تطوير المفاهيم الهندسية لطريقة الزاوية لحساب سرعة انتشار اللهب الساكن

علي رسول مهدي*

تاريخ التسلم: 2008/2/24
تاريخ القبول:2008/10/9

الخلاصة

في هذا البحث تم تطوير طريقة الحيز الميت من خلال ايجاد قيم جديدة لمعامل الحيز الميت سميت بمعامل الإخماد الهندسي يعتمد على قياس اكبر بعد لصور شليرن المأخوذة للهب بنسن لغازات الميثان والبيوتان والبروبان مسبقة الخلط مع الهواء ولدرجات حرارية مختلفة. تأثير درجة الحرارة والنسبة المكافئة على المعامل الجديد تم درستهما في هذا البحث. و تم أيضا حساب مقدار الحيز الميت العمودي ودراسة تأثيره على سرعة الاحتراق ويمكن ملاحظة هذا التأثير بوضوح في الجزء الفقير من اللهب. كما تمكن الأسلوب الجديدة من حساب مقدار قطر قاعدة اللهب أو الحيز الميت الأفقي.التطوير الجديد لطريقة الحيز الميت مكن من حساب سرعة انتشار اللهب الساكن وبنسبة خطا اقل 10% من خلال المقارنة مع النتائج المحسوبة بطريقة المخروطين المتمركزين.

كلمات مرشدة: سرعة الاحتراقو, لهب بنسن-جريان طباقي, اخماد اللهب, الحيز الميت.

Abstract

Modification of Dead space method by find a new values of dead space factor, is called geometrical quenching, depending on a largest dimension of Benson's flames. An experimental procedure are cried of Premixed Methan, Butan, and Propan have cared the with air mixture at $25\,C^{\circ}$, $75\,C^{\circ}$, $100\,C^{\circ}$, and $125\,C^{\circ}$ of unburned gases temperatures condition have been detected practically for wide range of equivalence ratio by using schlieren's photography method for tube burner.

The effect temperature and equivalence ratio on new factor are studies. Vertical dead space has been detected, and effect of this dimension has been study. The burning velocity recalculation by new technique and compares with calculation by CCM, and find the percentage error is less than 10%.

مركز التدريب والمعامل , الجامعة التكنولوجية/ بغداد

https://doi.org/10.30684/etj.27.3.20

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

الرموز المستخدمة

الرمز	المعنى	الوحدة
A_s	مساحة اللهب السطحية	m^2
A_t	مساحة مقطع الأنبوب	m^2
C	الميل الموضعي لسطح اللهب	–
D_f	قطر قاعدة اللهب	mm
dl/dl_1	نسبة المساحة للسطح البصري	–
D_t	قطر الأنبوب	mm
H_u	ارتفاع مخروط اللهب العلوي	mm
H_l	ارتفاع مخروط اللهب السفلي	mm
H	ارتفاع مخروط اللهب الكلي	mm
$H_{0.707Rt}$	ارتفاع مخروط اللهب العلوي عند $(0.707R_t)$	mm
H'	الحيز الميت	mm
R	نصف قطر قاعدة مخروط اللهب	mm
R_t	نصف قطر الأنبوب	mm
S_u	سرعة انتشار اللهب	cm/s
U	سرعة جريان الغازات غير المحترقة	cm/s
$U_{\perp}$	سرعة جريان الغارات غير المحترقة الموضعي الموضعية	cm/s
V	المعدل الحجمي لجريان الغازات غير المحترقة	cm^3/s
b	نصف زاوية المخروط التام للهب بنسن	deg
b_u	نصف زاوية المخروط العلوي للهب بنسن	deg
b_l	نصف زاوية المخروط السفلي للهب بنسن	deg
j	النسبة المكافئة	–
s	معامل الاخماد الهندسي	-
e	معامل تناسب مساوي تقريبا للواحد	

1- المقدمة

تعرف سرعة انتشار اللهب على أنها سرعة الغازات غير المحترقة العمودية على سطح موجة الاحتراق حيث تتحرك هذه الغازات باتجاه موجة الاحتراق [1] . سرعة انتشار اللهب تتأثر بالظروف التي تقاس عندها كالظروف الفيزيائية مثل درجة الحرارة والضغط والتركيب الكيميائي [2], والظروف الهندسية مثل شكل اللهب وحيز الجريان. وتعد الظروف الهندسية من أكثر الظروف تأثيرا على قيمة سرعة انتشار اللهب وخصوصا عند حسابها من نسبة معدل الجريان للغازات غير المحترقة إلى المساحة السطحية للهب [3]. لهب بنسن يمكن الحصول عليه بواسطة المحرق ذي الأنبوب, وهذا اللهب يكون مخروطي ذي جانب محدب وقمة ذات تدوير (Apex) صغيرة

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

جدا يمكن إهماله [1] وقد تبين انه يمكن إهمال تأثير هذا الانحناء إذا كان نصف قطر اللهب اكبر بكثير من سمكه. لكن إذا كان نصف قطر انحناء سطح لهب بنسن بحدود (3 mm) أو اقل فان تأثيره على سرعة انتشار اللهب لا يمكن إهماله [3] . وعليه فان حساب سرعة انتشار اللهب بطريقة المحرق ذي الأنبوب يكون مصحوب ببعض الأخطاء, واتفق إن نسبة الخطأ المقبولة في هذا الجانب تقع مابين (20 – 30%) [1] .

سرعة انتشار اللهب يمكن تحديدها بالعديد من التقنيات البصرية, لكن المشكلة ليس في تقنية القياس بل الدقة في اختيار السطح المرجعي الذي تبدأ عنده درجة حرارة الغازات غير المحترقة بالارتفاع, ويطلق على هذه الدرجة الحرارية بدرجة حرارة الاشعال [3 – 6] . المشكلة أعلاه نشأة كون اغلب سمك لهب الهيدروكاربونات يتراوح مابين (1 to 10 mm) أو اقل.

