

## تأثير الظروف التشغيلية على معدل المفقودات في وعاء التخمر

د. عبد القهار مهدي محمد السامرائي، مدرس

قسم الهندسة الكيماوية - جامعة تكريت

استلم 2011/5/16، قبل للنشر 2012/1/2، نشر على الانترنت 2013/6/11

### الخلاصة

درست تأثيرات الظروف التشغيلية على نسب المفقودات في وعاء تخمير هوائي مسيطر عليه يعمل بنظام الوجبات أو بصورة مستمرة. المثال العملي المدروس عملية إنتاج حامض ألكيك من كحول الإيثانول حيث أخذ التركيز القياسي ليكون البحث وفق ظروف حقيقية في وعاء تخمير ريادي يعمل بسعة 120 لتر. عند زيادة درجة حرارة المزيج لكل درجة مئوية واحدة أو زيادة معدل تدفق الهواء بمقدار متر مكعب واحد في الساعة أو زيادة سرعة المزج لدورة واحدة بالدقيقة يؤدي إلى زيادات في نسب المفقودات مقداره 0.92، 1.22، 0.94 (مل/دقيقة) على التعاقب.

**الكلمات الدالة:** عمليات التخمر، الظروف التشغيلية للتقنيات الإحيائية، الخسائر المصاحبة للإنتاج، الظروف المثلى للإنتاج.

### *Effect of Operating Condition on the Losses in Fermenter*

#### Abstract

The influence of the operating conditions on the losses rates in controlled batch and continuous fermentation reactor has been studied. In which 120 l pilot fermenter reactor used to produce acetic acid from ethanol at standard condition. The results show, the increasing of 1 °C of mixture temperature, increasing of 1 m<sup>3</sup>/h of the aeration flow rate or increasing the mixing speed to 1 rpm leading to increase the losses rates to (1.22, 0.92, 0.94 ml/l) respectively.

**Key Words:** Fermentation process, Operating conditions of biological techniques, Production losses, Production optimum conditions

#### المقدمة

الخسائر تكون اكبر والطاقة المبددة على الزيادات غير المبررة في ضخ الهواء والمزج ودرجات الحرارة التشغيلية العالية تكون كبيرة. إن من أهم العوامل المؤثرة على زيادة الإنتاج في عمليات التخمر هو تركيز الأوكسجين المذاب في مزيج وعاء التخمر وهذا التركيز يتأثر بمعدل تدفق الهواء وسرعة المزج ودرجة حرارة المزج<sup>[2]</sup>.

في الكثير من أوعية التخمر تدرس العوامل المؤثرة على النمو بصورة مختبريه ولا يراعى فيها نسبة المفقودات خلال العملية مع إنها عمليات بطيئة التفاعل وتحتاج إلى فترة طويلة ليكتمل التفاعل إذا كان متقطعا أما إذا كان مستمرا فنسبة المفقودات تكون اكبر في هذه الحالة<sup>[1]</sup>. بالتالي فان نسبة

البسيط في الظروف التشغيلية لا يظهر واضحا في مثل هذه الأجهزة عند قراءتها لذا توجب استعمال هذا النوع من الأجهزة الريادية.

#### الأجهزة والمعدات المستخدمة

تم بناء جهاز تخمير ريادي اسطواني من معدن الحديد الصلب الغذائي (St. Steel 316) كما هو واضح في المخطط التوضيحي (شكل رقم 1) أذناه بحجم 190 لتر (قطر المخمر 45سم وارتفاعه 120 سم) ثبت فوقه محرك متغير السرعة (0 - 1000 دورة/دقيقة) ربط فيه محور دوران ثبت فيه ثلاث مراوح الأولى على ارتفاع 5سم من القاع والثانية على ارتفاع 50 سم من الأولى والأخيرة على بعد 50 سم من الثانية، تهدف الأخيرة إلى تكسير الفقاعات في حين أن الأولى والثانية وضعتا لغرض المزج.

ربط وعاء التخمر بمنظومة تهوية مؤلفة من ضاغطة هواء (0,9 م<sup>3</sup>/دقيقة) (سعة 500 لتر وضغط 15 جو) مع جهازي تنقية الأول لسحب الرطوبة والثاني للتنقية الهواء الداخل لوعاء التخمر باستخدام فلتر مسامي اسفنجي مضغوط للتخلص من الاتربة والعوالق الدقيقة وتم استخدام مقياس معدل تدفق الهواء (يعمل بسعة 0 - 10م<sup>3</sup>/ساعة) وصمامات للتحكم بمعدل جريان الهواء الداخل إلى وعاء التخمر.

