

مقارنة أداء نظام تحكم بضخ المياه باستخدام منظمات التصحيح، PID والمتحكم الضبابي

م. مرح علي وسوف*

(تاريخ الإيداع 2021/ 11/3 . قُبِلَ للنشر في 2022/6/30)

□ ملخص □

تمّ في هذا البحث تصميم نظام تحكم بضخ المياه في الأنابيب، من خلال التحكم بسرعة دوران المضخة باستخدام مبدل ترددي Frequency Converter مقاد بواسطة متحكم رقمي، وقد تمّ ضبط الثوابت ومعايرتها تجريبياً. تمّت محاكاة نظام التحكم بضخ المياه في البيئة البرمجية Matlab/Simulink/Simscape، حيث تمّ استنتاج توابع النقل لكل مكونات النظام، واختبار النموذج المصمّم باستخدام أنواع مختلفة من المتحكمات كإضافة منظمات التصحيح، منظم الـ PID والمتحكم الضبابي Fuzzy logic controller، وحساب دلائل الجودة للاستجابة الزمنية في كل حالة، وقد أوضحت نتائج الاختبار أنّ إضافة المتحكم الضبابي Fuzzy logic controller لنظام التحكم حقق أفضل النتائج، حيث تمّ تخفيض قيمة التجاوز الأعظمي إلى 0.679% وزمن الاستقرار إلى 0.006 sec، كما تمّ الحفاظ على تدفق مياه ثابت على الرغم من تغير كمية الاستهلاك خلال فترات زمنية مختلفة.

الكلمات المفتاحية: تحكم بضخ المياه - Fuzzy logic controller - frequency convertte - متحكم رقمي .

Comparison of the performance of a water pumping control system using Correction regulators, PID and fuzzy controllers

Eng. Marah Ali Wassouf *

(Received 3/11/ 2021 . Accepted 30/6/ 2022)

□ ABSTRACT □

In this study, a control system for water pumping into pipes was designed, by controlling the pump rotation speed using a frequency converter driven by a digital controller. and The parameters were set and calibrated experimentally.

The water pumping control system was Simulated in Matlab/Simulink/Simscape software environment, Where the transport function for all components of the system were deduced, and the designed model was tested by using different types of controllers such as adding correction regulators, PID regulators and Fuzzy logic controller, and the calculation of quality indicators for the time response in each case, and the test results showed that adding the fuzzy logic controller to the control system achieved the best results, where the value of the maximum overshoot was reduced to 0.679% and the settling time to 0.006 sec. a constant water flow was also maintained despite the change in the amount of consumption during different periods of time.

Keywords: Water pressure control - Frequency converter – fuzzy logic controller- Digital controller.

* Engineer of Department of industrial automation -Technical faculty Engineering-Tartous University.

1-مقدمة:

يختلف استهلاك المياه من مكان لآخر ومن مبنى لآخر وذلك حسب نوعية النشاط الممارس فيه وكذلك يختلف في المناطق المنعزلة عن منطقة أخرى مكتظة بالسكان وأحياناً يختلف في المبنى الواحد إذ كان متعدد النشاط كأن يكون إداري أو سكني أو تجاري أو سياحي [1]

تُعتبر أزمة المياه قضية البيئة الأولى خاصة وأن المياه ثروة محدودة الكمية وأن قضية توفير المياه ستظل من المسائل الأكثر أهمية والتي تحتل جزءاً أساسياً من أية خطة تنموية، تتفاقم هذه المشكلة بمرور الوقت في ظل الموارد المائية المحدودة وتزايد الاستهلاك، وتؤكد الدراسات العلمية الحديثة أن الأمر سيزداد تعقيداً ما لم يتم الإسراع في وضع الحلول الدائمة والعملية للحد من هذه المشكلة [2].

تركز الاهتمام في العديد من الدراسات على التحكم بتدفق وضغط المياه باستخدام طرق مختلفة نذكر منها:

قام الباحث (Hassan Thabet) في جامعة الموصل عام 2013 بتصميم نظام تحكم للتزود بالمياه مستخدماً المتحكم المنطقي القابل للبرمجة PLC (Programmable Logic controller) للتحكم بمحرك تحريضي ثلاثي الطور واستخدم المتحكم التناسبي التكاملي PI، تم اختبار هذا النظام على بناء بارتفاع 10 أمتار خلال فترة 3 أسابيع وأكدت النتائج أن هذا النظام فعال وعملي وذلك لأنه تمكن من تأمين المياه إلى جميع الطوابق بصورة مستمرة وبغزارة ثابتة، كما أن كفاءة النظام قد زادت بنسبة 10-12% [3]، كذلك بحث آخر قُدّمه الباحث (Shamsul Abd Aziz) في جامعة Tun Hussein Onn Malaysi عام 2013، حيث قام بتصميم نظام تحكم متكامل مستخدماً المنطق الضبابي (Fuzzy Logic) للتحكم في تخزين المياه مع تصميم واجهة تحكم ومراقبة باستخدام الـ SCADA لمراقبة ضغط المياه بالنقاط التي يحددها المصمم، ولمراقبة عناصر النظام وإعطاء إنذار في حال حدوث أي عطل أو خطأ، وقد أكدت نتائج الاختبار تقليل هدر المياه بشكل كبير إضافة إلى حماية عناصر الشبكة من الاختلاف والتذبذب المستمر في ضغط وتدفق المياه [4]، قام كل من الباحثين

(Manrong Xing , Jie Zhang, Xiaodong Zhang) عام 2013 بتصميم نظام للتحكم في شبكة إمدادات المياه بهدف تأمين المياه بصورة مستمرة وبضغط ثابت باستخدام عدة عناصر من صمامات ومجموعة حساسات ومضخة ومتحكم PLC نوع (S-200) كمتحكم رئيسي، أثبتت النتائج توفير كبير في الطاقة والمياه إضافة إلى كونه نظام عملي واقتصادي وغير مكلف [5].

بحث آخر نُشر عام 2017 من قبل الباحث (Wei Hou) في مجلة Aidic تناول المشاكل التي تعانيها المنشآت الصناعية بسبب التذبذب المستمر في قيم ضغط وتدفق المياه، حيث قام بتصميم نموذج رياضي تقريبي ونظام تحكم باستخدام متحكم PLC مع وحدة PID مدمجة، أظهرت النتائج التي تم التوصل إليها الموثوقية والاستقرار العاليان للنظام المصمم وزيادة الكفاءة الإنتاجية مع توفير أكبر في المياه المستهلكة مقارنة مع الطرق التقليدية المستخدمة سابقاً [6]، في عام 2018 قام عدد من الباحثين بنشر بحث في مجلة Ijirce استخدموا الـ PLC (programmable logic controller) كمتحكم رئيسي يأخذ i/p من سجل البيانات ويمرر المعلومات إلى المهندس المعني بمساعدة نظام GPRS (General Packet Radio Service) نظام خدمة بيانات راديوية لأتمتة وتنظيم عملية توزيع المياه مع مراقبة ضغط المياه في عدة فروع في الشبكة وذلك باستخدام مقياس الضغط [7].

في عام 2013 قُدّمت الباحثة رشا محمد من كلية الهندسة التقنية بحثاً تضمن أتمتة محطة ضخ مياه نموذجية مع إنشاء واجهة تحكم ومراقبة للنظام باستخدام نظرية التحكم الإشرافي ومراقبة المعطيات SCADA لمراقبة المحطة من

موقع مركزي دون الحاجة إلى الذهاب إلى موقعها بحيث يكون المراقب على اطلاع دائم بكل ما يجري في محطات الضخ كما ويقوم بإعطاء إنذار عند حدوث أي عطل أو خطأ [8].

