

Design of Automatic Control System for Cooling Unit Using Fuzzy Logic Controller.

Dr. Belal Sheha *
Ahmad Hasan Reda **

(Received 23 / 3 / 2017. Accepted 17 / 8 / 2017)

□ ABSTRACT □

This paper deals with design of an expert system to control cooling unit operations based on Programmable Logic Controllers (PLC) and fuzzy logic controllers (FLC).

The proposed expert system depend mainly on using the concept of fuzzy logic to design the controllers and include the way of human thinking in the process of operations control through using a set of (If – Then) rules.

This research presents the methods of starting and protecting of induction motors witch drive the fans that are used to cool the water, and it presents the design of fuzzy controller that are used to control of water level in the main tank through determine the percentage of opening both Makeup and drain valves depending on the water level, and presents design of fuzzy controller that are used with pumps to maintain the out pressure around specific value which insure the delivery of cooled water to other units where it used in heat exchange process, this controller's feedback signal presents incoming signal for variable speed driver(VSD)that responsible for changing the speed of the pump.

The fuzzy controllers were built with MATLAB, and the results of the test showed the efficiency of using these controls in the processes that require maintaining the level of liquid and control the speed of the rotor part of the pumps.

Keywords: Expert Systems, Fuzzy Logic, Fuzzy Controller, Pumps, Induction Motors.

* Assistant Professor in computer and control engineering in Tishreen University.

** Master student in computer and control engineering in Tishreen University.

تصميم نظام تحكم ألي لمحطة تبريد باستخدام المتحكمات الضبابية.

د. بلال شيحا*

أحمد رضا**

(تاريخ الإيداع 23 / 3 / 2017. قُبل للنشر في 17 / 8 / 2017)

□ ملخص □

تقترح هذه المقالة تصميم نظام خبير للتحكم بالعمليات في وحدة تبريد بالاعتماد على المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة (PLC) والمتحكمات الضبابية (FLC). يعتمد النظام الخبير المقترح على استخدام مفهوم المنطق الضبابي لتصميم المتحكمات التي تتيح بدورها تضمين خبرة المشغلين وطريقة التفكير البشرية في التحكم بسير العمليات من خلال القواعد (If – Then). يعرض هذا البحث طرق التحكم بإقلاع وحماية المحركات الحثية التي تقود المراوح المستخدمة لتبريد الماء، كما يعرض تصميم المتحكم الضبابي المستخدم للتحكم بمستوى المياه في الخزان الرئيسي من خلال تحديد نسبة فتح صمام التعويض (Make up Valves) وصمام الهدر (Drain Valves)، وتصميم المتحكم الضبابي المستخدم مع المضخات بهدف الحفاظ على ضغط مياه خارج حول قيمة محددة تضمن وصول المياه المبردة إلى بقية الأقسام حيث يجري استخدامها في عملية التبادل الحراري، وتمثل إشارة خرج هذا المتحكم إشارة دخل لمغير السرعة Variable Speed Driver (VSD) المسؤول عن تغيير سرعة عمل المضخة. تم بناء المتحكمات الضبابية من خلال برنامج MATLAB، وأظهرت نتائج الاختبار كفاءة استخدام هذه المتحكمات في العمليات التي تتطلب الحفاظ على مستوى السائل والتحكم بسرعة الجزء الدائر للمضخات.

الكلمات المفتاحية: النظم الخبيرة، المنطق الضبابي، المتحكمات الضبابية، المضخات، المحركات الحثية.

*أستاذ مساعد - قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي _ كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية _ جامعة تشرين _ اللاذقية _ سورية.
**طالب ماجستير - قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي _ كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية _ جامعة تشرين _ اللاذقية _ سورية.

مقدمة:

تستخدم أنظمة التحكم والمراقبة الآلية بشكل كبير في التطبيقات الصناعية مثل معامل تكرير النفط والعمليات الكيميائية، حيث توفر تقنيات التحكم المستخدمة في هذه الأيام إمكانية كبيرة لقياس ومراقبة عدد كبير من العوامل والمتغيرات المرتبطة بسير العمليات في نظام ما وفي نفس الوقت، وتتيح إمكانية تجميع البيانات وتصنيفها وفق الأهمية والأولويات، إضافة إلى توفير نظم المراقبة والإنذار والتي تعتبر ذات أهمية كبيرة في أنظمة التحكم الآلي [1].

تلعب أنظمة التحكم الإشرافي وتجميع البيانات SCADA دورا كبيرا في عمليات التحكم الآلي، حيث أنها توفر المراقبة ضمن الزمن الحقيقي واكتشاف الأخطاء وإصلاحها إضافة إلى الإنذارات وإنشاء التقارير بشكل تلقائي وتوثيق الأحداث والعمليات وغيرها من المهام التي توفر الوثوقية والكفاءة في العمل [2].

أدخلت النظم الخبيرة من قبل مجموعة من الباحثين في مشروع Stanford Heuristic Programming Project، وتعتبر هذه النظم من الأشكال الأولى الناجحة لنظم الذكاء الصناعي وتلعب دورا كبيرا في تطوير نظام SCADA [3].

سمح التقدم التكنولوجي الكبير في العقود الأخيرة بتصميم متحكمات أكثر فعالية لاستخدامها في العمليات المعقدة وظهرت النظم الضبابية كبديل فعال للتحكم الآلي بالنظم غير الخطية مع مدخلات ومخرجات متعددة، حيث أن هذه النظم تضمن خبرة العاملين والمشغلين بالتالي تعطي آلية عمل تحاكي قدرة الإنسان في اتخاذ القرارات العقلانية، وأثبتت قدرتها على حل مختلف أنواع المشاكل في العديد من المجالات و التطبيقات، وتلعب القواعد التي يصمم المتحكم على أساسها دورا أساسيا في نجاح التطبيق وهذا يعتمد بدوره على الخبرة العالية في اتخاذ القرارات [4].

تستخدم المتحكمات المعتمدة على النظم الضبابية بشكل واسع للتحكم بالسرعات المتغيرة للجزء الدوار خاصة في المحركات الحثية المستخدمة في العمليات الصناعية [5].

تستخدم بشكل شائع في نظم دعم القرار (DSS) Decision Support System في مختلف المجالات على سبيل المثال نظم توزيع المياه، كما أنها تستخدم في عمليات التحكم بصمامات شبكات ضخ المياه [6]. تحتاج نظم ضخ المياه إلى التحكم بشكل أساسي بالضغط والتدفق، ويتم ذلك إما باستخدام الخوانق أو من خلال تغيير السرعة التي تعمل بها المضخة.

من أجل محطات الضخ التي تحتاج لضبط الضغط وتنظيم التدفق بشكل دقيق فإن الحل التقني والاقتصادي هو استخدام المضخات متغيرة السرعة، فهي توفر مرونة التشغيل لقيادة المضخات مقارنة مع طريقة التحكم باستخدام الخوانق والصمامات، ويعتبر استخدام المتحكمات الضبابية لقيادة مغير السرعة (VSD) أكثر الطرق فعالية وتوفيرا للطاقة، ويستخدم بشكل واسع في التطبيقات الصناعية [7].

أهمية البحث و أهدافه:

يهدف البحث إلى تصميم نظام تحكم ألي للتحكم بمحطة تبريد والاعتماد على المنطق الضبابي في تصميم المتحكمات، وكما هو الحال في العديد من المنشآت الصناعية فإن الكفاءة في العمل تعتمد بشكل كبير على العناصر المشغلة الخبيرة إضافة إلى قياس ومراقبة جميع المتغيرات المرتبطة بسير العمليات والتحكم بها وفق القيم المعيارية بما يتوافق مع متطلبات العمل، بالتالي فإن تدخل العامل البشري يكون كبير وفي كثير من الأحيان غير قادر على ضبط جميع العوامل والمتغيرات بشكل دقيق وهذا ما يزيد من احتمالية تعرض النظام للخطأ وانخفاض الجودة وزيادة استهلاك

الطاقة وغيرها من المشاكل الناتجة عن تدخل العامل البشري، من هنا كانت الحاجة لتصميم نظام التحكم الألي المرتبط بنظام خبير يعتمد على مفهوم المنطق الضبابي الذي يسمح بتضمين خبرة المشغلين في قاعدة معرفية واسعة من خلال المتحكمات الضبابية.

