دراسة سرعة انتشار اللهب الطباقي المستقر لخليط (غاز البترول المسال العراقي- الهواء) باستخدام المحرق المربع

أ.م.د.محمد ناصر حميد الفتال* ، م.م. جاسم محمد عبد الكريم الجاف* و فارس عامرحاتم*

تاريخ التسلم: ٢٠٠٤/٤/٢١
تاريخ القبول: ٢٠٠٥/١٠/٢٧

الخلاصة

تم قياس سرعة انتشار اللهب الطباقية (Laminar burning velocity) لخليط (غاز البترول المسال العراقي- الهواء) باستخدام المحرق المربع بطريقة تصوير منطقة شلیرن واستخدام تقنية المساحة ولمدى من النسب المكافئة (0.883-1.233). لغرض الحصول على جبهة اللهب مستقرة وذات اوجه مسطحة تم تصنيع المحرق المربع الذي يعطي جبهة لهب ثنائية البعد لذلك تم تصميم شفة المحرق مع ماسكة جبهة لهب بحيث يقل تاثير ديناميكية هواء شفة المحرق وتعطي استقرارية لجبهة اللهب . تم الحصول على صور شلیرن بتباين عالي باستخدام نوع واحد من المستوى القاطع.

تم حساب سمك جبهة اللهب الطباقي ومسافة الاخماد باستخدام المفاهيم اللابعدية وباستعمال قسيم متغيرة لرقم بكلت (Pecelt Number) والماخوذة من البحوث السابقة .كذلك تم عمليا تحديد حدود الاستقرارية المتمثلة بحدي بالوميض الخلفي والانفصال للخليط (غاز البترول المسال العراقي-الهواء) .

اما ابعاد جبهة اللهب الحقيقية فقد تم استخراجها من صور شلیرن باستعمال البرنامج الجاهز (Adobe Photoshop Ver 6) حيث تتوفر فيها عدة دقيقة لقياس الابعاد ومعالجة الصور .

تمت مقارنة النتائج المستحصلة مع البحوث المنشورة وظهر توافق كبير بينها ،والملحق (A) يبين خلاصة النتائج لهذا البحث.

Abstract

Laminar burning velocity for (L.P.G-Air) premixed mixture was measured by using square burner and the technique of area method with range of equivalent ratio (0.883-1.233).

To obtain a stable flame front with flat faces a square burner was designed and manufactured which give two dimensional flame front the burne, rim was designed with flame holder to reduce the effect of burner rim aerodynamic, the flame photography has been obtained with high resolution by using Schieren photography .

The flame thickness and the quenching distance were calculated depending on the dimensionless aspects using variable values of (pecelt number)from the later researches.and the stability limits which described by flash back and blow off was determined experimentally

The actual dimensions of the flame structure were obtained from schlieren photography using the computer program (Adobe photoshop ver.6) with supply an accurate tool for dimension measurements and photography treatment.

The result of the present work showed a good agreement with those previously published , the result of this work given in appendix (A).

المقدمة

تعرف سرعة انتشار اللهب الطباقي على انها السرعة التي تتحرك بها جبهة اللهب المستوية بشكل عمودي على سطحها باتجاه الخليط غير المحترق ولا توجد طريقة يمكن عدها قياسية ودقيقة لمعرفة سرعة انتشار اللهب [1,6,8] وان جبهة اللهب المنتظمه المستوية لايمكن ملاحظتها الا في ظروف خاصة جدا ،حيث ان جبهة اللهب في اغلب الحالات العملية تكون اما منحنية او انها غير عمودية على اتجاه سرعة جريان الخليط غير المحترق خصوصا عند قمة جبهة اللهب وقاعدتها [6] تقاس سرعة انتشار اللهب اما بطريقة اللهب المستقر او بطريقة

* قسم هندسة المكائن والمعدات / الجامعة التكنولوجية.

https://doi.org/10.30684/etj.24.1A.11
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

اللهب غير المستقر ولكل طريقة محدداتها ففي طريقة اللهب المستقر فان سرعة انتشار اللهب لاتكون منتظمة على مجمل سطح جبهة اللهب ،اما في حالة اللهب غير المستقر فان حركة الغازات الناتجة عن الاحتراق سوف تؤدي الى تكوين شكل معقد لجبهة اللهب .ان افضل وسيلة يمكن الحصول من خلالها على جبهة لهب مستقر هي المحرق [3] ،استخدم طريقة المحرق عدد كبير من الباحثين [13,15,17,18] .

ان استخدام المحرق لقياس سرعة انتشار اللهب بطريقة المساحة يعتمد على الشكل الهندسي لجبهة اللهب ففي حالة المحرق الدائري تكون هنالك نسبة خطاء بسبب انحناء سطح المخروط لذلك فان التطورات تحث باستخدام المحرق المستطيل او المحرق ذي الشق كونه يعطي جبهة لهب ذات شكل محدد ويكون قياس المساحة في هذه الحالة ادق [17] لكن جبهة اللهب لهذه المحارق تكون ثلاثية الابعاد، وهذا يتطلب ان يتم تصوير اللهب من جانبين ،اما المحرق المربع فيمتاز عن المحرق الدائري بكون جبهة اللهب مستوية وبدون انحناء وكذلك يمتاز عن المحارق المستطيلة او المحرق ذي الشق بانه ثنائي البعد ويتم تصوير جانب واحد من اللهب لمعرفة المساحة الكلية بسبب التناظر في جبهة اللهب.

تعتبر طريقة تصويرشليرن اهم تقنية لقياس المساحة السطحية لجبهة اللهب ومنها يمكن حساب سرعة انتشار اللهب وبقية الخواص لانها تعتبر السطح المرجعي لدرجة حرارة الاشتعال (Ignition Temperature)[8] كما انها تكون عند درجة حرارة منخفضة لايكون عندها التمدد الحراري لخطوط السريان كبيرا [6].