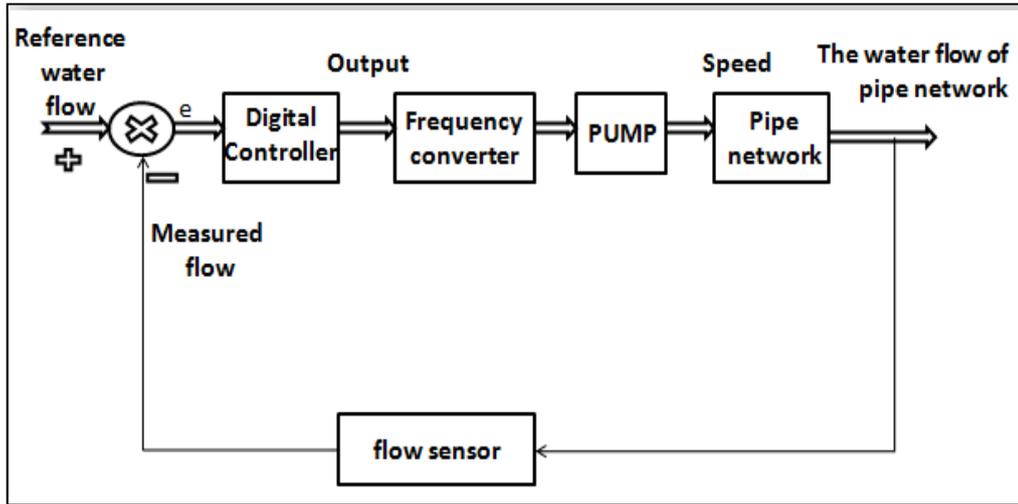
قام الباحثان (Xin Fang, Kun'ao Zhang) عام 2018 بنشر بحث في مجلة IEEE بهدف تخفيض الكلفة وتقليل صعوبة التصميم تناولت تصميم نظام تحكم باستخدام (STM32) مع تصميم واجهة تحكم ومراقبة وربطها مع الحاسب باستخدام بروتوكول الاتصال (MODBUS-RTU) كما وتمّ تصميم البرمجيات بالاعتماد على خوارزمية الـ PID الضبابية (Fuzzy PID Algorithm) وأظهرت النتائج أن النظام عملي واقتصادي وله القدرة على حل مشكلة التذبذب المستمر للضغط [9].

2- أهمية البحث وأهدافه:

إنّ التحديات الرئيسية لأي نظام توزيع مياه تكمن في تأمين مصدرًا مستمرًا للمياه بضغط ثابت، وهي من أهم الأولويات التي تسعى إليها جميع الدول، لذا ومن أجل التشغيل الطبيعي للمعدات والأجهزة يجب أن يتوافق الضغط في شبكة المياه مع قيم معينة ومحددة، يهدف هذا البحث إلى ضبط وتنظيم تدفق المياه في مختلف عقد شبكة المياه، بحيث تصل المياه بصورة مستمرة ويتدفق ثابت بغض النظر عن كمية الاستهلاك.

3- طرائق البحث ومواده:

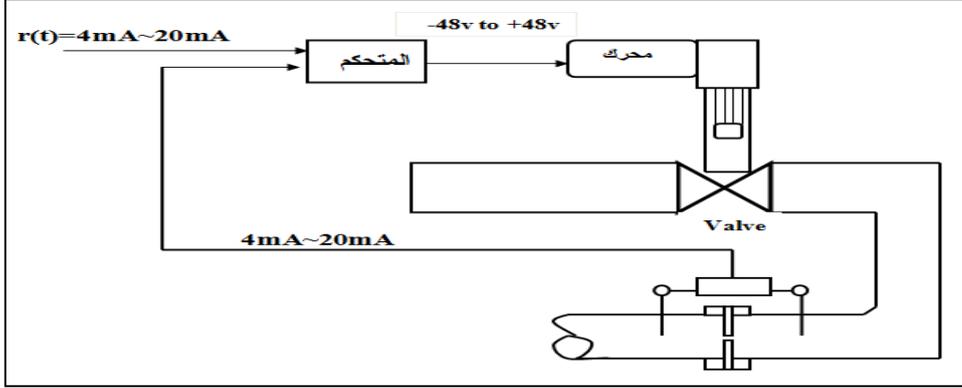
تمّ استخدام البيئة البرمجية MATLAB/SIMULINK./SIMSCAPE لنمذجة النظام المدروس وذلك من بعد توصيف المشاكل التي تعاني منها نقاط شبكة المياه من اختلاف تدفق وضغط المياه بين مختلف عقد الشبكة، يظهر الشكل (1) المخطط الصندوقي لنظام التحكم بتدفق المياه.



الشكل (1) مخطط نظام التحكم بتدفق المياه

4- مراحل وخطوات نمذجة نظام التحكم:

يُظهر الرسم التخطيطي المبين في الشكل (2)، نظام الضخ عبر أنبوب بقطر 2 إنش، يتم التحكم بغزارة الضخ عن طريق صمام مقاد بواسطة محرك تيار مستمر يتغذى بجهد v ($+48 \sim -48$)، يتم التحكم بهذا الجهد عن طريق متحكم إشارته المرجعية بين $4 \sim 20 \text{ mA}$.

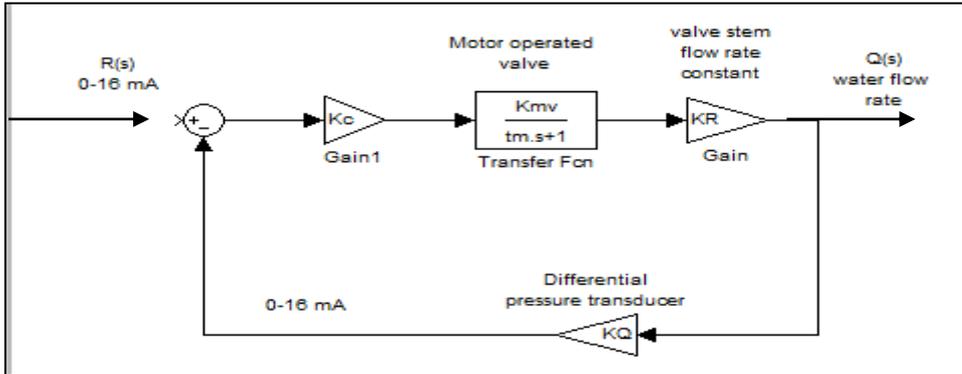


الشكل (2) نظام التحكم بضخ المياه

هذه المضخة تُعطي 20 gallons بالدقيقة وبخطأ $\pm 5\%$ ، وذلك عند إشارة مرجعية 6 mA على دخل المتحكم، عندما نحتاج إلى ضخ 100 gallons بالدقيقة وبخطأ $\pm 2\%$ نحتاج إلى إشارة دخل مرجعية 14 mA في دخل المتحكم. عندما يكون في الدخل إشارة مرجعية $r(t) = 20 \text{ mA}$ وإشارة التغذية العكسية 4 mA فإن إشارة الخرج تساوي 48 v ويكون الصمام في الوضعية العلوية أي في حالة فتح، أما إذا كانت إشارة الدخل $r(t) = 4 \text{ mA}$ وكانت إشارة التغذية العكسية من مقياس التدفق 20 mA فإن خرج المتحكم يكون -48 v يكون الصمام في الوضعية السفلية والصمام في حالة إغلاق، بين القيمتين يتحرك الصمام بمقدار 1 إنش في الثانية.

1-4 خطوات العمل:

الخطوة الأولى: رسم المخطط الصندوقي لنظام التحكم بضخ المياه الذي يُظهر كل مكون على شكل صندوق مستقل كما يُظهر الشكل (3).



الشكل (3) مخطط صندوقي لنظام التحكم

الخطوة الثانية: تحديد القيم العددية لبارامترات كل صندوق:

- إشارات الدخل والتغذية العكسية يظهر في الشكل (4) تأخذ مجال من $0 \sim 16 \text{ mA}$.
- الثابت التناسبي K_c يُحسب كما يلي [10]:

$$K_c = \frac{48 \text{ v}}{16 \text{ mA}} = 3 \text{ v/mA} \quad (1)$$

حيث الـ 16mA يُعتبر خرج عنصر المقارنة، كما تُعتبر 48v عبارة عن دخل لمحرك التيار المستمر الذي يقود صمام التدفق.

• ثابت محرك الصمام K_{mv} يربط بين سرعة انتقال الصمام الخطية والجهد المطبق على المحرك [11] حيث يظهر من مواصفاته أنه يتحرك بسرعة 1 in/sec عندما تطبق على المحرك جهد بقيمة 48v ويُحسب من العلاقة (2):

$$K_{mv} = \frac{1 \text{ in/s}}{48 \text{ v}} = 0.0208 \text{ in/v.s} \quad (2)$$

• الثابتة الزمنية لمحرك الصمام u_{mr} تؤخذ من دفتر الشروط والمواصفات الخاصة به .
وبما أن شكل منحنى تغير السرعة عبارة عن شكل أسّي يمكن حساب الثابتة الزمنية للسرعة من العلاقتين (3)، (4):

$$90\% V_s = V_s \cdot (1 - e^{-t2/umr}) \quad (3)$$

$$10\% V_s = V_s \cdot (1 - e^{-t1/umr}) \quad (4)$$

$$1/9 = e^{-(t2/umr)} / (e^{-t1/umr}) = e^{-(t2-t1)/umr}$$

$$0.1111 = e^{-0.55/umr} \Rightarrow umr = 0.25 \text{ s}$$

• ثابت تناسب الصمام K_R : ويحدّد العلاقة بين وضعية الصمام وبين قيمة تدفق الماء [11] يُحسب كما تُظهر العلاقة (5)، حيث أنّ فتح الصمام بمقدار 1.5 إنش يُعطي تدفق مقداره 150gpm بالتالي :

