

Studying The Application Of The Refrigerated EGR Technology On A Diesel Engine And Its Impact On The Pollutants Produced In Different Working Conditions.

Eva Ali*

(Received 1 / 8 / 2017. Accepted 20 / 3 / 2018)

□ ABSTRACT □

In this study circuit is designed and installed to measure the pollutants from the diesel engine in two stages at three speeds 1100, 1500, 1800rpm. When recycling rates range (0-70)% for no load. for load experiments, we measured the pollutants at the previous three speeds at 50% load values and at full load. We were able to apply the load through a mechanism to apply the friction torque on a roller that was installed on the engine axis. We finally found that pollutants of all kinds are increasing by increasing the speed of circulation, as well as by increasing the applied load, and that the emissions of nitrogen oxides decrease the increase in the proportion of recycled gases, while the emissions of the remaining pollutants increase.

Keywords: diesel engine, pollution, emissions, NO_x, EGR.

* Academic Assistant – Faculty of Mechanical and Electrical Engineering – Tishreen University- Lattakia- Syria

دراسة تطبيق تقنية ال EGR المبردة على محرك ديزل وأثرها على الملوثات الناجمة في شروط العمل المختلفة.

إيفا علي*

(تاريخ الإيداع 1 / 8 / 2017. قُبِلَ للنشر في 20 / 3 / 2018)

□ ملخّص □

تم في هذا البحث تصميم وتركيب الدارة وذلك لقياس بقاء الملوثات الناجمة عن محرك الديزل على مرحلتين وعند ثلاث سرعات 1100, 1500, 1800rpm. وذلك عند نسب لإعادة التدوير تتراوح % (0-70) في تجارب اللاحمل. أما بالنسبة لتجارب الحمل فقد قمنا بقياس الملوثات عند السرعات الثلاث السابقة عند قيم حمل 50% وعند الحمل الكامل، واستطعنا تطبيق الحمل من خلال ميكانيزم لتطبيق عزم احتكاك على بكرة تم تركيبها على محور المحرك. توصلنا في النهاية إلى ان الملوثات على مختلف أنواعها تزداد بزيادة سرعة الدوران، وكذلك بزيادة الحمل المطبق، وأن انبعاثات أكاسيد النتروجين تتخفف بزيادة نسبة الغازات المدورة في حين أن انبعاثات باقي الملوثات تزداد.

الكلمات المفتاحية: محرك ديزل، تلوث، انبعاثات، أكاسيد النتروجين، EGR.

* قائم بالاعمال - قسم القوى الميكانيكة - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

مقدمة:

كان موضوع التلوث وما زال هاجساً للدول الصناعية ومراكز الأبحاث، وبالنظر إلى الحجم الكبير للملوثات الناجمة عن وسائل النقل، وذلك نظراً لكثافتها وانتشارها. ومن هنا انطلقنا في دراستنا لتصميم دارة تمكنا من تطبيق تقنية الـ EGR على محرك الديزل وذلك بهدف تخفيض أكاسيد النتروجين الناتجة. تعمل تقنية الـ EGR على إعادة تدوير غازات العادم لتدخل مع شحنة الهواء الداخلة إلى المحرك، وبذلك تخفض أكاسيد النتروجين المنبعثة من المحرك نتيجة تخفيض كمية الأكسجين المتاح للاشتعال. تعتبر تقنية الـ EGR تقنية فعالة لتخفيض أكاسيد النتروجين إلا أنها تؤثر سلباً على استطاعة المحرك وعلى انبعاثات الملوثات الأخرى الناتجة عن الاحتراق، لذلك فقد أجريت تجارب وأبحاث عديدة لتطبيق هذه التقنية في شروط عمل مختلفة للوصول لتخفيض مقبول لأكاسيد النتروجين مع أقل تخفيض في الاستطاعة وانبعاثات أقل لباقي نواتج الاحتراق [1].

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى دراسة وتصميم دارة لتطبيق تقنية الـ EGR واختبارها في ظروف العمل المختلفة من حيث درجة حرارة الغازات ونسبة التدوير ودراسة أثرها على أكاسيد النتروجين NO_x وباقي الملوثات في شروط العمل المختلفة وفي حالتها الحمل واللاحمل.

طرائق البحث ومواده:

لتحقيق تقنية الـ EGR تم تنفيذ منظومة اختبار في مخبر كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة تشرين التي تظهر في الشكل (1) والتي تتألف من:

في تجارب اللاحمل:

1- محرك ديزل رباعي الاسطوانات رباعي الشوط من نوع mazda مودول 1800.

2- مبرد لغازات العادم (EGR cooler).

3- صمامات تحكم وإحكام يدوية عدد 2.

4- أنابيب من الكاوتشوك القاسي المقاوم للحرارة.

تم قياس تركيز الملوثات الناجمة بالاستعانة بجهاز قياس testo 350 جيلاً جديداً من أجهزة تحليل غاز العادم، وهو مصمم خصيصاً لحاجات التطبيقات والمحركات الثابتة، وفيما يلي نذكر أهم البارامترات التي يقيسها هذا الجهاز:

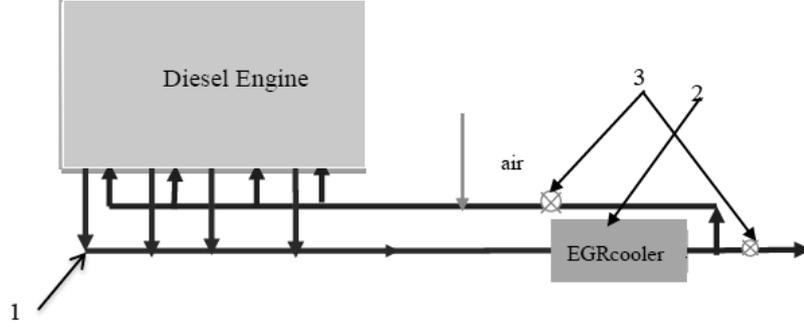
NO: حيث أن هذا الجهاز يقيس غاز أول أكسيد النتروجين ضمن المجال 0-300 ppm، وذلك بدقة 2 ppm.

T: يقيس هذا الجهاز درجات الحرارة ضمن المجال من 40-1200°C وذلك بدقة 0.5.

CO: ذلك يقيس تركيز غاز أول أكسيد الكربون ضمن مجال القياس 0-10000 ppm وذلك بدقة قياس 10 ppm.

