

# تحديد تجريبي للتوزيع الأمثل لكميات الوقود المحقونة في المحركات ثنائية الوقود تبعاً لنظام عمل محرك الديزل وفق مواصفات الحمولة

الدكتور المهندس حاتم المنصور

أستاذ مساعد في قسم الطاقة

كلية الهندسة الميكانيكية - جامعة حلب

## الملخص

لقد دعا ازدياد الطلب على محركات الديزل - نظراً لاتساع مجالات استخدامها في المواصلات، والمكننة الزراعية، وفي مجال الطاقة.. - إلى توسع مجال البحث العلمي من أجل الاستمرار في رفع مؤشراتها التقنية والاقتصادية والبيئية.

ترتبط عملية تحسين المواصفات التقنية والاقتصادية والبيئية لمحركات الديزل بعمليات تحسين الشوط العامل لهذه المحركات، حيث تمثل في هذا المنحى عملية تشكيل الخليط ثنائي المرحلة أهمية كبرى، وذلك بإغناء الهواء الداخل إلى اسطوانة المحرك بأبخرة الوقود عن طريق عملية تشكيل خليط خارجي، بحيث تزداد لدينا الاستطاعة الليترية، بالإضافة إلى عدم حدوث تعقيد في بنية المحرك وكذلك إلى خفض الضجيج الناتج عن المحرك بدرجة كبيرة.

كلمات مفتاحية- تشكيل خليط ثنائي المرحلة-محرك ديزل-

## المقدمة:

إن من أهم الطرق الفعالة في مجال تحسين الشوط العامل في محركات الديزل هي عملية تحسين شوطي تشكيل الخليط والاحتراق. لذلك لابد من البحث عن الأمور التي من شأنها رفع نوعية تشكيل الخليط وبالتالي الاستخدام الأفضل للهواء الموجود داخل حجرة الاحتراق. وقد تم اللجوء إلى العديد من الطرق مثل التثخين واستخدام مكبس ذي تحكم آلي بنسبة الانضغاط وطرق أخرى عديدة [1].

يعد استخدام الشاحن العنفي من أفضل الطرق التي من شأنها أن ترفع الاستطاعة الليترية للمحرك، لكن من جهة أخرى يؤدي تركيبه إلى تعقيد في بنية المحرك. يمكن التخلص من هذه السببنة باستخدام تشكيل الخليط ثنائي المرحلة (أي إغناء الهواء الداخل إلى الاسطوانة بأبخرة الوقود) والذي يعطينا زيادة في الاستطاعة الليترية تقارب ما ينتجه الشاحن العنفي تقريباً بالإضافة إلى انخفاض الضجيج الناتج عن المحرك بدرجة كبيرة مع عدم تعقيد المحرك [5].

اهتمت بعض الدراسات السابقة بدراسة جوانب مختلفة من هذه الآلية، ففي أعمال Sakharov [2] نجد دراسة الأنظمة الموافقة للحمولات الكلية وسرعات مختلفة للعمود المرفقي، لكن ساخروف لم يبحث تأثير سرعة المحرك في الاستهلاك الأمثل للوقود المقدم في البداية، حيث كانت المسألة الأساسية من البحث هي وضع المؤشرات المثلى عند نظام عمل المحرك الاسمي.

كما برهن Khandov [3] أن تشكيل الخليط يكون فعالاً فقط في مجال الحمولات الكبيرة. أما في العمل [5]، فقد قام الباحث بطرح مفهوم عامل التنشيط التابع للطاقة الحرارية للشحنة المضغوطة. وقد توصل إلى أنه، وخلافاً لما زعمه Khandov، يجب أن يكون تشكيل الخليط ثنائي المرحلة فعالاً في كل مجالات عمل محرك الديزل وذلك عن طريق تنظيم فعال لجرعة الوقود الأولية.

### أهمية البحث وأهدافه:

على الرغم من الأبحاث الكثيرة في مجال تشكيل الخليط ثنائي المرحلة، إلا أن هذا البحث سوف ينفرد في دراسته للتقسيم الأمثل لكميات الوقود المحقونة بشكل أولي وثانوي في المحركات ثنائية الوقود تبعاً لنظام عمل محرك الديزل وفق مواصفات الحمولة.

### طريقة البحث:

#### 1- وصف للمحرك التجريبي المستخدم في التجريب

لقد تم استخدام مكبح كهربائي، كما تم تزويد المحرك بمضختي وقود ذواتي ضغط مرتفع مستقلتين وذلك بهدف الدراسة التفصيلية لدارة الديزل عند تطبيق طرق مختلفة لتشكيل الخليط الثنائي. يوضح الجدول -1- أهم مواصفات المحرك.

جدول -1- مواصفات المحرك

المقاس	الرمز	التسمية
رباعي الأشواط	-	نوع المحرك
1	ا	عدد الاسطوانات
125/140 mm/mm	D/S	قطر الاسطوانة/طول الشوط
15	$\epsilon$	نسبة الانضغاط
1600 rpm	n	سرعة الدوران الاسمية
13 kW	$P_e$	الاستطاعة الاسمية
30-32° BTDC	$\theta$	زاوية تسييق الحقن



1800 rpm	n	سرعة الدوران العظمى
12.5±0.5 Mpa	P <sub>inj</sub>	ضغط فتح إبرة الحاقن

يتم حقن الجرعة الرئيسية من الوقود بواسطة منظومة وقود تقليدية، أما الجرعة الأولية فتتم عملية حقنها داخل المحرك. فقد تم تركيب مضخة ضغط عالي وحيدة البرج plunger تقاد من محور الكامات. الحواقي المستخدمة كانت كما يلي: الحاقن الأساسي كان من النوع المغلق أما الحاقن الإضافي فكان من النوع المفتوح مع صمام عدم رجوع. كما يتم التحكم بتدفق ماء التبريد المار عبر دارتين مستقلتين إحداهما حول القميص والثانية حول رأس الاسطوانة.