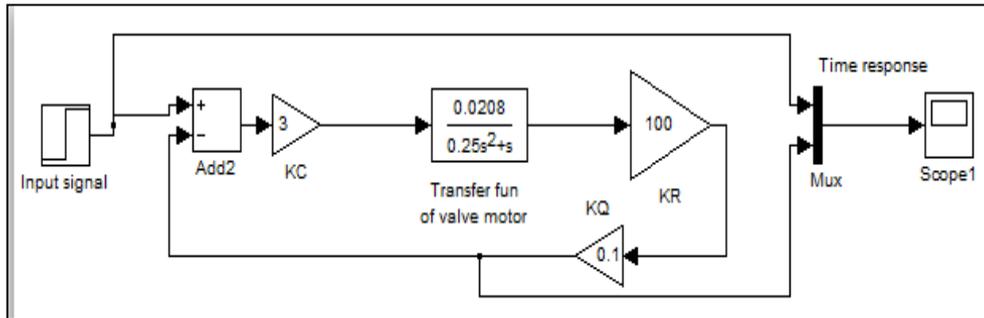
$$K_R = \frac{150 \text{ gpm}}{1.5 \text{ in}} = 100 \text{ gpm/in.} \quad (5)$$

• ثابت ربح عنصر تحسس التدفق (مقياس التدفق) K_Q : ويُحسب اعتماداً على أنّ هذا العنصر ينتج 16mA عند تدفق قدره 160 gpm ، وفق العلاقة (6) :

$$K_Q = \frac{16 \text{ mA}}{160 \text{ gpm}} = 0.1 \text{ mA/gpm} \quad (6)$$

الخطوة الثالثة : رسم المخطط الصندوقي الذي يحوي توابع النقل الرقمية لجميع العناصر كما تظهر في الشكل

(4).



الشكل (4) مخطط لنظام التحكم بعد حساب البارامترات

الخطوة الرابعة : إيجاد تابع نقل نظام التحكم بالضخ

من المخطط الصندوقي نجد تابع النقل كما تُظهر العلاقة (7):

$$\frac{Q(S)}{R(S)} = \frac{G(S)}{1 + G(S)H(S)} \quad (7)$$

$$G(S)H(S) = \frac{2.5}{S(S+4)} \text{ ومنه: } G(S) = \frac{25}{S(S+4)} \quad \text{حيث}$$

$$\frac{Q(S)}{R(S)} = \frac{25}{s^2 + 4s + 2.5} \quad (8)$$

إشارة الدخل: $R(S)=8ma$ ومنه تُصبح إشارة الخرج كما في العلاقة (9):

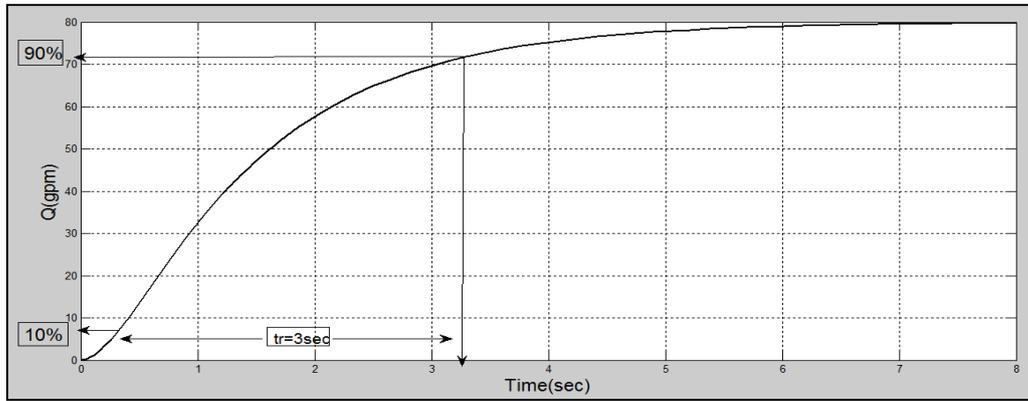
$$Q(s)=\frac{200}{s(s^2+4s+2.5)} \quad (9)$$

2-4 مواصفات نظام التحكم:

- 1- زمن الاستقرار يجب أن لا يتجاوز 1 sec .
- 2- زمن الارتفاع للنظام t_r يجب ألا يزيد عن 700msec.
- 3- التجاوز الأعظمي يجب ألا يزيد عن 10%.
- 4- زمن التأخير t_h يجب أن يكون أقل من 200msec .

3-4 رسم الاستجابة الزمنية لنظام التحكم واستنتاج بارامتراته:

• التجربة الأولى: تم بدايةً رسم الاستجابة الزمنية لنظام التحكم بالتدفق عند إشارة دخل 8mA كما يُظهر الشكل (5).



الشكل (5) استجابة نظام الحلقة المغلقة

من الشكل (5) تم استنتاج كل من أزمنة الارتفاع والاستقرار والتأخير كما يُظهر الجدول (1):

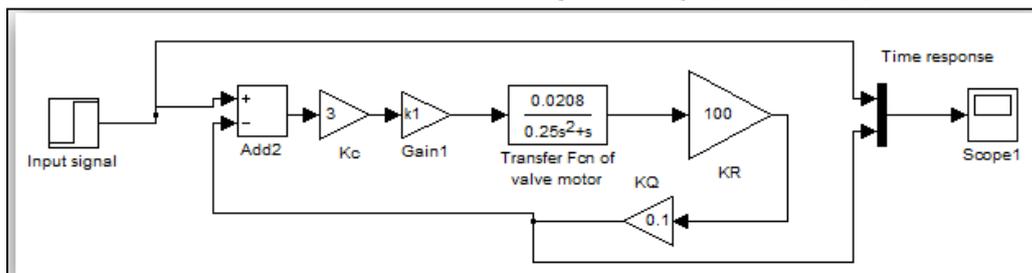
الجدول (1) بارامترات نظام التحكم

القيمة	الزمن (sec)
1.24 sec	T_d
6.3 sec	T_s
2.97 sec	T_r

من النتائج السابقة نلاحظ أن الأزمنة أكبر من البارامترات المعيارية والنظام يتطلب دقة أعلى.

• التجربة الثانية: النظام يتطلب دقة أعلى ولذلك تم اقتراح إضافة معامل الريح k_1 بهدف زيادة ربح النظام، كما

ويظهر الشكل (6) نظام التحكم مع عامل الريح K_1 .



الشكل (6) نظام التحكم مع إضافة عامل الريح

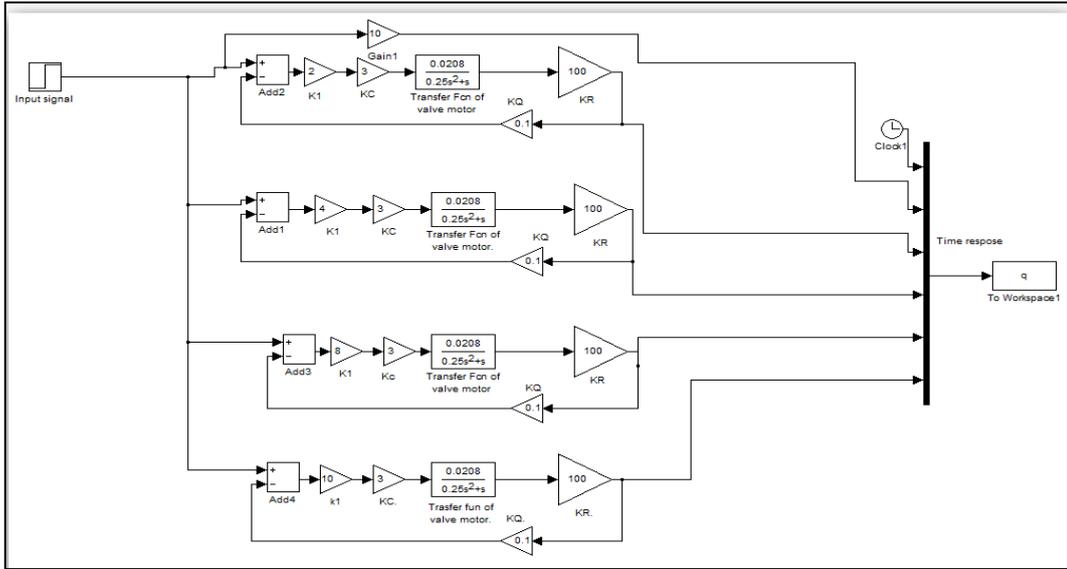
وبعد إضافة k_1 يصبح تابع نقل النظام كما في العلاقة (10) :

$$\frac{Q(S)}{R(S)} = \frac{25k_1}{s^2+4s+2.5k_1} \quad (10)$$

إشارة الدخل: $R(S)=8$ ومنه تظهر إشارة الخرج كما في العلاقة (11) :

