطلّب حل عدد كبير من المعادلات التفاضلية ذات الحدود الكثيرة.

إنّ المعادلات الرياضية المقترحة في العمليات الترموديناميكية والهيدروديناميكية التي تتمّ في حجرة الاحتراق مرتبطة بشكل شرارة الاحتراق، التبادلات الحرارية وبشكل مباشر وأساسي بتغير التركيب الكيميائي للغازات. وبالتالي فإنّ المعادلات الناظمة والتي توصف تشكل نواتج الاحتراق هي معادلات معقّدة وصعبة وغير محدّدة.

كلّ ذلك، يحتّم استخدام موديلات رياضية محددة لهذه العمليات مرتبطة بوضع غازات الاحتراق من جهة، وبالتوازن الكيميائي لمنتجات الاحتراق من جهة أخرى.

أجرت منظمة الصحة العالمية العديد من الأبحاث في مجال التلوث، وخلصت من ضمن نتائجها إلى أنّ ثاني أوكسيد النتروجين NO_2 هو ناتج بشكل أساسي عن عمليات حرق الوقود [1].

إنّ أهم الملوثات الموجودة في غازات الاحتراق للنوعين الأساسيين من المحركات: البنزينية والديزلية، هي أول أوكسيد الكربون CO، الهيدروكربونات CH، أكاسيد النتروجين NO_X والكربون الحر C.

خلافاً لتشكل أول أوكسيد الكربون، فإنّ ميكانيزم تشكل أكاسيد النتروجين (عند النوعين الأساسيين من المحركات البنزينية والديزلية)، وتشكل الكربون الحر (السناج) هو من الأمور الأكثر تعقيداً.

يمكن بناء وإنشاء الموديل الرياضي الناظم والواصف لتشكل أكاسيد النتروجين NO_X والكربون الحر C، ابتداءً من تصميم محرك الاحتراق الداخلي، وبالتالي يمكن استناداً لهذا الموديل دراسة تأثير مختلف العوامل التصميمية للمحرك على تشكل ونسب أكاسيد النتروجين NO_X والكربون الحر C .

كلمة النيتروجين أصلها اغريقي: من الكلمتين الإغريقيتين "Nitron Genes" وتعنيان مكون النيتر "Nitre Forming" ، ومن الكلمة اللاتينية "Nitrum"، والنيتر اسم شائع لنيترات البوتاسيوم.

ويسمى النيتروجين أحياناً آزوت وهي كلمة إغريقية تعني خالٍ من الحياة .

لقد أثبتت الدراسات ومنها دراسة أجريت لتقييم نوعية هواء مدينة الرياض السعودية أن وسائط النقل تشكل حوالي 70% من مجموع مصادر الانبعاثات الملوثة للهواء في المدينة [2]. وتنتج عادة الملوثات الغازية إمّا كنتيجة للاحتراق أو الاحتراق غير الكامل، أو نتيجة لإضافة مواد أخرى كالرصاص. وتختلف الانبعاثات الصادرة من وسائط النقل باختلاف الوقود المستخدم ونوع وعمر المحرك وظروف التشغيل وغيرها من العوامل.

كما أثبتت دراسة أخرى إلى أنّ زيادة سرعة المحرك ضمن المستويات المدروسة ستترافق مع تغيرات ملحوظة في مؤشرات الأداء المختلفة وأهمها زيادة القدرة المنتجة حتى الوصول إلى السرعة القياسية للمحرك، ثم تبدأ بعدها هذه المؤشرات بالتراجع بصورة كبيرة. وأدت زيادة سرعة المحرك إلى زيادة ملموسة في انبعاث كل من أول اوكسيد الكربون والسناج (المواد الصلبة)، في حين انخفضت نسبة انبعاثات غازات ثاني أوكسيد الكربون وأكاسيد النتروجين [3].

تمّ في معهد هندسة الآليات في جامعة شنغهاي بجمهورية الصين الشعبية بناء موديل رياضي استناداً لبرنامج AVL-Fire v2014 وطبق على محرك ديزل أحادي الاسطوانة، واستخدم البرنامج في دراسة وتجريب عدّة طرق

لتحديد نسب تراكيز أكاسيد النتروجين NO_X، وثاني أوكسيد الكربون CO_2 في نواتج الاحتراق في محركات الديزل وإمكانية التقليل منها [4].

