

## دراسة السلوك الديناميكي والسيطرة على برج التقطير المستمر

محمد حمزة خلف

أ.م.د. دريد فاضل احمد

معهد التدريب النفطي-بيجي

قسم الهندسة الكيماوية-جامعة تكريت

استلم 2012/9/28، قبل للنشر 2012/12/17، نشر على الانترنت 2013/7/18

### الخلاصة

تناول البحث دراسة السلوك الديناميكي لبرج التقطير المستمر مكون من سبع طبقات وتطبيق عدد من طرق السيطرة المختلفة لعملية فصل خليط ثنائي مكون من الأيثانول والماء. تم اشتقاق أنموذج رياضي لبرج التقطير المستخدم و تصميم أنموذج ديناميكي باستعمال برنامج ماتلاب بالاعتماد على الأنموذج الديناميكي المشتق لإيجاد استجابة درجة الحرارة لعدد من الاضطرابات. وبينت المقارنة بين الاستجابة العملية لدرجة الحرارة في أعلى برج التقطير وأسفله لاضطراب درجي في معدل جريان التغذية ونسبة السائل الراجع للبرج والكسر الوزني للمادة المغذية للبرج إلى وجود إلى توافق شديد لأغلب التجارب. كما تم تصميم مسيطر منطق ضبابي بالاستفادة من التجارب العملية باستعمال برنامج الماتلاب وتطبيقه على أنموذج المحاكاة المصمم ولمنظومتين من منظومات السيطرة. كما تم مقارنة طريقة السيطرة الضبابية مع طريقة السيطرة التقليدية (PID) لعدد من الاضطرابات الدرجية في القيمة المرغوبة للنتائج العلوي للبرج والنتائج السفلي للبرج ومعدل جريان التغذية والكسر الوزني للمادة المغذية وقياس أداء المسيطرات باستعمال طريقتين من طرق قياس الأداء طريقة معدل مربع الخطأ وطريقة تكامل مربع الخطأ وبينت النتائج إن المسيطر الضبابي أفضل وأكثر كفاءة من المسيطرات التقليدية من خلال سرعة الوصول إلى القيمة المرغوبة وإلغاء الاضطرابات.

**الكلمات الدالة:** مسيطر المنطق الضبابي ، برج التقطير، المسيطر التقليدي.

## *Studying of The Dynamic Behaviour and Control of Continuous Distillation Column*

### **Abstract**

The present work deals with studying the dynamic behaviour of continuous distillation tray column and implementing different type of control strategies for the separation of binary mixture composed of ethanol and water. Mathematical model of distillation column is derived and designed by using Matlab program depending on the mathematical model derived to find temperature response for many disturbances. The comparison between the experimental and theoretical responses for temperature in top and bottom of distillation column for step change in feed flow rate, reflux ratio and feed weight fraction showed that the difference is simple. This study includes designing fuzzy logic controller which depending on some of logic rules depending on fuzzy sets and through trading from experimental works where designing this controller by using Matlab program and applying it on dynamics model for two control scheme and tuning it by trial and error method. The Comparison between fuzzy logic and (PID) control methods is done for many disturbances and measure the controller performance by using mean square error and integral square error that the result performance showed that the fuzzy controller better than the conventional controller through fast access to the desired value and cancelling the disturbances.

**Keywords :** Fuzzy Logic Controller, Distillation Column, Conventional Controller.

Nonlinear Decoupling (END)) بالاعتماد على خوارزمية السيطرة لفك ارتباط العملية متعددة المتغيرات اللاخطية وتحويلها إلى خطية للوصول إلى أفضل سيطرة يمكن الحصول عليها وبعد تطبيقها نظريا على برج تقطير استنتجا أنها تعطي سيطرة ذات نوعية أفضل مقارنة بالسيطرة التقليدية وذات قابلية انجاز عالية.

كما طبق الباحثان (Rhinehant and Dutta,1999)<sup>[2]</sup> طريقة سيطرة الشبكة العصبية للأنموذج القائم على أساس التنبؤ بالكسب (model-based gain prediction) وقابليته على معالجة القيد وتم تطبيقه عمليا للسيطرة التنظيمية (Regular) والموازرة (Servo) على تركيز الناتج العلوي والسفلي لبرج تقطير مختبري لفصل الميثانول عن الماء كما طبقوا طريقة سيطرة الشبكة العصبية باستعمال التنبؤ بعكس الحالة المستقرة وقورنت هاتين الطريقتين مع ثلاث طرق سيطرة أخرى (طريقة السيطرة التقليدية المتقدمة). وصف الباحثون (Trejo et al,1999)<sup>[3]</sup> مخطط السيطرة المكيفة ذات التغذية العكسية الخطي (linearizing feedback adaptive control structure) الذي يقود إلى تنظيم عالٍ للخطأ الخارج بوجود الاضطرابات الخارجية وتم تطبيق هذا المسيطر على برج تقطير ثنائي المكونات من خلال المحاكاة العددية (Numerical simulation) التي حققت أداء سيطرة جيد وبينت أن مخمن عدم الدقة يتقارب مع القيمة الحقيقية.

طور الباحثون (Van lith et al, 2003)<sup>[4]</sup> مبادئ أنموذج ضبابي هجين (hybrid fuzzy) لبرج تقطير مختبري وتركيب هذا الأنموذج يعتمد على إطار فيزيائي بسيط مدمج ضمن المنطق الضبابي، كما قورنت نتائج ثلاث أنظمة هجينة بالاعتماد على نوعية المنتج وبينت أن قياسات العملية المسيطر عليها فقط تعطي معلومات جيدة. طور الباحثون (Fileti et al,2007)<sup>[5]</sup> خوارزميات السيطرة الضبابية على الحاسوب وطبقت عمليا في جهاز تقطير لفصل خليط مكون من الهكسان والهيبتان. إن تنظيم المسيطر الضبابي حصل عليه بواسطة تغيير مقياس الخارج (gain) ودالة الانتماء للمتغيرات الداخلة والخارجة وقورنت نتائج هذه الطريقة مع مسيطر تقليدي وبينت النتائج أن نظام السيطرة الضبابية أفضل أداء من نظام

الرموز

B : معدل جريان الناتج السفلي (كغم/ساعة)

C: الحرارة النوعية (سعره/كغم.م°)

D: معدل جريان المقطر (كغم/ساعة)

F: معدل جريان المادة المغذية (كغم/ساعة)

H<sup>v</sup>: انثالي البخار (سعره/كغم)

i : رقم الطبقة

L: معدل جريان السائل على الطبقة (كغم/ساعة)

M: مقدار السائل المحمل على الطبقة(كغم)

NF: طبقة التغذية

NT: طبقة العليا

QC: كمية الحرارة المسحوبة من المكثفة (سعره/ساعة)

QR: كمية الحرارة المجهزة للغلاية (سعره/ساعة)

T: درجة الحرارة (م°)

t: الزمن (ثانية)

V: معدل جريان البخار على الطبقة (كغم/ساعة)

x: الكسر الوزني للسائل

y: الكسر الوزني للبخار

Z<sub>F</sub> : الكسر الوزني للمادة المغذية

#### المقدمة

تعتبر عملية السيطرة على برج التقطير صعبة ومعقدة بسبب ان عملية التقطير غير خطية وغير مستقرة وذلك بسبب التذبذب المتزايد في المتغيرات الخارجة وبالإضافة إلى الترابط الشديد بين المتغيرات الداخلة والخارجة. ويعتبر برج التقطير من العمليات الأساسية في الصناعة لإنتاج منتجات نهائية ذات نقاوة عالية ولهذا عملية تحسين السيطرة على برج التقطير لها تأثير مهم في تقليل استهلاك الطاقة وحماية البيئة والحصول على منتجات ذات مواصفات عالية. كما يمتلك برج التقطير متغيرات متعددة سواء كانت داخلة مؤثرة ام خارجة وتؤثر على سلوكه الديناميكي وتعقد عملية السيطرة وتسبب الترابط بين هذه المتغيرات. ولهذا أجريت دراسات وبحوث عديدة خلال السنوات الماضية لإيجاد الحلول لهذه المشاكل من خلال تصميم وابتكار طرق جديدة للسيطرة على برج التقطير. درس الباحثان (Balchen and Sandrib,1995)<sup>[1]</sup> أنموذج فك الارتباط اللاخطي الأساسي (Elementary

(PID). أوضحت النتائج إمكانية استعمال هذه التقنية في السيطرة وتحقيق أداء جيد. اقترح الباحث Jana<sup>[14]</sup> نظام سيطرة لاخطي مكيف (nonlinear adaptive control) لبرج تقطير ثنائي المكونات وفحص أداء الحلقة المفتوحة (open loop) على التكيف تحت خطأ أولي في مقاييس معروفة بشكل غير دقيق، واضطراب غير متجانس وغير مؤكد وطبقت هذه الطريقة على برج تقطير بالدفع من خلال برنامج محاكاة لغرض تحديد كفاءة الأداء وقورنت مع طريقة سيطرة تقليدية (PI) وبينت النتائج سرعة الاستجابة لهذه الطريقة والوصول إلى القيمة المرغوبة في أقل وقت ممكن ومعالجة الاضطرابات. استخدم الباحثون (Bui)<sup>[15]</sup> (et al, 2010) الإطار الحسابي لمحاكاة وتحسين التقطير بغشاء التلامس المباشر (direct contact membrane distillation (DCMD)) لتقليل الطاقة المصروفة.