ثبت في المنظومة داخل المخمر مسخن كهربائي وبقدرة (4500 واط) ومبادل حراري بشكل ملف ربط بمصدر ماء بارد من خلال منظومة مسيطر عليها بواسطة منظم غاز الفيريون (R12) بقدرة (0,56 كيلو واط) (يعمل بنسبة خطأ  $\pm 0.5$  م°) يقرأ درجة حرارة المائع في وعاء التخمر ويقارنها بالدرجة المطلوب تثبيتها ويقوم بتشغيل المضخة المخصصة للتبريد يتحكم بمعدل التدفق من خلال حمام يدوي عند ارتفاع درجة الحرارة (درجة حرارة المائع في

$$C(t)/C_{sat}=1- \exp[-(k_c a_v)t] \dots\dots\dots(1)$$

حيث أن:

$C(t)$  = تركيز الأوكسجين المذاب في أي وقت.

$C_{sat}$  = تركيز الأوكسجين المذاب عند التشبع.

$k_c$  = معامل انتقال للأوكسجين في الوسط السائل.

$a_v$  = المساحة السطحية النوعية لفقاعات الهواء.

وحيث أن معامل انتقال المادة يعتمد على عدة متغيرات<sup>[3,4]</sup>.

$$k_c=0.267D_{AB}Sc^{1/4}Re^{3/4}N_p^{1/4}(d_T^3/Vd_i)^{1/4} \dots\dots\dots(2)$$

$D_{AB} \propto T^{(1.4)}$  = انتشارية الأوكسجين بالماء.

$Sc$  = رقم شمت (يعتمد على الخواص الفيزيائية).

$Re = N d_i^2/v_L$  = رقم رينولد.

$N_p = P/(\rho_L N^3 d_i^5)$  = رقم البور.

$P$  = قوة المزج.

$\rho_L$  = لزوجة السائل.

$N$  = سرعة المزج.

$d_T$  = قطر وعاء التخمر.

$V$  = حجم وعاء التخمر.

$d_i$  = قطر مراوح المزج.

إن معامل انتقال المادة يتأثر بكل المتغيرات أعلاه والتي هي اما متغيرات فيزيائية أو متغيرات حركية كمعدل تدفق الهواء وسرعة المزج ودرجة حرارة المزيج.

يهدف هذا البحث إلى دراسة الظروف التشغيلية لتقليل نسبة المفقودات قدر الإمكان من خلال استقرار ورسم البيانات التشغيلية التي تبين أهمية اعتبار الظروف التشغيلية المدروسة على الخسائر في الإنتاج وأهمية إجراء مقارنة بين قيمة المتغيرات في الظروف التشغيلية مع الاقتصاد بالطاقة المبددة للحصول على التوافق الأنسب قدر المستطاع. درست هذه المتغيرات على جهاز تخمير ريادي (Pilot Scale) لبيان نسب المفقودات الواقعية في الظروف التشغيلية المعمول بها كون الأجهزة ألمختبريه لا تعطي انطباعا صحيحا<sup>[5]</sup>. إن التغير

أفضل مدى لدرجات حرارة يمكن العمل بها هي اقل من (25م°). بينما في الدرجات الأعلى ستكون الضائعات اكبر وبشكل مضطرب مع زيادة درجة الحرارة حيث ان زيادة درجة الحرارة يؤدي الى زيادة في معدل التبخر وخصوصا للمواد الحقيقية (الكحول والخل)، مع ملاحظة إن الشكل رقم (3) فيه محرك المزج متوقف (RPM=0).

الشكل رقم (4) يسلك سلوك مشابه للشكل رقم (3) مع ملاحظة أن الزيادة في درجات الحرارة ضمن المدى (18 - 25)م° كان لها اثر طردي في زيادة نسبة المفقودات وبشكل واضح أكثر من السابق مع أن الزيادة في درجات الحرارة ضمن المدى الأكثر من (25م°) ظل له الأثر الأكبر على نسبة المفقودات. أن هذا الفارق بين الشكلين (3 و 4) جاء نتيجة الفارق في تأثير المزج مما يشير إلى أن للمزج تأثير على معدل فقدان بشكل طردي أيضا.