من الصعوبات التي ترافق عملية قياس سرعة انتشار اللهب باستخدام المحرق المربع هي صعوبة الحصول على جبهة لهب مسطحة بشكل كامل وميل جبهة اللهب الى الانحناء عند القمة لذلك لم يتم استخدام المحرق المربع في بحوث الاحتراق حيث استخدمه الباحث [4] لدراسة حدود الاستقرارية اما الباحث [12] فقد استخدمه لقياس ارتفاع جبهة اللهب.

تصميم المحرق المربع

ان المحرق المربع يجب ان يصمم بحيث يعطي جبهة لهب على شكل هرم رباعي منتظم وان تكون مسطحة الجوانب وكما في الشكل (4) وهذا يتطلب تصميم دقيق جدا لفوهة المحرق لان اي استدارة بسيطة في الزوايا يؤدي الى خطاء كبير في قياس المساحة وبالتالي سرعة انتشار اللهب وبقية الخواص.

تم تصميم المحرق بالاعتماد على المخطط الموضح في الشكل (1) والذي يعطي افضل منطقة لتشغيل المحرق والتي تقع ضمن حدود القطر الهيدروليكي (5-16mm)مع سرعة جريان الخليط غير المحترق التي تتراوح مابين (90-200 cm/s) وبالاعتماد على مفاهيم استقرارية اللهب الواردة من قبل [3,8,10] حيث تم الحصول على جبهة لهب مستقرة على شفة المحرق ولقيم عدد رينولدز تتراوح مابين (700-1700) وابعاد المحرق (11*11mm) .

لغرض تلافي الاستدارة في جوانب وقمة اللهب والحصول على اسطح دقيقة لجبهة اللهب وكذلك التخلص من ظاهرة الوميض الخلفي التي تقلل من النسب المكافئة لعمل المحرق فقد تم استخدام ماسكة جبهة اللهب ،كذلك تم عزل المحرق عن المحيط الخارجي باستخدام غلاف عزل (Perspex) المستخدم من قبل الباحث [17] .

ان طول انبوب المحرق له دور كبير في تشغيل المحرق لانه لو كان اقصر من الطول المطلوب سوف يحصل اضطراب لجبهة اللهب ،اما اذا كان اطول فسوف يحدث خسائر في الجريان [6].ان الباحثين استخدموا اطوالا مختلفة حيث اعتمد بعضهم على طول المدخل الذي يساوي ($0.065*Re*D_t$) [4] اما البعض الآخر فقد اعتمد على طول الاقتراب الذي يعتبر نصف طول المدخل [5].

تم الاعتماد في اختيار طول المحرق على طول المدخل والذي يحقق جريان طباقي متكامل النمو (950-550 mm) ولعدد رينولدز بحدود (700-1700) .

الحسابات النظرية

تم حساب سرعة انتشار اللهب بالاعتماد على ابعاد جبهة اللهب المأخوذة من صور شليرن المسجلة باستخدام تقنية المساحة ،استخدمت طريقة المساحة لاول مرة من قبل الباحث (Gouy) [6] بالاعتماد على تعريف سرعة انتشار اللهب (هي مركبة سرعة الغازات غير المحترقة العمودية على سطح موجة الاحتراق) ومعادلة حفظ الكتلة وكما يلي:

$$\dot{m} = \rho_u * U * A_0 = \rho_b * S_u * A_f \qquad (1)$$

وبفرض الجريان مستقر اي بقاء خطوط السريان للخليط متوازية حتى بلوغها السطح المرجعي لذلك

يمكن اعتبار ($\rho_b = \rho_u$) [10]حيث تصبح المعادلة (1).

$$S_u = \frac{U * A_o}{A_f} = \frac{\dot{V}_m}{A_f} \qquad (2)$$

ان مساحة جبهة اللهب للمحرق المربع تتكون من هرم رباعي كامل منتظم وكما في الشكل (4) -

$$A_f = 2*(X*Y) \qquad (3)$$

وبتعويض المعادلة (3) في المعادلة (2) لتصبح المعادلة بالشكل التالي:

$$S_u = \frac{\dot{V}_m}{2*(X*Y)} \qquad (4)$$

ان استخدام ماسكة جبهة لهب يساعد في جعل جبهة اللهب مسطحة وان يكون الانحناء في قمة جبهة اللهب اقل من سمك جبهة اللهب ، تم الحصول على صورة شلیرن لجبهة اللهب للمحرق المربع باستخدام مستوى قاطع على شكل سلك رفيع بقطر (0.25mm) ويوضع بشكل عمودي والشكل (5) يوضح صور شلیرن للمحرق المربع .

لغرض حساب سمك جبهة اللهب تم استخدام المعادلة التالية التي تفترض ان سمك جبهة اللهب تساوي ضعف السمك المميز[1]

$$\delta = \frac{2*\lambda}{\rho_u * Cp * S_u} \qquad (5)$$

لغرض حساب الخواص الانتقالية المتمثلة بحساب الموصلية الحرارية لنواتج الاحتراق (λ) والحرارة النوعية بثبوت الضغط (Cp) حيث تم استخدام برنامج حسابي بلغة فورتران تم صياغته من قبل الباحث .

يعتبر حدي الوميض الخلفي والانفصال من الحدود المهمة التي يستند عليها في قياس استقرارية جبهة اللهب ،وتم حسابهما عمليا بالاعتماد على نظرية الحد الحرج لانحدار السرعة المتاخم [3] وحسب المعادلة الاتية:

$$g = \frac{f * \dot{V}_m * \mathrm{Re}}{2*\pi * D_t^3} \qquad (6)$$

$$f = \frac{125.8}{(\mathrm{Re})^{1.24}} \qquad (7)$$

حيث تحدد المعادلة (6) بحدود الاستقرارية لجريان طباقي متكامل النمو وبالاعتماد على سرعة جريان الغازات الغير المحترقة يمكن حساب الوميض الخلفي (g_f) والانفصال (g_b) ويتم تحديد النسبة المكافئة التي تحصل عندها الظاهرتان .

