مجلة تكريت للعلوم الهندسية/المجلد 20/العدد 2/ اذار 2013، (18-26)

مقارنة بين التمثيل الرياضي والعملي في المخمر المستمر المنتج لخميرة الخبز

د. عبد القهار مهدي محمد السامرائي، مدرس

قسم الهندسة الكيماوية-جامعة تكريت

الخلاصة

خميرة الخبز Baker yeast هي احدى الاضافات المهمة في انتاج الخبز وتنتج بطريقتين (الطريقة المتقطعة والطريقة المستمرة) في هذا البحث تم دراسة الظروف التشغيلية لمفاعل مستمر ونمذجة هذه النتائج مع موديل رياضي تمثيلي لاستنباط افضل الظروف التشغيلية المناسبة للإنتاج وملاحظة الانحراف بين العملي والنظري لمعرفة مقدار الاقتراب والابتعاد عن الواقع الممكن تطويره في الانتاج.

التجارب العملية اجريت في مفاعل تجريبي بسعة 12 لتر وتم اجراء مقارنة بين النتائج العملية والنظرية على معدل النمو ومعدل اضافة المادة الاساس والدالة الحمضية وقد ابدت النتائج تقارباً كبير بينهما. عملية المقارنة تمت ضمن برنامج حاسوب صمم لهذا الغرض.

الكلمات الدالة: عمليات التخمير المستمرة، محاكاة، خمائر الخبز.

Comparison between Theoretical Simulation and Experimental Result for Continues Fermenter Product the Baker's Yeast

Abstract

Baker's yeast is an important additive to improve bread quality. Baker yeast produced in two methods (batch or continues fermenter). In this investigation the continuous operating conditions in reactors were studied to predict the best conditions of product.

Experimental runs were implemented in a 12-liter pilot-scale fermenter. The simulation carried out between the experimental and the theoretical results and gives a good results presentation of growth rote, the rate of substrate additives, pH and rate of ethanol production. The process is modeled and par formed using a computer programming prepares for this purpose.

Key words: Continues fermentation process, Simulation, Baker yeast.

المقدمة

الخمائر كائنات صغيرة وحيدة الخلية بعضها يسبب فساد الغذاء وبعضها مفيد تفضل النمو في وسط نشوي رطب في درجات حرارة الغرفة وتترك في السوائل غشاء مخاطي لزج او غشاء مغطى بمسحوق او ترسبات. والتخمر هو قدرة هذه الكائنات على تحويل المواد السكرية او النشوية الى مركبات عضوية بفعل الانزيمات التي تنتجها خلال عملية الايض وفقا للظرف المناسب ـ هوائي او لا هوائي حسب الكائن الحي ومقدار تحمله[1]. هناك عدة انواع لأنظمة التخمر منها الوجبات و الشبه المستمر والمستمر. ان نمو الكائن الحي الدقيق خلال التخمر بصورة الوجبات يطابق صفات النمو الموضحة في الشكل رقم (1). حيث يمر الكائن الحي الدقيق بفترة الركود

وفترة التطبع على البيئة ثم ينتقل الى الطور اللوغارتمي الذي تتكاثر فيه عملية النمو والانقسام ويعقبه طور الثبات عندما تبقى الحالة متزنة حين تبقى كمية البروتوبلازم في المزرعة الميكروبية ثابتة وينتهي بعدها بطور الثلاثي او الموت.

ان الوقت المبذول في طور الركود وطور الثبات يعد ضائعاً عند انتاج الخلايا لذلك توجب تطور الصناعات التخميرية ومنها خميرة الخبز الى اعتماد الطور الاسي بصورة مستمرة لتحسين الانتاج وتقليل الضائعات والأخطاء والعيوب ولتوفير الوقت الاقتصادي في العمليات التخميرية لذلك تم اعتماد التخمر المستمر الذي تضاف فيه بيئة مغذية جديدة اما بشكل مستمر او متقطع الى وعاء التخمير بحيث ان عملية التخمير تبقى مستمرة ويصاحب ذلك سحب مماثل بصرة مستمرة او متقطعة لجزء من البيئة لاسترجاع الخلايا او النواتج التخميرية[2].

