إضافة المواد الكحولية إلى الوقود وأثرها على انبعاثات محركات المركبات

جمال صالح ياسين

قسم المياه والبيئة، كلية الهندسة، جامعة مصراته. jsyassin59@yahoo.com

الملخص

يعد التلوث البيئي الناجم عن انبعاثات محركات الاحتراق الداخلي بكافة أنواعها واستخداماتها في النقل والمواصلات وغيرها من أخطر الملوثات التي باتت تهدد حياة الإنسان في كل مكان، حيث أنها في تزايد متواصل رغم التقدم الهائل في صناعة المحركات لرفع أداءها والتقليل من مشاكل الاحتراق فيها والتي تساهم بشكل فعال في الانبعاثات الملوثة. وأحد الوسائل لتقليل هذه الانبعاثات هو استخدام أنواع من الوقود يصدر عنها خلال احتراقها نسب أقل من الغازات الملوثة للبيئة، مثل أكاسيد الكربون المتمثلة في ثاني أكسيد الكربون *(CO_2)* وأول أكسيد الكربون *(CO)*، بالإضافة إلى أكاسيد النيتروجين مثل *(NO)* ، لذا فإن هذا البحث يدرس تأثير إضافة نسب معينة من المواد الكحولية مثل الميثانول والإيثانول إلى الوقود المعروف بالبنزين على كميات الغازات المنبعثة من محركات السيارات. هذه الدراسة تمت بشكل نظري من خلال وضع نموذج رياضي لتفاعلات الاحتراق لخليط من الوقود والمواد الكحولية، وذلك لإيجاد كميات انبعاثات الاحتراق عند ظروف فيزيائية وتشغيلية وبيئية مختلفة، مثل نوع الوقود، ونسبة الخلط، ودرجة حرارة اللهب، والرطوبة وضغط الاحتراق. نظرا لأن العلاقات الرياضية التي تحكم هذه التفاعلات هي معقدة نوعا ما لذا تم انشاء برنامج حاسوب بلغة البيسك المرئي، وعلى شكل منظومة تساعد على الحصول على المخرجات عند مدخلات مختلفة. من خلال النتائج التي تم رصدها وتمثيلها على شكل منحنيات تبين أن لنسب المواد الكحولية المضافة إلى الوقود تأثير كبير على كميات العناصر الملوثة وعلى مؤشر الانبعاثات والذي يقل عند زيادة هذه النسب .

الكلمات الدلالية: الانبعاثات، الوقود، المواد الكحولية .

1. مصادر تلوث الهواء

يعد التلوث مشكلة العصر الحديث وقد تفاقمت مشاكل التلوث في معظم مناطق العالم، حيث أصبح هذا الموضوع مؤرق للجميع على مستوى الأفراد والمنظمات والهيئات والدول، وبالتالي أصبحت المؤتمرات والندوات تعقد بين الفينة والأخرى لمناقشة تبعات مشاكل التلوث وكيفية الحد منها ومن أثارها التي باتت تهدد كل مكونات البيئة. عندما يتم ذكر التلوث فهذا يشير الى وجود المواد السامة التي يساعد الانسان على تكوينها وانتشارها في الطبيعة، والتي تؤدي بالنهاية إلى الإضرار بالإنسان نفسه وبكل مكونات البيئة من هواء وماء وتربة وجميع المخلوقات الأخرى الحيوانية والنباتية التي تشكل التوازن البيئي الذي خلقه المولى عز وجل بنظام متكامل ودقيق. إذاً يمكن القول بأن التلوث هو عبارة عن تغيير في خصائص أوساط البيئة والذي ينشأ بالأساس من النشاط البشري الذي يؤثر على كل ما يحيط بنا من جماد ونبات وحيوان ويخل بالتوازن البيئي . بناء على ذلك فقد تم تعريف

تلوث الهواء بأنه حالة الجو التي يكون فيها محتوياً على مواد غازية أو جسيمية بتراكيز أعلى من النسب الطبيعية والتي تعتبر مؤثرة على صحة الانسان أو المكونات البيئية الاخرى. لذا تأتي خطورة تلوث الهواء حيث أنه من الصعب التحكم فيه، بينما يستطيع الانسان أن يتحكم بنوعية المياه التي يشربها والغذاء الذي يتناوله ولكن ليس له خيار في الهواء الذي يتنفسه، فهو لا يستطيع أن يستنشق جزءا منه ويترك الآخر بإرادته. تنقسم مصادر التلوث الهوائي إلى مصادر طبيعية ومصادر صناعية، وتسمى الملوثات التي تنبعث مباشرة من المصدر إلى الجو بالملوثات الأولية، والتي تتعرض أحيانا لبعض التغييرات في الصفات والخواص الكيميائية نتيجة مرورها ببعض العمليات الكيميائية الطبيعية في الجو لتتحول إلى ملوثات ثانوية. فعلى سبيل المثال يعتبر غاز أول أكسيد الكربون CO ، الذي ينتج عن عملية الاحتراق غير الكامل من الملوثات الأولية وهو غاز ضار وسام ، ويبقى على حالته هذه في الجو لفترة زمنية محددة قبل أن يتحول إلى غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 (ملوث ثانوي) الأقل ضررا .وفي بعض الأحيان يكون الملوث الثانوي أكثر ضررا من الأولي، مثلا الأمطار الحمضية الناتجة من تفاعل ثاني أكسيد الكبريت مع الماء، فهي تعتبر أكبر ضررا على البيئة من مصدرها الأصلي ثاني أكسيد الكبريت الذي هو من الملوثات الأولية، وكذلك فإن تفاعل بعض الملوثات الأولية مثل أكاسيد النيتروجين والهيدروكربون مع أشعة الشمس وبوجود بخار الماء ينتج عنه ملوثات ثانوية أكثر سلبية على البيئة مثل غاز الأوزون O_3 (Vallero 2008).

1.1 المصادر الطبيعية لملوثات الهواء:

وهي المصادر التي لا دخل للإنسان بها أي أنه لم يتسبب في حدوثها ويصعب التحكم بها وهي تلك الغازات المتصاعدة من التربة والبراكين وحرائق الغابات وكذلك الغبار الناتج من العواصف والرياح. وهذه المصادر عادة تكون محدودة في مناطق معينة ومواسم معينة وأضرارها ليست جسيمة إذا ما قورنت بالأخرى ،ومن الأمثلة لهذه الملوثات:

- غازات ثاني أكسيد الكبريت، فلوريد الهيدروجين، وكلوريد الهيدروجين المتصاعدة من البراكين المضطربة.
- أكاسيد النيتروجين الناتجة عن التفريغ الكهربي للسحب الرعدية.
- بعض الأحياء المجهرية الناتجة من تعفن النباتات والحيوانات النافقة والمنتشرة في الهواء.

