

## Improve the Performance of a Turbocharged Diesel Engine by Increasing the Temperature of the Exhaust Gases

Dr. Nabil Gadeer<sup>\*</sup>  
Bahaa Baddour<sup>\*\*</sup>

(Received 7 / 7 / 2019. Accepted 21 / 1 / 2020)

### □ ABSTRACT □

In this search we present a study to improve the ability of diesel engine with turbocharger by increasing the temperature of exhaust gases.

Increasing the power of the engine by injecting gas fuel into the exhaust stream covers large, non-continuous loads. Therefore, we do not have to use an engine with greater capacity to perform the same work, this means non-draining energy and environmental protection from pollution.

We modeled the engine cycle, turbocharger cycle and added a combustion chamber using Matlab program, so that proposed addition showed a notable increase in torque, when ratio of diesel fuel 50% it gave an increase in torque of 24% when the speed of rotation 2000 RPM and the ratio of propane 25%, increase in torque 35% when the speed of rotation 1800 RPM at the ratio of propane 50%, and increase in torque 35% at 1800 RPM at the ratio of propane 75%.

**Keywords:** Turbocharger engine, Turbocharging, Increase power of engine, Increase temperature of exhaust gases.

---

<sup>\*</sup> Professor – Department of Mechanical Power Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University- Lattakia- Syria.

<sup>\*\*</sup> Master Student - Department of Mechanical Power Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University - Lattakia- Syria.

## تحسين أداء محرك ديزل مشحن عن طريق زيادة درجة حرارة غازات العادم

د. نبيل غدير\*

بهاء بدّور\*\*

(تاريخ الإيداع 7 / 7 / 2019. قُبِلَ للنشر في 21 / 1 / 2020)

### □ ملخّص □

تم في هذا البحث دراسة لتحسين استطاعة محرك ديزل رباعي الأشواط مشحن عنيفاً عن طريق زيادة درجة حرارة غازات العادم التي تقوم بتشغيل الشاحن العنفي. وتعمل زيادة استطاعة المحرك عن طريق حقن وقود غازي في مجرى غازات العادم على تغطية الأحمال الكبيرة غير المستمرة، بالتالي تنتفي الحاجة لمحرك ذو استطاعة أكبر لتأدية نفس العمل، وهذا يعني عدم استنزاف طاقة إضافية والحفاظ على البيئة من التلوث. قمنا في هذه الدراسة بنمذجة دارة المحرك ودارة الشاحن العنفي وأضفنا حجرة احتراق باستخدام برنامج ماتلاب وقد أظهرت الإضافة المقترحة زيادة ملحوظة في العزم، حيث أعطى البرنامج عند نسبة حقن وقود الديزل 50% زيادة في العزم 24% عند سرعة دوران 2000 RPM ونسبة وقود البروبان 25%، ونسبة زيادة في العزم 35% عند سرعة دوران 1800 RPM عند نسبة وقود البروبان 50%، ونسبة زيادة في العزم 35% عند سرعة دوران 1800 RPM ونسبة وقود البروبان 75%.

**الكلمات المفتاحية:** محركات مشحنة، التشحيم العنفي، زيادة استطاعة المحرك، زيادة درجة حرارة غازات العادم.

\* أستاذ -قسم القوى الميكانيكية-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\* طالب ماجستير -قسم القوى الميكانيكية-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

**مقدمة:**

تعد محركات الاحتراق الداخلي كمصدر لإنتاج الطاقة هي الأكثر انتشاراً بين المحركات الحرارية، حيث تنتج أكثر من 80% من الطاقة المتولدة في العالم. وتعتبر المصدر الأساسي لها في آليات النقل والبناء والطرق، كما تستخدم في مجالات الحياة الاقتصادية المختلفة وفي محطات التوليد والضخ وغيرها. يعود ذلك لما تتمتع به هذه المحركات من اقتصادية عالية واستطاعة نوعية كبيرة وموثوقية في العمل وعمر خدمة طويل عند الاستثمار إضافة إلى سهولة صيانتها وصيانتها نسبياً. [5]

يعتبر تطوير المحركات من حيث زيادة الاستطاعة بدون الاضطرار إلى زيادة المؤشرات الحجمية للمحرك، الهاجس لدى المهندسين منذ زمن اختراع المحرك، لما لهذا الامر من أهمية اقتصادية وتصنيعية حيث أن المحركات تنتج المزيد من الطاقة عندما تكون مصنوعة من مواد تمتلك خواص الخفة في الوزن والمتانة، لكن المواد التي تمتلك هذه الخصائص غالية الثمن لذلك لا يمكن استخدامها في جميع التطبيقات.

تصنع محركات الديزل من مواد ذات جودة عالية لتتحمل الضغوط والعزوم العالية، تم الاتجاه إلى زيادة استطاعة المحرك مع الحفاظ على مؤشرات الحجمية عن طريق وضع شاحن عنفي يتم تدويره عن طريق غازات العادم لذلك عدلنا دارة المحرك والشاحن العنفي، وأضفنا حجرة احتراق إضافية بين مجمع غازات العادم ومدخل العنفة الغازية للشاحن العنفي هذه الاضافة تزيد من الضغط على مدخل المحرك والذي بدوره يزيد استطاعة المحرك أكثر من المحرك العادي المزود بشاحن عنفي فقط.

**أهمية البحث وأهدافه:**

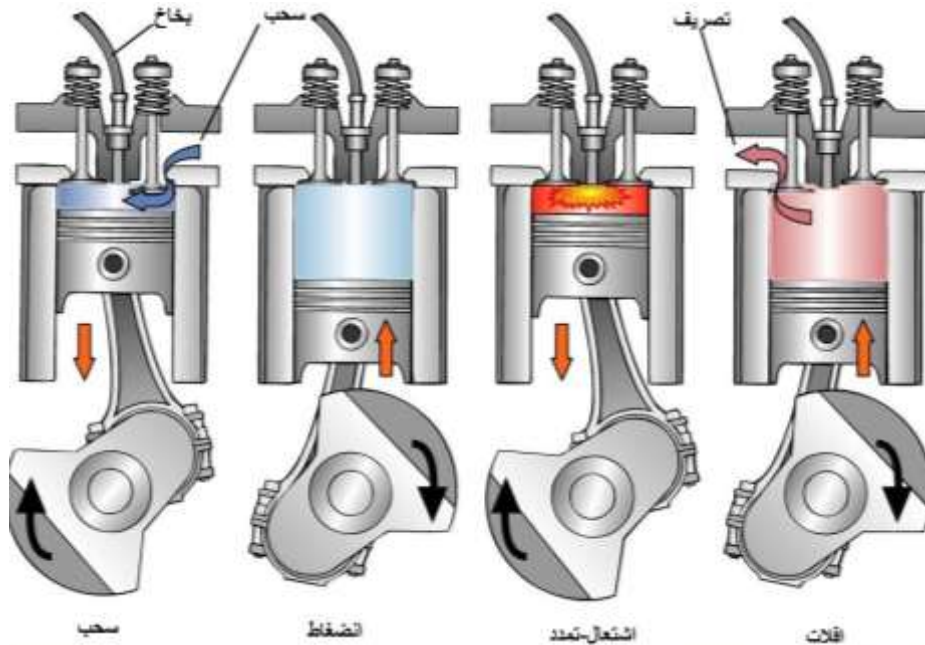
يعتبر تحسين أداء المحرك من الامور الأساسية في الجدوى الاقتصادية لاستثماره حيث تأخذ محركات الديزل دوراً كبيراً ومهماً في الحياة العملية، لذلك كان من الضروري السعي لتطوير هذه المحركات وإدخال تقنيات جديدة تزيد من مردودها وتقلل التلوث البيئي. يهدف هذا البحث إلى تحسين أداء محرك ديزل بتصميم نموذج حاسوبي يحاكي وجود حجرة احتراق اضافية على مجرى غازات العادم بهدف زيادة استطاعة المحرك وتقليل كمية الوقود المستهلكة لإنتاج نفس الاستطاعة من محرك أكبر مما يحد من التلوث.