معدل النمو وعمليات الايض لخميرة الخبز درست من قبل العديد من الباحثين فمنهم من درس التغير بنوعية المادة المغذية من الكلوكوز[3]ومنهم من درس انواع السكريات التي يمكن ان تنتج الخميرة[4] ومنهم من درس تأثير انتشار الاوكسجين اعتماداً على انتشار الفقاعات وحجمها[5] ومنهم من درس امكانية استخدام عصير التمر كمادة غذائية[6].

الموديل الرياضي

في هذا البحث تم دراسة معدلات النمو والعوامل المؤثرة على عملية النمو والمقارنة الرياضية من خلال نمذجة المعادلات التفاضلية التي تمثل المتغيرات المتحكمة والناتجة [تركيز الكتلة الفعالة(خميرة الخبز) وتركيز المادة الغذائية الاساس(المولاري)[7] ومعدل تولد الايثانول[8] ومعدل الدالة الحامضية (PH) [9].

الموديل الرياضي الذي تم اجراء عملية النمذجة والمحاكاة عليه ومقارنة نتائجه مع النتائج العملية يمكن وصفه بالمعادلات ادناه التي تم استنتاجها من موازنة المادة على مخمر يعمل بصورة مستمرة وحل هذه المعادلات ببرنامج صمم لهذا الغرض مكتوب بلغة البرمجة (Q-Basic).

$$\frac{dx}{dt} = \mu x - D\,.\,x \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$\frac{ds}{dt} = D(S_o - S) - \frac{\mu}{Y_{xs}}\,x \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

$$\frac{dp}{dt} = \mu\, x\,.\, Y_{px} - D\,.\,P \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

$$\frac{dH^+}{dt} = \mu\, Kn\,.\, x - D\,.\,H \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

حيث ان :-

x = تركيز الخلايا الفعالة (غم/لتر).

dx/dt = معدل تركيز الكتلة الحية (غم/لتر.ساعة)

μ = معدل النمو النوعي (ساعة)$^{-1}$ باعتماد مونود موديل(11,10/A)

$$\frac{\mu_{max}}{km+S} = \mu \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

μ_{max} = اقصى معدل نمو نوعي (ساعة)$^{-1}$.

km = ثابت تشبع المادة الغذائية الاساسية (غم مولاري/لتر).

S = المادة الغذائية الاساسية (غم/لتر).

D = معدل التخفيف $= \frac{F}{V} = \frac{\text{معدل التدفق الحجمي(لتر/ساعة)}}{\text{حجم المخمر(لتر)}}$

ds/dt = معدل استهلاك المادة الاساسية(غم/لتر.ساعة)

S_o = التركيز الاولي للمادة الغذائية الاساسية (غم/لتر).

Y_{xs} = تركيز المادة الحية الى تركيز الغذاء الاساسي (غم خلية/غم غذاء).

$\frac{dp}{dt}$ = معدل تشكيل المواد المنتجة(غم/لتر .ساعة) .

Y_{px} = تركيز المواد المنتجة الى تركيز المواد الحية (غم منتج/غم خلية).

P = تركيز كحول الايثانول المنتج(غم/لتر).

dH^+/dt = معدل تشكيل ايون الهيدروجين (غم/لتر .ساعة)

K_n = ثابت التناسب(غم هيدروجين/ غم خلية).

H^+ = تركيز ايون الهيدروجين المذاب (غم/لتر).