تقنية تصوير شليرن تعد من أفضل تقنيات القياس البصرية البسيطة للهب بنسن من خلال ما أظهرته دراسة طبيعة الجريان داخل موجة الاحتراق, إذ إن خطوط السريان تبقى نوعا ما مستقيمة حتى بلوغها الحدود الخارجية لمنطقة شليرن [7] ,[6], ,[3], ويتضح من الشكل (1) ان نسبة المساحة لها اقل ما يمكن.

2- طرائق الحساب

2-1- طريقة المساحة

حساب سرعة انتشار لهب بنسن يمكن حسابها إذا توفرت قياسات دقيقة عن طبيعة توزيعها ضمن موجة الاحتراق, ولكن اذا لم تتوفر مثل هكذا قياسات يصبح من الضروري حسابها من الجريان الكلي والشكل الهندسي للهب [4]. تقنيات طريقة المساحة المسماة (Gouy method) تعتمد على معادلة حفظ الكتلة [8]

$$\dot{m} = r_u U A_t = r_o S_u A_s \qquad \ldots\ldots (1)$$

وعند افتراض الجريان مستقر ونظري أي إن خطوط السريان تبقى متوازية حتى بلوغها السطح المرجعي فأن ($r_u = r_o$) [3] وعليه ستصبح المعادلة (1) كالتالي:

$$S_u = \frac{U A_t}{A_s} = \frac{\dot{V}}{A_s} \qquad \ldots\ldots (2)$$

نتائج المعادلة (2) تتفاوت في دقة نتائجها نتيجة اختلاف طريقة معاملة وحساب المساحة السطحية للهب. الطرائق المختلفة للحساب تناولها بالبحث [9]التي اعتمدها لحساب سرعة انتشار لهب غاز البترول المسال. وتمكن بالنهاية من وضع طريقة المخروطين المتمركزين (CCM) التي تعطي نتائج ذات دقة عالية في حساب سرعة انتشار اللهب من خلال فرض إن لهب بنسن مكون مخروطين متقاطعين مع بعضهما في نقطة تقع عند ($0.707 R_f$) .

$$S_u = 2U \frac{\left(R_t / R_f \right)}{\left(C_1^2 + 1 \right)^{0.5} + \left(C_2^2 + 1 \right)^{0.5}} \qquad \ldots\ldots\ldots (3)$$

حيث إن

$$C_1 = \tan(90 - b_1)$$

and

$$C_2 = \tan(90 - b_2)$$

2-2- طريقة الزاوية

حساب سرعة انتشار اللهب باستعمال هذه الطريقة سهل جدا ولكنه مصحوب بخطأ كبير. ان فرضية اهمال التمدد الحراري لخطوط السريان حتى وصولها موجة الاحتراق تقود الى صياغة العلاقة التالية بالاعتماد على الشكل (3) والتي بينها [3]

$$S_u = U \left(dl / dl_1 \right) \cos a \qquad \ldots\ldots (4)$$

حيث إن $\left(dl / dl_1 \right)$ هي النسبة بين مساحة السطح المرجعي (T_1^o) ومساحة السطح الحقيقية (T_1)ويبين الشكل (2) إن اقل قيمة للنسبة $\left(dl / dl_1 \right)$ تحصل عند منطقة شليرن البصرية,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

وعند إهمال هذه النسبة ستؤول العلاقة (4) إلى التالي:

$$S_u = U \sin b_2 \qquad \ldots\ldots (5)$$

حيث أن (b) هي الزاوية بين سطح موجة الاحتراق وخطوط السريان الموازية لمحور الأنبوب. وتسمى هذه الطريقة أحيانا بطريقة (Michelson) [7].

المعادلة (5) تبين إن قيمة السرعة تعتمد بشكل كبير على طريقة قياس الزاوية (b) والتي تناولها بالبحث [10].

سرعة انتشار اللهب لنقاط معينة على مخروط بنسن يمكن تعريفا كذالك بواسطة سرعة جريان الغازات غير المحترقة الموضعية (u') [11].

$$S_u = u' \sin b \qquad \ldots\ldots (6)$$

$$S_u = \pm u'(S_1^{\,2} + 1)^{-0.5} \qquad \ldots\ldots (7)$$

حيث أن (S_1) هو الميل الموضعي لسطح موجة الاحتراق نسبة لمحور المحرق وامتداد قطره.

سرعة انتشار اللهب يمكن حسابها بنتيجة مقبولة وذلك إذا تم قياس الزاوية (b) في النقطة التي تصبح عندها $(u' = U)$ أي عند $(0.707R_f)$ [4] إذن

$$S_u = U \sin b_{0.707} \qquad \ldots\ldots (8)$$

جميع أنواع اللهب المنتجة بواسطة المحارق تزاح بمسافة معينة عن شفة المحرق يطلق عليها الحيز الميت أو المنطقة المظلمة [10] . استفاد [9] من كل من العلاقتين(6) و(8) إذ اخذ بنظر الاعتبار تأثير الحيز الميت على انتشار اللهب وذلك بإدخال معامل لا بعدي يعالج الخطأ الكبير في نتائج طرق الزاوية. وافترض [9] إن (u') تبقى خاضعة لتوزيع السرعة الطباقي حتى $(0.707R_f)$ وان هنالك (N') من النقاط تكون عندها $(S_u = 0)$. وعليه فان

$$S_u = \frac{\sin b_l}{N(1-s)} \sum_{i=0}^{i=N} u_i' \qquad \ldots\ldots (9)$$

إذ يمثل المقدار $\left(\frac{1}{N(1-s)} \sum_{i=0}^{i=N} u_i' \right)$ احتمالية وقوع الظاهرة, أما (s) فهي النسبة مابين خطوط السريان (N) من $(0.707R_f)$ وخطوط السريان عند الحيز الميت (N').