الشكل رقم (5) يسلك سلوك أكثر شبيها بالشكل رقم (4) من الذي يسبقه كون الزيادة في المزج أثرت بشكل اكبر فانحسر معدل الاستقرار النسبي إلى مدى اقل (18-22)م° تقريبا.

الشكل رقم (6) يشير إلى انطباق مقارب جدا إلى الشكل رقم (5) لكن مدى الاستقرار في معدل أالفقدان منحسر عما يسبقه من الإشكال بسبب الزيادة الكبيرة في عدد دورات محرك المزج.

الشكل رقم (7) يعطي انطباق للشكل رقم (6). نلاحظ من الأشكال السابقة (3-7) أن تأثير معدل تدفق الهواء طرديا وبشكل مستقر من خلال الخطوط المتوازية في كل رسم.

ويظهر أيضا أن تأثير عدد دورات محرك المزج هو طردي من خلال أن القراءات النهائية في كل شكل تزداد بشكل واضح من خلال الزيادة في معدل الميل لكل المنحنيات لكل شكل كما في الجدول رقم (2).

المخمر) أو تشغيل المسخن في حال انخفاض درجة الحرارة عن الحد المطلوب. تم ربط فتحة خروج الهواء بمكثف للبخار المتصاعد مع الهواء بشكل اسطوانة مدرجة (قطر 5سم وارتفاع 40سم) بداخلها ملف حلزوني يتحرك فيه سائل التبريد (الماء) درجة حرارته (3-5 م°) يتم جمع المتكاثف بواسطة اسطوانة مدرجة لقياس كميته بوقت محدد. والصورة التوضيحية للمنظومة مبينة في الشكل رقم(2).

### طريقة العمل

تم وضع مزيج تشغيلي بالتركيز المستخدم لعمليات التخمير لإنتاج الخل (10% الايثانول - 88% ماء -2% حامض ألكليك) في وعاء التخمير بحجم تشغيلي مقداره 120 لتر وتم إجراء التجارب على المتغيرات المقروءة وفق الجدول رقم (1).

تم إجراء ثلاثة عشرة تجربة عملية لدراسة الظروف التشغيلية المثلى وتحديدها لإنتاج حامض ألكليك . كانت النتائج متباينة في تركيز حامض ألكليك الناتج نتيجة لاختلاف الظروف التشغيلية المستخدمة في عملية الإنتاج . لقد تم إجراء التجارب التسعة الأولى بطريقة الدفعات في حين تمت التجارب الأربعة الأخيرة بالطريقة شبه المستمرة. وجميع التجارب أخذت بمعدل 30 دقيقة بين قراءة وأخرى ليكتمل عدد التجارب إلى 225 تجربة عملية. وتم تحليل المواد في جهاز أل (G.C) وفق تقنية كروتوغرافيا الغاز لمعرفة نوع البكتيريا وجنسها من خلال اختبار صبغة غرام.

### النتائج والمناقشة

درست التجارب العملية وفق المتغيرات التشغيلية الثلاثة المسيطر عليها وكما يلي:

#### أ) تأثير درجة الحرارة

من الشكل رقم (3) نلاحظ أن معدل الفقدان يتأثر بشكل كبير في حدود درجات الحرارة أكثر من 25م° بينما في درجات الحرارة (18-25)م° لوحظ استقرار معدل الفقدان عند زيادة طفيفة جدا مما يشير إلى أن

**ب) تأثير معدل تدفق الهواء**

من الشكل رقم (8) نلاحظ إن زيادة معدل تدفق الهواء يؤدي إلى زيادة معدل المفقودات وهذه الزيادات تظهر بشكل أوضح كلما زادت درجة الحرارة التشغيلية للمزيج وهذا يمكن تأكيده من خلال الجدول رقم (3) الذي يبين ميل كل منحنى من منحنيات الشكل نفسه.

نستنتج من ذلك انه عند زيادة درجات الحرارة يزداد الميل وبذلك فان نسب المفقودات تزداد بوضوح أيضا. والسبب يعود الى ان الزيادة في معدل تدفق الهواء يسبب زيادة في معدل تبخر المادة التي يتحرك خلالها بسبب انتقال كمية من السائل الى الابخرة داخل الفقاعات المتحركة داخل السائل صعودا، وبذلك تزداد التطايرية للمواد السائلة وبالأخص المواد الحقيقية (الاقل كثافة).