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى انشاء نموذج رياضي قابل للتطوير لتحديد نسب أكاسيد النتروجين الصادرة عن محركات الاحتراق الداخلي استناداً إلى معادلات التفاعل الكيميائية المباشرة والعكسية مع استخدام للعديد من معاملات التصحيح. ويعرض البحث نتائج الموديل الرياضي على نوع أساسي من محركات الاحتراق الداخلي، وهي المحركات العاملة على الديزل.

طرائق البحث ومواده:

إنّ طريقة البحث ومواده تعتمد على معرفة تغيرات تراكيز أكاسيد النتروجين NO الناتجة عن احتراق الوقود في محركات الاحتراق الداخلي الديزلية والبنزينية، وذلك مع مرور الزمن ومن ثم تحويل هذه العلاقة لاستنتاج نسبة التراكيز وفقاً لزاوية دوران عمود المرفق في المحرك.

يتم عادةً تحديد نسب الانبعاثات لكل كيلومتر للكربونات الهيدروجينية وأول أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين – موضوع دراستنا – من نماذج التلوث للمصادر المتحركة والتي طورت من قبل الوكالة الأمريكية لحماية البيئة عام 1991 (US Environmental Protection Agency)، ويتكون هذا النموذج من جداول متعددة لنسب انبعاثات أساسية طورت عن طريق تشغيل سيارات في إطار محدد لدى الوكالة، بالإضافة إلى معاملات تصحيح تأخذ في الاعتبار تأثير الاختلافات في الطقس ومتوسط السرعة واستخدام المكيفات وغيرها على نسب الانبعاثات. مع التنويه أنّه نظراً لكثرة العوامل المؤثرة على الانبعاثات لكل سيارة ولكل منطقة دراسة، وصعوبة قياس الانبعاثات تحت ظروف تشغيل واقعية لعدد كبير من السيارات، يبقى هناك نسبة شك حول دقة تقديرات الانبعاثات الناتجة عن استخدام مثل النماذج [2] .

النتائج والمناقشة:

تتكون أكاسيد النتروجين عند اتحاد غاز النتروجين بالأكسجين، وهى توجد على عدة أشكال أهمها: أوكسيد النتروجين NO ، وثاني أوكسيد النتروجين NO_2 . وتحتوى أغلب أنواع الوقود على نسبة ضئيلة من المركبات العضوية المحتوية على النتروجين. وتشترك أكاسيد النتروجين مع غاز ثاني أوكسيد الكبريت في تكوين الأمطار الحامضية.

تعدّ أكاسيد النتروجين NO_X من المواد الملوثة والتي تتشكل أثناء الاحتراق الكامل للوقود الاحفوري، وهي من ناحية السميّة حوالي 10 مرّات أكثر سميّة من أول أوكسيد الكربون CO ، ولذلك تعتبر المسألة المتعلقة بتقليل نسب تراكيز أكاسيد النتروجين مسألة هامة جداً وحيوية، إلاّ أنّها تعدّ من المسائل الصعبة في نفس الوقت [5].

1. نظرية تشكل أكاسيد النتروجين والمعادلات الكيميائية الناظمة:

إن المعادلة الكيميائية المعبرة عن تشكل أكاسيد النيتروجين هي [6] :

$$NOx \Rightarrow NO + NO_2 \qquad (1)$$

لقد أثبتت دراسات أن استخدام تقنية إضافة الأوكسجين، أو ما يعرف بأكسدة غازات الاحتراق لن تساهم في خفض نسب تراكيز أكاسيد النتروجين الخارجة من عوادم محركات الاحتراق الداخلي إلى الوسط الخارجي [7].

تخضع نظرية تشكل أكاسيد النتروجين NO أثناء مرحلة الاحتراق انطلاقاً من الآزوت N_2 والأوكسجين O_2 الموجود في الهواء الجوي للاعتبارات الترموديناميكية الأساسية التالية [8]:

تتم عملية أكسدة الآزوت N_2 خلف لهب الاحتراق، أي في منطقة تشكل نواتج الاحتراق، حيث يتشكل داخل اسطوانات المحرك فقط أكاسيد النتروجين NO_X .

يتم تحديد كمية ونسب أكاسيد النتروجين NO استناداً إلى سرعة ازدياد الضغط في اسطوانة المحرك (تغير الضغط في الاسطوانة $dp/d\varphi$)، ودرجة الحرارة العظمى T_{max}، وبدون التطرق إلى الخصائص الفيزيائية والكيميائية للوقود.