CO₂: يحسب غاز ثاني أكسيد الكربون ضمن المجال من 0- أعظم قيمة للغاز وذلك بدقة 2%.

NO_2 : يحسب غاز ثاني أكسيد الأزوت ضمن المجال 0-500 ppm وذلك بدقة قياس 10ppm.



EGR cycle

الشكل (1) دارة تطبيق ال EGR على محرك الديزل.



صورة (1) الدارة التي اجري عليها البحث.

- 1: مدخل الهواء النقي. 2: أنبوب بيتو. 3: صمامي التحكم. 4: ممر الغازات الباردة الداخلة للمحرك.
- 5: مبرد غازات العادم. 6: ممر غازات العادم الخارجة من المحرك.



الصورة(2) جهاز قياس تراكيز غازات العادم testo 350



صورة(3) جهاز قياس سرعة الدوران

يقيس هذا الجهاز سرعات الدوران 6rpm-5999.9 وذلك بدقة $\pm 0.01\%$ ، وضمن المجال 5999.9rpm-9999.9 وبدقة $\pm 0.05\%$.

ولم يتم قياس استهلاك الوقود لدى اجراء التجارب واعتمد على سحب الوقود من الخزان دون قياس. وفي حالة تجارب الحمل قمنا بتعديل منصة الاختبار ووصلها مع ميكانزم يسمح لنا بتطبيق أحمال مختلفة على المحرك، هذا الميكانزم يمكننا من تطبيق حمل على المحرك من خلال ضغط السيور على البكرة المركبة على محور الحركة للمحرك، وبذلك يمكننا تطبيق عزم احتكاك مفرمل على البكرة المركبة على المحرك بقيم مختلفة وفقاً لقيم قوى الشد المطبقة على طرفي البكرة. ويتم قياس قيم قوى الشد المطبقة على طرفي البكرة باستخدام ربيعتين موضحتين بالصور



صورة (4) ميكانيزم تطبيق الحمل.

1: ربيعتين لقياس قوى الشد. 2: سير لتطبيق عزم احتكاك مقاوم.

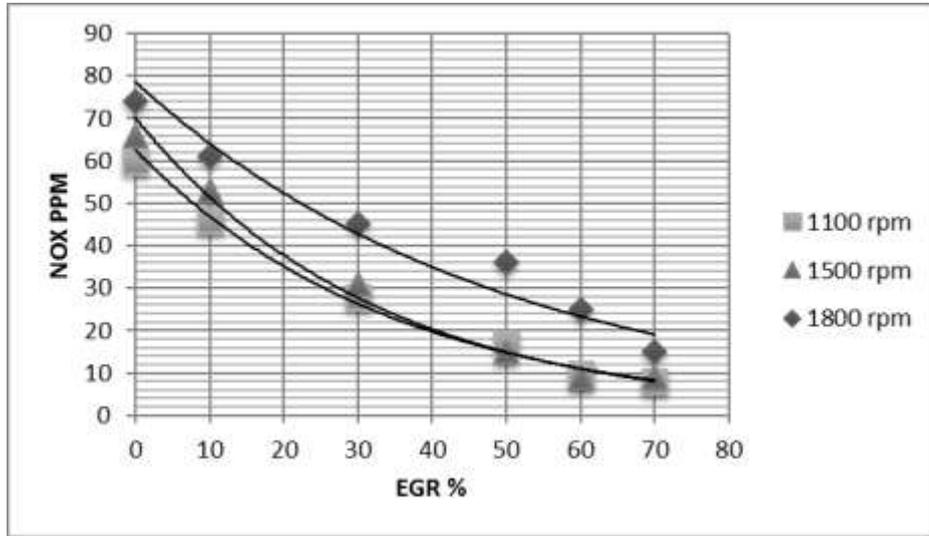
النتائج والمناقشة:

اختبارات اللاحمل:

في هذا الجزء من التجارب قمنا بإجراء القياسات لمختلف الملوثات عند السرعات التالية 1100، 1500 ، 1800 rpm وذلك عند قيم مختلفة لنسب إعادة تدوير غازات العادم (EGR).

أكاسيد النتروجين NO_x:

تم اخذ قراءات لقيم ال NO_x عند نسب إعادة تدوير مختلفة تتراوح % (0-70) فكانت نتائج القياس كما هو موضح بالشكل (2).



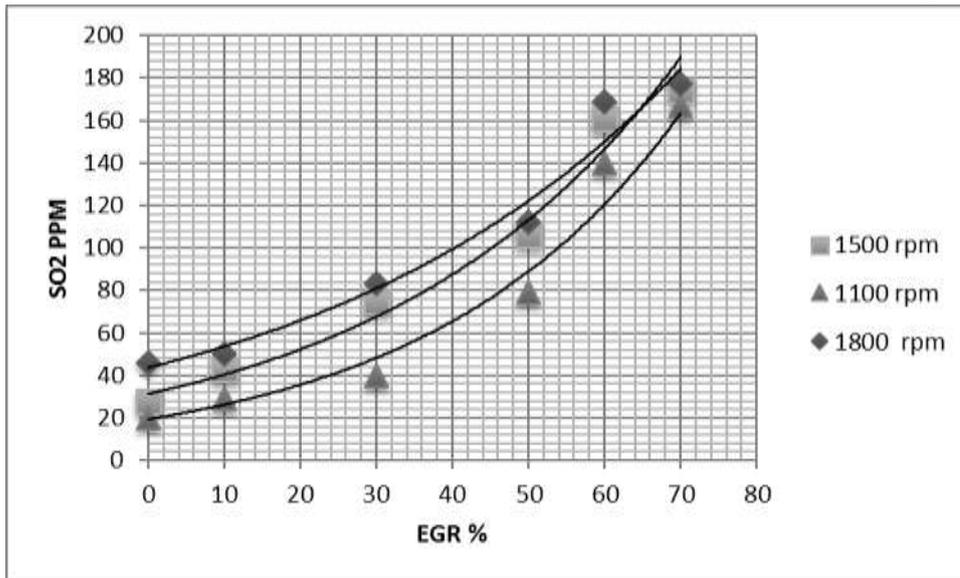
الشكل (2) تغير تراكيز أكاسيد النتروجين المنبعثة مع تغير نسب إعادة التدوير EGR عند السرعات 1100، 1500، 1800 rpm.