2.1 المصادر الاصطناعية :

وهي التي يحدثها أو يتسبب في حدوثها الإنسان وهي أخطر من السابقة وتثير القلق والاهتمام حيث أن مكوناتها أصبحت متعددة ومتنوعة وأحدثت خللاً في تركيبة الهواء الطبيعي وكذلك في التوازن البيئي وأهم تلك المصادر:

- استخدام الوقود لإنتاج الطاقة كما في المحطات البخارية والغازية.
- وسائل النقل البري والبحري والجوي والتي تعمل بمحركات احتراق داخلي أو توربينية.
- النشاط الإشعاعي الناتج عن التسربات من المحطات النووية، أو استخدام الأسلحة المدمرة التي تحتوي على بعض المواد المشعة مثل اليورانيوم والبولونيوم.

- ϖ النشاط السكاني ويتعلق بمخلفات المنازل من المواد الصلبة والسائلة وكذلك بسبب كثرة استخدام المبيدات الحشرية والمذيبات الصناعية.
- ϖ النشاط الزراعي وكثرة استخدام المواد الكيماوية المختلفة في أغراض التسميد والزراعة.

لتلوث الهواء انعكاسات سلبية كثيرة على كافة مكونات البيئة ، وقد لخصها بعض الباحثين بالتأثيرات الأساسية التالية (Seinfeld 1986):

1. تغير في خواص المحيط الجوي والمطر، والذي أدى إلى الاحتباس الحراري والأمطار الحامضية.
2. أضرار في المحاصيل الزراعية والثروة النباتية والحيوانية بشكل عام.
3. تدهور في خواص التربة والمواد الإنشائية مثل المعادن والخرسانة وغيرها.
4. زيادة في انتشار الأمراض والمشاكل الصحية للإنسان.

2. الوقود وملوثات الهواء الأساسية

تعمل محركات الاحتراق الداخلي وغيرها من المنظومات الحرارية على تحويل طاقة الوقود إلى طاقة حرارية باستخدام عملية الاحتراق، والتي هي عبارة عن تفاعل كيمياوي ينتج عنه الطاقة الحرارية اللازمة للحصول على الطاقة الميكانيكية، بالإضافة إلى نواتج الاحتراق والتي هي خليط من غازات العادم بنسب مختلفة تعتمد على الخواص الكيمياوية والفيزيائية للوقود والهواء الداخل في عملية التفاعل ونسبة الخلط بين كميتي الهواء والوقود، او ما يعرف بشدة الخليط أو نسبة التعادل، وكذلك الظروف المحيطة بعملية الاحتراق. إن نواتج الاحتراق أو الانبعاثات الغازية تعتبر من المصادر الرئيسية لملوثات الهواء، والتي هي في الأغلب أكاسيد الكربون مثل أول أكسيد الكربون CO وثاني أكسيد الكربون CO_2 ، وأكاسيد النيتروجين NO_x ، وبعض أكاسيد الكبريت. ونظرا لقابلية المواد الكحولية على الاحتراق بدأ استخدامها بنسب معينة كخليط مع وقود البنزين لتحسين مواصفات عملية الاحتراق، ولا سيما كحول الميثانول CH_3OH وكحول الإيثانول C_2H_5OH . رغم كل التحسينات التي تجرى على المحركات وعمليات الاحتراق إلا أن الغازات المنبعثة منها والملوثة للبيئة هي في تزايد مستمر نتيجة لتزايد استخدام وسائل النقل التي تعتمد على الطاقة الحرارية للاحتراق، وهي المسؤولة عن كثير من التغيرات المناخية مثل الاحتباس الحراري، والأمطار الحامضية وكثير من الأمراض وغيرها من التأثيرات السلبية على المخلوقات وكافة المكونات البيئية. وفي ما يلي نبذة مبسطة عن بعض هذه الغازات وتأثيراتها السلبية (Flagan and Seinfeld 1988):

1.2 غاز أول أكسيد الكربون CO

وهو غاز سام عديم اللون والرائحة ينتج عن عمليات الاحتراق الغير كاملة للوقود والمواد العضوية ويمثل أكبر نسبه من ملوثات الهواء، ويختلف تركيزه في المناطق باختلاف الظروف السائدة فيها والتي تعتمد أساساً على مدى كثافة حركة المرور، والتي هي في الأغلب عالية جدا في النهار مقارنة مع الليل. يؤثر هذا الغاز على الصحة العامة خاصة على هيموجلوبين الدم حيث أن له قابلية شديدة للاتحاد معه ومن ثم فإنه يؤثر تأثيراً خطيراً على عمليات التنفس في الكائنات الحية بما فيها الإنسان، ويتسبب في كثير من

حالات التسمم. ويمكن الحد من تأثير أول أكسيد الكربون بتزويد البيئة المحيطة بالأكسجين الكافي لإتمام عملية التأكسد وتكوين ثاني أكسيد الكربون الأخف ضررا منه.

2.2 غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2

وهو يتكون من احتراق المواد العضوية كالورق والفحم وزيت البترول، ويعتبر من أهم الملوثات التي أدخلها الإنسان على الهواء . إن عملية الاتزان البيئي التي تذيب غاز ثاني أكسيد الكربون الزائد في مياه البحار والمحيطات مكوناً حمضاً ضعيفاً يعرف باسم حمض الكربونيك ويتفاعل مع بعض الرواسب مكوناً بيكربونات وكربونات الكالسيوم .وتساهم النباتات أيضا في استخدام جزءا كبيرا منه في عملية التمثيل الضوئي. وتجدر الإشارة إلى أن الإسراف في استخدام الوقود وقطع الغابات أو التقليل من الساحات الخضراء ساهم في ارتفاع نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو والذي أدى إلى ارتفاع درجة حرارة الأرض وهو ما يعرف بالاحتباس الحراري. إن زيادة ثاني أكسيد الكربون في الهواء تؤدي إلى صعوبة في التنفس والشعور بالاحتقان مع تهيج للأغشية المخاطية والتهاب القصبات الهوائية وتهيج الحلق.