3- هدف البحث

يهدف هذا البحث إلى إيجاد قيم جديدة للمعامل (s) الذي سيصطلح عليه في هذا البحث بمعامل الإخماد الهندسي محسوبة على أساس عملي عن طريق قياس بعد وحيد يأخذ من صورة شليرن لعدة أنواع من الغازات ودرجات حرارة مختلفة كذالك إيجاد علاقة بين قيمة المعامل الجديد والحيز الميت العمودي لتفريقه عن الحيز الميت الحاصل ما بين قطر قاعدة اللهب (R_f) وقطر الأنبوب (R_t) بالاعتماد دراسة نتاج الهدف الأول.

4- نظرية البحث

من خلال ملاحظة صور شليرن والموضح نموذج منها في الشكل (4) والمأخوذة في هذا البحث يلاحظ صعوبة قراءة الإبعاد (H_l) & (R_f) بسبب مشاكل الآبؤرية وتشوه الصورة, وكون هذا الإبعاد صغير وخصوصا (H_l) مقارنة مع بقية إبعاد اللهب. مشكلة القياس هذه تنعكس بالنتيجة على قيمة سرعة انتشار اللهب المحسوب بواسطة المعادلة (9). بالرجوع إلى هذه المعادلة نجد إن المعامل (s) هو معامل افتراضي وقد فرضه [9] بحدود (0.18) للخليط LPG الفقير و (0.02) للخليط الغني دون إعطاء إلية لإيجاد هذا المعامل واعتمد حساب سرعة الاحتراق على البعد (H_l) بشكل أساسي وشي لابد منه.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

إذا يمكن صياغة المعادلة (8)بالاعتماد على الإبعاد العامة $(R_t)\&(H)$ لمخروط بنسن بالشكل الآتي:

$$S_u = \frac{\sin b}{N(1-s)}\sum_{i=1}^{i=N} u_i' \quad \ldots\ldots (10)$$

حيث ان

$$u' = 2U\left(1-\frac{0.707R_t+\Delta R}{R_t}\right)^2$$

$$\Delta R = \frac{0.293R_t}{N}$$

$$U = \frac{\dot{V}}{A_t}$$

ومن الشكل (5) نجد إن

$$\sin b = H/R_t$$

لإيجاد المعامل (s) يمكن تبسيط المعادلة (3) حيث نجد إن عدم الدقة في قياس (b_l)و (R_f)لا يؤثران بشكل كبير على الناتج النهائي للمعادلة إذ يلاحظ من صور شليرن وبصورة عامة انه

$$(b_u < b_1)\&(R_f < R_t)$$

وعليه

$$\frac{U}{(S_2^2+1)^{0.5}} = \frac{\sin b}{N(1-s)}\sum_{i=0}^{i=N} u_i' \quad \ldots\ldots\ldots (11)$$

وبتبسيط المعادلة (11)

$$s = 1-\frac{H}{R_t}\frac{\sqrt{S_2^2+1}}{N.U}\sum_{i=0}^{i=N} u_i' \quad \ldots\ldots (12)$$

$$S_2 = \frac{H}{R} \quad \ldots\ldots (12\text{-a})$$

ومن هندسية شكل لهب بنسن كما مبين في الشكل (5) نجد إن (S_2)لابد من أن تكون مابين $(S_1)\&(S_3)$ واللذان يمثلان ميل اللهب عند (R_t)و $(0.797R_t)$على الترتيب وبدلا من تخضر لهب بنسن عند $(0.707R_f)$ نفرضه يتخصر عند $(0.707R_t)$ وذلك للتبسيط إذن يمكن فرض

$$S_2 = \frac{S_1+S_1}{2} \quad \ldots\ldots (12b)$$

اذن وبالرجوع الى العلاقة (9) يمكن اعادة حساب سرعة الاحتراق بطريقة الزاوية المطورة MAM. وعليه فنسبة الخطا يمكن حسابه بين طريقتي CCM و MAM

$$\text{Correction} = 1-(Su_{MAM}/Su_{CCM}) \quad \ldots\ldots (13)$$

من خلال نتيجة العلاقة (12)وحسب تعريف (s)الذي يعطي العلاقة مابين الجز الفعال من موجة الاحتراق إلى الجزء غير الفعال إيجاد مقدار الحيز الميت العمودي والذي هو دالة في كل من $(f)\&(s)\&(H_l)$ إذن

$$h' = f(f,s,H_l) \quad \ldots\ldots (14a)$$

$$h' \propto H_l\left(s/f\right) \quad \ldots\ldots (14b)$$

$$h' = eH_l\left(s/f\right) \quad \ldots\ldots (14c)$$

من خلال ملاحظة صور شليرن نجد إن معامل التناسب (e)يقترب من الواحد وعليه ستؤول المعادلة (14) إلى

$$h' \approx h\left(s/f\right) \quad \ldots\ldots (14d)$$

حيث إن $(h = H - H_{0.707R_t})$.

بالرجوع إلى الفرضيات أعلاه كذلك يمكن إيجاد قطر قاعدة اللهب (R_f) من $(12a\&12b)$

$$R_f \approx R \approx 0.8285R_t \quad \ldots\ldots (15)$$

وعليه فان الحيز الميت الأفقي هو $(R_t - R_f)$.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

5- **المناقشة**

كما ذكرنا سابقا إن طريقة المخروطين المتمركزين تحتاج لغرض انجازها وبدقة عالية إلى اخذ ثلاث أبعاد أساسية من صور شليرن وهذه الإبعاد هي (R_f, H, H_l). إن المشكلة الأساسية هي في البعد (H_l) الذي لا تلعب دقة قياسه أهمية تذكر في طريقة المخروطين المتمركزين كما ذكر سلفاً. لكن في طريق الزاوية يشكل هذا البعد أهمية كبيرة في قياس السرعة إذ يختلف تحديد هذا البعد من صور شليرن من قارئ إلى آخر بسبب صغره وهذا بحد ذاته مشكلة كبيرة إذ أي القراءات هي الأدق ويمكن الاعتماد عليها في هذا البحث تم الإحاطة بهذه المشكلة بحساب معامل الإخماد الهندسي (s).