يتيح نظام التحكم المقترح إمكانية مراقبة وضبط سير العمليات ضمن مجال الزمن الحقيقي كما توفر إمكانية اكتشاف الأخطاء وإصلاحها وإعطاء الإنذارات البصرية والسمعية حسب الحاجة، كما تضمن تسجيل كافة العمليات والأحداث التي تطرأ على النظام بالتالي توفير الأهداف المرجوة من النظام المقترح و تقليل دور العامل البشري للوصول إلى التحكم الكامل والموثوق ذو الكفاءة العالية.

طرائق البحث و موادہ:

يتضمن البحث الأدوات المستخدمة في تصميم المتحكمات الضبابية وإنشاء الواجهات الخاصة بها وهي برنامج MATLAB، إضافة إلى البرنامج المستخدم في برمجة الواجهات التحكمية WINCC من شركة Siemens، والبرنامج المستخدم لبرمجة المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة STEP7.

يتضمن البحث طرق التحكم بالمحركات الحثية ودراسة تأثير وصل مقاومات إضافية مع الجزء الدوار على تيار وعزم الإقلاع من خلال نموذج عملي في برنامج MATLAB إضافة إلى التحكم بمستوى الخزان الرئيسي والتحكم بضغط المضخات (الطاردة المركزية) من خلال التحكم بسرعة الجزء الدائر بالاعتماد على المتحكمات الضبابية.

1 طرق التحكم بإقلاع المحركات الحثية: Induction Motors

تعتبر المحركات الحثية من محركات التيار المتناوب التي تعتمد على تزويد الطاقة لجزئها الدائر من خلال الحث الكهرومغناطيسي، وتستخدم بشكل واسع في القيادة الصناعية لمئاتها ووثوقيتها العالية إضافة لكونها اقتصادية. يسحب المحرك الحثي عند بداية الإقلاع تيار بدء عالي جدا يساوي أضعاف تيار التشغيل العادي مما يتسبب بعدة مشاكل منها هبوط في الجهد ورفع درجة حرارة ملفات المحرك وتحميل الموصلات وأجهزة الحماية بتيار أكبر من التيار الطبيعي [8].

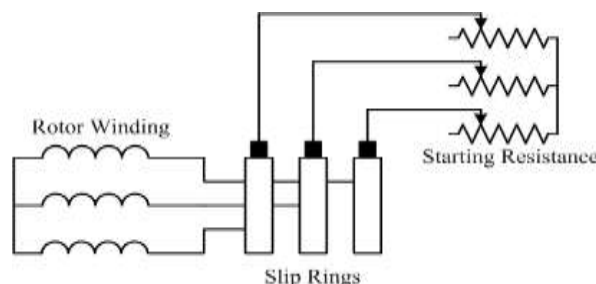
يتم التحكم بإقلاع المحركات الحثية بعدة طرق أكثرها شيوعا هي:

- طريقة إقلاع ستار _ دلتا Star – Delta Starter

- طريقة تغيير التردد Variable frequency drive

- طريقة مقاومات الجزء الدوار Rotor Resistance

الطريقة المستخدمة في هذا البحث هي إضافة مقاومة ثلاثية على التوالي مع ملفات الجزء الدائر، هذه الطريقة تصلح فقط للمحرك ذي حلقات الانزلاق حيث يبين الشكل (1) توصيل مقاومة ثلاثية على التوالي مع ملفات الجزء الدوار [9].



الشكل (1): وصل مقاومة ثلاثية مع ملفات الجزء الدائر.

2- مقارنة بين طرق إقلاع المحركات الحثية:

طريقة إقلاع ستار - دلتا Star - Delta Starter تحقق تيار إقلاع منخفض في البداية من خلال تحقيق الوصل النجمي لملفات الجزء الثابت وبعد وصول المحرك لسرعة محددة تعمل المبدلات على تغيير الوصل من النجمي إلى الدلتا، لهذه الطريقة عيوب تتمثل بانخفاض الجهد وعزم دوران بطيء في البداية الأمر مما يؤدي في بعض الأحيان إلى توقف المحرك، وعند استخدام طريقة تغيير التردد Variable frequency فإن مغير التردد يعمل على إقلاع المحرك الحثي بتردد منخفض وكافي لإعطاء عزم دوران كبير وتيار إقلاع منخفض، بينما تسمح طريقة مقاومات الجزء الدوار (هي الطريقة المستخدمة في البحث) بتوصيل مقاومات إضافية على التسلسل مع مقاومة الجزء الدوار، بالتالي تكون المقاومة أعظمية في بداية الإقلاع مما يؤدي إلى خفض تيار الإقلاع و زيادة العزم ومن ثم يتم فصل هذه المقاومات الموصولة بالتدرج مع زيادة سرعة دوران المحرك، تعتبر هذه الطريقة بسيطة جدا و كلفة صيانتها منخفضة مقارنة بالطرق السابقة [10].

3 المضخات:

يوجد مجموعة من المصطلحات الخاصة بالمضخات تبين طريقة عملها والعوامل المؤثرة بها وأهما:

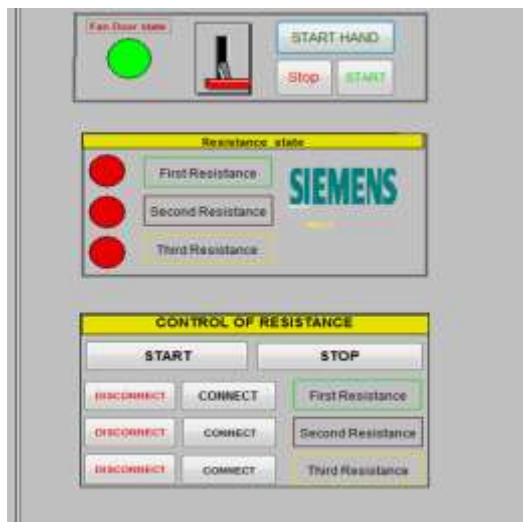
معدل تصريف المضخة: هو حجم الماء الذي تعطيه المضخة في ثانية واحدة، ويقاس بوحدة m^3/s ويمكن تقديره عمليا بقياس الزمن اللازم لملء حجم معين بالماء الخارج من المضخة ثم قسمة الحجم على الزمن [11].

السمت: يعبر السمت عن ارتفاع عمود السائل من مستوى إلى آخر ويقدر بوحدة هي المتر [12].

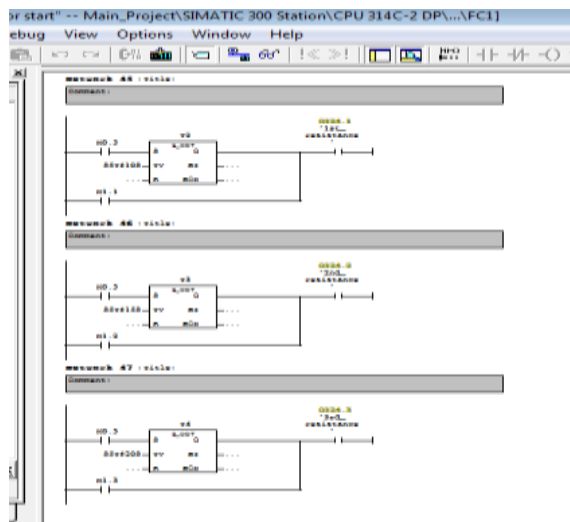
3- تصميم النظام المقترح:

1 إضافة مقاومات إلى مقاومة الجزء الدوار للمحرك الحثي:

يؤدي توصيل المقاومة الثلاثية مع ملفات العضو الدائر إلى الحد من تيار البدء المسحوب من المصدر، وزيادة عزم دوران الإقلاع، حيث أنه في المحركات الحثية يجب أن يحقق عزم إقلاع أعظمي، ويتم فصل هذه المقاومات تدريجيا مع زيادة سرعة المحرك باستخدام المؤقتات، بالتالي فإن وضع المقاومات على التسلسل مع مقاومة الجزء الدوار للمحرك لا يؤدي فقط إلى ضبط تيار الإقلاع بل يزيد من العزم أيضا، يبين الشكل (2-a) والشكل (2-b) جزء من الكود البرمجي باستخدام برنامج STEP7 والواجهة التحكمية باستخدام WINCC، ويبين الشكل (2-c)، واجهة النموذج الخاص بدراسة أثر هذه الطريقة حيث يتم إدخال قيم المقاومات والمتغيرات الأخرى كعدد الأقطاب، وجهد تغذية المحرك.



الشكل(2-ب): واجهة التحكم باستخدام WINCC.



الشكل(2-أ): البرمجة باستخدام STEP7.