3.2 غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2

يحتوي الوقود الاحفوري" الفحم الحجري والبترول والغاز الطبيعي "على كميات متفاوتة من الكبريت، وأثناء عملية احتراق هذا الوقود، يتصاعد الكبريت مع الدخان على شكل غاز ثاني أكسيد الكبريت، وهو عديم اللون نفاذ وكريه الرائحة له آثار ضارة إذا ما تواجد بمعدلات عالية في الهواء . ويتحول ثاني أكاسيد الكبريت في الهواء إلى حمض الكبريتيك نتيجة لتأكسده إلى ثالث أكسيد الكبريت وتفاعله مع بخار الماء ،ولكل من ثاني أكسيد الكبريت وحمض الكبريتيك تأثيراً ضاراً بالجهاز التنفسي للإنسان والحيوان كما يشارك ثاني أكسيد الكبريت مع ملوثات أخرى في إحداث مشاكل بيئية منها الأمطار الحمضية.

4.2 غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO_2

يعتبر غاز ثاني أكسيد النتروجين من أكثر أكاسيد النيتروجين شيوعا وانتشارا، وهو ينتج عن عمليات احتراق الوقود في الهواء عند درجات حرارة مرتفعة،كذلك ينتج من احتراق المواد العضوية وأيضا من بعض المنشآت الصناعية ومحطات توليد الطاقة التي تعمل على درجات حرارة مرتفعة. ويكوّن مع بخار الماء في الجو حمضاً قوياً هو حمض النتريك الذي يساهم أيضا في حدوث الأمطار الحمضية ، كما يؤثر سلبيا عند وصوله إلى طبقات الجو العليا على طبقة الأوزون. من ناحية صحية يؤدي هذا الغاز إلى تهيج الأغشية المخاطية للمجاري التنفسية ويسبب أضرارا في الرئة ، وكذلك يؤدي إلى أضرار في العين.

3. النموذج الرياضي لعملية الاحتراق

إن عملية الاحتراق هي عبارة عن تفاعل كيمياوي يتم التعبير عنها بمعادلة التفاعل التي تحصل عند درجة حرارة عالية، ينتج عنها كمية الحرارة المطلوبة وتتحول المتفاعلات إلى نواتج احتراق أو الانبعاثات، والتي هي عبارة عن خليط من الغازات تختلف نوعا ما في حالة التفاعل الحقيقي عن المثالي. ففي حالة التفاعل المثالي أو التام تتكون نواتج الاحتراق عادة من ثاني أكسيد الكربون و بخار الماء فقط بالإضافة إلى النيتروجين N_2 كغاز، أما في الحالة الحقيقية يحدث تفكك للجزيئات الكبيرة وتتفاعل بعض العناصر مع غيرها لينتج أول أكسيد الكربون CO وأكسيد النيتروجين NO بالإضافة إلى عناصر أخرى وذرات من العناصر

الأساسية. ولصياغة النموذج الرياضي لعملية الاحتراق لخليط من وقود هيدروكربوني مع كحول يتم إهمال العناصر الصغيرة جدا والذرات في نواتج الاحتراق لقلة تأثيرها. وبكل الأحوال فإن عدد ذرات العناصر الأساسية الداخلة في التفاعل يجب أن يبقى نفسه في النواتج والتي هي الكربون C والهيدروجين H والأوكسجين O والنيتروجين N ، والذي بناء عليه يتم موازنة معادلة التفاعل. لذا حسب هذا المبدأ فإن عملية الاحتراق لخليط افتراضي للوقود والكحول مع نسبة هواء زائد يمكن تمثيلها بالمعادلة التالية (Moran and Shapiro 2006).

$$AC_nH_m+(1-A)C_xH_yOH+\frac{n'_{o_2}}{\phi}(O_2+3.76N_2)\rightarrow$$
$$bCO_2+cCO+dH_2O+eH_2+fOH+gO_2+hN_2+kNO \quad (1)$$

حيث أن A هي نسبة كتلة الوقود في التفاعل، و n'_{O_2} هو عدد مولات الهواء ويعتمد على عدد ذرات العناصر المكونة للوقود والكحول، وهو حسب العلاقة التالية لحالة التفاعل التام:

$$n'_{O_2}=A(n+\frac{m}{4})+(1-A)(\frac{4x+y-1}{4}) \quad (2)$$

وكذلك فإن الرمز ϕ يمثل نسبة التكافؤ أو التعادل والذي هو دالة لنسبة الهواء الزائد في التفاعل، وهو يبين إذا كان الخليط للوقود والهواء غني أي كمية الوقود عالية ($\phi>1$) ، أو فقير أي كمية الهواء عالية($\phi<1$) . في حين أن الثوابت الأخرى في المعادلة هي عدد مولات الانبعاثات في نواتج الاحتراق، وهي عبارة عن مجاهيل يتم إيجادها عند نسبة معينة للوقود، وذلك بحل عدد من المعادلات يجب أن يساوي عدد هذه المجاهيل وهي ثمانية. في هذه الحالة يمكن الحصول على ثلاث معادلات من خلال نسب ذرات العناصر الرئيسية والتي يجب أن تكون متساوية للمتفاعلات والنواتج، وأربع معادلات لثوابت التوازن، ومعادلة أن مجموع الكسر المولي للانبعاثات يساوي واحد، وهي على النحو التالي:

- نسبة ذرات الكربون إلى الهيدروجين RCH

$$RCH=\frac{N_C}{N_H}=\frac{b+c}{2d+f+2e}=\frac{An+(1-A)x}{Am+(1-A)(y+1)} \quad (3)$$

ويمكن كتابة هذه النسبة بدلالة الكسر المولي وكما يلي:

$$RCH=\frac{\chi_{co_2}+\chi_{co}}{2\chi_{H_2O}+\chi_{OH}+2\chi_{H_2}} \quad (4)$$

- نسبة ذرات النيتروجين إلى الأكسجين RNO

$$RNO=\frac{N_N}{N_O}=\frac{\chi_{NO}+2\chi_{N_2}}{2\chi_{CO_2}+\chi_{H_2O}+\chi_{CO}+\chi_{OH}+\chi_{NO}+2\chi_{O_2}} \quad (5)$$

$$RNO = \frac{7.52n'_{O_2}/\phi}{(1-A)+2n'_{O_2}/\phi} \quad (6)$$

- نسبة ذرات الأكسجين إلى الهيدروجين ROH

$$ROH = \frac{N_O}{N_H} = \frac{2\chi_{CO_2}+\chi_{H_2O}+\chi_{CO}+\chi_{OH}+\chi_{NO}+2\chi_{O_2}}{2\chi_{H_2O}+\chi_{OH}+2\chi_{H_2}} \quad (7)$$

- مجموع الكسر المولي

للانبعاثات يساوي واحد

$$\chi_{CO_2}+\chi_{CO}+\chi_{H_2O}+\chi_{H_2}+\chi_{OH}+\chi_{O_2}+\chi_{N_2}+\chi_{NO}=1.0 \quad (8)$$