برنامج النمذجة

باعتماد تكامل المعادلات (1-4) وفرضية العالم مونود Monod كما في المعادلة رقم (5) فقد جرى تصميم برنامج حسابي كتب بلغة البرمجة Q-Basic واعتمد حلول المرتبة الرابعة Rung-Kutta حيث وضيفة البرنامج هو حل المعادلات ورسم تدرج تركيز الكتلة الحية(x) والمادة الغذائية الاساسية (s) والكحول المنتج (p) وايون الهيدروجين (H^+). وبرسم النتائج العملية مع هذه المنحنيات في نوع يتم المقارنة لمعرفة مقدار التقارب او الانحراف بين الموديل الرياضي والقيمة التجريبية لتعليل ذالك وفق الظروف والمتغيرات الممكن تكهنها.

الجزء العملي

1- **وصف ألجهاز**

تم العمل في منظومة مختبرية محكمة الظروف والمتغيرات المانية الصنع سعة المخمر 12 لتر من الزجاج (BIOSTAT-R- U50, B Braun Company, Germany) كما هو واضح في الشكل رقم(2) متكامل المواصفات يتم السيطرة فيه على تركيز المواد الغذائية بواسطة وضخة نبضية وعلى درجة الحرارة بواسطة حمام مائي بشكل ملف داخل المخمر ويسيطر على الدالة الحامضية من خلال قراءة الدالة بواسطة الكترود (InfFit 746-50 -R- Ingold Company) ومقارنتها بالقيمة الافتراضية. الهواء يحقن بواسطة مضخة من خلال فتحة اسفل المروحة بقطر 2.5ملم ويتم التحكم بالمزج يدويا من خلال محرك متغير السرعة مثبت في اعلى الجهاز متصل بمحور دوران مثبت عليه ثلاث ريش (6-flat-blade-disk-turbine implers).

2- **العمل ألتجريبي**

المنظومة التخميرية ضبطت وعملت كالتالي:

أ- يتم تعقيم الجهاز وتهيئته قبل كل استعمال.

ب- يتم ضبط المتغيرات الثابتة بوضع تركيز اول للمولاس في وعاء التخمير وكمية محددة من الخميرة (البذرة) وتثبت درجة الحرارة والدالة الحامضية وسرعة المزج ومعدل تدفق الهواء وبعد فترة زمنية عندما نرى ان معدل النمو قد بدا بالتزايد الاضطرابي نعرف اننا في طور النمو اللوغارتمي فنبدأ بالإضافة المستمرة للمادة الغذائية الاساس وسحب المنتج ايضا. تحلل النتائج اولا بأول من خلال قياس معدل النمو بواسطة معرفة عدد الخلايا من خلال جهاز المجهر بواسطة الشريحة المتدرجة (hemocytometer) وبقية المقروئات تحسب بالمباشر. يتم في كل تجربة تثبيت كل المتغيرات وتغير متغير واحد بالتي تليها لمعرفة التأثير وفق الجدول رقم (1) والجدول رقم (2).

النتائج والمناقشة

المتغيرات التي درست وفق الجدول رقم (1) جرى تمثيلها بالرسومات والأشكال حسب المتغير المعتمد كما يلي:-

1. تمثيل الموديل الرياضي : الشكل (3) يمثل نموذج المقارنة بين الحسابات التجريبية والموديل

الرياضي وفق التجربة رقم (1) وكما ان ألشكل (4) يمثل متجه الدالة الحامضية وثبوتها عند العمل التجريبي والموديل الرياضي لنفس التجربة رقم (1). كلا الشكلين يمثلان مقدار التقارب بين الموديل الرياضي والعمل التجريبي حين يظهر بوضوح ان الحيود بينهما ضعيف جدا وبخاصة لحالة النمو التخميري ومعدل استهلاك الغذاء الاساسي.