استحدث الباحثون (Canete et al)<sup>[16]</sup> طريقة لربط برنامج سميولنك (Simulink) يستعمل لمحاكاة برج تقطير ديناميكي مع برنامج (Lab view) يستعمل للمراقبة والسيطرة عليه وهذا النظام المطور يستعمل للسيطرة على برج تقطير لفصل خليط مكون من الميثانول والبروبانول باستعمال مسيطرات (PID). أوضحت النتائج إمكانية استعمال هذه التقنية في السيطرة وتحقيق أداء جيد. طور الباحثان (Hori and Skogestad)<sup>[17]</sup> مخطط سيطرة ملائم لكل أبراج التقطير (الثنائية ومتعددة المكونات) لتخمين انحراف الحالة المستقرة في تركيز الناتج العلوي إلى الاستجابة للاضطرابات باستخدام معدل الجريان ودرجة الحرارة كمتغيرات معالجة واستنتجا إن لأغلب أبراج التقطير أفضل مخطط هو تثبيت معدل جريان السائل الراجع ودرجة حرارته وتتم السيطرة بالتعديل باستعمال كمية البخار الصاعد، أما إذا كان البخار قليل التأثير ديناميكيا فيثبت أيضا البخار وتتم المعالجة باستعمال درجة حرارة السائل الراجع كما أوضحنا أن موقع متحسس درجة الحرارة يجب أن يكون بعيدا عن نهايات أبراج التقطير عالية النقاوة. استعمل الباحثون (Wang and)<sup>[18]</sup> (Wong, 2006) نظام محاكاة الحالة الديناميكية والحالة المستقرة لتحقيق تصنيف عملية السيطرة لبرج تقطير تفاعلي لتصنيع ايزوبروبانول Isopropanol بالتجفيف

السيطرة التقليدية (PID). ونم استخدام طريقة السيطرة الضبابية من قبل الكثير من الباحثين لما لها من مزايا مثل الباحثون (Savkoic, and Durovic)<sup>[6]</sup> والباحثون (Sivakumar, et al)<sup>[7]</sup> والباحثون (Rico, et al al)<sup>[8]</sup> بالإضافة إلى الباحثون (Shin et al)<sup>[9]</sup> حيث استنتج الباحثون أن المسيطر الضبابي قادراً على المحافظة على المتغير المسيطر عليه عند القيمة المرغوبة لمختلف الاضطرابات. كما طبق الباحثون (Kano, et al)<sup>[10]</sup> طريقة سيطرة حديثة يطلق عليها السيطرة الأستنتاجية التنبؤية (Predicative inferential control) من خلال التنبؤ بالتراكيز من التحكم في عملية قياس المتغيرات مباشرة بدلا من التقديرات الحالية للتركيز ونتائج المحاكاة الديناميكية بينت أن نظام السيطرة الأستنتاجية المكمل بالسيطرة المتعاقبة (cascade control) أفضل إلى حد كبير من أنظمة السيطرة الأخرى.

صمم الباحثون (Alpbaz et al)<sup>[11]</sup> محاكاة السلوك الديناميكي لبرج تقطير محشو ثنائي المكونات لفصل الميثانول عن الماء باستعمال نظرية المراحل تم فحص تأثير الاضطراب في نسبة الراجع على درجة الحرارة في الجزء العلوي إذ استخدموا نظريا طريقتين من أنظمة السيطرة هما: طريقة مصفوفة السيطرة الديناميكية وطريقة السيطرة التقليدية (PID and dynamic matrix control (DMC)) وأداء هذه الأنظمة اختبر باستعمال معيار أداء السيطرة وأثبتت النتائج أن أداء نظام DMC أفضل من أداء PID كما قورنت نتائج هذه الأنظمة مع نظام السيطرة المفتوحة.

طور الباحثون مسيطر تنبؤي نكي برج تقطير مستمر واستعملوا تكرار الشبكات العصبية لتمييز العملية وتجهيز التنبؤات حول سلوك الاعتماد على فعل السيطرة المطبق على النظام ثم يتم استخدام هذه المعلومات من قبل مسيطر المنطق الضبابي ليكمل أفضل أداء سيطرة. استحدث الباحثون<sup>[13]</sup> طريقة لربط برنامج سميولنك (Simulink) يستعمل لمحاكاة برج تقطير ديناميكي مع برنامج (Lab view) يستعمل للمراقبة والسيطرة عليه وهذا النظام المطور يستعمل للسيطرة على برج تقطير لفصل خليط مكون من الميثانول والبروبانول باستعمال مسيطرات

العلوي و كمية الناتج السفلي و كمية المادة المغذية و تركيز المادة المغذية و تركيز الناتج العلوي و تركيز الناتج السفلي كمية الحرارة المجهزة للغلاية ومعدل جريان سائل التبريد للمكثفة. لغرض تطوير نموذج رياضي لبرج التقطير يتوجب القيام بالفرضيات الآتية :

- 1- برج التقطير المستعمل ثنائي المكونات.
  - 2- المادة المغذية إلى البرج خليط سائل درجة حرارته  $40^{\circ}\text{م}$ .
  - 3- البخار المحمل على الطبقة مهمل مقارنة بالسائل المحمل على الطبقة.
  - 4- معدل جريان السائل على كل طبقة ثابت.
  - 5- البخار الناتج من أعلى برج التقطير يكثف كلياً في المكثفة لغرض الحصول على ضغط ثابت للبرج.
  - 6- ضغط البرج ثابت ويحدود واحد جو.
  - 7- كفاءة الطبقة ثابتة.
  - 8- خليط غير مثالي وذلك لان خليط (إيثانول- ماء) من الأنظمة غير المثالية.
  - 9- تركيز الناتج العلوي المكثف يكون مساوياً إلى تركيز الطبقة العليا للبرج.
  - 10- تركيز الناتج السفلي المتخلف يكون مساوياً إلى تركيز الطبقة السفلى للبرج.
  - 11- حالة الراجع هو سائل عند درجة غليانه وذلك لان المكثفة تقوم فقط بعملية التكثيف.
- تم إجراء موازنة مادة وطاقة حول أجزاء البرج للمركب الأكثر تطايرية وتم الحصول على المعادلات التالية:

$$\frac{d(M_i x_i)}{dt} = L_{i+1} x_{i+1} - L_i x_i + V_{i-1} y_{i-1} - V_i y_i \dots (1)$$

$$\frac{d(M_{NF} x_{NF})}{dt} = \frac{d(M_{NF} x_{NF})}{dt} + Fz_F \dots \dots \dots (2)$$

$$\frac{d(M_1 x_1)}{dt} = L_2 x_2 - V_1 y_1 - Bx_1 \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{d(M_{NT} x_{NT})}{dt} = V_{NT-1} y_{NT-1} - Lx_{NT} - Dx_{NT} \dots (4)$$

$$\frac{M_i d(T_i)}{dt} = L_{i+1} T_{i+1} - L_i T_i + T_{i-1} V_{i-1} - T_i V_i \dots (5)$$

المباشر للبرولين، إذ بينت نتائج المحاكاة أن درجة حرارة التحول والسيطرة على التركيز يمكن أن تعطي أفضل أداء للسيطرة.

الهدف من الدراسة الحالية هو دراسة السلوك الديناميكي لبرج التقطير وتطوير نموذج ديناميكي لعملية تقطير خليط ثنائي مكون من الأيثانول والماء وبعد ذلك تصميم منظومة للسيطرة عليه بطريقة السيطرة التقليدية (PI) (Fuzzy logic). تتضمن دراسة السلوك الديناميكي لبرج التقطير قياس استجابة درجة حرارة أعلى وأسفل برج التقطير لتغير درجي (Step Change) في معدل جريان التغذية وتغير درجي في كمية السائل الراجع للبرج (Reflux) وتغير درجي في تركيز المادة المغذية. كما تتضمن اشتقاق نموذج رياضي للعملية بالاعتماد على المبادئ الأولية و استعماله في تطوير نموذج محاكاة ديناميكي للعملية وإيجاد أفضل ظروف تشغيلية للبرج والنتائج النظرية يتم مقارنتها بالنتائج العملية. كما تتضمن الدراسة تصميم منظومة سيطرة ضبابية للسيطرة على تركيز الناتج العلوي وتركيز الناتج السفلي للبرج وتطبيقها على نموذج المحاكاة المطور باستعمال برنامج ماتلاب/سمبولنك مقارنة أدائها مع منظومة سيطرة تقليدية (PID) لدراسة استجابة العملية عند ظروف مختلفة من الاضطرابات الدرجية وذلك بتغيير القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي وتغيير القيمة المرغوبة لتركيز الناتج السفلي وتغيير معدل جريان المادة المغذية وتغيير الكسر الوزني للمادة المغذية واختيار أفضل مقاييس للمسيطر من خلال المحاكاة.

#### الجانب النظري

#### التمثيل الرياضي

النموذج الرياضي لبرج التقطير الثنائي يشق باستعمال المبادئ الأساسية لقانون حفظ المادة والطاقة. الأنموذج الرياضي لبرج التقطير الثنائي يمثل بعدد من المعادلات التفاضلية الاعتيادية والمعادلات الجبرية لحالة توازن البخار والسائل. الأنموذج الناتج استعمل لتطوير أنموذج للسيطرة على تركيز الناتج العلوي و تركيز الناتج السفلي باستخدام نظام المنطق الضبابي. يحتوي برج التقطير على العديد من المتغيرات التي هي نسبة الراجع و كمية الناتج

التقليدية. المجموعة الضبابية هي المجموعة التي لا يمكن تعريفها بدقة. أي أن تعريفها يختلف باختلاف وجهات النظر، فمثلاً مجموعة الأرقام التي هي أكبر بكثير من الرقم واحد. فمفهوم "أكبر بكثير" يصعب تحديده بدقة. وبالتالي يكمن الاختلاف بين المجموعات الضبابية و التقليدية في انتماء العناصر للمجموعة. ففي المجموعة التقليدية إما أن ينتمي العنصر إلى المجموعة أو لا ينتمي ( نستطيع أن نرسم للانتماء بالرقم I و عدم الانتماء بالرقم 0). بينما تتبع المجموعات الضبابية لعناصرها درجات مختلفة من الانتماء تتراوح بين الانتماء الكلي (1) أو عدم الانتماء (0) مثلا لو كانت المجموعة A مجموعته درجات الحرارة التي تصنف بالباردة (باردة بالنسبة للإنسان) ولنعتبر المجموعة U هي كل درجات الحرارة. النظام الضبابي هو تعيين ثابت غير خطي بين المدخلات والمخرجات. المدخلات والمخرجات هي قيم مختصرة وهي أرقام حقيقية وليست مجاميع ضبابية وتستخدم ميكانيكية الاستدلال القواعد الضبابية في قاعدة المعرفة (Rulebase) لإنتاج الخلاصات الضبابية ومجموع التوضيح (defuzzification) تحول المجموعات الضبابية إلى قيم مختصرة [20]

المسيطر الضبابي هو أنموذج لنظام ضبابي يوصف المجاميع الضبابية ليمثل الخصائص الدلالية لكل سيطرة وحل ومعالجة قيمة المدخلات لها خلال مجموعة من المجاميع الضبابية بشكل تمثيلات جديدة ويتكون المسيطر الضبابي من الأجزاء الآتية:

1. المضبيب (Fuzzification) هي عملية تحويل الإشارة المقاسة والتي تمثل إشارة الخطأ في نظام السيطرة إلى مجموعات ضبابية وذلك بإعطاء قيم لكل مجموعة من دوال الانتماء وقيمة كل دالة ضبابية تحسب من الإشارة المقاسة وأشكال دوال الانتماء. صنفت المجاميع الضبابية لإشارة الخطأ في البحث الحالي إلى خمسة مستويات وهي موجب كبير (PB) وصغير (PS) وصفر (Z) وسالب كبير (NB) وصغير (NS).