اما مسافة الاخماد (التي تعرف على انها اقل مسافة بين لوحين متوازيين يحصل عندها اخماد للهب ولايحصل وميض خلفي [3]) فقد تم حسابها باستخدام المعادلة (8) ولقيم عدد بكلت (40,50,55,60)

$$P_{eq} = \frac{\rho_u * Cp * S_u}{\lambda} * D_q \qquad (8)$$

النتائج والمناقشة

تم في هذا البحث قياس سرعة انتشار اللهب لخليط (غاز البترول المسال العراقي –الهواء) المسبق الخلط ولمدى من النسب المكافئة (0.883-1.233) وباستخدام المحرق المربع وبطريقة تصوير شلیرن مع تقنية المساحة ،والشكل (6) يوضح العلاقة بين تغير سرعة انتشار اللهب مع النسبة المكافئة حيث يلاحظ ان سرعة انتشار اللهب تزداد بازدياد النسبة المكافئة في الجانب الفقير من الخليط (Lean Side) الى ان تصل الى اعظم قيمة لها عند النسبة المكافئة (1.038) بعد ذلك تبداء بالانخفاض مع زيادة النسبة المكافئة في الجانب الغني للخليط (Rich side) ،ان سبب هذا يعود الى زيادة درجة حرارة اللهب والذي يؤدي بدوره الى زيادة معدل التفاعل الكيميائي الذي يودي الى زيادة سرعة انتشار اللهب ،يمكن ملاحظة توافق النتائج المستخلصة مع النتائج المنشورة وكما مبين في الشكل (7) وهذ يدل على نجاح اسلوب المحرق المربع وامكانية استخدامة في بحوث الاحتراق لقياس خصائص انتشار اللهب لانه يعطي جبهة لهب مجسمة ثنائية البعد وخالية من التشوه.

من الشكل (8) يمكن ملاحظة ان سمك جبهة اللهب يقل مع زيادة النسبة المكافئة في الجانب الفقير من الخليط ليصل الى اقل قيمة له عند نسبة اعلى قليلا من نسبة الخلط الكيميائي الصحيح والسبب في ذلك يعود الى زيادة معدل التفاعل الكيميائي نتيجة لزيادة درجة حرارة اللهب مع النسبة المكافئة في الجانب الفقير من الخليط(Lean side) بينما يقل معدل التفاعل في الجانب الغني.

اما الشكل (9) فانه يمثل تغير مسافة الاخماد مع النسبة المكافئة ولقيم رقم بكلت (40,50,55,60) حيث يلاحظ ان مسافة الاخماد تقل مع زيادة النسبة المكافئة في الجانب الفقير من الخليط لتصل الى اقل قيمة لها عند نسبة اعلى قليلا من نسبة الخلط الكيميائي الصحيحثم تزداد مع النسبة المكافئة في الجانب الغني من الخليط والسبب في ذلك يعود الى التناسب العكسي لمسافة الاخماد مع سرعة انتشار اللهب ومعدل التفاعل.

الشكل (10) يبين حدود الاستقرارية للمحرق المربع حيث يمثل المنحني السفلي ظاهرة الوميض الخلفي والمنحني العلوي ظاهرة الانفصال والمنطقة الواقعة بينهما تمثل المنطقة المستقرة اما الشكل (11) فانه يبين مقارنة بين حدود الاستقرارية للمحرق المربع مع حدود الاستقرارية للمحرق الدائري حيث يلاحظ ان قيم حدود الانفصال تكون في حالة المحرق المربع اعلى منها في حالة المحرق الدائري كما في الشكل (a)كذلك تكون قيم الوميض الخلفي للمحرق المربع اعلى منها في المحرق الدائري كما في الشكل (b)والسبب في ذلك يعود الشكل المميز لجبهة اللهب في حالة المحرق المربع الذي يجعل منها اقل استقرارية على شفة المحرق وهذا يجعل المنطقة المستقرة لعمل المحرق المربع اقل منها في حالة المحرق الدائري.

الاستنتاجات

١. يمكن الحصول على جبهة لهب مجسمة ثلاثية البعد بتصوير جانب واحد من اللهب باستخدام المحرق المربع الذي يعطي جبهة لهب على شكل هرم رباعي كامل.
٢. قيم انحدار السرعة المتاخم في حالتي الوميض الخلفي والانفصال في المحرق المربع اعلى منها في حالة المحرق الدائري .

التوصيات

١. استعمال تقنية نشر الجزيئات في حساب سرعة انتشار اللهب في المحرق المربع ومقارنتها مع طريقة المساحة.
٢. استعمال المحرق المربع لغرض دراسة خصائص اللهب الطباقي لانواع اخرى من الوقود الهيدروكربوني.
٣. استعمال كاميرا نوع (CCD) بدلا من الكاميرا الاعتيادية لغرض تصوير جبهة اللهب.