تتم عملية أكسدة النتروجين وفقاً للمعادلات التالية:

$$N_2 + O \underset{K_{1r}}{\overset{K_{1d}}{\Leftrightarrow}} NO + N$$

$$N + O_2 \underset{K_{2r}}{\overset{K_{2d}}{\Leftrightarrow}} NO + O \qquad (2)$$

$$N_2 + O_2 \underset{K_{3r}}{\overset{K_{3d}}{\Leftrightarrow}} 2NO$$

حيث:

K_{1d} ، K_{2d} ، K_{3d} : ثوابت سرعة التفاعل في معادلات التفاعل المباشرة.

K_{1r} ، K_{2r} ، K_{3r} : ثوابت سرعة التفاعل في معادلات التفاعل العكسية.

يتمّ تحديد تراكيز ذرة الأوكسجين (في حالة الذرة Oأو في حالة الجزيء O_2)، والآزوت N_2 في المنطقة الواقعة خلف لهب الاشتعال من خلال شروط معادلة توازن تراكيب ملوثات نواتج الاحتراق عند الشروط الترموديناميكية المطابقة لما هو موجود في غرفة الاحتراق (درجة الحرارة T، والضغط p و معامل فائض الهواء α).

تمّ نشر في العديد من المراجع العلمية معادلات لحساب ثوابت سرعة التفاعل المباشرة (K_{1d} ، K_{2d} ، K_{3d}) وثوابت سرعة التفاعل العكسية (K_{1r} ، K_{2r} ، K_{3r}) والتي تمّ تحديدها تجريبياً من أجل خليط (النتروجين+الأوكسجين) وذلك بوحدات متعددة ومختلفة، حيث أعطيت $K_1[cm^3/kmol..K]$ ، أو $K_1'\ [1/.s]$. حيث تعطى العلاقة بينهما كما يلي:

$$K_i = K_i'\ .10^6.R_M.T/p \qquad (3)$$

إنّ أفضل وأدق المعادلات التي يمكن الاعتماد عليها في بناء الموديل الرياضي، ومن أجل الشروط التي تجري في محركات الاحتراق الداخلي الديزلية والبنزينية المكبسية هي المعادلات المحددة لقيم ثوابت سرعة التفاعل المباشرة والعكسية بواحدة $[cm^3/kmol.s]$:

$$K_{1d} = 1.36\times10^{14}.\exp\left[-315700/(R_M.T)\right]$$

$$K_{2d} = 1.33\times10^{10}.T.\exp\left[-29600/(R_M.T)\right] \qquad (4)$$

$$K_{3d} = 9.10 \times 10^{24}.T^{-5/2}.\exp\left[-538000/(R_M.T)\right]$$

$$K_{1r} = 3.12 \times 10^{13}.\exp\left[-1670/(R_M.T)\right]$$
$$K_{2r} = 3.20 \times 10^{9}.T.\exp\left[-163700/(R_M.T)\right] \quad (5)$$
$$K_{3r} = 4.80 \times 10^{23}.T^{-5/2}.\exp\left[-358000/(R_M.T)\right]$$

هناك ارتباط وثيق لقيم ثوابت سرعة التفاعل العكسية والمباشرة مع بعضها البعض، وهذا يعني أنّه بالإمكان اختيار هذه الثوابت بشكل مستقل.

إنّ العلاقة المعبّرة عن ثابت التوازن K_i تعطى بالشكل التالي:

$$K_i = K_{id} / K_{ir} \quad (6)$$

من الضروري عند إجراء الدراسة التحليلية لتشكل الملوثات الغازية في محركات الاحتراق الداخلي المكبسية معرفة الحجم العامل، أي نسب التراكيز (p_i) للغازات الستة التالية:

- غاز الآزوت أو النتروجين: N_2
- غاز الأوكسجين: O_2
- الأوكسجين الحر (الوحيد الذرة): O
- غاز ثاني أوكسيد الكربون: CO_2
- غاز الهيدروجين: H_2
- غاز أول أوكسيد الآزوت: NO

يمكن أن يتمّ تحديد نسب تراكيز هذه الغازات من خلال حلّ منظومة مؤلفة من عدد كبير من المعادلات الرياضّية.

لابدّ من حلّ المعادلات الرياضية الخاصة بتحديد تراكيز الغازات الست السابقة في شروط $T = f(\varphi)$ و $p = f(\varphi)$ وذلك من أجل كل زاوية من زوايا دوران عمود المرفق. إلاّ أنّ ذلك يعتبر من المسائل الصعبة جداً حتى باستخدام برامج حاسوبية متطورة.