نتائج المعادلة (12)مبينة في الشكل (6) الذي يعطي العلاقة مابين معامل (s) ونسبة الخلط ولدرجات حرارية مختلفة لكل من الميثان ,البيوتان والبروبان, ويتضح من الشكل إن قيمة المعامل (s) تزداد كلما ابتعدنا عن نسبة الخلط الصحيحة. نتيجة إخماد اللهب عند شفة المحرق. إن قيمة هذا المعامل وكما مبين في الشكل (6) تتراوح ما بين (0.6-0.56) ولجميع خلائط وظروف الغازات المدروسة في هذا البحث, إذ أن القيمة لايمكن ان تصل الى الواحد لان سرعة الاحتراق ستكون عند اذن غير معرفة. وعليه فان معامل الاخماد الهندسي (s) يعطي توضيحا لسلوكية سطح اللهب من خلال الربط مابين البارميترات الهندسية لسطح اللهب.

نتائج مسافة الإخماد العمودية مبينة في الشكل (7) ويلاحظ إن التغير في هذه المسافة يكون كبير في الجانب الضعيف من اللهب. وهذا يعطي دلالة إن إخماد اللهب عند الجانب الضعيف يكون اكبر بكثير من الجانب الغني وعليه فان الحصول على لهب مستقر يكون صعب كلما ابتعدنا كثيرا عن نسبة الخلط الصحيحة. ونتيجة هذا الاختلاف الكبير في سلوكية الحيز الميت العمودي ما بين الجانب الضعيف والغني من اللهب فان سلوكية منحنى سرعة انتشار اللهب تكون متشابه في الجانب الغني من اللهب مما يجعل سرعة انتشار اللهب تكون ذات قيم متقاربة للغازات المدروسة وكما يتضح من الأشكال (8),(9),(10).

سرعة أنشار اللهب المحسوبة بواسطة التطوير الجديد في طريقة الزاوية أعطى نتائج مقاربة جادا للنتائج المحسوبة بطريقة المخروطين المتمركزين نتيجة إدخال معامل الإخماد الهندسي الذي احتوى ضمن طياته التصحيح اللازم للسرعة. إذ لم تتجاوز نسبة الخطأ مابين الطريقتين (10%) التي تم حسابها من العلاقة (13).

كما استنتج من الدراسة الحالية ظاهرة أخرى وهوان الحيز ا

6- **الاستنتاجات**

من أهم الاستنتاجات التي تم استشفافها في هذه الدراسة إن اختيار طريقة الحساب في قياس سرعة انتشار اللهب يلعب دور مهم, ويعود سبب ذلك إلى اختلاف التقريب في شكل سطح اللهب وعليه فان الاختصار والتقليل في عدد الأبعاد المقاسة سوف يقلل من نسبة الخطأ الحاصلة في القياس والتي تعود بالنتيجة على سرعة الاحتراق.

لميت للهب بنسن يبقى ثابت في الجانب الغني من اللهب ولجميع الخلائط المدروسة.

- **المصادر**

[1] **.El-Mahallawy F.,** *"Fundamentals and Technology of Combustion"*, Elsevier Science Ltd, First edition (2002), 102-109.

[2] .**Rallis, C. J. and Garforth, A. M.,** *"Laminar Burning Velocity of Stoichiometric Methan-Air: Pressure and Temperature Dependence"*, Combustion and Flame, Vol. 21, (1972). pp. 53-68.

[3] **.Lewis, B. and Von Elbe, G.,** *"Combustion, Flames and Explosion of Gases"*, 2nd ed., Academic press, New York, (1987). 226-237

[4] **.Gibbs, G. J. and Calcote, H. F.,** *"Efect of Molcular Structure on Burning Velocity"*,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Journal of Chemical and Engineering Data, Vol. 4, No. 3, (1959). pp. 226-237.

[5] **.Rallis, C. J. and Garforth, A. M.,** *"The Determination of Laminar Burning Velocity"*, Prog. Energy Combust. Sci, Vol. 6, (1980). pp. 303-229.

[6] **.Andrews, G. E. and Bradley, D.,** *"Determination of Burning Velocities: A Critical Review"*, Combustion and Flame, Vol. 18, (1972). 133-153.

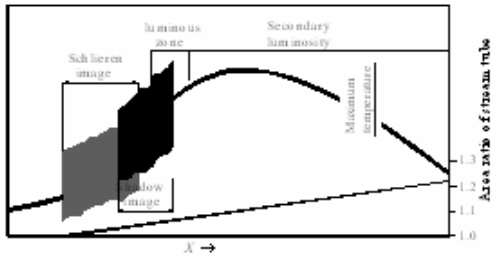
[7] **.Dunn-Rankin, D. and Weinberg, F.,** *"Location Of Schliern Image in Premixed Flames; Axially Symmetrical Refractive Index Fields"*, Combustion and Flame, Vol.113, (1998). pp. 303-311.

[8] **.Andersen, J. W. and Fein, R. S.,** *J. "Measurement of Normal Burning Velocities of Prpane-Air Flames for Shadow Photography"*, Chem. Phys., Vol. 18, (1950). pp. 441-443.

[9] **.Ali, rasool M.,** *"Using Schliern Photography Method for Studying Flame Propagation of Gas-Air Mixtures"*, Thesis of degree master of Science in Mechanical Engineering-Power, (2000). p56-59.

