

تأثير الضغط الابتدائي على سرعة انتشار اللهب لخليط هواء-ميثان

د.محمد ناصر حميد

الجامعة التكنولوجية / قسم هندسة المكائن والمعدات

الخلاصة:

تم اجراء دراسة عملية لتأثير الضغط الابتدائي على سرعة جبهة اللهب الطباقية لخليط الميثان-هواء ولمدى واسع من النسب المكافئة. ولاجراء ذلك تم تصميم منظومة قياس استخدم فيها طريقة الحجم الثابت وتقنية المزدوجات الحرارية لقياس سرعة جبهة اللهب. وتم استخدام طريقة نسبة الكثافة لقياس سرعة انتشار اللهب. ان مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها في البحث الحالي مع النتائج المنشورة بين وجود توافق كبير بينها، مما يدل على نجاح ودقة التقنية والحسابات المستخدمة في هذا البحث.

Effect Of Initial Pressure Upon Laminar Burning Velocity Of Methane-Air Mixtures

ABSTRACT

The effect of the initial pressure upon the laminar flame speed, for a methane-air mixtures, has been detected paractically, for a wide range of equivalence ratio. In this work, a measurement system is designed in order to measure the laminar flame speed using a constant volume method with a thermocouples technique. The laminar burning velocity is measured, by using the density ratio method. The comparison of the present work results and the previous ones show good agreement between them. This indicates that the measurements and the calculations employed in the present work are successful and precise.

المصطلحات والرموز

الوحدات	المعنى	الرمز
cm/sec	سرعة انتشار اللهب الطباقية (laminar burning velocity)	S_u
cm/sec	سرعة جبهة اللهب الطباقية (laminar flame velocity)	S_f
	معامل سمك جبهة اللهب (flame thickness factor)	I
	النسبة المولية (mole ratio)	N
mol	عدد المولات (number of moles)	n
	عدد ذرات الكربون (number of carbon atoms)	n_c
bar	الضغط (pressure)	P
atm	الضغط الجوي (Atmospheric pressure)	P_{atm}
bar	(initial pressure)	P_u
mm	نصف قطر جبهة اللهب (flame radius)	r_f
K	درجة الحرارة المطلقة (absolute temperature)	T
K	درجة حرارة اللهب الاديباتية (adiabatic temperature)	T_{ad}
K	درجة حرارة الجو المحيط	T_{atm}
K	درجة الحرارة اللهب (درجة حرارة الغاز المحترق) (flame temperature)	T_f
K	درجة الحرارة الابتدائية (درجة حرارة الغاز غير المحترق) (unburned gas temperature)	T_u
kg/m^3	الكثافة (density)	ρ
kg/m^3	متوسط كثافة الغازات المحترقة عند نصف قطر r_f	$\bar{\rho}_f$
kg/m^3	كثافة الغازات غير المحترقة	ρ_u
	النسبة المكافئة (equivalence ratio)	ϕ

المقدمة

سرعة انتشار اللهب تعرف بأنها ثابت فيزيوكيميائي (physicochemical) لخلائط الوقود-الهواء. وتعرف بأنها السرعة التي تنتشر بها جبهة اللهب وبشكل عمودي على سطحها خلال الغازات غير المحترقة [Barnard & Bradley 1985].

ان دراسة انتشار اللهب الطباقية والاضطرابي مهمة لتحليل عمليات الاحتراق المسيطر عليها كما في محركات الاحتراق الداخلي والتوربينات الغازية والافران. اجريت دراسات كثيرة لسرعة انتشار اللهب الطباقية وتقنيات اختبار مختلفة الا ان الحاجة مازالت ماسة لاجراء المزيد من الدراسات بسبب حاجتنا لقيم عملية لسرعة انتشار اللهب الطباقية في تصميم منظومات الاحتراق المختلفة والموديلات الرياضية التي تهتم بدراسة سرعة انتشار اللهب الاضرابية وتحت ظروف ابتدائية مختلفة من ضغط ودرجة حرارة.