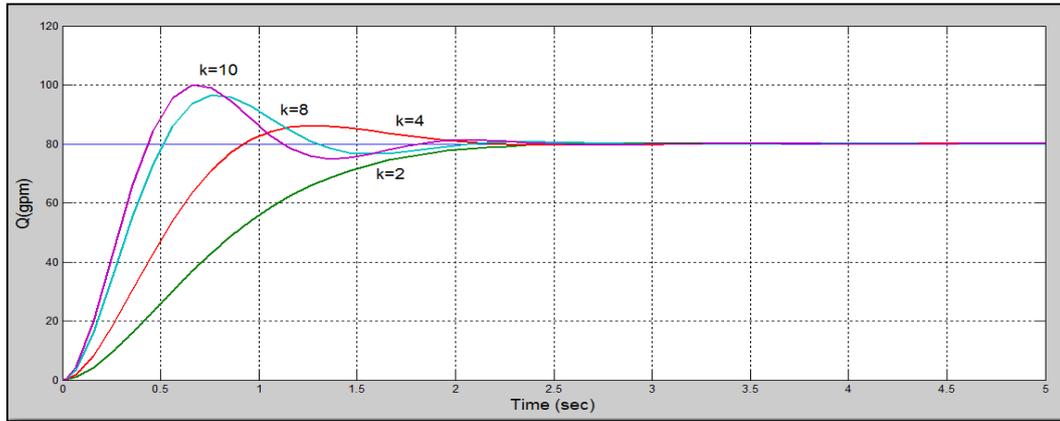
$$Q(s) = \frac{200k_1}{s(s^2+4s+2.5k_1)} \quad (11)$$

تم أخذ عدة قيم مختلفة لـ k_1 وإضافتها إلى نظام التحكم المصمم كما يُظهر الشكل (7):



الشكل (7) نظام التحكم بقيم مختلفة لعامل الريح k_1

ظهرت مميزات الاستجابة للنظام بعد إضافة قيم مختلفة لـ K_1 كما يُظهر الشكل (8):



الشكل (8) مميزات الاستجابة عند تغير k_1

ويُظهر الجدول (2) بارامترات النظام بعد إضافة عامل الريح k_1 بقيم مختلفة .

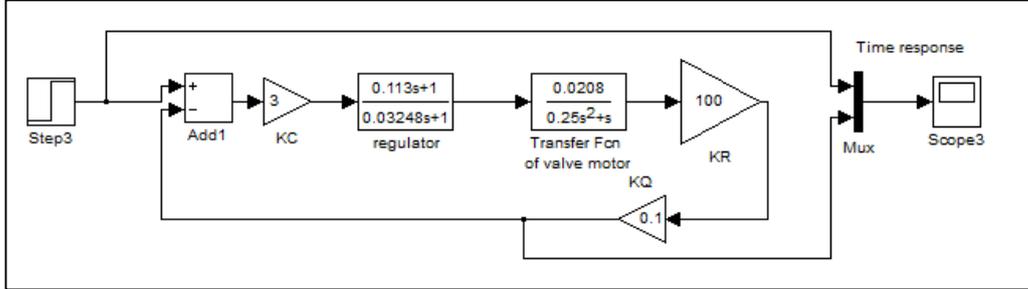
الجدول (2) بارامترات النظام عند قيم مختلفة لـ K_1

T_p (sec)	Os%	T_r (sec)	T_s (sec)	T_d (sec)	K_1
3.14	0.2	1.28	2.26	0.71	2
1.28	7.7	0.61	0.91	0.44	4
0.8	20.78	0.35	0.51	0.29	8
0.7	25.37	0.30	0.43	0.25	10

تُظهر النتائج المبيّنة في الجدول (2) أنه تمّ تخفيض زمن الارتفاع T_r ، وزمن الاستقرار T_s ، ولكن قيمة التجاوز الأعظمي كبيرة وهي أكبر من البارامترات المعيارية ولذلك تمّ اقتراح تصميم منظمات أخرى كما يلي:

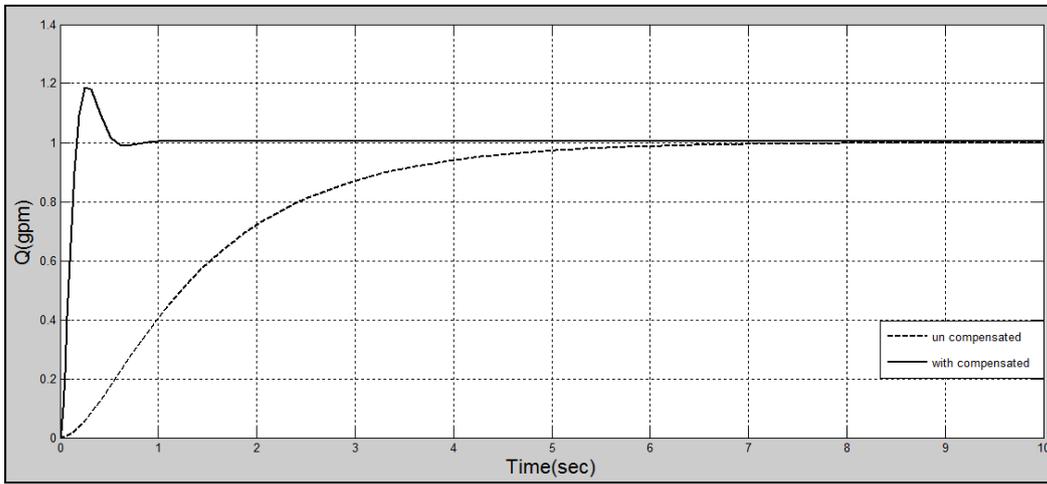
• التجربة الثالثة: نظام التحكم مع إضافة منظم التقديم في الطور:

يُظهر الشكل (9) نموذج لنظام التحكم بالضح بعد إضافة منظم التقديم في الطور [13].



الشكل (9) نظام التحكم بعد إضافة منظم التقديم في الطور

ويُظهر الشكل (10) نتيجة النمذجة قبل وبعد إضافة عنصر التصحيح (منظم التقديم في الطور).



الشكل (10) نظام التحكم بعد إضافة منظم التقديم في الطور

من الشكل (10) نستنتج مميزات الاستجابة، وهي موضحة في الجدول (3):

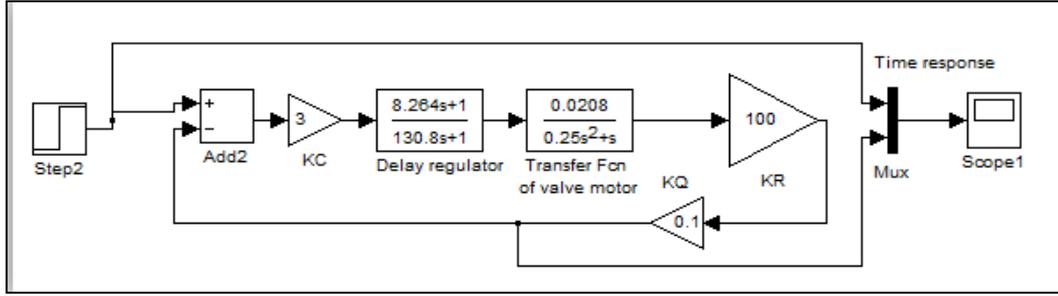
الجدول (3) مميزات الاستجابة لنظام التحكم بعد إضافة منظم التقديم في الطور

T_p (sec)	$O_s\%$	T_d (sec)	T_r (sec)	T_s (sec)	مميزات الاستجابة
0.28	19.25	0.09	0.11	0.17	منظم التقديم في الطور

نجد من النتائج أنّ منظم التقديم في الطور حقّق دلائل الجودة في مجال سرعة الاستجابة، حيث حصلنا على أزمنة أقل من المطلوب بالنسبة لزمن الارتفاع والتأخير والاستقرار، ولكن بقي التجاوز الأعظمي أكبر من القيمة المطلوبة حيث بلغ ما يقارب 20% بينما المطلوب أقل من 10%، لذلك سنقوم بتجربة منظم التأخير في الطور.