**طرائق البحث ومواده:**

- 1- دراسة طريقة لتحسين الشحن القسري لمحركات الديزل كوسيلة مفيدة لزيادة قدرتها وتحسين أدائها.
- 2- وضع موديل رياضي لحساب محرك الديزل رباعي الأشواط وحساب مميزاته وبارامتراته.
- 3- وضع موديل رياضي لحساب الشاحن العنفي وحساب مميزاته وبارامترات التجهيزات المستخدمة.
- 4- وضع موديل رياضي لحساب الطاقة الناتجة عن حجرة الاحتراق الإضافية ونمذجتها حاسوبياً.
- 5- إعداد برامج حسابية على أساس الموديلات الرياضية المقترحة.
- 6- دراسة تأثير العوامل التصميمية والاستثمارية على استطاعة المحرك من خلال البرنامج المعد.

## 1- محرك الديزل:

هو محرك رباعي الأشواط ذو اشتعال بالانضغاط حيث يعمل بشكل ترددي لإنجاز دورة عمل يتطلب ذلك من المكبس إنجاز أربع أشواط، حيث يبين الشكل (1) محرك ديزل رباعي الأشواط. [2]



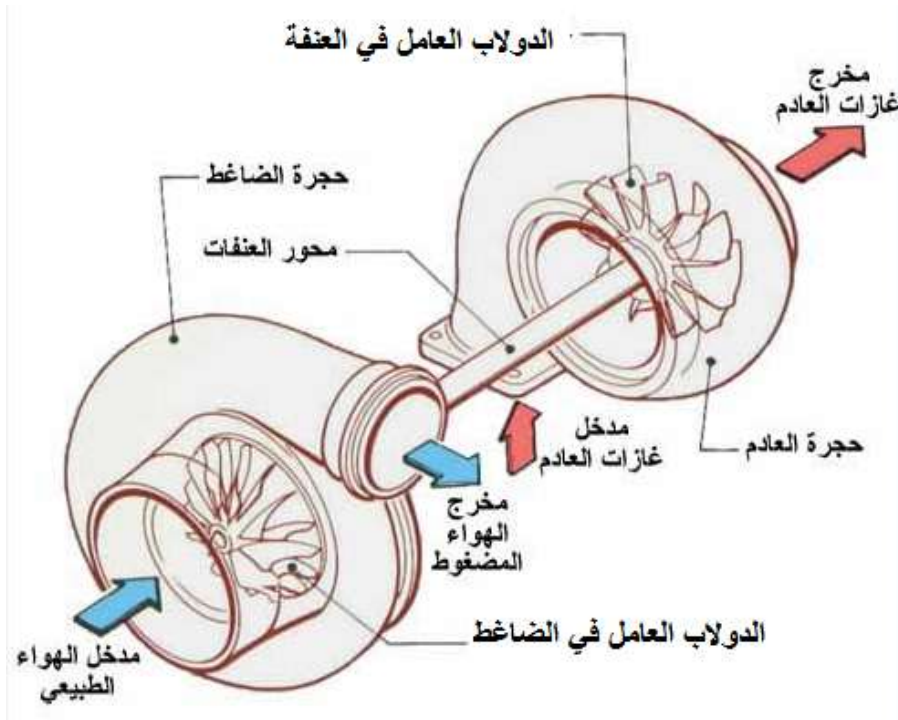
الشكل (1) مبدأ عمل محرك ديزل رباعي الأشواط

هناك عدة اختلافات بين الدورة المثالية ومحرك الديزل الفعلي، حيث أنه في محرك الديزل الفعلي لا تحدث عملية فتح وإغلاق الصمامات تماماً عندما يصل المكبس إلى أعلى أو أسفل الشوط. كما إن الوقود يحقن قبل وصول المكبس إلى أعلى الشوط حيث يؤخذ بالاعتبار فترة تأخر الاشتعال وأخيراً الاحتراق لا يحدث عند ضغط ثابت. [5]

## 2- الشاحن العنفي:

الشاحن العنفي هو نوع من العنفات الغازية التي تستخدم الحرارة والضغط في غازات العادم (المتمددة) وتوظفهما لزيادة قدرة المحرك. يتم ذلك عبر ضغط الهواء الذي يتجه إلى حجرة احتراق المحرك، وتوظيف غازات العادم الساخنة المغادرة للأسطوانات في تدوير شفرات العنفة.

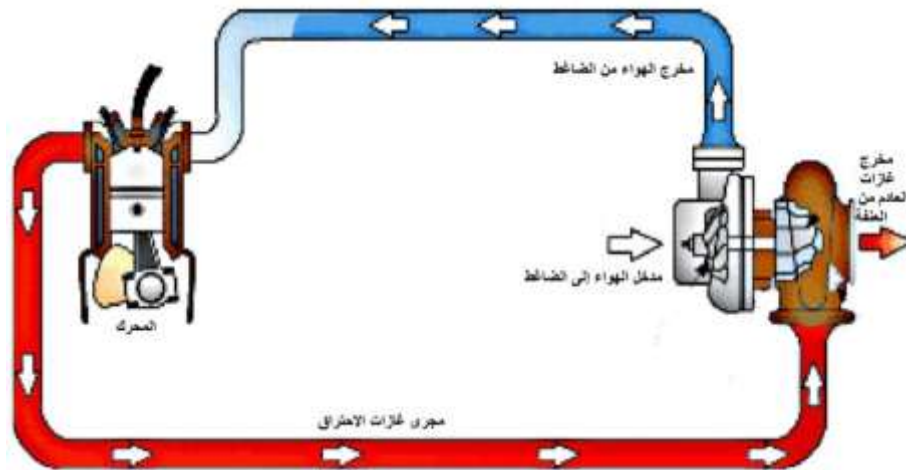
يبين الشكل (2) بنية الشاحن العنفي، يتألف هذا النوع من الشواحن من جزأين رئيسيين: العنفة والضامط. يتم توجيه غازات العادم القادمة من المحرك داخل المجرى المحيط بالعنفة نحو شفرات العنفة لتقوم بتدويرها ثم تخرج هذه الغازات من فوهة الخروج. تدور عجلة الضامط نتيجة اتصال العنفة بالضامط محورياً، تعمل السرعة الناتجة عن دوران عجلة الضامط على توجيه الهواء الداخل وضغطه، حيث يقوم المجرى المحيط بعجلة الضامط بتحويل الهواء ذي الضغط المنخفض والسرعة العالية إلى هواء مرتفع الضغط وبسرعة منخفضة وتسمى هذه العملية النشر، بعد ذلك يدفع الهواء المضغوط إلى داخل المحرك مما يسمح للمحرك بحرق كمية أكبر من الوقود منتجاً قدرة إضافية. [6]