من أجل تبسيط المسائل المتعلقة بحساب تراكيز الملوثات الغازية، يمكن أن يتمّ استخدام معادلات معروفة تمّ استنتاجها من خلال التجارب المخبرية التي أجريت على محركات الاحتراق الداخلي المكبسية عند استخدام وقود هيدروكربوني (احفوري)، وذلك استناداً للبارامترات الثلاث الرئيسة التالية:

- $p[Mpa]$ – الضغط في غرفة الاحتراق.
- $T[K]$ – درجة حرارة الغازات.
- α – معامل فائض الهواء.

2. معادلات الموديل الرياضي:

يتمّ تحديد المعادلات الناظمة لتراكيز الآزوت R_{N2} ، والأوكسجين R_{O2} من الدرجة الثانية وفقاً لما يلي:

من أجل محركات الاحتراق الداخلي العاملة بالشرارة (محركات البنزين المكبسية):

$\alpha = (0.75 \div 1)$ ، $p = (0.5 \div 6)\,Mpa$ ، $T = (2000 \div 3000)\,K$

$$R_{N2} = (707152 - 9863.T + 16280\alpha + 5414.p - 2760.T^2 - \\ - 4145.\alpha^2 - 3023.p^2 - 2744.T.\alpha + 3632.T.p + 1027\alpha.p).10^{-6} \quad .ppm; \qquad (7)$$

$$R_{O2} = (2711 + 3786.T + 4561.\alpha - 2477.p + 898.T^2 + \\ + 1962.\alpha^2 + 1332.p^2 + 1820.T.\alpha - 1329.T.p - 1005\alpha.p).10^{-6} \quad .ppm; \qquad (8)$$

من أجل محركات الاحتراق الداخلي العاملة بالانضغاط (محركات الديزل المكبسية):

$\alpha = (1 \div 3)$ ، $p = (0.5 \div 10)\,Mpa$ ، $T = (2000 \div 3000)\,K$

$$R_{N2} = (735979 - 15161.T + 6680\alpha + 4263.p - 7743.T^2 - \\ - 1989.\alpha^2 - 1920.p^2 - 1299.T.\alpha + 4605.T.p - 491\alpha.p).10^{-6} \quad .ppm; \qquad (9)$$

$$(10) \quad R_{O2} = (23414 + 3675.T + 17455.\alpha - 1862.p + 2919.T^2 - \\ - 744.\alpha^2 + 679.p^2 - 4205.T.\alpha - 1862.T.p + 540\alpha.p).10^{-6} \quad .ppm;$$

يمكن تحديد تراكيز جزيء الأوكسجين في منطقة تشكل نواتج الاحتراق بنفس الطريقة السابقة أيضاً. إلاّ أنّه من غير المفضّل تحديدها من خلال المعادلات وخاصة في شروط: $T = (2000 \div 3000)\,K$، $p = (0.5 \div 10)\,Mpa$ ، $\alpha = (0.8 \div 2)$ وذلك لأنّها لا تعطي النتائج المرغوبة بدقّة.

استناداً إلى القبول بأنّ تراكيز ذرات الأوكسجين الحر (O) يتمّ تحديدها من خلال شروط التوازن فقط لجزيئات الأوكسجين (O_2) ، أي:

$$R_O = K_0 \sqrt{R_{O2}} \qquad (ppm) \qquad (11)$$

يمكن استخدام المعادلات التالية لتحديد تراكيز الأوكسجين O_2 الموجودة في نواتج الاحتراق:

$$R_O = 10^5.K_0 \left(R_M.10^6.T / p\right)^{0.5}.\sqrt{R_{O2}}; \quad ppm \qquad (12)$$

إذ إنّ:

K_0 – ثابت التوازن لسرعة التفاعل:

$$K_0 = 4.1\exp\left[-224100/(R_M.T)\right]$$

R_{O2} – التراكيز المعادلة لذرات الأوكسجين في منطقة منتجات الاحتراق %.

$p[pa]$ – ضغط الغازات في المنطقة الواقعة فوق المكبس.

$T[K]$ – درجة حرارة الغازات في المنطقة الواقعة فوق المكبس.

استناداً إلى المعادلة (1) التي توضح معادلة تفاعل النتروجين مع الأوكسجين، وإلى معادلة انحفاظ الكتلة، والمعادلة المعبّرة عن سرعة تغيرات تراكيز غاز الآزوت أو النتروجين N_2 ، غاز الأوكسجين O_2 ، الأوكسجين الحر (الوحيد الذرة) O ، غاز ثاني أوكسيد الكربون CO ، غاز الهيدروجين H_2 وغاز أول أوكسيد الآزوت NO ، يمكن استنتاج المعادلات التالية التي تساعد في حساب تراكيز أكاسيد الآزوت R_{NO} الموجودة في نواتج الاحتراق:

(13)

$$\frac{dR_{NO}}{d\tau} = K'_{1d}.R_O.R_{N2} + K'_{2d}.R_N.R_{O2} + K'_{3d}.R_{O2}.R_{N2} - K'_{1r}.R_{NO}.R_N - K'_{2r}.R_{NO}.R_O - K'_{3r}.R_{NO}^2$$

حيث يعطى ثابت سرعة التفاعل K'_i بواحدة $[1/s]$.