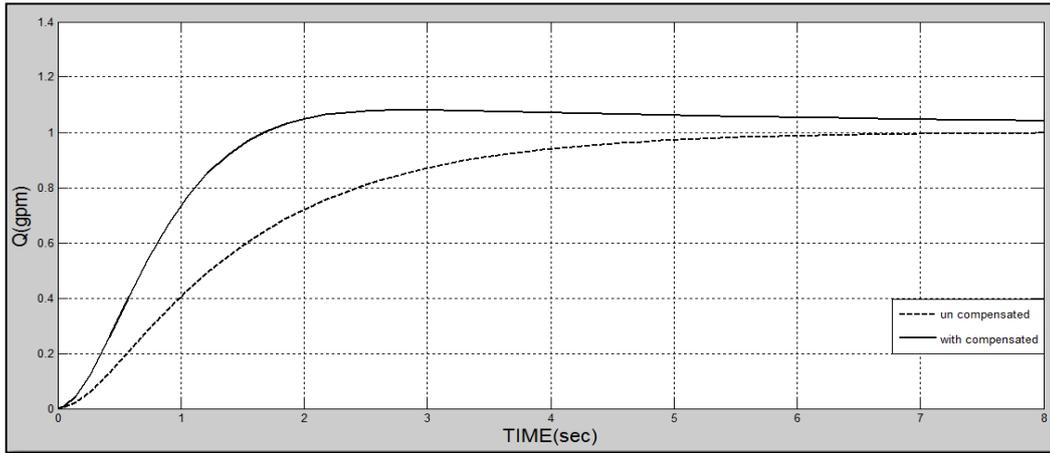
• التجربة الرابعة: نظام التحكم مع إضافة منظم التأخير في الطور:

يظهر الشكل (11) مخطط لنظام التحكم بعد إضافة منظم التأخير في الطور [13-14].



الشكل (11) مخطط لنظام التحكم مع منظم التأخير في الطور

ويُظهر الشكل (12) نتيجة النمذجة قبل وبعد إضافة عنصر التصحيح (منظم التأخير في الطور)



الشكل (12) نتيجة النمذجة بعد إضافة منظم التأخير في الطور

من الشكل (12) نستنتج مميزات الاستجابة كما تظهر في الجدول (4):

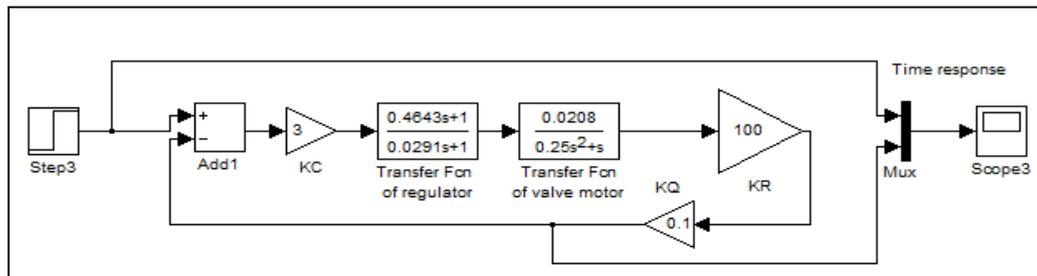
الجدول (4) مميزات الاستجابة لنظام التحكم مع منظم التأخير في الطور

T_p (sec)	$O_s\%$	T_d (sec)	T_r (sec)	T_s (sec)	مميزات الاستجابة
2.88	8.0632	0.69	1.09	10	منظم التأخير في الطور

نجد من النتائج الموضحة في الجدول (4) أنّ منظم التأخير في الطور لا يفي بالغرض، حيث حصلنا على استجابة بأزمنة بطيئة أكثر من المطلوب بكثير حيث وصل زمن الاستقرار إلى حوالي 10Sec، وهنا سنقوم بتصميم منظم (تأخير - تقديم) بالطور.

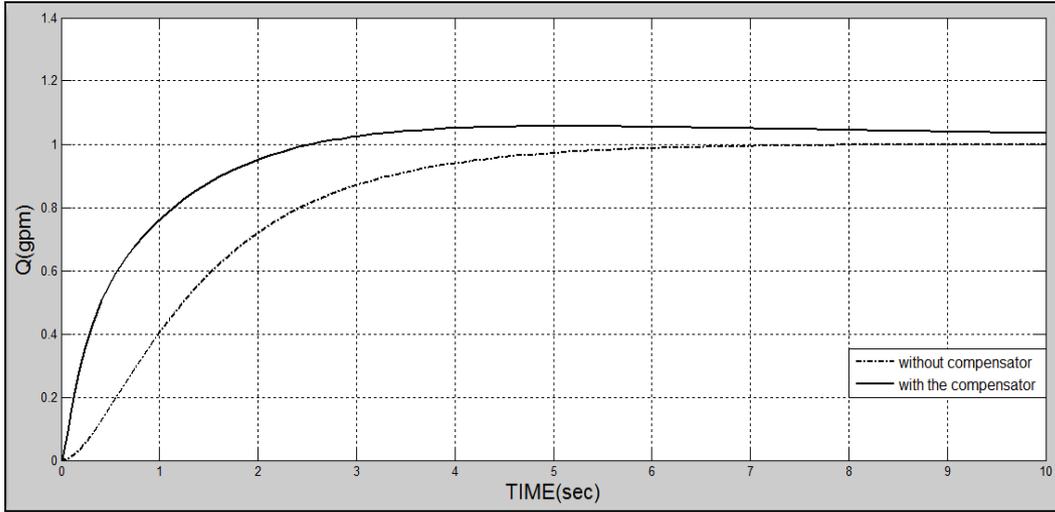
● التجربة الخامسة: نظام التحكم مع إضافة منظم (تأخير - تقديم) في الطور:

يُظهر الشكل (13) مخطط لنظام التحكم بعد إضافة منظم تأخير - تقديم في الطور [13].



الشكل (13) مخطط لنظام التحكم مع منظم تأخير التقديم في الطور

ويُظهر الشكل (14) نتيجة النمذجة قبل وبعد إضافة عنصر التصحيح (منظم تأخير - تقديم في الطور)



الشكل (14) نتيجة النمذجة بعد إضافة عنصر التصحيح

من الشكل (14) نستنتج مميزات الاستجابة وهي موضحة في الجدول (5):

الجدول (5) مميزات الاستجابة لنظام التحكم مع منظم (تأخير - تقديم) بالطور

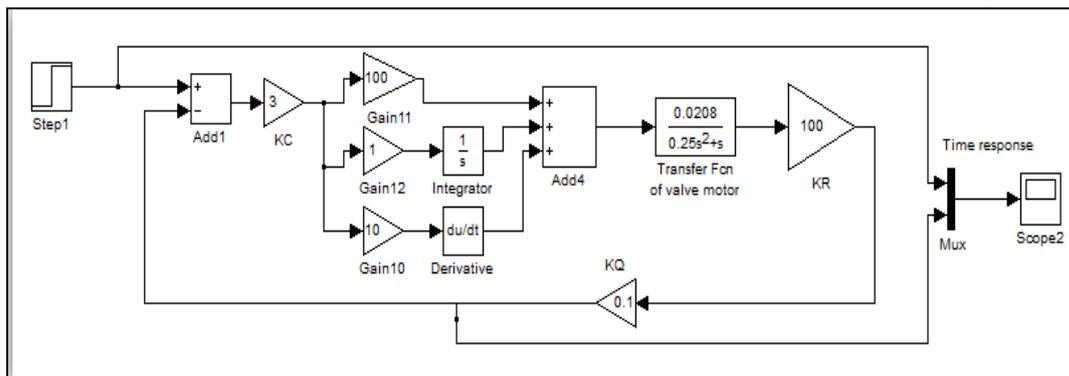
T_p (sec)	Os%	T_d (sec)	T_r (sec)	T_s (sec)	مميزات الاستجابة
5.12	5.61	0.41	1.55	10	منظم تأخير - تقديم في الطور

نجد من النتائج الموضحة في الجدول (5) أنّ منظم تأخير التقديم لم يحقق المطلوب في مجال سرعة الاستجابة حيث حقق المطلوب في مجال زمن التأخير T_d بينما لم يحقق المطلوب في زمن الاستقرار الذي قد وصلت قيمته إلى 10 Sec وزمن الارتفاع كانت قيمته حوالي 1.5Sec وهذه القيم أكبر بكثير من القيم المطلوبة ولذلك سنقوم بتصميم منظم PID (تناسبي - تكاملي - تفاضلي) وإضافته إلى نظام التحكم.