المصادر

1. Andrews, G.e and Bradley, D ",combustion and flame 18:133 (1972-a).
2. Assael J.M., Trusler, J.P.M. and Tsolakis, F.T., "Thermophysical properties of fluids" Imperial College Press, (1988).
3. Barnard ,J.A. and Bradley,J.N.," Flame and combustion",2 nd ed Chapman and Hill Inc., (1985).
4. Bonilla, R.H and Maccallum, R.L.,"Combustion and Flame" 12:492 (1968).
5. Boukhalfa, A. and Gokalp,I, " Combustion and Flame" 73:75 (1988).
6. Gydon, A.G and Wolfard.H.F.,J, "Flames", London,3rd ed.(1970).
7. Kanury,A.M, "Introduction to combustion phenomena", Gordon and Breach publishers, inc., (1975).
8. Kuo, K, K, "Principle of combustion", John Wiley and sons. Inc. (1986).
9. Liu, D.D.S., and Macfarlan, "Combustion and Flame",49:59 (1983).
10. Lewis, B, and Von-Elbe, G, "Combustion Flame and explosion of gases" 2nd., Academic Press, New York (1987).
11. Reed, S.B, " Combustion and Flame" , 13:583 (1969).
12. Roper, F.G. "Combustion and Flame", 29,219-226 (1977)

١٣. احمد [Ahmed]علي نجيب،دراسة انتشار اللهب الطباقي بتصوير منطقة شلیرن للهب محاط بغاز النيتروجين ،رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم هندسة المكائن والمعدات/الجامعة التكنولوجية (2003)

١٤. أركان [Arkan] فوزي سعيد، تأثير درجة الحرارة الابتدائية على سرعة انتشار اللهب خلال أنبوب لخلائط (الميثان – البروبان- غاز البترول المسال العراقي)

مع الهواء، رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم هندسة المكائن والمعدات /الجامعة التكنولوجية، (2000)

١٥. حسنين [Hassnein] عدنان البدر، تأثير درجة الحرارة الابتدائية على خصائص اللهب الطباقي في المحرق الأنبوبي (لخلائط الوقود الغازي والهواء)،رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم هندسة المكائن والمعدات /الجامعة التكنولوجية،(2001)

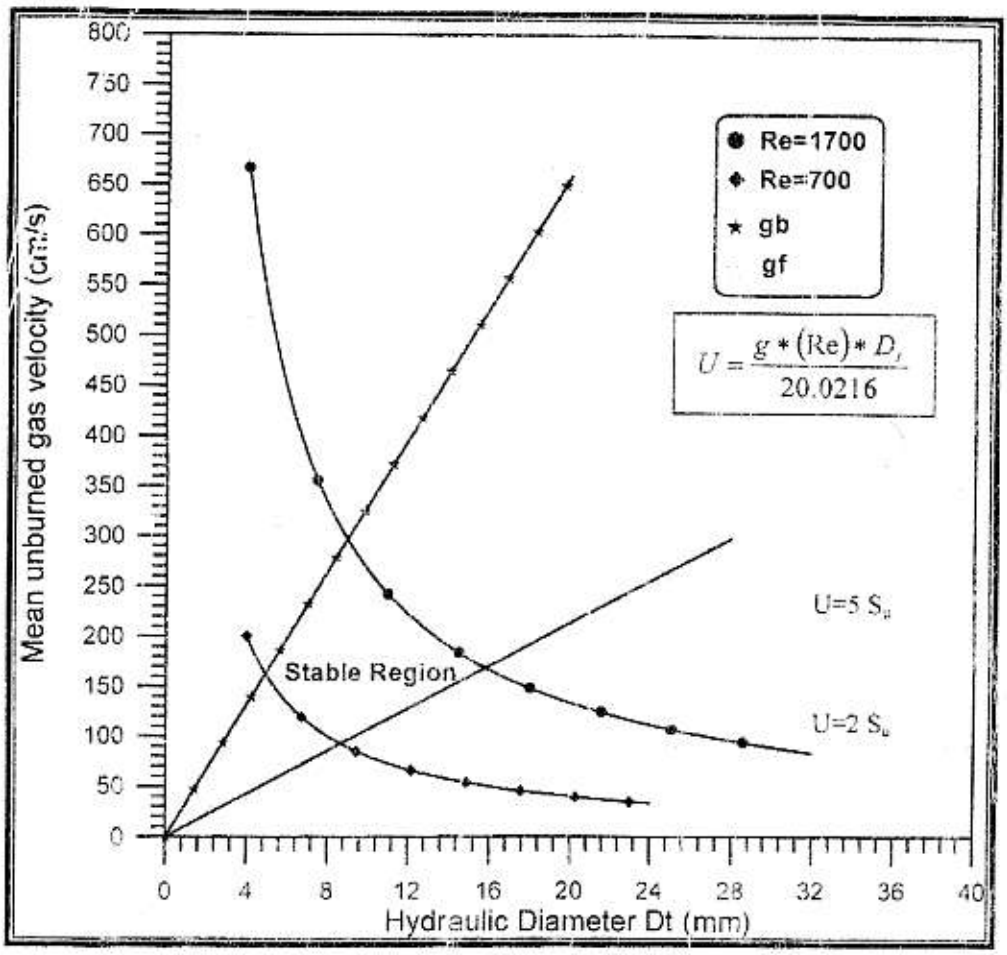
١٦. حيدر [Haider] عبد ضهد ،دراسة سرعة انتشار اللهب، مسبق الخلط خلال أنبوب باستعمال الخلايا الضوئية ، رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم هندسة المكائن والمعدات /الجامعة التكنولوجية،(1997).

١٧. جاسم [Jassem] محمد عبد الكريم، استخدام تقنية شليرن في دراسة انتشار اللهب الطباقي لمحرق ذي الشق، رسالة ماجستير مقدمة الى قسم هندسة المكائن والمعدات /الجامعة التكنولوجية، (2002).

١٨. على [Ali] رسول مهدي ، استخدام طريقة تصوير شليرن في دراسة اللهب لخلائط الوقود الغازي مع الهواء ، رسالة ماجستير مقدمة الى قسم هندسة المكائن والمعدات /الجامعة التكنولوجية ،(2000).