2. ميكانيكية الاستدلال (Inference system) هو عملية تحويل المدخلات الضبابية المعطاة إلى

$$C_1 \frac{M_1 d(T_1)}{dt} = C_1 (L_2 T_2 - BT_1) - H_1^V V_1 + QR \dots (6)$$

$$C_{NT} \frac{M_{NT} d(T_{NT})}{dt} = C_{NT} V_{NT-1} (T_{NT-1} - T_{NT})$$

$$- H_{NT-1}^V V_{NT-1} - QC \dots \dots \dots (7)$$

$$y_i = -94.7613x_i^8 + 450.932x_i^7 - 901.175x_i^6 + 985.803x_i^5 - 644.997x_i^4 + 259.985x_i^3 - 64.505x_i^2 + 9.71706x_i \dots \dots \dots (8)$$

$$T_i = 60.526x_i^4 - 163.16x_i^3 + 163.96x_i^2 - 83.438x_i + 100 \dots \dots \dots (9)$$

حيث تمثل المعادلة رقم (1) توازن المادة على الطبقة (i) والمعادلة رقم (2) على طبقة التغذية والمعادلة رقم (3) للمرجل والمعادلة رقم (4) للمكثف والمعادلة رقم (5) توازن الطاقة على الطبقة (i) والمعادلة رقم (6) تمثل المرجل والمعادلة رقم (7) تمثل المكثف أما المعادلتين رقم (8) و (9) فهما معادلتان تجريبيتان لمعرفة حالة التوازن بين السائل والبخار وكذلك لحساب درجة الحرارة كل طبقة من الكسر المولي للسائل. تم الاستفادة من هذه المعادلات في بناء برنامج المحاكاة باستخدام برنامج ماتلاب/سيمليك.

### مسيطر المنطق الضبابي

تستخدم هذه الطريقة في بعض الأنظمة الخبيرة وفي تطبيقات الذكاء الاصطناعي، تبنى نظرية المنطق الضبابي على محاكاة تفكير الإنسان مع الأخذ بعين الاعتبار عدم تصنيف الأشياء إلى لونين ابيض و أسود (أو مثلاً: صواب و خطأ) و إنما إدراك أن هنالك قيما أخرى يمكن أخذها بعين الاعتبار. المنطق الضبابي بالمعنى الواسع هو منظومة منطقية تقوم على تعميم للمنطق التقليدي ثنائي القيم، وذلك للاستدلال في ظروف غير مؤكدة، وبالمعنى الدقيق فهي نظريات وتقنيات تستخدم المجموعات الضبابية التي هي مجموعات بلا حدود قاطعة. يمثل هذا المنطق طريقة سهلة لتوصيف الخبرة البشرية وتمثيلها، كما أنه يقدم الحلول العملية للمشاكل الواقعية، وهي حلول بتكلفة فعالة ومعقولة، بالمقارنة مع الحلول الأخرى التي تقدم التقنيات الأخرى [19]

تبنى نظرية المنطق الضبابي على مفهوم المجموعات الضبابية (Fuzzy Sets) التي تعد امتداداً للمجموعات

في هذا البحث سوف تتم تطبيق نظامين للسيطرة

#### أولاً : نظام السيطرة (1)

السيطرة على تركيز الناتج العلوي للبرج مع ترك الناتج السفلي بدون سيطرة على التركيز وهي من أكثر الطرق المستخدمة للسيطرة على أبراج التقطير في الصناعة. في هذه الطريقة يكون معدل جريان السائل الراجع للبرج (Reflux) متغير معالجة ويكون تركيز الناتج العلوي هو المتغير المسيطر عليه.

#### ثانياً : نظام السيطرة (2)

السيطرة على تركيز الناتج العلوي والناتج السفلي لبرج التقطير إذ يستعمل معدل جريان السائل الراجع إلى البرج كمتغير معالجة للسيطرة على تركيز الناتج العلوي للبرج وتستخدم كمية الحرارة المجهزة للغلاية كمتغير معالجة للسيطرة على تركيز الناتج السفلي. في الصناعة وبشكل عام نجد صعوبة قياس تركيز الناتج مباشرةً خلال العملية لذلك تستعمل درجة الحرارة كمتغير مسيطر عليه لسهولة قياسها مباشرةً وهي مؤشر جيد للدلالة على التركيز.

#### العمل المختبري

يتكون جهاز التقطير المستخدم بشكل عام من عمود التقطير يتألف من سبع طبقات ذات الأكواب المقلووية المفردة (Single bubble cup) مصنوع من زجاج البورسليكات ارتفاعه 2 م وقطره 5 سم . تدخل المادة المغذية عند الطبقة الثانية البرج ومكثف علوي زجاجي لتجهيز التبريد اللازم لتكثيف البخار الصاعد إلى قمة البرج باستخدام ماء الحنفية الذي يجهز بواسطة مضخة خارجية. ومرجل إعادة الغليان يقع أسفل البرج حجمه 3 لتر مصنوع من زجاج البورسليكات يحتوي على سخان كهربائي مغلف بالكوارتز قدرته الحرارية 1600 واط كحد أقصى لغرض تجهيز الحرارة اللازمة لعملية التقطير موضوع في أنبوب مائل بجانب مرجل إعادة الغليان إذ يتم تسخين السائل الموجود عن طريق الحمل الحراري. مستوى السائل في المرجل يسيطر عليه بواسطة مسيطر مستوى مع بقاء الضغط ثابت في مرجل إعادة الغليان وخزان الناتج السفلي. كما يحتوي البرج على صمام كهرومغناطيسي للسيطرة على نسبة السائل الراجع إذ يقسم المقطر إلى

مخرجات ضبابية باستعمال المنطق الضبابي إذ يقوم هذا الجزء بالتوصل إلى نتائج عن طريق قاعدة المعرفة (rule base) التي تحتوي على قواعد شرطية بصيغة (IF....THEN)، هناك نوعان من نظام الاستدلال في المنطق الضبابي هما (Mamdani and Sugeno) وهذان النوعان يختلفان فيما بينهما في تحديد الناتج ففي النوع (Mamdani) هناك جزء الشرط (Then part) وهو مجموعة ضبابية أما في نوع (Sugeno) فالجزء التابع هو مختصر ويعد مجموعة خطية للمتغيرات الداخلة.

3. الموضح (Defuzzification) الخطوة الأخيرة في بناء نظام المنطق الضبابي هو تحويل المتغيرات الضبابية المجهزة من قواعد المنطق الضبابي إلى قيم حقيقية مرة أخرى، وهذه العملية تدعى بالتوضيح (Defuzzification) لأنها تقارن المجموعات الضبابية لتعطي إشارة حقيقية عندها تستعمل لأحداث فعل معين. قيمة الخارج النهائية لكل متغير هي رقم مفرد لذلك تجمع المجاميع الضبابية لتكون مدى معين من الخارج توضح بعدها لتعطي قيمة خارج مفردة (single output). مجموعة الموضح أيضا لها خمس مستويات مشابهة للمضبب.

#### السيطرة على برج التقطير

اختيار منظومة السيطرة الملائم هو أحد الاعتبارات المهمة في تصميم طريقة سيطرة ملائمة لبرج التقطير. هناك ستة أنواع رئيسية من منظومة السيطرة التي تستخدم في السيطرة على أبراج التقطير وهذه المنظومات هي :

- 1- نظام السيطرة على تركيز الناتج العلوي فقط.
- 2- نظام السيطرة على تركيز الناتج السفلي فقط.
- 3- نظام السيطرة على تركيز الناتج العلوي والناتج السفلي سوية.
- 4- نظام السيطرة على مستوى السائل في مرجل إعادة الغليان.
- 5- نظام السيطرة على مستوى السائل في خزان المقطر.
- 6- نظام السيطرة على ضغط البرج.

إشارة رقمية (ADC) Analog to Digital Converter) وبالعكس (DAC).

تستقبل وحدة الاتصال الإشارة من المزودج الحراري (Thermocouple) ويحولها إلى إشارة رقمية ويرسلها إلى الحاسوب الذي يحتوي على برنامج السيطرة وتتم معالجة الإشارة وإحداث فعل ضمن برنامج السيطرة وتَمَر الإشارة الرقمية الخارجة من الحاسوب عبر وحدة الاتصال ليحولها إلى إشارة تناظرية، وهذه الإشارة يمكن أن تسلط على صمام سيطرة أو السخان الكهربائي أو مضخة التغذية أو مضخة التفريغ.

حاسوب السيطرة مجهز ببرنامج (Pilot(Eng)) لتشغيل الجهاز الذي يحتوي على العديد من النواذف والأدوات إذ يمكن من خلال البرنامج اختيار مخطط لأي متغير مع الزمن وملاحظة الاستجابة كما يمكن اختيار حلقة السيطرة المطلوبة والتحويل من الوضع الأوتوماتيكي إلى الوضع اليدوي وبالعكس، ويقوم البرنامج بخزن البيانات وحفظها على الحاسوب ضمن ملف خاص يتضمن المتغيرات الداخلة والخارجة من البرنامج كافة بضمنها الوقت والتاريخ.

هذا الجهاز مجهز بمسيطر PID متعدد الحلقات (MULTI LOOP PID) وكما موضح أدناه:

- 1- الحلقة الأولى (1<sup>st</sup> Loop) تستعمل لتنظيم معدل جريان ماء التبريد المجهز للجهاز عن طريق المسيطر وبمعدل جريان يتراوح بين (0 - 250) لتر/ساعة.
- 2- الحلقة الثانية (2<sup>nd</sup> Loop) تستعمل لتنظيم الضغط الفراغي للبرج عن طريق المسيطر وبمعدل يتراوح (0 - 1000) ملي بار.
- 3- الحلقة الثالثة (3<sup>rd</sup> Loop) تستعمل للسيطرة على كمية المادة المغذية عن طريق السيطرة على عدد نبضات مضخة الحقن.
- 4- الحلقة الرابعة (4<sup>th</sup> Loop) تستعمل للسيطرة على قدرة التسخين المجهزة إلى السخان الكهربائي.

#### النتائج والمناقشة

يتضمن هذا الجزء مناقشة النتائج التي تم الحصول عليها من التجارب العملية والتي تبين السلوك الديناميكي لبرج

سائل راجع إلى البرج وناتج علوي للبرج. يسيطر على هذا الصمام باستعمال مؤقت إذ يعمل المؤقت على إعطاء زمن محدد ليفتح الصمام ويحول المقطر إلى ناتج علوي للبرج وزمن محدد ليغلق الصمام ويحول المقطر إلى سائل راجع للبرج. ويحتوي البرج أيضا على مضخة تغذية من نوع مضخات الحقن (Dosing pump) تضخ بمعدل جريان يتراوح بين (0.8 - 4) لتر/ساعة. ويحتوي برج التقطير المستخدم على ثلاث خزانات هي خزان تغذية اسطواناني حجمه 5 لتر مصنوع من زجاج البورسليكات وخزان للمقطر العلوي اسطواناني الشكل حجمه 1 لتر مصنوع من زجاج البورسليكات وخزان للمقطر السفلي اسطواناني الشكل حجمه 2 لتر مصنوع من زجاج البورسليكات.