● التجربة السادسة: نظام التحكم مع إضافة منظم PID (Proportional, Integral and Derivative):

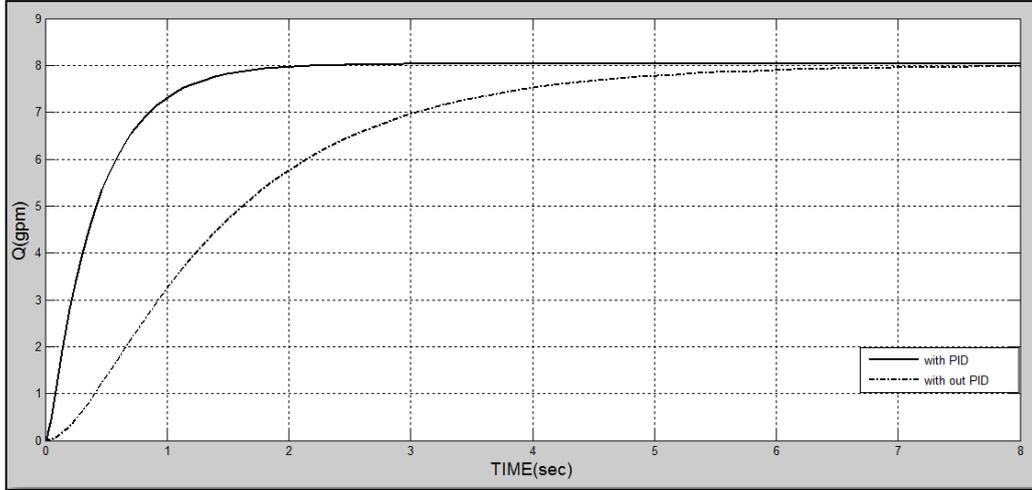
تمّ تصميم منظم الـ PID، وإضافته إلى نظام التحكم بالضح ومعايرته بالطريقة التجريبية كما يُظهر الشكل (15)

نظام التحكم مع منظم PID.



الشكل (15) نظام التحكم مع منظم PID

يُظهر الشكل (16) نتيجة النمذجة قبل وبعد إضافة متحكم PID.



الشكل (16) نتيجة النمذجة عند إضافة متحكم PID

ومن الشكل (16) نستنتج مميزات الاستجابة بعد إضافة منظم PID كما يُظهر الجدول (6):

الجدول (6) مميزات الاستجابة لنظام التحكم مع منظم PID

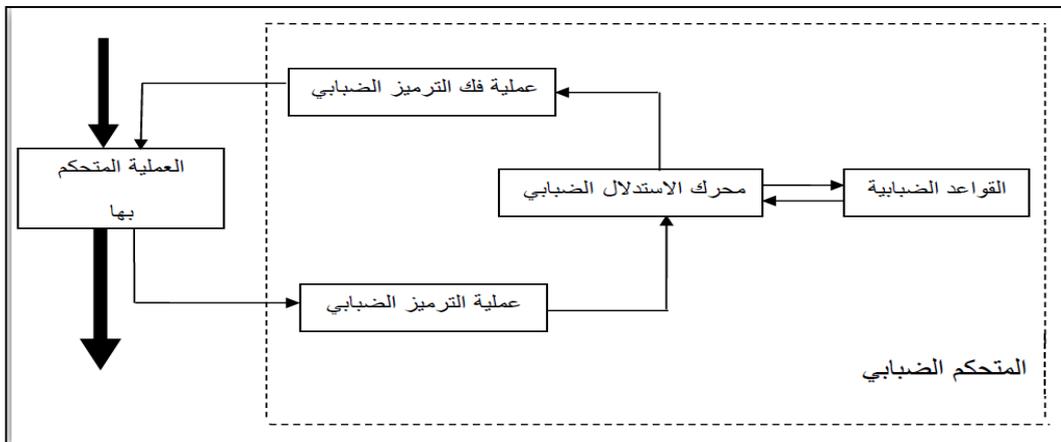
T_p (sec)	Os%	T_d (sec)	T_r (sec)	T_s (sec)	مميزات الاستجابة
1.8	1.1	0.6	0.7	2.2	منظم PID

نجد من النتائج المبينة في الجدول (6) أنّ إضافة منظم PID لم يحقق المطلوب في مجال سرعة الاستجابة حيث وصل زمن الاستقرار إلى 2.2 sec وزمن التأخير إلى 0.6 sec وهي أكبر من البارامترات المعيارية لذا تم اقتراح إضافة fuzzy logic controller .

• التجربة السابعة نظام التحكم مع إضافة fuzzy logic controller:

➤ **بنية المتحكم الضبابي:** يتألف المتحكم الضبابي بشكل عام من المكونات التالية:

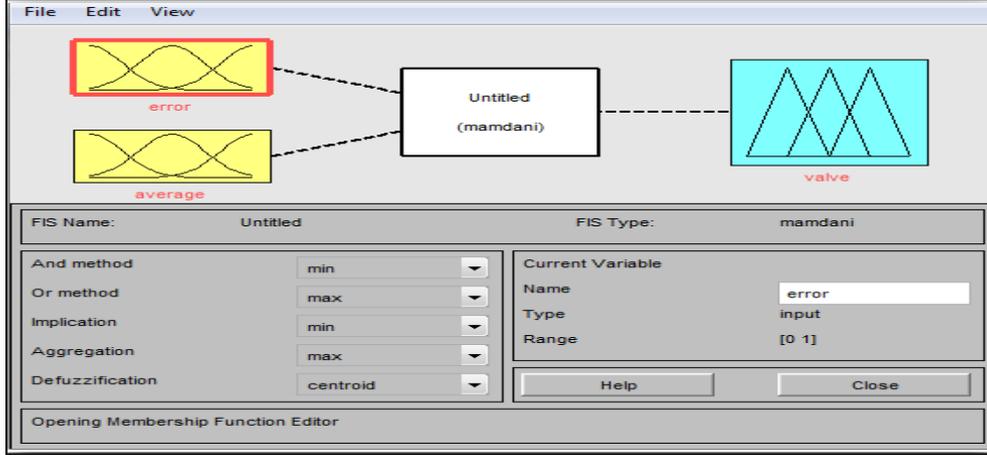
الترميز الضبابي، القواعد الضبابية، محرك الاستدلال الضبابي، فك الترميز الضبابي ويُظهر الشكل (17) العلاقة بين المكونات التالية والعملية المراد التحكم بها [15] .



الشكل (17) بنية المتحكم الضبابي

خطوات تصميم المتحكم الضبابي:

- 1- تعيين متغيرات الدخل والخرج للمتحكم الضبابي ومجالات قيمها [16]، ويظهر الشكل (18)، مداخل ومخرج المتحكم الضبابي.

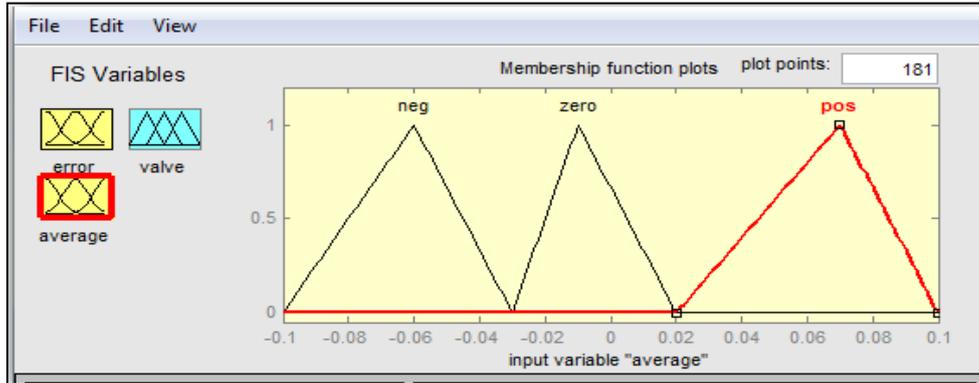


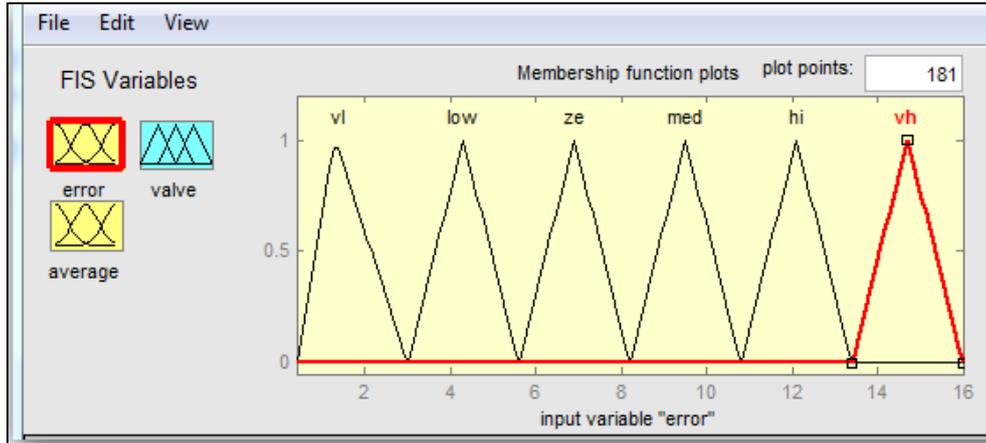
الشكل (18) مداخل ومخرج المتحكم الضبابي

- 2- اختيار المتغيرات اللغوية التي تصف كل من إشارتي الدخل والخرج .
 3- تمثيل المتغيرات اللغوية باستخدام توابع عضوية معينة [17] كما يلي:
- **الدخل الأول إشارة الخطأ:** تم استخدام الشكل المثلثي لتوليد الشكل الضبابي لدخل الخطأ والذي يتكون من 6 توابع عضوية ضبابية.