## 2- حقن وقود البنزين في المرحلة الأولى ووقود الديزل في المرحلة

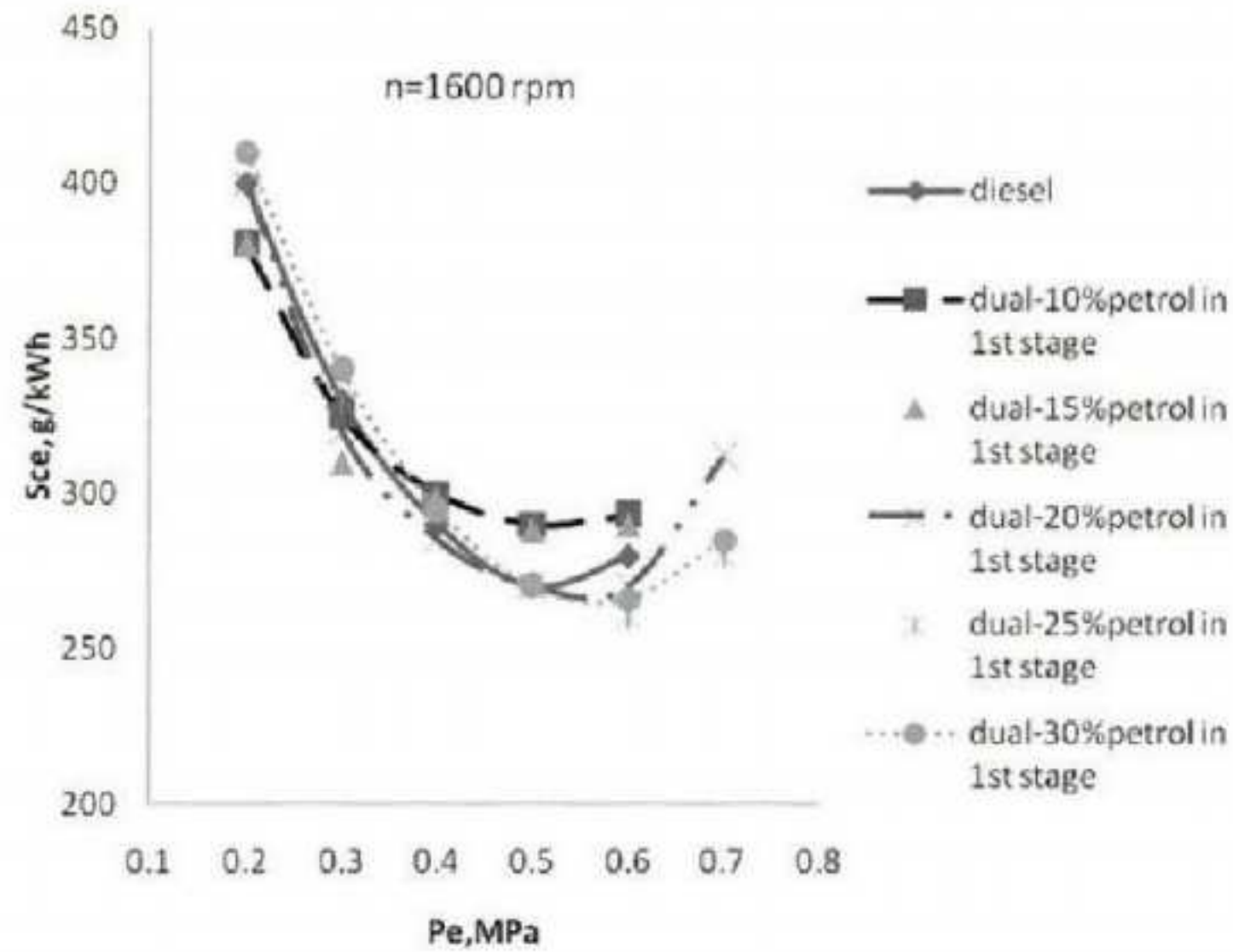
الثانية:

من أجل تحديد قوانين مثلى لتوزيع كميات الوقود بين مراحل تشكيل الخليط الخارجي والداخلي، لابد من اختيار مؤشر تقييمي يعبر عن هذا التقسيم. لذلك تم إجراء العديد من التجارب للحصول على مواصفات الحمولة لمحرك الديزل وذلك بتغيير كميات الوقود المحقونة في المرحلة الأولى.

على الشكل (1) منحنيات تمثل الاستهلاك النوعي الفعلي تبعاً للحمولة على نظام السرعة الاسمي (n=1600 rpm) عند مختلف كميات الوقود المحقونة في المرحلة الأولى (ضمن الحدود 10-30 % من كامل جرعة الوقود الدارية)، وزاوية تسبيق الحقن  $\theta=26^\circ$  قبل النقطة الميتة العليا.

يلاحظ من المخطط كيف أنه عندما كانت نسبة الحقنة الأولى أقل من 10% من كامل كمية الوقود المحقونة استدعت صعوبات جمة وذلك بسبب عدم انتظام عمل المضخة على الوقود الخفيف. أما إعطاء كمية أكبر من 30% فغير منطقي، وذلك بسبب تجمع كمية كبيرة من الوقود المحضر مسبقاً داخل الاسطوانة مما يؤدي إلى خشونة في عمل المحرك.

يلاحظ من المنحنيات كيف تتحسن اقتصادية المحرك مع زيادة كمية الوقود المحقون في البداية حيث أنه في شروط  $p_e=0.595$  Mpa ينخفض الاستهلاك النوعي من  $280$  gr/kW-h عند العمل على المحرك التقليدي إلى  $260$  gr/kW h عند إضافة 25% بنزين كجرعة أولى وعند زيادة هذه النسبة إلى 30% كان الاستهلاك النوعي  $266$  gr/kW h.