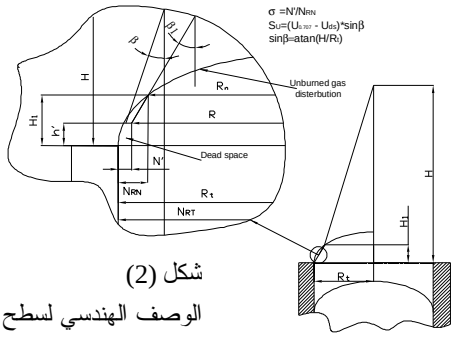
[10] **.Heap, M. P. and Edmondson, H.,** *"The burning Velocity of Mehtan-Air Flames Inhibited by Methyl Bromide", Combustion and Flame*, Vol.13, (1969). pp. 472-478.

[11].Reed, S. B., *"Flame Stretch-A Connecting Principle for Blow-Off Data"*, Combustion and Flame, Vol. 13, (1967). pp. 583-595.

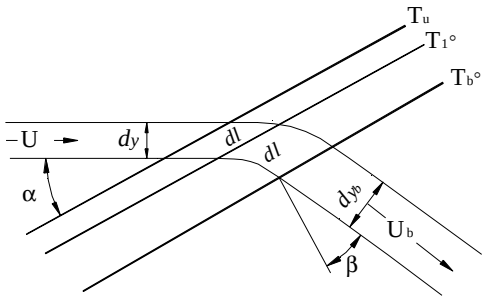


شكل (1)امتداد المناطق البصرية في موجة الاحتراق، مقدار التغير في مساحة الجريان نتيجة التمدد الحراري لخطوط السريان (ألإحداثي الأيمن). [3]

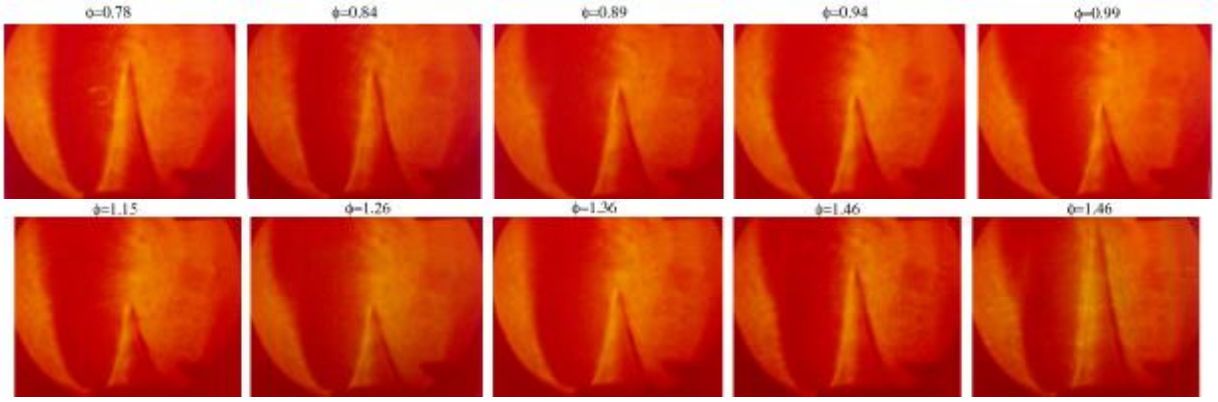
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



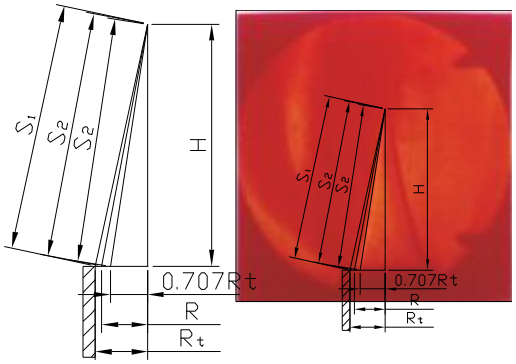
شكل (2)
الوصف الهندسي لسطح اللهب المخروطي



شكل (3)
الوصف التقريبي للسطوح الحرارية. [3]