الشكل(2-ج): الواجهة المصممة باستخدام برنامج MATLAB لدراسة أثر إضافة مقاومات إلى مقاومة الجزء الدوار للمحرك الحثي.

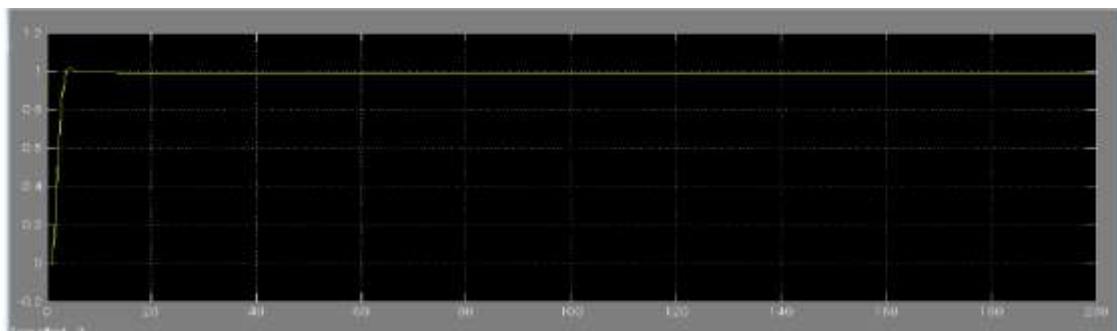
2 أهمية المتحكمات الضبابية:

يوجد العديد من الطرق لتصميم المتحكمات المستخدمة في السيطرة على مستوى السائل وسرعة المضخات، أكثرها شهرة هي متحكمات (PID) والمتحكمات الضبابية (FLC)، وأجريت العديد من الدراسات لمقارنة أداء هذه المتحكمات، حيث أثبتت جميعها تفوق المتحكمات الضبابية في هذا النوع من التطبيقات من حيث امتلاكها لسرعة استجابة أعلى وزمن استقرار أقل، إضافة إلى أن متحكمات ال PID تملك سلوك متذبذب (oscillatory) يؤثر بشكل سلبي على النظام، وهذا بخلاف المتحكمات الضبابية التي تخلو من هذه التذبذبات الخطيرة في الفترة العابرة.

يبين الشكل (3) والشكل (4) استجابة كل من المتحكم الضبابي و متحكم PID [13].

إضافة لذلك، فإن استخدام المتحكمات الضبابية للتحكم بضغط السائل الخارج من المضخات يوفر حلا اقتصاديا فعالا

مقارنة بالطرق التقليدية (الصمامات، الخوانق، التحكم بسرعة المضخة من خلال الكوابح) التي تتسبب في زيادة استهلاك الطاقة و ازدياد الأعطال وعمليات الصيانة [14].



الشكل(3): استجابة المتحكم الضبابي FLC.



الشكل(4): استجابة المتحكم PID.

3 تصميم المتحكم الضبابي الخاص بمستوى السائل في الخزان:

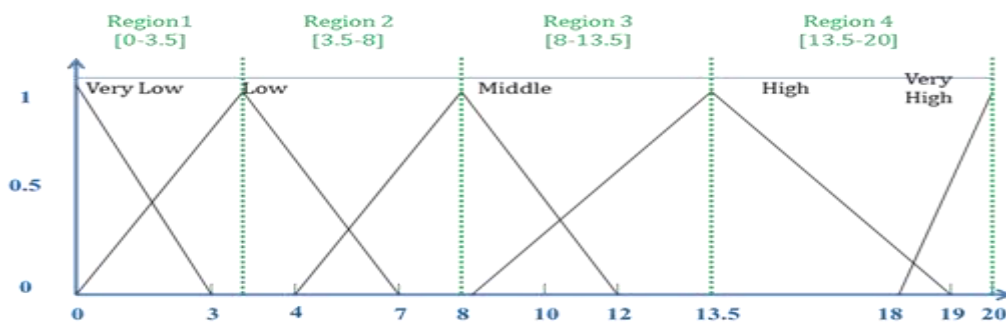
يقسم الحوض الرئيسي لتخزين المياه إلى عشرين مستوى ويتصل به خطان للمياه هما خط التعويض (Make Up) لتعويض النقص في مستوى الخزان والأخر خط الهدر (Drain) الذي يستخدم للتخلص من المياه الملوثة.

Fuzzifier 1-3

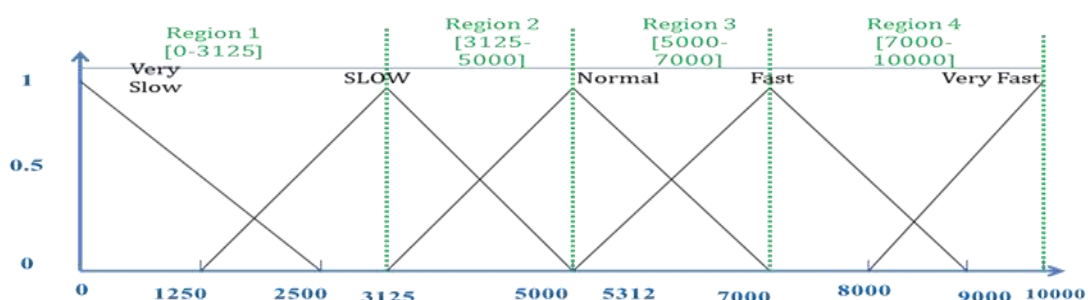
يتم في هذه المرحلة مقارنة المدخلات من قبل Fuzzifier مع مستويات محددة ويتم تحديد مصطلحات لغوية خاصة بمحرك الاستدلال inference engine.

تم تحديد مدخلين هما مستوى السائل ومعدل التدفق، وخرجين هما نسبة فتح صمام التعويض وصمام الهدر، وذلك اعتماداً على الدراسة الميدانية لنظام المنشأة القائمة المدروسة.

بعد القيام بمجموعة من الاختبارات ودراسة الاستجابة تم تحديد خمس توابع عضوية (Member Functions) مثلثية لمتغير الدخل (Water Level) ضمن مجال يتراوح بين [0 - 20] متر، وخمس توابع عضوية مثلثية لمتغير الدخل (Flow Rate) ضمن مجال يتراوح بين [0-10000] متر مكعب في الثانية كما يوضح الشكل (5) والشكل (6)، وتم اختيار هذه المجالات بالاعتماد على خبرة المشغلين ومعرفتهم بالمنشأة المدروسة.

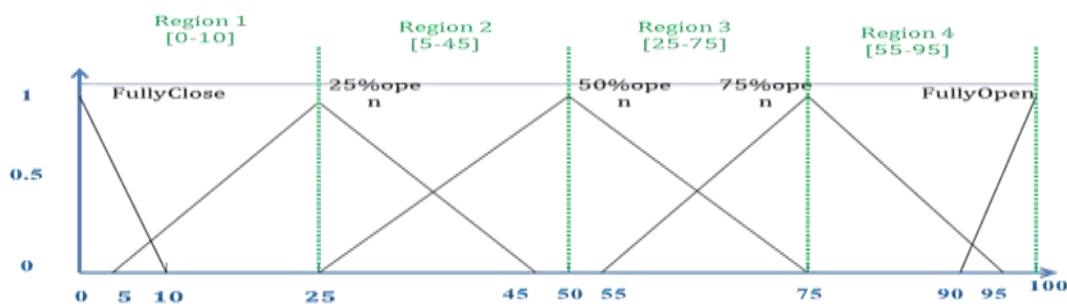


الشكل(5): توابع العضوية لمتغير الدخل Water Level.

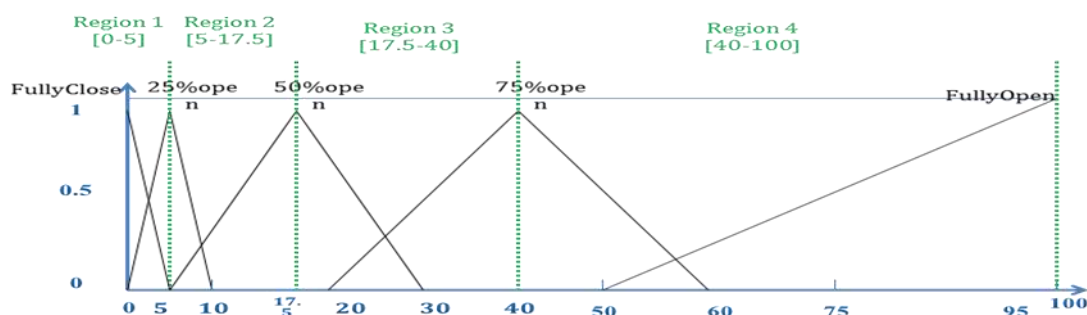


الشكل(6): توابع العضوية لمتغير الدخل Flow Rate.