الشكل-1- مواصفة الحمولة لتغيرات الاستهلاك النوعي الفعلي  $S_{ce}$  للوقود مع تغير نسبة الوقود المحقونة في المرحلة الأولى

وقد لوحظ انخفاض في خشونة المحرك وذلك بسبب تحسن عملية الاحتراق وبالتالي، وتبعاً لأكبر اقتصادية ولانخفاض خشونة عملية الاحتراق للنظام  $p_e=0.595$  Mpa (الحمولة الكاملة)، فإن أفضل كمية وقود بنزين يحقن في البداية هو 25% من الحقنة الدارية (كمية الوقود المحقونة خلال دارة واحدة).



من خلال الأعمال السابقة ومن خلال النتائج التي حصلنا عليها، يمكن إن نحدد الدور الأساسي الذي تلعبه الجرعة الأولى من الوقود في أنها تساعد على تشكيل منتجات أكسدة غير مكتملة نشطة خلال شوط الانضغاط. يسرع وجود مثل هذه المنتجات من عمليات ما قبل اللهب، وبالتالي بعد حقن الجرعة الأساسية من الوقود تتحسن عملية تشكيل الخليط وبالتالي الاحتراق. وبالتالي يجب أن تحدد أمثل كمية من الوقود والتي يجب أن تدخل في البداية في شوط الامتصاص، من الشروط التي تعطي أفضل تشكيل ثنائي فعال. من الملاحظ أن أفضل هذه الشروط نتج من خلال التجارب على الشكل -1- هي التي تعطي أفضل اقتصادية مع خشونة مقبولة لعملية الاحتراق وضغط أعظمي للدارة.

لهذا وللحصول على مميزات التوزيع الأمثل للحقنة الدارية بين مراحل تشكيل الخليط في المحرك ذي تشكيل الخليط ثنائي المرحلة، لابد من إنشاء مواصفة تنظيمية تبعاً لكمية الوقود المحقونة في المرحلة الأولى (الشكل -2-).

كما هو واضح من المنحنيات كيف أن أفضل وضع للدارة العاملة في المحرك على كافة الحمولات تجري عند قيم محددة لكميات البنزين الداخلة في البداية. وبهذا الشكل يمكن تحديد هذه القيم باعتبار أفضل اقتصادية تشكل عند الحمولة الاسمية للمحرك 0.9 kg/h (25% من مجمل الحقنة الدارية)، وعند الحمولة المتوسطة (50% من الحمولة الاسمية) كانت  $Sce=315 \text{ gr/kW h}$  مقابل  $Sce=330 \text{ gr/kWh}$  للمحرك الأساسي بالوقود التقليدي.