ومن الشكل رقم (9) نرى أن نسب معدل الخسائر زادت بالمقارنة مع الشكل رقم (8) مع أن الظروف التشغيلية نفسها ومقدار الزيادات في درجات الحرارة نفسها أيضا غير إن ظهور المزج غير المعادلة فزادت نسب المفقودات بشكل واضح.

الشكل رقم (10) يوضح الزيادات في المفقودات عما سبقه من أشكال بنفس المضمون وأضيفت إلى ذلك الاضطراب الحاصل نتيجة زيادة معدل تدفق الهواء بعد 6م<sup>3</sup> ساعة فقد اثر بشكل اكبر على نسب المفقودات ويظهر ذلك كلما زادت درجة الحرارة عن 21 م° خصوصا كما هو واضح في الرسم.

الشكل رقم (11) يعطي الانطباع السابق للشكل رقم (10) سوى ان المفقودات تتفاقم عند زيادة معدل تدفق الهواء عن 8 م<sup>3</sup> ساعة.

والشكل رقم (12) له نفس انطباع الشكل رقم (11) تقريبا.

**ج) تأثير سرعة المزج**

الشكل رقم (13) يبين أن زيادة معدل المزج يؤثر بشكل طردي على نسب المفقودات ويظهر ذلك بشكل متقارب عند درجات حرارة بين 19-29 م° وعند درجات الحرارة الأعلى تظهر الزيادة الكبيرة في نسب المفقودات وعند زيادة عدد دورات محرك المزج لأكثر من 250 دورة دقيقة تكون المفقودات كبيرة ومتعاضمة، وذلك لزيادة عدد الفقاعات المتولدة داخل الوعاء وتولد قدر كبير من الرغوة فوق مستوى السائل يسبب انتقال السائل الى الطور الغازي فيخرج مع الغاز بشكل ابخرة وهذا مشابه لنتائج Jin et.al<sup>[6]</sup>.

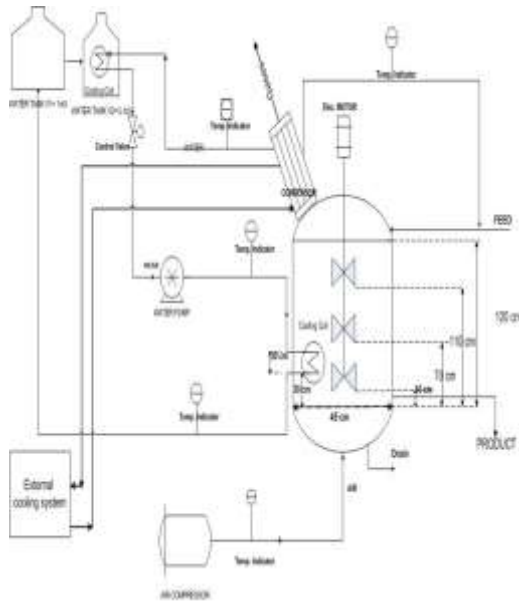
الشكل (14) يعطي انطباع مقارب بالشكل الذي سبقه عدا أن الزيادات في نسب المفقودات تبقى متقاربة عند درجات الحرارة الأعلى من 29م° مما يشير إلى إن زيادة معدل التهوية مع زيادة سرعة المزج يؤدي إلى زيادة محدودة في معدل المفقودات ليس كما تظهر معدل الزيادة لوحدهما. الانطباع الذي يظهر على الشكل (15) يبدو نفسه الظاهر على الشكل الذي سبقه.

الشكل (16) يعطي انطباع مقارب للأشكال (13)، (14، 15) غير أن لتأثير المزج دور واضح عند المديات بين 150-450 دورة دقيقة على نسب المفقودات في وعاء التخمر عند معدل جريان للهواء بمقدار 8م<sup>3</sup> ساعة.

الشكل (17) يعطي نفس انطباع الشكل (16) غير أن هناك تقارب وتداخل في القراءات مما يشير إلى التأثير السالب لمعدل تدفق الهواء الزائد المعمول به في هذه التجربة 10م<sup>3</sup> ساعة.

**الاستنتاجات والتوصيات**

1- زيادة درجة الحرارة ومعدلات التهوية وسرعة المزج له اثر كبير في زيادة نسب المفقودات في أوعية التخمر.



شكل رقم (1) مخطط توضيحي للجهاز الذي تمت فيه التجارب.