بنفس الطريقة وبعد اجراء مجموعة من الاختبارات على استجابة المتحكم تم تحديد خمس توابع عضوية مثلثية لمتغير الخرج (Make Up Valve) ضمن مجال يتراوح بين [0 - 100] بالمائة، وخمس توابع عضوية مثلثية لمتغير الخرج (Drain Valve) ضمن مجال يتراوح بين [0-100] بالمائة، كما يوضح الشكل (7) والشكل (8).



الشكل (7): توابع العضوية لمتغير الخرج Make Up Valve.

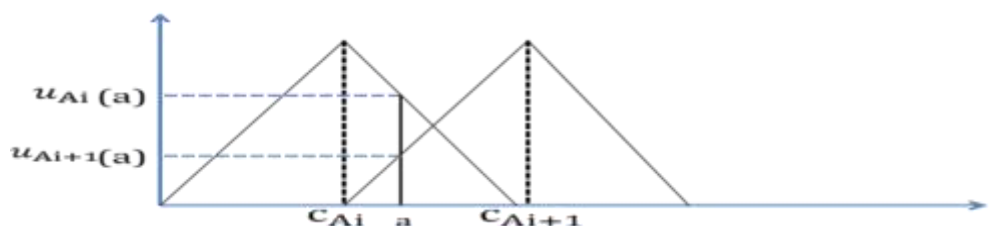


الشكل (8): توابع العضوية لمتغير الخرج Drain Valve.

يتم أيضا تحديد درجات انتماء مدخلات المتحكم للمجموعات الضبابية ،حيث أنه لكل متغير دخل درجتي انتماء هما (f1, f2) لمتغير الدخل الأول و (f3 , f4) لمتغير الدخل الثاني. تبين العلاقات الرياضية (1 و 2) والشكل (9) كيفية حساب درجات الانتماء [15].

$$(1) \quad u_{A_i}(a) = \frac{C_{A_{i+1}} - a}{C_{A_{i+1}} - C_{A_i}} \quad \text{درجة الانتماء للمجموعة الضبابية الأولى}$$

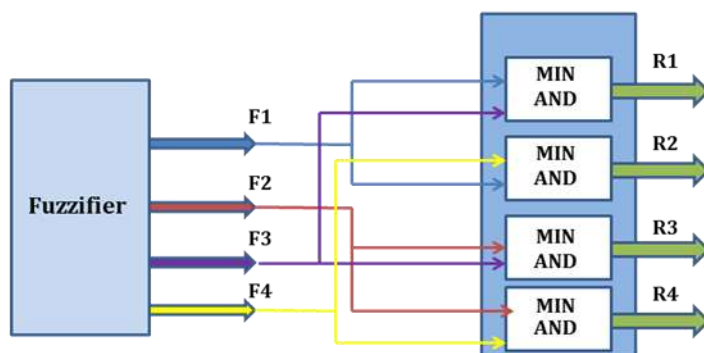
$$(2) \quad u_{A_{i+1}}(a) = \frac{a - C_{A_i}}{C_{A_{i+1}} - C_{A_i}} \quad \text{درجة الانتماء للمجموعة الضبابية الثانية}$$



الشكل (9): حساب درجات انتماء المدخلات للتوابع العضوية.

2-3 محرك الاستدلال: Inference Engine

يحاكي محرك الاستدلال طريقة العقل البشري في اتخاذ القرار في المفاهيم الضبابية غير الواضحة من خلال تضمين خبرة المشغلين باستخدام قواعد الاستدلال وفق المنطق الضبابي، وهو المرحلة الثانية من تصميم المتحكم حيث يتكون من أربع عمليات منطقية AND من أجل متغيري دخل كما يبين الشكل(10)، حيث تقوم باختيار قيمة الدخل الأصغر على مخرجها [16].



الشكل(10): بنية محرك الاستدلال.

يتم تحديد عدد القواعد وفقا للعلاقة التالية: عدد قواعد الاستدلال الأعظمي تساوي M^n . حيث: M تمثل العدد الأقصى للمجموعات الضبابية الخاصة بمتغيرات الدخل. n تمثل عدد متغيرات الدخل .

من أجل التصميم المقترح فإن $M = 5$ و $n = 2$ ، بالتالي يكون العدد الأعظمي لقواعد الاستدلال تساوي 25 قاعدة.

يمكن القول أيضا أن العدد الكلي للقواعد يساوي إلى ناتج ضرب عدد توابع العضوية الخاصة بمتغيرات الدخل مع بعضها البعض [17].

يبين الجدول (1) القواعد المستخدمة في تصميم المتحكم الضباب.

جدول (1): قواعد الاستدلال الكلية.

Water Level (m)	Flow Rate(m^3/s)	Make Up Valve	Drain Valve
Very Low	Very Slow	Fully Open	Fully Close
Very Low	Slow	Fully Open	Fully Close
Very Low	Normal	Fully Open	Fully Close
Very Low	Fast	Fully Open	Fully Close
Very Low	Very Fast	Fully Open	Fully Close
Low	Very Slow	Fully Open	Fully Close
Low	Slow	Fully Open	Fully Close
Low	Normal	Fully Open	Fully Close
Low	Fast	Fully Open	Fully Close
Low	Very Fast	Fully Open	Fully Close
Middle	Very Slow	Open 75 %	Fully Close
Middle	Slow	Open 75 %	Fully Close
Middle	Normal	Open 75 %	Fully Close
Middle	Fast	Open 50 %	Fully Close
Middle	Very Fast	Open 50 %	Fully Close
High	Very Slow	Open 50 %	Open 25 %
High	Slow	Open 50 %	Open 25 %
High	Normal	Open 50 %	Open 25 %
High	Fast	Open 25 %	Open 25 %
High	Very Fast	Open 25 %	Open 25 %
Very High	Very Slow	Open 25 %	Open 50 %

Very High	Slow	Open 25 %	Open 75 %
Very High	Normal	Fully Close	Open 75 %
Very High	Fast	Fully Close	Fully Open
Very High	Very Fast	Fully Close	Fully Open

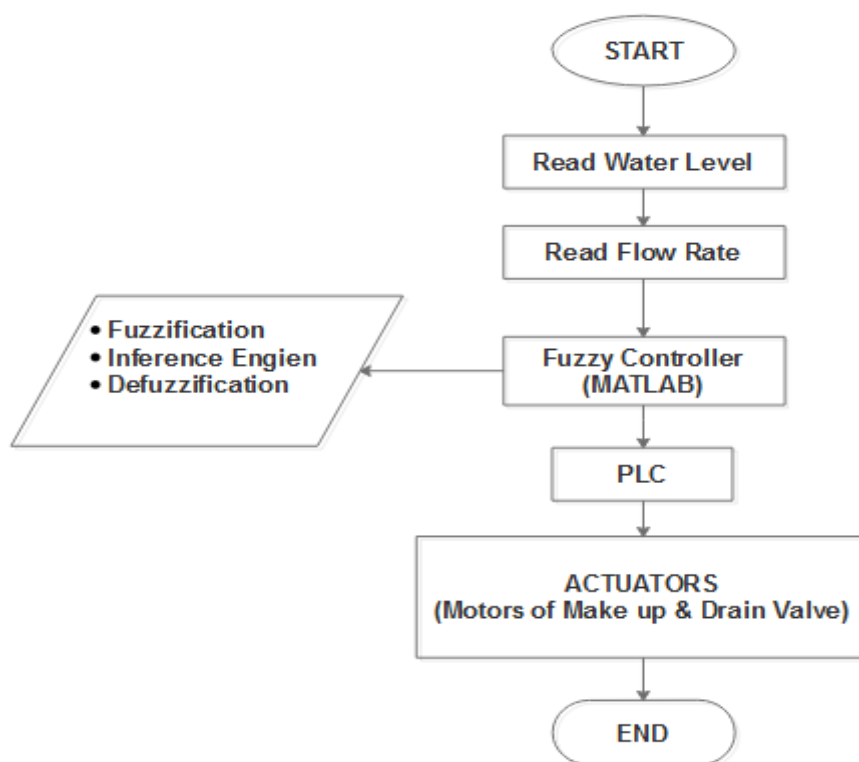
من أجل متغيري دخل يتم تحديد أربع مناطق (تنتج عن انتماء قيمة كل دخل إلى مجالين مختلفين)، تحوي كل منطقة على متغيرين ضبابيين، ويقوم محدد القواعد وبناءا على القواعد التي تم اختيارها وهي R1,R2,R3,R4 بتصنيفها في أربع أقسام لمتغيري دخل وترميزها S1,S2,S3,S4 .