بينت نتائج القياس في الشكل (2) أنه من أجل السرعة 1100 rpm انخفضت أكاسيد النتروجين من 60 ppm عند نسبة إعادة تدوير مساوية للصفر إلى 8 ppm عند نسبة إعادة تدوير مساوية ل70%. ومن أجل السرعة 1500 rpm، انخفضت أكاسيد النتروجين من 66 ppm عند نسبة إعادة تدوير مساوية للصفر إلى 9 ppm عند نسب إعادة تدوير مساوية ل70%. أما من أجل السرعة 1800 rpm انخفضت أكاسيد النتروجين من 74 ppm عند

نسبة إعادة تدوير مساوية للصفر إلى 15 ppm عند نسب تدوير مساوية للـ 70%. وهذا الانخفاض في تركيز أكاسيد النتروجين سببه انخفاض نسبة الأوكسجين المتاح في حجرة الاحتراق مما يفقد أكاسيد النتروجين أحد عناصر تشكيلها الأساسية وهو الأوكسجين ودرجة الحرارة [2].

غاز ثاني أكسيد الكبريت (SO_2):

تم قياس تراكيز غاز ثاني أكسيد الكبريت عند السرعات الثلاث ومن أجل نسب إعادة تدوير غازات العادم من (0-70)% و نتائج القياس مبينة في الشكل (3):

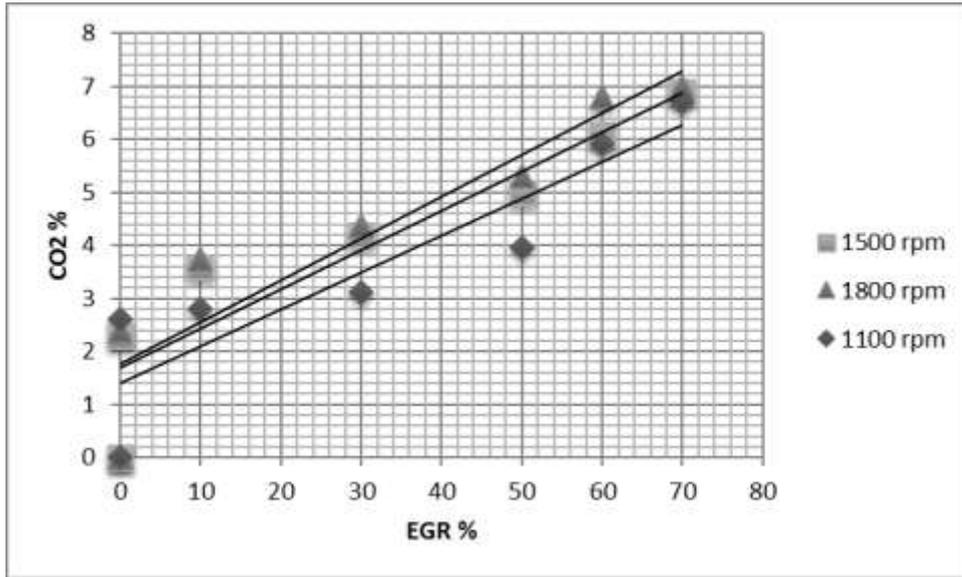


الشكل (3) تأثير انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكبريت بزيادة نسبة إعادة التدوير EGR عند السرعات 1100، 1500، 1800rpm.

يبين الشكل (3) زيادة في انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكبريت مع تزايد نسب إعادة التدوير، فعند إجراء القياس عند السرعة 1100rpm وجدنا أن تركيز غاز ثاني أكسيد الكبريت تزايد من 20ppm عند نسبة تدوير مساوية للصفر، إلى 167ppm عند نسبة إعادة تدوير مساوية لـ 70%، وعند سرعة دوران 1500rpm فقد تزايد انبعاث غاز ثاني أكسيد الكبريت من 28ppm عند نسبة إعادة تدوير مساوية للصفر، وتزايد إلى قيمة مقدارها 174ppm عند نسبة إعادة تدوير مساوية للـ 60%، وعند سرعة دوران للمحرك مقدارها 1800rpm تزايد انبعاث الغاز من 46ppm عند نسبة إعادة تدوير مساوية للصفر إلى 177ppm عند نسبة إعادة تدوير مساوية لـ 70%. ويعود هذا التزايد في انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكبريت نتيجة وجوده التراكمي في اسطوانات المحرك مع زيادة نسبة إعادة التدوير (SO_2) الناجمة عن الاحتراق بالإضافة إلى SO_2 المدورة مع غازات العادم [3].

غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2):

قمنا بقياس تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعث عند السرعات الثلاث 1800، 1500، 1100rpm، ومن أجل نسب إعادة التدوير المختلفة والنتائج تظهر بالشكل (4).



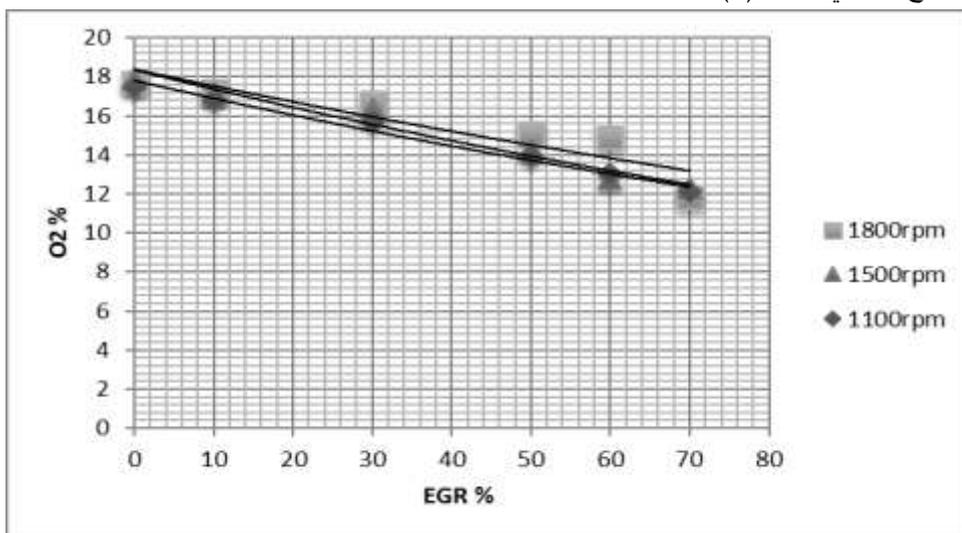
الشكل (4) تغير النسبة المئوية لتراكيز غاز ثاني أكسيد الكربون مع تغير نسبة إعادة التدوير عند السرعات

.1100،1500،1800rpm

عند القياس عند السرعة 1100 rpm وجدنا أن النسبة المئوية لتراكيز غاز ثاني أكسيد الكربون تزداد من 2.6% عند نسبة إعادة تدوير مساوية للصفر إلى 6.6% عند نسبة إعادة تدوير مقدارها 70%. ومن أجل السرعة 1500 rpm تزداد النسبة من 2.5% عند نسبة إعادة تدوير مساوية للصفر إلى 6.9% عند نسبة تدوير مساوية ل70%. وعند سرعة دوران مساوية ل1800 rpm كانت 2.4% عند نسبة تدوير مساوية للصفر وتزايدت إلى 7% عند نسبة إعادة تدوير مساوية ل70%. وتعود هذه الزيادة في انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون نتيجة تشكله في غازات الاحتراق لدى احتراق الوقود هذا بالإضافة لتراكم وجوده في الاسطوانات مع زيادة نسبة إعادة التدوير [4].