2- زيادة كل درجة حرارة في وعاء التخمر ضمن المدى (18-35 م°) يؤدي إلى زيادة المفقودات بنسبة 1.22 مل/دقيقة.

3- زيادة معدل التهوية لكل 1م<sup>3</sup>/ساعة في وعاء التخمر يؤدي إلى زيادة المفقودات بنسبة 0.94 مل/دقيقة.

4- زيادة سرعة المزج لكل دورة واحدة (50-600 دورة/دقيقة) في وعاء التخمر يؤدي إلى زيادة المفقودات بنسبة 0.94 مل/دقيقة.

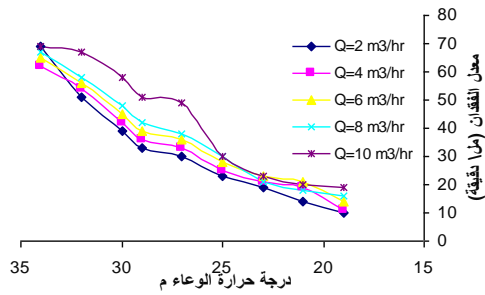
5- نوصي بإعداد دراسة مماثلة مع احتساب نسب الأوكسجين المذاب في الوعاء على انواع اخرى من المحاليل التخمرية التي تعمل بنفس الاسلوب وبالطريقتين المتقطعة والمستمرة.

#### المصادر

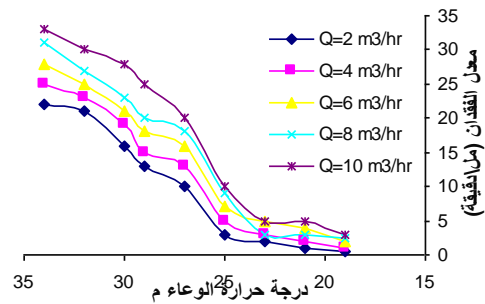
- 1- W. Fred Ramirez and Jan Maciejowski Journal of the Institute of Brewing Vol. 113(2007) No. 3, 325-333.
- 2- Fukuda et al. Journal of Fermentation Technol. Vol. 46 (1968) No. 829.
- 3- Johnson, Besik, and Hamielec Canadian Journal of Chemical Engineering Vol. 47 (1969) No. 559.
- 4- Kulov et al. Journal of Chemical Coment Vol. 21 (1983) No. 259.
- 5- Y. Sato and K. Sekoguchi (1975), Liquid velocity distribution in two-phase bubbly flow, International. Jornal. Multiphase Flow, Vol. 2, p79.
- 6- Jin. Fzhou & David. R. Park 2007.



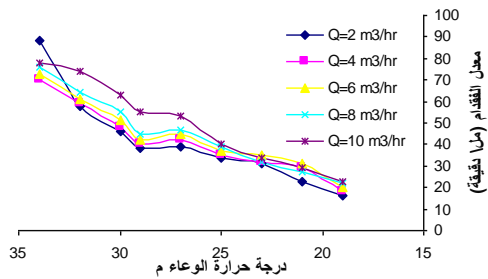
شكل رقم (2) صورة توضيحية للجهاز الذي تمت فيه التجارب



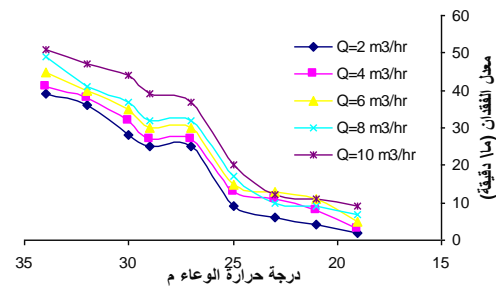
شكل رقم (6) معدل الفقدان بقراءة درجة حرارة الوعاء لمعدلات مختلفة من تدفق الهواء معدل مزج (RPM =450).



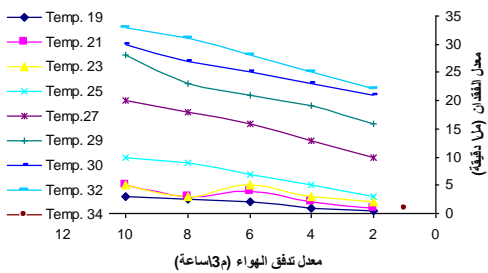
شكل رقم (3) معدل الفقدان بقراءة درجة حرارة الوعاء لمعدلات مختلفة من تدفق الهواء ومعدل مزج (RPM=0).