ويحتوي البرج على مجموعة من المبادلات الحرارية ذات الأنبوب المزودج مصنوعة من حديد مقاوم للصدأ تستعمل لغرض تسخين النواتج وتبريدها إذ تستعمل لرفع درجة حرارة المادة المغذية وتقع أسفل البرج بجانب مرجل إعادة الغليان إذ تكون مرتبطة بالمرجل من الأعلى والأسفل وبداخلها أنبوب مفتوح من الأعلى لسحب المقطر السفلي الفائض من أسفل البرج ويدوره يمثل مسيطر يسيطر على مستوى السائل في مرجل إعادة الغليان ضمن الحد المطلوب. والثاني يستعمل لتبريد الناتج العلوي للبرج وتقع بعد صمام الراجع والثالث يستعمل لتبريد الناتج السفلي للبرج. وتقاس درجات الحرارة بواسطة ست متحسسات موزعة على طول البرج. هذه المتحسسات مرتبطة بمقاييس درجة حرارة رقمية تتراوح بين (0 - 199) م<sup>0</sup> موضوعة على لوحة السيطرة. ويحتوي برج التقطير على مقياس معدل جريان ماء التبريد يتراوح بين (0 - 250) لتر/ساعة وصمام سيطرة هوائي للسيطرة على معدل جريان ماء التبريد اللازم للمكثفة والمبادلات الحرارية ومحولات إشارة كهربائية إلى هوائية عدد (2). الشكل (1) يوضح برج التقطير المستعمل.

تتكون منظومة السيطرة من حاسبة شخصية (Personal Computer) ووحدة اتصال بين الجهاز والحاسبة (interface) الذي يتكون من محول إشارة تناظرية إلى

درجة حرارة المادة المغذية وزيادة معدل جريان التغذية يؤدي إلى توقف البخار الصاعد إلى أعلى البرج لمدة زمنية معينة، وبعدها يبدأ بالصعود عند أخذ حالة استقرار في درجة الحرارة إلى أن يصل إلى حالة الاستقرار، أما النتائج النظرية فلا تتضمن هذه الحالة لذلك لا تظهر خلال المقارنة إذ تتضمن فقط حالة الزيادة في معدل جريان التغذية إذ يبين تأثير الزيادة أوضح في استجابة أسفل البرج كما في شكل (3) إذ بينت المقارنة إن معدل مربع الخطأ هو (0.627) وإن سبب الاختلاف الموجود يعود إلى درجة حرارة المادة المغذية وكمية المادة المغذية. وعند حدوث الاضطرابات أعلاه في معدل جريان التغذية نلاحظ انخفاض درجة حرارة أسفل البرج وهذا يدل على الزيادة في تركيز الأيثانول الناتج من أسفل البرج بسبب إن كمية السائل النازل لأسفل البرج تكون أعلى من البخار الصاعد داخل البرج وكون درجة حرارة المادة المغذية بحدود 40°م يصبح تأثيرها عالياً عند معدل جريان التغذية العالي ويعود سبب هذا إلى أن البخار الصاعد بدرجة حرارة عالية يتلامس مع السائل النازل وبدرجة حرارة قليلة مما يؤدي إلى تقليل كمية البخار الصاعد نسبياً بتكثيفه وإرجاعه مع السائل النازل وتراكمه في الغلاية مما يؤدي إلى زيادة تركيز الأيثانول في الناتج من أسفل البرج.

تم إجراء اضطراب درجي في الكسر الوزني للمادة المغذية من (0.5) إلى (0.8) وبالعكس والأشكال (4) إلى (7) توضح استجابة درجة الحرارة في أعلى البرج وأسفله نتيجة للتغير في الكسر الوزني للمادة المغذية. أن التغير في الكسر الوزني للمادة المغذية يمثل أكثر الاضطرابات تأثيراً على سلوك برج التقطير إذ يؤدي إلى تغيير بنسبة عالية للتركيز داخل البرج (ضمن كل طبقة) ومن خلال التجارب العملية التي تم إجراؤها لوحظ أن درجة الحرارة عند قمة البرج تقريبا ثابتة أو قليلة التأثير عند إجراء اضطراب في تركيز المادة المغذية إذ بينت النتائج إن زيادة الكسر الوزني للمادة المغذية بنسبة (60%) ليس له أي تأثير قوي على درجات الحرارة في قمة برج التقطير التي بدورها تمثل نقارة المنتج، ويعزى سبب ذلك حالة الأيزوتروب الموجودة بين الأيثانول والماء التي تمثل نقطة التعادل بين تركيز البخار والسائل وأن معدل مربع الخطأ في قمة البرج لزيادة

التقطير المستعمل لفصل خليط (إيثانول - ماء) ومقارنة النتائج العملية والنتائج النظرية التي تم الحصول عليها من برنامج المحاكاة المستعمل في هذه الدراسة كما تم عمل محاكاة طرق سيطرة مختلفة (PI, PID and Fuzzy control) على الأنموذج الديناميكي المطور لبرج التقطير وملاحظة النتائج ومقارنتها.

### ديناميكية برج التقطير

أجريت دراسة السلوك الديناميكي لبرج التقطير من خلال قياس الاستجابة لاضطراب درجي في معدل جريان المادة المغذية وتركيز المادة المغذية ونسبة السائل الراجع وذلك بقياس الاستجابة لدرجات الحرارة في أعلى البرج وأسفله. تم حساب معدل مربع الخطأ (Mean Square Error) لكل تجربة لبيان نسبة الخطأ بين النتائج النظرية والعملية وحسب المعادلة الآتية:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (X(sim) - X(exp))^2 \dots\dots\dots(10)$$

تم إجراء تجارب عملية وذلك بتغيير درجي في معدل جريان التغذية مقداره 85% (من 2 إلى 3.7 كغم/ساعة) وتبين الأشكال (2) إلى (3) استجابة درجة الحرارة أعلى برج التقطير وأسفله ومن خلال المقارنة بين النتائج النظرية والعملية لاستجابة درجة الحرارة في أعلى البرج إن قيمة معدل مربع الخطأ هو (0.0034)، أما مقارنة النتائج النظرية والعملية لأسفل برج التقطير فيبين أن قيمة معدل مربع الخطأ هي (0.096) وهذا يدل على توافق جيد بين النتائج النظرية والعملية مما يدل على التمثيل الجيد لبرج التقطير باستعمال برنامج المحاكاة وأن سبب هذا الاختلاف البسيط هو أن الأنموذج الرياضي استند إلى معدلات مشتقة تجريبياً لحساب توازن البخار والسائل وكذلك لحساب درجة حرارة الطبقة التي فيها نسبة من الخطأ، وكذلك استند إلى بعض الفرضيات. وإن سبب الاختلاف بين النتائج هو أن المادة المغذية تسخن باستعمال مبادلة حرارية الواقعة أسفل البرج التي هي جزء من الأنبوب الذي يستعمل للسيطرة على المستوى في أسفل البرج وعند إعطاء زيادة في معدل جريان التغذية يؤدي إلى نقصان في درجة حرارة المادة المغذية في بداية الاضطراب إلى أن يبدأ الناتج السفلي بالزيادة مروراً بالمبادلة وبدوره يؤدي إلى زيادة درجة حرارة المادة المغذية وعند نقصان



للمكثفة (15 و 16.5 م°) على التوالي وبعد حدوث الاضطراب والوصول إلى حالة الاستقرار الجديدة لوحظ إن درجة حرارة الماء الخارج من المكثفة كان (15 و 17 م°) وهذا يفسر زيادة البخار المكثف داخلها. أما في أسفل البرج فان الفرق واضح بين النتائج النظرية والعملية في بداية الاضطراب إذ إن معدل مربع الخطأ هو (0.49) وسبب ذلك هو أن برنامج المحاكاة المصمم يستند إلى فرضية إن معدل السائل النازل من الطبقات فوق خط التغذية مساوي لكمية السائل الراجع للبرج وهذا يسبب سرعة في استجابة درجة الحرارة لأسفل البرج كما في شكل(8).

#### محاكاة السيطرة على برج التقطير

تم بناء برنامج المحاكاة لبرج التقطير باستعمال برنامج ماتلاب/ سميولنك (Matlab/Simulink) الذي هو برنامج نمذجة الأنظمة الديناميكية ومحاكاتها وتحليلها سواء كانت خطية أم غير خطية ويقوم أيضا بنمذجة الأنظمة سواء في الزمن المستمر والزمن غير المستمر، وباستخدام السميولنك يمكن بناء نماذج من البداية أو التعديل على نماذج موجودة بالفعل والفائدة من ذلك هي دراسة خصائص السيطرة والحالة الديناميكية. تم بناء الأنموذج الرياضي لبرج التقطير على شكل مجموعة من الأنظمة، كل نظام يمثل طبقة من طبقات البرج، وهذه الأنظمة متصلة فيما بينها، وكل نظام مكون بمجموعة من الأنظمة الفرعية (subsystems) التي تمثل معادلات الأنموذج الرياضي لبرج التقطير التي تم اشتقاقها. تم بناء الأنموذج الرياضي لبرج التقطير على شكل مجموعة من الأنظمة، كل نظام يمثل طبقة من طبقات البرج، وهذه الأنظمة متصلة فيما بينها، وكل نظام مكون بمجموعة من الأنظمة الفرعية (subsystems) التي تمثل معادلات الأنموذج الرياضي لبرج التقطير وبين الشكل رقم (16) أنموذج التمثيل الرياضي التفصيلي لبرج التقطير. وتم إجراء عليه محاولات متعددة لاستخراج قيم معاملات المسيطر التقليدي (PID) باستخدام طريقي (Cohen-Coon) والمحاولة والخطأ.