3-3 Defuzzifier:

تعطي عملية Defuzzification قيم حقيقية في خرجها بعد تقدير مدخلاتها، في هذا النظام المقترح يوجد 8 مدخلات من المرحلة السابقة هي عبارة عن R1,R2,R2,R4 و S1,S2,S3,S4 ويتم حساب قيم خرج هذه المرحلة باستخدام طريقة مركز المتوسط (C.O.A) Center Of Average [15]، وفق العلاقة التالية:

$$(3) \quad \text{C.O.A} = \frac{\sum S_i * R_i}{\sum R_i} \quad \text{طريقة مركز المتوسط}$$

وفيما يبين الشكل (11) خوارزمية العمل باستخدام المتحكم الضبابي المقترح.



الشكل(11): خوارزمية العمل باستخدام المتحكم الضبابي.

4 تصميم المتحكم الضبابي الخاص بالتحكم بالمضخات الطاردة المركزية:

الغاية من التحكم بالمضخة هو ضبط ضغط المياه الخارجة منها عند قيمة محددة والطريقة المستخدمة في هذا البحث هي تصميم متحكم ضبابي وفق مجموعة من القواعد المعتمدة على خبرة المشغلين بحيث يكون خرج عبارة عن

سرعة الجزء الدوار اللازمة في لحظة تشغيل معينة لضبط الضغط الخارج للماء حول قيمة محددة و يشكل خرج المتحكم إشارة دخل لمغير السرعة والذي يعتمد بدوره على تغيير خصائص التيار الكهربائي (التردد) الذي تعمل به المضخة لضبط سرعتها عند القيمة المطلوبة.

المضخة المدروسة في هذا البحث هي المضخة الطاردة المركزية وهي تصنف من المضخات الديناميكية، تتميز المضخات الطاردة المركزية بعدة خصائص يمكن توضيحها من خلال مجموعة من المنحنيات.

● منحنى التصريف - السمات:

أحد أهم خصائص مضخات الطرد المركزي، وهي علاقة تصريف الماء الخارج من المضخة [12]. يمكن مثلا لمضخة أن تعطي تصريفا قدره $120 \text{ m}^3/\text{hr}$ مقابل سمات قدره 40 m أو أن تعطي تصريفا آخر قدره $200 \text{ m}^3/\text{hr}$ عند سمات قدره 24 m وذلك من أجل سرعة 1750 RPM .

● منحنيات كفاءة المضخة:

بالإضافة لمنحنى سمات المضخة هناك منحنيات تحدد كفاءة المضخة، فعند نقطة تشغيل معينة تحدد بسمت وتصريف المضخة يمكن معرفة القدرة اللازمة لتشغيل هذه المضخة و تحديد كفاءتها [18]. عند اختيار مضخة لعمل معين يجب أن تقع نقطة تشغيلها حول نقطة الكفاءة القصوى للمضخة وذلك لضمان تشغيلها بطريقة اقتصادية .

● قوانين المضخات:

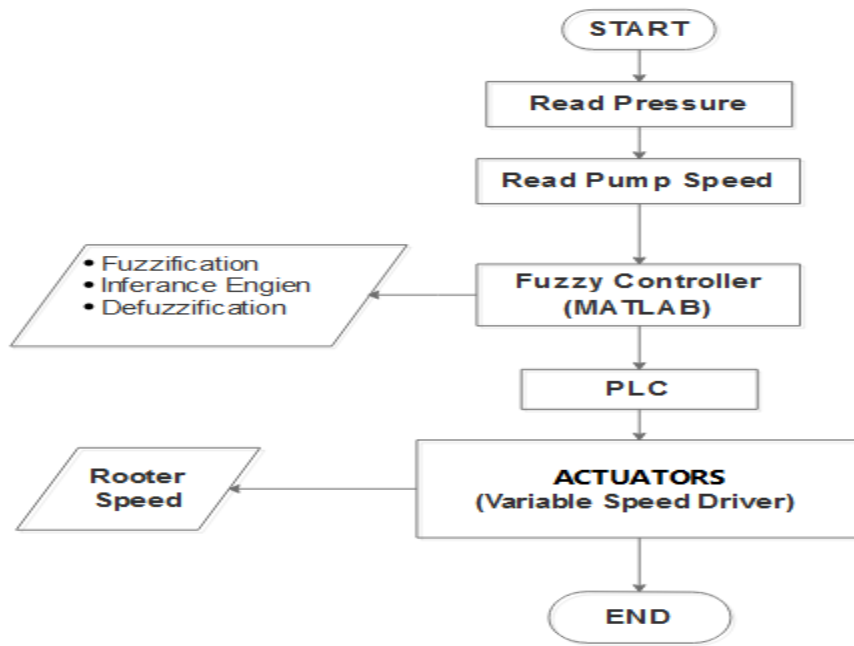
هناك عدة علاقات خاصة بالمضخات تسمى قوانين التشابه، ومن هذه القوانين ما يبين تأثير تغير سرعة الجزء الدائر على معدل التدفق للمضخة والسمت للمضخة، هذه العلاقات الرياضية موضحة في المعادلات (4 و 5) [18].

$$(4) \quad \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad \text{علاقة التشابه بين التدفق و سرعة الجزء الدائر}$$

$$(5) \quad \frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \quad \text{علاقة التشابه بين السمات و سرعة الجزء الدائر}$$

4-1 البنية الرئيسية لنظام التحكم الضبابي الخاص بالمضخات:

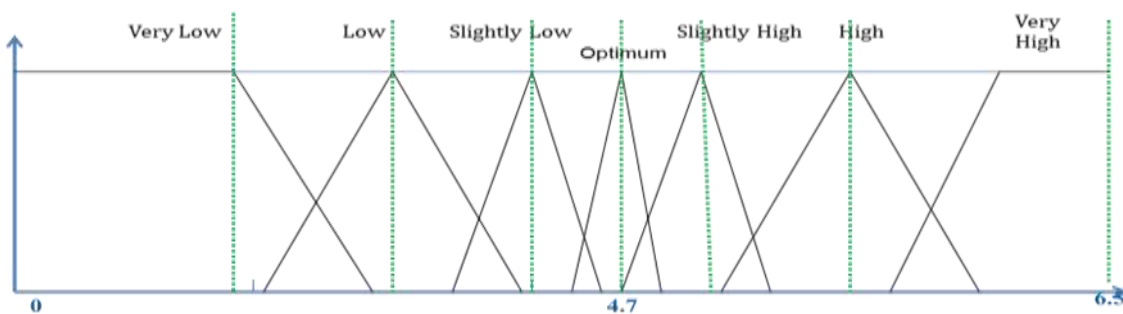
بعد تحديد سلوك الضغط في منظومة الضخ والاعتماد على تغير سرعة الجزء الدائر للمضخة تم تحديد متغيرين لدخل المتحكم الضبابي هما الضغط pressure وسرعة الدائر Speed وتحديد متغير واحد للخروج هو Rooter Speed Dif D(N) والذي يعبر عن الزيادة أو النقصان المطلوبة في سرعة الجزء الدائر للمضخة. يبين الشكل (12) خوارزمية العمل باستخدام المتحكم الضبابي المقترح.



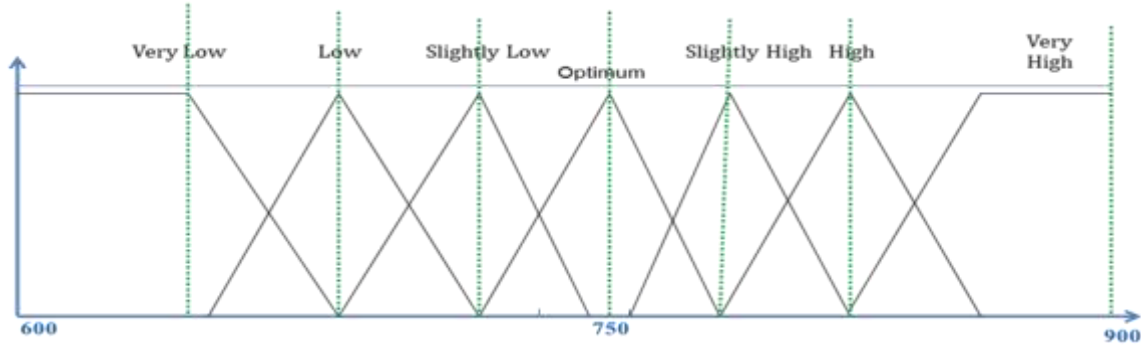
الشكل(12): خوارزمية العمل باستخدام المتحكم الضبابي.