في هذا البحث تم استخدام طريقة الحجم الثابت (constant volume method) والتي استخدمت من قبل عدد من الباحثين وبتقنيات قياس مختلفة، [Andrews & Bradley 1973], [Al-Khishali 1984], [Hamid M.N. 1986],[Kwon et. al, 1992],[Bradley & Hicks 1998],[Stone 2004],[Al-Shahrany & Bradley 2005]. والتقنية المستخدمة هنا هي المزدوجات الحرارية لقياس سرعة انتشار اللهب الطباقية لخليط الميثان الهوائي وهذه الطريقة تستخدم فيها وعاء صلد مغلق اما ان يكون كروي او اسطواني ويكون في الغالب بقطر (30 cm) حيث عند اشعال الخليط تتكون جبهة لهب كروية تنتشر خلال الخليط غير المحترق مما يسبب زيادة في الضغط ودرجة الحرارة. وتمتاز هذه الطريقة عن الطرق الاخرى بحيث يمكن تغيير الظروف الابتدائية للخليط وعند اشعاله مركزيا سيعطي سرع مختلفة عند الظروف المختلفة.

الجهاز المستخدم للقياس:-

تم تصميم منظومة لقياس سرعة جبهة اللهب تتكون من الاجزاء الرئيسية التالية:

ا- اسطوانة اللهب وملحقاتها

ب- وحدة تحضير الخليط

ج- وحدة قياس سرعة جبهة اللهب

د- وحدة الاشعال والسيطرة

يتم تحضير خليط هواء-ميثان بوحدة الادخال (اعداد الخليط) اعتمادا على قانون دالتون Dalton law وتجهيزه الى غرفة الاحتراق (الاسطوانة) حيث يتم تحديد الضغط الابتدائي ودرجة الحرارة الابتدائية للخليط بعدها يتم الاشعال عن طريق وحدة الاشعال وتقاس سرعة جبهة اللهب (S_f) للخليط المذكور.

الشكل (1) يوضح الاجزاء الرئيسية المستخدمة في جهاز الاختبار. وهذه الاجزاء تم تصنيعها في الجامعة التكنولوجية حيث تم استخدام اسطوانة ذات قطر (305 mm) وطول (305 mm) وسمك (11mm) من الحديد المصلب ويتم الاشعال فيها مركزيا" واستخدمت تقنية المزدوج الحراري لتحديد موقع جبهة اللهب التي تأتي نتيجة الاشعال حيث يكون نمو نواة اللهب كرويا" ووضعت المتحسسات (المزدوج الحراري) في منطقة (فترة ثبوت الضغط) (pre-pressure period) وربطت مع الحاسبة من خلال جهاز سيطرة (interface) صمم لهذا الغرض وتم بناء برنامج لحساب سرعة انتشار اللهب باعتماد طريقة نسبة الكثافة (Density Ratio Method) التي اوردها (Andrews & Bradley 1972) بالمعادلة التالية:

$$Su = S_f \frac{\rho_b}{\rho_u} \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{\bar{\rho}}{\rho_u} = \frac{T_u}{T_f} \cdot N \cdot I \dots\dots\dots(2)$$

حيث تم احتساب

$$N = \frac{\sum n_r}{\sum n_p} \dots \dots \dots (3)$$

كما مبين في الشكل (2)

وتم احتساب قيمة (I) (معامل سمك جبهة اللهب (Flame Thickness Factor) عن طريق

$$I = \frac{1.04}{r_b^3} \left[(r_b - \delta)^3 + \frac{3T_b r_b^2 \delta}{(T_b - T_u)} \ln \left| \frac{T_b}{T_u} \right| \right]$$

وهذه العلاقة التي اوردها الباحث (Andrews & Bradley 1973) كما في الشكل (3)

$$Su = Sf \cdot \frac{T_u}{T_{ad}} \cdot N \cdot I \dots \dots \dots (5)$$

T_{ad} هي درجة الحرارة الايدياتية لايجادهما تم استخدام معادلة الباحث (Al-Ani 1994) وكما مبين في

الشكل (4).