- **الدخل الثاني معدل المياه:** يتكون من 3 توابع عضوية ضبابية.
- **الخرج هي حالة الصمام:** يتكون من 6 توابع عضوية ضبابية.

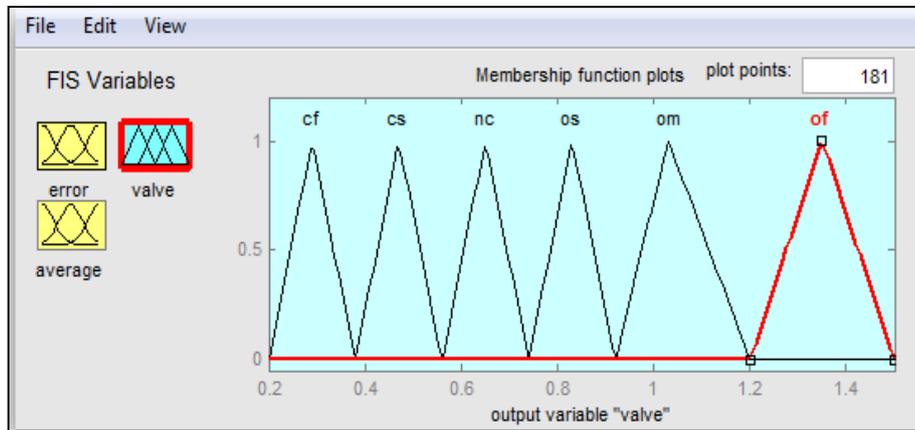
و يُظهر الشكل (19) مجالات المداخل





الشكل (19) تمثيل المداخل بتتابع مثلثية

ويُظهر الشكل (20) مجال الخرج



الشكل (20) تمثيل الخرج بتتابع مثلثي

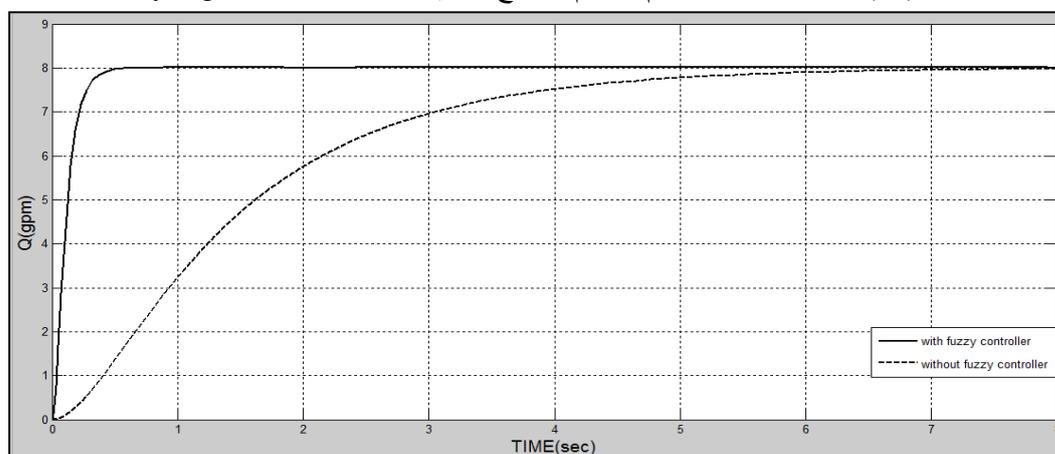
4- صياغة قواعد الاستدلال الضبابية وفق الصيغة، يحوي النظام على 18 قاعدة استدلال ضبابية تظهر في

الجدول (7):

الجدول (7) قواعد الاستدلال الضبابية

Rules number	المداخل		الخرج
	قيمة الخطأ	معدل المياه	حالة الصمام
1	Very low	Negative	Close fast
2	Low	Negative	Close slowly
3	Zero	Negative	No change
4	Medium	Negative	Open slowly
5	High	Negative	Open medium
6	Very high	Negative	Open fast
7	Very low	Zero	Close fast
8	Low	Zero	Close slowly
9	Zero	Zero	No change
10	Medium	Zero	Open slowly
11	High	Zero	Open medium
12	Very high	Zero	Open fast
13	Very low	Positive	Close fast
14	Low	Positive	Close slowly
15	Zero	Positive	No change
16	Medium	Positive	Open slowly
17	High	Positive	Open medium
18	Very high	Positive	Open fast

يُظهر الشكل (21) نتيجة النمذجة لنظام التحكم بالبخع بعد إضافة fuzzy logic controller .



الشكل (21) نتيجة النمذجة بعد إضافة fuzzy logic controller

من الشكل (21) نستنتج مميزات الاستجابة بعد إضافة منظم fuzzy logic controller كما يُظهر الجدول

(8):

الجدول (8) مميزات الاستجابة لنظام التحكم مع منظم fuzzy logic controller

T_p (sec)	O_s %	T_d (sec)	T_r (sec)	T_s (sec)	مميزات الاستجابة
0.012	0.6797	0.001	0.002	0.006	fuzzy controller

نجد من النتائج المبينة في الجدول (8) أنّ إضافة fuzzy logic controller حقق المطلوب في مجال سرعة الاستجابة حيث تمّ تخفيض زمن الاستقرار إلى 0.006 sec وزمن الارتفاع إلى 0.002sec وزمن التأخير إلى 0.012 sec وخفض قيمة التجاوز الأعظمي إلى 0.6797%.

مميزات الاستجابة لنظام التحكم مع إضافة كل نوع من المنظمات موضحة في الجدول (9):

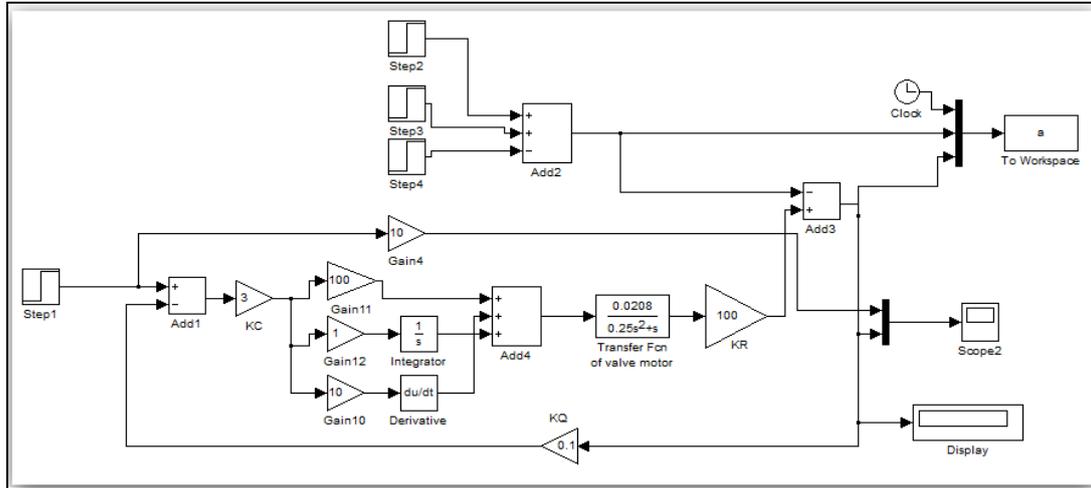
الجدول (9) مميزات الاستجابة لنظام التحكم عند إضافة المنظمات

المنظم	مميزات الاستجابة	T_s (sec)	T_r (sec)	T_d (sec)	O_s %	T_p (sec)
منظم التقديم		0.17	0.11	0.09	19.25	0.28
منظم التأخير		10	1.09	0.69	8.06	2.88
منظم تأخير التقديم		10	1.55	0.41	5.61	5.12
منظم الـ PID		2.2	0.7	0.6	1.1	1.8
Fuzzy logic controller		0.006	0.007	0.001	0.679	0.012

نجد من النتائج المبينة في الجدول (9) أنّ إضافة Fuzzy logic controller إلى نظام التحكم بالضخ حقق أفضل النتائج من بين المنظمات السابقة، حيث كانت دلائل الجودة لنظام التحكم في مجال سرعة الاستجابة، وكذلك التجاوز الأعظمي ضمن القيم المطلوبة.