بعد تشغيل الأنموذج الديناميكي الذي تم تطويره باستعمال السميولنك وتحديد مدى استجابة النظام لبعض التغيرات يتم بناء منظومة سيطرة لهذا الأنموذج باستعمال طريق

الكسر الوزني للمادة المغذية هو (0.0063) أما في أسفل البرج فأن معدل مربع الخطأ هو (0.354) وأن الفرق بين النتائج النظرية والعملية واضح في بداية الاضطراب ويحدود (1 م°) وعند حدوث الاضطرابات أعلاه في تركيز المادة المغذية نلاحظ انخفاض درجة حرارة أسفل البرج، وهذا يدل على الزيادة في تركيز الأيثانول الناتج من أسفل البرج بسبب أن تركيز السائل النازل لأسفل البرج يكون عالياً وخصوصاً في منطقة التغذية التي هي قريبة من أسفل البرج وهذه مسافة غير كافية لتبخير جميع الأيثانول الداخل للبرج ضمن خليط التغذية وعليه فان الأيثانول النازل للغلاية يكون تركيزه عالياً وهذا بدوره سوف يؤدي إلى زيادة في تركيز الأيثانول في الناتج السفلي. أما في حالة الاضطراب العكسي في الكسر الوزني للمادة المغذية فان الفرق أوضح من الحالة السابقة في أسفل البرج إذ إن معدل مربع الخطأ بين النتائج هو (0.35) أما استجابة أعلى البرج فهي ثابتة تقريباً وأن معدل مربع الخطأ لها هو (0.0063) ويعزى سبب الثبوت هذا إلى حالة الأيزوتروب الموجودة في أعلى البرج.

تم إجراء اضطراب درجي في نسبة السائل الراجع للبرج من (3) إلى (4) والشكلين (8) و (9) توضح استجابة درجة الحرارة في أعلى البرج وأسفل البرج نتيجة للتغير في نسبة السائل الراجع. ومن خلال التجارب العملية التي تم إجراؤها لوحظ أن الاختلاف في درجة الحرارة غير واضح عند نسب الراجع العالية إذ بينت إن زيادة نسبة الراجع أكثر من 50% ليس له أي تأثير يذكر على درجات الحرارة للطبقات التي بدورها تمثل نقاوة المنتج إذ إن معدل مربع الخطأ في أعلى البرج هو (0.0013) وهذا يدل على تطابق شديد بين النتائج النظرية والعملية ويزيادة نسبة الراجع عن الحد الأدنى تزداد نقاوة المنتج العلوي للبرج ولكن لا تتعدى حدود 95% (نسبة وزنيه) التي تمثل نقطة التعادل بين تركيز البخار والسائل (نقطة الأيزوتروب). الزيادة التي تحصل في نسبة الراجع تؤدي إلى زيادة التبخير وهذا يؤدي إلى زيادة الحمل على المكثفة ويمكن ملاحظة ذلك من خلال درجة حرارة الماء الداخل والخارج للمكثفة عند حالة الاستقرار الابتدائية(قبل حدوث الاضطراب) تكون درجة حرارة الماء الداخل والخارج

إشارة الخطأ موجودة، وبعد إلغاء الاضطراب فإن المسيطر يعود إلى حالته قبل الاضطراب بتغير في الفعل التناسبي أما الفعل التكاملي فلا يظهر له أي تأثير في هذه الحالة لأن إشارة الخطأ تكون صفراً. من خلال المحاولات التي تم إجراؤها عند قيم مختلفة لثوابت المسيطر لوحظ أن أداء المسيطر يقل والتذبذب يزداد كلما قل ثابت زمن التكامل ( $\tau_i$ ) وبهذا يكون المسيطر غير جيد بسبب التذبذب الحاصل في المتغير المسيطر عليه، لذلك يستخدم زمن تكامل عالٍ نسبياً لإلغاء هذا التذبذب وزيادة أداء المسيطر.

#### المسيطر التناسبي التكاملي التفاضلي (PID)

تم إجراء عدد من المحاولات على برنامج المحاكاة المصمم لنظام السيطرة التناسبي التكاملي التفاضلي (PID) عند قيم مختلفة من ثوابت المسيطر لاضطراب درجي في القيمة المرغوبة والشكلين (12) و (13) توضح الاستجابة لتركيز الناتج العلوي لمنظومات السيطرة المستخدمة لهذا المسيطر، وكذلك تم إجراء عدد من المحاولات عند اضطراب درجي في معدل جريان المادة المغذية مقداره 50% واضطراب درجي في الكسر الوزني للمادة المغذية مقداره 60% وحساب معدل مربع الخطأ لكل محاولة، والجدول (3) يوضح قيم معدل مربع الخطأ لكل محاولة إذ لوحظ إن هذا المسيطر أفضل من المسيطر (PI) إذ يتخلص من الانحراف (Offset) بوقت قصير نسبياً ويعزى سبب ذلك إلى أن الطور التكاملي يقوم بعملية ضبط لإلغاء الانحراف الموجود بعد الاضطراب، أما الفعل التفاضلي فيقلل من الحساسية التي لا تؤثر على الانحراف مما يقلل سعة التذبذب والزمن اللازم للوصول إلى القيمة المرغوبة. من خلال المحاولات التي تم إجراؤها لضبط مقاييس المسيطر لوحظ أن أكثر المقاييس تأثيراً على سلوك المسيطر هو الزمن التكاملي إذ كلما زاد زمن التكامل زادت الاستجابة نسبياً، وزاد أداء المسيطر، إما المقاييس الأخرى فهي قليلة التأثير مقارنةً بزمن التكامل، ويمكن ملاحظة ذلك من خلال الأشكال وقيم معدل مربع الخطأ إذ لوحظ في بعض المحاولات إن الاستجابة متطابقة تماماً مما يوضح إن تغيير كسب المسيطر التناسبي أو الزمن التفاضلي يكون قليل التأثير جداً مقارنةً بالزمن التكاملي.

السيطرة التقليدية (PID & PI) وطريقة السيطرة الضبابية (Fuzzy logic) وبيبين الشكلين (17) و(18) منظومات السيطرة. تم إجراء تجارب متعددة على البرنامجين وكما مبين في الأشكال (13) إلى (18) باستخدام برنامج المحاكاة لمنظومات السيطرة لطريقة السيطرة الضبابية وطريقة السيطرة التقليدية.

استعمل في هذا الجزء طريق السيطرة التقليدية (PID & PI) وطريقة السيطرة الضبابية للسيطرة على تركيز الناتج العلوي والناتج السفلي لبرج التقطير وتطبيقها على نموذج المحاكاة المطور باستعمال برنامج ماتلاب/سيميلونك لبيان إمكانية تحسين طريقة السيطرة على برج التقطير. استعملت المحاكاة لضبط مقاييس المسيطرات إذ تم ضبط مسيطر (PI) ومسيطر (PID) باستعمال طريقة (Cohn-coon) لتجارب الحلقة المفتوحة بتغير في الكسر الوزني للمادة المغذية من (0.5) إلى (0.8). والجدول (1) يوضح المقاييس لمسيطرات (PI) ومسيطرات (PID) ومن خلال المحاولات لوحظ أن هذه المقاييس لا تعطي نتائج جيدة بالمقارنة مع المقاييس التي تم اختيارها يدوياً لذلك تم ضبط المسيطرات باستعمال طريقة المحاولة والخطأ .

#### المسيطر التناسبي التكاملي (PI)

تم إجراء عدد من المحاولات على برنامج المحاكاة المصمم لنظام السيطرة التناسبي التكاملي (PI) عند قيم مختلفة من ثوابت المسيطر لاضطراب درجي في القيمة المرغوبة والشكلين (10) و (11) توضح الاستجابة لتركيز الناتج العلوي لمنظومات السيطرة المستخدمة لهذا المسيطر وكذلك تم إجراء عدد من المحاولات عند اضطراب في معدل جريان المادة المغذية مقداره 50% واضطراب درجي في الكسر الوزني للمادة المغذية مقداره 20% وحساب معدل مربع الخطأ لكل محاولة والجدول (2) يوضح قيم معدل مربع الخطأ لكل محاولة ومن خلال المحاولات لوحظ إن هذا المسيطر ترك نوعاً من الانحراف (Offset) في البداية وتذبذباً عالياً نوعاً ما قبل الوصول إلى حالة الاستقرار ويعزى سبب ذلك إلى إن الطور التناسبي يبدأ بإحداث فعل مفاجئ يتناسب مع إشارة الخطأ وبعدها يبدأ الطور التكاملي بتكامل إشارة الخطأ مع الزمن وهذا يجعل فعل المسيطر يزداد بمعدل ثابت مع الزمن طالما بقيت

المسيطر الضبابي

المغذية. كما إن الأنموذج الديناميكي المطور لبرج التقطير يعطي نتائج جيدة واستجابة أسرع من الاستجابة العملية للجهاز وذلك لأنه مبني على حلول المعدلات نظرياً. الفرق بين النتائج النظرية والعملية بحدود (0.1 م°) في درجة حرارة قمة البرج وذلك بسبب حالة الأيزوتروب الموجودة بين الأيثانول والماء والفرق بين النتائج النظرية والعملية لدرجات الحرارة في أسفل برج التقطير بحدود (1 م°) . تطبيق طريقة السيطرة التقليدية (PI) على أنموذج المحاكاة المطور يعطي نتائج جيدة ومن خلال عملية ضبط المقاييس وجد أن الزمن التكاملي أكثر المقاييس تأثيراً على استجابة المسيطر، وفي هذه الطريقة نوع من التذبذب عند الوصول إلى حالة الاستقرار وتطبيق طريقة السيطرة التقليدية (PID) على أنموذج المحاكاة المطور يعطي نتائج أفضل من المسيطر (PI) من خلال سرعة الاستجابة وإلغاء التذبذب. تم تطبيق طريقة السيطرة الضبابية على أنموذج المحاكاة المطور ولوحظ تحسناً في عملية السيطرة من خلال سرعة الاستجابة والوصول إلى القيمة المرغوبة وإلغاء الاضطرابات وعند مقارنتها مع السيطرة التقليدية كان الفرق واضحاً من خلال منحني الاستجابة ومن خلال قيمة معدل مربع الخطأ وتكامل مربع الخطأ. إن السيطرة على تركيز الناتج العلوي فقط أسهل وأسرع استجابة من السيطرة على تركيز الناتج العلوي والسفلي معا وذلك بسبب الترابط بين المتغيرات.

المصادر

- 1- Balchen J. G. and Sandrib B. "Elementary nonlinear decoupling control of composition in binary distillation columns", J. Proc. Cont., Vol. 5, No. 4, pp. 241-247, 1995.
- 2- Rhinehart R. R. and Dutta P. " Application of neural network control to distillation and an experimental comparison with other advanced controllers", ISA Transactions, Vol. 38, pp. 251-278, 1999.
- 3- Trejo J. G., Ramirez J. A. and Fernandez G. "Robust Control with Uncertainty Estimation for Feedback Linearizable Systems: Application to Control of Distillation Columns", J. Proc. Cont., Vol. 9, pp. 221-231, 1999.