- ثوابت التوازن

يتم إيجاد ثوابت التوازن (K_p) للجزيئات الرئيسية في نواتج الاحتراق من خلال تفاعلات الاتزان التي يكون الاتزان فيها من الاتجاهين ، أي بمعنى أن الجزيئات تتفاعل مع بعضها لتكون جزيئا آخر ، والذي هو في آن واحد من الممكن أن يتفكك ليكون جزيئات أصغر. وفي عملية الاحتراق المفترضة في هذه الدراسة فإن تفاعلات الاتزان هي أربعة، وهي على النحو التالي:

$$CO+0.5O_2 \Leftrightarrow CO_2 \quad (9)$$

$$H_2+0.5O_2 \Leftrightarrow H_2O \quad (10)$$

$$0.5H_2+0.5O_2 \Leftrightarrow OH \quad (11)$$

$$0.5N_2+0.5O_2 \Leftrightarrow NO \quad (12)$$

من خلال هذه المعادلات يتم إيجاد ثوابت التوازن للنواتج والتي هي دوال للضغوط الجزئية لكل عناصر التفاعل أو الكسر المولي لكل منها، والتي تعطي المعادلات التالية:

$$\chi_{CO_2} = K_{P_{CO_2}} \cdot \chi_{CO} \cdot \chi_{O_2}^{0.5} \cdot P_c^{0.5} \quad (13)$$

$$\chi_{H_2O} = K_{P_{H_2O}} \cdot \chi_{H_2} \cdot \chi_{O_2}^{0.5} \cdot P_c^{0.5} \quad (14)$$

$$\chi_{OH} = K_{P_{OH}} \cdot \chi_{H_2}^{0.5} \cdot \chi_{O_2}^{0.5} \quad (15)$$

$$\chi_{NO} = K_{P_{NO}} \cdot \chi_{N_2}^{0.5} \cdot \chi_{O_2}^{0.5} \quad (16)$$

أيضا فإن ثابت التوازن لأي عنصر أو جزيء هو دالة لدرجة الحرارة والتغير في دالة جبس ΔG_T° ، وكما يلي:

$$K_P = \exp(-\Delta G_T^\circ / R_u T)$$

(17)

والتغير في دالة جبس يتم الحصول عليه من خلال تفاعلات التوازن للجزيئات من خلال العلاقة التالية:

$$\Delta G_T^\circ = \sum_p n_j \bar{g}_T^\circ - \sum_r n_i \bar{g}_T^\circ \quad (18)$$

حيث أن دالة جبس تختلف من عنصر لآخر وحسب درجة الحرارة وهي بالصيغة العامة التالية:

$$\bar{g}_T^\circ = R_u T\left[a_1(1-\ln T) - \frac{a_2}{2}T - \frac{a_3}{6}T^2 - \frac{a_4}{12}T^3 - \frac{a_5}{20}T^4 + \frac{a_6}{T} - a_7\right] \quad (19)$$

في هذه المعادلة فإن الثوابت $a_1, a_2, ..., a_7$ تسمى معاملات درجة الحرارة وهي مختلفة من عنصر لآخر وتوجد على شكل جداول. من خلال تعريف ثابت التوازن والذي هو بدلالة التغير في دالة جبس كما في المعادلة(17) يمكن الحصول على دلالة كمية تشير إلى أن التفاعل يميل إلى النواتج (أي بمعنى أنه يتجه نحو التمام)، أو يميل نحو المتفاعلات (أي تفاعل قليل يحدث) عند حالة الاتزان. فإذا كان التغير في دالة جبس ΔG_T° موجب فإن المتفاعلات تكون مفضلة لأن اللوغارثم الطبيعي لثابت التوازن (lnK_P) يكون بقيمة سالبة، والذي يتطلب أن تكون قيمة ثابت التوازن أقل من واحد. وبالمثل، إذا كان التغير في دالة جبس ΔG_T° سالب فإن التفاعل يتجه نحو النواتج.

لإيجاد الكسر المولي لجزيئات نواتج الاحتراق الموجودة في المعادلات السابقة تُستخدم طريقة عددية لحل هذه المعادلات، وهي طريقة التكرار، وذلك لأن هذه المعادلات غير خطية، وبالتالي يتم وضع برنامج بلغة الباسك المرئي ليسهل عملية الحل بافتراض قيم ابتدائية للأكسجين والنيتروجين وإيجاد الباقي، مع عملية تحسين للقيم المفترضة كل كرة إلى أن يتحقق شرط أن مجموع الكسر المولي لكل الجزيئات يساوي واحد (المعادلة (8))، وبهذا نكون قد حصلنا على القيم النهائية الصحيحة لكل الجزيئات. بعد الحصول على قيم الكسر المولي يتم إيجاد مؤشرات التلوث للعناصر الملوثة الرئيسية وهي CO و NO من خلال العلاقة التالية:

$$EI_i = \left(\frac{\chi_i}{\chi_{CO} + \chi_{CO_2}}\right)\left(\frac{N_c M_i}{M_f}\right) \quad (20)$$

إن مؤشر التلوث هذا يعبر عن كمية المادة الملوثة بالنسبة لكتلة الوقود، وهو يتعلق بكل الجزيئات التي تحتوي على عنصر الكربون، كما في المعادلة (20). من المهم أيضا خلال التفاعل هو إيجاد الفترة الزمنية اللازمة للوصول إلى حالة الاتزان، والتي يمكن الحصول عليها من خلال العلاقة التالية (Bathie 1996):