بمعالجة المعادلة (13) نحصل على الشكل الآتي:

(14)

$$\frac{dR_{NO}}{d\varphi} = \frac{p.R_{N2}}{249{,}4.n.T}\left(1 - \frac{R_{NO}^2}{K_4.R_{O2}.R_{N2}}\right)\left\{\frac{K_{1d}.R_O}{1 + \frac{K_{1r}.R_{NO}}{K_{2d}.R_{O2}}} + \frac{K_{3d}.R_{O2}}{2}\right\}.ppm/\varphi^0$$

حيث:

R_{N2} ، R_O ، R_{O2} – التراكيز المعادّلة للآزوت N_2 ، الأوكسجين الحر O ، ولجزيء الأوكسجين O_2 الموجودة في نواتج الاحتراق والمقدّرة بـ $[ppm]$.

K_{1d} ، K_{2d} ، K_{3d} – ثوابت سرعة التفاعلات المباشرة والمقدّرة بـ $[cm^3/kmol..K]$.

K_{1r} ، K_{2r} ، K_{3r} – ثوابت سرعة التفاعلات العكسية والمقدّرة بـ $[cm^3/kmol..K]$.

K_4 – الثوابت الموازنة للتفاعلات الأخيرة من المعادلة (1) ومقدّرة بـ $[cm^3/kmol..K]$.

يتمّ تحديد تراكيز أكاسيد الآزوت الموجودة في نواتج الاحتراق وبشكل نهائي بوساطة المعادلة الآتية:

$$R_{NO} = (R_{NO})_{i-1} + (dR_{NO}/d\varphi).\,ppm; \qquad \textbf{(15)}$$

إنّ المعادلة (14) هي معادلة تفاضلية عادية. وعند القيام بحلّها يمكن استخدامها كجزء أساسي من الموديل الرياضي المقترح، وذلك عند شروط محددة. بعد القيام بعمليات عديدة ومعالجة المعطيات المذكورة سابقاً والمعبّرة عن معادلات الموديل الرياضي. إنّ نستطيع انشاء البرنامج الحاسوبي الخاص بحلّ هذه المعادلات ورسم المخططات تمّ بمساعدة برنامج الماتلاب (Mathlab) و Excel.

إنّ المعالجة الحسابية لمعادلات الموديل الرياضي الخاصة بتشكل أكاسيد الآزوت NO المنطلقة مع غازات العادم في محركات الاحتراق الداخلي ستقود لتحديد تراكيز أكاسيد الآزوت R_{NO} الموجودة في الملوثات الغازية تبعاً

لزاوية دوران عمود المرفق φ، أي: $R_{NO} = f(\varphi)$ وذلك عند الاختبارات المعملية، وأيضاً في مراحل تصميم المحرك.

استناداً إلى البرنامج المتعلق بالموديل الرياضي المقترح يمكن حلّ مسألتين أساسيتين، هما:

1) تحديد العلاقة بين تراكيز أكاسيد الآزوت الموجودة في الملوثات الغازية وزاوية دوران عمود المرفق، أي: $R_{NO} = f(\varphi)$، وذلك استناداً للمعالجة الحسابية للمعطيات عند نظام عمل محدد للمحرك، والعلاقة بين الضغط وزاوية الدوران $p = f(\varphi)$. واستناداً لذلك يتمّ بناء العلاقة بين درجة الحرارة وزاوية الدوران $T = f(\varphi)$.

2) إنشاء العلاقة بين تراكيز أكاسيد الآزوت الموجودة في الملوثات الغازية وزاوية دوران عمود المرفق، أي: $R_{NO} = f(\varphi)$، وذلك بعد تحديد العلاقة بين الضغط وزاوية الدوران $p = f(\varphi)$، ودرجة الحرارة وزاوية الدوران $T = f(\varphi)$ عند نظام عمل مختار لمحرك الاحتراق الداخلي مصمم حديثاً، وأمثلة أطوار فتح وإغلاق الصمامات، زاوية تسبيق الاشتعال أو زاوية الحقن، قانون التبادل الحراري وقانون حقن الوقود في محركات الاحتراق الداخلي الديزلية.