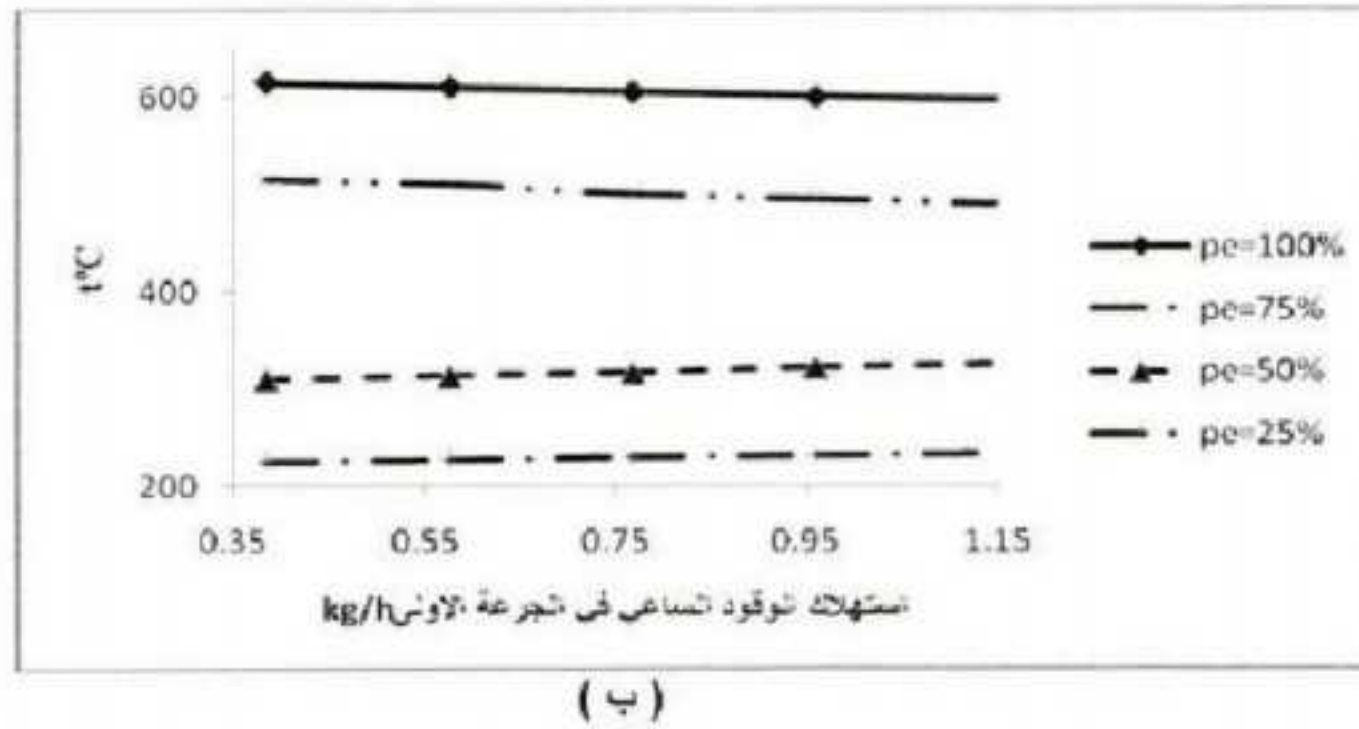
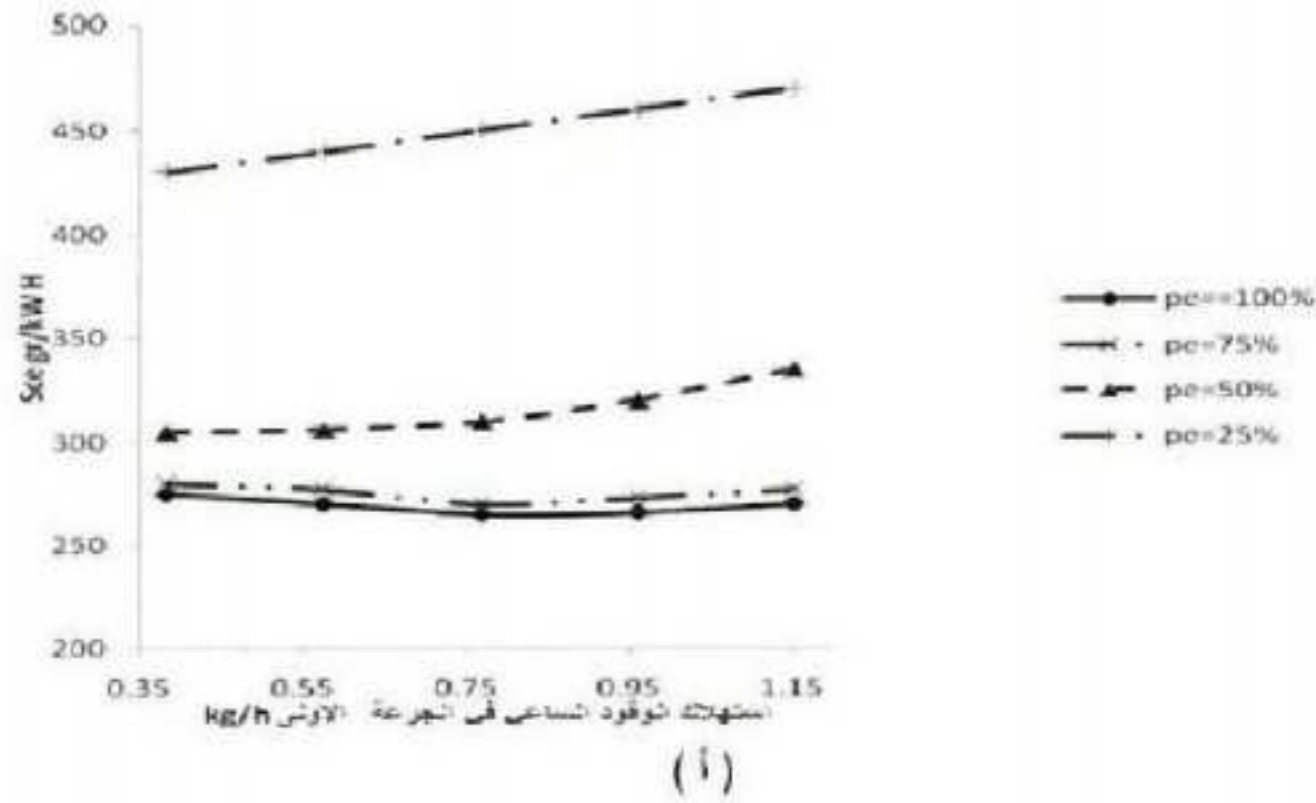
كما يلاحظ أنه عند الكميات القليلة جداً للجرعات الأولية يجعل من عمل الحواقن غير مستقر، لذلك فمن الممكن تحديد الكمية الأولية المفيدة من الوقود على نظام الحمولات المنخفضة.

يلاحظ على المخطط -2- (ب) تغيرات درجة حرارة غازات الإفلات مع تغير كمية الوقود المحقونة في المرحلة الأولى عند مختلف حمولات المحرك، وهذا يعود سببه إلى التغيرات التي تحدث خلال عملية الاحتراق.