2. تأثير معدل تدفق الهواء : التجارب رقم 1,7,8,9 المتمثلة بالشكل (5) تمثل القراءات المستنبطة لدراسة تأثير معدل تدفق الهواء على معدل التحول والإنتاج لخميرة الخبز في المفاعل المستمر. من الواضح ان هنالك تاثير كبير لمعدل تدفق الهواء على عملية النمو وان اكثر معدل تدفق صالح للعمل هو عند 100 لتر/ساعة من بين القيم العليا والدنيا.
3. تأثير تركيز الخلايا ألحية الشكل (6) يمثل قراءة عملية ونظرية لتأثير الكتلة الحية الاولية على عملية النمو وهو يمثل مقدار التباين بين النتائج التجريبية المستحصلة من التجارب (3,2,1) عند ظروف متغيرة من الكتلة الحية (خميرة الخبز) او البذرة الاولى التي لها الاثر الايجابي على معدلات النمو كلما كانت كبيرة عند البدء.
4. تأثير تركيز المادة الغذائية الاساسية (المولاس): الشكل (7) يمثل مقدار المقارنة العملية لتأثير التركيز الاولي للمادة الغذائية الاساسية (المولاي) على عملية النمو والمتمثلة بالتجارب (6,5,4,1) والتي تبين ان القيم الاولية للنمو تكون بطيئة عند تركيز عالي ولكن بمرور الوقت تزداد هذه القيمة مع التركيز العالي ويصاحب ذلك في البدء زيادة عملية المفقودات كمادة اساسية خارجة مع المنتج لذلك يتوجب البدء في تركيز قليل وزيادة هذا التركيز مع زيادة سرعة النمو.

الاستنتاجات

من خلال الرسوم السابقة(3-7) يمكن تثبيت الملاحظات ألتالية

1. هنالك تقارب كبير بين العمل التجريبي والموديل الرياضي مما يشير الى مقدار حجم المنضومة يمكن الاعتماد عليه في استنباط نتائج تجريبية واقعية وان الموديل ابدى يمثل تمثيلا واقعيا يمكن الاعتماد عليه.
2. كلما زاد معدل تدفق الهواء يصاحب ذلك زيادة في معدل وسرعة النمو التخميري الى حدود معينة تتوقف هذه الزيادة لذا يتوجب تثبيت حدود عليا ودنيا لمعدل تدفق الهواء المعمول بها وفقا لحجم وتركيز المواد الغذائية المستخدمة لهذا كان افضل معدل تدفق للهواء يمكن الاعتماد عليه عند 100 لتر/ساعة.
3. كلما زاد التركيز الاولي للخلايا الحية في المخمر تقلص الزمن الضائع في فترة التشغيل الاولى نتيجة لتقليل فترة النمو في طور الركود ويحتاج ذلك الى السيطرة على درجة الحرارة والحامضية والوسط الغذائي عند تركيز عالي من المادة الحية.
4. التركيز العالي للمولاس الابتدائي له اثر سلبي على سرعة النمو الاولى الى ان نصل الى فترة الاستقرار للنمو فتتسارع عملية الانتاج في الطور المستمر عند تركيز عالي للمادة الغذائية الى الحد الممكن من توفر بيئة مناسبة من مواد غذائية اضافية ومحفزات ومعادلات للدالة الحامضية فضلا عن توفير معدل التهوية المناسب وفق الحجم المخمر المستخدم.
5. من الفائدة التي لوحظت اننا درسنا في هذا البحث ابتداء العمل والاستمرار في الانتاج وبذلك تم التعرف على الطورين (الطور المتقطع والطور المستمر) في العمل.

المصادر

1- م. محمد ابراهيم ، م. جهاد اكرم ابو التل "تكنلوجيا التخمرات" عمان الطبعة الاولى 2010. (33-43).

2- Blanch, H. W. & Clark, D. S., Biochemical Engineering. Marcel Dekker, 1997, 702 p.

3- Moss, F. J., Rickard P. A, Beech G. A. & Bush F. E. Biochem. Bioeng. 13, 63, 1971.

4- Polakis E. S. & Bartly W., Biochem. J. 97, 284, 1963.

5- Diehl K. "Scale-up the use of A improbable Dispersion to Increase Oxygen Transfer in aerobic Fermentation of Baker's Yeast, Thesis, Virginia Polytecgnic Institute and State University, 1997.