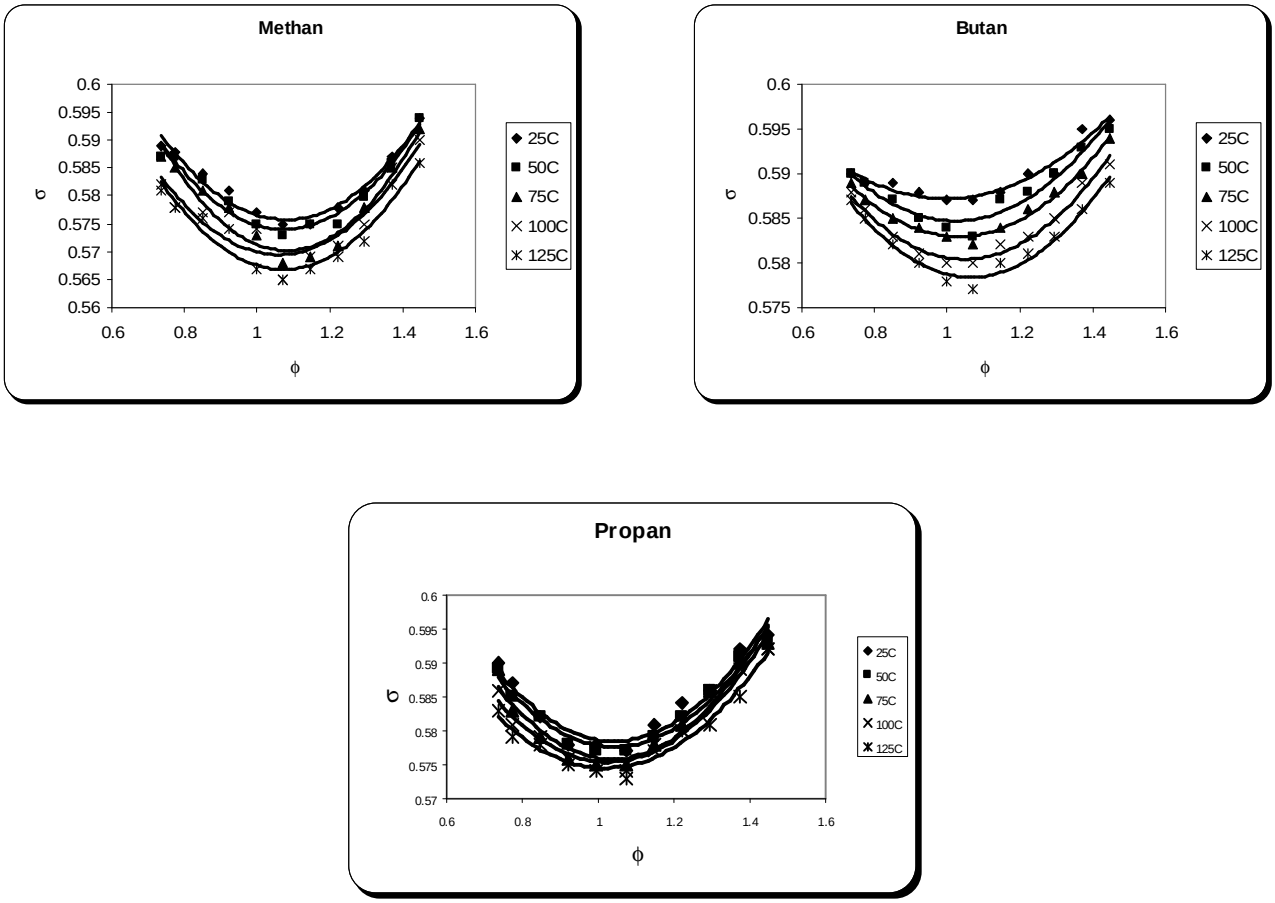


شكل (4) **صور شليرن لغاز الميثان عند** ($T_u = 25C^o$)



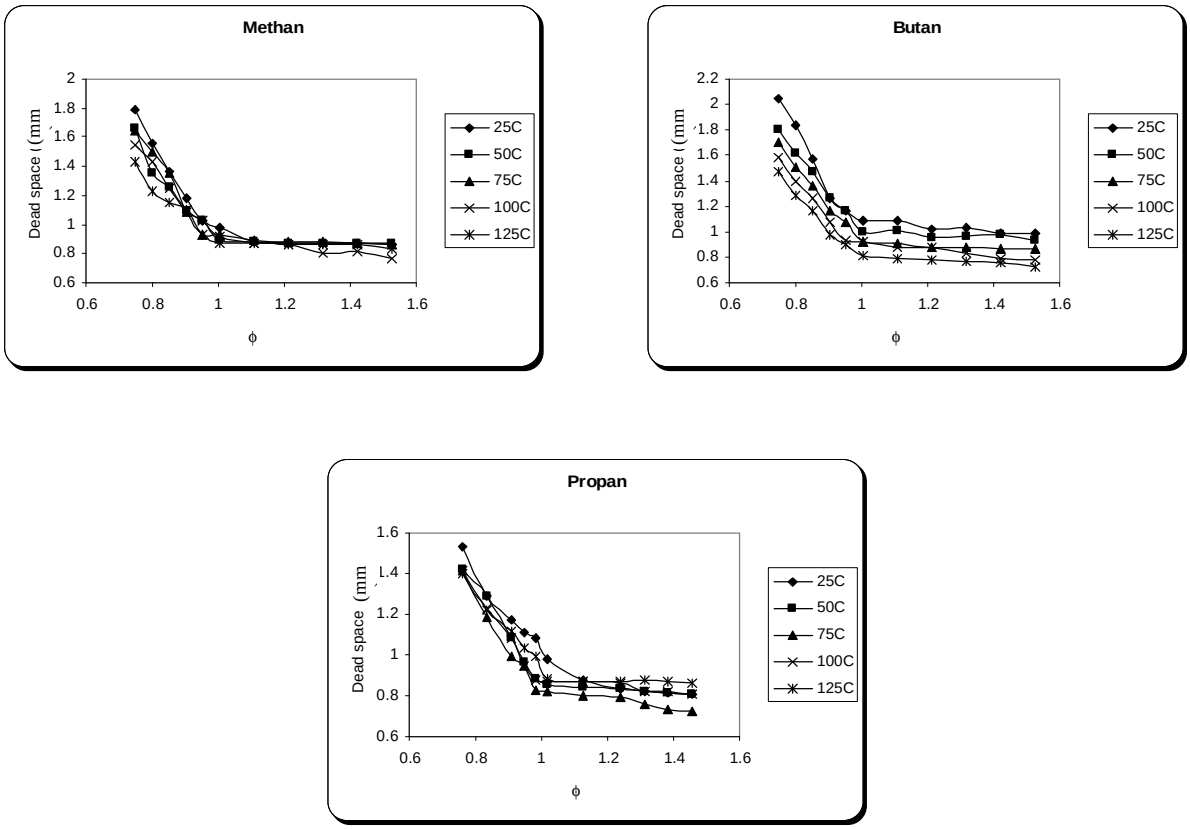
شكل (5) **الأبعاد الحاكمة لسطح لهب بنسن ضمن حدود الاستقرارية**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



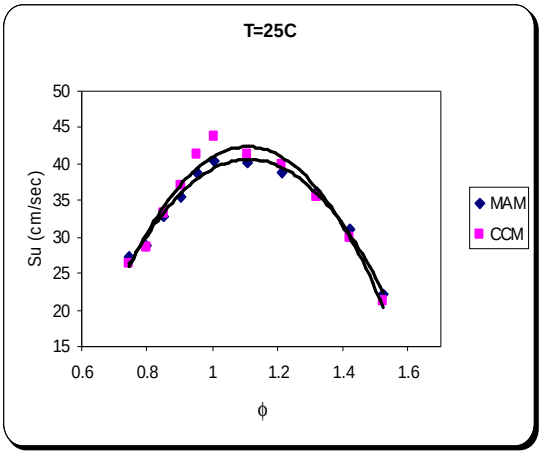
شكل (6) العلاقة مابين معامل الإخماد الهندسي (s) ونسبة الخلط ولدرجات حرارية مختلفة لكل من الميثان ,البيوتان والبروبان