قائمة الرموز

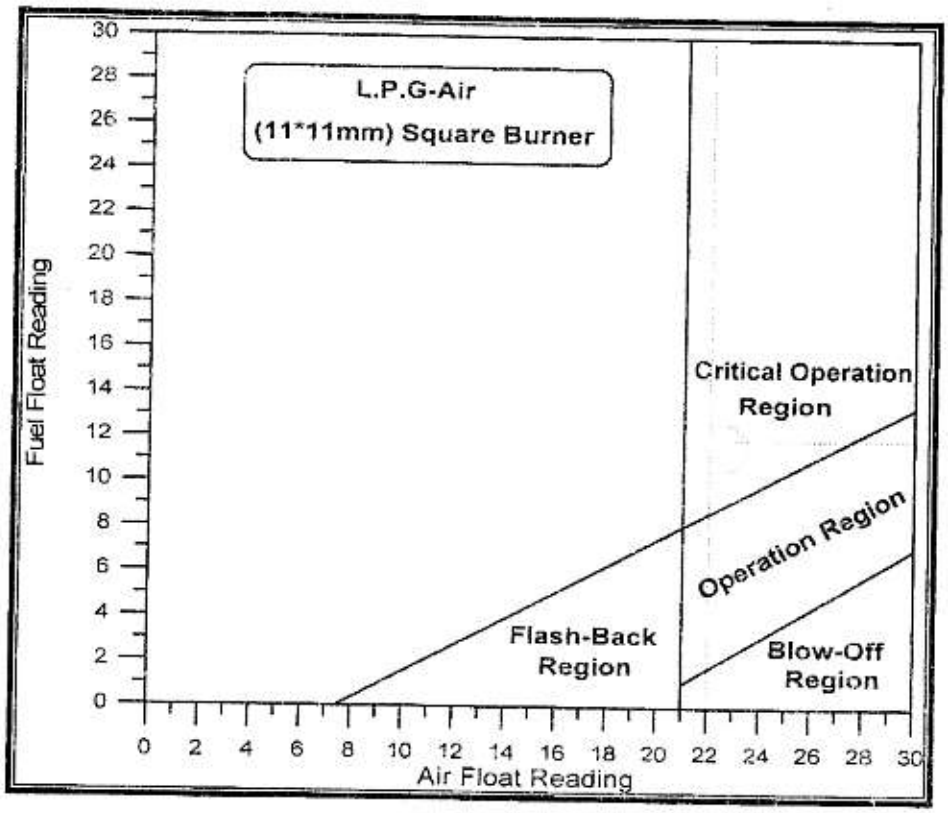
الرمز	المعنى	الوحدة
$\dot{m}$	معدل الجريان الكتلي للخليط غير المحترق	kg/s
ρ_u	كثافة الخليط غير المحترق	Kg/m^3
ρ_b	الكثافة الماسة عند السطح المرجعي	kg/m^3
U	سرعة جريان الخليط غير المحترق	cm/s
S_u	سرعة انتشار اللهب	cm/s
A_0	مساحة مقطع المحرق	m^2
A_f	مساحة جبهة اللهب	m^2
$\dot{V}_m$	المعدل الحجمي لجريان الخليط غير المحترق	cm^3/s
X	عرض قاعدة الهرم	mm
Y	الارتفاع المائل للهرم	mm
Φ	النسبة المكافئة	-
δ	سمك اللهب الطباقي	mm
D_q	مسافة الإخماد	mm
P_{eq}	عدد بكلت	-
Re	عدد رينولد	-
f	معامل الاحتكاك	-
D_t	القطر الهيدروليكي	mm
g	انحدار السرعة المتاخم	1/s
g_b	انحدار السرعة المتاخم في حالة الانفصال	1/s
g_f	انحدار السرعة المتاخم في حالة الوميض الخلفي	1/s
λ	الموصلية الحرارية لنواتج الاحتراق	W/m K
C_P	الحرارة النوعية بثبوت الضغط	J/kg K
Pu	الضغط الجوي	N/m^2
Tu	درجة الحرارة الابتدائية	K



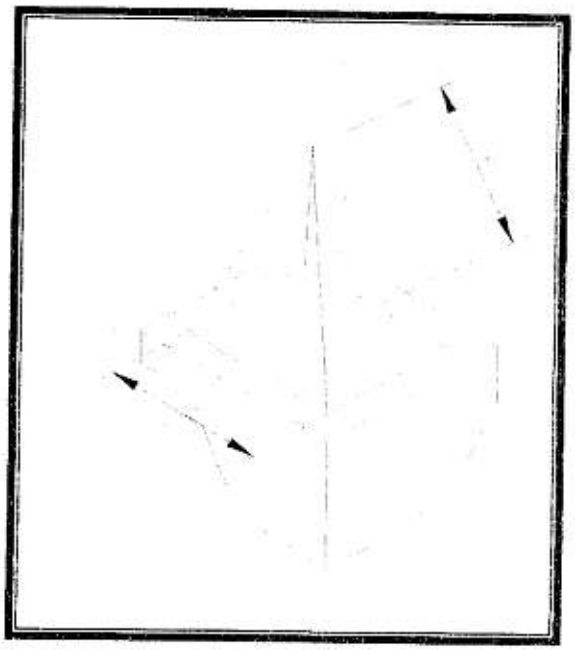
الشكل (1) المخطط التصميمي للمحرق المربع [3]

ت	المكونات
1	الضاغط الترددي
2	مقاييس الجريان
3	غلاف العزل
4	شمعة الليزر
5	العدسات
6	المستوى القاطع
7	الكاميرا
8	غلاف التبريد
9	المحرق
10	منظومة التدوير
11	مرشح الهواء
12	منظم الضغط
13	اسطوانة الغاز