6- Alemzadeh I. & Vosoughi M. Ind. Eng. Chem. Res. 41, 128-130, (2002).

7- Y.S. Park, K. Toda, M. fukaya. H. Okumura. Y. kawamura, production of a high-concentration Acetic acid in by Acetobacter aceti using a repeated fed-batch culture eith cell recycling, Appl. Microbial. Biotechnol.35(1991)149.

8- Y.S. Park, K. Toda, Multistage biofilm reactor for acetic-acid production at high concentration, Biotechnol.Lett.14(1992)609.

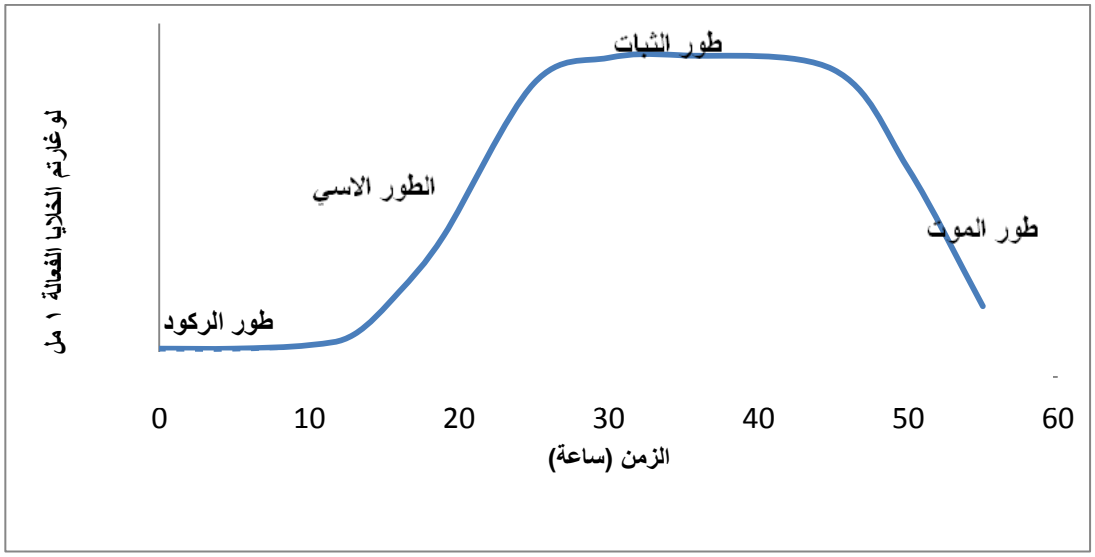
9- Bilbao. A., Irastorza. A (1997)" The Effect Temperature On The Growth Of kleseckera Apiculata And Saccharoyces Cereisiae In Apple Juice Fermentation", Journal Food, Vol. 24, pp37-39.

10- Pauline M. Dorna, (1995) Bioprocess Engineering Principles, Academic Press Limited.

11- James E. Bailey and David F. ollis (1986) Biochemical Engineering Fundamentals, 2nd edn, McGraw-Hill, New yourk.