النتائج والمناقشة:

تم قياس سرعة جبهة اللهب (S_f) كما مبين في الشكل (5) ولضغوط ابتدائية مختلفة حيث يلاحظ ان سرعة تزداد بزيادة النسبة المكافئة والعلاقة بين سرعة جبهة اللهب والنسبة المكافئة علاقة اسية (polynomial relationship) ، او كلما ازدادت النسبة المكافئة (ϕ)، تزداد سرعة جبهة اللهب الى ان تصل الى قيمة عظمى بالقرب من نسبة الخلط الكيميائي الصحيح ثم تبدأ بالنقصان كلما ازدادت النسبة المكافئة و قورنت النتائج مع باحثين اجروا تجاربهم عند ضغط (1 bar) وكانت النتائج متوافقة مع الباحثين تحت نفس الظروف وبتقنيات مختلفة كما في الشكل (6).

ان هذا السلوك لسرعة جبهة اللهب ناتج عن ارتباط سرعة جبهة اللهب بدرجة حرارة اللهب (KUO 1986). الشكل (7) يمثل علاقة سرعة انتشار اللهب مع النسبة المكافئة لضغوط ابتدائية مختلفة وهذا التأثير مشابه الى تأثير سرعة جبهة اللهب التي تم شرحها سابقا".

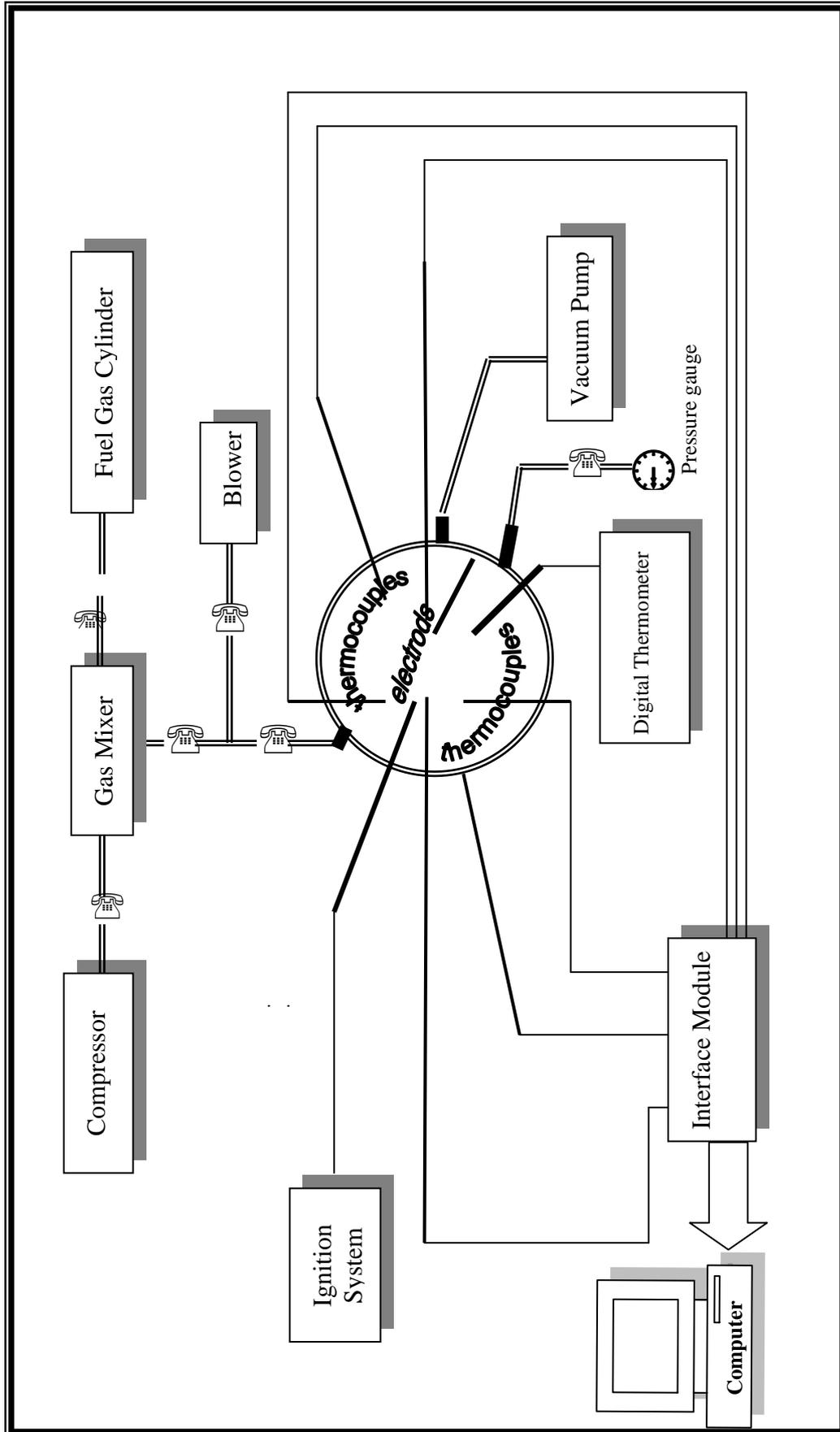
الاستنتاجات:

- يمكن استخدام تقنيات المزدوجات الحرارية في الحجم الثابت لقياس سرعة انتشار اللهب وبدقة مقبولة جدا.
- بزيادة الضغط الابتدائي لخليط هواء-ميثان تقل سرعة انتشار اللهب والعكس صحيح.
- تم ايجاد بيانات لتأثير الضغط الابتدائي لقيم اقل من الضغط الجوي وقيم اعلى من الضغط الجوي وبيان مدى تأثير الضغط على سرعة انتشار اللهب.

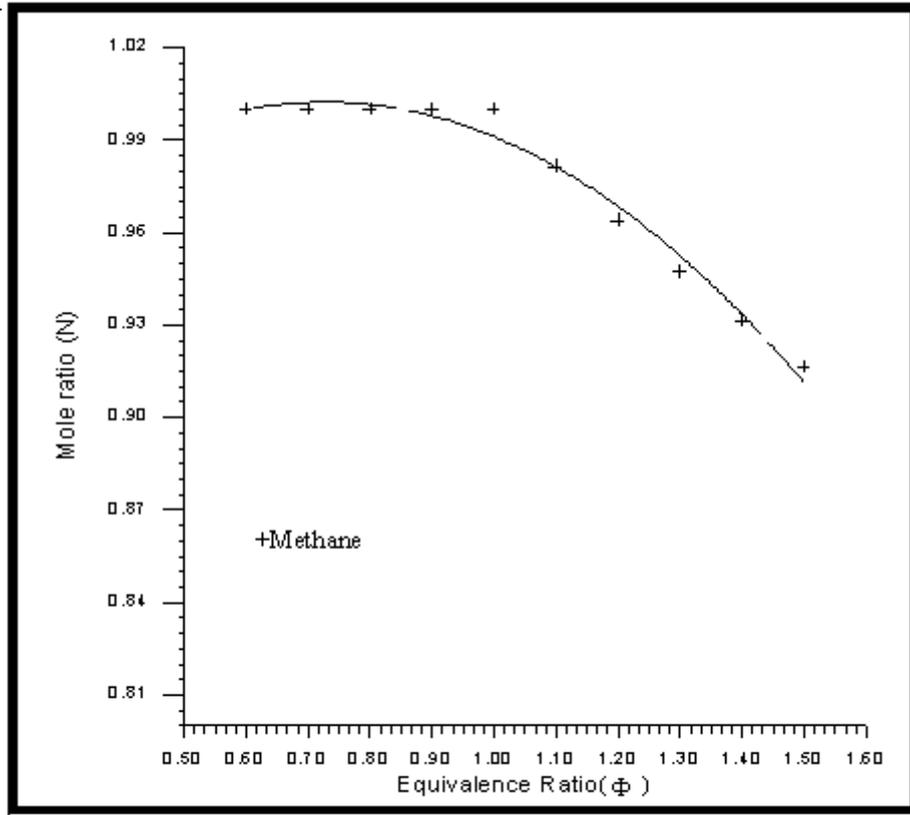
المصادر:

- Al-Ani, K.F (1994), “Flame Temperature Estimation Of Conventional Internal Combustion Engines Fuels” MSc. Thesis, Department Of Mechanical Engineering, University Of Technology
- Al-Khishali, K. J. (1984), “Turbulent Flame Propagation And Quenching”, Ph.D. Thesis Dept Of Mechanical Engineering, University Of Leeds.
- Al-Shahrany & Bradley (2005), Proceedings of the Combustion Institute 30 , 225-232, (2005)
- Andrews .G.E. & Bradley, D 1972, Combustion And Flame, 19-275 (1972)
- Andrews .G.E. & Bradley, D 1973, Combustion And Flame, 20-77 (1973)
- Barnard J.A. & Bradley J.N. (1985), Flame And Combustion, Chapman And Hall, London
- Arkan, F.S. (2000), “Effect of Initial Temperature on Flame Propagation Through Tube For (Methane, Propane, LPG and Butane)-Air Mixtures”, MSc. Thesis Department Of Mechanical Engineering, University Of Technology
- Bradley, D. , Hicks, R. A., (1998), Combustion And Flame 115 P. 126-144 (1998)
- Egolfopoulos, F. N. & Law, C. K. (1989), Combustion And Flame, 76-375 (1989)
- Esam, M. M. Al-Salman (2002), “The Effect of Tube Diameter on the Laminar Flame Propagation of the Gaseous Hydrocarbons-Air Mixtures”, Ph.D. Thesis Department Of Mechanical Engineering, University Of Technology
- Gulder, O.L. (1983) , Combustion Science And Technology, 33-179 (1983)
- Gunther, R. And Janisch (1972), Combustion And Flame, 19-49 (1972)

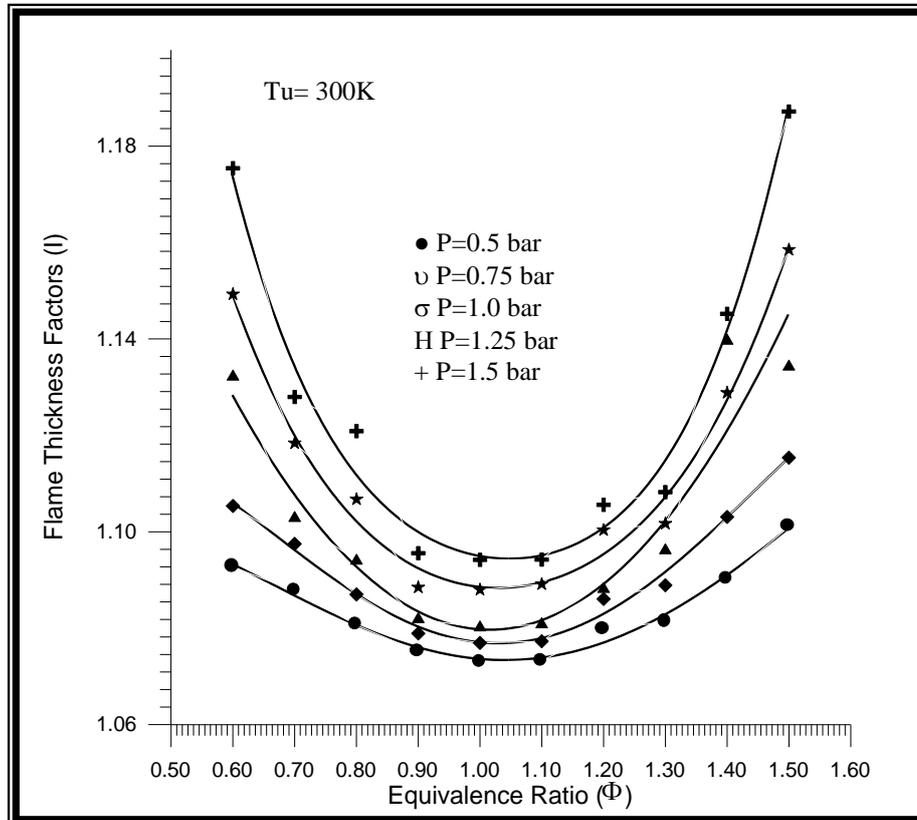
- Hamid M.N. (1986) “Fundamentals of Turbulent Burning Related to Gasoline Engines”, Ph.D. Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Leeds.
- Kuo, K.K. (1986), “Principle Of Combustion”, New York, John Wiley And Sons (1986)
- Kwon, S., Tseng, K And Faeth G. M. (1992) , Combustion And Flame, 90-230 (1992)
- Saeed K. & Stone C. R. (2004), Combustion And Flame, 152-166, (2004)