إنّ حلّ مسائل من الطراز الأول سوف يقود إلى: أولاً إمكانية تحديد دقيق لقيم الثوابت الداخلة في معادلات الموديل الرياضي، وثانياً اختبار لدرجة وثوقيته وملاءمته لشروط عمل محركات الاحتراق الداخلي، ومدى صلاحيته لتحديد تراكيز أكاسيد الآزوت الموجودة في الملوثات الغازية الناتجة عن عمل محركات الاحتراق الداخلي.

يجب التنويه، أنّه مهما حاولنا أن ندخل إلى الموديل الرياضي ثوابت جديدة بهدف الوصول إلى الكمال في بنائه، إلاّ أننا لن نستطيع من خلاله تحديد تأثير جميع العوامل على العمليات التي تجري في المحرك، وخاصة عند تشكّل وانطلاق هذه العمليات بسرعة كبيرة، وعند أتمتة العمليات التي تجري في محركات الاحتراق الداخلي ليس من الممكن أن نلحظ دقّة تأثير عدد من العوامل على سير العمل في المحرك، حيث يتعلق ذلك بشكل كبير بعمليات تشكل المزيج، وعملية الاحتراق وتشكل نواتج الاحتراق في المحركات.

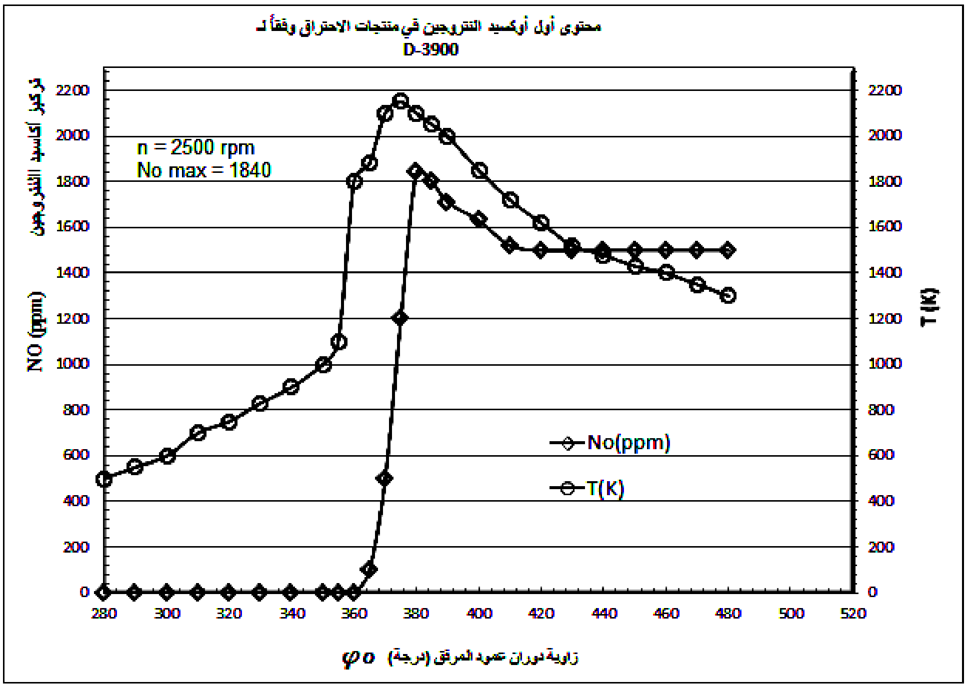
إذا كانت المعلومات المتعلقة بقيم ضغط p، ودرجة حرارة الجسم العامل T في حجرة الاحتراق صحيحة وموثوقة (أي أنّه تمّ حسابها أو قياسها بوثوقية هندسية عالية)، فإنّ الموديل الرياضي المقترح والخاص بتحديد تراكيز أكاسيد النتروجين في الملوثات $R_{NO} = f(\varphi)$، سوف يقدّم نتائج على درجة جيدة من الوثوقية للعلاقة $R_{NO} = f(\varphi)$، ولكن من ناحية العلاقة الكمية فإنّ الأمر سيكون أكثر تعقيداً وأقل دقّة.