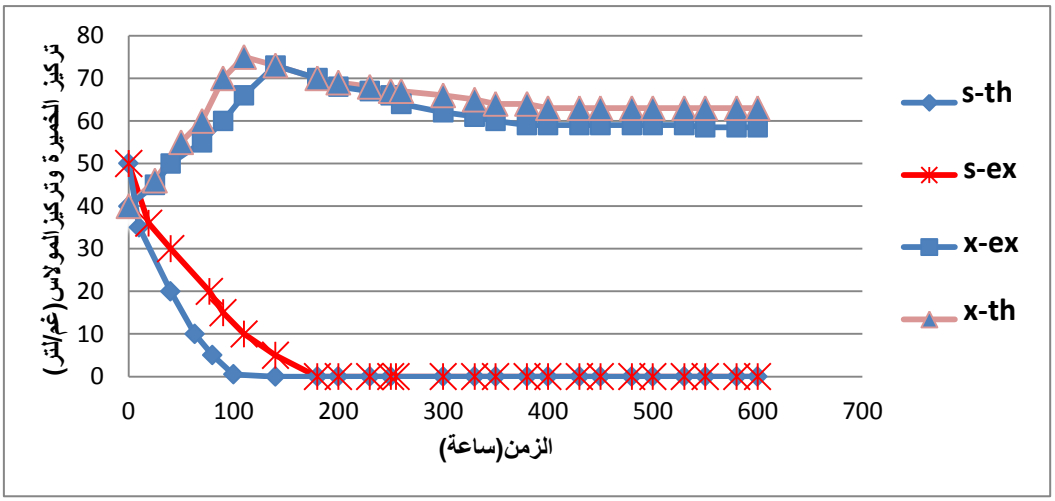
12- R.K. Kruppa, D. Vortmeyer, Transient growth and product-formation kinetics of acetic acid bacteria, Bioprocess Eng.20(1999)545.

13- Gebrial. E. C, Robert. P. D,Becerra. V. M(1999)"Optimal Control Of Fermantation Processes", Thesis City University London.

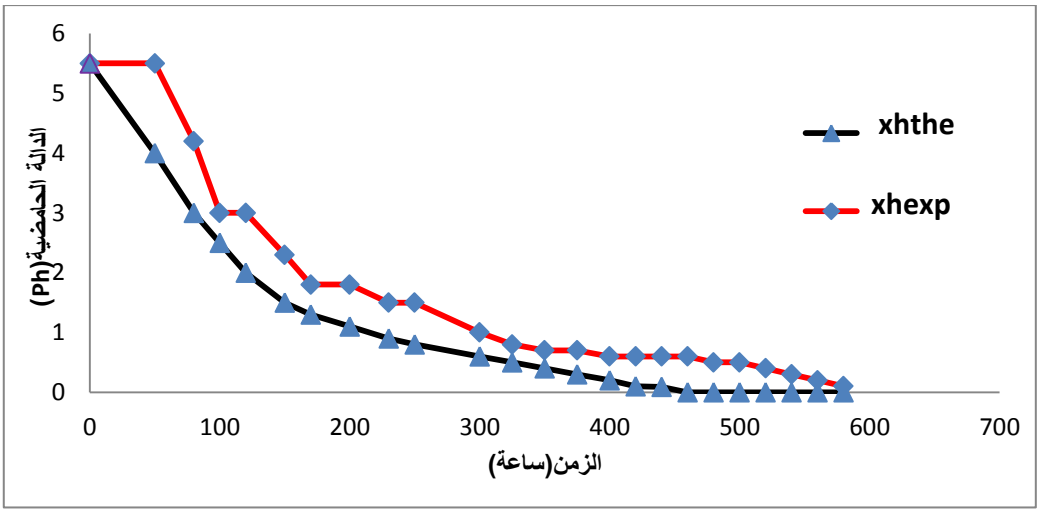


شكل (1) اطوار نمو الكائن الحي [2].