غاز الأوكسجين O₂ %:

قمنا بقياس غاز الأوكسجين المنطلق مع غازات العادم عند السرعات الثلاث 1800، 1500، 1100 rpm. وكانت النتائج كما في الشكل (5).



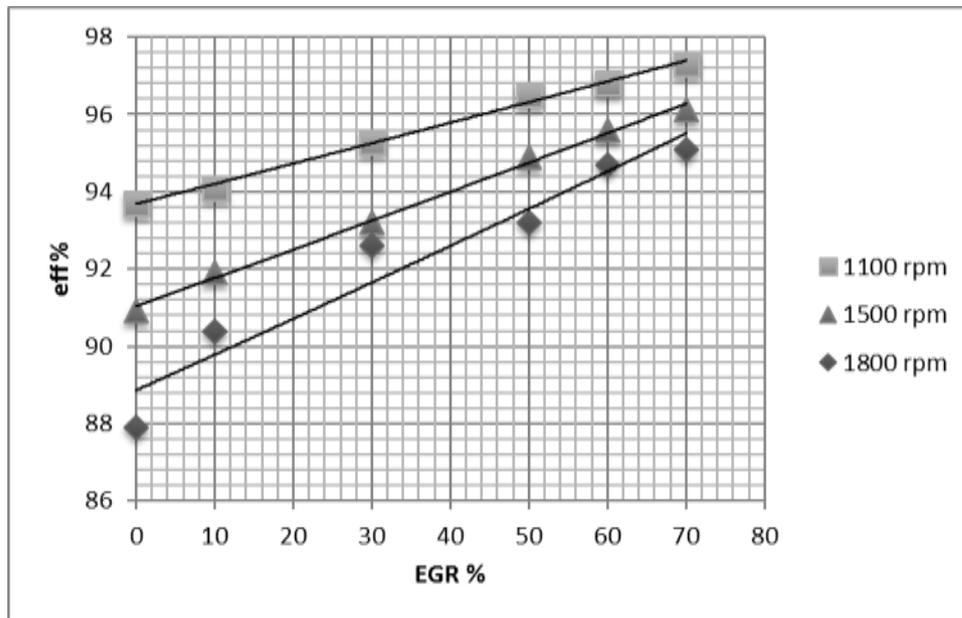
شكل (5) تغير النسبة المئوية لانبعاثات غاز الأوكسجين في غازات عادم محرك الديزل مع زيادة نسبة إعادة التدوير عند

السرعات 1800 ، 1500 ، 1100 rpm.

عند سرعة محرك مقدارها 1100 rpm انخفضت النسبة المئوية لغاز الأوكسجين من 17.5% عند نسبة إعادة تدوير مساوية للصفر إلى نسبة مساوية لـ 12.1% عند نسبة إعادة تدوير مساوية لـ 70%. أما عند السرعة 1500 rpm فكانت النسبة المئوية لغاز الأوكسجين 17.9% عند نسبة إعادة تدوير مساوية للصفر، وتناقصت إلى 12.3% عند نسبة إعادة تدوير مساوية لـ 70%. وعند سرعة 1800 rpm ونسبة إعادة تدوير مساوية للصفر كانت نسبة غاز الأوكسجين 17.7%، وتناقصت إلى 11.8% عند نسبة إعادة تدوير مساوية لـ 70%. ويعود انخفاض غاز الأوكسجين إلى تناقص كمية الهواء المتاح للاحتراق مع زيادة نسبة إعادة التدوير [5] بالإضافة لانخفاض نسبة الأوكسجين المتولد من التفاعلات الكيميائية التي تحتاج لدرجة حرارة مرتفعة [6].

فعالية الاحتراق:

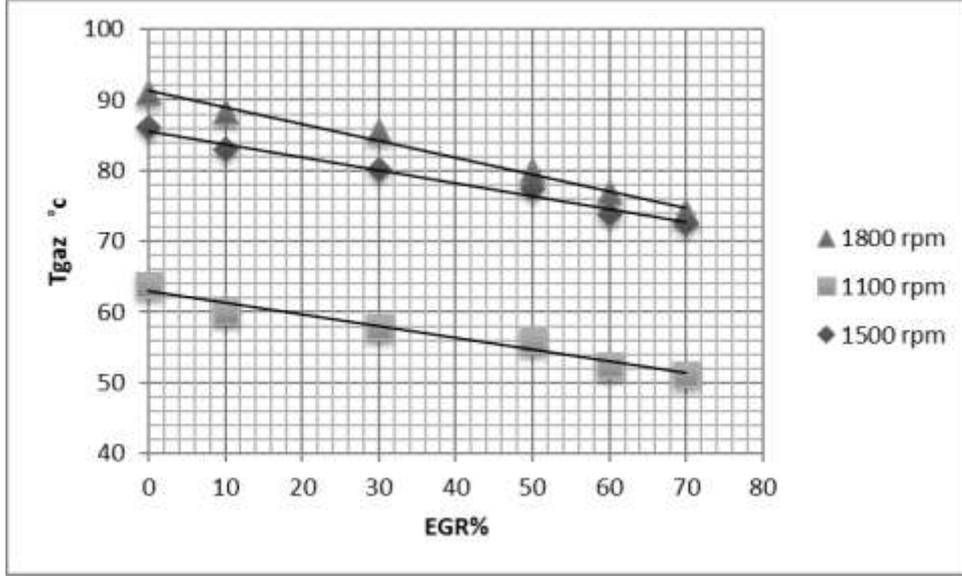
نتيجة قياس فعالية الاحتراق عند السرعات الثلاث ولدى تغيير نسب إعادة التدوير من 0-70% كانت النتائج الموضحة بالشكل (6)، حيث وجد أنه عند السرعة 1100 rpm تزايدت فعالية الاحتراق من 93.7% عند نسبة إعادة تدوير مساوية للصفر إلى 97.3% عند نسبة إعادة تدوير مساوية لـ 70%. وعند السرعة 1500 rpm تزايدت فعالية الاحتراق من 90.9% عند نسبة إعادة تدوير مساوية للصفر إلى 96.1% عند نسبة إعادة تدوير مساوية لـ 70%. وعند سرعة 1800 rpm تزايدت فعالية الاحتراق من 87.9% عند نسبة إعادة تدوير مساوية للصفر إلى 95.1% عند نسبة إعادة تدوير مساوية لـ 70%. ويعود هذا التزايد في فعالية الاحتراق لانخفاض نسبة الهواء الزائد الخارج مع غازات العادم على اعتبار أن فعالية الاحتراق تعتمد في حسابها على نسبة الأوكسجين المحترق من الهواء المتاح للاحتراق [7].