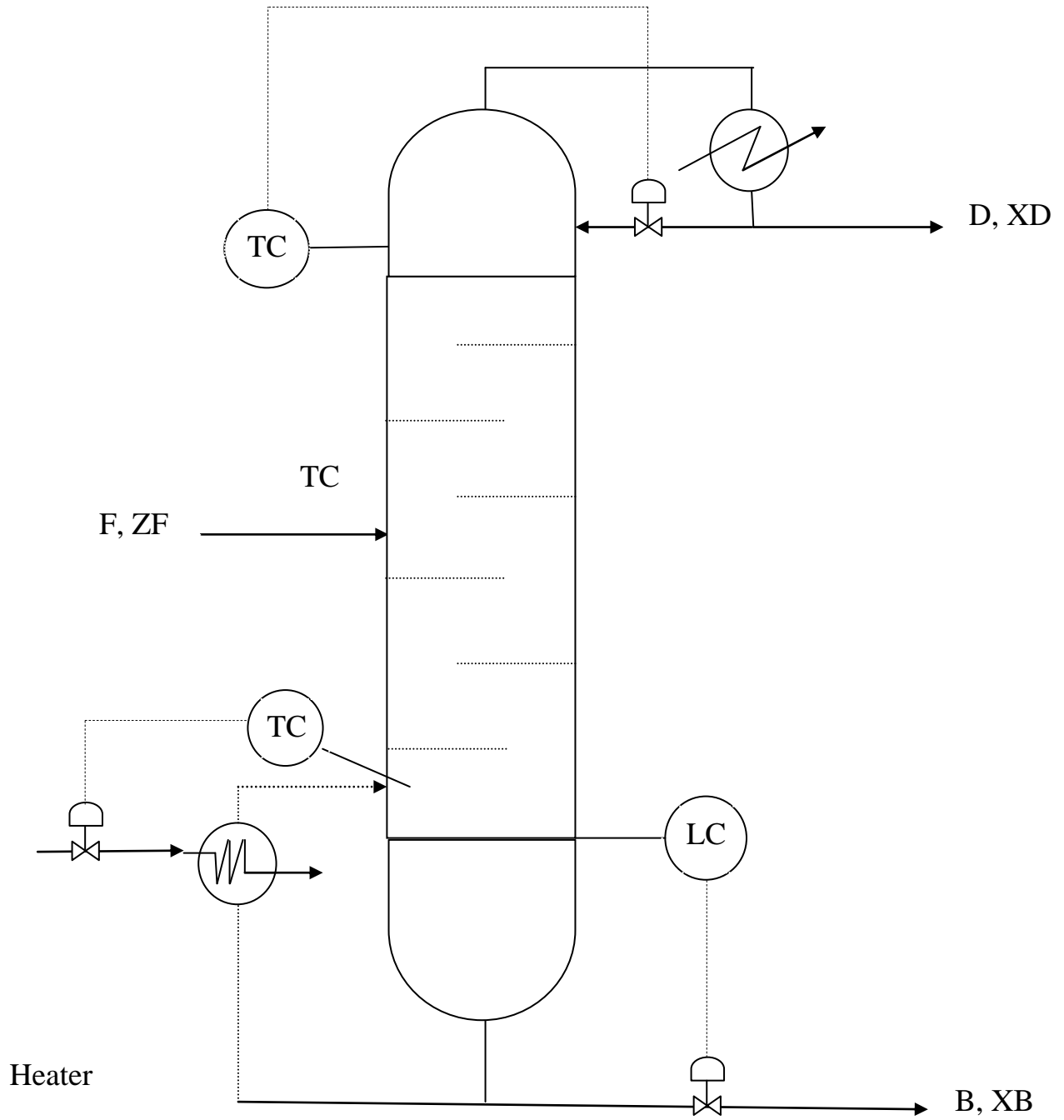
تم إجراء عدد من المحاولات على برنامج المحاكاة المصمم لنظام السيطرة الضبابية لاضطراب درجي في القيمة المرغوبة ومعدل جريان المادة المغذية والكسر الوزني للمادة المغذية وحساب معدل مربع الخطأ وتكامل مربع الخطأ لكل محاولة ومقارنتها مع طريقة السيطرة التقليدية (PID) والشكلين (14) و (15) توضح مقارنة الاستجابة لتركيز الناتج العلوي للسيطرة الضبابية والتقليدية، ومن خلال المحاولات التي تم إجراؤها على برنامج المحاكاة لنظام السيطرة الضبابية لوحظ أن هذا المسيطر أفضل من المسيطر التقليدية إذ يصل إلى القيمة المرغوبة بوقت أسرع من المسيطر التقليدية وذلك بسبب أن المسيطر الضبابي مبني على دوال منطقية تعطي فعل خارج متوافق مع الخطأ الداخل وهذا يؤدي إلى سرعة في الاستجابة بالمقارنة مع المسيطر الأخرى التي يكون فيها الفعل الخارج تدريجياً مع الوقت ولكن المسيطر الضبابي يحدث فيه نوع من القفزات (Overshot) أعلى من القيمة المرغوبة وبقاء نوع من التذبذب البسيط حول القيمة المرغوبة. والجدول (4) يوضح مقاييس مسيطر المنطق الضبابي التي تم ضبطها باستعمال طريقة المحاولة والخطأ.

بينت استجابات السيطرة الضبابية تحسناً في السيطرة على تراكيز الناتج العلوي والسفلي لبرج التقطير بتقليل الوقت المستغرق للوصول إلى القيمة المرغوبة وإلغاء الاضطرابات إذ بينت نتائج قياس الأداء أن مسيطر المنطق الضبابي أكثر أداء من المسيطر التقليدية. تم حساب أداء المسيطر باستعمال طريقة معدل مربع الخطأ وطريقة تكامل مربع الخطأ (Integral Square Error) والجدول (5) يوضح قيم معدل مربع الخطأ لكل محاولة.

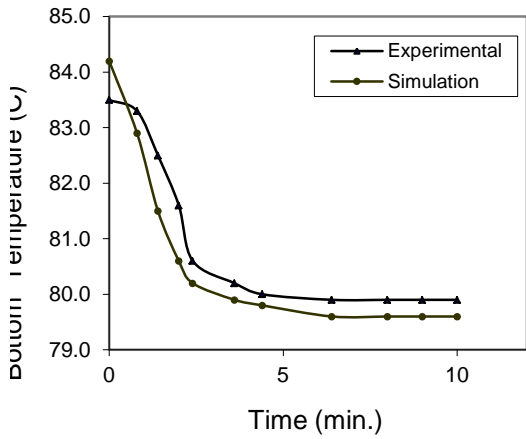
الاستنتاجات

من خلال دراسة السلوك الديناميكي لبرج التقطير لوحظ أن المتغيرات المؤثرة على برج التقطير هي معدل جريان المادة المغذية والكسر الوزني للمادة المغذية ونسبة السائل الراجع وكمية الحرارة المجهزة للغلاية وأن أكثر هذه المتغيرات تأثيراً على برج التقطير هو الكسر الوزني للمادة

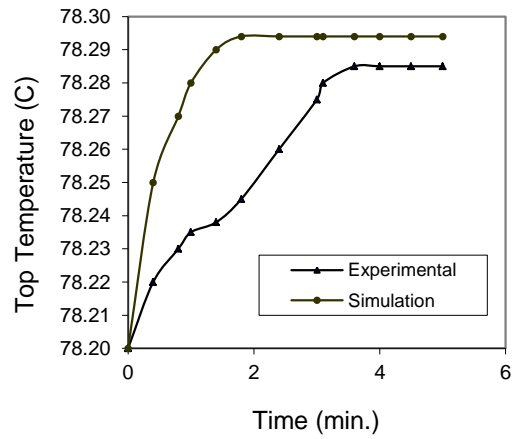
- using LabVIEW and SIMULINK Tools", World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 34, 2007.
- 14- Jana A. K. "Chemical Process Modelling and Computer Simulation", Prentice Hall of India Private Ltd, New Delhe-110001, pp. 60, 2008.
- 15- Bui V.A., Vub L.T.T. and Nguyen M.H. " Simulation and Optimization of Direct Contact Membrane Distillation for Energy Efficiency", Desalination Vol. 259, pp. 29–37, 2010.
- 16- Canete J. F., Orozco P. D. and Gonzalez S. " Distillation Monitoring and Control using LabVIEW and SIMULINK Tools", World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 34, 2007.
- 17- Hori E. S. and Skogestad S. "Selection of Control Structure and Temperature Location for Two Product Distillation Column", Trans IChemE, Vol. 85, pp. 293–306, 2007.
- 18- Wang S. and Wong D. S.H. "Control of Reactive Distillation Production of High-Purity Isopropanol", J. Proc. Cont., Vol. 16 pp. 385–394, 2006.
- 19- قتيبة مازن عبد المجيد "استخدام الذكاء الصناعي في تطبيقات الهندسة الكهربائية" أطروحة ماجستير ، الأكاديمية العربية في الدنمارك، 2009.
- 20- Yasin N .M. " Incipient Fault Diagnosis Of Power Transformer Using Fuzzy Logic ،"Msc. Thesis College of Electrical and Electronic Techniques, 2007.
- 4- van Lith P. F, Betlem B. H.L. and Betlem B. Betlem "Combining prior knowledge with data driven modeling of a batch distillation column including start-up", Comp. Chem. Eng. Vol. 27, pp.1021-1030, 2003.
- 5- Filetia A. M. F., Antunesa A. J. B., Silvaa F. V., V. Silveira and Pereira J. A. F. R. 'Experimental Investigations on Fuzzy Logic for Process Control", Control Engineering Practice, Vol. 15, pp. 1149–1160, 2007.
- 6- Savkovic J. and Durovic J. " An Inverse Model of the Fuzzy Logic Controller of the Distillation Column", Comp. Ecol. Eng. Vol. 4(1), pp.23-31, 2008.
- 7- Sivakumar R., Manic K. S., Nerthiga V., Akila R. and Balu K. " Application of Fuzzy Model Predictive Control in Multivariable Control of Distillation Column", International Journal of Chemical Engineering and Applications, Vol. 1, No. 1, 2010.
- 8- Rico F. B., Zafrillab J. M. G. and Díeza J. L. "Modelling and Control of a Continuous Distillation Tower Through Fuzzy Techniques", Chem. Eng. Res. Des.,CHERD-519, 2010.
- 9- Shin Y. and Xu C. "A self-tuning fuzzy controller for a class of multi-input multi-output nonlinear systems", Eng. App. Art. Int., Vol. 24, pp.238–250, 2011.
- 10- Kano M., Showchaiya N., S. Hasebe and Hashimoto I. " Inferential Control of Distillation Compositions: Selection of Model and Control Configuration", Control Engineering Practice, Vol. 11, pp. 927–933, 2003.
- 11- Alpbaz M., Karacan S., Cabbar Y. and Hapoglu H. "Application of Model Predictive Control and Dynamic Analysis to a Pilot Distillation Column and Experimental Verification", Chem. Eng. J. Vol. 88, pp.163–174, 2002.
- 12- Fabro J. A., Arruda L.V.R. and Neves F. " Startup of a Distillation Column Using Intelligent Control Techniques", Comp. Chem. Eng., Vol. 30, pp. 309-320, 2005.
- 13- Canete J. F., Orozco P. D. and Gonzalez S. " Distillation Monitoring and Control



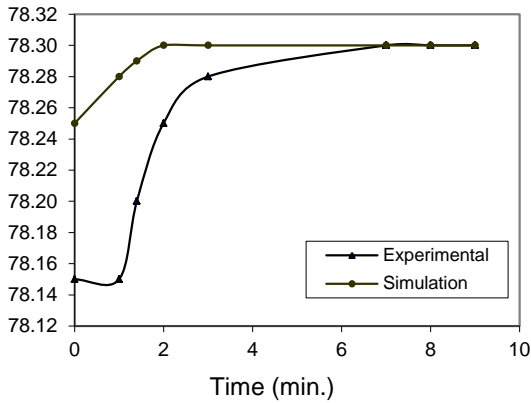
شكل (1) رسم تخطيطي لبرج التقطير.