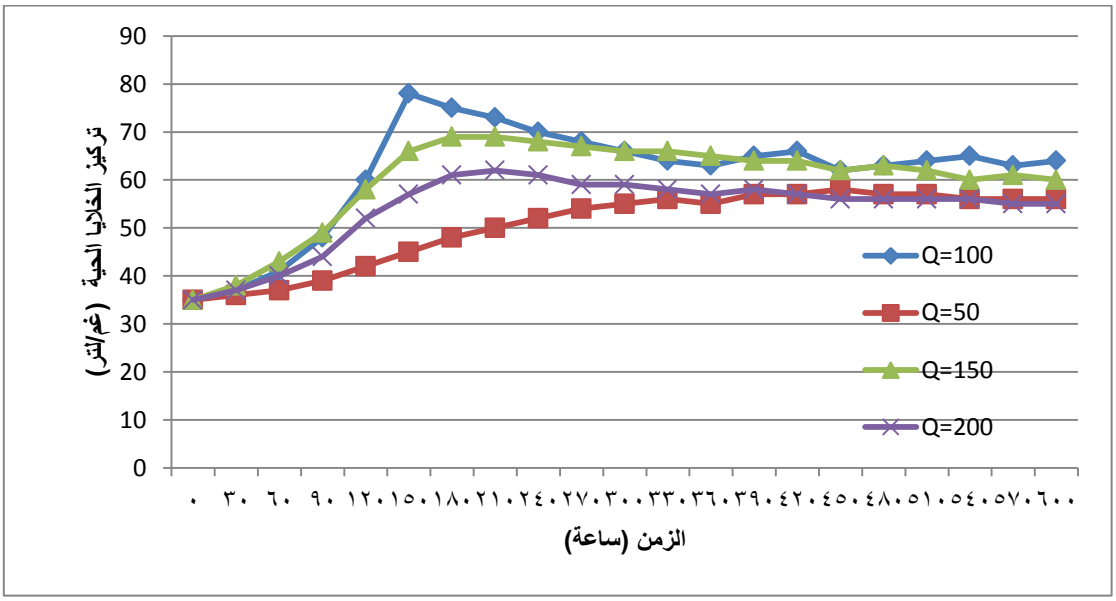
شكل (2) الجهاز المختبري



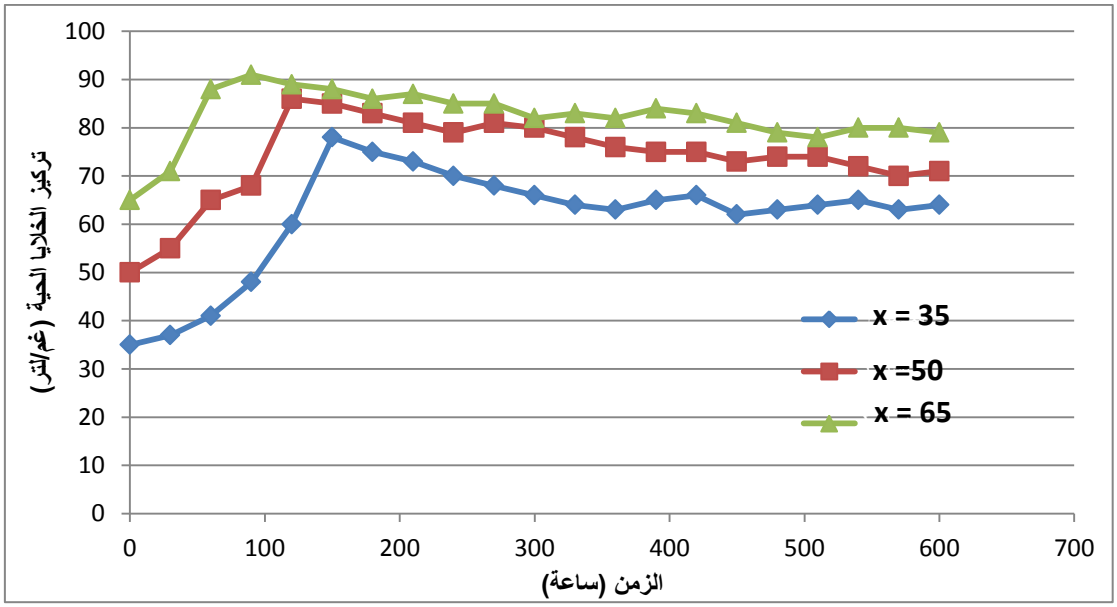
شكل (3) النتائج العملية والنظرية لتركيز الخميرة والمولاس .