الشكل (2) بنية الشاحن العنفي

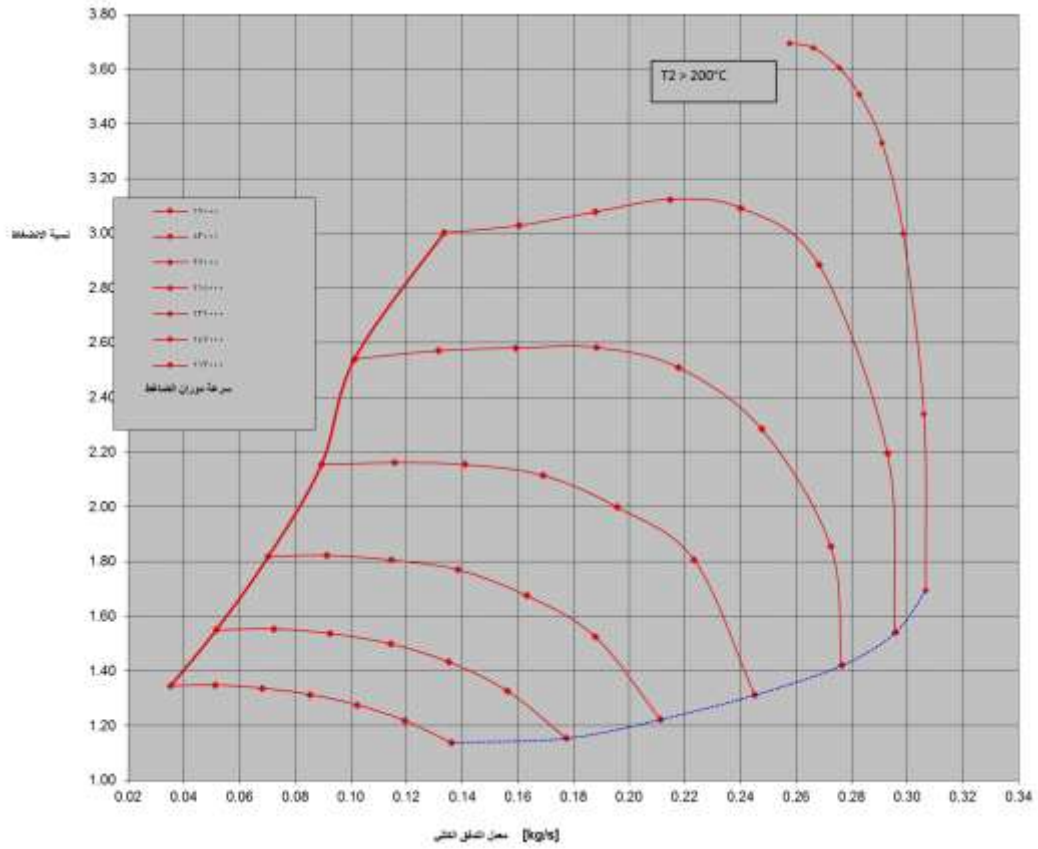
من الميزات التي تتمتع بها محركات الديزل المشحونة بشاحن عنفي أنه يتم استهلاك كمية كبيرة من الهواء مقارنة بكمية الوقود المحقونة، يرفع هذا استطاعة المحرك لأنها مرتبطة بمقدار خليط الهواء والديزل المحقون في الاسطوانات. يساهم الشاحن العنفي في جعل نظام عمل محرك الديزل نظيفاً وذلك من خلال زيادة كفاءة عملية الاحتراق وتقليل الانبعاثات الناتجة عنها، يزيد التشحين من كتلة الهواء المتدفقة داخل المحرك الأمر الذي يحسن عملية الاحتراق وهذا بدوره يقلل من الجسيمات الدقيقة التي تتطلق إلى الوسط الخارجي (الوقود غير المحترق). إضافة إلى ذلك، تبين أن محركات الديزل ذات التشحين العنفي تستطيع أن تحسن من اقتصادية الوقود حتى  $30\div 50\%$ ، وتخفيض حمولة محركات البنزين ذات التشحين العنفي ما يقارب  $5\div 20\%$ .

تتمثل الاستفادة من الشاحن العنفي باستخدام غازات العادم لتدوير الضاغط (نتيجة اتصاله محورياً بالعنفة) حيث أن ضغط غازات العادم أعلى من الضغط الجوي، ويحوي من الطاقة ما يمكن استيعابها وتحويلها إلى عمل للضاغط وكل ذلك يتم من دون أي تأثير سلبي على نظام العادم. عادة ما يستخدم مبرد للهواء المشحن (مبادل حراري) بين الضاغط والاسطوانة وذلك لتحسين كثافة الهواء عندما يرتفع الضغط. كما هو مبين في الشكل (3). [7].