2-4: Fuzzification

يتم تحديد مدخلات المتحكم وهي الضغط الحالي Pressure وسرعة الجزء الدائر للمضخة Speed والخرج عبارة عن مقدار التغيير في سرعة الجزء الدائر (زيادة أو نقصان).
 بعد إجراء مجموعة من الاختبارات ودراسة استجابة المتحكم تم تحديد سبعة توابع عضوية (Member Functions) لمتغير الدخل (Press) ضمن مجال يتراوح بين [0 - 6.5] بار، وسبعة توابع عضوية لمتغير الدخل (Speed) ضمن مجال يتراوح بين [600-900] دورة في الدقيقة كما يوضح الشكل (13) والشكل (14).
 تم تحديد هذه المجالات نتيجة دراسة نظام المنشأة المدروسة والاعتماد على معرفة وخبرة المشغلين.

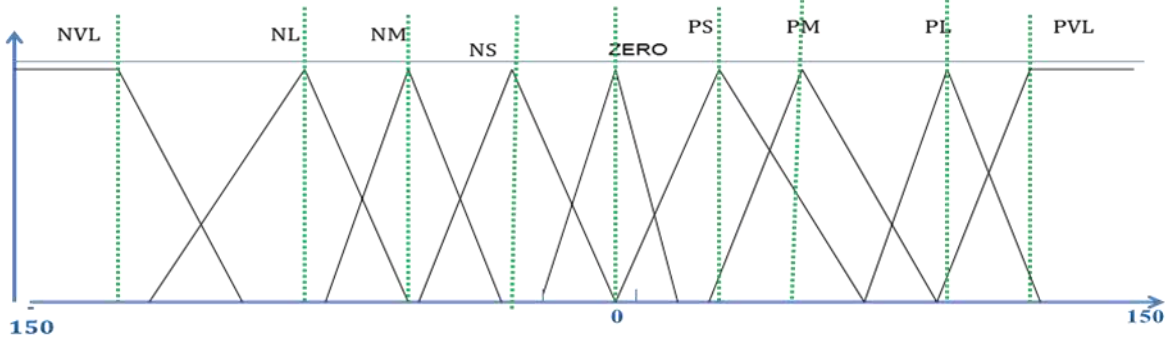


الشكل(13): توابع العضوية لمتغير الدخل-الضغط.



الشكل (14): توابع العضوية لمتغير الدخل - السرعة.

تحديد تسعة توابع عضوية لمتغير الخرج $DIF(N)$ ضمن مجال $[-150 - 150]$ دقة بالدقيقة كما في الشكل(15).



الشكل(15): توابع العضوية لمتغير الخرج - فرق السرعة

3-4 محرك الاستدلال : Inference Engine

كما ذكرنا سابقا فإنه في هذه المرحلة يتم تكوين القواعد الحاكمة لعمل المتحكم والتي تقدم محاكاة لطريقة التفكير البشرية وكلما كانت القواعد الحاكمة دقيقة وشاملة كانت النتائج أكثر دقة، والقواعد المستخدمة في المتحكم الضبابي المقترح مبينة في الجدول (2).

جدول(2): القواعد المستخدمة في تصميم المتحكم الضبابي الخاص بالمشخة.

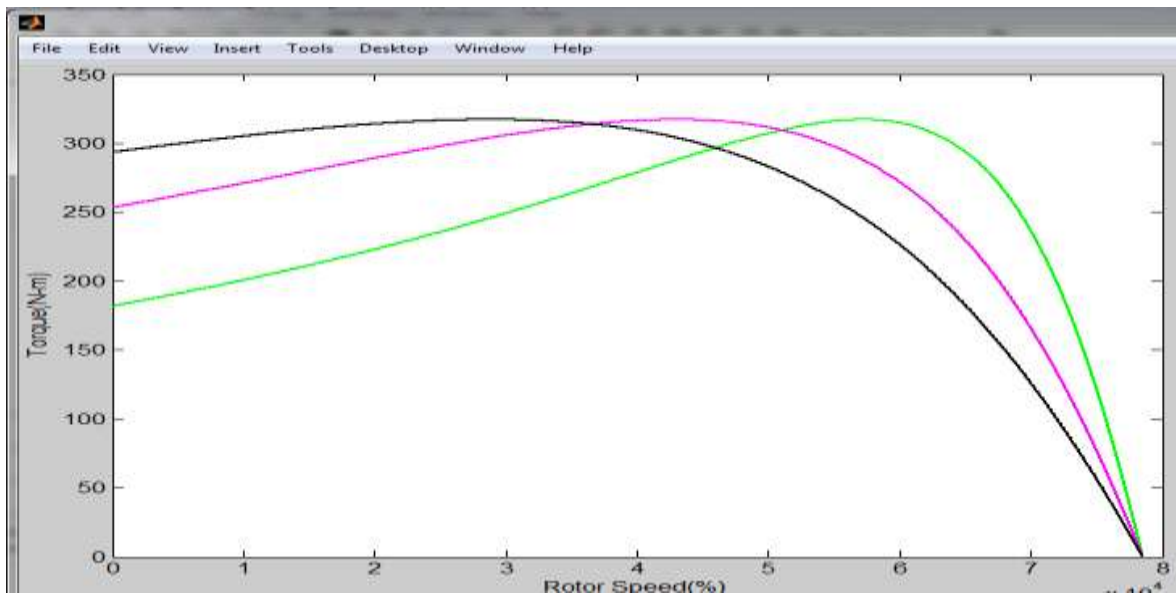
رقم	Pressure (bar)	Speed (rpm)	D(N) (rpm)	رقم	Pressure (bar)	Speed (rpm)	D(N) (rpm)
1	VL	VL	PVL	18	VH	OP	NM
2	LO	VL	PVL	19	VL	SH	PL
3	VL	LO	PVL	20	LO	SH	PM
4	LO	LO	PVL	21	SL	SH	PM
5	SL	LO	PL	22	OP	SH	ZERO
6	OP	LO	ZERO	23	SH	SH	NS

7	VL	SL	PVL	24	HI	SH	NM
8	LO	SL	PVL	25	VH	SH	NM
9	SL	SL	PL	26	SL	HI	PS
10	OP	SL	ZERO	27	OP	HI	ZERO
11	SH	SL	NS	28	SH	HI	NM
12	VL	OP	PVL	29	HI	HI	NM
13	LO	OP	PL	30	VH	HI	NL
14	SL	OP	PM	31	OP	VH	ZERO
15	OP	OP	ZERO	32	SH	VH	NM
16	SH	OP	NS	33	HI	VH	NL
17	HI	OP	NS	34	VH	VH	NVL

النتائج و المناقشة:

1 اختبار إضافة مقاومة إلى ملفات الجزء الدائر للمحرك الحثي:

تم تصميم نموذج باستخدام برنامج MATLAB يبين تأثير هذه الطريقة كما يبين الشكل (16).



الشكل(16): تأثير مقاومة العضو الدائر على عزم الإقلاع.

بأخذ قيم المقاومات بالشكل التالي $R_2 > R_1 > R_0$ نلاحظ أنه يمكن تغيير موضع العزم الأقصى من خلال ربط مقاومة إضافية على التسلسل مع مقاومة الجزء الدائر، وكلما كانت قيمة المقاومة المضافة أكبر كلما انزاح موقع

العزم الأعظمي باتجاه نقطة بدء الإقلاع (السرعة صفر)، بالتالي عند بدء الإقلاع تكون قيمة العزم أعظمية مما يسمح للمحرك بالدوران والتغلب على المقاومة، ويتم فصل المقاومات بالتدرج مع زيادة سرعة دوران المحرك.

2 اختبار المتحكم الضبابي الخاص بمستوى السائل:

في هذا الجزء سيتم اختبار المتحكم الضبابي المقترح وذلك باستخدام طريقتين الأولى حسابية وفق العلاقات الرياضية والثاني من خلال النمذجة باستخدام برنامج MATLAB ومن ثم مقارنة النتائج.