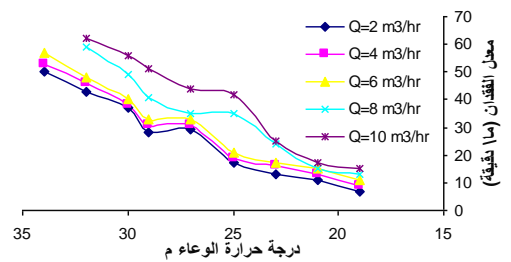
شكل رقم(7) معدل الفقدان بقراءة درجة حرارة الوعاء لمعدلات مختلفة من تدفق الهواء معدل مزج (RPM =600).



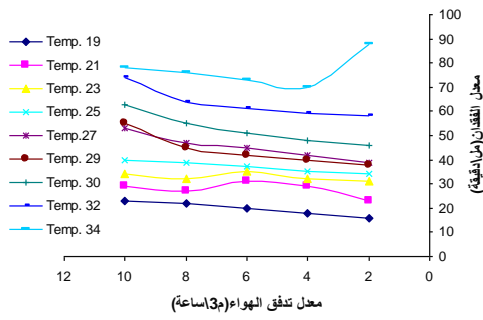
شكل رقم (4) معدل الفقدان بقراءة درجة حرارة الوعاء لمعدلات مختلفة من تدفق الهواء ومعدل مزج (RPM =100).



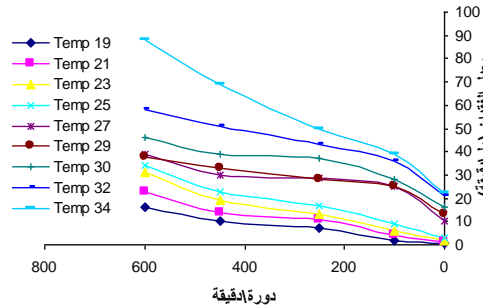
شكل رقم (8) معدل الفقدان بقراءة تدفق الهواء لدرجات مختلفة و معدل مزج ثابت (RPM=0).



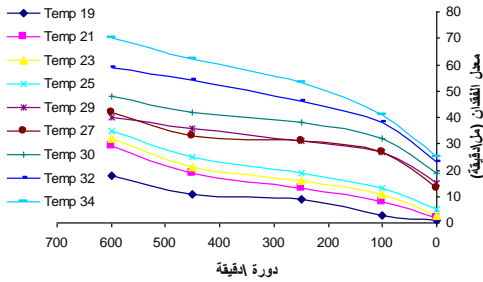
شكل رقم (5) معدل الفقدان بقراءة درجة حرارة الوعاء لمعدلات مختلفة من تدفق الهواء معدل مزج (RPM=250).



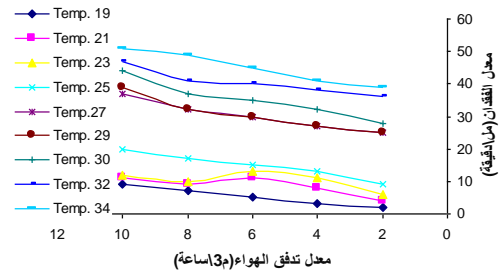
شكل رقم (12) معدل الفقدان بقراءة تدفق الهواء لدرجات مختلفة و معدل مزج ثابت (RPM=600).



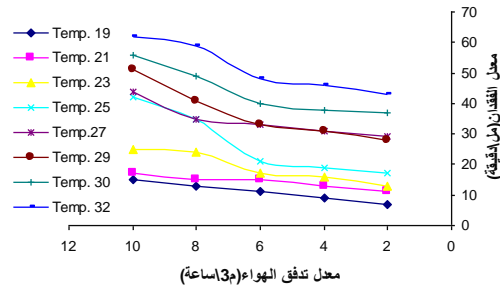
شكل رقم (13) معدل الفقدان اعتمادا على عدد دورات محرك المزج بقراءات مختلفة لدرجة حرارة المزيج عند معدل ثابت لتدفق الهواء ( $Q=2 \text{ m}^3/\text{hr}$ ).