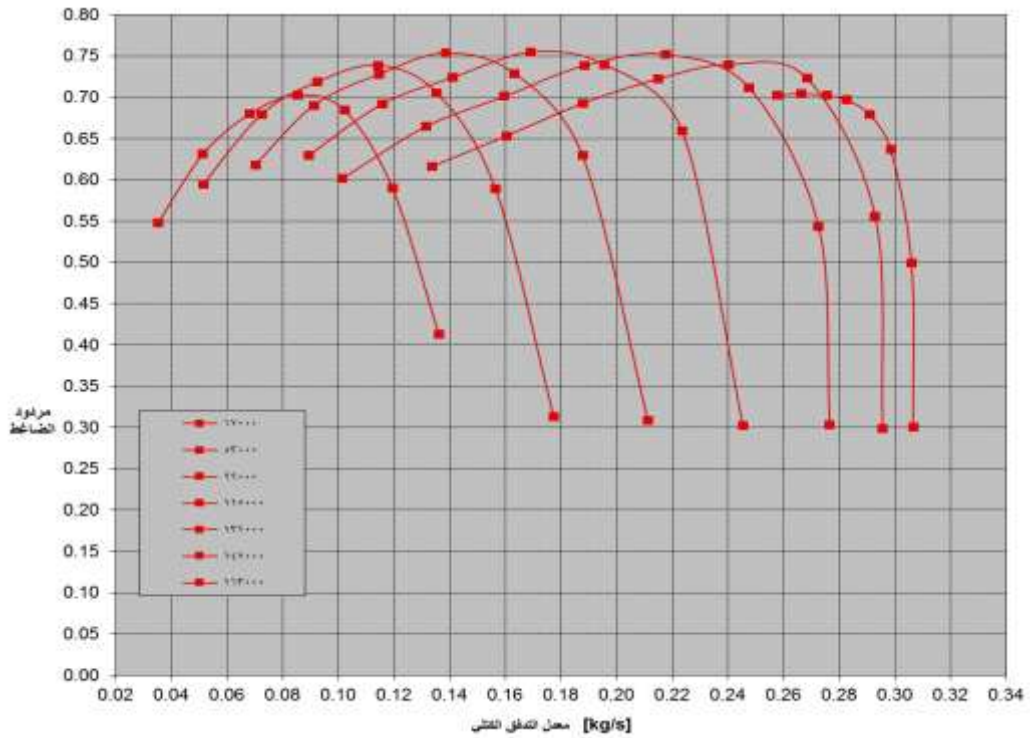


الشكل (3) آلية عمل محرك ديزل مزود بضاخن عنفي

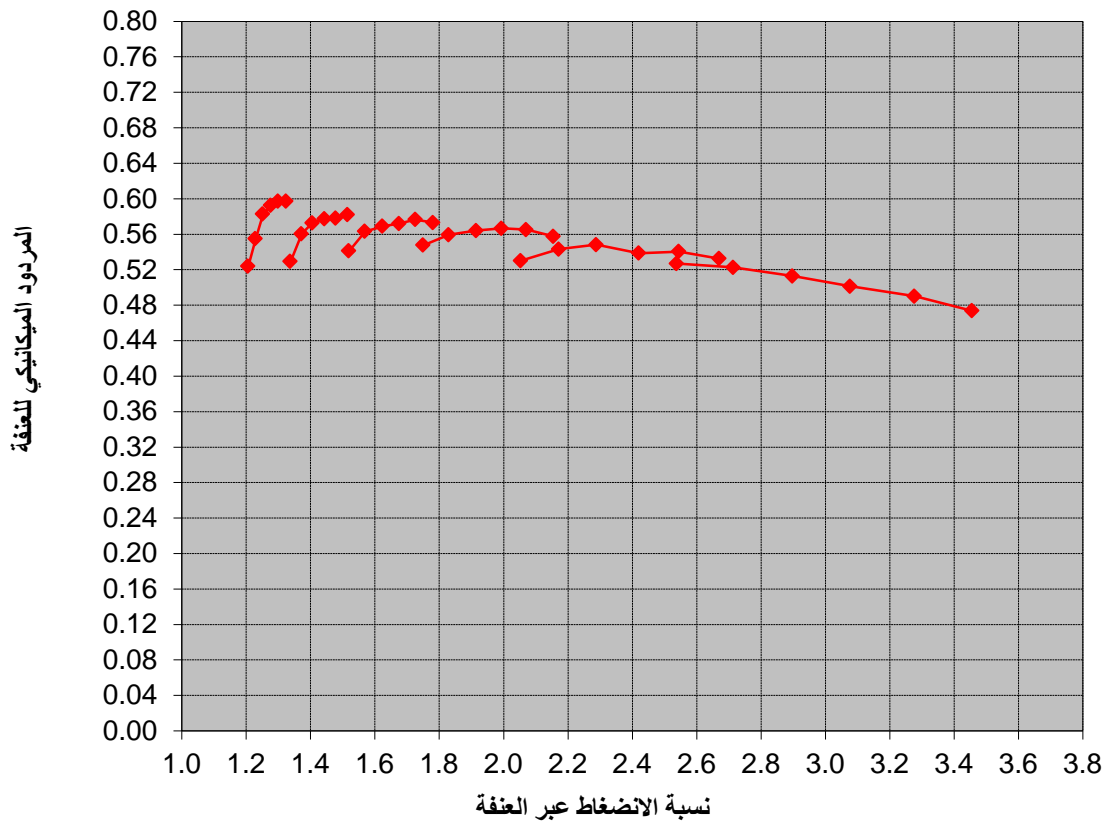
رغم كل المزايا التي يتسم فيها الشاحن العنفي إلا أنه لا يصل لكفاءة 100%، يبين الشكل (4) منحنيات عمل الضاغط (الشاحن) العنفي ويوصف كفاءته، حيث يعبر المحور الأفقي عن معدل تدفق الهواء (كمية الهواء الداخل إلى الضاغط) بينما يعبر المحور الشاقولي عن نسبة ضغط الهواء (نسبة انضغاط الهواء بعد الضاغط مقارنة بالضغط قبله). تمثل المنطقة الوسطى المنطقة الأكثر كفاءة 77%، لتتناقص الكفاءة في كل منطقة بعيداً عن الوسط على التوالي، يبين الشكل (5) مردود الضاغط والشكل (6) مردود العنفة، نلاحظ أن هناك حد يقسم منحنى الضاغط إلى قسمين حيث تفصل بينهما منطقة العمل، وعندما يدخل الضاغط مناطق العمل غير المستقرة تظهر ذبذبات في الضغط بسبب الانقطاعات في تيارات الهواء ويحدث ضجيج ذو طبيعة نبضية. [8]



الشكل (4) منحنيات عمل الشاحن (الضاغط) العنفي [3]



الشكل (5) منحنيات مردود الضاغط [3]



الشكل (6) منحنيات مردود العنفة [3]

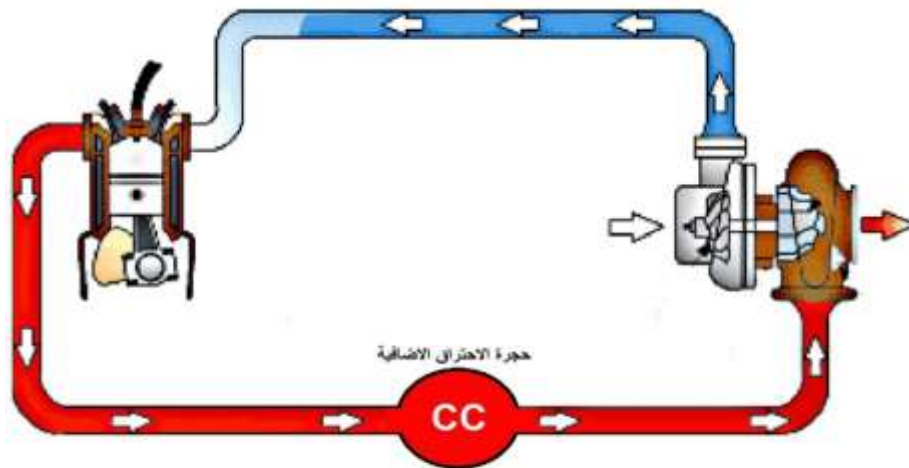
يعتبر المردود الذي نحصل عليه من التشحيم العنفي هو الأعلى مقارنة بالأنواع الأخرى، حيث يتم في التشحيم العنفي الاستفادة من قسم كبير من طاقة غازات العادم لتدوير الضاغط بدلاً من استخدام طاقة من المحرك. بالتالي تتميز المحركات المشحنة بهذا النوع بانخفاض الاستهلاك النوعي الفعلي للوقود (أي أقل بنسبة 10÷15% مقارنة بالمحركات غير المزودة بشاحن عنفي) نتيجة ارتفاع المردود الميكانيكي بسبب استعادة حرارة غازات العادم.