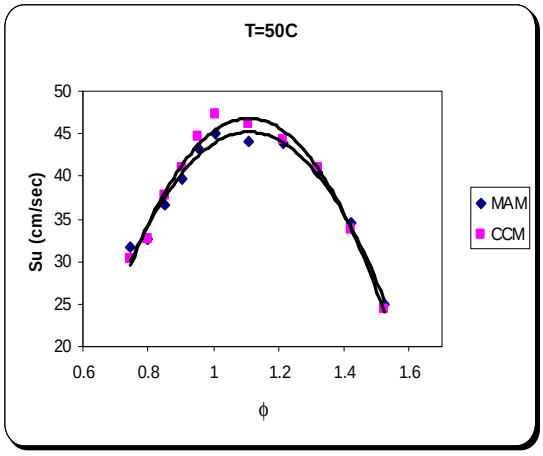
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

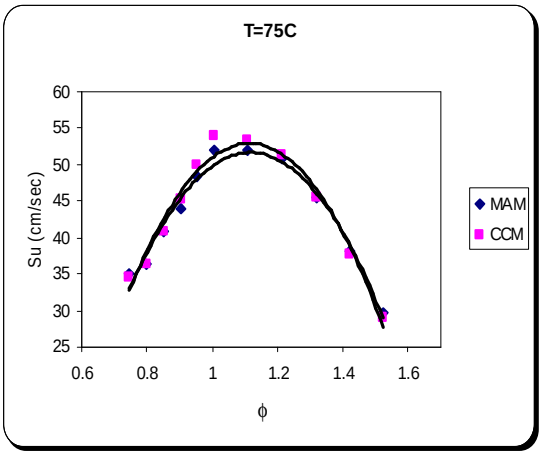


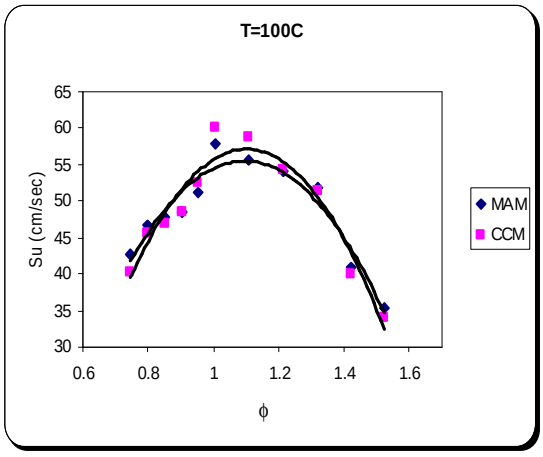
شكل (7) العلاقة مابين مسافة الإخماد العمودية (h') ونسبة الخلط ولدرجات حرارية مختلفة لكل من الميثان, البيوتان

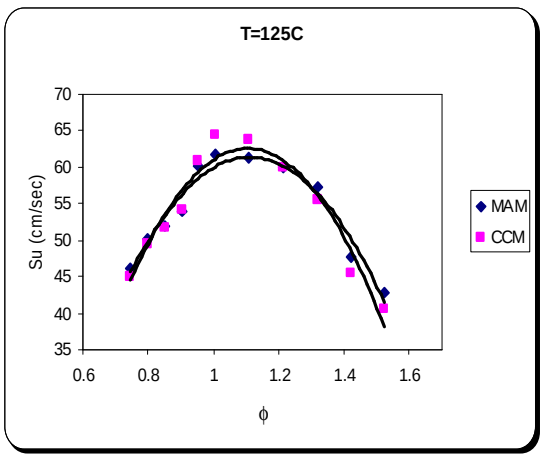
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com