شكل (6) زيادة فعالية الاحتراق مع زيادة نسبة إعادة التدوير عند السرعات 1100، 1500، 1800 rpm.

درجة حرارة غازات الاحتراق:

أظهرت درجة حرارة الغازات المنبعثة ميلاً للانخفاض مع زيادة نسبة الغازات المدورة عند السرعات الثلاثة، وهذا ما يظهر جلياً في الشكل (7).



شكل (7) انخفاض درجة حرارة غازات العادم مع زيادة نسبة إعادة التدوير عند السرعات 1500، 1800، 1100rpm.

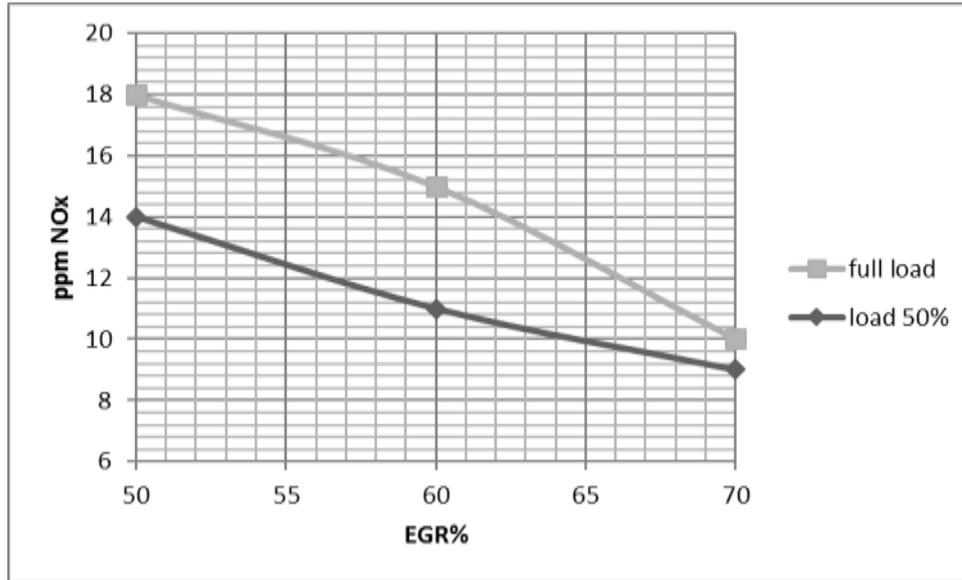
فمن أجل السرعة 1100 rpm انخفضت درجة حرارة غازات العادم في نقطة القياس من 63.8° عند نسبة تدوير لغازات العادم مساوية للصفر إلى 51.3° عند نسبة تدوير مساوية ل70%، في حين أنه من أجل سرعة دوران مساوية ل 1500 rpm انخفضت درجة حرارة غازات العادم من 86.1° عند نسبة تدوير مساوية للصفر إلى 72.6° عند نسبة تدوير لغازات العادم مقدارها 70%، ومن أجل السرعة 1800 rpm كان الانخفاض من 91° حتى 74.2° ، ويعود هذا الانخفاض إلى إضافة غازات خاملة (غازات العادم المعاد تدويرها) مما يخفض من درجة حرارة الاحتراق مما ينعكس على درجة حرارة غازات العادم المطروحة [8].

اختبارات الحمل:

قمنا بقياس تراكيز الغازات المنبعثة من المحرك عند السرعة 1500rpm، وقيمة حمل 50% و100% وكانت نتائج القياس كالتالي:

أكاسيد النتروجين NOx:

تم قياس أكاسيد النتروجين في تجارب الحمل هند نسب إعادة تدوير تتراوح بين (50-70%) فكانت النتائج كما يظهر بالشكل (8):

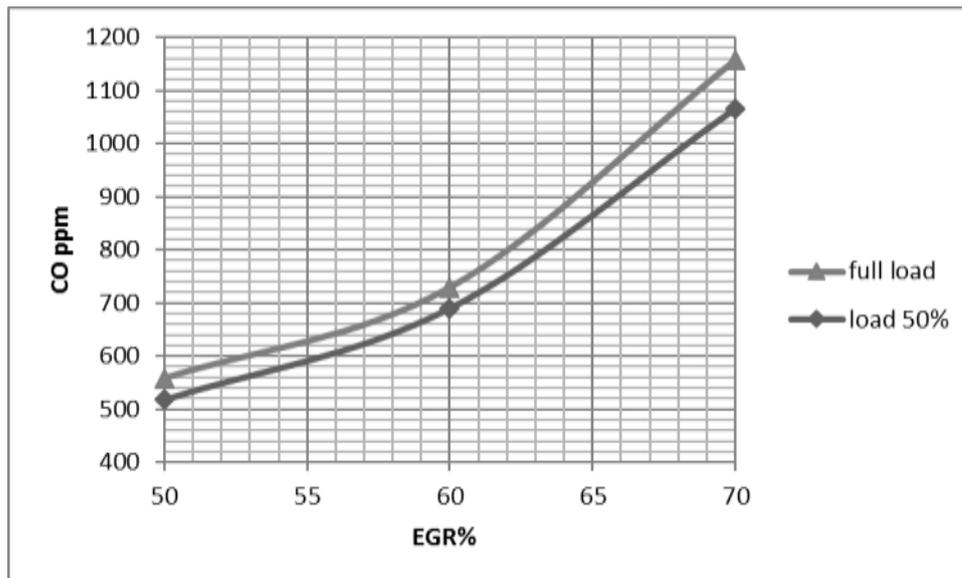


الشكل (8) العلاقة بين انبعاثات أكاسيد النتروجين ونسب إعادة التدوير عند الحمل الكامل ونسبة حمل 50%.