من الضروري أن تكون النتائج الحسابية لقيم تراكيز أكاسيد النتروجين $R_{NO} = f(\varphi)$ في الملوثات الغازية الناتجة عن محركات الاحتراق الداخلي قريبة جداً من النتائج المقاسة لهذه القيم، وهذا يتمّ من خلال تدقيق قيم الثوابت في الموديل الرياضي استناداً إلى معطيات أساسية ناتجة عن مخططات دليلية حقيقية وقيم حسابية لتراكيز أكاسيد النتروجين في الملوثات الغازية لمحركات الاحتراق الداخلي من أجل قوانين محددة لتشكل الخليط وعملية الاحتراق.

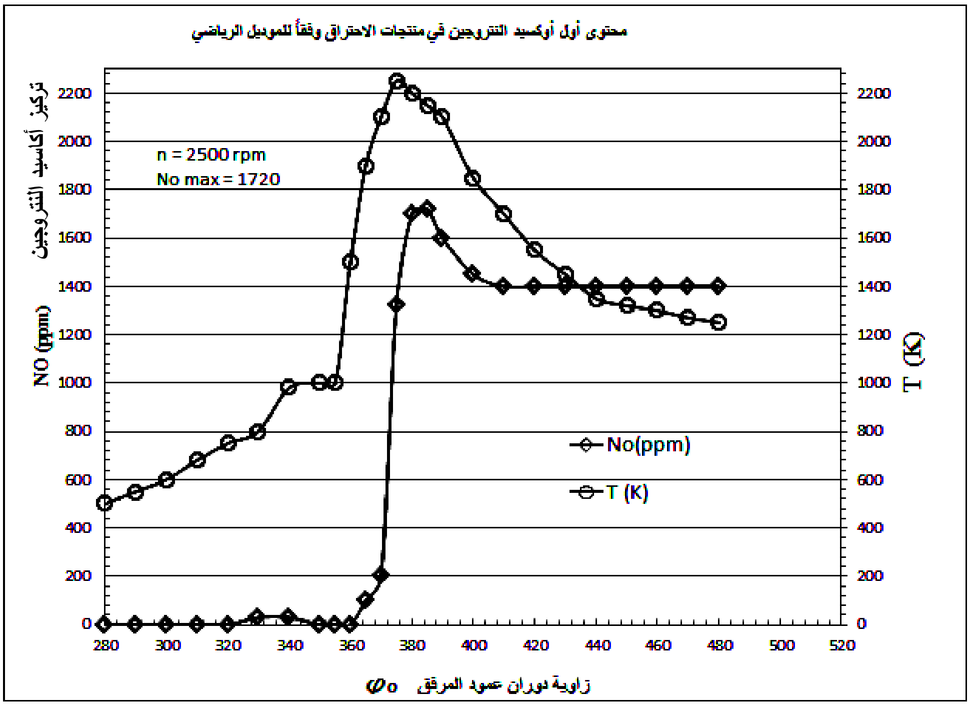
من أجل اختبار صلاحية الموديل الرياضي وتحديد درجة الوثوقية الخاص بتحديد تراكيز أكاسيد النيتروجين، فإنّه لابدّ من حلّ المعادلات الرياضية المتعلقة بالمسائل الواجب حلّها من الدرجة الأعلى.

سوف يتم الارتكاز عند اختبار الموديل الرياضي على المخطط الدليلي الفعلي لمحرك ديزل $D-3900$ عند زوايا دوران مختلفة لعمود المرفق، والذي تمّ من خلاله تحديد درجة حرارة الغازات T، وتغير هذه الدرجة وفقاً لزاوية الدوران $dT/d\varphi$. حيث تمّ قياس تراكيز أكاسيد النتروجين في غازات العادم R_{NO} وذلك عند عدد دورات لعمود المرفق $n = 2500[rpm]$ وكانت القيمة العليا لتراكيز أكاسيد النتروجين ضمن الشروط المخبرية $R_{NO} = 1840\ ppm$، أما كقيمة وسطية فكانت $R_{NO} = 1386\ ppm$.

بالنسبة للموديل الرياضي: كانت القيمة العليا لتراكيز أكاسيد النتروجين في غازات العادم R_{NO} وذلك عند شروط مماثلة للمحرك $D-3900$ هي $R_{NO} = 1720\ ppm$ ، أما كقيمة وسطية فكانت $R_{NO} = 1286\ ppm$.



الشكل (1): تغير درجة الحرارة تبعاً لزاوية دوران عمود المرفق $T = f(\varphi)$ ، وتراكيز أكاسيد النتروجين R_{NO} في غازات العادم مع تغير زاوية دوران عمود المرفق φ . (استناداً إلى معطيات المحرك الأصلي D-3900).