### 3- نظام الشاحن العنفي المقترح:

يتألف نظام الشاحن العنفي المختبر من حجرة احتراق متوضعة بين مجمع غازات الاحتراق ومدخل الدوالب العامل في العنفة، الشكل (7)، بزيادة درجة الحرارة على مدخل العنفة تستطيع إنتاج عمل إضافي بدون رفع ضغط المحرك، هذا بدوره يؤدي إلى ارتفاع نسب الانضغاط في الضاغط، بالتالي معدل تدفق كتلي أكبر واستطاعة أكبر. هناك بعض المساوئ للنظام المقترح إنه بسبب درجة الحرارة المرتفعة عند مدخل العنفة لا يمكن استخدامه إلا بشكل متقطع، ستتراقف الضغوط المرتفعة لمخرج الضاغط مع درجات حرارة عالية خصوصاً للمحركات التي لا تملك تبريد وسطي بعد الضاغط، ولكن النظام المقترح مخصص للعمل فقط عند الحاجة إلى طاقة إضافية. [4]

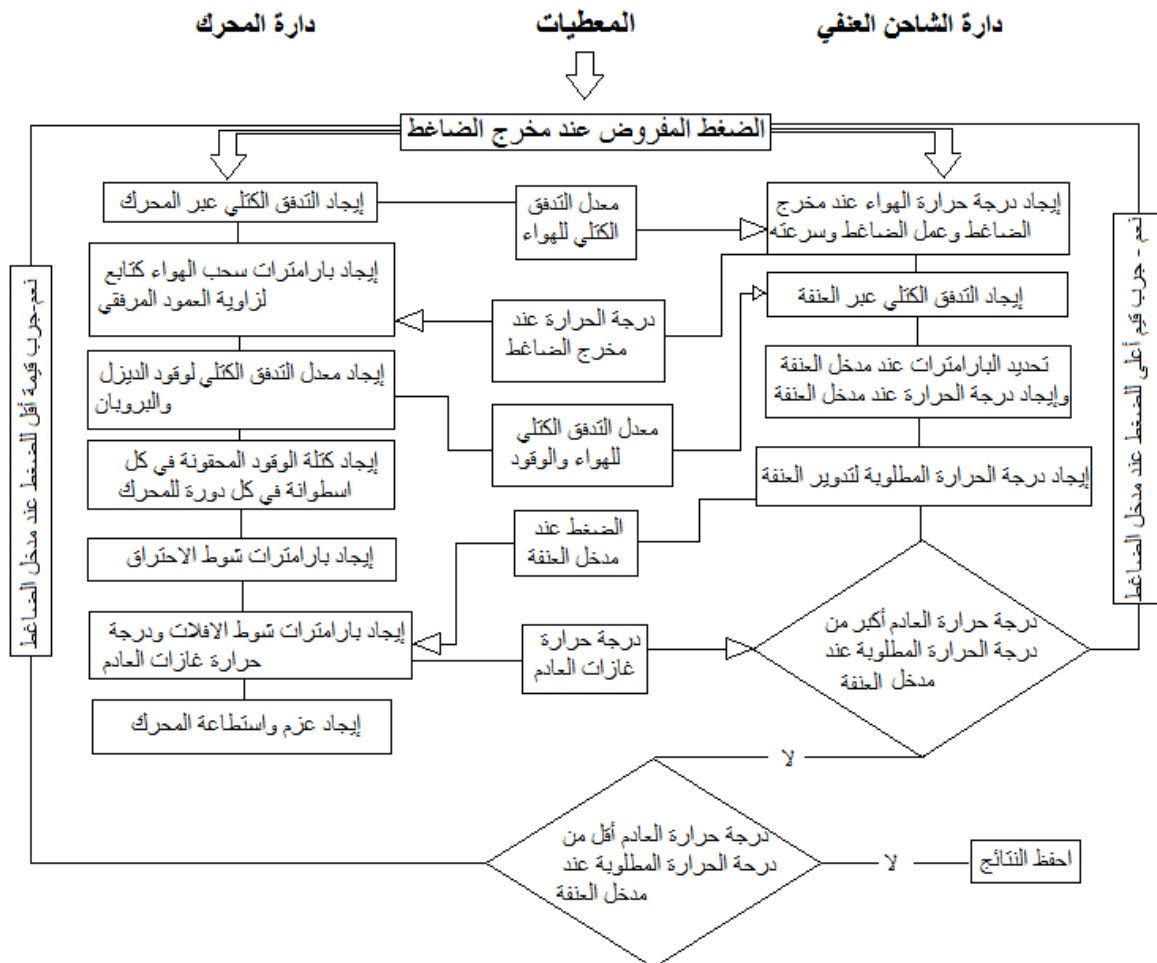
لن يكون النظام المقترح مردود كبير في حالات التشغيل الطبيعية، حيث نحتاج في حالات التشغيل المختلفة الأحمال إلى مقدار كبير من الطاقة مثل حالات الإقلاع للشاحنات والجرارات والطائرات الصغيرة سيكون هذا النظام مناسباً.





الشكل (7) مكونات نظام التشحيم العنفي المقترح مع إضافة حجرة احتراق إضافية

قمنا بوضع مخطط صندوقي ليتم عمل البرنامج وفقه



### برنامج المحاكاة:

استخدمنا برنامج ماتلاب لكتابة الكود الذي يحاكي كل من عمل المحرك والشاحن العنفي وتمت محاكاة وجود حجرة احتراق إضافية على مجرى غازات العادم عن طريق إضافة معادلة الاحتراق باستخدام القيمة الحرارية لوقود البروبان وكمية الهواء المتبقية في غازات الاحتراق.

الجدول (1) بارامترات المحرك المقترح وخواص كل من وقود الديزل والغاز المستخدم في حجرة الاحتراق الإضافية

القيمة	الوحدة	القيم المعلومة
3	-	عدد الاسطوانات n
106	mm	القطر الداخلي للأسطوانة B
17.8	-	نسبة الانضغاط في محرك الديزل CR
110	mm	طول الشوط S
13	deg	زمن تأخر الاشتعال $\tau_{id}$
180	mm	طول ذراع التوصيل r
15.015	-	نسبة الهواء إلى وقود الديزل $AFR_{diesel}$
485	deg	زاوية فتح صمام الإفلات EVO
180	deg	زاوية إغلاق صمام الامتصاص IVC
15	-	نسبة الهواء إلى وقود البروبان $AFR_{spropan}$
287	kJ/kg.k	ثابت الغازات للهواء $R_{air}$
42400	KJ/Kg	القيمة الحرارية لوقود الديزل $h_{v_{diesel}}$
1.009	kJ/kg.k	السعة الحرارية للهواء $c_{p_{air}}$
46300	KJ/Kg	القيمة الحرارية لوقود البروبان $h_{v_{propane}}$
1.4	-	الأس الاديباتي للهواء $\gamma_{air}$
40	-	رقم السينتان للوقود CN
1.131	kJ/kg.k	السعة الحرارية لغازات العادم $C_{p_{exhaust}}$
1.3	-	الأس الاديباتي لغازات العادم $\gamma_{exhaust}$

الجدول (2) يبين القيم المتغيرة التي تم تشغيل المحاكى وفقها

القيم							الوحدة	المتغيرات
2500	2400	2200	2000	1800	1600	1400	1/min	RPM سرعة الدوران
		70	65	60	55	50	%	$\phi_{diesel}$ نسبة حقن وقود الديزل
			75	50	25	0	%	$\phi_{Propane}$ نسبة حقن وقود البروبان

يقوم البرنامج بالحل وفقاً لمجال زوايا العمود المرفقي بين (720÷0) درجة، تم وضع المعادلات التي تحسب القيم كتابع لزاوية دوران العمود المرفقي، حيث يقوم البرنامج بحل معادلات المحرك ومعادلات الشاحن العنفي ويحسب درجة حرارة غازات الاحتراق وذلك وفقاً للضغط المفروض عند مدخل الضاغط، ويتم حساب الحرارة الناتجة بسبب إضافة

البروبان عن طريق ضرب معدل التدفق الكتلي للبروبان بالقيمة الحرارية له والتي تضاف إلى درجة حرارة العادم لإيجاد درجة الحرارة عند مدخل العنفة. إذا كانت درجة الحرارة هذه أقل من درجة الحرارة المطلوبة لتدوير العنفة فإنه يتم فرض درجة حرارة أقل عند مخرج الضاغط وتشغيل البرنامج مجدداً أما إذا كانت درجة الحرارة عند مدخل العنفة أعلى من درجة الحرارة المطلوبة لتدويرها يتم فرض درجة حرارة أعلى عند مخرج الضاغط وتشغيل البرنامج مجدداً. إذا كانت درجة الحرارة على مدخل العنفة مساوية لدرجة الحرارة المطلوبة لتدويرها عندها يستمر البرنامج بالعمل.