حيث تبين أنه عند الحمل الكامل (100%) تتخفض أكاسيد النتروجين من 18ppm عند نسبة عادة تدوير 50% إلى 10ppm عند نسبة إعادة تدوير 70%. أما عند حمل مقداره 50% انخفضت أكاسيد النتروجين من 14ppm عند نسبة إعادة التدوير 50% إلى 9ppm عند نسبة إعادة تدوير 70%. ويعود السبب الرئيسي لانخفاض تشكل أكاسيد النتروجين وهو انخفاض درجة حرارة اللهب [2],[9]، وكذلك لانخفاض نسبة الهواء مع زيادة نسبة إعادة التدوير عند تطبيق الحمل [10].

غاز أول أكسيد الكربون CO:

أظهرت نتائج قياس انبعاثات أول أكسيد الكربون كما هو مبين في الشكل (9) ازدياد هذه الانبعاثات عند الحمل الكامل من 558ppm ونسبة تدوير 50%، إلى 1157ppm عند نسبة إعادة تدوير 70%.

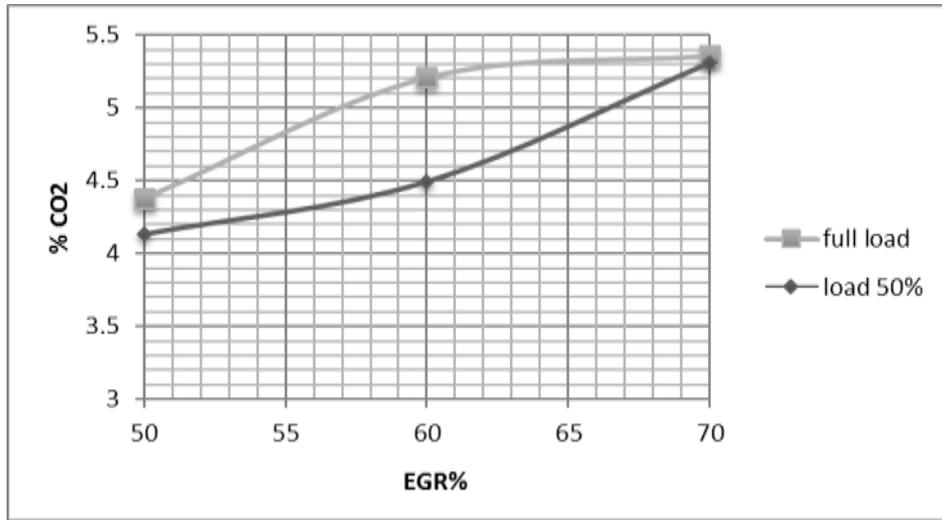


الشكل (9) العلاقة بين انبعاثات أول أكسيد الكربون ونسب إعادة التدوير عند الحمل الكامل ونسبة حمل 50%.

في حين عند حمل مقداره 50% ازدادت هذه الانبعاثات من 518ppm عند نسبة إعادة تدوير 50% إلى 1066ppm عند نسبة إعادة تدوير 70%. وتعود هذه الزيادة في انبعاثات غاز أول أكسيد الكربون نتيجة لتراكم تشكله في غازات الاحتراق (CO الناتج عن الاحتراق بالإضافة إلى CO المعاد تدويره مع غازات العادم).

غاز ثاني أكسيد الكربون CO₂:

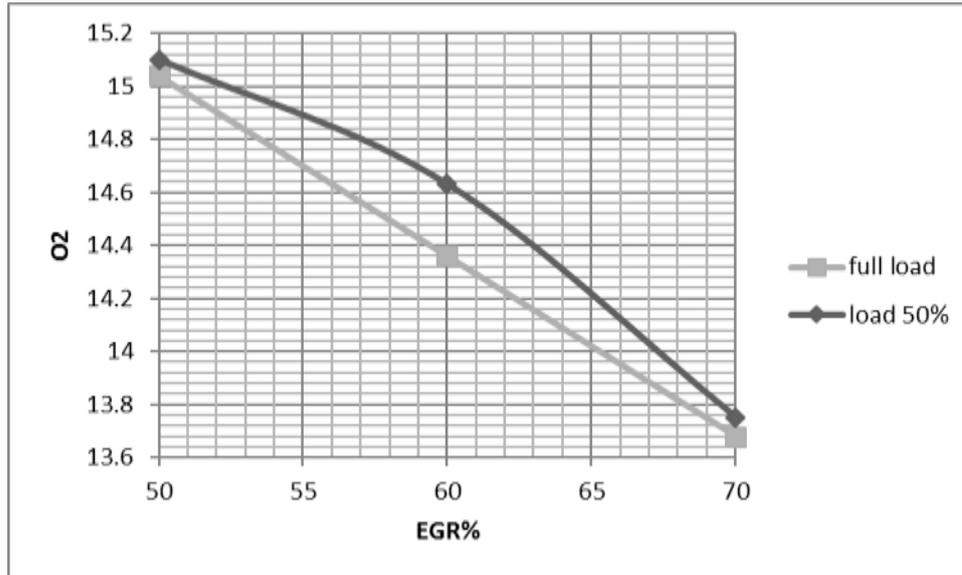
أظهرت نتائج القياس كما هو مبين في الشكل (10) زيادة النسبة المئوية لانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون من 4.38% عند نسبة إعادة تدوير 50% وحمل كامل إلى 5.36% عند نسبة تدوير 70%. بينما عند نسبة حمل 50% ازدادت من 4.13% عند نسبة إعادة تدوير 50% إلى 5.31% عند نسبة إعادة تدوير 70%. وتعود هذه الزيادة في انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون نتيجة لتراكم تشكله في غازات الاحتراق (CO₂ الناتج عن الاحتراق بالإضافة إلى CO₂ المعاد تدويره مع غازات العادم).



الشكل (10) العلاقة بين انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ونسب إعادة التدوير عند الحمل الكامل ونسبة حمل 50%.

الأكسجين O₂%:

تبين بالقياس كما هو ظاهر بالشكل (10) انخفاض النسبة المئوية لغاز الأكسجين المطروح مع غاز العادم من 15.04% عند نسبة إعادة تدوير 50% وحمل كامل إلى 13.68% عند نسبة تدوير 70%.