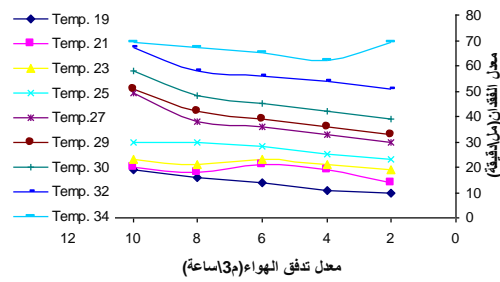
شكل رقم (14) معدل الفقدان اعتمادا على عدد دورات محرك المزج بقراءات مختلفة لدرجة حرارة المزيج عند معدل ثابت لتدفق الهواء ( $Q=4 \text{ m}^3/\text{hr}$ ).



شكل رقم (9) معدل الفقدان بقراءة تدفق الهواء لدرجات مختلفة و معدل مزج ثابت (RPM=100).



شكل رقم (10) معدل الفقدان بقراءة تدفق الهواء لدرجات مختلفة و معدل مزج ثابت (RPM=250).

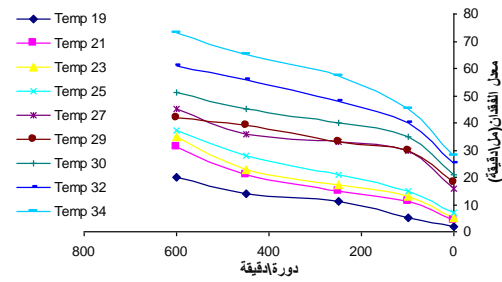


شكل رقم (11) معدل الفقدان بقراءة تدفق الهواء لدرجات مختلفة و معدل مزج ثابت (RPM=450).

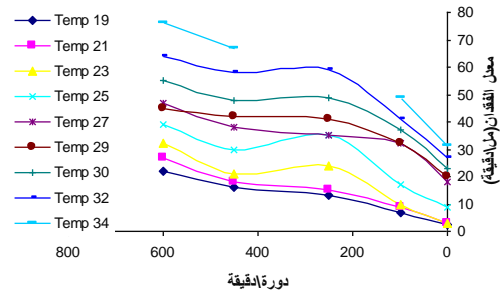
جدول رقم (1) جميع الظروف التشغيلية التي درست في

هذا البحث

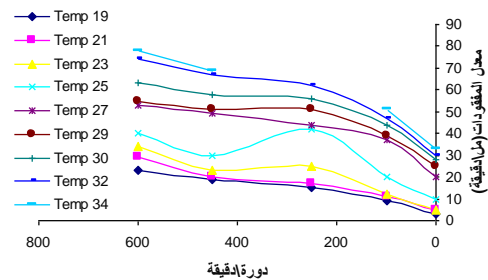
رقم التجربة	معدل تدفق الهواء م <sup>3</sup> /3 ساعة	درجة الحرارة °م	عدد دورات محرك المزج دورة/دقيقة
5-1	2	19	0,100,250,450,600
10-6	2	21	0,100,250,450,600
15-11	2	23	0,100,250,450,600
20-16	2	25	0,100,250,450,600
25-21	2	27	0,100,250,450,600
30-26	2	29	0,100,250,450,600
35-31	2	30	0,100,250,450,600
40-36	2	32	0,100,250,450,600
45-41	2	34	0,100,250,450,600
90-46	4	نفس المتغيرات في درجة الحرارة وعدد الدورات كما في التجارب من 45-1	
-91 135	6	نفس المتغيرات في درجة الحرارة وعدد الدورات كما في التجارب من 45-1	
-136 180	8	نفس المتغيرات في درجة الحرارة وعدد الدورات كما في التجارب من 45-1	
-181 225	10	نفس المتغيرات في درجة الحرارة وعدد الدورات كما في التجارب من 45-1	



شكل رقم (15) معدل الفقدان اعتمادا على عدد دورات محرك المزج بقراءات مختلفة لدرجة حرارة المزيج عند معدل ثابت لتدفق الهواء (Q=6 m<sup>3</sup>/hr).



شكل رقم (16) معدل الفقدان اعتمادا على عدد دورات محرك المزج بقراءات مختلفة لدرجة حرارة المزيج عند معدل ثابت لتدفق الهواء (Q=8 m<sup>3</sup>/hr).



شكل رقم (17) معدل الفقدان اعتمادا على عدد دورات محرك المزج بقراءات مختلفة لدرجة حرارة المزيج عند معدل ثابت لتدفق الهواء (Q=10 m<sup>3</sup>/hr).