**-حقن وقود ديزل في كلا مراحل تشكيل الخليط:**

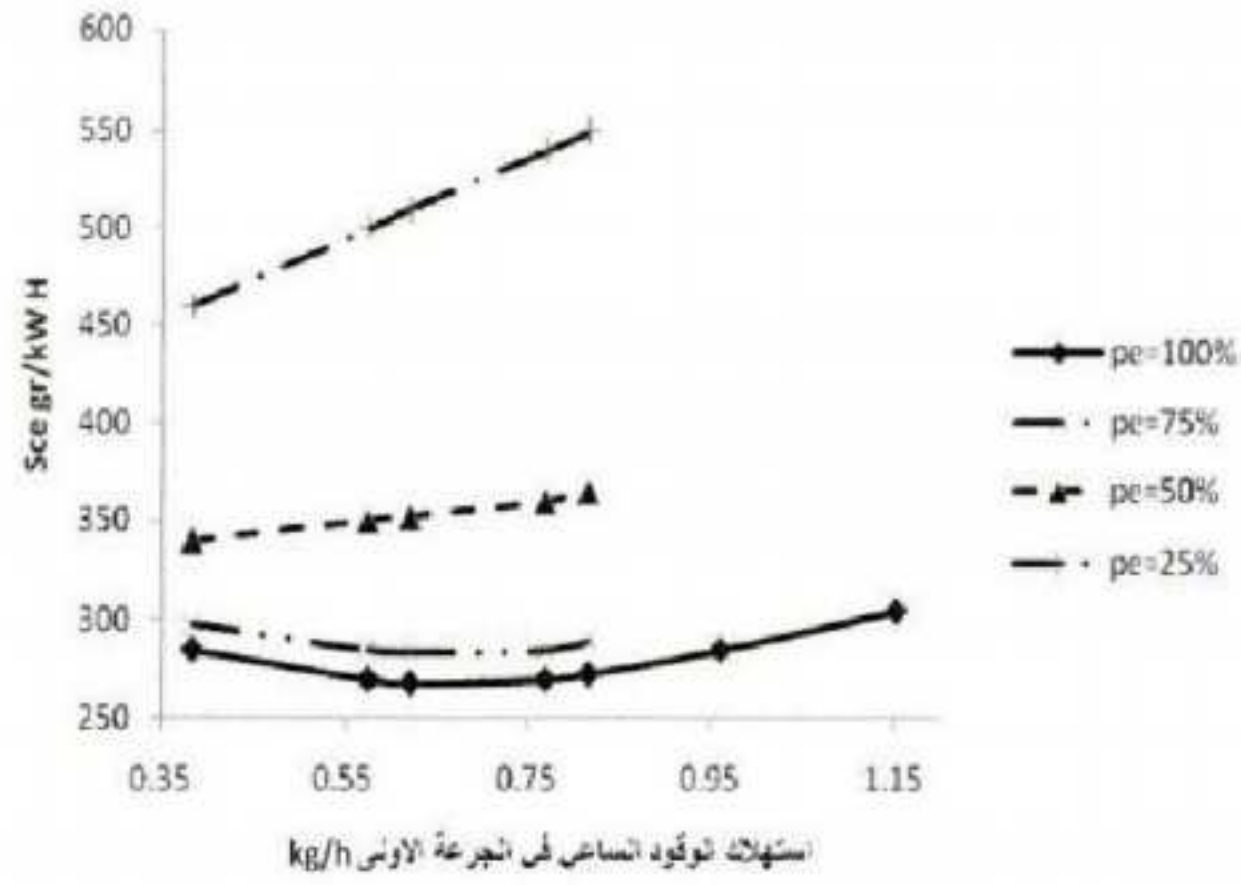
تعتمد فعالية تشكيل الخليط الثنائي عند إغناء هواء الامتصاص بوقود الديزل على كمية الوقود المحقونة في المرحلة الأولى أيضاً.

على الشكل -3- موضح مميزات المحرك التنظيمية تبعاً لكمية الوقود المحقونة خلال الجرعة الأولى عند السرعة النسبية.

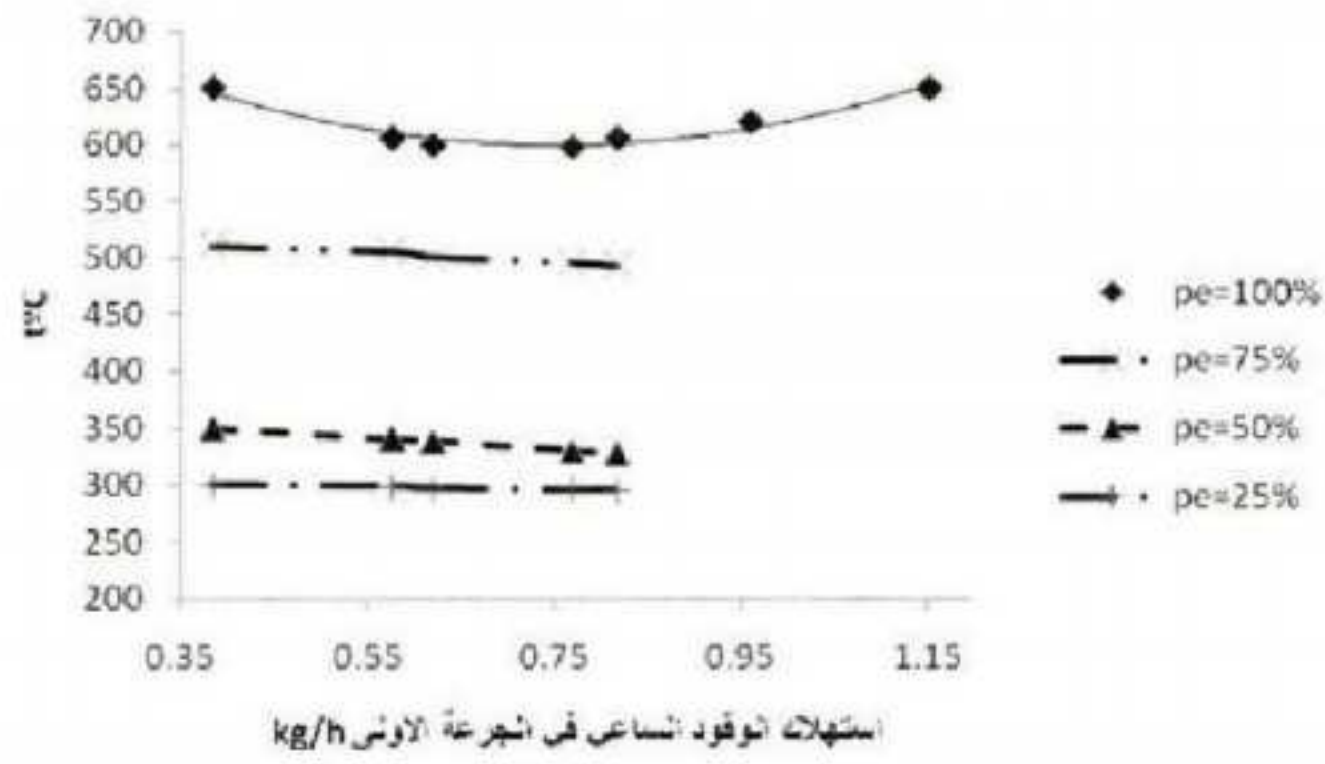


الشكل -2- المواصفة التنظيمية باستخدام الجرعة الأولية للوقود عند سرعة الدوران n=1600rpm