المعادلات التي تمثل حجرة الاحتراق الإضافية هي: [2]

التدفق الكتلي للبروبان

$$\dot{m}_{propane} = \frac{\dot{m}_{air\ remaining}}{AFR_{propane}} \cdot \phi_{propane} \quad \left[ Kg/s \right]$$

حيث التدفق الكتلي للهواء المتبقي هو

$$\dot{m}_{air\ remaining} = \dot{m}_{air} - \dot{m}_{air\ diesel\ combustion} \quad \left[ Kg/s \right]$$

والتدفق الكتلي للهواء المحترق مع الديزل يحسب بالعلاقة

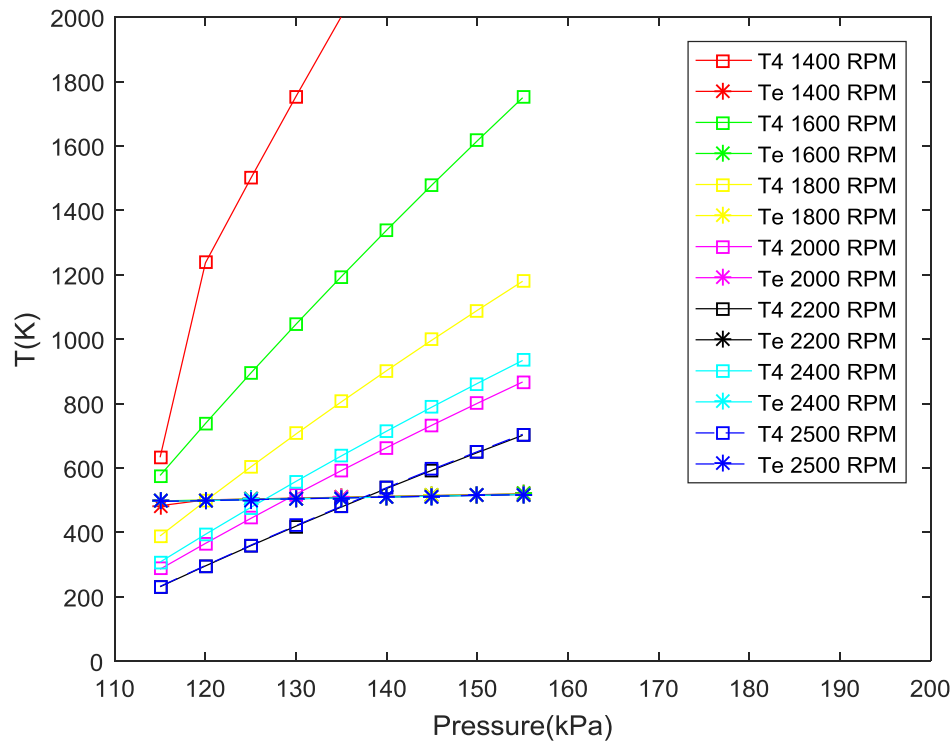
$$\dot{m}_{air\ diesel\ combustion} = \dot{m}_{diesel} \cdot AFR_{diesel} \quad \left[ Kg/s \right]$$

كمية الحرارة المتحررة من احتراق البروبان هي

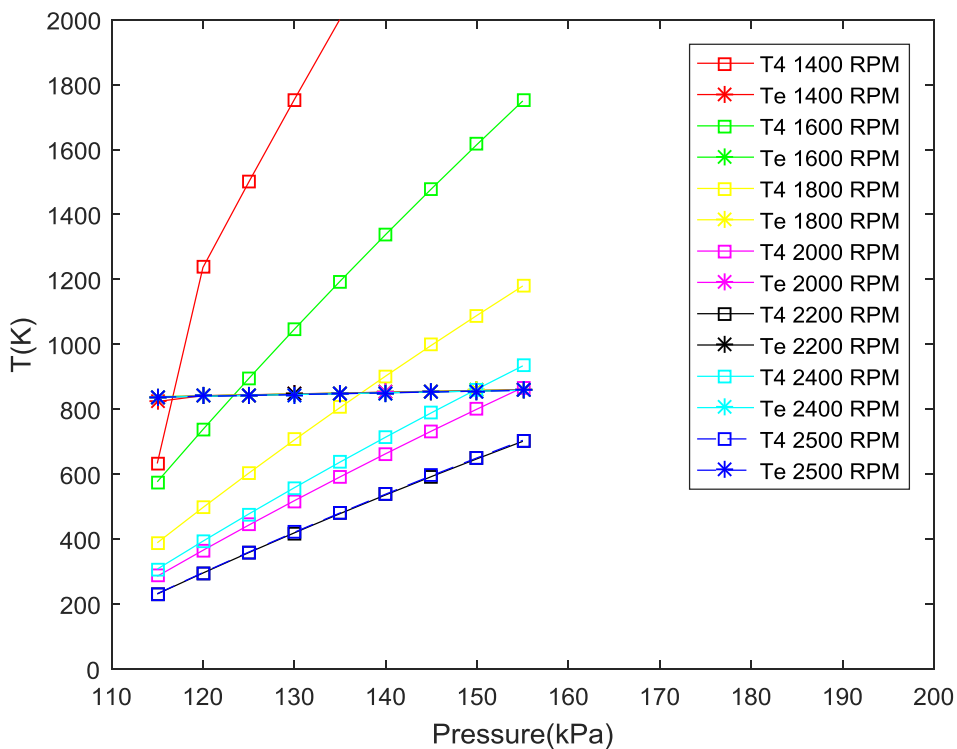
$$Q_{propane} = \dot{m}_{propane} \cdot h_{v_{propane}} \quad \left[ J/s \right]$$