$$(1-Y)^{C+1}(1+Y)^{C-1} = e^{-Mt} \quad (21)$$

حيث أن

$$Y = [NO]/[NO]_e \quad (22)$$

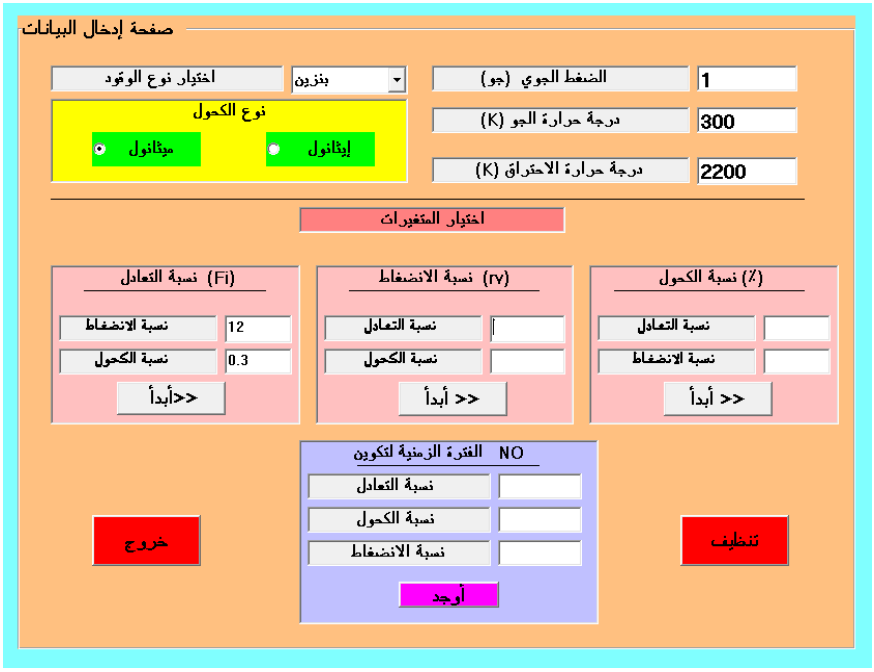
$$C = \frac{(2.1\times10^4)[\chi_{N_2}]^{0.5} e^{-7750/T_c}}{T_c[\chi_{O_2}]^{0.5}} \quad (23)$$

$$M = \frac{(5.4\times10^{15})(P_c)^{0.5}[\chi_{N_2}]^{0.5} e^{-58330/T_c}}{T_c} \quad (24)$$

من خلال المعادلة (21) يتم إيجاد الفترة الزمنية اللازمة لتكوين أكسيد النيتروجين NO وذلك بعد إيجاد المتغيرات فيها والتي هي دوال لدرجة حرارة الاحتراق T_c كما في المعادلتين (23) و (24) .

4. النتائج والمناقشة

لدراسة انبعاثات عملية الاحتراق لأنواع مختلفة من الوقود مع نسب مختلفة من المواد الكحولية تم تصميم برنامج حاسوب بلغة الباسك المرئي يحتوي على الصفحة الرئيسية التي من خلالها يمكن اختيار أحد أنواع الوقود التي تم إدخالها في هذا البرنامج وهي وقود السيارات (البنزين)، والديزل، وغاز الميثان، والأوكتان. كما أنه يمكن دراسة عملية الاحتراق لنوع واحد من الوقود أو مختلط بنسب مختلفة مع الكحول الذي قد يكون ميثانول أو إيثانول، وأيضا عند نسب تعادل مختلفة مع الهواء ودرجة حرارة احتراق مختلفة، كما في شكل 1.



شكل (1): صفحة إدخال البيانات

بعد تشغيل البرنامج عند اختيار معين كما في شكل 1 يتم الحصول على جدول في صفحة أخرى يحتوي على نفس البيانات المدخلة مع المتغير الأساسي وهو نسبة التعادل على سبيل المثال وقيم الانبعاثات ومؤشرات الانبعاث والفترة الزمنية لتكوين أكسيد النيتروجين، وهكذا لبقية المتغيرات، كما في شكل 2. لذا يتميز هذا البرنامج بإمكانية إجراء عدة مقارنات مختلفة بين وقود وآخر، ومع أي من الكحولين وعند نسب مختلفة وعند درجات حرارة احتراق مختلفة.

Table of Results

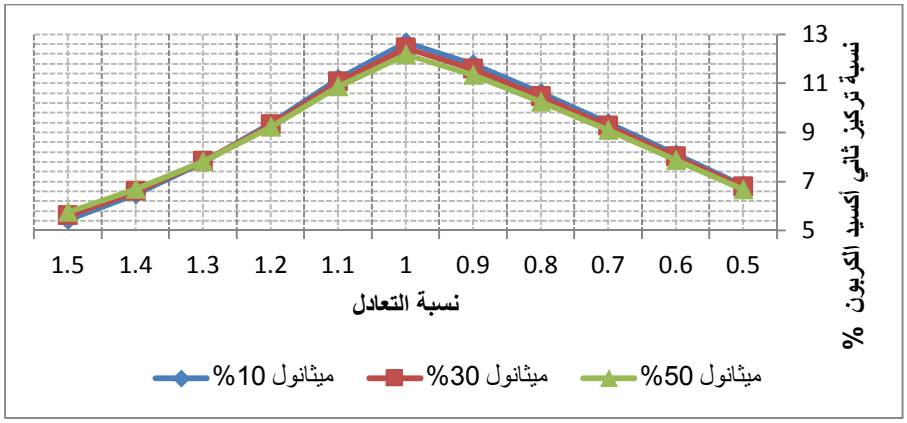
الوقود هو بنزين
الكحول هو ميثانول
نسبة الإنضغاط 12.0000
نسبة الكحول 0.3000
درجة حرارة الإحتراق 2200.0000
ضغط الإحتراق 88.0000