الشكل (1) المخطط العام لمكونات الجهاز وملحقاته

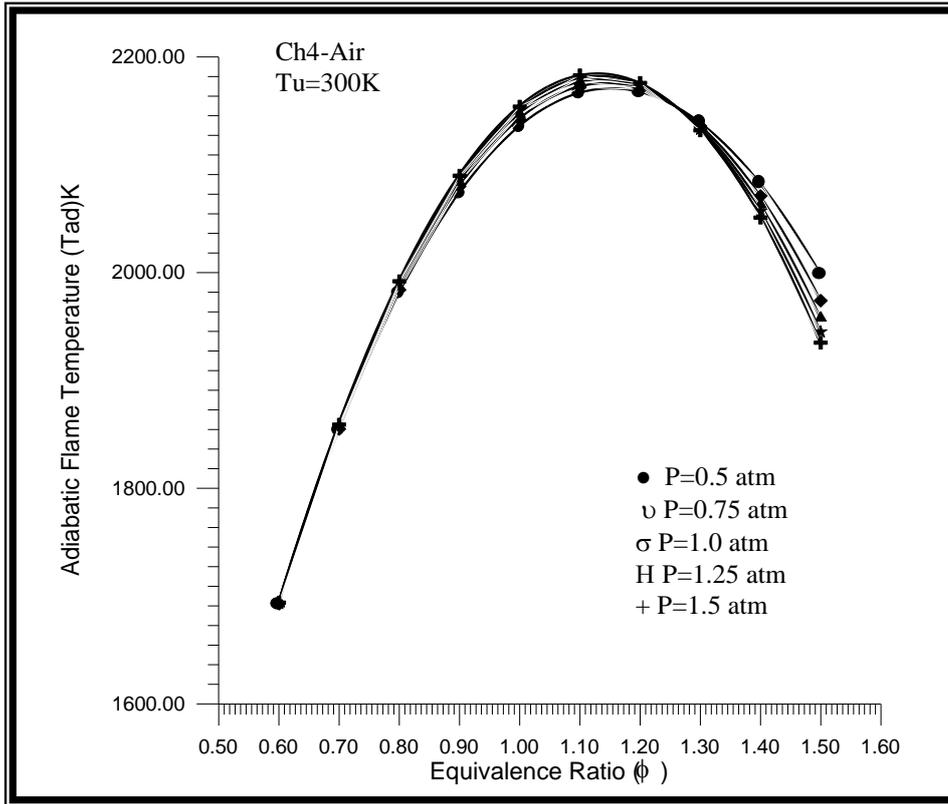


الشكل (2) تغير النسبة المولية (N) مع النسبة المكافئة (Φ) لخليط الميثان مع الهواء

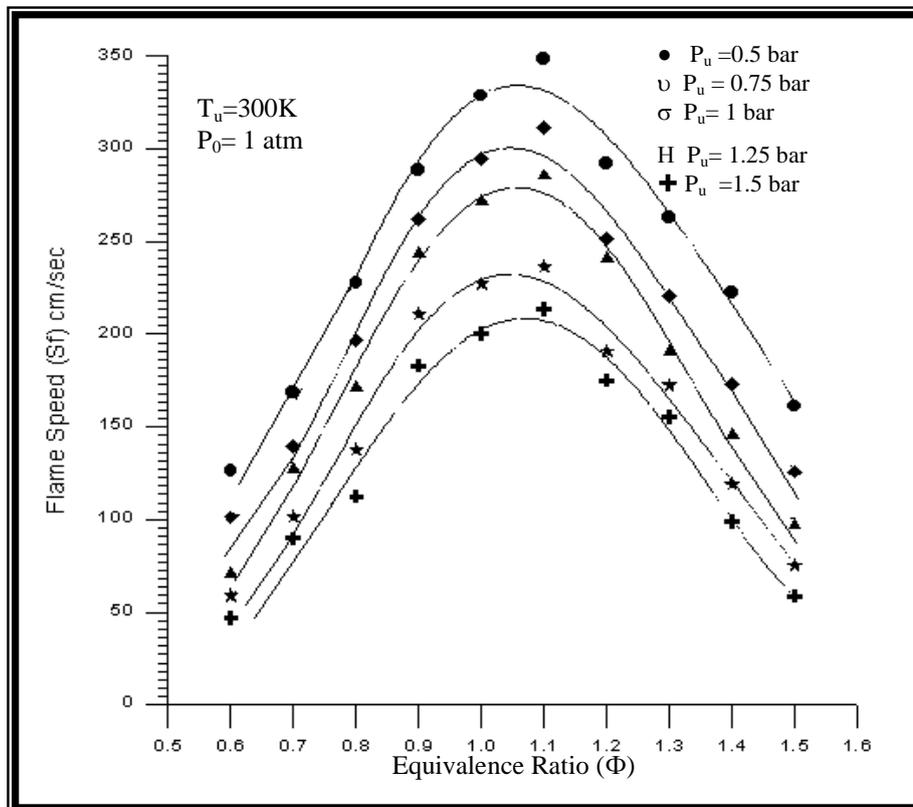


الشكل (3) معامل سمك جبهة اللهب مع النسبة المكافئة (Φ) لخليط الميثان