### النتائج والمناقشة:

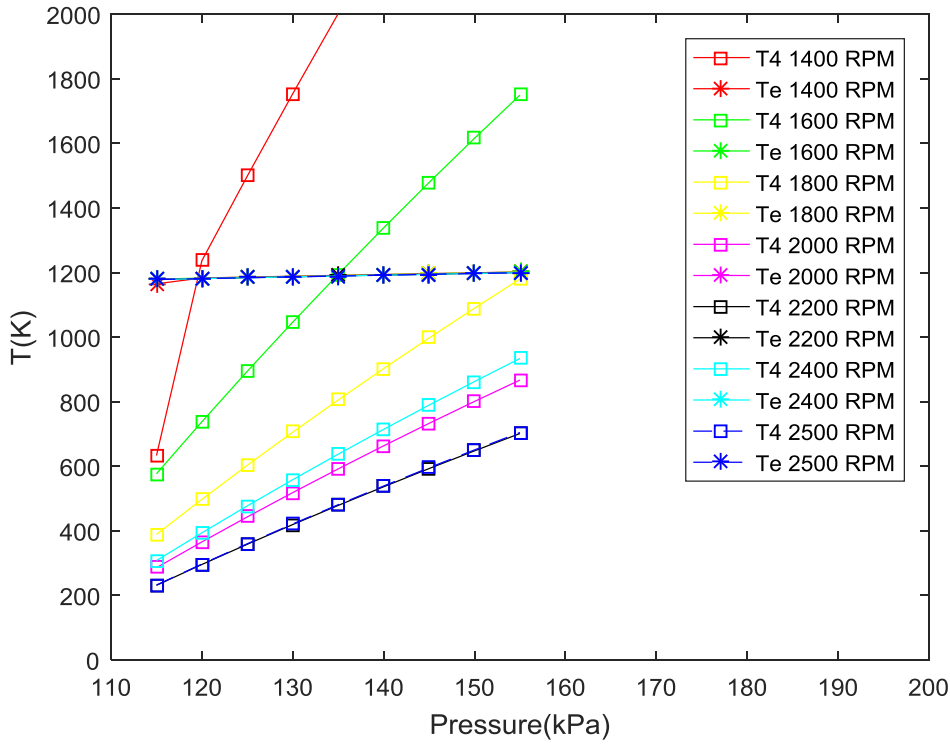
كما هو موضح سابقاً، يستخدم في البرنامج قيمة الضغط المفروض عند مخرج الضاغط لحساب درجة الحرارة عند مجمع غازات العادم ودرجة الحرارة المطلوبة لتدوير العنفة. عندما تتساوى قيم درجتي الحرارة هاتين، تكتمل الدورة وتسجل نقطة التشغيل هذه. حيث تكون القيمة الابتدائية المفروضة للضغط عند مدخل الضاغط هي 100 KPa والخطوة المفترضة كانت 15 درجة وهي التي تحدد مجموعة النقاط التي سيقوم البرنامج بحساب القيم عندها. استخدمت نتائج المحاكاة الحاسوبية لإنشاء منحنيات درجة حرارة غازات العادم ودرجة الحرارة المطلوبة لتدوير العنفة كتابع للضغط عند مخرج الضاغط، حيث بينت النتائج والرسوم البيانية الأشكال (8-9-10-11) أن درجة حرارة غازات العادم ترتفع بزيادة الضغط عند مخرج الضاغط مع إضافة الوقود الغازي (البروبان) وحافظ الرسم البياني على شكله مع الانزياح للأعلى بسبب الزيادة في درجة الحرارة.



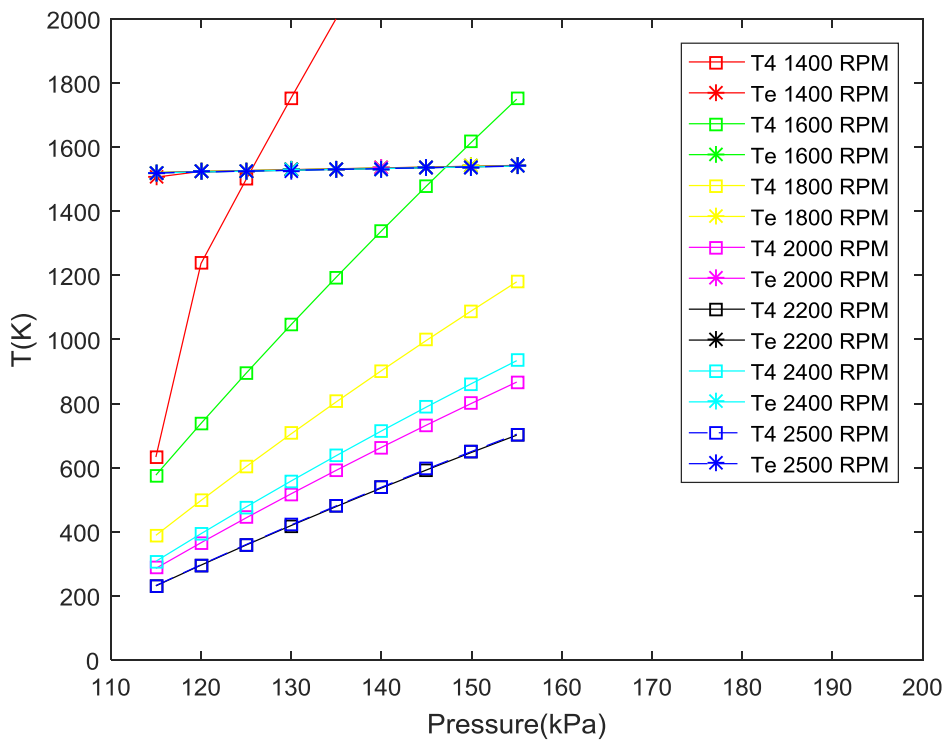
الشكل (8) درجة حرارة غازات العادم قبل حجرة الاحتراق الإضافية وبعدها عند نسبة حقن بروبان 0%



الشكل (9) درجة حرارة غازات العادم قبل حجرة الاحتراق الإضافية وبعدها عند نسبة حقن بروبان 25%