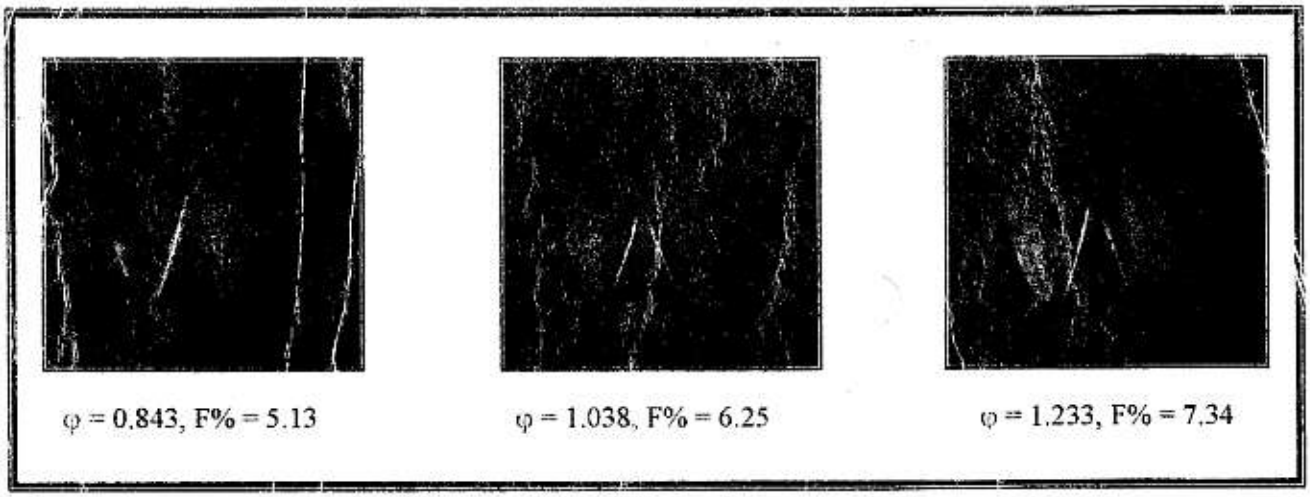
الشكل (2) مخطط عام لمكونات الجهاز المستخدم



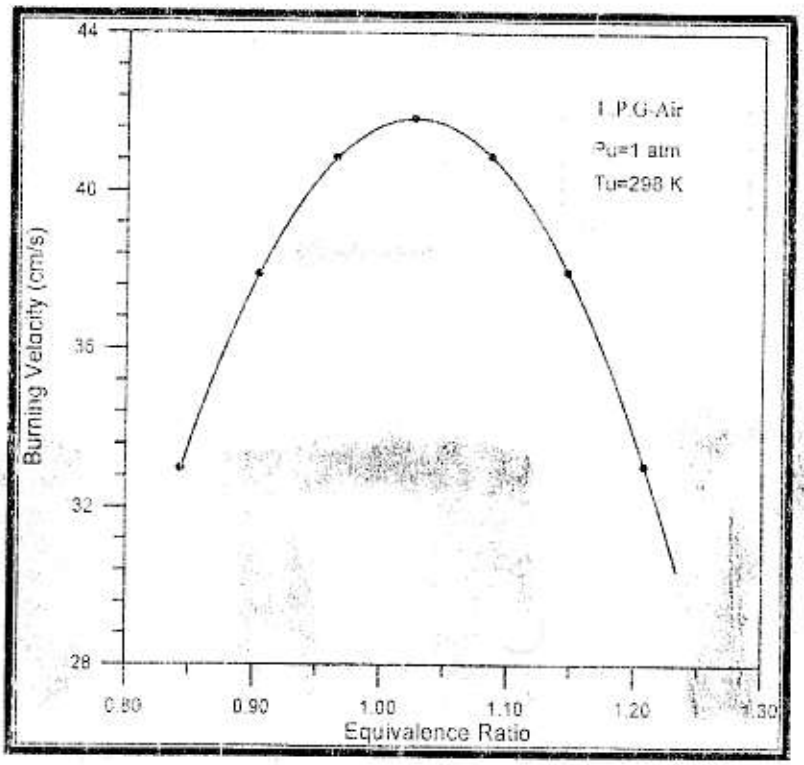
الشكل (3)اسلوب تجهيز الخليط (غاز البترول المسال العراقي-الهواء)



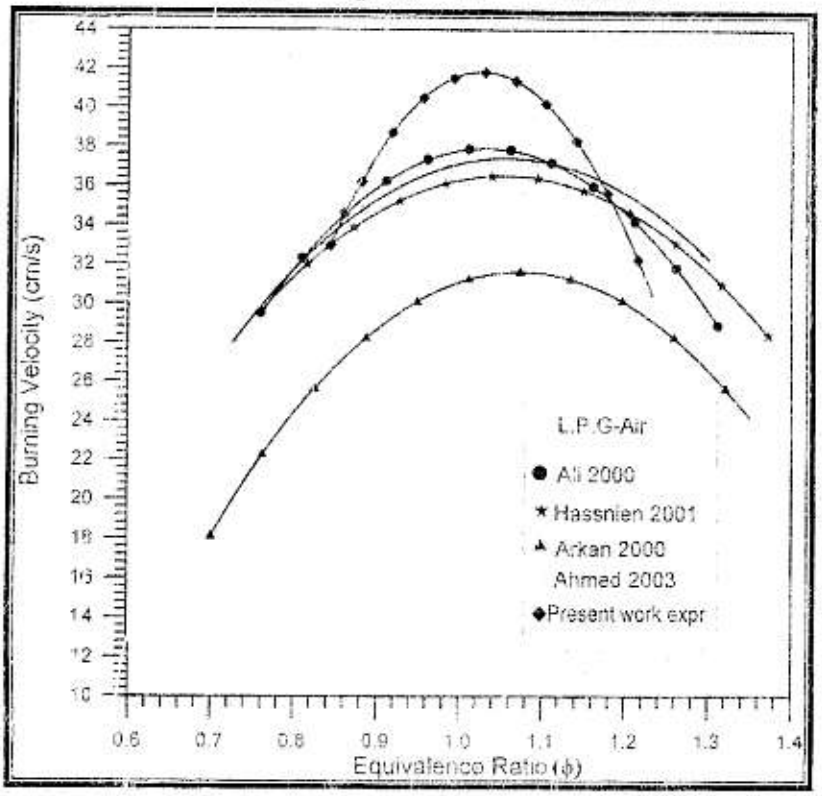
الشكل (4) الوصف الهندسي لجبهة اللهب للمحرق المربع