(أ)-للاستهلاك النوعي، (ب)-درجة حرارة غازات الإفلات



(أ)



(ب)

الشكل -3- المواصفة التنظيمية باستخدام الجرعة الأولية للوقود عند سرعة الدوران n=1600rpm

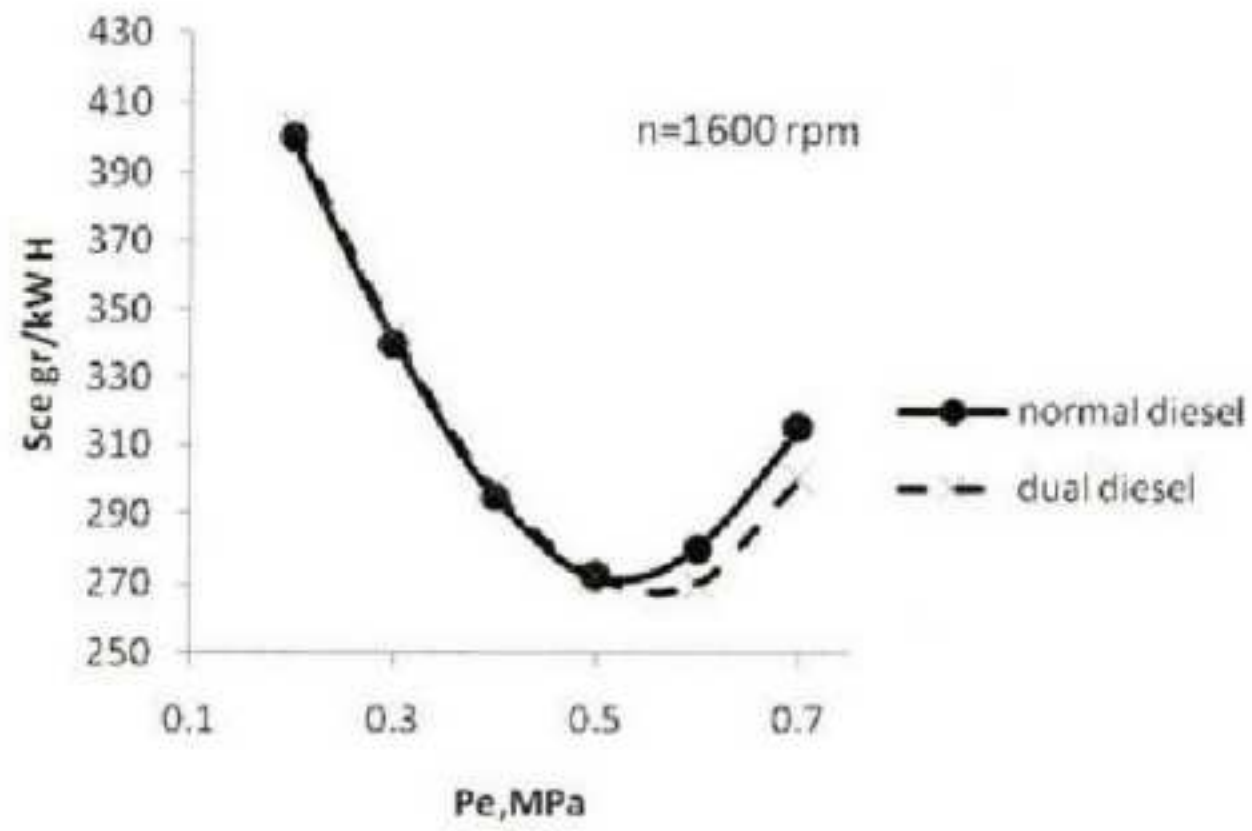
(أ) - للاستهلاك النوعي، (ب) - درجة حرارة غازات الإفلات