إلى الخلف <<< | مسح النتائج | خروج

Fi	xCO2	xH2O	xCO	xNO	xOH	xO2	xN2	xH2	sum	EINO	EIOH	EICO	EICO2
0.5000	0.068099	0.074760	0.0001	0.008749	0.001181	0.095901	0.7513	0.000030	1.0001	0.551401	0.044666	0.008256	6.295067
0.5500	0.074317	0.081638	0.0002	0.008270	0.001201	0.085797	0.7483	0.000034	0.9997	0.477552	0.041617	0.008717	6.294343
0.6000	0.080666	0.088668	0.0002	0.007760	0.001214	0.075813	0.7454	0.000040	0.9997	0.412817	0.038741	0.009270	6.293475
0.6500	0.087006	0.095695	0.0002	0.007221	0.001218	0.065903	0.7425	0.000046	0.9998	0.356085	0.036024	0.009941	6.292421
0.7000	0.093234	0.102609	0.0003	0.006654	0.001211	0.056151	0.7396	0.000053	0.9998	0.306144	0.033442	0.010765	6.291126
0.7500	0.099323	0.109382	0.0003	0.006055	0.001194	0.046613	0.7368	0.000062	0.9998	0.261407	0.030937	0.011805	6.289490
0.8000	0.105476	0.116244	0.0003	0.005388	0.001163	0.037062	0.7341	0.000074	0.9998	0.218995	0.028349	0.013235	6.287244
0.8500	0.111466	0.122954	0.0004	0.004657	0.001113	0.027765	0.7314	0.000091	0.9998	0.178994	0.025658	0.015279	6.284032
0.9000	0.117386	0.129643	0.0005	0.003806	0.001034	0.018613	0.7287	0.000117	0.9999	0.138816	0.022620	0.018642	6.278747
0.9500	0.123105	0.136243	0.0008	0.002753	0.000902	0.009768	0.7262	0.000169	0.9999	0.095578	0.018789	0.025682	6.267684
1.0000	0.127847	0.142617	0.0019	0.001187	0.000607	0.001823	0.7236	0.000410	1.0000	0.039361	0.012066	0.058945	6.215414
1.0500	0.121464	0.145614	0.0132	0.000162	0.000227	0.000034	0.7162	0.003063	1.0000	0.005161	0.004344	0.394305	5.688420
1.1000	0.111712	0.146735	0.0275	0.000071	0.000151	0.000007	0.7068	0.006977	1.0000	0.002195	0.002806	0.793105	5.061733
1.1500	0.102671	0.147233	0.0409	0.000044	0.000119	0.000003	0.6976	0.011334	0.9999	0.001306	0.002142	1.144096	4.510176
1.2000	0.094361	0.147178	0.0535	0.000030	0.000100	0.000001	0.6886	0.016116	0.9999	0.000886	0.001744	1.452572	4.025428
1.2500	0.086828	0.146611	0.0652	0.000023	0.000087	0.000001	0.6799	0.021250	0.9999	0.000647	0.001472	1.721096	3.603462
1.3000	0.079965	0.145573	0.0761	0.000018	0.000077	0.000000	0.6714	0.026738	0.9999	0.000494	0.001269	1.956818	3.233041
1.3500	0.073667	0.144088	0.0863	0.000014	0.000069	0.000000	0.6631	0.032602	0.9998	0.000389	0.001109	2.165787	2.904662
1.4000	0.068019	0.142233	0.0958	0.000012	0.000062	0.000000	0.6550	0.038677	0.9998	0.000314	0.000982	2.347273	2.619470
1.4500	0.062796	0.139992	0.1048	0.000010	0.000057	0.000000	0.6470	0.045118	0.9998	0.000257	0.000875	2.510158	2.363508
1.5000	0.058151	0.137494	0.1131	0.000009	0.000052	0.000000	0.6394	0.051632	0.9998	0.000215	0.000786	2.650964	2.142241
1.5500	0.053892	0.134713	0.1209	0.000007	0.000048	0.000000	0.6318	0.058372	0.9998	0.000181	0.000709	2.776710	1.944641

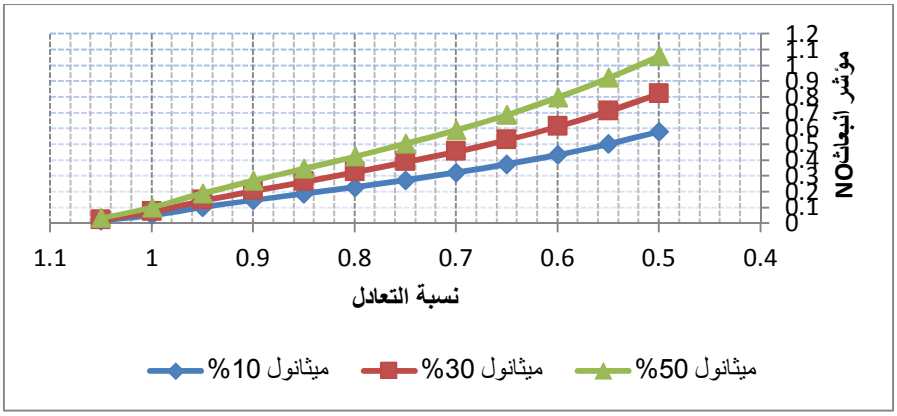
شكل(2): جدول النتائج التي يمكن الحصول عليها عند مدخلات معينة

في هذا البحث تم دراسة البنزين فقط مع نسب تعادل مختلفة لخليط الهواء والوقود ومع نسب مختلفة من البنزين مع الميثانول أو الإيثانول، والنتائج التي تم رصدها عند نسب تعادل مختلفة ونسب مواد كحولية مختلفة وضعت على شكل منحنيات كما في الأشكال التالية. ففي شكل 3 نجد أن نسبة تركيز ثاني أكسيد الكربون تتغير مع نسبة التعادل حيث تزداد مع هذه النسبة إلى أعلى قيمة عند نسبة تعادل تساوي واحد، وهذه هي الحالة المثالية للتفاعل حيث يتحول كل الكربون الموجود في البنزين والكحول إلى ثاني أكسيد الكربون، وكذلك عند نسب تعادل أقل من واحد حيث يوجد أكسجين كافي لإتمام التفاعل والحصول عل ثاني أكسيد الكربون، أما عند نسب تعادل أعلى من واحد فإن كمية الوقود عالية وبالتالي يتم الحصول على أول أكسيد الكربون وبهذا تنخفض قيمة ثاني أكسيد الكربون. ومن الملاحظ في هذا الشكل أن نسبة تركيز ثاني أكسيد الكربون تنخفض أيضا مع زيادة نسبة الميثانول، فهي أقل عند 50% منها عند 10% كحول، وهذا ما يؤكد أهمية الكحول لتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون عند النسب المعقولة للوقود.

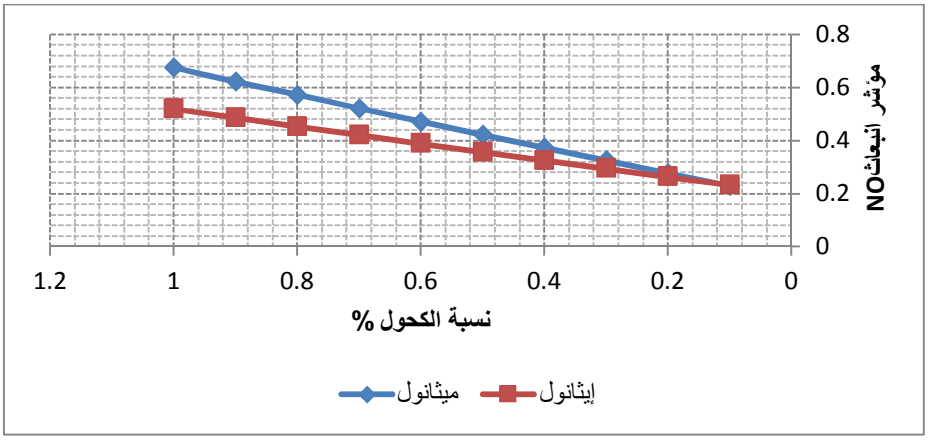


شكل (3): تأثير نسبة التعادل على تركيز ثاني أكسيد الكربون عند نسب مختلفة للميثانول