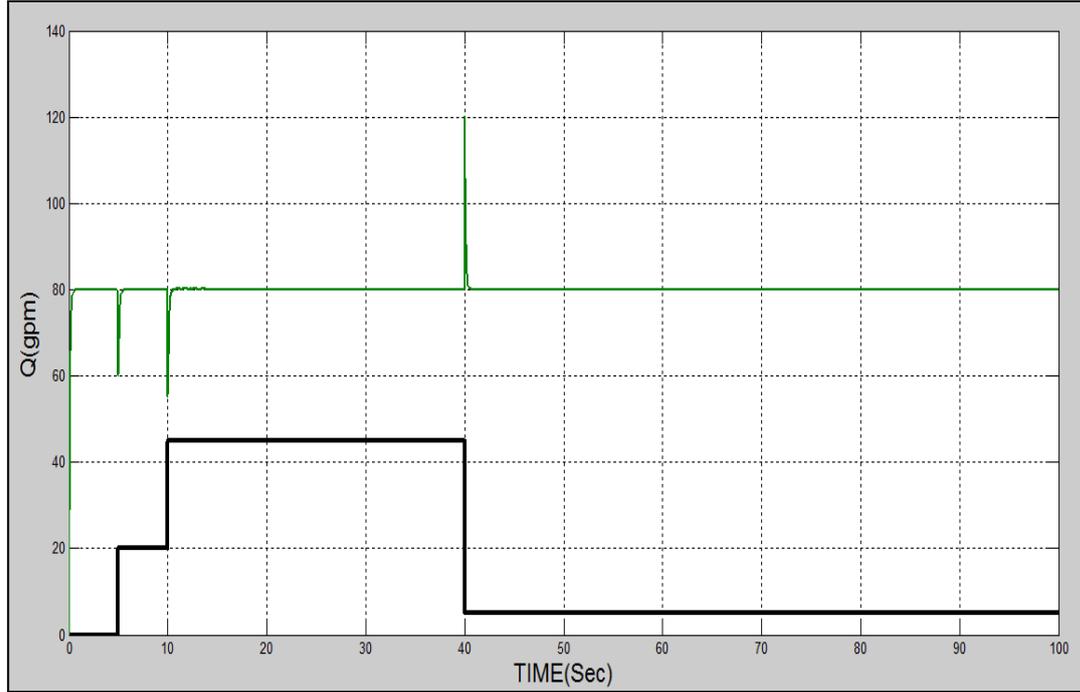
5- دراسة أثر تغيير الاستهلاك على غزارة الخرج:

تمّ تغيير كميات الاستهلاك من المياه خلال فترات زمنية مختلفة لتبيان أثر تغيير كمية الاستهلاك على غزارة المياه، يُظهر الشكل (22) نظام التحكم بالضخ عند كميات مختلفة للمياه المستهلكة.



الشكل (22) نظام التحكم عند كميات استهلاك مختلفة

تمّ رسم العلاقة بين تدفق المياه (غزارة الخرج) عند تغيير كميات استهلاك المياه لفترات مختلفة كما يُظهر الشكل (23) علاقة غزارة الخرج مع تغيير كمية الاستهلاك .



الشكل(23) غزارة الخرج مع تغير كمية الاستهلاك

نلاحظ أنّ غزارة الخرج بقيت ثابتة مهما تغيرت كمية الاستهلاك.

6- الاستنتاجات والتوصيات:

- أمّن نظام التحكم المصمّم تدفق المياه بصورة مستمرة وبتدفق ثابت بغض النظر عن كمية الاستهلاك.
- إضافة منظمات التقديم في الطور والتأخير في الطور ومنظم تأخير التقديم بالطور ومنظم الـ PID إلى نظام التحكم لم يحقق النتائج المطلوبة حيث كانت قيمة التجاوز الأعظمي وسرعة الاستجابة بطيئة.
- إضافة المتحكم الضبابي Fuzzy logic controller لنظام التحكم حقق نتائج جيدة في دلائل الجودة حيث تمّ تخفيض قيمة التجاوز الأعظمي إلى 0.679% وخفض زمن الاستقرار إلى 0.006 sec، كذلك زمن التأخير إلى 0.001 sec.
- تنظيم تدفق المياه يساهم في تحقيق الوفرة الاقتصادي وذلك لعدم الحاجة إلى الاستبدال المتكرر لعناصر الشبكة المائية الناتج عن التذبذب المستمر في غزارة المياه.
- تم الحفاظ على غزارة خرج ثابتة بالرغم من تغير كمية الاستهلاك خلال فترات زمنية مختلفة.

التوصيات:

- ❖ تنفيذ النظام المصمّم عملياً.
- ❖ تعميم البحث وتوسيعه بحيث يتم تمثيل عدة أنماط من التحكم.
- ❖ دراسة النظام باستخدام طرق تحكم أخرى كالشبكات العصبونية ومقارنة النتائج مع البحث.

المراجع

- [1] Barberán ,R ; Colás ,D ; Egea,P, *Water Supply and Energy in Residential Buildings: Potential Savings and Financial Profitability* .Faculty of Economics and Business, University of Zaragoza ,vol(11), doi:10, 2019,pp1-12.
- [2] Haziq,M; Panezai,S, *An Empirical Of Domestic Water Sources Consumption And Associated Factors in Kandahar City* .resources and environment, Afghanistan. 7(2),2017, pp49-61
- [3] Thabet,H. *Design And Implementation Of A Pi Controller For An Automated Building Water Supply System Using Plc Techniques*. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, No.11, Vol. 5,2013, pp 22-25.
- [4] Abd Aziz,SH. *Development Of Water Pressure And Distribution Monitoring System Using PLC And Scada*. University Tun Hussein Onn Malaysia, July 2013
pp 1-60.
- [5] Xiang,M; Zhang,J, *The design of constant pressure water supply control system based on S7-200 PLC* .Trans Tech Publication,Switzerland.volume.753-755,2013, pp1665-1669.
- [6] Hou,W. *Research on the Design of Constant Pressure Water Supply System Based on PLC*. Chemical Engineering Transactions, Doi:10.3303,2017, pp 703-708.
- [7] Bhandarkar, M; Bhalekar, P; Borhade, P; Chaudhari, S, *Smart Water Management Using PLC & SCADA*. International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering ,India. Vol. 6, Issue 4, April 2018, pp 3392-3396.
- [8] -محمد، رشا. استخدام أنظمة التحكم وتحصيل المعطيات SCADA في أتمتة محطات ضخ المياه في محافظة طرطوس. مجلة جامعة تشرين، 2013.
- [9] Fang,X ; Zgang,K ,*Design and implementation of constant pressure water supply monitoring system based pressure on STM32*. IEEE 17th Institute of Electrical and Electronics Engineers, May 2018 , pp1487-1491.
- [10] Li,G; Pan,L; Hua,Q; Sun,L;Lee,K.*Water pump control :a hybrid data-driven and model assisted active disturbance rejection approach*. MDPI journal .doi:10,2019.
- [11] Wang,Y ;Zhang,H; Han,Z; Ni,X. *Optimization design of centrifugal pump flow control system based on adaptive control*.MDPI journal.doi:10:3390,2021,pp 1-14.
- [12] Cicenas,P; Radziukynas,V. *Developed transfer function allows hydro generators to the full range of ancillary services market*.MDPI,doi:10:3399,2022.
- [13] محمود، علي أحمد، النمذجة الحاسوبية باستخدام Simulink And Simpower System، جامعة تشرين ، 2010.
- [14] Jan,F; Min-allah,N; Saed,S; Iqbal,S; Ahmed,R. *Iot based solution to monitor water level leakage and motor control for smart water tanks*.MDPI,doi:10:3390,2022.

[15] Qin,Sh; Zhang,C; Zhao,T; Tong,W; Bao,Q; Mao,Y. *Dynamic high-type interval type-2 fuzzy logic control for photoelectric tracking system*. MDPI journal doi:3390,2022,pp 1-20.

[16] كيوان ، رھف. *استخدام المتحكم الضبابي في التحكم باستطاعة عنفة ريحية*. مجلة جامعة تشرين، 2016.

[17] حسن، عمار عبد الكريم. *تصميم متحكم ضبابي من النمط الثاني للتحكم بغسالة أوتوماتيكية باستخدام*

الراسبييري باي. مجلة جامعة طرطوس، المجلد 3 – العدد 1، 2019.