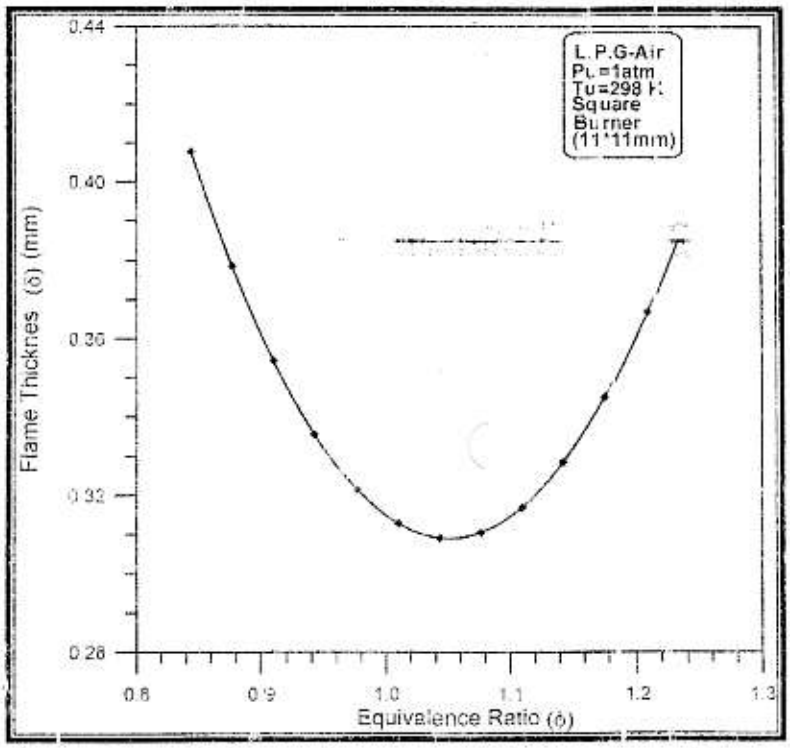
الشكل (5) نماذج من صور شليرن للهب مسطح الجوانب بالمحرق المربع



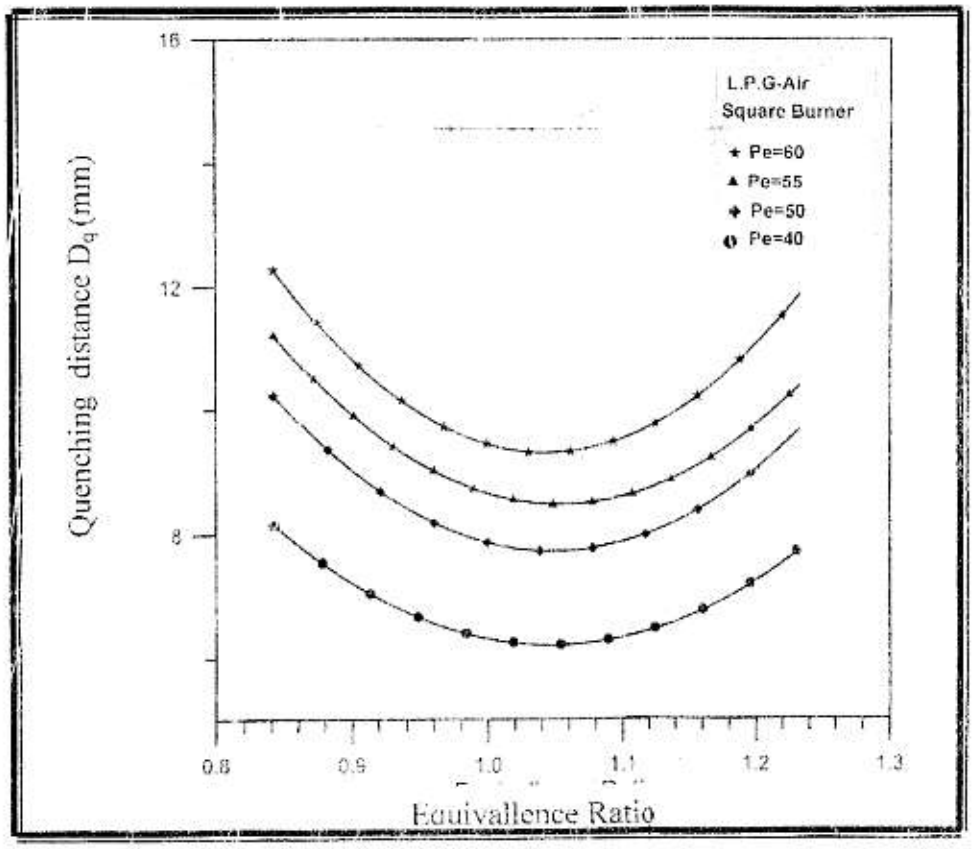
الشكل(6) يوضح العلاقة بين النسبة المكافئة وسرعة انتشار اللهب لخليط غاز البترول المسال العراقي - الهواء