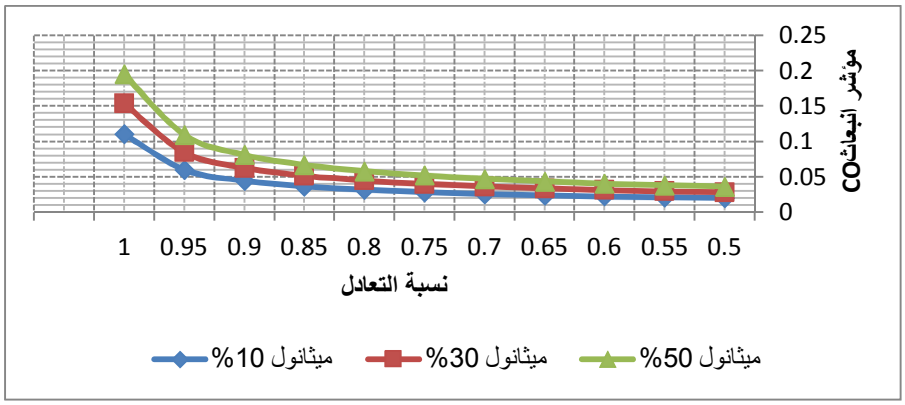
الشكل 4 يتعلق بتأثير نسبة التعادل على مؤشر انبعاث أكسيد النيتروجين عند نسب مختلفة للميثانول، وهذا المؤشر يعبر عن مقدار الكمية المتكونة للملوث بالنسبة إلى كمية الوقود. من الملاحظ في هذا الشكل أن مؤشر انبعاث أكسيد النيتروجين ينخفض مع زيادة نسبة التعادل حيث تصبح كمية الكربون المتكون في نواتج الاحتراق أعلى والتي هي في مقام المعادلة 20، في حين أن هذا المؤشر عند نسبة تعادل معينة يزداد مع زيادة نسبة الكحول، كما في شكل 5 أيضا لكلا النوعين من الكحول الميثانول والإيثانول، والسبب في ذلك هو انخفاض كمية ثاني أكسيد الكربون وأول أكسيد الكربون في النواتج ذات التأثير الأقوى على النواتج. في حين أنه يحصل العكس لمؤشر أول أكسيد الكربون حيث يزداد مع نسبة التعادل ومع نسبة الكحول، كما في الشكل 6 و 7. ولكن من الملاحظ أن للميثانول تأثير أكبر مما للإيثانول على مؤشر الانبعاث وذلك لاحتوائه على كمية أقل من الكربون.



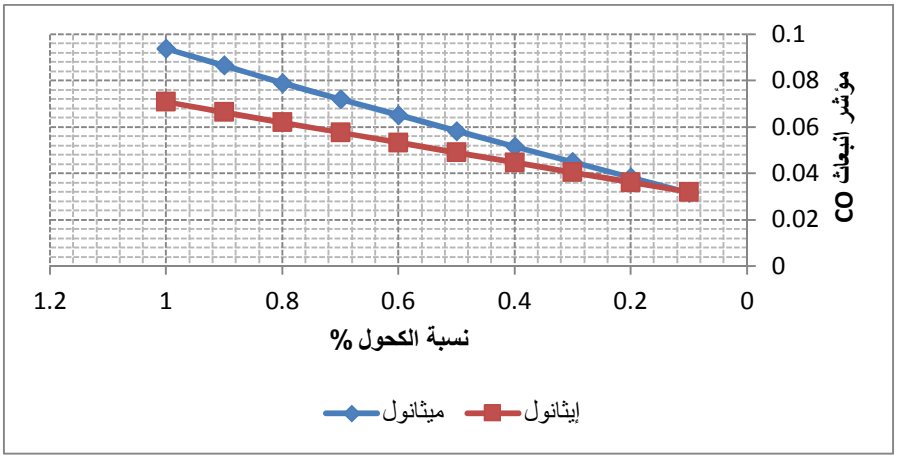
شكل (4): تأثير نسبة التعادل على مؤشر انبعاث أكسيد النيتروجين عند نسب مختلفة للميثانول



شكل (5): تأثير نوع الكحول ونسبته على مؤشر انبعاث أكسيد النيتروجين



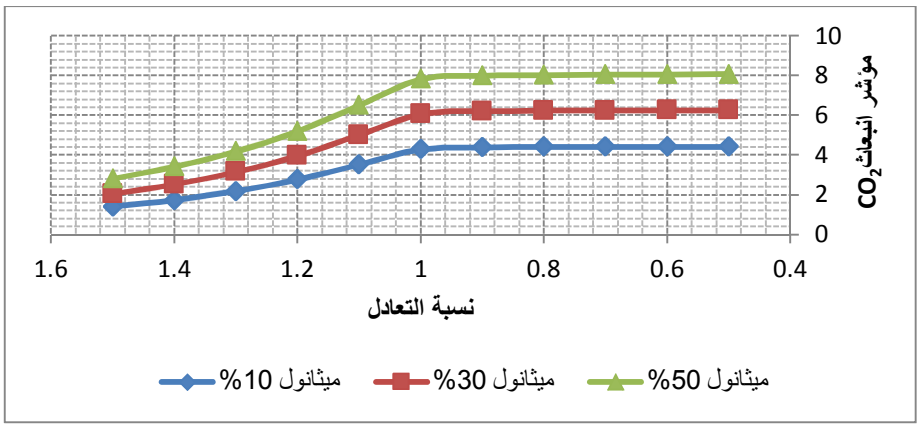
شكل (6): تأثير نسبة التعادل على مؤشر انبعاث أول أكسيد الكربون عند نسب مختلفة للميثانول



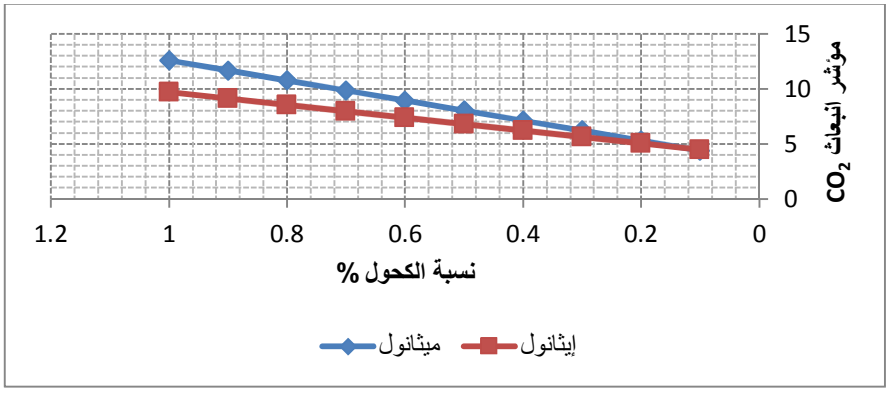
شكل (7): تأثير نوع الكحول ونسبته على مؤشر انبعاث أول أكسيد الكربون