الشكل (2): تغير درجة الحرارة تبعاً لزاوية دوران عمود المرفق $T = f(\varphi)$، وتراكيز أكاسيد النتروجين R_{NO} في غازات العادم مع تغير زاوية دوران عمود المرفق φ. (استناداً إلى الموديل الرياضي).

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1. تمّ انشاء موديل رياضي لتحديد نسب تراكيز أكاسيد النتروجين الناتجة عن محركات الاحتراق الداخلي مستند على المعادلات الكيميائية المباشرة والعكسية لاحتراق الوقود، يساعد على إعطاء تصور واضح وموثوق لنسب هذه التراكيز في الملوثات الغازية.

2. كانت أعلى نسبة لتراكيز أكاسيد النتروجين عند قيم مضبوطة للثوابت الداخلة في معادلات الموديل الرياضي $R_{NO} = 1720\ ppm$ من الشكل (2) وذلك عند النظام الاسمي.

3. إنّ القيم الناتجة عن الموديل الرياضي لتراكيز أكاسيد النتروجين متقاربة مع قيم النتائج المخبرية، حيث لا تتجاوز نسبة الاختلاف بين القيم المخبرية وقيم الموديل الرياضي عن 6.5% .

4. إنّ وضع موديل رياضي لتشكل أكاسيد النتروجين في غازات العادم سيسمح بإنشاء برنامج حاسوبي متطور، يمكن من خلاله تحديد ديناميكية تشكل أكاسيد النتروجين في محركات الاحتراق الداخلي البنزينية والديزلية على حدًّ سواء، ولكن ذلك سيحتاج إلى عدد كبير من المعطيات الناتجة عن اختبارات معملية متعددة ومكلفة.

التوصيات:

من أجل المساهمة في الحدّ من تلوث الهواء الناتج عن وسائط النقل نوصي بما يلي:

1. تطوير الموديل الرياضي المقترح ليشتمل على تحديد تراكيز عدد أكبر من الملوثات الغازية الناتجة عن احتراق الوقود التقليدي في محركات الاحتراق الداخلي.

2. إنشاء برنامج إدارة ومراقبة لنوعية الهواء ليتم متابعة ورصد التغيرات التي تطرأ عليها، واتخاذ الإجراءات المناسبة بشأنها.

3. توصيف وتطبيق برنامج متكامل يشمل عدداً من الإجراءات التقنية بالإضافة إلى إجراءات مرورية. ويمكن تطبيق هذا البرنامج حسب برنامج زمني محدد وذلك بالتنسيق مع الجهات ذات العلاقة مثل وزارة المواصلات وإدارة المرور وشركة النقل العام الداخلي.

4. تطوير وإعادة النظر في برنامج الفحص الدوري للسيارات بحيث يكون اختبار مستوى العادم شرط أساسي لاجتياز السيارات للفحص الدوري وذلك بعد وضع معايير محلية لنسب غازات التلوث المسموح بها.

المراجع:

1. *Air quality Guidelines for Europe*. Bone 2005.

2. السنهوري، ابراهيم ; النشمي، محمد . *نوعية الهواء في مدينة الرياض وتقويم بدائل تقليل الانبعاثات من وسائط النقل*. مؤتمر التنمية وتأثيرها على البيئة، الرياض-المملكة العربية السعودية20-1418/5/22هـ.

3. ALMOSAWI, A. A. ; AYAD, J. ALKHAFA**.** *MF 285 S tractor engine performance map at deferent engine speeds and cooling system types*. Kufa, V.2, No. 2, October 2010, 1-12.

4. *Numerical Simulation of Emission characteristics for Single – Cylinder Diesel Engine*. Energy and Power Engineering. Changhai University-China 2016, 8, 92-98.

5. ДИМИТРОВ, П. И. *Теоретично определяне на концентрацията на азотен окис в продуктите на горене образуващ се в цилиндъра на ДВГ.* научна международна конференция MOTAUTO 95. София-българия; октомври 1995.

6. GEORGE, K.; JENE, B. *Modeling compliance with NO_2 and PM10 air quality limit values in the Ganis model*. report (ENV.C.3/SER/2011/0009) of DG-Environment of the European Commissions.

7. BASKAR, P.; NANTHAGOPAL, K.; ELANGO, T. *The effect of two oxygenates on Diesel Engine Emissions.* ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol 6 , No.3, MARCH 2011

8. ДИМИТРОВ, П. И.; КАЛАЙДЖИЕВ, х. г. *Аналитично иследване влиянието на някои фактори върху димността на отработилите газове на дизелов ДВГ.* научна международна конференция MOTAUTO 97. Русе - българия; октомври 1997.