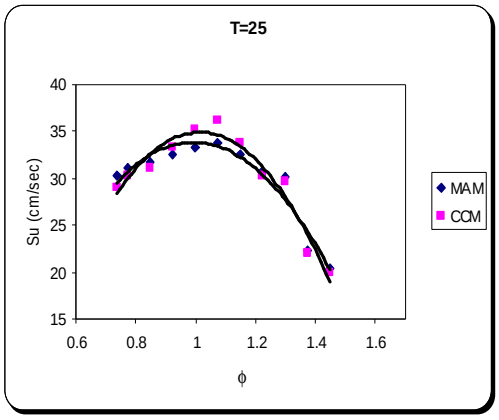


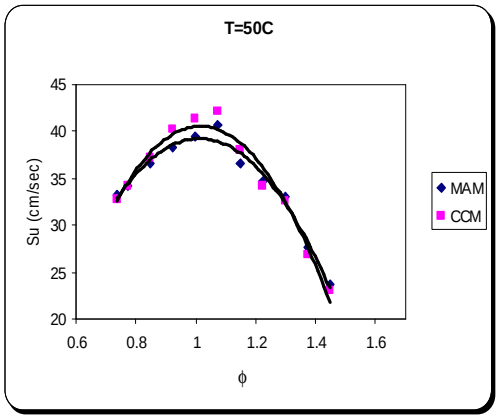


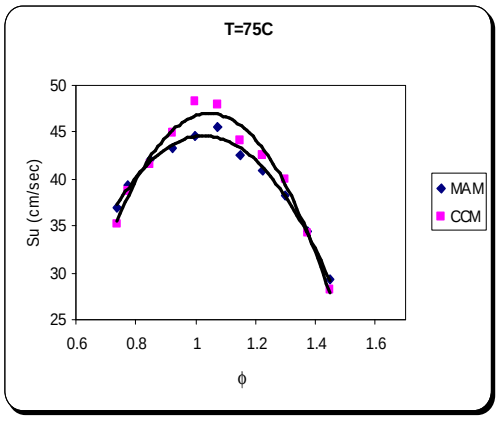


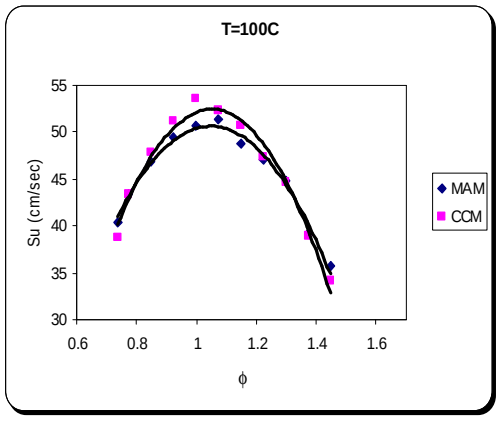
شكل (8) المقارنة ما بين سرعة انتشار لهب غاز الميثان المحسوبة بطريقة المخروطين المتمركزين (CCM) وطريقة الزاوية المطورة (MAM)

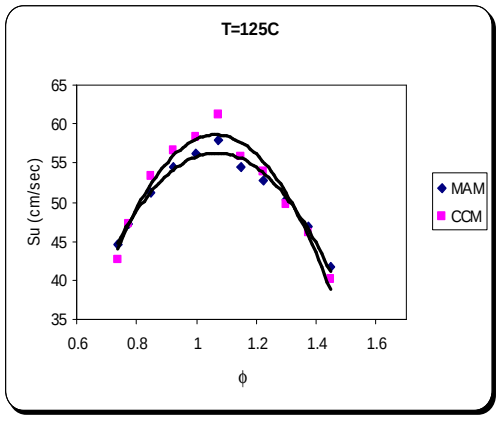
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com





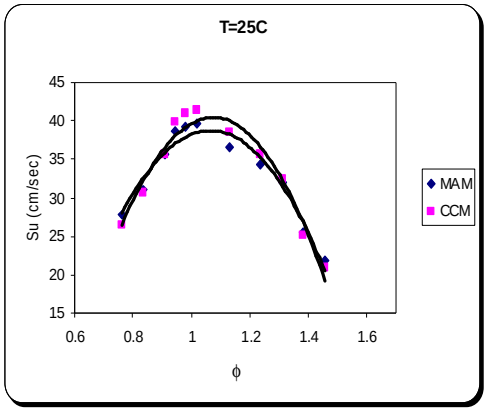


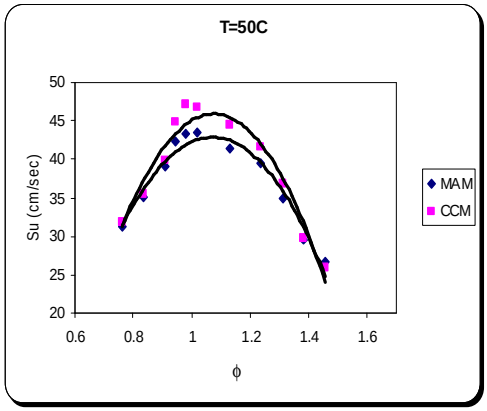


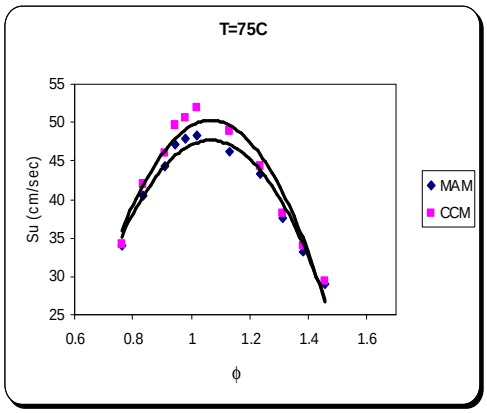


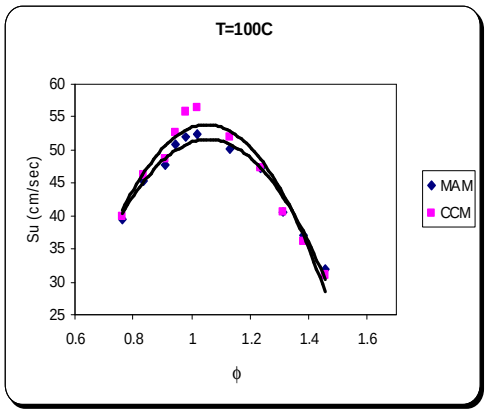
شكل (9) المقارنة ما بين سرعة انتشار لهب غاز البيوتان المحسوبة بطريقة المخروطين المتمركزين (CCM) وطريقة الزاوية المطورة (MAM)

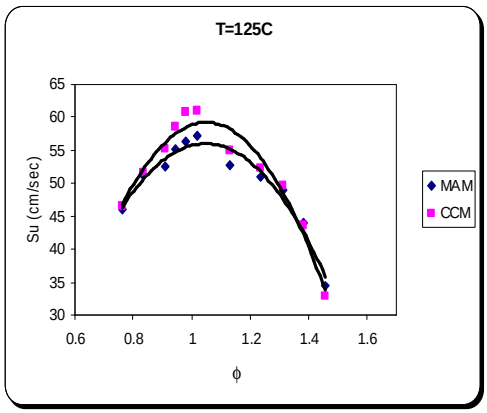
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com











شكل (10) المقارنة ما بين سرعة انتشار لهب غاز البروبان المحسوبة بطريقة المخروطين المتمركزين (*CCM*) وطريقة الزاوية المطورة (*MAM*)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com