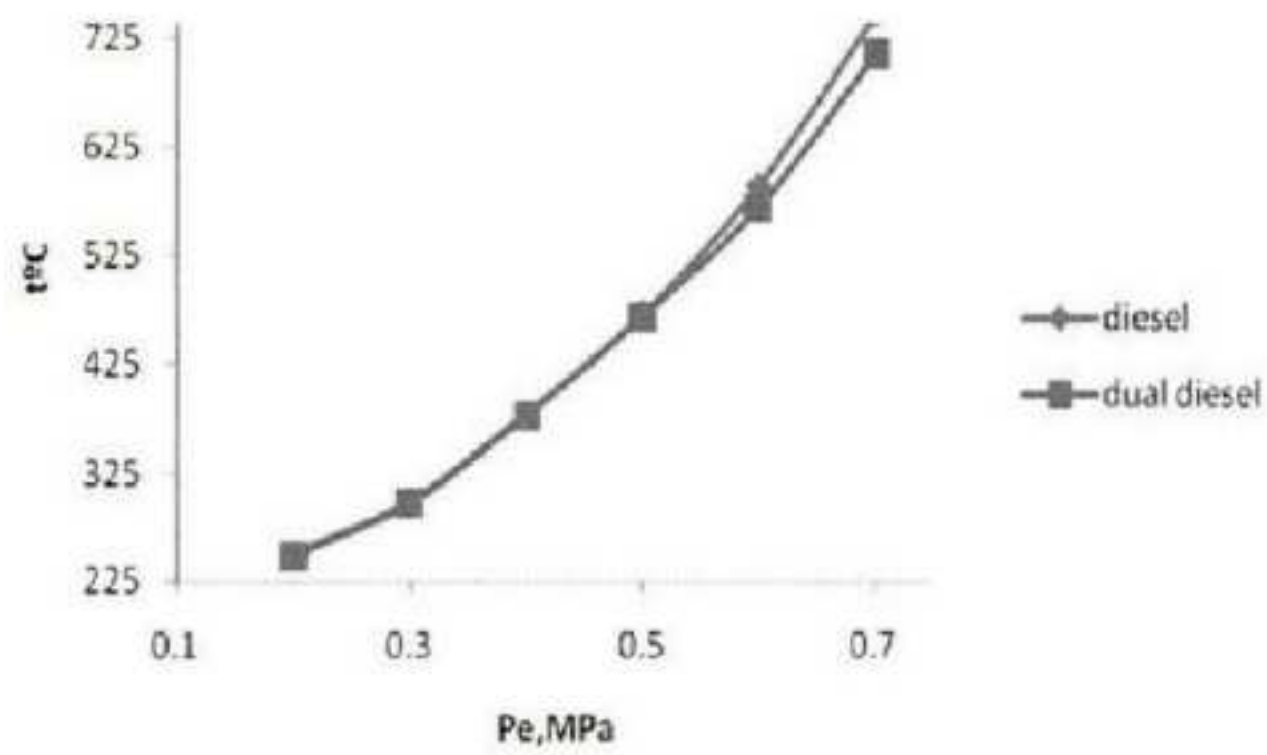
كما هو واضح نَعتمد اقتصاديية المحرك على كمية وقود الديزل المحقونة في المرحلة الأولى من مراحل تشكيل الخليط كما هو الحال في حالة حقن وقود البنزين التي رأيناها في الفقرة السابقة. فأفضل اقتصاديية توافق كمية محدودة من وقود الديزل فقط. فمثلاً عند الحمولة الاسمية نحصل على أقل استهلاك نوعي عند استهلاك ساعي للوقود في المرحلة الأولى يوافق  $0.7\text{kg/h}$  والذي يوافق  $20\%$  من الكمية الإجمالية المحقونة في المحرك. تتخفف الكمية المثلي مع انخفاض الحمولة.

بهذا الشكل وعند إدخال وقود الديزل في المرحلة الأولى، وكما هو الحال في حالة البنزين، تزداد الكمية المثلي للوقود المحقون في المرحلة الأولى مع زيادة الحمولة. لكن عند إدخال وقود الديزل في المرحلة الأولى، تكون كمية الوقود المثلي في المرحلة الأولى أقل (مثلاً  $0.7\text{kg/h}$  مقابل  $0.9\text{kg/h}$  عند الحمولة الكاملة). يمكن تفسير ذلك من الاختلاف الكبير في خاصية التطاير بين وقودي الديزل والبنزين، حيث يمكن أن تتشكل مناطق غنية داخل حجرة الاحتراق مما يؤدي إلى حدوث احتراق جزء من الوقود المحقون في البداية. يمكن أن تقود تلك الظاهرة إلى التهاب الجرعة الرئيسية من الوقود بدون فترة تأخير حالما تخرج من فوهة الحاقن، مما يساعد في عرقلة دخول الأكسجين إلى منطقة الاحتراق وتتدهور عملية احتراق الجرعة الرئيسية من الوقود التي تدخل إلى داخل الاسطوانة. ينخفض ضغط الاحتراق وتزداد درجة حرارة غازات الاحتراق (بحوالي  $40-50^\circ\text{C}$ ) عندما تكون كمية الوقود المحقونة في المرحلة الأولى أكبر من  $0.7\text{kg/h}$ .

من مخططات مميزات الديزل المقارنة الموضحة على الشكل -4- نلاحظ أن اقتصاديية المحرك تتحسن عند إجراء التغيير الأمثل للجرعة الأولى عند النظم الأكبر من  $75\%$  من الحمولة الإجمالية. فمثلاً يكون الاستهلاك النوعي للوقود عند الحمولة الإجمالية ( $p_e=100\%$ )  $270\text{gr/kW h}$  مقابل  $280\text{gr/kWh}$  للمحرك التقليدي normal diesel. نبلغ الزيادة المثلي في الاستطاعة الفعليية عند هذه الحالة حوالي  $12\%$ . أما بالنسبة لاقتصاديية المحركات ثنائية تشكيل الخليط dual diesel عند الحمولات المنخفضة والمتوسطة، فنبقى ضمن حدود المحرك التقليدي.



(i)