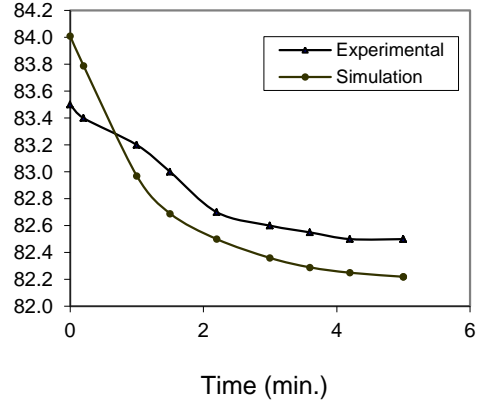
شكل (5) المقارنة بين الاستجابة العملية والنظرية لدرجة حرارة أسفل البرج لتغير درجي في الكسر الوزني للمادة المغذية من 0.5 إلى 0.8.



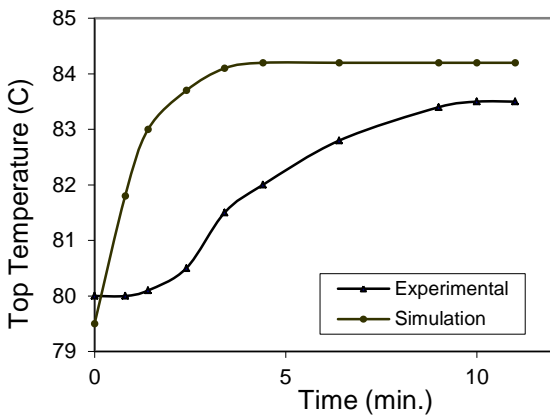
شكل (2) المقارنة بين الاستجابة العملية والنظرية لدرجة حرارة قمة البرج لتغير درجي في معدل جريان التغذية من 2 إلى 3.7 كغم/ساعة.



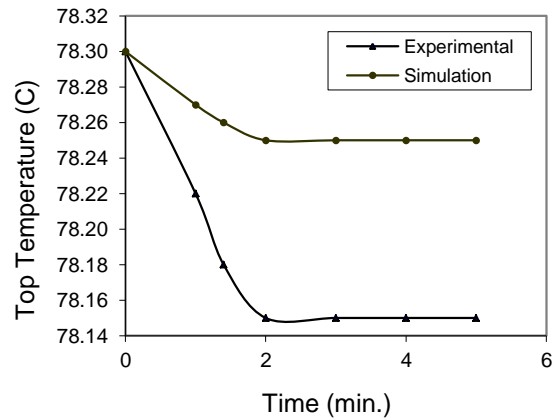
شكل (6) المقارنة بين الاستجابة العملية والنظرية لدرجة حرارة قمة البرج لتغير درجي في الكسر الوزني للمادة المغذية من 0.5 إلى 0.8.



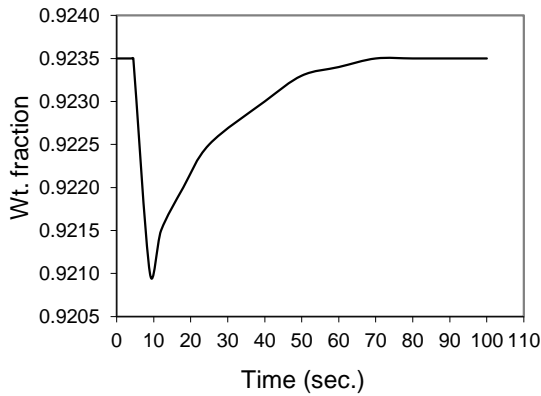
شكل (3) المقارنة بين الاستجابة العملية والنظرية لدرجة حرارة أسفل البرج لتغير درجي في معدل جريان التغذية من 2 إلى 3.7 كغم/ساعة.



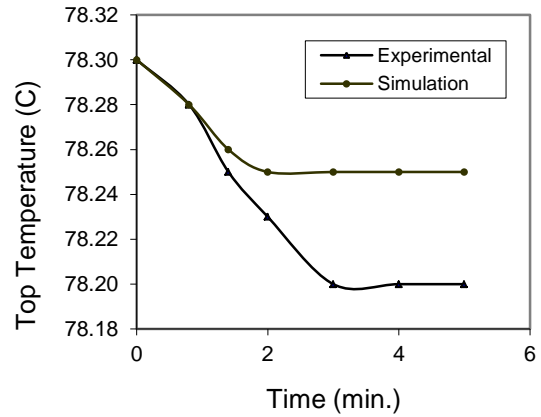
شكل (7) المقارنة بين الاستجابة العملية والنظرية لدرجة حرارة أسفل البرج لتغير درجي في الكسر الوزني للمادة المغذية من 0.5 إلى 0.8.



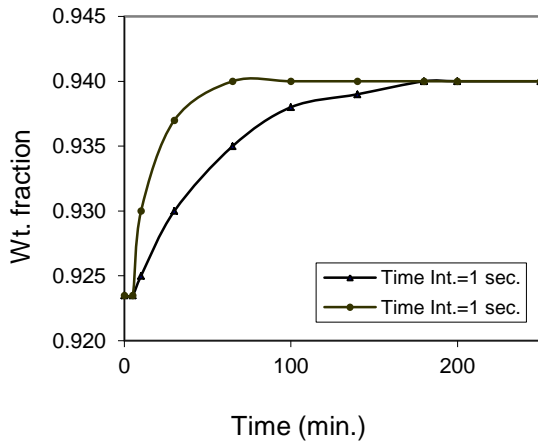
شكل (4) المقارنة بين الاستجابة العملية والنظرية لدرجة حرارة قمة البرج لتغير درجي في الكسر الوزني للمادة المغذية من 0.5 إلى 0.8.



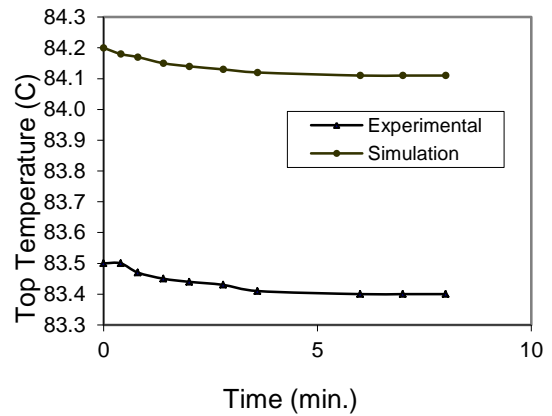
شكل (11) استجابة المسيطر التقليدي (PI) عند اضطراب درجي في معدل جريان المادة المغذية من 2 إلى 3 كغم/ساعة.



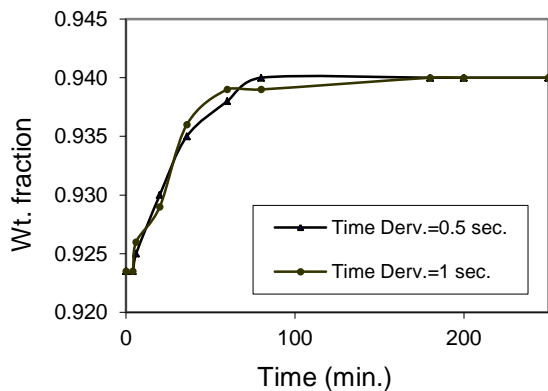
شكل (8) المقارنة بين الاستجابة العملية والنظرية لدرجة حرارة قمة البرج لتغير درجي في نسبة السائل الراجع من 3 الى 4.



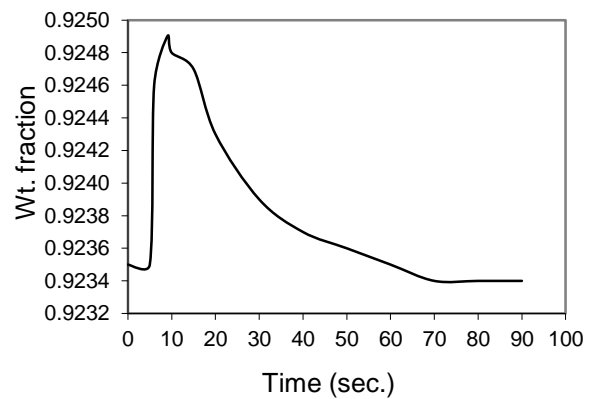
شكل (12) استجابة المسيطر التقليدي (PID) لقيم مختلفة من الزمن التكاملي عند ثبوت كسب المسيطر التناسبي والزمن التفاضلي المرغوبة لتركيز الناتج العلوي من 0.9235 إلى 0.94.



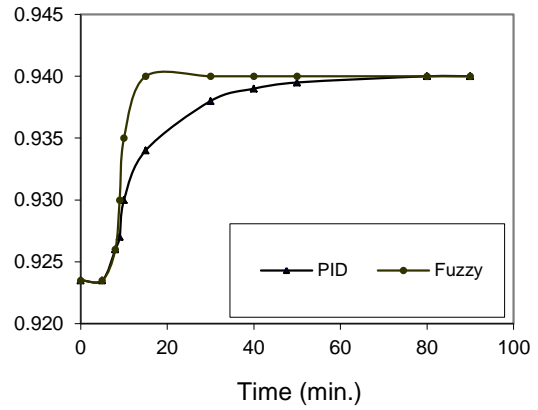
شكل (9) المقارنة بين الاستجابة العملية والنظرية لدرجة حرارة أسفل البرج لتغير درجي في نسبة السائل الراجع من 3 الى 4.