أما بالنسبة لمؤشر انبعاث ثاني أكسيد الكربون فمن الملاحظ أنه ثابت نوعا ما لخليط ضعيف، أي عند نسبة تعادل أقل من واحد، ولكنه يزداد مع زيادة نسبة الميثانول، كما في شكل 8 ، في حين أنه ينخفض عند نسب تعادل أكبر من واحد حيث

يكون الخليط غني بالوقود وبالتالي يتكون أول أكسيد الكربون على حساب ثاني أكسيد الكربون. كذلك من الملاحظ أن لنوع الكحول تأثير على قيمة مؤشر الانبعاث، حيث أنه للميثانول هو أعلى منه للإيثانول عند نفس النسبة كما في شكل 9، وهو بسبب احتواءه على كمية أقل من الكربون ، والعلاقة عكسية بين المؤشر وكمية الكربون.

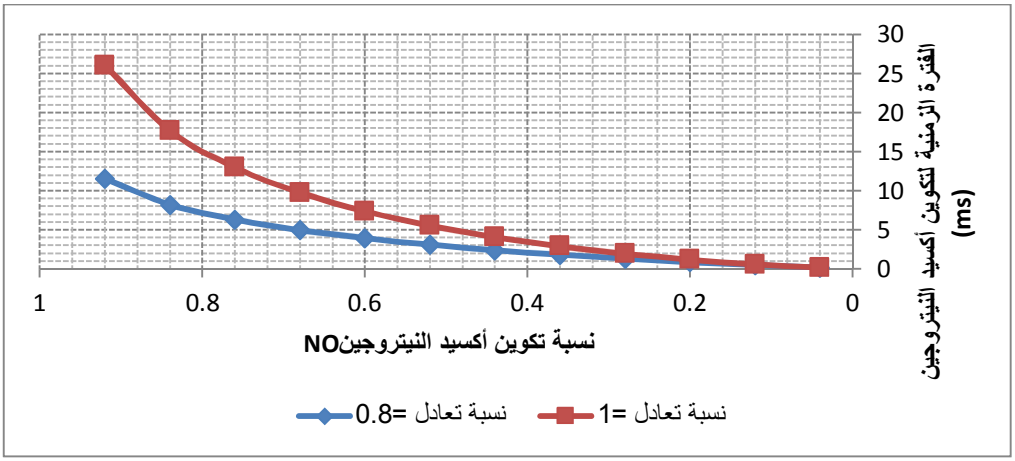


شكل (8): تأثير نسبة التعادل على مؤشر انبعاث ثاني أكسيد الكربون عند نسب مختلفة للميثانول



شكل (9): تأثير نوع الكحول ونسبته على مؤشر انبعاث ثاني أكسيد الكربون

إن معدل تكوين أكسيد النيتروجين يتعلق بدرجة حرارة اللهب ونسبة التعادل، كما في شكل 10، حيث نلاحظ في هذا الشكل أن الفترة الزمنية لتكوين هذا الملوث تزداد مع نسبة التعادل مقارنة مع الكمية التي يمكن تكوينها عند حالة الاتزان، وهذا من شأنه أن يقلل نسبة تركيز أكسيد النيتروجين في الجو.



شكل (10): الفترة الزمنية اللازمة لتكوين أكسيد النيتروجين بالنسبة إلى حالة الاتزان له $[NO]_e$

5. الاستنتاجات

من خلال هذه الدراسة التي تمت بوضع نموذج رياضي لعملية احتراق الوقود مع الكحول، ومن ثم تصميم برنامج حاسوب لتطبيق هذه الدراسة على خليط بنسب مختلفة بين وقود البنزين وكحول الميثانول أو الإيثانول، يمكن أن نستنتج ما يلي:

- إن نسبة التعادل والتي هي مقياس لخليط الوقود والهواء تؤثر بشكل مباشر على نواتج الاحتراق أو الانبعاثات ولا سيما أكسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكربون وأول أكسيد الكربون، حيث تقل قيمة تركيز أكسيد النيتروجين مع زيادة نسبة التعادل وكذلك مع زيادة نسبة الكحول. كما أن نسب تركيز ثاني أكسيد الكربون وأول أكسيد الكربون تنخفض مع زيادة نسبة الكحول أيضا، وهذا يعتبر مؤشر إيجابي لاستخدام الكحول مع الوقود.
- إن مؤشر انبعاث أكسيد النيتروجين وأكاسيد الكربون يتأثر بنسبة التعادل ونسبة الوقود ونوعية الكحول إن كان ميثانول أو إيثانول، والذي هو مقياس لكمية الانبعاثات الناتجة عن حرق وقود معين. فمؤشر انبعاث أكسيد النيتروجين يقل مع زيادة نسبة التعادل وينخفض مع انخفاض نسبة الكحول، في حين أن مؤشر أول أكسيد الكربون يزداد مع زيادة نسبة التعادل في الوقت الذي ينخفض فيه مؤشر ثاني أكسيد الكربون.
- هذه الدراسة تمت لنوع واحد من الوقود وهو البنزين، لذا فمن الجدير بالاهتمام دراسة بعض الأنواع الأخرى التي يمكن خلطها مع الكحول وهي الديزل والأوكتان والتي تم تضمينها في البرنامج، وذلك لإجراء مقارنة بين الأنواع المختلفة من الوقود والتعرف على تأثيراتها البيئية.

المراجع

Vallero, Daniel A. ,2008, Fundamentals of air pollution , Elsiever Inc., USA)

Seinfeld, J.H., 1986, Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution, John Wiley & Sons Inc., New York, USA.

Flagan, Richard C. and Seinfeld, John H., 1988, Fundamental of air pollution engineering, PRENTICE HALL, New Jersey, USA.

Gibbs, Lew and Anderson, Bob, 2009, Motor Gasolines Technical Review, Chevron corporation, USA.

Moran, Michael J. and Shapiro, Howard N., 2006, Fundamentals of Engineering Thermodynamics, John Wiley & Sons Inc., England.

Bathie, William W., 1996, Fundamentals of Gas Turbines, John Wiley & Sons, New York, USA.