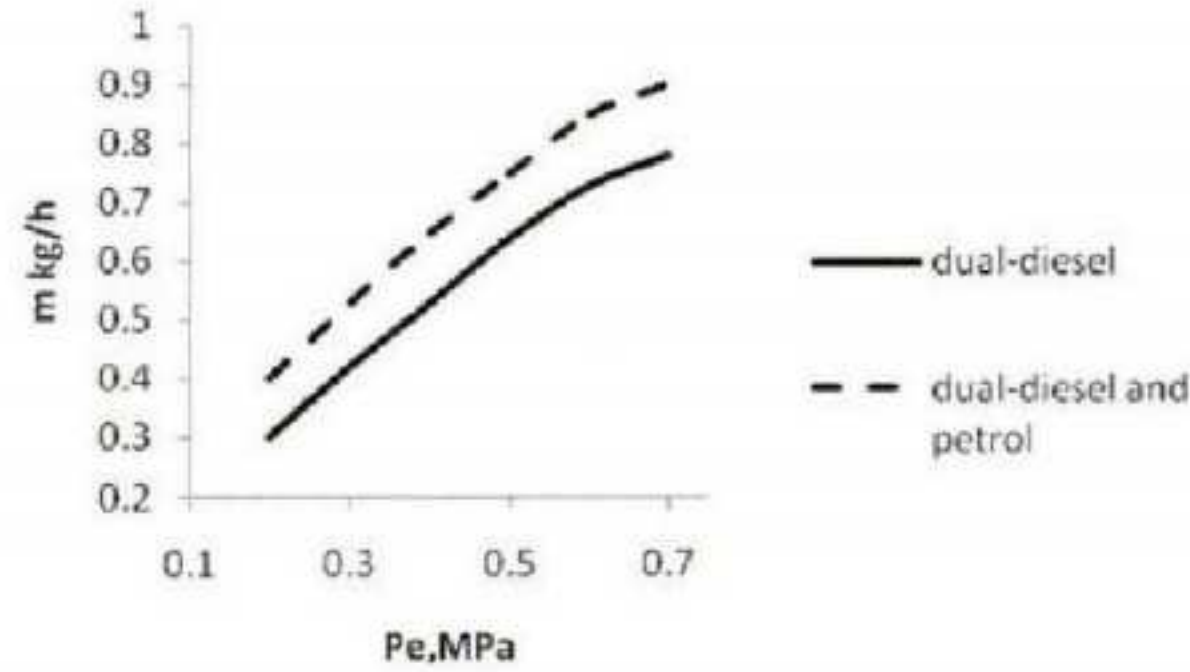
(ب)

الشكل 4- مواصفة الحمولة المقارنة باستخدام الجرعة الأولية المثلى للوقود عند سرعة الدوران n=1600 rpm

(i) - نلاستهلاك النوعى، (ب) - درجة حرارة غازات الإفلات

## 4- مواصفات التوزيع الأمثل لتوزيع الجرعة بين مرحلتى تشكيل الخليط:

يبين المخطط -5- منحنيات مواصفات الحمولة للتوزيع الأمثل لحقنة الوقود بين المرحلة الأولى والرئيسية عند نظام العمل على السرعة الاسمية. فكما هو مبين على المنحنيات فإن مواصفة التجريع المثالية عند عمل المحرك على وقود واحد يحقن في كلا المرحلتين، يختلف عنه في حالة حقن البنزين في المرحلة الأولى ووقود ديزل في المرحلة الثانية، حيث يلاحظ في الحالة الأخيرة أن القسم المحقون في المرحلة الأولى أكبر على كامل مجال الحمولة.



الشكل -5- مواصفات الحمولة للتوزيع الأمثل لحقنة الوقود عند نظام العمل على السرعة الاسمية

إن مجال زيادة حقنة الوقود في المرحلة الأولية عند حقن وقود الديزل في كلا المرحلتين مرتبط بالتأثير السلبي للانخفاض الشديد في طول فترة تأخير الاشتعال للحقنة الرئيسية والذي من شأنه أن يدهور تشكيل الخليط وبالتالي زيادة طول فترة الاحتراق المتمم.

مما تقدم يمكن أن نستنتج أن الجرعة المثالية من الوقود الواجب حقنها في المرحلة الأولى تتحدد من درجة تجانس المزيج المحضر في المرحلة الأولى من



مراحل تشكيل الخليط ودرجة استخدام شحنه الهواء في المحرك الأساسي وكذلك على درجة التهابية الوقود المستخدم المحقون في المرحلة الأساسية.

### النتائج والتوصيات:

1- أظهرت التجارب المخبرية أن استخدام تشكيل الخليط ثنائي المرحلة على محركات الديزل قد حسن من الشوط العامل لدارة الديزل على كامل مجال الحمولة.

2- تزداد قيمة الجرعة المثالية مع زيادة الحمولة.

3- من أجل الحصول على أفضل اقتصادية للمحرك وقل خشونة عمل محرك وبالتالي أفضل استطاعة، يجب أن تكون جرعة الوقود المحقونة في المرحلة الأولى 20% من كامل كمية الوقود المحقونة خلال دارة واحدة وذلك عندما يكون الوقود المحقون هو ذاته في المرحلتين، أما إذا كان الوقود المحقون في المرحلة الأولى بنزين، فتصبح نسبة الحقنة الأولى 25%. عندئذ تزداد الاستطاعة بمقدار 12% للحالة الأولى و15% للحالة الثانية.

4- أفضل جريان لمواصفة الحمولة يكون عند حقن وقود البنزين في المرحلة الأولى ووقود الديزل في المرحلة الثانية.

من خلال النتائج التي توصلنا إليها نوصي بالآتي:

1- تحديد التوزيع الأمثل لكميات الوقود تبعاً لمواصفات السرعة.

2- دراسة تأثير ضغط الحقن على عمل المحرك.

3- دراسة تأثير زاوية تسبيق الحقن في كلا المرحلتين على الدارة العاملة.

### المراجع والأجنبية

1. Al-MANSOUR H., 1993-**The operating process of fuel supply systems of diesel engine with ramified pumped tube-fuel.** For a degree of candidate of technical sciences. Baku, 132p.
2. SAKHAROV A., 1970- Determination of optimum consumption of the fuel and its influence on the working characteristics in enriching the air in the time of admission. Reports МИИСП, vol.VI.
3. KHANDV Z., 1963-The operating of the ship diesel with tow stage injection of the fuel. Soudpromgiz.
4. KOLYEV G. M., 1971-Investigation and preparation method for dual stage mixture formation in diesel. For a degree of candidate of technical sciences. Baku, 158p.

## المراجع العربية

5. المنصور حاتم، 2002-دراسة نظرية لطبيعة توزيع شحنة الوقود بين مراحل تشكيل الخليط في محركات الديزل ذات تشكيل الخليط ثنائي المرحلة. مجلة بحوث حلب، سلسلة العلوم الهندسية، العدد 32 ص: 187-208.