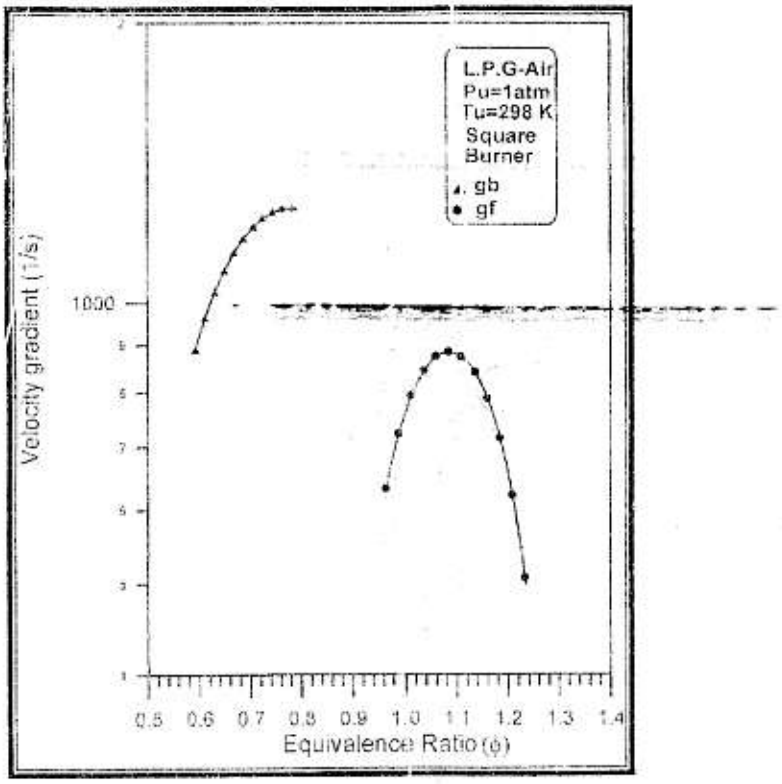
الشكل (7) مقارنة نتائج سرعة انتشار اللهب مع البحوث المنشورة



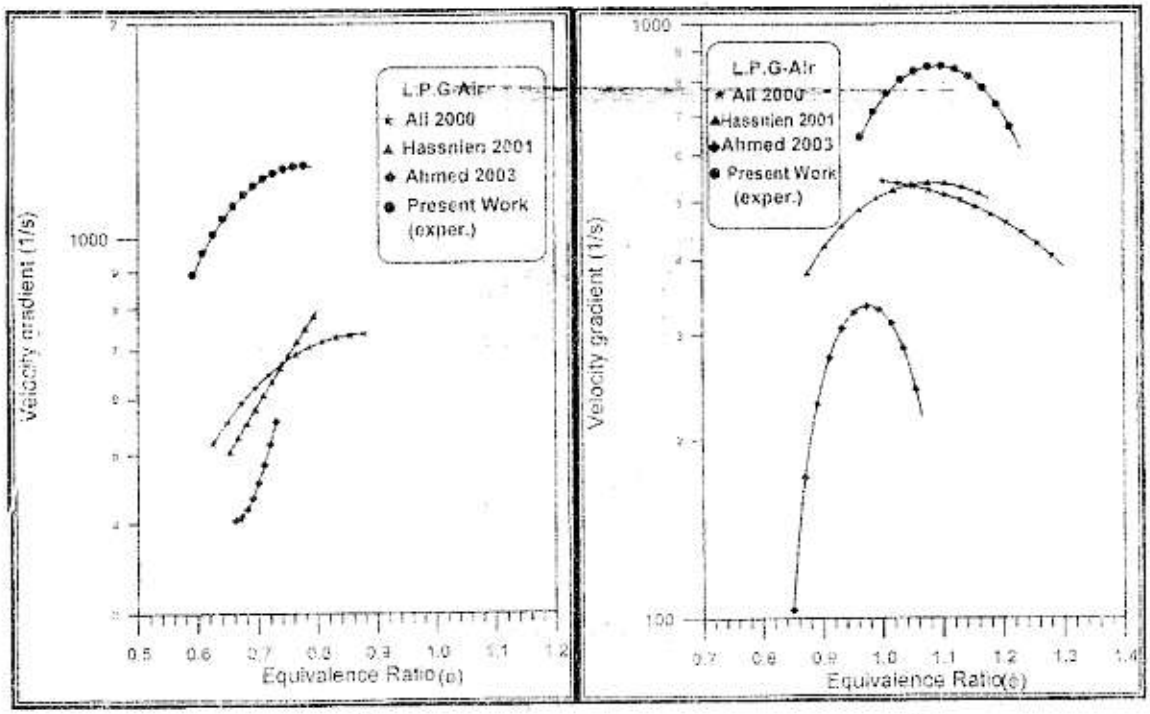
الشكل (8) يوضح العلاقة بين النسبة المكافئة وسمك جبهة اللهب



الشكل (9) يوضح تغير مسافة الاخماد مع النسبة المكافئة



الشكل (10) حدود الاستقرارية للمحرق المربع



الشكل(11) مقارنة نتائج حدود الاستقرارية للمحرق المربع مع المحرق الدائري

الملحق (A) يبين خلاصة نتائج البحث

Φ	$S_{u(cm/s)}$	$\delta_{(mm)}$	$D_{q(mm)}$			
			40	50	55	60
0.843	35.251	0.402	8.05	10.08	11.06	12.11
0.908	38.654	0.364	7.28	9.1	10.01	10.92
0.973	42.359	0.326	6.51	8.19	8.96	9.8
1.038	44.56	0.05	6.09	7.63	8.4	9.17
1.103	42.62	0.313	6.23	7.84	8.61	9.38
1.168	39.415	0339	7	8.4	9.1	10.5
1.233	34.26	0.388	7.7	9.8	10.5	11.9