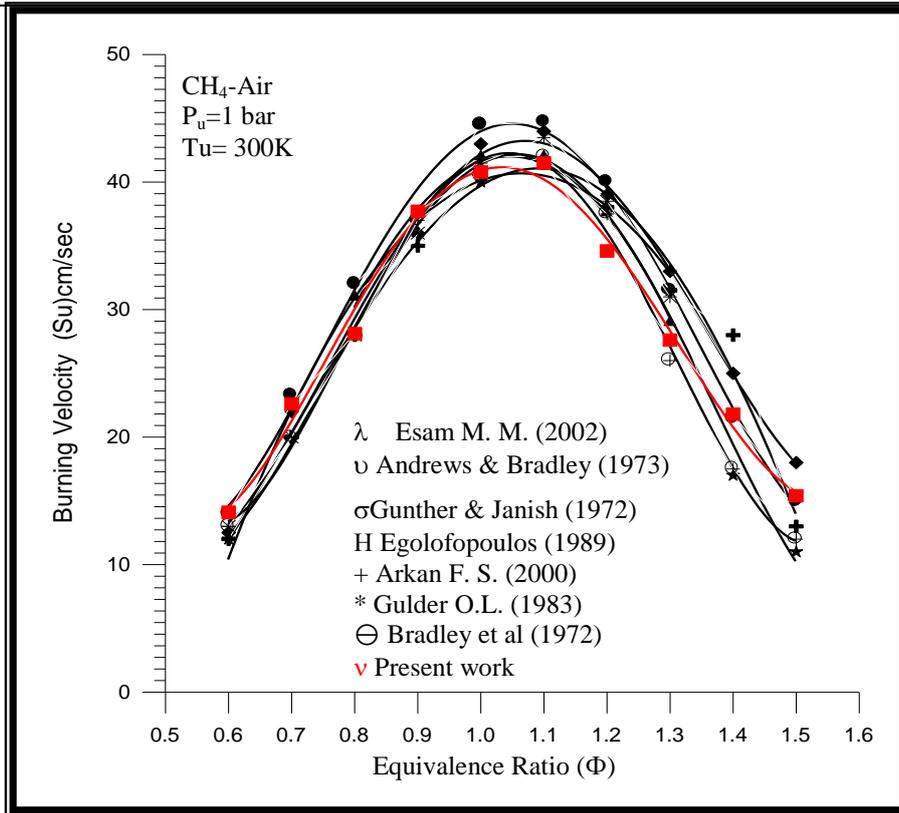
مع الهواء عند ضغوط ابتدائية مختلفة



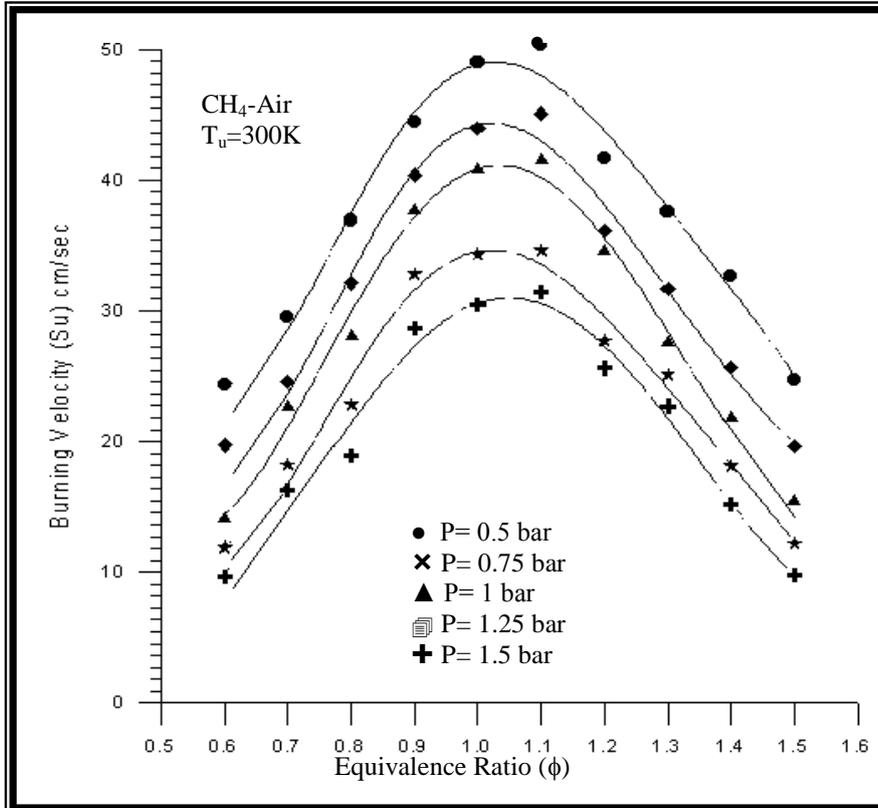
الشكل (4) درجة الحرارة الاديباتية مع النسبة المكافئة (Φ) لخليط الميثان مع الهواء عند ضغوط ابتدائية مختلفة



الشكل (5) سرعة جبهة اللهب مع النسبة المكافئة (Φ) لخليط الميثان مع الهواء عند ضغوط ابتدائية مختلفة



الشكل (6) مقارنة النتائج العملية لسرعة انتشار اللهب مع النتائج العملية المنشورة



الشكل (7) سرعة انتشار اللهب مع النسبة المكافئة (Φ) لخليط الميثان مع الهواء عند ضغوط ابتدائية مختلفة