1-2 اختبار المتحكم باستخدام الطريقة الحسابية:

سيتم اختيار متغيري دخل كالتالي: $\text{Flow Rate} = 6500 \text{ m}^3/\text{s}$ ، $\text{Water Level} = 9 \text{ m}$ ، ويتم حساب درجات انتماء متغيري الدخل كما هو مبين في الجدول (3).

جدول (3): حساب درجات انتماء متغيري الدخل.

متغير الدخل	القيمة	المنطقة	درجة الانتماء
Water Level	X = 9 m	$8 \leq X < 13.5$ Region 3	$F1 = (13.5 - 9) / (13.5 - 8) = 0.81$
			$F2 = (9 - 8) / (13.5 - 8) = 0.19$
Flow Rate	X = $6500 \text{ m}^3/\text{s}$	$5000 \leq X < 7000$ Region 3	$F3 = (7000 - 6500) / (7000 - 5000) = 0.25$
			$F4 = (6500 - 500) / (7000 - 5000) = 0.75$

بعد الحصول على درجات انتماء التوابع العضوية يتم حساب القواعد Rule كما يلي:

$$F1 = 0.81 , F2 = 0.19 , F3 = 0.25 , F4 = 0.75$$

$$R1 = (0.81) \wedge (0.25) = 0.25$$

$$R2 = (0.81) \wedge (0.75) = 0.75$$

$$R3 = (0.19) \wedge (0.25) = 0.19$$

$$R4 = (0.19) \wedge (0.75) = 0.19$$

وتكون مجموعة القواعد المستنتجة مبينة في الجدول (4).

جدول (4): مجموعة القواعد المستنتجة

رقم القاعدة	Water Level	Flow Rate	Make Up Valve	Drain Valve	S
1	Middle	Normal	Open 75%	Fully Close (0)	S1
2	Middle	Fast	Open 50%	Fully Close	S2
3	High	Normal	Open 50%	Open 25%	S3
4	High	Fast	Open 25%	Open 25%	S4

المرحلة الأخير هي الحصول على القيم الحقيقية لنسب فتح كل من صمامي التعويض والهدر كما هو مبين في الجدولين (5 - 6).

جدول (5): حساب نسبة فتح صمام التعويض

i	R _i	S _i	S _i * R _i
1	0.25	0.75	0.189
2	0.75	0.5	0.39
3	0.19	0.5	0.095
4	0.19	0.25	0.047
		= 1.38 ∑ R _i	= 0.741 ∑ S _i * R _i

$$\frac{\sum S_i * R_i}{\sum R_i} = \frac{0.741}{1.38} = 0.536 = 53.6\%$$

نسبة فتح صمام التعويض

جدول (6): حساب نسبة فتح صمام الهدر.

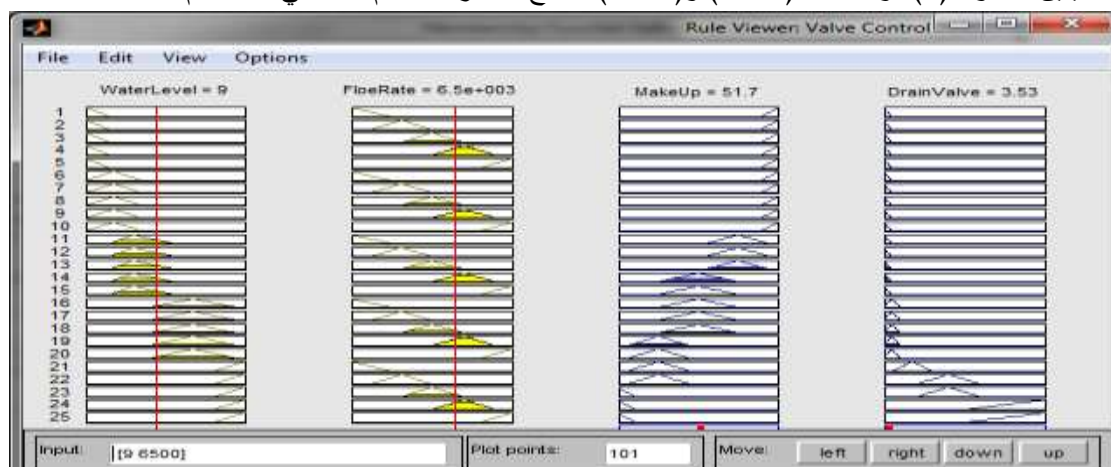
i	R _i	S _i	S _i * R _i
1	0.25	0	0
2	0.75	0	0
3	0.19	0.25	0.04
4	0.19	0.25	0.04
		= 1.38 ∑ R _i	= 0.08 ∑ S _i * R _i

$$\frac{\sum S_i * R_i}{\sum R_i} = \frac{0.08}{1.38} = 0.057 = 5.7\%$$

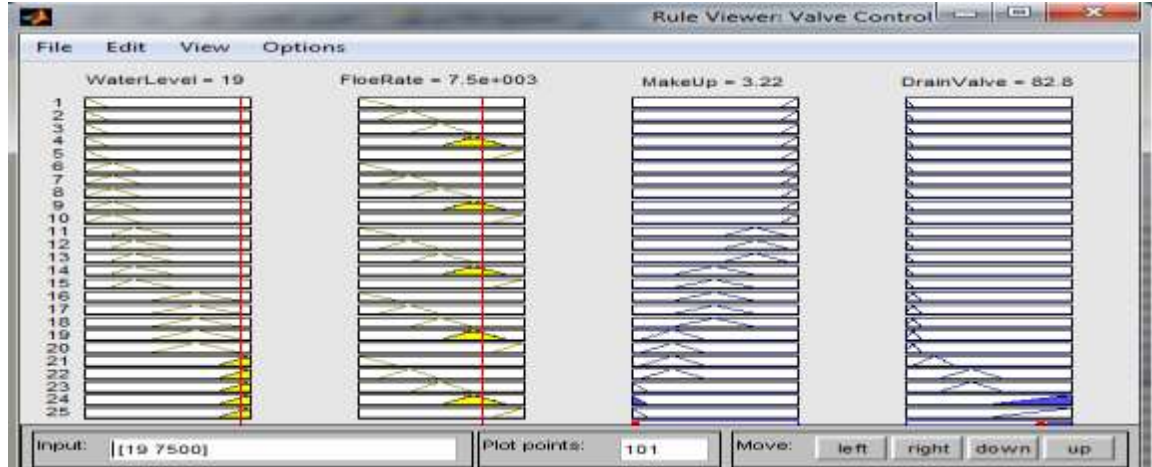
نسبة فتح صمام الهدر

2-2 اختبار المتحكم الضبابي باستخدام MATLAB:

يبين الجدول (7)، والأشكال (17-a) و(17-b)، نتائج اختبار المتحكم الضبابي باستخدام Rule Viewer.



الشكل (17-a): نتائج اختبار أول للمتحكم الضبابي.



الشكل (17-b): نتائج اختبار ثاني للمتحكم الضبابي.

جدول (7): نتائج اختبار المتحكم الضبابي.

المتغيرات		Make Up Valve	Drain Valve
Water Level (m)	Flow Rate (m ³ /s)		
9	6500	51 %	4 %
19	7500	3 %	82 %

تظهر النتائج التي حصلنا عليها ما يلي:

عندما يكون مستوى السائل في الخزان قريب من الحد الأدنى فإن المتحكم الضبابي يحدد نسبة فتح كبيرة لصمام التعويض مع نسبة فتح صغيرة جدا لصمام الهدر لتعويض النقص الحاصل في الخزان بهدف الحفاظ على مستوى السائل ضمن الحدود المقبولة لتشغيل المضخات، التي تقوم بدورها بسخ الماء المبرد إلى بقية الأقسام. عندما يكون مستوى السائل في الخزان قريب من المستوى الأعظمي فإن المتحكم يحدد نسبة فتح صغيرة لصمام التعويض مقابل نسبة فتح كبيرة لصمام الهدر.

يظهر الجدول (8) مقارنة بين النتائج التي حصلنا عليها عند اختبار المتحكم الضبابي باستخدام الطريقة الحسابية و باستخدام برنامج MATLAB عند نفس القيم لمدخلات المتحكم، وأظهرت المقارنة أن النتائج متقاربة جدا في الطريقتين، مع الإشارة إلى أن التصميم باستخدام MATLAB وهو أكثر سهولة من استخدام الطريقة الحسابية.

جدول (8): مقارنة بين النتائج الحسابية و نتائج النمذجة باستخدام برنامج MATLAB.