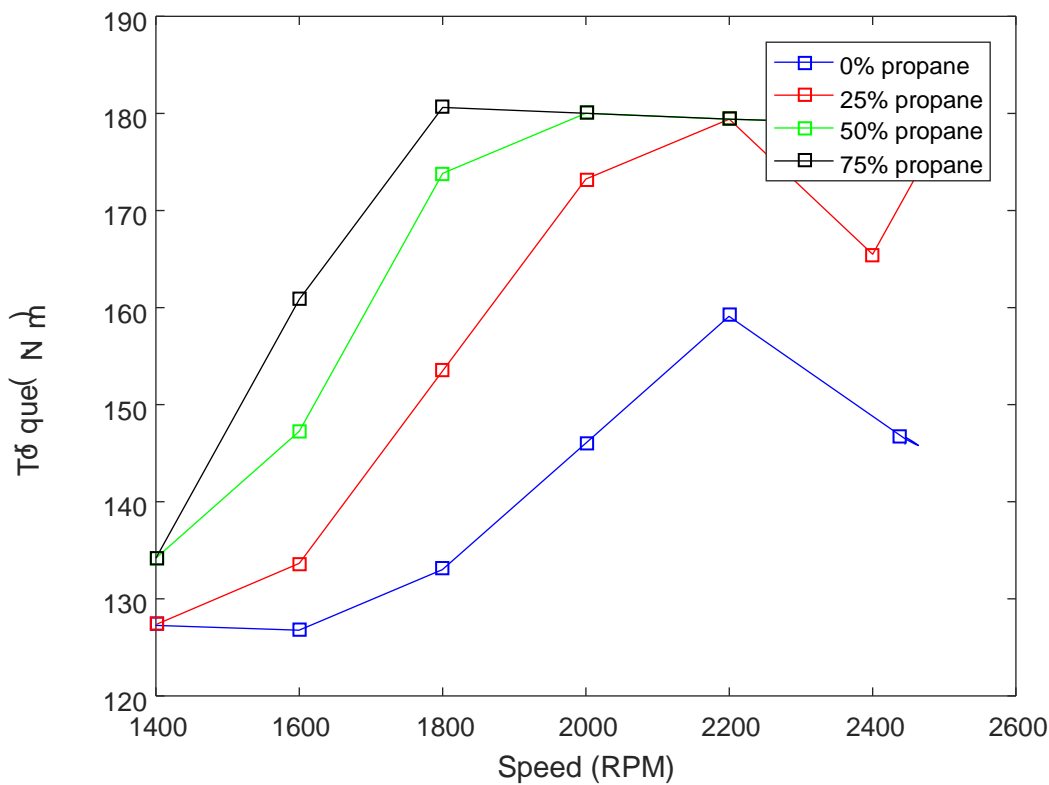


الشكل (10) درجة حرارة غازات العادم قبل حجرة الاحتراق الاضافية وبعدها عند نسبة حقن بروبان 50%



الشكل (11) درجة حرارة غازات العادم قبل حجرة الاحتراق الاضافية وبعدها عند نسبة حقن بروبان 75%

تبين إنه عند نسبة تكافؤ الوقود الغازي ( البروبان ) 75% كانت قيم درجة حرارة غازات العادم أكبر من قيم درجة الحرارة المطلوبة لتدوير العنفة هذه الحالة تقريباً عند جميع البيانات المأخوذة عند هذه النسبة، الشكل (11)، عندما تكون درجة حرارة غازات العادم أعلى بكثير يكون هذا غير قابل للتطبيق وذلك حسب المواد التي تصنع منها العنفة. تم رسم البيانات ذات الأهمية الأكبر في تحديد جدوى القيام بهذه التجربة توضح الرسوم البيانية قيمة عزم دوران المحرك بدلالة سرعة دوران المحرك. الشكلين (12)، يكون عزم دوران المحرك أكبر عند إضافة الوقود الغازي إلى مجرى احتراق غازات العادم بالمقارنة مع العزم بدونها.



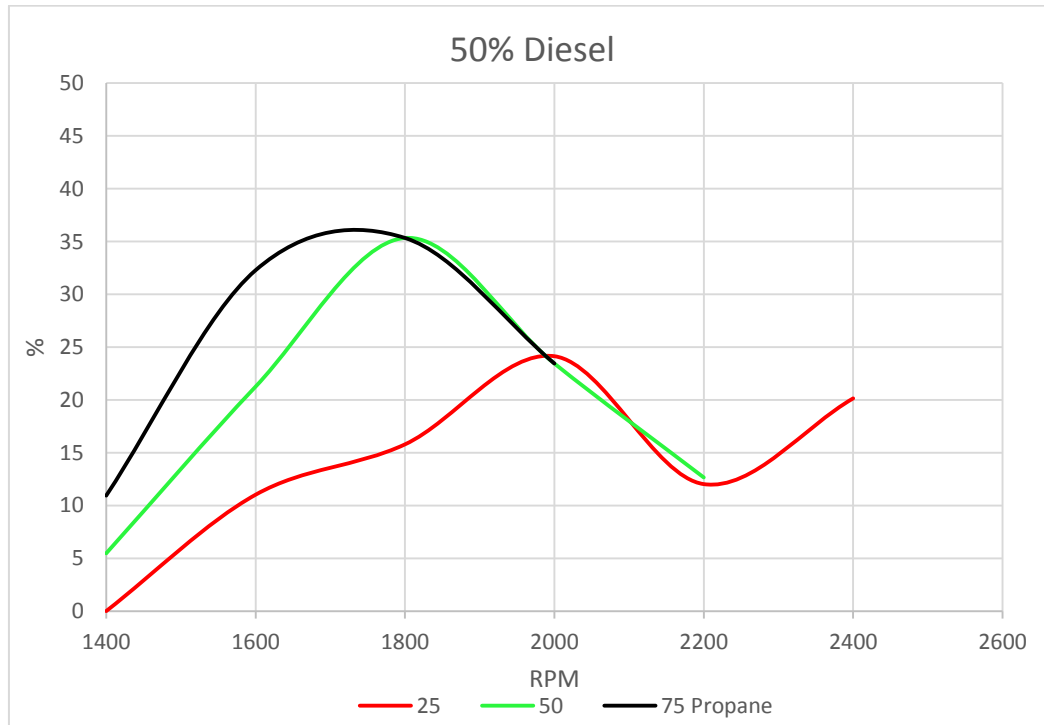
الشكل (12) منحنيات العزم عند قيم حقن البروبان المختلفة المضافة

### الاستنتاجات والتوصيات:

تبين لدينا أن التصميم المقترح لحرارة الاحتراق الاضافية وبإضافة بروبان بنسب مختلفة أدى إلى زيادة في العزم الناتج عن المحرك عند سرعة دوران مختلفة، حيث تبين المنحنيات نسب الزيادة في العزم عند إضافة البروبان إلى مجرى غازات الاحتراق الشكل (13)، حيث أعطى البرنامج نسبة زيادة في العزم كما يبين الجدول التالي بالنظر في النتائج المعطاة إن قيمة حقن البروبان عند 50% وعند سرعة دوران 1800 RPM أعطت أعلى نسبة زيادة في العزم.

الجدول (3) نسب زيادة العزم عند إضافة البروبان

	25% Propane	50% Propane	75% Propane
1400 RPM	0%	5.5%	11%
1600 RPM	11%	21%	32%
1800 RPM	16%	35%	35%
2000 RPM	24%	23%	23%
2200 RPM	12%	12.6%	-
2400 RPM	20%	-	-



الشكل (13) نسبة الزيادة في العزم عند قيم حقن البروبان المختلفة المضافة

## References:

- (1) Dr. Lucanen, FN et al. : *The Study of Internal Combustion Engines* (Theory of Actual Operating Circuits). Publishing house "High School" Moscow - 2007.
- (2) Dr. Lucanen FN et al. : *The Study of Internal Combustion Engines* (Modeling of Practical Processes). Publishing house "High School" Moscow - 2007.
- (3) Dr. Coldchen. A.E et al. : *The Study of Internal Combustion Engines* (Calculation of Charged Diesel Engines). Publishing house "High School" Moscow - 2008.
- (4) Dr. Raikov. JJ: *Experimenting with Internal Combustion Engines*. Publishing house "High School" Moscow - 2000.
- (5) Ghadeer, Nabil. *Internal Combustion Engines - fourth year - mechanics - mechanical forces* - Tishreen University publications- 2014
- (6) Simões-Moreira, J.R. *Fundamentals of Thermodynamics Applied to Thermal Power Plants*, (2010). <<http://www.springer.com/978-1-4471-2308-8>>
- (7) Schieman, J. *operation turbocharger – collection of articles*. Turbo magazine, 2010.

(8) Prashant, N ,P1 ؛ Patel, S,U2. *PERFORMANCE ANALYSIS OF IC ENGINE USING SUPERCHARGER AND TURBOCHARGER-A REVIEW*. International Journal of Research in Engineering and Technology, Volume: 04 Issue: 02 | Feb-2015