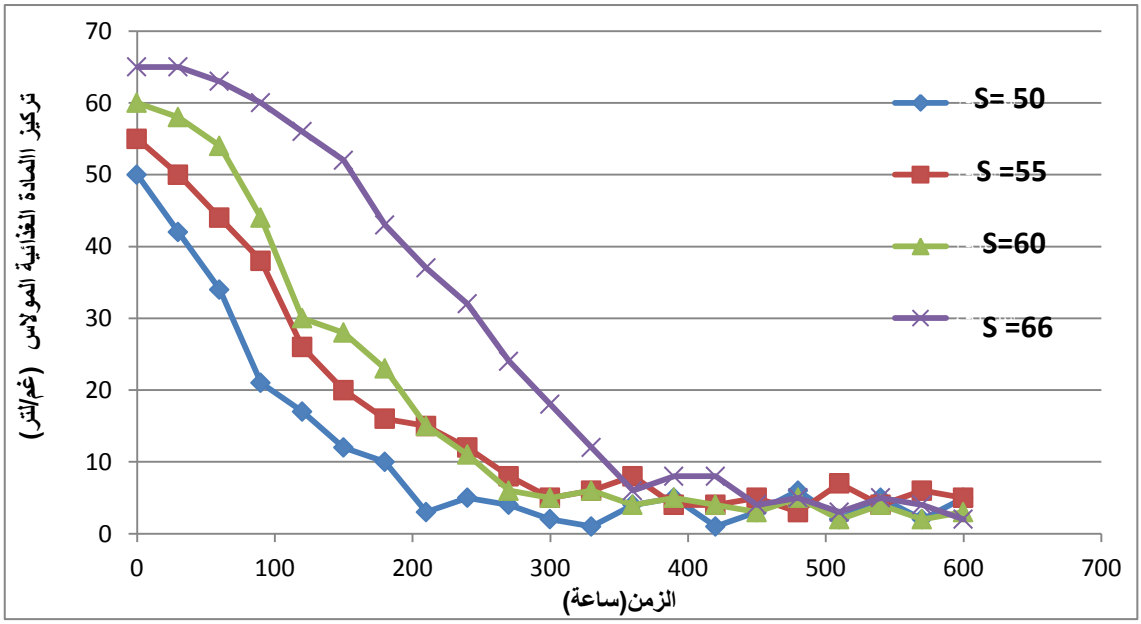
شكل (4) النتائج العملية والنظرية للدالة الحامضية (pH).



شكل رقم (5) يمثل التجارب 1,7,8,9 مقدار تأثير حجم تدفق الهواء الداخل



شكل (6) النتائج العملية للتجارب 1,2,3 التي تبين مقدار تاثير تركيز الخلايا الابتدائي على عملية النمو.



شكل (7) النتائج العملية للتجارب 1,4,5,6 تبين مقدار تاثير تركيز المادة الغذائية الاساس(المولاس).

جدول رقم (1) الظروف التشغيلية المستخدمة في عملية انتاج خميرة الخبز الحية.

رقم التجربة	معدل تدفق الهواء لتر / ساعة	تركيز الخلايا الحية غم / لتر	تركيز المولاس الابتدائي غم / لتر	معدل التخفيف D ساعة $^{-1}$
1	100	35	50	0.01
2	100	50	50	0.01
3	100	65	50	0.01
4	100	35	55	0.01
5	100	35	60	0.01
6	100	35	65	0.01
7	50	35	50	0.01
8	150	35	50	0.01
9	200	35	50	0.01
10	100	35	50	0.02
11	100	35	50	0.03
12	100	35	50	0.04

جدول رقم (2) قيم الثوابت الرياضية في البرنامج الحسابي لحل الموديل الرياضي التمثيلي.

الثابت	القيمة	الوحدة	رقم المصدر
μ_{max}	0.26	ساعة$^{-1}$	حسبت
Y_{xs}	0.51	غم خلية / غم مولاس	حسبت
Km	3	غم مولاس / لتر	12
Kn	0.0026	غم هيدروجين / غن خلية	13
Y_{px}	0.032	غم كحول / غم مولاس	حسبت