النتيجة	Make Up Valve	Drain Valve
الطريقة الحسابية	53.6 %	5.7 %
النمذجة باستخدام MATLAB	51.3 %	4.86 %

3 اختبار المتحكم الضبابي الخاص بالمضخة و مناقشة النتائج:

خرج المتحكم الضبابي هو الفرق في سرعة الجزء الدائر، وبعد تحديد الفرق يتم حساب السرعة الجديدة للمضخة ومنها يمكن حساب التردد الذي يشكل إشارة دخل لمغير السرعة وفق المعادلة (6).

$$(6) \quad N = \frac{60 * f}{p} \quad \text{سرعة الدوران}$$

حيث: N تمثل سرعة الدوران.

f يمثل التردد.

P تمثل عدد أقطاب المحرك.

سنقوم باختبار المتحكم الضبابي وفق مجموعة من القيم لمتغيري الدخل، بفرض أن المضخة مستقرة عند نقطة

التشغيل الطبيعية بقيم دخل Speed = 750 rpm ، Pressure = 4.7 bar.

بنفس الطريقة قمنا باختبار استجابة المتحكم باستخدام Rule Viewer في برنامج MATLAB بإجراء تغييرات

متتالية في الضغط (زيادة ونقصان)، والنتائج مبينة في الجدول (9).

جدول(9): اختبارات المتحكم الضبابي الخاص بالتحكم بضغط المضخة.

النتيجة				تغير قيمة الضغط (بار)
الضغط (بار)	التردد المطلوب (HZ)	السرعة الجديدة للمضخة (دورة في الدقيقة)	فرق السرعة (دورة في الدقيقة)	
4.64	55	750+79 = 829	79	3.8
4.78	51	839-56 = 773	56 -	5.5
4.77	46	773-72 = 701	72 -	5.8
4.72	55	701+125 = 826	125	3.4
4.64	51	826-53 = 773	53 -	5.3
4.5	53	773+32 = 805	32	4.1
4.64	51	805-36 = 769	36-	5.1
4.32	55	769+51 = 820	51	5.8

ناقش هذا الجزء من البحث استخدام التحكم الضبابي للتحكم بسرعة الجزء الدائر لمضخة طاردة مركزية، بهدف

الحفاظ على الضغط ضمن قيم محددة، وأظهرت النتائج التي حصلنا فعالية التحكم الضبابي في هذا النوع من

التطبيقات، حيث كانت النتائج مرضية من خلال ضبط قيمة الضغط الخارج من المضخة ضمن الحدود المطلوبة

وخلال ظروف تشغيل مختلفة.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات

قدم البحث وصفا لطريقة التحكم بمحرك حتي ثلاثي الأوجه عبر إضافة مقاومات على التسلسل مع جزء العضو الدوار وتم إثبات فعالية هذه الطريقة في زيادة عزم الإقلاع إضافة لعرض مقارنة بين طرق الإقلاع والخصائص التي تقدمها كل طريقة.

انتقلنا بعد ذلك لعرض تصميم متحكم ضبابي للتحكم بمستوى الماء في الخزان الرئيسي من خلال تحديد نسب فتح صمامي الهدر والتعويض والذي يعتمد بشكل أساسي في عمله على مجموعة من القواعد التي صمم المتحكم على أساسها وبيننا فعالية استخدام المتحكم الضبابي في هذا النوع من التطبيقات.

تم عرض تصميم متحكم ضبابي للتحكم بسرعة الجزء الدائر لمضخة طاردة مركزية وإجراء الاختبارات، حيث أثبتت النتائج فعالية النظام الضبابي المقترح في الحفاظ على ضغط خارج من المضخة ضمن مجال التشغيل المطلوب.

أثبتت نتائج هذا البحث فعالية استخدام المتحكمات الضبابية (التي تحاكي الطريقة البشرية في التفكير) في التطبيقات التي تحتاج دقة عالية وسرعة في الاستجابة، وفعاليتها في تحويل قواعد تحكم لغوية معتمدة على المعرفة والخبرة إلى استراتيجية تحكم آلية .

التوصيات:

- اختيار المضخات بشكل دقيق بحيث يتوافق بين قدرة المضخة ومتطلبات النظام.
- يمكن استخدام الصمامات كمرحلة إضافية بعد ضبط السرعة من أجل إقصاء الزيادة أو النقصان في قيم الضغط عند الحاجة إلى ضبط أكبر لقيم الضغط.
- استخدام مغير السرعة VSD لما له من دور كبير في ضبط سرعة المضخة إضافة لدورها في توفير الطاقة المستهلكة بشكل خاص من قبل المضخات والمراوح المستخدمة في التطبيقات الصناعية.

المراجع:

- [1] COJBASIC, V; Petrovic, I. *Intelligent Decision Making In Wastewater Treatment Plant Scada System*. Facta Automatic Control and Robotics. Vol. 9, NO. 1, 2010, 69-77.
- [2] PAL, N; DAVE, SH. *Process Automation Through PLC and SCADA*. International Journal for Innovative Research in Science & Technology. VOL. 1, NO. 6, 2010, 180-183.
- [3] BARA, C; POPESCU, D; LUPU, C. *Expert System for Generated SCADA Configuration with Practical Application in the Naval Industry*. University of Bucharest, Romania, 2011.
- [4] Zadeh, L. *Is There Need for Fuzzy Logic?*. International Journal of Information Science 178, 2008, 2751-2779.
- [5] ASGHARPOUR, S; BEROMI, A; YAGHOBI, H. *A Fuzzy-Based Speed Controller for Improvement of Induction Motor's Drive Performance*. Iranian Journal of Fuzzy Systems. VOL. 13, NO. 2, 2016, 61-70.
- [6] Sinske, S; ZIETSMAN, H. *A Spatial Decision Support System for Pipe-Break Susceptibility Analysis of Municipal Water Distribution System*. South Africa Water Research Commission. VOL. 30, NO. 1, 2004, 76-80.

- [7] Bezerra, S; SILVA, S; GOMES, H; MENEZES, M. *Energy Saving In Pumping Systems: Application of Fuzzy Logic*. Ciencia & Engenharia (Science & Engineering Journal). VOL. 24, NO .1, 2015, 71-78.
- [8] DEEPAK, S; RAMESH, P; SAIVENKATESH, N; SRIRAM, G. *PLC Based Induction Motors and Speed Control*. Gokaraju Rangraju Institute of Engineering & Technology, India, 2013.
- [9] ASPALLI, S; ASHA, R; HUNAGOUND, V. *Three Phase Induction Motor Drive Using IGBTs and Constant V/F*. International Journal of Advance Research in Electronics and Instrumentation Engineering. VOL. 1, NO. 5, 2012, ISSN: 2278-8875.
- [10] WIGINGTON, J. *A Comparison of Induction Motor Starting Method Being Powered by Diesel Generator Set*. Master's thesis, University of Nebraska, U.S.A, 2010.
- [11] TUMMAR, A; PIPALIA, F; JAVIYA, T. *Experimental Investigation of Open Well Centrifugal Pump Performance*. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technokogy. VOL. 1, NO. 3, 2012, 1-8.
- [12] Güllich, J. F. *Centrifugal Pumps*. 2nd. ed, Springer, German, 2010, 998.
- [13] Shakya, R; Rajanwal, K; Patel, S; Dinkar, S. *Design ans Simulation of PD, PID and Fuzzy logic Controller for Industrial Application*. International Journal of Information and Computation Technology. VOL. 4, NO. 4, 2014, 363-368.
- [14] BEZZERA, S; DESILVA, S; GOMEZ, H. *Operational optimization of water supply networks using a fuzzy system*. Water SA. VOL. 38, NO .4, 2012, 565-572.
- [15] DUKA, V. *PLC Implementation of Fuzzy System*. University of Tirgu Mures. Romaia, 2012.
- [16] ABBAS, M; KHAN, S; ALI, N. *Fuzzy Logic Based Hydro-Electric Power Dam Control System*. International Journal of Scientific & Engineering Research. VOL. 2, NO. 6, 2011, ISSN 2229-5518.
- [17] AUNG, T; MAUNG, M, TUN, H. *Design and Development of Fuzzy Logic Controller for Liquid Flow Control*. International Journal of Electronics and Computer Science Engineering. VOL.3, NO. 3, 2013, 208-218.
- [18] FOSLIE, S. *Design of Centrifugal Pump for Produced Wate*. Master's thesis, Norwegian University of Science and Technolgt, Kingdom of Norway, 2013.