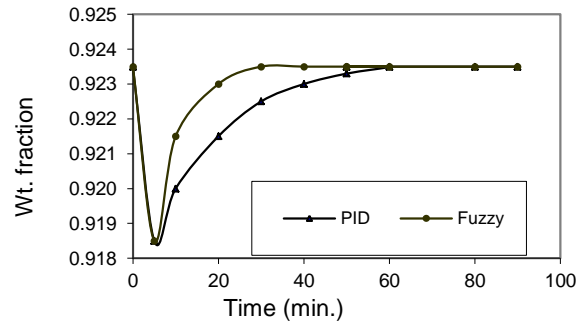
شكل (13) استجابة المسيطر التقليدي (PID) لقيم مختلفة من ثابت الزمن التفاضلي عند ثبوت كسب المسيطر التناسبي وثابت الزمن التكاملي المرغوبة لتركيز الناتج العلوي من 0.9235 إلى 0.94.



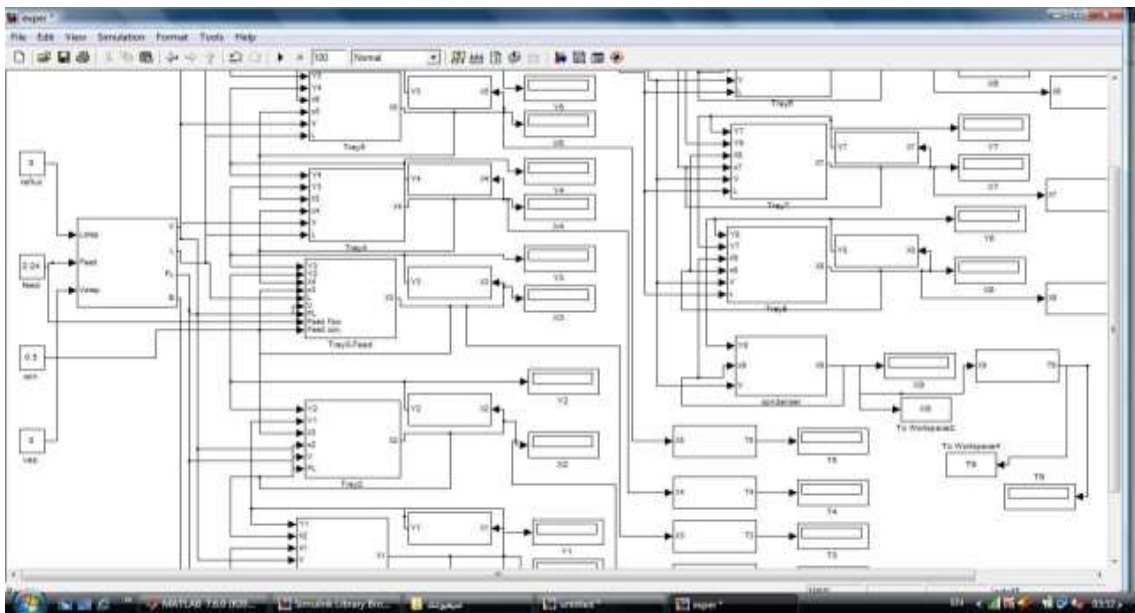
شكل (10) استجابة المسيطر التقليدي (PI) عند اضطراب درجي في الكسر الوزني للمادة المغذية من 0.5 إلى 0.6.



شكل (14) مقارنة بين استجابة السيطرة الضبابية واستجابة السيطرة التقليدية لتغير درجي في القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي من 0.9235 إلى 0.94.

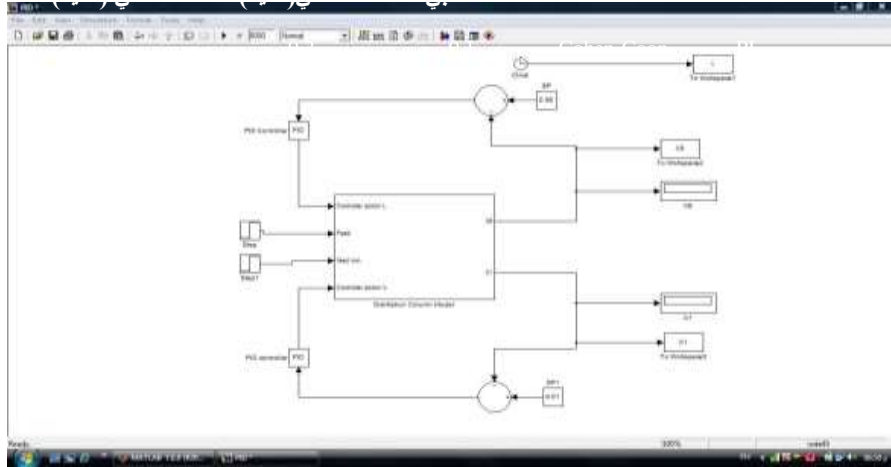


شكل (15) مقارنة بين استجابة السيطرة الضبابية واستجابة السيطرة التقليدية لتغير درجي في معدل جريان المادة المغذية من 2 إلى 4 كغم/ساعة.

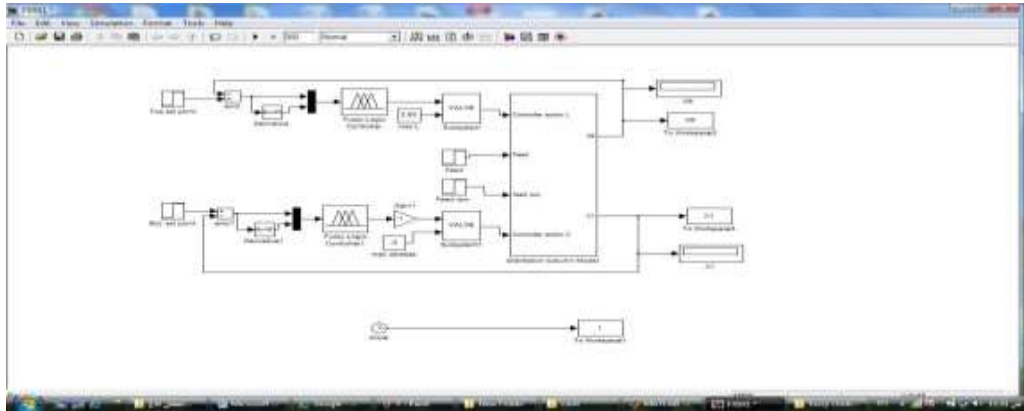


شكل (16) أنموذج التمثيل الرياضي التفصيلي لبرج التقطير.





شكل (17) منظومة السيطرة التقليدية المطورة.



شكل (18) منظومة السيطرة الضبابية.

جدول (1) مقاييس المسيطرات التقليدية

المسيطر	الطريقة	كسب المسيطر التناسبي	ثابت الزمن التكاملي (ثانية)	ثابت الزمن التفاضلي (ثانية)
PI	Cohen-Coon	0.1	0.2	-
PID	Cohen-Coon	0.3	0.2	0.03
PI	المحاولة والخطأ	2	4	
PID		3	4.8	0.77

## جدول (2) قيم معدل مربع الخطأ لمحاولات طريقة السيطرة التقليدية (PI)

معدل مربع الخطأ ( $10 \times 7$ )	ثابت الزمن التكاملي (ثانية)	كسب المسيطر	الاضطراب	
			قيمة التغيير (من-الى)	الموقع
311	1	1	0.9235-0.94	القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي
153	2	1	0.9235-0.94	القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي
102	3	1	0.9235-0.94	القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي
306	1	2	0.9235-0.94	القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي
151	2	2	0.9235-0.94	القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي
100	3	2	0.9235-0.94	القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي
72.6	4	2	0.9235-0.94	القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي
1.6	4	2	0.5-0.6	الكسر الوزني للمادة المغذية
6.31	4	2	2-3	معدل جريان المادة المغذية كغم/ساعة

## جدول (3) قيم معدل مربع الخطأ لمحاولات طريقة السيطرة التقليدية (PID)

معدل مربع الخطأ ( $10 \times 7$ )	ثابت الزمن التفاضلي (ثانية)	ثابت الزمن التكاملي (ثانية)	كسب المسيطر	الاضطراب	
				قيمة التغيير (من-الى)	الموقع
309	0.1	1	1	0.9235-0.94	القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي
200	0.5	1	1	0.9235-0.94	القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي
157	0.5	2	1	0.9235-0.94	القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي
304	0.7	1	2	0.9235-0.94	القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي
154	0.7	2	2	0.9235-0.94	القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي
106	0.7	3	2	0.9235-0.94	القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي
152	0.7	2	3	0.9235-0.94	القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي
105	0.7	3	3	0.5-0.6	الكسر الوزني للمادة المغذية
81.8	0.7	4	3	2-3	معدل جريان المادة المغذية كغم/ساعة
129	1	4.5	4	0.9235-0.94	القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي
127	1.7	4.5	4	0.9235-0.94	القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي
126.6	1.7	4.5	5	0.9235-0.94	القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي
113	1.7	5	5	0.9235-0.94	القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي

## جدول (4) مقاييس المسيطرات الضبابية المستخدمة

المدى		المقاييس
الى	من	
0.08	-0.08	إشارة الخطأ
1	-1	معدل التغيير في الخطأ
0.3	-0.3	الفعل الخارج

## جدول (5) قيم معدل مربع الخطأ وتكامل الخطأ لمحاولات طريقة السيطرة التقليدية والضبابية

تكامل مربع الخطأ		معدل مربع الخطأ		الاضطراب	
السيطرة التقليدية	السيطرة الضبابية	السيطرة التقليدية ( $\times 10^{-7}$ )	السيطرة الضبابية ( $\times 10^{-7}$ )	قيمة التغيير (من-إلى)	الموقع
0.067	0.33	142	69.8	0.94-0.9235	القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي
0.164	0.094	310	183	0.94-9235	القيمة المرغوبة لتركيز الناتج العلوي
0.0024	0.00097	5.46	2.1	2-3	معدل جريان المادة المغذية كغم/ساعة
0.01	0.0039	19.7	7.3	2-4	معدل جريان المادة المغذية كغم/ساعة
0.022	0.011	55.4	24.7	0.94-0.9235	الكسر الوزني للمادة المغذية
0.0083	0.004	20.5	11	0.94-9235	الكسر الوزني للمادة المغذية