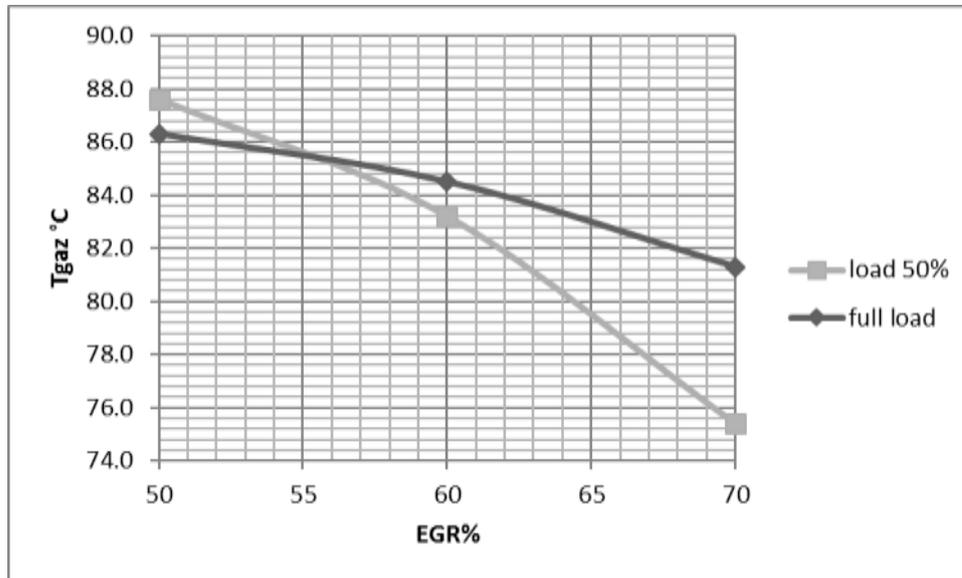


الشكل(11) العلاقة بين نسبة غاز الأوكسجين في غاز العادم ونسب إعادة التدوير عند الحمل الكامل ونسبة حمل 50%.

بينما عند نسبة حمل 50% ازدادت من 15.1% عند نسبة إعادة تدوير 50% إلى 13.75% عند نسبة إعادة تدوير 70%. وانخفاض نسبة الأوكسجين يعود لانخفاض نسبة الهواء المسحوب للأسطوانات مع زيادة نسبة الغازات المدورة (الEGR).

درجة حرارة غازات العادم:

أظهرت نتائج قياس درجة حرارة غازات العادم في نقطة القياس النتائج الظاهرة في الشكل(12).



الشكل(12) العلاقة بين درجة حرارة غاز العادم ونسب إعادة التدوير عند الحمل الكامل ونسبة حمل 50%.

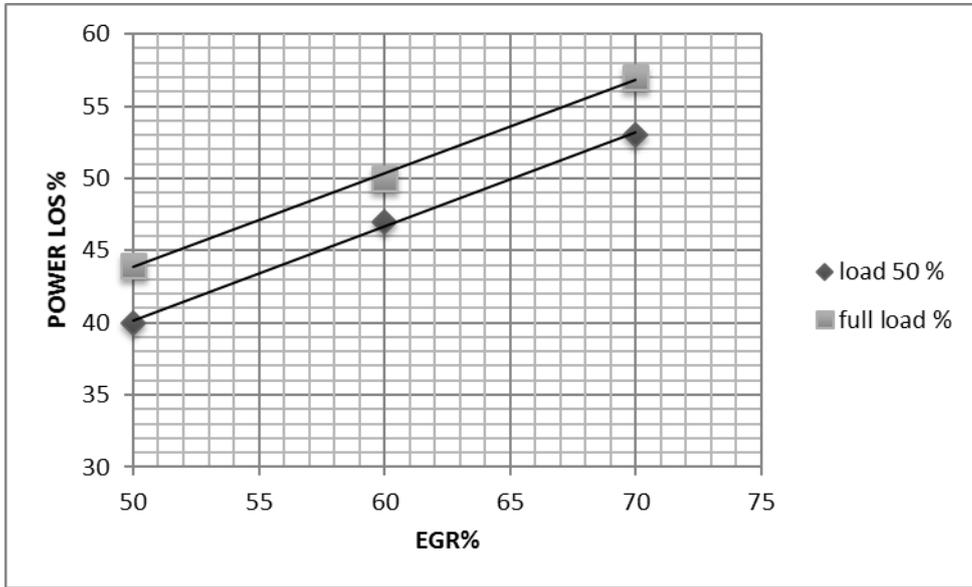
حيث لوحظ انخفاض درجة حرارة غازات العادم في نقطة القياس وعند نسبة تبريد ثابتة من 86.3° عند نسبة إعادة تدوير 50% وحمل كامل إلى 81.3° عند نسبة تدوير 70%. بينما عند نسبة حمل 50% انخفضت من 87.6° عند نسبة إعادة تدوير 50% إلى 75.4° عند نسبة إعادة تدوير 70%. وهذا الانخفاض يعود لانخفاض نسبة

الأكسجين المتاح للاحتراق مما يخفض درجة حرارة الاشتعال وبالتالي درجة حرارة غاز العادم [12] [8]، هذا بالإضافة إلى أنه مزج الهواء بغازات الاحتراق الأعلى درجة منه يخفض من كمية الغاز المسحوب إلى اسطوانات المحرك وبالتالي تنخفض درجة حرارة غازات الاحتراق [13].

ضياعات الاستطاعة %:

تم حساب انخفاض الاستطاعة من خلال حساب الانخفاض في العزم المتولد على محور المحرك. وينطبق تقنية ال EGR في حالتها الحمل 50% والحمل الكامل كانت النتائج التالية:

لوحظ كما هو مبين في الشكل (13) عند تطبيق حمل مقداره 50% انخفاض استطاعة المحرك بنسبة 40% عند تدوير غازات العادم بنسبة 50%. واستمر الانخفاض إلى 53% عند نسبة إعادة تدوير لغازات العادم وقدرها 70%. وعند تطبيق الحمل الكامل كان الانخفاض الاستطاعة 44% عند نسبة إعادة التدوير 50% واستمر الانخفاض إلى 57% عند نسبة إعادة تدوير 70% [9] [14].



الشكل (13) العلاقة بين ضياعات استطاعة المحرك مع نسب إعادة التدوير عند الحمل الكامل ونسبة حمل 50%.

الاستنتاجات والتوصيات:

تعد طريقة إعادة تدوير غازات العادم إحدى أهم الطرق المستخدمة في محركات الديزل لإقلال نسبة أكاسيد النتروجين الناتجة عن الاحتراق ولذلك تم تطبيق هذه التقنية على محرك 18ph نوع مازدا، وتم قياس تركيز كل من أكاسيد النتروجين وثاني أكسيد الكربون والفعالية ودرجة الحرارة لحالتها الحمل اللامحل وتوصلنا إلى النتائج التالية:

1-تزداد معدل تشكل أكاسيد النتروجين في محركات الديزل مع زيادة سرعة الدوران وزيادة الحمل المطبق
2-مع تطبيق تقنية ال EGR تزداد انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون وتزداد هذه الانبعاثات مع زيادة السرعة عند نفس نسبة إعادة التدوير.

3-تنخفض درجة حرارة غازات العادم مع تطبيق تقنية ال EGR، ويكون هذا التخفيض أكثر وضوحاً في حالة الحمل عنه في حالة اللامحل.

4-تكون استجابة المحرك لتخفيض أكاسيد النتروجين عند استخدام تقنية ال EGR أفضل عند قيم الحمل الأقل.

5- نظراً لانخفاض الاستطاعة عند تطبيق تقنية الـ EGR وخاصة عند نسب التدوير العالية والاحمال العالية،

يستحسن استخدام نسب تدوير مثلى لكل محرك تحقق اعلى تخفيض لأكاسيد النتروجين دون الاضرار باستطاعة وسلامة عمل المحرك (في حالة تجارب اللاحمل اعطت نسب إعادة التدوير بين (25-30)% افضل النتائج بالنسبة لتخفيض أكاسيد النتروجين دون زيادة كبيرة للملوثات الأخرى) وفي حالة الحمل فإن التجربة كانت عند نسب تدوير بين (50-70)% وهي نسب عالية الا أن الغرض منها دراسة تأثير نسب التدوير العالية على أداء المحرك وباقي الملوثات في حالة الحمل.

6- عند تطبيق الحمل على المحرك كان تأثير نسب إعادة التدوير على تخفيض استطاعة المحرك أقل عند نفس نسبة إعادة التدوير عنه عند الحمل الأقل لذلك نظراً لحساسية استطاعة المحرك عند الأحمال العالية، يستحسن استخدام نسب إعادة التدوير عند الأحمال المنخفضة واختيار نسب إعادة التدوير المناسبة عند العمل على الاحمال المرتفعة .

المصطلحات والرموز:

الرمز	تفصيله	
ppm	parts per million	جزء في المليون
rpm	rotation per minute	دورة في الدقيقة
EGR	exhaust gas recirculation	إعادة تدوير غازات العادم
NO _x	NO, NO ₂ , N ₂ O	أكاسيد النتروجين

المراجع:

- [1] J.A.CATON, *Thermodynamic Considerations Regarding The Use Of EGR For Conventional And High Efficiency Engines*, Vol. 139, N. 1 2016, 8.
- [2] Q.LEI; W.ZHONG;W.YANPENG;S. BO; *Effects Of EGR Ratios On Combustion Process And Emission With N-Butanol/Diesel Blend*, School Of Automotive And Traffic Engineering,Jiangsu University, 03-2016, 12.
- [3] S.HU; CH.GONG; XUE-SONG BAI, *Dual Fuel Combustion Of N-Heptane/Methanol-Air-EGR Mixtures*, June 2017, 6.
- [4] GURWINDER SINGH, SHUBHAM PARMAR, DR.RADHEY SHAM, *Effects Of Egr And Other Technologies To Reduce Emissions In Ic Engines*, Vol 2 N 5, 2016,7.
- [5] A.YAMASHITA; H. K. NAKATANI, *A Control Strategy Of Low-Pressure Loop Exhaust Gas Recirculation And Nox Storage Catalyst For Diesel Engines*,Vol. 15, N. 5 2014, 7.
- [6] L.CORNOLTI; A.ONORATI; T.CERRI ,*1D Simulation Of A Turbocharged Diesel Engine With Comparison Of Short And Long Egr Route Solution* ,Vol. 111, N. 5, 2013, 15.
- [7] J.BENAJES; J.J.LÓPEZ; R.NOVELLA; P.REDÓN, *Comprehensive Modeling Study Analyzing The Insights Of The No-No2 Conversion Process In Current Diesel Engines*, 84 (2014) 691-700, 10.
- [8] H.YONGAN; CH.QI'AN; X.WEIWU; D.JUNQI ; G.DUITIAN, *Simulation For Egr Cooler Performance Of Heat Transfer And Pressure Drop*, Lo.Ct,Zhejiang, China, 2012.

- [9] S.RAMADHASA; S.JAYARAJ; AND C. MURALEEDHARAN ,*Performance And Emission Studies On Biodiesel-Liquefied Petroleum Gas Dual Fuel Engine With Exhaust Gas Recirculation*, 013109, 2010, 10.
- [10] K.YOSHIDA; T.KUROKI; M.OKUBO ,*Diesel Emission Control System Using Combined Process Of Nonthermal Plasma And Exhaust Gas Components' Recirculation*, Vol. 171, N. 7, 2009,6.
- [11] A.K.AGRAWAL¹; S.K.SINGH²; SHAIENDRA SINHA¹ AND M.K.SHUKLA¹, *Effect Of EGR On Ex-Haust Gaz Opacity In Compress Iginition Engine*, 1department Of Mechanical Engineering, And 2environmental Engineering And Management, Indian Institute Of Technology,Kanpur, India, Vol. 171, N. 7, 2003.6.
- [12] J; D.ASSANIS; Z.FILIPI, *The Empact Of Exhuast Gas Re-Circulation On Performance And Emission Of Heavey Duty Diesel Engine*-Timothy Automotive Research Center The University Of Michigan, 2003
- [13] H.YOKOMURA; S.KOHKETSU; K.MOI, *EGR System In Turobouchached And Intercooled Heavy Duty Diesel Engine*, Engine Research Dept, Research & Dev. Office. Mftbc,China, 2003.7.
- [14] W.STUART; L.WALLANCE; M.DOMA, *Emissions From Heavy Duty Diesel Engine With Egr Using Fuels Derived From Oil Sands And Conventional Curde-Suncor* Energy Inc, Craig Faibrige, National Center Of Upgrading Thechnology-Canada Products-2003, 8.